

**TEKERLEK  SAB T MIKNATISLI FIRÇASIZ
DO RU AKIM MOTORUN BULANIK MANTIK LE
DENET M**

**2012
YÜKSEK L SANS TEZ
ELEKTRON K VE B LG SAYAR E T M**

Harun YILDIZ

**TEKERLEK  SABIT MIKNATISLI FIRÇASIZ DO RU AKIM
MOTORUN BULANIK MANTIK LE DENET M**

Harun YILDIZ

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektronik ve Bilgisayar E itimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Eylül 2012

Harun YILDIZ tarafından hazırlanan "TEKERLEK İÇİ SABİT MİKNATISLI FIRÇASIZ DOĞRU AKIM MOTORUN BULANIK MANTIK İLE DENETİMİ" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Raif BAYIR



Tez Danışmanı, Mekatronik Mühendisliği A.B.D.

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 18/ 09/ 2012

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Salih GÖRGÜNOĞLU (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Raif BAYIR (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Metin ZEYVELİ (KBÜ)

İmzası



...../...../2012

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

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildi ini ve sunuldu unu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdi i ekilde, bu çalı madan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptı umı beyan ederim.”

Harun YILDIZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TEKERLEK İÇİ SABİT MİKNATISLI FIRÇASIZ DOĞRU AKIM MOTORUN BULANIK MANTIK İLE DENETİMİ

Harun YILDIZ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektronik ve Bilgisayar Bilimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Raif BAYIR

Eylül 2012, 74 sayfa

Bu çalışmada, tekerlek içi sabit mıknatıslı fırçasız doğru akım motorlarının (TSMFDAM) kontrolü bulanık mantık denetleyicisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. TSMFDAM'yi sürmek için üç fazlı evirici tasarlanmıştır. Evirici devre bulanık mantık denetleyicisi tarafından denetlenmektedir. TSMFDAM'in içerisine yerleştirilen manyetik sensörlerden rotor konumu ve devir bilgisi okunmaktadır. Rotor konumuna göre TSMFDAM'nin hangi fazının tetikleneceği belirlenmektedir. Devirde oluşan hata ve hatanın devir bilgileri bulanık mantık denetleyicinin giriş bilgisi olarak kullanılmaktadır.

Tasarlanan bulanık mantık denetimli devre ile motorun hızı istenilen referans değerine ayarlanabilmektedir. Hazırlanan test düzeneğinde motor akımı, gerilimi ve gücü

ölçülerek, PID (Proportional-Integral-Derivative) ve bulanık mantık denetleyicilerin performansları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sabit Miknatıslı Fırçasız Doğru Akım Motorları, Bulanık Mantık, Tekerlek Çi Motorlar

Bilim Kodu : 702.1.084

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE CONTROL OF IN-WHEEL WHICH IS A PERMANENT MAGNET BRUSHLESS DC MOTORS WITH FUZZY LOGIC

Harun YILDIZ

Karabük University

Graduate School of Natural & Applied Sciences

Department of Electronic and Computer Education

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Raif BAYIR

September 2012, 74 Pages

In this study the control of in-wheel which is a permanent magnet brushless direct current motors with fuzzy logic is conducted. Three phase inverters are designed to permanent magnet brushless direct current motors. The inverter circuit is controlled by a fuzzy logic controller. Rotor position and revolution is read with magnetic sensors located in this motor. Based on rotor position, it is determined that phases of the motor will be triggered. Speed error and change of error data is used as input parameters for fuzzy logic controller.

By means of the fuzzy logic controlled circuit, the speed of the motor can be set to reference value. In the realized test setup, the performance of PID and fuzzy logic controller is compared while being measured current, voltage and power of the motor.

Key Word : Permanent Magnet Brushless Direct Current Motors, Fuzzy Logic,
In-Wheel Motors

Science Code : 702.1.084

TE EKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve olu umunda ilgi ve deste ini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandı m, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ı ı ında ekillendiren danışman hocam Sn. Doç. Dr. Raif BAYIR'a sonsuz te ekkürlerimi sunarım.

