

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTOR TABANLI MEDİKAL
SANTRİFÜJ SİSTEMİ**

**Hazırlayan
Osman EROĞUL**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Nurettin ÜSTKOYUNCU**

Yüksek Lisans Tezi

**Mayıs 2018
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTOR TABANLI MEDİKAL
SANTRİFÜJ SİSTEMİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Osman EROĞUL**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Nurettin ÜSTKOYUNCU**

**Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon
Birimi tarafından FYL-2016-6512 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Mayıs 2018
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Adı-Soyadı: Osman EROĞUL

İmza :

YÖNERGEYE UYGUNLUK

Anahtarlamaalı Relüktans Motor Tabanlı Medikal Santrifüj Sistemi adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Osman EROĞUL

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Nurettin ÜSTKOYUNCU

Elektrik Elektronik Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR

Dr. Öğr. Üyesi Nurettin ÜSTKOYUNCU danışmanlığında **Osman EROĞUL** tarafından hazırlanan “**Anahtarlamalı Relüktans Motor Tabanlı Medikal Santrifüj Sistemi**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik-Elektronik Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

04 / 06 / 2018

JÜRİ:

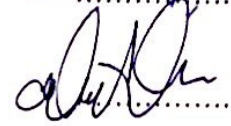
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Nurettin ÜSTKOYUNCU



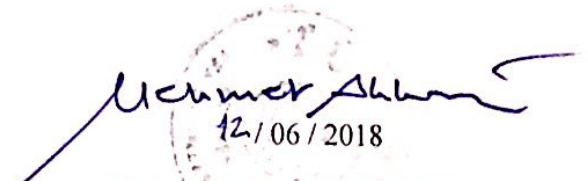
Üye : Prof. Dr. Ferhat DALDABAN



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÖNEN

**ONAY:**

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 12/06/2018 tarih ve 2018/25-06 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



12 / 06 / 2018

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bu günlere gelmemde en büyük katkı sahibi sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Nurettin ÜSTKOYUNCU'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez çalışmasına maddi destek veren Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne (Proje No: FYL-2016-6512) teşekkür ederim.

Ayrıca; çalışmalarım süresince sabır göstererek beni daima destekleyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Osman EROĞUL

Kayseri, Mayıs 2018

ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTOR TABANLI MEDİKAL SANTRİFÜJ SİSTEMİ

Osman EROĞUL

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Mayıs 2018

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nurettin ÜSTKOYUNCU

ÖZET

Medikal santrifüj sistemleri, ağırlıkları farklı maddeler içeren tüplerin yer çekimine bağlı olarak elektrikli motor yardımıyla yüksek hızla döndürülmesi sonucu maddelerin ayrışmasını sağlayan cihazlardır. Santrifüjle ayırma işlemi, katı ve sıvı maddelerdeki parçacıkların yerçekimi kuvvetinden daha büyük bir kuvvet uygulanması ve yüksek hızlarda döndürülmesi sonucu ayırma prensibine dayanır. Başka bir deyişle ayırma işlemi, merkez kaç kuvvetinin etkisi ile gerçekleşir.

Anahtarlamalı relüktans motorlar (ARM), basit yapıları ve geniş hız sahasına sahip olmaları sebebiyle gün geçtikçe önem kazanan elektrik motorlarıdır. Yapısal olarak senkron makinaların yapısına benzer olmalarına karşın, stator ve rotorlarındaki çıkıntılı yapı ve rotorlarında herhangi bir mıknatıs ya da sargı bulunmamasından dolayı diğer elektrik makinalarından ayrılmaktadır. ARM'lerin çalışma prensibi, relüktans kuvvetine dayanmaktadır. ARM; çıkıntılı yapılı rotorun, akının en kısa yoldan geçebilmesi için en az relüktansın olduğu konuma uygulanan kuvvet ile çekilmesi mantığıyla çalışmaktadır.

Bu çalışmada, ARM tabanlı bir medikal santrifüj sistemi tasarlanmış ve prototip olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ARM'yi uygun şartlarda çalıştırabilecek sürücü ünitesi tasarlanmıştır. Bunlara ek olarak, prototipte kullanılmak üzere gerekli tüm mekanik aksamlar tasarlanmış ve üç boyutlu yazıcı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile medikal santrifüj cihazlarının yeni teknolojik özellikler eklenerek, uygun maliyet ile ortaya konulabileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Medikal santrifüj sistemi, anahtarlamalı relüktans motor (ARM)

A MEDICAL CENTRIFUGE SYSTEM BASED ON THE SWITCHED RELUCTANCE MOTOR

Osman EROĞUL

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, May 2018

Supervisor: Dr. Nurettin ÜSTKOYUNCU

ABSTRACT

Medical centrifugal systems are devices that allow materials to be disintegrated by rotating the tubes with different weights at high speed by means of an electric motor depending on the gravity. Centrifugal separation is based on the principle of applying a force greater than the gravitational force of the particles in the solid and liquid materials and rotating it at high speed. In other words, the separation is effected by the effect of the center force.

Switched reluctance motors (SRMs) are an electric motor that is becoming increasingly important due to its simplicity and its wide range of speeds. Although it is similar to the structure of synchronous machines, it is separated from other electric machines due to the protruding structure of rotors and stators and also to the absence of any magnets or windings in the rotors. The working principle of SRMs is based on reluctance strength. The SRM is driven by the force of the protruding rotor with the force applied to the position where the reluctance is minimum so that the current can pass through the shortest path.

A prototype medical centrifuge system based on switched reluctance motors is designed and realized in this study. In addition, the driver unit is designed to operate the ARM in appropriate conditions. In addition, all the mechanical components required for use in the prototype were designed and implemented using a 3D printer. With this study, it has been shown that medical centrifugal devices can be introduced at reasonable cost by adding new technological features.

Keywords: Medical centrifuge system, switched reluctance motor (SRM)

İÇİNDEKİLER

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY SAYFASI.....	iv
ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER TABLOSU	viii
ŞEKİLLER TABLOSU	x
TABLO LİSTESİ.....	xii
GİRİŞ	1
TEZİN LİTERATÜRDEKİ YERİ	1
ÇALIŞMANIN AMACI	7
BÖLÜM 1.....	8
ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTORLARIN TEMELLERİ	8
1.1. GİRİŞ	8
1.2. ELEKTRİK MAKİNALARI	8
1.2.1. ELEKTRİK MAKİNALARININ YAPISI.....	9
1.3. ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTORLAR.....	10
1.3.1. ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTORUN YAPISI.....	11
1.3.2. ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTORUN ÇALIŞMA PRENSİBİ	13
1.3.2.1. Değişken Relüktans	15
1.3.2.2. Eşdeğer Devre	16
1.3.2.3. Enerji Dönüşümü	17
1.3.3. MOTORUN KONTROL EDİLMESİ VE SÜRÜCÜ DEVRELERİ.....	21

BÖLÜM 2	24
MEDİKAL SANTRİFÜJ SİSTEMLERİ	24
2.1. GİRİŞ	24
2.2. SANTRİFÜJ CİHAZLARI	24
2.2.1. GENEL BİLGİLER	24
2.2.2. SANTRİFÜJ CİHAZININ TARİHİ	25
2.2.3. SANTRİFÜJ CİHAZININ ÇALIŞMA PRENSİBİ	27
2.2.4. SANTRİFÜJ CİHAZININ TİPLERİ	30
2.2.4.1 Konvansiyonel Santrifüj Cihazları	30
2.2.4.2. Eksenel (Aksial) Separasyon Sistemi (AST)	36
BÖLÜM 3	37
PROTOTİP MEDİKAL SANTRİFÜJ SİSTEMİ	37
3.1. GİRİŞ	37
3.2. SANTRİFÜJ SİSTEMİNİN GENEL YAPISI VE BİLEŞENLERİ	37
3.3. ARM DETAYLARI	39
3.4. PROTOTİP SİSTEM	43
BÖLÜM 4	45
SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	45
KAYNAKLAR	47

ŞEKİLLER TABLOSU

Şekil 1.1. ARM'lerin Elektrik Motorları Hiyerarşisindeki Yeri	9
Şekil 1.2. Farklı Dizilimlere Sahip ARM'ler	12
Şekil 1.3. En Çok Bilinen ve Kullanılan ARM Dizilimleri	13
Şekil 1.4. ARM'de Rotor Konumuna göre İndüktansın Değişimi.....	14
Şekil 1.5. Halkalanma Akısı ve Akım Arasındaki Doğrusal Olmayan İlişki.....	15
Şekil 1.6. ARM'nin Tek Fazına Ait Elektriksel Eşdeğer Devre	16
Şekil 1.7. Manyetizasyon Eğrisi ve Enerji İlişkisi	18
Şekil 1.8. Alan Enerjisi, Ko-Enerji ve Mekanik İş	19
Şekil 1.9. Sabit Stator Sargı Akımında Torkun İndüktansla Değişimi	21
Şekil 1.10. ARM Çevirici Sınıflandırması.....	22
Şekil 1.11. Üç Fazlı Bir ARM için 2n Tipi Klasik Köprü Çevirici Devresi	23
Şekil 2.1. Antonin Prandtl Tarafından Üretilen Tarihteki İlk Santrifüj Cihazı	25
Şekil 2.2. Heinken Tarafından İcat Edilen İlk Mikroişlemcili Santrifüj Cihazı	26
Şekil 2.3. Beckman Tarafından Üretilen Avanti Adlı Santrifüj Cihazı.....	26
Şekil 2.4. Santrifüj Kuvvetinin Şekil Üzerinde Gösterimi.....	28
Şekil 2.5. Relatif Santrifüj Kuvveti Hesaplanırken Kullanılan r_{max} ve r_{min} Değerlerinin Santrifüj Cihazı Üzerinde Gösterimi.....	29
Şekil 2.6. Manuel Santrifüj Aletleri	30
Şekil 2.7. Masa Tipi Santrifüj Cihazı	31
Şekil 2.8. Hematokrit Santrifüj Cihazı	32
Şekil 2.9. Ultra Santrifüj Cihazları.....	33
Şekil 2.10. Sabit Açılı Santrifüj Örneği	34
Şekil 2.11. Horizontal Başlıklı Santrifüj Cihazı.....	35
Şekil 2.12. AST Örneği.....	36
Şekil 3.1. Santrifüj Sisteminin Temel Bileşenlerinin Üç Boyutlu Görünümü.....	38
Şekil 3.2. Sistemin Temel Blok Diyagramı.....	38
Şekil 3.3. Santrifüj Sisteminin Elektromekanik ve Elektronik Bileşenleri.....	39
Şekil 3.4. ARM'ye Ait Temel Bileşenler.....	40
Şekil 3.5. ARM'ye Ait Temel Performans Karakteristikleri.....	41
Şekil 3.6. Çakışık Konumda Manyetik Akı Yoğunluğu Dağılımının Vektörel Olarak Üç Boyutlu Gösterimi	42

Şekil 3.7. ARM'ye Ait Akım-Halkalanma Akısı-Rotor Konumu Karakteristiği.....	42
Şekil 3.8. ARM'nin Faz Gerilimi ve Akımına Ait Osiloskop Ekranı Görüntüsü.....	43
Şekil 3.9. Prototip Santrifüj Sistemine Ait Görüntüler.....	44
Şekil 3.10. Prototip Santrifüj Sisteminin Test Sürecinden Alınmış Görüntüler.....	44



TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Prototip ARM'ye Ait Temel Parametreler.....	40
--	----



GİRİŞ

Tezin Literatürdeki Yeri

Anahtarlamalı relüktans motorlar (ARM), basit yapıları ve geniş hız sahasına sahip olma özellikleri sayesinde kullanım alanları gün geçtikçe yaygınlaşan elektrik motorlarıdır. ARM'ler, diğer elektrik makinalarına nazaran daha basit yapıdadırlar [1]. Hava aralığındaki relüktans değişimi prensibini temel aldıklarından ve faz indüktanslarının değişken olmasından dolayı önceleri değişken relüktanslı motorlar olarak isimlendirilen ARM'ler, daha sonraları çalışma prensipleri göz önünde bulundurularak anahtarlamalı relüktans motorlar olarak isimlendirilmişlerdir.

Faraday 1822'de yaptığı çalışmalar ile içinden akım geçirilen bir iletken maddenin manyetik alan tarafından manyetik kuvvet ile itildiğini bulmuş ve bu buluş elektrik makinalarının temel ilkelerini oluşturmuştur. Faraday'ın bu buluşundan yararlanarak Barlov 1824 yılında, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren bir makine icat etmiştir. Barlov tekerleği olarak bilinen bu makine, tarihteki ilk elektrik makinası olarak bilinmektedir.

ARM'nin çalışma prensibi ise ilk kez Davidson ve Wheatsone tarafından tanımlanmıştır. ARM, 1838 yılında Davidson tarafından İskoçya'da Glasgow ile Edinburgh arasındaki tren yolunda çalışan bir lokomotifte kullanılmıştır [2]. Relüktans motorun patenti 1840 yılında W.H. Toylar tarafından alınmıştır [3].

Ancak 1960'lı yılların sonlarına kadar çok küçük güçlerde imal edilen ve üzerinde pek durulmayan bu motor, yarı iletken teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak tekrar gündeme gelmiştir. 1970'li yıllarda ucuz ve hızlı elektronik güç anahtarlama elemanlarının ve yüksek güçlerde değişken relüktanslı motorların üretilmesi

ile relüktans motorlar üzerine yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Bu bağlamda ilk önemli adım 1969 yılında Nasar ve Ofsenani tarafından atılmıştır [1,3]. Bunu takip eden yıllar içerisinde yarı iletken teknolojisinde ilerleme ve kontrol tekniklerinin de gelişimine paralel olarak ARM'ler literatürde sıkça yer almıştır.

Günümüzdeki ARM'lerin temel özelliklerini taşıyan ilk ARM patenti 1972 yılında ABD'de Bedford ve Hoft tarafından alınmıştır [4]. İlk ARM'ler 1974 yılında Ford Motor şirketinde çalışan Unnewehr ve Koch, daha sonra ise 1978 yılında Bausch tarafından üretilmiştir [5,6]. 1980 yılında Leeds Üniversitesinde Lawrenson ve arkadaşları, relüktans motorları üzerine gerçekleştirdikleri kapsamlı bir çalışmadan sonra araştırmacılar bu motora ilgi göstermeye başlamışlardır [7]. Ticari amaçlı olarak ilk ARM'ler, 1983 yılında Oulton Drives Ltd. lisansı ile Tascos Drives tarafından İngiltere'de üretilmeye başlanmıştır.

Bunu takip eden yıllarda güç elektroniğinde kullanılan yarı iletken teknolojilerinin gelişimi, mikrodenetleyici yapılarında meydana gelen gelişmeler ve kontrol tekniklerinin de gelişimiyle ARM'lerin literatürdeki yeri artmaya başlamıştır. Fakat ARM'lerin ticari olarak çok tercih edilmemesinin sebebi, motorun karşılıklı stator kutuplarında oluşan titreşim ve rotor konumu algılayıcısı içeren sürücü devresinin kullanılmasının zorunlu olmasındandır [2,8,9].

ARM'ler yapısal olarak senkron makinaların yapısına benzer olmasına karşın, stator ve rotorlarındaki çıkıntılı yapı ve rotorlarında herhangi bir mıknatıs ya da sargı bulunmamasından dolayı diğer elektrik makinalarından ayrılmakta ve dolayısıyla çalışma prensipleri farklılıklar göstermektedir.

