

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PIC TABANLI FIRÇASIZ DC MOTOR TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Caner YILDIRIM

Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği Programı

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

OCAK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PIC TABANLI FIRÇASIZ DC MOTOR TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Caner YILDIRIM
(506121208)**

Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği Programı

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof.Dr.Onuralp YÜCEL

OCAK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506121208 numaralı Yüksek Lisans / Doktora Öğrencisi **Caner YILDIRIM**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**PIC TABANLI FIRÇASIZ DC MOTOR TASARIMI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Onuralp YÜCEL**

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Filiz Çınar ŞAHİN**

Doç. Dr. Serdar AKTAŞ

Teslim Tarihi : **15 Aralık 2014**

Savunma Tarihi : **21 Ocak 2015**

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek, öneri ve yönlendirmelerinden dolayı değerli danışman hocam Sayın Prof.Dr.Onuralp Yücel'e en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Metalografi çalışmalarımda laboratuvar imkanlarından faydalanmamı sağlayan hocam Sayın Prof.Dr.Filiz Çınar ŞAHİN'e, mekanik analizlerim esnasında bana destek olan araştırma görevlisi Sayın Erdem ŞEŞEN'e, çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen Yük.Met.Müh.Ahmet TURAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

KORMAS Elektrikli Motor San.ve Tic.Ltd.Şti , Fabrika Müdürü Sedat GÜNEY'e, Ar-Ge mühendisi Yeda AYDOĞMUŞ'a ve Sarım Bölüm sorumlusu Adem GÜNGÖRMEZ'e vermiş oldukları desteklerden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Bana her konuda destek olan canımdan çok sevdiğim aileme, özellikle gücüme güç katan babam Muzaffer YILDIRIM'a en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Ocak 2015

Caner YILDIRIM

Metalurji ve Malzeme Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
TABLO LİSTESİ	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xx
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1 Motor Nedir?	3
2.1.1 Manyetizma.....	4
2.1.2 Motor Bileşenleri	9
2.1.2.1 Rotor.....	9
2.1.2.2 Stator	9
2.1.2.3 Kollektör	11
2.1.2.4 Motor Fırçaları(Kömür)	12
2.1.2.5 Rotor ve Stator Laminasyon Sacı.....	15
2.1.2.6 Mıknatıs	16
2.1.2.7 Motor Gövdeleri.....	19
2.2 Fırçalı DC Motor.....	23
2.2.1 Fırçalı DC Motor Çalışma Prensibi	23
2.3 Fırçasız DC Motor.....	24
2.3.1 Fırçasız DC Motor Tarihçesi.....	24
2.3.2 Fırçasız Motor Çalışma Prensibi	26
2.3.3 Fırçasız DC Motorda Kullanılan Elektronik Devreler	28
2.3.3.1 PWM (Pulse Width Modulation)-Darbe Genişlik Modülasyonu	28
2.3.3.2 Hall Sensör (Konum Algılayıcı)	31
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	35
3.1 Fırçalı Motor Deneyinde Kullanılan Malzemeler	35
3.1.1 Yerli ve İthal Motor Fırçaları	35
3.1.2 Alkol.....	35
3.1.3 Zımpara Kağıtları	36
3.2 Fırçasız DC Motor Deneyinde Kullanılan Malzemeler	37
3.3 Deneylerde Kullanılan Cihazlar	37
3.4 Deneylerin Yapılışı	42
3.4.1 Metalografi Laboratuvarında Zımparalama İşlemi	42
3.4.2 Optik Mikroskop Altında DC Motor Fırçalarının Mikroyapılarının İncelenmesi	43

3.4.3 DC Motor Fırçalarının Sertlik Değerlerinin Ölçülmesi	46
3.4.4 Yoğunluk Ölçümü Deneyi	46
3.4.5 Kömür Aşınma Deneyi	46
4. SONUÇLAR VE İRDELEME	47
4.1 Optik Mikroskop Altında İncelenen Numunelerin Test Sonuçları	47
4.2 Sertlik Ölçüm Test Raporları	50
4.3 Yoğunluk Deneyi Test Sonuçları	50
4.4 Fırça Aşınma Testi Sonuçları.....	51
4.5 Fırçalı DC Motor Deneysel Çalışmalarının İrdelenmesi	53
5. TASARIM ÇALIŞMASI	55
5.1 Fırçasız DC Motorlar	55
5.2 Fırçasız Motor Tasarımı	56
5.2.1 Çap 76 mm Motor İçin Yapılanlar	58
5.2.2 Çap 102 mm Motor İçin Yapılanlar	69
5.2.3 Çap 63mm Motor İçin Yapılanlar	76
5.3 Fırçasız DC Motor Tasarım Çalışmalarının İrdelenmesi	79
6. GENEL SONUÇLAR	81
7. ÖNERİLER	85
8. EKLER.....	87
9. KAYNAKLAR	117
10. ÖZGEÇMİŞ.....	119

KISALTMALAR

DA	: Doğru Akım
EMK	: Elektromotor Kuvveti
FSDCM	: Fırçasız Doğru Akım Motoru
PWM	: Pulse Width Modulation
OEM	: Orijinal Araç Üreticileri

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Elektrik motorlarının sınıflandırılması	3
Şekil 2.2: Manyetik alandaki demir tozları.....	4
Şekil 2.3: Sağ el kuralı.....	5
Şekil 2.4: Deney düzeneği	6
Şekil 2.5: Sağ el kuralı.....	7
Şekil 2.6: Kuvvet, Akım, Manyetik alan ilişkisi	8
Şekil 2.7: Manyetik alan içerisindeki iletkende akım oluşumu	8
Şekil 2.8: a) Kalıcı mıknatıs rotor milinin yüzeyine yerleştirilmiş b) Kalıcı mıknatıs rotor gövdesinin içine yerleştirilmiş c) Kalıcı mıknatıs oyuklara yerleştirilmiş	9
Şekil 2.9: a) Stator sargıları dış kısımda b) Stator sargıları iç kısımda c) Disk tipi ..	10
Şekil 2.10: Kollektör ve Fırçalar	11
Şekil 2.11: Kollektör ve Fırça Genel Görünüm.....	11
Şekil 2.12: Kollektör ve Fırça Yapısı	12
Şekil 2.13: Silisli sac'tan yapılmış Rotor ve Stator	15
Şekil 2.14: Ferritik Mıknatıs.....	16
Şekil 2.15: Neodyum Mıknatıs	19
Şekil 2.16: Soğuk Çekilmiş Dikişsiz Çelik Boru	20
Şekil 2.17: Alüminyum Ekstrüzyon Gövde.....	21
Şekil 2.18: Fırçalı DC Motor	24
Şekil 2.19: Temel Fırçasız DA Motoru	26
Şekil 2.20: Fırçasız DC Motor Çalışma Prensipleri	27
Şekil 2.21: %10 Oranında iş saykılı olan kare dalga	28
Şekil 2.22: PWM Filtre devresi	29
Şekil 2.23: Sigma - Delta Yöntemiyle PWM Tekniğinin Uygulanması	30
Şekil 2.24: Hall sensör yapısı	31

Şekil 2.25: Hall sensör iç yapısı	32
Şekil 2.26: Hall sensör örnek devresi	32
Şekil 3.1: Deneylerde belirlenen yerli ve ithal numune motor fırçaları	35
Şekil 3.2: Dağlama prosesinde kullanılan alkol	36
Şekil 3.3: Zımpara kağıtları	36
Şekil 3.4: Zımparalama cihazı	37
Şekil 3.5: Optik mikroskop cihazı	38
Şekil 3.6: TRONIC vickers sertlik ölçme cihazı	38
Şekil 3.7: AND GR-200 yoğunluk ölçme cihazı	39
Şekil 3.8: HİSAN marka hidrolik pres	39
Şekil 3.9: NIDE marka sarım makinası	40
Şekil 3.10: DELTA rulman çakım makinası	40
Şekil 3.11: SABO ELEKTRONİK marka redresör cihazı	41
Şekil 3.12: E.D.C marka tork ölçüm cihazı	41
Şekil 3.13: a) Metalografi cihazı b) Alümina	42
Şekil 3.14: a) Yerli Fırça b) İthal Fırça.....	43
Şekil 3.15: İade motorlardan sökülen kullanılmış fırçalar.....	43
Şekil 3.16: 500 büyütme 20µm (Mavi Objektif) Yerli Kullanılmış fırça.....	44
Şekil 3.17: 500 büyütme 20µm (Mavi Objektif) Yerli Yeni Fırça.....	45
Şekil 3.18: 500 büyütme 20µm (Mavi Objektif) İthal Yeni Fırça.....	45
Şekil 4.1: 200 büyütme 50µm (Yeşil Objektif) Yerli Kullanılmış Fırça.....	47
Şekil 4.2: 200 büyütme 50µm (Yeşil Objektif) Yeni Fırça	48
Şekil 4.3: 200 büyütme 50µm (Yeşil Objektif) İthal Yeni Fırça.....	48
Şekil 4.4: Motorlarda aşınmış fırçaların motor içerisinde yaratmış olduğu tahribat..	52
Şekil 4.5: Kömürlerin kollektör yüzeylerinde yaratmış olduğu tahribat	52
Şekil 4.6: Motorlarda ergimiş kömürün yaratmış olduğu tahribattan bir başka görüntü.....	53
Şekil 5.1: Dört kutuplu doğal mıknatıslı rotor (a), sekiz kutuplu doğal mıknatıslı rotor (b) ve fırçasız DC motor rotor ve stator (c).....	56
Şekil 5.2: 1 numaralı konseptte ait; a) 1:1 ölçekli CAD çizimi, b) Manyetik analiz sonucunda elde edilen akı dağılımı, c) 5'er derecelik adımlarla elde edilen moment eğrisi, d) 30 ve 60 derecelik burkma sonucunda elde edilen moment eğrisinin değişimi.....	58

Şekil 5.3: 2 numaralı konseptte ait; a) 1:1 ölçekli CAD çizimi, b) Manyetik analiz sonucunda elde edilen akı dağılımı, c) 5'er derecelik adımlarla elde edilen moment eğrisi, d) 30 ve 60 derecelik burkma sonucunda elde edilen moment eğrisinin değişimi.....	59
Şekil 5.4: 3 numaralı konseptte ait; a) 1:1 ölçekli CAD çizimi, b) Manyetik analiz sonucunda elde edilen akı dağılımı, c) 5'er derecelik adımlarla elde edilen moment eğrisi, d) 30 ve 60 derecelik burkma sonucunda elde edilen moment eğrisinin değişimi.....	60
Şekil 5.5: 4 numaralı konseptte ait; a) 1:1 ölçekli CAD çizimi, b) Manyetik analiz sonucunda elde edilen akı dağılımı, c) 5'er derecelik adımlarla elde edilen moment eğrisi, d) 30 ve 60 derecelik burkma sonucunda elde edilen moment eğrisinin değişimi.....	61
Şekil 5.6: 4 numaralı konseptte ait 5'er derecelik adımlarla elde edilen 0, 30 ve 60 derecelik burkma sonucunda elde edilen moment eğrisinin değişimi a) 5A, b) 10A, c) 20A.	62
Şekil 5.7: Belirlenen konseptte ait stator ve rotor laminasyon saclarının CAD çizimi.....	63
Şekil 5.8: Belirlenen konseptte ait motorun 3 boyutlu CAD çizimi.....	63
Şekil 5.9: Belirlenen konseptte ait motorun 3 boyutlu CAD çizimi (kesit görünümü).....	64
Şekil 5.10: Belirlenen konseptte ait lazer kesim stator ve rotor laminasyon saclarının fotoğrafı.....	64
Şekil 5.11: Belirlenen konseptte ait sürücü kartının baskı devre çizimi.....	65
Şekil 5.12: Tasarımı belirlenmiş motora ait fotoğraflar	66
Şekil 5.13: Konum algılayıcı kartının fotoğrafı.....	66
Şekil 5.14: İlk geliştirilen motor sürücü kartlarının baskı devre fotoğrafları.	67
Şekil 5.15: İlk geliştirilen motor sürücü kartlarının fotoğrafları (Elektronik malzemeli).....	67
Şekil 5.16: İkinci geliştirilen motor sürücü kartlarının fotoğrafları (Elektronik malzemeli).....	68
Şekil 5.17: Belirlenen konseptte ait motorun fan takımları ile birlikte fotoğrafı.	

Bundan sonraki aşamada yapılacak testler Sırasıyla, motorların yükleme ünitesinde deneylerinin gerçekleştirilmesi ve motorların yükleme ünitesinde Hız-Moment karakteristiğinin gerçekleştirilmesidir.	69
Şekil 5.18: 1 numaralı konseptte ait; a) 1:1 ölçekli CAD çizimi, b) Manyetik analiz sonucunda elde edilen akı dağılımı, c) 5'er derecelik adımlarla elde edilen moment eğrisi, d) 30 ve 60 derecelik burkma sonucunda elde edilen moment eğrisinin değişimi.	70
Şekil 5.19: 2 numaralı konseptte ait; a) 1:1 ölçekli CAD çizimi, b) Manyetik analiz sonucunda elde edilen akı dağılımı, c) 5'er derecelik adımlarla elde edilen moment eğrisi, d) 30 ve 60 derecelik burkma sonucunda elde edilen moment eğrisinin değişimi.	71
Şekil 5.20: 3 numaralı konseptte ait; a) 1:1 ölçekli CAD çizimi, b) Manyetik analiz sonucunda elde edilen akı dağılımı, c) 5'er derecelik adımlarla elde edilen moment eğrisi, d) 30 ve 60 derecelik burkma sonucunda elde edilen moment eğrisinin değişimi.	72
Şekil 5.21: 2 numaralı konseptte ait motorun 3 boyutlu CAD çizimi	73
Şekil 5.22: 2 numaralı konseptte ait motorun 3 boyutlu CAD çizimi (kesit görünümü).	73
Şekil 5.23: 102mm aksiyel fan motoru.	74
Şekil 5.24: 2 numaralı konseptte ait motorun fotoğrafı	74
Şekil 5.25: Çap 102mm motorunun fotoğrafı (Bobinalı).	75
Şekil 5.26: Çap 102mm motorunun sürücü kartlarının fotoğrafları.	75
Şekil 5.27: Çap 102mm motorunun sürücü kartlarının fotoğrafları (Elektronik malzemeli).	76
Şekil 5.28: Belirlenen konseptte ait stator ve rotor laminasyon saclarının CAD çizimi.	76
Şekil 5.29: Belirlenen konseptte ait tel erezyon kesim stator ve rotor laminasyon saclarının fotoğrafı.	77
Şekil 5.30: Belirlenen konseptte ait manyetik analiz sonucunda 5'er derecelik mekanik adımlarla elde edilen moment eğrilerinin değişimi.	77
Şekil 5.31: Belirlenen konseptte ait motorun 3 boyutlu CAD çizimi.	78
Şekil 5.32: Belirlenen konseptte ait motorun 3 boyutlu CAD çizimi (kesit resmi).	78
Şekil 5.33: Belirlenen konseptte ait motorun fotoğrafı.	79

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Sert Ferritik Mıknatısların Özellikleri.....	17
Tablo 3.1: 3 Farklı tip kömürün Mikroyapı Görüntüleri.....	44
Tablo 4.1: Motor Kömürlerinin (Fırçalarının) Kıyaslanması.....	49
Tablo 4.2: 3 farklı tip kömür numunesinin sertlik ölçüm değerleri.....	50
Tablo 4.3: 3 farklı tip kömür numunesinin yoğunluk değerleri.....	51
Tablo 4.4: Kömür aşınma testi sonuçları.....	51
Tablo A.1: Emaye Tel Test Raporu (0,3 mm).....	87
Tablo A.2: Emaye Tel Test Raporu (0,4 mm).....	88
Tablo A.3: Emaye Tel Test Raporu (0,5 mm).....	89
Tablo A.4: Emaye Tel Test Raporu (0,6 mm).....	90
Tablo A.5: Emaye Tel Test Raporu (0,7 mm).....	91
Tablo B.1: 6063 Kalite Alüminyum Motor Gövdesi Test Raporu.....	92
Tablo C.1: Çelik Boru Test Raporu-1.....	93
Tablo C.2: Çelik Boru Test Raporu-2.....	94
Tablo D.1: 6112 Kalite Rotor-Stator Laminasyon sacı Test Raporu.....	95
Tablo E.1: M 470 Kalite Silisli Sac Test Raporu.....	96
Tablo F.1: CK 45 Rotor Mili Test Raporu.....	97
Tablo G.1: Motor Fırçası Test Raporu.....	98
Tablo H.1: Ferritik Mıknatıs Test Raporu.....	99
Tablo H.2: Ferritik Mıknatıs Histerisis Eğrisi.....	100
Tablo H.3: Ferritik Mıknatıs Test Raporu-2.....	101
Tablo I.1: Neodyum Mıknatıs Test Raporu.....	102

Tablo I.2: Neodyum Mıknatıs Histerisis Eğrisi.....	103
Tablo J.1: 24V Kalın Aksiyel Fırçalı DC Motor Mekanik Test Raporu.....	104
Tablo J.2: 24V Aksiyel Fırçalı DC Motor Tork Testi.....	105
Tablo K.1: 24V Orta Blower Fırçalı DC Motor Mekanik Test Raporu.....	106
Tablo K.2: 24V Orta Blower Fırçalı DC Motor Tork Testi.....	107
Tablo L.1: Redüktör Fırçalı DC Motoru Mekanik Test Raporu.....	108
Tablo L.2: Redüktör Fırçalı DC Motoru Tork Testi.....	109
Tablo M.1: Çap 63 mm Fırçasız DC Motor Mekanik Test Raporu.....	110
Tablo M.2: Çap 63 mm Fırçasız DC Motor Tork Testi.....	110
Tablo N.1: Çap 76 mm Fırçasız DC Motor Mekanik Test Raporu.....	111
Tablo N.2: Çap 76 mm Fırçasız DC Motor Tork Testi.....	111
Tablo O.1: Çap 102 mm Fırçasız DC Motor Mekanik Test Raporu.....	112
Tablo O.1: Çap 102 mm Fırçasız DC Motor Tork Testi.....	113
Tablo P.1: Çap 63 mm Fırçalı ve Fırçasız Motor Performans Eğrileri.....	114
Tablo P.2: Çap 76 mm Fırçalı ve Fırçasız Motor Performans Eğrileri.....	114
Tablo P.3: Çap 102 mm Fırçalı ve Fırçasız Motor Performans Eğrileri.....	115

ÖZET

Fırçasız motor tarihçesine kısaca değinirsek; 1983' de Demerdash iki farklı malzeme (Samaryum-Kobalt ve Ferrit) kullanarak aynı güçlü iki fırçasız DC motor gerçekleştirmiştir.1985 yılında Ilzuka, evirici devresindeki güç yarı iletkenlerini bir bilgisayar ile tetikleyerek geri besleme kullanmadan fırçasız DC motorunun hız kontrolünü yapmıştır.1989'da ise Pillay sürekli mıknatıslı senkron motoru iki fazda modellerken, fırçasız DC motorlarını da üç fazda modellemiştir.1992'de Low, moment kontrol yöntemini pozisyon kontrolünde ve hız kontrolünde uygulamıştır.Daha sonra 2003'de Lee ve Ehsani , tarafından yapılan çalışmada, fırçasız DC motor sürücülerin ileri simülasyon modelleri geliştirilmiştir.Ve en sonunda 2008'de Cunshan Zhang ve Dunxin Bian Fırçasız DC motorlarda stator manyetik alanının oluşturduğu moment salınımlarının ortadan kaldırmak için yeni bir PWM kontrol algoritması sunmuştur. Bu zamandan sonra fırçasız DC motorlar piyasada gerek maliyet gereksede sistemde kullanılması gereken elektronik devre karmaşıklığı yüzünden hakettiği yeri alamamış ve piyasaya sunulamamıştır. Ancak teknolojinin hızla gelişmesi, ürün kalite ve ömür sürelerinin artması ve talep edilmesi bu ürünün tekrardan gündeme gelmesine sebep olmuş ve talep edilir hale gelmiştir.

Fırçasız Doğru Akım (DC) motorları artık günümüzde, endüstriyel uygulamaların çoğunda, özellikle otomotiv sektörü, uzay teknolojileri, bilgisayar teknolojileri, tıp elektroniği, askeri alanlar, robotik uygulamaları ve ev ürünlerinde fırçalı motorlar yerine sıkça kullanılmaktadır. Bu motorlar, yüksek moment/akım ve yüksek moment/eylemsizlik oranına sahiptir. Ayrıca fırçasız DC motorların, sağlam yapı, yüksek verim ve yüksek güvenilirlik gibi üstünlükleri vardır [1].

Mikro denetleyici (PIC) devre elemanları son yıllarda, uygun yapısı nedeniyle tek döngülü sayısal kontrol sistemlerinde sıkça kullanılmaktadır. Ayrıca yaygın kullanımı ve uygun fiyatı nedeniyle popülerliği giderek artmaktadır. PIC'ler, bir bilgisayarın temel özelliklerini içeren tek bir silikon kılıf içerisinde toplanmış tüm

devre elemanlarıdır. Genel olarak bir PIC devre elemanı; bir mikroişlemci, program/veri belleği, giriş/çıkış birimleri, saat darbesi üreteçleri, zamanlayıcı/sayıcı birimleri, kesme kontrol birimi, analog/dijital ve dijital/analog çeviriciler, darbe genişlik üreteci, seri haberleşme birimi ve daha özel uygulamalar için kullanılan diğer çevresel birimlerden meydana gelmektedir. Çalışmada kullanılan PIC 30F3010 devre elemanı, yüksek performans RISC CPU teknolojisi, 20 MHz çalışma frekansı, 3 adet giriş/çıkış, 3 adet zamanlayıcı, 2 adet PWM modül, 5 kanallı 10 bitlik ADC, 8Kx14 kelime flash hafıza, 368x8 bayt RAM ve 256x8 bayt EEPROM içermektedir [2].

Bu çalışmada; fırçalı motorda kömürün zamanla ergiyerek oluşturduğu kömür tozlarının motorun ömrünü azaltma, kollektör yüzeyinin aşınarak motorda çalışmama ve kısa devre arkları (elektriksel atlamalar, şase vb. hatalar) oluşturmasını ortadan kaldırma, motorun yapmış olduğu çevrim sayısının (cycle) artırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda motor fırçaları (kömürleri) ve kollektör üzerinde iyileştirme çalışmaları yapılmış olup istenilen sonuçlar elde edilememiştir. Bu veriler ışığında PIC Tabanlı Fırçasız Motor tasarlanmasına karar verilmiş, motordaki kömürler ve kollektör iptal edilerek ferritik mıknatıslar yerine Gauss değeri ve mıknatıslanabilme özelliği daha yüksek olan neodyum mıknatıslar kullanılmasına, sargının rotor üzerinde değil stator üzerine sarılmasına karar verilmiştir.

Bu çalışmada ayrıca Fırçasız DC motorlar için PIC tabanlı bir sürücü geliştirilmiştir. Motorun, konum algılayıcı (hall effect) sensörlerinden alınan konum bilgileri PIC tarafından yorumlanarak yazılan program sayesinde uygun komutasyon çıkışları üretilmiş ve bu çıkışlar izolasyon amacıyla optik izolatörlere uygulanmıştır. Gerçekleştirilen sistemde motor akımını karşılamak için uygun MOSFET elemanları kullanılmıştır. MOSFET elemanlarını sürmek için TLP250 sürücü entegreleri tercih edilmiştir. Yazılım olarak Microchip firmasının MPLAB programında derlenen ASM dili kullanılmıştır.

Sonuç olarak; fırçalı motorlarda elde edilen maksimum çalışma saati 13.000 ve çevrim sayısı 1-1,5 milyon iken fırçasız motorda yaklaşık 1 yıl süre ile yapılan testler sonucunda bu sayı 2,5-3 milyon çevrim sayısı (cycle) değerlere ulaşmış ve çalışma saati 20.000 saatin üzerine çıkmıştır. Ayrıca yapılan performans testlerinde çap

63mm olan redüktör kapı açma-kapama motorunda fırçalı motor maksimum tork değeri 12,95 Nm iken, fırçasız motor maksimum tork değeri ise 18,45 Nm olarak ölçülmüştür. Çap 76 mm blower motorunda fırçalı motor maksimum tork değeri 0,93 Nm iken, fırçasız motor maksimum tork değeri ise 1,97 Nm olarak belirlenmiştir. Çap 102 mm olan fan motorunda (axiel motoru) fırçalı motor maksimum tork değeri 2,46 Nm iken, fırçasız motor maksimum tork değeri 3,88 Nm olarak belirlenmiştir. Tork testi sonucunda fırçasız motorun tork değerlerin daha yüksek olduğu verilerle tespit edilmiştir. Bununla birlikte fırçalı motorların kömürlerinin ergime (ömür) süresi 1-1,5 yıl arası olduğu gelen iade motorların verilerinden çıkarılmış olup fırçasız motorda kömür kullanılmadığından bu problem doğrudan çözüme kavuşturulmuştur.

SUMMARY

If we mention about brushless motor; in 1983, Dermadash firm produced two brushless DC motor with same power by using two different materials (Samarium-Cobalt and ferrite). In 1985, Ilzuka did speed control of brushless DC motor without using feedback through triggering power semi conductors in inverter circuit by a computer. In 1989, Pillay modeled synchronous motor with permanent magnet in two phases and brushless DC motor in three phases. In 1992, Low implemented momentum control procedure in position and speed controls. Then in 2003, Lee and Ehsani improved advanced simulation models of brushless DC motor drivers. Eventually, in 2008, Cunshan Zhang and Dunxin Bian submitted a new PWM control algorithm in brushless DC motor to suppress moment oscillation which are occurred by stator magnetic field. After this time, brushless DC motors couldn't get a fair shake, because of cost and complication of electronics circuit. However, improving of technology, product quality and increasing of lifecycle induced that product to be at the top of the agenda.

Nowadays, brushless DC motors are usually used on most of industrial applications, especially on automotive sector, on space sector, on computer sector, on medical electronics, on military zones, on robotic applications and on households. That motors have high torque/current and high torque/inertia.. Besides, Brushless DC motors have advantages such as solid structure, high efficiency and high safety [1].

In recent years, Microcontroller (PIC) circuit components are used single-loop digital control systems because of available structure. Also, thanks to common usage and suitable price, its popularity increases day by day. PIC's are circuit components that accumulated in one silicon cover that includes the basic characteristics of computer. Generally, a PIC circuit component occurs from one microprocessor, program/data memory, input/output units, clock pulse generators, timer/ counter units, cut-off control unit, analog/digital and digital/analog convertors, pulse width moderator,

serial communication unit and other environmental units that used for other special applications. PIC 30F3010 circuit component which used in that study has high performans RISC CPU technology, 20 MHz working frequency, 3 input/outout, 3 timer, 2 PWM module, 10 bites ADC with 5 canal, 8Kx14 words flash memory, 368x8 bytes RAM and 256x8 bytes EEPROM [2].

In these project, brush dusts that is composed of melted brush by the time of progress prevention of decreasing of motor life, not working of motor through abraded of commutator surface and being of spark (electrical jumping, frame, etc) prevention, increasing of motor cycle are purposed. In that direction some developing works are done on motor brushes and commutators, however, proper results couldn' t be achieved. With all of that datas, RIC Based Brushless Motor designing is decided, brushes on motor and commutator are canceled, and using neodymium magnets that have high Gauss value and proper magnezitation specification instead of ferritic magnets, winding into the stator instead of armature are decided. Besides, using of M 470 quality (high silicium rated) material instead of 6112 quality (almost none silicium) lamination galvanize is decided. The reason is that, silicium can be magnetized easily.

In these study also a driver with PIC enabling is realized for Brushless DC motors. Motors location conditions that received from hall effect sensors transformed to commutation outputs by rendered of PIC's and these outputs are applied to optical isolators for isolating. In that performed system, MOSFET devices are used to provide the motor current. TLP250 driver devices are preferred to control MOSFED components. ASM language that is compiled on MPLAB program of Microchip firm is used as software.

Consequently, even though maximum working time on brush motor is 13.000 hours and number of cycles is around 1-1,5 milions, maximum working time on brushless motor is 20.000 hours and number of cycles is around 2,5-3 milions. Also, on performance tests maximum torque value on brush reduction motor that is 63 mm diamater is 12,95 Nm. This value is 18,45 Nm for brushless motor. For the brush blower motors that is 76 mm diameter maximum torque value is 0,93 Nm, brushless blower motor torque value is 1,97 Nm. And, for the brush fan motor that is 102 mm diameter maximum torque value is 2,46 Nm, brushless fan motor value is 3,88 Nm.

As a result of these torque tests, torque values of brushless motor is higher than brush motor. In addition of this, defrosting cycle of brushes of brush motors is around 1-1,5 years is found by checking datas of returned motors. Since there is no brush on brushless motors, that problem is solved directly.

1. GİRİŞ

Ticari araç üreticileri ve yan sanayi kuruluşları kendi ürünlerini üretirken uzun ömürlü, sessiz ve sorunsuz motorlar kullanmayı tercih ederler. Özellikle klimalarda ve ön kaloriferlerde kullanılan motorların belli bir ömürde olması istenmektedir. Bu firmaların elektrik motorlarında minimum 20.000 saatlik bir çalışma ömrü istekleri bulunmaktadır. Fırçalı elektrik motorlarında ulaşılabilen maksimum çalışma saati 13.000 saattir. Bu yüzden Fırçasız motor teknolojisi talep edilir ve istenilir hale gelmiştir. Dünyada bu tip motorları üreten birkaç firma bulunmaktadır. Türkiye de fırçasız motor üretimi olmadığından hem bu ürün üretimini Türkiye de gerçekleştirmek hem de sanayiden gelen talepleri ve şikayetleri göz önünde bulundurarak PIC tabanlı fırçasız motor tasarımı yapılması hedeflenmiştir.

PIC tabanlı fırçasız DC motor tasarlamadan önce mevcut durumun iyileştirilmesi amaçlanmış ve bu doğrultuda hem motor fırçası malzeme kalitesi hem de bu ürünün üretim proseslerinin incelenmesi için belli başlı karakterizasyon deneyleri yapılmıştır. Sırasıyla bu deneyler, mikroyapı incelenmesi, malzeme sertlik değerlerinin ölçülmesi, malzeme yoğunluk değerlerinin ölçülmesi ve fırça aşınma testleridir. Bu deneylerle fırçalı motorlardaki yaşanan kömür aşınma problemi, kollektörde oluşan şerare problemi gibi belli başlı ciddi sıkıntılar araştırılmak istenmiş bunun paralelinde de ana sanayi ve yan sanayi firmalarının teknik şartnamelerinde yer alan çalışma saatine ulaşmak istenmiştir. Yapılan metalografi deney sonuçlarında hem yerli hem de ithal fırçalarda porozite oranlarının yüksek olduğu ve bu yapılarda inklüzyonların yer aldığı görülmüştür. Tespit edilen bu sonuçlar kömürün kısa zamanda aşınmasına ve işlevini yerine getirmeyerek motorda hem elektriksel hem de mekaniksel arızalara sebebiyet vereceğinin göstergesi olmuştur. Daha sonra fırçaların sertlik ve yoğunluk ölçümleri yapılmış ve ilgili standartlara uygunluğu incelenmiştir. Fırçaların sertlik değerlerinin standartlardaki değerlere göre 10 kat daha yumuşak olduğu, yoğunluk değerlerinin ise 3-3,10 g/cm³ değerleri arasında olmadığı, bu değerlerin çok altında veya çok üstünde olduğu tespit

edilmiştir. Son olarak kömür aşınma deneyi ile 48-100 saat arasında motorlarda kömürlerin aşınma miktarları tespit edilmek istenmiş, kısa bir zaman diliminde 0,17-1,16mm aralığında fırçalarda aşınma tespit edilmiştir.

Tüm bu yapılan çalışmaların ışığında fırçalı motor ile uzun ömürlü motor yapılamayacağı açıkça görülmüş, PIC tabanlı fırçasız DC motor tasarımının gerekli olduğu kanısına varılmıştır. Fırçalı motorda kullanılan fırçalar ve kollektörlerin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi farklı bir çalışma disiplini ve süresi gerektirdiğinden fırçasız motor tasarlanması daha sağlıklı, hızlı ve kesin çözüm olarak görülmüştür.

Bu hedef doğrultusunda yapılan çalışmalarda DC motorlarda bulunan kömürler ve kollektörler kullanılmayıp bunun yerine sargının rotor yerine stator üzerine yapılması kararlaştırılmıştır. Bunun nedenleri ise; rotorun daha hafif ve ataletinin daha düşük olması ve akım taşıyan iletkenler statorda bulunduğundan ısının dış ortama transferinin daha kolay olmasıdır. Fırçalı motorlarda gövde üzerinde kullanılan ferritik mıknatıslar yerine mıknatıslanabilme özelliği çok daha yüksek olan neodyum mıknatıslar kullanılmıştır çünkü neodyum mıknatıs sayesinde motor daha yüksek devirlere çıkabilmektedir. Çelik motor gövdesi yerine 6063 kalite alüminyum gövde kullanılarak motor ağırlığında bir hafifleme sağlanmıştır. Fırçalı motorlardaki laminasyon saclarında silisyum içermeyen sac kullanılmaktayken, fırçasız DC motorlarda M470 kalite silisli sac kullanılmış burda iletkenliğin daha iyi olması hedeflenmiştir. Fırçasız DC motorların, kollektörlü doğru akım motorlarına göre daha sessiz çalıştıkları tespit edilmiştir. Fırçalı motorların sahip olduğu ses ölçüm değeri 70-75 dB dir, ancak fırçasız motorlarda devir ayarlama özelliği olduğundan (potansiyometre) bu sorun ortadan kaldırılmıştır.

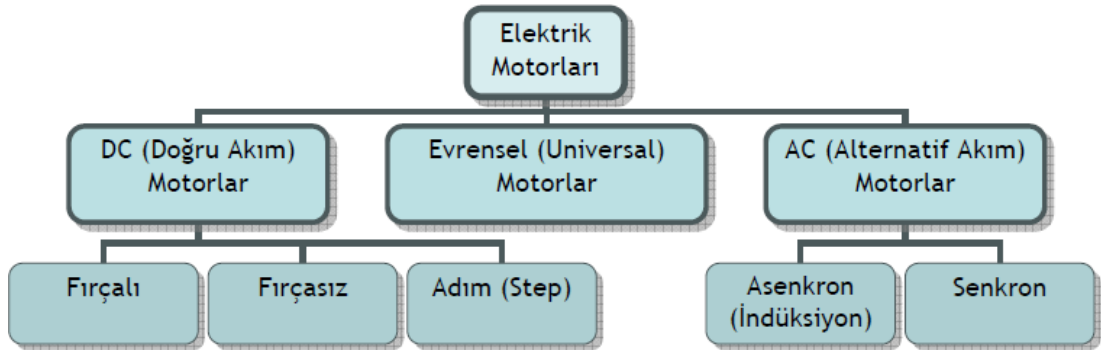
2. GENEL BİLGİLER

2.1 Motor Nedir?

Günlük hayatta en çok ihtiyaç duyduğumuz enerji türlerinden birisi de mekanik enerjidir. Bir arabadan uçağa, yazıcıdan fotoğraf makinesine, gelen birini algılayınca açılan alışveriş merkezi kapısından mutfak robotuna kadar hareket enerjisi hayatımızın neredeyse her anında mevcuttur.

Bu hareketi (mekanik enerjiyi) ortaya çıkarabilmek için başka bir enerji türünü kullanmamız gereklidir. Bu bazen benzin, bazen buhar, bazen elektrik, bazen de bir başka enerji türüdür. Bir enerji türünü kullanarak mekanik enerji elde eden makinalara motor denir.

Basit bir elektrik motoru temelde manyetik alan değişimlerinden faydalanarak çalışır. Elektrik motorlarının temel gruplama yöntemlerinden biri Şekil 2.1’de görülmektedir.

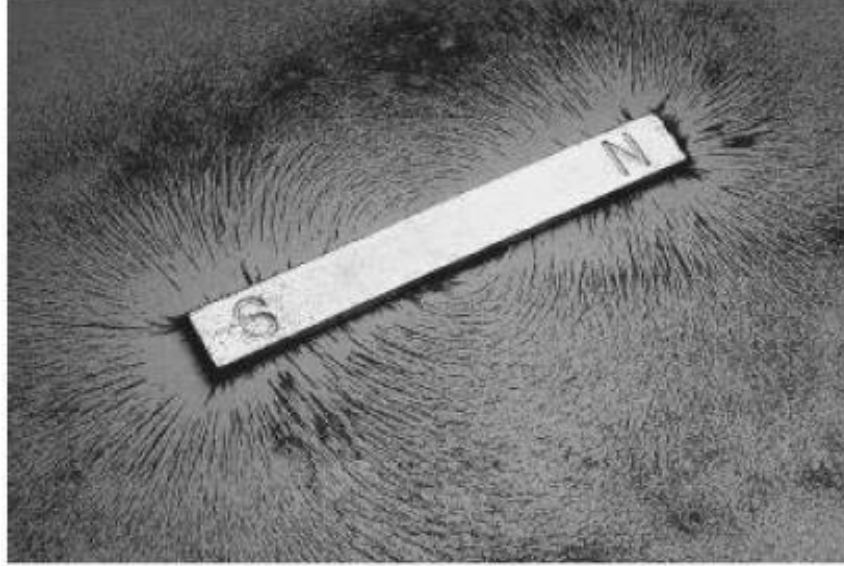


Şekil 2.1: Elektrik motorlarının sınıflandırılması [3]

Elektrik motorlarının çalışma prensibinin iyi anlaşılabilmesi için temel niteliğindeki manyetizma konusu iyi anlaşılmalıdır.

