

**ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTORUN
GERÇEK ZAMANLI OLARAK BULANIK MANTIK
İLE DENETİMİ**

**2016
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

Tarık ÜNLÜ

**ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTORUN GERÇEK ZAMANLI
OLARAK BULANIK MANTIK İLE DENETİMİ**

Tarık ÜNLÜ

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Aralık 2016**

Tarik ÜNLÜ tarafından hazırlanan " ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTORUN GERÇEK ZAMANLI OLARAK BULANIK MANTIK İLE DENETİMİ" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Ali UYSAL

Tez Danışmanı, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

..........

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir. 31/10/2016

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan: Prof. Dr. Raif BAYIR (KBÜ)

..........

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ali UYSAL (KBÜ)

..........

Üye : Yrd. Doç. Dr. Rıfat HACIOĞLU (BEÜ)

..........

...../...../2016

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

..........



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Tarık ÜNLÜ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTORUN GERÇEK ZAMANLI OLARAK BULANIK MANTIK İLE DENETİMİ

Tarık ÜNLÜ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd.Doç.Dr. Ali UYSAL

Ekim 2016, 64 sayfa

Bu çalışmada, dört fazlı bir Anahtarlama Relüktans Motorun (ARM) gerçek zamanlı olarak bulanık mantık ile denetimi gerçekleştirilmiştir. Motorun sürülmesi için asimetrik köprü konvertör yapısında dört faz ARM sürücü kullanılmıştır. Uygulamada Bulanık Mantık Denetleyici yazılımı MATLAB Simulink ortamında hazırlanmıştır. Sistemde Hedef (Target) - Sunucu (Host) yaklaşımı kullanılarak gerçek zamanlı kontrol gerçekleştirilmiştir. Sistemde sunucu olarak PC bilgisayar, hedef olarak STM32F4 Discovery işlemcisi kullanılmıştır. Motorun, hız ve akım değeri bilgisayar ortamına gerçek zamanlı olarak aktarılmaktadır. Ölçülen veriler kaydedilmekte ve grafiksel olarak çizdirilmektedir. Motorun farklı hız ve yük şartlarında ölçülen sonuçlar değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen sistem ile motor, istenilen referans hız değerlerinde çalıştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler : Anahtarlamalırelüktans motor, bulanık mantık, hız kontrol, gömülü sistem, PC tabanlı, realtimewindowstarget.

Bilim Kodu :



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

REAL-TIME FUZZY LOGIC CONTROL OF SWITCHED RELUCTANCE MOTOR

Tarık ÜNLÜ

**Karabük University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechatronics Engineering**

Thesis Advisor:

Assist.Prof. Dr. Ali UYSAL

October 2016, 64pages

In this thesis, a real-time examination was carried out on a four-phase Switched Reluctance Motor (SRM) through the fuzzy logic. For the operation of the engine, a four-phase SRM driver was used in the asymmetric bridge converter structure. The software to be designed for the application was prepared through the MATLAB Simulink program. In the system, a real time control was performed by using Target – Host approach. In the system, a PC was used as the server and STM32F4 Discovery processor was used as the target. The speed and current value of the engine was transmitted to a computer in real time. The measured values are saved and shown graphically. The results measured at different speed levels and loading conditions of the engine were reviewed. Through this system, the engine was operated at the desired reference speed values.

Key Word : Switched reluctance motor, fuzzy logic, speed control, embedded system, PC based, reactivexwindowstarget.

Science Code :



TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yűrűtűlmesinde ve oluőumunda ilgi ve desteęini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrűbelerinden yararlandığım, yűnlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ıőıęında őekillendiren sayın hocam Yrd.Doç.Dr. AliUYYSAL'a sonsuz teőekkűrlerimi sunarım. Deęerli hocam Prof. Dr. Raif BAYIR'a desteklerinden dolayı teőekkűrlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	8
ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTOR	8
2.1. ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTORUN YAPISI VE ÇALIŞMASI	8
2.2. ARM'İN EŞ DEĞER DEVRE MODELİ.....	10
2.3. ARM'İN TORK-HIZ KARAKTERİSTİĞİ	12
2.4. ARM'İN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI.....	14
2.5. ARM'İN KULLANIM ALANLARI.....	16
2.5.1. Düşük Güçlü Sürücü Uygulamaları.....	16
2.5.2. Orta Güçlü Sürücü Uygulamalar	17
2.5.3. Yüksek Güçlü Sürücü Uygulamalar	17
2.5.4. Yüksek Hızlı Sürücü Uygulamalar	17
2.6. ARM İÇİN DÖNÜSTÜRÜCÜ DEVRELERİ VE ÖZELLİKLERİ	17
BÖLÜM 3	20
BULANIK MANTIK.....	20
3.1. BULANIK MANTIĞIN TEMEL ÖZELLİKLERİ.....	20

	<u>Sayfa</u>
3.2. BULANIK MANTIK DENETLEYİCİ SİSTEM ELEMANLARI.....	22
3.2.1. Bulanık Küme.....	23
3.2.2. Üyelik Fonksiyonları	23
3.2.3. Bulanıklaştırma.....	24
3.2.4. Bilgi Tabanı	25
3.2.5. Bulanık Çıkarım.....	25
3.2.6. Durulaştırma	28
BÖLÜM 4	30
ARM HIZ DENETİMİ İÇİN TEST DÜZENEGİ TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ.....	30
4.1. TEST DÜZENEGİNDE KULLANILAN CİHAZLAR.....	31
4.1.1. Çalışmada Kullanılan ARM'nin Yapısı Ve Teknik Özellikleri	31
4.1.2. ARM Dönüştürücü	34
4.1.3. Güç Kaynağı	35
4.1.4. Senkron Alternatör.....	35
4.1.5. Enkoder.....	36
4.1.6. Akım Ölçümü	37
4.1.7. Denetleyici Devresi	37
4.1.8. USB Dönüştürücü	40
4.1.9. 5V Ve 12V Gerilim Kaynağı.....	40
4.2. UYGULAMA YAZILIMI	41
4.2.1. Target Uygulaması.....	42
4.2.2. Host Uygulama Yazılımı	44
4.3. ARM BULANIK MANTIK İLE DENETİMİ	44
4.3.1. Bulanık Mantık İle ARM Kontrolü	44
4.3.2. ARM'nin Hızının BM Denetimi.....	45
BÖLÜM 5	50
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	50
5.1. 1500 d/d BASAMAK FONKSİYONU	50
5.2. 3000 d/d BASAMAK FONKSİYONU	52

Sayfa

5.3. 1500 d/d SİNÜS FONKSİYONUNA MOTORUN TEPKİ DURUMU	53
5.3. 3000 d/d SİNÜS FONKSİYONUNA MOTORUN TEPKİ DURUMU	54
5.4. 1500-3000 d/d BASAMAK FONKSİYONU MOTOR TEPKİ DURUMU ..	55
BÖLÜM 6	58
SONUÇLAR	58
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	64



ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. 10/8 kutuplu bir ARM.....	9
Şekil 2.2. 8/6 ARM içyapısı gösterilmiştir.....	9
Şekil 2.3. ARM'nin rotor konumları.	10
Şekil 2.4. Bir faz için ARM'nin eşdeğer devresi.	11
Şekil 2.5. ARM'nin tork-hız karakteristiği.	13
Şekil 2.6. Asimetrik köprü konvertör.....	19
Şekil 3.1. Bulanık mantık denetleyicinin temel yapısı.....	22
Şekil 3.2. Üyelik fonksiyonlarının şekilleri.	24
Şekil 3.3. Bulanıklaştırma işlemi.	25
Şekil 3.4. Max-Dot yöntemi.....	27
Şekil 3.5. Min-Max yöntemi.	28
Şekil 4.1. ARM test düzeneği blok diyagramı.	30
Şekil 4.2. ARM test düzeneği.	31
Şekil 4.3. ARM'nin iç yapısı.....	32
Şekil 4.4. ARM dış görünüş.	32
Şekil 4.5. ARM ön ve yan görünüş.	33
Şekil 4.6. ARM kablo bağlantıları.	33
Şekil 4.7. 4 Faz ARM sürücü devre resmi.	34
Şekil 4.8. Güç kaynağı.	35
Şekil 4.9. Senkron alternatör.....	35
Şekil 4.10. Alternatör performans grafiği.....	35
Şekil 4.11. Enkoder.....	36
Şekil 4.12. Akım probu.	37
Şekil 4.13. Denetleyici devresi.....	38
Şekil 4.14. STM32F4 donanım blok diyagramı.....	39
Şekil 4.15. Mikrokontroller.....	39
Şekil 4.16. aMG USB dönüştürücü.....	40
Şekil 4.17. 12V Güç kaynağı.	41

Sayfa

Şekil 4.18. 5V Güç kaynağı.	41
Şekil 4.19. Target modelinin genel yapısı.....	42
Şekil 4.20. Hız okuma modeli genel yapısı.....	43
Şekil 4.21. Akım okuma modeli genel yapısı.	43
Şekil 4.22. PWM gönderme modeli genel yapısı.....	43
Şekil 4.23. Host uygulama modeli genel yapısı.	44
Şekil 4.24. Bulanık mantık giriş ve çıkış değişkenleri.	45
Şekil 4.25. ARM hızının BM ile denetiminin simulink blok diyagramı.....	45
Şekil 4.26. ARM hız denetimi için kullanılan bulanık çıkarım sistemi.	46
Şekil 4.27. ARM hızı hata üyelik fonksiyonları.	46
Şekil 4.28. ARM hızındaki hata değişim üyelik fonksiyonları.	47
Şekil 4.29. ARM hız denetimi çıkışı DGM görev saykılı üyelik fonksiyonları.	47
Şekil 4.30. ARM hızı BMD'sine ait kural tabanının oluşturulması.....	49
Şekil 5.1. ARM 1500 devir basamak fonksiyonuna verdiği tepki durumu.....	51
Şekil 5.2. ARM 3000 devir basamak fonksiyonuna verdiği tepki durumu.....	52
Şekil 5.3. ARM 1500 devir sinüs fonksiyonuna verdiği tepki durumu.	54
Şekil 5.4. ARM 3000 devir sinüs fonksiyonuna verdiği tepki durumu.	55
Şekil 5.5. ARM 1500-3000 devir basamak fonksiyonuna verdiği tepki durumu. ...	56
Şekil 5.6. ARM'nin basamak farklı yüklerde akım ve hız grafiği.	56
Şekil 5.7. ARM'nin sinüs farklı yüklerde akım ve hız grafiği.	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Enkoder teknik özellikleri.....	37
Çizelge 4.2. ARM hızı BMD'sine ait kural tabanı.....	48
Çizelge 5.1. ARM'nin 1500 d/d geçici ve sürekli durum tepkisi.....	51
Çizelge 5.2. ARM'nin 3000 d/d geçici ve sürekli durum tepkisi.....	53



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

V	: volt
R	: stator sargı direnci
Ψ	: manyetik akı
i	: faz akımı
M	: karşılıklı endüktans
θ	: rotor pozisyon açısı
i'	: bir önce uyarılan sargı akımı
L	: faz endüktansı
π	: pi
ω	: açısal hız
T_e	: motor torku
J	: toplam atalet momenti
B	: sürtünme katsayısı
T_L	: yük torku
d	: devir
dk	: dakika
W	: Watt
N_m	: Newton metre

KISALTMALAR

- ARM : Anahtarlamaalı Relüktans Motor
- DGM : Darbe Genişlik Modülasyonu
- DSP : DigitalSignalProcessing (Merkezi İşlem Birimi)
- Sİİ : Sayısal İşaret İşlemci
- P : Proportional(Oransal)
- PI : Proportional İntegral (Oransal İntegral)
- PID : Proportional İntegral Derivative(Oransal İntegral Türev)
- FPGA : FieldProgrammableGateArray(Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri)
- PD : ProportionalDerivative(Oransal Türev)
- DA : Doğru Akım
- AA : Alternatif Akım
- LCD : Liquid CrystalDisplay(Sıvı Kristal Ekran)
- ADC : Analog DigitalConvertor(Analog Sinyal Dönüşütürücü)
- DMA : Direct Memory Access (Doğrudan Bellek Erişimi)
- DC : Direct Current(Doğru Akım)
- PWM : PulseWithModulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
- BMD : Bulanık Mantık Denetleyici
- NB : Negatif Büyük
- NM : Negatif Orta
- NS : Negatif Küçük
- ZE : Sıfır
- PB : Pozitif Küçük
- PM : Pozitif Orta
- PB : Pozitif Büyük
- PLC : ProgrammableLogic Controller (Programlanabilir Mantık Denetleyici)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Anahtarlamaalı RelüktansMotor en eski elektrik motor tasarımlarından birini temsil etmektedir[1]. ARM'nin çalışma prensibi ilk olarak 1838 yılında ortaya konmuştur. Değişken hız sürücülerinin yeni taleplerinin ve güç elektroniğinin gelişmesinin sonucu olarak, geleneksel relüktans makinalar geliştirilmiştir ve bu motorlar anahtarlamaalı relüktans makine olarak adlandırılmıştır[2]. Anahtarlamaalı Relüktans Motorları basit yapıdadır. ARM, üretim ve bakım maliyeti düşük verimi yüksek bir motordur. Günümüzde başlatma motorlarında, uçakların benzin pompalarında, asansörlerde ve daha birçok alanda kullanılmaktadır[3].

ARM'nin en önemli karakteristik özelliği faz akımı ve rotor pozisyonuna bağlı olarak manyetik devre endüktansının doğrusal olmamasıdır[4,5]. Doğrusal olmayan sistemler için bulanık mantık denetleyici kolaylıkla uygulanabilmektedir[6]. Bulanık Mantık, ısı denetimi, batarya denetimi ve motor kontrolü gibi birçok uygulama alanında kullanılmaktadır.

ARM, sürücü tekniklerinin gelişmesi, denetim elemanlarındaki ilerlemeler ve yazılım desteğinin artması ile 1970'li yıllardan sonra daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Güç elektroniği, mikrodenetleyiciler ve işlemcilerdeki gelişmeler neticesinde denetimlerde çok büyük başarılar elde etmek mümkündür. Mikrodenetleyici ve işlemcilerin performansları ile birlikte kapasiteleri artmıştır. Mikrodenetleyiciler, motor kontrol uygulamalarının vazgeçilmez özelliği olan Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM) gibi birçok özelliği desteklemektedir. Program olarak da kullanıcıya birçok kolaylık sağlamaktadır[7].

Anahtarlamaalı Relüktans Motor'un kapalı döngü denetimini Bose ve arkadaşları mikrobilgisayar ile gerçekleştirmişlerdir[8].

Elmas ve Zalaya 1992'deki yaptıkları çalışmada akım ve gerilim konfigürasyonlu geniş çalışma devri aralığındaki ARM uygulamasını gerçekleştirmişlerdir. Gerçek zamanlı uygulamalar için kullanılan modern sayısal sinyal işleme (TMS320C30) kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlar ARM modellemesiyle elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır [9].

Yang vd. 1996 yılında yaptıkları çalışmada ARM hız düzenleyici kontrolünü kayan kip mod ile kontrol etmişler. Doğrusal olmayan kontrol uygulamaları için TMS320C50 sayısal sinyal işlemci kullanarak gerçekleştirmişlerdir [10].

BolognaniveZigliotto çalışmalarında ARM sürücüsünün bulanık mantık ile kontrol etmişlerdir. Motor hızını denetlemek için bulanık mantık denetleyici tasarlamış ve benzetimini yapmışlardır. Bulanık mantık denetleyici hız döngüsünde üstün performans göstermiştir [11].

Abut ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; ulaşım sistemleri için ARM sürücüsünün bulanık kontrol uygulamasını gerçekleştirilmişlerdir. Elektrikli araç tahrik sisteminde anahtarlamalı relüktans motor sürücülerinin tork dalgalanmalarını en aza indirmek için bulanık kontrollü basit bir yöntem kullanmışlardır [12].

Borges ve arkadaşları 1997'deki yapmış oldukları çalışmada; ARM'nin hızını kontrol etmek için bulanık mantık uygulaması geliştirmişlerdir. Bulanık kontrol sonuçlarını geleneksel PI (ProportionalIntegral) kontroller uygulamasından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmışlar. Bulanık mantık kontrolün PI kontrolden daha iyi bir cevap verdiğini göstermişlerdir [13].

Zhu vd. 1997'deki yaptıkları çalışmada, ARM'nin hız kontrol uygulaması için değişken yapılı PID (ProportionalIntegralDerivative) denetleyici performansı gerçekleştirmişlerdir. İşlemci olarak TMS320C50 sayısal sinyal işlemci kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Deneysel sonuçlarda geleneksel PI denetleyiciye göre değişken yapılı PID denetleyicinin iyi sonuç verdiğini göstermektedir [14].

Akçayol 2004'deki çalışmasında ARM hız kontrolünde Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Denetimi kullanarak gerçekleştirmiştir. ARM'nin dinamik davranış bilgisini kullanarak algoritma geliştirmiştir. Geliştirmiş olduğu algoritmayı TMS320F240 DSP işlemcisi kullanarak uygulamayı gerçekleştirmiştir. ARM'nin değişik çalışma durumlarında Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Denetim kontrolünün geçerliliğini kanıtlamıştır[15].

Paramasivam ve Arumugam 2005'deki çalışmalarında ARM hız kontrolü için hibrit bulanık mantık denetleyici geliştirmişlerdir. Çeşitli kontrol yaklaşımların performansları karşılaştırılmıştır. PI denetleyici, PI tip bulanık mantık denetleyici ve PD tip bulanık denetleyici için ARM hız kontrol içermektedir. Deneysel çalışmalar TMS320F2812 yüksek hız digital sinyal işlemci bordu ile gerçekleştirilmiştir[16].

Akçayol ve Çetin 2005'deki yaptıkları çalışmada ARM'nin kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. ARM'nin doğrusal olmayışı ve parametrelerinin belirsiz olmasından dolayı ARM'yi kontrol etmek zordur. Problemi sinirsel bulanık denetleyici ile aşmışlar. Dilsel kuralları bulanık değişken ayarlamalı üyelik fonksiyonları nörol ağ ile tanımlanmıştır. Algoritma TMS320F240 sayısal sinyal işlemci ile geliştirmişlerdir. Deneysel sonuçlar ARM'nin çeşitli çalışma durumlarında sinirsel bulanık denetleyicinin etkililiğini göstermişlerdir[17].

Paramasivam ve Arumugam 2005'deki yaptıkları çalışmada, ARM'nin yüksek performansı için uyarlamalı PID kontrolör tasarımı ve uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Denetleyicinin performansını değerlendirmek için TMS320F2812 DSP işlemcisi kullanılmıştır[18].

Elmas vd. 2006'deki yaptıkları çalışmada, ARM'nin hız denetimini bulanık PI denetleyici ile kontrol etmişlerdir. Geliştirmiş oldukları denetleyicide, bir Bulanık Mantık Denetleyici tarafından, PI denetleyicinin oransal ve integral katsayıları, motorun hız hatası ve hız hata değişimine bağlı olarak sürekli uyarlanmaktadır. Denetleyiciyi TMS320F240 Sayısal İşaret İşlemci (Sİİ) kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Bu yapılan çalışmada bulanık denetleyici klasik PI denetleyiciye göre daha iyi başarımlar sağlamıştır [4].

Karakas ve Vardarbasi 2007'deki yaptıkları çalışmada, ARM'nin hız kontrolünü yapay sinir ağ kontrolü kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında kendinden uyarlamalı bulanık PI kontroller tasarlamışlardır. Motorun performansında artış olduğunu gözlemlemişlerdir[6].

Tahour vd. 2007'deki yapmış oldukları çalışmada; ARM'nin hız kontrolünü Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Denetim Sistemi uygulaması ile gerçekleştirmişlerdir. Tasarlanan Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Denetim Sistemi, motorun iyi bir dinamik davranışını, aşmadan mükemmel bir hız izleme ve yüklerdeki bozulma etkilerinin iyi bir çıkarımını göstermiştir. Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Denetim uygulama sonuçları, geleneksel PI kontroller uygulamalarından elde edilen sonuçlardan daha iyi bir performans ve yüksek sağlamlılık göstermiştir[19].

Fecir 2008'de yapmış olduğu tez çalışmasında zeki denetimli endüstriyel çamaşır makinasını ARM kullanarak gerçekleştirmiştir. Çalışmasında bulanık denetim algoritması kullanmıştır. Uygulamasını sayısal sinyal işlemci kullanarak gerçekleştirmiştir. Geleneksel denetim algoritmasının zayıflıkları giderilmiş ve ARM kullanarak Endüstriyel Çamaşır Makinasının veriminin arttığını gözlemlemiştir[3].

Koblara2008'deyapmış olduğu çalışmada ARM'nin hız kontrolü için bulanık mantık denetleyici kullanmıştır. Değişken yükler altında farklı dinamik işlem durumlarında deneysel araştırmalar yapmıştır [20].

Wadnerkar vd. 2008'deki yapmış oldukları çalışmada ARM'nin modeli, simülasyonu ve analizini gerçekleştirmişlerdir. ARM'nin doğrusal ve doğrusal olmayan çeşitli modelleri farklı kontrol stratejileri ile MATLAB/Simulink ile simule edilmiştir. Kontrol stratejisi olarak PI denetleyici ve Histerizis kontrol ve gerilim kontrol kullanılmıştır. Simülasyon sonuçlarından elde edilen sonuçlar uygulama sonuçları ile doğrulanmıştır [21].

SongandDeyingGu2010'daki yapmış oldukları çalışmada, ARM'nin Bulanık-PID kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. ARM'nin matematiksel modelini yapmak zor olduğundan kontrol etmekte zordur. Bu yüzden genel geri besleme teorisi ve

geleneksel PID kontrolü kullanmak yerine Bulanık-PID kontrolör kullanarak daha iyi performans elde etmişlerdir [22].