ARM'lerin çalışma prensibi, relüktans kuvvetine dayanmaktadır. ARM'ler; çıkıntılı yapılı rotorun, akının en kısa yoldan geçebilmesi için en az relüktansın olduğu konuma uygulanan kuvvet ile çekilmesi mantığıyla çalışmaktadır. Dolayısıyla ARM'lerde elektrik enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülmesi relüktans kuvveti ile gerçekleşmektedir. Relüktans kuvveti, rotor kutbunun statora göre konumunun belirlenerek uygun faz sargılarının uyarılmasıyla devamlı bir döndürme momenti oluşturmaktadır [10].

ARM'lerin sahip oldukları avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Rotorda sargı ya da mıknatıs bulunmaması sebebiyle maliyetlerinin düşük olması,
- Rotorda sargı olmaması sebebiyle daha az bakım gerektirmesi,
- Stator sargılarının basit yapılı olması,
- Rotorda sargı ve fırça olmamasından dolayı motorun yüksek hızlara çıkabilmesi,
- Yüksek kalkış momenti verebilmesi,
- Uzun ömürlü olması,
- Yüksek hızlarda ve güçlerde çalışmaya uygun yapıda olmaları,
- Hata toleransının yüksek olması ve dolayısıyla sargılardaki yanma ya da kısa devre gibi durumlarda bir faz devreden çıksa bile çalışmasını devam ettirebilmesi.

ARM'ler önemli avantajlarına rağmen son yıllara kadar ticari olarak pek fazla tercih edilmemiştir. Bunun sebepleri ise;

- Özellikle düşük hız uygulamalarında momentte büyük genlikli salınımlar oluşması nedeniyle akustik gürültüye sahip olması ya da akustik gürültü üretimine meyilli olması,
- Genel olarak rotor konumu algılayıcısı içeren sürücü devresinin kullanılmasının zorunlu olması.

Bunlara ek olarak ARM'lerin kullanıldığı alanlar aşağıdaki gibi verilebilir [11]:

- Elektrikli ev aletleri,
- Demiryolu, hafif raylı sistem ve otomobil endüstrisi ile iş aletleri,
- Tekstil sektörü,
- Havacılık,
- Madencilik,
- Enerji üretimi,
- Yazıcılar, tarayıcılar gibi bilgisayar cihazları.

Özellikle ev içi uygulamalarda ARM'lerin sahip olduğu akustik gürültü daha da önem kazanmaktadır. Literatürde yakın zamanda ARM'lerin sahip olduğu bu dezavantajları azaltmak için birçok çalışma yapılmıştır [4]. ARM'ler son yıllarda birçok uygulamada kullanılmasına rağmen medikal santrifüj sistemlerde kullanılmamıştır.

Medikal santrifüj cihazları, ağırlıkları farklı maddeler içeren tüplerin yer çekimine bağlı olarak elektrikli motor yardımıyla yüksek hızla döndürülmesi sonucu maddelerin ayrışmasını sağlayan cihazlardır. Santrifüjle ayırma işlemi, merkez kaç kuvvetinin etkisi ile sağlanmaktadır [12].

Santrifüj cihazları; farklı yoğunluktaki katı ve sıvı parçacıklarını, farklı hızlarda döndürerek birbirlerinden ayrıştırılmalarını sağlar. Çok yüksek hızlardaki dönme hareketi, bir sıvı veya katıdaki hücreler, akyuvarlar, bakteriler ve izotoplar gibi parçacıkları merkezkaç kuvveti yardımıyla ayrıştırmaktadır [12,13].

Santrifüj cihazları, motor büyüklükleri ve kullanıldıkları alana göre dakikada 5 ila 20 bin devirle çalışabilir. Santrifüj cihazları, ticari uygulamalar, medikal uygulamalar, astronomi, geo-teknik modelleme, süt sanayisi, serum üretimi, süspansiyon ayrıştırma ve izotop ayırma gibi farklı işlemler için kullanılmaktadır [13].

Santrifüj cihazının kökeni, 18. yüzyıla kadar uzanmaktadır. İngiliz askeri olan mühendis Benjamin Robins, sürüklenmeyi belirlemek için dönen kolu olan bir alet icat etmiştir ve bu alet santrifüj cihazının temelini oluşturmuştur. 1864 yılında Antonin Prandtl, sütü kaymağından ayırmak için santrifüj cihazını icat etmiştir. Friedrich Miescher laboratuvarında ilk kez santrifüj cihazını 1869 yılında kullanmıştır [14].

Friedrich Miescher bir hücre organelini izole etmek için santrifüj cihazını kullanmıştır. Bu süreç, daha sonra nükleik asitler olarak bilinecek olan biyolojik bileşenlerin önemli bir sınıfının keşfedilmesinde rol oynamıştır. Miescher'in çalışması başkaları tarafından hızla kabul edilmiş ve daha da geliştirilmiştir. Tarihteki ilk sürekli santrifüj ayırıcı cihaz Gustaf de Laval tarafından ortaya konmuştur. Bu gelişme, ilk kez bir santrifüj cihazının ticarileştirilmesini mümkün kılmıştır [14].

Santrifüj cihazının evriminde bir sonraki önemli adım, İsveç kimyager Theodor Svedberg tarafından geliştirilen 900.000 g'ye ulaşabilen ultra santrifüj cihazının yapıldığı 1920'li ve 1930'lu yıllarda gerçekleşmiştir. 900.000 g'a ulaşabilen modeller küçük rotora sahip olurken, 260.000 g'de çalışabilen daha büyük rotorlu ultra santrifüj cihazları daha rutin işlerde kullanılmıştır. Svedberg, santrifüj cihazını, kanda bulunan hemoglobin gibi son derece kompleks proteinlerin moleküler ağırlıklarını ve hemoglobinin alt birim yapısını belirlemek için kullanmıştır. Bu bilgiler protein yapılarını anlama konusunda bir devrim başlatmıştır. 1926'da Svedberg, ultra

santrifüj cihazını icat etmesi ve kolloid kimyasındaki çalışmaları nedeniyle Nobel Ödülü almıştır [15].

Bununla birlikte, Svedbergs'in ultra santrifüj cihazı, esasen sedimantasyon sınırlarının doğru kaydı için tasarlanmış bir analitik araçtı. Rotor ekseni yataydı ve hazırlık işlemleri için rotor eksenini dönüştürmek imkânsızdı. Bu analitik araçlardan modern preparatif ultra santrifüj cihazlarına geçiş, Fransız fizikçi Emile Henriot'un gayretleriyle gerçekleşmiştir [14].

Virüslerin izolasyonuna olan ilgileri, Edward Pickels ve Johannes Baue'ı filtrelenmiş virüslerin çalışması için uygun ilk hızlı vakum santrifüj cihazını oluşturmak için bir araya getirmiştir. Daha sonra, Pickels daha elverişli, elektrikle çalışan ultra-santrifüj cihazını geliştirmeye devam etmiştir [16].

1930'ların başında Martin Behrens tarafından geliştirilen santrifüj cihazı, çekirdeğin ayrılması için sulu olmayan çözücülerin yoğunluk gradyanlarını kullanma yöntemi olan bir santrifüj tekniği ile son çökeltiyi yeniden elde etmiştir. Behrens'in doku parçalanmasına yaklaşımı, fiziksel veya kimyasal olarak karakterize edilen bozulmuş hücrelerden bir veya daha fazla tanımlanabilir bileşeni ayırmayı amaçlamıştır [14].

1942'de Albert Claude ve James Potter, "Leukemic Hücrelerin Dinlenme Çekirdeğinden Kromatin Konularının İzolasyonu" adlı çok değerli bir makale yayınlamıştır. Bu yazıda, süpernat veya çökelti kromatin ipliklerine kadar toplanan bir dizi santrifüj aşaması özetlenmiştir [17].

1946 yılında Spinco adlı şirket Belmont şehrinde ultra santrifüj cihazını pazarlamaya başlamıştır. Fakat şirketin satışları düşük kalmış ve şirket ilk yıllarda neredeyse iflas etme noktasına gelmiştir. 1949'da Spinco, maksimum hızı 40.000 dev / dk'ya ulaşan ilk hazırlayıcı ultra-santrifüj cihazı olan Model L'yi piyasaya sürmüştür [18].

1954'te Beckman Instruments (şimdiki adı Beckman Coulter) Spinco'yu satın alarak Spinco'nun santrifüj bölümünün temelini oluşturmuştur. Beckman hemen hemen bugün hala kullanılmakta olan santrifüj cihazlarının tasarımını geliştirmeye başlamıştır [19].

1962'de Almanya'nın Hamburg kentinde bulunan ve günümüzde Eppendorf olarak bilinen şirket olan Netheler & Hinz Medizintechnik, laboratuvar kullanımı için ilk mikro santrifüj cihazını geliştirmiştir. Bu santrifüj sistemi (model 3200), rutin analitik

laboratuvarlarda mikro litrelik bir ölçekte kullanıma sunulmuş ve santrifüj süresini kontrol etmek için yalnızca bir kadran sunmuştur. Santrifüj Sistem, daha sonra çeşitli Biyoteknoloji ve Labware şirketleri tarafından geliştirilen moleküler laboratuvar için geniş bir araç yelpazesinin temelini oluşturmuştur [14].

1971'de HEINKEN, ilk çeviricili filtre santrifüj cihazı olan HF'yi geliştirmiştir. 1976'da dünyanın ilk mikroişlemci kontrollü santrifüj cihazı Hettich tarafından ACHEMA'da başlatılmıştır. Bu yenilik, zamanının ötesine geçmiş ve bu teknoloji kendi zamanı için standart bir makine haline gelmeden önce gelmiştir [14].

1980'lerde Beckman ultra santrifüj cihazlarını geliştirmiştir. Beckman, 1990'lı yıllarda, tarihin en popüler santrifüj modellerinden biri olan Avanti yüksek performanslı santrifüj cihazı üretilmeye başlamıştır. Ayrıca, bu yıllarda, robotik çalışma yeteneğine sahip ilk santrifüj cihazı Hettich tarafından geliştirilmiştir. Bu santrifüj cihazında PC kontrol ve ayarlanabilir rotor konumlandırma da hayata geçmiştir [14].

1991'de Heinken, yüksek basınçlı susuzlaştırma için Hyper Santrifüj cihazını piyasaya sürmüştür. 1992'de PAC (Basınçlı Santrifüj) Sistemi Heinken tarafından geliştirilmiştir.

2000 yılında Eppendorf, piyasadaki en küçük ve en sessiz soğutmalı mikro santrifüj cihazı olan soğutulmuş 5415D santrifüjü ile klasik mikro santrifüj cihazı tanımını yenilemiştir. Ayrıca 2010 yılında Eppendorf, kişisel santrifüj cihazları olarak da bilinen Mini Spin ve Mini Spin Plus'ı piyasaya sunmuştur. Böylelikle santrifüj cihazı pazarı için yeni bir dönem başlamıştır [20].

1940'lı yıllarda laboratuvar kullanımı için ilk kez ticarileştirildiği yıllardan sonra santrifüj cihazı uzun bir yol kat etmiştir. Günümüzde yüksek santrifüj kuvvetlerine dayanmak için rotorlarda alüminyum alaşımları ve titanyum gibi malzemeler kullanılmaktadır.

Sürtünmeyi azaltmak ve sıcaklık kontrolünü sürdürmek için vakum sistemleri modern santrifüj cihazlarına eklenmiştir. Elektron mikroskopları gibi diğer araçların geliştirilmesi, araştırmacıların santrifüjlenmekte olan parçacıkları daha iyi incelemesine ve araştırmasına izin vermiştir.

Çalışmanın Amacı

Teknolojinin her alanda kendini göstermesi ve artık günlük hayatımızın vazgeçilmezi oluşu üretim maliyetlerini de düşürmüştür. Bu gelişme elektronik parça bazındaki ucuzlukla birlikte sistem bazındaki ucuzluğu da beraberinde getirmiştir. Bu durum rekabet koşullarını daha da zorlaştırmıştır. Artık geliştirilen sistemlerin yüksek performansa ve kararlılığa sahip olmasının yanı sıra, küçük boyutta, düşük gürültüde, az maliyetle üretilmiş olması bir zorunluluk haline gelmiştir.

Sunulan çalışmada, sözü edilen özelliklerin birçoğunu üzerinde barındıran ARM'lere dayalı bir medikal santrifüj sistemi tasarlanmıştır.

Sunulan tezde, öncelikle daha sonraki bölümlerin daha iyi anlaşılabilmesi için anahtarlamalı relüktans motorların avantajları, dezavantajları, yapısı, çalışma ilkesi, enerji dönüşümleri, elektriksel ve manyetik parametrelerinin belirlenmesi, kontrolü, sürücü seçimi ve tasarım kriterleri incelenmiş olup daha sonra medikal santrifüj cihazı hakkında genel bilgiler verilmiştir. Sonraki bölümlerde ise tez çalışmasında prototip olarak gerçekleştirilen medikal santrifüj sistemi hakkında bilgiler verilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 1

ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTORLARIN TEMELLERİ

1.1. Giriş

Bu bölümde, ilk olarak elektrik makinaları hakkında bilgiler sunulacak, elektrik makinaları içerisinde ARM'lerin yeri verilecek ve sonra ise ARM yapıları detaylı olarak incelenecektir.

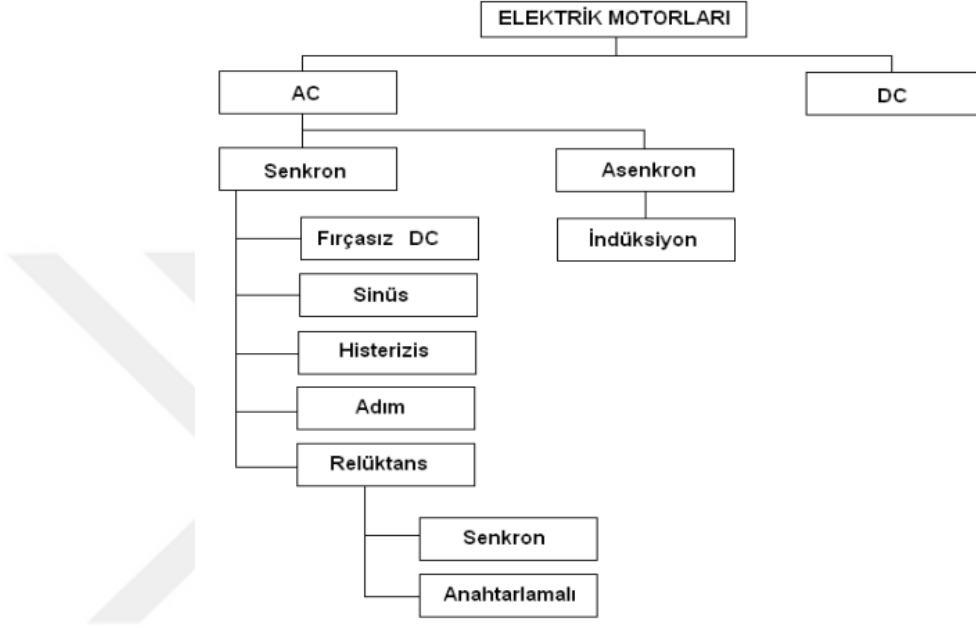
1.2. Elektrik Makinaları

Elektrik enerjisini mekanik enerjiye veya mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren çevirici cihazlar elektrik makinaları olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde elektrik makinaları en basitinden en karmaşığına birçok elektromekanik sistem içerisinde yer almaktadır. Bu sebeple elektrik makinalarının tasarım parametrelerinin en uygun şekilde gerçekleştirilmesi makinanın doğrudan kullanım alanının artması olarak günlük hayata yansımaktadır.