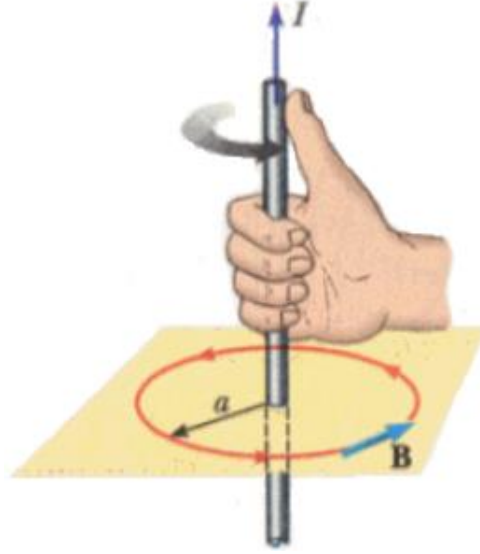
2.1.1 Manyetizma

Bazı maddeler yapıları gereği birbirlerine karşı itici veya çekici kuvvetler uygularlar. Bu maddelere manyetik madde denir. Manyetik özelliği bulunan maddelerden başlıcaları demir, çelik (demir içermesinden dolayı), nikel ve kobalttır. Manyetik materyallerin kuzey (North – N) ve güney (South – S) olmak üzere 2 kutbu vardır. Hayali manyetik alan çizgileri Kuzey kutbundan çıkıp Güney kutbuna girer. Bu manyetik alan çizgileri hiçbir zaman kesişmezler. Aşağıdaki resimde (Şekil 2.2) demir tozlarının içine konan bir mıknatıstan yayılan manyetik alan çizgilerinin demir tozlarını nasıl etkilediğini görebilirsiniz.



Şekil 2.2: Manyetik alandaki demir tozları

1819 yılında, Hollandalı bilim adamı Hans Christian Oersted, manyetizma ile elektrik arasında çok önemli bir ilişki keşfetmiştir. Oersted, bir iletkenin geçen elektrik akımının sadece sürtünmeden dolayı ısı üretmediğini aynı zamanda kendi çevresinde bir manyetik alan oluşturduğunu fark etmiştir. Akımın yönüyle, akımdan dolayı oluşan manyetik alanın yönünü ise “sağ el kuralı” diye nitelendirilen bir kurala göre belirlenmiştir. Bu kurala göre sağ elimizin başparmağını akımın (geleneksel akım yönü, + kutuptan – kutba) yönüne doğru uzatırsak diğer parmaklarımızı kıvrıdığımızda manyetik alan çizgilerinin yönünü görebiliriz. Aşağıdaki resimde (Şekil 2.3) bunu daha net görebilirsiniz.



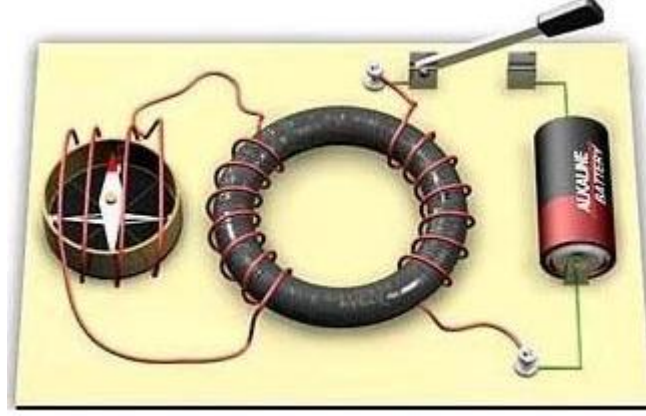
Şekil 2.3: Sağ el kuralı

Yukarıdaki resimde de görüldüğü gibi eğer akım (I) yukarı yöndeysse, sağ el kuralına göre manyetik alan çizgileri (B) yukarıdan bakıldığında saat yönünün tersinde oluşur.

Sağ elinizle deneyerek de görebileceğiniz gibi, eğer akımın yönü değişirse manyetik alan çizgileri de yön değiştirir.

Oersted'in bu keşfinden sonra 1831 yılında İngiliz bilim adamı Michael Faraday, bir iletken den geçen akımın manyetik alan oluştururken acaba bir manyetik alanın da bir iletken üzerinde akım oluşturup oluşturamayacağını (indüksiyon) merak etmiştir. Bunun üzerinde Faraday aşağıdaki resimdekine benzer bir düzenek hazırlamıştır.

Anahtarı kapattığında sağdaki sargı nedeniyle demir çekirdek manyetik alan olacak ve soldaki sargı da oluşan bu manyetik alan nedeniyle üzerinden akım geçirecektir. İndüklenen bu akım da, Oersted'in keşfine göre pusula etrafında manyetik alan oluşturacak ve pusula iğnesi sapma yapacaktır.



Şekil 2.4: Deney düzeneği [3]

Ancak durum Faraday'ın tahmin ettiği gibi olmamıştır. Anahtarı kapatıp beklediğinde pusulanın sapmadığını görmüş ancak bir şey fark etmiştir. İşte bu fark ettiği nokta gelecekte üretilecek motorların ve üreteçlerin temelini oluşturacaktır.

Fark ettiği nokta şudur ki; anahtarı kapatıp beklediğinde pusula da herhangi bir sapma olmadığı ancak anahtar kapatıldığı anda pusulanın çok hızlı bir şekilde saptığı ve eski pozisyonuna geri döndüğü tespit edilmiştir. Bu durum bir de anahtarı açarak denmiş ve görüldüğü üzere bu kez pusula çok hızlı bir şekilde ters tarafa sapmış ve eski pozisyonuna geri dönmüştür.

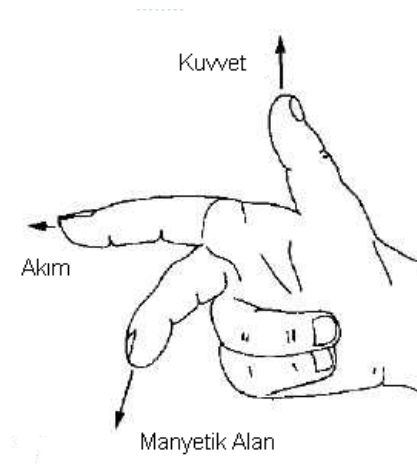
Faraday bu deneyden, akımın beklediği gibi sabit bir manyetik alandan değil değişen manyetik alandan dolayı oluştuğunu (indüklendiğini) tespit etmiş ve Faraday Yasası'nı ortaya çıkarmıştır.

$$emf = -N \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (2.1)$$

Demir çekirdeğin solundaki iletkeni kesen manyetik alan çizgileri (manyetik akı) değiştiği anda, iletken üzerinde bu değişime karşı koyacak bir akım oluşuyor ve manyetik alan değişmediği sürece akım kayboluyor. Değişen manyetik akı ile oluşan akımın yönü arasındaki bu ilişkiyi ise Faraday'dan 2 yıl sonra 1833'te Heinrich Lenz keşfetmiştir. Faraday Yasası'ndaki (-) işareti Lenz Yasası'ndan gelmektedir.

Lenz yasasına göre manyetik alan değişiminden dolayı indüklenen akım, kendisini oluşturan manyetik alan değişimine zıt bir manyetik alan oluşturacak yönde akmaktadır.

Bu keşiflerin ışığında yapılan çalışmalar sonucu günümüz elektrik motorlarının temelini oluşturan önemli buluşlar yapılmıştır. Bir manyetik alanda üzerinden akım geçen bir iletkenin manyetik bir kuvvete maruz kaldığı görölmüştür. Bunun sebebi, iletkenin içinde bulunduğu manyetik alan ile, iletkenden geçen akımın oluşturduğu manyetik alanın etkileşimidir. Bu kuvvetin yönü, iletkenden geçen akım ve ortamdaki manyetik alan arasında yeni bir sağ el kuralı oluşturmuştur.

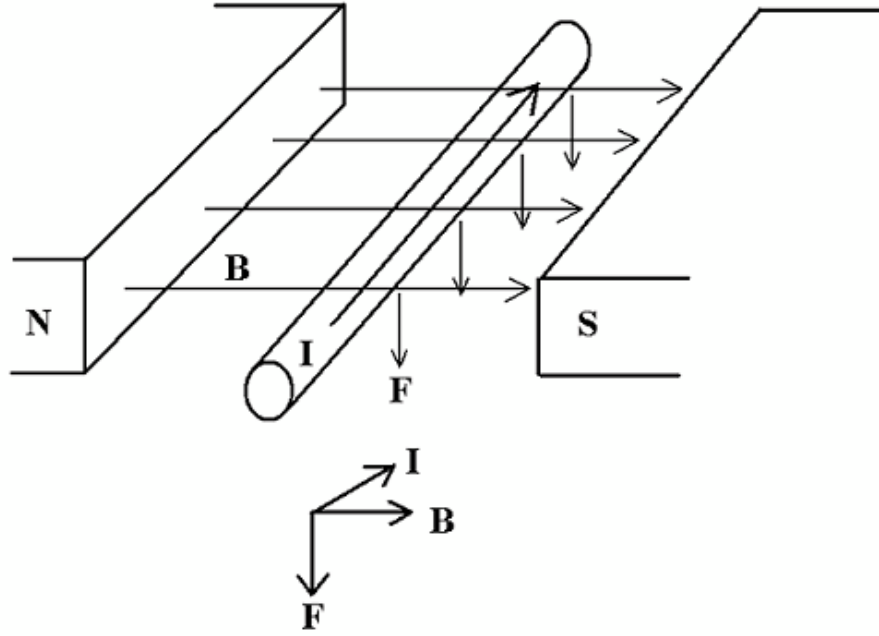


şekil 2.5: Sağ el kuralı

Yukarıdaki resimde de görebileceğiniz gibi, bu kurala göre sağ elimizin başparmağını, işaret parmağını ve orta parmağını birbirlerine 90 derece açı yapacak şekilde açarsak; işaret parmağımız akımın yönünü, orta parmağımız manyetik alanın yönünü (Kuzey kutbundan (N), Güney kutbuna doğru (S)) ve başparmağımız da manyetik alanın iletkene uyguladığı kuvvetin yönünü gösterir. Bu bileşenlerin birbirlerine dik olmalarının nedeni aşağıdaki formölde göröldüğü gibi, kuvvetin, akım ve manyetik alanın vektör çarpımı olmasıdır.

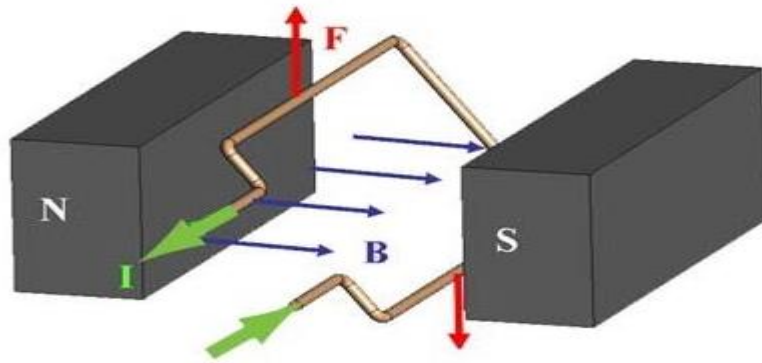
$$\vec{F} = \vec{I} \times \vec{B} \quad (2.2)$$

Manyetik alan ve akımdan dolayı oluşan bu kuvvet elektrik motorlarındaki hareketi elde etmemizi sağlar.



Şekil 2.6: Kuvvet, Akım, Manyetik alan ilişkisi

Yukarıda gördüğümüz Kuvvet, Akım, Manyetik alan ilişkisi elektrik motorlarındaki hareketin olduğu gibi elektrik üreteçlerindeki akımın da temelidir. Yukarıdakine benzer bir şekilde, eğer üzerinden akım geçmeyen bir iletkeni bir manyetik alanda hareket ettirirsek, iletkenin manyetik alanı kesmesi nedeniyle üzerinde bir akım oluşur. (Şekil 2.7) Bu da üreteçlerin (jeneratör) ana fikridir[3].



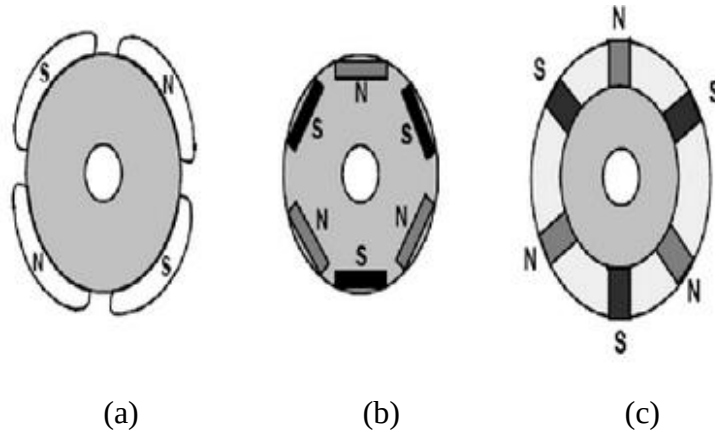
Şekil 2.7: Manyetik alan içerisindeki iletkende akım oluşumu

Buradan hareketle aslında her motorun bir üret   ve her üret  cin bir motor olduğunu söyleyebiliriz. Yapısal olarak çok benzerdirler. Ancak motorlar, iletken üzerinden geçen akımdan dolayı oluşan kuvvet sonucu dışarıya mekanik enerji verirken, üreteçler dışarıdan uygulanan tork sonucu indüklenen akımı dışarıya elektrik enerjisi olarak verirler.

2.1.2 Motor bileşenleri

2.1.2.1 Rotor

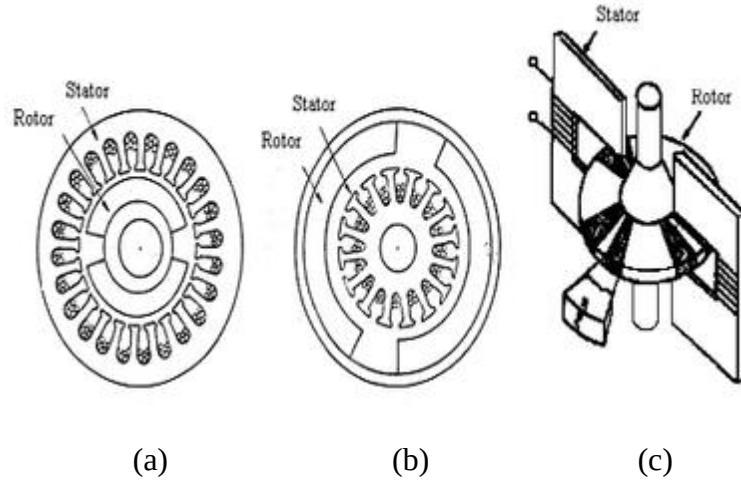
Motorun uyartım akısı rotora yerleştirilen kalıcı mıknatıslar tarafından sağlanmaktadır. (  ekil 2.9) Kalıcı mıknatıs malzemelerin yüksek kalıcı mıknatıslıyet ve yüksek giderici kuvvet özelliklerine sahip olması gerekir. Rotor preslenmiş veya ba  lanmış ferrit, nidyum-demir-boron veya alnico (Alüminyum-Nikel Cobalt) tipi mıknatıs malzemelerden yapılır. Fırçasız Motorun rotor tipleri aşağıdaki gibidir;



Şekil 2.8: a) Kalıcı mıknatıs rotor milinin yüzeyine yerleştirilmiş b) Kalıcı mıknatıs rotor gövdesinin içine yerleştirilmiş c) Kalıcı mıknatıs oyuklara yerleştirilmiş[4].

2.1.2.2 Stator

Stator, FSDCM'in duran kısmıdır ve nüve ve sargılardan oluşur. FSDCM'in statorunda kullanılan nüve, yumuşak manyetik çeliğin paketlenmesiyle şekillendirilir. Nüve içerisinde stator sargılarının yerleştirilmesi için oyuklar a  ılır. Sargıların statorda yer alması, sargılarda meydana gelen ısının en etkin şekilde dışarı aktarılarak motorun daha hızlı soğumasını sağlamaktadır.



Şekil 2.9: a) Stator sargıları dış kısımda b) Stator sargıları iç kısımda c) Disk tipi

Bu motorlarda sargılara enerji iletimi fırça ve kollektörler yerine elektronik anahtarlar ile yapılır. Fırçasız motorun dönüş yönünü ve hızını ayarlamak fırçasız DC motorlarında sargılar, statora; sürekli mıknatıslar ise rotora yerleştirilmiştir. Rotor, Ferrit, alnico, neodim türü mıknatıslardan yapılır.

Normal DC motorlarında bulunan fırça ve kolektör yerine fırçasız motorlarda rotor pozisyon sensörleri bulunmaktadır.

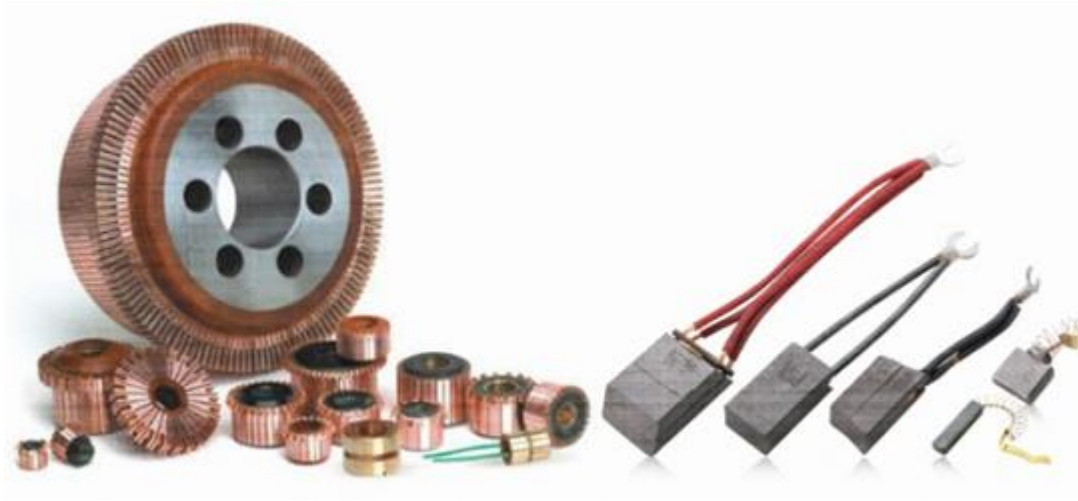
Bu motorlarda sargılara enerji iletimi fırça ve kollektörler yerine elektronik anahtarlar ile yapılır. Fırçasız motorun dönüş yönünü ve hızını ayarlamak için en az dört sürücü transistöre ihtiyaç vardır.

Hız aralığı geniş olup bazı uygulamalarda 50.000 dev/dk'yi geçer. Çalışma hızı; motorun yüküne ve boyutlarına bağlı olarak değişir.

Besleme gerilimi düşük olup genel olarak 24V gerilim ile çalışırlar. DC ile çalıştıklarından frekansa bağlı kayıpları yoktur ve şebekenin frekans değişimlerinden de etkilenmezler. Momentlerinin yüksek olması, hassas hız kontrolü, yüksek verim ve uzun ömür gibi önemli özellikler, FDAM'ı birçok kullanımlar için tercih edilme nedeni haline getirmiştir.

Boyutları 2.5 cm ile 14 cm arasında değişir. Motor havalandırılabilmesi gibi tamamen kapalı da yapılabilir. Motor verimi %80'ler düzeyindedir. Uygulama alanları; fotokopi makineleri, fanlar, pompalar, yazıcılar, teyp sürücüler olarak sıralanabilir. Bu tip motorlar; optik tarayıcı ve tıp cihazlarında da kullanılmaktadır[4].

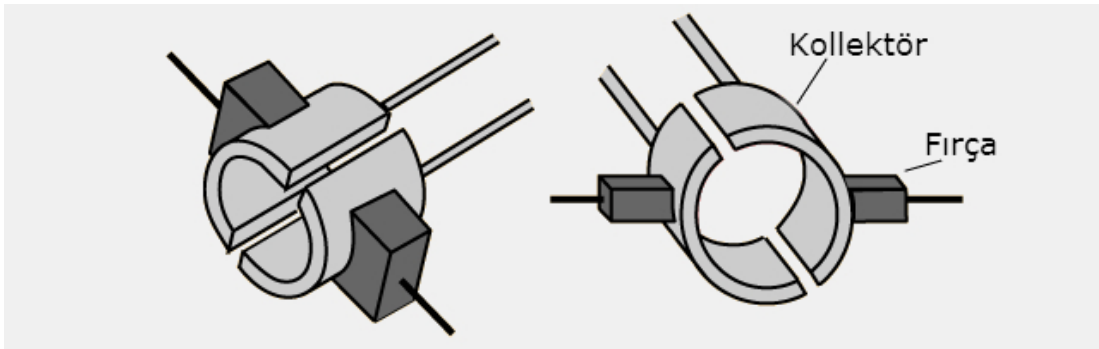
2.1.2.3 Kollektör



Şekil 2.10: Kollektör ve kömürler

DC motorlarda motorun hareketli kısmı olan rotor sargılarına gerilim uygulanması için kullanılan ara bağlantı elemanına fırça, fırçaların temas ettiği rotorun bölümüne ise kollektör veya komutatör denir. DC motor fırçaları bakır alaşımlardan yapılabildiği gibi genellikle karbon alaşımlardan yapılmaktadır. Bu nedenle DC motor fırçalarına kömür de denmektedir.

DC motorlarda statorda oluşan manyetik alanın içerisinde kalan rotor sargılarına uygulanan gerilim sargı iletkeni üzerinde akım akmasına neden olur. Manyetik alan içerisinde bulunan, üzerinden akım geçen iletkeni ise bir kuvvet uygulanır. Uygulanan bu kuvvet ile iletken yani rotor hareket eder. Rotorun bu sürekli hareketinin hiç durmadan devam etmesi için rotora uygulanan gerilimin de kesintiye uğramaması gerekir. Bu kesintisiz gerilim kullanılan fırçalarla sağlanır. Aşağıda Şekil 2.11’de fırça ve kollektörün temel görünüşü yer almaktadır [5].



Şekil 2.11: Kollektör ve Fırça Genel Görünüm

Yukarıda görüldüğü gibi fırçalar kollektöre temas etmekte ve kollektörle beraber rotor dönmektedir. Pratikte fırçalar bir yayla bastırılarak kollektörle teması sağlanır. Aşağıdaki Şekil 2.12’ de ise gerçek bir kollektör ve fırça yapısı görülmektedir.



Şekil 2.12: Kollektör ve Fırça Yapısı

DC motorlarda kullanılan fırça ve kollektör sistemleri bu motorların en çok sorun çıkaran bölümleridir diyebiliriz. Kullanılan fırçanın sertliğinin, fırçaları bastıran yayların sertliğinin motorun ömrü açısından önemi fazladır. Eğer fırçaların yapısı çok sert olursa ve fırçaları bastıran yaylar da çok sert ise kollektör zamanla aşınabilir ve kollektör üzerinde deformasyonlar meydana gelebilir.

Kullanılan DC motorların belirli periyotlar da bakımları yapılmalı, bu bakımlar sırasında fırça ve kollektörleri kontrol edilmelidir. Fırça boyları çok fazla kısalmışsa fırçalar değiştirilmeli, kollektör üzerinde deformasyonlar varsa ince zımpara ile giderilmelidir. Ayrıca fırçaların kollektöre sürtünmesinden kaynaklanan fırça tozları da temizlenmelidir.

2.1.2.4 Motor fırçaları(Kömür)

Karbon fırçalar: Kollektörlü ve bilezikli motorlarda kullanılan kömür fırçalar, motor tahrik devresi üzerinde yer alan suni kömürden mamül devre elemanlarıdır. Motorlarda, besleme voltajının hareketli parçaya iletilmesi, jeneratörlerde ise hareketli parça üzerinde oluşan gerilimin başka bir yerde kullanılmak üzere iletim hattına alınması için kömür fırçalardan faydalanılır. Düşük ya da yüksek voltaj ile çalışan pek çok kollektörlü stasyon motorlarda, kollektörlü cer motorlarında ve

bilezikli motorlarda kullanılan kömür fırçalar uygulamaya bağlı olarak çok değişik ebat ve kalitelerde imal edilmektedir. Doğru akım motorlarının tamamına yakın bir kısmında kullanılan kömür fırçaları pek çok alternatif akım motorlarında da görmek mümkündür. Dönen aksama elektrik verilmesinde suni kömür seçilmesinin temelde iki sebebi vardır. Bunlardan ilki suni kömürün iyi bir kayma vasfına sahip olması, ikincisi ise iyi bir iletken olmasıdır. Kömür fırçalar, sürekli olarak dönen bir yüzeyle temas halinde olduğundan zamanla kendisi aşınmakta, bu arada karşı yüzeyi de aşındırmaktadır. Tahrik devresi üzerinde belli bir direnci olan bir eleman olması sebebiylede üzerinde gerilim düşümü oluşmaktadır. İşte bu sebeplerden dolayı kömür sertliği ve direnci birlikte çalıştığı motorun sağlıklı işleyişi ve ömrünün üzerinde önemli rol oynamaktadır. Herhangi bir fırçanın sağlıklı olarak görevini yapabilmesi için; motorun çektiği akım değeri, çevre hızı, fırça basıncı, atmosferik şartlar, besleme voltajı, kollektör ve bileziğin yapısı ve bazı diğer faktörlerin tetkiki gerekmektedir. Beş ana grupta toplanan, değişik kalitelerdeki grafitten imal edilen kömür fırçalar, farklı akım yoğunluğu ve çevresel hıza sahip doğru akım ve alternatif akım motor ve jeneratörlerinde kullanılmakta olup; minyatürden başlayarak binlerce ebat ve şekilde imal edilmektedir. Karbon Fırça adı, elektrik makinaları mühendisliğinin sanayideki ilk dönemlerinde esnek kontak olarak kullanılan ince bakır tel demetlerinden gelir. Daha sonraki yıllarda karbon ve grafit malzemelerin kullanımı ile "Karbon Fırça" terimi yerleşmiştir. Uzun yıllar gelişim süreci geçiren Karbon Fırçalar mikro elektronik çağında da elektrik makinalarının vazgeçilmez aksamı olarak yerini korumaktadır. Üretim parametreleri, çok değişik fiziki değerler ve uygulama olanaklarını barındıracak kadar zengindir. DIN IEC 60276 standardına göre, karbon fırça kaliteleri 5 ana grup altında toplanır.

Elektrografit fırçalar: Petrokok, taş kömürü koku, katran, zift, kurum ve kurum koku, suni reçine, zift ve katran gibi bağlayıcı maddelerle karıştırılıp kalıpta preslenir ve fırınlanır. Karbon malzeme, 2500 °C’de ikinci defa fırınlanarak elektrografite dönüştürülür.

Özellikleri: Yüksek komütasyon kapasitesi, ani aşırı yükler ve uzun süreli düşük yükte çalışabilme özelliği ve elektrik ve ısı iletkenliğiyle birlikte patina özelliği iyidir. Kullanılan hammadde ve imalat proseslerinin değişimiyle belirli özellikte kombinasyonlarının elde edilmesi mümkündür.

Kullanım Yeri: Yüksek elektrik akımı çeken büyük kollektörlü makinalarla, fırçalarda belirli ısı ve mekanik özelliklerin istendiği uygulamalarda kullanılır.

Metal Grafit Fırçalar: Metal tozu ve grafit birbiri ile karıştırılır ve kalıplandıktan sonra sinterleme işlemine tabi tutulur. Metal tozu olarak elektrolitik bakır kullanılırsa bakır , gümüş kullanılırsa gümüş kaliteli metal grafit fırça elde edilmiş olur.

Özellikleri: Grafitin iyi kayma özelliği ile metalin yüksek iletkenliği bir araya getirilmiştir ve grafit oranına bağlı olarak bunlardan biri veya diğerinin ağırlık kazandırılması sağlanır.

Kullanım Yeri: Fırçalar üzerinde yüksek elektrik yüklerinin geldiği makinalarda ve komütasyon özelliğinin hiç istenmediği veya az istendiği bileziklerde (< 80V DC) ve düşük voltajlı makinalarda kullanılır. Gümüş kalite fırçalar, esas olarak takogeneratörler ve ölçme cihazlarında kullanılır.

Reçineli Grafit Fırçalar: Tabii ve elektrografit malzemeler reçine ile karıştırılıp özel proses altında preslenmekte ve ardından da ısı işlemlere tabi tutulmaktadır.

Özellikleri: Komütasyon özelliği iyi, ani yük ve aşırı yük taşıma mukavemeti sınırlıdır.

Kullanım Yeri: Küçük DC Motorlar ve Trifaze AC komütatör motorlarda (Schrage motorlar) kullanılır.

Karbo-Grafit Fırçalar: Grafit, zift veya reçine ile karıştırılıp, preslendikten sonra fırınlanmaktadır.

Özellikleri: Patina ve komütasyon özelliği iyi, ancak akım taşıma mukavemeti elektrografit fırçalara göre daha zayıftır.

Kullanım Yeri : Tristör beslemeli veya düz makinalar, küçük DC motorlar, mikalı kollektörler.

Grafit Fırçalar: Tabii grafit, zift veya reçine ile karıştırılıp preslenir ve ısı işleme tabi tutulur.

Özellikleri: Elastik, yüksek çevresel hıza uyumlu kontak kapasitesi.

Kullanım Yeri: Çelik bilezikli Turbo-generatör fırçaları

Fırçalı DC motorun dezavantajları ile ilgili yapılan laboratuvar çalışması aşağıdaki gibidir.

2.1.2.5 Rotor ve stator laminasyon sacı

Endüvi sacı; levha haline getirilmiş demir malzemedir. Kalın levhaların silindirler arasından geçirilmesiyle, yani haddelemeyle elde edilir. Sıcak olarak yapılan ilk haddelemeden sonra, düzgün bir yüzey elde etmesi için, soğuk haddeleme yapılır. Değişik kalınlıklarda olan bu saclar, belirli standart ölçüler dahilinde veya şeritler halinde kesilir.

Haddeleme sırasında sac kristallerinin belirli bir doğrultuda yönelmesi sacın manyetik özellikler bakımından kalitesinin artmasına ve belirli bir manyetik devre için daha az saca ihtiyaç göstermesine sebep olur.

Silisli sac; elektrik motorlarının rotor, stator sargılarının ve transformatör sargılarının çekirdeği elektriksel saclardan oluşmaktadır. Silisli sacların en önemli özelliği, taşıdığı alaşım elementleri sayesinde manyetik kayıpları minimuma indirmesi ve manyetik özellikleri maksimum seviyeye çıkararak motor , trafo gibi manyetik özelliklerin en üst seviyede olması istenen mamüller de verimi arttırmasıdır.



Şekil 2.13: Silisli Sac'tan Yapılmış Rotor ve Stator

2.1.2.6 Mıknatıs

Ferritik Mıknatıs: Sürekli mıknatıs malzemenin çok kullanılan tipi demir oksitten (Fe_2O_3) oluşan seramik Ferritlerdir. Ferrit mıknatıslar 1952 yılında bulunmuştur. Bu malzeme Baryum oksitin kristal anizotropisine dayanmaktadır. Ferrit mıknatıslar aynı zamanda oksit veya seramik mıknatıs olarak da adlandırılabilir. Bunlar toz metalürji metodu ile üretilirler. Yüksek koersiflik ve lineer demanyetizasyon eğriliği gösterirler. Günümüzde Ferrit mıknatıslar oldukça geniş bir alanda kullanılmaktadır. Bunun birçok sebebi vardır. Hammaddeleri pahalı değildir. Ancak Ferritler mekanik olarak sert ve kırılganlardır. Manyetik özellikleri, koersitif kuvvetler yeterli ise, düşük artık mıknatısiyetlik ile karakterize edilir. Curie sıcaklıkları 450°C ve maksimum işletme sıcaklığı 250°C 'dir. Aynı zamanda Ferrit mıknatısların yüzeyleri düzgündür ve oksidasyon olayı görülmez. Kimyasal formülleri $\text{MO} \cdot 6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ olarak ifade edilir. Burada M, Ba, Sr veya Pb'dir. Stronsiyum Ferritler Baryum Ferritlere göre daha yüksek koersitif kuvvete sahiptirler ve daha geniş ölçekte üretilirler [6].



Şekil 2.14: Ferritik Mıknatıs

Tablo 2.1: Sert Ferritik Mıknatısların Özellikleri [7]

CHARACTERISTICS OF HARD FERRITES MAGNETS										
Sert Ferit Mıknatısların Özellikleri										
Material Malzeme		DM10T SrO ₆ Fe ₂ O ₃ BaO ₆ Fe ₂ O ₃	DM20 BaO ₆ Fe ₂ O ₃	DM25 BaO ₆ Fe ₂ O ₃ SrO ₆ Fe ₂ O ₃	DM30 SrO ₆ Fe ₂ O ₃	DM42B SrO ₆ Fe ₂ O ₃	DM43 SrO ₆ Fe ₂ O ₃	DM33H SrO ₆ Fe ₂ O ₃	DM34H SrO ₆ Fe ₂ O ₃	DM43B SrO ₆ Fe ₂ O ₃ BaO ₆ Fe ₂ O ₃
Br	mT	≥200	≥360	≥380	≥390	≥410	≥400	≥390	≥370	≥415
	Gs	≥2000	≥3600	≥3800	≥3900	≥4100	≥4000	≥3900	≥3700	≥4150
Hcb	kA/m	≥125	≥135	≥144	≥184	≥208	≥240	≥240	≥264	≥240
	Oe	≥1600	≥1700	≥1800	≥2300	≥2600	≥3000	≥3000	≥3300	≥3000
Hcj	kA/m	≥210	≥140	≥150	≥188	≥212	≥244	≥256	≥312	≥244
	Oe	≥2600	≥1760	≥1880	≥2350	≥2660	≥3050	≥3200	≥3900	≥3050
(BH) _{max}	kJ/m ³	≥6.5	≥20.0	≥24.0	≥27.6	≥30.4	≥30.4	≥27.6	≥24.0	≥31.8
	MGOe	≥0.8	≥2.5	≥3.0	≥3.4	≥3.8	≥3.8	≥3.4	≥3.0	≥4.0
Tw	°C	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Tc	°C	460	460	460	460	460	460	460	460	460
μr	-	1,1~1,2	1,1~1,2	1,1~1,2	1,1~1,2	1,1~1,2	1,1~1,2	1,1~1,2	1,1~1,2	1,1~1,2
Remarks Açıklama		Y10Y	Y20	Y25	Y30Y32	Y35 C11	FB4X C8B	Y30BH	FB4G	FB3B Y33
		FB1A			FDX300			FB4BC8		
		CI			CSFB4A			FXD380		

Neodyum Mıknatısı: Bilindiği üzere mıknatıslar demir, kobalt, nikel gibi metalleri çekme amacıyla üretilen ya da doğadan elde edilen maddelerdir. Manyetik alanları ve kutupları bulunan, yaydığı manyetik alanı göremesek te, çekim güçleri ile hayatımızı kolaylaştıran ürünlerdir. Neodyum mıknatıslar ise, bizim bildiğimiz mıknatıslardan farklı özelliklere sahip olarak üretilmektedir. Güçlü manyetik alanları ile dikkat çeken bu mıknatıslar, günümüzde birçok alanda kullanılarak, hayatımızı kolaylaştırmaktadır. Farklı şekillerde ve boylarda üretimi yapılabilen bu ürünlerin, kullanım alanına ve koşullarına göre, farklı elementlerle kaplanarak dayanıklılığı da sağlanmaktadır. Neodyum mıknatısların, küp, blok, disk, silindirik gibi farklı şekillerini görmek mümkündür. Bu ürünler bakır, altın, çinko, kalay ve gümüş gibi elementlerle kaplanarak, otomotiv, sağlık sektörü, elektrik motorları, petrokimya endüstrisi, oyuncak sektörü gibi alanlarda tüketicinin kullanıma sunulur. Neodyum mıknatısların manyetik kuvveti, normal mıknatıslarla kıyaslanmayacak derece de yüksektir. Bu manyetik kuvvet, çok özel sistemlerin yardımıyla ve özel cihazlarla sağlanmaktadır. Teknolojinin yardımıyla üretilen mıknatısların, üretimi de izne bağlıdır. Mıknatısların üretim hakkına sahip olan NEOMAX firması, üretim patent hakkını da elinde bulundurmaktadır. Ülkemizde üretimi yapılmısa da, yurt dışından getirilerek, uygun fiyatlarla piyasaya satışı yapılmaktadır. Bu mıknatısın içerisinde bulunan neodyum, demir, samaryum, nikel ve kobalt gibi elementler topraktan

ıkarılarak kullanılmaktadır. Elementlerin farklı oranlarda karışımıyla hazırlanan bileşimler, farklı niteliklere sahip olan mıknatısların elde edilmesini sağlar. Bunların kimisi daha güçlü, kimisi sıcağı dayanıklı, bazıısı da mukavemetli olarak üretilebilir. Mıknatısların kullanılacağı alanlara göre üretimi yapılabilmektedir. Bu şekilde hazırlanan karışımlar önce preslenerek, istenilen şekillerin oluşması sağlanır. Mıknatısın dayanıklılığını arttırmak için, üzerleri uygun elementlerle kaplanır. Kaplama işleminin ardından, mıknatıslandırma işleminin yapılması gerekmektedir. En son aşamada ise, mıknatıslar kontrol edilir. Artık neodyum mıknatısların, satış aşamasına hazır hale geldiğini söyleyebiliriz. Neodyum mıknatısların, birbirleriyle ve diğer metallerle çok güçlü şekilde kenetlenme özelliğinin bulunması sebebiyle birçok alanda kullanılmasını sağlar. Üretimi yapılan mıknatıslar, görsel ve hobi amaçlı olarak ta satışa sunulmaktadır. Bu mıknatısları istediğiniz ebatlarda ve şekillerde üretirme olanağınız bulunmakta. Yüksek manyetik alan gereksinimlerin duyulduğu her alanda kullanılması kaçınılmaz olan ürünler, hayatınızı kolaylaştıracaktır. Diğer mıknatıslar gibi manyetik güçlerini zamanla kaybetmeyerek, kalıcı bir manyetik alanın oluşmasını sağlayacaklardır. Kendi ağırlıklarının yaklaşık olarak, 1300 katı kadar fazla ağırlığı taşıyabilme özelliğı de, birçok alanda neodyum mıknatısların kullanılmasını gerektirmektedir. Farklı sektörlerin ihtiyacını için üretilen mıknatısların kırılmalık özelliğini bertaraf etmek amacıyla, değişik elementlerle kaplanması gerekli olduğundan, kullanım alanlarının ve koşullarının bilinmesi önemlidir. Hayatınıza kolaylık sağlayacak bu mıknatıslarla tanışmanız ve özelliklerini bilerek kullanmanız son derece önemli bir konudur. Çünkü hatalı kullanımı sağlığını tehlikeye atabilecek sonuçlara sebep olabilir. Yüksek çekim gücü sebebiyle, duyma sorunlarından, vücut hasarlarına kadar pek çok tahribata, kullanılan işitme cihazlarından, kalp piline kadar birçok elektronik aletin bozulmasında da etkili olabilirler. Mıknatısların doğru yerde, doğru şekilde kullanılması daha faydalı olacaktır.



