

**T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİRÇALI DOĞRU AKIM MOTORLARIN DİZAYNINDA
MANYETİK SIVILARIN ETKİSİNİN ANALİZİ**

Abdullah EKİNEKER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK EĞİTİMİ PROGRAMI**

DANIŞMAN

Doç. Dr. N. Necibe Füsun OYMAN SERTELLER

İSTANBUL 2011

**T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FIRÇALI DOĞRU AKIM MOTORLARIN DİZAYNINDA
MANYETİK SIVILARIN ETKİSİNİN ANALİZİ**

**Abdullah EKİNEKER
(141101220070061)**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK EĞİTİMİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
Doç. Dr. N. Necibe Füsun OYMAN SERTELLER**

İSTANBUL 2011

TEŞEKKÜR

Tez danışmanlığımı üstlenen, tez sürecinde yardımını esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. N. Necibe Fusun OYMAN SERTELLER'e emeklerinden dolayı Kenan EKİNEKER ve ZEHRA EKİNEKER'e teşekkür etmek istiyorum. Tez çalışmamın her aşamasında yakın ilgi ve desteğini gördüğüm arkadaşlarıma sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Proje no FEN-C-YLP-090409-0078 M.Ü Bilimsel Araştırmalar Kurulu'na (BAPKO) deneysel çalışmalarımı gerçekleştirme imkanı verdiği için teşekkür ederim.

Haziran,2011

Abdullah EKİNEKER

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
SEMBOLLER	viii
KISALTMALAR	x
ŞEKİLLER	xi
TABLolar	xv
TABLolar	xv
BÖLÜM I	1
I GİRİŞ	1
BÖLÜM II	4
II DOĞRU AKIM MOTORLARI	4
II.1 DOĞRU AKIM MAKİNESİNDE ANA KUTUPLARIN BESLENME ŞEKİLLERİ VE EŞDEĞER DEVRELER.....	8
II.1.1 Serbest Uyarmalı Doğru Akım Motoru.....	10
II.2 DOĞRU AKIM MAKİNELERİNİN ANA KISIMLARI	13
II.2.1 Alan (Uyartım) Kutbu	14
II.2.2 Kollektör Ve Fırçalar	16
II.2.3 Komitasyon.....	20
II.2.4 Endüvi Reaksiyonu	20
II.2.5 Doğru Akım Makinelerinde Eksenlerin Gösterilişi	22
II.2.5.1 Boyuna eksen (direct axis) (d):	23
II.2.5.2 Enine eksen (quadrature axis) (q):	23
II.3 DOĞRU AKIM MOTORLARIN ELEKTRİK DEVRE MODELLERİ VE KARAKTERİSTİKLERİ	25

II.3.1 Endüvi Devresi Modeli	25
II.3.2 Uyarım Devresi Modeli.....	27
II.4 DOĞRU AKIM MOTORLARININ HIZ KONTROLÜ	28
II.4.1 Seri Motorların Hız Kontrolü	29
II.4.1.1 Seri Dirençle Endüvi Gerilimi Kontrolü	29
II.4.1.2 Ayarlı Gerilim Kaynakları.....	31
II.4.2 Şönt Motorların Hız Kontrolü	31
II.4.2.1 Seri Dirençle Alan Akımı Kontrolü	31
II.4.2.2 Seri Dirençlerle Endüvi ve Alan Akımlarının Kontrolü.....	32
II.4.2.3 Ayarlı Gerilimli Kaynaklar	33
II.4.3 Ayarlanabilir-Hızlı Doğru Akım Motor Sürücüleri	34
II.4.4 DA-DA Sürücüler	35
II.4.4.1 DA-DA Kıyıcılar (Choppers)	35
II.4.4.2 Bir Bölgeli Kıyıcı İle DA Motor Hız Kontrolü	37
II.4.4.3 İki-Bölgeli Kıyıcılar	45
II.4.4.4 Dört Bölgeli Kıyıcılar.....	46
II.5 KALICI MIKNATISLI DA MOTORLARININ YAPILARI VE	
KARAKTERİSTİKLERİ	48
II.5.1 Yapısı	49
II.5.2 Eşdeğer Devre.....	50
II.5.3 Hız-Moment ve Akım-Moment Karakteristiği.....	51
BÖLÜM III.....	57
III MADDENİN MANYETİK ÖZELLİKLERİ VE MANYETİK SIVILAR	57
III.1 MADDENİN MANYETİK ÖZELLİKLERİ.....	57
III.1.1 Miknatıslanma Şiddeti – Manyetik Alan Şiddeti Ve Manyetik	
Alınganlık	62
III.1.2 Ferromanyetik, Paramanyetik, Ve Diamanyetik Maddeler	64
III.1.2.1 Ferromanyetik Maddeler	64
III.1.2.2 Paramanyetik Maddeler.....	66
III.1.2.3 Diamanyetik Maddeler	68
III.1.3 Ferromanyetizma	68

III.1.4 Histerezis Çevrimi	70
III.2 KALICI MIKNATIS MALZEMELER	72
III.2.1 Kalıcı Miknatıs Ailesi	73
III.2.1.1 Neodymium-Demir-Bor (NdFeB)	74
III.2.1.2 Yeni Nesil Bağlı Form NdFeB	75
III.2.1.3 Samaryum Kobalt (SmCo)	76
III.2.1.4 Alüminyum Nikel Kobalt (Alnico)	76
III.2.1.5 Ferrite Malzeme	77
III.2.2 DC Motorlarda Kullanılan Miknatıslar	78
III.3 MANYETİK SIVILAR (MS) VE ÖZELLİKLERİ	81
III.3.1 Manyetik Sıvılar	81
III.3.2 Manyetik Sıvılar Üzerine Yakın Gelecekteki Araştırmalar	82
III.3.3 Manyetik Sıvı Özellikleri	83
III.3.4 Nanomanyetizma	85
III.3.4.1 Taşıyıcı Faz	86
III.3.4.2 Manyetik Nanoparçacıklar	87
III.3.4.3 Manyetik Nanoparçacıkların Uygulama Alanları	88
III.3.4.4 Manyetik Sıvılarda Çekim Etkileşimleri	91
III.3.4.5 Manyetik Alandaki Manyetik Sıvının Rheolojik Özellikleri	92
III.3.5 Manyetik Sıvının Elektrik Makinelerinde Kullanımı	93
III.3.5.1 Manyetik Sıvı Destekli Doğrusal Elektrik Makinelerinin Deneysel Sonuçları	93
III.3.5.2 Manyetik Sıvı Destekli Dönen Elektrik Makinelerinin Deneysel Sonuçları	97
BÖLÜM IV	101
IV UYGULAMADA KULLANILAN SABİT MIKNATISLI FIRÇALI DA MOTORUNUN ÖZELLİKLERİ VE DENEY SETİ	101
IV.1.1 Kullanılan Araç ve Gereçler	102
IV.1.2 Deney Setinin Kurulması	102
ARAŞTIRMA VE BULGULAR	104
IV.1.3 Sabit Miknatıslı DC Motorun (Manyetik Sıvısız) 24V Yükte Karakteristikleri	105

IV.1.4 Sabit Mıknatıslı DC Motorun (Manyetik Sıvısız) 48V Yükte	
Karakteristikleri.....	106
IV.1.5 Sabit Mıknatıslı DC Motorun Manyetik Sıvılı (S) 24V Yükte	
Karakteristikleri.....	108
IV.1.6 Sabit Mıknatıslı DC Motorun Manyetik Sıvılı (S) 48V Yükte	
Karakteristikleri.....	109
IV.1.7 Sabit Mıknatıslı DC Motorun Manyetik Sıvılı (2S) 24V Yükte	
Karakteristikleri.....	111
IV.1.8 Sabit Mıknatıslı DC Motorun Manyetik Sıvılı (2S) 48V Yükte	
Karakteristikleri.....	112
IV.1.9 Sabit Mıknatıslı DC Motorun Manyetik Sıvılı (3S) 24V Yükte	
Karakteristikleri.....	114
IV.1.10 Sabit Mıknatıslı DC Motorun Manyetik Sıvılı (3S) 48V Yükte	
Karakteristikleri.....	115
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	131
KAYNAKLAR	132
ÖZGEÇMİŞ.....	135

ÖZET

FIRÇALI DOĞRUAKIM MOTORLARIN DİZAYNINDA MANYETİK SIVILARIN ETKİSİNİN ANALİZİ

Elektrik motorları endüstrinin vazgeçilmez elemanlarından biridir. Her ne kadar kolektör ve fırçalardan kaynaklanan mekanik kaynaklı arızalar ve periyodik bakım gibi bazı dezavantajlara sahipse de, doğru akım motorları (DAM) ayarlanabilir hız, iyi hız regülasyonu, sık çalışma durumlarından (başlatma-durdurma) motorlar arasında önemli bir yere sahiptir. Son zamanlarda kalıcı mıknatıs malzemelerindeki önemli gelişmeler, küçük güçlü uygulamalarda kalıcı mıknatısın doğru akım makinelerinde kullanımının yaygınlaşmasını sağlamıştır. Klasik doğru akım makinelerinde kutupların uyarımı, kutuplar üzerine sarılan kutup sargılarının dışarıdan bir doğru akım kaynağıyla beslenmesi sonucu motor ebatlarında küçülme sağlanmış ve ayrıca uyarım kaynağına olan ihtiyacı da ortadan kaldırmıştır.

Elektik makinelerinde kayıpları azaltmak, verimi arttırmak, ebatları küçültmek gibi arayışlar, makine dizaynında değişik malzemelerin kullanımını gündeme getirmiştir. Manyetik sıvı (ferrofluid) teknolojisi de bu arayış içinde yerini almıştır. Günümüzde manyetik sıvılar lineer ve döner makinelerde, simülasyon ve deneysel olarak kullanılmaktadır. Döner sistemlerde özellikle stator ve rotor arasındaki hava boşluğuna manyetik sıvının tatbiki ile boşlukta bulunan havanın manyetik direnci azaltılabilir, ayrıca motordaki akım ve gerilim harmoniklerinin azaltılması için makinenin yapısında değişiklik yapmak çok zor olduğundan manyetik sıvı kullanılması düşünülmektedir.

Bu çalışmada da, Fırçalı doğru akım motorunun kutupları, armatürü ve mili üzerine manyetik sıvı tatbiki yapılarak, motordaki manyetik etkileri ve motorun manyetik devre parametreleri incelenmeye çalışılmıştır. İki adet eş fırçalı doğru akım motoru kullanılarak manyetik sıvının motor parametreleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Sonuçlar grafiksel olarak verilmiştir.

Haziran, 2011

Abdullah EKİNEKER

ABSTRACT

THE ANALYSIS OF THE EFFECT OF FERROFLUID IN DESIGNING DIRECT CCURRENT MOTOR WITH BRUSH

Electrical motors are indispensable parts of industry. Although they have mechanic breakdowns caused by collector and brushes and some disadvantages like periodic care, direct current motors have an important place among motors due to their adjustable speed, good speed regulation and often working situations (starting and stopping). Recently important improvements in permanent magnet devices have provided common usage of permanent magnet in direct current machines for small and strong practices. As a result of the excitation of poles in classical direct current machines and as a result of pole bandages which are on poles being fed from an outside direct current source, the dimensions of motors have become small and the need for excitation source has stopped.

Some searches in order to decrease losses, to increase efficiency and to make their dimensions smaller has brought out usage of different devices in designing machine. Ferrofluid technology has taken its own place in this search. Today, ferrofluids are used in linear and rotating machines experimentally and as simulation. In rotating systems by applying the fluid into the air gap especially between the stator and rotor, magnetic resistance of air in the gap can be decreased. In addition, since it is very difficult to make changes in the structure of machine, ferrofluid is considered to be used in order to decrease current and resistance harmonics in the motor.

In this study, by applying ferrofluid onto the poles, armature and axle of direct current motor with brush, its magnetic effects and magnetic circuit parameters of motor have been tried to be investigated. The effect of ferrofluid on the parameters of motor has been investigated by using two direct current motors with same brushes. Results have been given with graphics.

June, 2011

Abdullah EKİNEKER

SEMBOLLER

a	:Endüvi Devresi Alt İndisi
A	:Amper
m	:Metre
mm	:Milimetre
B	:Akı Yoğunluğu (Tesla)
H	:Manyetik Alan Şiddeti (A/m)
H_c	:Koersivite
Φ	:Akı
M_a	:Motor Momenti (Nm)
I	:Akım (Amper)
V	:Gerilim (Volt)
V_T	: Motor terminal gerilimi(Volt)
E	:Gerilim (Volt)
E_c	: Zıt EMK (V)
P	:Güç (W)
P_o	:Net çıkış gücü (W)
P_a	:Endüvide üretilen güç(W)
P_{rot}	:Döner kayıplar (W)
n	:Devir sayısı (d/dk)
p	:Kutup sayısı
L_a	:Endüvi endüktansı (H)
R_a	:Endüvi direnci (ohm)
I_a	:Endüvi akımı
I_f,i_f	:Uyarma akımı (A)
I_o, i_o	:Çıkış akımı (A)
V_f	:Uyarma sargısı gerilimi (Volt)
F	:Kuvvet
ω	:Rotorun açısal hızı (rad/sn)
ω_o	:Boş Çalışma Hızı (rad/s)
n	:Devir Sayısı (d/d)
S	:Elektronun açısal momentumu

L	:Yörüngesel açısai momentum
C	:Cruie sabiti
T	:Mutlak sıcaklık
χ	:Maddenin alınganlığı (süseptibite, duygunluk)
t_{on}	:İletim süresi
t	:Süre
T	:Periyot
T	:Moment (Tork)
V_i	:Giriş gerilimi
V_o	:Çıkış gerilimi
τ	:Zaman sabiti
X	:Maddenin Alınganlığı
P_h	:Histerezis Kayıplar

KISALTMALAR

KMDA	:Kalıcı Miknatıslı Doğru Akım Motoru
DAM	:Doğru Akım Motoru
MS	:Manyetik Sıvı
MGOe	:Mega Gauss Oersted
NdFeB	:Neodymium Demir Bor
SmCo	:Samaryum Kobalt
Alnico	:Alüminyum Nikel Kobalt
DC	:Doğru Akım
MS	:Manyetik Sıvı
MRI	:Manyetik Rezonans Görüntüleme
KE	:Kutup Ekseni
GNE	:Geometrik Nötr Ekseni
EMK	:Elektro Motor Kuvveti

ŞEKİLLER

Şekil II.1 Yardımcı kutupların durumu	5
Şekil II.2 Kompanzasyon sargıları.....	6
Şekil II.3 Kompanzasyon sargılarının endüvi reaksiyonuna etkisi.....	6
Şekil II.4 DAM' sinde kutup sargılarının sarım yönü ve fırça eksenini	9
Şekil II.5 Serbest uyarımalı generatörün, a)bağlama şeması b)eşdeğer devresi c)Serbest uyarımalı motorun eşdeğer devresi.....	11
Şekil II.6 4-kutuplu bir DA makinesi kesiti	13
Şekil II.7 2-kutuplu makinesinin kısımları ve elemanları	13
Şekil II.8 Kutup yapısı.....	15
Şekil II.9 Sargılı bir kutup	15
Şekil II.10 Çok-kutuplu makinenin manyetik polaritesi	15
Şekil II.11 Endüvi şekli	16
Şekil II.12 Doğru akım makine kollektörü, 2 ve 4-kutup için fırçalar	17
Şekil II.13 Karbon fırça ve kolektör	18
Şekil II.14 Çelik fırçalar	18
Şekil II.15 Doğru akım makinesinin yuvarlak kesiti.....	19
Şekil II.16 (a) ve (c) Komütasyon sırasında akımın yön değiştirmesi, (b) iki komşu iletkene bağlı bir bobinin kısa devre olması.....	20
Şekil II.17 Doğru akım makinesinin eksenlerinin gösterilişi	23
Şekil II.18 (a) $2p=2$ kutuplu, (b) $2p=4$ kutuplu doğru akım makinesinde açılarının gösterilişi	24
Şekil II.19 DA motorun endüvi devresi modeli.....	26
Şekil II.20 DA motorun uyarım devresi modeli	27
Şekil II.21 Seri direnç ile seri motor hız kontrolü.....	30
Şekil II.22 Ayarlı seri direncin moment-hız eğrisine etkisi.....	31
Şekil II.23 DA şönt motorun alan direnç kontrolü.....	32
Şekil II.24 DA şönt motor hızının alan direnci ile ayarı	32
Şekil II.25 Alan ve seri endüvi dirençleri ayarı ile hız kontrolü.....	33
Şekil II.26 Şönt ve seri endüvi dirençlerinin kontrolü	33
Şekil II.27 Yabancı uyarımlı DA motorlar için ayarlanabilir hız sürücülerini.....	34
Şekil II.28 Temel bir kıyıcı devresi.....	35
Şekil II.29 Kıyıcının giriş-çıkış akım ve gerilim dalga şekilleri.....	36
Şekil II.30 Bir bölgesel kıyıcı ile endüvi gerilimi kontrolü.....	38

Şekil II.31 Temel kıyıcı devresinin sürekli akım modu çalışmasındaki dalga şekilleri (a) Tristör geyt akımı sinyali (b) çıkış akımı.....	41
Şekil II.32 Temel kıyıcı devresinin süreksiz akım modundaki çalışmasının dalga şekilleri (a) Tristör geyt akımı sinyali (b) çıkış akımı.....	43
Şekil II.33 İki bölgeli kıyıcı temel devresi	45
Şekil II.34 Dört-bölgeli kıyıcı devresi.....	46
Şekil II.35 Dört-bölgeli kıyıcı (a) Birinci ve ikinci bölge (b) Üçüncü ve dördüncü bölgede çalışma.....	47
Şekil II.36 Kalıcı Mıknatıslı DA motorunun yapısı.....	49
Şekil II.37 KMDA makinesinin eşdeğer devresi	50
Şekil II.38 KMDA motorun hız-moment, akım-moment karakteristikleri	54
Şekil II.39 Farklı kaynak gerilimlerindeki hız-moment karakteristikleri.....	55
Şekil II.40 Farklı endüvi devresi dirençlerindeki hız-moment karakteristikleri.....	55
Şekil III.1 a,b Bir elektronunun manyetik dipol momenti ve momentumu.	61
Şekil III.2 a,b Rowland halkası ile ferromanyetik maddelerin mıknatıslanmaları.....	66
Şekil III.3 Ferromanyetik bir maddenin mıknatıslanmasının mutlak sıcaklıkla değişimi	67
Şekil III.4 B-H ve μ - H değişimi	70
Şekil III.5 Histerezis çevrimi.....	71
Şekil III.6 Bir sürekli mıknatısın histerezis döngüsü.....	78
Şekil III.7 Yaygın sürekli mıknatıs malzemelerinin koersif kuvvet karakteristikleri....	80
Şekil III.8 Kalıcı Mıknatıs Malzemelerin Geometrik Şekilleri	80
Şekil III.9 Yayınlar ve patent sayıları	81
Şekil III.10 Çeşitli manyetik sıvıların (a) viskozite ve (b) mıknatıslanma eğrileri	85
Şekil III.11 Yüzeysel manyetik alandaki manyetik sıvının gösterimi.	90
Şekil III.12 Parçacık boyutu (nm) ve koercivite (H_c) arasındaki ilişki.....	91
Şekil III.13 Manyetik sıvının etkin viskozitesinin (a) ve Newtonian olmayan davranış indeksinin (b) manyetik alan şiddetine bağımlılığı.....	92
Şekil III.14 Döner elektrik makinelerinde stator ve rotor arasına manyetik sıvının yerleştirilmesi.....	93
Şekil III.15 Doğrusal sürücü benzetisinin geometrisi ve kuvvet hatları (1: Alt mıknatıs, 2: Üst mıknatıs).....	94
Şekil III.16 μ_r 'nin 3 farklı değeri için gösterilen iki mıknatıs arasındaki yanıl kuvvetler	94
Şekil III.17 Bir elektrik motorunun doğrusal statik benzetisi	95
Şekil III.18 Basit doğrusal bir makine (sol) ve bir step motorun (sağ) ölçüm prensibi.95	
Şekil III.19 Üç farklı bobin akımı ve 1.5 mm'lik boşluk genişliğinde kullanılan 3 farklı MS'nin oluşturduğu güç artışı.....	96

Şekil III.20 İki farklı manyetik sıvı için farklı boşluk genişliği ve 3 farklı akımda oluşan güç artışı	96
Şekil III.21 1.5 mm boşluk genişliği için doğrusal step motor simülatörü ile ölçülen güç	97
Şekil III.22 Manyetik sıvı ile donatılmış döner elektrikli indüksiyon makinesi	98
Şekil III.23 Asenkron motorlarda dönme momenti, dönme hızı, voltaj vs gibi parametreleri ölçmek için yapılan deneysel düzenek.....	98
Şekil III.24 122 mT mıknatıslanma doygunluğundaki manyetik sıvı ve 3 farklı döner hız için indüksiyon motorunun verimi.	99
Şekil III.25 57 mT mıknatıslanma doygunluğundaki manyetik sıvı ve 3 farklı döner hız için indüksiyon motorunun verimi.	99
Şekil III.26 122 mT mıknatıslanma dolgunluğundaki manyetik sıvının 3 farklı döner hızda verimliliğinin artışı.	100
Şekil IV.1 Deney seti.....	103
Şekil IV.2 Manyetik Sıvısız 24V yük-hız grafiği	105
Şekil IV.3 Manyetik Sıvısız 24V yük-akım grafiği	105
Şekil IV.4 Manyetik Sıvısız 24V Hız - Akım grafiği.....	106
Şekil IV.5 Manyetik Sıvısız 48V Yük - Hız grafiği.....	106
Şekil IV.6 Manyetik Sıvısız 48V Yük - Akım grafiği.....	107
Şekil IV.7 Manyetik Sıvısız 48V Yük - Akım grafiği.....	107
Şekil IV.8 Manyetik Sıvılı (S yüzeyli) 24V Yük - Hız grafiği.....	108
Şekil IV.9 Manyetik Sıvılı (S yüzeyli) 24V Yük - Akım grafiği.....	108
Şekil IV.10 Manyetik Sıvılı (S yüzeyli) 24V Hız - Akım grafiği.....	109
Şekil IV.11 Manyetik Sıvılı (S yüzeyli) 48V Yük - Hız grafiği.....	109
Şekil IV.12 Manyetik Sıvılı (S yüzeyli) 48V Yük - Akım grafiği.....	110
Şekil IV.13 Manyetik Sıvılı (S yüzeyli) 48V Akım - Hız grafiği.....	110
Şekil IV.14 Manyetik Sıvılı (2S yüzeyli) 24V Yük - Hız grafiği	111
Şekil IV.15 Manyetik Sıvılı (2S yüzeyli) 24V Yük - Akım grafiği.....	111
Şekil IV.16 Manyetik Sıvılı (2S yüzeyli) 24V Akım - Hız grafiği.....	112
Şekil IV.17 Manyetik Sıvılı (2S yüzeyli) 48V Yük - Hız grafiği	112
Şekil IV.18 Manyetik Sıvılı (2S yüzeyli) 48V Yük-Akım grafiği.....	113
Şekil IV.19 Manyetik Sıvılı (2S yüzeyli) 48V Akım - Hız grafiği.....	113
Şekil IV.20 Manyetik Sıvılı (3S yüzeyli) 24V Hız -Yük grafiği.....	114
Şekil IV.21 Manyetik Sıvılı (3S yüzeyli) 24V Akım - Yük grafiği.....	114
Şekil IV.22 Manyetik Sıvılı (3S yüzeyli) 24V Hız - Akım grafiği.....	115
Şekil IV.23 Manyetik Sıvılı (3S yüzeyli) 48V Hız-Yük grafiği	115
Şekil IV.24 Manyetik Sıvılı (3S yüzeyli) 24V Akım - Yük grafiği.....	116

Şekil IV.25 Manyetik Sıvılı (3S yüzeyli) 48V Hız - Akım grafiği	116
Şekil IV.26 24V Manyetik sıvısız-sıvılı boşta hız-akım grafiği	117
Şekil IV.27 24V Manyetik sıvısız-sıvılı 1.00 Nm yükte hız-akım grafiği	117
Şekil IV.28 24V Manyetik sıvısız-sıvılı 1.1 Nm yükte hız-akım grafiği	118
Şekil IV.29 24V Manyetik sıvısız-sıvılı 1.2 Nm yükte hız-akım grafiği	118
Şekil IV.30 24V Manyetik sıvısız-sıvılı 1.3 Nm yükte hız-akım grafiği	119
Şekil IV.31 24V Manyetik sıvısız-sıvılı (S, 2S, 3S) yükte akım grafiği	119
Şekil IV.32 24V Manyetik sıvısız-sıvılı (S, 2S, 3S) yükte hız grafiği	120
Şekil IV.33 24V Manyetik sıvısız-sıvılı (S, 2S, 3S) boşta akı grafiği	120
Şekil IV.34 24V Manyetik sıvısız-sıvılı (S, 2S, 3S) boşta akı-hız grafiği	121
Şekil IV.35 24V Manyetik sıvısız-sıvılı (S, 2S, 3S) yükte akı grafiği	121
Şekil IV.36 48V Manyetik sıvısız-sıvılı boşta hız-akım grafiği	122
Şekil IV.37 48V Manyetik sıvısız-sıvılı 1.00 Nm yükte hız-akım grafiği	122
Şekil IV.38 48V boşta manyetik sıvısız-sıvılı 1.1 Nm hız –akı değişimi	123
Şekil IV.39 48V boşta manyetik sıvısız-sıvılı 1.2 Nm hız –akı değişimi	123
Şekil IV.40 48V boşta manyetik sıvısız-sıvılı 1.3 Nm hız –akı değişimi	124
Şekil IV.41 48V Manyetik sıvısız-sıvılı (S, 2S, 3S) yükte akım grafiği	124
Şekil IV.42 48V Manyetik sıvısız-sıvılı (S, 2S, 3S) yükte hız grafiği	125
Şekil IV.43 48V Manyetik sıvısız-sıvılı (S, 2S, 3S) yükte akı grafiği	125
Şekil IV.44 48V Manyetik sıvısız-sıvılı (S, 2S, 3S) boşta akı-hız grafiği	126
Şekil IV.45 48V Manyetik sıvısız-sıvılı (S, 2S, 3S) yükte akı grafiği	126
Şekil IV.46 24V Manyetik sıvısız-sıvılı (S, 2S, 3S) boşta histerezis kayıpları	127
Şekil IV.47 48V Manyetik sıvısız-sıvılı (S, 2S, 3S) boşta histerezis kayıpları	127
Şekil IV.48 24V Manyetik sıvısız-sıvılı (S, 2S, 3S) yükte histerezis kayıpları (P_h)	128
Şekil IV.49 48V Manyetik sıvısız-sıvılı (S, 2S, 3S) yükte histerezis kayıpları (P_h)	129

TABLolar

Tablo II.1 Değişik Firmalarca Kullanılmış Malzemelere İlişkin Değerler.....	53
Tablo III.1 Manyetik Sistemlerin Özellikleri.....	59
Tablo III-2 Kalıcı Mıknatıs Elementleri, Atom Numaraları ve Kullanışlı Hatırlatma İşaretleri.....	74
Tablo III.3 NdFeB Manyetik Malzemesinin Çeşitleri ve Tipik Özellikleri.....	75
Tablo III.4 Yeni Nesil Bağlı Form NdFeB Manyetik Malzeme Karakteristikleri.....	75
Tablo III.5 SmCo Manyetik Malzemesinin Çeşitleri ve Tipik Özellikleri.....	76
Tablo III.6 Alnico Manyetik Malzemesinin Çeşitleri ve Tipik Özellikleri.....	77
Tablo III.7 Ferrit Manyetik Malzemenin Çeşitleri ve Tipik Özellikler.....	77
Tablo III.8 Sürekli mıknatısların karakteristikleri.....	79
Tablo III.9 Manyetik sıvı türleri ve özellikleri.....	84
Tablo IV.1 Uygulamada kullanılan doğru akım motorunun özellikleri.....	101
Tablo IV.2 24V Histerezis kayıpları (P_h) değerleri	129
Tablo IV.3 48V Histerezis kayıpları (P_h) değerleri	130

BÖLÜM I

I GİRİŞ

Kolay kontrol edilebilme ve yüksek performans gibi üstünlüklere sahip olan doğru akım (DA) motorlarının hızları geniş sınırlar içerisinde ayarlanabilmektedir. DA motorları endüstride hızlı taşımacılık, elektrik trenleri, elektrikli taşıtlar, elektrikli vinçler, yazıcı, disket sürücü, kağıt endüstrisi gibi yerlerde ayarlanabilir hız ve hassas konumlandırma uygulamalarında kullanılırlar. Son yıllarda teknolojik gelişmelerle birlikte ev aletleri uygulamalarında, düşük güçlü ve düşük maliyet istenen, ayarlanabilir hız gereken yerlerde yaygın bir kullanım alanı bulmuştur [1]. Geniş uygulama alanı bulmasının diğer bir sebebi de alternatif akım (AA) motorlarına göre kontrolünün daha kolay olmasıdır. AA motoru sürücüleri ile kıyaslandığında, DA motoru sürücü devrelerinin basit ve ucuz olması ayarlanabilir hız uygulamalarında DA motorunu ön plana çıkarmıştır [2].

Elektronik malzeme ve kontrol teknolojisindeki gelişmeler, elektrik makineleri ile ilgili çalışmalarda yeni tip motorlar planlamaya ve üreticileri de bu tip motorları imal etmeye zorlamıştır. Ayrıca kalıcı mıknatıs teknolojisindeki gelişmeler, motor tasarımına yeni ufuklar açmıştır. Kalıcı mıknatıslı motorların üretimindeki temel sebep, bu motorların çok verimli, ucuz ve seri üretime uygun oluşudur [3].

Sabit mıknatıslı motorlar geleneksel motorlara göre önemli avantajlara sahiptirler. Daha küçük ve hafif olmaları, daha yüksek verim ve güçte çalışabilmeleri bunlardan başlıcalarıdır. Enerji verimliliği yüksek yeni motorların tasarımının araştırılması, motorların ürettiği moment-zaman eğrilerindeki harmonik bileşenleri önemli bir kıstas olarak inceleme konusu yapmıştır.

Fırçalı tip elektrik makineleri (AA senkron motor, DA motor) maliyetleri yüksek olmasına rağmen basit ve bağımsız dinamik davranışlara sahiptir. Bu nedenle pek çok endüstriyel uygulamada fırçasız elektrik makinelerinin yerine tercih edilmiştir. Fırçasız tip elektrik makinelerinin çok değişken ve doğrusal olmayan dinamikleri düzenlenerek sabit hız elde edilmesi ile meydana gelen motorlara günümüzde fırçasız DA motorları denilmektedir [4]. Fırçasız DA motoru aslında sürekli mıknatıslı bir senkron motordur. Sürekli mıknatıslı senkron motor DA

kaynaktan beslenen bir evirici tarafından sürüldüğünde, meydana gelen makine karakteristiği DA şönt motorun karakteristiğine benzemektedir. Bundan dolayı bu tip motorlar fırçasız DA motor olarak adlandırılmıştır [5,6].

Endüstriyel uygulamalarda, yüksek verim ve düzgün tork için çoğunlukla DA fırçalı, AA indüksiyon veya senkron motorlardan biri tercih edilir. Klasik DA motorlarının verimi yüksek olup, karakteristikleri servomotor olarak kullanıma uygundur [7]. Ancak bu motorlarda uyarımın fırça ve kolektörlerle sağlanmasından dolayı, rotor kayıpları artmakta, sürekli bakım gerektirmekte ve motorun ömrü azalmaktadır [8]. Ayrıca bu motorlarda komütatör hızı sınırlıdır, gürültülü çalışır, aşınma mevcuttur ve oluşan RFI sinyali çevreyi rahatsız eder. Fırça sistemi ve komütatör için gerekli yer önemli büyüklüktedir. Bu motorlarda tork oluşturan ve sargıları taşıyan rotorun soğutulması da kolay değildir [9].

Manyetik sıvı olarak adlandırılan “ferrofluid”, taşıyıcı bir sıvı içinde askıya alınmış 10nm (10×10^{-9} m) boyutundaki ferromanyetik parçacıkların süspansiyonundan oluşmaktadır. Taşıyıcı sıvı olarak, kullanım amacına özgü hidrkarbon yağları, perfloropoliester, ester veya su seçilebilmektedir. Manyetik sıvı içindeki ferromanyetik parçacıklar olarak da demir veya kobalt gibi geçiş elementleri kullanılmaktadır fakat demir diğer elementlere oranla daha yavaş oksitlendiği için daha çok tercih edilmektedir. Parçacıkların sıvı içerisinde askıda kalmasını sağlayan “surfaktan” (kayganlaştırıcı madde) denilen yüzey etkin bir başka madde katmanı kullanılmaktadır. Bu katman; parçacıklara sıvı içerisinde ve değişik koşullar altında sürekli olarak askıda kalma özelliğini kazandırmaktadır. Parçacık boyutlarını 3-15nm arasında, sıvıdaki konsantrasyonunu da istenen değerde seçmek mümkündür. Bu sıvılar kendi hallerinde iken, içerdikleri parçacıkların momentleri gelişi güzel olduğundan mıknatıs özelliği göstermeyip herhangi bir dış manyetik alana maruz kaldıklarında parçacıkların momentleri eşyönlüleştiğinden sıvı manyetik alana tepki göstermektedir.

Manyetik sıvıların son zamanlardaki hızlı gelişimi bu materyallerle elektrik makinelerinin geliştirilmesini sağlar. Dönen bir sistemde özellikle stator ve rotor olmak üzere her motordaki karşılıklı hareket eden mıknatıs sistemi arasındaki hava boşluğunun manyetik direncini azaltmada kullanılabilirler. Özellikle, yavaşça hareket eden ya da dönen makineler için büyük bir avantaj sağlamaktadırlar [10,11].

Bir taşıyıcı sıvı içinde kümelemeyi önlemek amacıyla tensid bir tabakayla kaplanan manyetik nano parçaların süspansiyonu olan manyetik sıvılar süper paramagnetik özelliklere sahiptir. Son yıllarda kimyasal teknolojilerdeki gelişmeler sıvılara doygunluk, mıknatıslanma, nispeten düşük viskozite ve hepsinden önce uzun süreli denge sağladığı için bu yüksek geçirgenlik birkaç uygulamada kullanılabilir. Bu sayfada da belirtilen bir teknik uygulama seçeneği stator ve rotor arasındaki boşluğa manyetik sıvıyı doldurarak doğrusal ya da dönen elektrik makinelerinde hava boşluğunun manyetik direnci düşürülerek motorda güç ya da tork artışı sağlamaktır.

Bu tez çalışması dört bölüm olarak düzenlenmiştir.

Bölüm I' de, giriş,

Bölüm II' de, fırçalı DA motorları hakkında genel bilgiler verilmiş olup, fırçalı DA motorunun yapısı, sınıflandırılması, ayrıca DA motorunun çalışma prensibi, DA motorunun matematiksel modeli ve DA motoru hız kontrolü ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Bölüm III' de, Maddenin manyetik özellikleri ve Manyetik sıvılar (MS) hakkında bilgiler verilerek manyetik sıvıların teorik ve deneysel uygulamaları üzerinde durulmuştur.

Bölüm IV, uygulamada kullanılan Fırçalı DA motoru ve manyetik sıvının özellikleri üzerinde durularak yapılan deneyin sonuçları değerlendirilip motor performansı analiz edilmiştir.

BÖLÜM II

II DOĞRU AKIM MOTORLARI

DA motorlar genellikle üretim alanında, çeşitli uygulama mekanizmalarını çalıştırmak için kullanılan birinci tip enerji dönüştürücülerinden biridir. DA motorlar doğru akım enerjisini, mekanik enerjiye çeviren elektrik makineleridir. Bir DA motor stator, rotor, kollektör, fırçalar ve fırça taşıyıcılarından meydana gelir. Stator (endüktör) sargıları, doğru akımla uyarılır ve meydana getirdiği manyetik akı, rotoru (endüvi) keserek kapalı devre meydana getirir. Endüvideki kollektör ve fırça düzenekleri, endüvi iletkenlerinden akım geçmesini sağlar. Endüviden geçen akımın meydana getirmiş olduğu manyetik alanı ile endüktör sargılarının yarattığı manyetik alanın etkileşmesinden rotor döner [12].

Doğru akım motorları endüktörün yapısına bağlı olarak elektromıknatıslı ve sabit(doğal) mıknatıslı olmak üzere iki şekilde imal edilirler. Bu ikisi arasında endüktör haricinde yapı bakımından aynı özellikleri gösterirler. Bir doğru akım makinesi kutuplar, endüvi ve kollektör olmak üzere toplam üç bölümden oluşur. Makinede elektromanyetik alanın elde edildiği kısım “ana kutup” olarak adlandırılır

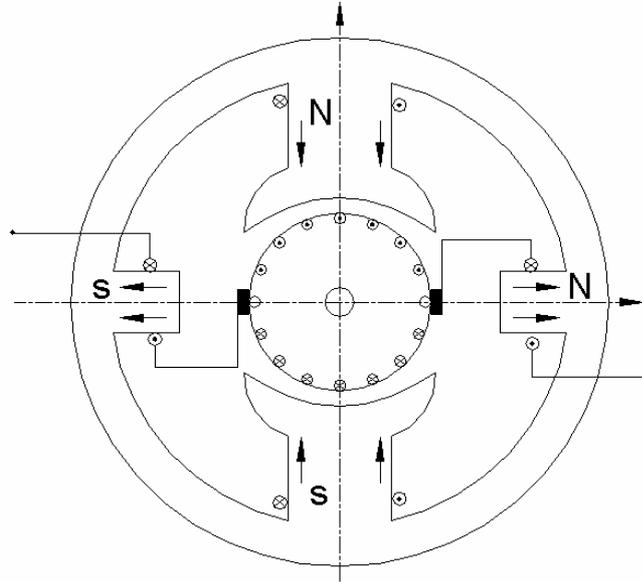
Doğru akım makineleri motor ve generatör olarak çalışabilecek şekilde dizayn edilmiştir. Dolayısıyla basit olarak doğru akım makineleri; doğru akım generatörleri ve doğru akım motorları olarak sınıflandırılabilir. Ayrıca doğru akım motor ve generatörlerinde stator ve rotor sargılarına ek olarak bazı sargılar kullanılır ki, bu sargı ve kutuplara göre sınıflandırma ise;

- Komitasyon Kutuplu (yardımcı kutuplu)
- Komitasyon Kutupsuz
- Kompanzasyon Sargılı

Olarak yapılabilir. Küçük güçlü makinelerde (0,5-2~3 kW) yardımcı kutuplar bulunmaz. Bu makineler genellikle düşük gerilimde çalıştırılırlar (110-440 V). Orta ve büyük güçteki doğru akım makinelerinde yardımcı kutuplar vardır. Bunların sayısı ana kutup sayısı kadardır ve karkas çevresince ana kutupların aralarına

yerleştirilmişlerdir. Bu kutuplar, daha çok komitasyonu kolaylaştırmak için kullanılırlar. Bunun için bu kutuplara komitasyon kutupları da denir. Fakat özellikle fırça altlarındaki bölgelerde endüvi alanlarının etkisini yok etme bakımından çok faydalıdır [13].

Yardımcı kutupların yararı şöyle açıklanabilir; endüvinin meydana getirdiği alan normal olarak nötr eksenini doğrultusundadır. Biz bu bölgedeki alana eşit ve ters yönde bir alan meydana getirirsek, iki alan birbirini yok edeceğinden endüvi alanının etkisi ortadan kalkar. Yardımcı kutupların nötr eksenini doğrultusunda bir alan meydana getirmesi için, ana kutupların aralarına ve nötr eksenini üzerine konulmaları gerekir



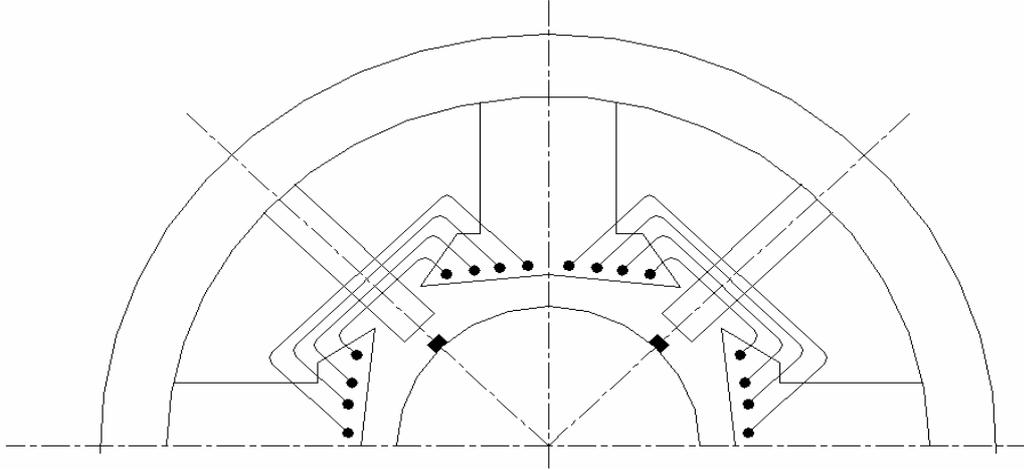
Şekil II.1 Yardımcı kutupların durumu

Yardımcı kutubun alanı üzerine sarılan bobinden akım geçirerek sağlanır. Bu akım, endüvi akımı olmalıdır. Çünkü endüvi alanını, endüvi akımı meydana getirmektedir ve bu alan endüvi akımıyla orantılıdır. Şu halde yardımcı kutuplardan da aynı akım geçmelidir ki endüvide meydana gelen alana eşit ve ters yönde bir alan meydana gelebilsin.

Büyük güçlü makinelerde (100 kW ve üstü) endüvi reaksiyonunun olumsuz etkileri çok fazla olduğundan yardımcı kutuplara ilaveten ana kutup tabanlarına

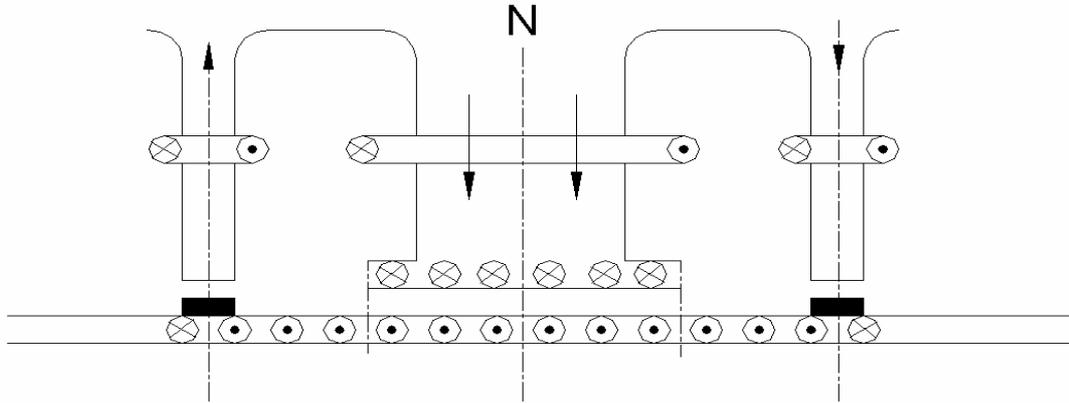
kompanzasyon sargıları yerleştirilir. Bu sargılar eşdeğer devrede endüvi sargıları ile seri bağlıdır. Bu sargıların etki alanı, daha çok ana kutuplar altındaki endüvi iletkenlerinin doğurduğu alana karşıdır.

Kompanzasyon sargıları ana kutuplar altına açılan oluklara yerleştirilir.



Şekil II.2 Kompanzasyon sargıları

Bu sargılardan geçen akım endüvi iletkenlerinden geçen akıma ters yöndedir.



Şekil II.3 Kompanzasyon sargılarının endüvi reaksiyonuna etkisi

Böylece bu sargıların meydana getireceği alan endüvi iletkenlerinin doğurduğu alana ters yönde olur. Kompanzasyon sargılarından geçen akım da endüvi akımı ile orantılı olmalıdır. Bunun için bu sargılardan da endüvi devresi akımı geçirilir. Çünkü kutup tabanlarının altındaki bölgede uygun bir dengeleme için, kompanzasyon

sargılarının her kutba düşen Amper-Sarım değeri, kutup tabanlarının altında bulunan endüvi iletkenlerinin Amper-Sarım değerine eşit olmalıdır. Kompanzasyon sargıları, yer darlığı ve maliyeti arttırdığı için küçük makinelerde kullanılmaz.

DAM' leri, uyarma geriliminin sağlanma şekline göre;

- Yabancı uyarmalı
- Kendinden uyarmalı olarak sınıflandırılırlar.

Yabancı uyarmalı makinelerde uyarma gerilimi ayrı bir doğru akım kaynağı tarafından sağlanır [13].

II.1 DOĞRU AKIM MAKİNESİNDE ANA KUTUPLARIN BESLENME ŞEKİLLERİ VE EŞDEĞER DEVRELER

Doğru Akım Makineleri (DAM) ana kutup sargısı ile endüvi sargısının bağlantı Şekline göre sınıflara ayrılır. Bu bağlantı Şekli makinenin karakterini tamamen değiştirdiği için, ayrı-ayrı incelenmesinde ve bunlara ait eşdeğer devrelerin çıkartılmasında yarar vardır. Elektrik eşdeğer devreleri yardımıyla yük akımını ve endüvi akımını, momentini, devir sayısı ve kayıpları hesaplanır. Elektro-manyetik devresinde meydana gelen amper-sarım, manyetik akıyla ise, makinede geliŐen endüvi reaksiyonu ve komitasyon olayları incelenir.

Generatör iŐletmesinde gerilimin endüklenmesi ve motor iŐletmesinde momentin üretilmesi, doğrudan, manyetik akı ile orantılıdır. Bu nedenle statorla rotor arasındaki hava aralığında ve ferromanyetik malzemenin deđiŐik yerlerindeki manyetik alan yoğunlukları büyük önem kazanır. Manyetik devresinde yeterince akı üretilmeyen makine beklenen gerilimi ve momentini veremez. Diđer taraftan, endüviden gečen akım momentte ve dıŐarıya aktarılan güçte önemli bir parametredir. Bu akımın deđiŐimini makinenin çıkıŐ gücünü doğrudan etkiler ve verimin deđiŐmesine neden olur.

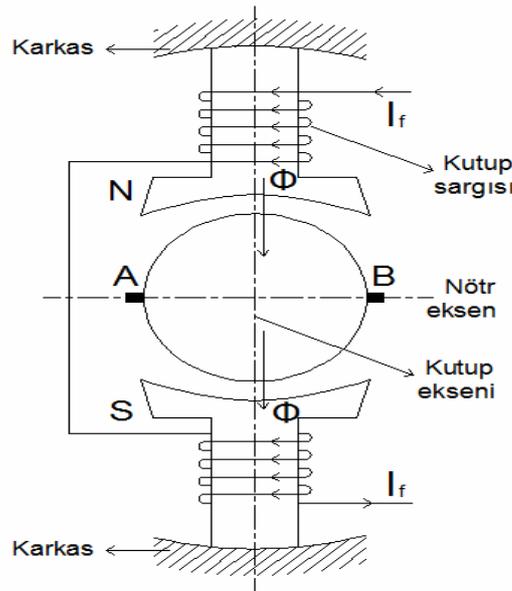
DAM'leri, özellikleri birbirinden farklı iŐletmelerde kullanmak için, o koŐullara uygun olan makinelerin sečilmesi gerekir. Aksi halde makine ve iŐletme koŐulları birbirleri ile uyum içinde olamadıkları için, Őebeke tarafında veya tüketici tarafında beklenmeyen sorunlar ortaya çıkar. Örneđin; bir Őebekeyi besleyen generatör Őebekeyle olan stabilitesini (dengesini) kaybeder. Motor iŐletmesinde beklenenden büyük akım çeker, vuruuntu yapar, komitasyonu bozar. Bu durum iŐ makinesinde zaman içinde onarılması güç arızalara neden olur. Makinelerin karakterini belirleyen parametrelerden bir tanesi manyetik akıdır. Makinenin tasarımında, sečiliminde ve iŐletmesinde iŐletmenin koŐullarının sağlanması gerekir [14].

Doğru Akım Makineleri ana kutuplarının beslenme Şekline göre dört gruba ayrılır. Bütün gruplarda amaç manyetik devrede yeterince mıknatıslanmayı sağlamaktır. Bunlar:

- Serbest Uyarmalı DAM
- Şönt (paralel) Uyarmalı DAM
- Seri uyarmalı DAM
- Kompund (karma) Uyarmalı DAM'dir.

Serbest uyarmalı olanın kutupları endüvinin bağlı olmadığı, ayrı bir şebekeden beslenir. Diğerleri kendi şebekelerinden beslenirler. Kompund uyarmalı makine seri ve şönt uyarmalı makinenin birleştirilmiş durumudur. Bu nedenle gerektiğinde seri ve gerektiğinde şönt makine karakteri gösterme özelliğine sahiptir. Seri ve şönt uyarmalı makinelerin karakterleri ise birbirinden tamamen farklıdır. Bu makinelerin generatör işletmesinde ve motor işletmesinde elde edilen karakteristikleri de, haliyle, birbirlerinden farklı olur. Böylece işletme koşullarına göre makine seçiminin önemi ortaya çıkmış olur.

Makinede bir ana kutup çiftine yerleştirilen sargılarda üretilen manyetik akıların yönleri birbirlerini desteklemelidir. Bir çift kutbu oluşturan N ve S kutuplarına yerleştirilen sargılar aynı yönde sarılırlar ve seri bağlanırlar. Bu sargılardan geçen akı aynı yöndedir,



Şekil II.4 DAM' sinde kutup sargılarının sarım yönü ve fırça eksenini

Kutupların kutup eksenini (KE) ile fırçaların yerleştirildiği fırça eksenini arasında 90°lik açı vardır. Bu açı Fleming'in üç parmak kuralında da görülmektedir, (orta parmak ve işaret parmağı arasındaki açı). Bu nedenle fırça eksenini endüvi akımının eksenini olarak bilinir ve buraya "geometrik nötr eksen" denir. Geometrik nötr eksenini (GNE) her iki tarafında bulunan fırçalardan biri pozitif, diğeri ise negatif polaritelidir. Bunlara A ve B harfleri verilir. Generatör işletmesinde mekanik sürücünün bulunduğu taraftan makineye bakılınca, endüvinin saat yönünde dönmesi durumunda akım A fırçasından çıkar, B fırçasından girer. Motor işletmesinde akım yön değıştirdiğı için, A'dan girer, B'den çıkar [14].