Devre tasarımları ve sistemin test edilmesi a amasında yardımlarını esirgemeyen ve gereken maddi-manevi deste ini gösteren Ö r. Gör. Ali UYSAL'a ayrıca te ekkür ederim.

Çalışmam boyunca çe itli konularda bilgi ve tecrübelerinden yararlandı m de i ik görev ve yerlerdeki arkadaşlarıma, hocalarıma te ekkürü borç bilirim.

Ayrıca bu çalışmamı KBÜ-BAP-C-11-Y 014 proje numaralı, Tekerlek ç i Sabit Mıknatıslı Fırçasız DA Motorun Bulanık Mantık ile Denetimi isimli, Karabük Üniversitesi Bilimsel Ara tırma Projeleri (BAP) kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Karabük Üniversitesi Bilimsel Ara tırma Projeleri birimine te ekkür ederim.

Ç İNDEK İLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TE EK KÜR.....	viii
Ç İNDEK İLER	ix
EK İLLER D Z N	xii
Ç ZELGELER D Z N	xiv
S İMGELER VE KISALTMALAR D Z N	xv
BÖLÜM 1	1
G R	1
BÖLÜM 2	6
FİRÇASIZ DO RU AKIM MOTORLARI	6
2.1. FDAM GEL İM	6
2.1.1. Mekanik Yapısı ve Tipleri.....	7
2.1.2. Sabit Mıknatıslar.....	8
2.1.3. Stator Sargıları	8
2.1.4. Rotor ve Yapısına Göre Çe itleri.....	9
2.1.4.1. Dı tan Rotorlu Fırçasız Do ru Akım Motorları.....	10
2.1.4.2. Disk Tipi Fırçasız Do ru Akım Motorları	13
2.1.4.3. Çten Rotorlu Fırçasız Do ru Akım Motorları	14
2.1.5. Fırçasız Do ru Akım Motorunun Üstünlükleri ve Zayıf Yönleri.....	14
2.2. FİRÇASIZ DO RU AKIM MOTORLARININ KONTROLÜ	17
BÖLÜM 3	20
ENDÜSTR İYEL KONTROL YÖNTEMLER	20

3.1. AÇ – KAPA DENETİM SİSTEMİ	20
3.2. PID DENETİM TEORİSİ	21
3.2.1. PID Denetim	21
3.2.2. PID Parametrelerinin Hesaplanması	23
3.2.2.1. Ziegler–Nichols metodu.....	23
3.3. BULANIK MANTIK	24
3.3.1. Bulanık Mantık ın Üstünlük ve Zayıf Yönleri.....	25
3.3.2. Bulanık Mantık ın Temel Kavramları.....	27
3.3.2.1. Bulanıkla tırma	29
3.3.2.2. Kural Tabanı	30
3.3.2.3. Karar Mekanizması	31
3.3.2.4. Durula tırma	32
BÖLÜM 4	34
MATERYAL VE METOT	34
4.1. KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLER	34
4.1.1. Test Düzeni	34
4.2. MOTOR SÜRÜCÜSÜNÜN TASARLANMASI	42
4.3. BULANIK MANTIK VE UYGULAMA YAZILIMI	46
4.3.1. Bulanık Mantık ile Tekerlek Çi Motor Kontrolü	47
4.3.1.1. Bulanık Mantık Denetleyicinin Hazırlanması	47
4.3.1.2. Bulanıkla tırma	48
4.3.1.3. Bilgi Tabanı	50
4.3.1.4. Çıkarım Birimi ve Durula tırma	52
BÖLÜM 5	57
DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLAR	57
5.1. TASARLANAN DENETLEYİCİLERLE ALINAN SONUÇLAR	57
5.1.1. Aç-Kapa Denetleyici ile Alınan Sonuçlar	57
5.1.2. Tekerlek Çi Motorun Üretici Firma Sürücüsü ile Alınan Sonuçlar	58