Wang ve Liu 2011'deki çalışmalarında kontrol kurallarındaki yeni gelişmelere bağlı olarak kendi kendine ayarlama mekanizması olan iki adet modifiyeli PI-Like bulanık mantık kontrol edici önermiş ve çalışmayı ARM sürücü sistemleri uygulamaları için gerçekleştirmişlerdir. Deneysel sonuçlar 4 faz 8/6 kutuplu bir ARM kullanılmıştır. DSpace DS1104 platform üzerinde çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Tasarlanan methodlar ile çalışmanın uygulanabilirliğini ve etkililiğini göstermişlerdir. Geleneksel denetleyiciler ile önerilmiş denetleyici karşılaştırmışlardır [23].

Dehkordive arkadaşları 2011'deki çalışmalarında beyin duygusal öğrenme tabanlı zeki denetleyici ARM'nin hızını kontrol etmek amacıyla geliştirmişlerdir. Beyin duygusal öğrenme tabanlı zeki denetleyici diğer zeki denetleyiciler gibi doğrusal olmayan sistemlere uygundur. Beyin duygusal öğrenme tabanlı zeki denetleyici performansı bulanık mantık denetleyici ile karşılaştırmışlardır. Farklı yük ve benzetim sonuçları ile doğrulanmıştır[24].

Uysal ve Bayır 2013'deki çalışmalarında ARM için sürücü tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Sürücüyü test etmek için PLC(Programlanabilir Mantık Denetleyici) tercih etmişlerdir. Motorun hız kontrolünde PID algoritması kullanmışlardır. Sürücü performansını PID kullanarak farklı hız ve yüklerde test etmişlerdir[25].

Lakshmanan vd. 2014'deki yaptıkları çalışmada bulanık mantık denetleyici ve uyarlamalı sinir bulanık sistemi gibi zeki kontrol teknikleri ile ARM'deki tork kısılmalarını azaltmak için kullanılmışlardır. MATLAB programını kullanmışlardır. Geleneksel PI denetleyici ile karşılaştırma yapılmış ve uyarlamalı sinir bulanık sistem ile bulanık mantık denetleyicinin performanslarını karşılaştırmışlardır. Uyarlamalı sinir bulanık sistem bulanık mantık denetleyiciye göre daha iyi bir öğrenme ve genelleme kapasitesine sahip olduğundan ARM sürücülerinin dinamik performansını artırmıştır [26].

Kiruthika ve Susitra 2014'de,ARM'un hızını bulanık mantık kullanarak benzetim çalışması yapmışlardır. Çalışmalarında bulanık mantık denetleyicinin geleneksel PI denetleyiciye göre iyi performans gösterdiğini ve yüksek sağlamlık olduğunu gözlemlemişlerdir[27].

Daryabeigi veDehkordi 2014'deki yaptıkları çalışmada ARM kontrolünde zeki bakteri algoritması kullanılmışlardır. Değişik kontrol stratejileri ile zeki bakteri algoritmasını karşılaştırmışlardır. Çalışmalarını sayısal sinyal işleme tabanlı (TMS320F2812) işlemci kullanarak gerçekleştirmişlerdir[28].

MATLABSimulink programı gerçek zamanlı veri alışverişinde kullanıcıya birçok kolaylık sağlamaktadır. Aynı zamanda bu yazılım birçok kontrol uygulamalarında kullanılabilir. Dinamik sistemlerin simülasyonu için etkileşimli grafik yazılımı Simulink, dinamik sistemlerin modeli, simülasyonu ve analizi için kullanılır. Gerçek zamanlı kontrol çalışmaları birçok platformda yapılabilir. Er vd.2011'deki çalışmalarında simulink yazılımını kullanarak gerçek zamanlı olarak bir robot kolun denetimini hibrit uyumlu bulanık tekniği ile kontrol etmişlerdir[29].

Wu vd.2011'deki yaptıkları çalışmada uyarlanmış bulanık PID denetleyiciyi MATLAB Simulink kullanarak hız düzenleyici olarak tasarlamışlardır. Sonuçlar denetleyicinin aşmaları azalttığını ve doğruluğunu geliştirdiğini göstermektedir[30].

Loria ve arkadaşları 2012'deki yapmış oldukları çalışmada iki ayrı kontrol döngüsü içeren bilinmeyen yüklenmiş ARM'de rotor ve stator dinamiği için kontrol stratejisi önermişlerdir. Uygulamayı MATLABSimulink kullanarak simule etmişlerdir. Kontrol yöntemi oransal-integral ve türev tipindedir. Uygulamada elektrik kökenli mekanik tork tarafından üretilen sanal kontrol girişi uygulanmıştır [31].

Lokriti vd. 2013'deki çalışmalarında gerçek zamanlı olarak asenkron motorun hız sürücünü kendinden ayarlamalı bulanık PI kullanarak geliştirmişlerdir. DSpaceDS 1104 kartı kullanarak 3 farklı hız kontrol tekniği (geleneksel PI, fuzzy-like-PI, ve IP öz ayarlamalı) kullanmışlardır[32].

Ramadan vd. 2014'deki çalışmalarında gerçek zamanlı DC motorun hız kontrolünü bulanık mantık tekniği kullanarak gerçekleştirmiştir. Spartan-3E FPGA (FieldProgrammableGateArray) başlangıç (XC3S500E) donanımını kullanarak geliştirmişlerdir. Geliştirmiş oldukları uygulamanın esnek tasarım, yüksek güvenilirlik, maliyet iyileştirme ve özelliği doğrulama gibi avantajları olduğunu göstermişlerdir[33].

Guerra vd. 2016'daki yapmış oldukları çalışmada; gerçek zamanlı olarak ARM'nin kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. Denetleyici olarak Genelleştirilmiş Oransal İntegral kullanmışlardır. Verileri DSP DS1104 ile gerçek zamanlı olarak MATLABSimulink programında değerlendirmişlerdir[34].

Bu tez çalışmasında anahtarlamalı relüktans motor için Bulanık Mantık Denetimli bir sürücü tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Motorun sürülmesi için dört fazlı asimetrik köprü konvertör tipi tercih edilmiştir. Anahtarlamalı Relüktans Motorun Bulanık Mantık ile hız denetimi yapılmıştır. Bulanık Mantık Denetleyici, MATLAB Simulink programında gerçek zamanlı olarak çalıştırılmıştır. Anahtarlamalı Relüktans Motorun denetimi, MATLAB Simulink programı ile gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Gerçek zamanlı kontrolde motor akımı ve hızı, anlık olarak bilgisayar ortamına aktarılmış ve MATLAB Simulink programında, ölçülen hız ve akım değerleri gerçek zamanlı grafiksel olarak izlenebilmektedir.

BÖLÜM 2

ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTOR

Değişken relüktans motor, 1969 yılından beri, değişebilen hız uygulamaları için önerilmiştir. ARM'lerin geçmişi 1838 yılına dayanmaktadır. ARM'nin yeniden keşfi yüksek güçlü anahtarlama elemanlarının ucuzlamasından dolayı mümkün olmuştur. ARM bir senkron makine olmasına rağmen yeni özelliklere sahiptir [35]. ARM'nin rotoru sargısızdır ve stator sargıları basittir. ARM'nin fazları arasında bir bağlantı olmadığından, her faz diğerlerinden bağımsız olarak çalışmaktadır. Bu şekilde bir fazda arıza meydana geldiğinde bile motor çalışmaya devam etmektedir [3].

ARM'ler adını rotor konumuna göre hava aralığının değişmesinden dolayı değişken relüktanslı motorlardan almaktadır. ARM'ler doğrudan bir kaynağa bağlı olarak çalışmamaktadır. Bu yüzden bu motorlarda anahtarlama devresinin kullanılması gerekmektedir. Hem değişken relüktans hem de anahtarlama devresini birlikte kullanmak için ARM adı kullanılmaktadır [36].

2.1.ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTORUN YAPISI VE ÇALIŞMASI

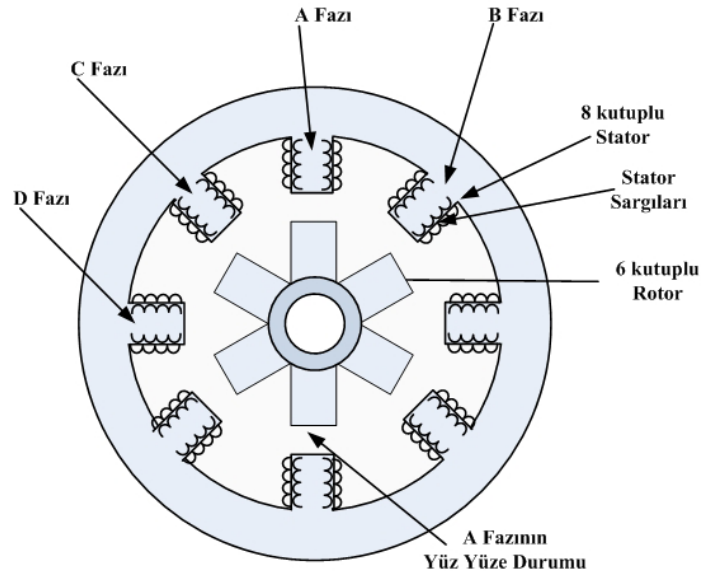
ARM'lerin yapısı diğer motor türlerinden farklı yapıdadır. ARM'ler stator ve rotorunda çıkık kutbu bulunan çift çıkık kutuplu yapıya sahip bir senkron makinadır. Rotor ve stator paketleri değişik özelliklerde olan silisyumlu saçlardan yapılır. Demir kayıplarını en aza indirmek için stator ve rotor çekirdekleri bir tarafı yalıtılmış belirli kalınlıktaki lamine saçların paketlenmesi ile oluşturulur. ARM'nin statoru basit yapıli sargılardan oluşmaktadır. Rotoru ise üzerinde sargı ve fırçası olmayan saç paketinden oluşmaktadır. ARM'nin stator sargıları, stator kutupları etrafından manyetik alan şiddetinden daha çok yararlanmak için genelde ince telli sarımlardan oluşan sarımlar şeklinde sarılır. Sargılar, karşılıklı kutuplarda, aynı eksende ve aynı

yönde sarılmış ise seri bağlı sargılardır. Bu yüzden statorun her bir zıt kutup çifti bir fazı oluşturur [37].



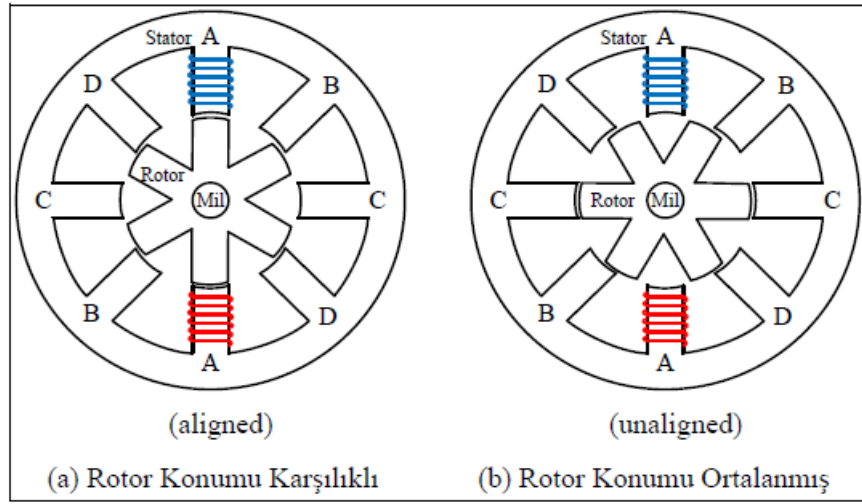
Şekil 2.1. 10/8 kutuplu bir ARM.

Şekil 2.1’de 10/8 kutuplu bir ARM şekli gösterilmektedir. ARM’lerin dönebilmesi için rotor ve stator kutup sayılarının farklı olarak üretilmesi gerekmektedir. Genellikle 6/2, 6/4, 8/6, 10/8 şeklinde üretilmektedir. Motordan yüksek hız isteniyorsa rotor sayısı stator sayısından çok küçük olmalıdır. Motordan yüksek moment istenirse rotor sayısının stator sayısından küçük olması gerekmektedir. ARM’ler rotor ve stator kutup sayıları eşit veya katları şeklinde üretilmektedir. Çünkü kutupları aynı hizaya geldiğinde kalkınma torku üretemezler. Şekil 2.2’de 8/6 kutuplu bir ARM iç yapısı verilmektedir.



Şekil 2.2.8/6 ARM iç yapısı gösterilmiştir [3].

ARM'lerin bir fazdan başlayıp değişik faz sayılarında üretimi yapılmakta olup, ticari amaçlı 3 ve 4 fazlı ARM'ler yaygın olarak kullanılmaktadır [37]. Dört fazlı ARM'de, her fazda karşılıklı stator kutuplarına sarılmış, akıları birbirini destekleyecek yönde seri veya paralel olarak bağlanmış iki bobin bulunmaktadır. Dört fazlı ARM'de endüktansın değeri rotor konumuna göre değişmektedir. Şekil 2.3 (a)'da A fazı için stator ve rotor yüz yüze konumdadır ve bu durumda endüktans en yüksek değerindedir. Şekil 2.3 (b)'de ise stator ve rotor kutupların bir birini hiç görmemesi durumunda o faza ait endüktans en küçük değerdedir [38].



Şekil 2.3. ARM'nin rotor konumları [38].

2.2. ARM'NİN EŞ DEĞER DEVRE MODELİ

ARM'de bir faz için gerilim eşitliği;

$$V = R \cdot i + \frac{d\psi(\theta, i)}{dt} - M(\theta) \frac{di'}{dt} \quad (2.1)$$

Şeklinde ifade edilmektedir. Burada; V , DA kaynak gerilimi, R , stator sargı direnci, ψ , manyetik akı, i , faz akımı, $M(\theta)$ karşılıklı endüktans, θ , rotor pozisyon açısı, i' , bir önce uyarılan sargı akımıdır.

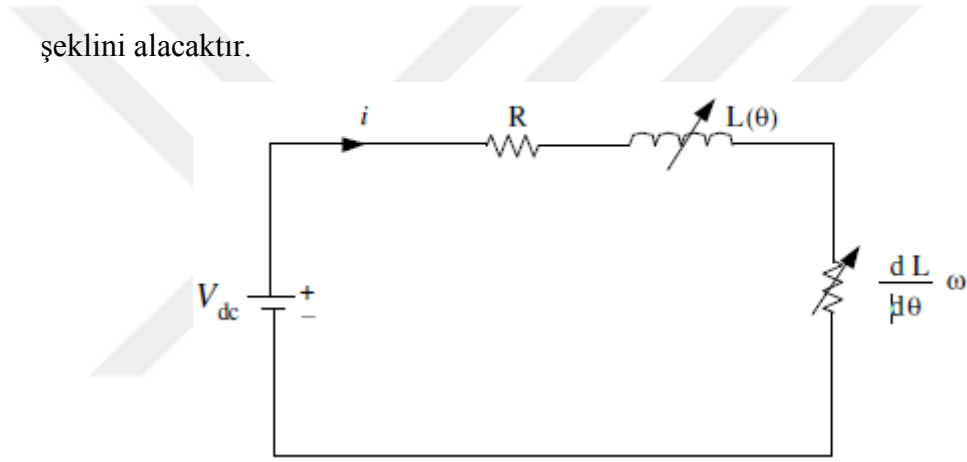
Doyum ihmal edildiğinde manyetik akı $\psi = L(\theta).i$ olduğundan Eş. 2.1 yeniden düzenlendiğinde;

$$V = R.i + \frac{d(L(\theta).i)}{dt} - M(\theta) \frac{di'}{dt} \quad (2.2)$$

olmaktadır. Burada, $L(\theta)$, faz endüktansını göstermektedir. Türevsel ifade parçalara ayrıldığında ise Eş. 2.2;

$$V = R.i + L(\theta) \frac{di}{dt} + i \frac{dL(\theta)}{dt} - M(\theta) \frac{di'}{dt} \quad (2.3)$$

şeklini alacaktır.



Şekil 2.4. Bir faz için ARM'nin eşdeğer devresi.

Şekil 2.4'de bir faz için ARM'nin eşdeğer devresi görülmektedir.

Karşılıklı endüktans değer, minimum endüktanstan daha küçüktür. Bu nedenle karşılıklı endüktans ihmal edildiğinde;

$$V = R.i + L(\theta) \frac{di}{dt} + i \frac{dL(\theta)}{dt} \quad (2.4)$$

olmaktadır. Aynı zamanda,

$$\frac{dL(\theta,i)}{dt} = \frac{dL(\theta,i)}{d\theta} \cdot \omega \quad (2.5)$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{di}{d\theta} \cdot \omega \quad (2.6)$$

dir. Burada, ω , açısal hızdır. Bu durum kararlı çalışma durumunda geçerlidir. Böylece, Eş. 2.4 yeniden düzenlenirse;

$$V = R \cdot i + L(\theta) \frac{di}{dt} \cdot \omega + i \frac{dL(\theta)}{dt} \cdot \omega \quad (2.7)$$

olur.

ARM' nin dinamik davranışını tanımlayan eşitlik Eş. 2.8'deki gibi ifade edilebilir.

$$T_e = J \frac{d^2\theta}{dt^2} + B \frac{d\theta}{dt} + T_L \quad (2.8)$$

Rotor konumunun türevini alırsak, açısal hıza bağlı eşitlik;

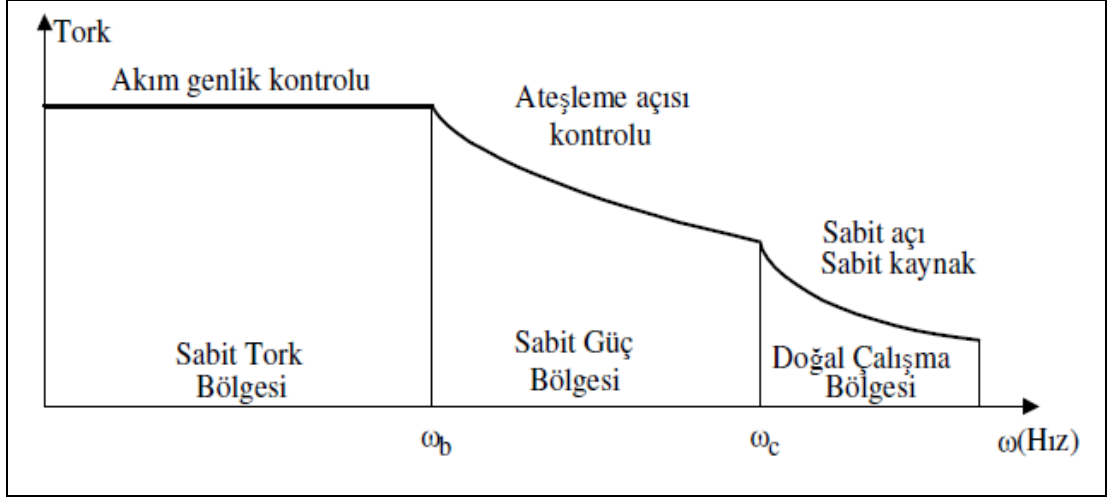
$$T_e = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + T_L \quad (2.9)$$

olmaktadır. Burada; T_e , motor torku, J toplam atalet momenti, B sürtünme katsayısı ve T_L ise yük torkudur.

Bu denklemlerin doğruluğu motor endüktansının ne kadar doğru şekilde modellenmesine bağlıdır[39].

2.3. ARM'NİN TORK-HIZ KARAKTERİSTİĞİ

Motora uygulanan denetim biçimine göre tork-hız eğrileri geniş bir alana sahiptir. ARM için çalışma şartları Şekil 2.5'de verilen motor hızına göre doğal çalışma bölgesi, sabit güç bölgesi ve sabit tork bölgesi olarak üç farklı bölgeye ayrılmaktadır.



Şekil 2.5. ARM'nin tork-hız karakteristiği [39].

Doğal Çalışma Bölgesi, motor hızı ω_c hızından büyük olduğunda, dönüştürücü tetikleme açısı en büyük değerine getirilebilmektedir. ARM böylece doğal tork-hız karakteristiği ile çalışabilmektedir. Yani $T \cdot \omega^2$ değeri seri DA motordaki gibiyaklaşık sabit olmaktadır

Sabit Güç Bölgesi, taban hız ω_b 'nin üzerindeki hızlar için akım regülatörü etkili olmamaktadır. Çünkü bu çalışma bölgesinde zıt emk yükselmekte ve zorlama voltajı sabit akım sağlamak için yeterli olmamaktadır. Konvertör ateşleme açısı, hızın bir fonksiyonu olarak artırılarak, motor hızı artırılabilir ve böylece $T \cdot \omega$ değeri sabit hale getirilebilmektedir.

Sabit Tork Bölgesi, taban hız ω_b 'nin altındaki hızlar için, konverter tetikleme açısı sabit bir değerde tutulmakta ve böylece motor torku en az dalgalanma ile en büyük değere çıkarılmaktadır. Motor faz akımları ayarlanarak motor ortalama torku denetlenmektedir. Motor stator fazları sıralı bir şekilde enerjilendirilmektedir ve böylece bir anda sadece bir faz aktif olmaktadır. İki fazında geçici olarak aktif olduğu komütasyon periyotları bunun dışındadır. Tork denetimli çalışmada, aktif fazdaki akım bir akım regülatörü tarafından kontrol edilmektedir [39].

2.4. ARM'İN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

ARM'lerin motorun çalışması bakımından üstünlükleri ve sakıncaları sırasıyla verilmektedir [37].

Avantajları:

Mekaniksel olarak ARM çok basit bir yapıya sahiptir. Sadece statorunda sargı vardır. Rotorunda mıknatıs veya sargı yoktur. Sarılması son derece kolaydır, sargılar önceden bir kalıp üzerinde tasarlanan sarım sayısında sarılarak stator kutuplarına yerleştirilebilir. Bütün bu özelliklerden dolayı üretim maliyeti oldukça düşüktür.