II.1.1 Serbest Uyarımalı Doğru Akım Motoru

Ana kutup sargıları endüvi sargısının bağılı olmadığı bir şebekeden beslenir. Bu makine türünde bağımsız iki ayrı doğru akım kaynağına gerek vardır. Şekil II.5a da generatör işletmesinde çalışan bir DAM' nin kutuplarına yerleştirilen sargıların sarım yönleri ve bu sargılardan akan uyarıma akımı I_f ile endüvi sargısından akan endüvi akımı I_a yönleri görülmektedir. Burada endüvi sargısının iki ucu pozitif ve negatif fırçalarda son bulmaktadır. Endüvi sargısından akımın çıktığı noktaya A, girdiğı noktaya B harfleri konur. Kutup sargısının (uyarıma sargısı) uçlarına ise, I_f uyarıma akımının girdiğı noktaya I, çıktığı noktaya ise K harfleri konur. İç direnci r_f olan uyarıma sargısı gerilimi V_f olan bir doğru gerilim kaynağından beslenir. Endüvi sargısı ise gerilimi V olan bir şebekeyi besler ve iç direnci r_i dir. Bu sargının uçlarında Faraday yasasına göre E emk'i endüklenir. Eşdeğer devre Şekil II.5b verildiğı gibidir.

Bu durumda gerilim denklemleri iki farklı devre için yazılır. Uyarıma devresinde uyarıma akımı;

$$I_f = \frac{V_f}{r_f} \quad (1)$$

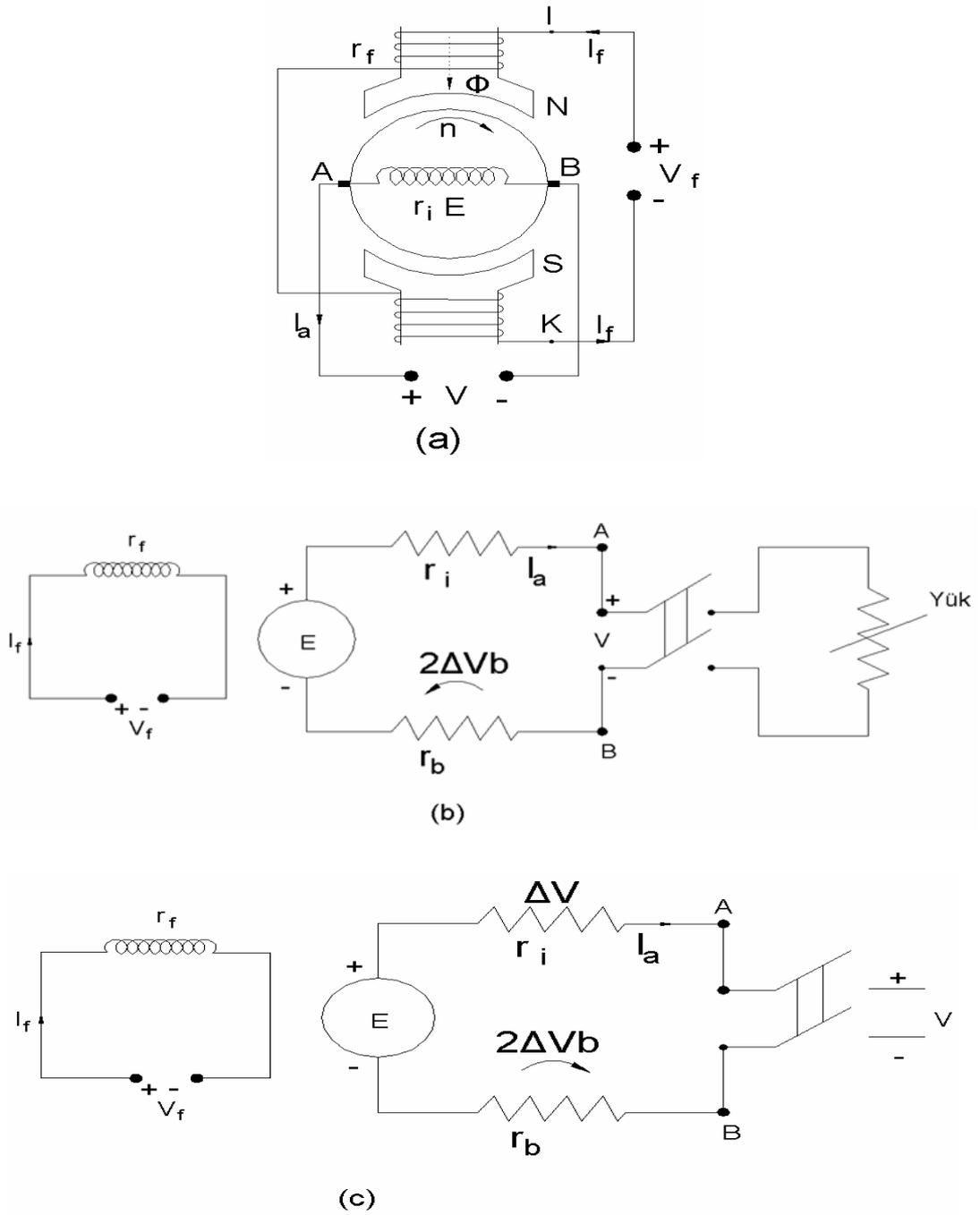
olarak elde edilir.

Endüvi devresi için gerilim denklemi ise

$$E = V + I_a r_i \quad (2)$$

olur. Bu eşitlikte fırçalarda düşen toplam gerilim düşümü $2\Delta V_b$ denklem (2)'ye eklenerek denklemin son hali

$$E = V + I_a r_i + 2\Delta V_b \quad (3)$$



Şekil II.5 Serbest uyarımalı generatörün, a)bağlama şeması b)eşdeğer devresi
c)Serbest uyarımalı motorun eşdeğer devresi

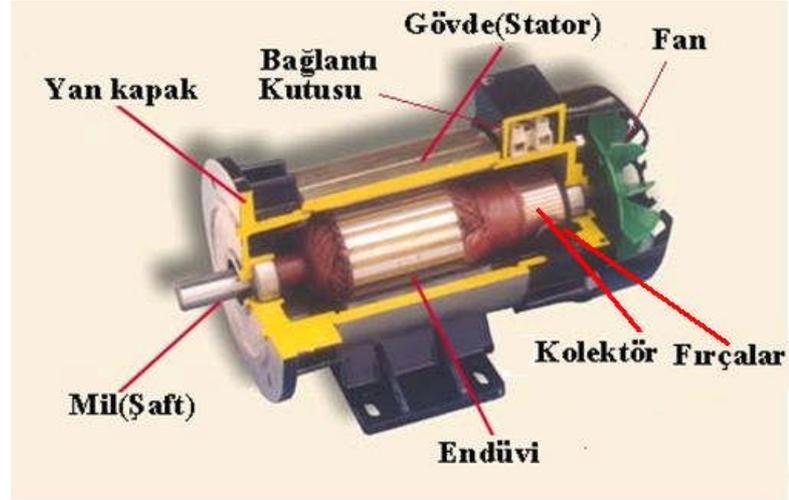
Motor çalışmada uyarma alanının yönü ve endüvinin hareket yönünün değiştirilmediği kabul edilirse, endüvi akımı 180° döner ve şebekeden makineye doğru olur, Şekil II.5c Akım endüvi sargısına A ucundan girer ve B ucundan çıkar. Endüvi sargısında endüklenen emk şebeke gerilimine ters olduğu için "zıt emk" adını alır. Gerilim denklemi

$$V = E + I_a r_1 + 2\Delta V_b \quad (4)$$

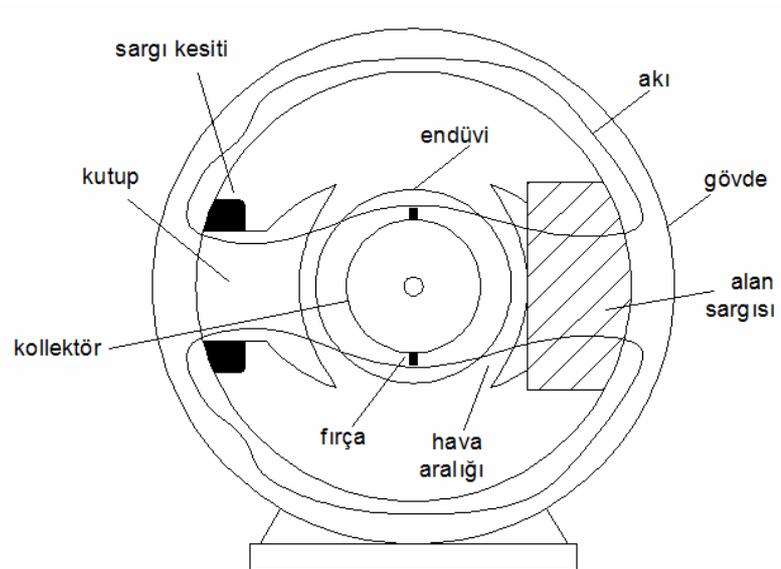
olur. Uyarma devresinde herhangi bir değişiklik yapılmadığı için uyarma akımı denklem 1'e göre, aynı şekilde, hesaplanır.

II.2 DOĞRU AKIM MAKİNELERİNİN ANA KISIMLARI

Doğru Akım makinelerinin ana parçaları: uyarım (alan) kutbu, endüvi, kollektör ve fırçalardır. Şekil II.6 ve II.7'de DAM' nin kısımları tanıtılmıştır.



Şekil II.6 4-kutuplu bir DA makinesi kesiti



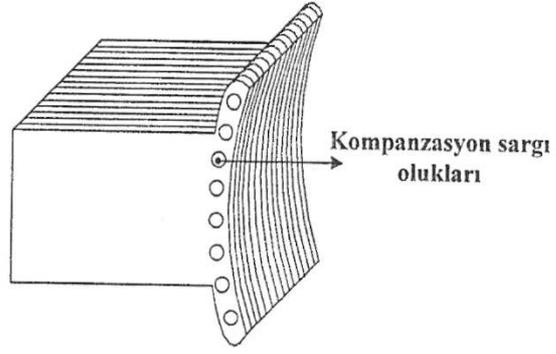
Şekil II.7 2-kutuplu makinesinin kısımları ve elemanları

II.2.1 Alan (Uyartım) Kutbu

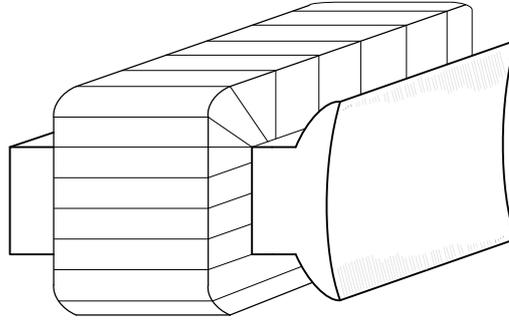
Alan kutbu, makine içinde ana manyetik akıyı üretir. Kutup, sabit olarak makine dış gövdesinin iç kısmına yerleştirilmiş çıkıntılı kutuplu elektromıknatıstır. Alan sargıları kutuplar üzerine sarılır ve DA uyartım akımını taşırlar. Kabin (dış gövde) genellikle yumuşak dökme çelikten yapılır. Kutupların nüvesi ise Şekil II.8' deki gibi demir saç levhalardan paketlenerek yapılır ve nüve üzerine Şekil II.9' daki gibi uyartım sargıları sarılır. Bazı makinelerde manyetik akı sürekli mıknatıslar ile sağlanır.

Kutup sayısı makine boyutuna bağlıdır. Makine büyüdükçe kutup sayısı da artar. Çok-kutuplu tasarım ile büyük makinelerin maliyeti ve boyutu azaltılabilir, performansları iyileştirilebilir. Çok-kutuplu alan sargıları, komşu kutuplar zıt polariteleri oluşturacak şekilde bağlanır, Şekil II.10 Şönt alan sargıları yüzlerce sarımdan yapılır ve düşük akım taşırlar. Sargılar kutuplardan yalıtılarak kısa devre olmaları önlenir. Sargıların ürettiği mmk bir manyetik alan üretir. Manyetik alan kutupları, dış gövdeyi, endüviyi ve hava aralığını keser. Hava aralığı kutuplar ile endüvi arasındaki çok kısa bir boşluktur.

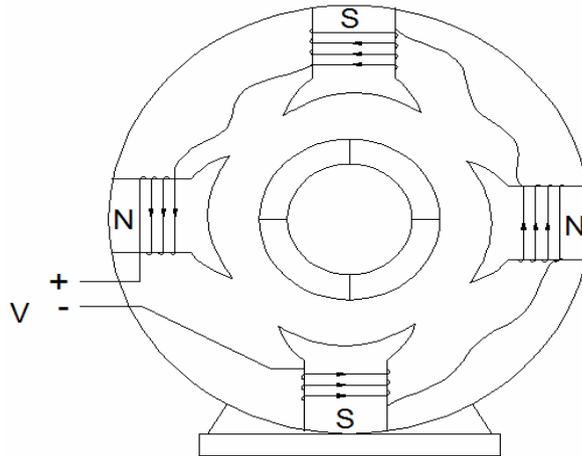
Makine büyüklüğü arttıkça (1kW'dan 100kW'a) hava aralığı da 1.5mm'den 5mm'ye kadar artar. Endüvi ve kutup nüveleri manyetik geçirgenlikleri yüksek iyi malzemelerden yapıldıkları için toplam mmk'in çoğu, akıyı hava aralığından geçirmede kullanılır. Eğer hava aralığı azaltılırsa şönt sargı boyutları azaltılabilir. Fakat hava aralığı çok daha kısa yapılamaz. Eğer yapılırsa, endüvi reaksiyonu etkisi çok daha büyük olur. Makine seri alan sargılarına sahip ise, seri sargılar şönt alan sargıları üzerine sarılır. Endüvi devresine seri bağlanan seri alan sargısı makinenin tam yük akımını taşıyacak kesitte olmalıdır [15]



Şekil II.8 Kutup yapısı



Şekil II.9 Sargılı bir kutup

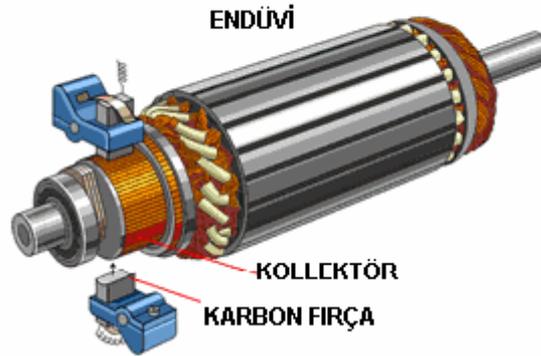


Şekil II.10 Çok-kutuplu makinenin manyetik polaritesi

Doğru Akım Makinesinin dönen kısmına endüvi denir. Endüvi; kollektör, demir nüve ve sargılardan oluşur. Şekil II.11'da gösterildiği gibi endüvi bir mil (şaft)

üzerine geçirilir ve alan kutupları arasında döner. Demir nüve demir sac levhaların paketlenerek silindirik hale getirilmesi ve üzerine oyuklar açılması ile elde edilir. Sac levhalar arası ince bir yalıtkan film tabakası ile yalıtılarak birbiri arasındaki elektriksel temas önlenir. Bunun sonucu eddy akımı kayıpları azaltılır. Endüvi iletkenleri ise makinenin ürettiği yük akımını taşırlar ve demir nüve oyuklarına yerleştirilirler. İletkenler nüveden kağıt, mika gibi yalıtkanlar ile yalıtılırlar. Eğer endüvi akımı 10A'ın altında ise yuvarlak iletkenler, 20A'i geçiyorsa dikdörtgen kesitli iletkenler tercih edilir. Bunun nedeni, dikdörtgen (lama) iletkenler kullanıldığında oyukların hacminden daha iyi faydalanılmasıdır [15].

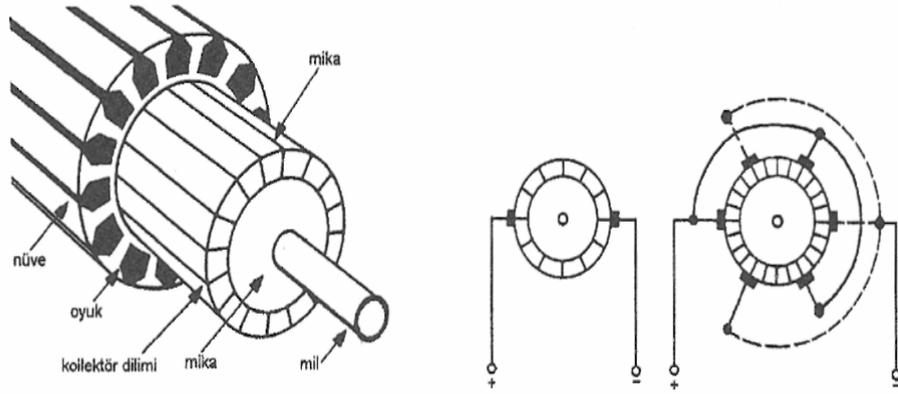
Nüve içindeki kayıpların bir kaynağı da nüve içinde değişen manyetik alanlar tarafından üretilir ve eddy akım kayıpları olarak adlandırılır. Eddy akımları demir nüve gibi omik özellik gösteren malzemeler içinden akarlar ve enerji nüve içinde harcanır. Kayıp enerji demir nüvenin ısıtılmasına gider [13].



Şekil II.11 Endüvi şekli

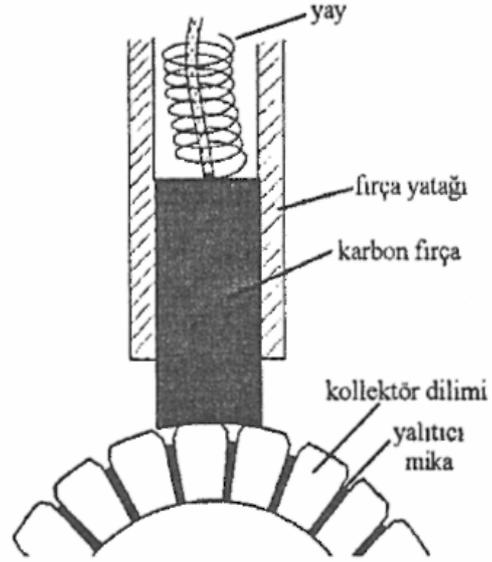
II.2.2 Kollektör Ve Fırçalar

Kollektör Şekil II.12'de ki gibi bakır dilimlerden meydana gelir. Dilimler arası mika ile yalıtılır ve makine mili üzerine monte edilir. Endüvi iletkenleri kollektöre bağlanırken büyük özen gösterilmelidir.

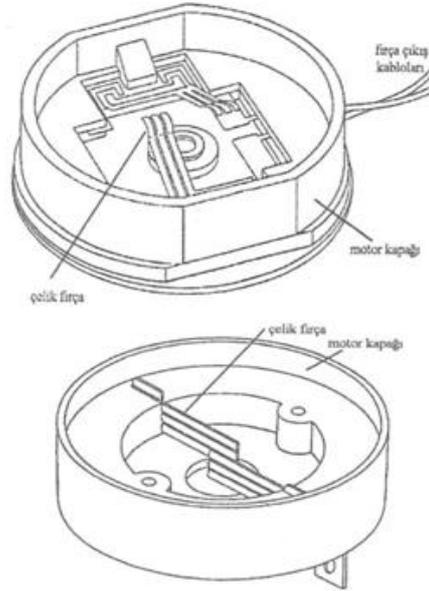


Şekil II.12 Doğru akım makine kollektörü, 2 ve 4-kutup için fırçalar

Endüvide herhangi bir simetri veya balans bozukluğu kollektör ile fırçalar arasında kabul edilemez kıvılcımlara (arklara) neden olur. Kıvılcımlar fırçaları yakar ve kollektörü karbonlaştırır. İki kutuplu makinede fırçalar dairesel olarak birbiriyle karşı karşıya yerleştirilir. Fırçalar kollektör üzerine kayarak temas ederler ve yük ile endüvi arasındaki elektrik bağlantısını sağlarlar. Şekil II.13'de gösterilen fırçalar karbondan yapılır. Çünkü karbon iyi elektrik geçirgenliğine sahiptir ve yumuşaktır. Kollektör üzerinde bozulmalara neden olmaz. İletkenliği artırmak için bazen karbon içine biraz bakır karıştırılır. Fırçaların baskısı yaylar ile ayarlanır. Eğer fırça baskısı çok büyük ise kollektör ve fırçalar arasındaki sürtünme aşırı ısınmaya neden olur. Diğer taraftan, eğer fırçaların baskısı çok zayıf ise iyi olmayan bir temas sağlanır ve ark üretilir. 10W gücün altındaki küçük DA makinelerinde Şekil II.14'da gösterilen çelik fırçalar da kullanılmaktadır [15].

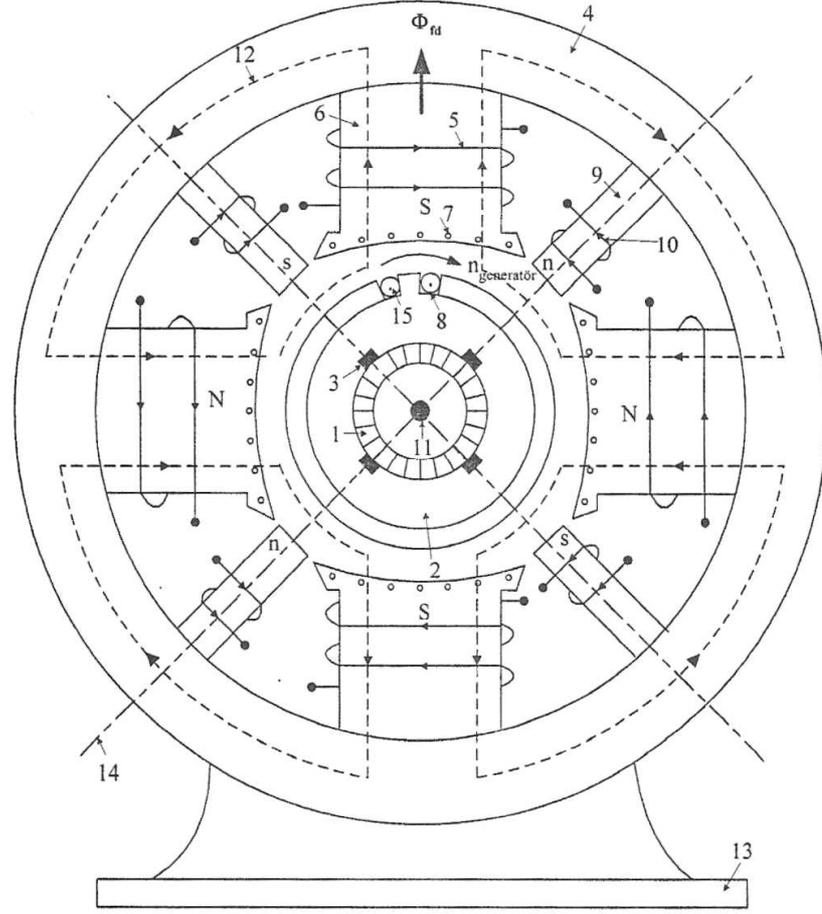


Şekil II.13 Karbon firça ve kollektör



Şekil II.14 Çelik fırçalar

Aşağıdaki şekilde 4 kutuplu, şönt uyarmalı bir doğru akım generatörünün endüvi eksenine dik bir düzlemlle kesiti verilmiştir.

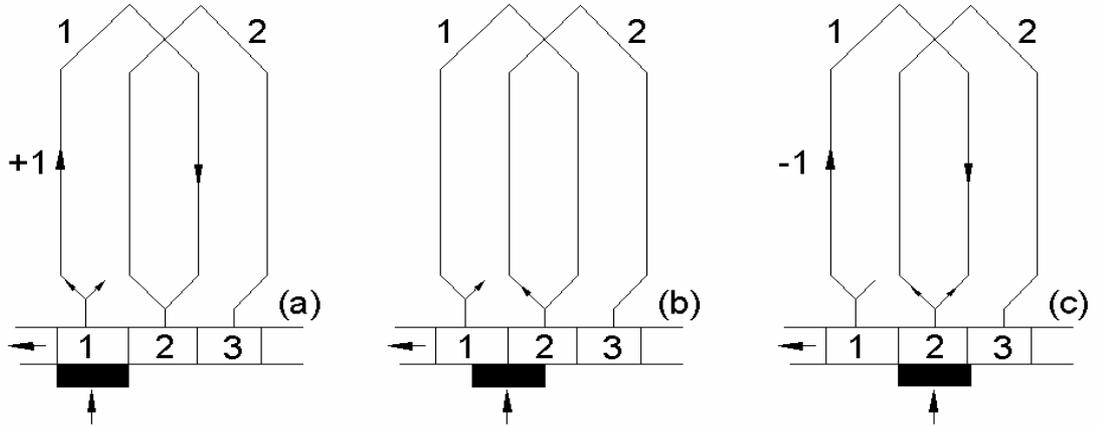


Şekil II.15 Doğru akım makinesinin yuvarlak kesiti.

- | | |
|---------------------------|------------------------------|
| 1. Kolektör | 9. Yardımcı kutup |
| 2. Rotor (endüvi) | 10. Yardımcı kutup sargıları |
| 3. Fırça | 11. Mil |
| 4. Karkas | 12. Manyetik akı yolu |
| 5. Ana kutup sargıları | 13. Ayak |
| 6. Ana kutup | 14. Nötr eksen |
| 7. Kompanzasyon sargıları | 15. Endüvi sargıları |
| 8. Oluk (ankuş) | |

II.2.3 Komitasyon

Doğru akım makinelerinde fırçaların simetri ekseninde bulunmasıyla oluşan fırça konumuna tarafsız bölge veya nötr eksen denir. Bilindiği gibi doğru akım makinelerinin endüvi sargılarından alternatif akım geçmektedir. Endüvi iletkenlerinin tarafsız bölgeden geçerken akımın yön değiştirmesi olayına komitasyon denir (Şekil II.16). Komütasyon nedeniyle fırçalarla kollektör arasında ark oluşabilir. İki komşu kollektör lameline bağlı her endüvi bobininde akımın yön değiştirmesi esnasında bir yandan fırça bu bobini kısa devre eder, öte yandan bu bobinde reaktans gerilimi denen bir özindükleme gerilimi oluşur. Reaktans gerilimi; makinenin devir sayısı ve endüvi akımıyla orantılıdır yani sabit bir değerde kalmaz, endüvi akımı ve dönme hızı ile artar. Kısa devre olan bobinde bir kısa devre akımı oluştuğundan, bu gerilim son derece zararlıdır. Buna karşı alınan etkili önlem, yardımcı kutuplar yardımıyla kısa devre olan bobinde ters yönlü bir gerilim indükleyerek onu yok etmektir [13].



Şekil II.16 (a) ve (c) Komütasyon sırasında akımın yön değiştirmesi, (b) iki komşu iletkene bağlı bir bobinin kısa devre olması

II.2.4 Endüvi Reaksiyonu

Doğru akım makinelerinde endüvi sargılarından geçen akım, manyetik devrede bir alan oluşturur. Bu alan uyarma sargılarının oluşturduğu uyarma alanını bozar ve

zayıfladır. Endüvi alanının uyarma alanı üzerine yaptığı bu olumsuz etki endüvi reaksiyonu (tepkisi) olarak adlandırılır.

Endüvi amper sarımının uyardığı endüvi alanı ve endüvi akısı fırçalar doğrultusundadır. Endüvi akısının, endüvi endüktansını büyük ölçüde belirleyen bölümü esas kutuplar altında oluşur ve devresini hava aralığından iki kez geçerek endüvi ile kutup ayakları üzerinden tamamlar. Esas kutup ve endüvi sargılarının beraber uyardıkları alan, boşta çalışmada elde edilen alandan farklıdır. Esas kutup ayakları altındaki akı dağılımı, boşta çalışmada düzenli olduğu halde yüklü çalışmada düzensizleşir. Endüvinin etkisiyle akı dağılımı bir kutup yarısında kuvvetlenirken, diğer yarısında zayıflar. Böylece oluşan alan bozulması makinenin davranışına şu etkileri yapar.

Doyma varsa faydalı akıyı, dolayısı ile

$$E_a = k_e n \phi_{fd} \quad (5)$$

ifadesine göre endüklenen gerilimi azaltır.

Generatör çalışmada;

$$V = E_a - R_a I_a \quad (6)$$

olduğundan kutup gerilimi de küçülür (ke ve n sabittir).

Tarafsız eksenin konumu, endüvi akımına göre değişir.

Motor çalışmada;

$$V = E_a + R_a I_a \quad (7)$$

ifadesine göre $V = \text{sbt.}$ olduğundan, denklem (5)'e göre n devir sayısının artmasına neden olur.

Doyma olsun ya da olmasın, hava aralığındaki akı yoğunluğu dolayısıyla lamel gerilimi bir esas kutup yarısında artar, diğerinde azalır.

Doğru akım makinelerinde fırçalar, kollektör lamelleri üzerine yerleştirilir. Fırçaların bulunduğu eksen geometrik nötr eksenidir. Bu eksen üzerinde uyarma alanının değeri sıfırdır. Dolayısıyla kollektör lamelleri ve fırçalar arasında ark meydana gelmez. Ancak endüvi reaksiyonu nedeniyle geometrik nötr eksen üzerindeki uyarma alanının değeri sıfırdan farklı olur. Endüvi alanından dolayı bu eksen üzerinde yeni bir alan şiddeti meydana gelir. Fırçaları toplam alanın sıfır olduğu yerlere yerleştirmek gerekir. Toplam alan eğrisinin sıfır olduğu noktalardan geçen eksene komitasyon eksenini denir ve fırçalar bu eksen üzerine yerleştirilir. Fırça kaydırma; generatör çalışmada dönüş yönünde, motor çalışmada ise tersi yönde yapılır. Endüvi reaksiyonu, yük akımına bağlı olarak uyarma alanına etki ettiğinden komitasyon ekseninin ve dolayısıyla fırçaların yeri yükün büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Pratikte bu mümkün olmadığından, fırçalar nominal yük akımının 2/3'üne karşılık gelen yere yerleştirilir ve değiştirilmez. Orta ve büyük güçlü makinelerde fırça kaydırma işlemi yapılmaz. Arkın meydana gelmemesi için geometrik nötr eksenini üzerine komitasyon kutupları yerleştirilir. Geometrik nötr eksen üzerinde oluşacak alan şiddeti, endüvi akımının büyüklüğüne bağlı olduğu için komitasyon kutupları üzerine yerleştirilen sargılardan endüvi akımını geçirmek amacıyla bu sargılar, endüvi sargıları ile seri bağlanarak endüvi alanına zıt yönde bir alan üretirler [13].

II.2.5 Doğru Akım Makinelerinde Eksenlerin Gösterilişi

$2p=2$ olan bir doğru akım generatörü göz önüne alalım. Endüvi sargılarından akım geçmediğini ve uyarma sargılarının da bir doğru akım kaynağından beslendiğini kabul edelim. Bu durumda meydana gelen uyarma alanı ana kutup eksenlerine göre simetriktir. Buna boyuna alan denir. Şimdi de makinenin uyarılmadığını ancak endüvi sargılarından I_a endüvi akımının geçirildiğini kabul edelim. Bu durumda meydana gelen endüvi alanı nötr bölgelerden geçen eksene göre simetrik bir alandır. Bu alana da enine alan denir.

Sonuç olarak; Şekil II.17 yardımıyla makineye ait sargıların oluşturduğu alanlar bakımından iki eksen tanımlanabilir.

II.2.5.1 Boyuna eksen (direct axis) (d):

Makinenin esas kutuplarından geçen ve esas kutupların oluşturduğu alana simetrik olan eksendir. Bu eksen üzerinde oluşan toplam alan endüvi gerilimini indükler. Bu eksen "d" indisi ile gösterilir.

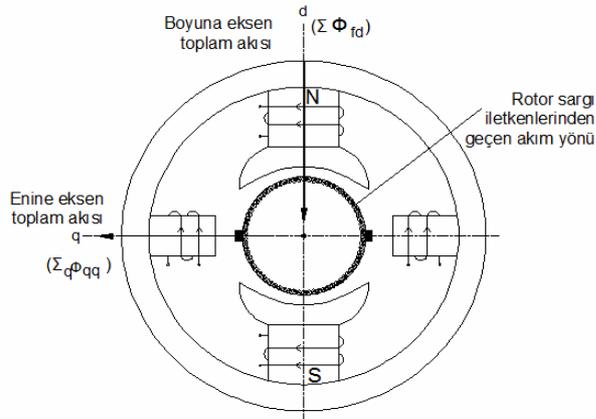
II.2.5.2 Enine eksen (quadrature axis) (q):

Makinenin fırçalarından ve yardımcı kutuplarından geçen ve boyuna eksene dik olan eksendir. Enine eksen "q" indisi ile gösterilir. Yardımcı kutupların üzerindeki sargıların oluşturduğu alan endüvi sargılarının oluşturduğu alana ters yöndedir [1].

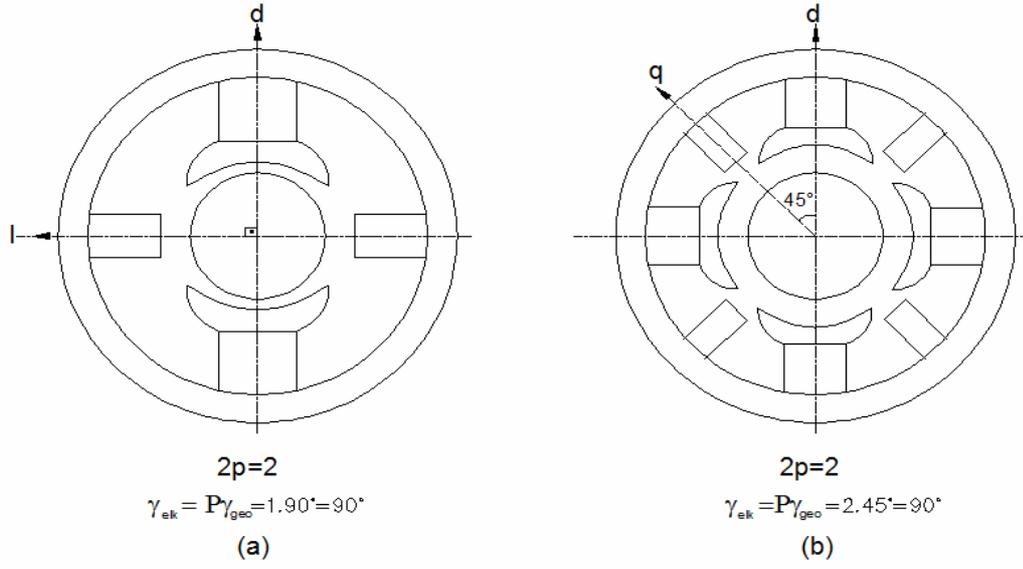
Doğru akım makinelerinde rotor çevresi etrafında bir dönüş normal olarak 2π radyanlık bir açıya karşılık gelir. Ancak rotor çevresine bağlı olarak çizilen alan değişim eğrisi bir dönüşte p çift kutup sayısı kadar periyodu tamamladığından bu dönüş, $2\pi p$ radyanlık açıya karşılık gelir. Sonuç olarak 2π geometrik açısı, $2\pi p$ elektrik açısına karşılık geldiğinden herhangi bir γ_{geo} açısının karşılığı olan elektriksel açının değeri de;

$$\gamma_{elk} = P \gamma_{geo} \quad (32)$$

olarak yazılır, d ekseni ile q ekseni arasında daima 90° 'lik bir elektriki açı olur. γ_{geo} açısı; ana kutup ile onu takip eden yardımcı kutup arasındaki açıdır (Şekil II.28).



Şekil II.17 Doğru akım makinesinin eksenlerinin gösterilişi



Şekil II.18 (a) $2p=2$ kutuplu, (b) $2p=4$ kutuplu doğru akım makinesinde açıların gösterilişi

II.3 DOĞRU AKIM MOTORLARIN ELEKTRİK DEVRE MODELLERİ VE KARAKTERİSTİKLERİ

Doğru akım (DA) (veya direct current DC) motor Doğru Akım (DA) elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirir. DA Motorları yapılarının aynı olmasından dolayı DA generatörü olarak da çalıştırılabilirler. Bu nedenle DA generatör için uygulanan modeller motor için de uygulanabilir. Model dikkate alındığında farklılık temel endüvi gerilimindedir. Generatör durumunda endüvinin ürettiği endüklenen gerilim (E_g), motor durumunda endüvide meydana gelen zıt emk ise (E_c) olarak adlandırılır [15].

II.3.1 Endüvi Devresi Modeli

DA motorunun endüvi devresi Şekil II.19'daki model ile temsil edilir. Endüviye uygulanan gerilim (V_a), zıt emk (E_c), endüvi sargısı direnci (R_a) ile temsil edilir. Kapalı devre gerilim denklemi

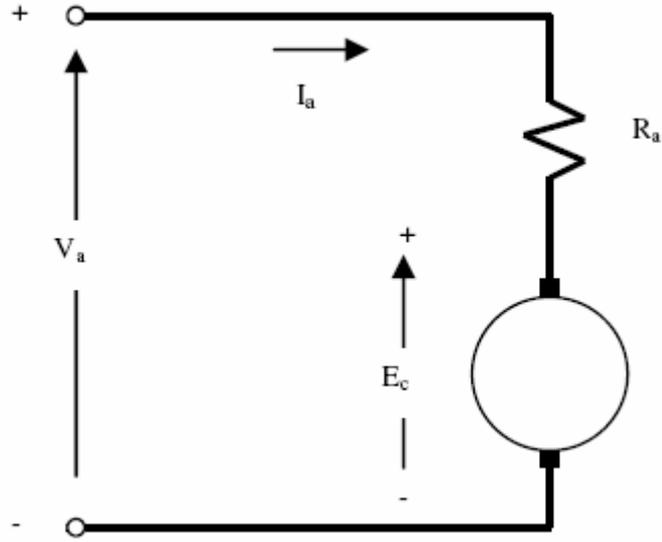
$$V_a = E_c + I_a R_a \quad (8)$$

kullanılarak endüvi akımı hesaplanır. Zıt emk; alan akısı ve endüvi açısal hızı ω veya devir sayısı n ile değişir.

$$E_c = K_1 \phi_f \omega \quad (9)$$

K_1 sabiti; endüvideki iletken sayısı, kutup sayısı gibi makine parametrelerine bağlıdır.

Motor dururken, motor devir sayısının $\omega = 0$ ve böylece yol alma başlangıcında motor zıt emk'nın $E_c = 0$ olduğu görülür.



Şekil II.19 DA motorun endüvi devresi modeli

Endüvi devresine giren güç;

$$P_{ai} = V_a I_a \quad (10)$$

endüvi güç kayıplarını ve endüvi gücünü karşılar.

$$P_{ai} = I_a^2 R_a + P_a \quad (11)$$

Endüvide üretilen güç P_a ;

$$P_a = E_c I_a \quad (12)$$

Net çıkış gücü (P_0) ise endüvi gücünden döner kayıpların (P_{rot}) çıkarılması sonucu elde edilir.

$$P_0 = P_a - P_{rot} \quad (13)$$

Net çıkış gücü motor milinden elde edilen güçtür. Newton metre (Nm) olarak çıkış momenti

$$T_0 = \frac{P_0}{\omega} \quad (14)$$

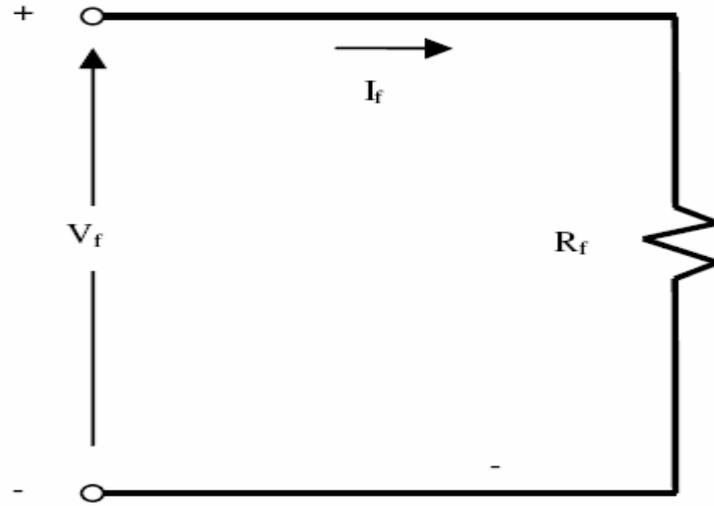
Denkleminden hesaplanır. Burada ω açısal hızdır ve birimi rad/s'dir

II.3.2 Uyartım Devresi Modeli

Doğru akım motorlarında tam bir performans analizi yapabilmek için uyartım devresinin endüvi devresine bağlantı şeklinin bilinmesi gerekmektedir. Şekil II.20' de bir uyartım devresi modeli görülmektedir.

V_f : Uyartım devresi bir DA kaynağı

R_f : Alan sargısını temsil eden direnç



Şekil II.20 DA motorun uyartım devresi modeli

Denklemler (9)'de verilen zıt emk uyartım akısına bağlıdır. Elektrik makinelerinde kullanılan manyetik malzemelerin mıknatıslanma karakteristikleri doğru akım makinelerin uyartım kutupları içinde geçerlidir. Kutupların hem doğrusal hem de doyum bölgeleri mevcuttur. Ancak uygulamalarda alan akısının uyartım akımı ile orantılı olarak değiştiği kabul etmek hesapların kolaylığı açısından yaygın bir uygulamadır.

$$\phi_f = K_2 I_f \quad (15)$$

Burada I_f uyarım akımı, ϕ_f ise kutup akısıdır. Zıt elektromotor kuvveti (emk) ise;

$$E_c = K_1 K_2 I_f \omega \quad (16)$$

olarak tanımlanır. Doğru akım motorları uyarım sargılarının bağlantı türüne göre;

1. Doğru akım (DA) seri motoru
2. Doğru akım şönt motoru
3. Kompunt motorlar
 - a. Eklemeli kompunt motor
 - b. Eksiltmeli kompunt motor
4. Sabit mıknatıslı Permanent magnet (PM)) doğru akım motoru

olarak sınıflandırılır. Bu çalışmada uyarım devresi için fazladan bir enerji ihtiyacı olmaması ve hız kontrolünün kolay yapılabilmesi için sürekli mıknatıslı (PM) doğru akım motoru kullanılmıştır [15].

II.4 DOĞRU AKIM MOTORLARININ HIZ KONTROLÜ

Doğru akım motorunun hız kontrolü üç yöntemle yapılabilmektedir. Bunlardan biri olan endüvi direncinin değiştirilmesi ile yapılacak hız kontrolü, endüvi devresine ilave edilecek dirençlerle sağlanırken, verimi önemli oranda düşürmesinden ve hız kontrolünün geniş sınırlar arasında yapılamamasından dolayı, tercih edilen bir yol değildir. Bu nedenle doğru akım motorunun hız kontrolü genellikle iki şekilde yapılır [16].

Endüvi gerilimi ile hız kontrolü

Alan akısının (ya da akımı) ile hız kontrolü

Birçok uygulamada DA motor devir sayısının geniş sınırlar içinde ayarlanması gerekir. Bunun için birkaç yöntem vardır. Genel kontrol prensipleri ise temel ilişkilerden elde edilmektedir. Zıt emk ve motor açılma hızı;

$$E_c = V_a - I_a R_a \quad (17)$$

$$E_c = K_1 \phi_f \omega \quad (18)$$

$$\omega = \frac{V_a - I_a R_a}{K_1 \phi_f} \quad (19)$$

Endüviye uygulanan gerilim değişirse motor hızı da değişir. Ayrıca alan akısındaki değişiklik de motor hızının değişmesine sebep olur. Bu iki değişkeni ayarlamak için DA gerilim kaynağı ve ayarlanabilir direnç (reosta) kullanılabilir.

II.4.1 Seri Motorların Hız Kontrolü

DA seri motorların hızını ayarlamak için çeşitli yöntemler kullanılabilir.

- Seri dirençle endüvi gerilimi kontrolü
- Şönt dirençle alan akımı kontrolü
- Seri dirençlerle endüvi ve alan akımlarının kontrolü
- Seri alan sargısına şönt direnç bağlamak
- Ayarlı gerilimli kaynaklar.

Bu yöntemlerin bazıları teorik olarak mümkün olmasına rağmen pratikte tercih edilmemektedir. Burada seri direnç ve ayarlı gerilimli kaynak üzerinde kısaca durulacaktır [15].

II.4.1.1 Seri Dirençle Endüvi Gerilimi Kontrolü

Motor devresine ayarlı seri direnç bağlanarak hız kontrolü yapılmasına ilişkin şema Şekil II.21'de verilmiştir. Burada seri direnç gerilim bölücü olarak görev yapar

ve direnç değeri ayarlanarak istenen gerilim motora uygulanmaktadır. Seri direncin (R_s) etkisi moment-hız eğrisinden görülebilir. R_b direnci bağlı değilken moment denklemi;

$$T_a = \frac{K_1 K_2 V_T^2}{[K_1 K_2 \omega_A + (R_a + R_s)]^2} \quad (20)$$

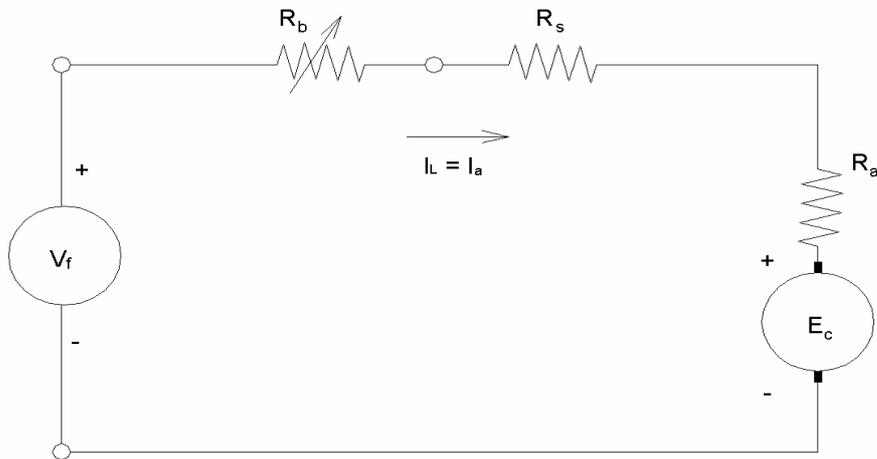
R_b direnci bağlı değilken moment denklemi;

$$T_a = \frac{K_1 K_2 V_T^2}{[K_1 K_2 \omega_B + (R_a + R_s + R_b)]^2} \quad (21)$$

R_b direncinin değerinin artması durumunda moment-hız karakteristiği kötüleşmektedir. Aynı moment için hız;

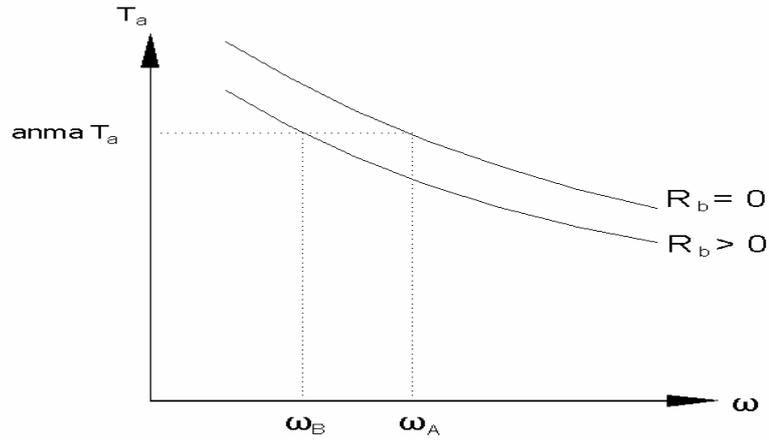
$$K_1 K_2 \omega_A + (R_a + R_s) = K_1 K_2 \omega_B + (R_a + R_s + R_b) \quad (22)$$

$$\omega_B = \omega_A - \frac{R_b}{K_1 K_2} \quad (23)$$



Şekil II.21 Seri direnç ile seri motor hız kontrolü

Şekil II.22'deki eğrilerden görüleceği üzere ilave ayarlı seri direnç kullanılmaksızın elde edilen açısıl hız ω_A , ayarlı direncin devrede olduğu durumdaki ω_B değerinden daha yüksektir [15].



Şekil II.22 Ayarlı seri direncin moment-hız eğrisine etkisi

II.4.1.2 Ayarlı Gerilim Kaynakları

Moment-Hız karakteristiği kaynak gerilimi ayarlanarak değiştirilebilir. Bu işlem yarı iletken sürücülerle kolaylıkla gerçekleştirilebilir.

II.4.2 Şönt Motorların Hız Kontrolü

DA şönt motorunun hız kontrolü için birçok yöntem vardır. Bunlar;

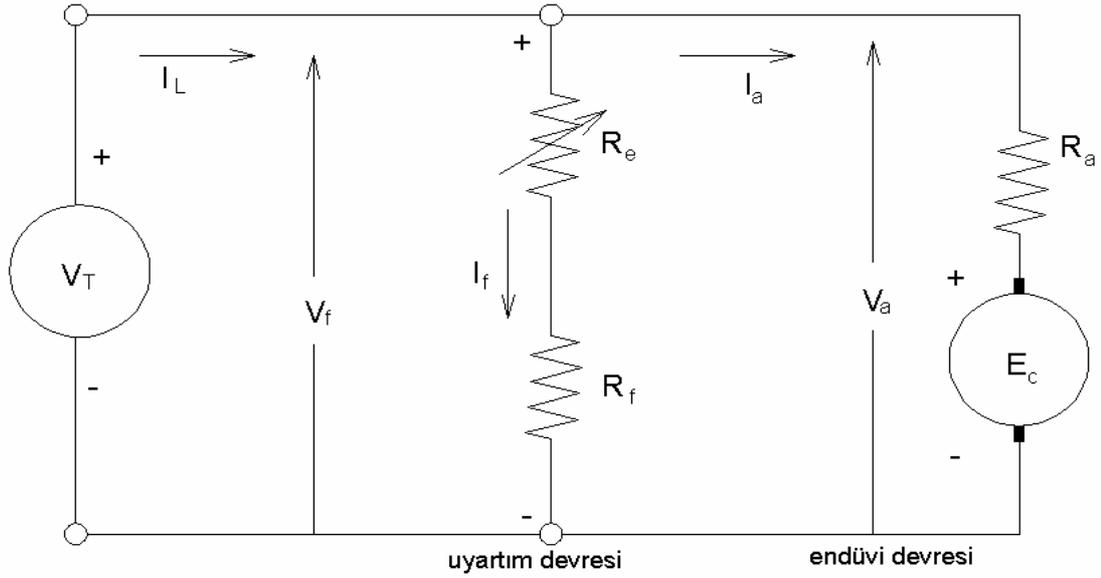
Seri dirençle alan akımı kontrolü

Seri dirençlerle endüvi ve alan akımlarının kontrolü

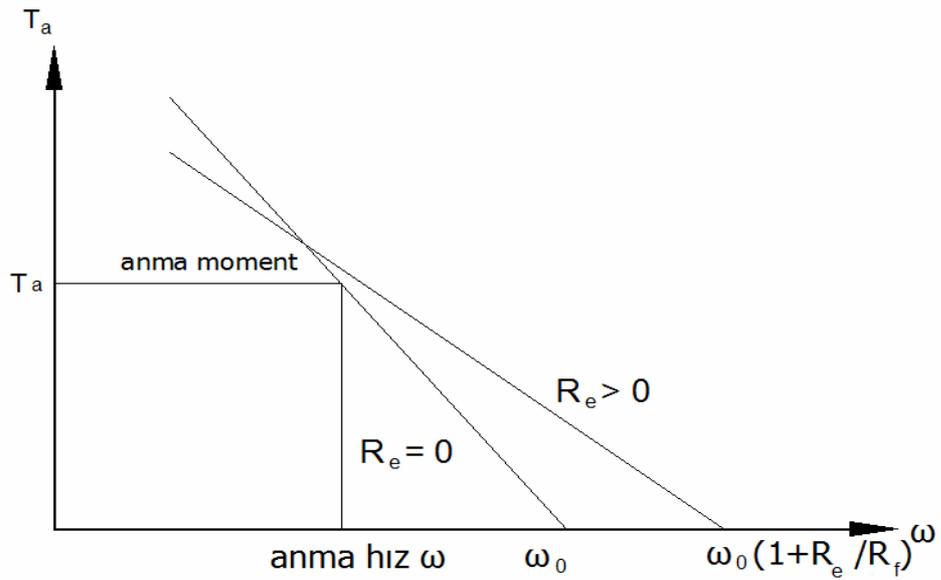
Ayarlı gerilimli kaynakları

II.4.2.1 Seri Dirençle Alan Akımı Kontrolü

Şekil II.23'deki gibi alan sargısına ayarlı bir direnç (R_e) seri bağlanarak alan direnci artırılır ve böylece alan akımı azaltılır. Bu işlem sonucunda elde edilen moment-hız karakteristiği Şekil II.24'deki gibi yine düz bir hat şeklindedir. İlave R_e direncinin etkisi moment sıfır iken hızı artırır ve ayrıca anma yükünde de motor hızı daha yüksektir [15].