5.1.3. PID Denetleyici ile Alınan Sonuçlar	60
5.1.4. Bulanık Mantık Denetleyici ile Alınan Sonuçlar	62
5.1.5. Tasarlanan Sürücü ile Motora Ait Sürücü Arasındaki Farklar	65
BÖLÜM 6	68
SONUÇLAR VE ÖNER LER	68
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇM	74

EK LLER D Z N

Sayfa

ekil 2.1. Fırçasız do ru akım motorlarının genel yapısı.	7
ekil 2.2. Statorun yapısı.	9
ekil 2.3. Dı tan rotorlu FDAM'ın genel yapısı.	10
ekil 2.4. Tekerlek içi motorun genel görünümü.	12
ekil 2.5. Disk tipi FDAM.	13
ekil 2.6. çten rotorlu FDAM.	14
ekil 2.7. FDAM sürücü blok diyagramı.	17
ekil 2.8. FDAM sürücülerinin temel yapısı.	18
ekil 2.9. Üç fazlı yıldız ba lantı.	19
ekil 2.10. Yarım köprü tipi mosfet sürücü devresi.	19
ekil 3.1. Aç-kapa denetim yöntemi cevap grafi i.	20
ekil 3.2. PID denetleyiciye ait blok diyagram.	21
ekil 3.3. Ziegler-Nichols metoduna ait çıkı i areti.	23
ekil 3.4. Bulanık küme ile klasik kümenin kar ıla tırılması.	27
ekil 3.5. Üyelik fonksiyonları çe itleri.	28
ekil 3.6. Bulanık mantık denetleyicinin temel yapısı.	28
ekil 3.7. Yedi tanımlı üyelik fonksiyonları.	29
ekil 3.8. Üçgen üyelik fonksiyonu ve sınırları.	29
ekil 3.9. Sıcaklık de i keni için üyelik fonksiyonları.	31
ekil 4.1. Test düzene i blok diyagram.	34
ekil 4.2. Test düzene i.	35
ekil 4.3. Tekerlek içi motor test düzene i.	35
ekil 4.4. Artırımlı enkoder	36
ekil 4.5. Motor sürücü devresi.	36
ekil 4.6. Denetleyici devre.	37
ekil 4.7. Dört kanal PicoScope.	37