Elektrik makinaları, tork üretim mekanizmalarına göre genel olarak iki sınıfa ayrılabilir. Bunlar manyetik etkileşim ve değişken relüktans mekanizmalarıdır. Torkun manyetik etkileşimle ürettiğı elektrik makinalarında, dönme hareketi hem stator hem de rotor tarafından üretilen manyetik alanların etkileşmesi sonucu oluşur. Ortak olarak etkileşimli iki manyetik alan, alanların hizaya gelmesi prensibine göre manyetik tork oluşturmaktadır. Günümüzde ticari olarak kullanılan motorların çoğı bu prensiple çalışmaktadır. DC, indüksiyon ve daimi mıknatıslı motorlar bu motorlara örnek olarak verilebilir.

Değişken relüktans yardımıyla torkun üretildiğı elektrik makinalarında ise dönme hareketi, rotor ve stator arasında bulunan hava aralığındaki değişken relüktans sonucu

ortaya çıkar. Bu durumda stator sargısına enerji verildiğinde, oluşan relüktans torku, rotoru minimum relüktans oluşacak şekilde hareket ettirir. ARM'ler ise değişken relüktans ile tork üretilen motorlar kategorisine girerler. ARM'lerin elektrik motorları hiyerarşisindeki yeri Şekil 1.1' de verilmiştir.



Şekil 1.1. ARM'lerin Elektrik Motorları Hiyerarşisindeki Yeri [1]

1.2.1. Elektrik Makinalarının Yapısı

Bir elektrik makinası, stator ve rotor olarak adlandırılan ve hava aralığı ile birbirinden ayrılan iki kısımdan oluşur. Genel olarak hareket etmeyen stator, makinanın dış kısmını çevreler. Dönebilecek şekilde serbest olan rotor ise içteki kısımdır. Bununla birlikte, bu yapıların statorun iç kısmında ve rotorun dış kısmında yer aldığı elektrik makinaları da mevcuttur.

Stator veya rotor oluklarına yerleştirilen iletkenler bir sargı oluşturacak şekilde içeriden birbirlerine birleştirilirler. İçerisinde gerilim indüklenen sargılar armatür sargıları diye adlandırılır. Akı üretmek için akımın geçtiği sargılar ise alan sargıları olarak adlandırılır. Bazı makinalarda bu akıyı sağlamak için daimi mıknatıslar da kullanılabilir. Döner elektrik makinaları, doğru akım ve alternatif akım

makinaları olmak üzere temel olarak iki kısımda incelenir. Fırçasız doğru akım makinaları, histerisiz makinalar, step motorlar ve relüktans motorları ise diğer makinalardır.

Doğru akım motorlarında, alan sargıları statora ve armatür sargıları rotora yerleştirilmiştir. Makinada akı üretmek için alan sargılarından doğru akım geçirilir. Armatür sargılarında endüklenen gerilim değişkendir. Gerilimin doğrultulması veya akımın yön değiştirmesi komütatör ve fırça sistemi ile gerçekleştirilmektedir.

Senkron makinada rotor alan sargılarını, stator ise armatür sargılarını taşır. Alan sargıları hava aralığında akı üretmek üzere doğru akımla uyarılır. Rotor döndüğünde stator oluklarına yerleştirilen armatür sargılarında gerilim indüklenir. Armatür akımı hava aralığında rotor hızı ile aynı hızda dönen bir akı meydana getirecektir. Rotor hızı ile akı hızının aynı olması sebebiyle bu makina senkron makina olarak adlandırılır.

Asenkron (indüksiyon) makinalarında stator sargıları, hem armatür sargıları hem de alan sargıları olarak işlev görürler. Asenkron makinalarda hem stator hem de rotorda alternatif akım vardır. Alternatif akım doğrudan stator sargılarına uygulanır. Rotor sargılarındaki akım ise indüksiyon yolu ile oluşur. İndüksiyon makinası denmesinin sebebi budur. Sürekli çalışma durumunda rotor hızı senkron hıza çok yakındır. Rotor, stator gibi sargılara sahip olduğu gibi sincap kafes tipi denilen kısa devre iletkenli de olabilir. Sincap kafes tipi yapı, alüminyum ya da bakır çubukların rotor gövdesindeki oluklara yerleştirilerek sonları kısa devre edilmesi ile elde edilir.

1.3. Anahtarlamalı Relüktans Motorlar

Anahtarlamalı relüktans motorlar, sahip oldukları özellikler ve yapıları ile senkron ve asenkron makinalara fazla benzemez ancak hem senkron hem de asenkron makinaların yapısından faydalanılarak meydana getirilmişlerdir. İlk ARM, senkron motor yapısı üzerinde değişiklikler yapılarak tasarlanmıştır. Stator ve rotorun geometrik yapısı üzerinde değişiklikler yapılarak oluşturulan yeni yapılar incelenmiş ve sonuçta daha verimli motorlar elde edilmeye çalışılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda stator ve rotor arasındaki hava boşluğunda depolanan enerjiden daha fazla istifade edilebilmesi amaçlanmıştır.

ARM'ler yapı olarak adım motorlara benzemektedir. Senkron motorlarda kalkınma problemi vardır. ARM'de ise rotor ve stator yapısı çıkıntılardan müteşekkildir. Rotor ve stator çıkıntı sayısı birbirinden farklıdır. Bu sebeple senkron motorlarda olduğu gibi kalkınma problemi yaşanmaz. Kalkınma probleminin olmaması yönüyle bu motorlar asenkron motorlara benzerler. ARM'nin asenkron motorlarından en önemli farkı ise uygulanan gerilimin yapısı itibarı iledir. Asenkron motorlarda hem rotor hem de statora alternatif gerilim uygulanırken ARM'lerde yalnızca stator sargılarına darbe şeklinde akım verilir. Çalışma prensibi temel olarak stator sargılarına akım uygulayarak hava aralığında oluşan relüktansın değiştirilmesi aracılığı ile rotorun hareketinin sağlanması ve tork elde edilmesi şeklindedir. ARM'lerde rotor hiçbir iletken, sargı vs. içermez ve çok sade bir yapıdadır.

Relüktans daha basit şekliyle elektrik devlerinde ki dirence benzetilebilir. Manyetik devredeki manyetik akıya zorluk gösterir. Anahtarlama relüktans motorlarda bir anda çoğunlukla tek faz enerjilenebilir ve diğer fazlar pasif olmak zorundadır. Bu şekilde bir anahtarlama işlemi gerçekleştirilir.

1.3.1. Anahtarlama Relüktans Motorun Yapısı

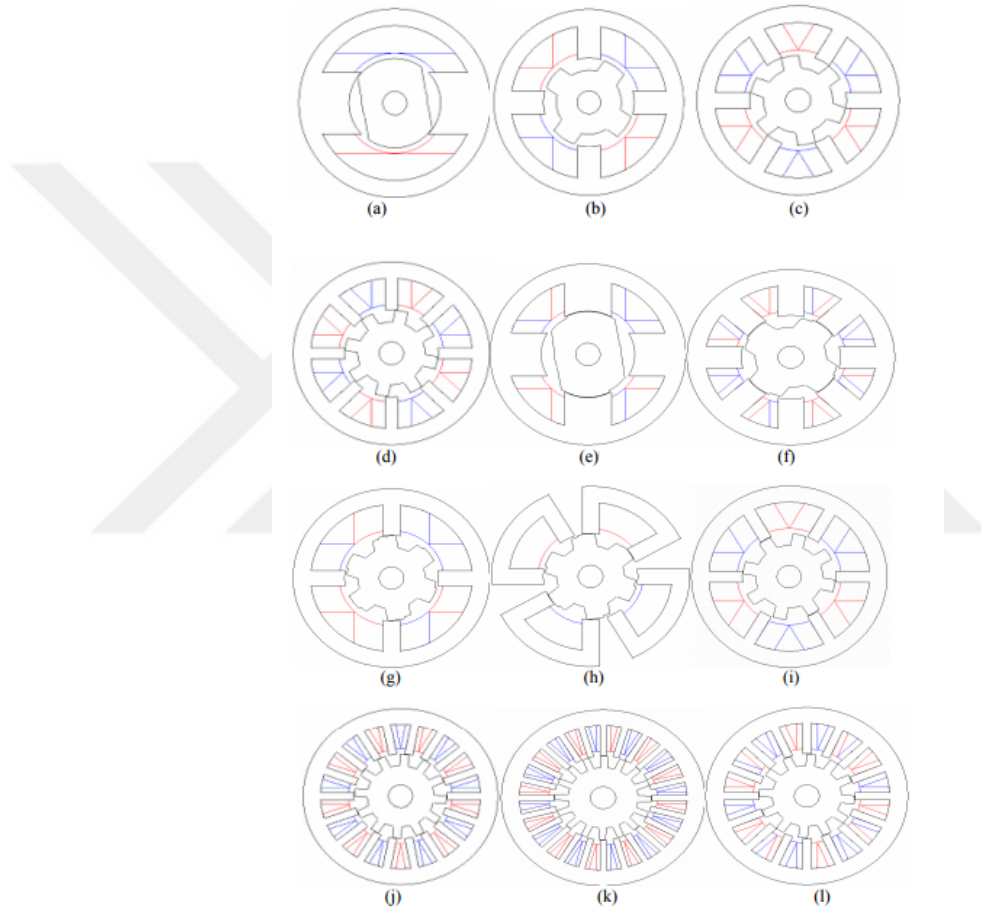
Anahtarlama relüktans motorlar son derece basit bir kurulum ve yapıya sahiptirler. Yapı olarak hem stator hem de rotor kısımlarında çift sayıda çıkıntıya sahiptirler. Bu sebeple çıkıntılı ya da çift çıkıntılı motorlar olarak bilinmektedirler.

Stator ve rotor için kutup sayıları çift sayıda olmak üzere sayıca birbirine eşit, birbirlerinden az veya fazla olabilir. Genelde stator çıkıntı sayısı rotor çıkıntı sayısından fazla olacak şekildedir. ARM'nin tipi stator çıkıntı sayısı ve rotor çıkıntı sayısı şeklinde ifade edilmektedir. Örnek olarak, 12/8 dizilimli bir ARM 12 stator kutbu ve 8 rotor kutbu olduğunu ifade etmektedir.

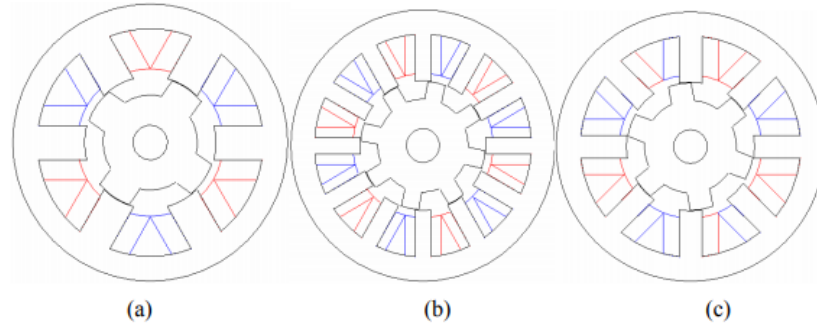
Genel olarak yüksek torkun ihtiyaç olduğu uygulamalarda rotor kutup sayısı, stator kutup sayısına yakına seçilirken; yüksek hız gerektiren uygulamalarda rotor kutup sayısı stator kutup sayısına göre küçük seçilmektedir.

ARM'ler tek fazlı olarak 2/2, 4/4, 6/6; çift fazlı olarak 4/2, 8/4, 4/6, 8/6; üç fazlı olarak 6/4, 6/8, 12/8; dört fazlı olarak 8/6, 16/12 gibi birçok değişik dizilimlere sahip olabilir. Bu dizilimler arasında 3 fazlı 6/4, 4 fazlı 8/6 en çok bilinen ve kullanılan dizilimler iken

3 fazlı 12/8 dizilimi de 6/4 ve 8/6 dizilimlerine göre daha az olmakla birlikte kullanılmaktadır. Şekil 1.2’de çeşitli dizilimlere sahip ARM’ler, Şekil 1.3’te ise en çok bilinen ve kullanılan dizilimler görülmektedir.



Şekil 1.2. Farklı Dizilimlere Sahip ARM’ler. (a) Tek faz 2/2, (b) Tek faz 4/4, (c) Tek faz 6/6, (d) Tek faz 8/8, (e) İki faz 4/2, (f) İki faz 8/4, (g) İki faz 4/6, (h) İki faz 8/6, (i) Üç faz 6/8, (j) Üç faz 18/12, (k) Üç faz 24/16, (l) Dört faz 16/12. [1]



Şekil 1.3. En Çok Bilinen ve Kullanılan ARM Dizilimleri (a) Üç faz 6/4, (b) Üç faz 12/8, (c) Dört faz 8/6 [1]

Stator ve rotor çekirdekleri ince lamine saçlardan oluşur. En azından bir tarafı yalıtkan olan bu saçlar motorun çekirdek kaybını azaltmak için kullanılırlar. ARM'lerin rotorlarında ise yalnızca saç paketi bulunmaktadır.

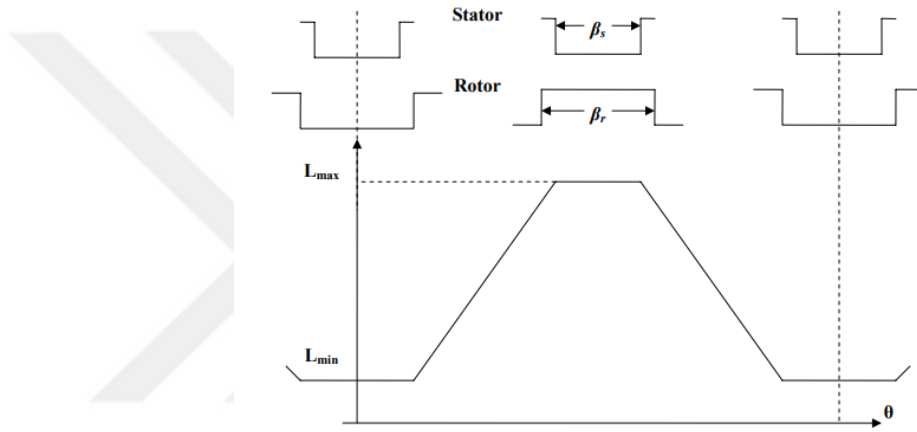
ARM'lerin stator sargıları çok yoğun şekildedir. Bunun temel sebebi, herhangi bir faz uyarıldığında daha fazla manyetik alan kuvveti elde etmektir. Bu şekilde diğer motorlara nazaran daha yüksek tork değerlerine ulaşılabilir. ARM'lerin diğer elektrik makinalarından en önemli fark ve avantajı, rotorunun mıknatıssız ve fırçasız olması ve hiçbir şekilde sargıya sahip olmamasıdır.

Genellikle stator kutupları, rotor kutuplarından daha dardır. Böylelikle bir faz enerjilendirildiğinde oluşan manyetik alan daha fazla kullanılmış ve stator sargıları için daha fazla yer açılmış olur. Aynı zamanda negatif moment üretilmesinden kurtulmak ve her bir fazın pozitif ve negatif moment üretim bölgelerini ayırt edebilmek amacıyla rotor kutuplarının genişliği, stator kutuplarının genişliğinden daha büyük seçilmektedir [11].