Şekil II.23 DA şönt motorun alan direnç kontrolü

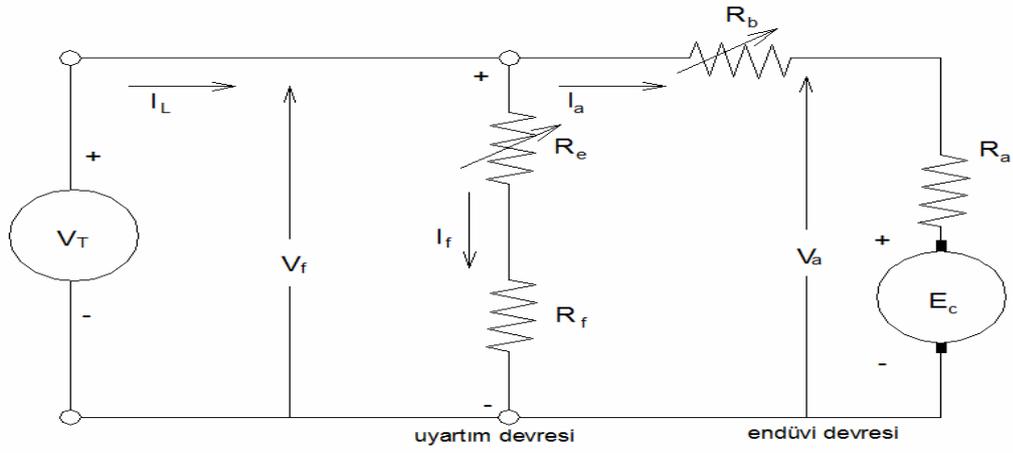


Şekil II.24 DA şönt motor hızının alan direnci ile ayarı

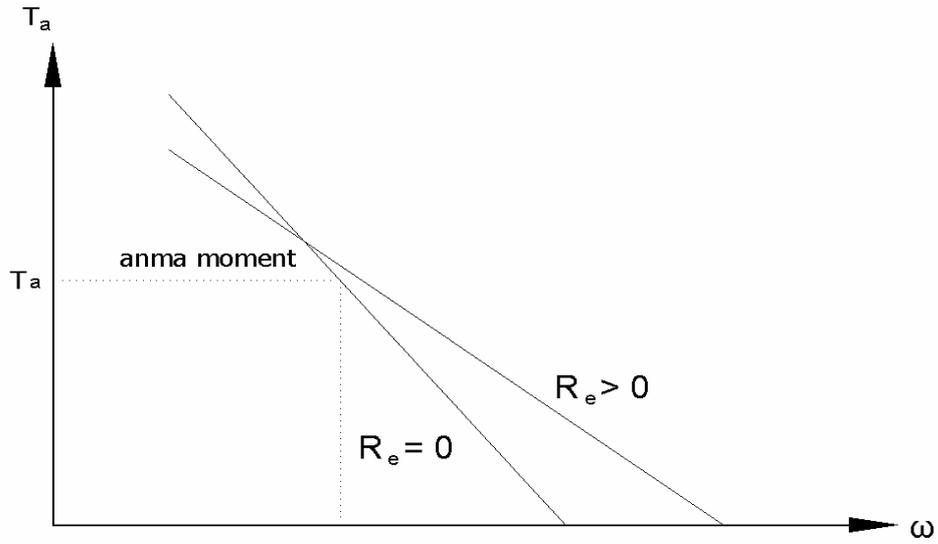
II.4.2.2 Seri Dirençlerle Endüvi ve Alan Akımlarının Kontrolü

Sekil II.25'deki gibi ayarlı dirençler şönt sargıya ve endüvi devresine seri bağlanırlar. Bu yöntemde hem alan devresi direnci hem de endüvi devresi direnci ayarlanabilmektedir. Şönt motorun hız ayarına ayarlı R_b direncinin etkisi Şekil

II.26'da gösterilmiştir. Eğer R_b direnci sürekli devrede kalırsa moment-hız karakteristiği kötüleşir [15].



Şekil II.25 Alan ve seri endüvi dirençleri ayarı ile hız kontrolü



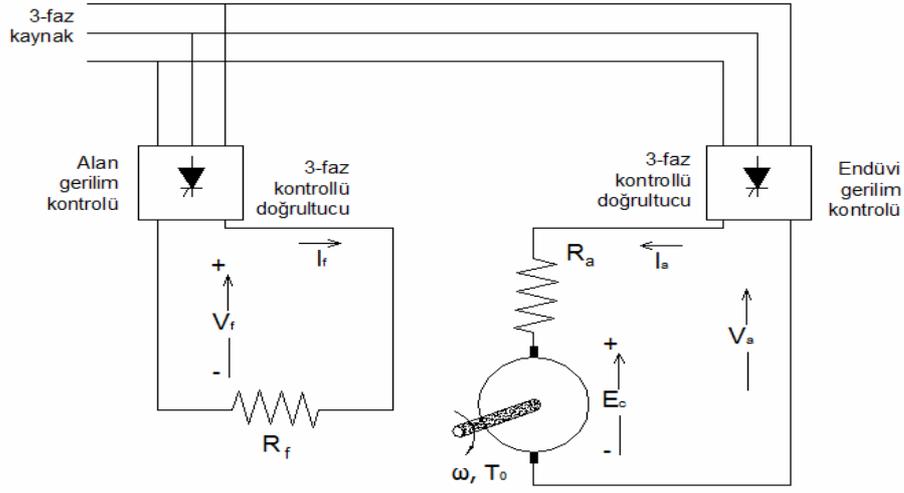
Şekil II.26 Şönt ve seri endüvi dirençlerinin kontrolü

II.4.2.3 Ayarlı Gerilimli Kaynaklar

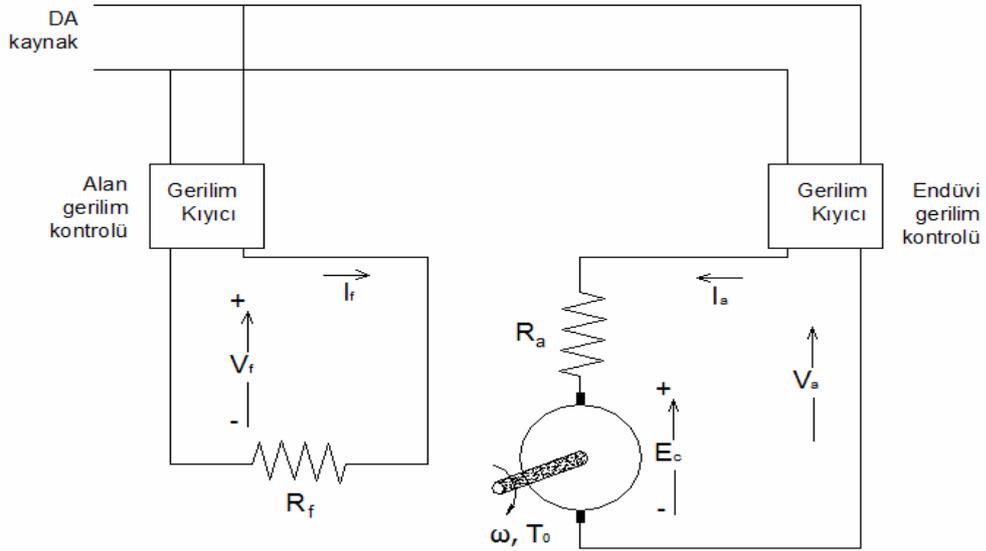
Endüvi ve alan devresi gerilimleri yarıiletken kontrollü ayarlı gerilim kaynakları tarafından beslenerek hız kontrolü yapılabilir.

II.4.3 Ayarlanabilir-Hızlı Doğru Akım Motor Sürücüleri

Geçmişte endüstriyel uygulamalar için ayarlanabilir-hızlı DA motor sürücü talepleri, sabit alan akılı ve ayarlanabilir endüvi gerilimli DA motorları tarafından karşılanmıştır. Yabancı uyartımlı DA motorun AA-DC ve DA-DA hız sürücüleri sırası ile Şekil II.27'de verilmiştir [3].



(a) AA-DA sürücü



(b) DA-DA sürücü

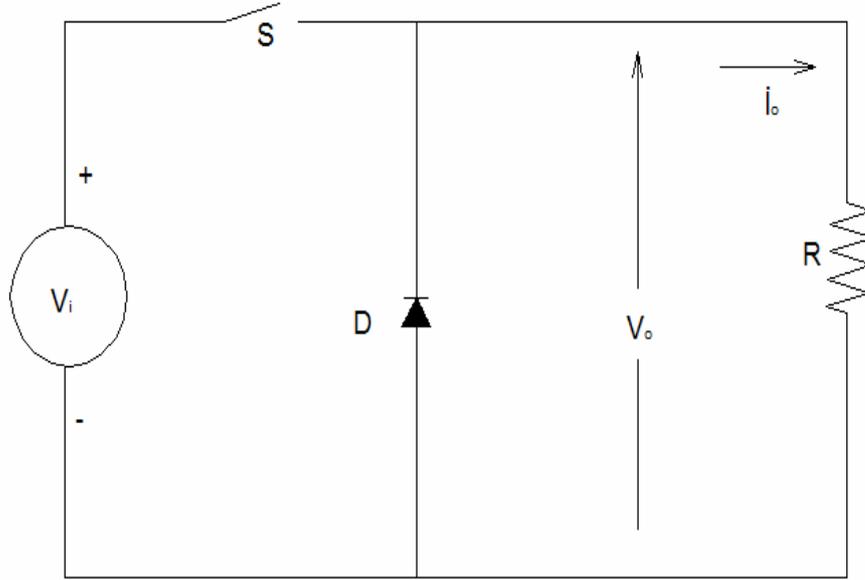
Şekil II.27 Yabancı uyartımlı DA motorlar için ayarlanabilir hız sürücüleri

II.4.4 DA-DA Sürücüler

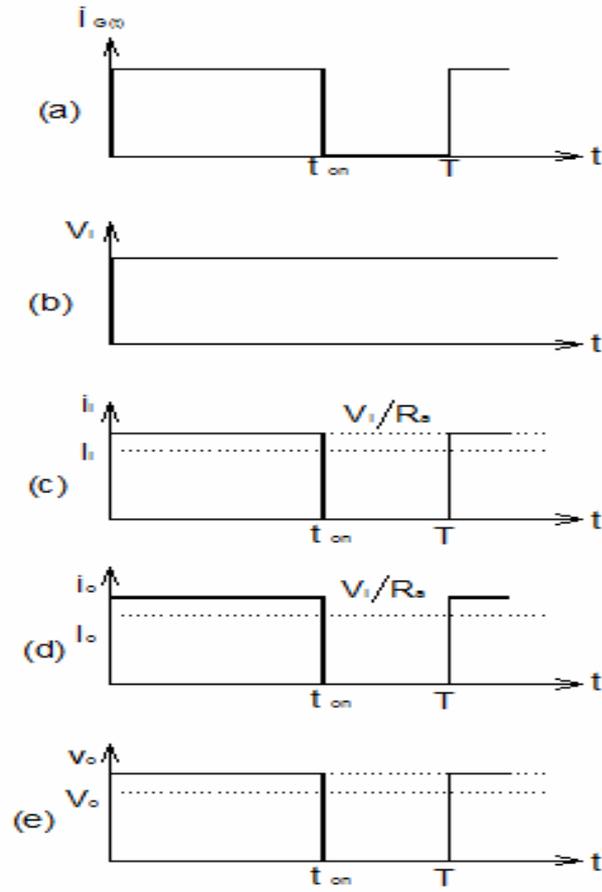
Taşımacılıkta, elektrik tenleri, elektrikli taşıtlar elektrikli vinçler gibi uygulamalarda elektrik motorlarını beslemek için ayarlı DA kaynağı kullanılır. Sabit gerilimli bir DA kaynaktan ayarlanabilir ortalama değeri olan bir DA elde etmek için DA-DA kıyıcı (chopper) kullanılır.

II.4.4.1 DA-DA Kıyıcılar (Choppers)

Sabit gerilimli bir DA kaynaktan ayarlanabilir ortalama değeri olan bir DA elde etme tekniğine DA-DA kıyıcı (chopper) denir. Bir kıyıcının ana fonksiyonu Şekil II.28’de görüldüğü gibi sabit DA kaynağını S anahtarı ile alternatifli olarak devreye bağlamak ve devreden çıkarmaktır.



Şekil II.28 Temel bir kıyıcı devresi



Şekil II.29 Kıyıcının giriş-çıkış akım ve gerilim dalga şekilleri

Buradaki S anahtarı yerine tristör veya transistör kullanılabilir. Yük olarak da omik yük tercih edilmiştir. Şekil II.29'de kıyıcı giriş-çıkış dalga şekilleri verilmiştir. Kaynak gerilimi V_i bir S anahtarı ile her bir T Periyodunda t_{on} süresince omik yüke bağlanır. Giriş gerilimi $v_{i(t)}$ değeri sabit olup V_i genliğindedir t_{on} süresince anahtar kapalı olduğu için çıkış gerilimi kaynak gerilimine eşit olur $v_o(t) = V_i$ ve dolayısıyla çıkış akımı $i_o(t) = V_i/R$ olur $t_{on} < t \leq T$ süresince anahtar açık olduğu için çıkış gerilimi $v_o(t) = 0$ olur ve dolayısıyla çıkış akımı da $i_o(t) = 0$ olur. Bir periyotluk süre için gerilim ve akım değerleri

$$v_{o(t)} = \begin{cases} V_i & ; \quad 0 < t \leq t_{on} \\ 0 & ; \quad t_{on} < t \leq T \end{cases} \quad (24)$$

$$i_{o(t)} = \begin{cases} V_i/R ; & 0 < t \leq t_{on} \\ 0 & ; t_{on} < t \leq T \end{cases} \quad (25)$$

olarak yazılabilir. Şekil II.30 (c)'de görüleceği üzere giriş ve çıkış akımı birbirine eşittir [15].

$$i_{i(t)} = i_{o(t)} \quad (26)$$

$v_{o(t)}$ çıkış geriliminin T periyodundaki ortalama değeri;

$$V_o = \frac{1}{T} \int_0^T v_{o(t)} dt = \frac{1}{T} \int_0^{t_{on}} V_i dt \quad (27)$$

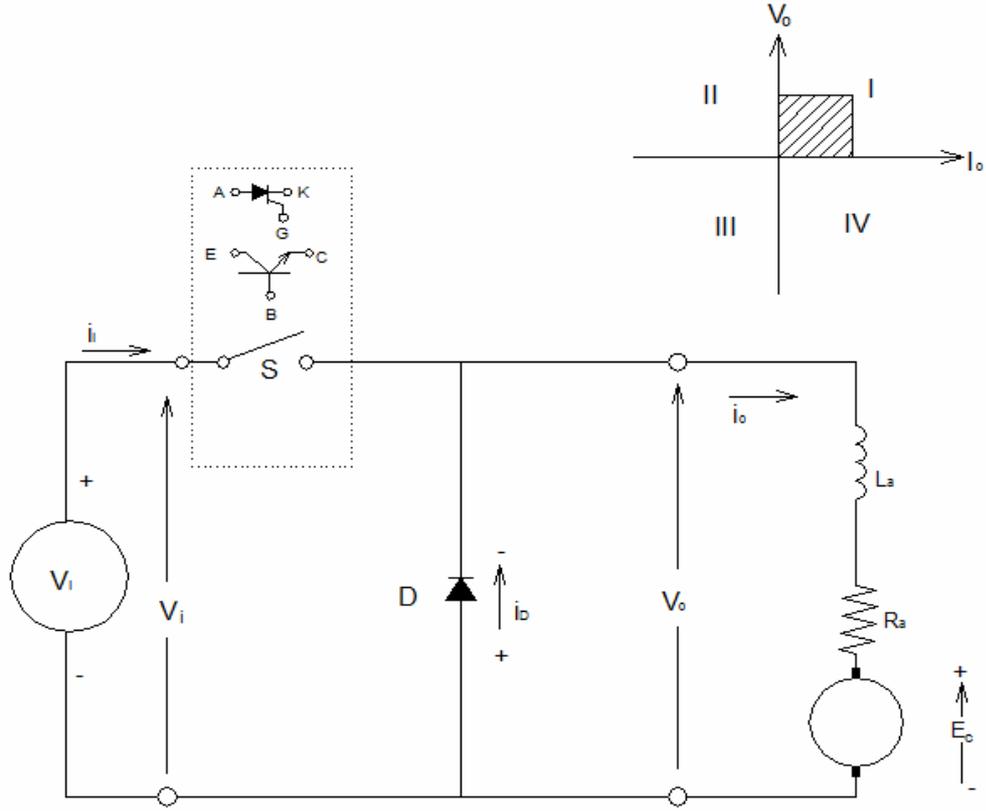
$$V_o = \frac{t_{on}}{T} V_i \quad (28)$$

Çıkış akımının ortalama değeri;

$$I_o = \frac{V_o}{R} \quad (29)$$

II.4.4.2 Bir Bölge Kırıyıcı İle DA Motor Hız Kontrolü

Kırıyıcı tekniğinin kullanıldığı DA-DA sürücüler direnç kontrollü şemalara etkili bir alternatif olmuştur. Direnç kullanılarak yapılan hız kontrolünde meydana gelen aşırı ısı kayıplarından yarıniletken güç kontrolü kullanılarak oluşan bu ısı kaybı ortadan kaldırılmış olur. Şekil II.30'de yabancı uyarımlı DA motorun endüvi gerilimi kontrolü için tipik bir kırıyıcı şemasını göstermektedir.



Şekil II.30 Bir bölgeci kıyıcı ile endüvi gerilimi kontrolü

Şekildeki S anahtarı yerine güç yarıiletkenlerinden tristör veya transistör kullanılır. Yarıiletken DA-DA kıyıcılarda tristörlerin veya transistörlerin iletim zaman aralığı (t_{on}) değiştirilerek motor endüvisine uygulanan gerilim ayarlanabilir [15].

$$V_a = E_c + R_a i_o + L_a \frac{di_o}{dt} \quad (30)$$

Devrenin zaman sabiti;

$$\tau = \frac{L_a}{R_a} \quad (31)$$

Buradan;

$$\frac{di_o}{dt} + \tau i_o = \frac{V_o - E_c}{R_a} \quad (32)$$

Elde edilir. $t=0^+$ anında i_o akımının başlangıç değeri olarak I_{min} değerine sahip olduğu kabul edilirse ve S anahtarı $t=0$ anında kapatılır ve $t=t_{on}$ oluncaya kadar kapalı kalırsa $V_o = V_i$ olur.

$t > 0$ durumunda çıkış akımı;

$$i_{o(t)} = I_{min} e^{-t/\tau} + \frac{V_i - E_c}{R_a} (1 - e^{-t/\tau}) \quad 0 < t < t_{on} \quad (33)$$

olarak ifade edilir. Zaman artarken i_o akımının üstel olarak arttığı görülmektedir.

$t=t_{on}$ olduğunda anahtar açılır, bu durumda çıkış akımının alacağı değer I_{max} olarak tanımlanır. Zamanın bu değerindeki çıkış akımının ani değerinin ifadesi;

$$i_{o(t_{on})} = I_{max} = I_{min} e^{-t_{on}/\tau} + \frac{V_i - E_c}{R_a} (1 - e^{-t_{on}/\tau}) \quad (34)$$

$t > t_{on}$ olduğunda anahtar açıktır, fakat endüvi devresinde depolanan enerji diyotu iletime geçirerek kapalı bir yol oluşturur. Diyot iletimde olduğu için çıkış gerilimi $V_o=0$ olur. Bu durumda çıkış devresi gerilim denklemi ise;

$$\tau \frac{di_o}{dt} + i_o = \frac{-E_c}{R_a} \quad (35)$$

Sargı akımı sürekli olduğu için çıkış akımı

$$i_o(t_{on}) = I_{max} \quad (36)$$

olur. t anındaki çıkış akımı;

$$i_{o(t)} = I_{max} e^{-(t-t_{on})/\tau} - \frac{E_c}{R_a} (1 - e^{-(t-t_{on})/\tau}) \quad (37)$$

zaman artarken i_o akımı üstel olarak azalır.

$t=T$ anında S anahtarı kapatılır, bu anda çıkış akımının başlangıç değeri yeniden I_{min} olur ve

$$i_{o(T)} = I_{\min} = I_{\max} e^{-(T-t_{on})/\tau} - \frac{E_c}{R_a} (1 - e^{-(T-t_{on})/\tau}) \quad (38)$$

olarak ifade edilir.

Denklem (34) ve (38)'den I_{\max} ve I_{\min} değerleri hesaplanabilir.

$$I_{\max} = \frac{V_i}{R_a} \left(\frac{1 - e^{-t_{on}/\tau}}{1 - e^{-T/\tau}} - \frac{E_c}{V_i} \right) \quad (39)$$

$$I_{\min} = \frac{V_i}{R_a} \left(\frac{e^{-t_{on}/\tau} - 1}{e^{-T/\tau} - 1} - \frac{E_c}{V_i} \right) \quad (40)$$

$t_{on}=T$ olduğunda

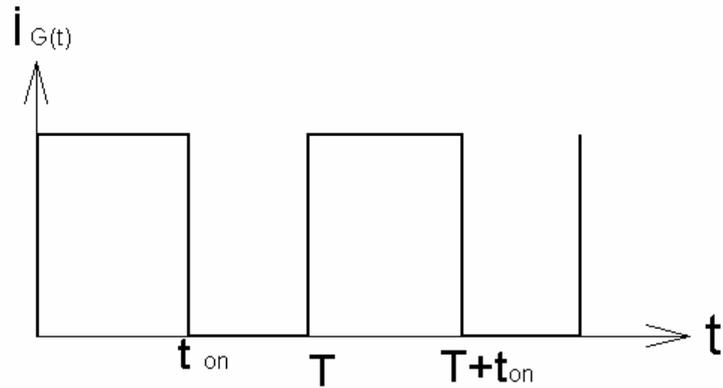
$$I_{\min} = I_{\max} = \frac{V_i}{R_a} - \frac{E_c}{R_a} = \frac{V_i - E_c}{R_a} \quad (41)$$

I_{\min} değerinin sıfır olması için t_{on} süresinin alacağı kritik değere t_{on}^* denilecektir ve t_{on}^* değeri

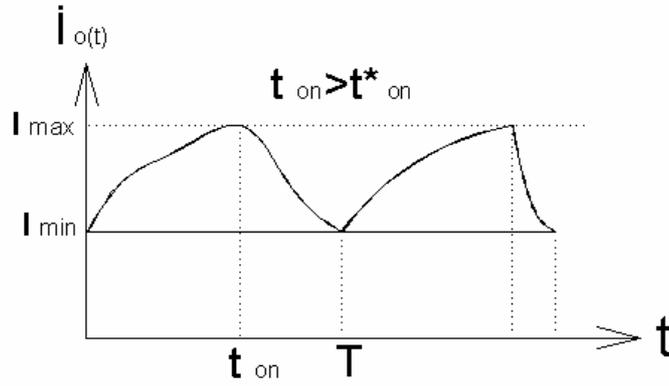
$$t_{on}^* = \tau \ln \left[1 + \frac{E_c}{V_i} (e^{T/\tau} - 1) \right] \quad (42)$$

t_{on} değeri, kritik t_{on}^* değerinden büyük ya da küçük olabilir. Bu iki durum incelenirse;

İlk durumda $t_{on} > t_{on}^*$ ve I_{\min} değeri pozitiftir.



(a)



(b)

Şekil II.31 Temel kıyıcı devresinin sürekli akım modu çalışmasındaki dalga şekilleri (a) Tristör geyt akımı sinyali (b) çıkış akımı

İkinci çalışma modunda $t_{on} > t_{on}^*$ ve I_{min} değeri sıfırdır. $0 < t < t_{on}$ için i_o çıkış akımı denklemi (33) ile belirlenir.

$$i_{o(t)} = \frac{V_i - E_c}{R_a} (1 - e^{-t/\tau}) \quad 0 < t < t_{on} \quad (43)$$

i_o çıkış akımının maksimum değeri (43) veya (34)'da $I_{min}=0$ yapılarak denklem (44)'deki gibi elde edilir.

$$i_o(t_{on}) = I_{max} = \frac{V_i - E_c}{R_a} (1 - e^{-t_{on}/\tau}) \quad (44)$$

$t > t_{on}$ durumu için çıkış akımı; (37 ve 44)'dan

$$i_o(t) = \frac{V_i - E_c}{R_a} (1 - e^{-t_{on}/\tau}) e^{-(t-t_{on})/\tau} - \frac{E_c}{R_a} (1 - e^{-(t-t_{on})/\tau}) \quad t < t_{on} \quad (45)$$

Denklem (35)'a göre $i_o(t)$ akımı azalır ve t_x anında sıfır olur. Bu denklemde çıkış akımı sıfır yapılarak t_x değeri hesaplanabilir.

$$0 = \frac{V_i - E_c}{R_a} (1 - e^{-t_{on}/\tau}) e^{-(t-t_{on})/\tau} - \frac{E_c}{R_a} (1 - e^{-(t-t_{on})/\tau})$$

$$t_x = \tau \ln \left[1 + \frac{V_i}{E_c} (e^{t_{on}/\tau} - 1) \right] \quad (46)$$

Çıkış akımı $i_o(t)$, $t > t_x$ durumundan itibaren tristörün ilettime geçtiği $t=T$ oluncaya kadar sıfır olarak kalır.

Şekil II.30'deki devreye göre tristör iletimde iken çıkış gerilimi kaynak gerilimine eşit olur.

$$v_o(t) = V_i \quad 0 < t < t_{on} \quad (48)$$

t_{on} anından hemen sonra tristör kesime, diyot ise ilettime geçer. Diyotun iletimi t_x anına kadar sürer. Bu durumda yük uçları diyot tarafından kısa devre edilir ve çıkış gerilimi;

$$v_o(t) = 0 \quad t_{on} < t < t_x \quad (49)$$

sıfır olur. Periyodun kalan kısmında ise akım sıfır olduğu için v_o çıkış gerilimi, E_c zıt emk gerilimine eşit olur.

$$v_o(t) = E_c \quad t_x < t < T \quad (50)$$

Çıkış geriliminin ortalama değeri V_o :

$$V_o = \frac{1}{T} \left[\int_0^{t_{on}} V_i dt + \int_{t_x}^T E_c dt \right] \quad (51)$$

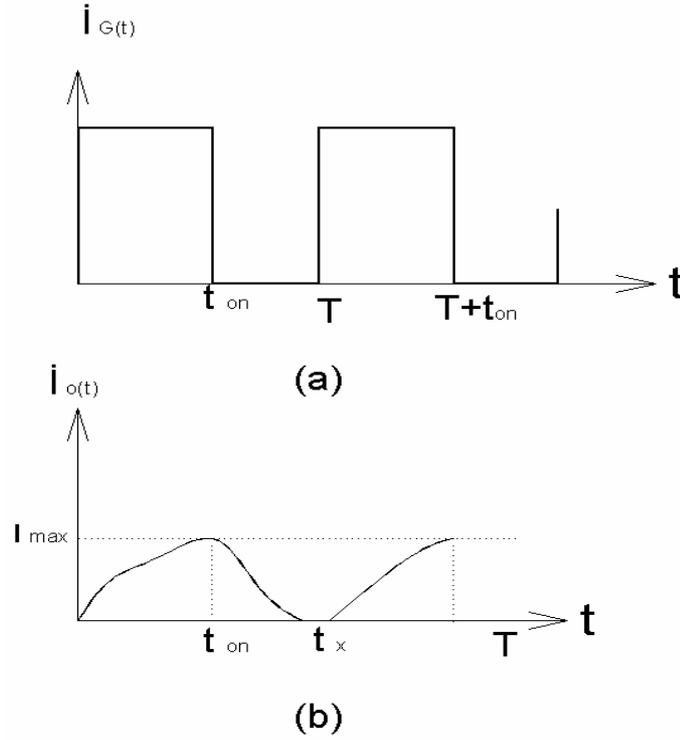
$$V_o = \frac{t_{on}}{T} V_i + \frac{T - t_x}{T} E_c \quad (52)$$

Sürekli-akım modunda $t_x = T$ olduğundan çıkış akımının ortalama değeri denklem (53)'den hesaplanabilir.

$$I_o = \frac{V_o - E_c}{R_a} \quad (53)$$

Denklem (52) ve (53)'den çıkış akımının ortalama değeri;

$$I_o = \left(\frac{t_{on}}{T} V_i + \frac{t_x}{T} E_c \right) \frac{1}{R_a} \quad (54)$$



Şekil II.32 Temel kıyıcı devresinin süreksiz akım modundaki çalışmasının dalga şekilleri (a) Tristör geýt akımı sinyali (b) çıkış akımı

I. Bölgede (sabit-moment bölgesi):

Ortalama çıkış momenti

$$T_o = K_1 \phi_f I_a \quad (55)$$

Olarak yazılır ve bu bölgede alan akısı sabit tutulur. Zıt emk;

$$E_c = K_1 \phi_f \omega \quad (56)$$

Buradan motor hızı;

$$\omega = \frac{t_{on}}{t_x} \frac{V_i}{K_1 \phi_f} - \frac{R_a}{(K_1 \phi_f)^2} \frac{T}{t_x} T_o \quad (57)$$

Şeklinde ifade edilir. Sürekli-akım modundaki çalışmada $t_{on} > t_{on}^*$ ve $t_x = T$ olur.

Bu durumda denklem (57) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\omega = \frac{(t_{on} / T)V_i - (R_a / K_1 \phi_f)T_o}{K_1 \phi_f} \quad (58)$$

II. Bölgede (sabit-moment bölgesi):

Bir-bölgeli kıyıcı ile uyarım (alan) devresinin kontrolünde, uyarım devresi seri RL modeli ile temsil edildiği için bu analizde $E_c = 0$ yapılacaktır. Denklem (42)'de $E_c = 0$ yapıldığında, herhangi bir t_{on} zamanında akımın sürekli olduğu görülür. Denklemler (52-53)'den uyarım akımının ortalama değeri; [15]

$$I_{fb} = \frac{t_{on}}{T} \frac{V_{fi}}{R_f} \quad (59)$$

V_{fi} = Uyarım devresi gerilimi

II. bölge için ortalama motor hızını veren denklem ise;

$$\omega = \frac{P_a}{K_1 K_2 I_a I_{fb}} \frac{T}{t_{on}} \quad (60)$$

Burada kullanılan i_{fb} temel uyarım akımının $t_{on} = T$ için değeri, Denklem (59)'den

$$I_{fb} = \frac{V_{fi}}{R_f} \quad (61)$$

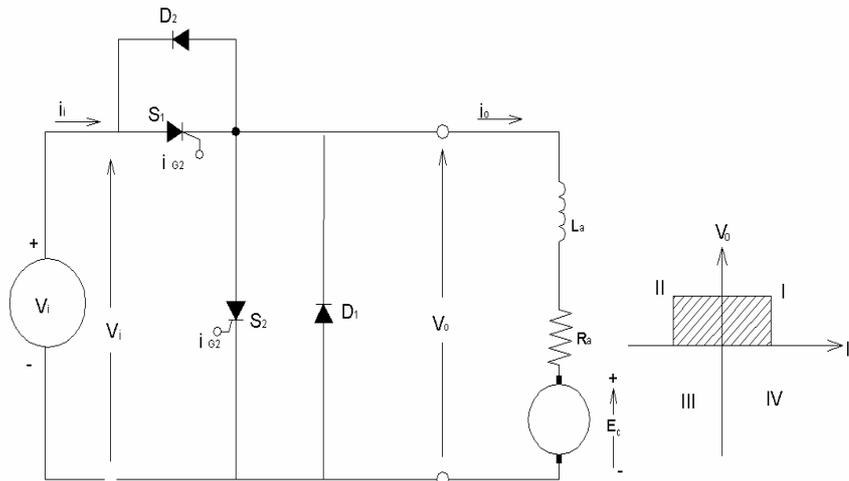
II.4.4.3 İki-Bölgeli Kıyıcılar

Şekil II.30'de gösterilen bir-bölgeli kıyıcı devresine S_2 tristörü ve D_2 diyotu Şekil II.33'deki gibi bağlanırsa, çıkış akımı artık negatif değerde alınabilir. S_1 tristörünün geýt'ine i_{G1} akım sinyali T periyodunun t_{on} süresince uygulanır. S_1 tristörü kesime geçildiğinde S_2 tristörüne i_{G2} akım sinyali uygulanır. i_{G2} sinyali de aynı T periyoduna sahiptir, fakat sinyal süresi $(T-t_{on})$ 'dur. Devrenin çalışması çıkış akımının işareti ve tristörlerin iletim veya kesim durumlarına göre aşağıda açıklandığı gibidir [15].

Pozitif çıkış akımı: izleyen durumlarda bir-bölgeli kıyıcı olarak çalışır.

Eğer S_1 iletimde ve yük akımı S_1 tristörü üzerinden kaynaktan sağlanırsa, S_2 kesimde olduğu için $i_o = i_i$ olur.

Eğer S_1 kesimde ve i_o akımı D_1 diyotu üzerinden devresini tamamlarsa kaynak akımı $i_i = 0$ olur.



Şekil II.33 İki bölgeli kıyıcı temel devresi

Negatif çıkış akımı: Bu durumda iki-bölgeli kıyıcı olarak çalışır.

Eğer S_1 iletimde, S_2 kesimde akım yükten kaynağa doğru D_2 üzerinden akarsa, $i_i = i_o$ olur.

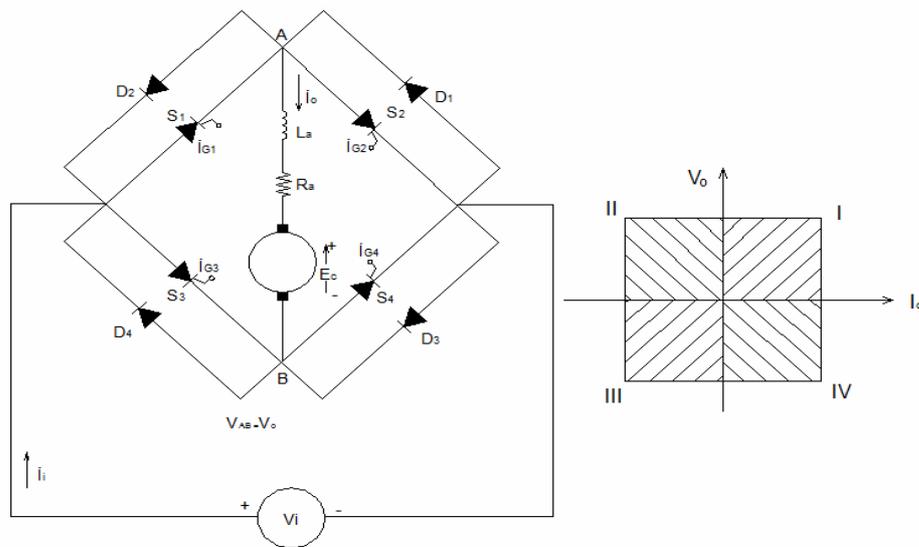
Eğer S_1 kesimde, S_2 iletimde ve i_o yük akımı S_2 tristörü üzerinden devresini tamamlarsa, kaynak akımı $i_i=0$ olur.

İki bölgeyi kısıyıcı devresi iki adet bir-bölgeyi kısıyıcıdan oluşmakta ve sadece sürekli-akım modunda çalışmaktadır. Yük akımının süreksiz olmasına izin vermemektedir. İki-bölgeyi kısıyıcı devresinin çalışması bir-bölgeyi kısıyıcının sürekli akım modu için elde edilen denklemler kullanılarak analiz edilebilir [15].

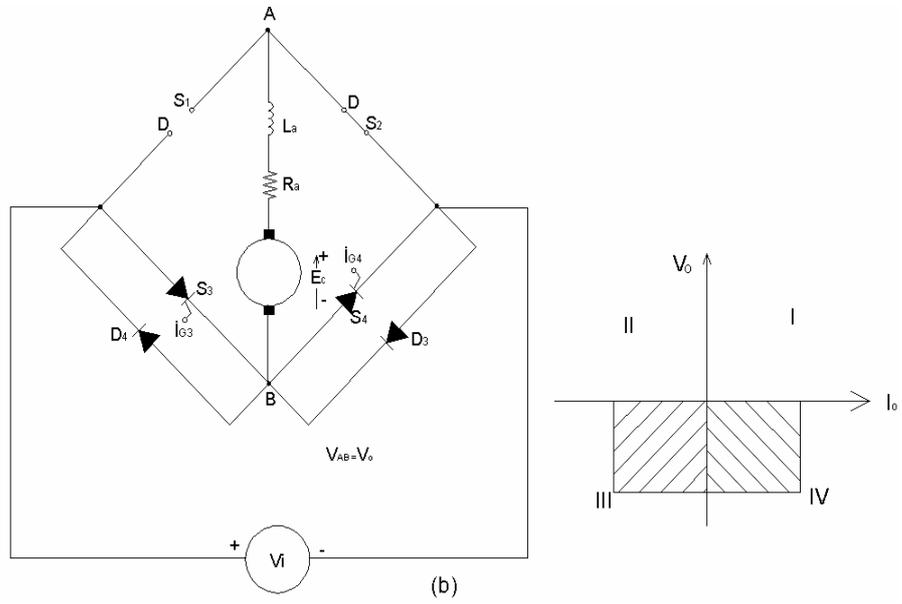
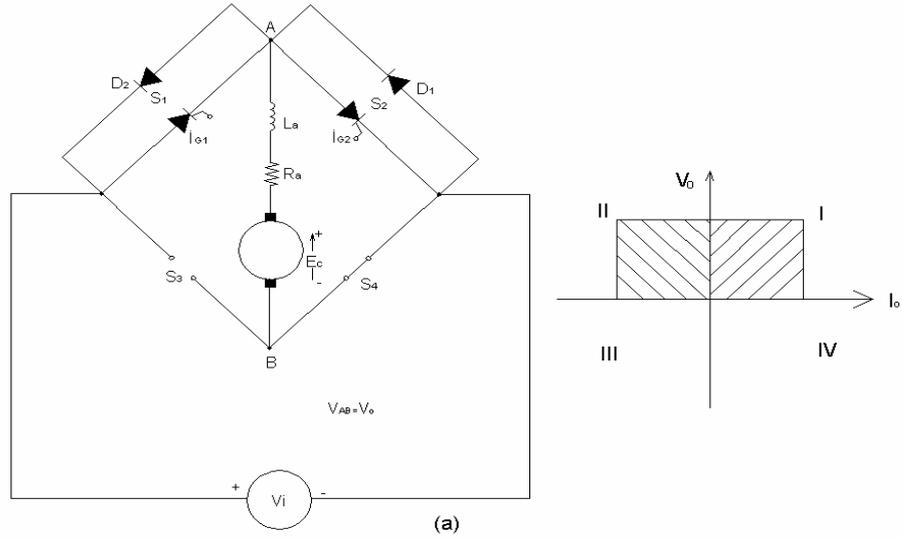
II.4.4.4 Dört Bölgeyi Kısıyıcılar

Şekil II.34'de gösterilen temel bir DA-DA konvertör devresi V_o-I_o düzleminin dört-bölgesinin herhangi birinde çalışma imkanı sağlar. Bu konvertör iki çift iki-bölgeyi kısıyıcının şekildeki bağlanmasından meydana gelir ve tristör ve uygun sinyaller ile kontrol edilir.

Birinci ve ikinci çalışma bölgeleri için S_4 sürekli iletimde ve S_3 sürekli kesimdedir. Bu durumdaki devre, Şekil II.35 (a)'da gösterilen şemaya eşdeğer olup; iki bölgeyi çalışmaya karşılık gelmektedir. Üçüncü ve dördüncü çalışma bölgeleri için S_2 sürekli iletimde ve S_1 sürekli kesimdedir. Bu durumu ise Şekil II.35 (b)'deki devre temsil etmektedir. Bu çalışma iki-bölgeyidir, fakat V_o negatiftir [15].



Şekil II.34 Dört-bölgeyi kısıyıcı devresi



Şekil II.35 Dört-bölgeli kıyıcı (a) Birinci ve ikinci bölge (b) Üçüncü ve dördüncü bölgede çalışma

II.5 KALICI MIKNATISLI DA MOTORLARININ YAPILARI VE KARAKTERİSTİKLERİ

Kalıcı mıknatıs malzemelerle sağlanan gelişmeler kalıcı mıknatıslı motorları doğru akım şönt motorların yerini alacak aday konumuna getirdi. Kalıcı mıknatıslı motorlarda uyartım kutupları kalıcı mıknatıslardan yapılır. Kalıcı mıknatıslı doğru akım (KMDA ve PMDC) motorları 75HP gücüne kadar tasarlanmasına karşın ekonomik nedenlerden dolayı çoğu kalıcı mıknatıs uygulamaları kesirli güçlü motorlarda sınırlanmaktadır. Kalıcı mıknatıslı doğru akım motorlar (KMDAM) birçok farklı konfigürasyonlar ve kategorilerde olabilirler. (KMDA) motorlarda klasik DA makinelerinde kullanılan sabit alan sargıları yerine kalıcı mıknatıslar kullanılır. Ayrıca kalıcı mıknatıslı makine senkron makinede dönen alan sargısının kalıcı mıknatıs ile yer değiştirdiği bir şekilli de olabilir.

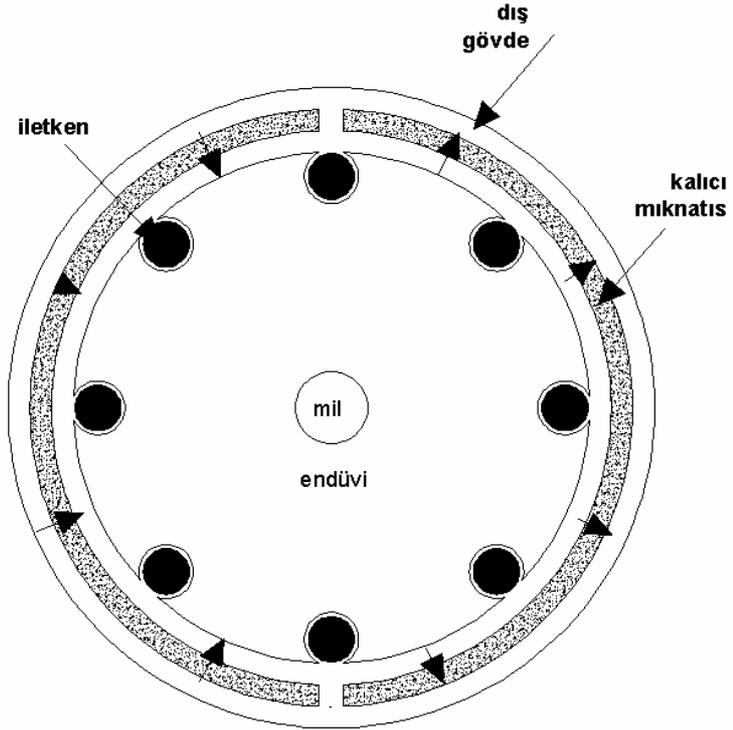
Kalıcı mıknatıslar elektrik makinelerinin yapılarında önemli faydalar sağlayabilirler. Bunların dışında, makine için gerekli olan manyetik alanı üretmek için harici bir uyartım kaynağına olan ihtiyacı ortadan kaldırmasıdır ve böylelikle uyartımla ilişkili güç kayıplarının olmamasıdır. Kalıcı mıknatıslı makinelerde alan sargıları olmadığı için harici uyartımlı emsallerine göre daha yüksek verime sahiptirler ve daha az malzeme kullanıldığı için daha az hacim kaplarlar, bazı durumlarda daha da ucuz olabilirler.

KMDA motorlar bahsedilen faydalarının yanında bazı sınırlamalara da sahiptirler. Bunlar, motor sargılarında oluşabilecek aşırı akımların veya aşırı ısınmaların sonucu mıknatıslıyeten giderilmesi riski ve anma hızının üzerindeki çalışmalarda alan zayıflatmasının uygulanamamasıdır. Endüvi reaksiyonunun kutup akısını zayıflatma etkisi motor dururken en yüksek değerine ulaşır. Kalıcı mıknatıslı motor tasarlanırken, ekonomik olması da dikkate alınarak, endüvi reaksiyonunun olumsuz etkisi en aza indirilmelidir [15].

II.5.1 Yapısı

Şekil II.36' de kalıcı mıknatıslı bir DA makinesinin yapısı gösterilmiştir. Motorun rotoru, üzerinde kolektör ve fırçaların yer aldığı klasik DA makinelerinde bulunan endüviden oluşmaktadır. Motorun uyarım kısmı, klasik harici uyarımlı çıkıntılı kutuplu yapıdan farklıdır. Kalıcı mıknatıs kutuplar dış gövdenin içine sabitlendikleri için düzgün bir stator yapısı meydana gelir.

Şekil 2.36' de oklar mıknatıslamanın yönünü göstermektedirler. Bu motorlarda dış gövdenin iki görevi vardır. Birincisi mıknatıs manyetik alanına dönüş yolu sağlamak, ikincisi mıknatısları mekanik olarak korumaktır. Klasik DA motorlarda kutup akısı alan sargısı akımı tarafından sağlandığı için sargı akımı kontrol edilerek kutup manyetik akısı kontrol edilebilir. KMDA motorlarda ise kutup akısı kalıcı mıknatıs tarafından sağlandığı için akımın kontrolü mümkün değildir, yani sabittir.



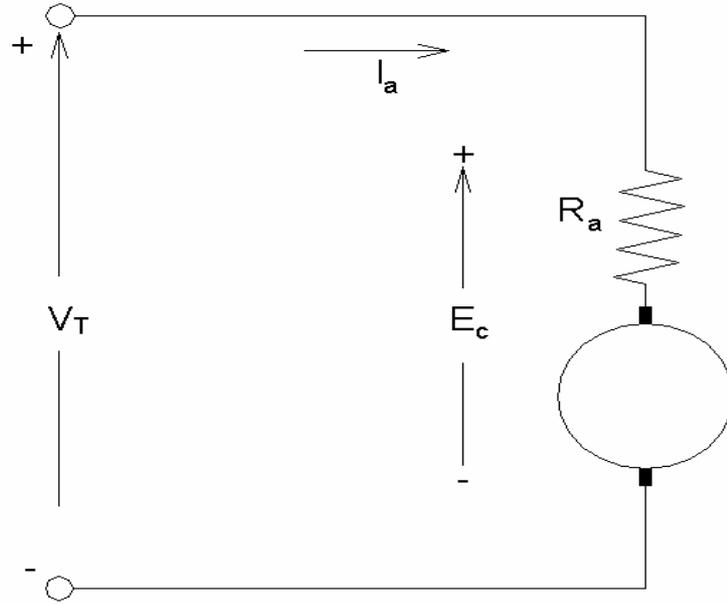
Şekil II.36 Kalıcı Mıknatıslı DA motorunun yapısı

II.5.2 Eşdeğer Devre

KMDA makinenin eşdeğer devresi Şekil II.37’de gösterildiği gibi olup yabancı uyarımlı bir DA makinesinin benzeridir. Aralarındaki fark ise uyarım sargısı bağlantısının olmamasıdır.

Klasik bir DA motorda zıt emk,

$$E_c = K_1 \phi \omega_m \quad (62)$$



Şekil II.37 KMDA makinesinin eşdeğer devresi

Olarak tanımlanır. Burada ϕ alan sargısı eksenî boyunca bir kutbun net akısıdır. K_1 geometrik sabitidir.

KMDA makinede kutup akısı sabit olduğu için zıt emk;

$$E_c = K_m \omega_m \quad (63)$$

Olarak tanımlanır. Burada $K_m = K_1 \phi$ olup; motorun moment sabiti olarak tanımlanır ve motorun geometrisi ile manyetik özelliklerinin bir fonksiyonudur [15].

Motora uygulanan terminal gerilimi

$$V_T = E_c + I_a R_a \quad (64)$$

ve motorun çektiği akım ise;

$$I_a = \frac{V_T - E_c}{R_a} \quad (65)$$

II.5.3 Hız-Moment ve Akım-Moment Karakteristiği

Kalıcı Mıknatıslı Doğru Akım (KMDA) motor endüvisinde üretilen güç ve moment;

$$P_a = E_c I_a \quad (66)$$

$$M_a = \frac{E_c I_a}{\omega_m} = \frac{K_m \omega_m I_a}{\omega_m} = K_m I_a \Rightarrow M_a = K_1 \phi I_a \quad (67)$$

K_1 makine sabiti (moment sabiti) motor için sabit olduğundan, sabit yükte akım artar. Denklem 62'den 74'e kadar grafik değerlerinin çıkarılmasına yardımcı olan denklemler gösterilmiştir.