ARM'nin rotorunda sargı bulunmamasının anlamı rotor bakır kayıplarının olmaması ve bundan dolayı rotor sıcaklığının diğer motorlara göre düşük olmasıdır. Motorlarda özellikle rotordaki sıcaklığı ortadan kaldırmak güç olduğundan dolayı bu iyi bir özelliktir. Ayrıca rotorda iletkenin yanı sıra mıknatıs da olmadığından yüksek hızlara çıkmak mümkündür.

Hız kontrollü uygulamalarda özellikle başlatma ve durdurma anlarında referans hız çok değişir. Bu anlarda referans hızları yakalamak için düşük atalet çok önemlidir. Verim açısından hızlanma ve büyük atalet her zaman kötü bir durumdur. Aynı güç aralığındaki ARM'lerin rotoru diğer elektrik makinalarıyla karşılaştırıldığında düşük bir ataletle sahiptirler.

ARM fırçasız bir makinadır. Fırçalı tip motorlarla karşılaştırıldığı zaman bakım gereksinimlerinin çok düşük olduğu söylenebilir.

Motorun moment üretmesinde etkili olan sargılar rotora paralel olan sargılardır. Sargıların uç kısımları ile sargılar arası bağlantıların geliştirilen moment üzerinde düşük bir etkisi mevcuttur. Ayrıca iletkenin boyunun artmasından dolayı da kayıplar da artmaktadır. Bu sebeplerden dolayı da verim düşmektedir. Ancak ARM diğer motorlara göre kısa sargı uçlarına sahiptir. Sargılarda çapraz bağlantı ve toplam sargı boyunun da kısa olmasından dolayı sargı ucu kayıpları düşüktür.

Şu ana kadar diğer faktörlere de bağlı olarak tam bir genelleme yapılmasa da ARM'lerin verimlerinin diğer tipteki motorlara göre yüksek olduğu eğilimi mevcuttur. Genel olarak karşılaştırmalar asenkron motor üzerinden yapılmıştır.

ARM'de fazlar arasında herhangi bir bağlantı olmadığından dolayı fazlar birbirinden bağımsız olarak çalışır. Bu nedenle motordaki fazlardan herhangi birinde hata meydana gelse bile, motor çalışmaya devam eder.

Dezavantajları:

ARM'nin hem statoru hem de rotoru çıkıntılıdır. Kare dalga şeklindeki uyartım ile yüksek gürültü, titreşimler ve moment dalgalanması meydana gelmektedir.

Çıkıntılı kutuplardan dolayı yüksek hızlarda rüzgâr kayıpları oluşur. Özellikle 3000 d/d'nın üzerindeki hızlarda rüzgâr kayıplarının etkisi dikkate alınır.

ARM'de rotorun başlangıç konumunun tespit edilmesinden dolayı yol alma problemi vardır. Genelde ilk başlatma için rampa frekanslı açık çevrimli yöntem kullanılır.

ARM'lerde verim de dikkate alınarak, elektrik enerjisi mekanik enerjiye dönüştürülür. Bunun için komütasyon açısının rotor konumuyla senkronize olması gerekmektedir. Bu nedenle denetleyici rotor konum bilgisine gerek duymaktadır. Bu bilgi ya konum algılayıcılarından ya da son zamanlarda üzerinde çalışmaların yoğunlaştığı algılayıcısız metotla elde edilebilir.

ARM direk bir AA veya DA şebekeye bağlanıp çalıştırılmaz. ARM'yi çalıştırmak için bir sürücü devresi gerekmektedir. Bu durum motorların kullanım alanlarına göre karşılaştırıldığı zaman bazı kullanım alanlarında (özellikle denetleyicinin yapılmadığı alanlar) ve bazı tip motorlara (asenكرون motor vb.) göre ek maliyetten dolayı bir olumsuzluk getirir.

Deneyim her alanda olduğu gibi elektrik makinalarının tasarımında da önemli bir etkidir. ARM'yi tasarım açısından asenkron motorlarıyla karşılaştırdığımız zaman

asenكرون motorlarının tasarımı adeta ezberlenmiş gibi bilinmektedir. Ancak ARM'nin tasarımı farklı olduğu için asenkron makinanın üzerindeki tecrübelerden kısmen yararlanılabilmektedir. ARM tasarımının karmaşıklığının nedenleri arasında örtüşmeyen konumdaki düzensiz akı dağılımları, doyum, unipolar akı yoğunluğu dalga formları, sürücü devre topolojileri ve kontrol yöntemleri sıralanabilir.

2.5. ARM'İN KULLANIM ALANLARI

ARM endüstride düşük, orta ve yüksek güçlü ve yüksek hızlı sürücülerde kullanımı sınıflandırılmıştır. Bazı gelişmekte olan uygulamaları ve su altı uygulamaları içermektedir. Sınırlı sayıda doğrusal ARM endüstride kullanılmaktadır. ARM'nin endüstrideki bazı uygulamaları ve kullanılan motor tipleri aşağıda verilmiştir [35].

2.5.1. Düşük Güçlü Sürücü Uygulamaları

Hewlett-Packard firması 0,1275 N-m tork, 4000 d/d hız ve 53W gücünde bir ARM'yi çizim makinesinde geliştirmiş ve kullanmaktadır.

A.O.Smith firması, endüstri uygulamaları için klima santralinde, 0,5 HP gücesahip bir ARM kullanmıştır.

RadioEnergie firması, forklift ve palet taşıyıcı araçlarında 1,8 kW gücünde ve 1500 d/dhıza sahip bir ARM kullanmıştır.

Besam firması, otomatik kapı sistemlerinde 3 fazlı 12/8 kutuplu, 5 N-m torküreten, 300 d/d hıza sahip bir ARM kullanmıştır.

Çamaşır makinesi, kurutma makinası gibi ev cihazlarında iki firma ekonomikliği yüzünden ARM kullanmaya başlamışlardır.

2.5.2. Orta Güçlü Sürücü Uygulamalar

Endüstriyel amaçlı pek çok uygulamada 140 HP ve üzeri güçte ARM'ler üretmişlerdir.

NormalairGarrett firması, trenlerde havalandırma sistemleri için 40 kW gücünde 30.000 d/d hıza sahip, 3 fazlı, 6/4 kutuplu ARM üretmiştir.

British JeffreyDiamond firması, madencilik endüstrisinde 3 faz 12/8 kutuplu, 150 ve 300 kW lık 1500 d/d hıza sahip ARM üretmiştir.

2.5.3. Yüksek Güçlü Sürücü Uygulamalar

1000 HP gücünde ARM'ler pompa ve havalandırma sistemlerinde kullanılma çalışmaları vardır ama endüstriye henüz girmemiştir.

2.5.4. Yüksek Hızlı Sürücü Uygulamalar

CompAirBroowWade firması, vidalama kompresörü olarak 2 fazlı 8/4 kutup oranında 75 kW gücünde ve 4500 d/d hıza sahip ARM üretmiştir.

Beckman Instruments firması, tıp uygulamaları için pompalama sistemlerinde kullanılmak üzere 3 fazlı, 6/4 kutuplu, 2,5 kW ve 30000 hıza sahip ARM üretmiştir.

Uzay uygulamalarında jet motorunu ateşlemek üzere başlangıç motoru olarak ARM ler kullanılmaktadır. Bunun için hız oranı 27000 d/d ile 50000 d/d arasında hızlara sahip ARM'ler üretmiştir.

2.6. ARM İÇİN DÖNÜSTÜRÜCÜ DEVRELERİ VE ÖZELLİKLERİ

ARM için kullanılan dönüştürücüler, moment tek yönlü akım ile üretildiğinden alternatif akım motorlarının beslendiği dönüştürücülerle karşılaştırıldığında daha basit yapıdadırlar[3].

ARM'lerde kullanılacak dönüştürücüler iki temel özelliği karşılamalıdır.

- ARM'de her faz diğerinden bağımsız olarak ilettime geçmelidir.
- ARM motor olarak çalışırken, dinamo çalışma bölgesine geçmemelidir.

Bunların yanı sıra ARM'nin toplam performansını arttırmak için kullanılacak olan dönüştürücü ek olarak aşağıdaki özellikleri de sağlamalıdır.

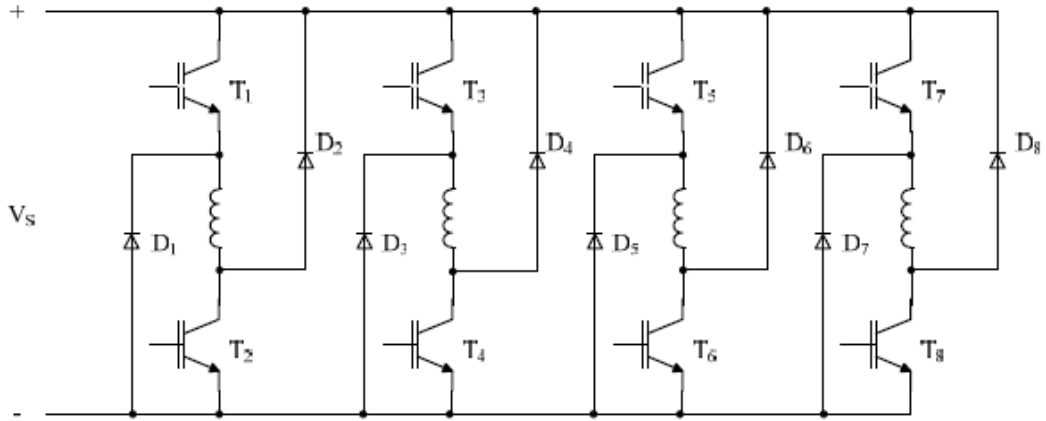
- Fazlardan biri tamamen kesime gitmeden diğer faz ilettime geçirilmeli,
- Dönüştürücü, kesime götürülen faz sargısında depo edilen enerjiyi kaynağa ya da ilettime geçirilecek bir sonraki faza aktarabilmeli,
- Komütasyon süresini kısa tutabilmeli,
- Kısıyıcı olarak çalışma esnasında anahtarlama serbest dolaşım sağlayabilmelidir[38].

ARM için kullanılan tipik dönüştürücüler genelde gerilim kaynağı olarak kullanılmakta ve dönüştürücüde akım kontrol edilmektedir. Günümüzde kullanılan dönüştürücülerin başlıcaları şunlardır[3].

- Bifilar sargı kullanan dönüştürücü
- Sönümlenme dirençli dönüştürücü
- Asimetrik dönüştürücü
- Ayrık beslemeli dönüştürücü
- Ortak anahtarlı dönüştürücü (Miller devresi)
- H-Köprü dönüştürücü
- Sood dönüştürücü
- RC dönüştürücü
- C-Dump dönüştürücü
- Pollock dönüştürücü

Her Fazda İki Anahtar Bulunan Klasik Dönüştürü:

Bu dönüştürücüde stator faz sayısının iki katı kadar güç anahtarı ve güç diyotu kullanılmaktadır. Fazlar birbirinden bağımsız olduğundan dolayı her fazın ayrı kontrol edilmesi mümkündür. Bu özellikleriyle ARM sürücüleri Alternatif Akım(AA) eviricilerinden farklıdır. Çünkü AA eviricilerinde faz sargıları invertör ayaklarının ortasından beslenmektedir. ARM dönüştürücülerinde ise sargılar güç anahtarları ile seri bağlıdır. AA eviricilerde sargıların alt ve üst uçlarındaki anahtarların aynı anda açılmasından sakınılmalıdır. Aksi takdirde doğru akım kaynak kısa devre olmaktadır. Bu durumu önlemek için ilave denetim devreleri eklemek gerekmektedir. ARM denetiminde böyle bir duruma gerek yoktur. Şekil 2.6'da klasik köprü tipidönüştürücü devresi verilmektedir[39].



Şekil 2.6. Asimetrik köprü konvertör.

BÖLÜM 3

BULANIK MANTIK

İnsanlar günlük hayatlarında sonucu kesin olarak bilinmeyen sorunlarla karşılaşır. Yaşadığımız dünya genel olarak belirsizlik, kesin düşünceden yoksunluk ve karar verememe sebebiyle karmaşıktır. İşte bu karmaşıklığı bulanıklık olarak nitelendirmek mümkündür. Bulanık mantık, her gün kullandığımız ve davranışlarımızı yorumladığımız yapıya ulaşmamızı sağlayan matematiksel bir disiplindir. Temelini doğru ve yanlış değerlerin belirlendiği Bulanık Küme Kuramı oluşturur. Burada yine geleneksel mantıkla olduğu gibi (1) ve (0) değerleri vardır. Ancak bulanık mantık bu değerlerle yetinmeyip, bunların ara değerlerini de kullanır. Örneğin elini suya sokan bir kişi hiçbir zaman tam olarak ısısını bilemez, onun yerine sıcak, az sıcak, soğuk, çok soğuk gibi dilsel niteleyiciler kullanır [40]. Bulanık mantık klasik mantığın aksine iki seviyeli değil, çok seviyeli işlemleri kullanmaktadır. Klasik denetim uygulamalarında karşılaşılan zorluklar nedeniyle, bulanık mantık denetimi alternatif yöntem olarak çok hızlı gelişmiş ve modern denetim alanında geniş uygulama alanı bulmuştur[41].

3.1. BULANIK MANTIĞIN TEMEL ÖZELLİKLERİ

Matematiğin doğruluğunda ve gelişiminde Aristoteles ve onun izinde giden büyük düşünürlerin büyük katkısı olmuştur. Onların mantık teorisini oluşturma çabaları ile matematik bilimi gelişmiş ve “Düşüncenin Yasaları” oluşturulmuştur. Bu yasalardan biri her önermenin “Doğru” ya da “Yanlış” olması gerektiğini öngörmüştür. Bu anlayışa geleneksel (klasik) ya da Aristo mantığı adı verilir[42].

Geleneksel mantık sistemi yalnızca 1 ve 0’lardan oluşmaktadır. Bu sistemde bir şey ya vardır ya da yoktur. Örneğin bir nesne ya sıcak ya da soğuktur. Ilıklık gibi kavram yoktur. Bir eleman bir kümenin ya elemanıdır ya da elemanı değildir. Bu nedenden

dolayı geleneksel mantık kesin olmayan, karmaşık sorunların çözümünde yetersiz kalmaktadır.

Bulanık mantık sisteminde de 1 ve 0 değerleri mevcuttur. Bununla yanında 1 ve 0 arasındaki ara değerlerde kullanılır. Doğru ya da yanlışın ne kadar doğru ya da ne kadar yanlış olduğu önermelerle belirlenebilir. Bu önermeler geleneksel mantığın 0-1 önermelerine karşılık daha fazla sayıda önerme olabilir. Örneğin siyah ile beyaz arasında sonsuz sayıda gri tonlarını içermektedir.

Klasik mantığın temelinde olasılık hesaplamaları vardır. Bir olayın olabirliğini, bu mantık ile çözümlenmeye çalışırız. Sonuç olarak evet ya da hayır ile sınırlı olmaktadır. Ancak bulanık mantık tamamen farklıdır ve olabirliğinin ne olduğunu verir.

Bulanık mantık yapay zekâ metotları içerisinde en çok endüstriyel uygulama alanı bulan metodudur.

Kullanım Alanları:

- Elektrikli ev aletleri
- Oto elektroniği fren sistemleri
- Elektronik denetim sistemleri
- Karar verme
- Haberleşme
- İşletme
- Tıp
- Psikoloji.

Bulanık Mantığın Sağladığı Avantajlar:

- İnsan düşünce sistemine ve tarzına yakındır.
- Uygulamasında mutlaka matematiksel bir modele gereksinim duymaz.
- Yazılım basit olduğu için sistem daha ekonomik kurulabilir.
- Bulanık Mantık kavramını anlamak kolaydır.

- Bulanık Mantık eksik tanımlı problemlerin çözümü için uygundur.

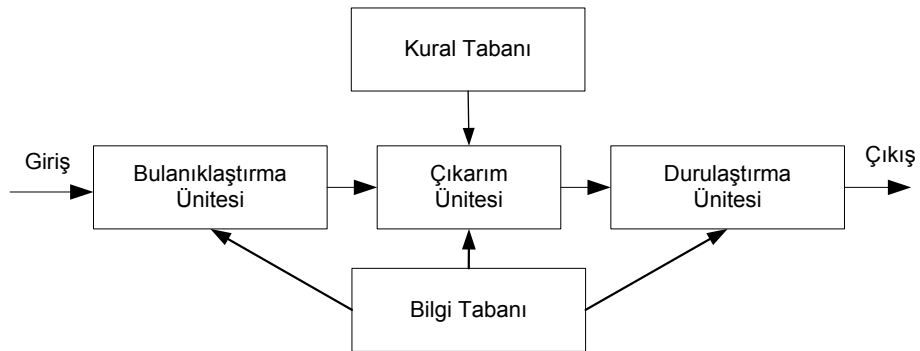
Dezavantajları:

- Uygulamada kullanılan kuralların oluşturulması uzmana bağlıdır.
- Üyelik fonksiyonlarının deneme yanılma yolu ile bulunması zaman alır.
- Verdiği sonuçlar %100 doğru değildir.

3.2. BULANIK MANTIK DENETLEYİCİ SİSTEM ELEMANLARI

Bulanık mantık, bulanık küme teorisine dayanmaktadır. Bulanık kümeleri konusu ilk defa Lotfi A. Zadeh tarafından 1965 yılında ortaya atılmıştır [43]. Bulanık küme teorisi genel bir matematiksel yaklaşımdır. Çözülmesi güç olan problemler genel bir yapıya kavuşturularak daha kolay bir sonuca gidilir. Bulanık küme teorisi kısmi üyeliğe izin veren bir mantık sistemidir. Yani bir kümenin tam üyeliği ile o kümenin üyesi olmama durumları arasında derece derece geçişe izin verir. Verilen bir elemanın bir kümede kısmi üyeliğinin bulunması demek, aynı zamanda bu elemanın bu kümenin üyesi olmama durumunun da kısmen başlaması demektir. Çünkü bulanık küme teorisi, hem tam üyeliğe ve hem de hiç üye olmamaya izin verir[44]. Bulanık mantık denetleyici için öncelikle giriş ve çıkış değişkenleri tanımlanır. Bulanık alt kümelerin her bir değişkeni için belirli aralık tanımlanır ve her birine dilsel etiket atanır [41].

Bulanım Mantık Sistemi dört temel ögeden oluşmaktadır.



Şekil 3.1. Bulanık mantık denetleyicinin temel yapısı.

Bulanık mantık kontrolün dört temel bileşeni vardır. Bunlar; bulanıklaştırma, çıkarım ünitesi, bilgi tabanı ve durulaştırma[45]. Bulanık mantık denetleyicinin blok diyagramı Şekil 3.1’de verilmektedir.

3.2.1. Bulanık Küme

Bulanık kümeler, klasik kümelerin sıfır(0) ile bir(1) değerleri arasında da değerler alabilen üyelik derecelerine sahip bir genellemesidir. Yani klasik kümelerde bir eleman, bir kümeye ya tamamen dâhildir (üyelik derecesi “bir”) ya da tamamen hariçtir(“sıfır” üyelik derecesi). Ancak bulanık kümelerde bir eleman, üyelik fonksiyonlarında belirlenen derecelerle bir kümeye dâhildir. Örneğin, klasik kümelerle bir BMW’ yi sadece pahalı arabalar kümesine yerleştirebiliriz. Ancak, bulanık kümelerle gösterildiğinde 0.8 değeriyle ki bu değer denetleyiciyi tasarlayanın kanısını, ya da diğer bir bakış açısına göre olabilirliğini gösterebilir. Pahalı arabalar kümesine dâhil iken, 0.2 değeriyle ekonomik arabalar kümesinde de tanımlanabilir.