ekil 4.8. Pens ampermetre.....	38
ekil 4.9. Artırımlı enkoder.....	39
ekil 4.10. Yük hücresi.....	40
ekil 4.11. PIC18F452 mikrodenetleyicisi.....	41
ekil 4.12. Mosfet yalıtım teması.....	42
ekil 4.13. DGM modül sayısını artırmak için kullanılan devre.....	43
ekil 4.14. Sürücü devre blok diyagram.....	44
ekil 4.15. Sürücü devre akı diyagramı.....	46
ekil 4.16. Bulanık mantık giri ve çıkı de i kenleri.....	47
ekil 4.17. Bulanık mantık sisteminin çalı ması.....	47
ekil 4.18. Hata (e) de i kenı.....	48
ekil 4.19. Hatadaki de i im (ce) de i kenı.....	49
ekil 4.20. Çıkı de i kenı (du).....	50
ekil 4.21. Üyelik fonksiyonlarından bulanık çıkarım i lemi.....	53
ekil 5.1. Aç-kapa denetim ile maksimum devirdeki ölçüm sonuçları.....	57
ekil 5.2. Yüksüz sistemde motora ait sürücünün 100 rpm'deki ölçüm sonuçları.....	58
ekil 5.3. Yüklü sistemde motora ait sürücünün 100 rpm'deki ölçüm sonuçları.....	58
ekil 5.4. Yüklü sistemde motora ait sürücünün 200 rpm'deki ölçüm sonuçları.....	59
ekil 5.5. Yüksüz sistemde motora ait sürücünün 200 rpm'e sabitlenmesi.....	59
ekil 5.6. Motorun kendi sürücüsüne ait maksimum devir hızı grafi i.....	60
ekil 5.7. PID kod algoritması ile 100 rpm yüksüz sistem ölçüm sonuçları.....	60
ekil 5.8. PID algoritması ile 100 rpm'de yüklü sistem ölçüm sonuçları.....	61
ekil 5.9. PID algoritması ile 200 rpm'de yüklü sistem ölçüm sonuçları.....	61
ekil 5.10. PID algoritması ile 300 rpm'de yüklü sistem ölçüm sonuçları.....	62
ekil 5.11. Bulanık mantık kodu ile 100 rpm yüksüz sistem ölçüm sonuçları.....	62
ekil 5.12. Bulanık mantık kodu ile 100 rpm yüklü sistem ölçüm sonuçları.....	63
ekil 5.13. Bulanık mantık kodu ile 200 rpm yüksüz sistem ölçüm sonuçları.....	63
ekil 5.14. Bulanık mantık kodu ile 200 rpm yüklü sistem ölçüm sonuçları.....	64
ekil 5.15. Bulanık mantık kodu ile 280 rpm yüklü sistem ölçüm sonuçları.....	64
ekil 5.16. Bulanık mantık sürücü ile sistemin maksimum devir sayısı grafi i.....	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. P., I. ve D. parametrelerinin denetleyici çıkışına etkileri.....	22
Çizelge 3.2. PID sabitlerinin hesaplanması.	24
Çizelge 3.3. Hata (e) ve Hatadaki değişime (de) göre kural tablosu.....	31
Çizelge 4.1. Picoscope 3423 teknik özellikleri.	38
Çizelge 4.2. Enkoder teknik özellikleri.....	39
Çizelge 4.3. Yük hücresi teknik özellikleri.....	40
Çizelge 4.4. HCPL 3021 teknik özellikleri.	42
Çizelge 4.5. Hall sensör konumları ve tetiklenecek fazlar.....	43
Çizelge 4.6. İleri yön mosfet tetikleme fazları.....	45
Çizelge 4.7. Geri yön mosfet tetikleme fazları.	45
Çizelge 4.8. Üyelik fonksiyonu sözel ifadeler kısaltma ve anlamları.....	49
Çizelge 4.9. Bulanık mantık kural tablosu	51
Çizelge 4.10. Kural tablosu sayısal değerleri.....	52
Çizelge 5.1. Sürücülerin akım değerlerinin karşılaştırılması.	66

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

e	: bulanık mantık hata değeri
ce	: hatadaki değişim
du	: bulanık mantık çıkışı değeri
ex	: hatanın $-x$ eksenini kestiği birinci nokta
ey	: hatanın $-x$ eksenini kestiği ikinci nokta
dx	: hatadaki değişimin $-x$ eksenini kestiği birinci nokta
dy	: hatadaki değişimin $-x$ eksenini kestiği ikinci nokta
u	: bulanık mantık çıkışı değeri
K_p	: oransal sabit
K_i	: integral sabiti
K_d	: türev Sabiti
$e(t)$: hatanın zamana göre değişimi
μ	: bulanık üyelik derecesi
PV	: ölçülen değer
SV	: set değeri
P_u	: osilasyon periyodu
a	: PID referansı
e	: toplam hata
u	: denetleyici çıkışı

KISALTMALAR

TSMFDAM	: Tekerlek içi sabit mıknatıslı fırçasız do ru akım motoru
CD	: compact disk (sıkı tırılmı disk)
DA	: do ru akım
DGM	: darbe geni lik modülasyonu
FDAM	: fırçasız do ru akım motoru
ROM	: read only memory (sadece okunabilir bellek)
PID	: Proportional–Integral–Derivative (Oransal- ntegral-Türev)
AC	: alternative current (alternatif akım)
DC	: direct current (do ru akım)
Rpm	: revolation per minute (motor devir hızı)
mA	: mili amper
A	: amper
CPU	: central process unit (merkezi i lem birimi)
RAM	: random access memory (rasgele eri imli bellek)
SMPS	: switch mode power supply (anahtarlama modlu güç elemanları)
NÇB	: negatif çok büyük
NB	: negatif büyük
NO	: negatif orta
NK	: negatif küçük
S	: sıfır
PK	: pozitif küçük
PO	: pozitif orta
PB	: pozitif büyük
PÇB	: pozitif çok büyük