KMDA motorda kutup akısı sabit olduğu için hız-moment ve akım-moment karakteristikleri Şekil II.38'de gösterildiği gibi doğrusaldır. Bu ilişkiler matematiksel olarak da yukarıda verilen denklemlerden aşağıdaki gibi açıklanabilir [15].

$$\omega_m = \frac{V_T}{K_1 \phi} - \frac{R_a}{(K_1 \phi)^2} M_a, \quad \omega_m = \frac{V_T}{K_m} - \frac{R_a}{K_m^2} M_a \quad (68)$$

$$I_a = \frac{1}{K_1 \phi} M_a$$

$$I_a = \frac{1}{K_m} M_a \quad (69)$$

$$P_g - P_\phi = \Delta P \quad (70)$$

P_g : Giriş gücü

$P_ç$: Çıkış Gücü

ΔP : Elektrik kayıplar (bakır + demir kayıpları)

Bakır Kayıpları: Doğru akım makinelerinin çeşitli kısımlarındaki sargılarda akım geçişlerinden dolayı ısı açığa çıkar. Meydana gelen ısı, Joule kanununa göre I^2R şeklinde ifade edilir. Bu ısı hiçbir işe yaramadığından makine için bir kayıptır. Bu kayıp Joule kaybı veya bakır kaybı olarak adlandırılır.

Demir Kayıpları: Endüvinin uyarma alanı içindeki hareketi nedeniyle makinenin hareket eden kısımlarında ve uçlarında kayıplar meydana gelir. Bu kayıplara demir kayıpları denir. Demir kayıpları, histerezis ve fukolt (foucoult) kayıpları olarak ikiye ayrılır

a) Histerezis Kayıpları: Histerezis kayıpları, manyetik alan içinde hareket eden endüvinin demir kısmında meydana gelir. Endüvinin hareketinde demir molekülleri, ana alana göre daima hareket halindedirler. Bu hareket kendisini ısı şeklinde gösterir. Bu kayba histerezis kaybı denir. P_h ile gösterilir. Doğru akım makinelerinde histerezis kaybını azaltmak için endüvi saçları silis alaşımli yapılıdır.

b) Fukolt Kayıpları: Endüvinin hareketinde demir kısımlar üzerinde bir emk endüklenir. Endüklenen bu emk, endüvi demir gövdesi üzerinde dolaşan akımlar meydana getirir. Bu akımlar demir kısımları ısıtır ki bu kayıplara da fukolt kayıpları denir ve P_f ile gösterilir. Bu kayıpları azaltmak için endüvi, birer tarafi yalıtılmış ince saçlardan yapılır. Ve böylece dolaşan akımların değeri azaltılır. Dolayısıyla fukolt kayıpları en aza indirilmiş olur.

Demir kayıpları, sabit kayıplar olarak kabul edilirse de yükte bir miktar değişme gösterirler. Endüvi reaksiyonundan dolayı kutup uçlarında meydana gelen yığılma, endüvi dişlerindeki demir kayıplarını artırır. Ayrıca endüvi alanı, kutupların altında demir kayıpları meydana getirir. Bunlar demir kayıplarının yükte bir miktar değişmesine neden olur.

Tüm demir kayıpları (P_{fe}) ile gösterilirse;

$$P_{fe} = P_f + P_h \quad (71)$$

Demir kayıpları en etkili histerezis kayıplarıdır.

P_{fe} : fucoult (eddy) kayıpları, P_h histerezis kayıplarıdır. Bu çalışmada manyetik sıvı kullanıldığı için P_h kayıpları üzerinde değişim olmuştur. P_h kayıpları: [17]

$$P_{fe} = k_h f B^n \quad (72)$$

Formülü ile hesaplanır.

$$B = \frac{\phi}{S} \text{ (tesla)} \quad (74)$$

S: Kutup yüzeyi

k_h : Makinede akının geçtiği ferro manyetik malzemenin özelliklerine bağlı katsayıdır.

f : Frekans (Hz) (Motor hava aralığı frekansı nominal değerlere göre 50 Hz olarak alınmıştır)

n : steinmetz katsayısı (bu motorda 2,49 olarak alındı)

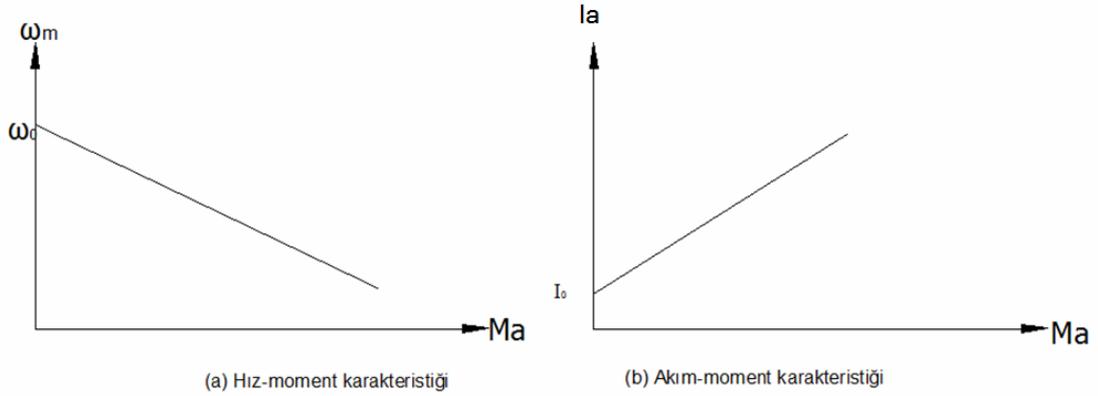
B: Manyetik indüksiyon (Tesla)

Manyetik sıvı histerezis kayıplarını düşürmüştür. Bunun sebebi akının (ϕ) dolayısıyla B' nin (Wb/m^2) düşmesidir. Bu sonuç ile ilgili veriler Şekil (IV.26 - IV.49) grafikleri ile verilmiştir.

Tablo II.1 Değişik Firmalarca Kullanılmış Malzemelere İlişkin Değerler

MALZEME TÜRÜ	K	m	n
Arnold Silectron 2 mil	0,00597	1.26	1.73
Armco Silicon Steel 14 mil	0,000557	1,68	1.86
MAGNETICS Inc. Ferrite F material μ 3000	0,00164	1,31	2.49
MAGNETICS Inc. Permalloy 2 mil	0,000165	1,41	1,77
MAGNETICS Inc. 60 μ PP Powder Cores	0,000551	1,23	2.12
Amorf	0,000191828	1,51	1,74

KMDA motorun denklem (68)'de tanımlanan hız-moment karakteristiği ya kaynak gerilimi ya da endüvi devresi direnci değiştirilerek kontrol edilebilir.

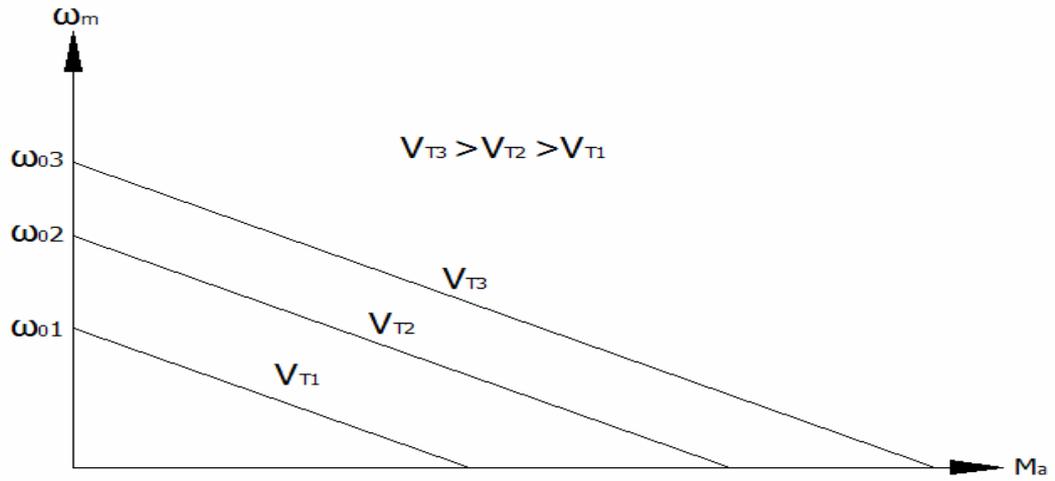


Şekil II.38 KMDA motorun hız-moment, akım-moment karakteristikleri

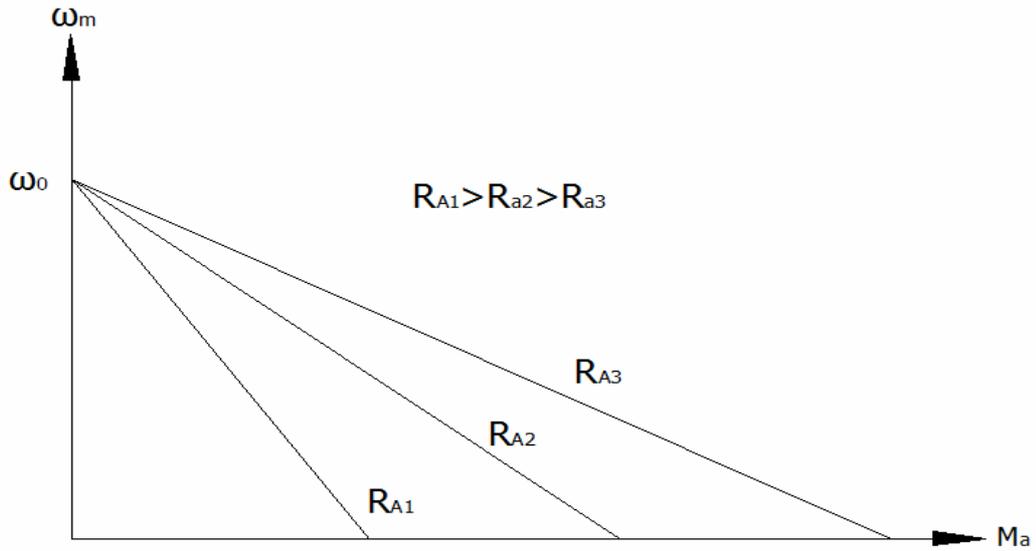
Kaynak gerilimindeki değişiklik boş çalışma hızını (ω_o) etkiler, hız-moment karakteristiğinin eğimini etkilemez. Farklı kaynak gerilimlerinde elde edilen hız-moment karakteristikleri Şekil II.39'de verilmiştir. Karakteristik eğimlerinin aynı olduğu görülmektedir.

Endüvi devresi direncindeki değişiklik sonucu hız-moment karakteristiğindeki değişim Şekil II.40'de verilmiştir. Boş çalışma hız değeri aynı kalırken eğrinin eğiminin kontrol edilebildiği görülmektedir.

Eğer kullanılan kalıcı mıknatısın hacmi değiştirilirse veya yerine aynı hacimdeki ve farklı akı yoğunluğuna sahip başka mıknatıs malzeme kullanılırsa motor için birçok hız-moment karakteristiği elde edilebilir.



Şekil II.39 Farklı kaynak gerilimlerindeki hız-moment karakteristikleri



Şekil II.40 Farklı endüvi devresi dirençlerindeki hız-moment karakteristikleri

KMDA motorlarda da endüvi reaksiyonunun kutup akısını zayıflatma etkisi vardır. Endüvi reaksiyonunun etkisini azaltmak için hava aralığı nispeten daha geniş yapılır. Endüvi reaksiyonu etkisi endüvi akımıyla orantılıdır.

KMDA motorlar tasarlanırken sıcaklık etkisi de dikkate alınmalıdır. Çünkü sıcaklık artarken kalıcı mıknatısın kalıcı mıknatısiyet değeri azalır.

KMDA motorları otomobil endüstrisinde kalorifer fanları, cam silgeçleri, radyo antenleri ve cam motorlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer uygulama yerleri olarak da doğrultulmuş AA ve batarya ile çalışan oyma bıçağı, diş fırçası, elektrikli tıraş makinesi, el ve ev aletleri, oyuncaklar sayılabilir [15].

BÖLÜM III

III MADDENİN MANYETİK ÖZELLİKLERİ VE MANYETİK SIVILAR

Doğadaki bütün maddeler manyetik davranış gösterirler. Bazı maddelerin manyetik özelliklerini kolayca gözlemleyebiliriz. Örneğin bir ferromanyetik madde sürekli mıknatıslanma davranışı gösterir. Demir gibi yumuşak ferromanyetler ise kalıcı mıknatıslanma davranışı göstermezler. Maddelerin manyetik yapısı hakkında genel bilgi elde etmek için, bu maddelerin mıknatıslanmasını ve manyetik duygunluğunu ölçmek gerekir. Bazı manyetik maddelerin manyetik davranışları basit yöntemlerle gözlenebilirken bazılarının manyetik davranışlarını gözleyebilmek için yardımcı araç ve gereçlere ihtiyaç duyulur [18].

Manyetik maddeler farklı fiziksel özelliklere ve davranışlara sahiptir. Bu özellik yalnızca maddenin mıknatıslanmasıyla sınırlı değildir. Maddeler ısı iletimi, ses iletimi, elektrik iletimi, rezonans vb. gibi özellikler açısından da farklılıklar taşır. Manyetik maddeler bu özelliklerine göre sınıflandırılmazlar. Manyetik maddeler faz aralığına bağlı olarak sınıflandırılırlar. Manyetik maddelerde faz geçişleri vardır. Bu faz geçişleri, sıcaklık ve maddeye dışarıdan uygulanan dış manyetik alana bağlıdır. Bir maddenin sahip olduğu faz değiştirilirse, o maddenin bütün fiziksel özellikleri değişebilir. Bu açıdan bakıldığında manyetik faz geçişlerine neden olan kritik sıcaklıkların tespit edilmesi maddelerin sınıflandırılmasını kolaylaştırır [18].

III.1 MADDENİN MANYETİK ÖZELLİKLERİ

Manyetik sistemlerle, manyetik dipol momenti arasında çok önemli bir ilişki vardır. Manyetik dipol momenti manyetizmanın kaynağını oluşturur ve maddelerin manyetik davranışlarını anlayabilmek için son derece önemlidir. Mıknatıslanmış bir maddedeki manyetik momentler iç atomik akımlardan kaynaklanır. Bu akımlar elektronların çekirdek veya kendi eksenini etrafında ve çekirdekteki protonların kendi eksenleri etrafında dönmesinden ileri gelir.

Atomik teoriye göre atomik manyetik moment μ üç kaynaktan oluşur;

Elektronların kendi eksenini etrafında dönmesinden kaynaklanan “spin açısal momentumu” S

Atomun en dışındaki yörüngede bulunan elektronların dönmesinden kaynaklanan “yörüngesel açısal momentumu” L

Uygulanan manyetik alandan kaynaklanan yörüngesel açısal değişimler.

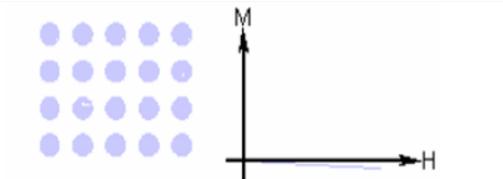
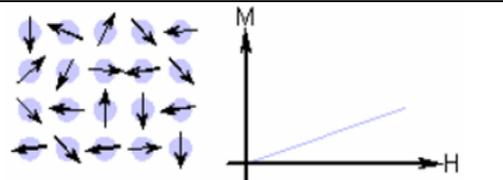
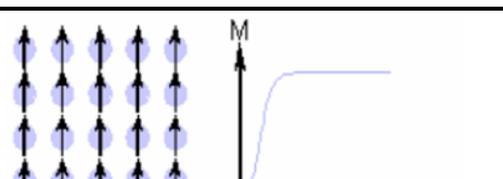
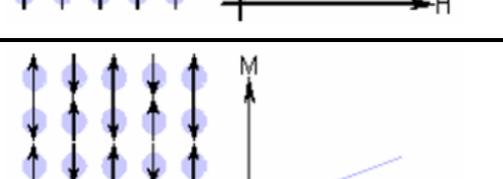
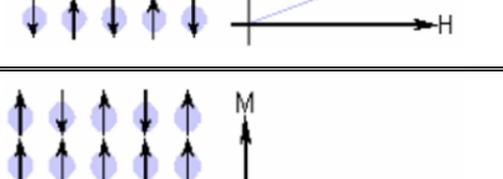
Manyetik momente bir elektronun yörüngesel katkısı o elektronun yörünge açısal momentumuyla orantılıdır. Orantı katsayısı $e/2m_e$ yalnızca elektronun yüküne ve kütlesine bağlıdır. Elektronun negatif yükünden dolayı iki vektör μ ve L, birbirine zıt yöndedir

Katı içerisindeki manyetik dipol momentlerinin bağlı olacak şekilde birbirleriyle etkileşmeleri ve bu iç etkileşmelere bağlı olarak uzaysal yönelimleri o maddenin manyetik özelliklerini belirler. Bu özellikler, manyetik dipol momentlerinin bu kolektif hareketinin, çok genel olarak sıcaklık ve maddeye uygulanan bir dış manyetik alanın fonksiyonu olduğunu gösterir. Manyetik momentlerin bu davranışları bir faz aralığı ile karakterize edilir. Manyetik maddeler hangi faz aralığında iseler o fazda en düşük enerji seviyesine sahip oldukları kabul edilir. Bir manyetik maddenin bir fazda sahip olduğu manyetizasyon, duygunluk, ses iletimi, elektriksel iletim gibi bazı fiziksel özelliklerini değiştirmesi o maddenin başka bir faza geçtiğini işaret eder. Bu faz geçişleri bir T_c geçiş sıcaklığı ile karakterize edilir. Bu fazlar sınıflandırılabilir. Kolaylık açısından bu sınıflandırma χ duygunluğu dikkate alınarak yapılmaktadır. Manyetik duygunluk maddesel ortamın bir ölçüsüdür ve ortamdan ortama değişir. Manyetik alan içinde bulunan atomlar bu alana zıt ya da alanla aynı yönde bir manyetik moment oluştururlar. Bu nedenle ya itilir ya da çekilirler. Bir maddenin manyetik özellikleri bakımından hangi sınıfta yer aldığı saptanması için bir magnetometre yardımıyla maddenin manyetik duygunluğu ölçülür. Ölçüm sonucundaki duygunluk büyüklüğü ve işareti örneğin hangi tür özellik gösterdiğini ifade eder. Ayrıca maddenin manyetik durumu, mıknatıslanma vektörü ile anlatılır. Mıknatıslanma (M) birim hacimdeki net manyetik dipol momentine denir. Maddelerin manyetik özelliklerini karakterize

etmekte mıknatıslanmanın (M) büyüklüğü ve işareti kadar uygulanan alan H ile değişimi de önemli yer tutar.

Manyetik sistemler; diamanyetik, paramanyetik, ferromanyetik, anti-ferromanyetik ferrimanyetik ve spin-camlar olmak üzere sınıflandırılabilir. Bu bölümde, manyetik maddelerle ilgili yapılan bu sınıflandırmanın temel kavramlarını vereceğiz. **Tablo III.1**' de bu maddelerin özellikleri kısaca belirtilmektedir [30].

Tablo III.1 Manyetik Sistemlerin Özellikleri

Manyetizma Türü	Duygunluk	Atomik/Manyetik Davranış
Diamanyetizma	Küçük ve negatif	
Paramanyetizma	Küçük ve pozitif	
Ferromanyetizma	Büyük ve pozitif	
Antiferromanyetizma	Küçük ve pozitif	
Ferrimanyetizma	Büyük ve pozitif	

Hareketli yükler ve akım şekilleri boşlukta değil de bazı maddelerden meydana gelen ortamda bulunurlarsa, bunların oluşturdukları manyetik alan boşluğa göre çok az farklı olacaktır. Bununla birlikte ferromanyetikler diye isimlendirilen bazı maddelerin oluşturduğu ortamda hareketli yükler ve akım şekillerinin oluşturduğu manyetik alan değeri boşluğa göre çok farklı olacaktır. Güncel olarak kullanılan, elektrik jeneratörleri, motorları, transformatörler ve ev aletlerinde akımca oluşturulan manyetik alanlardan daha iyi yararlanmak için bunların yapısal parçası olan çatılarında demir, çelik veya demir alaşımları kullanılır. Bu çatılar hem meydana gelen manyetik akıyı arttırmaya hem de bu akıyı istenilen bölgeye yönlendirirler. Genelde herhangi bir akım ilmeği manyetik alana ve buna karşılık gelen manyetik momente sahiptir. Benzer şekilde bir maddedeki manyetik momentler, iç atomik akımlardan kaynaklanırlar. Bu akımların, elektronların çekirdek etrafında ve çekirdekdeki protonların birbirleri etrafında dolanımlarından ileri geldikleri söylenir. Elektronlardan kaynaklanan manyetik momentler, daha açık olarak elektronun net manyetik momenti elektronun yörüngesel hareketiyle, spin denilen iç özelliğinin birleşiminden meydana gelir. Bu manyetik dipol momentlerinin aralarındaki karşılıklı etkileşim kuvvetleri ve dış manyetik alan etkileşimleri, manyetik maddeyi anlayabilmek bakımından önemlidir. Bu amaçla, paramanyetik, ferromanyetik ve diamanyetik olmak üzere üç madde çeşidi tanımlanır. Paramanyetik ve ferromanyetik sürekli dipol momentli atomlara sahiptir. Diamanyetik maddelerin atomları ise sürekli dipol momente sahip değildir. Daha açık olarak cisimler az veya çok şiddetli olmak üzere manyetik özellikler gösterirler. Maddeler manyetik alandaki mıknatıslanmalarına göre paramanyetik, ferromanyetik ve diamanyetik olmak üzere üç kısımda toplanırlar [5].

Elektrikte, birbirine yakın iki eşit zıt yük bir dipol momentini oluştururlar. Manyetizmada ise bir tek manyetik yükten bahis edilemez çünkü böyle bir şeye şimdiye kadar rastlanamamıştır. N ve S kutbu olan bir çubuk mıknatısı ne kadar küçük parçalara bölersek bölelim, sonunda elde edilecek elemanter parçada iki kutuplu olmayı muhafaza edecektir. Böyle bir yapı manyetik dipol momentini adı verilen μ ile tanımlanır. Halka şeklindeki elektrik devreleri (halka şeklindeki akım şekilleri), kısa solenoidler, çubuk şeklindeki mıknatıslar, kendilerinden belli bir uzaklıkta bir manyetik dipole özdeş etki göstermektedirler ve böylece bunlara manyetik dipol denilmektedir. Bir dipolün kutuplarının yerini bir manyetik alan

içinde tayin edebiliriz Manyetik dipol'ün değerini de, yine dipolün bir manyetik alanda dönmesinde oluşan momentten yararlanarak tayin edebiliriz. Buna göre,

$$\tau = \mu B \quad (70)$$

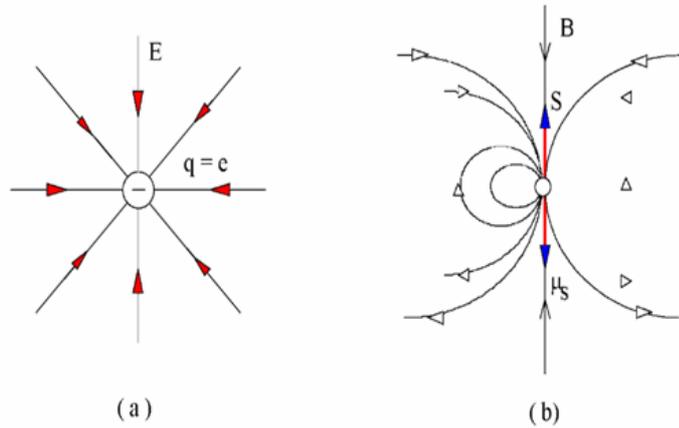
bağıntısından μ tayin edilir. Bir manyetik dipolün oluşturduğu manyetik alan,

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi r^3} \quad (71)$$

bağıntısıyla verilir.

Durgun fakat kendi üzerinde bir topaç gibi dönen bir elektron aynı zamanda küçük bir mıknatıs gibi davranmak ve bu spin hareketi yüzünden bir manyetik momente sahip olmak zorundadır. Kendi ekseninde dönen bir elektronun kendine özgü bir açısal momentumu S ve bunun hareketine ilişkin manyetik dipol momentini μ_s vardır. (Şekil III.1.b). Bununla birlikte elektronun şekli ve taşıdığı yükün dağılımı hakkında kesin olarak hiçbir şey bilinmemektedir.

Serbest elektronun bir elektrik alanı (E) vardır (Şekil III.1.a.)



Şekil III.1 a,b Bir elektronunun manyetik dipol momentini ve momentumunu.

Maddelerin mıknatıslanması, birim hacimdeki atomlara ait manyetik momentlerin uygulanan dış manyetik alanla aynı doğrultulu hale gelmeleri olarak tanımlanır. Bu mıknatıslanmanın P.Curie tarafından denel bazlı olarak önerilen değeri,

$$M = C \frac{B}{T} \quad (72)$$

dir.

(72) bağıntısına Curie yasası denilmekte ve burada **T** ortamın mutlak sıcaklık eşelindeki değerini, **C**'de **Curie** sabitini göstermektedir. (72) bağıntısı **B / T**'nin 0,4 değerine kadar denel değerlerle oldukça uyum içindedir ve bundan daha büyük değerlere ait değişimleri incelemek için devreye modern kuantum fiziği girer. Mıknatıslanmayı belirleyen **M** değerinin artması, ancak birim hacimdeki (**N** tane) tüm atomlara ait her birinin manyetik momentini μ ile verilen toplam dipol momentlerinin alanla çakışması haline karşılık gelen maksimum **Mmax = μ (N / V)** değerine kadardır [5].

III.1.1 Mıknatıslanma Şiddeti – Manyetik Alan Şiddeti Ve Manyetik Alınganlık

Maddenin manyetik halini anlatım amacıyla mıknatıslanma vektörü (**M**) denen bir niceliğin kullanılması kolaylık sağlamaktadır. **M** birim hacim başına manyetik momentini gösterir bunun SI deki birimi **A/m'** dir. Mıknatıslanma vektörünün şiddeti, birim hacimdeki maddenin toplam manyetik momentini verir.

Bir maddenin toplam manyetik alanı, maddenin mıknatıslanmasına ve ona uygulanan dış alana bağlıdır. İçinden akım geçen içi boş bir toroid sargısının içinde akım tarafından oluşturulan manyetik alan B_o olsun. Eğer bu sargım içi bölgeye manyetik bir çekirdek madde konursa ve bu çekirdek maddenin oluşturduğu manyetik alan da B_m ise, bu kez oluşturulan toplam manyetik alan değeri $B=B_o+B_m$ olacaktır. Diğer taraftan **M** mıknatıslanma vektörü cinsinden $B_m=\mu_o.H$ olarak ifade edilir. Buna göre maddedeki toplam alan,

$$B = B_o + \mu_o H \quad (73)$$

dir. **B'** yi veren tüm bağıntılarda boşluğun manyetik geçirgenlik katsayısı $\mu_o = 4\pi.10^{-7}$ H/m, **I** akım şiddeti ve akımın şekline bağlı geometrik çarpanlar bulunmaktadır. Bu bağıntıların μ_o 'a bölünmesiyle oluşan bağıntıya manyetik alan

şiddeti denir ve bu alan H sembolüyle gösterilir. Buna göre boşlukta yani manyetik maddelerin bulunmadığı bir ortam için veya bir bobin içinde bir çekirdek madde yoksa,

$$H = \frac{B_0}{\mu_0} \quad (74)$$

olur. H manyetik alan şiddetinin SI deki birimi A / m dir. (73) bağıntısını (74) tanımına göre daha kullanışlı olabilmesi amacıyla,

$$H = \frac{B}{\mu_0} - M$$

şeklinde yazabiliriz.

Buradan içinde manyetik maddeden çekirdek bulunan bir kangalın oluşturduğu toplam manyetik alan akı yoğunluğu

$$B = \mu_0(H + M) \quad (75)$$

bağıntısı elde edilir. SI birim sisteminde H ve M' in boyutları A/m dir.

Genellikle paramanyetik ve diamanyetik maddelerde ve maddelerin çoğunda M mıknatıslanması, H alan şiddetiyle orantılıdır. Buna göre bu tür maddelerde,

$$M = \chi H \quad (76)$$

bağıntısı geçerli olur. Burada χ niceliğine maddenin alınganlığı (süseptibilite veya duygunluk) denir ve boyutsuzdur. Paramanyetik maddelerde χ pozitifdir ve M vektörüyle H vektörü aynı yönlüdürler. Madde diamanyetik ise χ negatifdir ve M ile H ters yöndedirler. (76) bağıntısı yani M ile H arasındaki lineer bağımlılık ferromanyetik maddeler için geçerli değildir [19].

(76) bağıntısı (75) de yerine yazılırsa,

$$B = \mu_0(H + M) = \mu_0(H + \chi M) = \mu_0(1 + \chi)H$$

ve

$$\mu = \mu_0(1 + \chi) = \frac{B}{H} \quad (77)$$

olarak alınırsa,

$$B = \mu H \quad (78)$$

elde edilir. μ , sabitine maddenin geçirgenliği adı verilir. Maddelerin μ geçirgenlikleri, μ_0 serbest uzayın geçirgenliği olmak üzere aşağıdaki gibi,

$$\text{Paramanyetik maddelerde} \quad \mu > \mu_0$$

$$\text{Diamanyetik maddelerde} \quad \mu < \mu_0$$

$$\text{Ferromanyetik maddelerde} \quad \mu \gg \mu_0$$

ayrılırlar.

Paramanyetik ve diamanyetik maddeler için χ çok küçük olduğundan bunların μ değeri yaklaşık olarak μ_0 'a eşittir. Ferromanyetik maddelerde M , H ' ın lineer fonksiyonu değildir. Bunun nedeni μ nün maddenin karakteristik özelliği olmaması ve onun önceki durumuna ve geçirdiği işlemlere bağlı olmasıdır.

Diğer taraftan maddenin geçirgenliğinin serbest uzayın geçirgenliğine oranına bağlı manyetik geçirgenlik μ_r adı verilir. Buna göre;

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} = (1 + \chi) = \frac{B}{B_0} = \frac{B}{\mu_0 H} \quad (66)$$

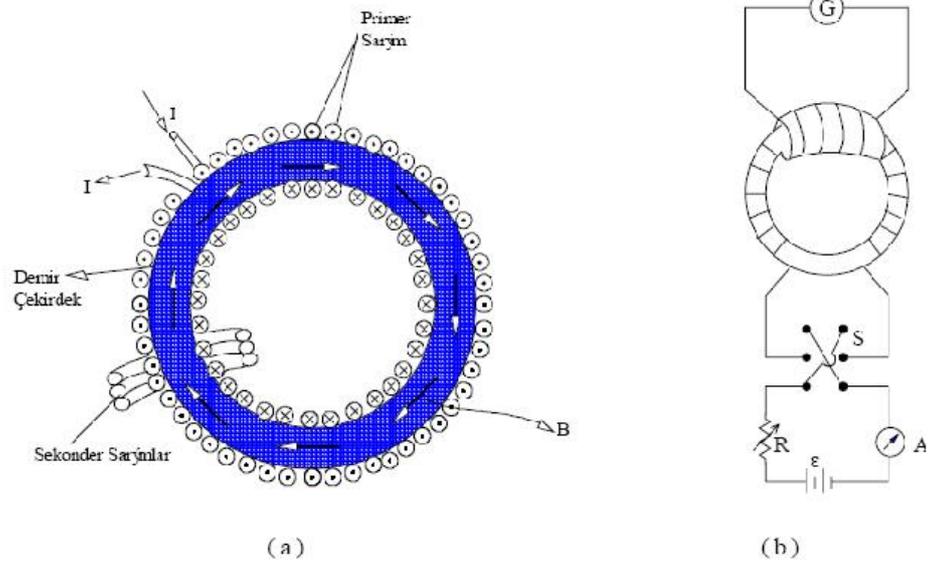
olacaktır

III.1.2 Ferromanyetik, Paramanyetik, Ve Diamanyetik Maddeler

III.1.2.1 Ferromanyetik Maddeler

Demir, kobalt, nikel, godyum ve dispozyum oldukça manyetik maddelerdir ve bunlara ferromanyetik madde denir. Ferromanyetik maddeler devamlı (sürekli)

mıknatısların yapımında kullanılırlar. Bunlar zayıf bir manyetik alan içinde bile birbirlerine paralel olarak yönelmeye çalışan atomik manyetik dipollere sahiptirler. Bu manyetik dipoller bir kere paralel hale getirildikten sonra dış alan ortamdaki kaldırılabilir bile madde mıknatıslanmış olarak kalır. Bu sürekli yönelme komşu manyetik momentler arasındaki kuvvetli etkileşimden kaynaklanır. Bu etkileşimin anlaşılabilmesi kuantum mekaniğiyle ifade edilir. Bu tür maddeler bir manyetik alan içinde alan yönünde ve çok şiddetli olarak mıknatıslanırlar. Ferromanyetik maddeler bir mıknatısla kuvvetli olarak çekilirler ve çubuk şeklinde iseler asıldıklarında, çubuğun uzun eksenini alan doğrultusuna paralel oluncaya kadar bir moment etkisinde kalırlar. Bu maddelerin manyetik momentleri, termik etkilere rağmen dış manyetik alanla üst üste gelirler. Eğer maddenin sıcaklığı, Curie sıcaklığı adı verilen değerden daha yukarıya çıkarılırsa bu üst üste gelme bozulur ve madde ferromanyetik halden diamanyetik hale gelir. Demir için Curie sıcaklığı $1043^{\circ}\text{K} = 770^{\circ}\text{C}$ dır. Ferromanyetizma atom ve iyonların kendine özgü bir özelliği değil, komşu atom ve iyonların yapısal kurgu içinde etkileşim biçimlerinden kaynaklanır. Ferromanyetik bir madde bir solenoidin veya halka sarımının içine sokularak, bunların içinde ferromanyetik madde yokken ki (Boşluk veya hava) halinden çok daha büyük değerlerde B değerleri elde edilir. Ferromanyetik maddelerde yaklaşık olarak $B=4,4 \cdot 10^{-3} \text{ T}$ lık bir dış alan onların dipollerinin ancak % 75'ini aynı doğrultuya getirebilir. Ancak bu alanın değeri 1,0 T. değerinde olursa bu kez dipollerin % 95 'i aynı doğrultuya gelir. Ferromanyetik bir maddeden örnek olarak yassı bir çubuktan yapılmış demir halka (çekirdek) üzerine yalıtılmış tel sarımlardan N tane sarılarak (primer sarım) toroid biçiminde bir halka bobin (Rowland halkası) elde edilir. Bu sarımların üstüne sekonder sarım sarılır ve bu bobinin uçları bir balistik galvanometreye bağlanır. Bu tür bir Rowland halkası ile ferromanyetik maddelerin mıknatıslanmaları incelenir. (Şekil III.2.a,b.) Rowland halkasının içinde demir çekirdek yokken manyetik alanın değeri B_0 ve demir çekirdekten gelen manyetik katkı manyetik alanın değeri de B_m ise, demir çekirdekli halkanın içindeki toplam manyetik alan değeri $B=B_0+B_m$ bağıntısı ile hesaplanır.



Şekil III.2 a,b Rowland halkası ile ferromanyetik maddelerin mıknatıslanmaları

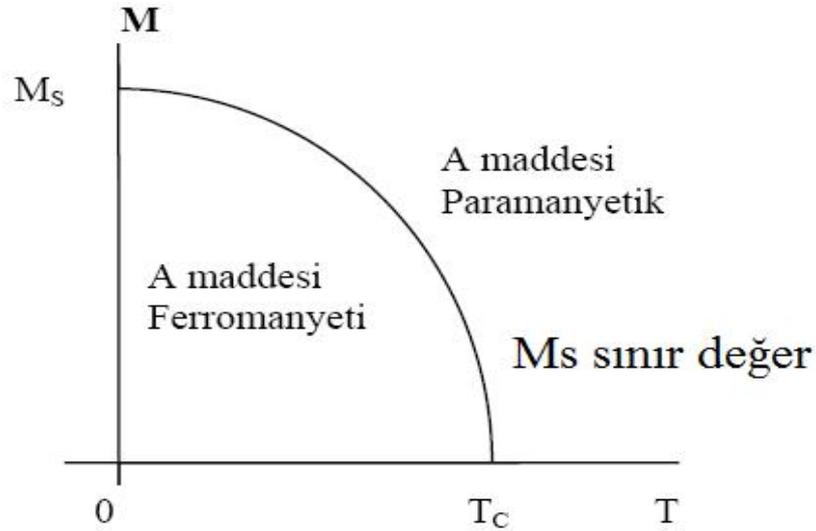
III.1.2.2 Paramanyetik Maddeler

Paramanyetik maddelerin mıknatıslanmaları çok zayıf ve bu mıknatıslanması da mıknatıslayıcı alan yönündedir. Bu tür, sıvı oksijen, azot oksit, ozon, platin, palladyum, alüminyum, krom, manganez, v.b. gibi maddeler kuvvetli bir mıknatıs tarafından hafifçe çekilirler. Bu tür maddeleri oluşturan maddelerin atom ve iyonlarının büyük bir kısmında elektronların spin ve açısal momentumundan kaynaklanan manyetik etkiler birbirlerini yok ederler. N atomdan oluşan bir maddenin manyetik momentleri, onları etkileyen dış alanın doğrultusuna göre yönelecektir ve tüm atomların toplam manyetik momentlerinin ($N \mu$) bu alanla tam çakışabilmesi mümkün olamaz. Çünkü dış ortamın termik etkisiyle atomların hareketlenmesi bunu bozar. Paramanyetik bir madde bir dış alana konduğunda onun sahip olacağı toplam manyetik momentin değeri, bu momentin mümkün olan maksimum ($N \mu$) değerinden oldukça küçük olacaktır. Çubuk halinde paramanyetik bir madde manyetik alan içine aşılsa, çubuk, uzun eksenini manyetik alan doğrultusunda oluncaya kadar bir moment etkisinde kalır [19].

Bazı koşullar altında paramanyetik maddelerin mıknatıslanmasının alanla doğru, mutlak sıcaklıkla ters orantılı olduğu Pierre Curie tarafından bulunmuştur. Bu bağıntı

$$M = C \frac{B}{T} \quad (80)$$

Şeklinde olup, mıknatıslanmanın artan alanla ve azalan sıcaklıkta arttığını göstermektedir. $B=0$ da mıknatıslanma sıfırdır ve bu durumda dipol momentler rastgele yönelmişlerdir. Çok yüksek dış etkili alanlar ve düşük sıcaklıklarda mıknatıslanma maksimum ve doyum değerine ulaşır. Ferromanyetik bir maddenin sıcaklığı Curie Sıcaklığı (T_c) denen bir sıcaklığa ulaşınca bu maddenin kendiliğinden mıknatıslığı kaybolur ve madde paramanyetik duruma geçer. Curie Sıcaklığı'nın altında manyetik momentler paralel dizildiklerinden madde ferromanyetikdir. Curie sıcaklığının üstünde ise dipoller gelişigüzel yönelmekte ve madde paramanyetik olmaktadır. Ferromanyetik bir maddenin mıknatıslanmasının mutlak sıcaklıkla değişimi (Şekil III.3) dedir. Şekilden Curie sıcaklığının altında manyetik momentleri dizilir, bu bölgede madde ferromanyetik olur. Buna karşın T_c nin üstünde ise madde paramanyetiktir [19].



Şekil III.3 Ferromanyetik bir maddenin mıknatıslanmasının mutlak sıcaklıkla değişimi

III.1.2.3 Diamanyetik Maddeler

Atomları sürekli manyetik dipol momente sahip olmayan maddeler diamanyetik maddeler denir. Gümüş, bizmut gibi paramanyetik maddelere bir dış alan uygulanınca madde tarafından bu alana zıt yönde zayıf bir manyetik dipol moment oluşur. Her madde böyle davranmakla birlikte bu etki onlarda önemsenmeyecek kadar küçüktür. Diamanyetik maddelerde normal konumda çekirdek etrafında zıt yönde ve aynı hızla dönen elektronlar birbirlerinin manyetik momentlerini yok ederler. Bir dış alan uygulanınca elektronlar fazladan $q\mathbf{v}\times\mathbf{B}$ gibi ek bir manyetik kuvvet altında kalırlar. Ek kuvvet nedeniyle elektronların gördüğü merkezci kuvvet artık aynı olamaz ve manyetik momenti alana anti paralel elektronun, hızı artarken paralel alanınki azalır. Sonuçta elektronların manyetik momentleri birbirlerini yok edemez ve madde manyetik alana zıt yönde bir dipol moment gösterir.

Süper iletkenler belli bir kritik sıcaklığın altında sıfır elektriksel direnç gösterirler. Süperiletkenlerin bazıları süperiletken konuma geçtiklerinde diamanyetik özellik gösterirler. Bu konumdaki süperiletken kendine uygulanan dış alan içindeki manyetik akı sıfır oluncaya değin dışarı atar. Akıyı dışa atma olayına **Meissner** olayı adı verilir.

Diamanyetik maddelerin mıknatıslanmaları çok zayıf ve mıknatıslanması da mıknatıslayıcı alanla zıt yönlüdür. Bu maddeler kuvvetli bir mıknatıs tarafından hafifçe itilirler. Bakır, gümüş, kurşun, antimon, bizmut v.b. metaller, bütün yarımetaller ve organik maddelerin çoğu diamanyetiklerdir. Çubuk halinde böyle bir madde manyetik alan içine salınırsa, çubuk, büyük eksen manyetik alana dik oluncaya kadar bir moment etkisinde kalır. Bu madde atomlarının daimi bir manyetik momenti yoktur fakat bunların atomlarında dış bir manyetik alan etkisi manyetik bir dipol momenti oluşturulabilir.

III.1.3 Ferromanyetizma

Ferromanyetik maddelerin manyetik özellikleri, o maddeden bir toroid biçimli Rowland halkası yapılarak ölçülebilir. Rowland halkasındaki primer bobinlere

mıknatıslayıcı bobinler ve oradan geçen akıma mıknatıslayıcı akım denir. Sekonder bobinler bir galvanometreye bağlanmışlardır (Şekil III.2.b). Halka içindeki manyetik alan S anahtarı ile mıknatıslayıcı akımın yönü çok çabuk olarak değiştirilerek ölçülebilir. Mıknatıslayıcı akımın yönü değiştikçe M mıknatıslanmasının yönü de ve onunla orantılı olan H 'ın da yönü değişir. Mıknatıslayıcı H alanının yönü değiştikçe B 'nin de yönü değişecektir ve manyetik alan değeri + B den - B ye geçecek ve bunun değişimi $\Delta B = 2 B$ olacaktır. Rowland halkası içinde ferromanyetik madde olan demir çekirdek varsa, çekirdek içindeki B nin değişmesiyle oradaki manyetik akıda ($\Phi = B S \cos\theta$) değişecek ve onun değişmesi de sekonder devrede ani bir indüksiyon emk'si ve o da bir indüksiyon akımı oluşturacaktır.

Toroid biçimli ve sarımlı bir bobinin içinde demir çekirdek yokken (Boşlukta), sarımların oluşturduğu manyetik alan

$$B_o = \mu_o \frac{N I}{2 \pi R} = \mu_o \frac{N I}{l} \quad (81)$$

olacaktır.

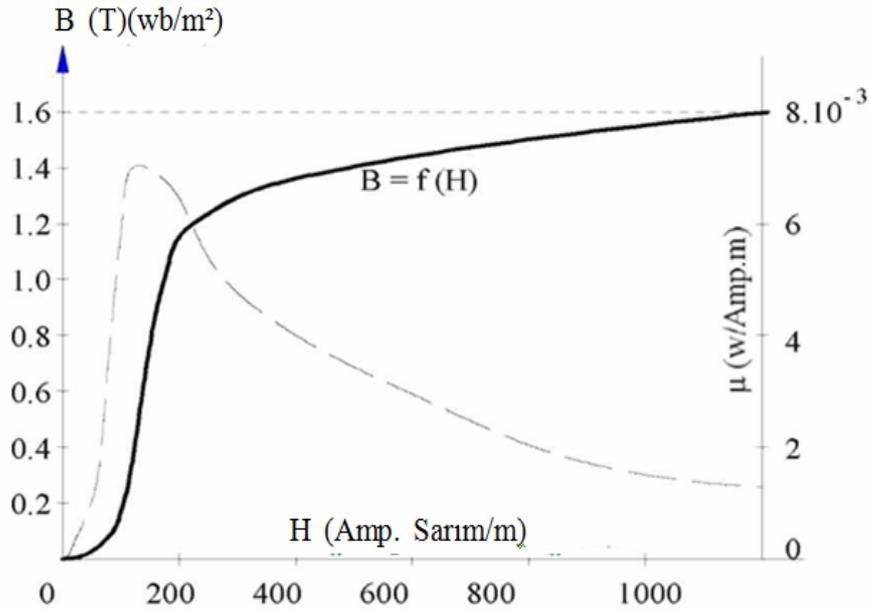
Rowland halkası şeklinde oluşturulmuş bir maddenin de manyetik alanı

$$B = \mu N \frac{I}{l} \quad (82)$$

dır. μ , çekirdek maddenin manyetik geçirgenliğidir. Rowland halkasından geçen bir akım şiddeti için manyetik şiddet H 'ın değeri çekirdeğin hava olması haliyle aynıdır. Rowland halkasında çekirdekli manyetik alan $B = \mu N (I / L)$ ve manyetik şiddeti de ($H = N (I / l)$) verildiğinden halka içindeki çekirdek maddenin manyetik geçirgenliği

$$\mu = \frac{B}{H} \quad (83)$$

dır. B 'nin H'a ve μ , 'nün H 'a göre değişimi Şekil III.4'de verilmiştir.



Şekil III.4 B-H ve μ - H değişimi

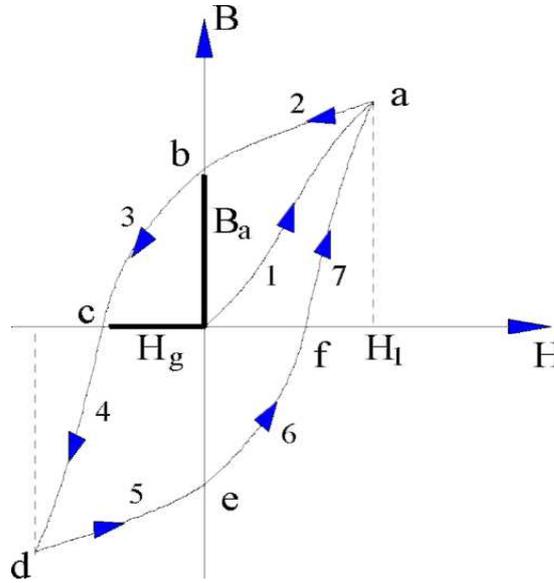
B (T)(wb/m²) H (Amp. Sarım/m) H bobinden geçen akım şiddeti ile doğru orantılı olarak artarken doyma şartına yaklaştıkça B artması daha yavaş olur. Buna göre mıknatıslığı olmayan madde giderek artan bir şekilde mıknatıslanır (B artar) ve doyma durumundan sonra eğri yatay olur ve B 'nin değeri (mıknatıslanma şiddeti) hemen hemen sabit kalır. Yine buradan anlaşılacağı gibi, özel bir cins demir malzemeli (Dökme demir, dökme çelik, v.b.) çekirdek için μ , değeri de sabit olmayıp H ' ın fonksiyonu olarak $\mu = f (H)$ şeklinde değişir ve bu değişim lineer değildir. μ 'nün değeri demir malzemenin manyetik bakımdan geçmişine bağlıdır, bu da histerezis denilen olayı meydana getirir. $B = f(H)$ değişim eğrisinin her hangi bir noktasına orijinden çizilen çizginin eğimi ele alınan noktadaki μ , değerini verir (Şekil III.4).

III.1.4 Histerezis Çevrimi

Ferromanyetik bir malzeme önceden mıknatıslanmamış ve manyetik şiddeti (mıknatıslanma) sıfır değerinden itibaren devamlı olarak arttırılırsa $B = f (H)$ mıknatıslanma eğrisi elde edilir (Şekil III.5). Rowland halkası içindeki ve mıknatıslanmamış bir ferromanyetik malzemenin sargılarındaki mıknatıslayıcı akım sıfırdan başlayarak H manyetik şiddetinin değeri H_1' e kadar arttırılırsa $B = F (H)$

değişimi 1 yolunu takip eder ve Oa eğrisi elde edilir. Manyetik şiddet H_1 den tekrar sıfıra düşürülürse değişim 2 yolunu takip ederek ab eğrisini çizer. Burada $H = 0$ olmasına karşılık manyetik alanın değeri B_b ' dir. Buna göre malzemedeki manyetik alan değerinin, yalnızca manyetik şiddete değil, malzemenin geçmişine de bağlı olduğunu anlarız. Daha açık olarak malzeme sanki manyetik bir hafızaya sahiptir ve mıknatıslayıcı akım kesildikten sonra bile b noktasına kadar mıknatıslanmış olduğunu hatırlar. Bu noktada malzeme daimi mıknatıs haline gelmiştir. Malzemenin bu davranışı, $B = f(H)$ değişiminde azalan H değerlerine ait kısmının artan H değerlerine ait kısmı ile çakışmaması ile meydana çıkar ve buna histerezis denir.

Trafo, jeneratör ve elektrik motorları gibi, bunların çoğu demir malzemedan yapılmış parçaları, yönü düzenli olarak değişen manyetik alan içine konulmuştur. Bunlarda H değeri sıfırdan başlayarak bir yöndeki maksimum değere çıkmakta sonra sıfıra inmekte, oradan zıt yönlü fakat bir öncekiyle aynı değerli bir maksimuma artmakta tekrar sıfıra inmekte ve bu çevrimi tekrarlayıp durmaktadır (Şekil III.5). Şekildeki bu kapalı eğriye histerezis çevrimi denir.



Şekil III.5 Histerezis çevrimi

Şekil III.5'deki Ob veya Oe manyetik alan değerleri, manyetik şiddetin ($H=0$) sıfıra indirildiği zamanki değerleridir. Bu değerlere malzemenin artık mıknatıslanması (B_a) denir. Oc ve Of manyetik şiddet değerleri ise, malzemenin zıt

yönde doymaya vardıktan sonra manyetik alan değerinin sıfıra indirilmesi için gerekli zıt manyetik şiddettir. Bunlara giderici kuvvet (H_g) denilmektedir.

Elektrikli aletlerde frekansı 50 Hz. olan bir A.A. kullanıldığında demir çekirdek çatısında saniyede 50 kez histerezis çevrimi çizilecektir. Histerezis olayının bir sonucu olarak, ferromanyetik malzeme histerezis çevrimini her çizisinde, malzeme içinde ısı oluşacak dolayısıyla enerji kaybı olacaktır. Ferromanyetik malzemelerden demir ve alaşımlarının histerezis kayıpları küçük ve μ , (manyetik geçirgenliği) değerleri büyük olduğu için bu enerji kayıpları da az olur.

III.2 KALICI MIKNATIS MALZEMELER

Kalıcı mıknatıslar, herhangi bir manyetomotor kuvvet olmadan manyetik alan sağlama ve sürdürme yeteneğine sahip malzemelerdir. Kalıcı mıknatıs malzemeleri aşağıda yer alan çeşitli alanlarda kullanılır.

Algılama işlemi için sensörlerde,

Üretilen güç ya da momente yardımcı olmak için motorlarda, alıcılarda, hoparlörlerde,

Gerilim üretmek için alternatör ya da generatörlerde,

Manyetik alan üretebilmek Manyetik Rezonans görüntüleme (MRI) sistemlerinde.