Şekil 2.15: Neodyum Mıknatıs

2.1.2.7 Motor gövdeleri

Çelik gövde: Tesisat sistemlerinde akışkan taşıyıcısı(soğuk, sıcak ve kaynar su, buhar, gaz) olarak kullanılan ve çelik malzemeden yapılmış boru çeşididir. Çelik borular hafif, orta ağır, ağır ve kaliteli boru olmak üzere dört çeşit imal edilir.

50 kg/cm² basınç denemesine tabi tutularak üretilen çelik borular, kaplama ve dikiş durumuna göre çeşitlendirilir. Buna göre dikişli siyah çelik (demir), dikişsiz siyah çelik (çekme çelik, patent), galvanizli çelik ve gaz borusu olarak isimler alır.

Dikişli siyah çelik borular, soğuk olarak üretilmiş borulardır. Dikişli olup kalın etlidir. Birleştirilmeleri vidalı, kaynaklı ve flanşlı yapılır. Üzerinde her türlü eğme, bükme ve sıcak işlem yapılabilir. Bu borular, sıva veya toprak altına döşenmez. Bu durumlarda kanal içinde ve gerekli yalıtım yapılarak döşenmelidir. Bu borular, piyasada 6 m boyunda ve uçları dişsiz olarak bulunur.

Dikişsiz siyah çelik borular, sıcak olarak üretilmiş borulardır. Çekme çelik veya patent borular da denir. İnce etli yapıldıkları için diş açmaya uygun değildir. Birleştirilmeleri kaynaklı ve kaynaklı flanşlı bağlantı yapılır. Piyasada 6 m boyunda ve uçları dişsiz olarak bulunur.

Galvanizli çelik borular, dikişli siyah çelik borunun galvaniz banyosundan geçirilerek kaplanmış halidir. Temiz su tesisatlarında kullanılır. Bu borular; temper dökümden yapılmış ek parçalarıyla dişli, vidalı flanşlarla flanşlı bağlantı yapılır. Galvanizli çelik borulara hiçbir zaman eğme, bükme ve sıcak işlem yapılmaz. Böyle

bir işlemden borunun üzerindeki galvaniz kaplaması bozulacağından borunun korozyona uğraması çabuklaşır. Galvanizli çelik borular 6–6,5 m boyunda, iki ucu dişli üretilir. Dişlerin zedelenmemesi için bir ucuna manşon, diğer ucuna plastik muhafaza takılarak piyasaya verilir. Gaz boruları, kalın etli sıcak çekme borulardır. Dikişsiz yapılırlar. Üretiminde 6 m boyunda, üzeri verniklenerek basınç ve manyetik testten geçirilir. İki ucu dişsiz olup kaynak ağızlıdır. Her türlü birleştirmeye uygundur. Boru boyunca aralıklı olarak doğal gaz logosu yazılır. Üzeri polietilen izolasyon kaplı olarak da piyasada bulunur [8].

Çelik Gövde Şekil 2.16’da gösterilmiştir.



Şekil 2.16: Soğuk Çekilmiş Dikişsiz Çelik Boru

Alüminyum Gövde: Genel özelliklerden bahsedecek olursak metaller, medeniyetin gelişmesinde önemli görev yapmaktadır. Bu gelişme sürecinde, alüminyum kadar önemli rol oynayan az sayıda metal bulunur. Alüminyum kendine has özellikleri ile, çok eski çağlardan beri bilinen, ağaç, bakır, demir ve çelik gibi birçok malzemeden daha önem kazanmış bulunmaktadır. 19. yüzyılın ikinci yarısından beri endüstriyel çapta üretilen çok genç bir metal olmasına rağmen, bugün bakır ve alaşımları, kurşun, kalay ve çinko gibi tüm demir dışı metallerin toplam kullanımından daha çok miktarda kullanılmaktadır.

Alüminyum'un genel özellikleri aşağıda özetlenmiştir ;

Alüminyum hafiftir. Aynı hacimdeki bir çelik malzemenin ağırlığının ancak üçte biri kadar ağırlıktadır. Alüminyum, hava şartlarına, yiyecek maddelerine ve günlük yaşamda kullanılan pek çok sıvı ve gazlara karşı dayanıklıdır. Alüminyum'un yansıtma kabiliyeti yüksektir. Gümüşü beyaz renginin bu özelliğe olan katkısı ile beraber gerek iç gerekse dış mimarî için cazibeli bir görünüme sahiptir. Alüminyumun bu güzel görünümü, anodik oksidasyon (eloksal), lâke maddeleri vs. gibi uygulamalar ile uzun müddet korunabilir. Hatta, birçok uygulamada tabii oksit tabakası bile yeterli olur. Çeşitli alüminyum alaşımlarının mukavemeti, normal yapı çeliğinin mukavemetine denk veya daha yüksektir. Alüminyum elastik bir malzemedir. Bu nedenle ani darbelere karşı dayanıklıdır. Ayrıca, dayanıklılığı düşük sıcaklıklarda azalmaz. (Çeliklerin, düşük sıcaklıklarda ani darbelere karşı mukavemeti azalır.) Alüminyum, işlenmesi kolay bir metaldir. Öyle ki, kalınlığı 1/100 mm. den daha ince olan folyo veya tel haline getirilebilir. Alüminyum ısı ve elektriği bakır kadar iyi iletir. Alüminyum'a şekil vermek için döküm, dövme, haddeleme, presleme, ekstrüzyon, çekme gibi tüm metodlar uygulanabilir.



Şekil 2.17: Alüminyum Ekstrüzyon Gövde

Alüminyum ekstrüzyon profilden bahsedecek olursak; belli bir kesite sahip olan, (bu kesitin şekli düz veya amaca uygun değişik şekilde olabilir) ve kesit/boy oranı küçük olan, başka bir deyişle, boyu eninden çok daha fazla olan şekillendirilmiş malzemeler "profil" olarak tanımlanır. Profil üretimi için birçok metal gibi alüminyum da

haddeme (çekme) veya ekstrüzyon metodu ile işlenir. Ancak, karmaşık şekilli profiller için en çok kullanılan metod "ekstrüzyon"dur.

Ekstrüzyon ile üretilen alüminyum profillerin kullanma sahaları : Nakliye araçları (otomobil, gemi, tren, metro, uçak ve uzay araçları), Mimari uygulamalar ve inşaat sektörü (binaların cephe kaplama sistemleri (fasad), pencereler, kapılar, çeşitli konstrüksiyonlar, elektrik endüstrisi, makina ve ekipman imali, kimya ve gıda endüstrisinde kullanılır.

Alüminyum alaşımlarının kimyasal yapısına göre sınıflandırılmasına değinecek olursak; alüminyum'a çeşitli özellikler vermesi için çeşitli metaller karıştırılır. İlave edilen metallerle göre sınıflandırma yapılır. Bir alaşım 4 rakamdan oluşan notasyon ile tanımlanır.

Birinci rakam, alüminyum ilâve edilen esas metali gösterir.

1XXX : Alaşımsız alüminyum

2XXX : Bakır'lı alüminyum alaşımı

3XXX : Manganezli alüminyum alaşımı

4XXX : Silisyum'lu alüminyum alaşımı

5XXX : Magnezyum'lu alüminyum alaşımı

6XXX : Silisyum ve magnezyum'lu alüminyum alaşımı

7XXX : Çinko'lu alüminyum alaşımı

8XXX : Demir ve Silisyum'lu alüminyum alaşımı

9XXX : Yeni bulunan alaşımlar (Örnek: Lityum'lu alaşımlar)

6XXX serisi Al alaşımlarının genel özelliklerine değinecek olursak; AA 6XXX serisi alaşımlar, magnezyum (Mg) ve Silisyum (Si) ihtiva ederler. Bu elementlerin ve içindeki diğer empüritelerin (Fe, Cu, Mn, Zn, gibi) belirli sınırları içinde farklı değerlerde olmaları, alaşımların kullanılma yerine göre farklı özelliklerde profil üretimini sağlarlar.

Demir (Fe) miktarı 0,20 % veya daha düşük olan 6XXX serisi alaşımlarda, profil polisaj yapıldığında parlak yüzey elde edilir. Fe miktarının bu değerden yüksek

olması durumunda, profilin rengi grileşmeye başlar, parlaklık donuklaşır. Mat yüzey elde edilmesi için de Fe miktarı en az 0.18 % olmalıdır. Fe miktarı yükseldikçe o ölçüde rahat ve cazibeli mat yüzey elde edilir. Fe miktarının %0.30'dan fazla olması ise eloksal sonrasında donuk bir görünüme neden olacağı gibi, ekstrüzyon prosesini de zorlaştırır. Mg ve Si miktarlarının, profilin yapay yaşlandırma ısı işlemi (termik) sonrası sertliğinde büyük önemi vardır. Ancak, ısı işlem sonrası maksimum sertlik temini için bu elementlerin üst sınırlarda olması ise, üretimin düşük hız ile yapılmasını gerektirir. Çünkü kullanılan alüminyum kütük (billet) de aynı oranda serttir. Sonuç olarak, profillerin kullanılma yerine göre, mümkün olduğu ölçüde amaca uygun alaşım ile üretim yapılması faydalıdır. Profilin bir özelliğinin iyi olması istenirken, diğer bir özelliğinden fedakârlık edilmesi gerekmektedir.

6XXX serisi (AlMgSi) alaşımları içinde mimari - inşaat sektöründe en yaygın kullanılanlar 6060 ve 6063 (EN ve yeni TS notasyonunda) ve AlMgSi0.5 (DIN ve eski TS notasyonunda) alaşımlarıdır. Bunların kimyasal bileşimleri genelde aynı olup, alt ve üst limitlerde nüans farklılıkları gösterirler. EN AW / AA 6005, 6005A ve 6082 alüminyum alaşımları mekanik özelliklerin daha yüksek değerlerde istendiği mühendislik uygulamaları için tercih edilir.

Alüminyum profil ve levhaların temperleri ve mekanik özellikleri, Webster Sertlikölçme pensesi ile kolay ve pratik bir şekilde anlaşılabilir. Akma ve kopma dayanımlarının değerlerini görmek için standartlarda belirtildiği şekilde numune hazırlanarak çekme Testi yapılmalıdır.

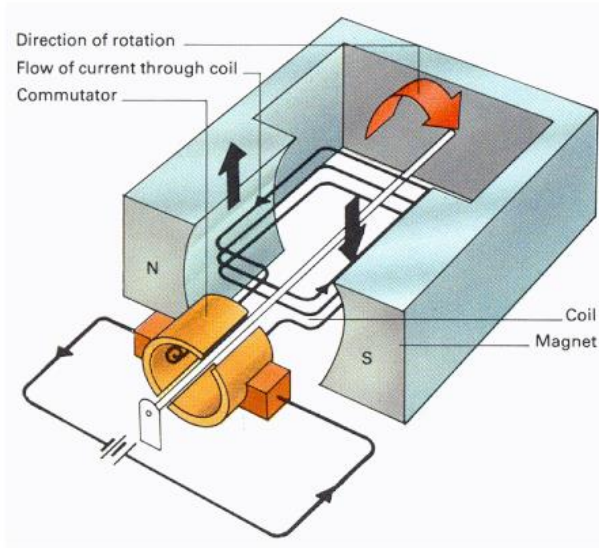
2.2 Fırçalı DC Motor

2.2.1 Fırçalı DC motor çalışma prensibi

En temel doğru akım motoru fırçalı doğru akım motorudur. Motor, manyetik alanda merkezi dışarıya mekanik enerji aktaran bir shafta bağlı olarak dönen bir kısmı içerisinde barındıran mıknatıslı bir yapıdır. Manyetizma konusunda anlatılan yasalara göre bir manyetik alanda üzerinden akım geçen bir iletken manyetik alan tarafından kuvvet uygulanır (Lorentz Force).

Sabit manyetik alanı oluşturan ve içerdeki dönen kısmı çevreleyen yapıya stator denir. Üzerinde sargılar bulunduran ve shafta bağlı olarak manyetik alanda dönen iç kısma ise rotor (bazen armatür) denir.

Armatür, Lorentz kuvvetleri etkisinde hareket ederken aşağıdaki resime göre dik dikey pozisyonu geçtiğinde kuvvetler zıt yönde etki etmeye başlar. Bu da dönme hareketinin durmasına neden olur. Bu nedenle armatürdeki sargılara akımın geçmesini sağlayan çeviriciler (commutators) besleme voltajından gelen iletkenlere fırçalarla bağlıdır. Bu fırçalar sayesinde motor kuvvetin yön değiştireceği dikey pozisyonu geçtikten sonra sargılardaki akımın yönü değişir ve kuvvetler aynı yönde etki etmeye devam eder [3 ,9].



Şekil 2.18: Fırçalı DC Motor

2.3 Fırçasız DC Motor

2.3.1 Fırçasız DC motor tarihçesi

Fırçasız D.A motorları üzerine yapılan çalışmalar, genellikle motorda kullanılan mıknatıslar ve motorun kontrolünün nasıl yapılabileceği üzerinde yoğunlaşmıştır. 1983' de Demerdash iki farklı malzeme (Samaryum-Kobalt ve Ferrit) kullanarak aynı güçlü iki fırçasız DA motor gerçekleştirmiştir. 1985' de Ilzuka evirici devresindeki güç yarıiletkenlerini bir bilgisayar ile tetikleyerek geri besleme kullanmadan fırçasız DA motorunun hız kontrolünü yapmıştır(IIzuka 1985). Pillay akımı ve zıt EMK' sı sinusoidal olan motorları sürekli mıknatıslı senkron motor, akımı dikdörtgen ve zıt EMK'sı yamuk biçimli olan motorları da fırçasız DA motor olarak adlandırmıştır. Pillay sürekli mıknatıslı senkron motoru iki fazda modellerken, fırçasız DA motorlarını da üç fazda modellemiştir(Pillay 1989). Low sinusoidal akım kontrolüne

alternatif olarak fırçasız DA motor kontrolünde moment kontrol yöntemini kullanmıştır. Low, moment kontrol yöntemini pozisyon kontrolünde ve hız kontrolünde uygulamıştır. Low, pozisyon kontrolünde değişken yapı yaklaşım yöntemini kullanmış ve hız kontrolünde da PI kullanmıştır(Low 1992). FDCM' unun akım kontrolü için çok çeşitli yöntemler vardır. Bunlar sağladıkları avantajların yanında birçok dezavantaja sahiptir. En temel dezavantajı sürekli durumda oluşturduğu yüksek frekanslı gürültüdür. Bu gürültü anahtarlama frekansına bağlıdır(Chen ve Tang, 1999).

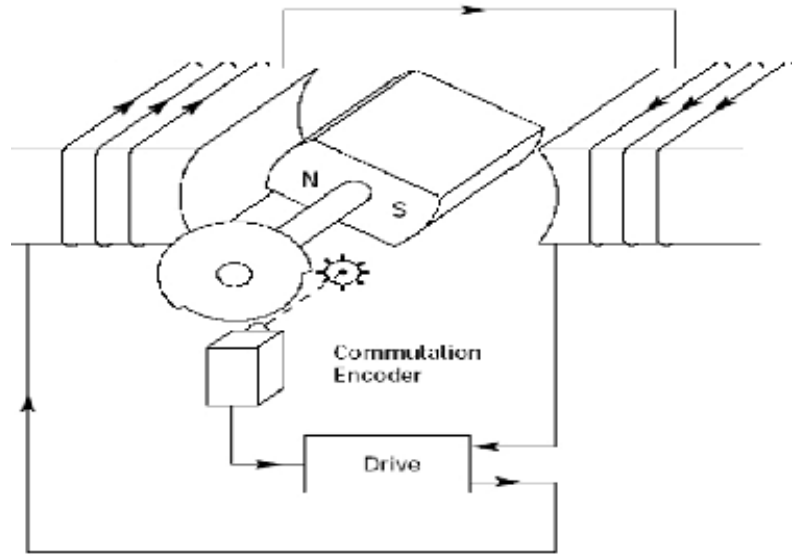
Lee ve Ehsani (2003), tarafından yapılan çalışmada, fırçasız DC motor sürücülerin ileri simülasyon modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen modelde, PWM inverter elemanlarının akım ve gerilimleri gibi, hız ve momentin dinamik karakteristikleri etkili olarak gözlenebilmekte ve analiz edilmektedir. Bu yüzden, geliştirilen simülasyon modelinin fırçasız DC motor kontrol algoritmalarının geliştirilmesine kolaylık sağlayacağı ve hesaplama zamanı ile hafıza boyutlarını azaltacağı belirtilmektedir. Xi Xiao ve Yongdong Li, FSDC motorun düşük moment salınımları için yeni bir kontrol stratejisi geliştirmiştir. Önerilen metodun geçerliliğini ve uygulanabilirliğini göstermek için bir simülasyon çalışması yapılmıştır(2005). Cunshan Zhang ve Dunxin Bian Fırçasız DC motorlarda stator manyetik alanının oluşturduğu moment salınımlarının ortadan kaldırmak için yeni bir PWM kontrol algoritması sunmuştur(2008). Lineer bir FSDC motoru için yeni bir PID denetleyicinin tasarımını yaparak ant colony algoritması geliştirmiştir (2009 N. Navidi M. Bavafa).

Fırçasız Doğru Akım (DC) motorları, yüksek verim, yüksek kalkınma momenti ve sessiz çalışma gibi özelliklerinden dolayı geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Fırçasız DC motorların çalıştırılabilmesi için, bir kontrol sistemine ve rotor pozisyonunu belirleyen sensörlere ihtiyaç duyulmaktadır. Gelişen teknolojiyle sensörsüz kontrol edilebilen sistemler geliştirilmiştir. Bu çalışmada sistemin sensör veya sensörsüz olmasından ziyade farklı iki kontrol yöntemi arasında karşılaştırması yapılmıştır.

Çalışmanın sonucunda, fırçasız DC motorların PWM kontrolü ve Histerisiz Bant Kontrolünü pratik olarak gerçekleştirilmiştir. Fırçasız doğru akım motoru (FSDCM), komitasyon işlemini mekanik olarak değil elektronik olarak sağlayan bir motor

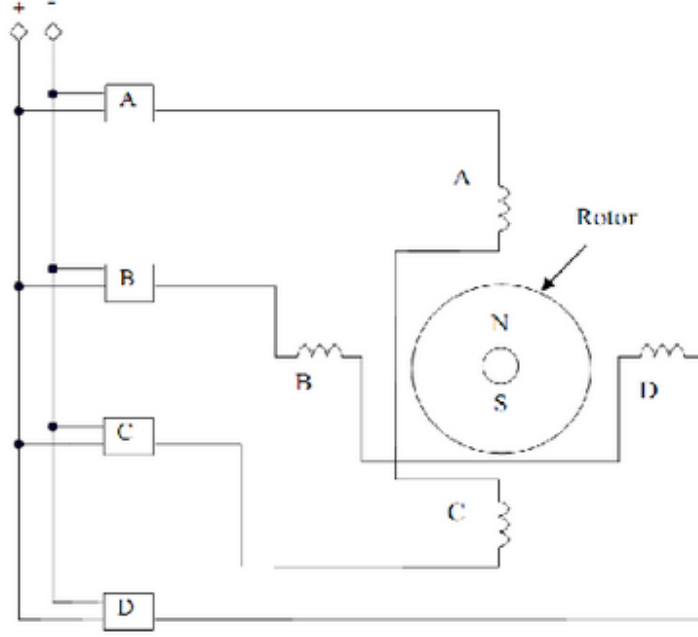
türüdür. Fırça içeren DC motorlarda, rotordaki sarımlara elektrik iletimi fırça-kolektör yapısı ile sağlanır. Dilimli bir yapıda olan kolektör düzeneği sayesinde, rotor sarımlarından geçen akımın yönü motor dönerken kendiliğinden değişir. Bu sistemin kıvılcım oluşturma, bakım gerektirme ve fırçalarda aşınma gibi problemleri vardır. Fırçasız doğru akım motorlarında fırça-kolektör düzeneğinin görevini elektronik bir denetleyici (kontrolör) üstlenir. Denetleyicide, yüksek akımı anahtarlama görevini yürüten yarıiletken devre elemanları ve anahtarlama ile ilgili zamanlamayı sağlayan mikro denetleyici bulunur. Motorun dönüşünde aksama olmaması için denetleyicinin uygun bir hızda rotoru takip etmesi gerekir. Bu işlem, rotor pozisyonunun bilinmesini gerektirir. Çoğu uygulamada Hall etkili sensörleri kullanılarak rotor pozisyonu kolayca tespit edilir [10].

2.3.2 Fırçasız motor çalışma prensibi



Şekil 2.19: Temel Fırçasız DA Motoru

DC Motorların hareketli kısımları olan rotor bölümündeki manyetik alanın doğal yoldan karşılandığı motor türüdür. Rotor bölümünde akım olmadığı için rotora akım taşıyacak fırça ve kolektör düzeneklerine de gerek yoktur. Bu nedenle bu tür motorlar fırçasız motor olarak adlandırılır. Bu tür motorların rotor bölümlerinde güçlü doğal mıknatıs kullanılır [4].



Şekil 2.20: Fırçasız DC Motor Çalışma Prensibi

Güç kaynağından + ucundan gelen akım A kutusunda bulunan anahtarlama devresi üzerinden geçerek güç kaynağının – ucuna ulaştırılsın. Bu durumda A ve C sargıları enerjilenecek ve rotor şekilde (1. adım) gösterilen konuma gelecektir.

Daha sonra bu sargıların enerjileri kesilmeden B ve D sargılarına enerji uygulanırsa rotor iki sargı arasında şekilde gösterilen (2. adım) konuma gelecektir.

Şimdi de A ve C sargılarına uygulanan enerjiyi kesersek sadece B ve D sargıları enerjili kalacak ve rotor sadece bu alanın etkisinde kalarak şekilde gösterilen (3. adım) konuma gelecektir.

Bu şekilde, sargıları enerjilendirmeye devam edersek rotor bu yönde hareketine devam edecektir.

Sargıları enerjilendirme işlemi ne kadar hızlı yapılırsa rotorun dönüş hızı da o kadar yüksek olacaktır.

Eğer sargılardan geçen akımın yönünü değiştirecek olursak sargıların meydana getirdiği manyetik alanlar da değişeceğinden rotorun dönüş yönü de değişecektir.

Fırçasız doğru akım motorları ile adım motorları arasındaki en büyük fark; fırçasız motorlarda, rotorun nerede olduğunun bilinmesi için rotor konum sensörlerinin (Algılayıcı) kullanılmasıdır [4].

Konum sensörleri ile rotorun konumunu algıladıktan sonra hangi sargıya hangi yönde enerji uygulayacağımıza karar verebiliriz.

Fırçasız doğru akım motorlarında rotorun konumunu algılamak için yaygın olarak iki çeşit sensör kullanılır:

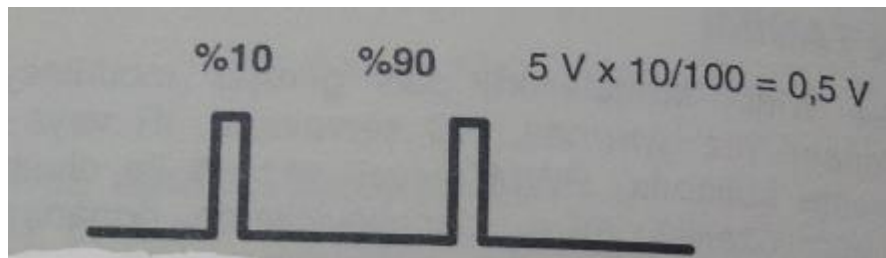
- Foto(Optik) sensörler
- Alan etkili(Magnetik) sensörler (Hall effect sensors)

2.3.3 Fırçasız DC motorda kullanılan elektronik devreler

2.3.3.1 PWM (Pulse Width Modulation)-darbe genişlik modülasyonu

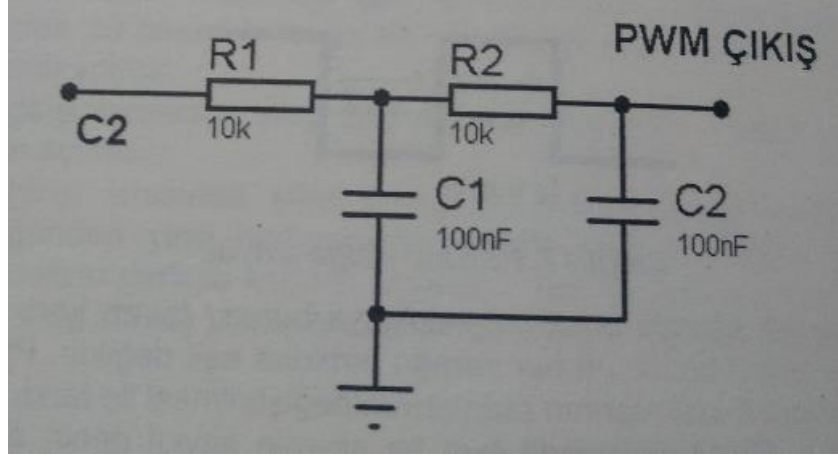
PWM, puls genişlik modülasyonu anlamına gelmektedir. DC motorların hız ayarlarında, RC servolarda, IR veya RF iletişiminde sinyali modüle etmekte kullanılır. PWM sinyali yazılım ile oluşturulabildiği gibi bazı mikro denetleyicilerde donanımsal olarak da oluşturulabilir.

PWM sinyali aslında basit kare dalgaya benzer fakat kare dalgadaki gibi pulsin lojik 1 ve lojik 0 bölümleri her zaman birbirine eşit değildir. PWM sinyalinde pulsin lojik 1 ve lojik 0 kısımlarının oranlarının değiştirilmesi ile farklı gerilimde çıkış sinyali oluşturulur. PWM sinyalinde tam bir sinyale saykıl denir, saykılın lojik 1 kısmına iş saykılı denmektedir. İş saykılının tüm saykıla oranı çıkıştaki sinyalin değerini verir. PIC' in pin çıkışları 5V verebilir. Eğer PIC'in çıkışından saykılın %50 'si oranında iş saykılı olan bir sinyal üretilirse çıkıştaki sinyalin değeri $5V \times (50/100) = 2.5V$ olur. Sinyalin yarısı lojik 1 yarısı lojik 0'dan oluşursa çıkıştan 5V'un yarısı alınır.



Şekil 2.21: %10 Oranında iş saykılı olan kare dalga[11]

PIC'den PWM sinyali üretirken dikkat edilecek konulardan biri de çıkışın direkt değil de bir filtre devresi üzerinden alınması gerektiğidir. Şekil 2.22'de PIC'in C2 pinine bağlı bir filtre devresi görülmektedir [11].



Şekil 2.22: PWM Filtre devresi[11]

Modülasyon işlemi gerçekleştiren bu tekniğin asıl amacı cihazlara verilen elektriğin gücünü kontrol altında tutmaktır. Bu kontrol de tamamen anahtarlama ile sağlanır. Anahtarlama ne kadar hızlı yapılırsa, PWM ile aktarılan sinyalin gücü o kadar artar. Örneğin bir lambaya gönderilen sinyalde PWM tekniğine ihtiyaç duyuluyorsa, bu teknik 120 Hz frekans değerinde uygulandığında maksimum verim elde edilebilir.

"Duty Cycle" görev döngüsü olarak tanımlanan bir kavram bulunmaktadır ve PWM tekniğinde de sıkça karşımıza çıkmaktadır. Görev döngüsü kavramı aslında yapılan işlemin periyodunu belirtmektedir. Bu döngü düşük seviyelerde ise aktarılan güç düşük olurken, döngünün yüksek seviyelerinde yüksek güç aktarılmaktadır.

PWM Tekniğinin Prensipleri : PWM tekniğinin temeli kare dalga üretmekte yatmaktadır. Bu kare dalga da genellikle referans olarak aldığı dalganın ortalaması kadar büyüklüğe sahip olmaktadır. Bunun yanı sıra sistemdeki dalganın büyüklüğü ise görev döngüsünün büyüklüğü ile doğru orantılıdır.

PWM dalgasını elde etmenin birden fazla yöntemi bulunmaktadır. Bunlar ;

♦**Delta:** Delta modülasyonlu PWM sinyali, integral alıcı ve limitleyici devre yapıları ile elde edilir. İntegral sonucunun limitlere değmesi "off", diğer durumlarda "on" durumu olduğu için kare dalga oluşur.

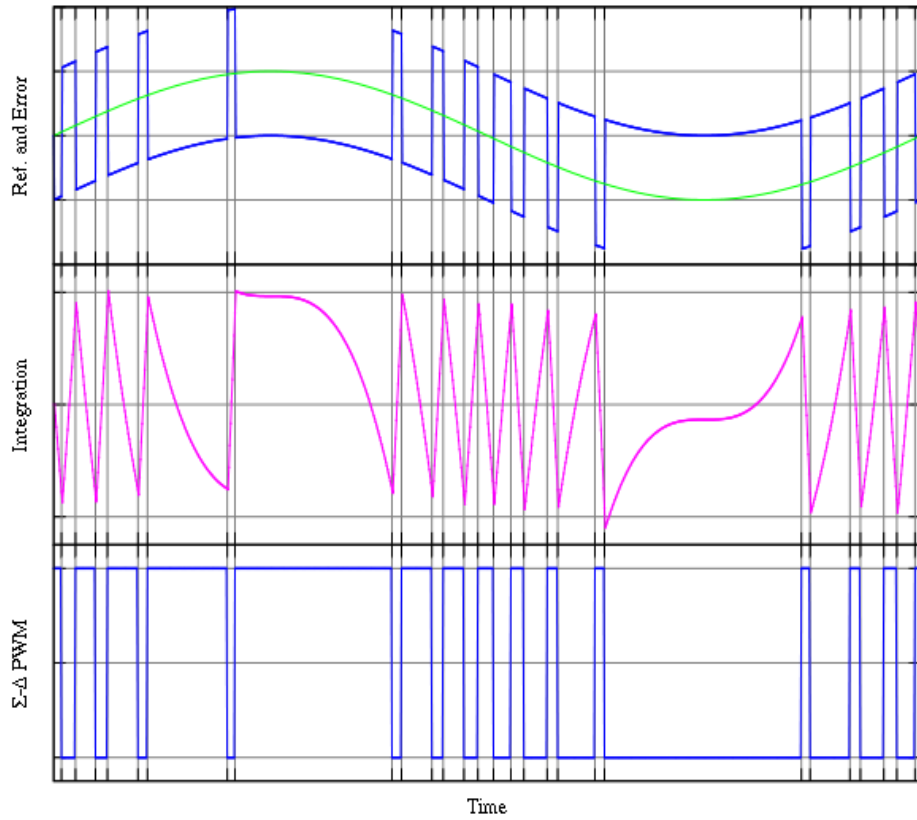
♦**Sigma - Delta:** Bu modülasyonda ise çıkış sinyali, referans alınan sinyalden çıkartılır. Böylece hata sinyali elde edilmiş olur. Hata sinyalinin integralinin

sonucuna göre eğer limite değiyorsa "off", değmiyorsa "on" durumu oluşturularak kare dalga elde edilir.

◆**Boşluk - Vektör:** 3 fazlı AC uygulamalar için algoritma kullanılarak kare dalga elde edilir.

◆**Direkt Tork Kontrol (DTC):** AC motorlarda kullanılmak üzere geliştirilen bir PWM tekniğidir. Delta modülasyon tekniğinden üretilmiştir. Motora gönderilen sinyal belirli bir filtreden geçirilir ve motorun torku ile manyetik akı kontrol altında tutulur.

◆**Zaman Bölücü:** Özellikle mikroişlemcilerin PWM çıkışları tarafından kullanılırlar. Değişken görev döngüsüne sahip devrelerde de kullanılabilirler.



Şekil 2.23: Sigma - Delta Yöntemiyle PWM Tekniğinin Uygulanması

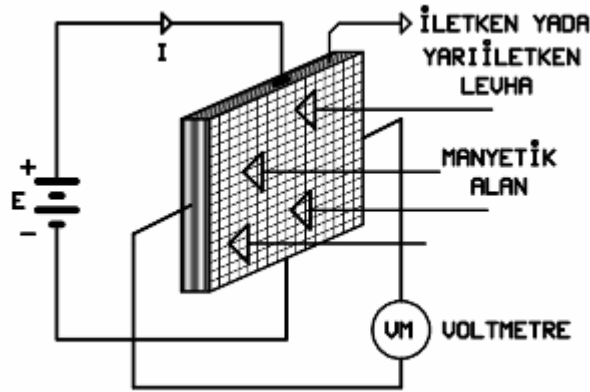
PWM tekniğinin avantajları : PWM tekniğinde anahtarlama kaybı düşük seviyededir. Anahtar kapalı olduğunda pratik olarak hiç akım akmıyor iken, anahtar açık olduğunda anahtar üzerindeki gerilim düşümü yok denecek kadar azdır.

Bu sayede güç kaybının az olmasının yanı sıra, PWM tekniği dijital kontrol üniteleri ile büyük bir uyum içerisindedir. Sistem, açık-kapalı anahtarlama değişimlerine bu sayede çok daha rahat uyum sağlayabiliyor.

Ayrıca iletişim ve haberleşme teknolojilerinde kullanılan sinyallerin görev döngüleri ile ilgili düzenlemelerde de PWM tekniği sık sık kullanılıyor. Böylece kanal üzerinde çeşitli ayarlamalar ile istenilen sinyaller elde edilebiliyor.

2.3.3.2 Hall Sensör (Konum Algılayıcı)

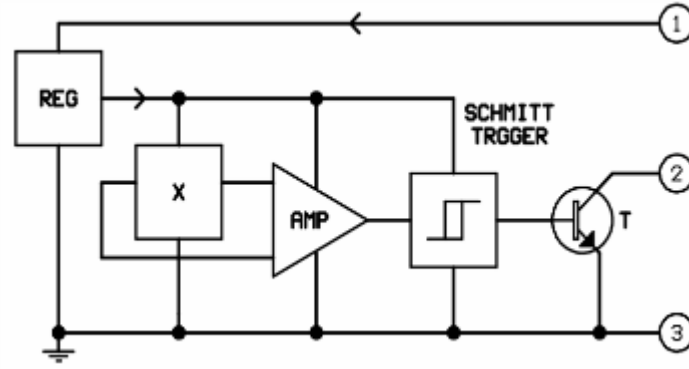
Hall Effect sensörler genellikle endüstride kullanılırlar. Ama kişisel uygulamalar ya da daha basit sistemler içinde uygundur. Cismin uzaklığını, pozisyonunu ya da dönüşünü algılayan hassas sensörlerdir.



Şekil 2.24: Hall sensör yapısı

Şekil 2.24'te alan etkili sensörün yapısını görüyoruz. İletken ya da yarı iletken malzemeler kullanılarak elde edilebiliyor. Bu malzemelerin karşılıklı iki kenarına gerilim bağlandığında ve bir manyetik alan içine girdiğinde boşta kalan iki kenarında bir gerilim meydana gelir. Bu şekilde gerilim üreten kaynaklara manyetik alan etkili gerilim kaynağı denir.

Hall Effect sensörleri manyetik alan etkili gerilim kaynaklarıdır ve bu sensörler bildiğimiz transistör yapısındadır, yani anahtarlama elemanı olarak görev yaparlar. Sensörün iç yapısını Şekil 2.25'te görüyoruz.

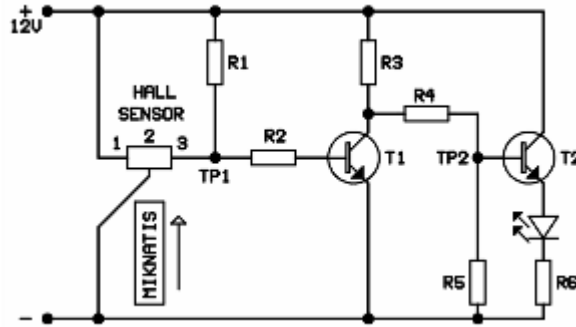


Şekil 2.25: Hall sensör iç yapısı

3 bacaklı olarak üretilirler. Sensörde iki gerilim kaynağı olduğu için eksi uçlar birleştirilmiştir. Diğer sensörlerle karşılaştırdığımızda avantajları şöyledir;

- + Bütün mıknatıslarla uyumludur(doğal-elektromıknatıs)
- + Hareketli parçaları yoktur.
- + Fiziksel darbelere dayanıklıdır.
- + Sıcaklık değişikliklerinden etkilenmezler(-20 C - +85 C)
- + 4.5V ile 25V arasında çalışırlar.