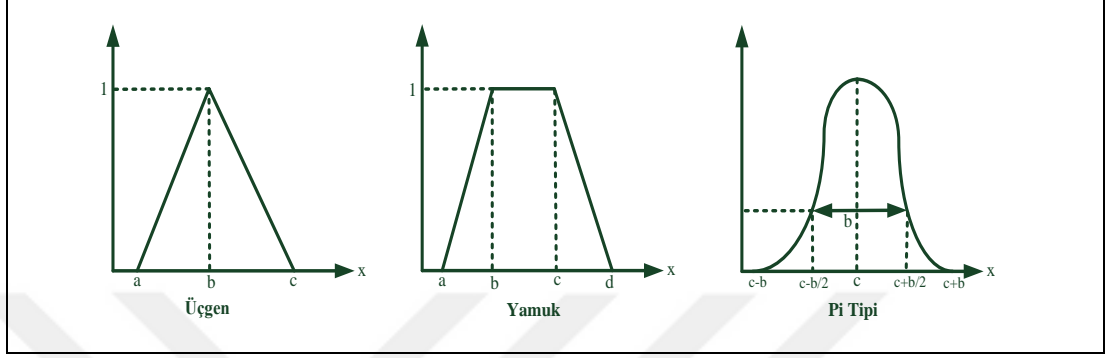
3.2.2. Üyelik Fonksiyonları

Dilsel niteleyicilerden oluşan anlam grubudur. Üyelik fonksiyonları genellikle biçimsel olarak gösterilirler ve en çok kullanılan biçimler üçgen(triangular), yamuk(trapezoidal) ve pi tipi(Π type)’ dir. Geliştirilen bulanık mantık sistemlerinde bulanıklaştırma işlemleri Eş.3.1-Eş.3.2 verilen formüller ile gerçekleştirilir. Şekil 3.2 ‘de en çok kullanılan üyelik fonksiyonları verilmektedir.

$$\text{üçgen}(x;a,b,c) = \begin{cases} x - a/b - a & a \leq x < b \\ c - x/c - b & b \leq x \leq c \end{cases} \quad (3.1)$$

$$\text{yamuk}(x;a,b,c,d) = \begin{cases} x - a/b - a & a \leq x < b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ (d - x)/(d - c) & c < x \leq d \end{cases} \quad (3.2)$$

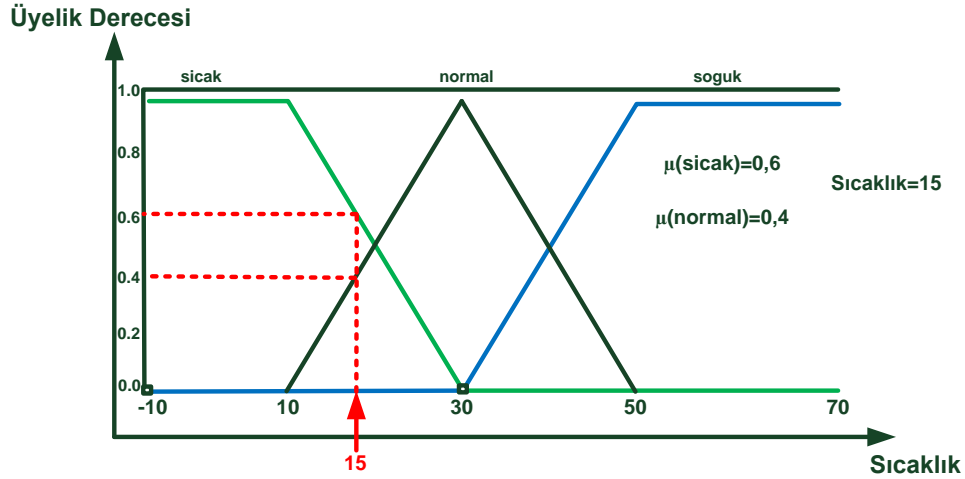
$$\mu(x;a,b,c,d)=\begin{cases} 2 * [(x - (c - b))/b]^2 & c - b \leq x < c - b/2 \\ 1 - 2 * [(c - x)/b]^2 & c - b/2 \leq x < c \\ 1 - 2 * [(x - c)/b]^2 & c \leq x < c + b/2 \\ 2 * [(c + b - x)/b]^2 & c + b/2 \leq x \leq c + b \end{cases} \quad (3.3)$$



Şekil 3.2. Üyelik fonksiyonlarının şekilleri.

3.2.3. Bulanıklaştırma

Fiziksel giriş bilgilerinin, dilsel niteleyicilerle ifade edebileceğimiz bulanık mantık bilgileri şekline çevirme işlemine bulanıklaştırma (Fuzzification) adı verilir. Bulanıklaştırma sonucu elde edilen değişkenlere dilsel değişkenler (linguistic variables) denir ve işlemle birlikte tüm giriş değişkenlerinin değerleri, üyelik derecesi olarak buraya atanır. 70 °C sıcaklık bilgisini sıcak olarak ifade edebileceğimiz gibi 70 °C – 100 °C sıcaklık aralığını da sıcak (dilsel değişken örneği) olarak ifade edebiliriz. Şekil 3.3’ de 8°C sıcaklık değeri 1 üyelik derecesiyle sıcak olarak bulanıklaştırılmıştır.



Şekil 3.3. Bulanıklaştırma işlemi.

3.2.4. Bilgi Tabanı

Bilgi tabanı ünitesi kural tabanı ünitesi ve veri tabanı ünitesi olmak üzere iki bölümden oluşur. Bilgi tabanının kural tabanı ünitesi, giriş çıkış arasındaki bağıntıyı tanımlayan bir dizi bulanık kuralları içermektedir. Yani kural tabanı sözsöz kurallar kullanılarak tanımlanan kontrol kurallarıdır. Bu kurallar genellikle EĞER-O HALDE (IF-THEN) şart cümlelerinden oluşan bir bütünü temsil etmektedir. Eğer oda sıcaklığı “yüksek” ise ısıtıcıyı “kapat”.Eğer oda sıcaklığı “ılık” ise ısıtıcıyı “biraz kapat”.Eğer oda sıcaklığı “iyi” ise ısıtıcıyı “ayarlar”.Eğer oda sıcaklığı “düşük” ve dışarıda hava soğuk ise “ısıtıcıyı “aç” şeklinde kurallar tanımlanabilir.

Çıkarım ünitesinde ise kurallar dikkate alınarak sistem çıktılarının bulanık mantıkla gösterimi sağlanır.

3.2.5. Bulanık Çıkarım

Bulanık mantık denetleyici içerisindeki karar mekanizması bulanık içerme, bileşke kural çıkarımları ve cümle bağlayıcıları ile ilgilidir. Genel olarak bir bulanık denetim kuralı bir bulanık ilişki dir ve bulanık içerme ile açıklanır. Bulanık mantık tabanlı çıkarımın tanımlamanın bir çok yolu vardır ve bulanık mantık denetleyici içinde hangi tip kullanılacağı daha çok

sezgisel olarak belirlenir. Mamdani'nin (minimum kuralı), Larsen'in (ürün işlemi (çarpım kuralı), Zadeh'in aritmetik (aritmetik kural) ve Boolean kuralı) bulanık çıkarım kurallarından bazılarıdır. Bunların sırasıyla Eşitlik (3.1), (3.2), (3.3) ve (3.4)'de verilmektedir. Eşitliklerde, A ve B sırasıyla V ve Y uzaylarındaki tanımlanmış bulanık kümeleri olan μ_A ve μ_B üyeliği gösterir [46].

$$u = AXB = \int_{V \times Y}^+ \mu_A(u) \cap \mu_B(u) / (V, Y) \quad \text{Minimum kuralı} \quad (3.1)$$

$$u = AXB = \int_{V \times Y}^+ \mu_A(u) \cdot \mu_B(u) / (V, Y) \quad \text{Çarpım kuralı} \quad (3.2)$$

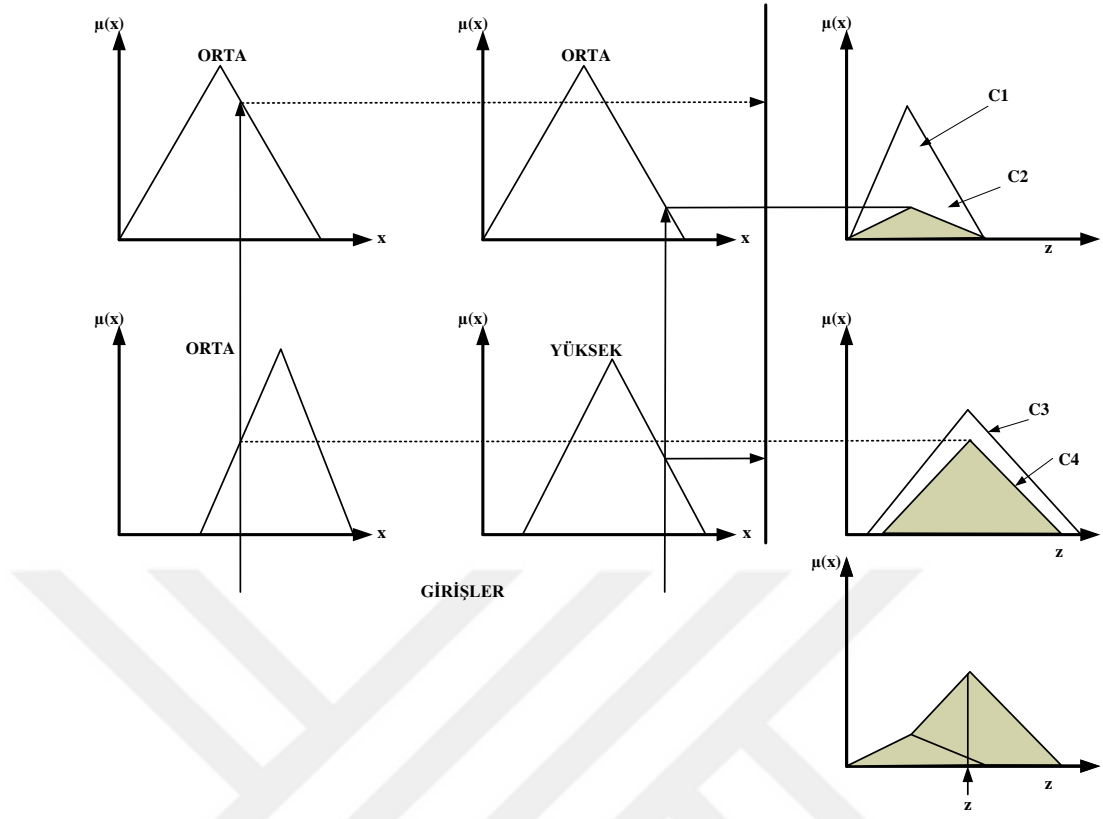
$$u = AXB = \int_{V \times Y}^+ 1 \cap (1 - \mu_A(u)) + \mu_B(u) / (V, Y) \quad \text{Aritmetik kural} \quad (3.3)$$

$$u = AXB = \int_{V \times Y}^+ (1 - \mu_A(u)) \cup \mu_B(u) / (V, Y) \quad \text{Boolean kuralı} \quad (3.4)$$

Bulanık çıkarım için birçok yapı bulunmaktadır. Max-Dot, Min-Max, Tsukamoto ve Takagi-Sugeno en çok kullanılan 4 çıkarım yöntemidir.

Max-Dot Yöntemi

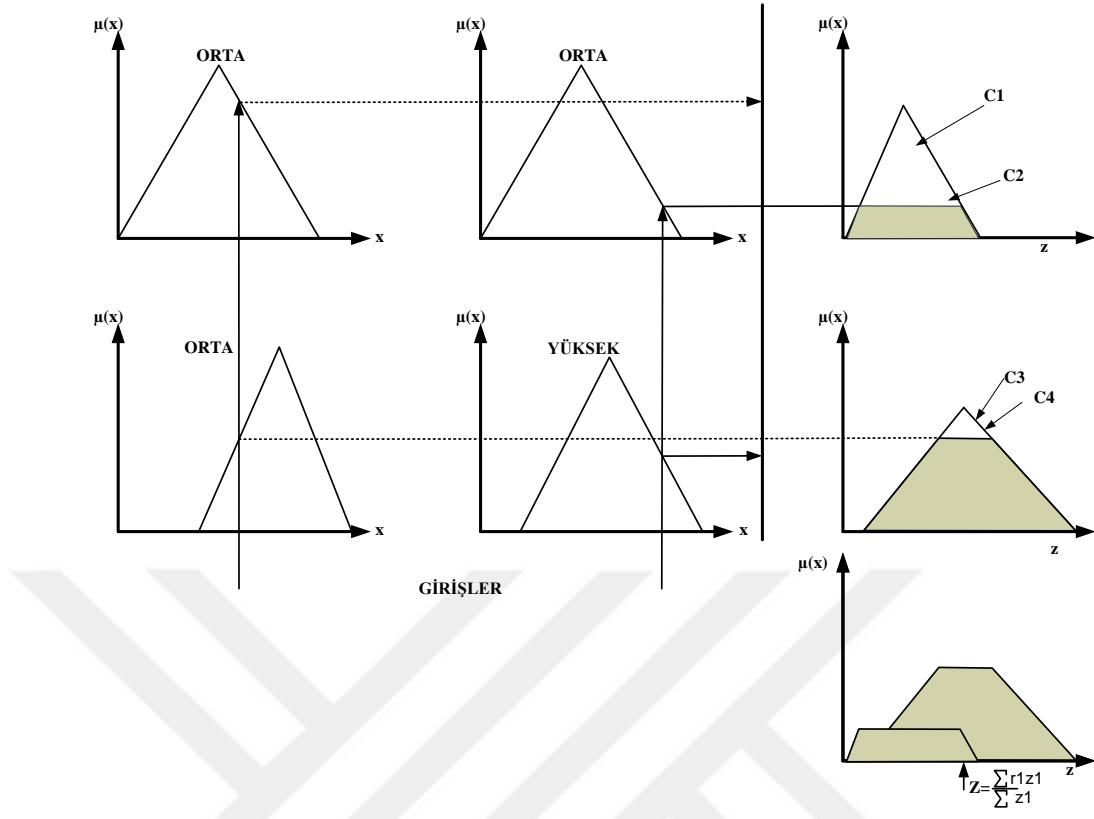
Her bir giriş değeri, ait olduğu üyelik işlevindeki üyelik derecesine bağlı olarak ilgili bulanık kümeyi yeniden ölçeklendirir. Çıkış değeri tüm girişler için yeniden ölçeklendirilmiş bulanık kümeler içerisindeki en yüksek değer bulunur. Şekil 3.4'de Max-Dot çıkarımı verilmektedir.



Şekil 3.4.Max-Dot yöntemi.

Min-Max Yöntemi

Her bir giriş değeri için ait olduğu üyelik işlevindeki üyelik derecesine bağlı olarak ilgili bulanık kümenin üyelik değerinin üstündeki kısmı kesilir. Çıkış sayısal değeri ağırlık ortalaması yöntemiyle bulunur. Şekil 3.5’de Min-Max çıkarımı verilmiştir.



Şekil 3.5.Min-Maxyöntemi.

Bulanık çıkarma sonucunda elde edilen

değer, kurallı tablosundan dilsel

ifadeye çevrilir ve durulamabirimine gönderilir.

3.2.6. Durulaştırma

Bulanık küme elemanı haline getirilen giriş öğeleri durulaştırarak kullanılabilir sonuçlara dönüştürülür. Bu sonucun tekrar sisteme uygulanması için giriş değeri gibi sayısal değere dönüştürülmesi gerekir. Bu işleme durulama denir. Durulama birimi karar verme biriminden gelen bulanık bir bilgiden bulanık olmayan ve uygulamada kullanılacak gerçek değerlerin elde edilmesini sağlar. Çok kullanılan sekiz çeşit durulama yöntemi vardır[41].

- Üyelik fonksiyonunun en yüksek noktası (Max-Membership Principle)
- Üyelik fonksiyonunun en düşük noktası (Min-Membership Principle)
- Merkez yöntemi (Centroid Method)

- Ağırlık ortalama yöntemi (WeightedAverageMethod)
- Üyelik işlevinin en yüksek noktalarının ortalaması (MeanMaxMembership)
- Toplamların ortası (Center of sums)
- Geniş alan merkezi (Center of LargestArea)
- İlk (veya son) yükselti (First orLast of Maxima)

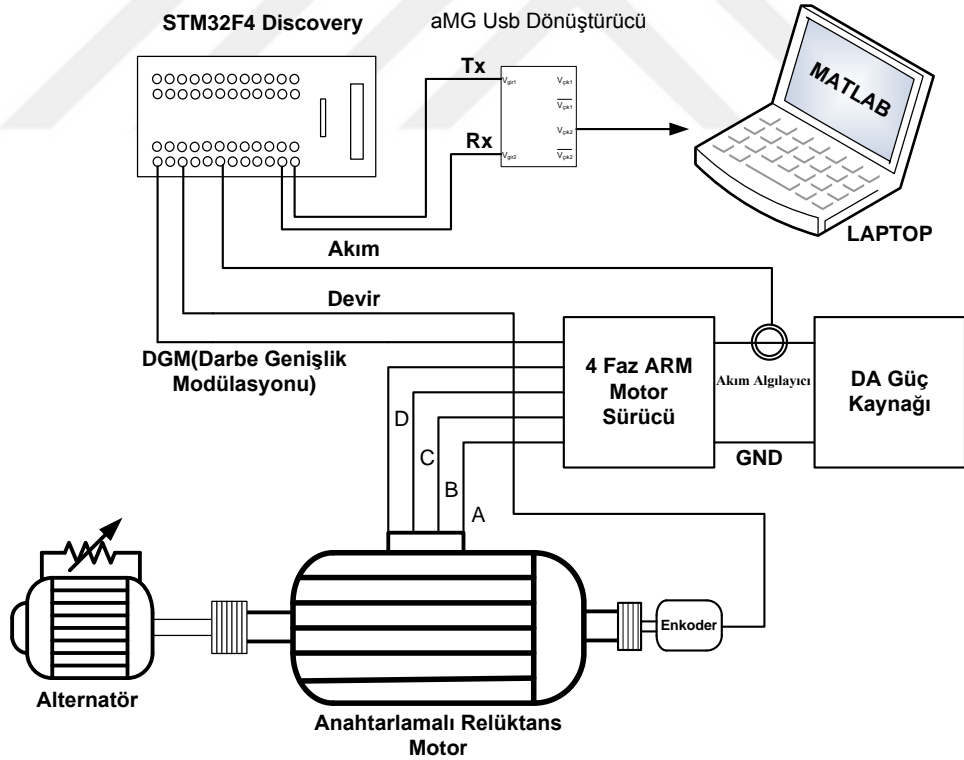
Bu yöntemlerden sisteme en uygun olanı seçilmelidir. Uygun olanın seçilmesi için beş dayanak ortaya atılmıştır. Bunlar; süreklilik, belirsiz olmama, uygunluk, hesapsal kolaylık ve ağırlaştırma yöntemidir. Ancak fiziksel sistemin yapısı ve kullanıcıların deneyimleri de durulama yöntemi için önemli bir dayanak oluşturur.



BÖLÜM 4

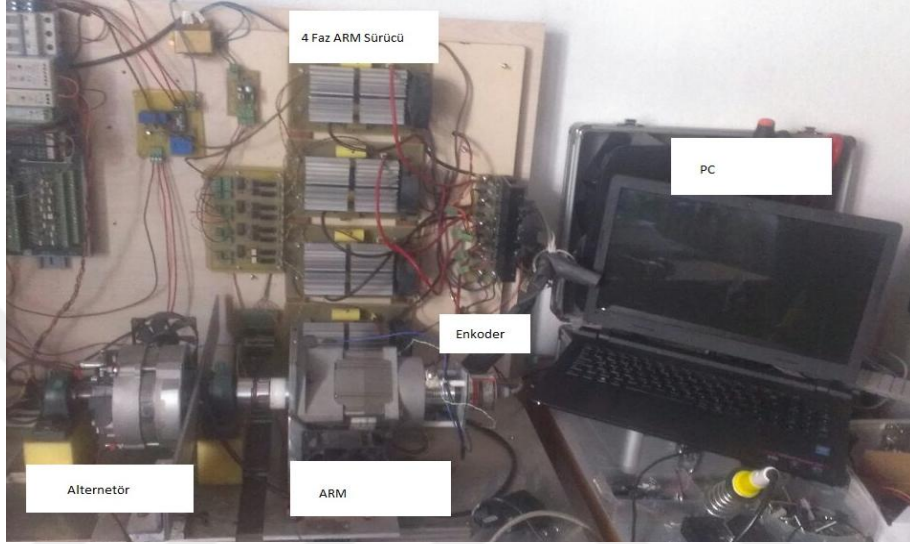
ARM HIZ DENETİMİ İÇİN TEST DÜZENİĞİ TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

ARM'lerin denetimi için hazırlanan test düzeneğinin blok diyagramı Şekil 4.1' de verilmektedir. Test düzeneğinde ARM'yi yüklemek için senkron alternatör tercih edilmektedir. ARM sürücü devresi olarak asimetrik köprü dönüştürücü kullanılmaktadır. Bu dönüştürücü programlanabilir mantık denetleyici tarafından denetlenmektedir. Motor hız denetiminde Bulanık Mantık Denetleyici tercih edilmektedir.



Şekil 4.1. ARM test düzeneği blok diyagramı.

D deney düzeneğinde akım ve hız değerleri ölçülmektedir. Bu veriler STM32F4 Discovery veri alışveriş kartı ile bilgisayar ortamına alınmaktadır. MATLAB simulink ortamında Bulanık Mantık denetleyici ile gerçek zamanlı veri alışveriş yapılarak hız denetimi yapılmaktadır. Gerçekleştirilen test düzeneğinin resmi Şekil 4.2’de verilmektedir.



Şekil 4.2. ARM test düzeneği.

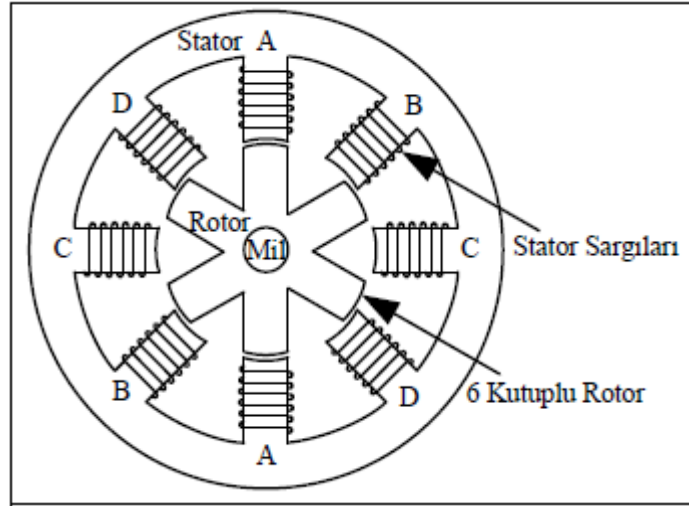
4.1. TEST DÜZENEĞİNDE KULLANILAN CİHAZLAR

Bu çalışmada, statorunda 8 rotorda 6 kutup bulunan 1.38 kW gücünde ARM kullanılmaktadır. ARM’nin çalıştırılabilmesi için asimetrik köprü yapısında bir motor sürücü kullanılmaktadır.

Motor sürücünün beslemesinde 0-30 V ve 0-6 A özelliğinde regülatörlü gerilim kaynağı kullanılmaktadır. ARM’yi istenilen tork değerlerinde yüklemek için senkron alternatör kullanılmaktadır. ARM’nin devir bilgisini ölçmek için 360 pals/tur çözünürlükte bir kuadrotikenkoder kullanılmaktadır.