Sabit mıknatısların gelişiminde ilerlemeler durmadan devam etse de temel fonksiyonları aynıdır. Manyetik hareketler aşağıdaki terimlerin ifade ettiği ve birbiri ile ilişkili olan üç vektör büyüklüğüne bağlıdır. Bunlar sırayla

"B" Manyetik indüksiyon ya da Akı yoğunluğu

"H" Manyetik Alan

"M" Manyetizasyonudur.

"B" Manyetik indüksiyon ya da Akı Yoğunluğu, vektörel bir büyüklüktür. Boşluktaki bir noktadaki manyetik akının yoğunluğu olarak ifade edilebilir. Birim kesit alandaki akı çizgileri olarak ta belirtilir.

" H" Manyetik Alan, sabit mıknatıs ya da sargılardan akan akım ile alan kaynağı tarafından üretilen manyetik alan olarak ifade edilen bir vektördür. Birimleri CGS' de "Oersted" ve SI' da Amper sarım/metre'dir.

"M" Manyetizasyon malzemenin manyetik durumu olarak ifade edilen bir büyüklüktür. Birim hacimdeki bireysel atomik manyetik momentlerin vektör toplamı şeklinde ifade edilir. Manyetizasyon için CGS birimi "emu/cm³"tür. ("emu" elektro manyetik birim). "M" için SI'daki birim " A/m "dir.

III.2.1 Kalıcı Mıknatıs Ailesi

Kalıcı mıknatıslar elde edildikleri malzemeler, gösterdikleri çalışma performansları ve elde edilme maliyetleri gibi belirleyici etmenlerden dolayı sınıflara ayrılırlar. Her bir mıknatısın farklı kullanım sebepleri vardır. Mıknatıslar yıllardan beri pek çok uygulamada kullanılırlar. Dünyanın pek çok yerinde önemli maden katmanları bulunur. **Tablo III.2'**de isimleri açıklanıp, atom numaraları gösterilmiştir. Neodymium kalıcı mıknatıs için kısmen iyi bir tercihtir. Seramik ve Lanthanum' dan sonra en sık rastlanan mıknatıs malzemedir. Samaryum ile arasında farklılıklar vardır. Samaryum elementi Neodymium' dan daha az bulunur ve metal olarak işlenmesi daha zordur [20].

Kalıcı mıknatıs malzemeler, doğada birlikte bulunurlar. Kimyasal olarak benzerlik gösterirler. Fakat, manyetik olarak oldukça zıt olabilirler. Manyetik durumları şaşırtıcı oranlar gösterir.

Tablo III-2 Kalıcı Mıknatıs Elementleri, Atom Numaraları ve Kullanışlı Hatırlatma İşaretleri

Element	Atom Numarası
Lanthanum	57
Cerium	58
Praseodymium	59
Neodymium	60
Promethium	61
Samarium	62
Europium	63
Gadolinium	64
Terbium	65
Dysprosium	66
Holmium	67
Erbium	68
Thulium	69
Ytterbium	70
Lutetium	71

Her bir kalıcı mıknatıs malzemesinin tercih edilme sebepleri farklıdır. Manyetik malzeme seçimini iyi yapabilmek için bu şartlar değerlendirilmelidir.

Önemli kalıcı mıknatıs malzemelerinin özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

III.2.1.1 Neodymium-Demir-Bor (NdFeB)

NdFeB, yüksek performanslı uygulamalarda iyi bir tercihtir. NdFeB, manyetik malzemeler arasındaki en yüksek enerjili malzemedir. NdFeB' nin enerji üretim değerleri $(BH)_{max}$ yüksek olup, 26-48 MGOe aralığındadır. NdFeB, bazı manyetik malzemelere göre daha sert yapıdadır. Fakat uygulamalarda yapısal bileşen olarak kullanılmazlar. NdFeB, ısıya karşı hassastır ve 150°C aşan çevre koşullarında kullanılmaları uygun değildir. Korozyon rezistansı ve maksimum çalışma sıcaklığı uzunca bir süre çalışmasına engel olur. Uygun kaplamalarla bu sorun çözülür [20]. **Tablo III.3**'te NdFeB manyetik malzemelerinin B, H değerleri verilmiştir.

Tablo III.3 NdFeB Manyetik Malzemesinin Çeşitleri ve Tipik Özellikleri

Malzeme	$(BH)_{max} MGOe$	B_r (Gauss)	H_c (Oersteds)	H_{ci} (Oersteds)
NdFeB 31/25	31	11200	11000	25000
NdFeB 35/19	35	12300	11900	19000
NdFeB 38/17	38	12500	12100	17000
NdFeB 40/14	40	12600	12300	14000
NdFeB 44/12	44	13500	11000	12000

III.2.1.2 Yeni Nesil Bağlı Form NdFeB

Yeni formda, NdFeB yüksek performanslıdır. Çeşitli şekil ve form alternatifleri sunar. Yeni formun enerji üretimi 8-10 MGOe aralığındadır. En uygun çalışma sıcaklığı 150°C' tır. Gelişmiş motor ve sensör kullanımı için uygundur. Maksimum çalışma sıcaklığı, mıknatısın geometrik şekline ve çevre koşullarına bağlı olarak değişir [20].

Tablo III.4 Yeni Nesil Bağlı Form NdFeB Manyetik Malzeme Karakteristikleri

Manyetik Karakteristikleri	CGS	SI
Artık İndüksiyon B_r	6900G	0.69T
Zorlayıcı Güç H_c	5200 Oe	414kA/m
Gerçek Zorlayıcılık H_{ci}	9000 Oe	716kA/m
Enerji Üretimi $(BH)_{max}$	10 MGOe	80 kJ/m ³
Geri çekilme geçirgenliği μ_r	1.22	1.22
100°C'e kadar B_r 'nin ısıl katsayısı	-0.150%/°C	-0.150%/°C
100°C'e kadar H_{ci} 'nin ısıl katsayısı	-0.40%/°C	-0.40%/°C
Gerekli manyetik güç H_s	35000 Oe	2786 kA/m
Maksimum çalışma sıcaklığı	150°C	150°C
Fiziksel Özellikler		
Yoğunluk	6.0g/cm ³	6000 kg/m ³
Curie sıcaklığı	360°C	360°C

III.2.1.3 Samaryum Kobalt (SmCo)

Samaryum Kobalt, yüksek ortam sıcaklığında yüksek performans ile çalışmanın gerekli olduğu uygulamalar için en uygun malzemedir. Manyetik malzemelerden olan Samaryum Kobalt, özellikle 300°C ve üzerindeki uygulamalarda mükemmel ısıl performans sergiler. Samaryum Kobalt'ın enerji üretimi 16-32 MGOe aralığındadır. Manyetik performansta, NdFeB' den sonra gelmektedir. Samaryum Kobalt mıknatısları son derece yüksek " H_{ci} " değerli ve nispeten düşük " B_r " ısıl katsayılı bileşimdir. Fakat, samaryum ve kobaltın yüksek maliyetleri bu mıknatısı kullanılan en pahalı mıknatıslarından yapar [20]. **Tablo III.5**'te SmCo manyetik malzemelerinin B, H değerleri verilmiştir.

Tablo III.5 SmCo Manyetik Malzemesinin Çeşitleri ve Tipik Özellikleri

Malzeme	$(BH)_{max}$ MGOe	B_r (Gauss)	H_c Oersteds)	H_{ci} (Oersteds)
SmCo 16/18(1-5)	16	8300	7500	18000
SmCo 18/20(1-5)	18	8700	8000	20000
SmCo 22/15(1-5)	22	9500	9000	15000
SmCo 26/11(2-17)	26	10500	9000	11000
SmCo 28/7(2-17)	28	10900	6500	7000

III.2.1.4 Alüminyum Nikel Kobalt (Alnico)

Alüminyum Nikel Kobalt malzemesi çok yüksek sıcaklık uygulamaları için uygun tercihtir. Çevre sıcaklığının 550°C ve üzerinde olduğu uygulamalarda kullanılabilirler. Geniş sıcaklık aralıklarının gerektiği uygulamalarda da kullanılırlar. Alnico manyetik malzemesinin enerji üretimi 1.5-7.5 MGOe aralığındadır. Alnico mıknatıslar " B_r " nin düşük ısıl katsayısına sahiptirler. Yüksek maksimum çalışma sıcaklığına sahiptirler. Fakat Alnico düşük " H_{ci} " değerine sahiptir [20]. **Tablo III.6**' de Alnico manyetik malzemelerinin B, H değerleri verilmiştir.

Tablo III.6 Alnico Manyetik Malzemesinin Çeşitleri ve Tipik Özellikleri

<i>Malzeme</i>	$(BH)_{max}MGOe$	$B_r(Gauss)$	$H_c (Oersteds)$	$H_{ci} (Oersteds)$
Cast Alnico 5	5.5	12800	640	640
Cast Alnico 5-7	7.5	13500	740	740
Cast Alnico 8	5.3	8200	1650	1860
Sintered Alnico 2	1.5	7100	550	570
Sintered Alnico 5	3.9	10900	620	630
Sintered Alnico 8	4.0	7400	1500	1690

III.2.1.5 Ferrite Malzeme

Ferrite manyetik malzeme düşük maliyetlidir. Üretiminde kullanılan hammaddelerin kolay bulunur olması sebebiyle, dünyada en çok satılan manyetik malzemedir. Bu malzeme, 300°C' nin altındaki çalışma sıcaklıkları için uygundur. Ferrite manyetik malzeme, katı kristal yapısı sebebiyle kolay kırılır. Ferrite malzemenin enerji üretimi 1-3.5 MGOe aralığındadır. Ferrite mıknatıslar diğerlerinden farklı olarak, çubuk ve rulo şeklinde de üretilebilirler. Ferrite tozları, esnek kauçuk malzemeyle birleştirilmesiyle manyetik katman elde edilir. Katmanlar çeşitli kalınlıkta ve değişik genişliklerde kesilebilir. Bu katmanlar maksimum tutma gücünü üretmek için çok kutuplu modellerle manyetize edilir. Tutma gücünün büyüklüğü, manyetik malzemenin yüzey alanı ile orantılıdır. Manyetik özellik bakımından oldukça zayıftır [20]. **Tablo III.7'**de Ferrit manyetik malzemelerinin B, H değerleri verilmiştir.

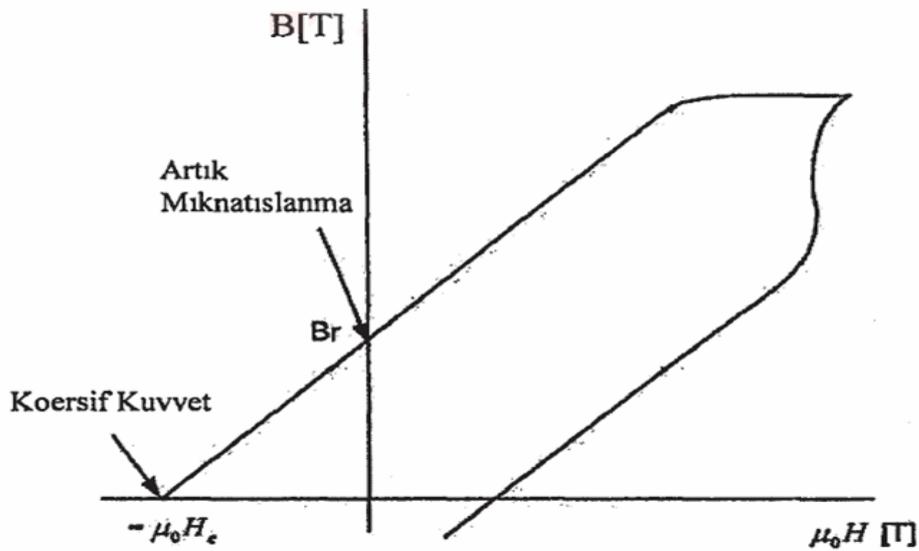
Tablo III.7 Ferrit Manyetik Malzemenin Çeşitleri ve Tipik Özellikler

<i>Malzeme</i>	$(BH)_{max}MGOe$	$B_r (Gauss)$	$H_c (Oersteds)$	$H_{ci} (Oersteds)$
Seramik 1	1.05	2300	1860	3250
Seramik 5	3.4	3800	2400	2500
Seramik 8	3.5	3850	2950	3050

III.2.2 DC Motorlarda Kullanılan Mıknatıslar

DC motorlarda kullanılan sürekli mıknatıslar, B - μH düzleminde geniş bir histerezis döngüsüne sahiptir. Sürekli mıknatısların karakteristikleri Şekil III.6'de görülen histerezis eğrisi gibidir. μH eksenini ile karakteristiğin kesiştiği noktaya, manyetik maddenin mıknatısiyet gidergenliği (koersif kuvvet) adı verilir. Ayrıca B eksenini kesen noktaya artık mıknatıslanma (remenans) denir.

Şekil III.6'de görülen histerezis döngüsü, mıknatıslanmamış maddeye mümkün olan en büyük harici manyetik alan uygulanıp kesilmek suretiyle oluşturulur. Ulaşılan son nokta, mıknatısa uygulanan harici manyetik alanın bir fonksiyonudur. Eğer mıknatısın iki ucu, son derece geçirgen bir madde ile kısa devre edilirse ulaşılan son nokta $H=0$ 'dır. Bu noktada mıknatısta kalan akı yoğunluğu, B_r ile gösterilen artık mıknatıslanmaya eşittir.



Şekil III.6 Bir sürekli mıknatısın histerezis döngüsü

Artık mıknatıslanma, mıknatısın kendi kendine üretebildiği maksimum akı yoğunluğudur. Diğer taraftan mıknatıs etrafındaki geçirgenlik sıfır ise, mıknatıstan dışarı akı akmaz ve ulaşılan son nokta $B=0$ 'dır. Bu noktada mıknatısın bir tarafından diğer tarafına geçen alan şiddetinin büyüklüğü, $\mu_0 H_c$ ile gösterilen koersif kuvvete (gidergenlik kuvveti) eşittir. Sıfır ile sonsuz arasındaki manyetik iletkenlik için çalışma noktası, artık mıknatıslanma ve koersif kuvvet arasındaki ikinci çeyrek

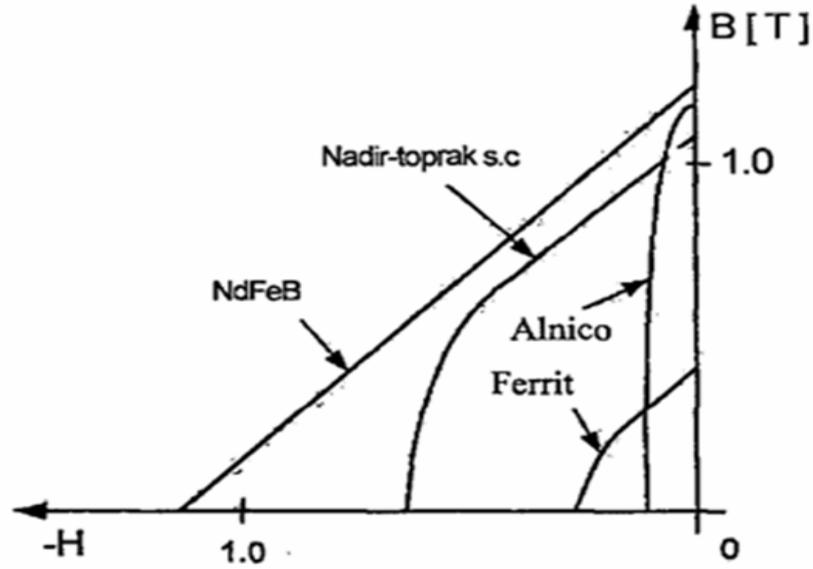
bölgede bir yerdedir. Normalde motor ve sürücü tasarımında, arzu edilen çalışma noktalarının bulunduğu yer olduğu için sadece, ikinci çeyrek bölge göz önünde bulundurulur [21].

Sürekli mıknatıslar, sabit mıknatıslı DC motorların ana malzemeleridir. Son yirmi yılda sürekli mıknatıs teknolojisi büyük ölçüde gelişmiştir. Bugün sürekli mıknatıs maddelerinin pek çok tipleri mevcuttur. Bunlar AlNiCo, ferrit (Seramik), toprak elementi samaryum-kobalt ve neodmiyum-iron-boron (NdFeB)'dir. Son yıllarda geliştirilen NdFeB mıknatıslar, en yüksek güç üretimine sahiptir. Ferrit mıknatıslar, ucuz maliyetinden dolayı en yaygın kullanılan mıknatıs çeşididir. Her mıknatıs çeşidi, sabit mıknatıslı DC motorlarda farklı performans seviyelerine ve çeşitli kısıtlamalara yol açan farklı özelliklere sahiptir.

Sürekli mıknatıs maddelerinin karakteristikleri **Tablo III.8**'de karşılaştırılmaktadır. Sürekli mıknatısların en yaygın çeşitlerinin tipik olarak mıknatısiyetini yitirme karakteristikleri Şekil III.7'te görülmektedir. Ferrit mıknatıslar ucuzdur ancak çok daha düşük artık mıknatıslanma akı yoğunluğuna, artık mıknatısiyet yitirme kuvvetine ve güç üretimine sahiptir. Ayrıca ferrit mıknatısların kırılğan bir yapısı vardır. NdFeB mıknatıs Şekil III.8'te görüldüğü gibi en yüksek artık mıknatıslanmaya ve artık mıknatısiyet yitirme kuvvetine sahiptir [21].

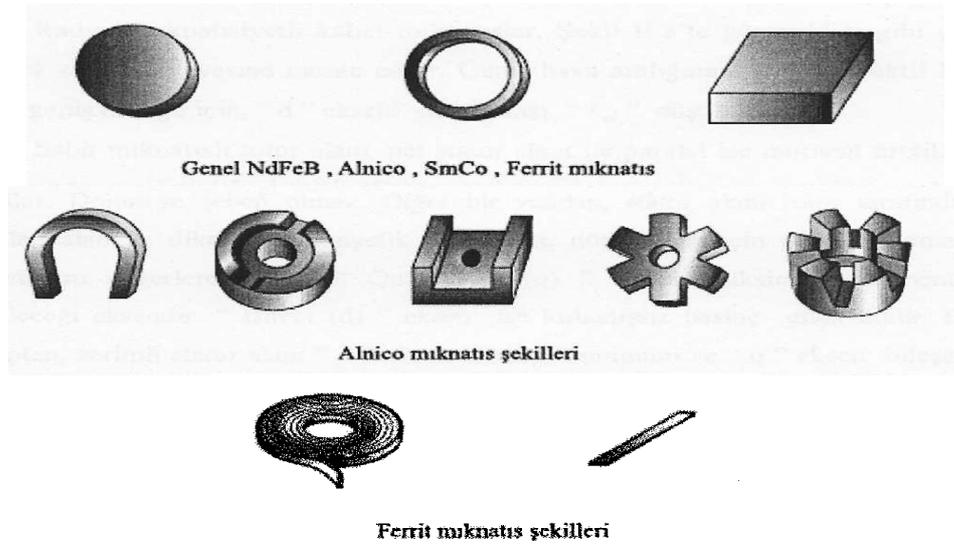
Tablo III.8 Sürekli mıknatısların karakteristikleri

Alnico	Yüksek B_r ve düşük H_c , Mükemmel mekanik dayanım, büyük boyutlu sürekli mıknatıslar için iyidir.
Ferit	Düşük B_r ve orta H_c , nispeten daha ucuz ve kolay kırılabilir.
Nadir toprak elementi samaryum kobalt	Yüksel B_r ve H_c , çok pahalı, küçük sıcaklık katsayısı
NdFeB	Yüksel B_r ve H_c , mükemmel performans, nispeten pahalı



Şekil III.7 Yaygın sürekli mıknatıs malzemelerinin koersif kuvvet karakteristikleri

Tüm manyetik malzemeler Şekil III.8’de görüldüğü gibi farklı biçimlerde üretilmektedir. Malzemenin şekli performansı üzerinde etkilidir. Aynı malzeme farklı şekillerde, farklı performans sergiler. Dairesel, halka şeklinde ve dörtgen blok şeklinde üretilirler. Her bir manyetik malzeme daire, halka ve dörtgen blok şeklinde üretilirler. Fakat Alnico ve Ferrit manyetik malzemeleri değişik geometrik şekillerde de elde edilebilir [20,22].

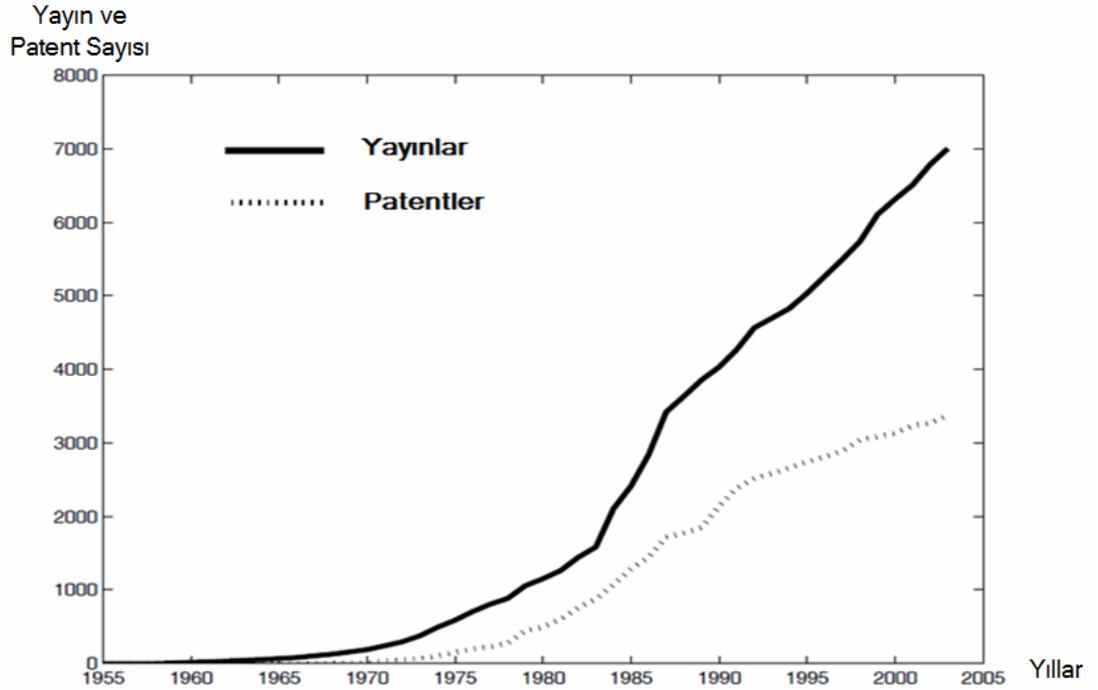


Şekil III.8 Kalıcı Mıknatıs Malzemelerin Geometrik Şekilleri

III.3 MANYETİK SIVILAR (MS) VE ÖZELLİKLERİ

III.3.1 Manyetik Sıvılar

Manyetik sıvılardaki araştırma sahasının önemli bir özelliği bu materyallerin geniş çaptaki uygulanabilirlikleridir. Geçen yüzyılın önemli bir bölümü boyunca, birkaç önemli teknolojik kullanımlardan motive olan kimyagerler ve fizikçiler tarafından stabil manyetik sıvıları sentez etmek için büyük çaba harcanmıştır. Sıvılardaki manyetik partiküllerin stabil olmayan süspansiyonlarının çok daha önceden üretilmiş olmasına rağmen bir manyetik sıvının ilk sentezi 1965'te Papel tarafından rapor edilmiştir [23]. Bundan sonra, bu sahada artan bir bilimsel üretim başladı. Bu sahanın kayda değer bir özelliği de şudur; Patentlerin sayısı çalışmaların neredeyse yarısı kadardır. Bu durum manyetik sıvıların geniş çaptaki uygulanabilirliklerini doğrular niteliktedir. Şekil III.9 [24].



Şekil III.9 Yayınlar ve patent sayıları

Manyetik sıvıların araştırma alanı, çok disiplinli bir alandır. Kimyagerler onların sentezi üzerine çalışır ve manyetik sıvıların üretimini sağlarlar. Fizikçiler ise onların fiziksel özellikleri üzerinde çalışır ve bunları açıklayan teorileri öne sürerler. Mühendisler uygulanabilirlikleri üzerine çalışırlar ve onları teknolojik ürünlerde kullanırlar. Biyologlar ve doktorlar biyomedikal ihtimalleri üzerinde çalışır ve manyetik sıvıların tıpta ve biyolojik sahadaki araştırmalarda kullanırlar.

Manyetik sıvının birçok alanda uygulaması, manyetik sıvının aşağıdaki özelliklerine bağlıdır:

Manyetik sıvı manyetik alanın en güçlü olduğu yöne hareket eder ve orada kalır.

Elektromanyetik enerjiyi uygun frekanslarda emer ve ısıtır.

Fiziksel özellikleri manyetik bir alanın uygulanması ile değişebilir.

Bu özellikler manyetik sıvıları, mühendislik araştırmasında, materyal biliminde, medikal, biyolojik ve teknolojik amaçlar için yararlı hale getirir [23].

III.3.2 Manyetik Sıvılar Üzerine Yakın Gelecekteki Araştırmalar

Tabii ki gelecek yıllarda MS'lar hakkındaki araştırmaların nasıl olacağını tam olarak tahmin etmek mümkün değil ama yapılan araştırmalardan bazı sonuçlar çıkarılabilir. Özellikle şimdiye kadar neredeyse tamamen deney hayvanları üzerinde deneylere dayanan biyomedikal uygulamalar hızlı bir şekilde insanlar üzerindeki kullanımlara dönmektedir. Özellikle kanser tedavisi geleneksel tıpla elde edilen gelişmeden daha hızlı bir gelişmeye ihtiyaç duymaktadır ve manyetik sıvının ilaç hedeflerinde ya da hipertermi için kullanılması ya da bu tekniklerin geleneksel radyoterapi, kemoterapi hatta cerrahi ile birleştirilmesi gelecek yıllarda kesinlikle yoğun araştırma konusu olacaktır. Aynı çizgide, manyetik sıvıların sentezi, farklı türdeki hücrelerle kurarak biyolojik olarak uyumlu tabakalar üzerinde yoğunlaşacak. Temel araştırma seviyesinde bilgisayar teknolojisinin çok hızlı gelişimi ile sayısal

simülasyon daha gerçekçi modellerle birlikte kullanılacak, bu yolla laboratuarda test edilecek manyetik sıvıların özellikleri ve kaliteleri daha iyi analiz edilecektir [23].

III.3.3 Manyetik Sıvı Özellikleri

Manyetik sıvı; bir taşıyıcı sıvıdan ve surfactant denen yüzey aktif katmanı tarafından süspansiyonda tutulan küçük manyetik taneciklerden oluşur. Taşıyıcı sıvılar, hidrokarbon yağları gibi sıklıkla kullanılan sıvılardan, belirli uygulamaların ihtiyaçlarını karşılamak için seçilirler. Manyetik taneciklerin en yaygın kaynağı demir oksit, ferrite'dir, çünkü diğer metal oksitlerden daha az oksitlenirler. Bu manyetik tanecikler, taşıyıcı sıvıda her koşulda süspansiyon içinde kalmaları için stabilize edilirler [25].

Manyetik sıvılar; ferro akışkanlar olarak da bilinmektedirler. Çok küçük (5-10 nm), tek odacıklı manyetik taneciklerin sulu ya da susuz süspansiyonlarıdır. Bu tanecikler demir oksit, Mn ve Zn ferritler, Fe ve Co gibi maddeler olabilir. Tanecik boyutu çok küçük olduğundan dolayı, manyetik alan etkisi altında sıcaklık değişimiyle Brownian kuvvetleri ortaya çıkmaya başlar. Bu da taneciklerin dipol kuvvetinden dolayı oluşturdukları zincir dizilmeyi ortadan kaldırmaktadır. Manyetik sıvıların davranışları manyetik alan altında viskoziteye bağlı olarak değişebilmesine karşın belli bir akma noktasına sahip değildirler. Manyetik sıvılar, döner sızdırmazlık sistemleri, manyetik yataklar ve motor damperlerinde kullanılmaktadırlar [26].

Basitçe, manyetik bir sıvı, genellikle kalıcı bir mıknatıs tarafından oluşturulan manyetik bir alan tarafından yerçekimi gibi kuvvetlere karşı kullanılabilir. Eğer manyetik alan hareket ederse, manyetik sıvı da onla birlikte hareket eder [25].

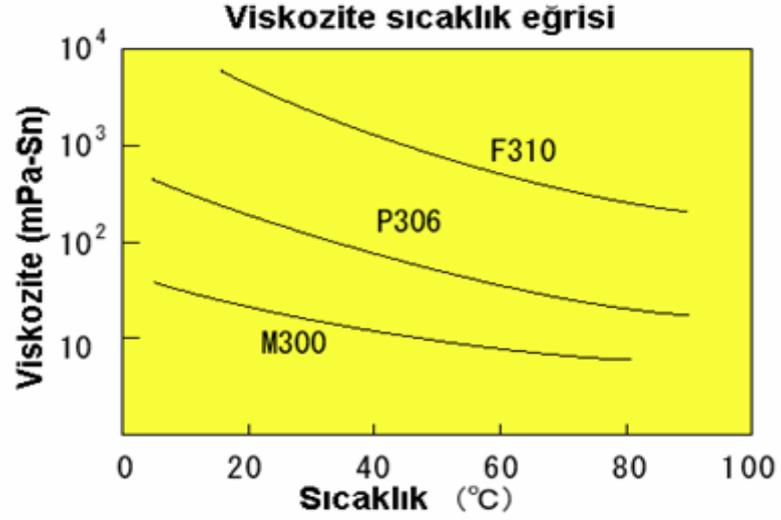
Manyetik Sıvılar (MS) hem mıknatıslanma hem de akışkanlık özelliklerine aynı anda sahip olmak gibi nadir bir özelliğe sahiptirler [27,28]. Manyetik alana yerleştirilmiş Manyetik sıvılar belli bir manyetik momente sahip olurlar. Son yıllarda MS'nin pratik ve teorik çalışmaları gelişmektedir [29,30]. Bunun sonucu olarak şu anda fiziksel özellikleri değişik olan çeşitli MS mevcuttur. Temel sıvısı su, karbohidrojenler, sıvı metaller vb. olan ferrofazlı MS'nin elde edilmesi için çeşitli

teknolojik yöntemler geliştirilmiştir. Manyetik sıvıların çeşitli olmaları çeşitli alanlarda ve sistemlerde kullanılmalarını sağlamıştır [29].

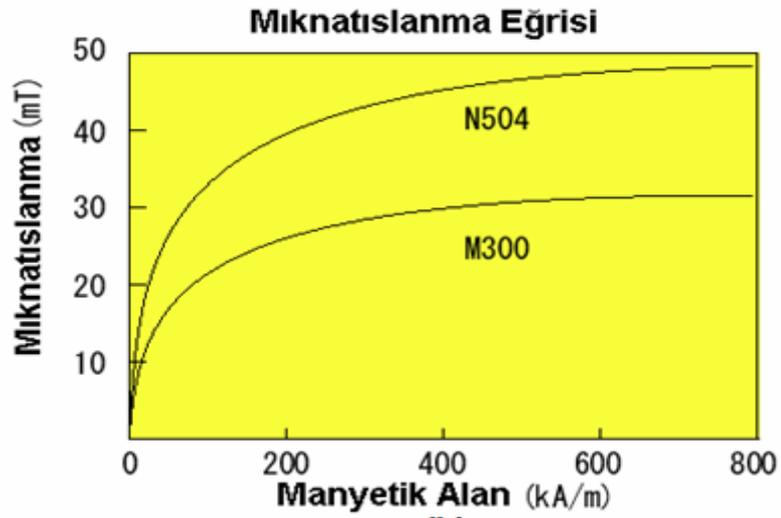
MS'nin dış alanın etkisi ile mıknatıslanarak harekete geçebilme özelliği, bu sıvıların yağlayıcı sıvı olarak kullanım açısından büyük avantaja sahip olduğunu göstermektedir. Çünkü kullanılan mekanizmaların sürtünen kısımları genel olarak çelik veya benzeri manyetik özellikli malzemelerden yapılmıştır. Bu nedenle manyetik devreler oluşturularak mıknatıslanmış MS'nin sürtünen parçalar arasındaki boşluklara ulaştırılması mümkündür. Ayrıca MS'nin incelenmesi göstermiştir ki, MS'nin yağlayıcı özellikleri manyetik alan uygulandığında daha da fazlalaşmaktadır [31].

Tablo III.9 Manyetik sıvı türleri ve özellikleri

Tip	Temel	Manyetizma @1.2 Mat/m(mT)	Viskozite@ 27° C(g/cm ³)	Özgül Ağırlık@20° C (Pa)	Buhar Basıncı@ 20° C (Pa)	Uygulamalar
W-XXX	Su	10-30		1,35		Batma-yukarda kalma
C-XXX	Termal iletkenlik yağı	10-50	200~1200	1,2~1,5		Hoparlör
H-XXX	Hidrocarbon	25-50				
D-XXX	Diester	35-70	550~1500	1,2~1,7	<3*10 ⁻⁵	Manyeto optik aletler



(a)



(b)

Şekil III.10 Çeşitli manyetik sıvıların (a) viskozite ve (b) mıknatıslanma eğrileri

Manyetik sıvılar sıfır zorlukla ve arta kalan manyetizma olmadan süper paramanyetizm gösterirler.

III.3.4 Nanomanyetizma

Manyetizma geçmişi çok uzun olan bir konudur ve ilk önce pusula gibi basit cihazlarda insanların yönlerini bulmalarında kılavuzluk yaparak hizmete başlamıştır. Daha sonra elektrik ve manyetizma arasındaki sağlam ilişkinin keşfi ve bu olayın

Maxwel denklemleri ile formüle edilmesiyle manyetik maddeler elektrik santrallerinde, elektrik motorlarında, telekomünikasyonda, bilgisayarlarda manyetik bilgi depolama ve benzeri birçok alanda teknolojik cihazların olmazsa olmaz temel dayanağı haline gelmişlerdir [10].

Günümüzde manyetik sensörlerde, bilgi depolama cihazlarında, bilgisayar sabit disklerin okuyucu ve yazıcı kafalarında, manyetik kartlarda, tek elektron cihazlarında, mikrodalga elektroniğinde, tıpta ve benzeri birçok teknolojik alanda nano yapıları manyetik malzemeler kullanılmaktadır. Bu zengin kullanım alanları aşağıda anlatılan etkilerden dolayı ortaya çıkmaktadır [10].

III.3.4.1 Taşıyıcı Faz

Taşıyıcı faz, MS akışkan içerisindeki manyetik taneciklere ve katkı maddelerine akışkan ortam sağlamaktadır. MS akışkanın hazırlanmasında kullanılan taşıyıcı fazın kaynama noktası yüksek olmalıdır. Ayrıca, reaktif ve zehirleyici olmamalıdır. Ucuz ve kolay bulunabilir olmalıdır. MS akışkanın çökme tekrar karışma özelliğini ve kararlılığını sağlamak ta taşıyıcı fazın görevidir. Düşük buhar basıncına sahip taşıyıcı faz ile hazırlanan MS akışkanların kullanıldığı cihazlarda sızdırma problemi daha az olmaktadır. Taşıyıcı faz viskozitesinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi, MS akışkanın kullanıldığı cihazlarda uygulama sıcaklığını belirleyen en önemli faktördür. MS akışkanın hazırlanmasında çoğunlukla organik sıvılar kullanılmaktadır. En çok kullanılanları ise istenen taşıyıcı faz özelliklerinin çoğunu sağladıkları için silikon yağı ve hidrokarbon yağlarıdır [32].

Bica'nın yaptığı çalışmada, hazırlanan MS akışkanda taşıyıcı faz olarak silikon yağı ve stearik asit birlikte kullanılmıştır [33]. Stearik asit kullanılmasının sebebi, demir atomlarıyla bağ oluşturması ve manyetik tanecik yüzeyinin bir tabakayla kaplanmasıdır. İlk kez Park vd. çalışmalarında, kararlılığı artırmak için su-yağ emülsiyonunu taşıyıcı faz olarak kullanmışlardır [34]. Lord'da yapılan bir çalışmada ise hidrokarbon yağı, silikon yağı ve su ile farklı MS akışkanlar hazırlanmıştır ve MS akışkan viskozitesinin büyük ölçüde taşıyıcı fazın bir fonksiyonu olduğu görülmüştür [35].

III.3.4.2 Manyetik Nanoparçacıklar

Manyetik malzemenin fiziksel ölçüleri her üç boyutta da küçültüldüğünde nanoparçacık denilen yapılara ulaşılır. Bu yapılarda manyetik özelliklerdeki değişim çok daha çarpıcı hale gelir. Örneğin makroskopik boyutlarda ferromanyetik olan bir malzeme belli bir kritik değerin altına kadar küçültüldüğünde paramanyetik gibi davranmaya başlar. Aslında atomların spinleri arasındaki etkileşimler hala ferromanyetik olmasına ve bir parçacık içindeki tüm spinler birbirlerine paralel olmalarına rağmen, yani parçacıklar tek başlarına ferromagnetik olmalarına rağmen bu parçacıklardan oluşan tozun makroskopik mıknatıslanması paramanyetik bir malzemenin davranışına çok benzer. Çünkü makroskopik madde parçalanarak küçük parçacık haline getirildiğinde tozlar arasındaki etkileşme kırılır. Böylece komşu spinlerin desteğini kaybeden belli bir parçacığın toplam spini sıcaklığın bozucu küçük hacim, az enerji, daha fazla hafıza, daha hızlı bilgi depolama ve okuma etkisine karşı kendini koruyup manyetik alan yönünde yönelimini sürdürmez. Parçacıkların her birisinin toplam mıknatıslanmasını temsil eden bu dev (etkin) spinlerin ortak davranışı süperparamanyetizma olarak adlandırılır. Yani makroskopik olarak ferromagnetik olan bir malzeme nano toz haline getirilip preslense bile paramanyetik gibi davranır.

Nanomanyetik parçacıklar manyetik açıdan tek domen özelliğine sahip olduklarından uygun büyüklüklerde yapıldıklarında ve bir yüzeye atomların kristalde dizildikleri gibi düzgün olarak dizilerek manyetik kayıt ortamı olarak kullanılmaları söz konusu olabilecektir. Süperparamanyetik malzemelerin kendine göre önemli daha birçok kullanım alanları vardır. Çünkü bu parçacıklar ile bilgi depolama kapasitesi mevcut duruma göre birkaç mertebe daha artabilecektir. Bu tozlar ferromanyetik bir düzene giremediğinden bir araya getirilseler bile manyetik kuvvetlerinin kaçınılmaz bir sonucu gibi gözüken bir araya gelip topaklanma olgusundan kurtulurlar. Yani bu manyetik tozlar uygun şartlarda sıvılar içinde homojen olarak dağılabilirler [10].

MS akışkanı hazırlanırken seçilecek taneciklerin, demir, nikel, kobalt gibi manyetik özellik gösterebiliyor olması gerekir. Bunlardan demir en çok tercih edilenidir. Bunun sebeplerinden biri demirin yüksek manyetik doygunluğa (saturation magnetization) sahip olmasıdır. Manyetik doygunluk, maddeye

uygulanan bir manyetik alandan elde edilebilecek maksimum manyetik momenti sağlamaktır. Manyetik moment; manyetik alan yaratan kaynağın şiddetinin ölçüsüdür. Manyetik doygunluk, maddenin doğasından kaynaklanan bir özelliktir ve demirde yüksektir [36]. Diğer bir önemli özellik ise, koersivite özelliğidir.

Koersivite (coersivity); bir maddeye uygulanan manyetik alanın geri döndürülebilirliğine, maddenin göstermiş olduğu dirençtir. Pratikte, manyetik alan uygulanmasına son verildiğinde MS akışkanın en kısa sürede eski haline dönmesi istendiği için koersivitenin de düşük olması istenmektedir. Demir taneciklerinin koersivitesi düşüktür. Koersivite, küçük taneciklerde, tanecik boyutuna bağlıdır. Tanecik boyutunun azalması koersiviteyi artırırken, tanecik boyutunun artması koersiviteyi azaltmaktadır [26].

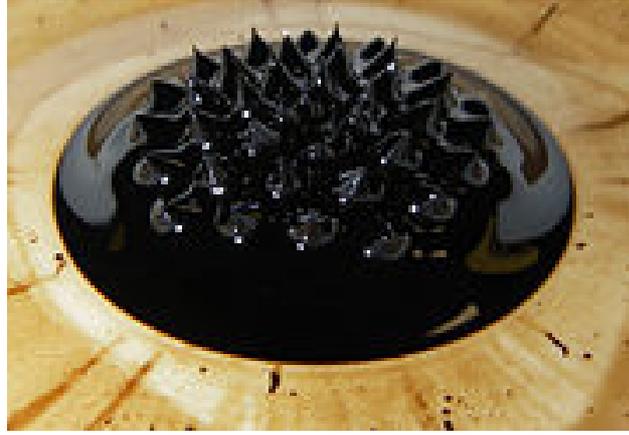
III.3.4.3 Manyetik Nanoparçacıkların Uygulama Alanları

Manyetik parçacık içeren sıvılara ferrosıvı (ferrofluid) denir ve çok önemli uygulamaları vardır. Değişik ve zengin yeni fiziksel özelliklerinden ötürü, nanomanyetik parçacıkların, biyoloji ve biyotıp alanlarında protein ayrıştırma, vücutta ilaç taşıma ve ısı tedavisi işlemleri gibi önemli birçok alanda başarılı uygulamaları bulunmaktadır. Manyetik nanoparçacıkların biyotıp uygulamaları arasında en göze çarpanı manyetik rezonans görüntüleme (MRI) kontrastı artırıcı olarak kullanılmalarıdır. MRI ile hücre takibi, manyetik kuvvet aracılığı ile biyomoleküllerin hücrelerarası manipülasyonu ve kanserli hücreleri öldürecek olan ilaçların kaplanması ise hücre içinde nanomanyetik parçacıkların uygulamasına önemli örnekler arasında sayılabilir [10].

Atomların yörünge elektronları, hareketlilikleri sonucu, dairesel akım oluşturuyor gibidirler. Dolayısıyla; tek sayıda elektronu olan ya da 'Hundt kuralı' gereği bir veya daha fazla eşleşmemiş elektronu bulunan atom veya moleküller, küçük birer 'manyetik moment'e sahip olup, minik birer mıknatıs gibi davranırlar. Ancak olağan koşullar altında bu manyetik momentler, gelişigüzel yönlerde kutuplanmış olduklarından, birbirlerini götürürler. Örneğin bir sabit mıknatıs aracılığıyla, yeterince güçlü bir dış manyetik alan uygulandığında, eş yönlü hale gelirler.

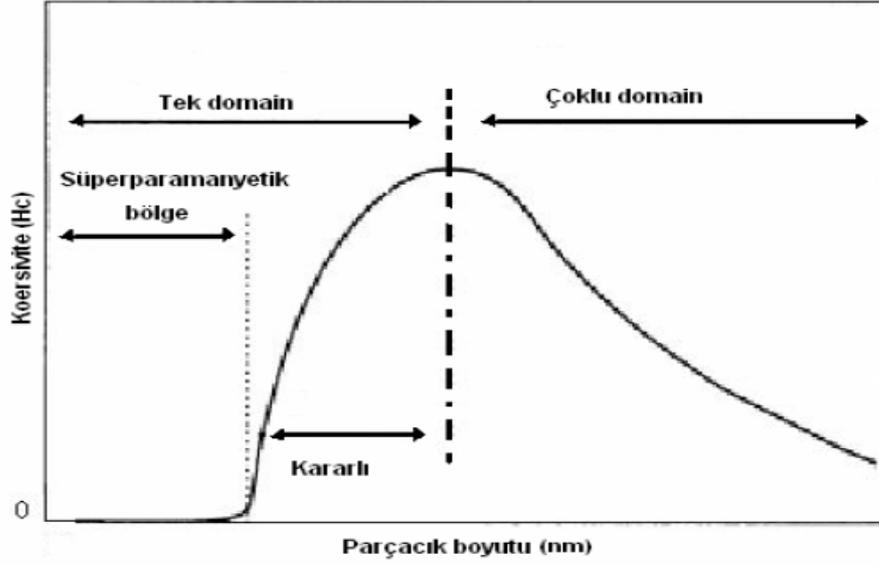
Sonuç olarak; gerçi her bir manyetik momentin yol açtığı alan şiddeti, olağan yöntemlerle fark edilemeyecek kadar küçük, fakat hepsinin eş yönlü olarak birlikte oluşturdukları alan, kayda değer düzeyde yüksek olabilir. Hatta başta demir ve nikel olmak üzere bazı katı malzemelerde, atomlar bu yönelişlerini dış manyetik alanın kaldırılmasından sonra da korurlar. ‘Manyetik hafıza’ya sahip olduğu söylenen bu tür malzemeler, kazandıkları mıknatıslık özelliğini uzun sürelerle koruyabilir. Ancak zamanla, atomların ısı hareketliliği nedeniyle, momentlerin eş yönlülüğü bozulmaya başlayacak ve yeterince uzun süre beklendiğinde, mıknatıslık ortadan kalkacaktır. Beklemek yerine, aynı sonucu elde etmenin bir diğer yolu, malzemeyi yüksek sıcaklıklara doğru ısıtmaktır. Atomların ısı hareketliliği arttıkça, momentlerinin eş yönlülüğü bozulmaya ve mıknatıslık etkisi zayıflamaya başlar. ‘Curie sıcaklığı’ denilen, malzemeye özgün bir sıcaklığa ulaşıldığında, momentlerin yönleri tümüyle gelişigüzelleşir ve mıknatıslık özelliği kaybolur. Öte yandan, katı bir malzemedeki atomların, örneğin kristal yapı içerisindeki periyodik konumları, aralarındaki bağların yönsel açıdan düzenli bir yapıya sahip olmasından kaynaklanır. Dolayısıyla, malzemenin ısıtılmasına devam edildiği takdirde, bağların bu düzenli yapısı da bozulmaya başlar ve bilindiği üzere, ‘erime sıcaklığı’na ulaşıldığında, bağların yönleri tümüyle gelişigüzelleşir. Atomların momentlerinin ve aralarındaki bağların, sıcaklık arttıkça sergilediği davranış süreçlerindeki bu sıralamadan anlaşılacağı üzere; herhangi bir maddenin Curie sıcaklığı, ergime sıcaklığından düşük olmak zorundadır. Yani; sıvı bir maddeyi oluşturan atom veya moleküller manyetik momente sahip olsalar dahi, bu momentler eş yönlülüklerini, madde sıvı hale geçmeden önce kaybetmiş olmalıdır. Çünkü sıvıdaki atom veya moleküller gelişigüzel hareket halinde iken, momentlerinin eş yönlü kalması mümkün değildir. Dolayısıyla, sıvılar kalıcı mıknatıs özelliğine sahip olmazlar. Ancak, yanıtıcı bir deyimle ‘manyetik sıvı’ olarak adlandırılan çözeltiler var. Bunlar, ‘taşıyıcı bir sıvı’nın içinde askıya alınmış, yaklaşık 10nm (10×10^{-9} m) boyutundaki ‘ferromanyetik’ parçacıkların ‘süspansiyon’undan oluşuyor. Taşıyıcı sıvı olarak, kullanım amacının özgün gereksinimlerine yanıt vermek üzere; hidrokarbon yağları, ester, perfloropoliester veya su seçilebiliyor. Manyetik parçacıklar için ferromanyetik malzeme olarak, demir veya kobalt gibi geçiş metalleri kullanılıyor. En sık kullanılan ferromanyetik madde, diğerlerine oranla daha yavaş oksitlendiği için, demir oksit’tir. Parçacıkları sıvının içinde askıda tutan, üzerlerindeki ‘surfaktan’ (kayganlaştırıcı madde) denilen, ‘yüzey etkin’ bir başka madde katmanı vardır. Bu katman;

parçacıklara sıvı içerisinde, değişik koşullar altında ve sürekli askıda kalma kararlılığını kazandırıyor. Parçacık boyutlarını 3-15nm arasında, sıvıdaki konsantrasyonunda istenen değerde seçmek mümkün. Bu sıvılar kendi hallerinde iken, içerdikleri parçacıkların momentleri gelişigüzel yönlerde olduğundan, mıknatıs özelliği sergileyemiyor. Fakat dış manyetik alanlar karşısında, parçacıkların momentleri eşyönlüleştiğinden, tepki gösteriyorlar. Yavaş değişen dış manyetik alanlarda bu tepki; sıvının gövdesi üzerinde, manyetik alanın güçlü olduğu bölgeye doğru bir kuvvetin uygulanması şeklinde oluyor. Böyle bir manyetik sıvı, örneğin sabit bir mıknatısın yol açtığı manyetik alan sayesinde, Şekil III.11’de görüldüğü gibi, yerçekimine karşı askıya alınabilir. Mıknatıs hareket ettiğinde, sıvı hareket eder.



Şekil III.11 Yüzeysel manyetik alandaki manyetik sıvının gösterimi.

Ferromanyetik maddelere, bir manyetik alan uygulandığında spinler yönlenir ve sonraki manyetik doygunluk benzer materyallere göre daha düşük manyetik alanlarda elde edilir. Manyetik alan azaldığında mıknatıslığı giderme spinlerin düzenli dönmelerine bağlıdır ve büyük bir koersivite (H_c) gerekir. Parçacıkların her birisinin toplam mıknatıslanmasını temsil eden bu dev spinlerin ortak davranışı süperparamanyetizma olarak adlandırılır. Parçacık boyutu ve koersivite arasındaki ilişki Şekil III.12’de gösterilmiştir.



Şekil III.12 Parçacık boyutu (nm) ve koercivite (H_c) arasındaki ilişki

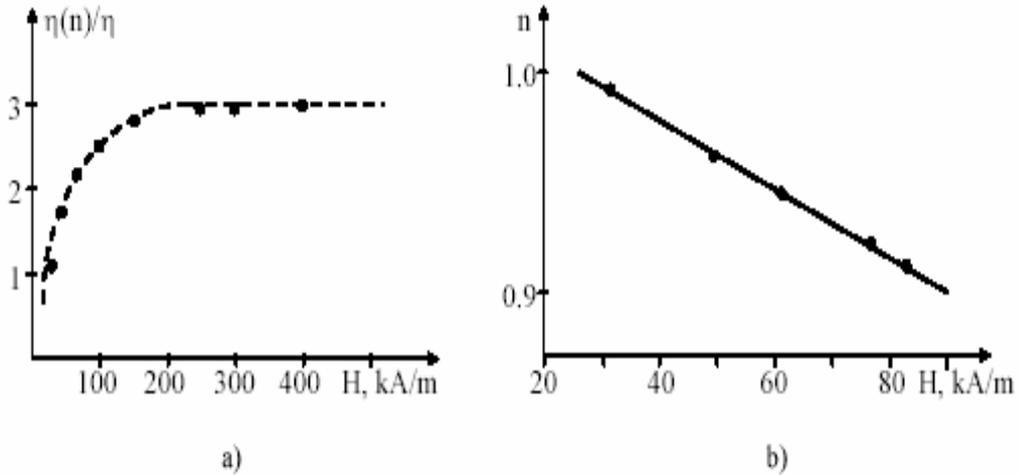
III.3.4.4 Manyetik Sıvılarda Çekim Etkileşimleri

Manyetik sıvı (ferroakışkan) taşıyıcısının içinde süspansiyon olarak duran manyetik nanoparçacıklardan oluşur. Nanoparçacıkların büyüklüğü yaklaşık 10 nm uzaklıktadır. Parçacıkların bozulmaması için yüzeyin kaplandığı madde oldukça önemlidir. Yüzeyin kaplandığı madde manyetik alan uygulandığında toplanmaya engel olacak güce sahip olmalıdır ve nanoparçacıkların moleküler arası bağlarını dengelemelidir.