Örnek Devre;



Şekil 2.26: Hall sensör örnek devresi

Şekil 2.26'deki devreyi biraz inceleyelim. Devreye ilk anda gerilim verdiğimizde Hall Effect sensörünün TP1 noktasına bir etkisi yoktur. Çünkü mıknatıs sensörün kaplama alanının dışında olduğundan dolayı herhangi bir şekilde etkilenme söz konusu değildir. Bu durumda R1 ve R2 dirençleri üzerinden ilerleyen gerilim T1 transistörünün beyzine girerek tetiklenmesini sağlar. T1 transistörünün iletime geçmesiyle birlikte R3 üzerindeki gerilim T1 transistörünün C-E arasından toprağa giderek devresini tamamlar ve bu durumda LED yanmaz.

Hall Effect sensörüne mıknatısı yaklaştırdığımızda ise R1 ve R2 direnci üzerindeki gerilim Hall Effect sensörünün üzerinden toprağa giderek devresini tamamlar. Bu durumdayken T1 transistörü polarma alamayacağı için tetiklenmez. T1 transistörü yalıtkan durumunda olduğundan dolayı R3 direnci üzerindeki gerilim R4 direnci üzerinden T2 transistörünün beyzine ulaşır ve T2 transistörünü tetikleyerek ilettime geçmesini sağlar. T2 transistörünün ilettime geçmesiyle birlikte devrede bulunan LED yanar.

Şekil 2.26'deki devrede bulunan Hall Effect sensörü mıknatıs yaklaştırıldığında eksi(-) özellik gösteren bir sensördür ve artı(+) özellik gösterenleri de mevcuttur.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Fırçalı Motor Deneyinde Kullanılan Malzemeler

3.1.1 Yerli ve ithal motor fırçıları

Deneylerde kullanmak üzere redüktör, blower ve aksiyel motor kömürleri kullanılmıştır. Bu kömürler yurt dışından ithal olduğu gibi yurt içinden de temin edilebilmektedir. Test çalışmalarında SHUNG ve KARDEŞ ELEKTRİK motor kömürleri kullanılmış ve tüm çalışmalar hem ithal hem de yerli ürünler için aynı şartlarda uygulanmıştır. Şekil 3.1’de belirlenen numuneler görülmektedir.



Şekil 3.1: Deneylerde belirlenen yerli ve ithal numune motor kömürleri

3.1.2 Alkol

Zımpara işleminden sonra yüzeydeki aşınmaların oluşturduğu pürüzlülüğü minimize edip optik mikroskop altında istenilen görüntünün alınmasına yardımcı olmak amacı ile yapılan dağlama işleminde alkol kullanılmıştır. Şekil 3.2’de görülen alkol zımparalama işlemi sonrası dağlama yapılırken sıkça kullanılan bir kimyasaldır.



Şekil 3.2: Dağlama prosesinde kullanılan alkol

3.1.3 Zımpara kağıtları

Zımparalar düzeltme, tesviye etme, uygun kalınlıkta iz oluşturma, çapak alma amacıyla kullanılır. Zımparanın yapısı, genel olarak özel bir kâğıdın üzerine değişik büyüklükte kumların yapıştırılmasıyla meydana gelir. Kumun tane büyüklüğüne göre zımparalar numaralandırılır. P80,P120, P1200 gibi. Şekil 3.3’de farklı numaralarda zımpara kağıtları gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Zımpara kağıtları

3.2 Fırçasız DC Motor Deneyinde Kullanılan Malzemeler

Fırçalı DC motorlarda laminasyon sacı olarak 6112 kalite sac kullanılmaktadır ancak, fırçasız DC motorda ise M 470 kalite silis oranı yüksek sac malzemesi kullanılması öngörülmüştür.

Fırçalı DC motorlarda kullanılan ferritik mıknatıs yerine fırçasız DC motorlarda neodyum mıknatıs kullanılması öngörülmüştür.

Fırçalı DC motorlarda çelik boru kullanılıyorken, fırçasız DC motorlarda alüminyum gövde (6063 Serisi) kullanılması öngörülmüştür.

Motor mili olarak CK 45 kalite otomat çeliği kullanılması öngörülmüştür.

3.3 Deneylerde Kullanılan Cihazlar

Numuneleri parlatmak için METKON-GRİPO marka cihaz kullanılmıştır.(Şekil 3.8).Zımpara kağıtları eksiksiz bir şekilde temin edilmiş olup, sırasıyla 200, 320, 600, 800, 1000 ve 1200 numaraları zımparalar kullanılmıştır.



Şekil 3.8: Zımparalama cihazı

Şahit numunelerin mikroyapılarını incelemek için Şekil 3.9’da gösterilen OLYMPUS optik mikroskop cihazı kullanılmıştır. Optik mikroskoptan 500 büyütme (20 μ m) mavi objektif ile birde 200 büyütme (50 μ m) yeşil objektif ile mikroyapı görüntüsü alınmıştır.



Şekil 3.9: Optik mikroskop cihazı

Bakalite alınan numunelerin Şekil 3.10’da gösterilen TRONIC marka vickers sertlik ölçme cihazında sertlik ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 3.10: TRONIC vickers sertlik ölçme cihazı

Şahit numunelerin yoğunluk değerlerini ölçmek üzere AND GR-200 marka yoğunluk ölçme cihazı kullanılmıştır.(Şekil 3.11)



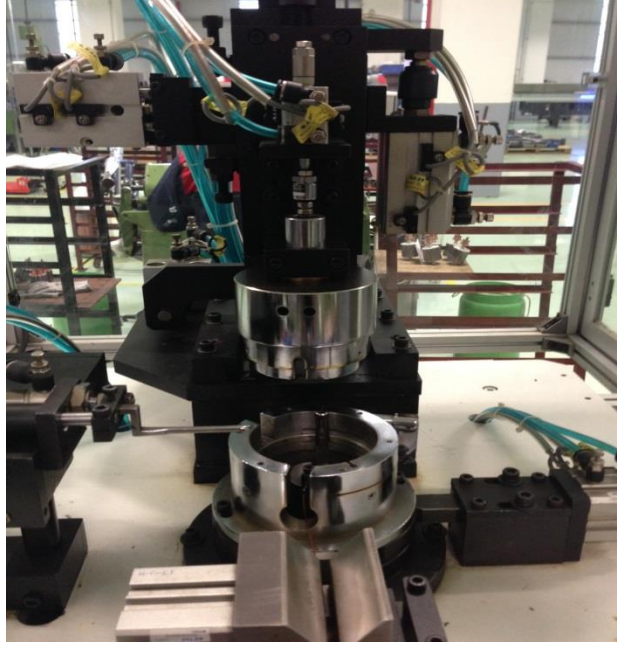
Şekil 3.11: AND GR-200 yoğunluk ölçme cihazı

Fırçasız DC motorların laminasyon çakımı için HİSAN marka hidrolik pres kullanılmaktadır. Bu pres aynı zamanda kalıp değişimi yapılarak millere çentik vurma işlemi içinde kullanılmaktadır.(Şekil 3.12)



Şekil 3.12: HİSAN marka hidrolik pres

Laminasyon çakımı yapılarak rotor veya stator haline getirilen laminasyon sac paketler fırçasız DC motor için özel tasarlanmış NIDE marka sarım makinasında sarılmaktadır.(Şekil 3.13)



Şekil 3.13: NIDE marka sarım makinası

Rotorların motor gövdesine montajı yapılmadan motor millerine DELTA rulman sıkı çakma makinasında rulmanlar sıkı çakma işlemi yapılarak takılır.(Şekil 3.14)



Şekil 3.14: DELTA rulman çakım makinası

Fırçasız DC motorların montajı tamamlandıktan sonra motorun çektiği akımı,üzerinden geçen gerilimi görmek için SABO ELEKTRONİK marka redresör kullanılmaktadır.(Şekil 3.15)



Şekil 3.15: SABO ELEKTRONİK marka redresör cihazı

Üretimi sonlanan her parti ürün içerisinde belli adetlerde motorlar E.D.C marka tork ölçüm cihazında tork değerleri ölçülmek için ayrılır.(Şekil 3.16)



Şekil 3.16: E.D.C marka tork ölçüm cihazı

3.4 Deneylerin Yapılışı

3.4.1 Metalografi laboratuvarında zımparalama işlemi

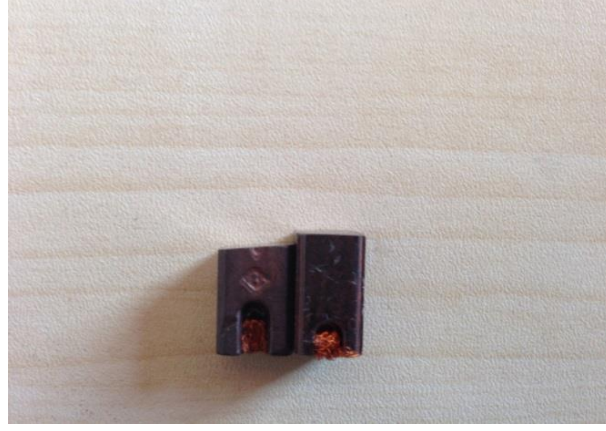
Deneylerde ölçüme tabi tutulacak elektrikli dc motorlarda kullanılan yerli ve ithal standart motor fırçalarının belirlenmesinden sonra numuneler sırasıyla (200,320,600,800,1000,1200) numaralı zımpara kağıtları kullanılarak zımparalama işlemine tabi tutulmuştur.

Daha sonra zımparalanan yüzeylerin optik mikroskop altında incelenebilmesine olanak sağlamak amacıyla çuha üzerinde yüzey kalitesini arttırmak için numunelere dağlama işlemi yapılmıştır. Parlatma işlemi yapılırken yardımcı malzeme olarak alümina kullanılmıştır.



Şekil 3.17: a) Metalografi cihazı b) Alümina

Zımparalama ve dağlama sonucu numunelerin son hali (Şekil 3.18 a) ve (Şekil 3.18 b) de gör÷lmektedir ;



Şekil 3.18: a) Yerli Kömür b) İthal Kömür



Şekil 3.19: İade motorlardan sök÷len ergimiş kömürler

3.4.2 Optik mikroskop altında DC motor fırçalarının mikroyapılarının incelenmesi

Optik mikroskop altında incelenen numunelerin mikroskop altındaki görüntüleri aşğıdaki tabloda belirtilmiştir. Bu çalışmada numunelerin mikroyapıları incelenerek yapıdaki porozite oranı, empürite oranı ve bu oranların kömürlerin ergimesi problemine etkisi araştırılmıştır.

Tablo 3.1: 3 Farklı Tip Kömürün Mikroyapı Görüntüleri

	500 büyütme 20µm Yerli Kullanılmış Fırça
	500 büyütme 20 µm Yerli Yeni Fırça
	500 büyütme 20 µm İthal Yeni Fırça

Yukarıda Tablo 3.1’de şahit numunelerin mikroyapı görüntüleri mevcuttur.

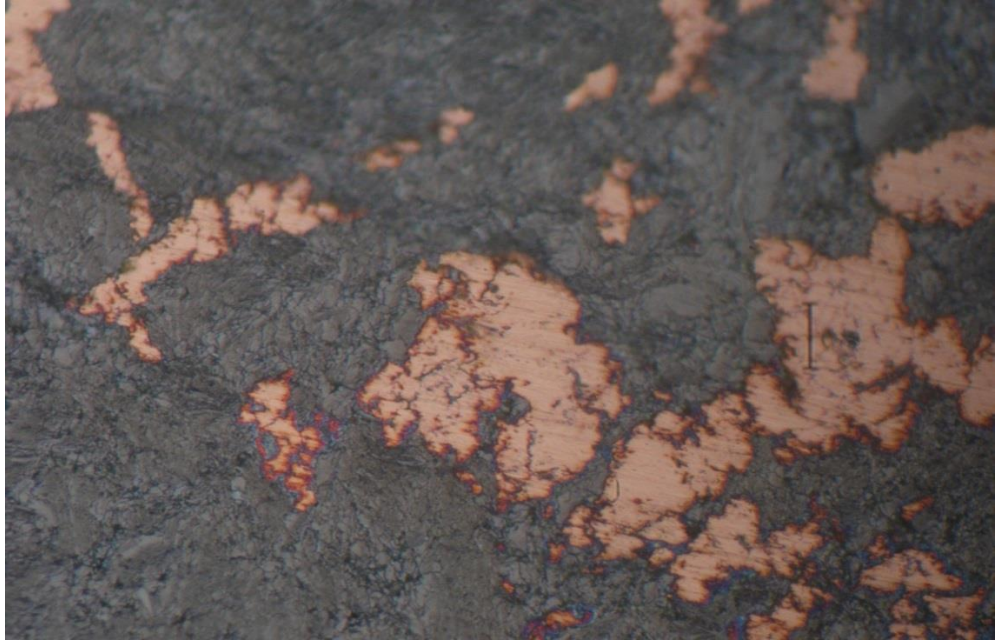
Numunelerin optik mikroskop altındaki görüntüleri Şekil 3.20, Şekil 3.21, Şekil 3.22’de gösterilmiştir.



Şekil 3.20: 500 büyütme 20µm (Mavi Objektif) Yerli Ergimiş Kömür



Şekil 3.21: 500 büyütme 20µm (Mavi Objektif) Yerli Yeni Kömür



Şekil 3.22: 500 büyütme 20µm (Mavi Objektif) İthal Yeni Kömür

3.4.3 DC motor fırçalarının sertlik değerlerinin ölçülmesi

Kullanılmış ve ergimiş kömür, yerli kömür ve ithal kömür numunelerinin sertlik değerleri ölçülmüş bu deneyle kömür sertliklerinin motor çalışırken ne gibi bir etkisi olup olmadığı, kollektör yüzeyine basarken yapının ergimesine olan etkisinin ne olabileceği araştırılmıştır. Ayrıca yapıyı oluşturan grafit ve bakır miktarlarının sertlik değerlerine etkisi araştırılmıştır.

3.4.4 Yoğunluk ölçümü deneyi

Numunelerin yoğunluk değerlerinin belirlenerek yapıdaki Cu-Grafit oranı hakkında yorumda bulunulabilmesi, bunun kömürlerin ergimesinde ne gibi bir etkisi olduğu araştırılmıştır. Buradan hareketle kömürün yapısını oluşturan Cu-Grafit oranının belirlenmesi için yaş analiz yapıp yapılmaması gerektiği araştırılmıştır.

3.4.5 Kömür aşınma deneyi

Her kalitedeki fırça (kömür) kendi karakteristik film tabakasını oluşturmaktadır. Motor fırçalarının çalışma yüzeyi olan kollektörlerin yüzeyine ilaveten oluşan film tabakasının (patin tabakası) oluşup oluşmadığını tespit etmek için kömür aşınma deneyi yapılmış ve bu tabakanın varlığı ve etkisi araştırılmıştır.

4. SONUÇLAR VE İRDELEME

4.1 Optik Mikroskop Altında İncelenen Numunelerin Test Sonuçları

Aşağıda (Şekil 4.1, 4.2, 4.3) de optik mikroskop altında görüntüsü verilmiş yerli ergimiş kömürün, yerli yeni kömür ve ithal kömürün yapısında empüriteler ve poroz yapı fazlasıyla görülmüştür. Yapılan araştırmalar sonucu motor kömürlerinin yapısında empürite kesinlikle istenmemektedir. Bunun nedeni kömür motordaki çalışmayı tetikleyen ilk motor bileşeni olduğundan ve kollektöre baskı uyguladığından burada şelale meydana gelmesi, akımın fazla geçmesi gibi problemlere neden olmasıdır. Ayrıca yapıdaki yoğun porozlu yapı ve grafitin dendritik yapıda olması kömürün ergimesini hızlandırmaktadır ve bu da motorun ömrünü ciddi oranda azaltmaktadır.



Şekil 4.1:200 büyütme 50µm (Yeşil Objektif) Yerli Ergimiş Kömür



  kil 4.2:200 büyütme 50  m (Yeşil Objektif) Yeni Kömür



  kil 4.3: 200 büyütme 50  m (Yeşil Objektif) İthal Yeni Kömür

Tablo 4.1: Motor Kömürlerinin (Fırçalarının) Kıyaslanması

Yerli Ergiyen Kömür	Yerli Yeni Kömür	İthal Yeni Kömür
Mikroyapıda porozite büyüklüğü ve sayısı çok fazladır.	Mikroyapıda yer yer poroz bölgeler mevcut ancak ergiyen kömüre kıyaslan daha küçük boyutludur.	Mikroyapıda porozite yok denecek kadar azdır.
Grafit bölgeler boşluklar yüzünden dendritik yapıya sahiptir.	Ergimiş kömüre göre grafit mikroyapısı daha iyi konumdadır ancak istenilen formda değildir.	Mikroyapı diğer kömürlere göre daha homojen ve kompakt yapıdadır ancak istenilen formda değildir.
Mikroyapıda normalden fazla faz dönüşümleri mevcuttur. Yapıdaki empürite oranı bunun muhtemel nedenidir.	Mikroyapıda yer yer faz dönüşümleri mevcuttur. Yapıdaki empürite oranı incelenmelidir.	Faz dönüşümüne az da olsa rastlanmıştır.

Tablo 4.1’de Motor kömürlerinin (fırçalarının) birbirleriyle kıyaslanması verilmiştir.

Genel olarak bu üç farklı numunenin optik mikroskop altında incelendikten sonraki etkileri şu şekilde yorumlanmıştır;

Mikroyapıdaki gözle görülen büyük boşluklar ve faz dönüşümleri üretim akışındaki belli başlı proses hatalarından kaynaklanması olasıdır. Ürün prosesi gözden geçirilmelidir. (Örn; Sinterleme Prosesi)

Yapıdaki ‘grafit’ gravitize olmamış olabilir buda yapının daha kompakt olmamasına bununla birlikte büyük boşluklara yol açabilir.

Eğer mikroyapı içerisinde empürite barındırıyorsa yer yer farklı faz dönüşümlerine neden olmaktadır. Buda yapının kimyasal, fiziksel ve mekaniksel özelliklerini direkt etkilemektedir.

4.2 Sertlik Ölçüm Test Raporları

Mikroyapı kompozit bir yapıya sahip olduğundan elmas uc bakır veya grafit noktaların farklı alanlarında iz bırakmış olabilir. Bundan dolayı sertlik ölçümü aynı numune için farklı 3 noktadan ölçülmüş ve ortalaması alınmıştır. Alınan sertlik değer ölçümlerinin DIN IEC 413,303 normlarına göre uygun olmadığı tespit edilmiştir. Numunelerin sertlik değerleri Tablo 4.2’de görülmektedir.

Tablo 4.2: 3 Farklı Tip Kömür Numunesinin Sertlik Ölçüm Değerleri

Yerli Kullanılmış Fırça	Yerli Yeni Fırça	İthal Yeni Fırça
1’nci Numune 23,2 Vickers	1’nci Numune 8,1 Vickers	1’nci Numune 15 vickers
2’nci Numune 27,4 Vickers	2’nci Numune 9 Vickers	2’nci Numune 19 vickers

4.3 Yoğunluk Deneyi Test Sonuçları

Yoğunluğu düşük olan kömürün grafit oranı, yoğunluk değeri yüksek olan kömürün grafit oranından fazla olabilir. Aynı zamanda metal içeriği fazla olan kömürün yoğunluğunun fazla çıkması olasıdır.

Sonuç olarak yapı kompozit bir yapı olduğu için gerekirse Yaş Analizle kimyasal analiz yapıp Grafit-Metal yüzdelerini kesin bir şekilde öğrenmek mümkün olacaktır.

Tüm bu ihtimallerde göz önünde bulundurularak yapılan yoğunluk deneyinde elde edilen sonuçların DIN IEC 413,205 normlarına uygun olmadığı tespit edilmiştir. Bknz .(Tablo 4.3)

Tablo 4.3: 3 Farklı Tip Kömür Numunesinin Yoğunluk Değerleri

Kullanılmış Fırçalar	Yerli Yeni Fırçalar	İthal Yeni Fırça
1'nci Numune: 3,03 g/cm ³	1'nci Numune: 3,01 g/cm ³	1'nci Numune: 2,81 g/cm ³
2'nci Numune: 3,07 g/cm ³	2'nci Numune: 3,05 g/cm ³	2'nci Numune: 2,80 g/cm ³
3'ncü Numune: 3,05 g/cm ³	3'ncü Numune: 3,03 g/cm ³	3'ncü Numune: 2,87 g/cm ³

4.4 Kömür Aşınma Testi Sonuçları

Kollektörlerin yüzeyine ilaveten oluşan film tabakası, kömürlerin performansı için çok önemlidir. Mevcut çalışma koşullarında her kalitedeki kömür kendi karakteristik film tabakasını oluşturmaktadır. Bu film tabakası esas olarak bakır oksit dışında, grafit ve su içermektedir. Bu film tabakasını ve motorun performansını seçilen motor fırçasının kalitesi doğrudan etkilemektedir.

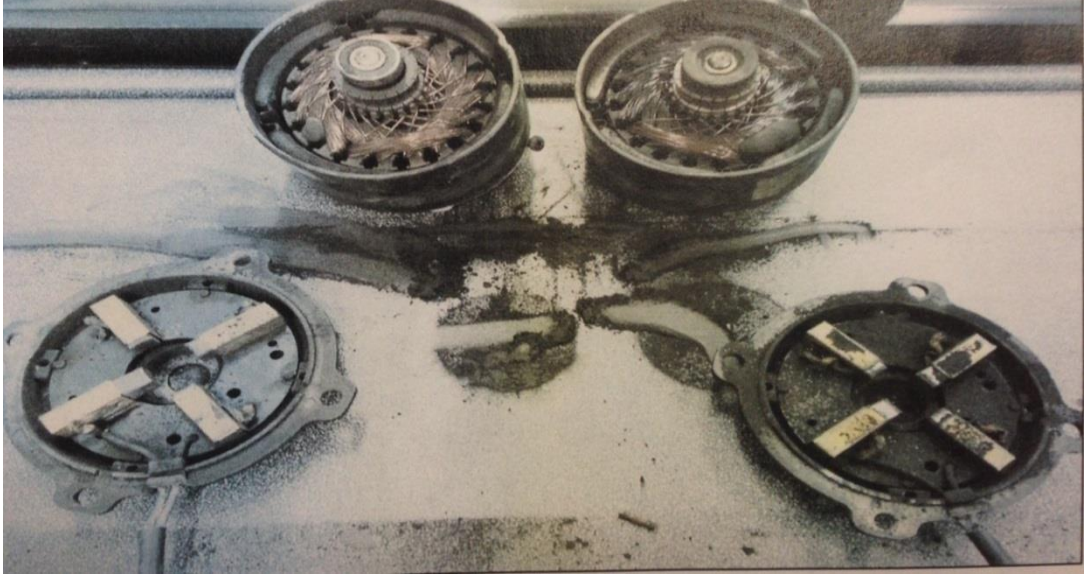
Tüm bu bilgiler göz önünde bulundurularak şahit numunelerimize kömür aşınma testi yapılmıştır. Testin koşulları ve elde edilen sonuçlar aşağıda Tablo 4.4'de gösterilmektedir

Tablo 4.4: Kömür aşınma testi sonuçları

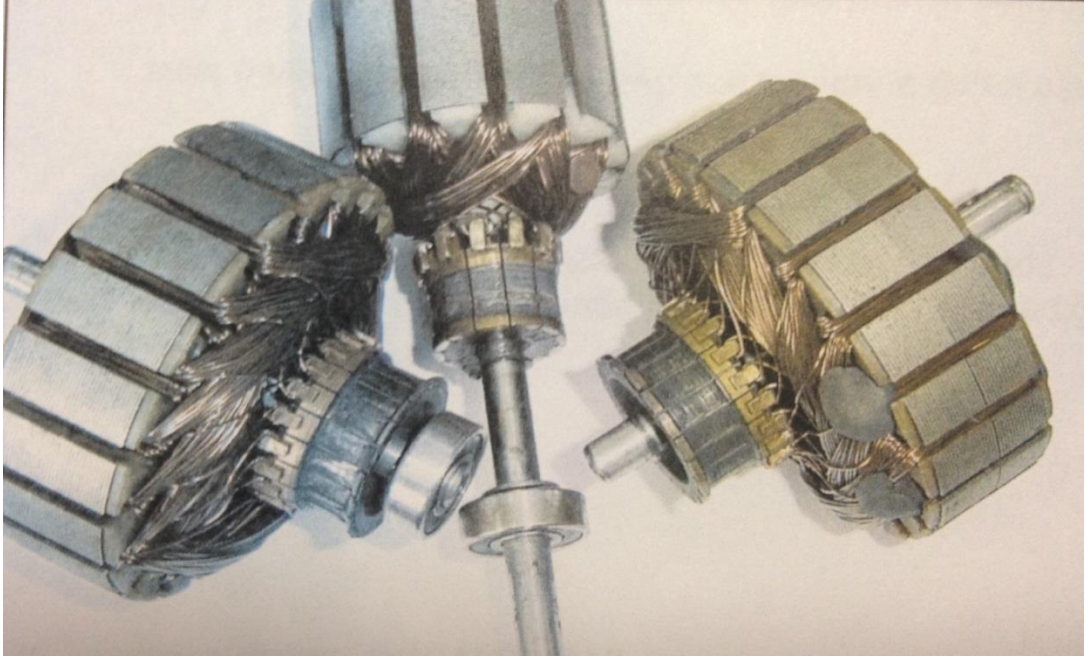
NO	MOTOR ADI	KÖMÜR ADI	BASKI YÖNÜ	TEST SÜRESİ	AŞINMA (ORT)	AKIM	DEVİR
				h(saat)	mm	A	devir/dakika
1	BOSCH	İTHAL	DİK	48	0,26	17	3600
2	KORMAS	İTHAL	DİK	48	0,76	7,4	2890
3	BOSCH	KULLANILMIŞ	YATAY	48-100	0,26-0,56	17	3670
4	KORMAS	YERLİ	YATAY	48	0,8	7,5	2910
5	KORMAS	YERLİ	YATAY	48	0,67	12,6	2858
6	KORMAS	KULLANILMIŞ	DİK	48-100	0,55-1,06	7,1	2860
7	KORMAS	YERLİ	YATAY	48-100	0,17-0,35	7,1	2860

Yapılan kömür aşınma testi 48-100 saat arası yerli ergimiş, yerli yeni ve ithal yeni kömürler üzerinde yapılmış ve aşınma dirençleri kısa süre içinde istenen değerin üzerinde çıkmıştır.

Aşınmış kömürün motor içerisinde yaratmış olduğu tahribatlar Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Motorlarda ergimiş kömürlerin motor içerisinde yaratmış olduğu tahribat



Şekil 4.5: Kömürlerin kollektör yüzeylerinde yaratmış olduğu tahribat



Şekil 4.6:Motorlarda ergimiş kömürün yaratmış olduğu tahribattan bir başka görüntü

4.5 Fırçalı DC Motor Deneysel Çalışmalarının İrdelenmesi

Tüm yapılan bu testler sonucunda elde edilen veriler; fırçalı DC motorların, istenilen performans değerlerini sağlayamadığını , belirlenen standartlara uygunsuzluğunu ve motor ömür sürelerini karşılayamadığını açıkça ortaya koymuştur.

Hem test sonuçlarının ortaya koyduğu olumsuz durum hem de ana sanayi ve yan sanayiden gelen şikayetler ve şartnamedeki istenilen veriler göz önünde bulundurulduğunda PIC tabanlı fırçasız DC motor tasarlanması gereği ortaya çıkmış ve bu çalışmalara ivedi şekilde başlanmıştır.

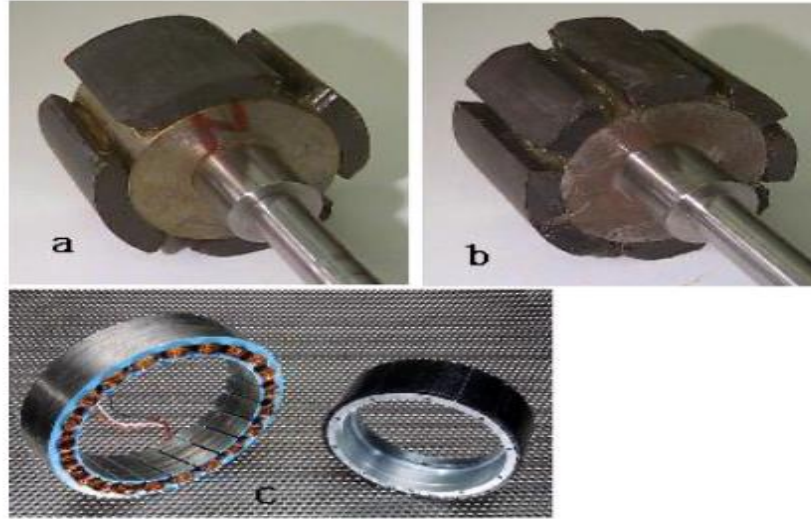
5. TASARIM ÇALIŞMASI

5.1 Fırçasız DC Motorlar

DC motorların dönen kısımları sabit mıknatıstan, duran kısımları ise mini bobinli sargılardan oluşmaktadır. Bu tip motorlarda kolektör ve fırça düzenekleri yoktur. Duran kısımda bulunan sargıların üzerinden geçen akımlar, optik ya da manyetik sensörlerle kontrol edilmektedir.

Temel prensip ve çalışma şekli DC motorlarla aynıdır. Tek fark bobinlerin sabit, sabit mıknatısların rotora bağlı olmasıdır. Yani bu motorda rotor ve stator yer değiştirmiştir. Bunun avantajı, fırça ve komutatör sisteminin kalkması, dolayısı ile sürtünmeden ve fırça/komütatör (kolektör) ikilisinin oluşturduğu dirençten dolayı oluşan elektrik/mechanik kayıpların ortadan kalkmasıdır. Aynı zamanda bu tasarım, mekanik olarak denetlenmediğinden ve bobinlerin sayısının artırılmasına da izin verdiğinden, bu motorlardan çok yüksek tork almak mümkündür. Mahsurları ise, komütatörün yerini elektronik bir devrenin alması yani motorun çalışabilmesi için ek donanımlar gerektirmesidir.

Komutatör/fırça sistemi ile kolayca elde edilen karmaşık ateşleme sistemi, dış devreler tarafından yapılmalıdır. Bu da motor için olmasa da motoru kullanmak isteyen kişilere ek maliyet getirmektedir. Aynı güçteki bir motora oranla daha küçük, daha hafif olması, sağlıklı devir kontrolü yapılabilmesi, ek maliyeti affettirebilir. Şekil 5.1’de farklı kutuplarda mıknatıslı rotorlar ve fırçasız DC motora ait örnek rotor ve stator örnekleri görünmektedir.



Şekil 5.1: Dört kutuplu doğal mıknatıslı rotor (a), sekiz kutuplu doğal mıknatıslı rotor (b) ve fırçasız DC motor rotor ve stator (c)

5.2 Fırçasız Motor Tasarımı

Tasarımı düşünülen; çift milli orta Blower motoru (Çap:76 mm), yassı fan motoru (Çap:102 mm) ve sonsuz dişli redüktörlü kapı açma-kapama (Çap:63 mm) motorlarının yerini alacak yeni nesil Fırçasız DC motorlarının güçleri için mevcut motorların güç değerleri ve müşterilerin talepleri göz önüne alınmıştır. Buna göre çift milli orta Blower (Çap:76 mm) motor için güç aralığı 75W ile 200W arasında, yassı fan (Çap:102 mm) motor için güç aralığı 100W ile 500W arasında ve sonsuz dişli redüktörlü kapı açma-kapama (Çap:63 mm) motoru için güç aralığı 50W ile 150W arasında belirlenmiştir.

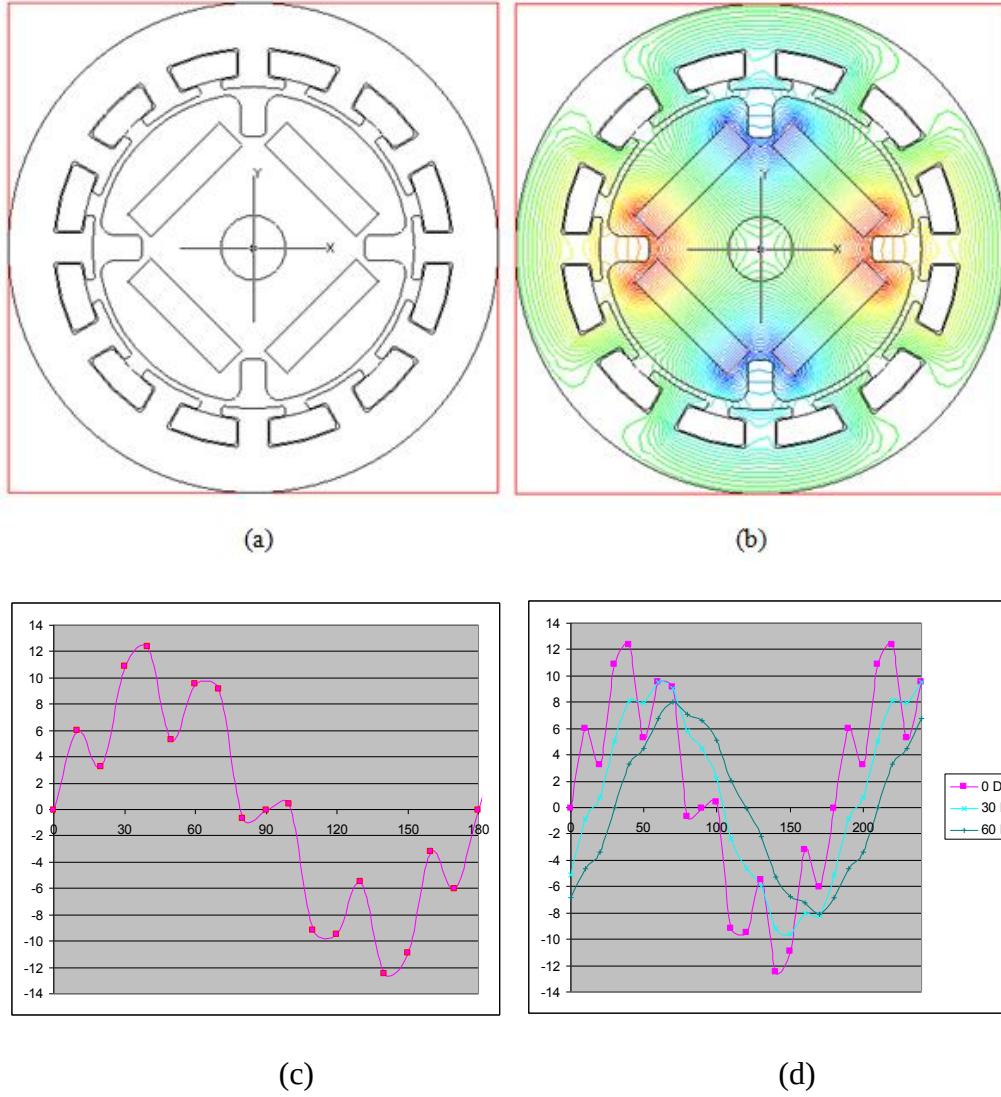
Tasarımda yer alan motorların güçleri belirlendikten sonra, hali hazırda üretim olan 76 mm çaplı Blower motorunun birebir mekanik ölçüleri temel alınarak aynı ölçülerde fırçasız doğru akım motoru için stator ve rotor taslakları çizilmiştir. Mekanik ölçüleri temel alınmasındaki amaç zaten üretimde var olan dış gövde, ön-arka kapaklar ve mil için yeni kalıp ve üretim maliyetleri oluşturmamaktır. Ayrıca çift milli orta Blower motoru iyi bir üretim yüzdesine sahip olduğu için fırçasız doğru akım motoruna dönüştürmeye ilk olarak Blower motorundan başlanmıştır.

Çift milli orta Blower motoru temel alınarak yapılan taslak Fırçasız Motor çalışmasında toplam 32 farklı konsept, 40 farklı durum için simülasyon çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda aşağıdaki yol izlenmiştir;

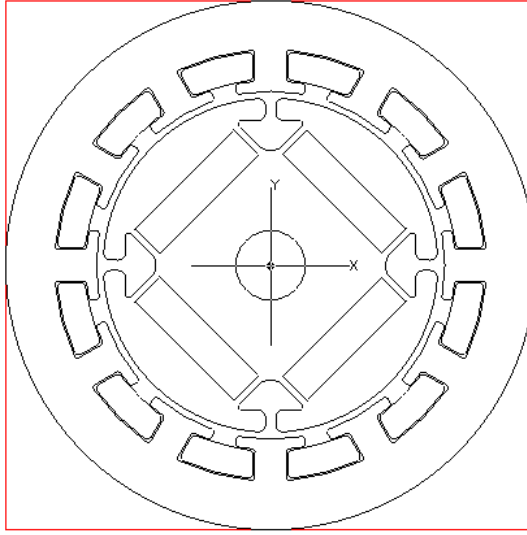
1. Birebir ölçekli CAD çizimi yapılması,
2. Sarım tekniğine uygun oluk akım yoğunluklarının belirlenmesi,
3. Mevcut Cad çiziminin manyetik analiz programına aktarılması,
4. Akım yoğunluğu dikkate alınarak rotorun her 5 derece hareketi için moment değerinin hesaplanması,
5. Akı yoğunluklarının çıkarılması,
6. Elde edilen moment değerleri kullanılarak, momentin rotor konumuna bağlı eğrisinin elde edilmesi,
7. Elde edilen moment eğrisinin sonuçlarına göre moment salınımlarını (Cogging Torque) gidermek üzere stator saclarının uygun burkma miktarının (Örnek 30, 60) belirlenmesi,
8. Mevcut sonuçlar kullanılarak hareket gerilimlerinin (emk) belirlenmesi,
9. İstenilen devir sayıları için hareket gerilimleri kullanılarak sarım sayılarının belirlenmesidir.