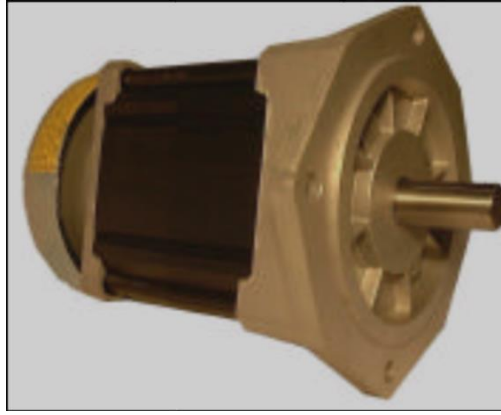
4.1.1. Çalışmada Kullanılan ARM’nin Yapısı Ve Teknik Özellikleri

Deneysel çalışmada kullanılmak üzere tercih edilen 8/6 kutuplu ARM’nin iç yapısı Şekil 4.3’de, dış görünümü ise Şekil 4.4’de verilmektedir.



Şekil 4.3. ARM'nin iç yapısı.

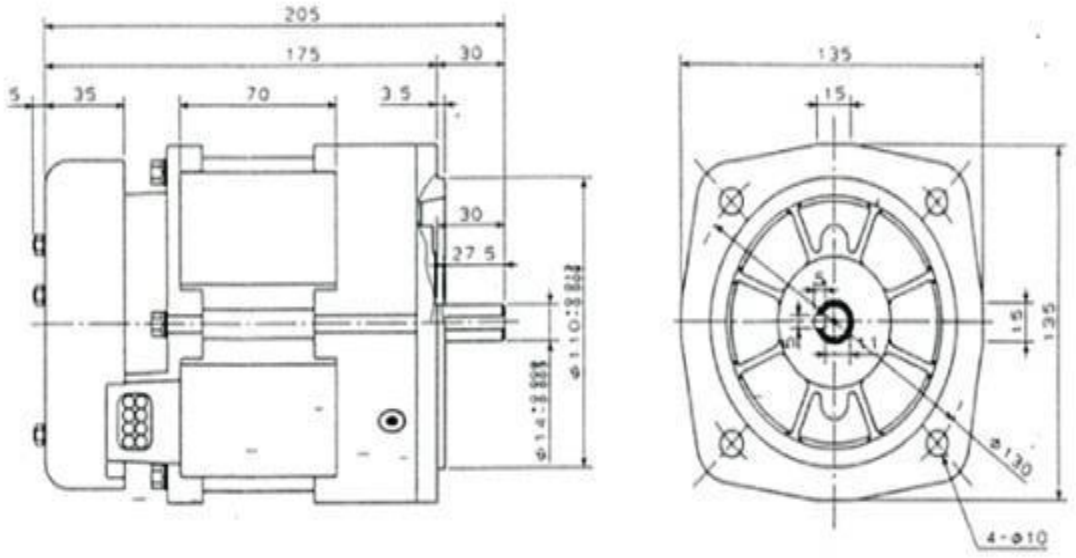
ARM hem motor hem de güç üreten uygulamaları için uygundur. Motor 2,31 kW maksimum 1,38 kW sürekli güç üretebilmektedir. Motorun ürettiği maksimum tork değeri 3,4 Nm, maksimum devir değeri 15000 d/d'dır.



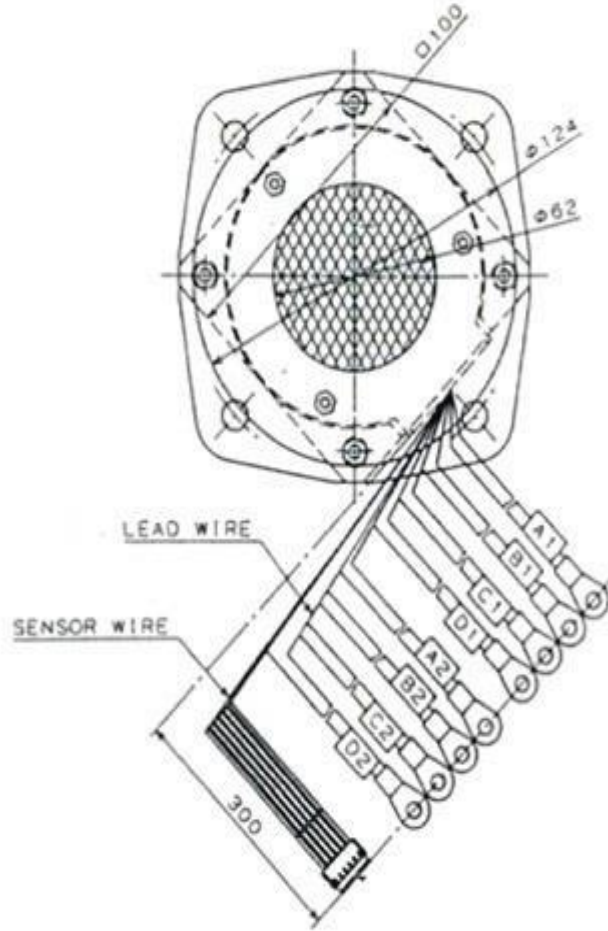
Şekil 4.4. ARM dış görünüşü.

AMC Technologies firmasının motorun ölçülendirilmiş ön ve yan görüntüleri Şekil 4.5'de, kablo bağlantıları Şekil 4.6'da verilmektedir.

Motorun katalog verileri incelendiğinde; motor besleme gerilimi 96 V, bir faz sargı direnci $R_a=110 \text{ m}\Omega$, rotor konumu karşılıklı bir faz endüktansı $LAL=2,06 \text{ mH}$, rotor konumu ortalanmış bir faz endüktansı $LUAL=0,45 \text{ mH}$ 'dir.



Şekil 4.5. ARM ön ve yan görünüş.

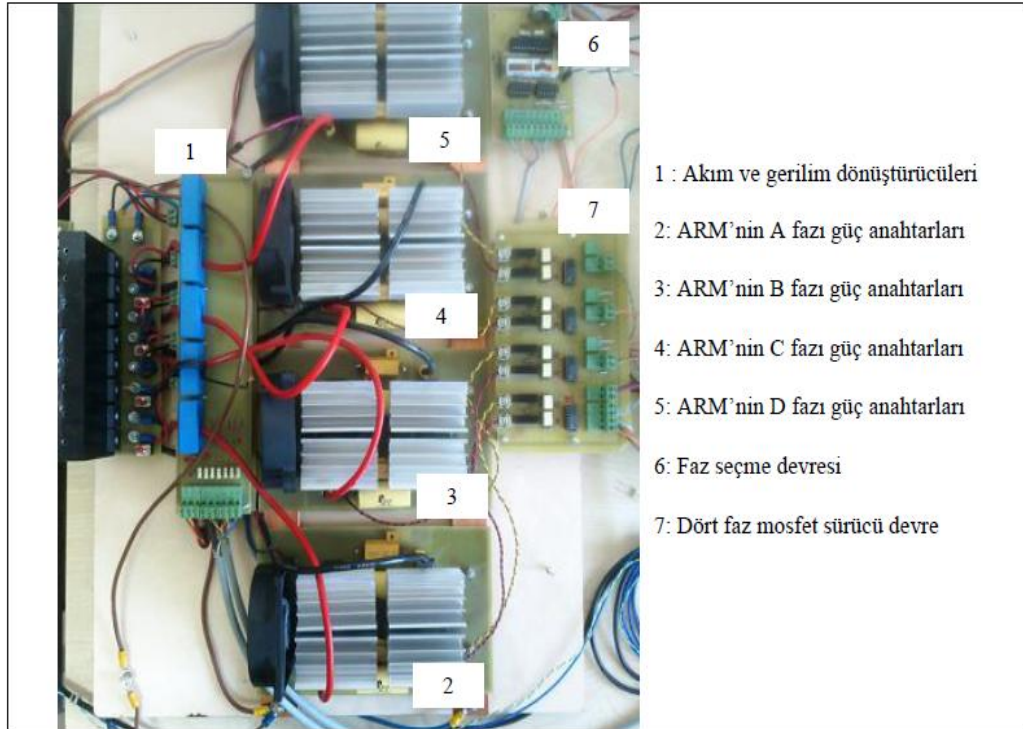


Şekil 4.6. ARM kablo bağlantıları.

4.1.2. ARM Dönüştürücü

ARM'leri sürmek için birçok dönüştürücü kullanılmaktadır. Bu çalışmada ARM nin denetimi için asimetrik dönüştürücü tercih edilmiştir. Bu dönüştürücülerin enerji verimliliği yüksektir. Asimetrik dönüştürücüde motor sargı akımları birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilmektedir. Her fazda akımı, hem iletme hem de kesime sokmak için, sargı uçlarından her iki polariteye ters bağlanmış diyot mevcuttur. Asimetrik dönüştürücü kaynak gerilimini fazlara birebir uygulama özelliğine sahiptir. Kullanılan ek anahtarlar ile kesim süresince depolanan enerji güç kaynağına geri gönderilir.

Kullanılan ARM sürücüsü faz seçme devresi, dört faz kapı sürücü devresi ve dört faz asimetrik dönüştürücü devresinden oluşmaktadır. Faz seçme devresi ARM'nin konum bilgisi ve yön bilgisine göre tetiklenecek fazı belirlenmektedir. Faz sürücü devre asimetrik dönüştürücü yapısında bulunan MOSFET'lerin sürülmesi için kullanılmaktadır. Asimetrik dönüştürücü devrenin resmi Şekil 4.7'de verilmektedir.



Şekil 4.7. 4 Faz ARM sürücü devre resmi.

4.1.3. Güç Kaynağı

Deneysel çalışmada AA-TECH firmasının 0-30 V ve 0-6A özelliğine sahip regülatörlü güç kaynağı tercih edilmiştir. 3 adet güç kaynağı seri bağlanarak motorun çalışma gerilimi elde edilmiştir. Güç kaynağının resmi Şekil 4.8.'de verilmektedir.



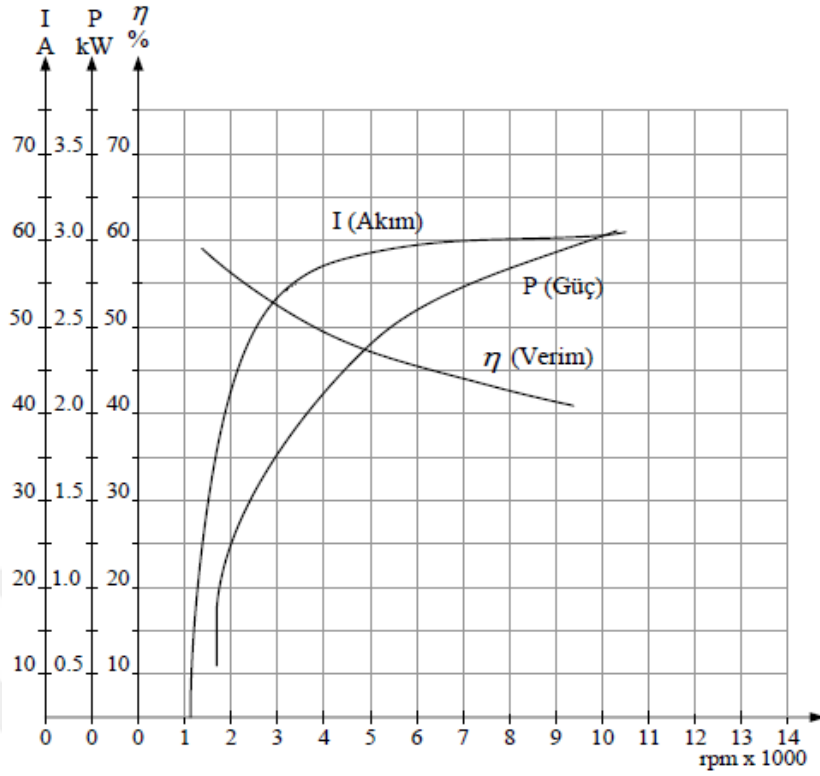
Şekil 4.8. Güç kaynağı.

4.1.4. Senkron Alternatör

Doğrusal olmayan yük olarak senkron alternatör kullanılmaktadır. Alternatörün resmi Şekil 4.9'da verilmektedir. Mako A125R model alternatörü 14 V'da 55 A akım üretebilmekte ve % 55 verimle çalışmaktadır. Şekil 4.10'da performans grafiği verilmektedir.



Şekil 4.9. Senkron alternatör.



Şekil 4.10. Alternatör performans grafiği.

4.1.5. Enkoder

Motor devrini ölçmek için enkoder kullanılacaktır. Rotary Encoder HE40B/50B enkoder bir turda 360 pals üretir. Aynı zamanda maksimum 5000 d/d devirde çalışabilmektedir. Enkoder çıkışı Totempole çıkışlı bağlantılı yapıdadır. Ölçülen devir bilgisini doğrudan mikrodenetleyicinin analog girişini bağlama özelliği vardır. Çizelge 4.1’de enkoderin özellikleri verilmiştir. Çalışmada kullanılan enkoderin resmi Şekil 4.11’ de verilmektedir.



Şekil 4.11. Enkoder.

Çizelge4.1.Enkoder teknik özellikleri.

Çalışma Gerilimi	5-12 Volt
Çözünürlük	1...5000 puls
Mil Çapı	3 mm
Çalışma Sıcaklığı	-10...+70 °C
Özellik	A, B, Z çıkış, Totem-Pole, Line-Driver çıkışlı
Çalışma Frekansı	300 kHz

4.1.6. Akım Ölçümü

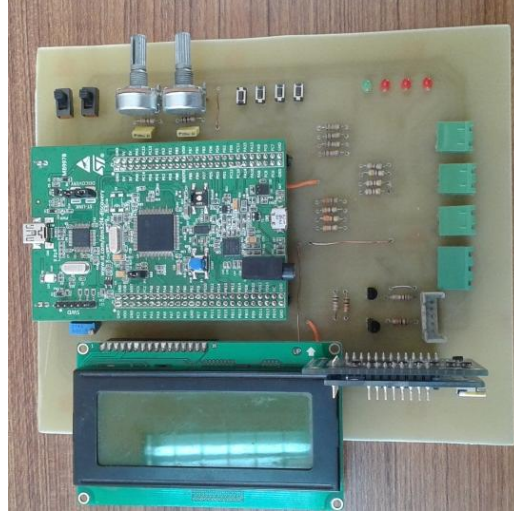
Akım ölçümü Şekil 4.12’de verilen Chauvin Arnoux firmasının ürettiği ayarlanabilir akım probu ile ölçüm yapıp bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Teknik özellikleri olarak, 0-140 amper akım ölçümü, çözünürlüğü ise 100mV/A ve 10mV/A özelliktedir. Frekansı ise 100kHz ve maksimum gerilim ölçümü 1V ‘dur.



Şekil 4.12. Akım probu.

4.1.7. Denetleyici Devresi

Bu devrede algılayıcılardan gelen verileri değerlendirerek bilgisayar ortamına aktaran STM32F4Discovery kiti kontrol etmektedir. Üzerinde STM32F407VGT6 mikroişlemcisi bulunmaktadır. İşlemci Devresinin üzerinde LCD, buton, potansiyometre ve LED bulunmaktadır. LCD ile hız, akım ve güç değerleri gösterilmektedir. Potansiyometre ile hız istediğimiz değere manuel olarak ayarlanabilmektedir. Şekil 4.13’de denetleyici devresi verilmektedir.

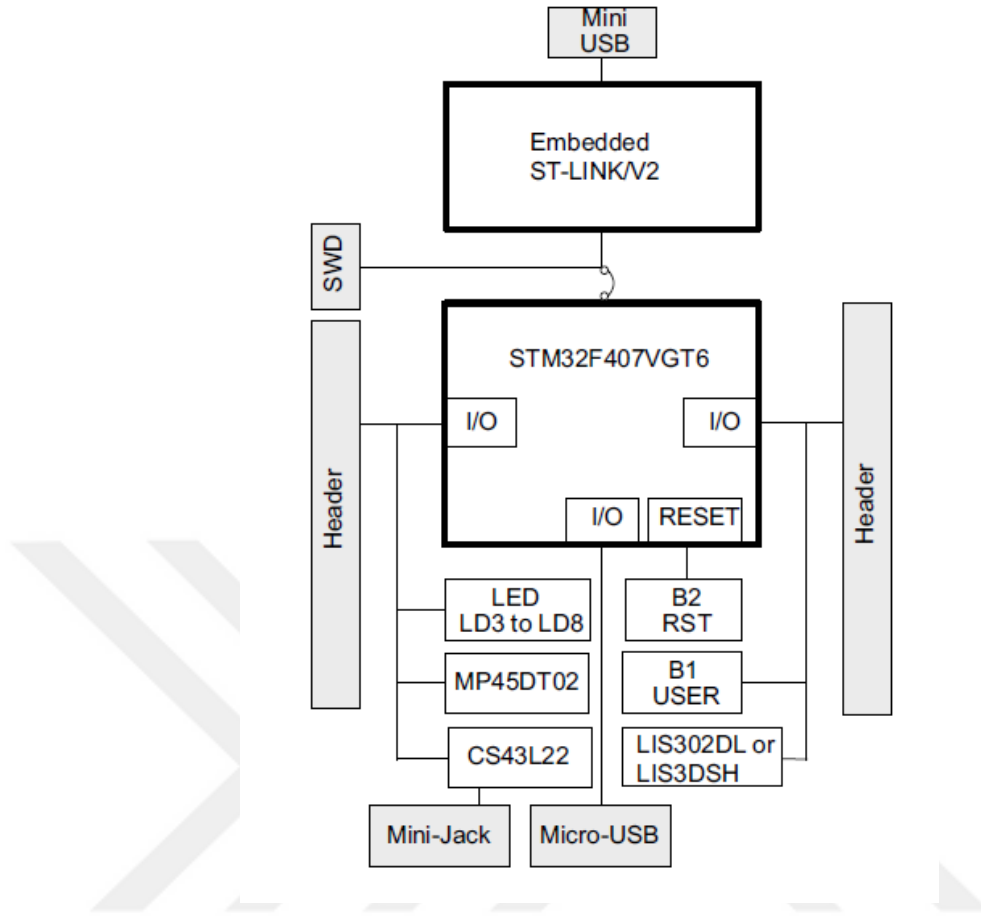


Şekil 4.13. Denetleyici devresi.

STM32F4Discovery Kartı

STM32F4 Discovery robot uygulamalarında, gömülü sistemlerde ve birçok platformda tercih edilmektedir. STM32F4 Discovery kartı MATLAB Simulink yazılımı ile uyumlu çalışmaktadır. Gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılabilir özelliktedir. Fiyatı oldukça ucuzdur. Temin etmek kolaydır ve örnek uygulamaları çoktur.

STM32F407VGT6 mikroişlemci üzerinde 32-bit ARM Cortex-M4F çekirdek, 1 MB Flash, 192 KB RAM bulunan LQFP100 paketi, Kart üzerinde yer alan ST-LINK/V2 kullanım modunu değiştirebilen switch ile tek başına da kullanılabilen ST-LINK/V2 (SWD konektör ile programlama ya da debug için), kartın güç kaynağı: USB veri yolu üzerinden veya harici bir 5 V besleme gerilimi, harici uygulama güç kaynağı: 3 V ve 5 V, LIS302DL veya LIS3DSH ST MEMS 3 eksenli accelerometer, MP45DT02, ST MEMS ses sensörü, çok yönlü dijital mikrofon, CS43L22, entegre D sınıfı hoparlör sürücüsü ile ses DAC gibi özelliklere sahiptir.



Şekil 4.14. STM32F4 donanım blok diyagramı.

Merkezi İşlemcisi

İşlemci üzerinde 32-bit ARM Cortex-M4F çekirdek, 1 MB Flash, 192 KB RAM özelliğinde mikrokontroller bulunmaktadır. Şekil 4.15’ de mikrokontrollerin resmi verilmektedir.

STM32F407VGT6



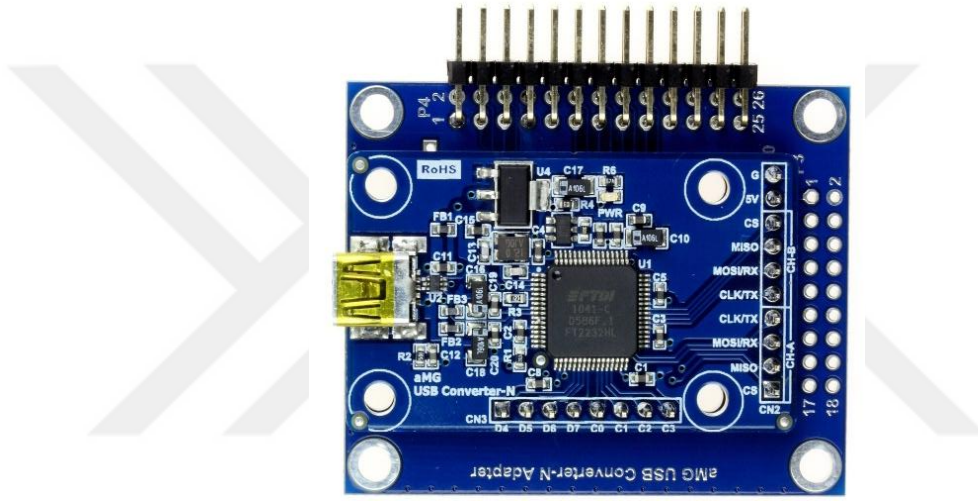
LQFP100 14 x 14 mm

Şekil 4.15. Mikrokontroller.

ADC Modülü

Bu işlemcide 12 bit çözünürlükte 3 ADC modülü bulunmaktadır. Bu ADC modüllerinde 16 kanal mevcuttur. Eşzamanlı örnekleme ve tutma, Aralıklı örnekleme ve tutma özelliği mevcuttur. Doğrudan bellek erişimi (DMA) tarafından ADC servisi edilebilir.

4.1.8. USB Dönüştürücü



Şekil 4.16. aMG USB dönüştürücü.