Manyetik sıvının içine koyulduğu sıvı içinde koloit süspansiyon şeklinde kalabilmesini sağlamak için elektrostatik itme kuvvetinin parçacıklar arası çekim kuvvetinden küçük olması gereklidir. Ferroakışkan sisteminde iki çekim kuvveti vardır. Birincisi Van der Waals kuvvetleri, ikincisi manyetostatik kuvvetlerdir. Ayrıca yer çekim kuvveti tüm koloit sistemi etkileyecektir. Parçacıklar arası çekim kuvveti sıvı içindeki koloit parçacıkların kümeleşmesini sağlar. Bu kümeleşen parçacıkların büyüklüğü 10 nm boyutunda ve yoğunluğu ise 5.2 g/cm^3 'tür. Manyetik sıvıların yoğunluğu etki eden manyetik alanın gücü oranında değişir. Manyetik alan parçacıkların bir arada kalmasını sağlar. Sıvı içindeki parçacık büyüklüğü çekim kuvvetine bağlı olarak büyüyebilir. Molekülleri bir arada tutan zayıf Van der Waals kuvvetleri çeşitli dipol-dipol kuvvetlerinin çeşitliliğine göre artar.[37]

III.3.4.5 Manyetik Alandaki Manyetik Sıvının Rheolojik Özellikleri

Son yıllarda, MS'lerin dış homojen manyetik alandaki statik ve dinamik göstergeleri, içyapı özellikleri vb. dikkatle incelenmektedir [29]. Daha çok MS'lerin zayıf manyetik alanlardaki ($H=60\div 80$ kA/m) özellikleri incelenmiştir [31]. MS'lerin elektriksel, manyetik ve rheolojik özellikleri dış manyetik alan şiddetine bağlı olduğundan, alan şiddetinin geniş bir aralıktaki değişimi MS'lerin bu özelliklerinin etkin olarak değişimine neden olmaktadır. Temel sıvısı gaz yağı (kerosene) olan ve magnetite parçacıklarından oluşturulan MS'nin kapiler viskozimetrede incelenmesi ile ilgili sonuçlar Şekil III.13'de gösterilmiştir. Viskozimetre, alan şiddeti ayarlanabilen dış elektromanyetik alanın içerisine yerleştirilmiştir [38].



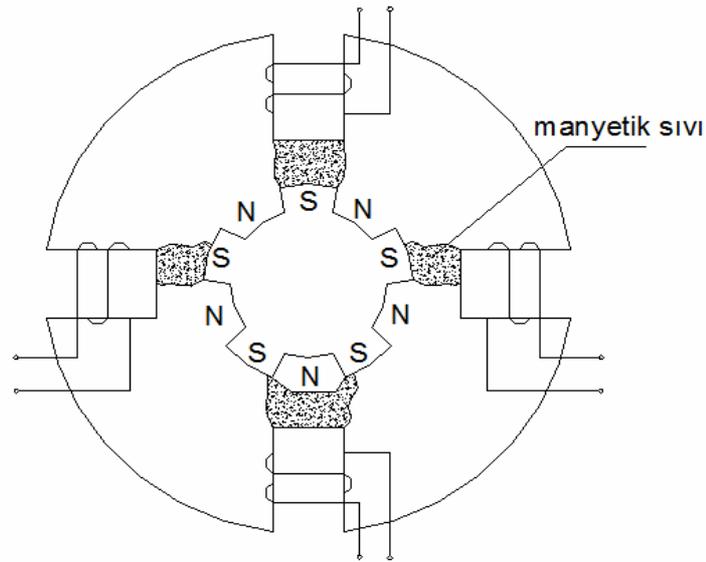
Şekil III.13 Manyetik sıvının etkin viskozitesinin (a) ve Newtonian olmayan davranış indeksinin (b) manyetik alan şiddetine bağımlılığı.

MS'nin $t=250C$ 'deki mıknatıslanması $M_s=60$ kA/m dir. MS'nin etkin viskozitesinin manyetik alan şiddetine bağımlılığı Şekil III.13 a' da gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, manyetik alanın etkisiyle MS'nin viskozitesi değişmektedir ve bu olay MS'nin akış özelliğini de etkilemektedir [38].

III.3.5 Manyetik Sıvının Elektrik Makinelerinde Kullanımı

Manyetik sıvıların son zamanlardaki hızlı gelişimi bu materyaller ile elektrik makinelerinin geliştirilmesini sağladı. Dönen bir sistemde özellikle stator ve rotor olmak üzere her motordaki karşılıklı hareket eden mıknatıs sistemi arasındaki hava boşluğunun manyetik direncini azaltmada kullanılabilirler. (Şekil III.14) Özellikle, yavaşça hareket eden ya da dönen makineler için büyük bir avantaj sağlayabilirler [39].

Hareketli mıknatıslar (stator, rotor) arasındaki hava boşluğunun bir manyetik sıvıyla doldurulması yoluyla yapılan teorik araştırmalar sayesinde doğrusal ve dönen elektrik makinelerinde kayda değer bir güç artışı olduğu yapılan teorik ve deneysel çalışmalar neticesinde görülmüştür [10,11].



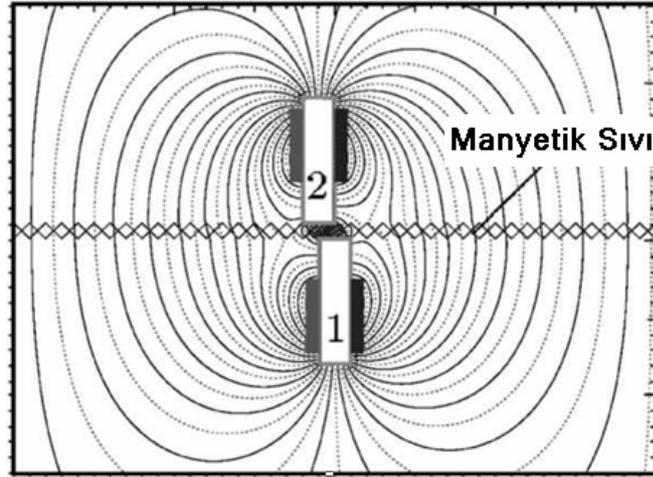
Şekil III.14 Döner elektrik makinelerinde stator ve rotor arasına manyetik sıvının yerleştirilmesi

III.3.5.1 Manyetik Sıvı Destekli Doğrusal Elektrik Makinelerinin Deneysel Sonuçları

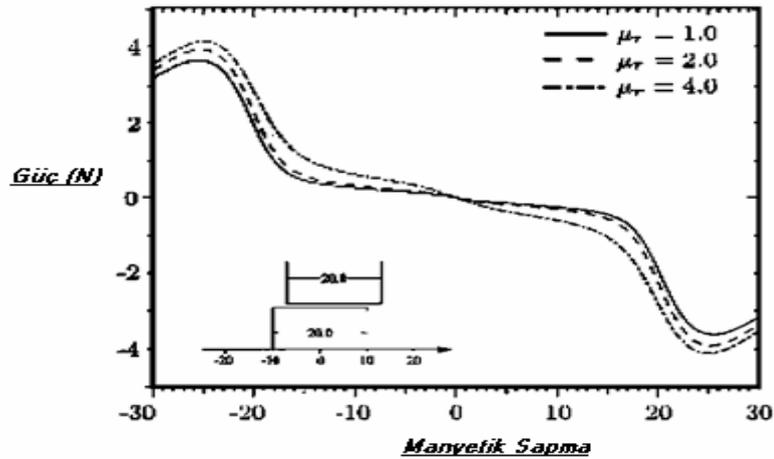
Döner elektrik makinelerinin yanı sıra doğrusal olanların da verimliliği hareketli mıknatıslar arasındaki boşluğun bir ferrofluid (manyetik sıvı) ile

doldurulmasıyla artırılabilir. Bu manyetik direnci azaltır ve böylece itici gücün artırılması sağlanmış olur.

Şekil III.15, iki elektromıknatıs tarafından oluşturulan kuvvet hatları arasında 10 mm'lik bir yanal sapmaya uğramış bir düzlemsel geometriyi gösterir. Mıknatıslar arasında manyetik sıvıyı gösteren bir tabaka vardır. Mıknatıslar arasındaki yanal kuvvetler Maxwel denklemleri kullanılarak manyetik alanlardan ölçülür. (Şekil III.16) Alanlar geometriyi dikdörtgen biçiminde parçalara bölerek, bir dizi dikey fonksiyonda manyetik alanın genişlemesi metodunu kullanarak elde edilir [40].

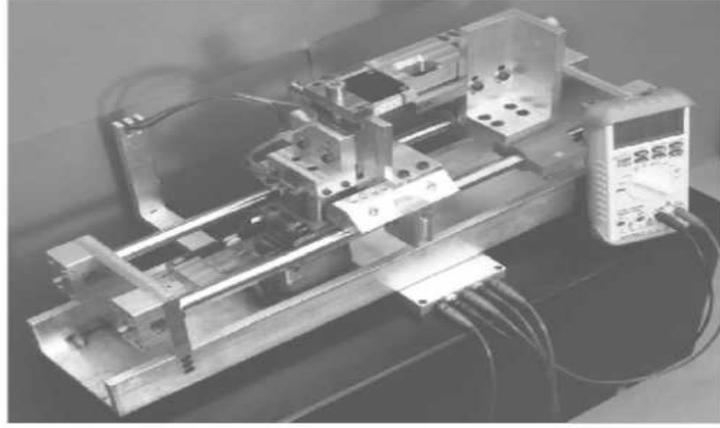


Şekil III.15 Doğrusal sürücü benzetisinin geometrisi ve kuvvet hatları (1: Alt mıknatıs, 2: Üst mıknatıs)

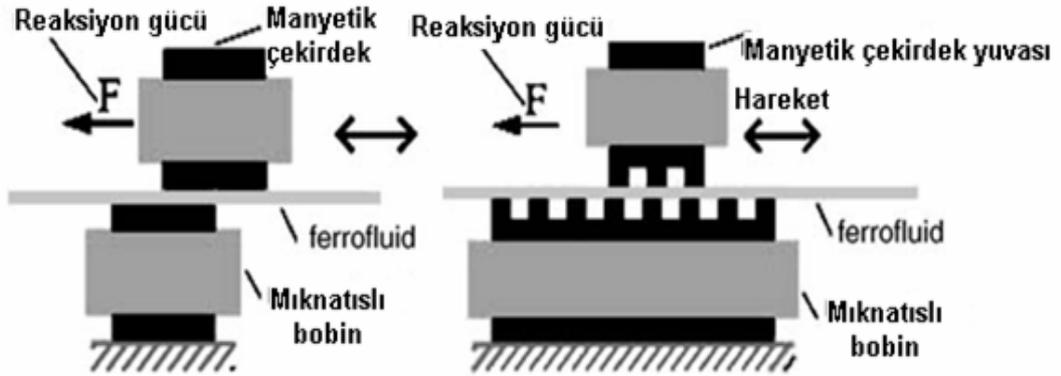


Şekil III.16 μ_r 'nin 3 farklı değeri için gösterilen iki mıknatıs arasındaki yanal kuvvetler

Doğrusal, benzetisinin deneysel oluşturuluşu Şekil III.17 'de gösterilmektedir ve ölçüm prensibi de Şekil III.18' de iki yana kaymış elektro mıknatısların reaksiyon kuvveti ölçülmektedir. Pürüzsüz bir yüzeye sahip bir mıknatısla (sol), bir step motoru gösteren oluklu yüzeye sahip bir mıknatıs (sağ) kullanılmaktadır. Dönen bir makinenin sürtünmesi olmadan saf kuvvetlendirme etkisi bu şekilde ölçülebilir [41].

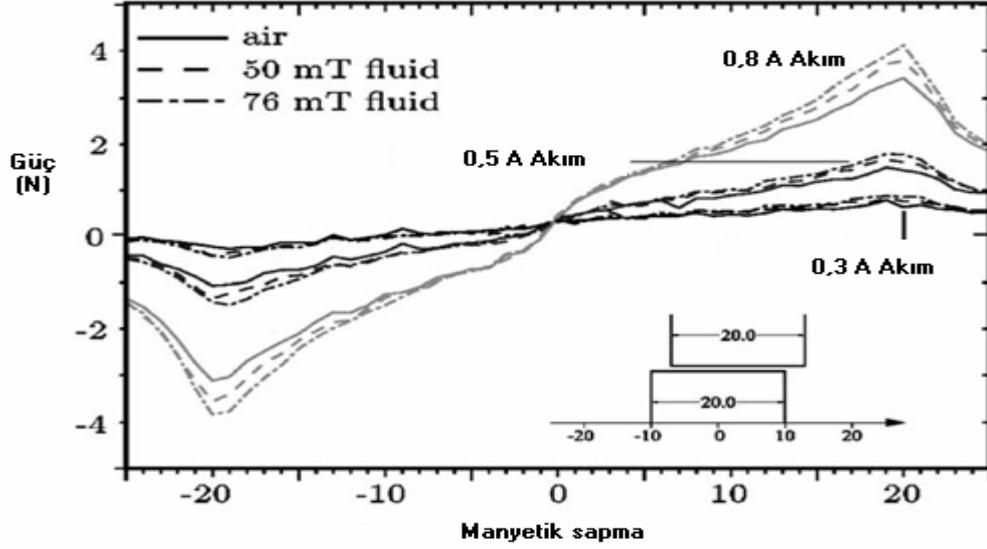


Şekil III.17 Bir elektrik motorunun doğrusal statik benzetisi



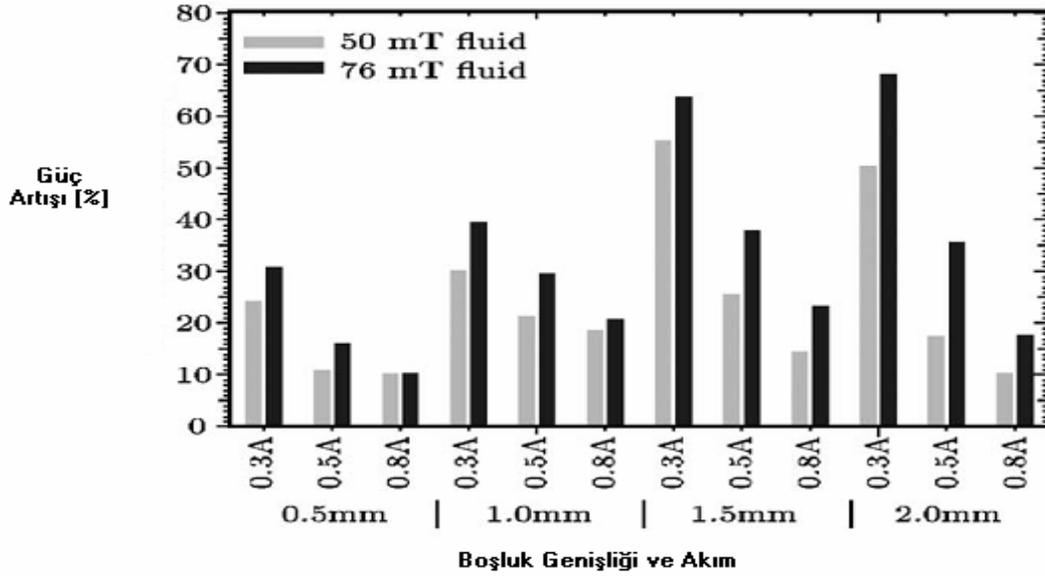
Şekil III.18 Basit doğrusal bir makine (sol) ve bir step motorun (sağ) ölçüm prensibi

Şekil III.19 3 farklı bobin akımı için iki farklı sıvı ve hava için ölçülmüş kuvvetleri gösterir. Şekil III.16'deki teorik sonuçlarla olan mükemmel uyum görülebilir. Şekil III.20' de amplifikasyonun (kuvvetlendirme) maksimum değeri, (20 mm'lik bir sapmada) iki farklı sıvı için, 4 farklı boşluk genişliği ve 3 halka akımı için güç artışı gösterilmektedir.



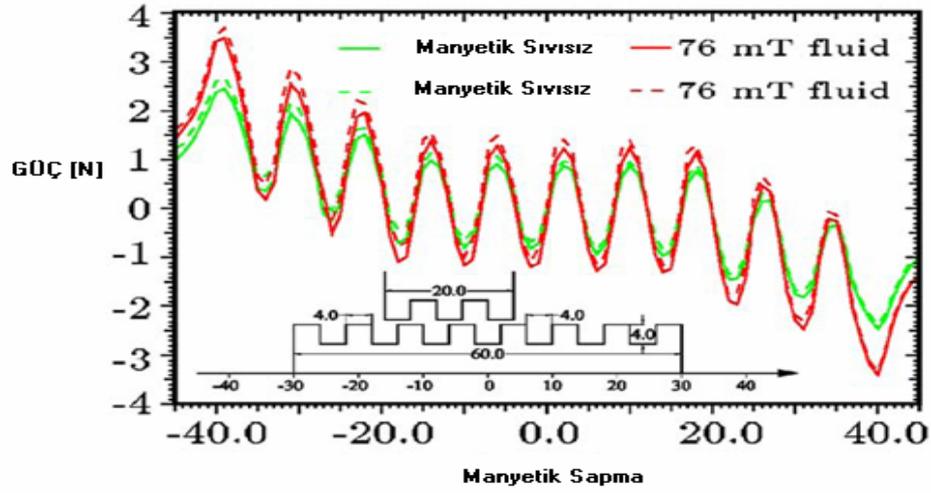
Şekil III.19 Üç farklı bobin akımı ve 1.5 mm'lik boşluk genişliğinde kullanılan 3 farklı MS'nin oluşturduğu güç artışı

Şekil III.18' de gösterilen step motor benzetisinde Farklı boşluk genişliği ve manyetik sıvıların kullanılması sonucu oluşan güç artışı Şekil III.21' de gösterilir [41].



Şekil III.20 İki farklı manyetik sıvı için farklı boşluk genişliği ve 3 farklı akımda oluşan güç artışı

Şekil III.20'ta görüldüğü gibi manyetik geçirgenliği daha fazla olan sıvının kullanılması daha fazla güç artışı sağlamaktadır.



Şekil III.21 1.5 mm boşluk genişliği için doğrusal step motor simülasyonu ile ölçülen güç

Manyetik sıvıları kullanan elektrik makinelerindeki güç artışı, teorik ve deneysel olarak kanıtlanmıştır. Bu sonuç elektrik makinelerinin etkinliği için önemli bir gelişmedir [41].

III.3.5.2 Manyetik Sıvı Destekli Dönen Elektrik Makinelerinin Deneysel Sonuçları

Manyetik sıvı destekli dönen bir makineyi test etmek için Şekil III.22'de gösterildiği gibi ticari bir asenkron motorda ufak değişiklik yapılarak, aşağıda belirtilen durumlar dikkate alınmalıdır.

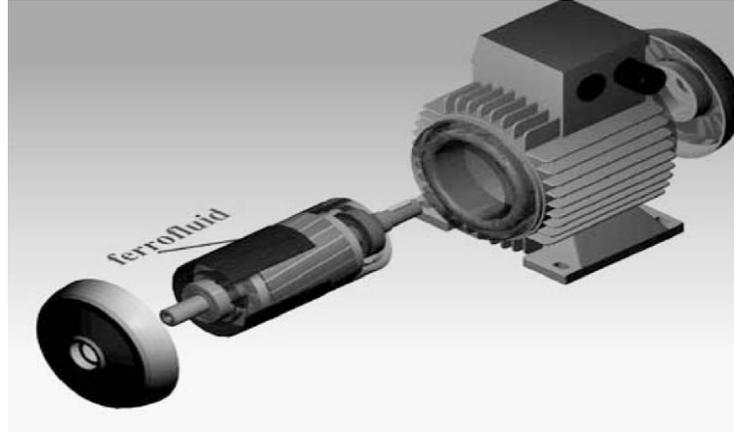
Stator ve rotor arasındaki boşluğun dışındaki çukur yer gerekli manyetik sıvı miktarını azaltmak için küçültülmelidir.

Manyetik ve elektrik işlemselliği kadar rotasyonu da etkileyecek herhangi bir değişiklik yapılmamalıdır.

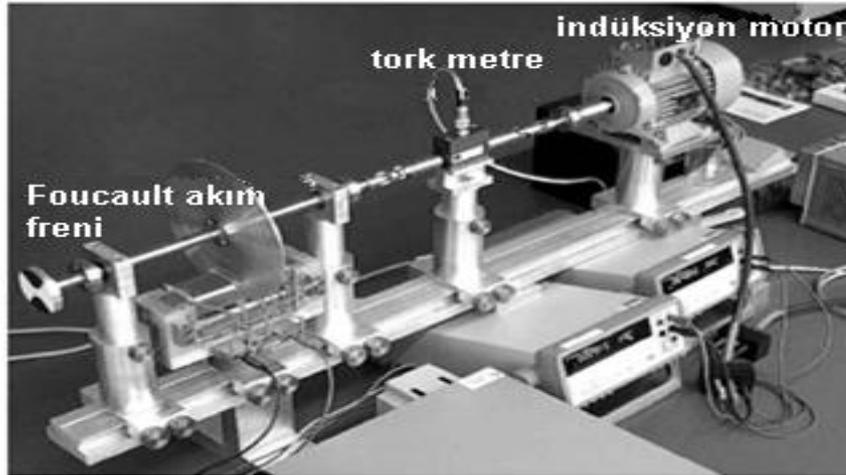
Elektrik makinesinin yapımında ortaya çıkan istenmeyen çukur yerler organik sıvılar tarafından gerçekleştirilen çözülmeyi önlemek amacıyla Alüminyum levhalarla

kapsüle edilen epoxy reçinesi ile doldurulur. Böylelikle manyetik sıvının minimum tüketimi sağlanmış olur.

Sıvı için bir giriş ve bir çıkış hazırlanır. Dönen eksen; motoru mühürlemek için zayıf bir bölümdür. Bu deneysel aşamada en iyi çözüm oradan gelen sıvıyı toplamak ve arayı tekrar doldurmaktır.



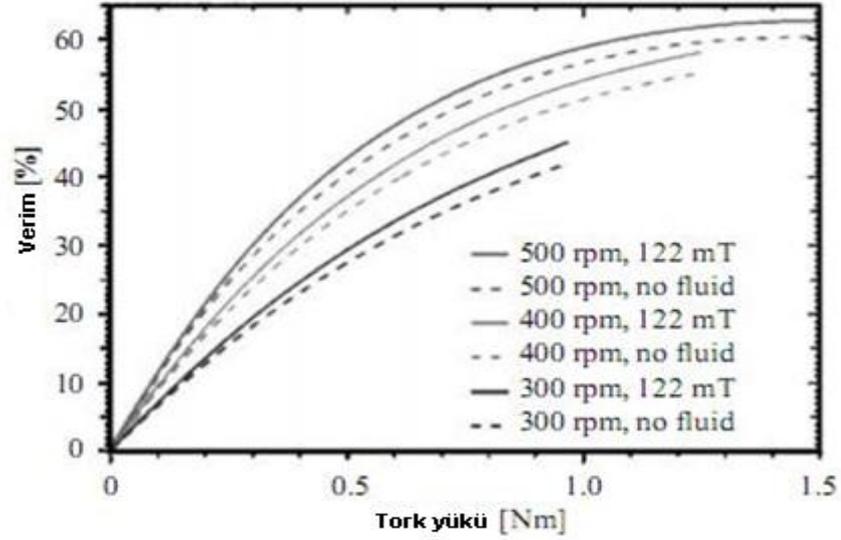
Şekil III.22 Manyetik sıvı ile donatılmış döner elektrikli indüksiyon makinesi



Şekil III.23 Asenkron motorlarda dönme momenti, dönme hızı, voltaj vs gibi parametreleri ölçmek için yapılan deneysel düzenek.

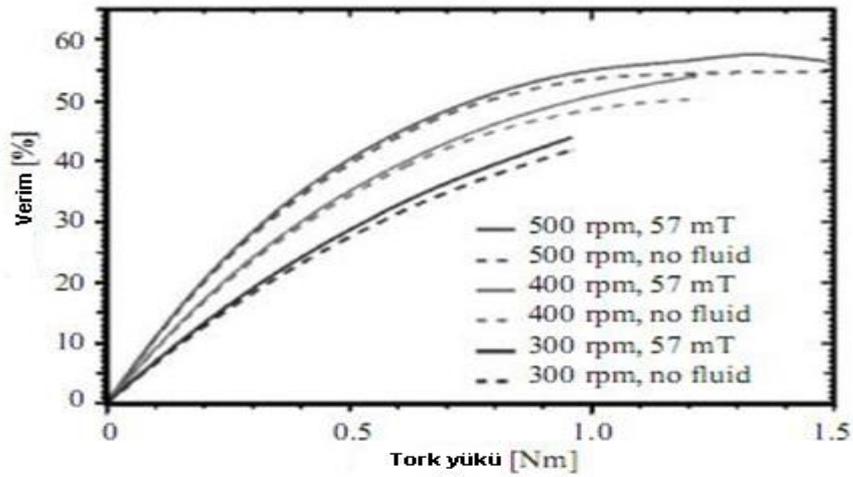
Şekil III.23'da gösterilen ölçüm cihazındaki dönme hızı frekans dönüştürücü tarafından kontrol edilir. İndüksiyon akım freni mekaniksel bir yük oluşturur. Üretilmiş tork, frene sağlanan akıma bakılarak hesaplanabilir [42]. Döner hızı da ölçen gauge'ye (ölçeğe) dayalı tork metresi, motor üzerinde hareketli torku ölçer.

Düşük döner hızlarda iki tip manyetik sıvı test edilmiştir. Çünkü yüksek hızlarda ekstra sürtünme olacaktır. Şekil III.24’de, boşlukta 122 mT’lık bir doyma mıknatıslanmasına sahip gaz yağına (Kerosene) dayalı bir sıvı ve üç farklı döner hız için ölçülmüş tork yüküne karşı endüksiyon motorunun verimliliği gösterilir.



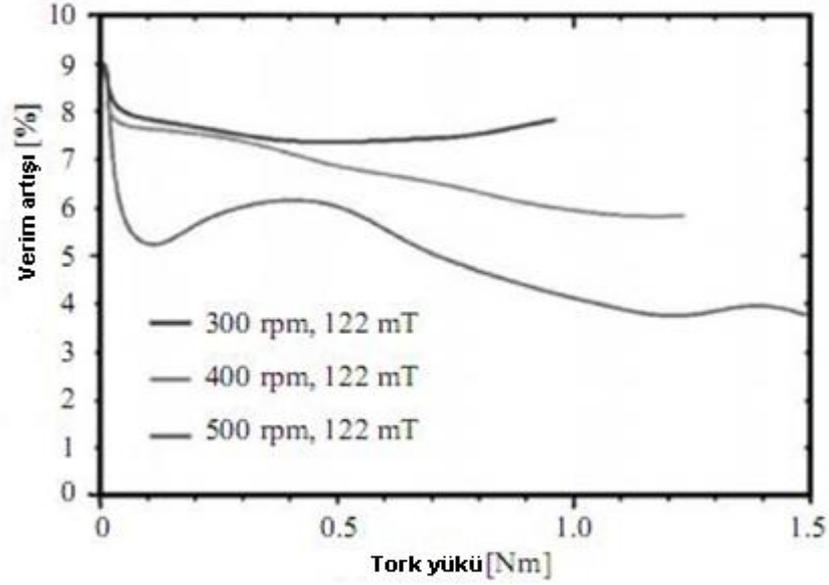
Şekil III.24 122 mT mıknatıslanma doymunluğundaki manyetik sıvı ve 3 farklı döner hız için indüksiyon motorunun verimi.

Aynı uygulama Şekil III.25’de gösterildiği üzere suya dayalı bir 57 mT’lık manyetik sıvı için yapılmıştır.



Şekil III.25 57 mT mıknatıslanma doymunluğundaki manyetik sıvı ve 3 farklı döner hız için indüksiyon motorunun verimi.

Şekil III.26'da ise 3 farklı döner hız ve 122 mT'lık manyetik sıvı uygulanmış endüksiyon motorundaki verimlilik artışını gösterir. Burada döner hızın etkisi açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil III.26 122 mT mıknatıslanma dolgunluğundaki manyetik sıvının 3 farklı döner hızda verimliliğinin artışı.

Hem doğrusal hem de dönen elektrik makineleri için yapılan ölçümlerin sonuçları, manyetik sıvının gelecekte daha verimli elektrik motorları yapımında kullanılabileceğini gösterir. Teknik kullanımlar için manyetik sıvıların standartlaştırılması gerekmektedir. Sıvıların emniyetli bir şekilde etraflarının kapanmasını sağlamak için teknolojik gelişmelere ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin yüksek doyma mıknatıslanmasına, düşük viskoziteye ve yüksek düzeyde dengeye sahip, kobalt parçalarına dayanan yeni bulunmuş sıvılar çok umut verici olacaktır. [39].

BÖLÜM IV

IV UYGULAMADA KULLANILAN SABİT MİKNATISLI FIRÇALI DA MOTORUNUN ÖZELLİKLERİ VE DENEY SETİ

Uygulamada kullanılan fırçalı sabit mıknatıslı doğru akım motorunun (SMDAM) özellikleri Tablo IV.1 verilmiştir.

Tablo IV.1 Uygulamada kullanılan doğru akım motorunun özellikleri

Çalışma Gerilimi	24-48	VDC
Güç	200	W
Devir	1500	d/d
Çalışma Akımı	5	A
Kutup Sayısı	4	2p
İletken Sayısı	407	Z
Faz Sayısı	1	-
Sabit Mıknatıs Türü	Ferrite	-
İzolasyon Sınıfı	IP44	-
Dönüş yönü	Saat yönü / Saat yönü tersi	-
Ağırlık	8	kg

DeneySEL çalışmada kullanılan kalıcı mıknatıslı fırçalı doğru akım motoru; dört kutuplu (2p=4), ve kalıcı mıknatıs türü de ferrite' dir. (Bölüm III'de özellikleri verilmiştir.)

IV.1.1 Kullanılan Araç ve Gereçler

Sabit Mıknatıslı Fırçalı DC Motor Sürücüsü

Sabit Mıknatıslı Fırçalı Doğru Akım Motoru (2 adet)

DC Gerilim Kaynağı 24/48V

Güç Analizörü

Multimetre

Yükleme Elemanı

Takometre

Manyetik Sıvı (Ferrofluid)

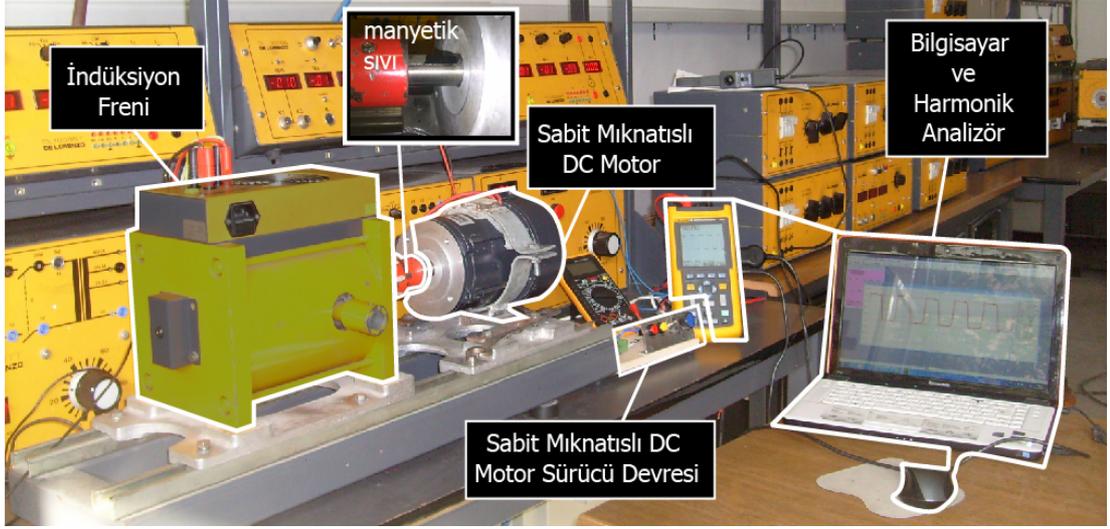
Dizüstü Bilgisayar

Data Kartı

IV.1.2 Deney Setinin Kurulması

Bu deneysel çalışmada motor miline manyetik sıvı tatbik edilen sabit mıknatıslı fırçalı doğru akım motorunun; akım, gerilim değişimlerini ölçmek için bir güç analizörü ve multimetre, devir sayısındaki değişimleri görebilmek için, takometre, güç analizöründen alınan bilgileri grafiksel olarak görebilmek için bir dizüstü bilgisayar ve motorun kontrolünü sağlamak için bir DC motor sürücüsü kullanıldı.

Deneysel çalışmada kullanılan manyetik sıvının özellikleri üretici firmanın gizlilik ilkesinden dolayı ulaşılamamıştır.



Şekil IV.1 Deney seti

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

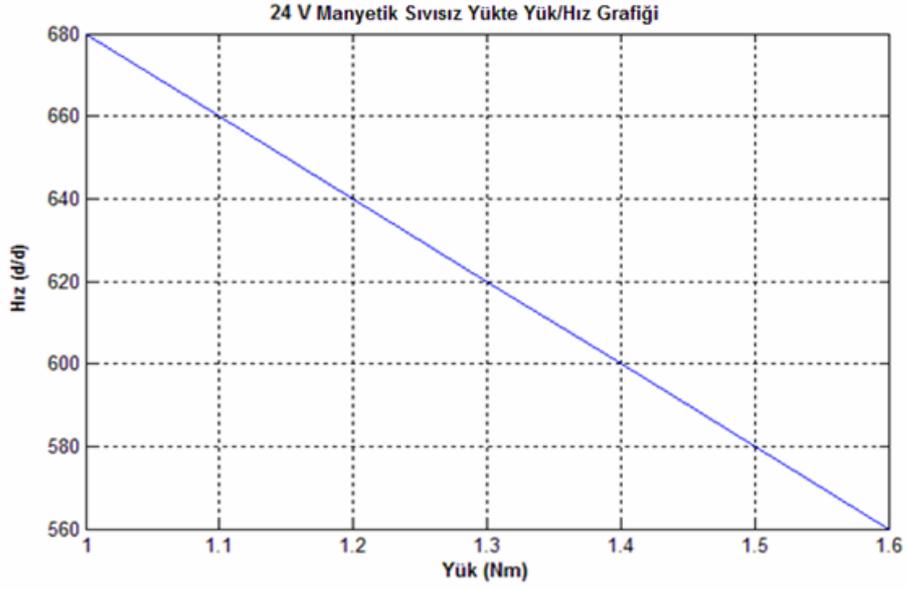
Manyetik sıvıların elektrik makineleri üzerindeki etkisi son zamanlarda artan bir ilgiyle araştırılmaktadır. Manyetik sıvı teknolojisindeki gelişmeler doğrusal elektrik makinelerinin yanı sıra döner elektrik makinelerinde deneysel çalışmalar yapılmasına olanak sağlamıştır. Manyetik sıvılar Elektrik makinesinin esas (mutual) akısını azaltmak ya da arttırmak için kullanılabilir. Manyetik sıvıları kullanmanın temel amacı manyetik kayıpları araştırmak için motorun manyetik devresini analiz etmektir. Birçok benzer çalışmanın aksine bu çalışma; hareket halindeki motorda kaçak akının etkisini manyetik sıvı yoluyla deneysel olarak incelemektir.

Klasik DA motorlarında kutup akısı alan sargıları tarafından sağlandığından dolayı bu sargıların akımları kontrol edilerek kutup akısında ayarlama yapmak mümkündür. Kalıcı mıknatıslı DA motorlarında bunun aksine kutup akısı sabit mıknatıslar tarafından oluşturulduğundan dolayı kutup akısının kontrol edilmesi mümkün değildir.

Deneysel çalışmada kullanılan kalıcı mıknatıslı DA motorunun manyetik devresindeki mil kaçaklarının manyetik sıvı yoluyla tespiti için, motorun milinin dış yüzeyine belirli kesitlerde (S-2S-3S) manyetik sıvı uygulanmıştır. Uygulanan bu manyetik sıvının neden olduğu akı değişimleri grafiksel olarak sunulmuştur. Bunun yanında, akıdaki bu değişimlerin, moment (M), akım (A), demir kayıpları (Pf) ve Hız (n) üzerindeki etkileri de grafikler halinde sunulmuştur.

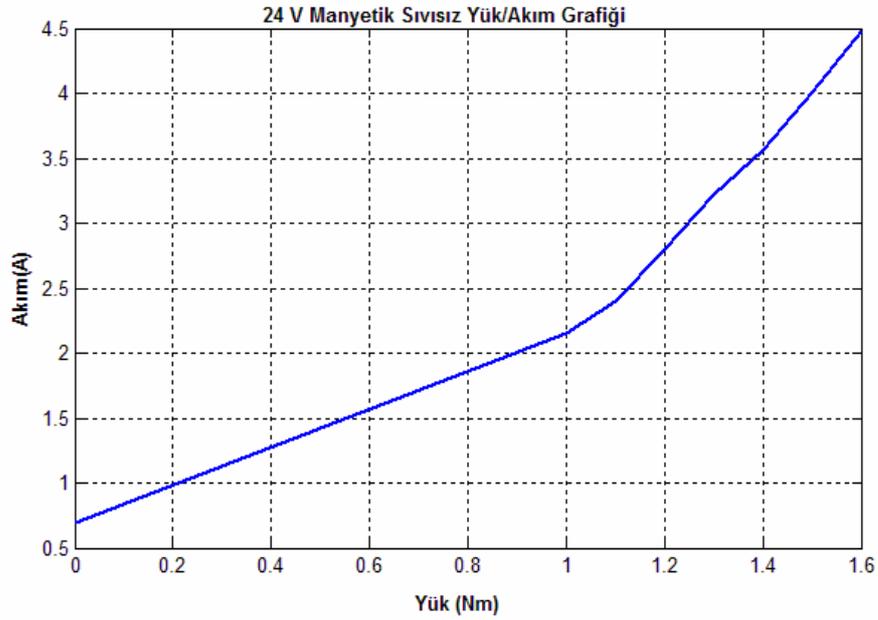
Deneysel çalışma nominal değerler de dahil olmak üzere birçok değerle yapıldı. Deneyler iki eş motor kullanılarak ve sadece birine manyetik sıvı uygulanarak elde edilen sonuçlar 24V ve 48V'ta karşılaştırılarak sunulmuştur.

IV.1.3 Sabit Mıknatıslı DC Motorun (Manyetik Sıvısız) 24V Yükte Karakteristikleri



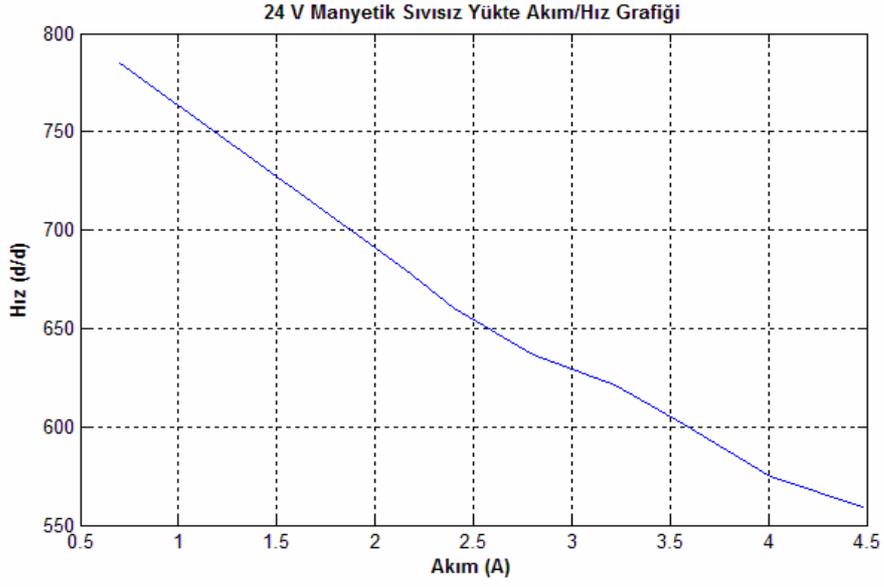
Şekil IV.2 Manyetik Sıvısız 24V yük-hız grafiği

24V'ta makine yüklendikçe devir hızı lineer olarak azalır



Şekil IV.3 Manyetik Sıvısız 24V yük-akım grafiği

Makine yüklendikçe çekilen akım lineer olarak artmaktadır.

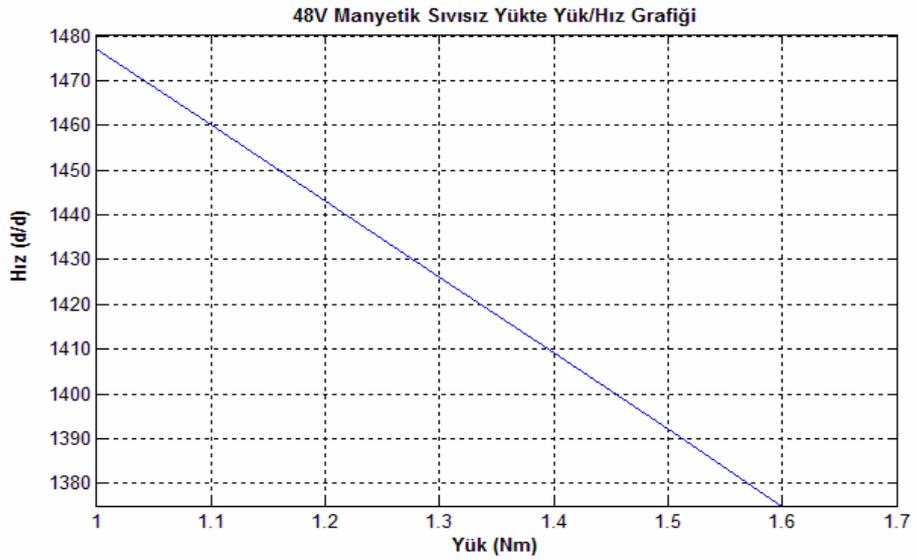


Şekil IV.4 Manyetik Sıvısız 24V Hız - Akım grafiği

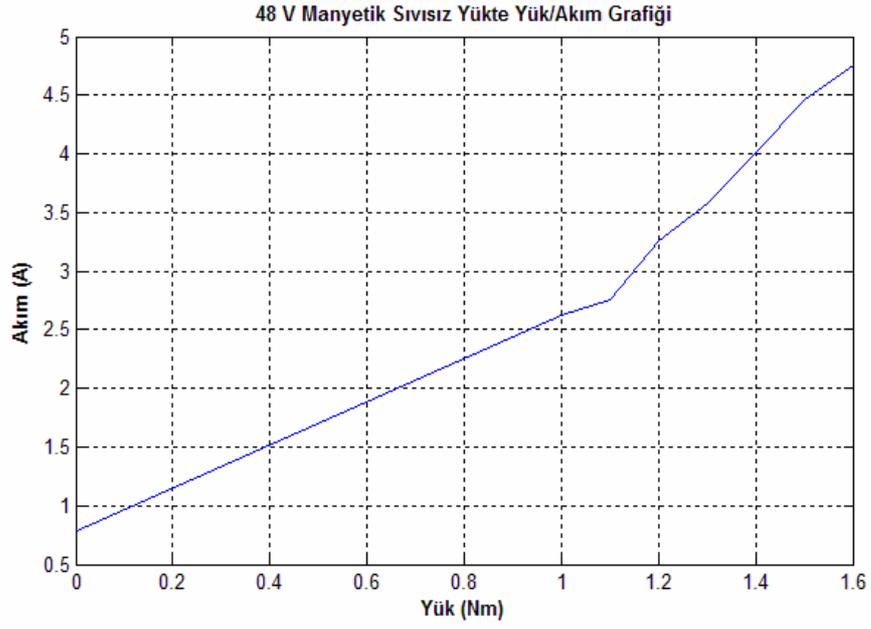
24V gerilim değerinde makine yüklendikçe hız-akım ilişkisinin ters orantılı olduğu görülmektedir.

IV.1.4 Sabit Mıknatıslı DC Motorun (Manyetik Sıvısız) 48V Yükte Karakteristikleri

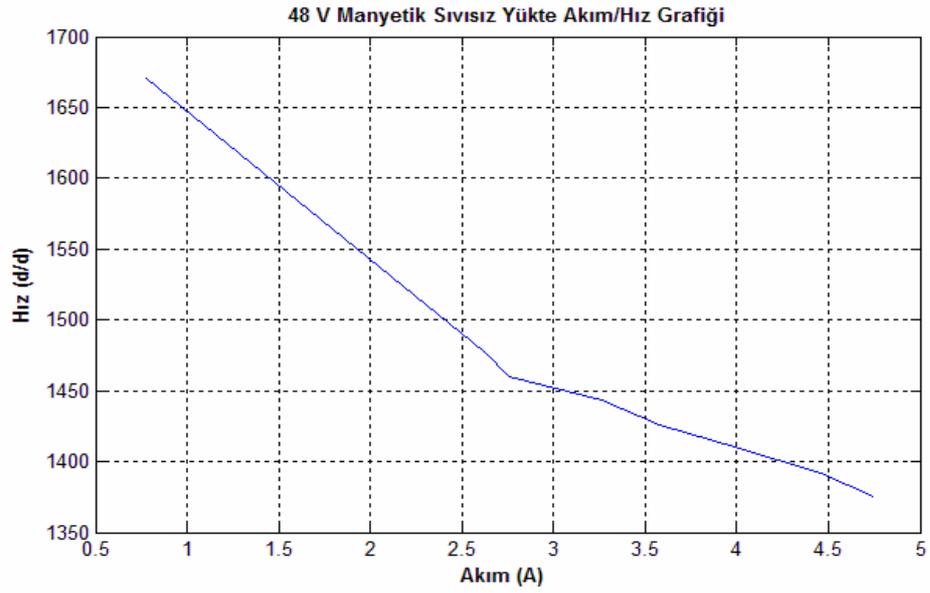
48V nominal gerilim değerinde aşağıdaki değerler elde edilmiştir.



Şekil IV.5 Manyetik Sıvısız 48V Yük - Hız grafiği

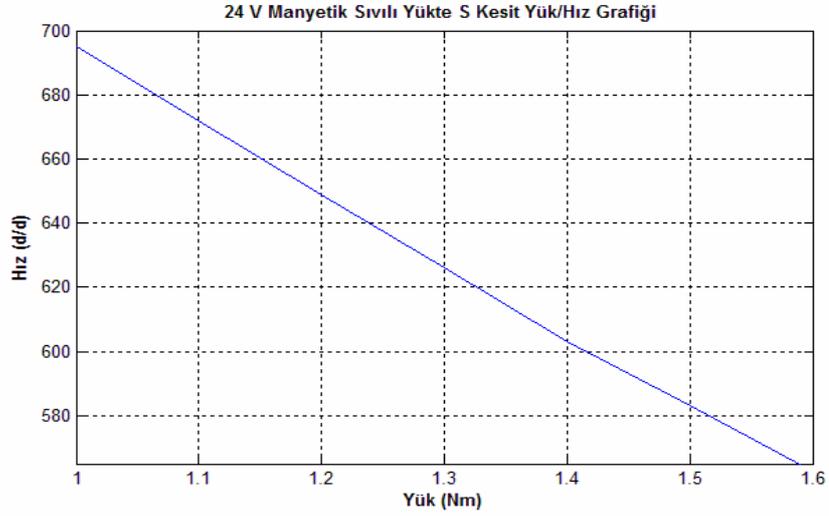


Şekil IV.6 Manyetik Sıvısız 48V Yük - Akım grafiği



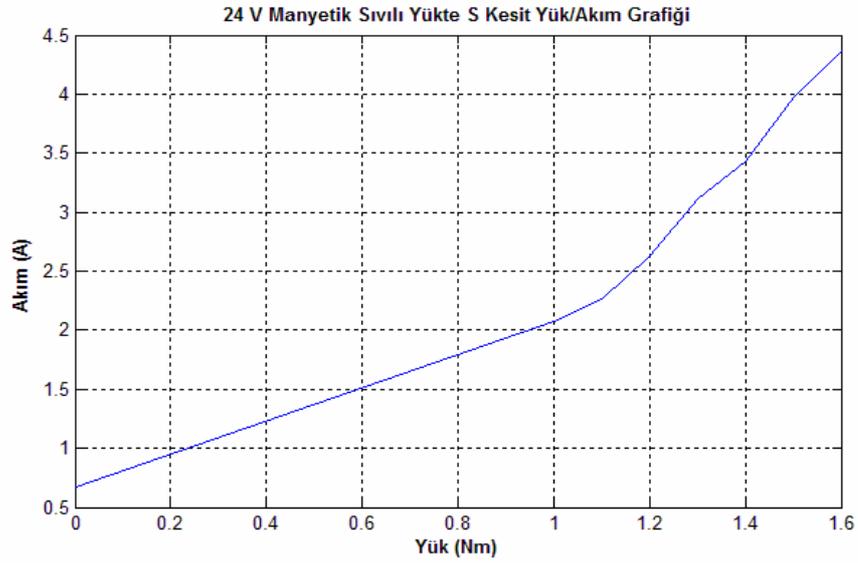
Şekil IV.7 Manyetik Sıvısız 48V Yük - Akım grafiği

IV.1.5 Sabit Mıknatıslı DC Motorun Manyetik Sıvılı (S) 24V Yükte Karakteristikleri



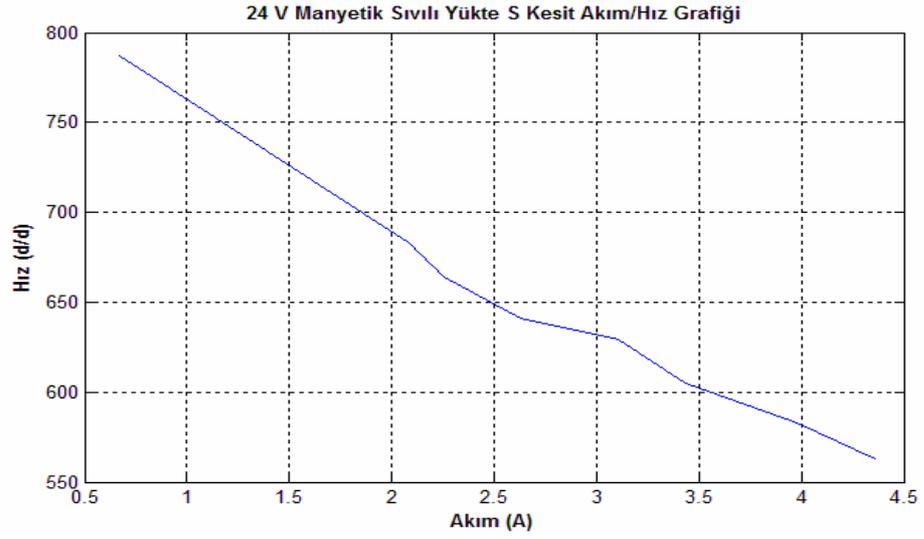
Şekil IV.8 Manyetik Sıvılı (S yüzeyli) 24V Yük - Hız grafiği

Manyetik sıvılı (S yüzeyli) motorda aynı yük değerinde motorun hızının attığı görülmüştür.