5.2.1 ap 76 mm motor için yapılanlar

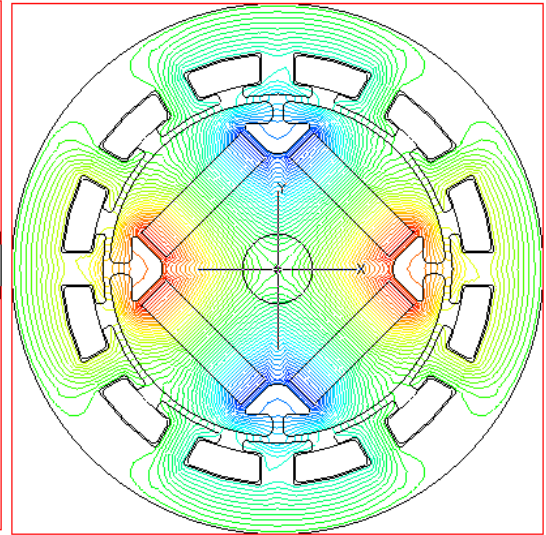
Manyetik analizi yapılan konseptlerden bazıları ekil 5.2, 5.3, 5.4, 5.5’de verilmiştir.



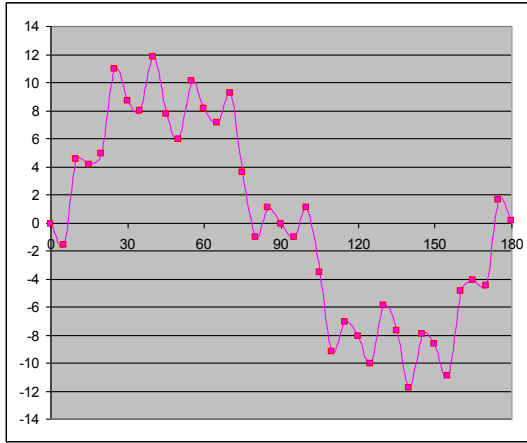
Şekil 5.2: 1 numaralı konseptte ait; a) 1:1 lekli CAD izimi, b) Manyetik analiz sonucunda elde edilen akı dağılımı, c) 5’er derecelik adımlarla elde edilen moment eğrisi, d) 30 ve 60 derecelik burkma sonucunda elde edilen moment eğrisinin değişimi.



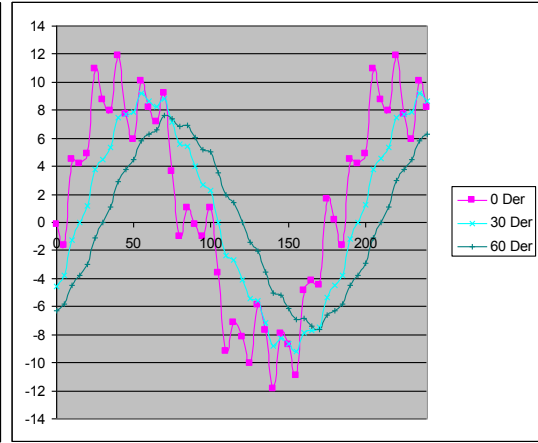
(a)



(b)

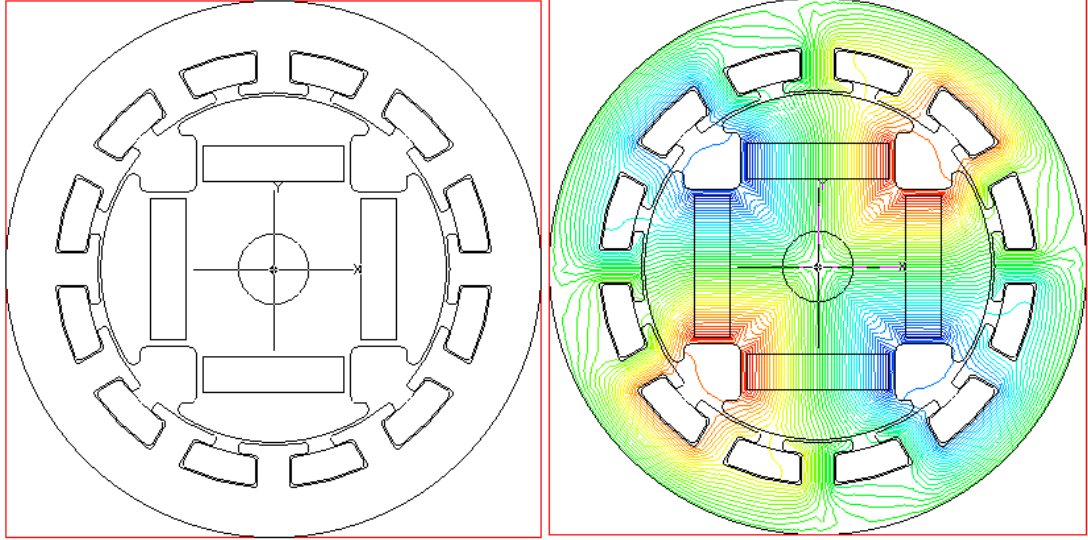


(c)



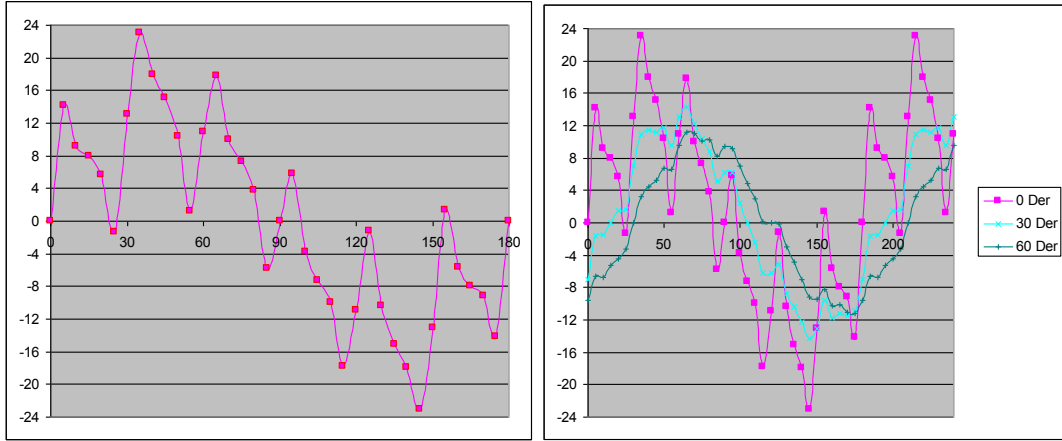
(d)

Şekil 5.3: 2 numaralı konseptte ait; a) 1:1 ölçekli CAD çizimi, b) Manyetik analiz sonucunda elde edilen akı dağılımı, c) 5'er derecelik adımlarla elde edilen moment eğrisi, d) 30 ve 60 derecelik burkma sonucunda elde edilen moment eğrisinin değişimi.



(a)

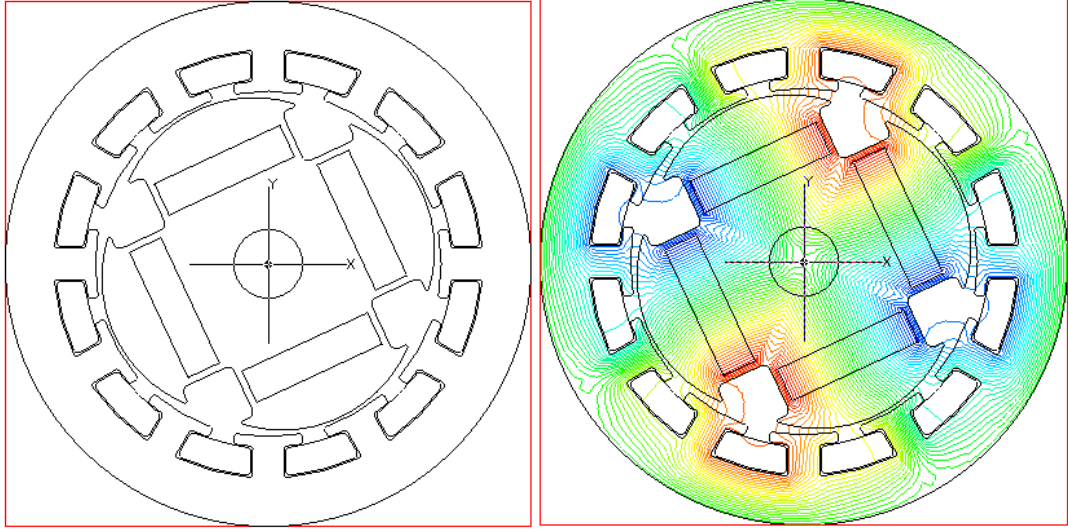
(b)



(c)

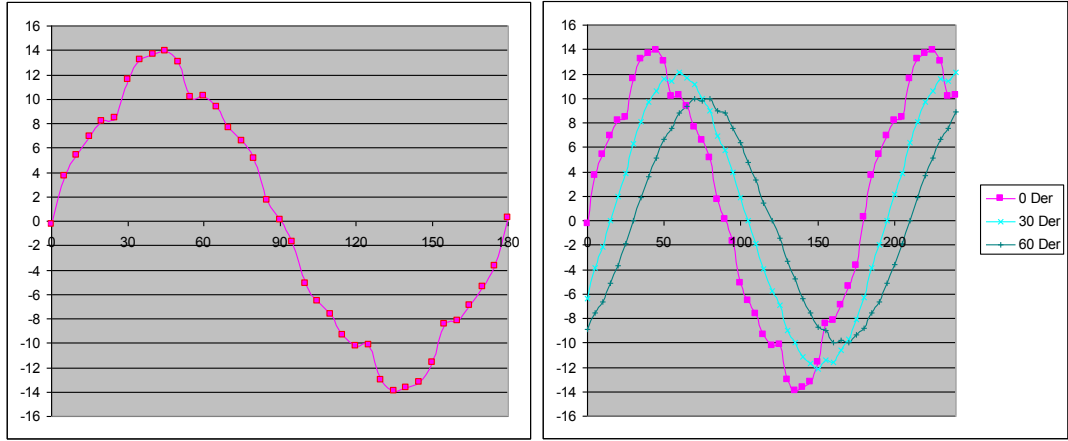
(d)

Şekil 5.4: 3 numaralı konseptte ait; a) 1:1 ölçekli CAD çizimi, b) Manyetik analiz sonucunda elde edilen akı dağılımı, c) 5'er derecelik adımlarla elde edilen moment eğrisi, d) 30 ve 60 derecelik burkma sonucunda elde edilen moment eğrisinin değişimi.



(a)

(b)

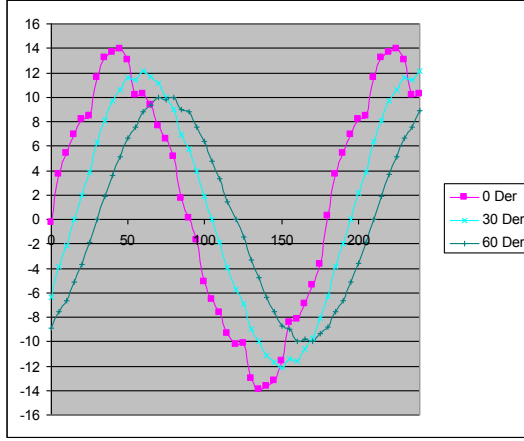


(c)

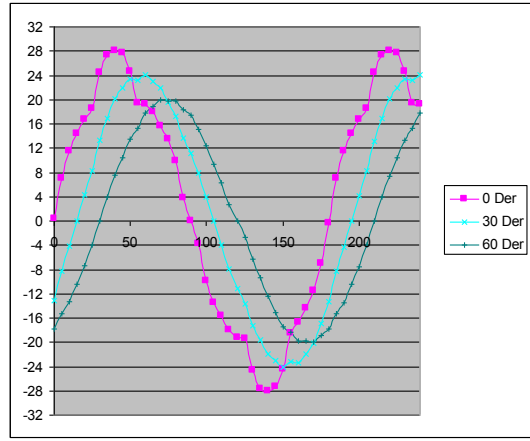
(d)

Şekil 5.5: 4 numaralı konseptle ait; a) 1:1 ölçekli CAD çizimi, b) Manyetik analiz sonucunda elde edilen akı dağılımı, c) 5'er derecelik adımlarla elde edilen moment eğrisi, d) 30 ve 60 derecelik burkma sonucunda elde edilen moment eğrisinin değişimi.

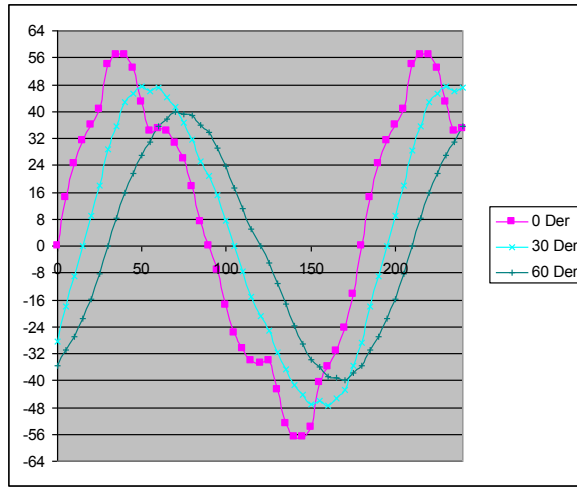
Çift milli orta Blower motoru temel alınarak yapılan Fırçasız Motor çalışmasında yukarıdaki yöntem uygulanarak toplam 32 farklı konsept, 40 farklı durum için simülasyon çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde Şekil 5.6'de görülen 4 numaralı konsept moment eğrisindeki düzgünlük (soft değişim) bakımından öne çıktığı tespit edilmiş, bu konsept üzerine yoğunlaşmış ve bu konsept için farklı akım durumlarındaki simülasyonları yapılmıştır.



(a)



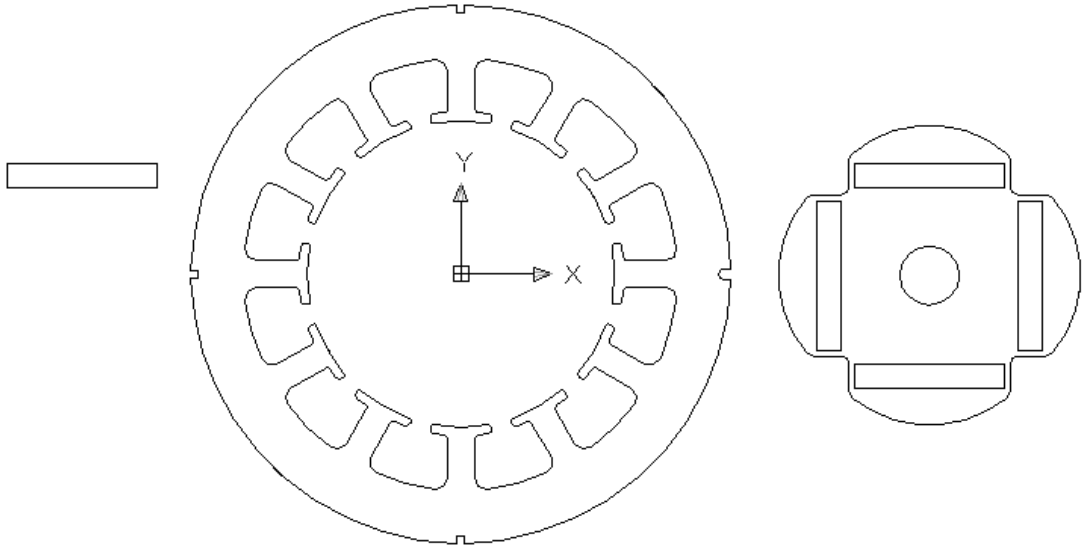
(b)



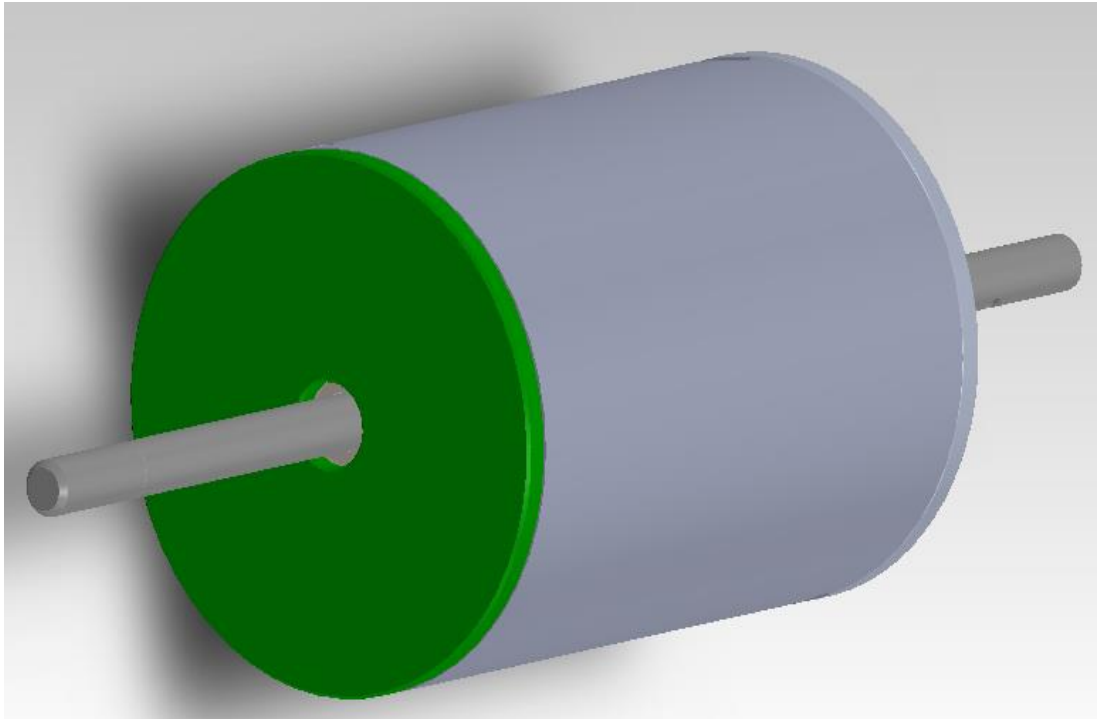
(c)

Şekil 5.6: 4 numaralı konseptte ait 5'er derecelik adımlarla elde edilen 0, 30 ve 60 derecelik burkma sonucunda elde edilen moment eğrisinin değişimi a) 5A, b) 10A, c) 20A.

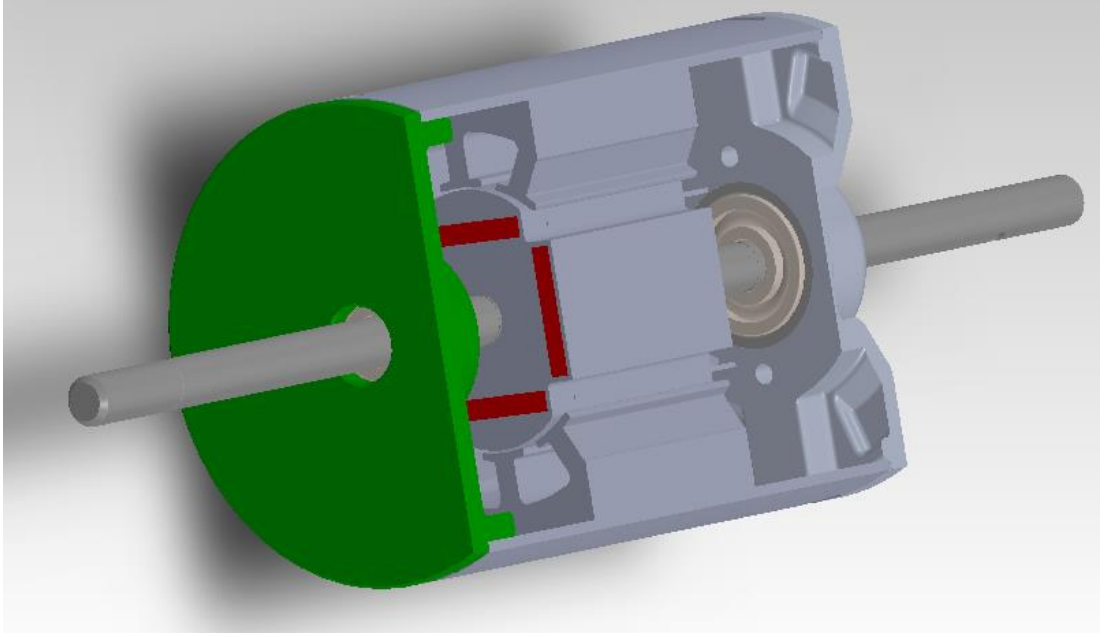
Tasarımda yer alan motorların simülasyon çalışmalarına devam edilmiş ve her üç motor için moment eğrisi en uygun olan konseptler seçilmiştir. Stator ve rotor saclarının mekanik resimleri çıkarılmıştır. Daha sonra stator ve rotor lamine sacları için daha önce kullanılması kesinleştirilen M470 silisli sacın temini gerçekleştirilmiştir. Temin işlemi yapıldıktan sonra 3 prototip motorun rotor ve stator sacları tel erezyonda kestirilmiştir.



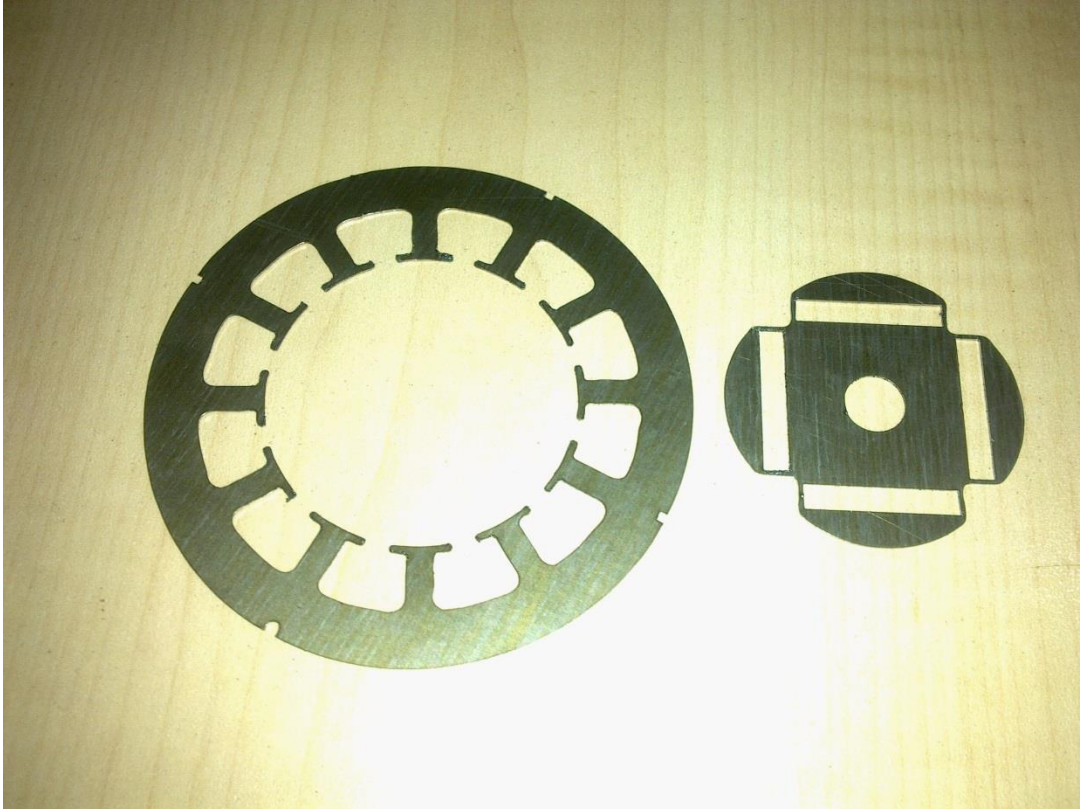
Şekil 5.7: Belirlenen konseptte ait stator ve rotor laminasyon saclarının CAD çizimi.



Şekil 5.8: Belirlenen konseptte ait motorun 3 boyutlu CAD çizimi.

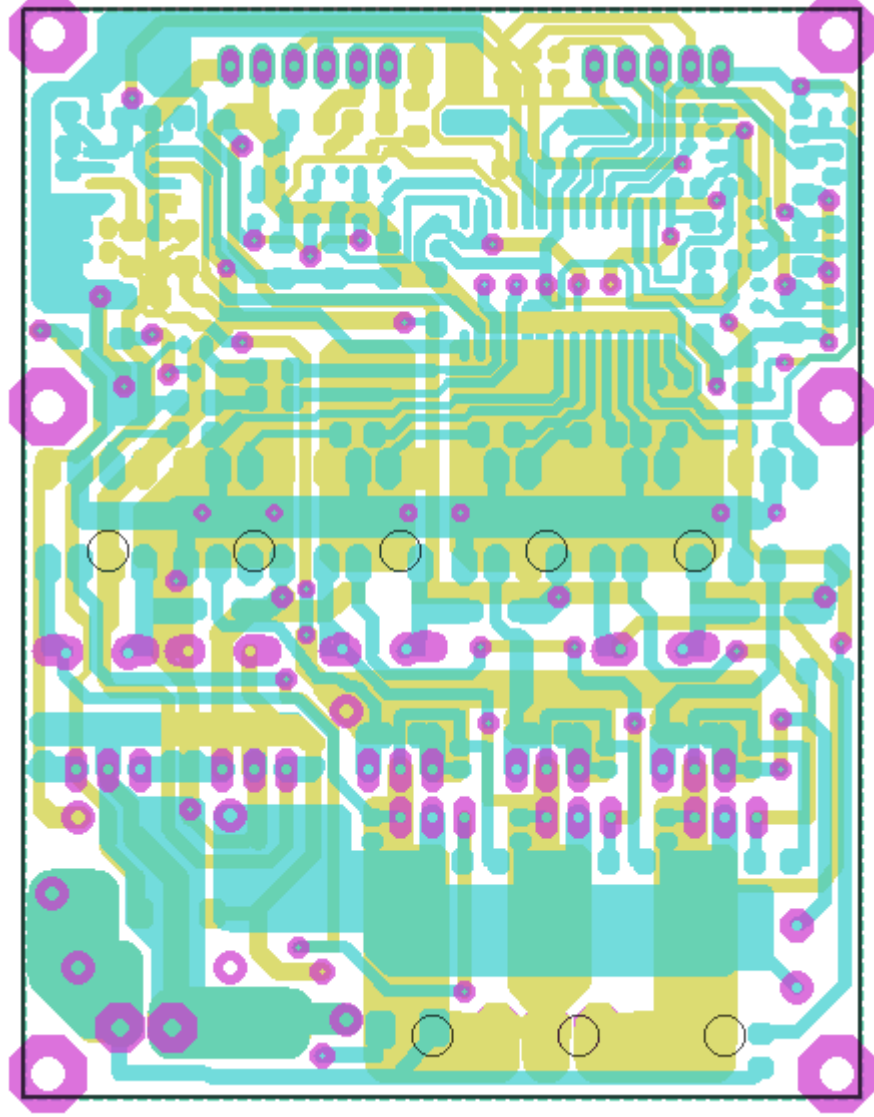


Şekil 5.9: Belirlenen konsepte ait motorun 3 boyutlu CAD çizimi (kesit görünümü).



Şekil 5.10: Belirlenen konsepte ait lazer kesim stator ve rotor laminasyon saclarının fotoğrafı.

Motorun mekanik parçaları tamamlandıktan sonra elektronik sürücü kartı ve hall sensör tasarımına geçilmiştir.



Şekil 5.11: Belirlenen konsepte ait sürücü kartının baskı devre çizimi.

Tasarımı yapılacak olan motorların güçleri belirlenmiş ve belirlenen güçler temel alınarak manyetik analizleri yapılarak tamamlanmıştır. Manyetik analizleri tamamlanan motor için motor kapak ve gövde resimleri çizilmiştir. Ayrıca manyetik analizler ışığında belirlenen rotor ve stator paketleri tel erozyon ile kesilmiştir.

Motor rotorunun konum algılamasında kullanılmak üzere Hall sensör tedarikleri, motor sürücüsü kontrol devresinde kullanılmak üzere mikroişlemci, direnç, kondansatör, potansiyometre, diyot, optokuplör, gibi elektronik malzeme tedarikleri, motor sürücüsü güç devresinde kullanılmak üzere mosfet, röle tedarikleri yapılmıştır. Tasarımı yapılmak üzere belirlenen motorun (Çap76mm – Orta Blower) sac paketleri kalıpta birleştirilip, üretimde var olan Blower motorunun gövdesi ve kapakları kullanılarak ilk prototip imal edilmiştir.



Şekil 5.12: Tasarımı belirlenmiş motora ait fotoğraflar

Mekanik tasarımları tamamlanan motorlar için gerekli konum algılayıcı kartlar tasarlanıp imalatları gerçekleştirilmiştir.

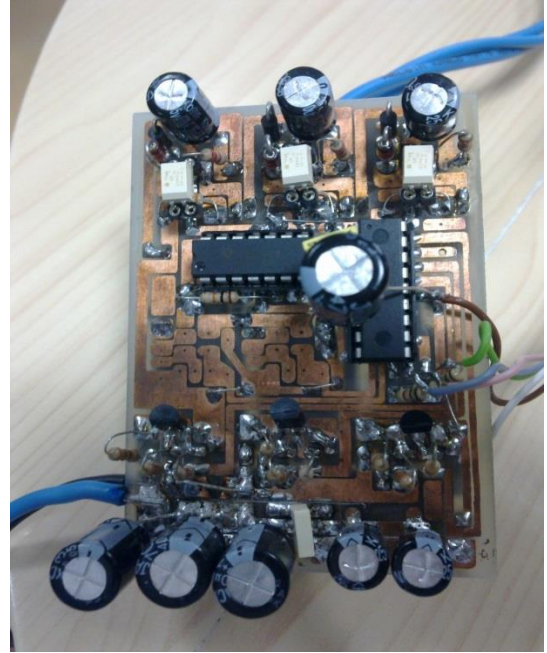
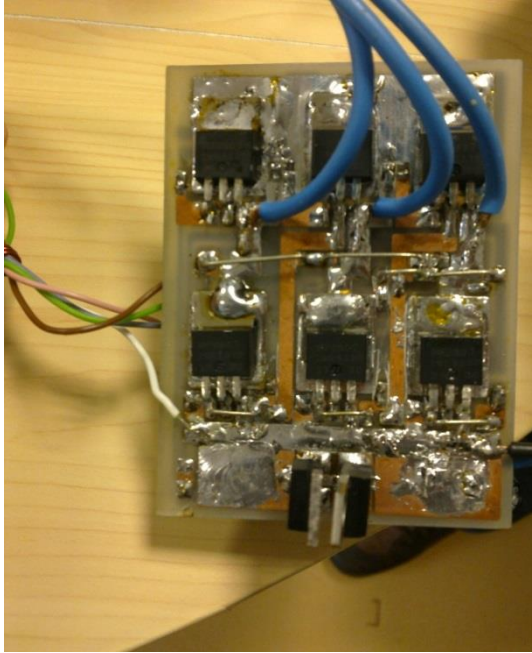


Şekil 5.13: Konum algılayıcı kartının fotoğrafı

İmalatı tamamlanan motorlar için laboratuvar ortamında ilk sürücü kartı prototipi imal edilmiş ve tedarik edilen elektronik malzemeler bu sürücü kartına monte edilmiştir.

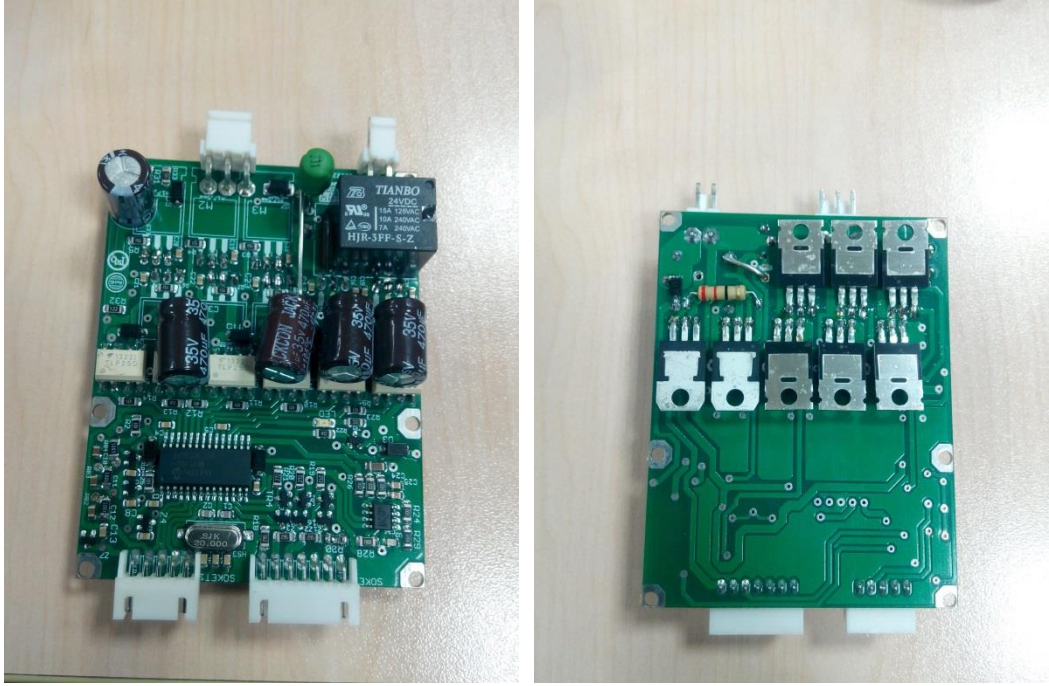


Şekil 5.14: İlk geliştirilen motor sürücü kartlarının baskı devre fotoğrafları.



Şekil 5.15: İlk geliştirilen motor sürücü kartlarının fotoğrafları (Elektronik malzemeli).

İlk geliştirilen sürücü kartındaki kazanımlar ışığında profesyonel anlamda ilk sürücü prototipi imal edilmiştir.



Şekil 5.16: İkinci geliştirilen motor sürücü kartlarının fotoğrafları (Elektronik malzemeli).

Geliştirilen sürücü kartına aşırı akım koruması, düşük – yüksek gerilim koruması, motorun mekanik sıkışmalarda zarar görmemesi için motor kilitlenme koruması, hızlanma ve yavaşlamalar için rampa uygulaması, faz kısa devre koruması, sürücü kartlarının ters gerilime maruz kalmasını engellemek için ters gerilim koruması eklenmiştir. Ayrıca motor devri okunarak kapalı çevrim hız kontrol yazılımı yapılmıştır. Böylece akü gerilimindeki değişimlere karşın motor devri sabit tutulmaktadır. Bunlara ek olarak bir potansiyometre yardımı ile veya bir PWM girişi kullanılarak hız kontrolü yazılımı gerçekleştirilmiştir.

Sürücü kartlarının imalatlarının gerçekleştirilmesinden sonra motorlar için çeşitli yazılım denemeleri gerçekleştirilmiştir. Deneme yazılımların tamamlanmasından sonra motorlar çalıştırılmıştır. Yazılım süreci devam etmekte ve zaman içinde çeşitli güncellemeler yapılmaktadır. Çeşitli testlerden başarılı olan belirlenmiş konsept motora fan ekipmanlarının montajları yapılmıştır. Belirlenmiş konsept motora fan ekipmanları ile birlikte çeşitli testler uygulanmaktadır.

Bu testler;

- Devir Testi
- Ters Polarite Koruma Testi
- Yüksek gerilim testi
- Kısa Devre Koruma Testi
- Ömür testi

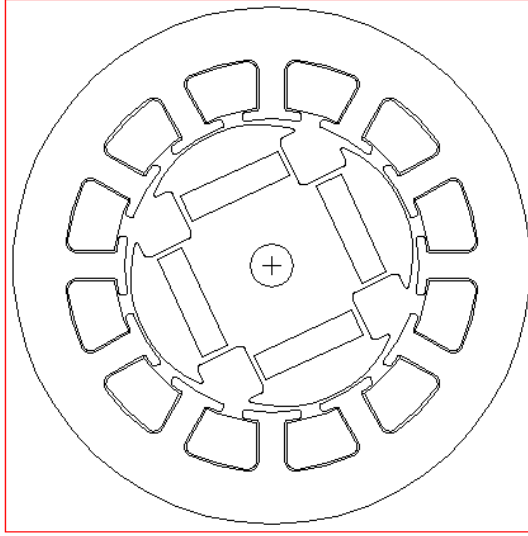


Şekil 5.17: Belirlenen konseptte ait motorun fan takımları ile birlikte fotoğrafı.

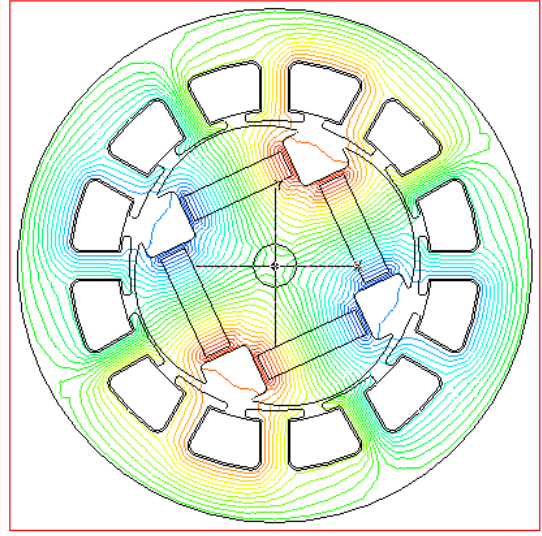
Bundan sonraki aşamada yapılacak testler Sırasıyla, motorların yükleme ünitesinde deneylerinin gerçekleştirilmesi ve motorların yükleme ünitesinde Hız-Moment karakteristiğinin gerçekleştirilmesidir.