Bilgisayar ile STM32F4 Discovery kitinin haberleşmesini sağlamak için aMG USB dönüştürücü kiti kullanılmaktadır. Şekil 4.16' de resmi gösterilmektedir. aMG USB dönüştürücü kiti yüksek hızda USB veri iletimi (480MHz), 2 âdete kadar (SPI/I2C/UART) aygıtları ile ana bilgisayar arasında iletişim, ek olarak 8 giriş-çıkış pin, açık döngü sistemlerde 2kHz HIL (Hardware-In-The-Loop) simülasyonu ve kapalı döngü sistemlerde 1kHz HIL simülasyonu özelliklerine sahiptir.

4.1.9. 5V Ve 12V Gerilim Kaynağı

Şekil 4.17' de verilen güç kaynağı işlemci katını ve enkoderin çalışma gerilimini elde etmek için kullanılmaktadır. Güç kaynağının özelliği giriş gerilimi 110V-220V aralığında, çıkış gerilimi 12V ve 2A özelliğindedir.



Şekil 4.17. 12V Güç kaynağı.

Şekil 4.18’de verilen güç kaynağı işlemci kartına 5V gerilim üreten devredir. Güç modülünün üzerinde LM2596 DC-DC Buck Converter bulunmaktadır. Giriş gerilimi 4.5V-40V aralığı, çıkış gerilimi 1.25V-35V aralığındadır. Üzerinde bulunan trimpot sayesinde gerilim ayarlaması yapılabilir.



Şekil 4.18. 5V Güç kaynağı.

4.2. UYGULAMA YAZILIMI

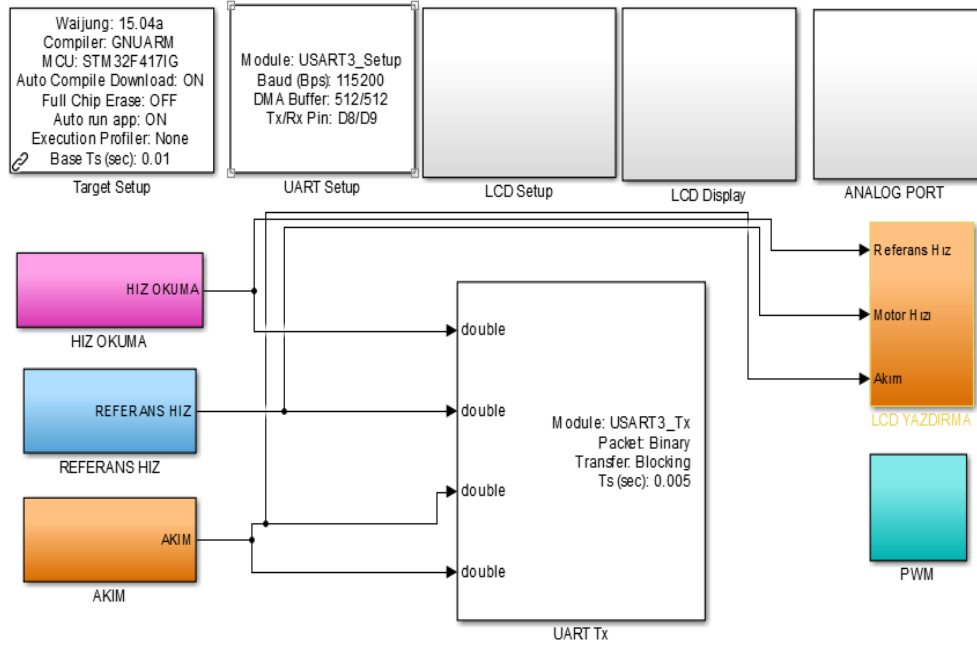
Hazırlanan sistemde kontrol kartı ile haberleşip verileri anlık olarak okumak, okunan verileri ve sistemin durumunu grafiksel olarak göstermek, analizleri yapmak ve sistemi kontrol etmek için MATLAB Simulink programına aktarılmıştır.

Programda Target ve Host yazılım uygulamaları bulunmaktadır. Target uygulamasında STM32F4 Discovery kitine yüklenen hedef yazılım bulunmaktadır.

Host uygulamasında ise kontrol kartı ile gerçek zamanlı iletişimi sağlayan uygulama yazılımı bulunmaktadır.

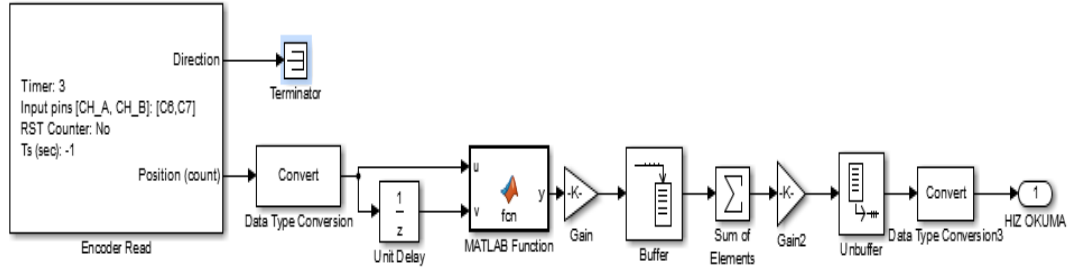
4.2.1. Target Uygulaması

Şekil 4.19’de target yazılımının genel yapısı verilmektedir. Target uygulama yazılımı STM32F4 discovery kitine yüklenen kod blokları bulunmaktadır. Mikrodenetleyici kurulumu, seri iletişim kurulumu, LCD kurulumu, Analog veri okuma, Motor hızını okuma ve PWM gönderme işlemleri yapılmaktadır.



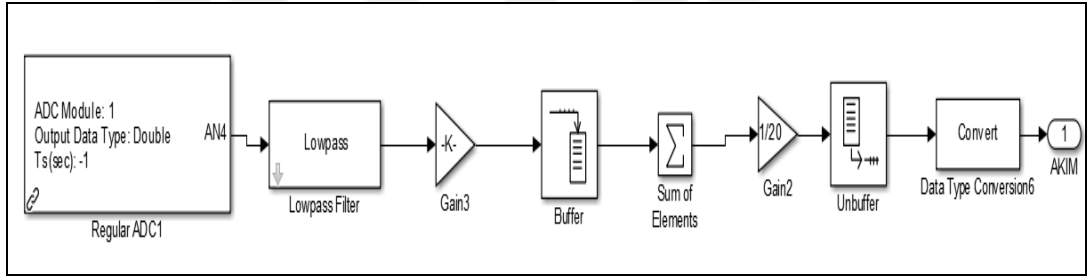
Şekil 4.19. Target modelinin genel yapısı.

STM32F4Discovery işlemcisinin içerisinde 2 adet çeyrek faz farklı kanal bulunmaktadır. ARM'nin hızının tespitinde Encoder Read blok ile gerçekleştirilmiştir. Ölçüm örnekleme frekansı ise 1 kHz olarak seçilmiştir. Hız ölçümünde kullanılan enkoderin çözünürlüğü 360 darbe/devirdir. Şekil 4.20’de hız okumaya ait blok yazılımı gösterilmiştir.



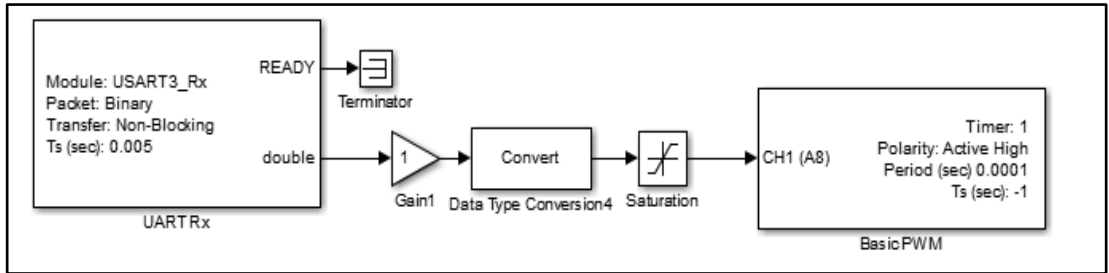
Şekil 4.20. Hız okumamodeligenel yapısı.

Şekil 4.21’ de akım sensöründen gelen bilgileri okumak için oluşturulan blok yazılım gösterilmektedir. STM32F4Discovery işlemcisinin içerisinde 3 adet ADC modül bulunmaktadır. ARM’nin akım sensöründen gelen bilgileri okumak Modül 2 de yer alan AN4 pini kullanılmıştır.Örnekleme süresi ve çevirme modu Blok parametrelerinden ayarlanabilmektedir.



Şekil 4.21. Akım okumamodeligenel yapısı.

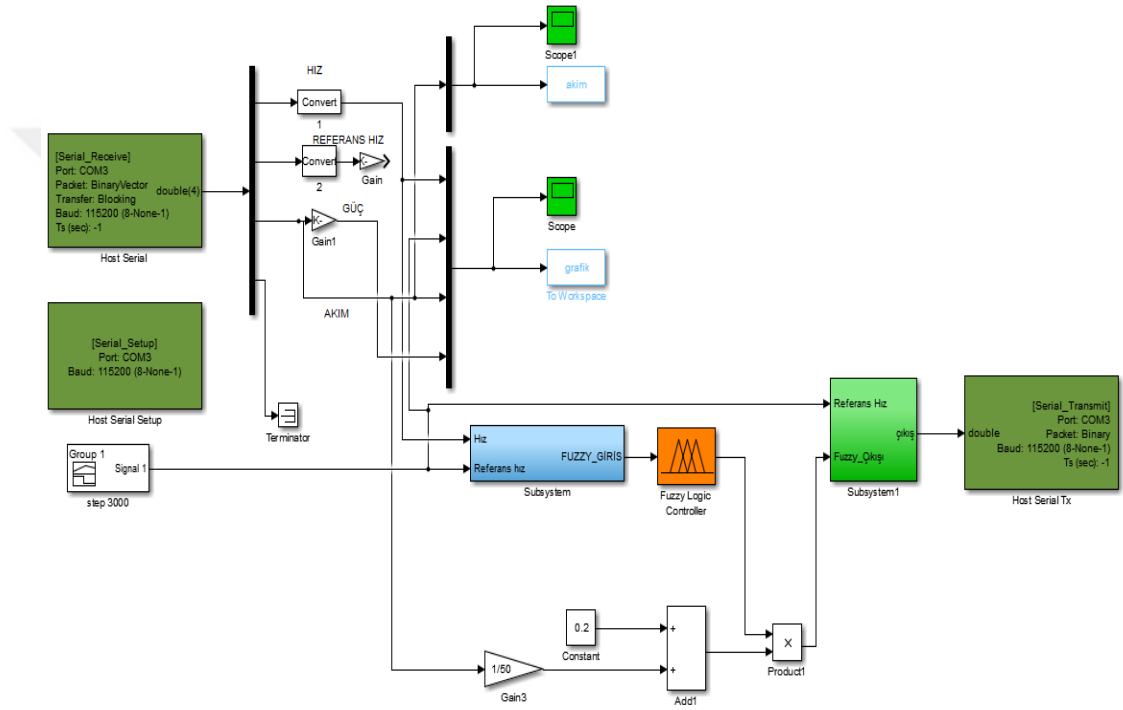
Şekil 4.22’ de ARM’ye gönderilen PWM bilgisinin blok yazılımı gösterilmektedir. Host uygulama yazılımından gelen PWM değeri BasicPWM bloğu ile kontrol kartına bilgileri göndermektedir. STM32F4Discovery işlemcisininpin 8 bacağı kullanılmaktadır.



Şekil 4.22. PWM gönderme modeligenel yapısı.

4.2.2. Host Uygulama Yazılımı

Şekil 4.23’de Host uygulama yazılımının genel yapısı verilmektedir. Host uygulama yazılımı kontrol kartı ile bilgisayarın anlık olarak haberleşip verileri bilgisayara aktaran yazılımdır. Bu yazılımda Bulanık Mantık kod bloklarının çalıştığı yazılım bulunmaktadır. Ayrıca sisteme uygulanan giriş fonksiyonları bu yazılım ile gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.23. Host uygulama modeli genel yapısı.

4.3. ARM BULANIK MANTIK İLE DENETİMİ

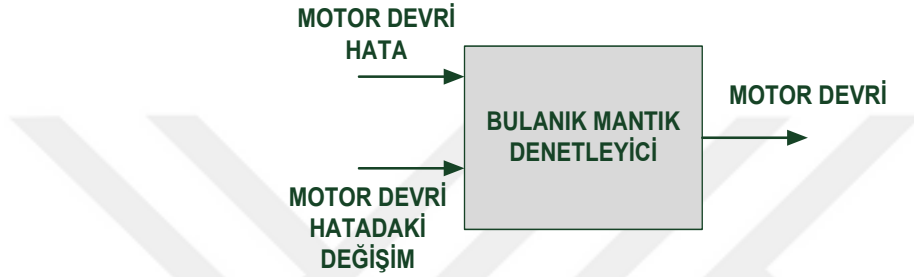
4.3.1. Bulanık Mantık İle ARM Kontrolü

Sisteme bulanık mantık denetleyicisinin uygulanabilmesi için yapılacak ilk işlem sistemin giriş ve çıkışlarını belirlemektir. Bulanık mantık modelinin girişleri ve çıkışları değişkenleri Şekil 4.24’de verilmektedir. Giriş değişkeni olarak motor hızındaki hata ve hatadaki değişim tercih edilmiştir.

$$e_{\omega}(k) = \omega^* - \omega(k) \quad (4.1)$$

$$ce_{\omega}(k) = e_{\omega}(k) - e_{\omega}(k - 1) \quad (4.2)$$

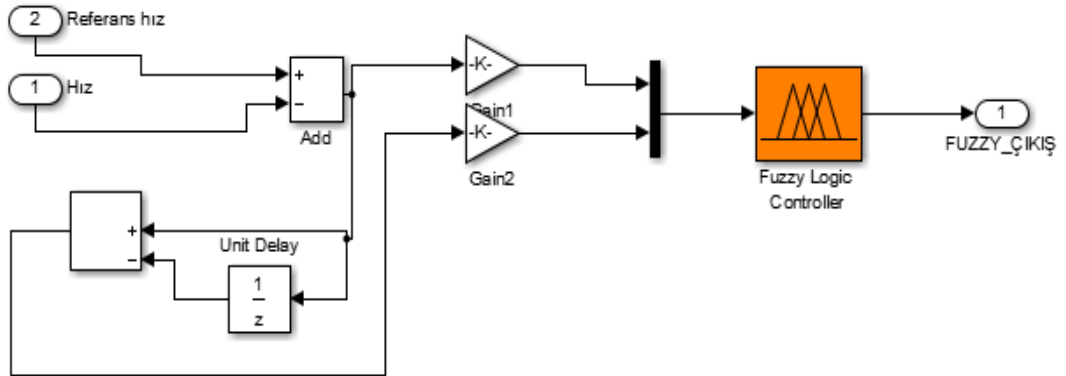
Burada Eşitlik 4.1'de ω referans hızı $\omega(k)$ motordan elde edilen gerçek hızı, $e_{\omega}(k)$ hız hatasını ifade etmektedir. Eşitlik 4.2'de $e_{\omega}(k - 1)$ bir önceki hız hatasını, $ce_{\omega}(k)$ hız hatasındaki değişimi ifade etmektedir.



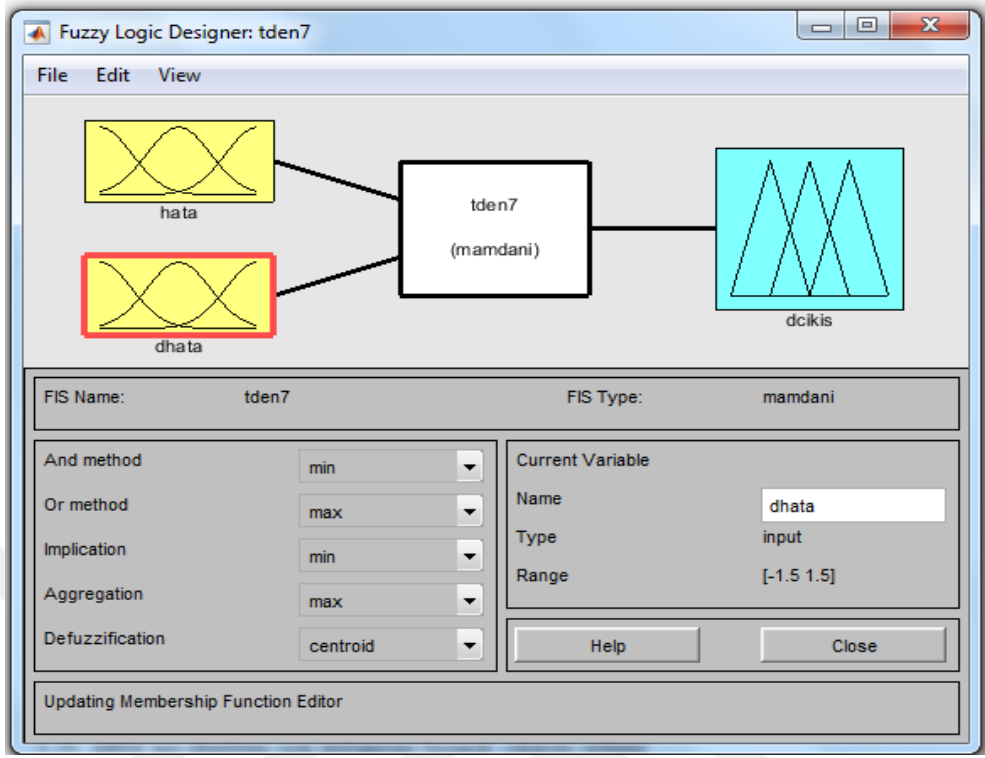
Şekil 4.24. Bulanık mantık giriş ve çıkış değişkenleri.

4.3.2. ARM'nin Hızının BM Denetimi

ARM hızının BMD ile denetimi için Şekil 4.25'de MATLAB Simulink modeli kullanılmıştır. Modeldeki BMD'nin giriş, çıkış değişkenleri, kural tabanı MATLAB FİS editörde hazırlanarak (Şekil 4.26) MATLAB çalışma ortamına atılmıştır.

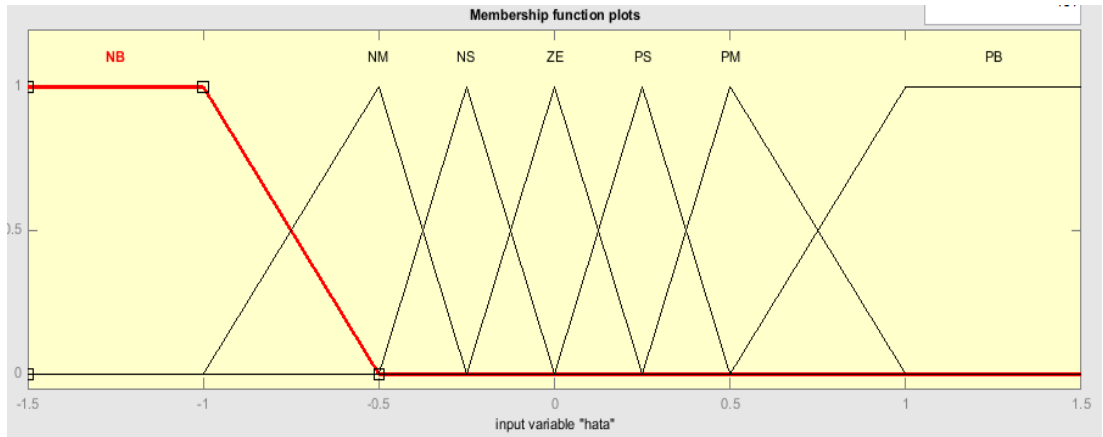


Şekil 4.25. ARM hızının BM ile denetiminin simulink blok diyagramı.

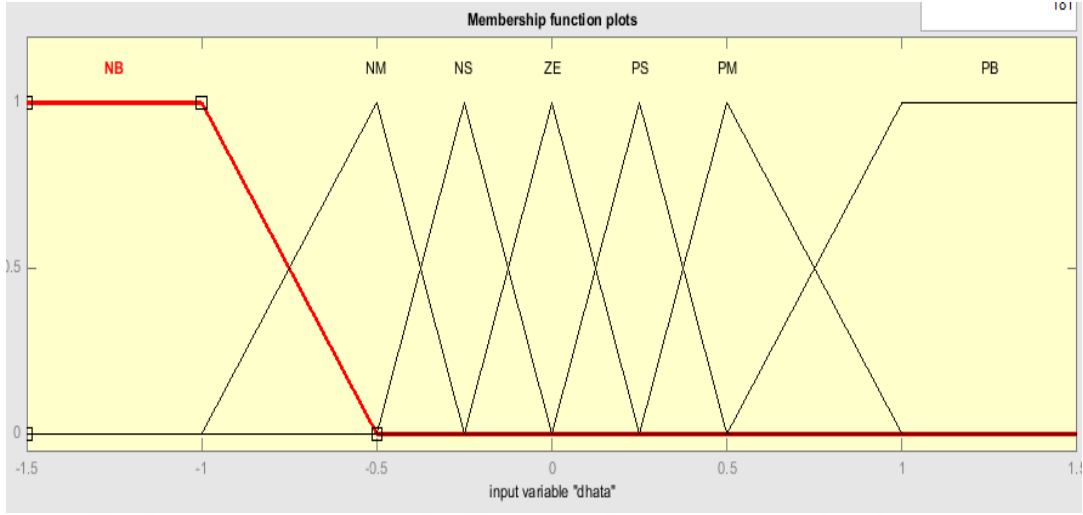


Şekil 4.26. ARM hız denetimi için kullanılan bulanık çıkarım sistemi.