1.3.2. Anahtarlamalı Relüktans Motorun Çalışma Prensibi

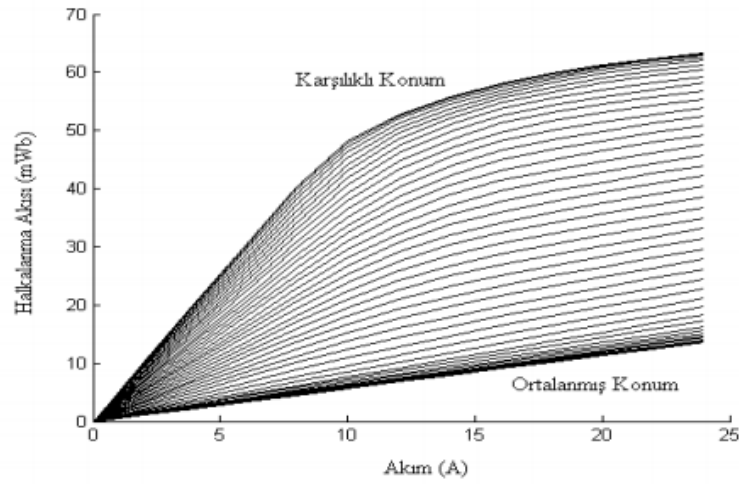
ARM'lerde döndürme momenti akımın yönünden bağımsız olup genliğine bağlı olarak değişir. Bu yüzden motorun kontrol devresinde kullanılacak olan yarı iletken anahtarlama elemanı sayısı yarıya düşürülebilir. Bunun yanında tork değerinin indüktansın değişimine bağlı olması sebebiyle, akımın indüktansı artırma yönünde

uygulanması durumunda döndürme momenti pozitif olur iken, akımın indüktansı azaltıcı yönünde uygulanması durumunda ise negatif bir döndürme momenti oluşacaktır. Bu sebeplerden dolayı uygulanan akım darbelerinin, indüktans değişiminin hangi bölgelerinde uygulanacağını belirlemek ve dolayısıyla da bu bölgelere ait rotor konumunun tespit edilmesi gerekmektedir. Bu sebeple ilgili rotor konumunun öğrenilebilmesi için optik ya da alan etkili sensörler kullanılabilir. Şekil 1.4’ te rotorun statora göre olan konumuna göre doğrusal çalışma durumundaki indüktans değişimi gösterilmiştir.



Şekil 1.4. ARM’de Rotor Konumuna göre İndüktansın Değişimi [21]

Şekil 1.4’ te verilen rotor konumuna göre doymanın olmadığı kabul edilerek indüktans değişimi verilmiştir. Normal durumda ise doğrusal olmayan bir indüktans değişimi görülecektir. Şekil 1.5’ te ARM’ye ait halkalanma akısı ve akım arasındaki doğrusal olmayan ilişki gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Halkalanma Akısı ve Akım Arasındaki Doğrusal Olmayan İlişki. [21]

1.3.2.1. Değişken Relüktans

Manyetik bir devrenin relüktans eşitliği Eşitlik 1.1 ile gösterilmiştir.

$$\mathcal{R} = \frac{F}{\phi} = \frac{HI}{BS} = \frac{l}{\mu S} \quad (1.1)$$

Eşitlik 1.1 ifadesinde yer alan F manyeto motor kuvvetini (mmk), \mathcal{R} ifadesi relüktansı, ϕ akıyı, l manyetik yolun uzunluğunu, H hava aralığındaki manyetik alan şiddetini, B akı yoğunluğunu, μ manyetik malzemenin manyetik geçirgenliğini ve S ise manyetik yolun kesit alanını göstermektedir. Rotor ve stator kutupları ortalanmış pozisyon durumunda iken relüktans değeri en yüksek değerine ulaşmaktadır. Fakat stator ve rotor ortalanmış pozisyondan karşılıklı pozisyona geçerken relüktans değeri azalmaya başlayacaktır. Stator ve rotor kutupları karşılıklı pozisyona geçtiklerinde ise manyetik geçirgenlik maksimum değerine ulaşır ve relüktans değeri minimum değerine düşecektir [21].

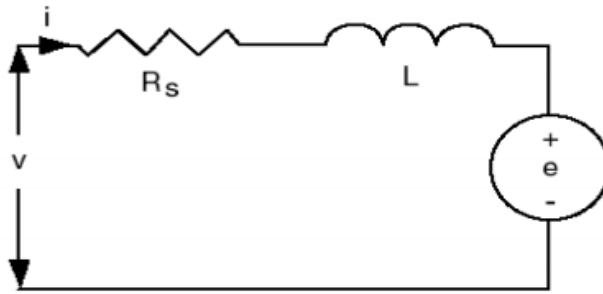
ARM' lerde indüktans ve relüktans arasındaki ilişki Eşitlik 1.2' deki gibi ifade edilebilir.

$$L = \frac{\lambda}{i} = \frac{N\phi}{i} = \frac{N^2}{\mathcal{R}} \quad (1.2)$$

Eşitlik 1.2' de i ifadesi faz akımını, λ ifadesi halkalanma akısı değerini ve N ifadesi ise faza ilişkin sarım sayısını göstermektedir.

1.3.2.2. Eşdeğer Devre

Şekil 1.6'da ARM'nin tek fazına ait eşdeğer devre gösterilmiştir.



Şekil 1.6. ARM'nin Tek Fazına Ait Elektriksel Eşdeğer Devre [1]

Şekil 1.6'de verilen devrede R_s , Her bir faz için stator sargılarına ait direnci ve L indüktans değerini temsil etmektedir. Burada her bir faza uygulanmakta olan gerilim miktarı Eşitlik 1.3'teki gibi verilebilir.

$$V = R_s i + \frac{d\lambda(\theta, i)}{dt} \quad (1.3)$$

$$\lambda = L(\theta, i) i \quad (1.4)$$

şeklindedir. Giriş gücü ise Eşitlik 1.5' te verilmiştir.

$$p_i = V i = R_s i^2 + i^2 \frac{dL(\theta, i)}{dt} + L(\theta, i) i \frac{di}{dt} \quad (1.5)$$

burada,

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} L(\theta, i) i^2 \right) = L(\theta, i) i \frac{di}{dt} + \frac{1}{2} i^2 \frac{dL(\theta, i)}{dt} \quad (1.6)$$

eşitliği elde edilir ve giriş gücü de,

$$p_i = R_s i^2 + \frac{di}{dt} \left(\frac{1}{2} L(\theta, i) i^2 \right) + \frac{1}{2} i^2 \frac{dL(\theta, i)}{dt} \quad (1.7)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Eşitlik 1.7’de giriş gücü, $R_s i^2$ ifadesi ile verilen sargı kayıp gücü, $p[L(\theta, i)i^2/2]$ ifadesi ile verilen alan enerjisinin değişim oranı ve $[i^2 pL(\theta, i)]/2$ ifadesi ile verilen hava aralığı gücünün toplanması ile bulunmaktadır.

Hava aralığı gücü için zaman ifadesinde rotor pozisyonu ve hız terimleri yerine konulacak olursa,

$$t = \frac{\theta}{\omega_m} \quad (1.8)$$

ve

$$p_{ag} = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL(\theta, i)}{dt} = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL(\theta, i)}{d\theta} \frac{d\theta}{dt}$$

$$p_{ag} = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL(\theta, i)}{d\theta} \omega_m \quad (1.9)$$

denklemini elde edilir.

Hava aralığı gücü ile elektromanyetik tork ve hız arasındaki ilişki;

$$p_{ag} = T \omega_m \quad (1.10)$$

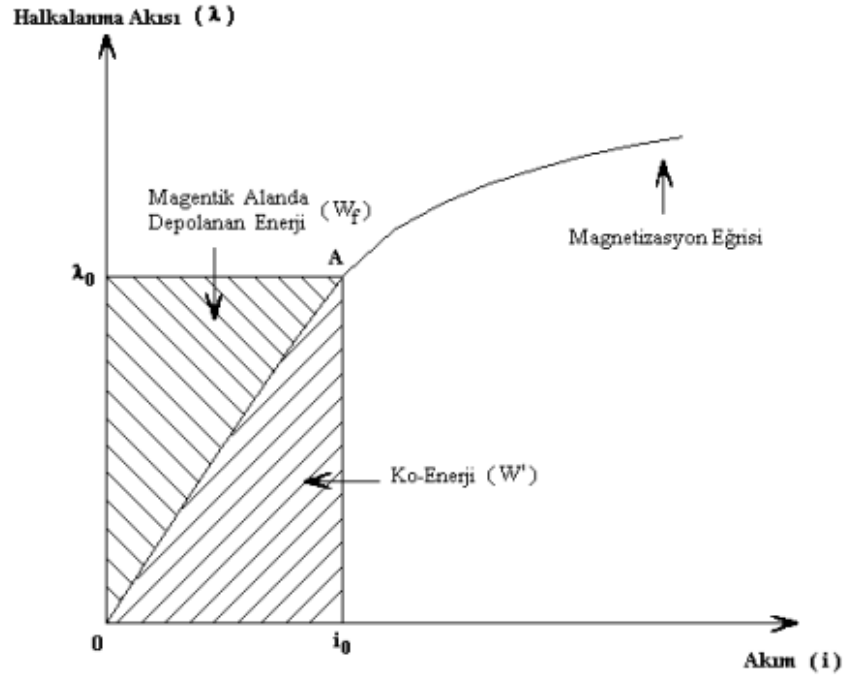
olduğundan motora ait tork;

$$T = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL(\theta, i)}{d\theta} \quad (1.11)$$

şeklinde ifade edilir.

1.3.2.3. Enerji Dönüşümü

Şekil 1.7’ de ARM’ ye ait halkalanma akısı ile akımın değişimi sonucu oluşan manyetizasyon eğrisi verilmiştir.



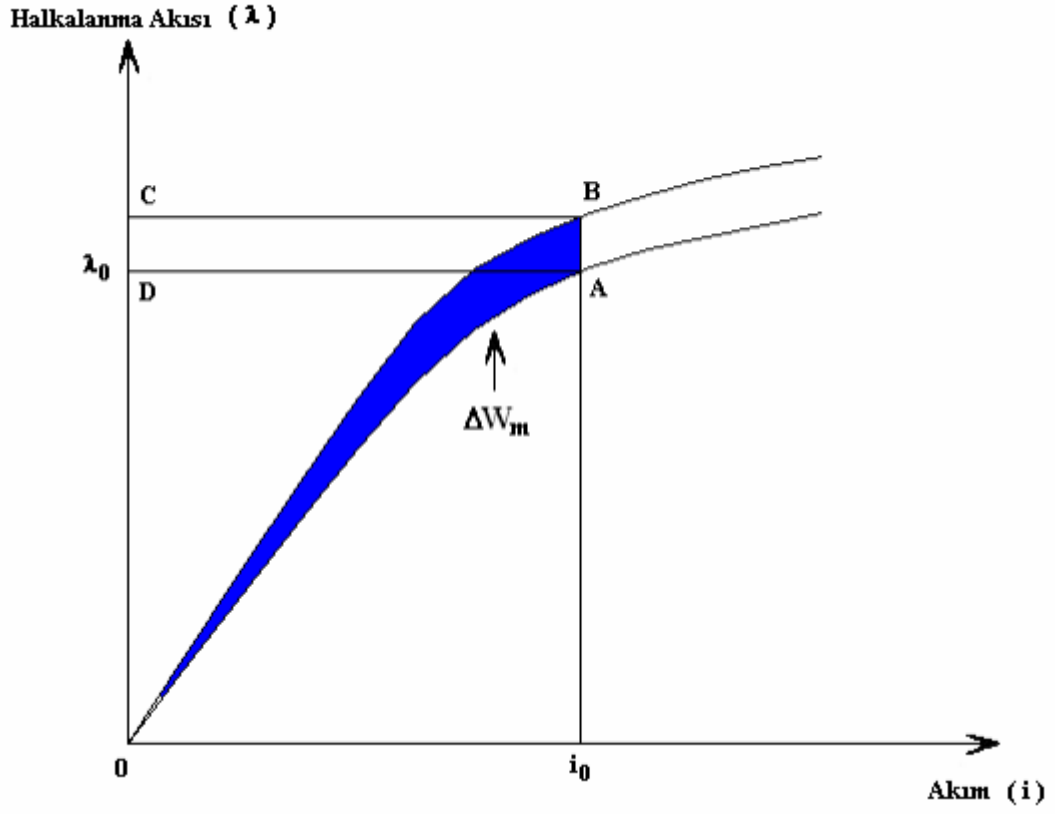
Şekil 1.7. Manyetizasyon Eğrisi ve Enerji İlişkisi [21]

Şekil 1.7' de gösterilen ARM'ye ait manyetizasyon eğrisi için herhangi bir A noktasında depolanan manyetik alan enerji ve ko-enerji değerleri Eşitlik 1.12 ve 1.13 ile ifade edilebilir:

$$W_f = \int_0^{\lambda_0} i d\lambda(\theta, i) \quad (1.12)$$

$$W' = \int_0^{i_0} \lambda(\theta, i) di \quad (1.13)$$

Burada halkalanma akısı, rotor pozisyonu ve akıma bağlı bir değişken olup alan enerjisi, hava aralığı ile stator ve rotor malzemesinde depolanan manyetik enerjiyi ifade etmektedir. Eğer rotor serbest bırakılırsa karşılıklı pozisyona doğru hareket etmeye başlayacaktır. Rotorun $\Delta\theta$ kadar bir pozisyon değişikliğinde ve faz akımı sabitken akı yörüngesi Şekil 1.8' de de gösterildiği gibi A noktasından B noktasına kayacaktır.



Şekil 1.8. Alan Enerjisi, Ko-Enerji ve Mekanik İş [21]

Bakır ve çekirdek kayıpları ihmal edilirse, rotorun $\Delta\theta$ kadarlık konum değiştirmesi sırasında alan enerjisinde oluşan değişim ΔW_m mekanik işine eşit olacaktır.

Dolayısıyla;

$$\Delta W_m = \Delta W' = \int_0^{i_0} \lambda(\theta_B, i) di - \int_0^{i_0} \lambda(\theta_A, i) di \quad (1.14)$$

eşitliği elde edilmiş olur.