5.2.2 Çap 102 mm motor için yapılanlar

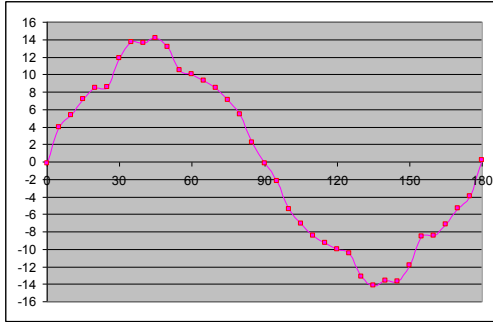
Yassı (aksiyel) fan (Çap:102mm) motoru temel alınarak yapılan taslak Fırçasız Motor çalışmasında toplam 15 farklı durum için simülasyon çalışması yapılmıştır. Manyetik analizi yapılan konseptlerden bazıları aşağıda verilmiştir;



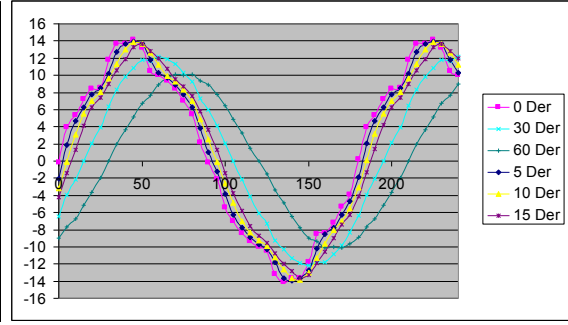
(a)



(b)

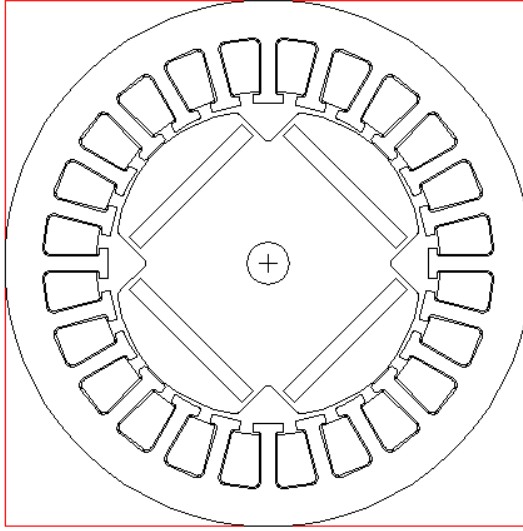


(c)

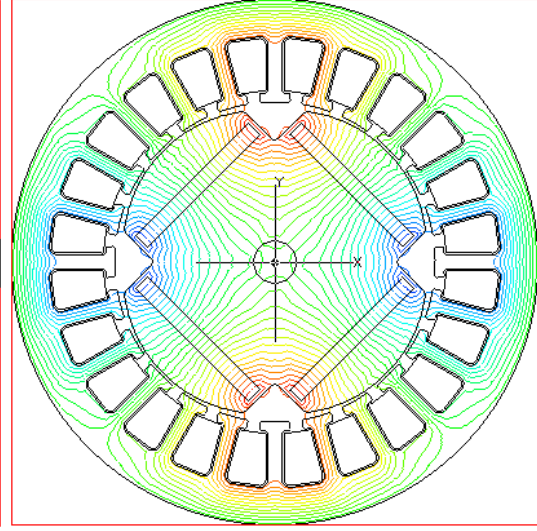


(d)

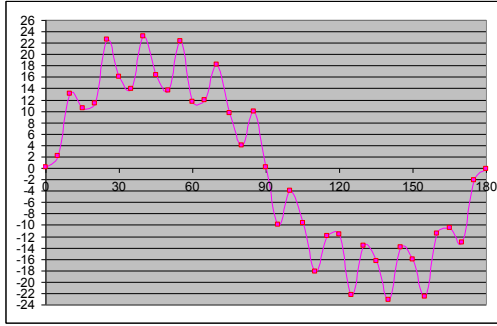
Şekil 5.18: 1 numaralı konsepte ait; a) 1:1 ölçekli CAD çizimi, b) Manyetik analiz sonucunda elde edilen akı dağılımı, c) 5'er derecelik adımlarla elde edilen moment eğrisi, d) 30 ve 60 derecelik burkma sonucunda elde edilen moment eğrisinin değişimi.



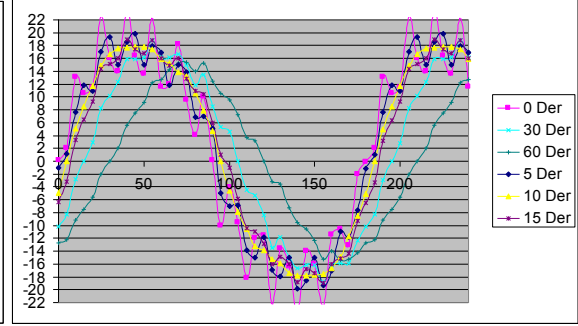
(a)



(b)

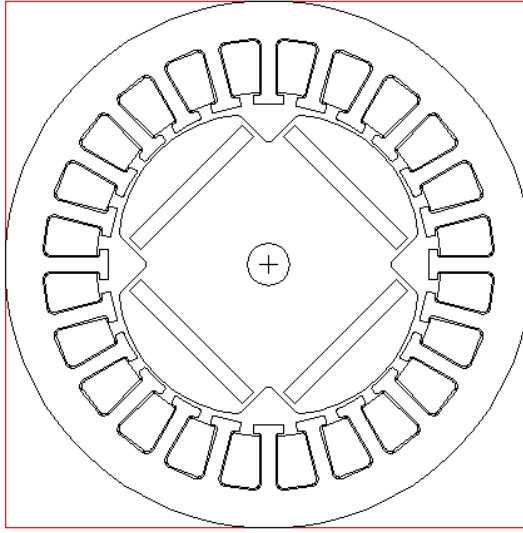


(c)

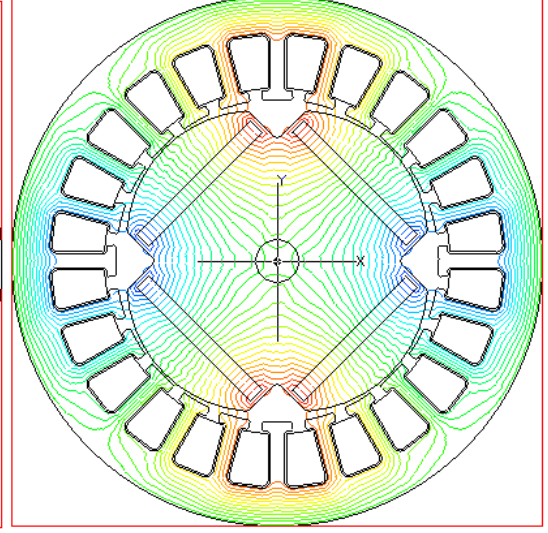


(d)

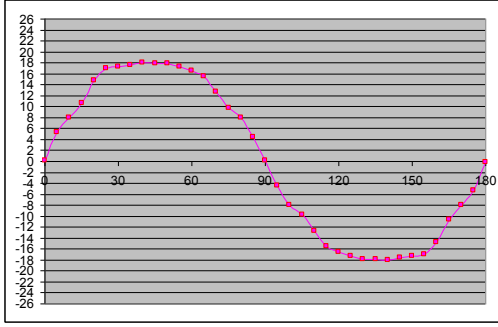
Şekil 5.19: 2 numaralı konseptte ait; a) 1:1 ölçekli CAD çizimi, b) Manyetik analiz sonucunda elde edilen akı dağılımı, c) 5'er derecelik adımlarla elde edilen moment eğrisi, d) 30 ve 60 derecelik burkma sonucunda elde edilen moment eğrisinin değişimi.



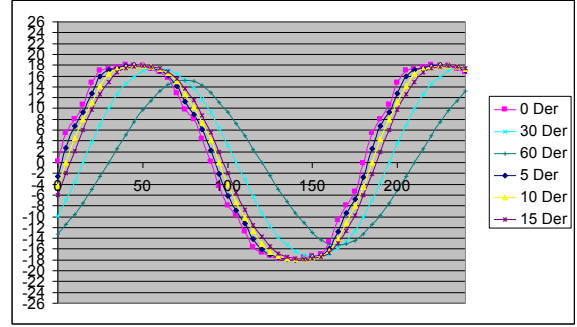
(a)



(b)



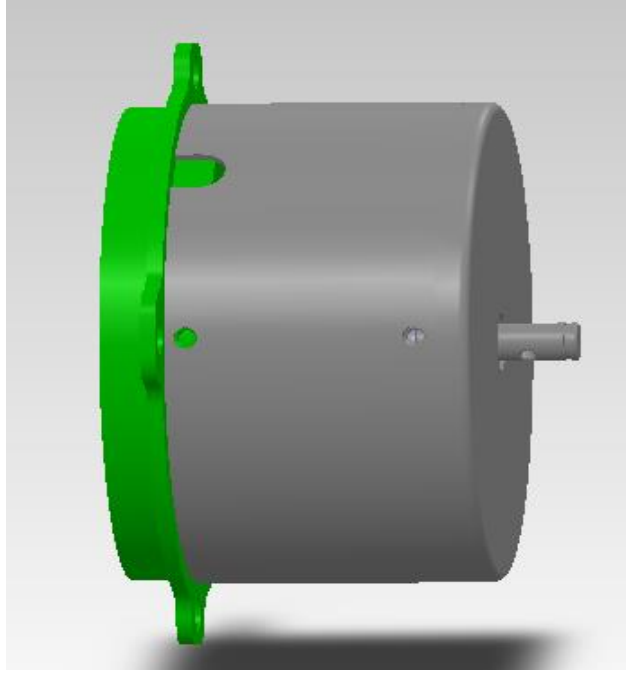
(c)



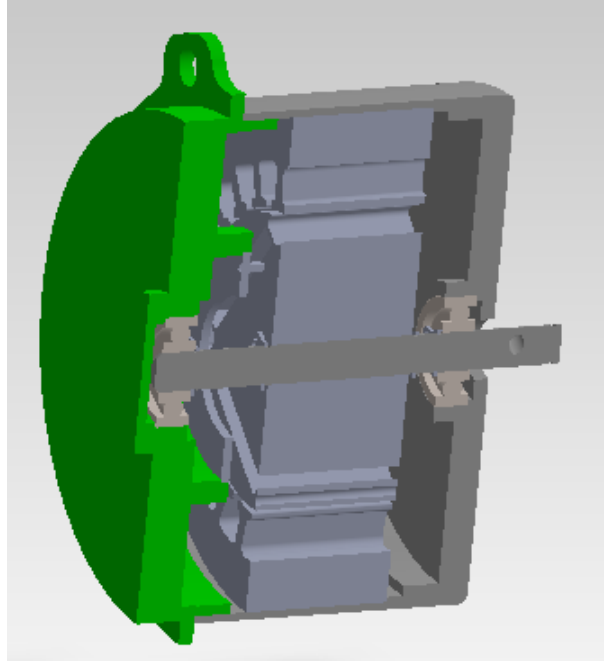
(d)

Şekil 5.20: 3 numaralı konsepte ait; a) 1:1 ölçekli CAD çizimi, b) Manyetik analiz sonucunda elde edilen akı dağılımı, c) 5'er derecelik adımlarla elde edilen moment eğrisi, d) 30 ve 60 derecelik burkma sonucunda elde edilen moment eğrisinin değişimi

Daha sonra Solidworks 3D CAD çizim programı kullanılarak belirlenen motor için de yeni gövde ve kapaklar tasarlanmıştır.



Şekil 5.21: 2 numaralı konseptte ait motorun 3 boyutlu CAD çizimi



Şekil 5.22: 2 numaralı konseptte ait motorun 3 boyutlu CAD çizimi (kesit görünümü).

Tasarlanan gövde ve kapaklar imal edilerek ap102mm – Axiel Fan motor için ikinci prototip imal edilmiştir.

Tasarımda yer alan ap102 mm – Axiel motorun da sac paketleri kalıpta birleştirilip üretimde var olan Axiel motorunun gövdesi ve kapakları kullanılarak 2. Numune motorun (ap102mm – Axiel Fan) ilk prototipi imal edilmiştir.

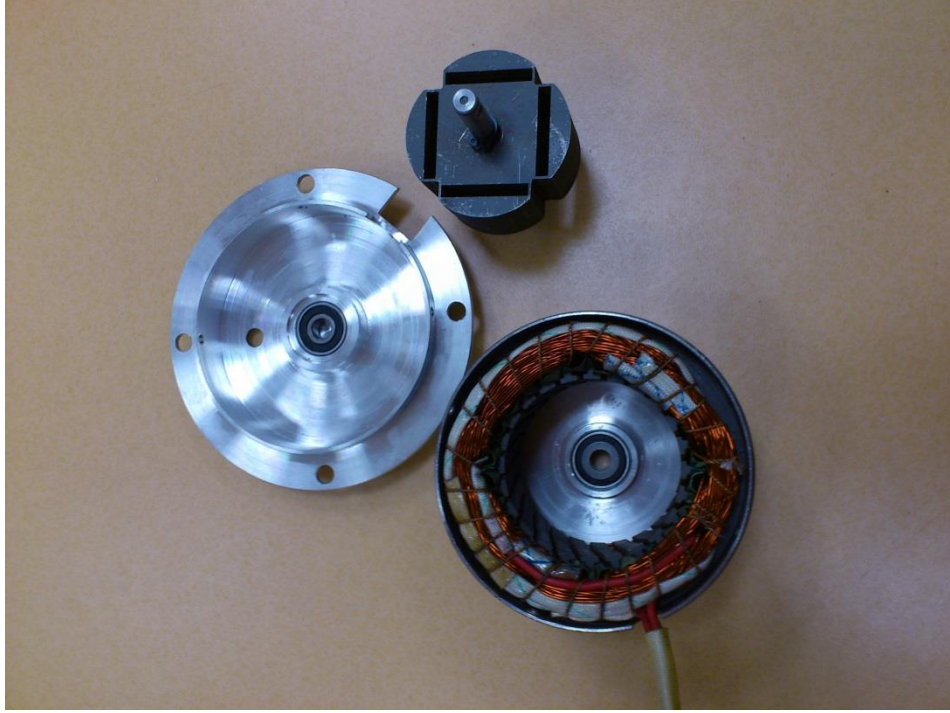


Şekil 5.23: 102mm aksiyel fan motoru



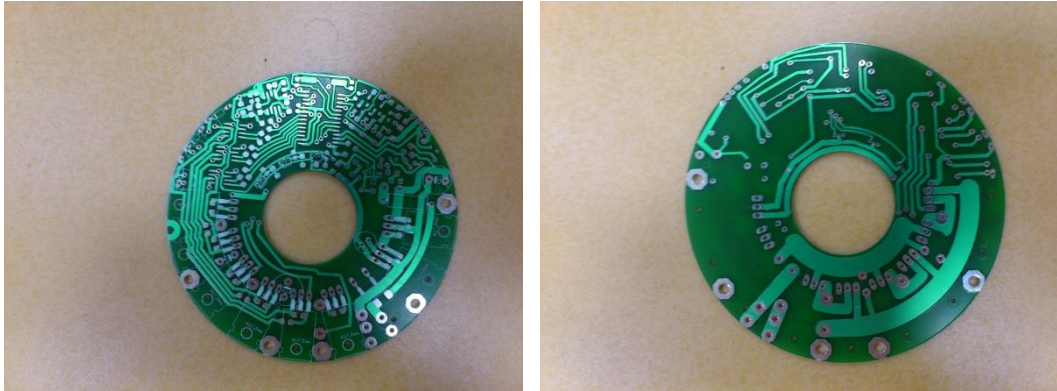
Şekil 5.24: 2 numaralı konsepte ait motorun fotoğrafı

Gövdesi ve kapakları tamamlanan çap 102 mm motoru daha sonra sarım birimine gönderilerek bobinaj işlemi yapılmıştır.



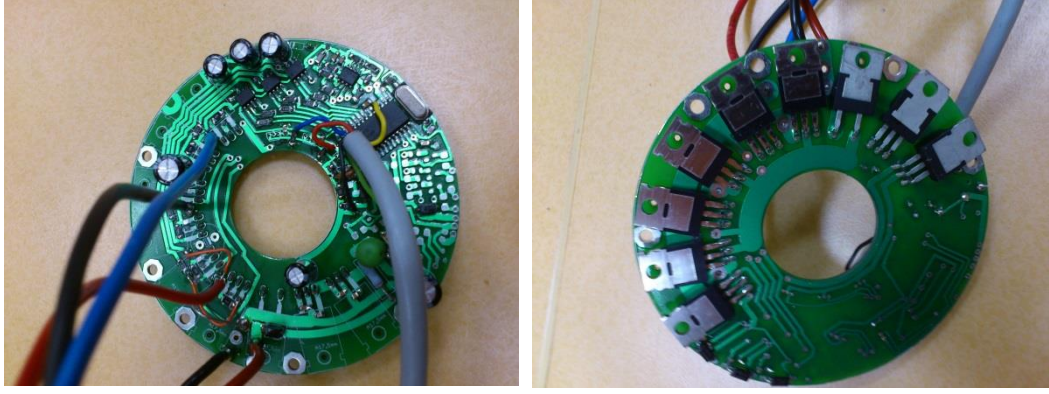
şekil 5.25: ap 102mm motorunun fotoğrafı (Bobinajlı).

ap 102 mm motorunun bobinaj işlemi yapılma esnasında 102 mm motor için gerekli olan sürücü kartı tasarlanmıştır. Çizimi tamamlanan kart daha sonra baskı devre imal eden firmaya gönderilmiş ve imalatı yapılmıştır.



şekil 5.26: ap 102mm motorunun sürücü kartlarının fotoğrafları.

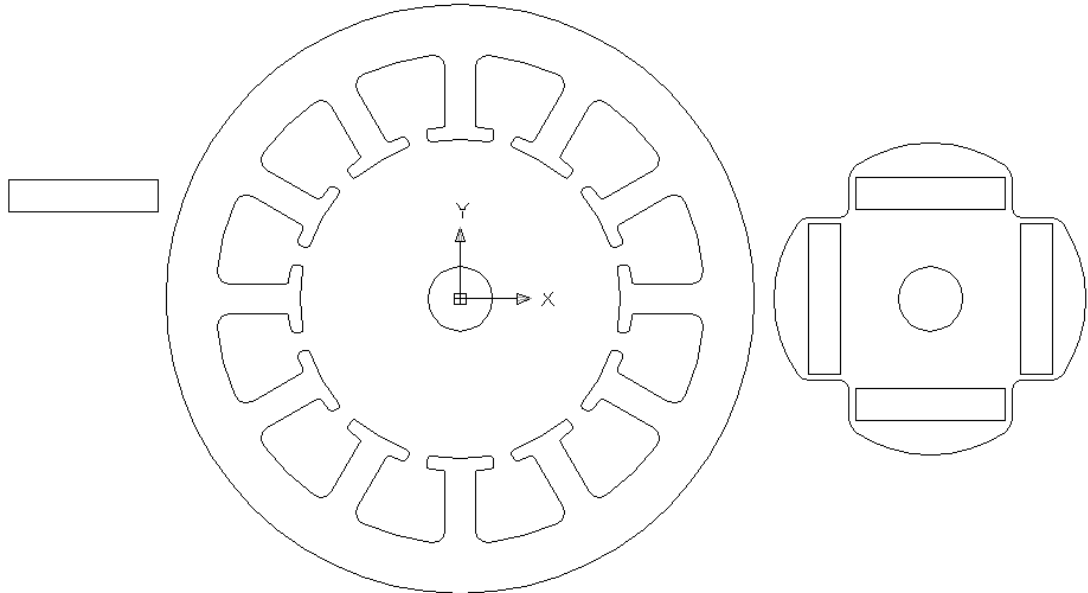
İmalatı tamamlanan kartın elektronik eleman montajları yapılmış ve çalıştırılmıştır. Montajı yapılan sürücü kartı çap 102 mm motor üzerinde denemiş ve sorunsuz çalışmıştır.



Şekil 5.27: Çap 102mm motorunun sürücü kartlarının fotoğrafları (Elektronik malzemeli).

5.2.3 Çap 63mm motor için yapılanlar

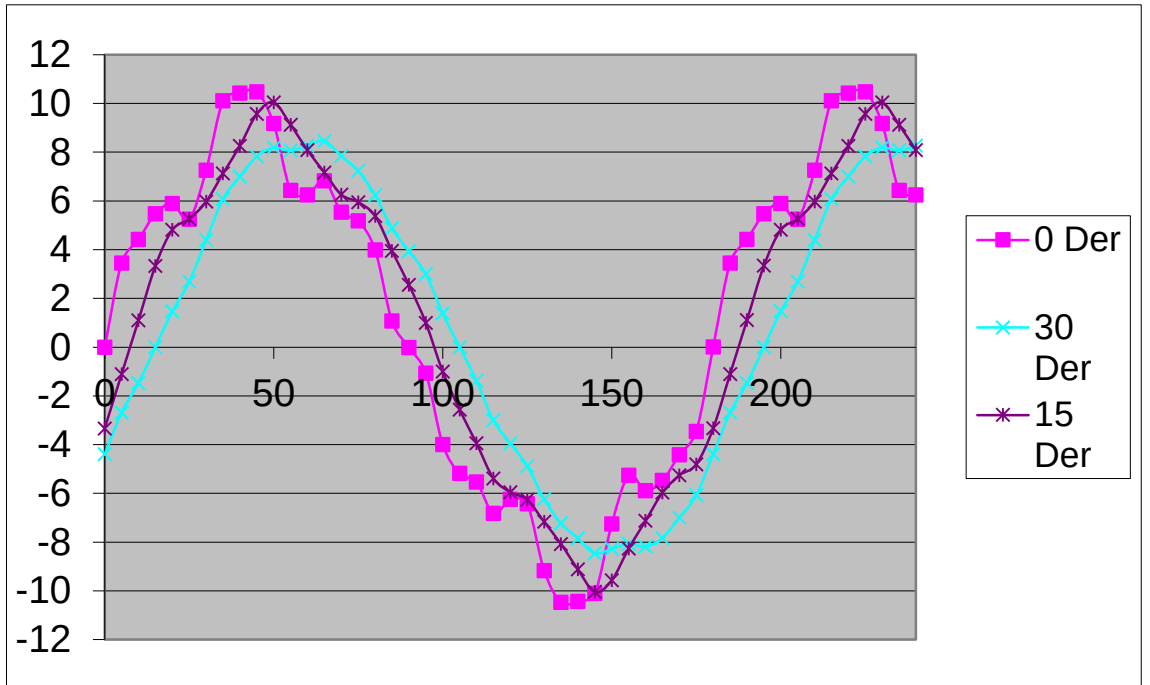
Sonsuz Dişli Redüktörlü Kapı Açma-Kapama (Çap:63 mm) analiz sonuçları ve mekanik resimleri tamamlanmıştır.



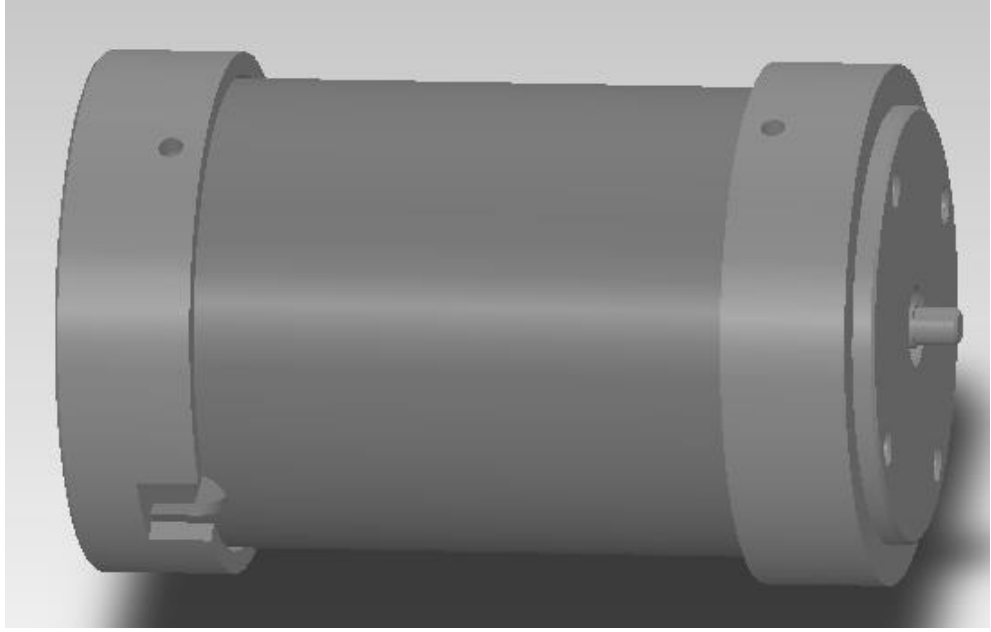
Şekil 5.28: Belirlenen konseptte ait stator ve rotor laminasyon saclarının CAD çizimi.



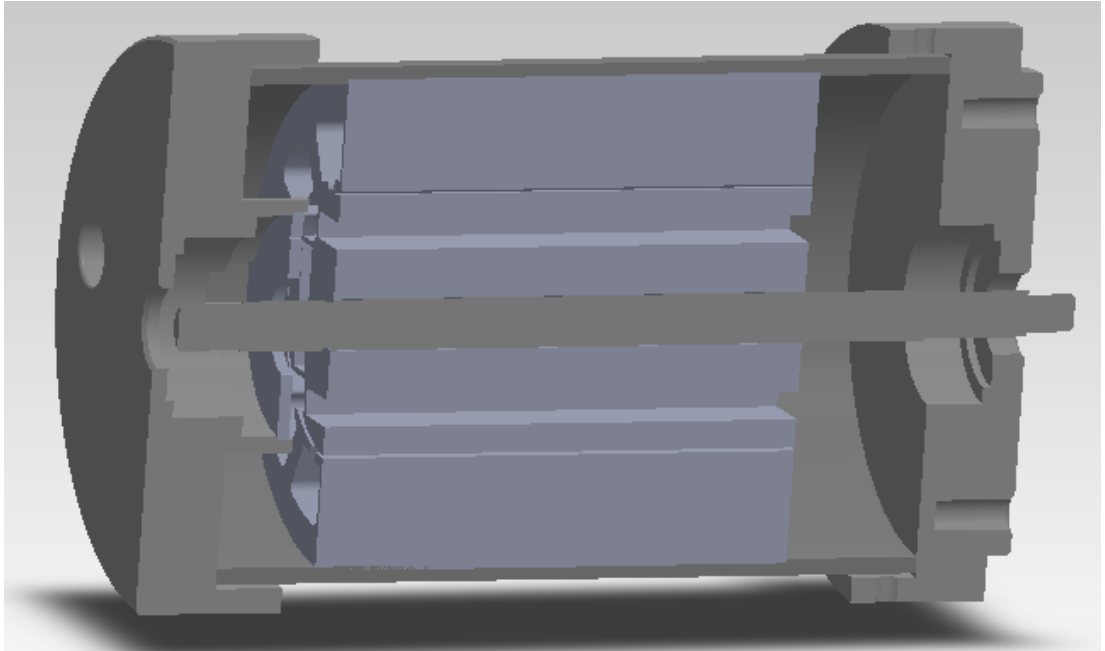
Şekil 5.29: Belirlenen konseptte ait tel erezyon kesim stator ve rotor laminasyon saclarının fotoğrafı.



Şekil 5.30: Belirlenen konseptte ait manyetik analiz sonucunda 5'er derecelik mekanik adımlarla elde edilen moment eğrilerinin değişimi.



Şekil 5.31: Belirlenen konseptte ait motorun 3 boyutlu CAD çizimi.



Şekil 5.32: Belirlenen konseptte ait motorun 3 boyutlu CAD çizimi (kesit görünümü).

Tasarlanan gövde ve kapaklar imal edilerek Çap 63 mm – Redüktörlü motor için ilk prototip imal edilmiştir.

Bu konsept içinde önceden tasarlanmış hall sensör ve sürücü kartı kullanılması uygun bulunmuştur.



Şekil 5.33: Belirlenen konsepte ait motorun fotoğrafı.

5.3 Fırçasız DC Motor Tasarım Çalışmalarının İrdelenmesi

Çap 63 mm Redüktörlü kapı açma-kapama motoru, çap 76 mm blower motoru ve çap 102 mm aksiyel fan motoru için tasarım çalışmaları tamamlanmış, ilk prototip motorlar imal edilmiştir.

Yapılan çalışmalar ve testler sonucunda PIC (mikro işlemci) tabanlı fırçasız DC motor performans verileri, mekanik test sonuçları, ve hafifletilmiş tasarımı ile fırçalı DC motordan daha verimli bir motor olduğunu göstermiştir.

PIC tabanlı fırçasız DC motor hız kontrol olanağına sahip, yüksek devirlere çıkabilen, verimi yüksek, motor fırçası olmadığından ark oluşma problemi olmayan, boyutsal olarak küçük imal edilse de yüksek moment üretebilen, uyarma akımına ihtiyaç duymayan, daha güvenli çalışma ortamı olan, daha sessiz çalışabilen, ısınmanın minimize edildiği vb. özelliklere sahip bir motor olarak imal edilmiştir.

6. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada, ana sanayi ve yan sanayi kuruluşlarının elektrikli fırçalı DC motordan beklentilerini ve şikayetlerini de göz önünde bulundurarak, motor fırçalarının (kömürlerinin) zamanla aşınmasının nedenleri araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda karbon fırçaların standart değerlerine uymadığı ve beklentileri karşılayamadığı tespit edilerek, fırçasız DC motor tasarlanarak bu beklentilerin karşılanabilmesi için çalışmalar yapılmıştır.

Sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

- 1) Ergimiş karbon fırça, yerli yeni karbon fırça ve ithal yeni karbon fırçalardan numuneler alınarak optik mikroskop altında inceleme yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda fırçaların yapısında farklı oranlarda poroz yapı ve empürite gözlenmiştir.
Fırçaların yapısında gözlemlenen poroz yapı ve empüritelerin zamanla kömürün aşınmasında etken parametreler olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, fırçaların yapısında küreselleşmiş grafit yerine dendritik yapıda grafit görülmüştür. Bunun motor fırçalarının ergimesine doğrudan etki ettiği belirlenmiştir.
- 2) Alınan sertlik değer ölçümlerinin DIN IEC 413,303 normlarına göre uygun olmadığı tespit edilmiştir. Normlara göre olması gereken sertlik değer aralığı 15-22 HRC dir. Numune sertlik değerleri ise; ergimiş kömür için 23,2-27,4 vickers aralığında, yerli yeni karbon kömür için 8,1-9 vickers aralığında, ithal yeni karbon kömür için 15-19 vickers aralığında değerler ölçülmüştür
- 3) Yapılan yoğunluk ölçüm testinde elde edilen sonuçların DIN IEC 413,205 normlarına göre uygun olmadığı görülmüştür. Ergimiş motor kömür yoğunluk değerleri 3,03-3,07 g/cm³ aralığında, yerli yeni karbon kömür yoğunluk değerleri 3,01-3,05 g/cm³ aralığında, ithal yeni karbon kömürlerin yoğunluk değerleri ise 2,8-

2,87 g/cm³ aralığında ölçülmüştür. DIN IEC 413,205 standardına göre olması gereken değer aralığı 3,14-3,54 g/cm³ dür.

- 4) Kömür aşınma testinde aynı motor kullanılmış sadece numuneler (kömür tipleri) değiştirilerek, her bir numune 48-100 saat çalıştırılan motorlar sonucunda ölçüme alınmıştır. Aşınma değerleri 0,17 mm-1,06 mm arası değişmiş olup kısa bir süre zarfında kömürdeki aşınma değerlerinin çok yüksek olduğu gözlemlenmiştir.
- 5) Standartlara uygunsuzluk, motor ömrünün az olması ve de ana sanayi ve yan sanayi firmalardan gelen çalışma verileri ve şartnameler sonucunda PIC tabanlı fırçasız DC motor tasarlanması kararlaştırılmıştır.
- 6) PIC tabanlı fırçasız DC motor tasarımı için çap 63 mm gövde Redüktör asansör kapı açma-kapama motoru, çap 76 mm blower motoru ve çap 102 mm aksiyel fan motoru tasarlanmasına karar verilmiştir.
- 7) PIC tabanlı fırçasız motor tasarımı için 40 adet simülasyon çalışması yapılmıştır. Yapılacak motorun konsepti belirlenirken, sarım tekniğine uygun olan akım yoğunluklarının belirlenmesi, mevcut CAD çizimin manyetik analiz programına aktarımı, akım yoğunluğu dikkate alınarak rotorun her 5 derece hareketi için moment değerinin hesaplanması ve akı yoğunluklarının çıkarılması baz alınarak çalışma yapılmıştır.
- 8) Proje kapsamında yer alan motorların simülasyon çalışmalarına devam edilmiş ve her üç motor için moment eğrisi en uygun olan konseptler seçilmiş, stator ve rotor saclarının detaylı teknik resimleri hazırlanmıştır.
- 9) Teknik resimleri tamamlanan stator ve rotor için Saç malzemesi olarak, M470 silisli sac kullanılmasına karar verilmiştir. (mıknatıslanma kabiliyetinin iyileştirilmesi için). M 470 kalite sac tedarik işlemi tamamlandıktan sonra 3 prototip motorun rotor ve stator sacları tel erezyonda kesilmiş, stator ve rotorların gövdeye ve mile montajları yapılmış, sarıma hazır hale getirilmiştir.
- 10) 3 farklı prototip için neodyum mıknatıslar, motor rotorunun konum algılamasında kullanılmak üzere Hall sensör, motor sürücüsü kontrol devresinde kullanılmak üzere mikro işlemci, direnç, kondansatör, potansiyometre, diyot, optokuplör gibi elektronik parçalar, motor sürücüsü güç devresinde kullanılmak üzere mosfet ve röle tedarikleri gerçekleştirilmiştir.

- 11) Mekanik tasarımları tamamlanan motorlar için gerekli konum algılayıcı kartları tasarlanıp imalatları gerçekleştirilmiştir. İmalatı tamamlanan motorlar için laboratuvar ortamında ilk sürücü kartı prototipi imal edilmiş ve tedarik edilen elektronik malzemeler bu sürücü kartına monte edilmiştir.
- 12) İlk prototip ürün üretilmiş ve sürücü kartıyla testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan testlerde ve sonrasında yapılan düzeltici faaliyetlerle motor ve sürücü kartın sorunsuz çalışması sağlanmış ve kısa süreli testlerden geçirilmiştir. Hem kademe anahtarı hem de PWM sinyali ile kartın çalışabilmesi sağlanmış, istenmesi durumunda potansiyometre ile dahi motorun kumanda edilmesi gibi özellikler kart üzerine eklenmiştir.
- 13) 3 ayrı prototip tork testine tabi tutulmuş fırçasız DC motor çap 63 mm redüktör motorunun tork değeri 18,45 Nm iken, fırçalı DC motor tork değeri 12,95 Nm değerinde kalmıştır. Fırçasız DC motor çap 76mm blower motorunun tork değeri 3,27 Nm iken fırçalı DC motor tork değeri 0,93 Nm değerinde kalmıştır. Fırçasız DC motor çap 102 mm aksiyel fan motorunun tork değeri 5,63 Nm iken, fırçalı DC motor tork değeri 2,46 Nm olarak ölçülmüştür. Bu değerler kıyaslandığında fırçasız DC motorların mekanik güç üstünlükleri açıkça görülmektedir.
- 14) İmalatı yapılan fırçasız DC motorlar kullanılacağı ünitelere takılarak yük altında testleri yapılmıştır. 3 ayrı model en fazla yüke sahip olan ünitelere takılmıştır.
- Çap 76 mm motorlarımız Blower ünitelerinde (Ticari araç klimalarında evaporatör fanı olarak)
 - Çap 102 mm motorlarımız Aksiyel Ünitelerinde (Ticari araç klimalarında kondenser fanı olarak)
 - Çap 63 mm motorlarımız ise Asansör redüktörlü motor uygulamalarında kullanılacaktır.

7. ÖNERİLER

Performans eğrileri, 3 farklı yeni tip fırçasız motorun fırçalı motorlara göre daha üstün değerler vermesi bu ürünlerin endüstriyel kullanıma uygun olduğunu göstermiş, yapılan testler ve elde edilen veriler ise bunu desteklemiştir.

Ancak bu yeni ürünlerin ana sanayi ve yan sanayi kuruluşlarına tanıtılarak, motorların sahadaki deneme sürecinin başlatılması, bu süreç çıktılarının geri bildirim olarak kabul edilmesi ve düzeltici faaliyetlerde bulunulmasının sağlanması tarafımızdan önerilmektedir.