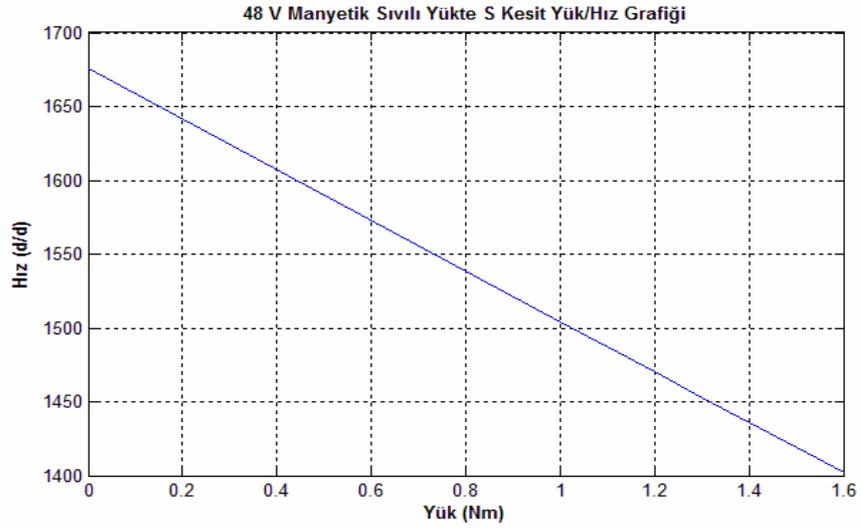
Şekil IV.9 Manyetik Sıvılı (S yüzeyli) 24V Yük - Akım grafiği

Manyetik sıvılı (S yüzeyli) motorda aynı yük değerinde motorun çektiği akımın azaldığı görülmüştür.

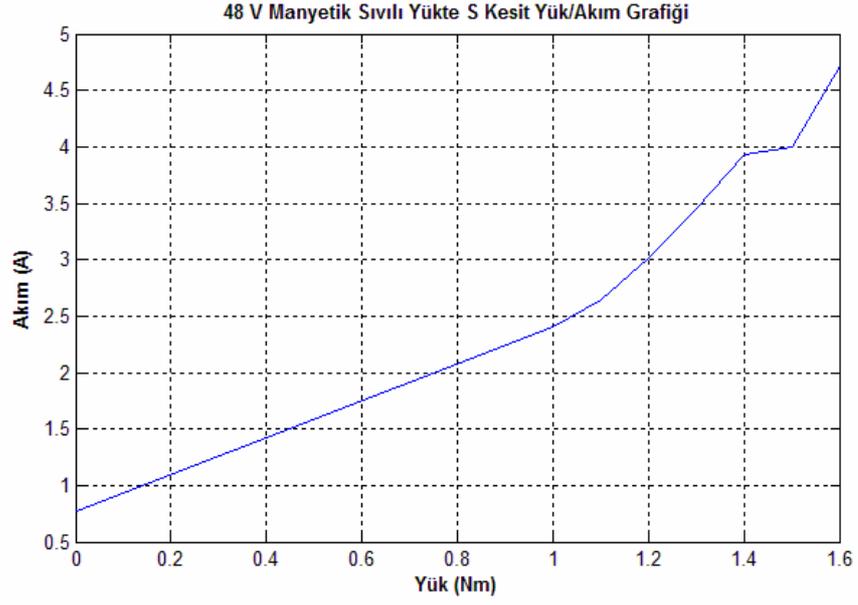


Şekil IV.10 Manyetik Sıvılı (S yüzeyli) 24V Hız - Akım grafiği

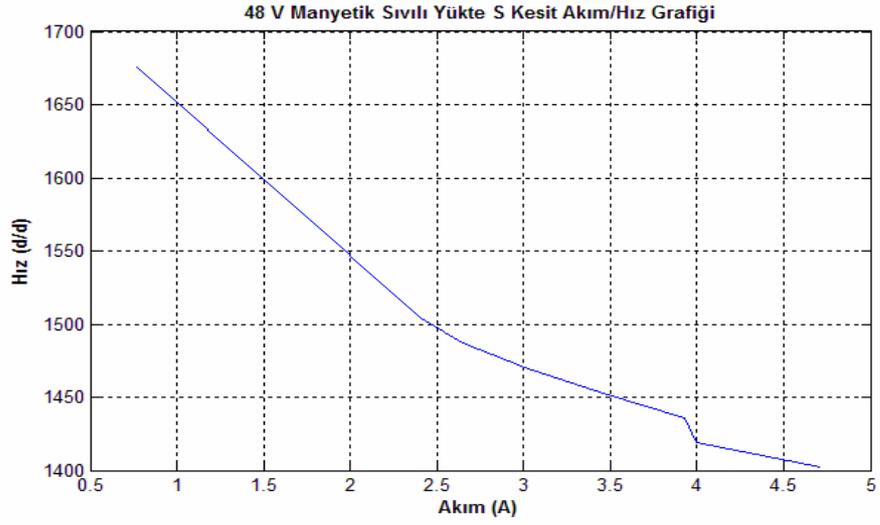
IV.1.6 Sabit Miknatıslı DC Motorun Manyetik Sıvılı (S) 48V Yükte Karakteristikleri



Şekil IV.11 Manyetik Sıvılı (S yüzeyli) 48V Yük - Hız grafiği



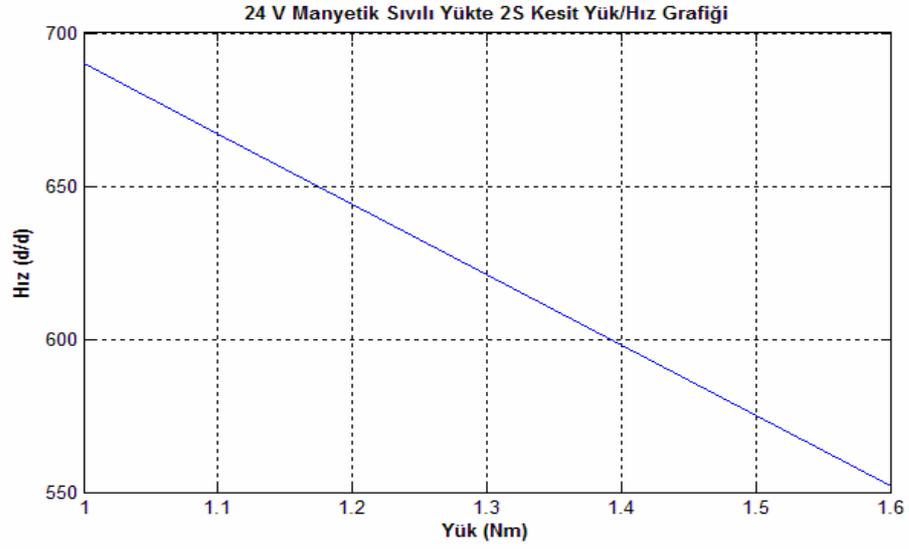
Şekil IV.12 Manyetik Sıvılı (S yüzeyli) 48V Yük - Akım grafiği



Şekil IV.13 Manyetik Sıvılı (S yüzeyli) 48V Akım - Hız grafiği

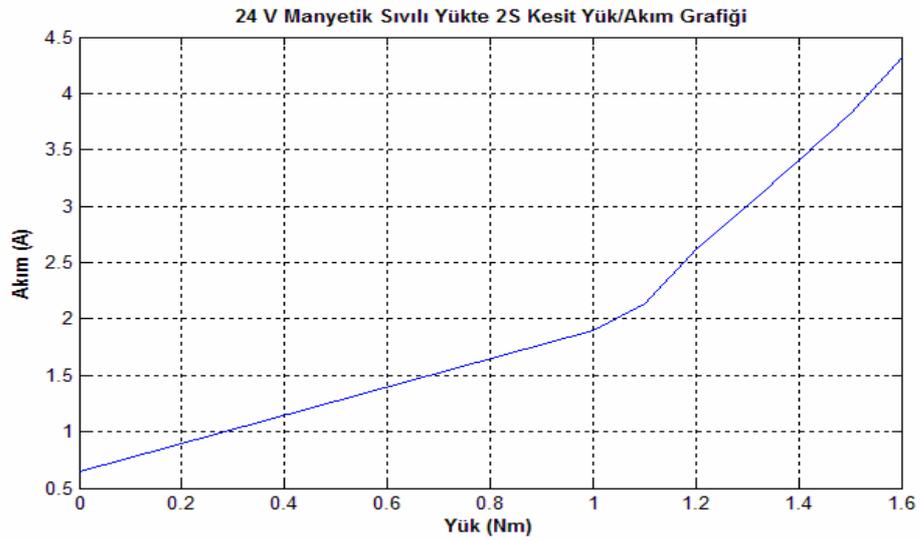
24V manyetik sıvılı (S yüzeyli) sonuçlarının 48V gerilim değerinde de bilinen sonuçlar alınmıştır.

IV.1.7 Sabit Mıknatıslı DC Motorun Manyetik Sıvılı (2S) 24V Yükte Karakteristikleri



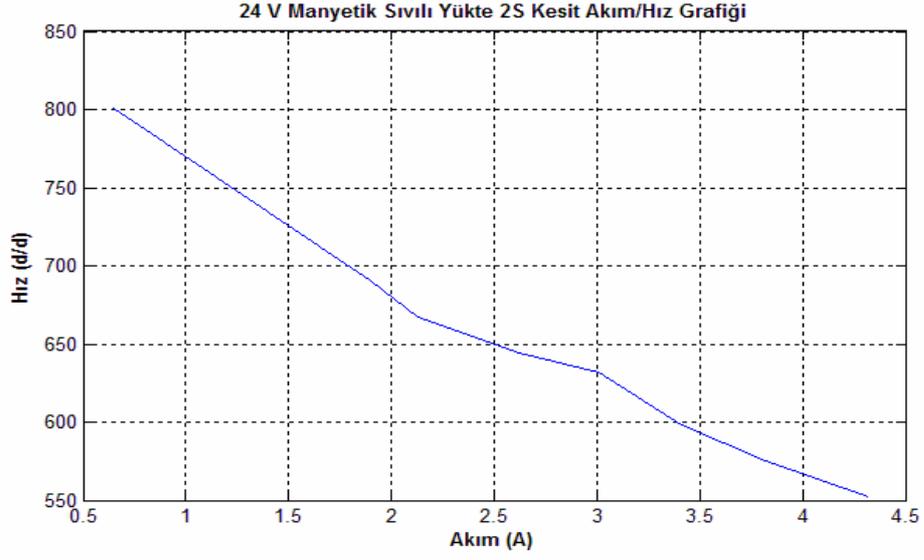
Şekil IV.14 Manyetik Sıvılı (2S yüzeyli) 24V Yük - Hız grafiği

Manyetik sıvı yüzeyi iki katına çıkarıldığında (2S yüzey) devir hızının daha da arttığı görülmektedir.



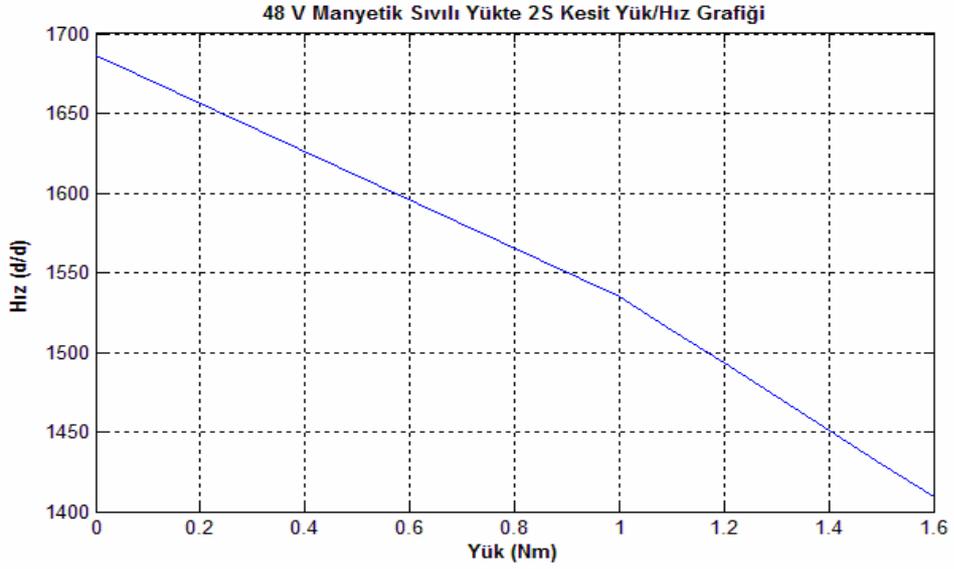
Şekil IV.15 Manyetik Sıvılı (2S yüzeyli) 24V Yük - Akım grafiği

Manyetik sıvı yüzeyi iki katına çıkarıldığında (2S yüzey) çekilen akımın azaldığı görülmektedir.

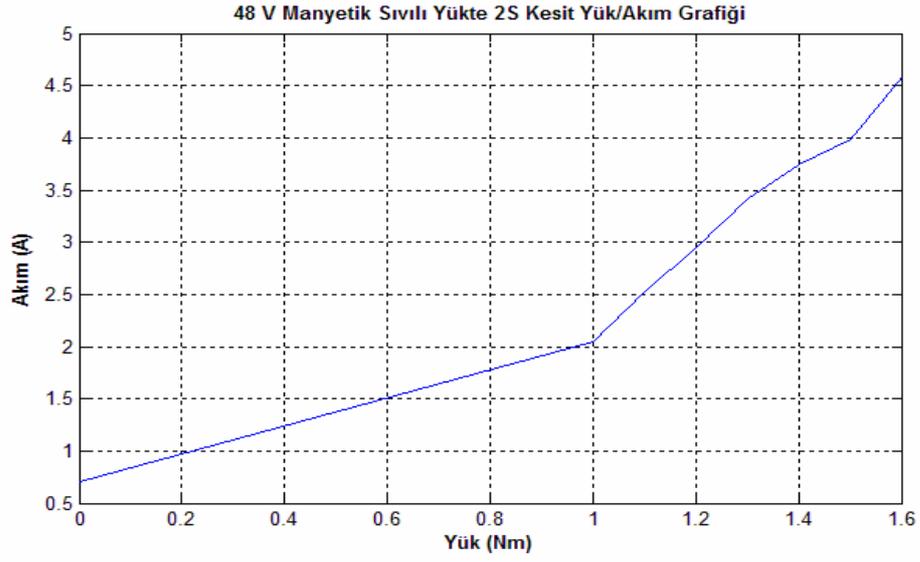


Şekil IV.16 Manyetik Sıvılı (2S yüzeyli) 24V Akım - Hız grafiği

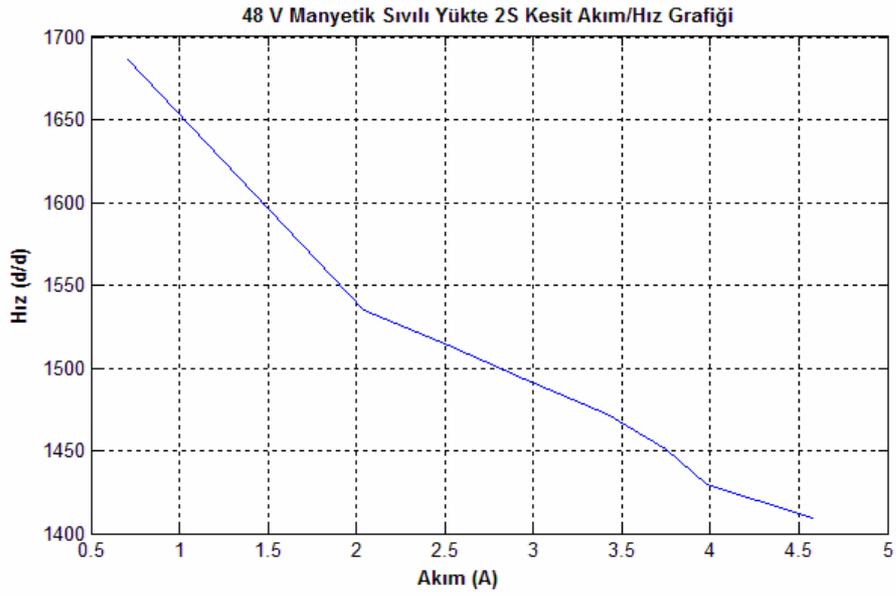
IV.1.8 Sabit Mıknatıslı DC Motorun Manyetik Sıvılı (2S) 48V Yükte Karakteristikleri



Şekil IV.17 Manyetik Sıvılı (2S yüzeyli) 48V Yük - Hız grafiği

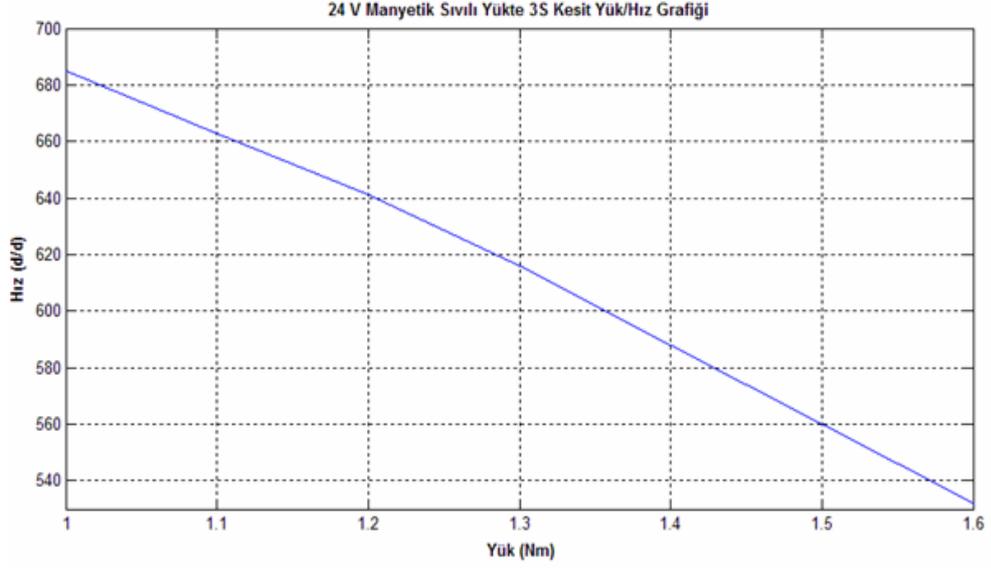


Şekil IV.18 Manyetik Sıvılı (2S yüzeyli) 48V Yük-Akım grafiği

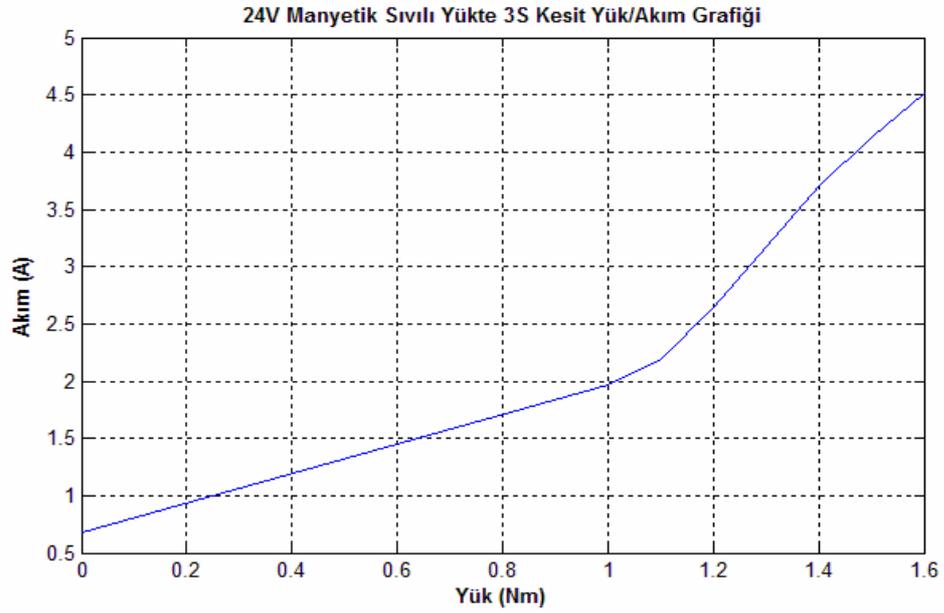


Şekil IV.19 Manyetik Sıvılı (2S yüzeyli) 48V Akım - Hız grafiği

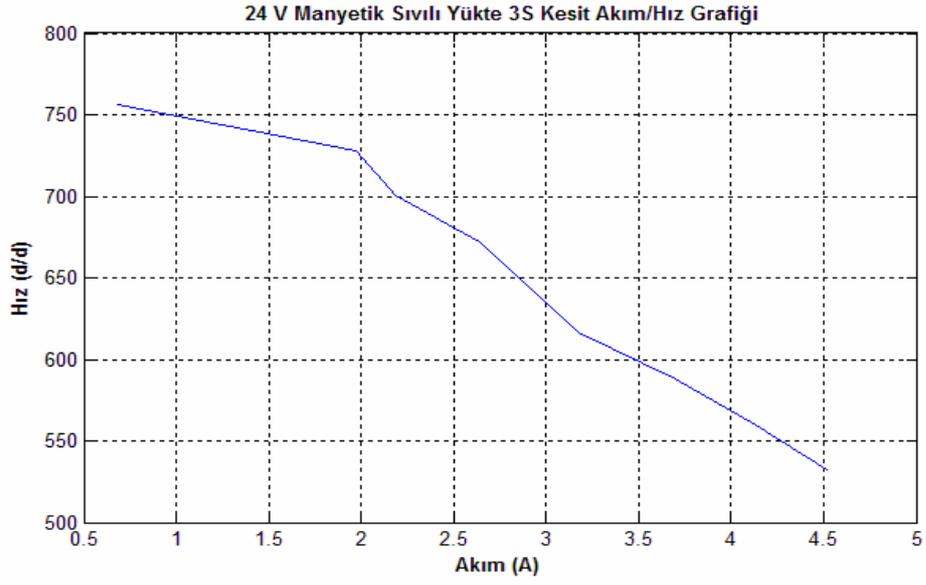
IV.1.9 Sabit Mıknatıslı DC Motorun Manyetik Sıvılı (3S) 24V Yükte Karakteristikleri



Şekil IV.20 Manyetik Sıvılı (3S yüzeyli) 24V Hız -Yük grafiği

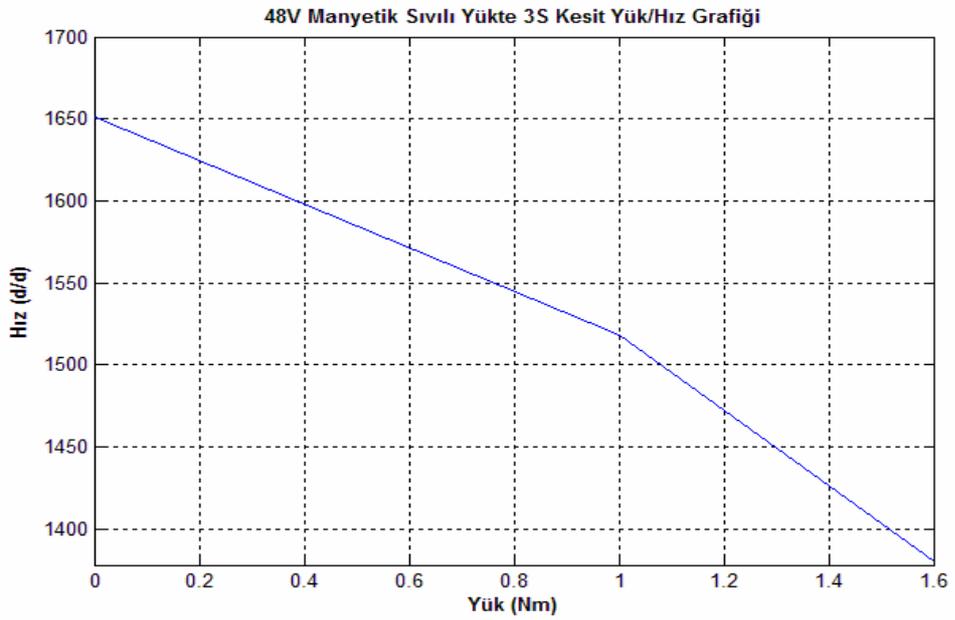


Şekil IV.21 Manyetik Sıvılı (3S yüzeyli) 24V Akım - Yük grafiği

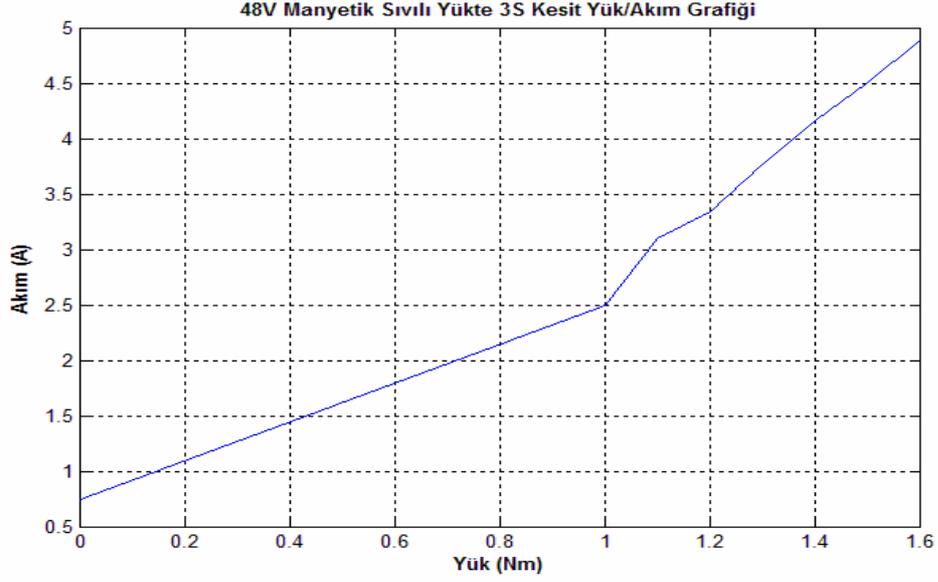


Şekil IV.22 Manyetik Sıvılı (3S yüzeyli) 24V Hız - Akım grafiği

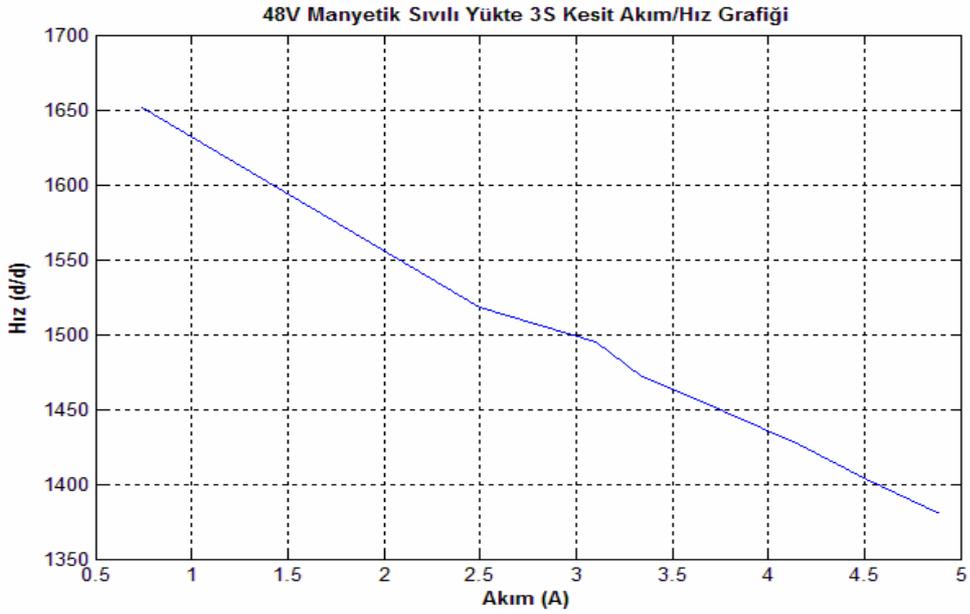
IV.1.10 Sabit Mıknatıslı DC Motorun Manyetik Sıvılı (3S) 48V Yükte Karakteristikleri



Şekil IV.23 Manyetik Sıvılı (3S yüzeyli) 48V Hız-Yük grafiği



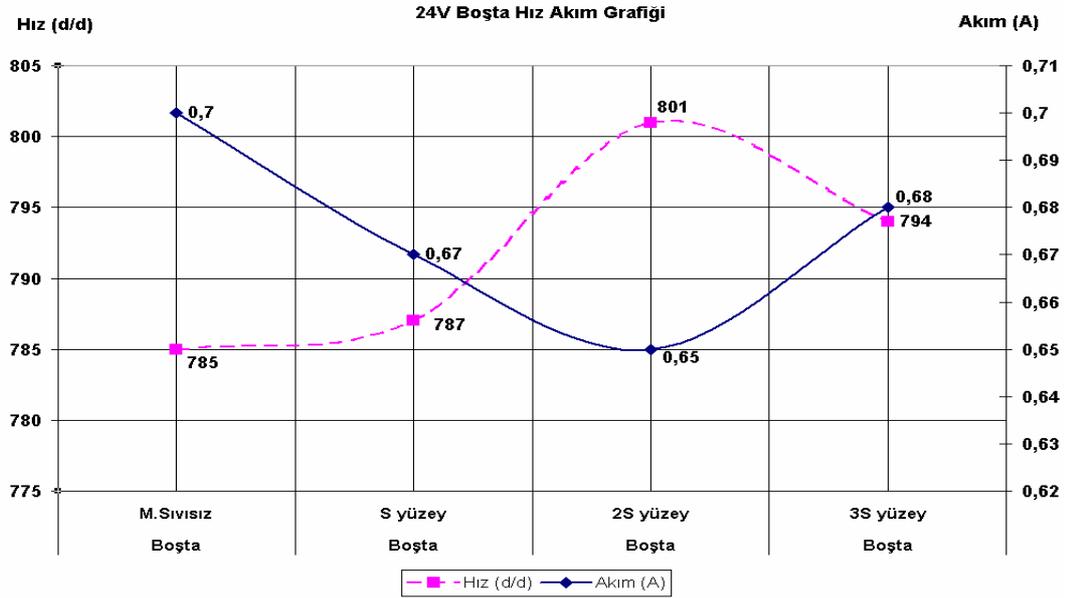
Şekil IV.24 Manyetik Sıvılı (3S yüzeyli) 24V Akım - Yük grafiği



Şekil IV.25 Manyetik Sıvılı (3S yüzeyli) 48V Hız - Akım grafiği

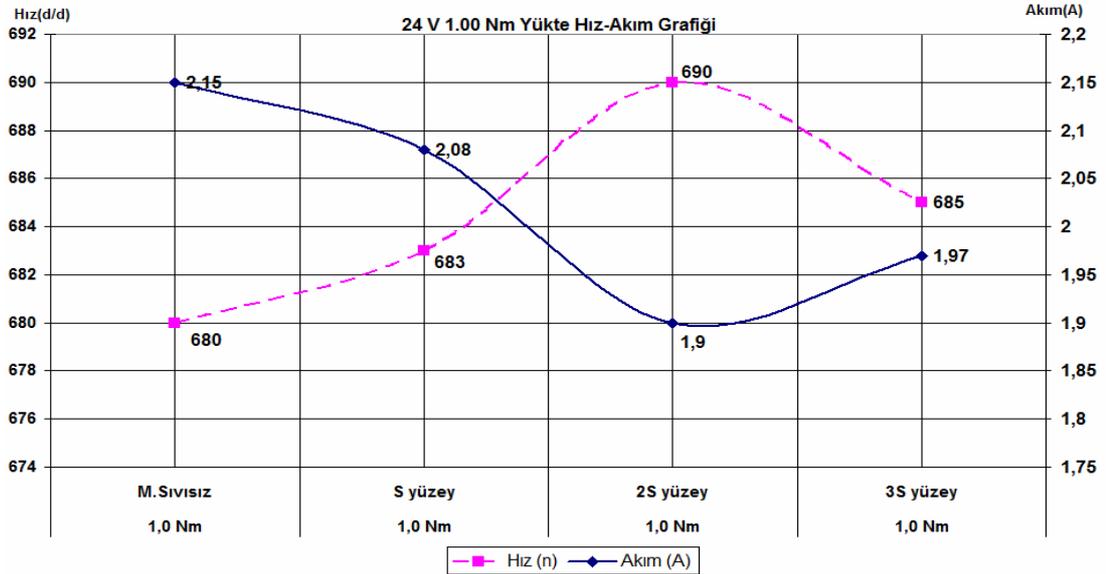
Gerilim değeri 48V ve manyetik sıvı yüzeyi (3S) olduğunda akımın arttığı ve devir sayısının azaldığı görülmüştür. Bu değer diğer iki manyetik sıvı manyetik sıvı yüzeyi çalışmalarından sonra (1S ve 2S), bu yüzeyde (3S) manyetik malzemelere özgü olan doyum olayının gerçekleştiğini deneysel olarak ortaya çıktığını göstermiştir

24V Gerilim değerinde manyetik sıvısız S-2S ve 3S yüzeyi manyetik sıvılı sonuçlar;



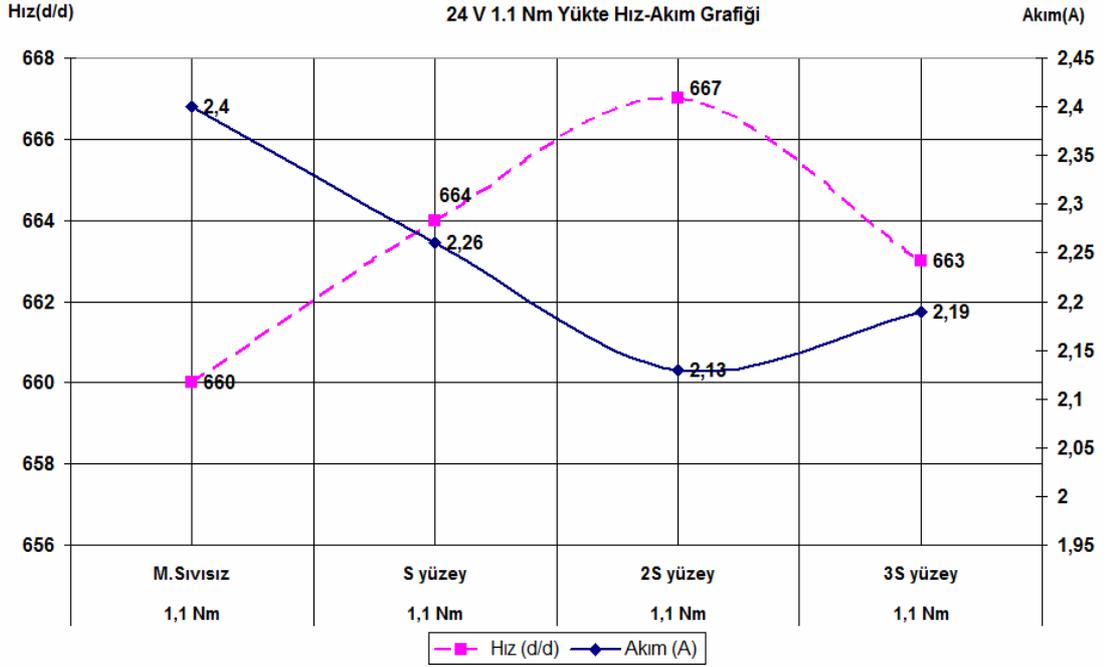
Şekil IV.26 24V Manyetik sıvısız-sıvılı boşta hız-akım grafiği

Şekil IV.26 da görüldüğü gibi 0,65 A'den sonra akım değeri artıyor. Bu durum bize bu noktadan sonra sistemin doymaya girdiğini gösteriyor.



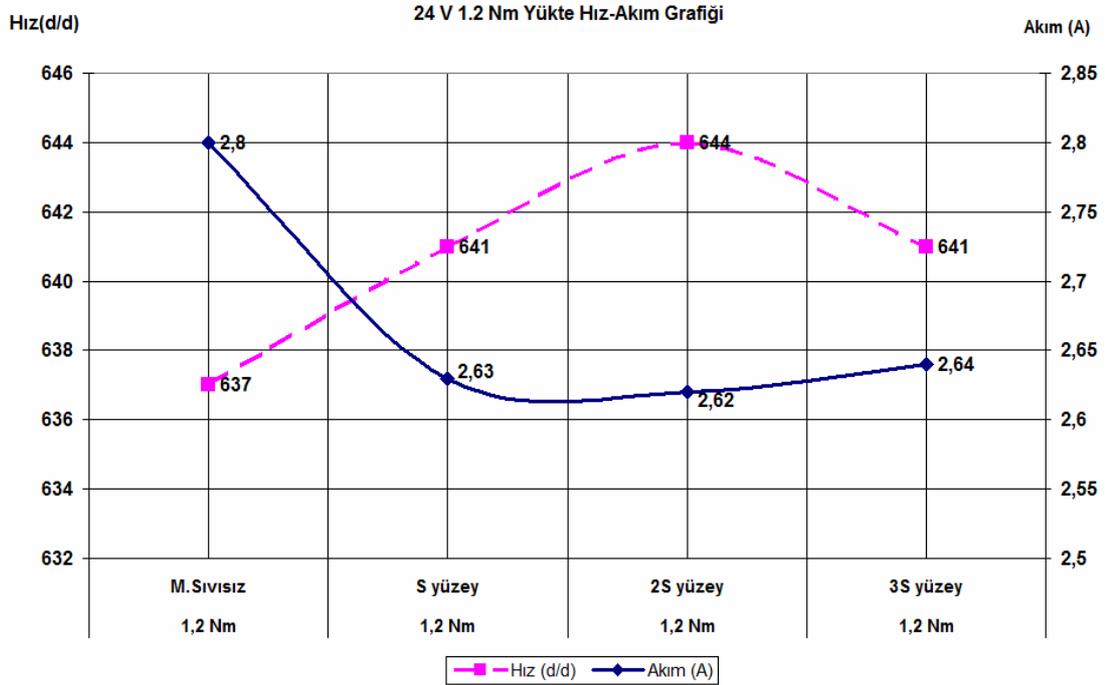
Şekil IV.27 24V Manyetik sıvısız-sıvılı 1.00 Nm yükte hız-akım grafiği

1.00 Nm sabit değerinde 1,9 A'den sonra sistem doymaya giriyor. Bu noktadan sonrası 3S manyetik sıvılı kısımdır

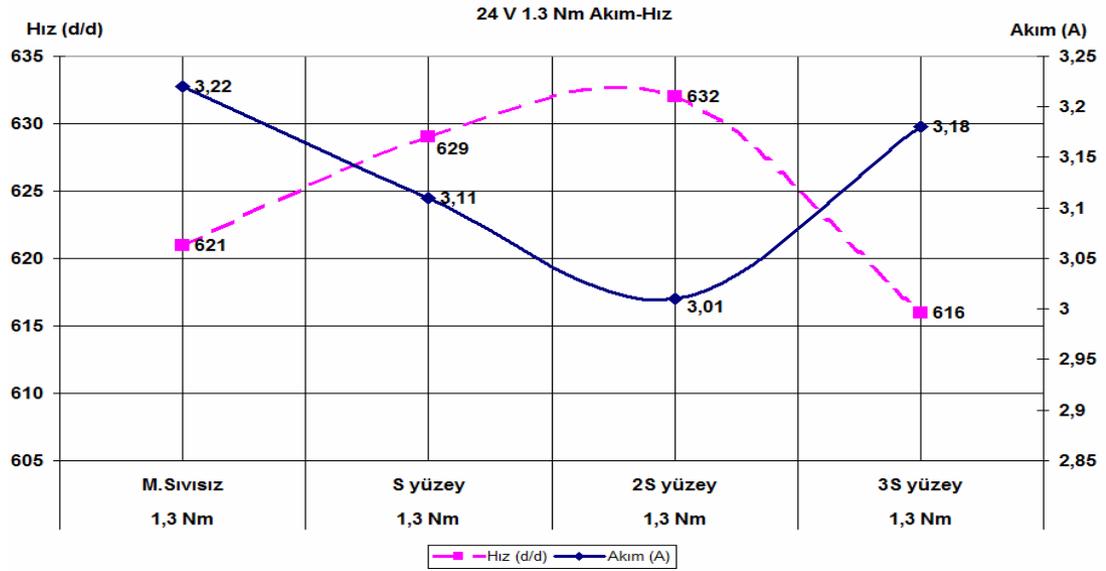


Şekil IV.28 24V Manyetik sıvısız-sıvılı 1.1 Nm yükte hız-akım grafiği

1.1 Nm sabit değerlerde akım değeri 2,13 A ve 607 d/d' dan sonra sonra sistem doymaya giriyor.

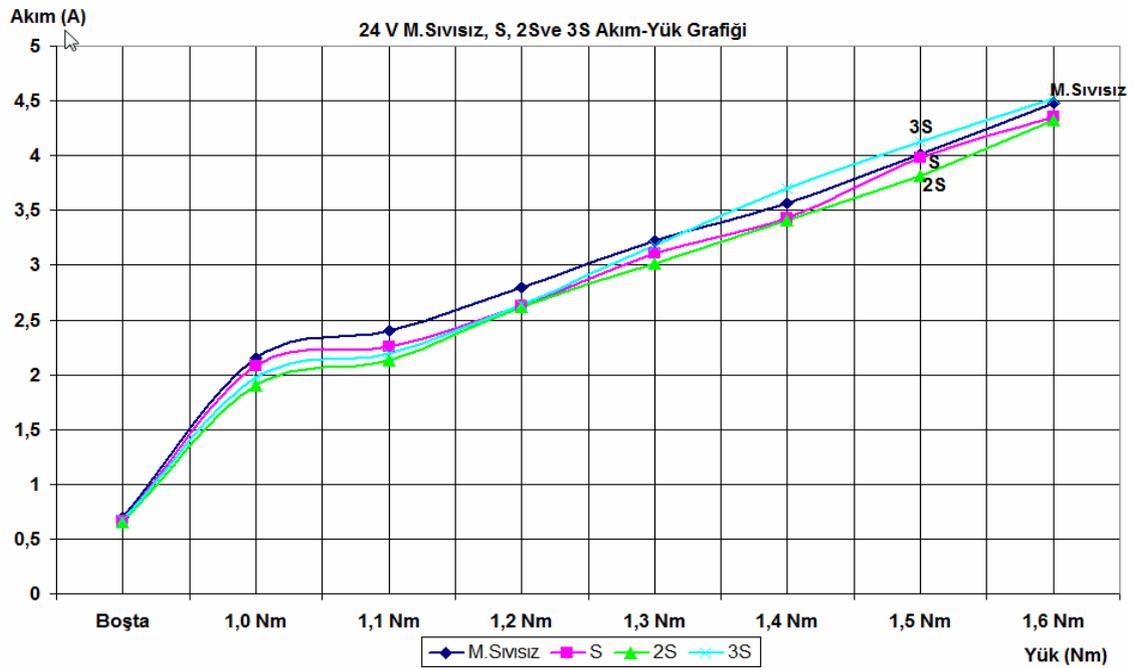


Şekil IV.29 24V Manyetik sıvısız-sıvılı 1.2 Nm yükte hız-akım grafiği



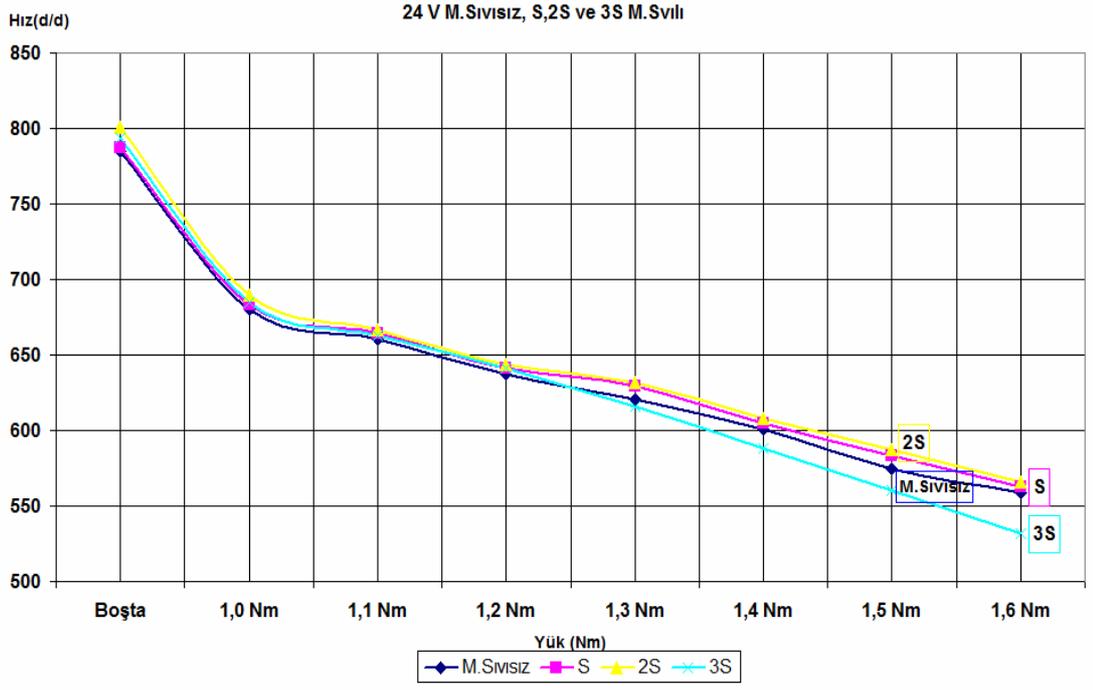
Şekil IV.30 24V Manyetik sıvısız-sıvılı 1.3 Nm yükte hız-akım grafiği

1.3 Nm’ de keskin bir şekilde 3S manyetik sıvılı durum için akım artışı ve devir sayısı düşüşü gözlemlenmektedir. 1.3 Nm’ den sonraki yük değerlerinde (1.4, 1.5, 1.6 Nm) grafik değerlerinin şekli görülmüştür.



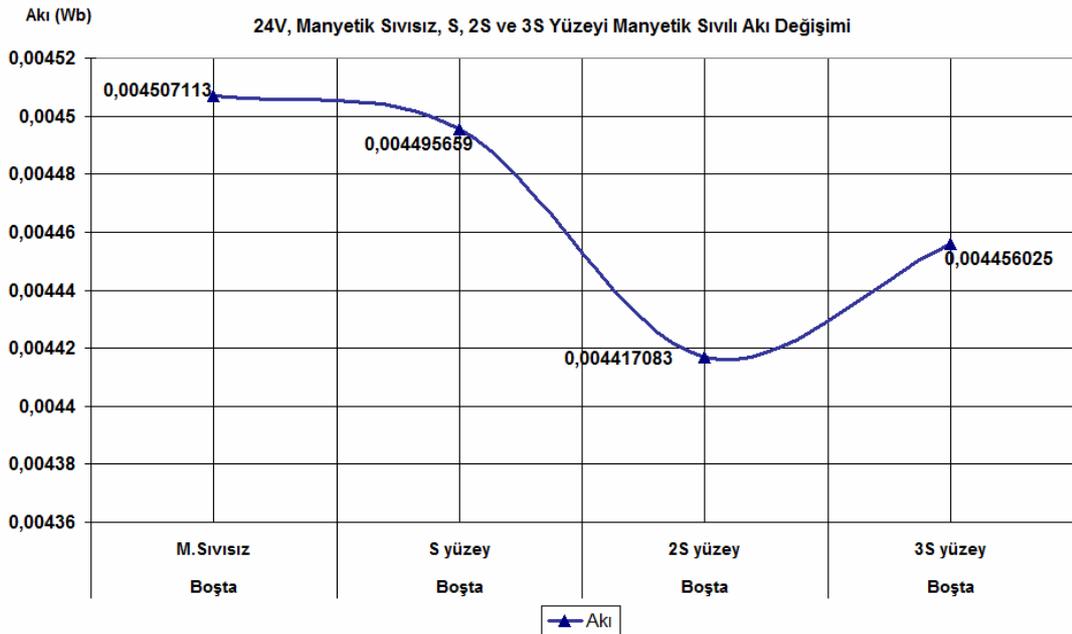
Şekil IV.31 24V Manyetik sıvısız-sıvılı (S, 2S, 3S) yükte akım grafiği

Toplu grafik değerlerinde (Şekil IV.31) S ve 2S için manyetik sıvı değerlerin altında kalmıştır. Bu durum bize bu iki hal için yük kapasitesinin arttığını göstermektedir.

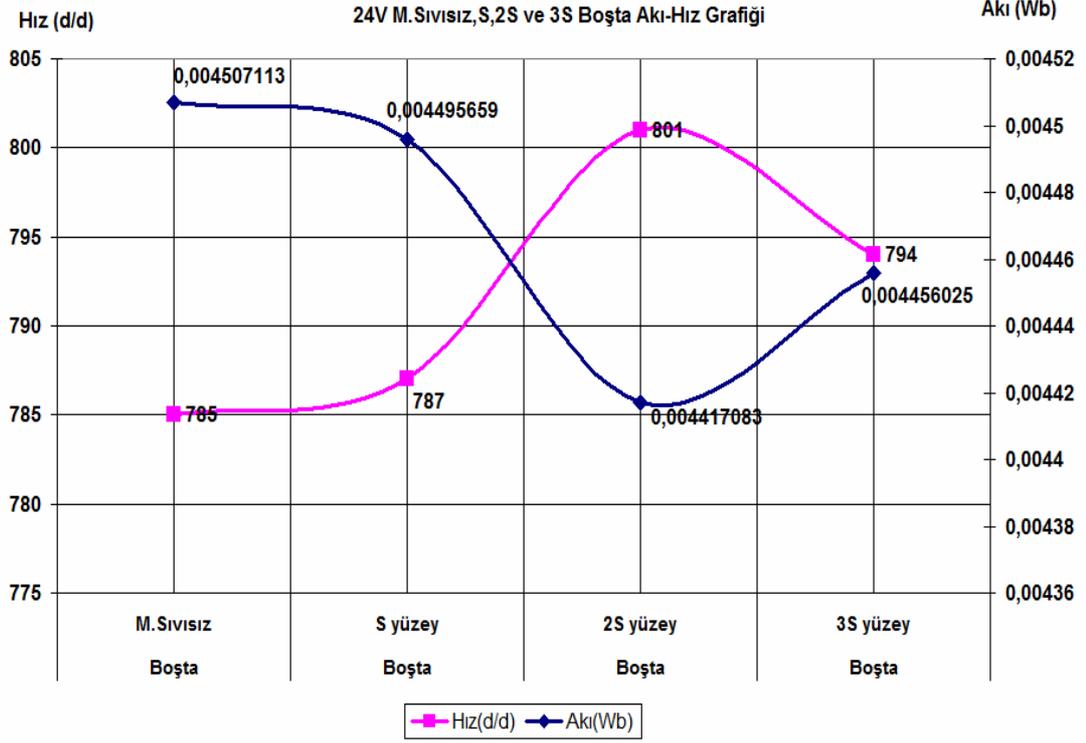


Şekil IV.32 24V Manyetik sıvısız-sıvılı (S, 2S, 3S) yükte hız grafiği

Şekil IV.32’de S ve 2S’de Manyetik sıvısız duruma göre devir sayısı artıyor. Bu durum bize akının azaldığını gösterir. Şekil IV.33’de bu durumun etkisi gösterilmektedir.