Mekanik iş;

$$\Delta W_m = T\Delta\theta \quad (1.15)$$

eşitliği ile verilebileceğinden, Eşitlik 1.15' den ani tork ifadesi çekilecek olursa;

$$T = \frac{\Delta W_m}{\Delta \theta} = \frac{\int_0^{i_0} \lambda(\theta_B, i) di - \int_0^{i_0} \lambda(\theta_A, i) di}{\Delta \theta} \quad (1.16)$$

ifadesi elde edilir. Rastgele seçilen bir i akımı için $\Delta \theta \rightarrow 0$ ile limit alınırsa ARM' ye ait anlık tork;

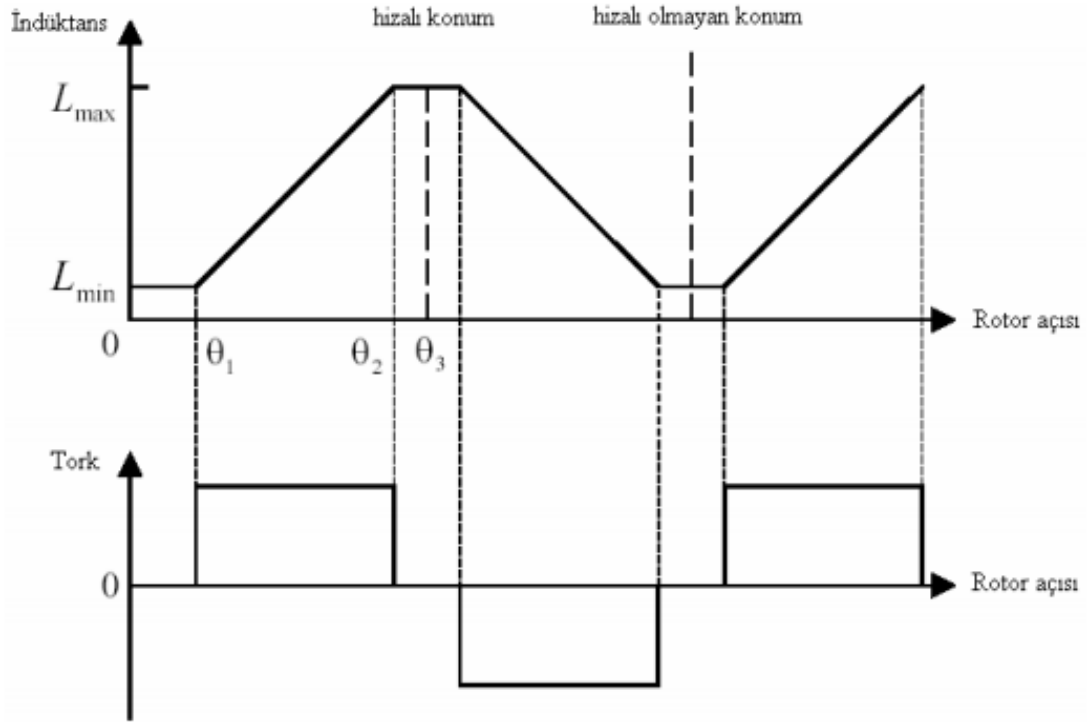
$$T = \frac{\delta}{\delta \theta} \int_0^i \lambda(\theta, i') di' \quad (1.17)$$

ifadesi ile tanımlanabilir. Doğrusal akı modeli için $\lambda(\theta, i) = L(\theta) i$ yazılabilmemesinden dolayı;

$$T = \int_0^i \frac{\delta \lambda(\theta, i')}{\delta \theta} di' = \int_0^i \frac{dL}{d\theta} i' di' = \frac{dL}{d\theta} \int_0^i i' di' = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\theta} \quad (1.18)$$

eşitliği elde edilir. Bu ifade Eşitlik 1.11 ifadesine eşittir. Daha önce de sözü edildiği gibi Eşitlik 1.11 ve Eşitlik 1.18, ARM' ye ait torkun akımın yönünde değil rotorun konumuna göre motorun indüktansındaki değişime $\left(\frac{dL}{d\theta}\right)$ bağlı olduğunu göstermektedir.

Buradan torkun akımın karesi ile doğru orantılı olduğu ve üretiminin indüktans değişimine bağlı olduğu görülmektedir. Şekil 1,9'da torkun stator sargı akımı sabit iken indüktans ve rotor konumu ile değişimi verilmektedir.

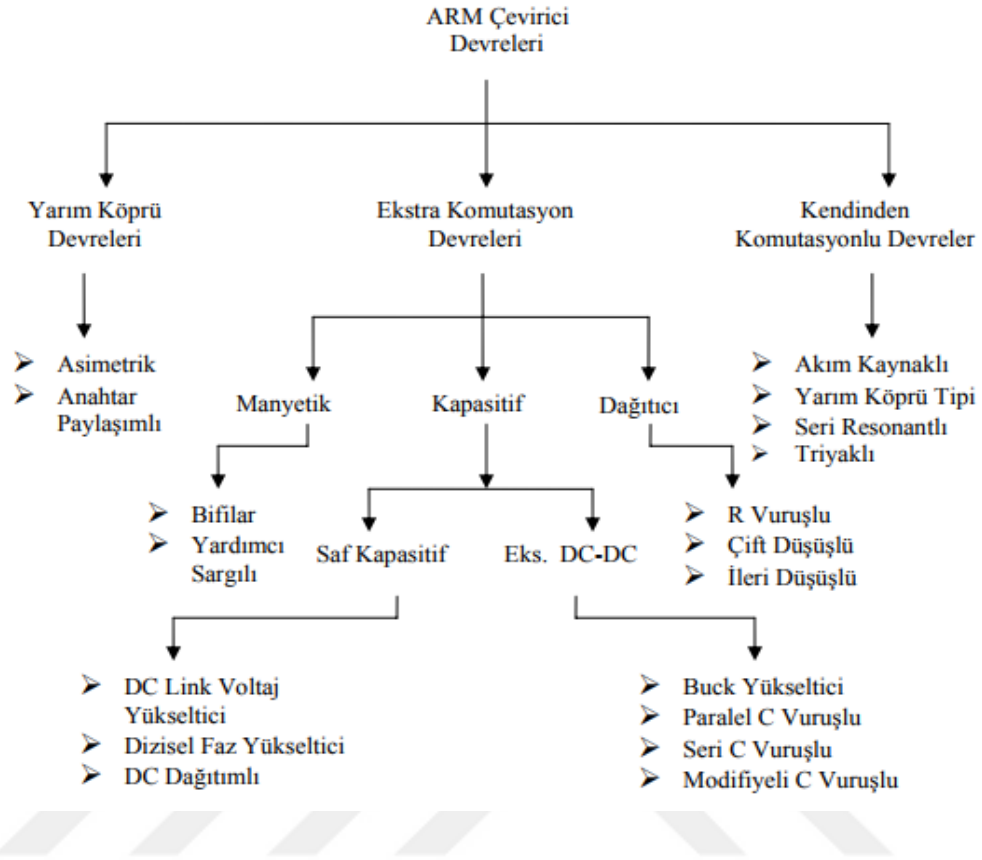


Şekil 1.9. Sabit Stator Sargı Akımında Torkun İndüktansla Değişimi [1]

Şekil 1.9’da indüktans değişimi ideal olarak alınmıştır. Bu sebeple tork doğrusal indüktansla doğrusal olarak değişim göstermektedir. Ancak pratikte, ARM’lerin indüktans değişimi doğrusal değildir ve bunun sonucu olarak tork farklı olarak elde edilir.

1.3.3. Motorun Kontrol Edilmesi ve Sürücü Devreleri

ARM’ ler için uygulama alanlarına ve yüke bağlı olarak çok sayıda güç elektroniği devreleri vardır. Bu devreler Şekil 1.10’ deki gibi verilebilir [22].



Şekil 1.10. ARM Çevirici Sınıflandırması [22]

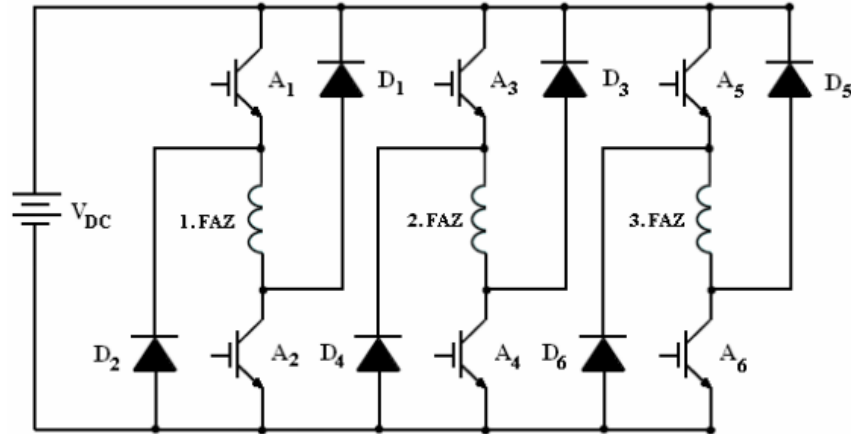
ARM çeviriciler, torkun akımın yönüne bağlı olmaması sebebiyle diğer motorlar için kullanılan çeviriciler ile karşılaştırıldığında bazı avantajlara sahiptir. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir [23]:

- Tek bir faz için bir tane anahtarlama elemanının kullanılmasının yeterli olması,
- Herhangi bir fazın devre dışı kalması durumunda diğer fazların bu durumdan bağımsız olarak çalışmalarına devam edebilmesi,

ARM' lerde kullanılan çevirici devreler, genel olarak ARM' nin faz sayısına göre kullanılan anahtarlama elemanları ve serbest diyot elemanlarının sayılarıyla çeşitli topolojilere ayrılmaktadır.

ARM' nin sahip olduğu faz sayısının iki katı kadar anahtarlama elemanı içeren ($2n$ tipi) klasik köprü tipi çevirici devresinde fazlar birbirlerinden bağımsız olduğundan her fazın ayrı ayrı kontrol edilebilmesi mümkün olmakta ve kullanılan anahtarlama elemanları

düşük gerilime maruz kalmaktadır [24]. Bu özelliklerinin yanında bu çevirici, minimum pasif eleman kullanarak maksimum kontrol esnekliği ve verim sağlamaktadır [25]. Şekil 1.11’ te üç fazlı bir ARM için 2n tipi köprü çevirici devresi gösterilmiştir.



Şekil 1.11. Üç Fazlı Bir ARM için 2n Tipi Klasik Köprü Çevirici Devresi [22]

ARM sürücülerinde sargılar güç anahtarları ile seri bağlı olduğundan kısa devre ihtimali ortadan kalkmaktadır. Sargıların alt ve üst kısımlarındaki güç anahtarları her iletim periyodu ya da tork vuruşu başlangıcında birlikte çalışmakta ve komutasyon noktasında birlikte kesime gitmektedir. Mantıksal olarak tasarımda, bir anahtarı komutasyon diğerini ise regülasyon için kullanmak uygun olmaktadır. İletim periyodu sonunda her iki anahtar da birden kesime getirildiğinde, mekanik enerjiye dönüştürülmemiş olan ve sargıda depo edilen magnetik enerji hızlı diyotlar üzerinden kaynağa döndürülmektedir.

BÖLÜM 2

MEDİKAL SANTRİFÜJ SİSTEMLERİ

2.1. Giriş

Bu bölümde medikal santrifüj cihazları hakkında genel bilgiler verilecektir.

2.2. Santrifüj Cihazları

2.2.1. Genel Bilgiler

Santrifüj cihazları, ağırlıkları farklı maddeleri içeren deney tüplerini yüksek hızla döndürerek yer çekimine bağlı olarak bu maddelerin ayrışmasını sağlayan, sabit eksenli ve genel olarak elektrikli motor yardımıyla dairesel dönme hareketi yapan cihazlardır. Santrifüjle ayırma, merkez kaç kuvvetinin etkisi ile olmaktadır. Cihazın sağladığı dönme hareketinin sağladığı merkezkaç kuvveti, içindeki maddede ki yoğun veya daha ağır parçacıklara daha fazla kuvvet uygular ve diğer maddelerden ayırıştırır. Santrifüj işlemi sırasında tüpte bulunan maddeler, büyüklükleri ve yoğunluklarına göre farklı çökme hızına sahiptirler. Çökme hızı; parçacıkların yoğunluğuna, şekline, uygulanan kuvvete ve ortamın yoğunluğuna bağlıdır [12,13].

Santrifüj cihazları, motor büyüklükleri ve kullandıkları alana göre dakikada 5 ila 20 bin devirle çalışabilir. Santrifüj cihazı ticari uygulamalar, medikal uygulamalar, astronomi, geo teknik modelleme, süt sanayisi, serum üretimi, süspansiyon ayırıştırma ve izotop ayırma gibi farklı işlemler için kullanılır [13].

2.2.2. Santrifüj Cihazının Tarihi

Santrifüj cihazının kökeni, 18. yüzyıla kadar uzanmaktadır. 1864 yılında Antonin Prandtl, sütü kaymağından ayırmak için santrifüj cihazını icat etmiştir. Şekil 2.1’de ilk santrifüj cihazının gösterimi vardır.



Şekil 2.1. Antonin Prandtl Tarafından Üretilen Tarihteki İlk Santrifüj Cihazı [13]

1976'da dünyanın ilk mikroişlemci kontrollü santrifüj cihazı Heinken tarafından geliştirilmiştir. Şekil 2.2’de ilk mikroişlemcili santrifüj cihazı gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Heinken Tarafından İcat Edilen İlk Mikroişlemcili Santrifüj Cihazı [27]

1980'lerde Beckman ultra-santrifüj cihazlarını geliştirmiştir. Beckman, 1990'lı yıllarda, tarihin en popüler santrifüj modellerinden biri olan Avanti yüksek performanslı santrifüj cihazı üretilmeye başlamıştır. Bu santrifüj cihazında PC kontrol ve ayarlanabilir rotor konumlandırma da hayata geçmiştir [14]. Şekil 2.3'te Beckman tarafından üretilen santrifüj cihazı gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Beckman Tarafından Üretilen Avanti Adlı Santrifüj Cihazı [27]

2.2.3. Santrifüj Cihazının Çalışma Prensibi

Santrifüj cihazları, tüplerin içerisindeki karışımların çökeltme prensibine göre ayrışmasını sağlar. Karışımdaki ağır maddeler, merkezkaç kuvveti yardımıyla tüpün alt kısmına çöker. Diğer bir ifadeyle dairesel hareketin dışına doğru kayar. Daha hafif maddeler ise, tüpün üst kısmında toplanır. Yani, dairesel hareketin merkezine doğru yol alır.

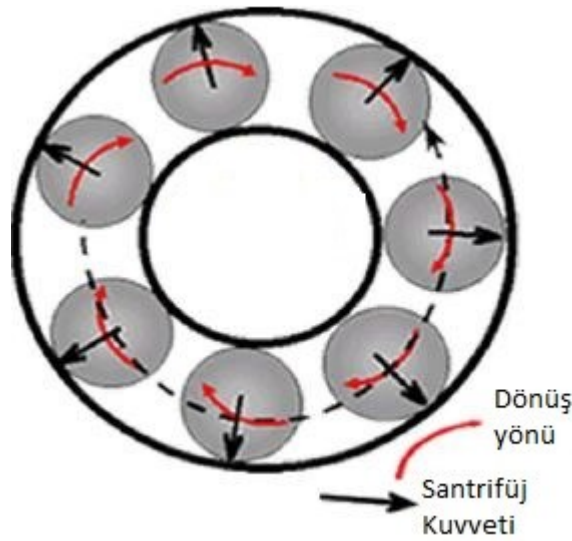
Santrifüj cihazları süspansiyonlar ve emülsiyonların ayrıştırılması için ideal bir cihazdır. Bu işleme bir örnek verecek olursak; santrifüj cihazına konulan kandaki pıhtı cihazın altında, yağlar ortasında ve serum en üst kısmına toplanarak kolaylıkla ayrıştırılabilir.

Santrifüjün içinde karışımların konulacağı tüpler vardır. Santrifüj işlemi için özel tüpler kullanılır. Bu tüpler, cihazın içine simetrik olarak yerleştirilir. Cihazın devri ve kaç dakika döneceği, içindeki maddeye göre değişebilir. Uygun devir ve dakika ayarlanarak işlem yapılır. Farklı veya sabit açılı santrifüj cihazları bulunur. Farklı açılı santrifüjlerdeki tüpler cihaz çalışmadan dik konumdayken, motor çalışmaya başlayınca yatay pozisyona yaklaşır. Bazı tasarımlarda da tüpler eğimli yataklara yerleştirilir.

Santrifüj kuvveti başka bir deyişle merkez kaç kuvveti Eşitlik 2.1 ile ifade edilir [26,28].

$$F = m \cdot w^2 \cdot r \quad (2.1)$$

Eşitlik 2.1’de ifade edilen denklemde F ifadesi santrifüj kuvvetini, m ifadesi çökelen partikülün kütleini, w ifadesi dönüşün açısal hızını (radyan/saniye), r ifadesi göç eden partiküllerin merkezdeki dönüş eksenine olan uzaklığını (cm) ifade etmektedir. Şekil 2.4’te santrifüj kuvvetinin gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.4. Santrifüj Kuvvetinin Şekil Üzerinde Gösterimi [26]

Maddeleri santrifüjle ayırmada ölçü olarak, çoğunlukla devir/dakika (rpm) kullanılır. RPM kısaltması, İngilizce “revolution per minute” kelimelerinin ilk harfleridir.