8. EKLER

Tablo A1: 0.3 mm Emaye Tel Test Raporu

 EMTEL Emaye Tel & Kablo Sanayi A.Ş.		Yuvarlak Emaye Bobin Teli KALİTE KONTROL TEST RAPORU Round Enamel Ins. Copper Wire QUALITY CONTROL TEST REPORT										Form No FP.08.09 Yayın Tarihi 01.10.2005					
		MAKİNE NUMARASI Machine Number		SINIF Class		MÜŞTERİ Customer		KORMAS		VERNİK		ELENTAS 533 + 8132		MAKARA Spool Type		İŞ EMRİ NO Command Number	
TARİH / Date 19.11.2014		ÇAP (mm) Nominal Dia 0.300mm		HCO		STANDART		TS8533EN60317-13		VİSKOZİTE / Viscosity KATI MADDE / Solid Content		%39 + 32		DIN46399 A250/400		47	
TANIMLAMA ADLARI Name of Presentation		METRİK DEĞERLER / Metrical Value		MEKANİK DEĞERLER / Mechanical Value		ELEKTRİKSEL DEĞERLER / Electrical Value		ISI DEĞERLER / Thermal Value		KİMYASAL DEĞERLER / Chemical Value		SONUÇ Result		KABUL/RET Accept Reject		KABUL/RET Accept Reject	
STANDART DEĞERLER Standard Values		ÇAP ÖLÇÜMÜ Dimensions (mm) Bakır Çapı Bare wire Dia		ÇAP ÖLÇÜMÜ Dimensions (mm) Bakır Çapı Bare wire Dia		ÇAP ÖLÇÜMÜ Dimensions (mm) Bakır Çapı Bare wire Dia		ÇAP ÖLÇÜMÜ Dimensions (mm) Bakır Çapı Bare wire Dia		ÇAP ÖLÇÜMÜ Dimensions (mm) Bakır Çapı Bare wire Dia		ÇAP ÖLÇÜMÜ Dimensions (mm) Bakır Çapı Bare wire Dia		ÇAP ÖLÇÜMÜ Dimensions (mm) Bakır Çapı Bare wire Dia		ÇAP ÖLÇÜMÜ Dimensions (mm) Bakır Çapı Bare wire Dia	
Mik. No Spool Nr.		Vrd. No Line Nr.		1 1		0.300 0.301 0.344 0.347		42 44 44 44		9.6 9.6 9.6 9.6		11700 11800 11800 11800		0.2414 0.2414 0.2414 0.2414		OK OK OK OK	
NOT VE ÖZEL İSTEKLER Special Desire & Notes		RAPORU DÜZENLEYEN Report organizer		E.KOÇ		(*) AÇIKLAMA / Explanation 1- Neme Direnci / Humidity Resistance 2- Soğuk Gaz Direnci / F22 Resistance 3- Tutarlı Yalıtım veya Polyester İzolasyona Transformatör Yağı veya Polyester İzolasyona Resistance.		BEKİR ÇAMIR K.K.L. ŞEFLİ		ONAY Approval		OK OK OK OK		OK OK OK OK		OK OK OK OK	

Tablo A2: 0.4 Emaye Tel Test Raporu

 EMTEL Emaye Tel & Kablo Sanayi A.Ş.		Yuvarlak Emaye Bobin Teli KALİTE KONTROL TEST RAPORU Round Enamel Ins. Copper Wire QUALITY CONTROL TEST REPORT										Form No FP.08.09													
		MAKİNE NUMARASI Machine Number		SINIF Class		MÜŞTERİ Customer		KORMAS		VERNİK		MARKA / Trade NO / Number VİSKOZİTE / Viscosity KATI MADDE / Solid Content		ELENTAS 533 + 8132		MAKARA Tipi Spool Type		İŞ EMİRİ NO Command Number							
TARİH / Date 14.11.2014		ÇAP (mm) Nominal Dia 0,400mm		HCO		STANDART		TS8533EN60317-13		%39 + 32		DIN46399 A250/400		46		SONUÇ Result									
TANIMLAMA ADLARI Name of Presentation		METRİK DEĞERLER / Metrical Value		MEKANİK DEĞERLER / Mechanical Value		ELEKTRİKSEL DEĞERLER / Electrical Value		ISI DEĞERLER / Thermal Value		KİMYASAL DEĞERLER / Chemical Value		KABUL/RET Accept Reject		BAKINIZ (?) Please Look		SONUÇ Result									
STANDART DEĞERLER Standard Values		ÇAP ÖLÇÜMÜ Dimensions (mm) Bakır Çapı Bare wire Dia Min. 0,395 Max. 0,405 Emayeli Çap Ins. Dia Min. 0,440 Max. 0,459		UZAMA Elongation Min. 24 %		GERİ YAYLANIM A Spring back n 50		KAZIMA DİRENÇ Abrasion Res Kg / N 6,60		SOYULMA DİRENÇİ Peel Resistance ANI KOPMA Jerk Test Bur Ad-Tm. Nr.		VOLTAJ DAYANIMI Break Down Voltage Min 4400		HATA TESTİ Fault Test Pinol Nr.		DC DİRENÇİ DC Resistance Ω/m Min/Max. 0,1316 / 0,1407		ISI SÖKÜ Heat shock C / h 2201/2 200 320		ISI İLE ESKİME Thermal Endurance e C / h 2201/2 200 320		YUMUŞ. ISI Trg & Curve Softness Temp. C		SONUÇ Result	
Mkr.No Spool Nr.		Vrd. Shift		Hat No Line Nr.		1 1 1		1 1 1		1 1 1		1 1 1		1 1 1		1 1 1		1 1 1		1 1 1					
NOT VE ÖZEL İSTEKLER Special Desire & Notes		RAPORU DÜZENLEYEN Report organizer		ONAY Approval		BEKİR ÇAM K.K.L ŞEFLİ		B.ÇAM		(*) AÇIKLAMA / Explanation 1- Neme Direnç / Humidity Resistance 2- Soğuk Gazı Direnç / F22 Resistance 3- Tırla Yağı veya Polyester İzolasyona Transformatör Oil or Polyester Insulation - Resistance.		OK		OK		OK		OK		OK					

Tablo A4: 0.6 Emaye Tel Test Raporu

 EMTEL Emaye Tel & Kablo Sanayi A.Ş.	Yuvarlak Emaye Bobin Teli KALİTE KONTROL TEST RAPORU Round Enamel Ins. Copper Wire QUALITY CONTROL TEST REPORT										Form No FP.08.09 01.10.2005 00 00 1 / 1		
	MAKİNE NUMARASI Machine Number		MÜŞTERİ Customer	SINIF Class	ÇAP (mm) Nominal Dia	KORMAS	VERNİK	MARKA / Trade NO / Number	ELENTAS 533 + 8132	MAKARA TIPI Spool Type	İŞ EMRİ NO Command Number		
	TARİH / Date 19.11.2014		STANDART	HCO	0600mm	TS8533EN60317-13	VİSKOZİTE / Viscosity KATI MADDE / Solid Content			DİM4399 A250/400	47		
TANIMLAMA ADLARI Name of Presentation	METRİK DEĞERLER / Metrical Value										KİMYASAL DEĞERLER Chemical Value		SONUÇ Result
STANDART DEĞERLER Standart Values	ÇAP ÖLÇÜMÜ Dimensions (mm)		GERİ YAYLANMA A Spring back		KAZIMA DİRENÇİ Abrasion Res		SOYULMA DİRENÇİ Peel Resistance		ELEKTRİKSEL DEĞERLER / Electrical Value		İSİL DEĞERLER / Thermal Value		
	Bakır Çapı Bare wire Dia	Emaye Çap Ins. Dia	UZAMA Elongation %	YAYLANMA A Spring back	ABRASYON Abrasion Res	SOYULMA Peel Resistance	YAYLANMA A Spring back	YAYLANMA A Spring back	ISIL ISIRMA Temperatures Endurance Shock	ISİL ISIRMA Temperatures Endurance Shock	YUMUŞ. ING & CURVE Softness Temp.	BAKIMIZ (*) Please Look	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
FİRMAMIZCA ÖLÇÜLEN TEST DEĞERLERİ / Our Firm Measurement Test Value													
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
NOT VE ÖZEL İSTEKLER Special Desire & Notes													
RAPORU DÜZENLEYEN Report organizer													
ONAY Approval													
BEKİR ÇAM K.K.L. ŞEĞİ													
E. KOÇ													
(*) AÇIKLAMA / Explanation													
1- Name Dirnc / Humidity Resistance													
2- Soğuk Gazı Dirnc / F22 Resistance													
3- Teflon Yağı veya Polyester İzolasyona Transformer Oil or Polyester Insulation - Resistance													

Tablo A5: 0.7 Emaye Tel Test Raporu

 EMTEL Emaye Tel & Kablo Sanayi A.Ş.		Yuvarlak Emaye Bobin Teli										Form No		FP.08.09																			
		KALİTE KONTROL TEST RAPORU Round Enamel Ins. Copper Wire										Yayın Tarihi		01.10.2005																			
MAKİNE NUMARASI Machine Number		QUALITY CONTROL TEST REPORT										Revizyon No		00																			
												Revizyon Tarihi		00																			
TARİH / Date		14.11.2014										Sayfa No		1 / 1																			
TARİH / Date		SINIF Class		MÜŞTERİ Customer		KORMAS		VERNİK		MARKA / Trade		ELENTAS		MAKARA Tipi		İŞ EMRİ NO Command Number																	
		HCO		STANDART		TS8633EN60317-13				NO / Number		533 + 8132		A250/400		46																	
										VİSKOZİTE / Viscosity																							
										KATI MADDE / Solid Content		%39 + 32																					
TANIMLAMA ADLARI Name of Presentation		METRİK DEĞERLER / Metrical Value				MEKANİK DEĞERLER / Mechanical Value				ELEKTRİKSEL DEĞERLER / Electrical Value				ISIL DEĞERLER / Thermal Value				KİMYASAL DEĞERLER / Chemical Value				SONUÇ Result											
		ÇAP ÖLÇÜMÜ Dimensions (mm)		UZAMA Elongation		GERİ YAYLANIM A Spring back		KAZIMA DİRENÇİ Abrasion Res		SOYULMA DİRENÇİ Peel Resistance		VOLTAJ DAYANIMI Break Down Voltage		HATA TESTİ Fault Test		DC DİRENÇİ DC Resistance		ISI SÖKÜ Heat Shock		ISIL ESKİME Thermal Trg & Curve				YUMUŞ. İSİSİ Softness Temp.									
STANDART DEĞERLER Standard Values		Min. 0.683		Max. 0.707		Min. 0.753		Max. 0.779		Min. 28		Max. 48		Min. 8.85		Max. 14.500		Min. 0.04334		Max. 0.04610		Min. 220/72		Max. 320		Min. 200		Max. 320		Min. 200		Max. 320	
		0.702		0.703		0.771		0.772		42		44		15.8		OK		14500		14600		OK		OK		OK		OK		OK		OK	
NOT VE ÖZEL İSTEKLER Special Desire & Notes		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1	
(*) AÇIKLAMA / Explanation		RAPORU DÜZENLEYEN Report organizer										B.ÇAM																					
		ONAY Approval										BEKİR ÇAM K.K.L ŞEFİ																					
NOT VE ÖZEL İSTEKLER Special Desire & Notes																																	

Tablo B1: 6063 Kalite Alüminyum Motor Gövdesi Test Raporu



**ANALİZ SERTİFİKASI
CERTIFICATE OF ANALYSIS
TS EN 10204 TİP 3.1.**

MÜŞTERİ: GALMAK ALM.SAN. TİC.LDT. ŞTİ.	Tarih ve Yer Date and Place	30/08/2014
GÜZELLER ORG.SAN. BÖL. FATİHSULTAN	Sertifika No Certificate No	043
MEHMET CAD.NO:3 GEBZE/KOCAELİ	İrsaliye No Waybill No	635591
TEL: 751 15 57	Sipariş No Order number	037
<u>FAX: 751 15 60</u>	Mamul Adı / HOMOJENİZASYON	EKSTRÜZYON BİYET H O

Tanımlama Description	Alaşım Alloy	Döküm No Charge No	Biyet Çapı(mm) Biyet Boyu (mm)	BİYET SAYISI ADET	Toplam Ağırlık (kg) Total Weight (kg)
DIN EN 573-3	6063	690	152*6000	*	10375

**KİMYASAL BİLEŞİM % AĞIRLIĞI
CHEMICAL COMPOSITION WEIGHT %**

Elementler Elements		<i>Si</i>	<i>Fe</i>	<i>Cu</i>	<i>Mn</i>	<i>Mg</i>	<i>Zn</i>	<i>Ti</i>	<i>Cr</i>	<i>Pb</i>
STANDART STANDARD	<i>Min</i>	0.20				0.45				
	<i>Max</i>	0.60	0.35	0.10	0.10	0.90	0.10	0.10	0.10	-

**KİMYASAL ANALİZ SONUCU %
CHEMICAL ANALYSIS RESULT %**

No	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Cr
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0,434	0,227	0,015	0,025	0,500	0,019	0,005	0,004
No	Pb	Sn	Ti	Na	Sr	V	Zr	Al
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0,001	0,001	0,015	0,001	0,001	0,012	0,001	98,739

** Bu kimyasal analiz SPECTRO LAB M10 cihazı ile yapılmıştır.*

Yetkili İmza
Authorized Inspector

Onaylayan
Approved by

END ALÜMİNYUM METAL MAKİNA KİMYA SAN. TİC. LTD. ŞTİ.

GOSB Mollafenari Yolu Pelitli Köyü Girişi Gebze - KOCAELİ Tel:+90 262 751 31 64 (5 Hat)
Fax:+90 262 751 08 97 İlyasbey V.D 323 017 1229

F 8.2.4-3 Rev.00

www.endaluminum.com

Tablo C1: Çelik Boru Test Raporu-1

Sertifika No
H0055006

14.11.2014

MILL TEST SERTİFİKASI

EN 10204 3.1

**BORUSAN
MANNESMANN**

Malzeme
E235
Müşteri siparişleri : 011685
Müşteri Sipariş No:

Teslim Koşulları : *C
Müşteri kontratları :

Standard : EN10305-2
Müşteri adı : KORMAS

Savkışık : 307391539
Örün açıklaması: Dikgü Hassas Borular

No	Müşteri Ürün Kodu	Rapor No	Çap [mm]	Et Kal [mm]	Boy [mm]	Adet	Metre	Kg	DE	F	NDT	VD
1		R140801938	76,00	2,50	6.006,00	32	192,19	848,00	OK	OK	OK	OK
2		R140801938	76,00	2,50	6.126,00	37	226,66	1.000,00	OK	OK	OK	OK
3		R140801938	76,00	2,50	6.150,00	37	227,55	1.004,00	OK	OK	OK	OK
4		R140801938	76,00	2,50	6.198,00	37	229,36	1.012,00	OK	OK	OK	OK
5		R140900914	102,00	2,50	5.971,00	19	113,45	685,00	OK	OK	OK	OK
6		R140900914	102,00	2,50	5.988,00	19	113,77	687,00	OK	OK	OK	OK
7		R140900914	102,00	2,50	5.997,00	19	113,84	688,00	OK	OK	OK	OK
8		R140900914	102,00	2,50	6.003,00	28	168,08	1.015,00	OK	OK	OK	OK
9		R140900914	102,00	2,50	6.006,00	38	228,22	1.378,00	OK	OK	OK	OK
10		R140900914	102,00	2,50	6.023,00	19	114,44	691,00	OK	OK	OK	OK
11		R141001723	76,00	2,50	6.016,00	35	210,56	926,00	OK	OK	OK	OK
12		R141001723	76,00	2,50	6.029,00	74	446,14	1.962,00	OK	OK	OK	OK
13		R141001723	76,00	2,50	6.035,00	37	223,29	982,00	OK	OK	OK	OK
14		R141001723	76,00	2,50	6.042,00	74	447,10	1.966,00	OK	OK	OK	OK

No	Döküm no	Rapor No	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Al	%V	%Nb	%Ti
1	İstenen	---	17(max)	35(max)	120(max)	25(max)	25(max)	15(min)	---	---	---
1	Bulunan	R140801938	7,4	1,7	46,1	7,8	10,3	49,7	3,8	0,0	0,7
2	İstenen	---	17(max)	35(max)	120(max)	25(max)	25(max)	15(min)	---	---	---
2	Bulunan	R140801938	7,4	1,7	46,1	7,8	10,3	49,7	3,8	0,0	0,7
3	İstenen	---	17(max)	35(max)	120(max)	25(max)	25(max)	15(min)	---	---	---
3	Bulunan	R140801938	7,4	1,7	46,1	7,8	10,3	49,7	3,8	0,0	0,7
4	İstenen	---	17(max)	35(max)	120(max)	25(max)	25(max)	15(min)	---	---	---
4	Bulunan	R140801938	7,4	1,7	46,1	7,8	10,3	49,7	3,8	0,0	0,7
5	İstenen	---	17(max)	35(max)	120(max)	25(max)	25(max)	15(min)	---	---	---
5	Bulunan	R140900914	4,6	1,2	27,6	7,5	6,8	40,7	5,7	7,4	1,0
6	İstenen	---	17(max)	35(max)	120(max)	25(max)	25(max)	15(min)	---	---	---
6	Bulunan	R140900914	4,6	1,2	27,6	7,5	6,8	40,7	5,7	7,4	1,0
7	İstenen	---	17(max)	35(max)	120(max)	25(max)	25(max)	15(min)	---	---	---
7	Bulunan	R140900914	4,6	1,2	27,6	7,5	6,8	40,7	5,7	7,4	1,0
8	İstenen	---	17(max)	35(max)	120(max)	25(max)	25(max)	15(min)	---	---	---
8	Bulunan	R140900914	4,6	1,2	27,6	7,5	6,8	40,7	5,7	7,4	1,0
9	İstenen	---	17(max)	35(max)	120(max)	25(max)	25(max)	15(min)	---	---	---
9	Bulunan	R140900914	4,6	1,2	27,6	7,5	6,8	40,7	5,7	7,4	1,0
10	İstenen	---	17(max)	35(max)	120(max)	25(max)	25(max)	15(min)	---	---	---
10	Bulunan	R140900914	4,6	1,2	27,6	7,5	6,8	40,7	5,7	7,4	1,0
11	İstenen	---	17(max)	35(max)	120(max)	25(max)	25(max)	15(min)	---	---	---
11	Bulunan	D14114751	8,5	0,6	57,0	11,6	10,8	59,1	0,0	0,0	0,3

Adi
QUALITY MANAGER
KALİTE MÜDÜRÜ

Tablo C2: Çelik Boru Test Raporu-2

Sertifika No H0055006

14.11.2014

Malzeme E235
Müşteri sipariş : 011685
Müşteri Sipariş No:

MILL TEST SERTİFİKASI

EN 10204 3.1

**BORUSAN
MANNESMANN**

Seri/İşletme No : 307391539
Ürün açıklaması: Dikgöçl. Hassas Borular
Standard : EN10905-2
Müşteri adı : KORMAS

Teslim Koşulu : +C
Müşteri kontrolü :

No.	İstenen	Bulunan	Döküm no	Rapor No	%C	%SI	%Mn	%P	%S	%Al	%V	%Nb	%Ti
12	İstenen	---	---	---	17(max)	35(max)	120(max)	25(max)	25(max)	15(min)	---	---	---
12	Bulunan	D14114751	---	R141001723	8,5	0,6	57,0	11,6	10,8	59,1	0,0	0,0	0,3
13	İstenen	---	---	---	17(max)	35(max)	120(max)	25(max)	25(max)	15(min)	---	---	---
13	Bulunan	D14114751	---	R141001723	8,5	0,6	57,0	11,6	10,8	59,1	0,0	0,0	0,3
14	İstenen	---	---	---	17(max)	35(max)	120(max)	25(max)	25(max)	15(min)	---	---	---
14	Bulunan	D14114751	---	R141001723	8,5	0,6	57,0	11,6	10,8	59,1	0,0	0,0	0,3

No.	İstenen	Bulunan	Döküm no	Rapor No	Re MPa	Rm MPa	A [%]	Test Numarası Formu
1	İstenen	---	---	---	---	490(min)	6(min)	---
1	Bulunan	523931B	---	R140801938	548,0	573,0	13,0	Şerit
2	İstenen	---	---	---	548,0	490(min)	6(min)	---
2	Bulunan	523931B	---	R140801938	548,0	573,0	13,0	Şerit
3	İstenen	---	---	---	548,0	490(min)	6(min)	---
3	Bulunan	523931B	---	R140801938	548,0	573,0	13,0	Şerit
4	İstenen	---	---	---	548,0	490(min)	6(min)	---
4	Bulunan	523931B	---	R140801938	548,0	573,0	13,0	Şerit
5	İstenen	---	---	---	528,0	490(min)	6(min)	---
5	Bulunan	S30399	---	R140900914	528,0	550,0	11,0	Şerit
6	İstenen	---	---	---	528,0	490(min)	6(min)	---
6	Bulunan	S30399	---	R140900914	528,0	550,0	11,0	Şerit
7	İstenen	---	---	---	528,0	490(min)	6(min)	---
7	Bulunan	S30399	---	R140900914	528,0	550,0	11,0	Şerit
8	İstenen	---	---	---	528,0	490(min)	6(min)	---
8	Bulunan	S30399	---	R140900914	528,0	550,0	11,0	Şerit
9	İstenen	---	---	---	528,0	490(min)	6(min)	---
9	Bulunan	S30399	---	R140900914	528,0	550,0	11,0	Şerit
10	İstenen	---	---	---	528,0	490(min)	6(min)	---
10	Bulunan	S30399	---	R140900914	528,0	550,0	11,0	Şerit
11	İstenen	---	---	---	509,0	490(min)	6(min)	---
11	Bulunan	D14114751	---	R141001723	509,0	553,0	13,0	Şerit
12	İstenen	---	---	---	509,0	490(min)	6(min)	---
12	Bulunan	D14114751	---	R141001723	509,0	553,0	13,0	Şerit
13	İstenen	---	---	---	509,0	490(min)	6(min)	---
13	Bulunan	D14114751	---	R141001723	509,0	553,0	13,0	Şerit
14	İstenen	---	---	---	509,0	490(min)	6(min)	---
14	Bulunan	D14114751	---	R141001723	509,0	553,0	13,0	Şerit



Adi
QUALITY MANAGER
KALİTE MÜDÜRÜ

Tablo D1: 6112 Kalite Rotor-Stator Laminasyon Sacı Test Raporu

BORÇELİK ÇELİK SANAYİ TİCARET A.Ş. Hisar Mah. Gemasa Meydanı 16050 Gemlik-Bursa/TÜRKİYE Phone No: 90-224-5190100 Faks No: 90-224-5190130										TEST SERTİFİKASI Sertifikasyon No: 14471 Sipariş No: 1051744										BORÇELİK Tarih: 17.12.2013							
MÜŞTERİ : ELF METAL PRO.İNŞ.TİC.LTD.ŞTİ										İlgili Test Standardı: EN 10204 3.1																	
ÜRÜN TANIMI										MEKANİK ÖZELLİKLER										KİMYASAL ANALİZ							
No	Bobin / Levha No	Döküm No	Standart	Kalite	Net Tonaj (Ton)	Kalınlık (mm)	Genişlik (mm)	Boy (mm)	Akma N/mm2	Çekme N/mm2	Uzama (%)	r	n	Sertlik	Test Açısı	%C	%Si	%S	%P	%Mn	%Al	%Cr	%Ni	%Ti	%Nb	Yağ Miktarı grm2	Test Sonuçları
1	472278B	58815	EN 10111	DD11	8.510	3.00	1250.0	0.0	285	350	43.8	1.00	0.20		90	0.0452	0.0120	0.0073	0.0083	0.3456	0.0377	0.0168	0.0093	0.0009	0.0009	3.0	OK
2	472278A	58815	EN 10111	DD11	8.510	3.00	1250.0	0.0	285	350	43.8	1.00	0.20		90	0.0452	0.0120	0.0073	0.0083	0.3456	0.0377	0.0168	0.0093	0.0009	0.0009	3.0	OK
Total: 17.020																											
* Test Açısı : -- Kontrolör : OK 2 Band Test : OK																				Borçelik Kalite Kontrol Dept. Onay Kısası							
* Bu Sertifika ile yukarıda verilen değerlerin doğruluğunu ve standartlara uygunluğunu teyit ederiz.																											
BORÇELİK Form No: F30.15-46 Rev.: 1																											

Tablo E1: M 470 Kalite Silisli Sac Test Raporu

INSPECTION CERTIFICATE										EN 10204-3.1			
Страна назначения Country of destination		ТУРЦИЯ 792 TURKEY		Заказ N Order No		543116/526H		Контракт N Contract No		756/00186217-90087		Спец Но 11457	
Барон N 44697902 Freight car No				Разрешение на вывоз N Export licence No									
385100000 - 59670										Лист 1 Page		Листов 2 Pages	
Наименование и код товара Description and code of goods				ГОСТ.OST GOST.OST				Вид груз. мест Type of packages		Кол-во мест Places			
Сталь холоднокатаная электротехническая изотропная в рулонах				ОКП 098800EN 10106-96 — EN 10106-96				РУЛОН COIL		10			
Cold rolled electrical isotropic steel in coils (dynamic)				161916005 EN 10106-96									
N n/p tem No	Поз N Foz No	Номера плавок Nos. of Heats	Номер партии Nos. of Lots	Марка Grades	Термическая обработка Thermal treatment	Размеры (мм) Dimensions, mm	Кромка Edge	Ед. изм. Unit	Кол-ч. товара Quantity	Масса, кг Mass, kg	Брутто Gross	Нетто Net	
1	1	196465	17234 1	M470-50A	TO	0.50x495	SE		2	6050	5930		
	1	196465	17234 2	M470-50A	TO	0.50x495	SE		2	6090	5970		
	1	196465	17234 3	M470-50A	TO	0.50x495	SE		2	6080	5960		
2	1	196465	17244 1	M470-50A	TO	0.50x495	SE		2	6090	5970		
	1	196465	17244 2	M470-50A	TO	0.50x495	SE		2	6090	5970		
	1	196465	17244 3	M470-50A	TO	0.50x495	SE		2	6100	5980		

Указанный в настоящем ДОКУМЕНТЕ товар соответствует по качеству требованиям спецификации к контракту и может быть отгружен на экспорт. It is hereby certified the quality of goods mentioned in this DOCUMENT is in conformity with demands of specifications to contract, and the goods may be exported.

Показатели качества товара		Quality characteristics of goods									
Химический состав		Chemical composition									
n/p tem No	C % x100	Si % x100	Mn % x100	S % x1000	P % x1000	Cr % x100	Ni % x100	Cu % x100	Al % x100	As % x100	N2 % x1000
1-2	4.4	136	23	9	7	4	4	8	29		7

Механические свойства		Mechanical Properties		Технологические пробы		Technological tests	
N n/p tem No	Предел прочности Tensile strength MPa	Предел текучести Yield point MPa	Удлинение Elongation %	Твердость Hardness	Удельные потери Specific loss P	Поларизация Polarisation B	Перегиб Bending test
1	390.0		30.0	130	3.9	1.61	10
2	390.0		30.0	130	4.0	1.63	10

Точность изготовления Accuracy of fabrication		
Толщина Thickness	Ширина Width	Длина Length

Вид покрытия Coating sort	

Плотность стали 7.73 г/см³
Density of steel 7.73 g/sm³
Маркировка: Somal
Код стали : 1701

Контролер ОТК: КУЛЕВА
Бригадир отгрузки: ЛЮШИН

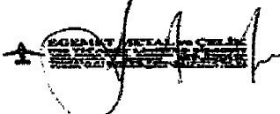
TYPE 5

Tablo F1: CK 45 Rotor Mili Test Raporu

 EGEMET METAL ve ÇELİK DIŞ TİCARET LIMITED ŞİRKETİ		
KALİTE BELGESİ / MILL TEST CERTIFICATE		
Müşteri :	ODAK CNC MAKİNA CAFER ÖZ VE ORTAĞI	
Fat. No	212341	Standart EN 10278
Miktar	171 KG	Boy STD
D. No	014820.S	Kesit Q 25
Kalite	C45	Tarih 27.08.2014

KİMYASAL ANALİZ (Pota % Ağırlık) / CHEMICAL ANALYSIS OF HEAT (%in weight)

*C	*Si	*Mn	*P	*S	*Cr	*Mo	*Ni	*Cu	*Al	*N	*Pb	*V	*Ti
0,430	0,220	0,720	0,024	0,035	-	-	-	0,079	-	-	-	-	-

MEKANİK ÖZELLİKLER / MECHANICAL PROPERTIES	
Akma Mukavemeti / Yield Strength	
Çekme Mukavemeti / Tensile Strength	
Uzama / elongation (%)	
Sertlik / Hardness (HB)	
Bu belge yukarıda tanımlı yapılmış malzeme için ısıtık imzalı olarak düzenlenmiştir. Kişili durumlarla geçerli belge ve doküman numarası ile Egemet Metal ve Çelik Dış Tic. Ltd. Şirketi arşivlerinde bulunan kaynak kopyaya basılabilmektedir. Çıktıların kopyalarının geçerliliğinden EGEMET METAL sorumlu değildir. Bu malzeme AT500-4400 cihaz ile % 100 radyasyonlu testten geçirilmiş hammadde ile üretilmiştir.	
Görsel muayene :	Uygun
Çelik yapım metodu :	Elektrik Ark Ocağı
Velibaba Mahallesi Ankara Caddesi No: 152 Dolayoba /Pendik - İstanbul Tel : 0216 415 04 80 (pbx) Fax: 0216 415 04 81  iletisim@egemetmetal.com.tr	

Tablo G1: Motor Fırçası Test Raporu



MATERIAL TEST REPORT

1. Part Name	Carbon Brush
2. Classification	Electrographite
3. Document No	KE4O07/KE3O01
4. Grade	053 (H)
5. Application	12V

6. Physical Characteristics

No	Characteristics	Specifications	Unit	Test Prosedure
6.1	Specific Resistivity (Horizontal)	1,0-5,0	$\mu\Omega\text{m}$	DIN IEC 413.402
6.2	Density	3,14-3,54	gr/cm^3	DIN IEC 413.205
6.3	Hardness Rockwell	75-120/15-22	HR 10/40-10/15,625	DIN IEC 413.303
6.4	Copper Wire Pull Strength	≥ 25	N	
6.5	Current Density (permanent)	14	A/cm^2	

7. Chemical Composition (By Weight)

No	Characteristics	Specification	Unit
7.1	Copper	53 ± 5	%
7.2	Graphite	42 ± 5	%
7.3	Others	5 ± 2	%

3				KARDEŞ Elektrik Sanayi ve Ticaret A.Ş.
2				
1	Current Density	11.01.2013		
0	First Issue	26.11.2012		
Rev.No.	Description	Date	Approve	

FORM NO: KE4Q55 11/12 REV:0

Tablo H1: Ferritik Mıknatıs Test Raporu

SINOMAG TECHNOLOGY

Magnet Inspection Report

☐ Prototype ☐ Pre-launch ☒ Production

Customer Part number	008003	Order number	SIA314036
Internal part number	W520-1	Part specification	R48.5×r41.3×W52×L35.5
Drawing number		Drawing level	01

Ref. No	Dimensions/specifications	Measurement results					Evaluation	
		1	2	3	4	5	ok	nok
1	R: 48.5±0.1	48.473	48.492	48.485	48.502	48.511	x	
2	r: 41.3±0.1	41.326	41.308	41.345	41.298	41.336	x	
3	W: 52±0.25	52.06	52.10	52.08	52.04	52.06	x	
4	L: 35.5±0.2	35.60	35.58	35.56	35.60	35.54	x	
5	T: 7.2±0.1	7.23	7.22	7.19	7.17	7.21	x	
6	H: 13±0.2	13.02	13.00	12.98	13.04	13.10	x	
7	Br>3900 Gs	3985	3980	3991			x	
8	Hcb>3500 Oe	3537	3532	3541			x	
9	Hcj>3600 Oe	3647	3640	3650			x	
10	(BH)max: MGOe	3.847	3.834	3.852			x	
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								

Final Conclusion ☒ Approved ☐ Rejected

Explanations/Comments(If required):

石祎

Inspector

2014-8-31

Date

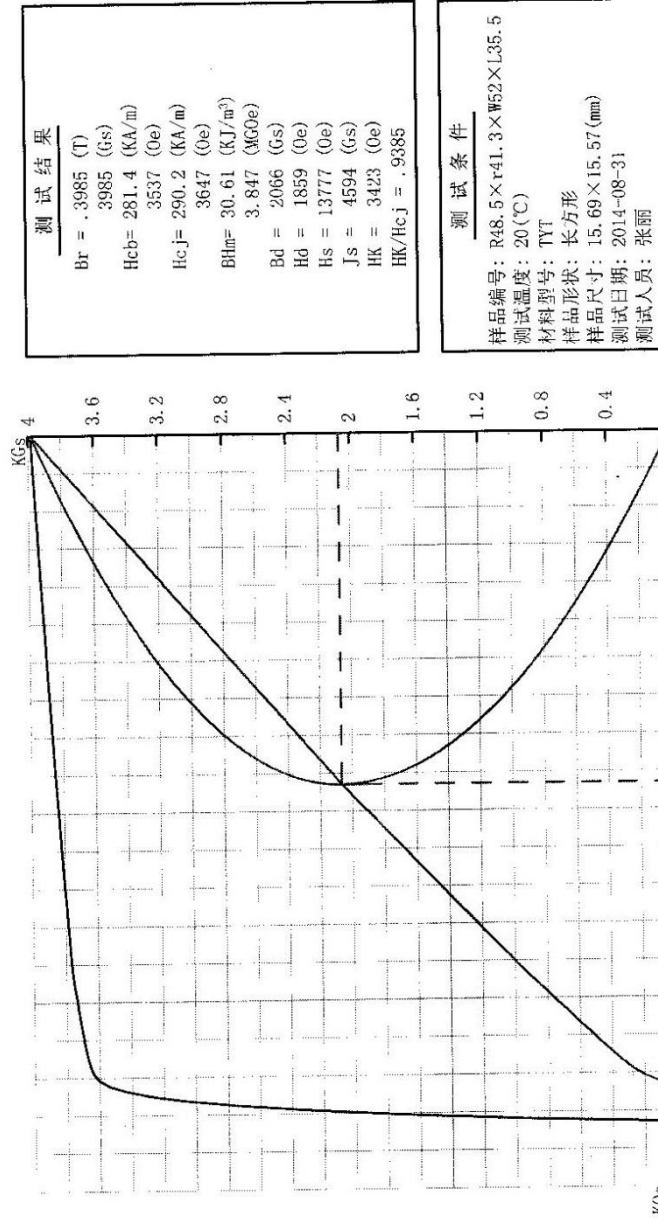
尹家勤

Sinomag Authorized Signature

SM-FM-QP25-20

Tablo H2: Ferritik Miknatıs Histeresis Eğrisi

安徽龙磁科技有限公司
永磁材料测试报告



Tablo H3: Ferritik Mıknatıs Test Raporu-2

SINOMAG TECHNOLOGY

Magnet Inspection Report

☐ Prototype ☐ Pre-launch ☒ Production

Customer Part number	Order number	GMA313022
Internal part number	Part specification	R35.5×r28.3×W60.5×L50
Drawing number	Drawing level	

Ref. No	Dimensions/specifications	Measurement results					Evaluation	
		1	2	3	4	5	ok	nok
1	R: 35.5±0.1	35.473	35.512	35.473	35.488	35.499	x	
2	r: 28.3±0.1	28.326	28.336	28.325	28.344	28.311	x	
3	W: 60.5±0.2	60.58	60.48	60.46	60.52	60.50	x	
4	L: 50±0.5	50.10	50.08	49.98	49.96	50.02	x	
5	T: 7.2±0.1	7.23	7.22	7.17	7.18	7.21	x	
6	H: 21±0.2	21.06	21.08	21.04	21.02	21.00	x	
7	Br>3900 Gs	3985	3987	3981			x	
8	Hcb>3500 Oe	3540	3542	3532			x	
9	Hcj>3600 Oe	3651	3658	3648			x	
10	(BH)max: MGOe	3.847	3.862	3.828			x	
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								

Final Conclusion ☒ Approved ☐ Rejected

Explanations/Comments(If required):

石伟

Inspector

2014-8-31

Date

尹家勤

Sinomag Authorized Signature

SM-FM-QP25-20

Tablo I.1: Neodyum Miknatıs Test Raporu

QR 824-106

Testing Report

PART NAME: High Gauss Magnet

Nd-Fe-B Magnet

Date: 04/13/2013

Size: ± 0.2 R48.5 - ± 0.1 R41.3 * ± 0.1 52 * 50

Grade: 33M

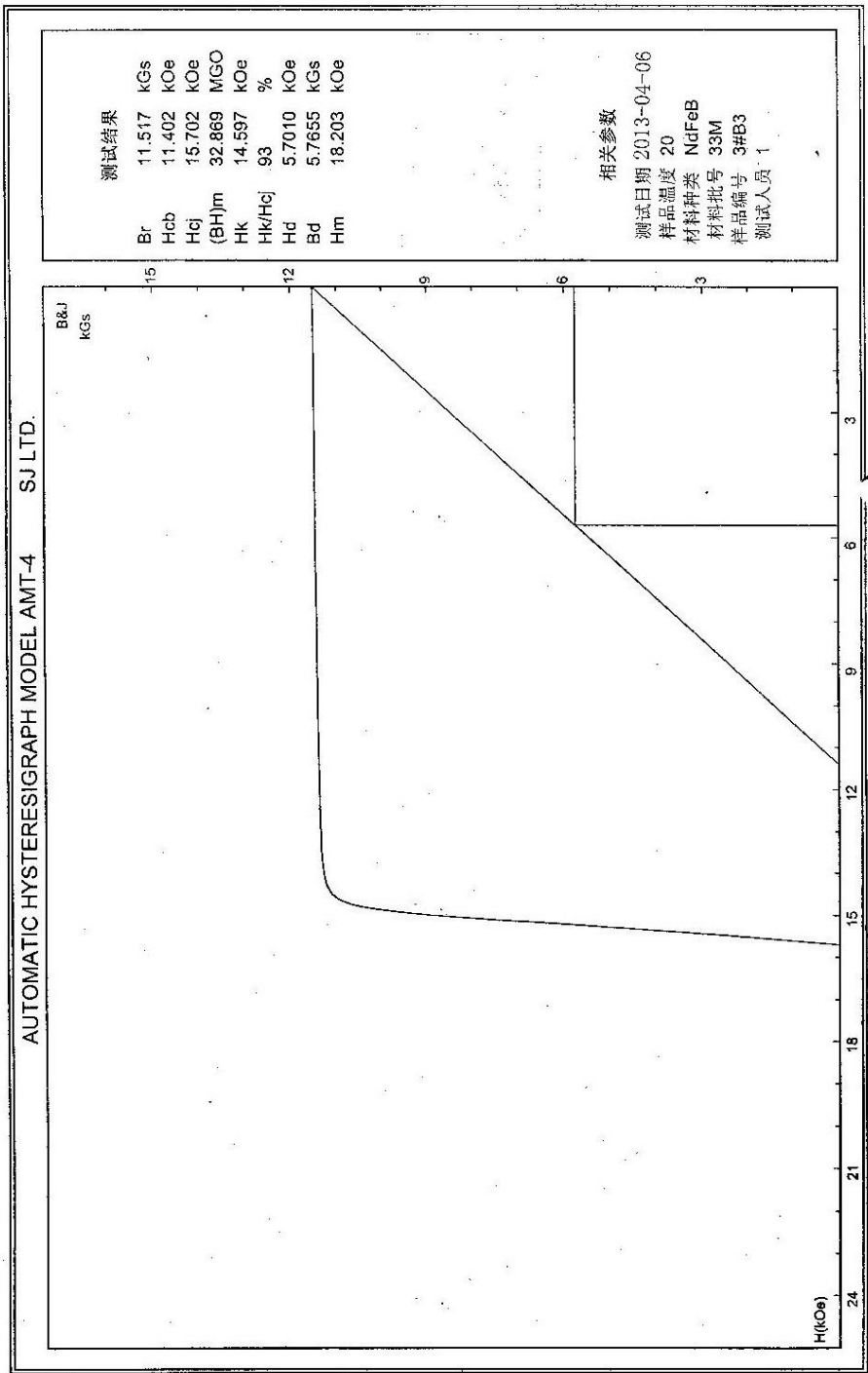
Quantity: 2500 PCS

Coating: NiCuNi

Sample No.	OD (mm)	ID (mm)	T (mm)	Flux (mwb)	Character
1	52.03	49.97	7.17	685	Br(KGs)
2	51.97	49.99	7.15	703	11.517
3	51.96	50.02	7.15	668	
4	52.02	49.99	7.15	674	
5	51.95	49.98	7.18	674	
6	51.94	49.98	7.17	669	
7	52.00	49.99	7.15	680	
8	52.02	49.99	7.16	696	Hcb(KOe)
9	52.00	49.99	7.17	665	11.402
10	51.97	49.98	7.16	677	
11	52.01	49.99	7.17	711	
12	52.06	50.04	7.18	691	
13	52.01	50.02	7.15	690	
14	51.95	49.97	7.15	680	
15	52.07	50.03	7.15	672	Hcj(KOe)
16	51.95	49.97	7.14	685	15.702
17	51.96	49.97	7.13	658	
18	51.98	49.96	7.15	692	
19	52.00	49.96	7.15	692	
20	51.98	50.00	7.17	679	
21	52.07	50.01	7.15	702	
22	52.05	49.99	7.14	683	(BH)max/MGOe
23	52.02	49.99	7.17	686	32.869
24	52.04	49.98	7.15	663	
25	52.04	49.98	7.15	663	
26	52.00	50.03	7.17	678	
27	51.95	50.02	7.15	691	
28	52.04	50.00	7.16	693	
29	51.93	50.02	7.17	687	CHECKED by
30	51.99	49.93	7.15	664	check 12
Max	52.07	50.04	7.18	711	
Min	51.93	49.93	7.13	658	
Ave	52.00	49.99	7.16	682	