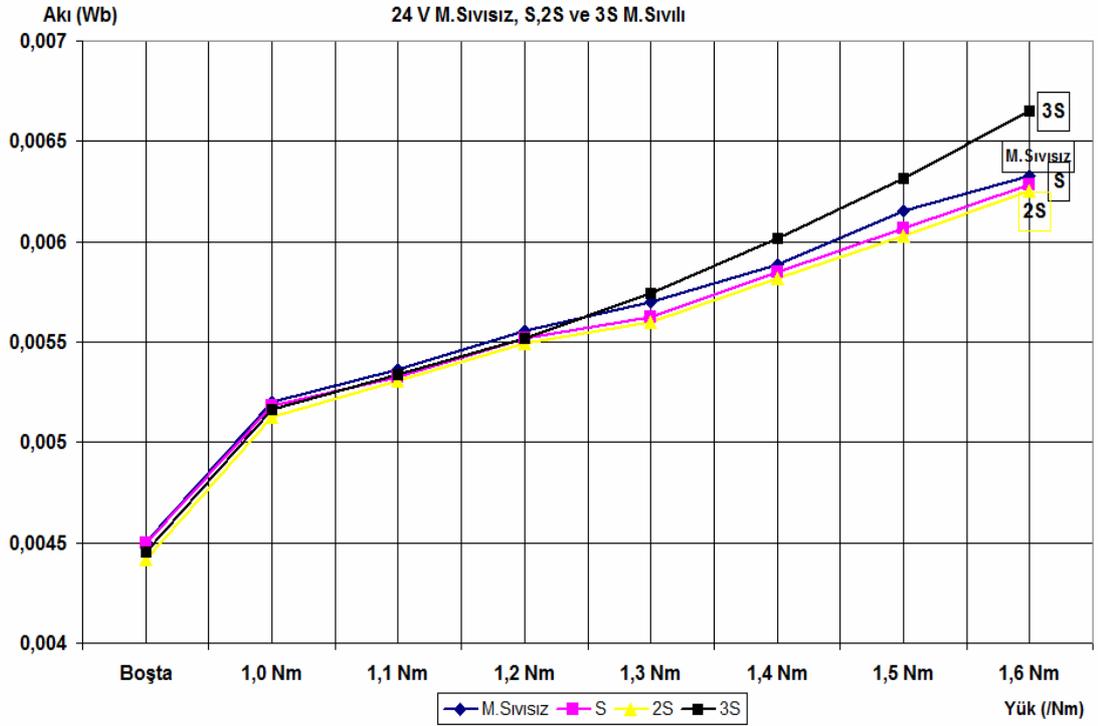


Şekil IV.33 24V Manyetik sıvısız-sıvılı (S, 2S, 3S) boşta akı grafiği



Şekil IV.34 24V Manyetik sıvısız-sıvılı (S, 2S, 3S) boşta akı-hız grafiği

Akı ile hızın değişimi 3S’de kötüleşmiştir. Bu durum grafikte görülmektedir.

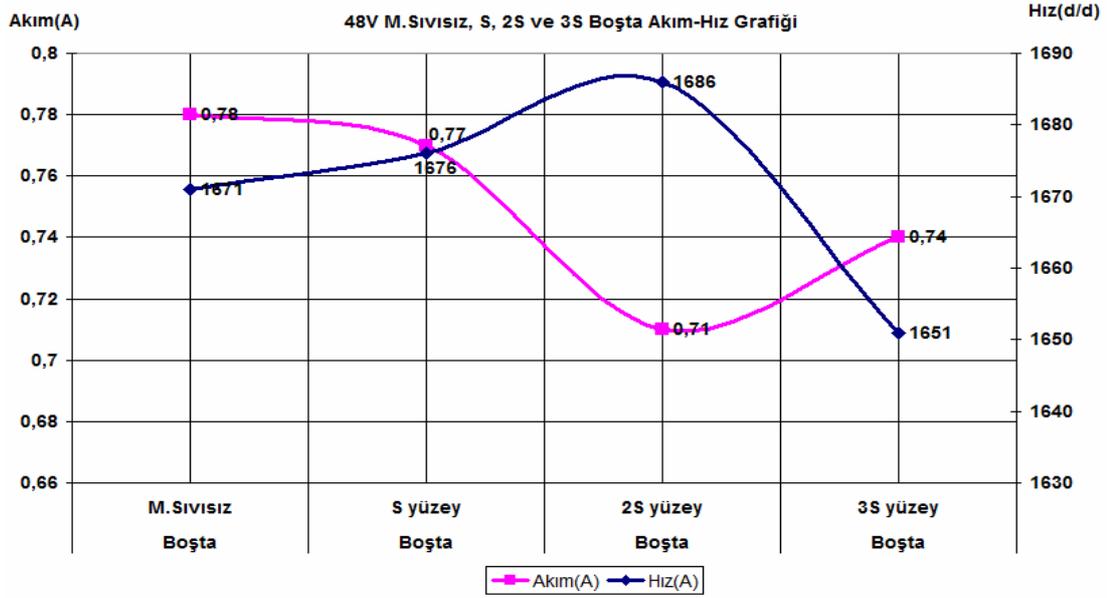


Şekil IV.35 24V Manyetik sıvısız-sıvılı (S, 2S, 3S) yükte akı grafiği

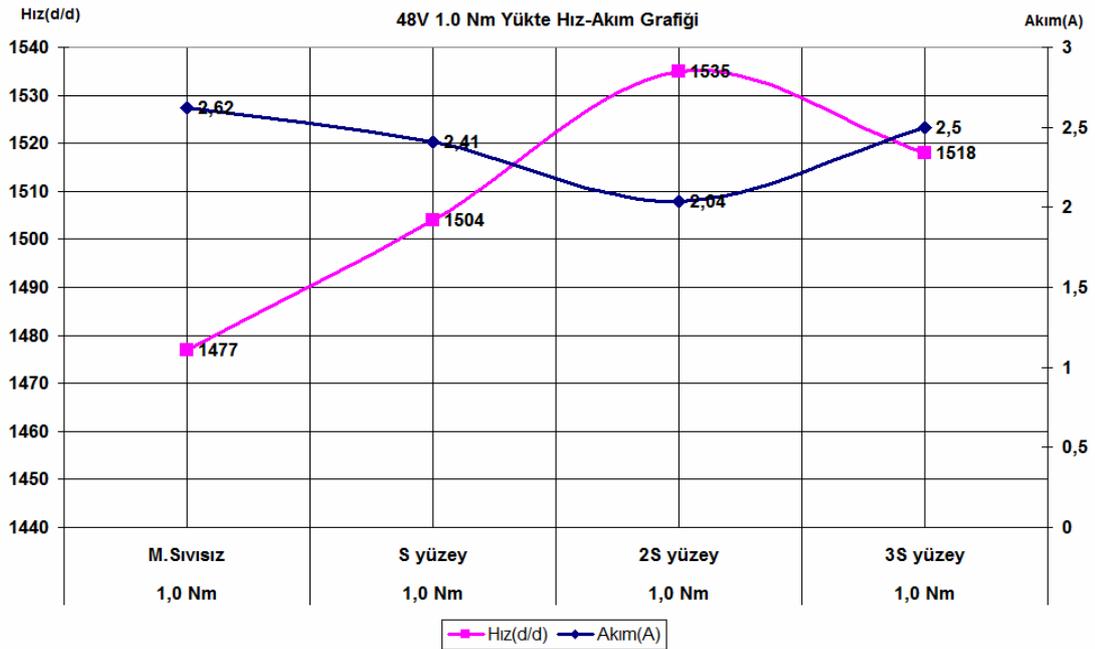
3S’de olumsuz etki Şekil IV.35’de açıkça görülmektedir.

24V'da elde edilen değerler ve sonuçlar 48V motorun nominal değerinde de daha da belirgin bir şekilde elde edilmiştir. Aşağıda grafikler detaylı olarak verilmiştir.

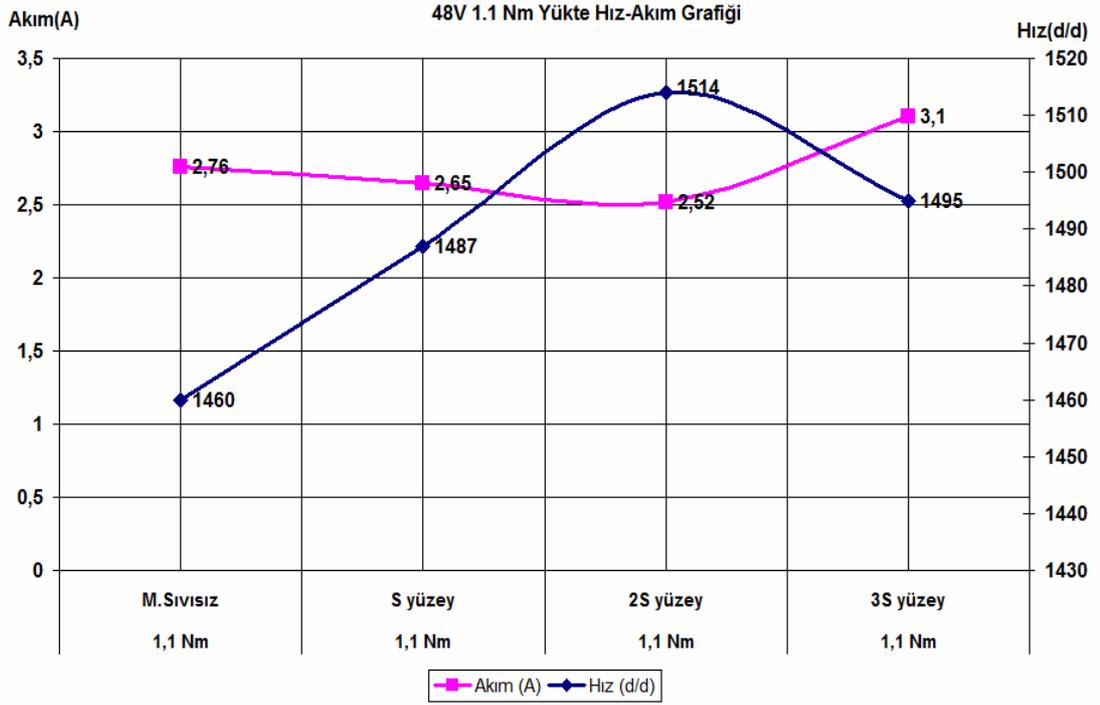
48V Gerilim değerinde manyetik sıvısız, S 2S ve 3S yüzeyi manyetik sıvılı sonuçlar;



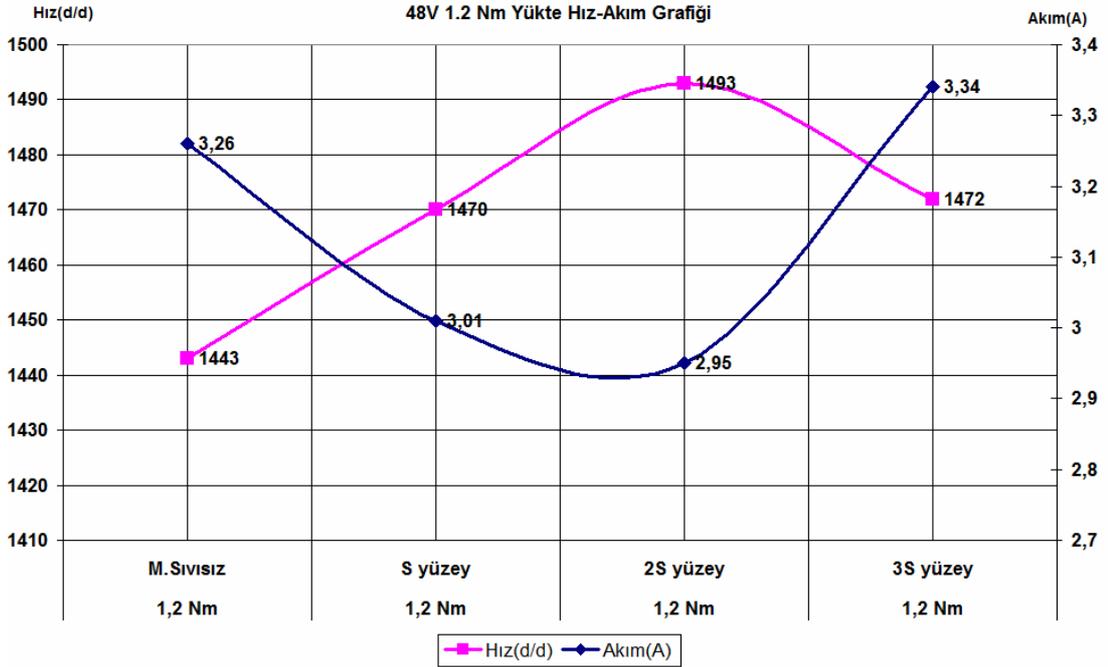
Şekil IV.36 48V Manyetik sıvısız-sıvılı boşta hız-akım grafiği



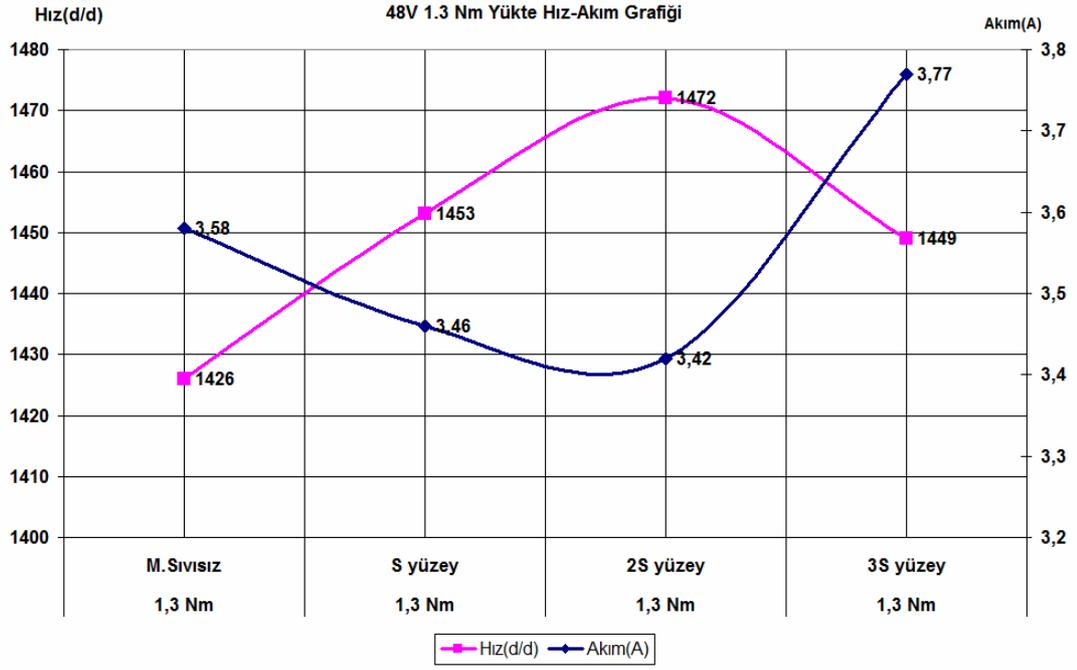
Şekil IV.37 48V Manyetik sıvısız-sıvılı 1.00 Nm yükte hız-akım grafiği



Şekil IV.38 48V boşta manyetik sıvısız-sıvılı 1.1 Nm hız –akı değişimi

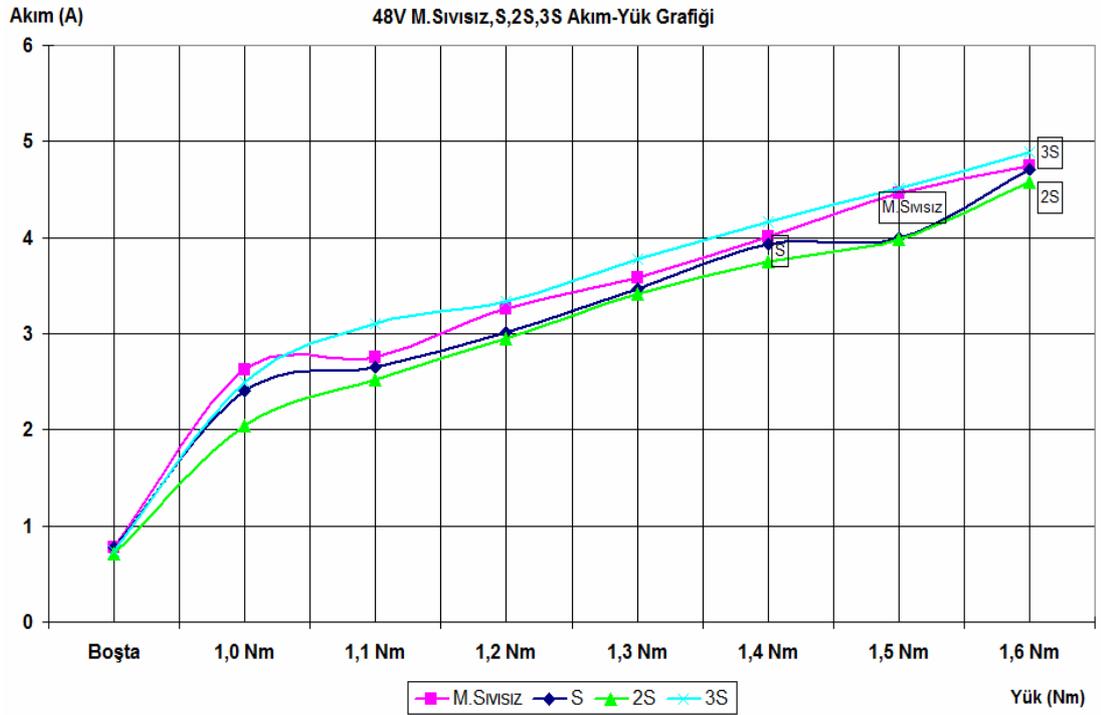


Şekil IV.39 48V boşta manyetik sıvısız-sıvılı 1.2 Nm hız –akı değişimi

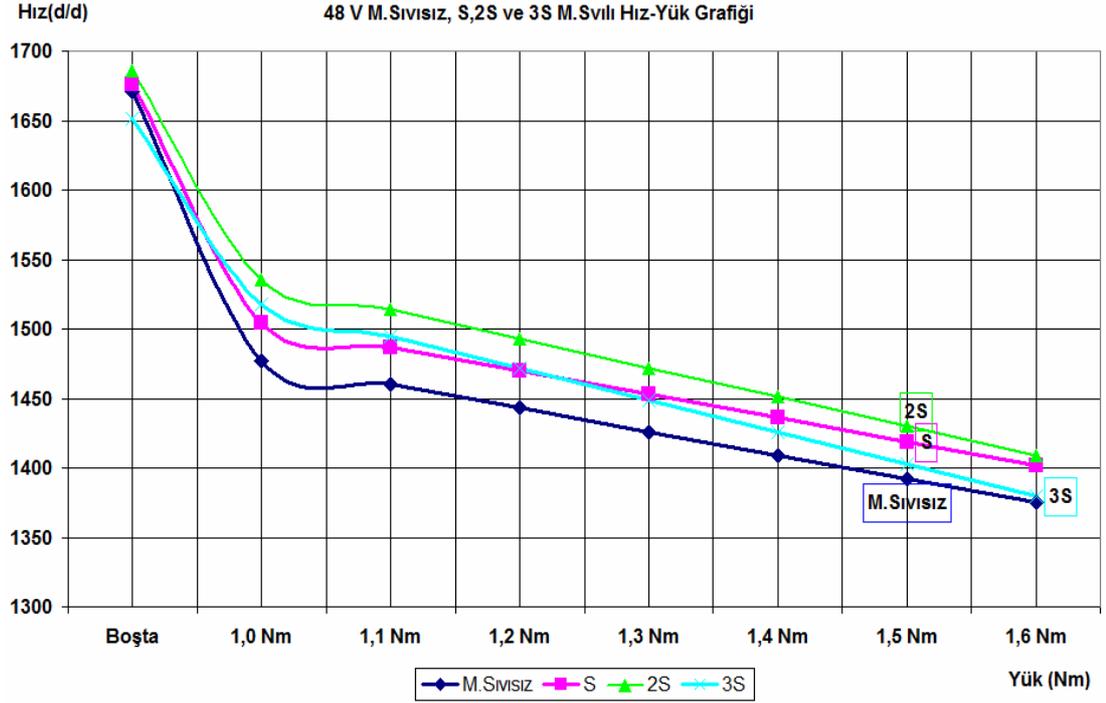


Şekil IV.40 48V boşta manyetik sıvısız-sıvılı 1.3 Nm hız –akı değişimi

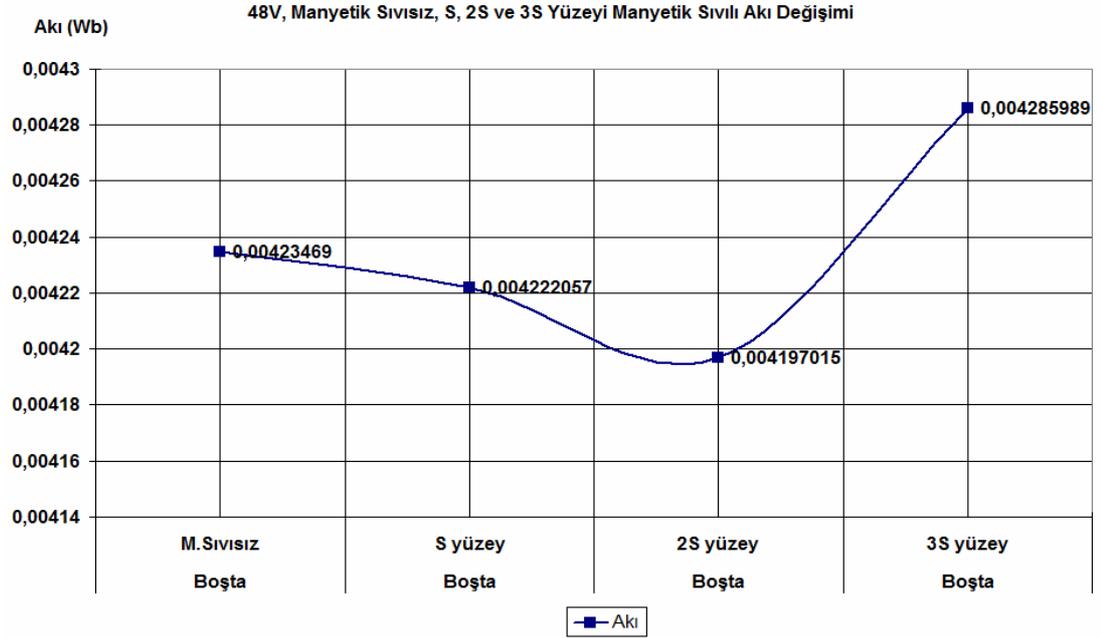
1.3 Nm’ den sonraki yük değerlerinde (1.4, 1.5, 1.6 Nm) yukarıda alınan değerlerin grafiklerdeki artış şekli görülmüştür.



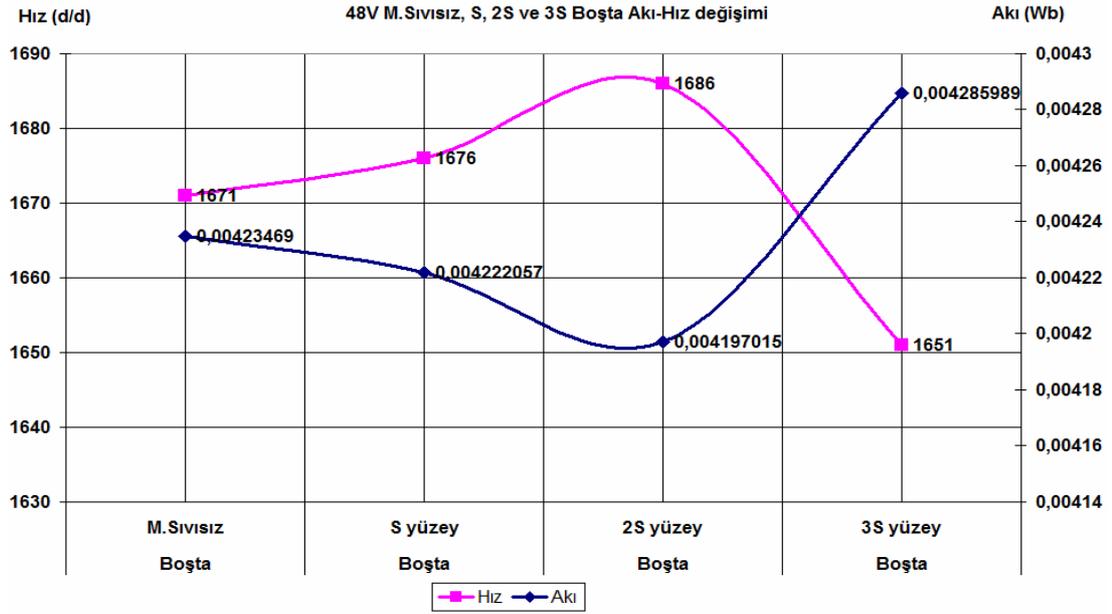
Şekil IV.41 48V Manyetik sıvısız-sıvılı (S, 2S, 3S) yükte akım grafiği



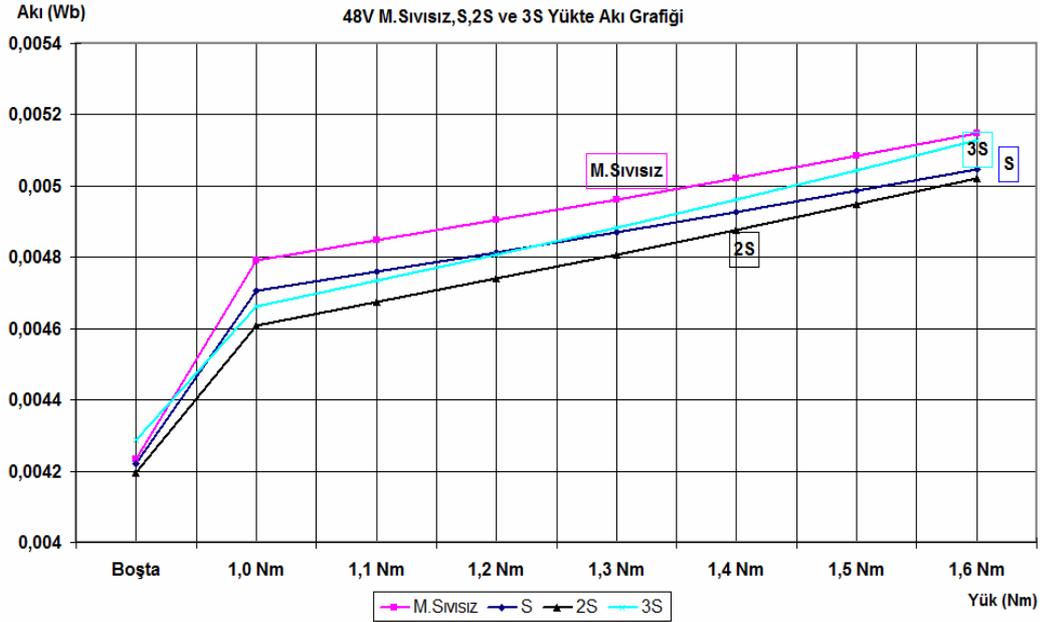
Şekil IV.42 48V Manyetik sıvısız-sıvılı (S, 2S, 3S) yükte hız grafiği



Şekil IV.43 48V Manyetik sıvısız-sıvılı (S, 2S, 3S) yükte akı grafiği



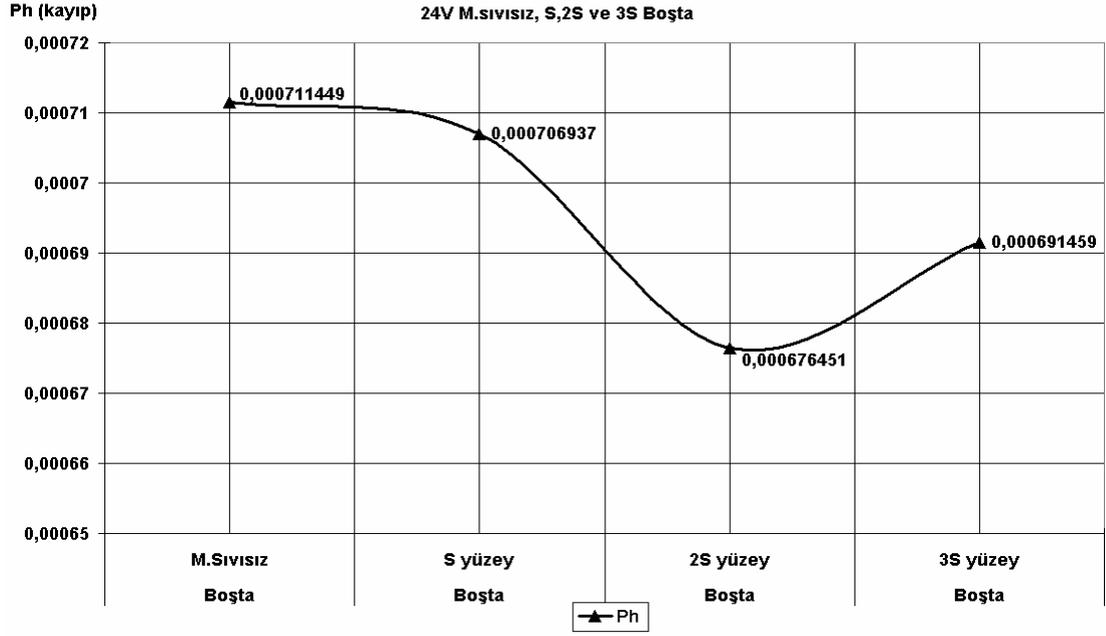
Şekil IV.44 48V Manyetik sıvısız-sıvılı (S, 2S, 3S) boşta akı-hız grafiği



Şekil IV.45 48V Manyetik sıvısız-sıvılı (S, 2S, 3S) yükte akı grafiği

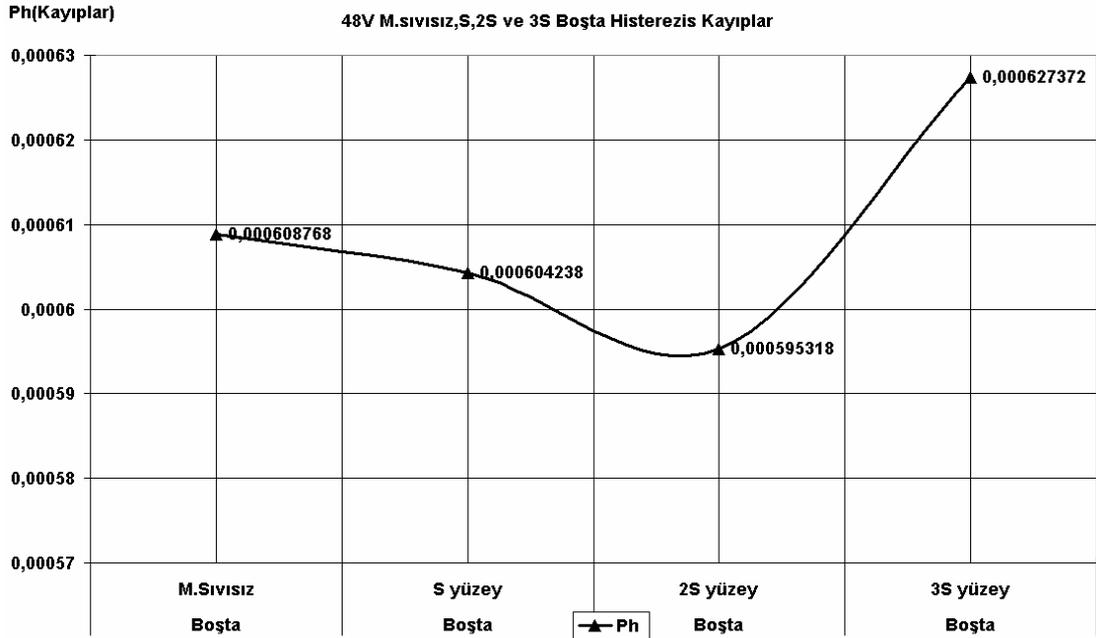
Şekil IV.45'te görüldüğü gibi S ve 2S için makine parametreleri olumlu yönde etkilenirken 3S için olumsuz etkilendiği gözlemlenmiştir.

Bu grafiklerin yorumu sonuç bölümünde detaylı bir şekilde verilmiştir.



Şekil IV.46 24V Manyetik sıvısız-sıvılı (S, 2S, 3S) boşta histerezis kayıpları

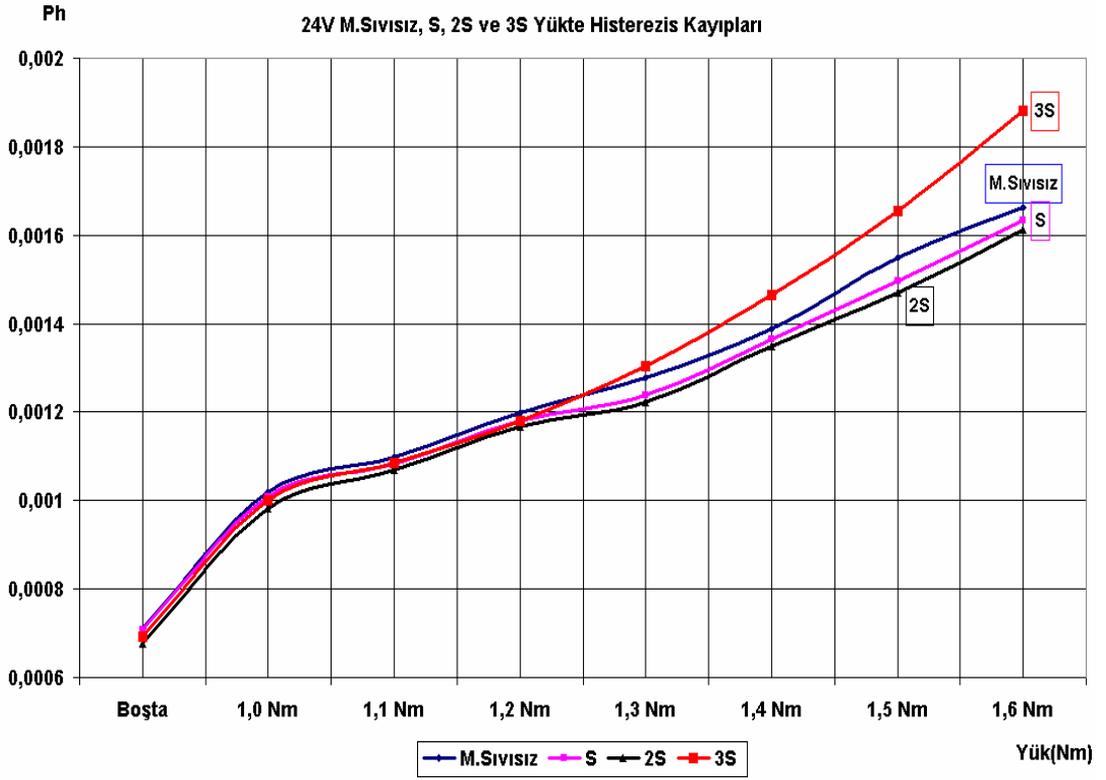
Şekil 3.62’de 24V boşta S ve 2S değerler için P_h kayıpların düştüğü 3S için ise attığı gözlemlenmiştir. Yüklü değerler ise Şekil IV.48’de verilmiştir.



Şekil IV.47 48V Manyetik sıvısız-sıvılı (S, 2S, 3S) boşta histerezis kayıpları

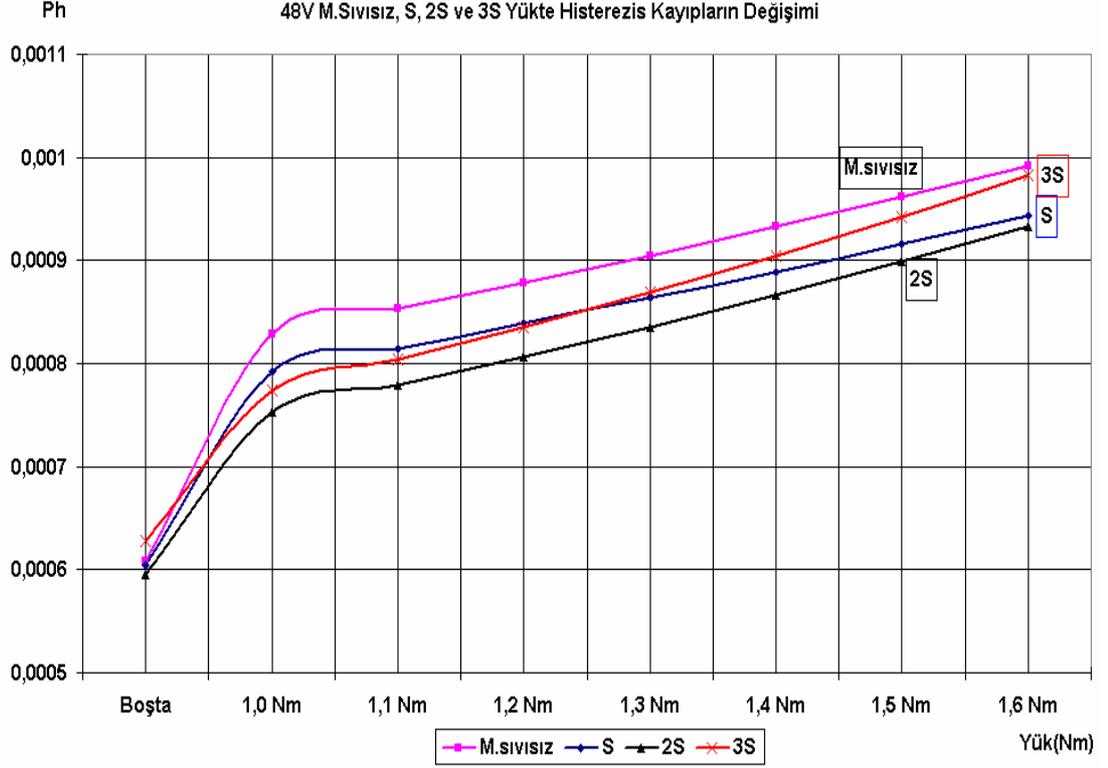
Şekil IV.47’de 48V için boşta değerler gösterilmiştir. Yüklü değerler ise Şekil IV.49’da verilmiştir.

24V'da bulunan sonuç 48V içinde daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır.



Şekil IV48 24V Manyetik sıvısız-sıvılı (S, 2S, 3S) yükte histerezis kayıpları (P_h)

Şekil IV.48'de görüldüğü gibi 2S ve 3S için grafik değerleri M. Sıvısız grafik değerlerin altında kalmıştır. Bu durum manyetik sıvısıza göre kayıpların azaldığını göstermiştir. Bu değerler hız ve akım (yükü durumda) grafiklerini de desteklemektedir.



Şekil IV.49 48V Manyetik sıvısız-sıvılı (S, 2S, 3S) yükte histerezis kayıpları (P_h)

Nominal değerler 48V'da ölçülen değerler S ve 2S için M. sıvısız değerlerin altında kalmıştır. 3S içinde değer manyetik sıvısız değerinin altında kalmıştır, ancak 2S'den daha yüksek değerler almıştır.

Tablo IV.2 24V Histerezis kayıpları (P_h) değerleri

P _h (W)	Boşta	1,00 Nm	1,1 Nm	1,2 Nm	1,3 Nm	1,4 Nm	1,5 Nm	1,6 Nm
M.Sıvısız	0,000608	0,000828	0,000853	0,00087	0,000904	0,000932	0,000961	0,000991
S	0,000604	0,000792	0,000814	0,000838	0,000863	0,000889	0,000916	0,00094
2S	0,000595	0,000752	0,000779	0,000806	0,00083	0,000866	0,000898	0,000932
3S	0,000627	0,000773	0,000804	0,00083	0,000869	0,000904	0,000942	0,000982

Tablo IV.3 48V Histerezis kayıpları (P_h) değerleri

$P_h(W)$	Boşta	1,00 Nm	1,1 Nm	1,2 Nm	1,3 Nm	1,4 Nm	1,5 Nm	1,6 Nm
M.Sıvısız	0,000711	0,001018	0,001097	0,001199	0,001278	0,001387	0,001549	0,001662
S	0,000706	0,001007	0,001081	0,00118	0,001237	0,001364	0,00149	0,001633
2S	0,000676	0,000982	0,001069	0,001167	0,001223	0,001347	0,001471	0,001611
3S	0,000691	0,00100	0,001085	0,00118	0,001304	0,001465	0,00165	0,00188

Şekil IV.48-IV.49'da verilen grafiklerin yüklü çalışma için değerleri sütunlar halinde verilerek manyetik sıvıları etkisi gösterilmiştir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu deneysel çalışmada, manyetik sıvıların (ferrofluid) döner elektrik makineleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Manyetik sıvı kullanılmasının amacı, manyetik iletkenliği kullanarak makinedeki manyetik kayıpları incelemek ve mümkünse bu kayıpları düşürmektir. Benzer çalışmaların aksine bu çalışma sadece teorik olarak değil, aynı zamanda deneysel olarak da gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada manyetik sıvı önce makine içine uygulanmış, makine dönmeye başlayınca manyetik sıvı (ferrofluid) makine miline yapışmış ve motoru “kilitli motor” durumuna sokmuştur. Bu nedenle daha ileri çalışmalar gerçekleştirilmemiştir.

Makinenin dışına, miline aksiyel yönde belli büyüklüklerde (Bölüm IV’te ayrıntısı verilmiştir.) manyetik sıvı uygulanmıştır. Manyetik sıvı, akı ve makine parametreleri sabit motorda devir sayısını arttırmıştır. Bunun anlamı “kaçak akı” gibi motor parametrelerine katıldığıdır. Ancak motorun yüklü çalışması ve ferrofluid’in artırılması bize kaçak akı gibi davranmadığını aksine manyetik kayıpları azalttığını göstermiştir. (Bölüm IV grafikler IV.26-IV.49)

Ferrofluid manyetik geçirgenliği arttırmış, manyetik kayıpları azaltmış bunların etkisini de makinenin yüklü çalışmasında çekilen akımı azaltarak göstermiştir.

Bu çalışmanın, Ferrofluid’in mil üzerinde kontrollü bir şekilde kullanılmasıyla elektriksel kayıpları önemli ölçüde düşüreceği ve dolayısıyla makine parametrelerini büyük ölçüde iyileştireceği araştırmalara ön çalışma olacağına inanılmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Fitzgerald, A.E., Kingsley, C., Umans, S., “Electric Machinery”, 5.baskı, McGraw, Hill, **1992**
- [2] Sleman GR., Straughen, A., “Electric Machines”, Addison-Wesley, **1982**
- [3] Sadiku, NOM., “Elements of Electromagnetics”, 3.baskı, Oxford University Press, **2001**
- [4] KRAUSE, P.C., WASYNCZUK, O., SUDHOFF, S.D., Analysis of Electric Machinery, IEEE Power Engineering Society, New York, USA, **1994**.
- [5] KENJO, T., Electrical Motors and Their Controls, Oxford University Press, USA, **1991**.
- [6] KRAUSE, P.C., Analysis of Electrical Machinery, McGraw-Hill Inc., pp. 498-558, New York, USA, **1986**.
- [7] KENJO, T., NAGAMORI, S., Permanent Magnet and Brushless DC Motors, Clarendon Press, Oxford, UK, pp. 57-102, **1985**.
- [8] PILLAY, P., KRISHNAN, R., Modelling, Simulation and Analysis of Permanent Magnet Motor Drives: Part 1, 2, IEEE Trans. on Ind. Applications, 25, 2, pp. 265-279, **1989**.
- [9] MILLER, T.J.E., Brushless Permanent-Magnet and Reluctance Motor Drives, Oxford University Press, pp. 55-75, New York, **1983**.
- [10] A. Nethe, Th. Scholz, H.-D. Stahlmann, Magnetohydrodynamics 3 (**2001**) 312.
- [11] A. Nethe, Th. Scholz, H.-D. Stahlmann, Recent Res. Dev. Magn. Mater. 1 (Part. I) (**2003**) 351.
- [12] Akmeşe, D., “Güneş Panellerinden Beslenen Bir DA Motorun Çalıştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, **2006**
- [13] Şenol, İ.; Bekiroğlu, N.: “Elektrik Makineleri I”, Birsen Yayınevi, **2005**
- [14] Mergen A.F., Kocabaş D.A., “Elektrik Makineleri IV Doğru Akım Makineleri, Birsen Yayınevi, İstanbul, **2006**
- [15] Bal, G.: “Doğru Akım Makineleri ve Sürücülerini” Seçkin Yayınevi, Ankara, **2001**
- [16] Bal, C., **2002** “Doğru Akım Motorlarının Hız Denetiminde Yapay Sinir Ağlarının Performans Analizi” Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

- [17] Yıldız, Ahmet., “Eddy Akımı kayıplarının Sonlu Elemanlar Metodu İle Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, **2007**
- [18] EMEN, F., “+3 Değerli Demir ve Nikel İyonları İçeren $\text{LiFe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}_2$ Bileşiklerinin Manyetik Özellikleri”,Yüksek Lisans Tezi,Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, **2005**
- [19] <http://sciart.karaelmas.edu.tr/bolumler/fizik/Ders%20Notlari/E10.pdf> (Erişim Tarihi 17 ağustos **2010**)
- [20] “Permanent Magnet of Materials”, Permanent Magnet Catalog, Dexter Magnetic Technologies (**2007**)
- [21] Karaca, H., “PIC Denetleyici Kullanılarak Fırçasız DC Motorun Sensörsüz Kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, **2004**
- [22] Yan, G., N.F.: “Fırçasız Doğru Akım Makineleri (BLCD) ve Komütasyon”, 3E Electrotech, Ocak Sayısı (**2008**)
- [23] S. S. Papel, U.S. Patent no3, 215, 572 (**1965**)
- [24] Scherer, C., Figueiredo Neto A.M., Ferrofluids: Properties and applications, Brazilian Journal Of Physics, vol.35, no.3A, September, **2005**
- [25] http://www.jk-nano.com/english/mag_liq.htm KASIM 2010
- [26] Genç, S., Synthesis and properties of magnetorheological fluids, PhDThesis, University of Pittsburgh, USA, **2002**
- [27] R. E. Rosenswig, Ferrohydrodynamics, Dover, N. Y. **1997**.
- [28] B. M. Berkovskiy, B. F. Medvedev, M. S. Krakov, Magnetic Liquids, Chemical Ed., Moscow, **1989**.
- [29] D. J. Klingenberg, Magnetorheology: Application and Challenges, AIChE J., 47, 2, 246-249, **2001**.
- [30] M. Ohaba and S. Sudo, Liquid surface behaviour of magnetic liquid in container subjected to magnetic field and vertical vibration, J. Magnetism and Magnetic Materials, 149, 1-2, 38-44, **1995**.
- [31] B. M. Berkovskiy, B. F. Medvedev, M. S. Krakov, Magnetic Liquids, Chemical Ed., Moscow, **1989**.
- [32] Xin,M., Development of novel magnetorheological polymey gels and magnetorheological fluids, Master Thesis, University of Nevada, Reno, USA, **2003**.

- [33] Bica, I., The obtaining of magneto-rheological suspensions based on silicon oil and iron particles, *Materials Science and Engineering*. B98.89-93, **2003**
- [34] Park, J.H., Chin, B.D., and Park, O.O., Rheological properties and stabilization of magnetorheological fluids in a water-in-oil emulsion, *Journal of Colloid and Interface Science*, 240, 349-354, **2001**
- [35] Jolly, M.R., Bender, J.W. and Carlson, J.D., Properties and applications of commercial magnetorheological fluids, Thomas Lord Research Center, Lord Corporation.
- [36] www.irm.umn.edu/hg2m/hg2m_b/hg2m_b.html Aralık 2010
- [37] A. Nethe, Th. Scholz, H.-D. Stahlmann, "Improving the efficiency of electric machines using ferrofluids"., *Science Direct ,Journal of Physics Condensed Matter*, v18, n38, p S2985-S2998, september 27, **2006**
- [38] Herdem. S., "Rheolojik Özellikli Manyetik Sıvıların Elektromanyetik alandaki Davranışlarının Analizi", *Fırat Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(1), 19-27, **2003**
- [39] S. Engelmann, A. Nethe, Th. Scholz, H.D. Stahlmann, "Concept of a new type of electric machines using ferrofluid", *Elsevier, Science Direct, Journal of magnetism and magnetic materials*, 293(**2005**).
- [40] A. Nethe, Th. Scholz, H.-D. Stahlmann, *IEEE Trans.Magn.* 38 (2) (**2002**) S. 1177.
- [41] A. Nethe, Th. Scholz, H.-D. Stahlmann, "Force enhancement on a ferrofluid-driven linear stepping motor model", *Elsevier, Science Direct ,Journal of magnetism and magnetic materials*, 272-276 (**2004**)
- [42] D. Schieber, *Electromagnetic Induction Phenomena*, Springer Series in Electrophysics, vol. 16, Springer, Berlin, **1986**.

ÖZGEÇMİŞ

20 Nisan 1982'de Bingöl ilinin Merkez ilçesinde doğdu. İlkokulu Bingöl Vali Güner Orbay İlköğretim okulunda, lise eğitimini Bingöl Meslek Lisesi Elektrik Bölümünde, Lisans eğitimini Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümünde 2007 yılında tamamladı. 2007 yılında Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans eğitimine başladı.