BÖLÜM 1

G R

Sabit mıknatıslı motorlar; rotoru sabit mıknatıs, çok fazlı, statorunda sargıları bulunan senkron motorlardır. Bu tür motorların sabit mıknatıs maliyetlerinin düşmesiyle üretimi hızla yaygınlaşmıştır. Sabit mıknatıslı motorlar iki türe ayrılabilir. Bunlar sabit mıknatıslı senkron motorlar ve sabit mıknatıslı doğru akım motorlarıdır [1].

Fırçasız doğru akım motorları (FDAM) özel elektrikli makinelerindedir. Rotorları sabit mıknatıstan meydana gelir ve yapı olarak senkron motorlara benzemektedir. Sabit mıknatıslı motorlar; gürültüsüz çalışmaları, yüksek verimli olmaları, uzun ömürlü ve bakımlarının kolay olmaları gibi avantajlara sahiptir. Bu tür motorlar yüksek frekanslı osilasyonlara sebep olmaları, belli bir gücün üzerinde üretilememeleri, sürücü ve konum sensörü gerektirmeleri ve yüksek maliyetli olmaları sebebiyle bir takım dezavantajlara da sahiptir. Bu nedenle bazı özel uygulamalarda tercih edilmemeleridir. Son yıllarda elektronik sürücülerin sayılarının artması ve fiyatların da ucuzlaması ile birlikte bu motorların kullanımı da artmıştır.

Yarı iletken teknolojisinin gelişmesiyle birlikte doğru akım motorlarında fırça ve kolektörler yerini sürücü devrelere bırakmıştır. Fırçasız doğru akım motorları aynı kapasitedeki fırçalı motorlara göre birçok üstünlüklere sahiptir. Bunlar yüksek moment oranı, düşük atalet momenti oranı, ısı kayıplarının az olması, sessiz çalışma ve yüksek verimlilikleridir. Ayrıca daha küçük boyutlu ve motor ömürleri daha uzundur [2]. Bununla birlikte kontrollerinin zor ve karmaşık olması, karakteristiklerinin doğrusal olmaması gibi dezavantajlara sahiptir.

Gerek yapısında gerekse kontrol elemanlarında kullanılan elektronik elemanların geli mesiyle birlikte FDAM kullanımını gittikçe yaygınla mı tır. Kullanım alanları olarak; ısıtma ve so utma sistemleri, robot kontrolü, bilgisayar donanımları (Harddisk, CD- ROM motorları), uzay sistemleri, otomotiv, yenilenebilir enerji ve endüstri ba lıcaları olarak sayılabilir.

Tekerlek içi sabit mıknatıslı fırçasız do ru akım motorları üzerine yapılan çalı malar genellikle; motorda kullanılan mıknatıslar, motoru kontrol edebilme ve zeki sistemli sürücüler tasarlama üzerine olmu tur. Uygulama alanlarını ise elektrikli bisikletler, güne arabaları, tekerlekli sandalye ve daha birçok elektrikli hafif araçlar olu turmaktadır. Bu motorların tercih edilmesinin altındaki sebeplerin gerekçesi ek bir aktarım mekanizması gerektirmemesi, tasarım sırasında yer tespitinin kolay olmasıdır. Bu motorlar tekerlek ile birlikte oldu u için ek bir yer i gal etmezler ve tekerlek de i tirir gibi motorlar kolaylıkla de i tirilebilir.