Ancak rpm, herhangi bir santrifüjde iki fazı birbirinden ayırmak için gerekli olan kuvveti vermez. Bunun için bağıl santrifüj kuvveti (RCF- relative centrifugal force) kullanılır. RCF yer çekimi kuvveti olan (g)'nin çarpanları şeklinde verilir (5000x g gibi) [26].

RCF ile rpm, Eşitlik 2.2, 2.3 ve 2.4 ifadeleri ile birbirlerine çevrilebilirler:

$$RCF = \frac{f_c}{f_g} = \frac{m \cdot \omega^2 \cdot r}{m \cdot g} = \omega^2 \cdot r \cdot g^{-1} \quad (2.2)$$

$$RCF = \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot rpm}{60} \right)^2 \cdot r \cdot g^{-1} \quad (2.3)$$

$$RCF = 1,12 \times 10^{-5} \cdot (rpm)^2 \cdot r \quad (2.4)$$

olur [26,28].

Sabit açılı rotorun minimum yarıçapı r_{min} ile gösterilirse ve maksimum yarıçapı r_{max} olarak gösterilecek olursa;

Santrifüj tüpünün en üstünde;

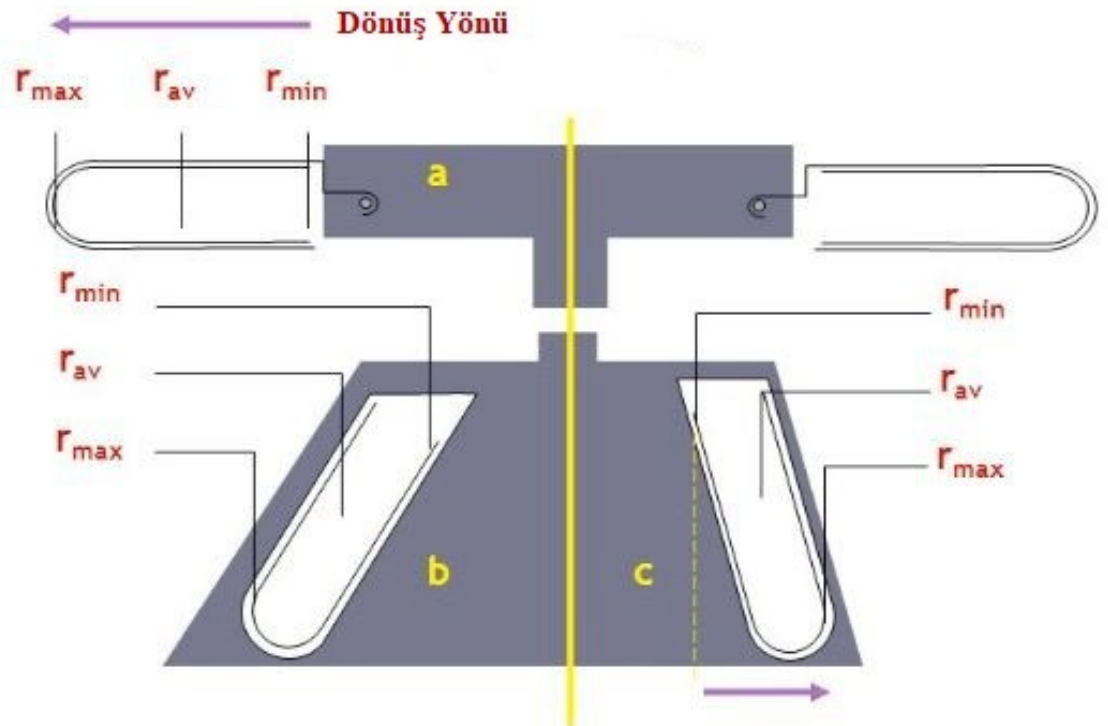
$$RCF = 1,12 \times 10^{-5} \cdot (rpm)^2 \cdot r_{min} \quad (2.5)$$

Santrifüj tüpünün en altında ise;

$$RCF = 1,12 \times 10^{-5} \cdot (rpm)^2 \cdot r_{max} \quad (2.6)$$

olur [26].

Bu hesaplamalar sabit açılı rotorlu santrifüj cihazında santrifüj tüplerinin en alt ve en üst kısımlarda önemli derecede relatif santrifüj kuvveti farklılığı ortaya koyar. Şekil 2.5'te relatif santrifüj kuvveti hesaplanırken kullanılan r_{max} ve r_{min} değerleri santrifüj cihazı üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Relatif Santrifüj Kuvveti Hesaplanırken Kullanılan r_{max} ve r_{min} Değerlerinin Santrifüj Cihazı Üzerinde Gösterimi [29]

2.2.4. Santrifüj Cihazının Tipleri

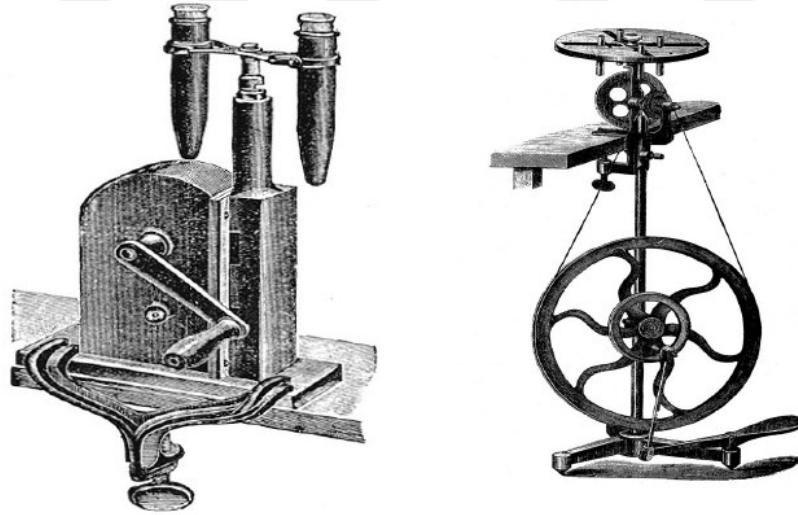
Santrifüj cihazları ikiye ayrılırlar [27]:

1. Geleneksel (konvansiyonel) Santrifüj cihazları
 - Manuel (el) santrifüj cihazları
 - Otomatik (elektrikli) santrifüj cihazları
2. Axial Seperasyon Sistemi (AST)

2.2.4.1 Konvansiyonel Santrifüj Cihazları

2.2.4.1.1 Manuel santrifüj cihazı

Manuel santrifüj cihazları elektrikli bir motoru olmayan el vasıtasıyla döndürme kuvvetinin elde edilip, santrifüj işleminin yapıldığı aletlerdir [27]. Şekil 2.6'da bazı manuel santrifüj aletleri gösterilmiştir.

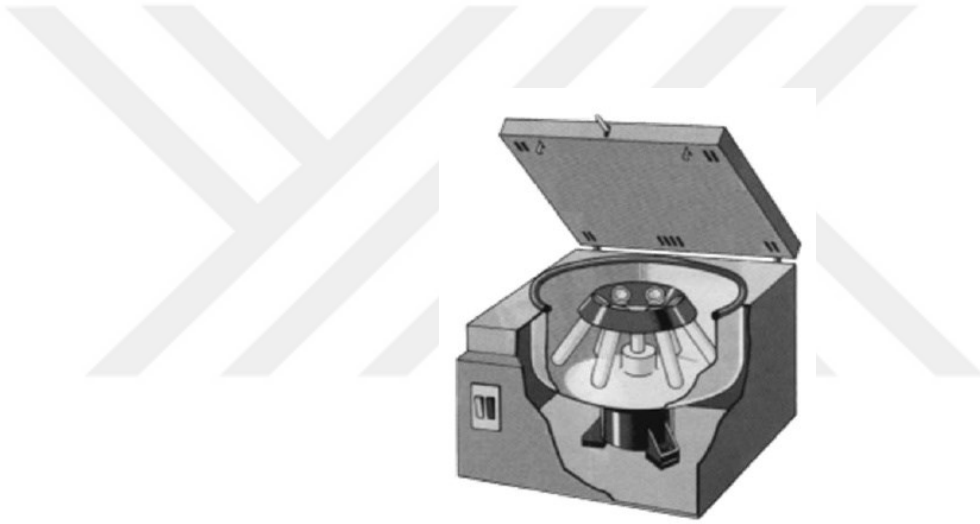


Şekil 2.6. Manuel Santrifüj Aletleri [13]

2.2.4.1.2.Otomatik Santrifüj Cihazları

Otomatik santrifüj cihazları elektikli bir motorun oluşturduğu merkez kaç kuvveti yardımı ile santrifüj işleminin yapıldı aletlerdir. Bu cihazlar kullanım yerine göre dört ana başlık altında incelenebilir [26].

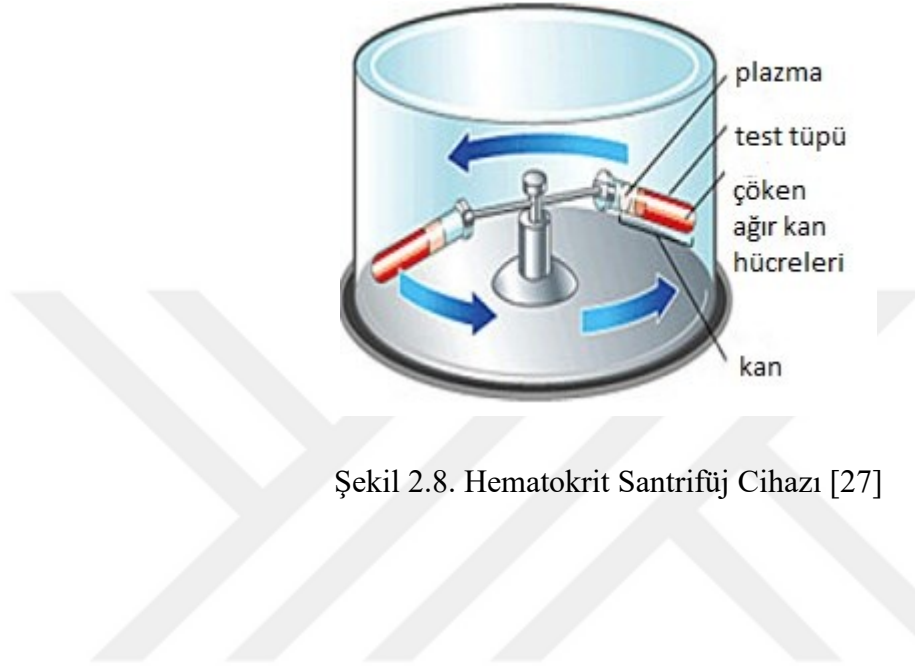
Masa tipi santrifüj cihazları, bu tip cihazlar küçük boyutlardadır. Hızları 5000 rpm'e kadar çıkan bu cihazların tüp kapasitesi cihazdan cihaza değişmektedir. Masa tipi santrifüj cihazına ait bir görünüm Şekil 2.7' de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Masa Tipi Santrifüj Cihazı [27]

Hematokrit santrifüj cihazları, hemtokrit kanın şekillerinin plazmaya oranı olarak adlandırılmıştır. Bu cihazlar hem mikro hem de hematokrit santrifüj olarak kullanılabilen santrifüj cihazıdır. Hastane ve araştırma laboratuvarlarında; deoksiribo nükleik asit (DNA) ve protein ayrıştırılmasında, DNA amplifikasyonunda, enzim testlerinde, hücre ferment ve mikroorganizmaların yüksek hızda ayrıştırılmasında kullanılmak için idealdir [26].

Hematokrit santrifüj cihazına ait örnek bir görünüm Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Hematokrit Santrifüj Cihazı [27]

Ultrasantrifüj cihazları, yüksek hızlara çıkabilen aletlerdir. Hızlarına göre üç kısma ayrılır [27]:

- Düşük hızlı santrifüjler : hız < 10000 rpm
- Yüksek hızlı santrifüjler : 10000 < hız < 20000
- Ultra santrifüjler : hız > 20000

Ultrasantrifüj cihazına ait örnek görüntüler Şekil 2.9’da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Ultra Santrifüj Cihazları [27]

Soğutmalı santrifüj cihazları, santrifüj işlemi sırasında oluşan sürtünme sonucu oluşan ısı problemini çözmek amacıyla üretilmiştir [27].

Tüm otomatik santrifüj cihazlarında bir motor ve rotor ile çevirme mili bulunmakta olup bu cihazlar rotorlarına göre iki grupta toplanabilir:

Sabit açılı (Açılımsız başlık) rotorlarda, tüpler rotorun dönme eksenine göre 25° - 45° lik açı yapacak şekilde yerleştirilir. Dönme sonunda oluşan çökelti tüpün dibine doğru değil, tüpün yan kısımlarına doğru çökmektedir. Sabit açılı santrifüjler cihazlarının aerodinamik yapısının daha elverişli olması sebebiyle daha yüksek hacimdeki örnekler için uygundur. Dönme esnasında oluşan ısı daha az olup oluşan çökelti zayıf toparlanmış olabilir [27,28].

Sabit açılı santrifüj cihazına ait örnek görüntü Şekil 2.10’da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Sabit Açılı Santrifüj Örneği [27]

Horizontal başlıklı rotorlarda, tüp içerisindeki bileşenler tüpün dip kısmına doğru çökerler. Horizontal açılı santrifüj durduğunda tüp içerisindeki içerik aynı biçimde kalır. Horizontal başlık daha fazla RCF uygular. Açılır başlık dönerken önemli bir sürtünme ile karşılaşır ve santrifüjün içerisinde ısınmasına yol açar [27,28].

Şekil 2.11’de horizontal başlıklı santrifüj cihazı gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Horizontal Başlıklı Santrifüj Cihazı [27]

Sabit açılı santrifüj cihazı ile horizontal başlıklı santrifüj cihazlar karşılaştırılacak olunursa [13];

Sabit açılı santrifüj cihazları;

- Aerodinamik yapısı bakımından daha uygundur.
- Daha yüksek hacimdeki örnekler için daha uygundur.
- Dönme sırasında oluşan ısı daha azdır, bu yüzden ultra santrifüj cihazlarında tercih edilir.
- Oluşan çökelti zayıf toparlanmış olabilir.

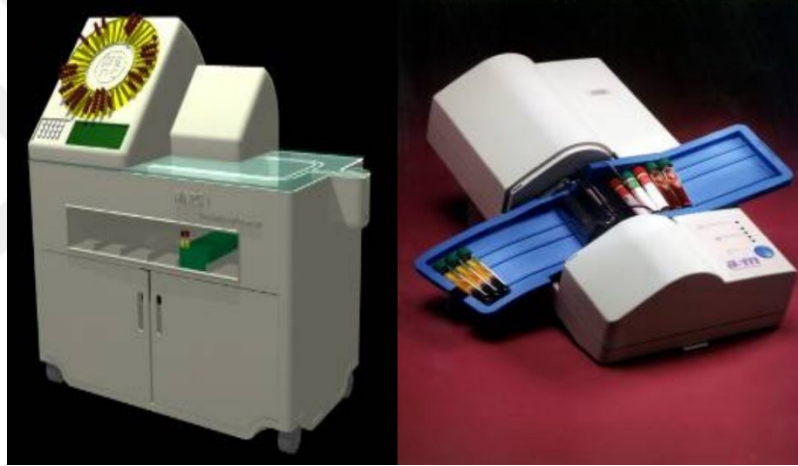
Horizontal başlıklı santrifüj cihazları:

- Daha fazla RCF uygular.