BMD kullanılan giriş değişkenleri $e_{\omega}(k)$ ve $ce_{\omega}(k)$ için üyelik işlevleri Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’de verilmiştir. Her iki giriş değişkeni için 7 etiketli üyelik işlevleri kullanılmıştır. Kullanılan dilsel etiketler NB(Negatif Büyük), NM(Negatif Orta), NS(Negatif Küçük), ZE(Sıfır), PS(Pozitif Küçük), PM(Pozitif Orta) ve PB(Pozitif Büyük) olarak ifade edilmektedir.

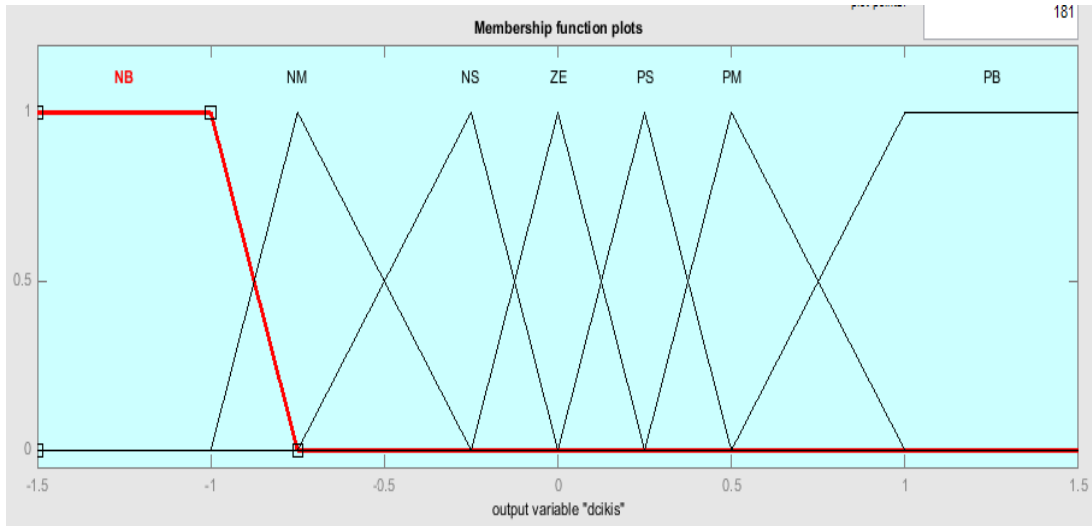


Şekil 4.27. ARM hızı hata üyelik fonksiyonları.



Şekil 4.28. ARM hızındaki hata değişim üyelik fonksiyonları.

Çıkış değişkenleri olarak ta DGM modülasyonunun görev saykılı tespit edilmektedir(Şekil 4.29). Giriş ve çıkış üyelik değişkenlerinde bir üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Bunlar Negatif Büyük(NB), Negatif Orta (NM), Negatif Küçük (NS), Sıfır (ZE), Pozitif Büyük(PB), Negatif Orta (PM), Pozitif Küçük (PS). Sistemin kural tabanındaki kural sayısı $7 \times 7 = 49$ adettir. Kurallar Çizelge 4.2’de verildiği gibi belirlenmiş ve Şekil 4.30 ’daki editör vasıtasıyla sisteme girilmiştir.



Şekil 4.29. ARM hız denetimi çıkışı DGM görev saykılı üyelik fonksiyonları.

Çizelge 4.2. ARM hızı BMD'sine ait kural tabanı.

hata hata	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE
NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZE	PS
NS	NB	NB	NM	NS	ZE	PS	PM
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB	PB
PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB

IF $e_{\omega}(k)=NB$ AND $ce_{\omega}(k)=NB$ THEN $\Delta(i)=NB$

IF $e_{\omega}(k)=NB$ AND $ce_{\omega}(k)=NM$ THEN $\Delta(i)=NB$

IF $e_{\omega}(k)=NB$ AND $ce_{\omega}(k)=NS$ THEN $\Delta(i)=NB$

·
·
·
·

IF $e_{\omega}(k)=PB$ AND $ce_{\omega}(k)=PB$ THEN $\Delta(i)=PB$

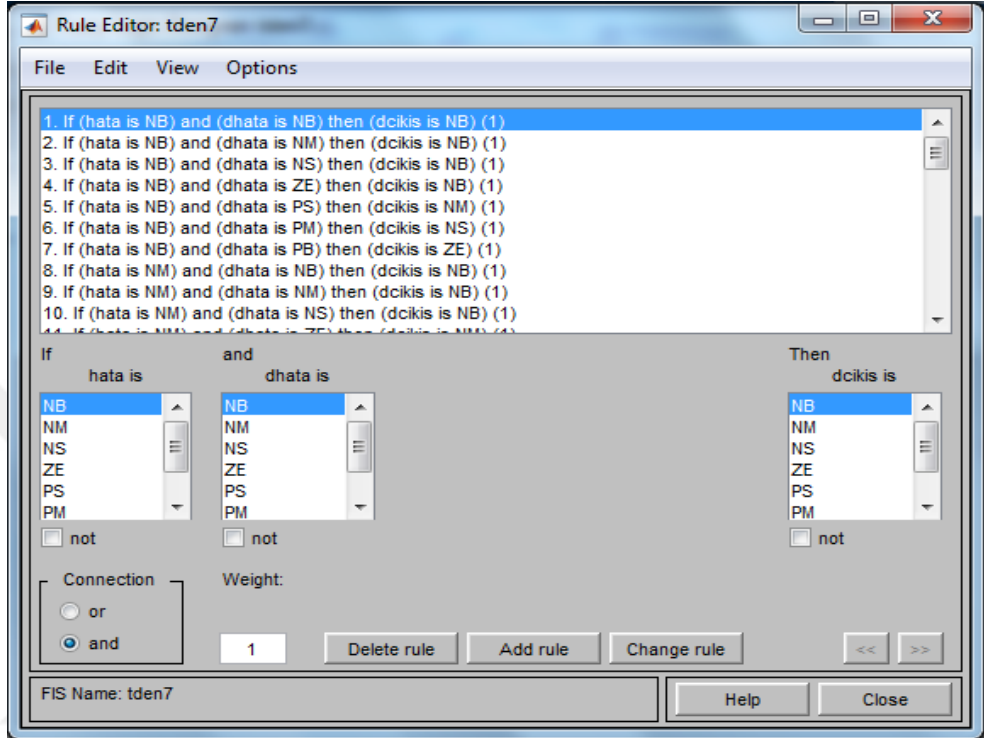
Bulanık mantık denetleyicide tanımlanan kurallar Çizelge4.2'de verilmektedir. Kural tabanında VE işlemcisi için $e_{\omega}(k)$ ve $ce_{\omega}(k)$ girişleri için üyelik derecelerindeki minimum kuralını ifade etmektedir.

Bulanık olarak elde edilen çıkış değerlerinin sayısal değerlere dönüştürülmesi için ağırlık merkezi metodu kullanılmıştır.

$$z^* = \frac{\int \mu_{\underline{C}}(z).zdz}{\int \mu_{\underline{C}}(z)dz} \quad (4.3)$$

Eşitlik 4.3'de \underline{C} çıkış üyelik işlevlerin birleşimini, z üyelik değerlerini ifade etmektedir[41].

ARM hızı denetlenirken kullanılan Çizelge 4.2’de verilen kural tabanı oluşturulurken yükün doğrusal olmaması ve yükün değişmesi nedeniyle deneye dayalı yaklaşım kullanılmaktadır.



Şekil 4.30. ARM hızı BMD’ sine ait kural tabanının oluşturulması.

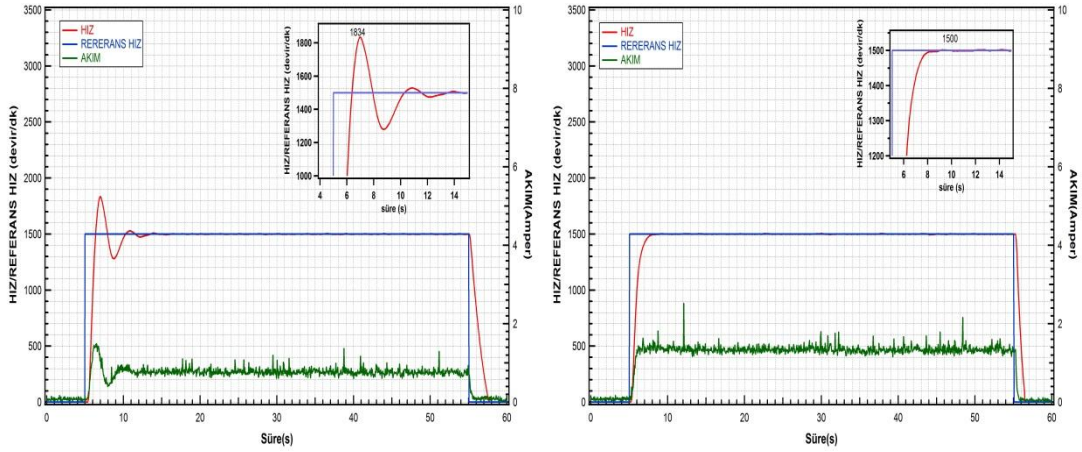
BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

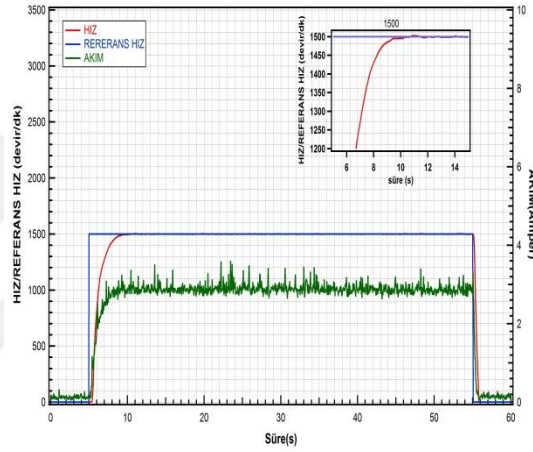
Gerçekleştirilen yüksüz(0 Nm), çeyrek yüklü(0.4Nm) ve yarım yüklü(0.9 Nm) deneylere ait ölçümler MATLAB ortamına aktararak grafiklere çizdirilmektedir. Motor çalışması farklı durumlar için incelenmiştir. Bunlar farklı hız ve yük altında çalışmalardır. Motorun farklı hız çalışmaları 1500 d/d, 1500-300 d/d, 3000 d/d için gözlemlenmiştir.

5.1. 1500 d/d BASAMAK FONKSİYONU

ARM'nin yüklü veya yüksüz olma durumuna tepkisinin farklı olduğu gözlemlenmiştir. Yüksüz durumda iken kalıcı duruma geçmeden aşma gözlemlenmiş olup yüklü durumda bu aşma olmamıştır. Maksimum aşma değeri yüksüz durumda %22 olarak hesaplanmıştır. Yükselme zamanı en düşük yüksüz durumda en yüksek yarım yüklü durumda gözlemlenmiştir. Çizelge 5.1. de yükselme zamanı, aşma zamanı verilmiştir. ARM hızı referans hıza ulaştıktan sonra çekilen akım azalmaktadır. İlk hızlanma esnasında sırasıyla 1.5 A, 2 A, 2.5 A olmaktadır. Kalıcı duruma geldiğinde akım sabit değerdedir.



a) Yüksüz b) Çeyrek Yük



c) Yarım Yük

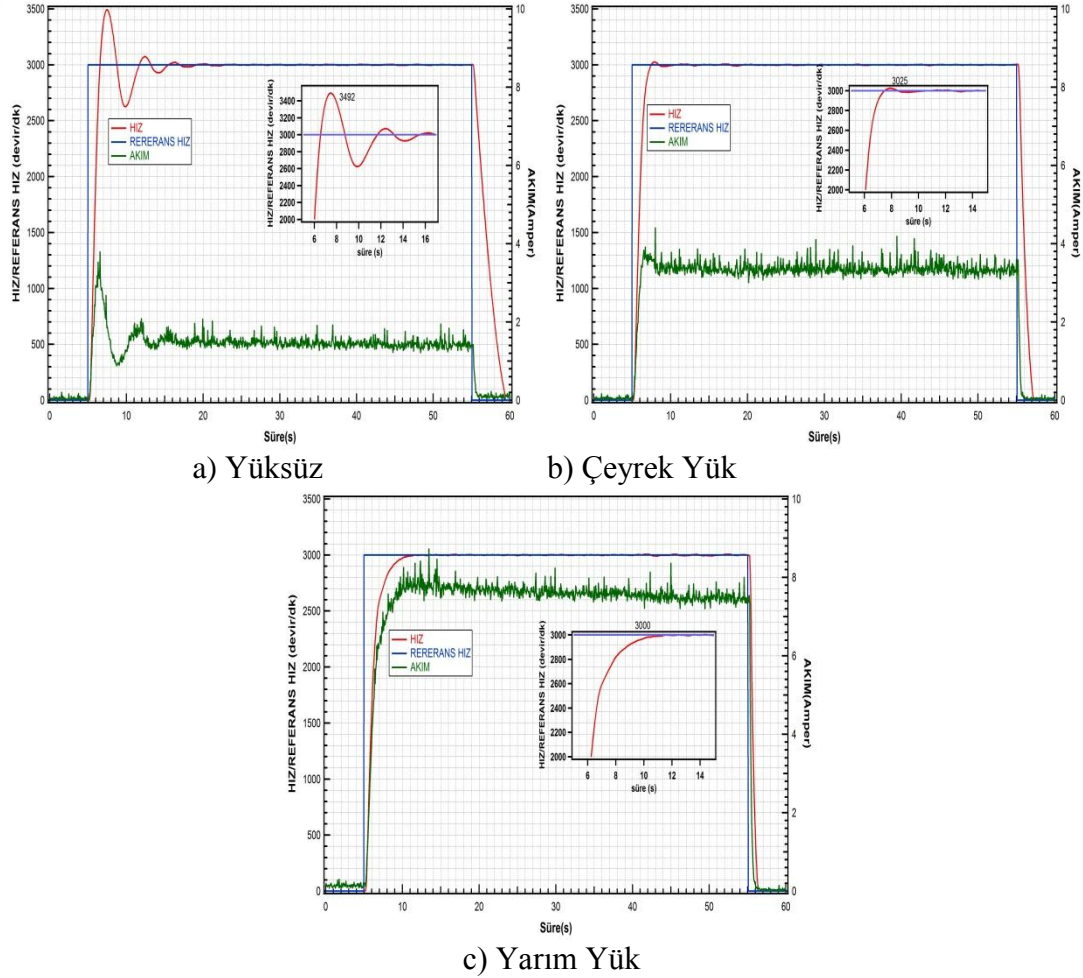
Şekil 5.1. ARM 1500 devir basamak fonksiyonuna verdiği tepki durumu.

Çizelge 5.1. ARM'nin 1500 d/d geçici ve sürekli durum tepkisi.

Motor Yükleme Durumu	Yükselme Zamanı(t_r)	Aşma Zamanı(t_p)	Yerleşme Zamanı(t_s)	Aşma Oranı(M_p)	Hata Oranı(%)
Yüksüz	1.4 sn	2 sn	5 sn	334rpm	22
Çeyrek Yük	3sn	-	3sn	-	-
Yarım Yük	4.4sn	-	4.4sn	-	-

5.2. 3000 d/d BASAMAK FONKSİYONU

ARM'nin yüklü veya yüksüz olma durumuna tepkisinin farklı olduğu gözlemlenmiştir. Yüksüz ve çeyrek yüklü durumda iken kalıcı duruma geçmeden aşma gözlemlenmiş olup yarım yüklü durumda aşma olmamıştır. Aşma değeri yüksüz durumda %16, çeyrek yüklü durumda %1 olarak hesaplanmıştır. Yükselme zamanı en düşük yüksüz durumda en yüksek yarım yüklü durumda gözlemlenmiştir. Çizelge 5.2. de yükselme zamanı, aşma zamanı verilmiştir. ARM hızı referans hıza ulaştıktan sonra çekilen akım azalmaktadır. İlk hızlanma esnasında sırasıyla 2.6 A, 4 A, 7.2 A olmaktadır. Kalıcı duruma geldiğinde akım sabit değerdedir.



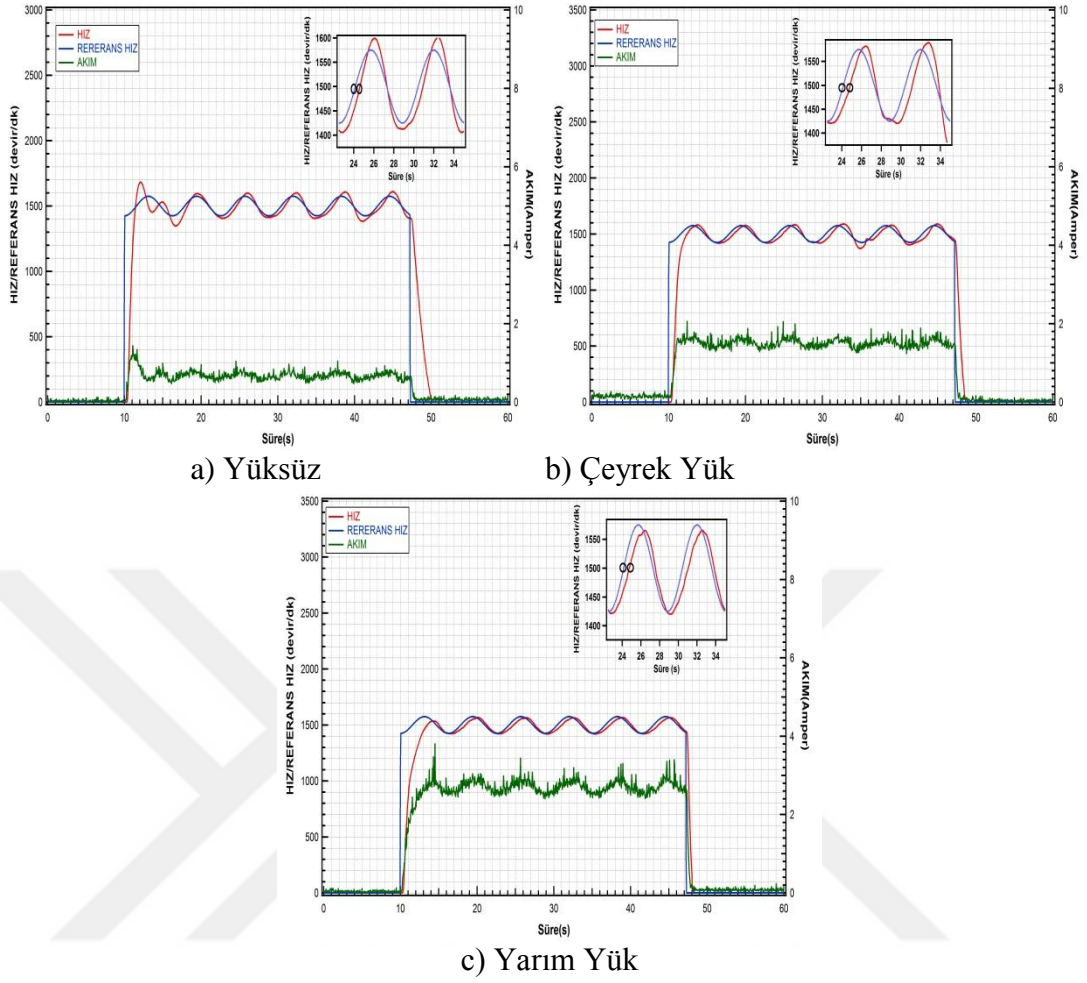
Şekil 5.2. ARM 3000 devir basamak fonksiyonuna verdiği tepki durumu.

Çizelge 5.2. ARM'nin 3000 d/d geçici ve sürekli durum tepkisi.

Motor Yükleme Durumu	Yükselme Zamanı(t_r)	Aşma Zamanı(t_p)	Yerleşme Zamanı(t_s)	Aşma Oranı(M_p)	Hata Oranı(%)
Yüksüz	1.5sn	2.4sn	6.4sn	492rpm	16
Çeyrek Yük	2.5sn	2.9 sn	5.4sn	25rpm	1
Yarım Yük	5.2 sn	-	5.2sn	-	-

5.3. 1500 d/d SİNÜS FONKSİYONUNA MOTORUN TEPKİ DURUMU

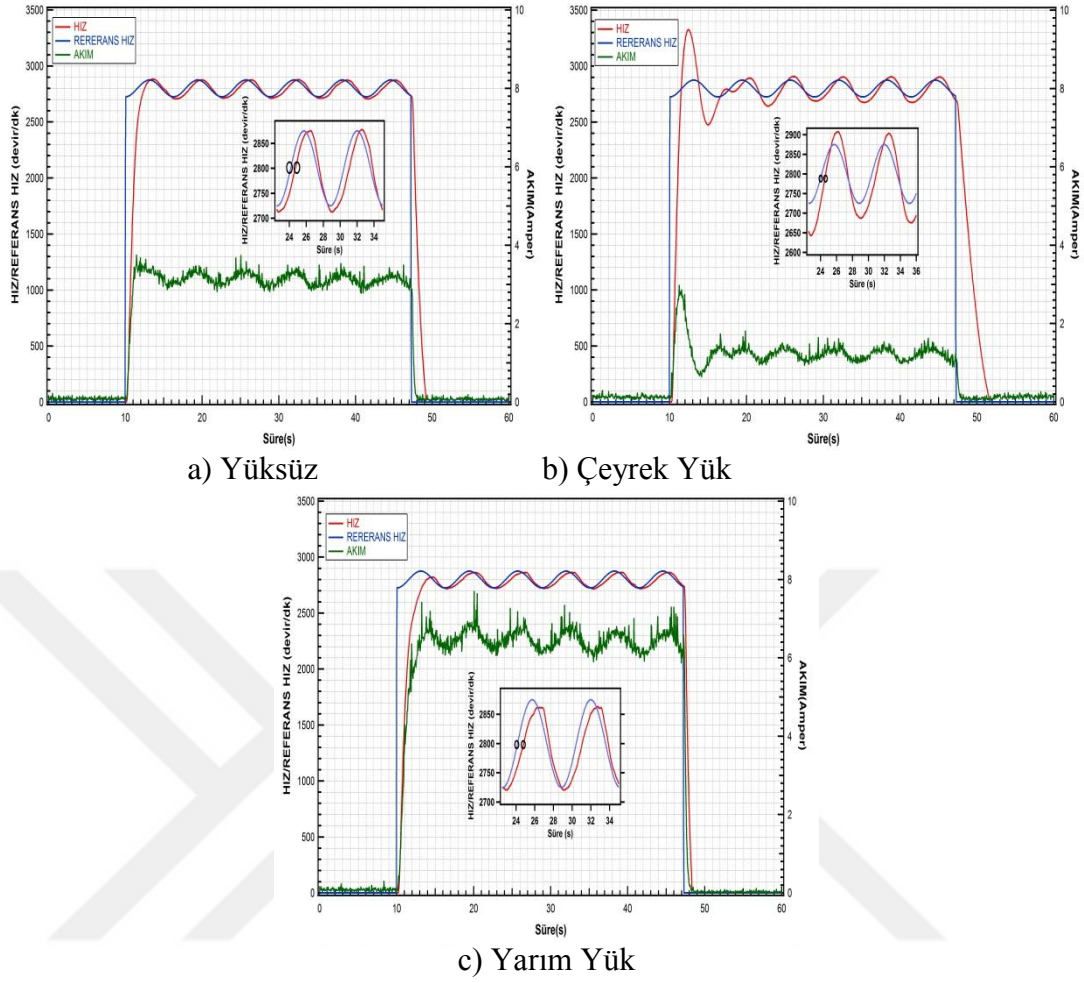
Şekil 5.3'de verilen grafikte motorun yüksüz, çeyrek yük ve yarım yük 1500 d/d sinüs fonksiyonu grafiği verilmiştir. Yüksüz, çeyrek yük ve yarım yük durumlarındaki referans hız ile gerçek hız arasında sırasıyla 25 derece, 40 derece, 42 derece faz farkıyla referans hızı izlemiştir. Gerçek hız referans hızı izlerken akım değerinde sinüs dalgası şeklinde gözlemlenmiştir.