Günümüzde bulanık mantık, tekerlek içi motorlar ve sabit mıknatıslı do ru akım motorları ile ilgili çe itli çalı malar yapılmaktadır. Fırçasız do ru akım motorlarının bulanık mantık ile kontrolü ile ilgili birçok çalı ma bulunmaktadır. Ancak tekerlek içi motorlarının kontrolü ile ilgili zeki denetimli çalı malar pek yapılmamı tır.

1965 yılında, Azeri asıllı Amerikalı sibernetikçi Lotfi A. Zadeh tarafından geli tirilen fuzzy (bulanık) mantık kuramı, iki de erli mantık kuramlarına bir alternatif olu turmu , sibernetik ve onunla do rudan ilgili bilimlerde akıl almaz derecede hızlı geli meleri tetikleme , sibernetik ve yapay zekâ çalı malarını hızlandırmı tır. Lotfi A. Zadeh mantık, sibernetik, bilgisayar, yapay zekâ ve otomatik makinelere dair ortaya koydu u kuramlar ve ke fetti i kanunlarla 20. ve 21. yüzyıl teknoloji devriminde önemli pay sahibi olmu tur.

Bulanık mantık, bir bulanık kontrolcü olarak ilk kez 1970 yılların ortasında, Londra'daki Queen Mary College'de Prof. Ebrahim H. Hamdani tarafından bir buhar makinesinde uygulanmı tır [3]. Ticarî olarak ise ilk defa, 1980 yılında, Danimarka'daki bir çimento fabrikasının fırınına kontrol etmede kullanılmı tır.

Günümüzde modern elektrik motor sürücüleri, modern kontrol teorisi, elektrik motor teorisi, güç elektroniği, sinyal işleme ve mikrobilgisayarlar gibi elektronik mühendisliğin önemli disiplinlerini içine alan karmaşık ve gelişmeye açık olan yapılara yapay zekâ yöntemleri dâhil olmuştur. Yapay zekâ yöntemlerinin mühendislik alanında hızla yaygınlaşması ve modern elektrik motor sürücülerine uygulanması zeki denetim sistemlerini ortaya çıkarmıştır [4].

Quasar ve Panasonic markalarını üreten Matsushita şirketi, bulanık mantığın üretime uygulanmasından sonra 1991-92 yıllarında milyarlarca dolar değerinde mal üretip satmıştır. Kuram bu ülkeye ilk girdiği zaman 3 binden fazla bilim adamı bu kuram üzerinde çalışarak görevlendirilmiştir. Bu sayede çok kısa bir sürede bulanık mantıkla çalışan elektronik cihazların üretildiği görülmektedir [5].

Bulanık mantık, 1980 yılından sonra uygulama sahaları gittikçe genişletmiş, Japonyalardan sonra Almanya, Fransa, Danimarka, Rusya ve Çin gibi ülkeler de bulanık mantık uzmanları yetiştirmeye başlamışlardır. Lider ülke Japonya'dır; Çin onu takip etmektedir. Çin'de yaklaşık 10 bin bilim adamı bulanık mantıkla ilgilenmektedir [6].

Fırtınalı havalarda, denizde mahsur kalan gemicileri kurtarmak için kullanılan helikopterleri kumanda etmek oldukça güçtür. Japonya'daki bir araştırma enstitüsü bu helikopterlerin bilgisayarda simülasyonunu yapmış, sonra da maketini yapmıştır. Bulanık mantık programıyla kontrol edilen bu simülasyon ve makette herhangi bir sallantı ve sarsıntı olmaması, insanların kullandığı helikopterlerin aksine çiviyle çakılması gibi sabit bir şekilde havada kaldığı görülmüştür [7].

Yüksek hız bölgelerinde fırçasız doğru akım motorlarının kontrolünde akım ve gerilim kontrol işlemleriyle beraber DGM (Darbe Geniçlik Modülasyonu, PWM - Puls With Modulation) sinyallerinin üretilmesinin işlemci açısından problem çıkardığını belirtmişlerdir. Bu problemi çözmek için DGM sinyallerinin üretilmesinin ve basımsız işlemcilerle yapılmasını önermişler ve buna ait yapıları vermişlerdir [8].