- Açılır başlık dönerken önemli bir sürtünme ile karşılaşır ve cihazın içinde önemli bir ısının oluşmasına yol açar. Bu ısınma, tüplerin bir rüzgarlık kılıfı içerisine almasıyla azaltılabilir.
- İyi paketlenmiş çökelti oluşur.

2.2.4.2. Eksenel (Aksial) Separasyon Sistemi (AST)

Ayırım yatay aks boyunca değil dikeydir. Yani tüp yatay şekilde iken bir tarafı bir sıvı ile diğer tarafı başka sıvı ile ayırır [27]. AST'ye ait örnek Şekil 2.12'de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. AST Örneği [27]

BÖLÜM 3

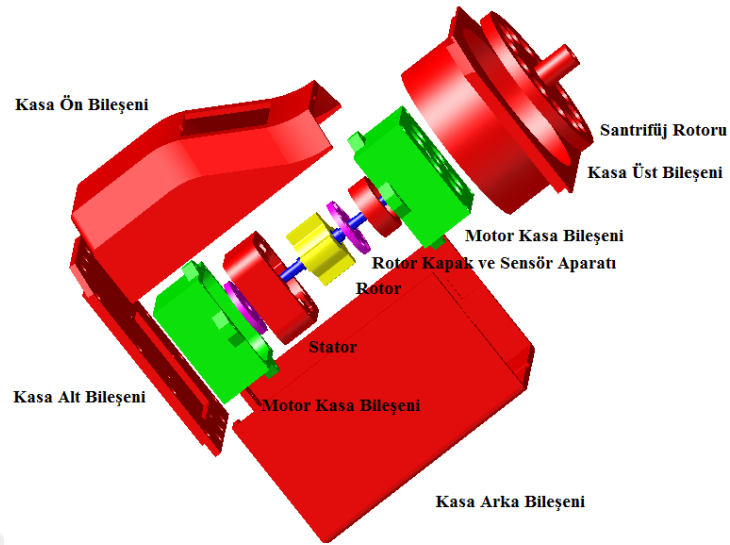
PROTOTİP MEDİKAL SANTRİFÜJ SİSTEMİ

3.1. Giriş

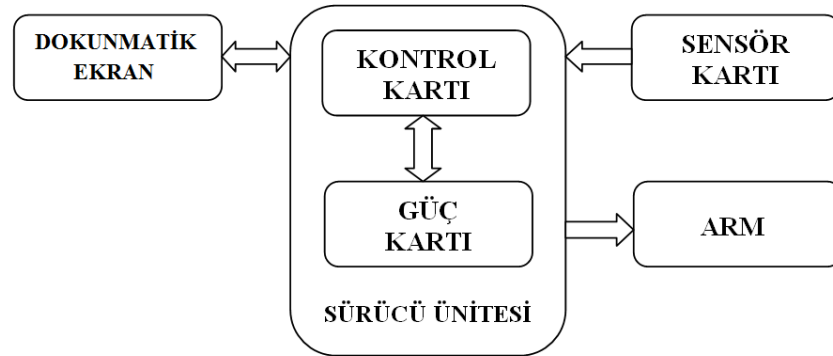
Bu bölümde tasarlanan ve gerçekleştirilen prototip santrifüj sistemi hakkında bilgi verilecektir. İlk olarak sistemin genel yapısı ve bileşenleri hakkında bilgi verilecek takiben tasarlanan ARM'nin özellikleri ve yapısı son olarak da sistemin prototipi hakkında detaylar verilecektir.

3.2. Santrifüj Sisteminin Genel Yapısı ve Bileşenleri

Prototip santrifüj sisteminin kasası ön, arka, üst ve alt olmak üzere dört parçadan oluşmaktadır. Sistemin kontrol edilmesini ve tüm ayarlarının yapılmasını sağlayan dokunmatik ekran, kasanın ön bölümünde yer almaktadır. Kasanın alt parçası ARM'yi ve sistemin ana güç kartını taşımaktadır. Sistemde kullanılan diğer elektronik kartlar kasanın yan parçası üzerine yerleştirilmiştir. Şekil 3.1'de prototipi gerçekleştirilen medikal santrifüj sisteminin temel bileşenleri üç boyutlu olarak gösterilmiştir. Şekil 3.2'de ise sisteme ait temel blok diyagramı gösterilmiştir [30].



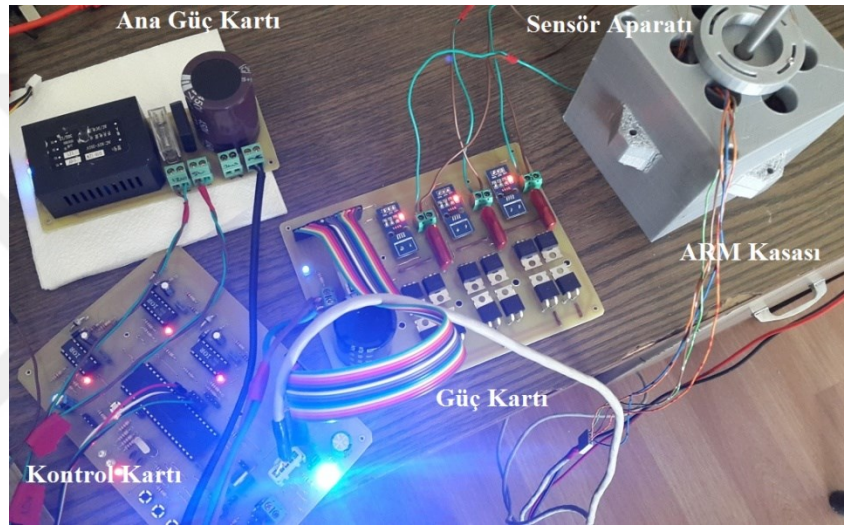
Şekil 3.1. Santrifüj Sisteminin Temel Bileşenlerinin Üç Boyutlu Görünümü [30]



Şekil 3.2. Sistemin Temel Blok Diyagramı [30]

Güç ve kontrol kartı olmak üzere 2 bileşenden oluşan bir sürücü ünitesi tasarlanmış olup; bu sürücü ünitesi, ARM'yi istenilen hız seviyelerinde işletilmesini sağlamaktadır. ARM'nin sürücü ünitesinde akımı kontrol edebilmek amacıyla akım sensörleri ve anahtarlama elemanı olarak ise IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) kullanılmıştır.

Güç devre ünitesinde yapı olarak asimetrik köprü devresi seçilmiştir. Rotorun konumunun belirlenebilmesi için konum algılayıcı, alan etkili sensörlerin bulunduğu sensör kartı tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.3'te tasarlanmış olan sürücü ünitesi, ana güç kartı ve ARM'nin test çalışmaları sırasında alınmış görüntüsü gösterilmiştir [30].



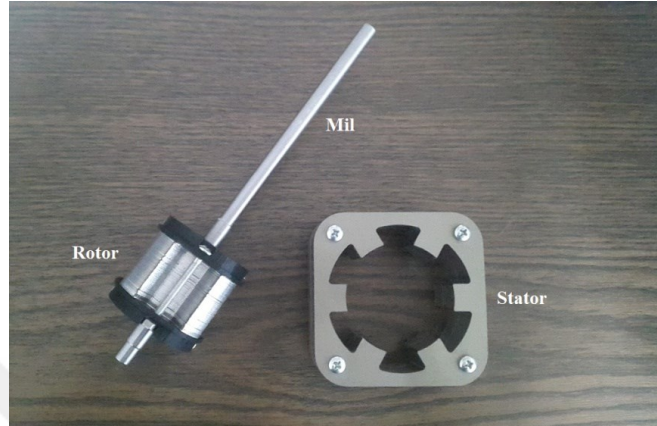
Şekil 3.3. Santrifüj Sisteminin Elektromekanik ve Elektronik Bileşenleri [30]

Sistemde kullanılan sürücü ünitesinde, motor kontrolünün yapılabilmesi için Microchip firmasının ürettiği DSPIC30F4011 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Sürücü ünitesi, kasanın ön parçası üzerinde bulunan dokunmatik ekran kullanılarak çalışmaktadır. Buna ek olarak, dokunmatik ekrana ait kullanıcı ara yüzü geliştirilinceye kadar sürücü ünitesinin test çalışmalarının yapılabilmesi için sürücü ünitesinde yer alan kontrol devresi üzerine butonlar yerleştirilmiş ve bu butonlar vasıtasıyla da sürücü ünitesi çalıştırılabilmektedir [30].

3.3. ARM Detayları

ARM üç fazlı ve 6/4 yapısında olacak şekilde tasarlanmıştır. Rotor ve stator, 0.5 mm kalınlığında silisli saç plakalar kullanılarak oluşturulmuştur. Kullanılan saç plakalar,

rotor ve statorun geometrisine göre lazer kesim tekniği ile kesilmiştir. Böylelikle hızlı sonuç almak planlanmıştır. Şekil 3.4'te ARM'ye ait temel bileşenler gösterilmiştir [30].



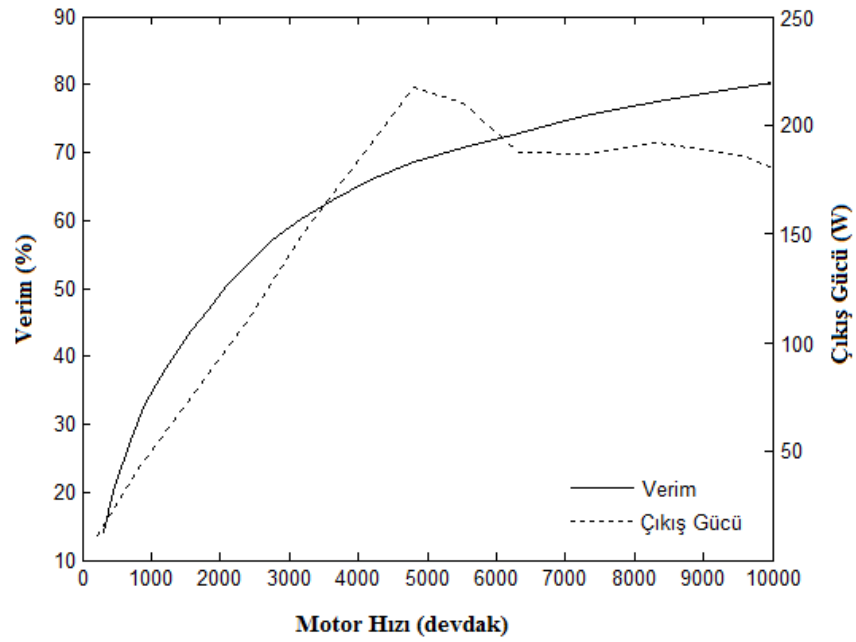
Şekil 3.4. ARM'ye Ait Temel Bileşenler [30]

Tablo 1'de ARM'ye ait temel parametreler verilmiştir [30].

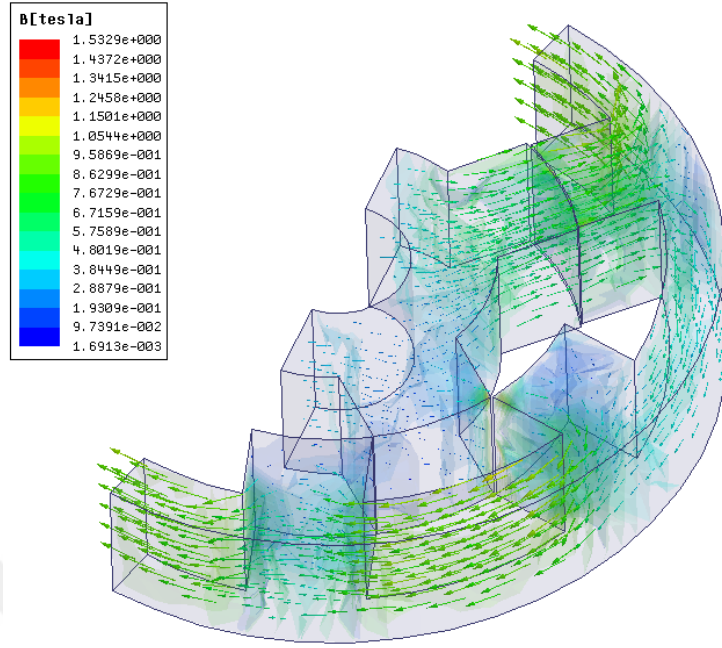
Parametreler	Deđer
Faz Sayısı	3
Stator Kutup Sayısı	6
Rotor Kutup Sayısı	4
Faz Sarım Sayısı (Tur)	400
Eksenel Uzunluk (mm)	30
Stator İç apı (mm)	50.5
Hava Aralığı (mm)	0.25
Stator Kutup Açısı (°)	29
Rotor Kutup Açısı (°)	31
Maksimum ıkış Gücü (W)	228
Temel Hız (dev/dak)	5000
Temel Hızdaki Verim (%)	70
Anma Hızı (dev/dak)	10000
Anma Hızındaki ıkış Gücü (W)	180
Anma Hızındaki Verim (%)	80.2
Maksimum RCF (x g)	5000

Tablo 1. Prototip ARM'ye Ait Temel Parametreler [30]

Şekil 3.5'te tasarlanan ARM'ye ait temel karakteristik performansına ait grafik gösterilmiş olup, Şekil 3.6'da ise ARM'nin sonlu elemanlar analizi (SEA) ile ilgili olarak yapılan çalışmalardan alınmış olan bir görüntü gösterilmiştir [30].

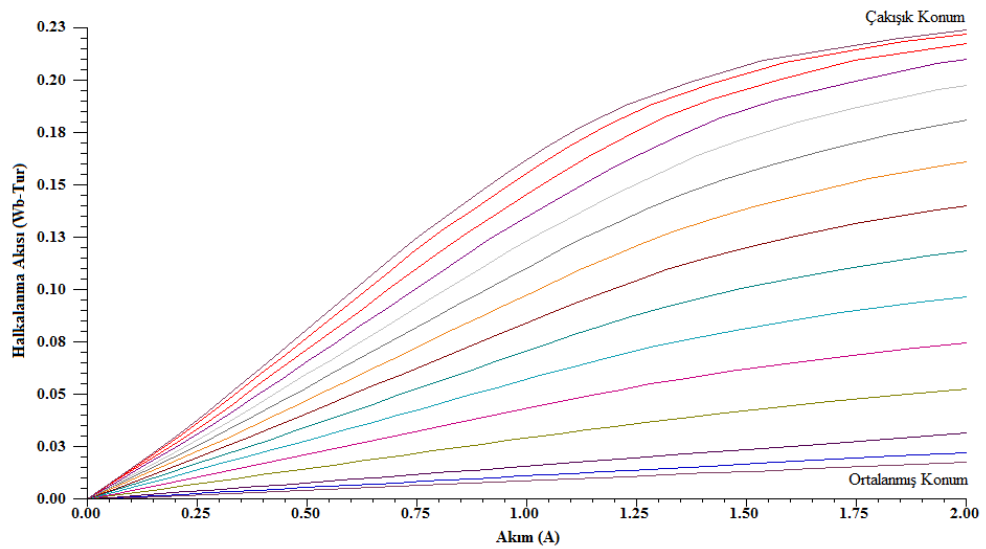


Şekil 3.5. ARM'ye Ait Temel Performans Karakteristikleri [30]



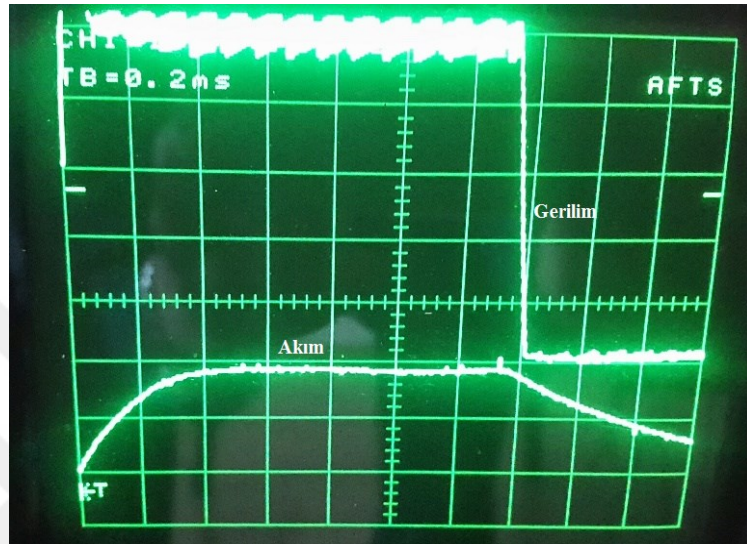
Şekil 3.6. Çakışık Konumda Manyetik Akı Yoğunluğu Dağılımının Vektörel Olarak Üç Boyutlu Gösterimi [30]

Şekil 3.7’de SEA kullanılarak elde edilmiş ARM’ye ait temel karakteristiğın grafiğı gösterilmiştir [30].