Table I.2: Neodyum Miknatis Histeresis Eğrisi

宁波大榭银鑫磁业



Tablo J.1: 24V Kalın Aksiyel Fırçalı DC Motor Mekanik Test Raporu



FISE

Via

Tel

www

Motor technical data

Model : KALIN AKSIYEL 24 V

Serial nr. motor : 651 238 08

Voltage [V] : 24

Operator : CONTROLLER

Type of sample :

Spire statore : 0

Spire rotore : 0

Magnete :

Schema avvolgimento :

Ferro rotore :

Posizione collettore :

Test Nr. : 0806007

Nr. richiesta :

Data :

Apparecchio :

Rotation : 0

Diam. filo statore [mm] : 0.00

Diam. filo rotore [mm] : 0.00

Pipe :

Ferro satore :

Power supply :

Ventola raffreddamento :

Load Test

Voltage [V] : 26.0

Current limit [A] : 50.0

Control type : Torque

Torque max. [Nm] : 2.50

Starting delay time [sec] : 10.0

Measure's integration time [sec] : 0.3

Speed measure(0-NO 1-YES) : 1

Aquired points number : 6

Voltage tolerance [%] : 5.0

Dynamic line : 1

Torque min. [Nm] : 0.00

Slew rate [Nm/s] : 0.5

Stabilization time [sec] : 1.0

Max. dev. std. torque [%] : 0.0

Average speed measure : 4.0

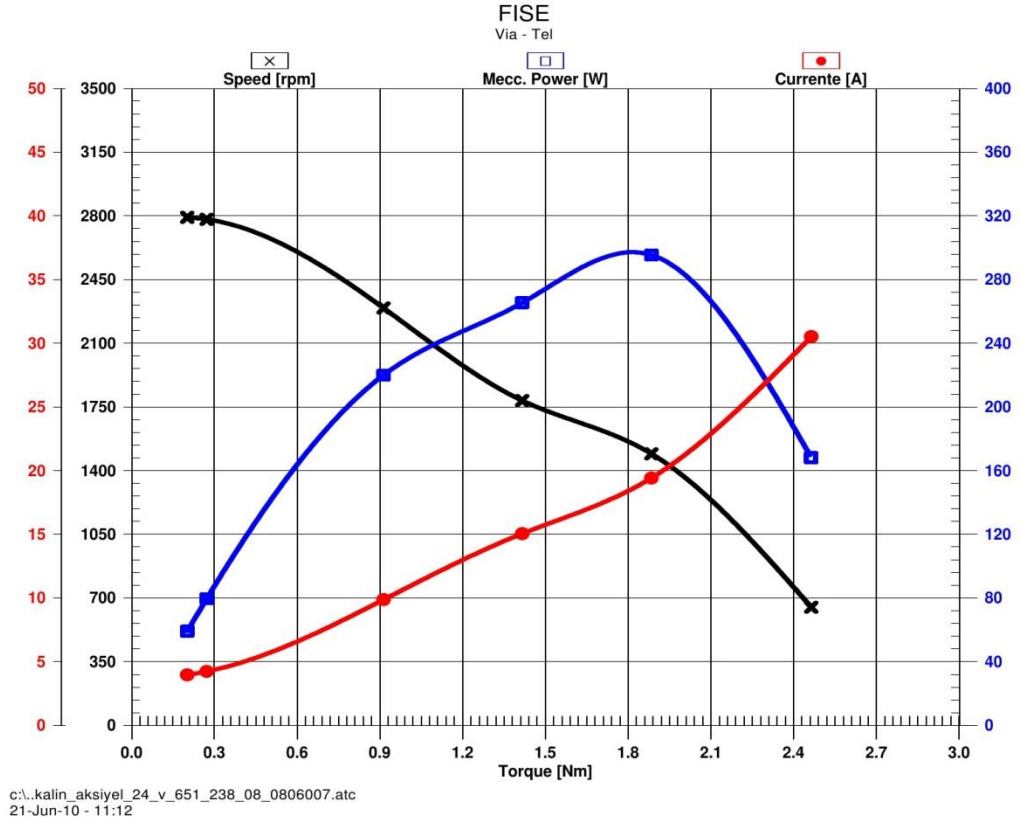
Distribution : Linear

Max. Torque [Nm] : 2.464

Max. Efficiency [%] : 85.7

Time s	Speed rpm	Torque Nm	Mecc. Power W	El. Power W	Efficiency %	Voltage V	Currente A
11	2792.2	0.20	59.2	103.2	57.3	26.00	3.97
14	2780.9	0.27	79.6	110.4	72.1	26.00	4.24
16	2294.2	0.91	220.0	256.7	85.7	26.00	9.87
18	1784.9	1.42	265.5	391.7	67.8	26.00	15.06
20	1493.3	1.88	295.4	505.0	58.5	26.00	19.42
22	649.5	2.46	168.1	793.6	21.2	26.00	30.52

Tablo J.2: 24V Kalın Aksiyel Fırçalı DC Motor Mekanik Tork Testi



Tablo K.1: 24V Orta Blower Fırçalı DC Motoru Mekanik Test Raporu



FISE

Via

Tel

www

Motor technical data

Model : 651 238 02
Serial nr. motor :
Voltage [V] : 12
Operator :
Type of sample :
Spire statore : 0
Spire rotore : 0
Magnete :
Schema avvolgimento :
Ferro rotore :
Posizione collettore :

Test Nr. :
Nr. richiesta :
Data :
Apparecchio :
Rotation : 0
Diam. filo statore [mm] : 0.00
Diam. filo rotore [mm] : 0.00
Pipe :
Ferro satore :
Power supply :
Ventola raffreddamento :

Load Test

Voltage [V] : 26.0
Current limit [A] : 50.0
Control type : Torque
Torque max. [Nm] : 1.30
Starting delay time [sec] : 60.0
Measure's integration time [sec] : 0.3
Speed measure(0-NO 1-YES) : 1
Aquired points number : 10

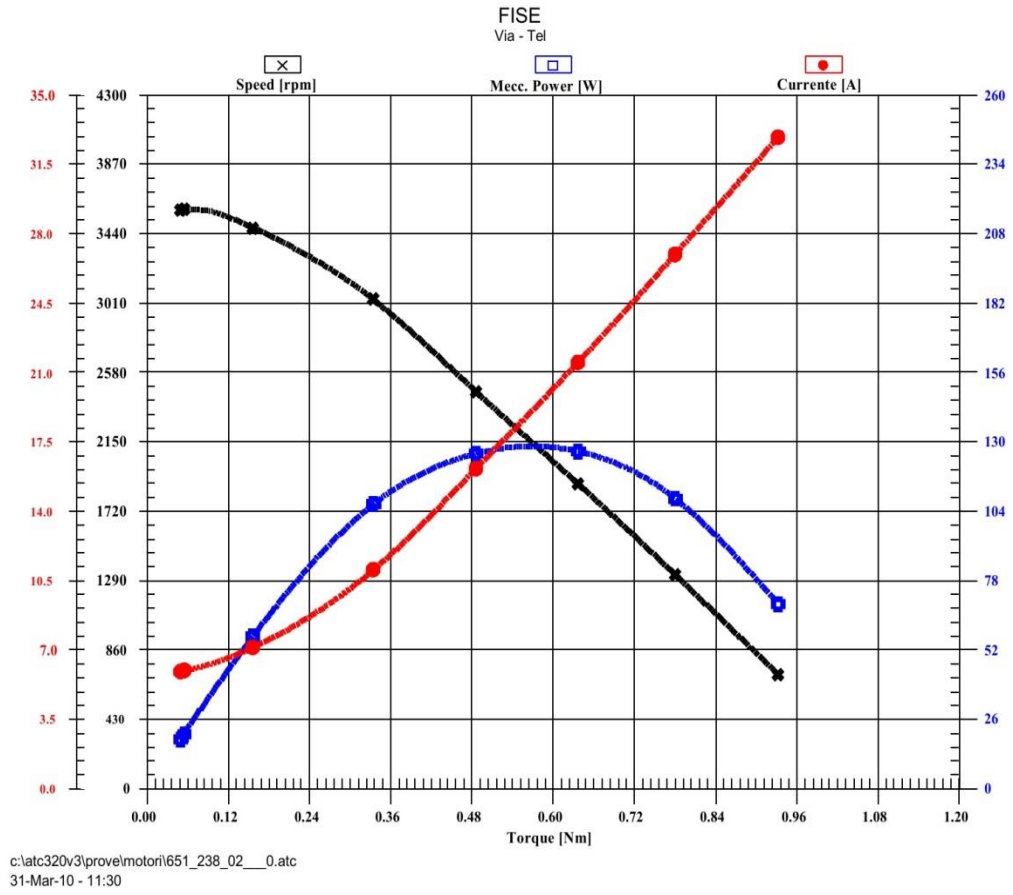
Voltage tollerance [%] : 5.0
Dynamic line : 1
Torque min. [Nm] : 0.00
Slew rate [Nm/s] : 0.1
Stabilization time [sec] : 1.0
Max. dev. std. torque [%] : 0.0
Average speed measure : 5.0
Distribution : Linear

Max. Torque [Nm] : 0.932

Max. Efficiency [%] : 74.3

Time s	Speed rpm	Torque Nm	Mecc. Power W	El. Power W	Efficiency %	Voltage V	Currente A
62	3587.8	0.05	18.4	77.0	23.9	26,00	5.92
64	3590.2	0.05	20.4	77.4	26.4	26,00	5.95
67	3474.9	0.16	57.2	92.6	61.7	26,00	7.12
69	3031.5	0.33	106.5	143.4	74.3	26,00	11.03
72	2461.6	0.49	125.6	209.6	59.9	26,00	16.12
74	1888.3	0.64	126.3	279.5	45.2	26,00	21.49
77	1327.0	0.78	108.7	350.1	31.1	26,00	26.93
80	708.0	0.93	69.3	427.0	16.2	26,00	32.84

Tablo K.2: 24V Orta Blower Fırçalı DC Motor Tork Testi



Tablo L.1: Redüktör Fırçalı DC Motoru Mekanik Test Raporu



S.G.

KORMAS

(Gruppo Merisano)

ELETTROLI MOTORI S.p.A. - via T.C. EST. 57L

FISE

Via

Tel

www

Motor technical data

ASANSOR KAK MOTORU 12 V

Model : 631 034 02

Serial nr. motor :

Voltage [V] : 12

Operator : halis

Type of sample :

Spire statore : 0

Spire rotore : 0

Magnete :

Schema avvolgimento :

Ferro rotore :

Posizione collettore :

Test Nr. :

Nr. richiesta :

Data :

Apparecchio :

Rotation : 0

Diam. filo statore [mm] : 0.00

Diam. filo rotore [mm] : 0.00

Pipe :

Ferro sature :

Power supply :

Ventola raffreddamento :

Load Test

24V GUCLENDIRILMIS YATIK RED.LU MOTOR 13.06.2012

Voltage [V] : 26.0

Current limit [A] : 50.0

Control type : Torque

Torque max. [Nm] : 50.00

Starting delay time [sec] : 30.0

Measure's integration time [sec] : 0.3

Speed measure(0-NO 1-YES) : 1

Aquired points number : 20

Voltage tolerance [%] : 5.0

Dynamic line : 2

Torque min. [Nm] : 0.00

Slew rate [Nm/s] : 0.1

Stabilization time [sec] : 1.0

Max. dev. std. torque [%] : 0.0

Average speed measure : 1.0

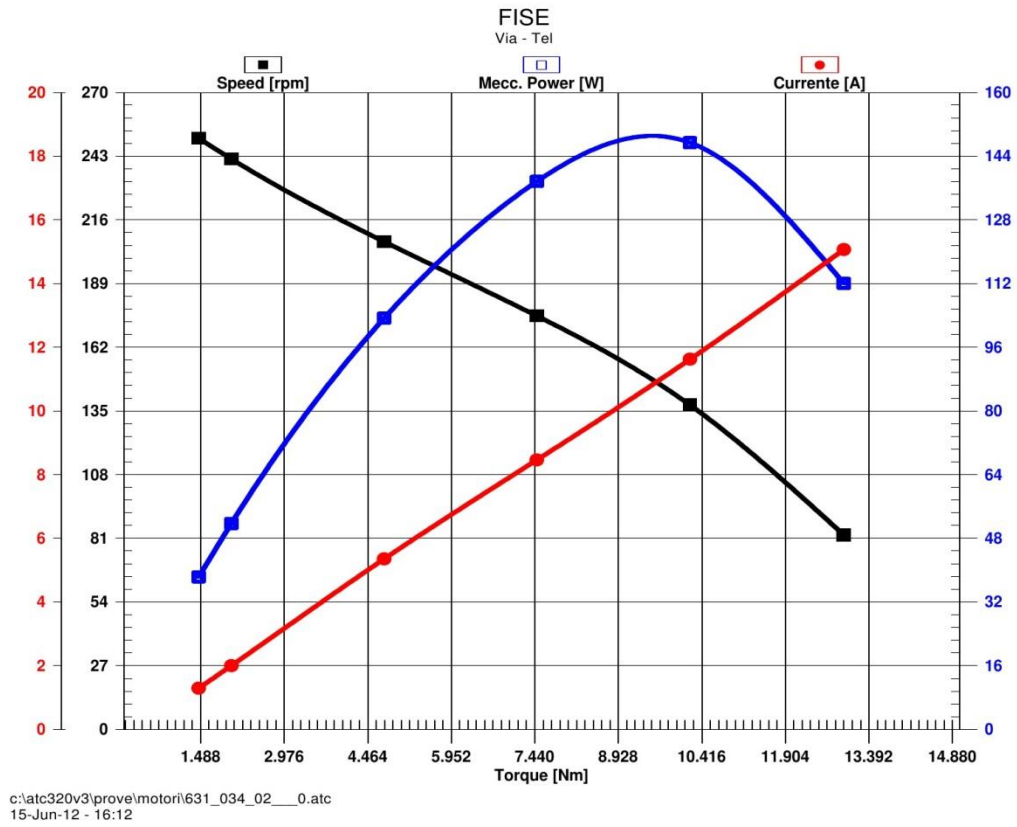
Distribution : Linear

Max. Torque [Nm] : 12.948

Max. Efficiency [%] : 99.2

Time s	Speed rpm	Torque Nm	Mecc. Power W	El. Power W	Efficiency %	Voltage V	Currente A
32	250.6	1.46	38.3	33.7	0.0	26.03	1.29
60	241.8	2.04	51.7	52.1	99.2	26.03	2.00
88	206.8	4.76	103.3	139.4	74.1	26.03	5.35
116	175.3	7.48	137.6	220.3	62.5	26.03	8.46
143	137.5	10.21	147.4	302.6	48.7	26.03	11.63
171	82.4	12.95	112.0	392.3	28.6	26.03	15.07

Tablo L.2: Redüktör Fırçalı DC Motor Tork Testi



Tablo M.1: Çap 63 mm Fırçasız DC Motor Test Raporu

**KORMAS**
ELEKTRİK MOTOR SAN. ve TİC. LTD. ŞTİ.

FISE
Via
Tel
www

Motor technical data

Model : KPS 63/3 UC KADEME 24 V
Serial nr. motor : KPS 63/3 UC KADEME 24 V
Voltage [V] : 24
Operator :
Type of sample :
Spire statore : 0
Spire rotore : 0
Magne :
Schema avvolgimento :
Ferro rotore :
Posizione collettore :

Test Nr. :
Nr. richiesta :
Data :
Apparecchio :
Rotation : 0
Diam. filo statore [mm] : 0.00
Diam. filo rotore [mm] : 0.00
Pipe :
Ferro satore :
Power supply :
Ventola raffreddamento :

KPS 63/3 UC KADEME 24 V

Load Test

Voltage [V] : 24.0
Current limit [A] : 50.0
Control type : Torque
Torque max. [Nm] : 25.00
Starting delay time [sec] : 15.0
Measure's integration time [sec] : 0.3
Speed measure(0-NO 1-YES) : 1
Acquired points number : 15

Voltage tolerance [%] : 5.0
Dynamic line : 2
Torque min. [Nm] : 0.00
Slew rate [Nm/s] : 1.0
Stabilization time [sec] : 1.0
Max. dev. std. torque [%] : 0.0
Average speed measure : 1.0
Distribution : Linear

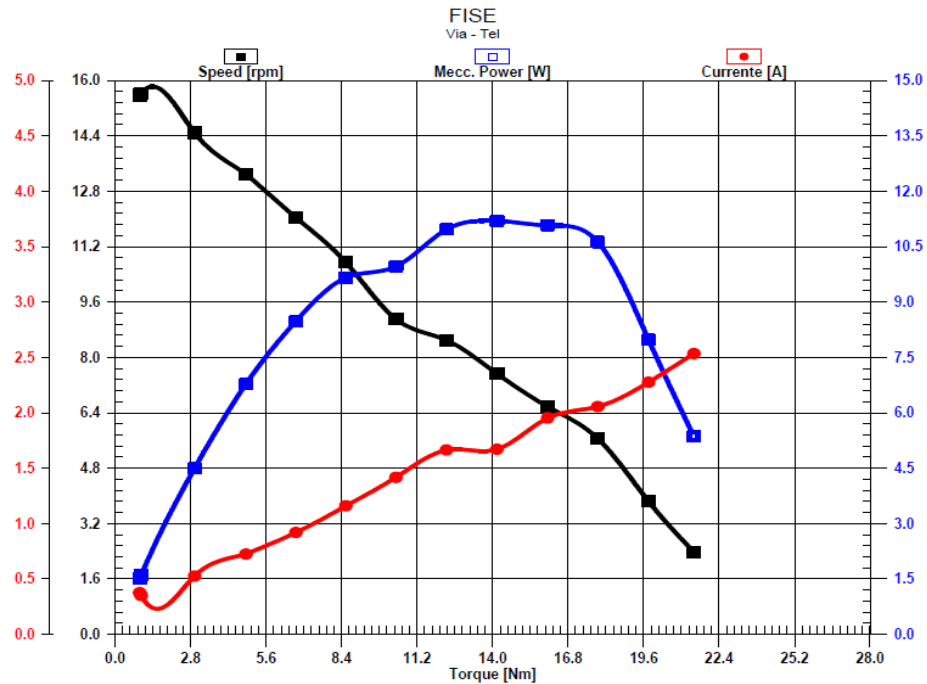
KPS 63/3 UC KADEME 24 V

Max. Torque [Nm] : 21.464

Max. Efficiency [%] : 39.0

Time s	Speed rpm	Torque Nm	Mecc. Power W	El. Power W	Efficiency %	Voltage V	Currente A
20	15.6	0.92	1.5	9.0	16.7	24.02	0.37
24	15.6	0.98	1.6	8.4	19.1	24.02	0.35
28	14.5	2.98	4.5	12.6	35.6	24.02	0.53
33	13.3	4.88	6.8	17.4	39.0	24.02	0.72
37	12.0	6.71	8.5	22.1	38.4	24.02	0.92
42	10.7	8.56	9.7	27.8	34.7	24.02	1.16
47	9.1	10.42	10.0	34.0	29.3	24.02	1.42
51	8.5	12.29	11.0	40.0	27.4	24.02	1.66
56	7.5	14.16	11.2	40.1	27.9	24.02	1.67
61	6.8	16.04	11.1	46.9	23.6	24.02	1.95
65	5.7	17.91	10.6	49.4	21.5	24.02	2.06
71	3.8	19.78	8.0	54.7	14.6	24.02	2.28
76	2.4	21.46	5.4	60.9	8.8	24.02	2.53

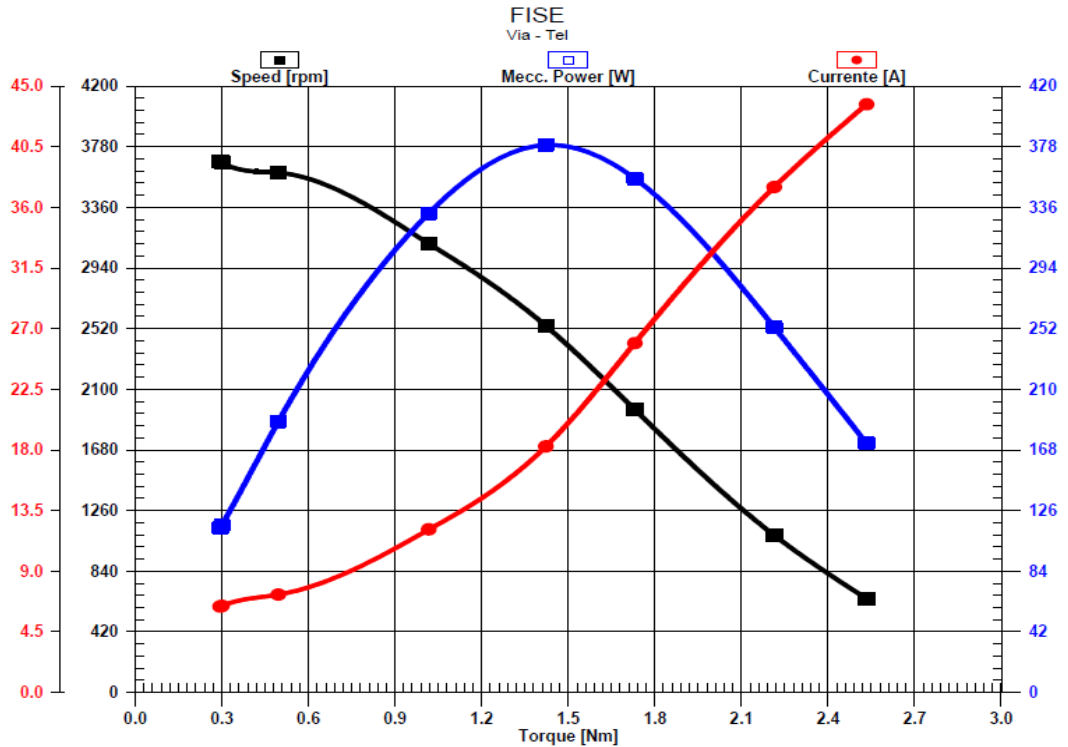
Tablo M.2: Çap 63 mm Fırçasız DC Motor Tork Testi



Tablo N.1: Çap 76 mm Fırçasız DC Motor Mekanik Test Raporu

 KORMAS ELEKTRİKLİ MOTORLAR SAN. ve TİC. A.Ş. - ETL		FISE Via Tel www
Motor technical data		
Model : 671 143 63/YENİ Serial nr. motor : Voltage [V] : 0 Operator : Type of sample : Spire statore : 0 Spire rotore : 0 Magnete : Schema avvolgimento : Ferro rotore : Posizione collettore :	Test Nr. : Nr. richiesta : Data : Apparecchio : Rotation : 0 Diam. filo statore [mm] : 0.00 Diam. filo rotore [mm] : 0.00 Pipe : Ferro statore : Power supply : Ventola raffreddamento :	
Load Test		
Voltage [V] : 24.0 Current limit [A] : 50.0 Control type : Torque Torque max. [Nm] : 2.60 Starting delay time [sec] : 40.0 Measure's integration time [sec] : 0.3 Speed measure(0-NO 1-YES) : 1 Acquired points number : 8	Voltage tolerance [%] : 5.0 Dynamic line : 1 Torque min. [Nm] : 0.00 Slew rate [Nm/s] : 1.0 Stabilization time [sec] : 1.0 Max. dev. std. torque [%] : 0.0 Average speed measure : 4.0 Distribution : Linear	
Max. Torque [Nm] : 2.533		Max. Efficiency [%] : 86.5
Time s	Speed rpm	Torque Nm
42	3669.3	0.30
43	3676.1	0.30
44	3600.0	0.50
46	3106.9	1.02
47	2538.3	1.42
49	1959.5	1.73
50	1088.7	2.21
52	648.8	2.53
Mecc. Power W	El. Power W	Efficiency %
115.9	154.0	75.3
113.9	152.8	74.5
187.5	174.3	0.0
331.9	290.3	0.0
379.2	438.2	86.5
356.0	622.1	57.2
253.0	900.1	28.1
172.6	1047.7	16.5
Voltage V	Currente A	
24.00	6.42	
24.00	6.36	
24.00	7.26	
24.00	12.09	
24.00	18.25	
24.00	25.92	
24.00	37.50	
24.00	43.65	

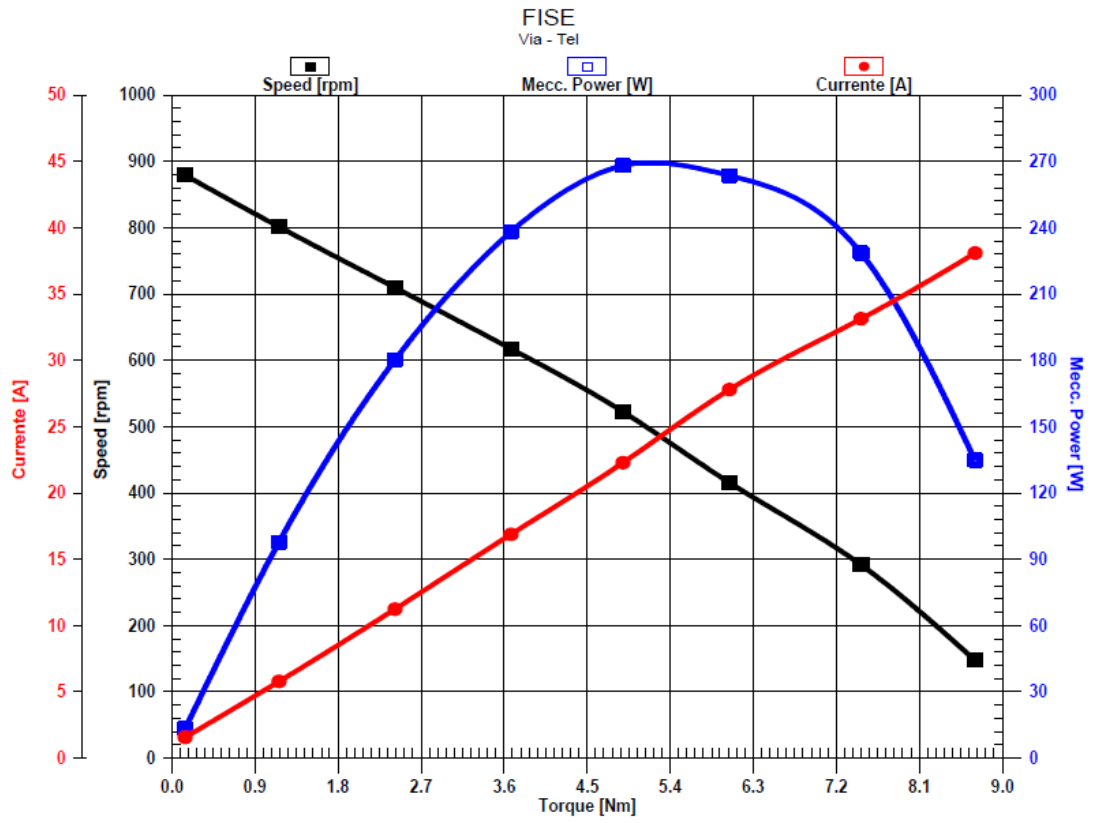
Tablo N.2: Çap 76 mm Fırçasız DC Motor Tork Testi



Tablo O.1: Çap 102 mm Fırçasız DC Motor Test Raporu

		FISE Via Tel www					
Motor technical data CELIKSAN CIKRIK MOT.03.01.2013 2 NUMUNE							
Model : Serial nr. motor : Voltage [V] : 24 Operator : HALIL IBRAHIM Type of sample : Spire statore : 0 Spire rotore : 0 Magnete : Schema avvolgimento : Ferro rotore : Posizione collettore :		Test Nr. : Nr. richiesta : Data : Apparecchio : Rotation : 0 Diam. filo statore [mm] : 0.00 Diam. filo rotore [mm] : 0.00 Pipe : Ferro satore : Power supply : Ventola raffreddamento :					
Spazzole : Molla : Rapporto di riduzione : Resistenza statore [ohm] : 0 Cuscinetto LC : Bronzina LC : Testata : Turbina : Codice motore : Coperchio compressore : Matricola :		Collettore : Riduttore : Resistenza rotore [ohm] : 0 Cuscinetto LA : Bronzina LA : Condensatore [uF] : 0.0 Coperchio : Calotta diaframma : Corpo aspiratore : Classe isolamento :					
Test Parameter CELIKSAN CIKRIK MOT.03.01.2013 2 NUMUNE							
Power Supply Type : DC Torque Unit [Nm] : 0		Testing Product : Electric motor					
Load Test CELIKSAN CIKRIK MOT.03.01.2013 2 NUMUNE							
Voltage [V] : 24.0 Current limit [A] : 50.0 Control type : Torque Torque max. [Nm] : 11.00 Starting delay time [sec] : 10.0 Measure's integration time [sec] : 0.3 Speed measure(0-NO 1-YES) : 1 Aquired points number : 10		Voltage tolerance [%] : 5.0 Dynamic line : 1 Torque min. [Nm] : 0.00 Slew rate [Nm/s] : 0.1 Stabilization time [sec] : 1.0 Max. dev. std. torque [%] : 0.0 Average speed measure : 3.0 Distribution : Linear					
Max. Torque [Nm] : 8.704		Max. Efficiency [%] : 70.4					
Time s	Speed rpm	Torque Nm	Mecc. Power W	El. Power W	Efficiency %	Voltage V	Currente A
12	878.9	0.14	13.3	37.6	35.5	24.01	1.56
25	801.1	1.16	97.7	138.8	70.4	24.01	5.78
39	709.6	2.42	180.1	269.7	66.8	24.01	11.23
52	617.3	3.67	238.1	405.2	58.8	24.02	16.87
66	522.5	4.89	268.1	534.8	50.1	24.02	22.27
80	415.4	6.04	263.5	667.4	39.5	24.02	27.79
93	291.5	7.47	228.5	795.4	28.7	24.02	33.12
107	147.4	8.70	134.7	914.5	14.7	24.02	38.07
Free Test				Voltage [V] : 24.0			
				Voltage tolerance [%] : 5.0			

Tablo O.2: Çap 102 mm Fırçasız DC Motor Tork Testi



Tablo P.1: Çap 63mm Fırçalı ve Fırçasız Motor
Performans Eğrileri Karşılaştırılması

Fırçalı Çap 63mm Hız(rpm)	Fırçasız Çap 63mm Hız (rpm)	Fırçalı Çap 63mm Akım(I)	Fırçasız Çap 63mm Akım(I)	Fırçalı Çap 63mm Güç(W)	Fırçasız Çap 63mm Güç (W)	Fırçalı Çap 63mm Tork(Nm)	Fırçasız Çap 63mm Tork(Nm)
250	160	1	0,4	40	55	1,488	2
243	128	2	0,5	54	62	2,334	4,1
200	100	5	3	105	114	4,651	7,6
170	78	9	5,1	133	147	7,440	10,1
135	44	11	7,8	154	161	10,1	14,8
81	20	15	10,3	112	118	12,95	18,4

Tablo P.2: Çap 76mm Fırçalı ve Fırçasız Motor
Performans Eğrileri Karşılaştırılması

Fırçalı Çap 76mm Hız(rpm)	Fırçasız Çap 76mm Hız (rpm)	Fırçalı Çap 76mm Akım(I)	Fırçasız Çap 76mm Akım(I)	Fırçalı Çap 76mm Güç(W)	Fırçasız Çap 76mm Güç (W)	Fırçalı Çap 76mm Tork(Nm)	Fırçasız Çap 76mm Tork(Nm)
3630	3480	5,1	4,3	24	30	0,08	0,3
3440	3100	7	4,8	53	62	0,15	0,3
3010	2710	10,8	8	105	115	0,31	0,9
2480	2230	16,4	14,1	128	139	0,48	1,1
1810	1705	22	18,3	105	111	0,75	1,7
730	628	33,5	30,7	74	87	0,93	2,2

Tablo P.3: Çap 102mm Fırçalı ve Fırçasız Motor
Performans Eğrileri Karşılaştırılması

Fırçalı Çap 102mm Hız(rpm)	Fırçasız Çap 102mm Hız (rpm)	Fırçalı Çap 102mm Akım(I)	Fırçasız Çap 102mm Akım(I)	Fırçalı Çap 102mm Güç(W)	Fırçasız Çap 102mm Güç (W)	Fırçalı Çap 102mm Tork(Nm)	Fırçasız Çap 102mm Tork(Nm)
2800	2435	3	2,1	50	56	0,2	0,3
2750	2594	4	2,9	75	89	0,22	0,3
2410	2227	10	7,6	221	234	0,905	1,2
1754	1630	15	12,8	275	286	1,407	1,5
1432	1284	19	16,1	303	317	1,941	2,5
700	627	31	27,6	171	182	2,46	5,6

9. KAYNAKLAR

- [1] Yedamale,P.Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals, Microchip Technology Inc. App. Note, USA. 2003.
- [2] Toliyat H.A., Gopalarathnam T., AC Machines Controlled as DC Machines (Brushless DC Machines/Electronics). The Power Electronic Handbook. CRC Press LLC, New York, 2002.
- [3] A.Hacınecipoğlu ODTÜ Makina Mühendisliği '09 ODTÜ Robot Topluluğu
- [4] URL<www.butunsinavlar.com/fircasiz-dc-motorlar.html> 11.10.2014
- [5] URL<www.elektrikce.com/dc-motorlarda-firca-ve-kollektor> 09.09.2014
- [6]URL<www.elektrikport.com/haber-roportaj/surekli-miknatis-teknolojisi-ve-enerji-verimlilik-acisindan-onemi-engin-aycicek> 10.10.2014
- [7]URL<www.miknatis.net/miknatis/tr/urunlerimiz/74/seramik-miknatislar-300-oksit> 23.12.2014
- [8]URL<hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/tesisat/moduller/ce_lik_borulari_montaja_hazirlama.pdf> 08.09.2014
- [9] S.J.Chapman , Elektrik Makinalarının Temelleri, 2013
- [10] K.S.Low M.F. Rahman and K.W. Lim. Approaches to the control of torque and current in a brushless dc drive. March-April 2005
- [11] Ayyıldız S. JAL ile PIC Programlama ,Haziran 2006
- [12] Lee.B.Ehsani M., “Advanced Simulation Model for Brushless DC Motor Drives”, Electric Power Component and Systems, 31: 841-868, 2003.

- [13] URL<www.ilkerguven.com/elektrik/hall-effect-alan-etkili-sensor.html>
11.12.2014
- [14] URL<www.turgutboru.com/dkpsaclar.html> 18.09.2014
- [15] Paul K. Analysis of Electric Machinery, April 2007
- [16] K. Hameyer and R. Belmans, Electric Machines and Devices, June 2008
- [17] Dr. Wolfgang J. Technologie Kleiner Elektromaschinen, 2001

10. ÖZGEÇMİŞ



Adı Soyadı: Caner YILDIRIM

Doğum Yeri: İstanbul / 23.06.1989

E-posta: y_caner@hotmail.com

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme
Mühendisliği Bölümü, 2012

Yüksek Lisans: İ.T.Ü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği A.B.D,
Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği
Bölümü, 2015