Femsan elektrikli araçların en önemli parçalarından birisi olan elektrik motorunun ilk örneğinin uygulamasını WIN fuarında tanıtmıştır. Tekerlek içi motorlu (jant - hub) araçlar gündelik hayatımızda giderek artan oranda yer bulacaktır.

Çunka ve Aydoğdu fırçasız do ru akım motor sürücüsünü Matlab Simulink programını kullanarak modellemiştir. Ayrıca fırçasız do ru akım motorlarının genetik tabanlı bulanık mantık denetleyici sensörsüz kontrolü adlı doktora tezini yayınlamıştır [9].

Literatürde görüldüğü gibi tekerlek içi motorların zeki denetimli sistemler ile kontrolü hakkında çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Tekerlek içi motorlarının kullanımının artması ile birlikte zeki denetimli sürücülere duyulan ihtiyaç da artı göstermiştir.

Bu çalışmanın amacı; son yıllarda kullanımı giderek artan tekerlek içi fırçasız do ru akım motorları, bulanık mantık denetleyicisi ile kontrol etmektir. Bulanık mantık denetleyicisi ile kontrol edilen sistemin, klasik aç-kapa ve PID kontrol yöntemleri ile karşılaştırılması yapılmaktadır. Öncelikle elektrikli motor için kontrol devresi tasarlanıp; kontrolcü devreye bulanık mantık ve diğer kontrol yöntemlerinin yazılımları çalıştırılmaktadır.

Elektrik motorları için çeşitli sürücüler mevcuttur. Bu çalışmada birinci hedef; bulanık mantık yöntemini tekerlek içi motorlara uygulayarak, mevcut olan sürücülere göre daha verimli ve ekonomik bir sürücü tasarlamaktır. İkinci hedef ise tekerlek içi motorları çeşitli kontrol yöntemleri ile test ederek aralarındaki farkları ortaya çıkarmak ve en uygun denetleyici yöntemini tespit etmektir.

Bu tez çalışması toplam altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde tezin konusu, amacı ve önemi, yararlanılan kaynaklar hakkında kısaca bilgi verilmektedir. İkinci bölümde ise fırçasız do ru akım motorları hakkında genel bilgiler verilmektedir. Bu motorun üstünlükleri, sakıncaları ve çeşitleri kısaca açıklanmaktadır. Üçüncü bölümde endüstriyel kontrol yöntemleri açıklanmaktadır. Dördüncü bölümde ise test için hazırlanan deney düzeninde kullanılan malzemeler açıklanmaktadır. Ayrıca

tekerlek içi motor surcsnn tasarlanması ve bulanık denetleyicili kontrol yazılımının a amaları verilmektedir. Be inci bölümde, tekerlek içi motor test edilerek; bulanık mantık, PID kontrol ve aç-kapa kontrol yazılımları ile sonuç grafikleri alınmı ve kar ıla tırmalar yapılmı tır. Sonuçlar ve öneriler bölümünde ise tasarlanan sürücünün kullanım alanları, üstünlükleri ve sakıncaları belirtilmektedir. Ayrıca sürücünün kullanımı ve geli tirilmesiyle ilgili bilgiler ve öneriler sunulmaktadır.

BÖLÜM 2

FIRÇASIZ DO RU AKIM MOTORLARI

2.1. FDAM GELİ Mİ

Do ru akım motorlarında kar ıla ılan zorluklar ve düzenli bakım gereksinimleri, güç elektroni i elemanlarının ve elektronik kontrolün geli imi, ihtiyaçları kar ılayacak farklı motorların geli mesine yol açmı tır. Maliyet ve kontrolünün zorlu u nedeniyle tercih edilmeyen motorlar geli en teknoloji ve yeni imkânlarla tercih edilir hale gelmi tir. Özellikle fırçalı motorların sık sık arıza yapması ve düzenli bakım gerektirmesi bu tür fırça gerektiren motorlara yönelik talepleri azaltmı tır. İhtiyaca cevap verecek ve fırça düzene i bulunmayan motorların geli imiyle fırçasız do ru akım motorları piyasada kullanılır hale gelmi tir.