Şekil 3.7. ARM’ye Ait Akım-Halkalanma Akısı-Rotor Konumu Karakteristiğı [30]

Şekil 3.8’de ARM’nin faz gerilimi ve akımının dalga şeklini gösteren osiloskop ekran görüntüsü gösterilmiştir [30].

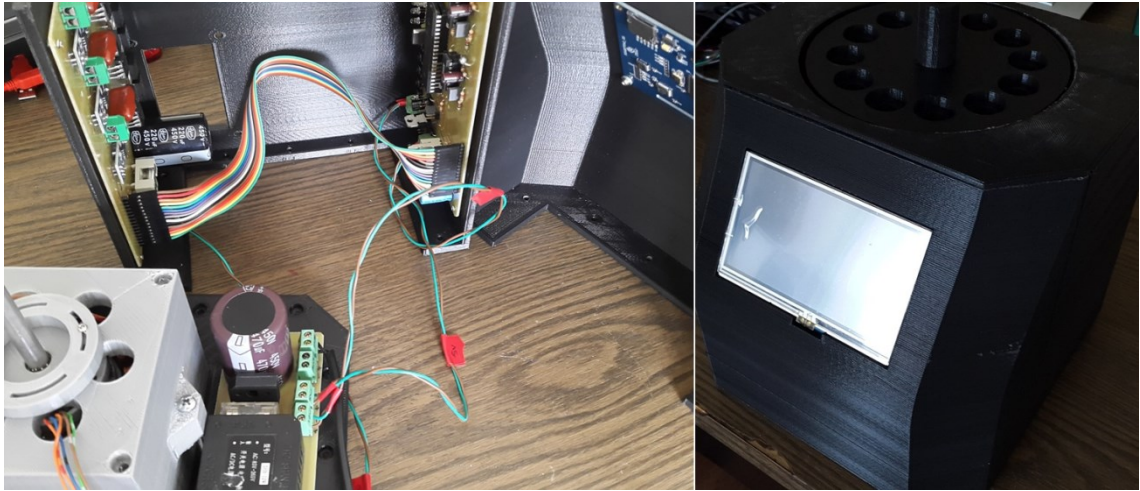


Şekil 3.8. ARM’nin Faz Gerilimi ve Akımına Ait Osiloskop Ekranı Görüntüsü [30]

Santrifüj sisteminde kullanılmak üzere tasarlanan ARM’nin hızı, maksimum 10000 dev/dak olacak şekilde sınırlandırılmıştır. Geniş bir hız aralığı içerisinde çalışmaya uygun bir şekilde tasarlanmış olan ARM, hem düşük hızlarda hem de yüksek hızlarda sağlaması gereken tahrik gücünü cihaza kolaylıkla aktarabilmektedir [30].

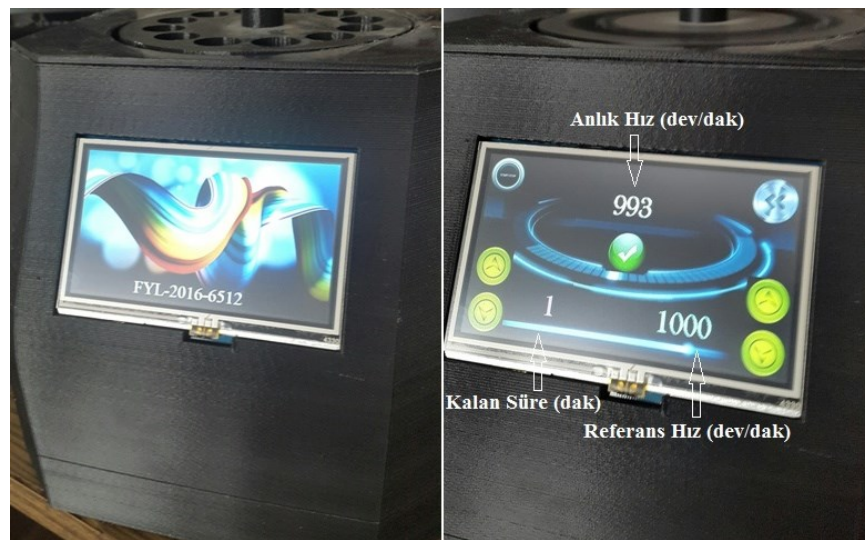
3.4. Prototip Sistem

Santrifüj cihazının kasa bileşenleri, maliyetleri düşürmek ve üretim sürecinin kısaltılabilmesi için üç boyutlu yazıcı kullanılarak üretilmiştir. Şekil 3.9’da tüm sistem bileşenlerinin de yer aldığı gerçekleştirilen medikal santrifüj cihazının görüntüleri gösterilmiştir [30].



Şekil 3.9. Prototip Santrifüj Sistemine Ait Görüntüler [30]

Sistemde kullanılan dokunmatik ekran, sistemin kontrolünün ve ayarlarının yapılmasını sağlamaktadır. Kullanılan dokunmatik ekran, ITEAD firmasına ait olup 4.3'' boyutlarındadır. Dokunmatik ekran üzerinden cihazın çalışma süresi ve devir hızı ayarlanabilmekte olup anlık değerlerde ekran üzerinden takip edilebilmesi sağlanmıştır. Şekil 3.10'da dokunmatik ekranın test çalışmaları sırasında alınmış görüntüler verilmiştir [30].



Şekil 3.10. Prototip Santrifüj Sisteminin Test Sürecinden Alınmış Görüntüler [30]

BÖLÜM 4

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Teknoloji her gün göz kamaştırıcı bir şekilde gelişmektedir. Bu gelişim tıbbi açıdan da sürmektedir. Hastalık sayısının ve çeşidinin artması ile birlikte tıbbi cihazlar da oluşan ihtiyaçlara göre icat edilmekte veya geliştirilmektedir. Bu geliştirilen cihazlardan biri de medikal santrifüj sistemleridir. Ayırıştırılması gereken malzeme türü, malzemenin hacmi, malzemenin ayırıştırılma oranı, ihtiyaç duyulan hız vb. gibi sebeplerden dolayı medikal santrifüj sistemleri geliştirilmeye devam etmiştir. Günümüzde kullanılan medikal santrifüj sistemlerinde tahrik motoru olarak asenkron motor veya kalıcı mıknatıslı motor tabanlı sistemler kullanılmaktadır.

Sunulan bu çalışmada, ARM tabanlı bir santrifüj sistemi tasarlanmış ve prototip olarak gerçekleştirilmiştir. ARM üç fazlı, 6/4 yapıda olacak şekilde tasarlanmıştır. Sistem maksimum 10000 dev/dk hıza çıkabilecek şekilde ve geniş bir hız aralığında çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Gerek düşük hızlarda gerek yüksek hızlarda motor ihtiyaç duyulan tahrik gücünü cihaza aktarabilmektedir. Motorun kontrolü için işlemci olarak Microchip firması tarafından üretilen DSPIC30F4011 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Tasarlanan sistem, basit bir kullanıcı ara yüzü ile kullanıcılar için kolaylıklar sağlamaktadır. Sistemde kullanılan dokunmatik ekran, sistemin kontrolünün ve ayarlarının yapılmasını sağlamaktadır. Dokunmatik ekran üzerinden cihazın çalışma süresi ve devir hızı ayarlanabilmekte olup anlık değerlerde ekran üzerinden takip edilebilmesi sağlanmıştır.

Yapılan çalışmada ticari niteliğe sahip profesyonel ürünlerle kıyaslandığında hemen hemen her türlü ihtiyacı yerine getirebilme kabiliyetlerine sahip ve basit kullanımı sayesinde kullanıcı dostu, uygun maliyetli ve geliştirilmeye açık bir prototip gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan ARM, ihtiyaç duyulması durumunda daha yüksek

hızlara çıkabilecek şekilde tekrardan tasarlanabilir ve gerçekleştirilebilir. Prototip sistem ise daha yüksek kapasiteye sahip olacak şekilde tasarlanabilir. Bununla birlikte dokunmatik ekranda, gerek sürücü ünitesi gerekse de dokunmatik ekrana ait yazılımların revize edilmesi suretiyle çok daha farklı verilerin takip ve kontrol edilmesi mümkün olabilecektir.

Sonuç olarak yapılan çalışma, tıbbi açıdan vazgeçilmez cihazların başında gelen medikal santrifüj cihazlarının, farklı alternatiflerinin uygun maliyet ve teknolojik özelliklerle birlikte ortaya konulabileceğini göstermesi açısından önem arz etmektedir.



KAYNAKLAR

1. Krishnan, R., Switched Reluctance Motor Drives: Modeling, Simulation, Analysis, Design and Applications, London, CRC Press, 2001.
2. Miller, T.J.E., Switched Reluctance Motors and Their Control, **Magna Physics Publishing and Clarendon Press**, Oxford, 1-199, 1993.
3. Nasar, S.A., Ofsenani R., D.C. Switched Reluctance Motor, **In Proceedings of the Institution Electrical Engineers**, **116(6)**, 1048, 1969.
4. Bedford, B.D., US Patent No : 3678352 and 3679953, 1972.
5. Unnewehr, L.E. and Koch, W.H., An Axial Air-Gap Reluctance Motor for Veriable Speed Applications, **IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems**, 367- 376, 1974.
6. Bausch, H. and Reike, B., Speed and Torque Control of Thyristor-Fed Reluctance Motors, **Proceedings ICEM**, Vienna, 128.1-128.10, 1978.
7. Lawrenson, P.J., Stephenson, J.M., Blenkinsop, P.T., Corda, J. and Fulton N.N., Variable Speed Switched Reluctance Motors, **IEE Proceedings Electrical Power Applications**, 253-265, 1980.
8. Srinivas, K.N., Arumugam, R., Static and Dynamic Vibration Analyses of Switched Reluctance Motors Including Bearings, Housing, Rotor Dynamics, and Applied Loads, **IEEE Transactions on Magnetics**, **40(4)**, Part 1, 1911-1919, 2004.
9. Cameron, D.E., Lang, J.H., Umans, S.D., The Origin and Reduction of Acoustic Noise in Doubly Salient Variable-Reluctance Motors, **IEEE Transactions on Industry Applications**, 28(6), 1250 – 1255, Nov.-Dec. 1992.
10. Diril, O., Anahtarlamalı Relüktans Motorda Moment Dalgalılığını Enazlama Üzerine Bir Çalışma, Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul, 1999.
11. ÖZOĞLU, Y., Anahtarlamalı Relüktans Motorunda Kutup Başlarına şekil Vererek Moment Dalgalanmasının Azaltılması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1999.

12. <https://en.wikipedia.org/wiki/Centrifuge> (Erişim Tarihi : Kasım 2017)
13. <https://www.makaleler.com/santrifuj-nedir-ozellikleri-cesitleri>
14. John blue, Evolution of the lab centrifuge, **Lab manager**
15. Svedberg, T. , Pedersen, K. O. , The Ultracentrifuge. 1940 pp.x + 478 pp.
<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19412202796>
(Erişim Tarihi : Kasım 2017)
16. William F. Friedewald, Edward G. Pickels, Centrifugation and Ultrafiltration Studies on Allantoic Fluid Preparations of Influenza Virus Doı: 10.1084/jem.79.3.301 | Published March 1, 1944
<http://jem.rupress.org/content/79/3/301> (Erişim Tarihi : Kasım 2017)
17. www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1974/claude-bio.html
(Erişim Tarihi : Kasım 2017)
18. www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003269762900222?via%3DIhuh ,
Spinco model L (Erişim Tarihi : Kasım 2017)
19. https://en.wikipedia.org/wiki/Beckman_Coulter (Erişim Tarihi : Kasım 2017)
20. https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/ncnr/Eppendorf_5415R_Centrifuge_Manual.pdf (Erişim Tarihi : Kasım 2017)
21. Lu, Y., Instantaneous Torque Control of Switched Reluctance Motors, Master of Science Thesis, The University of Tennessee, 2002.
22. Barnes, M., Pollock, C. , Power Electronic Converters for Switched Reluctance Drives, **IEEE Transactions On Power Electronics**, 13(6), November 1998.
23. Yadlapalli, N., Implementation of a Novel Soft-Switching Inverter for Switched Reluctance Motor Drives, Ms. Thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, 1999.
24. Sefa, İ., Sliding Mode Yaklaşımı ile Anahtarlama Relüktans Motorun Hız Kontrolü, PhD Thesis, Erciyes University, Kayseri, 1997.
25. Miller, T.J.E., Switched Reluctance Motors and Their Control, New York, **Magna Physics Publishing & Clarendon Press**, 1993.
26. http://80.251.40.59/veterinary.ankara.edu.tr/finans/Sunular/Santrifuj_2009.pdf
(Erişim Tarihi : Kasım 2017)
27. <http://biyomedikalmuhendislik.com/santrifuj/> (Erişim Tarihi : Kasım 2017)
28. <https://www.beckman.com/centrifuges> (Erişim Tarihi : Kasım 2017)
29. <http://slideplayer.com/slide/3952080/> (Erişim Tarihi : Kasım 2017)

30. Üstkoyuncu, N. , Eroğul, O. , Anahtarlamalı Relüktans Motor Tabanlı Medikal Santrifüj Sistemi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji**, Basılmak üzere kabul edilmiştir, 2018.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Osman EROĞUL

Uyruğu: Türkiye (TC)

Doğum Tarihi ve Yeri: 7 Haziran 1991, Kayseri

Medeni Durumu: Bekâr

Tel: +90 505 529 69 13

email: osmanerogul38@gmail.com.tr

Yazışma Adresi: Ağrı Ahmed-i Hani Havalimanı Hava Trafik Kontrol Kulesi/AĞRI

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Ege Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği	2014
Lise	Nuh Mehmet Küçükçalık Anadolu Lisesi	2009

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2016- Halen	Devlet Hava Meydanları İşletmesi	Hava Trafik Kontrolörü

YABANCI DİL

İngilizce