Şekil 5.3. ARM 1500 devir sinüs fonksiyonuna verdiği tepki durumu.

5.3. 3000 d/d SİNÜS FONKSİYONUNA MOTORUN TEPKİ DURUMU

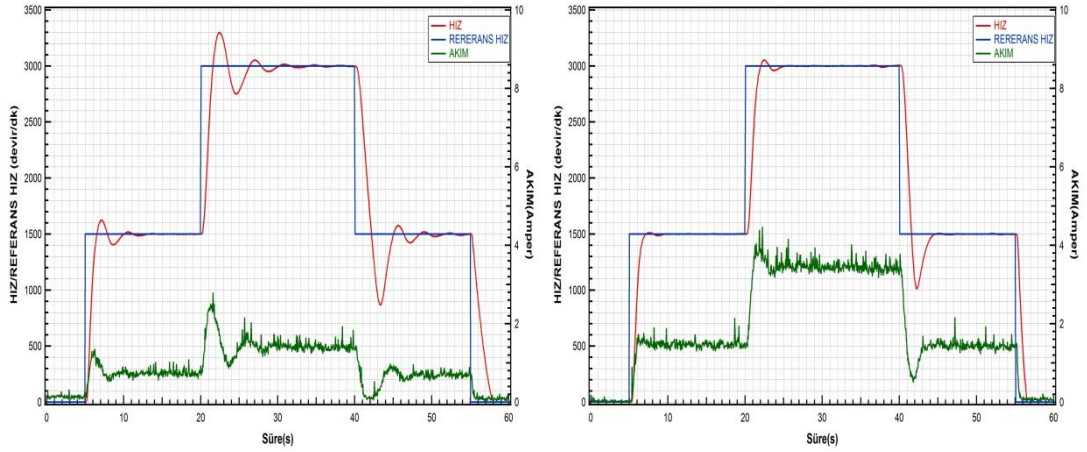
Şekil 5.4'de verilen grafikte motorun yüksüz, çeyrek yük ve yarım yük 3000 d/d sinüs fonksiyonu grafiği verilmiştir. Yüksüz, çeyrek yük ve yarım yük durumlarındaki referans hız ile gerçek hız arasında sırasıyla 28 derece, 31 derece, 40 derece faz farkıyla referans hızı izlemiştir. Gerçek hız referans hızı izlerken akım değerinde sinüs dalgası şeklinde gözlemlenmiştir.



Şekil 5.4. ARM 3000 devir sinüs fonksiyonuna verdiği tepki durumu.

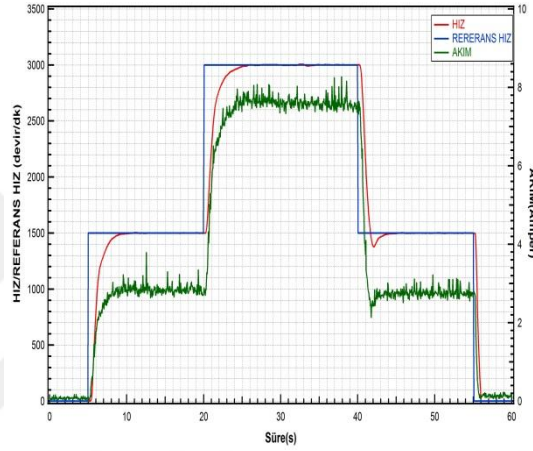
5.4. 1500-3000 d/d BASAMAK FONKSİYONU MOTOR TEPKİ DURUMU

ARM'nin basamak fonksiyonuna vermiş olduğu tepki Şekil 5.5'de verilmiştir. Basamak fonksiyonun artma durumunda yüksüz durumda iken motorun kalıcı duruma geçerken aşma gözlemlenirken, çeyrek yükte aşma daha az iken yarım yüklü durumda aşma gözlemlenmemiştir. Basamak fonksiyonunun azalma durumunda yüksüz, çeyrek yük, yarım yük durumunda aşmalar gözlemlenmiştir. En yüksek aşma durumu yüksüz durumda olmuştur.



a) Yüksüz

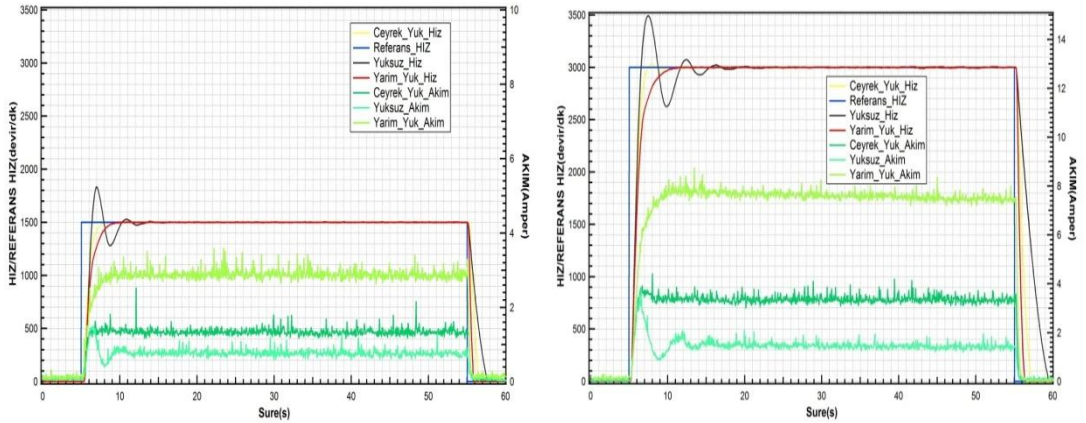
b) Çeyrek Yük



c) Yarım Yük

Şekil 5.5. ARM 1500-3000 devir basamak fonksiyonuna verdiği tepki durumu.

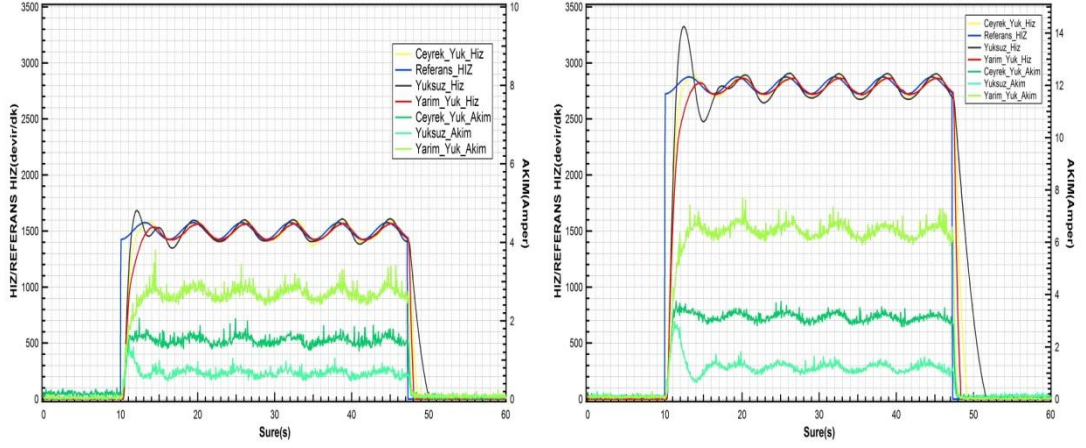
ARM'un farklı yük durumdaki basamak fonksiyonuna motorun vermiş olduğu tepki Şekil 5.6'datoplu halde verilmiştir.



a) 1500 d/db) 3000 d/d

Şekil 5.6. ARM'nin basamak farklı yüklerde akım ve hız grafiği.

Farklı yük durumunda sinüs fonksiyonuna ARM'un vermiş olduğu tepki Şekil 5.7'de toplu halde verilmiştir.



a) 1500 d/db) 3000 d/d

Şekil 5.7. ARM'nin sinüs farklı yüklerde akım ve hız grafiği.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Bu çalışmada bir anahtarlamalı relüktans motorun hız denetimi bulanık mantık denetleyici ile yapılmıştır. ARM'lerin yapılarının basit olmasına rağmen doğrusal olmayan özelliğinden dolayı geleneksel denetim yöntemleri ile çok iyi performans sağlanamamaktadır. Bu yüzden zeki denetim sistemleri kullanılarak denetimi konusunda başarılı çalışmalar yapılmıştır. Bulanık denetleyiciye ait en iyi kural tablosu ve üyelik fonksiyonu değerlerinin belirlenmesi deneme yanılma yöntemi ile yapılmaktadır ve uzun zaman almaktadır.

Uygulama Stm32f4 Discovery kiti kullanılarak yapılmıştır. Uygulama programı MatlabSimulink programı kullanılarak hazırlanmıştır. MatlabSimulink programında oluşturulan model derlenerek sistemin denetimi Stm32f4 Discovery ile gerçekleştirilmektedir. Target- Host yaklaşımı ile gerçek zamanlı olarak sistem denetiminde başarıyla uygulanmıştır. Target modeli Stm32f4 discovery işlemcisine, host model bilgisayar üzerinde anlık olarak iletişim sağlanmıştır. Deney düzeneğini durdurmadan host modelinde parametre değişikliğini uygulayarak gerçek zamanlı olarak çalışması sağlanmıştır. Tasarlanan sistemde kullanılan malzemelerin ucuz olması ve kolay bulunması nedeniyle avantaj oluşturmaktadır.

Motorun 1500 d/d, 3000 d/d hızlarına ulaşması ve 0 d/d düşmesi boşta, çeyrek yük ve yarım yük altında incelenmiştir. Motor boşta, çeyrek yük ve yarım yük altında referans hızı yakaladıktan sonra kararlı bir şekilde çalışmayı sürdürmüştür. Deneysel çalışmalar ARM'nin farklı durumlar altında bulanık mantık ile verimli çalıştığını göstermiştir.

Deneysel çalışma sonucunda hazırlanan sistem ARM' un kontrol edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Hazırlanan yazılım geliştirilebilmekte ya da değiştirilebilmektedir. Böylece deney bordu olarak eğitim amaçlı olarak kullanılabilir. Ayrıca sanayide yeni üretilen bir ürünün test edilmesi aşamasında kullanılabilir. Gerçek zamanlı denetim sistemi birçok sistemin denetiminde, ve kondisyon izlenmesinde ve hata teşhis sistemlerinde kullanılabilir.



KAYNAKLAR

1. Miller, T. J. E., "Electronic control of switched reluctance machines", *Newnes, Oxford*, 1-5(2001).
2. Yuan, G., "Speed Control of Switched Reluctance Motors", Yüksek Lisans Tezi, *The Hong Kong University of Science and Technology*, Hong Kong, 1, (2000).
3. Fecir, D., "Endüstriyel Çamaşır Makinelerinde Anahtarlama Relüktans Motoru Kullanımı ve Sistemin Zeki Denetimi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü*, Ankara, 2,82-84,7,8,11,12 (2008).
4. Bay, Ö. F. and Elmas C., "Modeling of the inductance variation and control of the switched reluctance motor based on fuzzy logic", *Intelligent Automation and Soft Computing*, 10: 233-246 (2004).
5. Elmas, Ç., Akçayol, M. Ali., ve Yiğit, T., "Bulanık PI denetleyici ile bir anahtarlama relüktans motorun hız denetimi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 22 (1): 65-72 (2007).
6. Karakas, E. and Vardarbası, S., "Speed control of SR motor by self-tuning fuzzy PI controller with artificial neural network", *Sadhana*, 32: 587-596 (2007).
7. Mutlu, Ü., "Anahtarlama relüktans motor sürücü devre tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 40 (2006).
8. Bose, B. K., Miller, T. J. E., Szczyzny, P. M. and Bicknell, W. H., "Microcomputer control of switched reluctance motor" *IEEE Transactions On Industry Applications*, 22 (4): 708-715 (1986).
9. Elmas, Ç. and De la Para, H. Z., "A DSP controlled switched reluctance drive system for wide range of operating speeds", *Power Electronics Specialists Conference*, Toledo, 844-850 (1992).
10. Yang, H., Panda, S. K. and Liang, Y. C., "Sliding mode control for switched reluctance motors: an experimental investigation", *Industrial Electronics, Control, and Instrumentation 22nd International Conference*, Taipei, 96-101 (1996).
11. Bolognani, S. and Zigliotto, M., "Fuzzy logic control of a switched reluctance motor drive", *IEEE Transactions on industry applications*, 32 (5): 1063-1068 (1996).

12. Abut, N., Cakır, B., Inanc, N., Yıldız, A. B. and Bilgin, M. Z., "Switched reluctance motor drive by using fuzzy controller", *23rd International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation*, New Orleans, 9-14 (1997).
13. Borges, T. T., De Azevedo, H. R., De Andrade, D. D. and Gonçalves, A. C. S., "An applications of fuzzy logic for reluctance motor drive", *Electric Machines and Drives Conference*, Milwaukee, 10.1-10.3 (1997).
14. Zhu, X. M., Panda, S. K., Dash, P. K. and Tan, S. H., "Experimental investigation of variable structural PID control for switched reluctance motor drives", *1997 International Conference, Power Electronics and Drive Systems*, Singapore, 205-210 (1997).
15. Akçayol, M. Ali., "Application of adaptive neuro-fuzzy controller for SRM", *Advances in Engineering Software*, 35: 129-137 (2004).
16. Paramasivam, S. and Arumugam, R., "Hybrid fuzzy controller for speed control of switched reluctance motor drives", *Energy Conversion and Management*, 46: 1365-1378 (2005).
17. Akçayol, M. A. and Elmas, C., "NEFCLASS-based neuro-fuzzy controller for SRM drive", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 18: 595-602 (2005).
18. Paramasivam, S. and Arumugam, R. "Real time DSP-based adaptive controller implementation for 6/4 poles switched reluctance motor drive" *Songklanakar in J.Sci. Technol.*, 27 (3): 523-534 (2005).
19. Tahour, A., Abid, H. and Aissaoui, A. G., "Adaptive neuro-fuzzy controller of switched reluctance motor", *Serbian Journal of Electrical Engineering*, 4 (1): 23-34 (2007).
20. Koblara, T., "Implementation of speed controller for switched reluctance motor drive using fuzzy logic", *11th International Conference Optimization of Electrical and Electronic Equipment*, Brasov, 101-105 (2008).
21. Wadnerkar, V. S., Das, G. T. and Rajkumar, A.D., "Performance analysis of switched reluctance motor; design, modeling and simulation of 8/6 switched reluctance motor", *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 4 (11): 1118-1124 (2008).
22. Song, A. and Deying Gu, Y. C., "Study of based fuzzy-PID control for switched reluctance motor" *2010 International Conference On Computer Design And Applications*, Qinhuangdao, 558-561 (2010).
23. Wang, S.C. and Liu Y.H., "A modified PI-Like fuzzy logic controller for switched reluctance motor drives" *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, 58 (5): 1812-1825 (2011).

24. Dehkordi, B. M., Parsapoor, A., Moallem, M. and Lucas, C., "Sensorless speed control of switched reluctance motor using brain emotional learning based intelligent controller", *Energy Conversion and Management*, 52: 85-96 (2011).
25. Uysal, A. and Bayır, R., "Design and implementation of switched reluctance motor driver for industrial controller", *4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*, Istanbul, 770-774 (2013).
26. Lakshmanan, K., Perumal, S. and Mariasiluvairaj, W. I., "Artificial Intelligence-based control for torque ripple minimization in switched reluctance motor drives", *Acta Scientiarum*, 36 (1): 33-40 (2014).
27. Kiruthika, D. and Susitra, D., "Speed controller of switched reluctance motor", *Indian Journal of Science and Technology*, 7 (8): 1043-1048 (2014).
28. Daryabeigi, E. and Dehkordi, B. M., "Smart bacterial foraging algorithm based controller for speed control of switched reluctance motor drives" *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 62: 364-373 (2014).
29. Er, M. J., Lim, M. T. and Lim, H. S., "Real-time hybrid adaptive fuzzy control of a SCARA robot", *Microprocessors and Microsystems*, 25: 369-378 (2001).
30. Wu, R., Hao R. and Cui Y., "Application of the adaptive fuzzy PID controller in switched reluctance motor", *2011 International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks*, XianNing, 3966-3968 (2011).
31. Loria, A., Espinosa-Perez, G. and Chumacero E., "A novel PID-based control approach for switched-reluctance motors", *51st IEEE Conference on Decision and Control*, Maui HI, 7626-7631 (2012).
32. Lokriti, A., Salhi, I., Doubabi, S. and Zidani, Y., "Induction motor speed drive improvement using fuzzy IP-self-tuning controller. A real time implementation", *ISA Transactions*, 52: 406-417 (2013).
33. Ramadan, E. A. E. M., El-Bardini, M., El-Rabaie, N. M. and Fkirin, M. A., "Embedded system based on a real time fuzzy motor speed controller" *Ain Shams Engineering Journal*, 5: 399-409 (2014).
34. De La Guerra, A., Artega-Perez, M. A., Gutierrez-Giles, A. and Maya-Ortiz, P., "Speed-sensorless control of SR motors based on GPI observers" *Control Engineering Practice*, 46: 115-128 (2016).
35. Krishnan, R., "Switched reluctance motor drives: modeling simulation, analysis, design and applications", *CRC Press, New York*, 408-416 (2011).
36. Bal, G., "Anahtarlamalı relüktans motorlar, Özel Elektrik Makinaları 3. Baskı", *Seçkin Yayıncılık*, Ankara, 155-175 (2006).

37. Polat, M., "Anahtarlamalı relüktans motorda algılayıcısız konum kontrolü ve moment dalgalılığının azaltılması", Doktora Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 9-11 (2010).
38. Uysal, A., "Yapay sinir ağları kullanarak anahtarlamalı relüktans motorlarda hata tespit ve teşhisi", Doktora Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 11,16-17 (2014).
39. Güvenç, U., "Anahtarlamalı relüktans motorun denetimi", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 11,12,15-16 (2005).
40. Akçayol M. A., "Bir anahtarlamalı Relüktans motorun sinirsel-bulanık denetimi", Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 37-38 (2001).
41. Elmas, Ç., "Yapay zeka uygulamaları(yapay sinir ağı, bulanık mantık, sinirsel bulanık mantık, genetik algoritma) 2.baskı", **Seçkin Yayıncılık**, Ankara, 186, 240, 247-248 (2011).
42. Kıyak, E., "Bulanık mantık yöntemiyle uçuş kontrol uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi, **Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Eskişehir, 1 (2003).
43. Zadeh, Lotfi A., "Fuzzysetsinformationandcontrol", **World Scientific Publishing**, New York, 339-353 (1965).
44. Dumanay, Akif B., "PID, Bulanık mantık ve kayan kip kontrol yöntemleri ile internet üzerinden dc motor hız kontrolü", Yüksek Lisans Tezi, **Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Balıkesir, 29 (2009).
45. Lee, C. C., "Fuzzylogic in controlsystems:fuzzylogiccontroller, part I", **IEEE Transactions on systems, man, andcybernetics**, 20(2):404-418 (1990).
46. Lee, C. C., "Fuzzylogic in controlsystems:fuzzylogiccontroller, part II", **IEEE Transactions on systems, man, andcybernetics**, 20(2):419-435 (1990).

ÖZGEÇMİŞ

Tarık ÜNLÜ 1987 yılında Konya'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Ereğli Atatürk Lisesinden mezun oldu. Karabük Üniversitesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümünden mezun oldu. Milli Eğitim Bakanlığında Öğretmen olarak göreve başladı. Karatay İlçe Milli Eğitim Müdürlüğünde İSG yöneticisi olarak çalışmaktadır.

ADRES BİLGİLERİ:

Adres :Bedir Mh. ÇınardibiSk. Akasya Sit.
B blok kat:5 No:9 Selçuklu/KONYA

Tel: : 531 727 09 71

E-posta : t-unlu@hotmail.com.tr