Malzeme biliminin geli mesiyle yüksek enerji kapasiteli ve sa lam mıknatısların ço alması, rotor sargısı yerine bu mıknatısların kullanımını beraberinde getirmi tir. Bu sayede motorlardaki fırça düzene i ortadan kaldırılmı tır. İkinci a amada ise stator sargısında do ru gerilim ile döner alan olu turma problemi, güç elektroni inin yardımıyla a ılmı tır. Bütün bu i lemler uygulandı ında kar ımıza çıkan fırçasız do ru akım makinesi endüvi ile uyarması yer de i tirmi sabit mıknatıslı bir do ru akım motoru ortaya çıkmı tır.

Güç elektroni i elemanları ve mikroi lemciler ve/veya mikrodenetleyici üreticileri de geli en fırçasız do ru akım motoru pazarını dikkate alarak sadece fırçasız do ru akım kontrolüne yönelik elemanlar geli tirerek pazara sunmu lardır. Mikroi lemciler ya da denetleyici tümle ik devreleri açısından bakılacak olursa hız kontrolü, anahtarlama elemanlarının tetiklenmesi, pozisyon bilgilerinin algılanması gibi fırçasız do ru akım motorlarının temel ihtiyaç ve uygulamaları için özel elemanlar üretici kataloglarında yerlerini almı tır. Güncel denetleyiciler arasında ise fırçasız

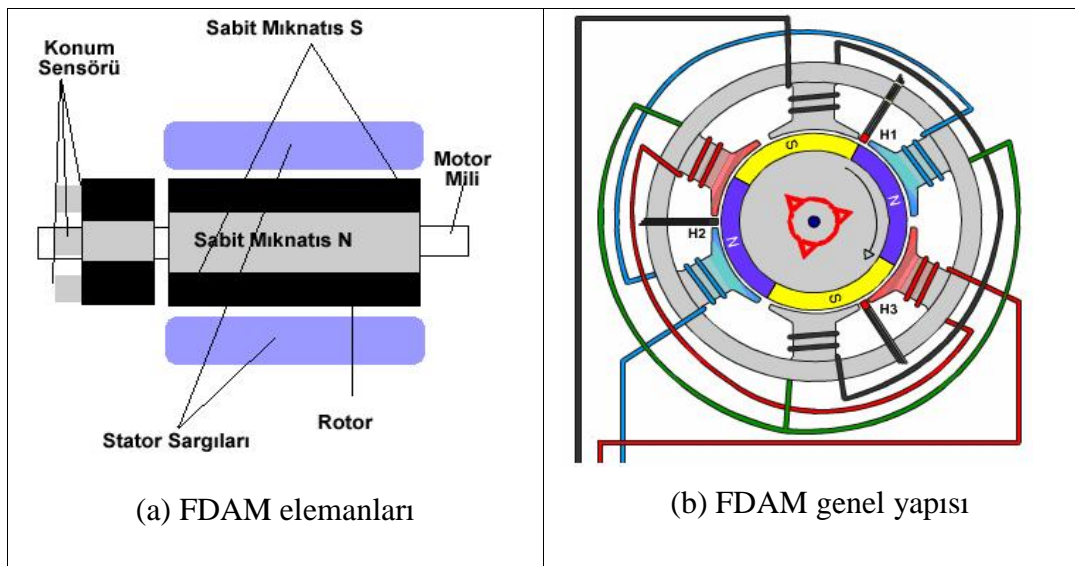
do ru akım motoru temel girdi ve çıktıları hazır olarak sunulmu , geni programlama ve veri alanına sahip, farklı kontrol algoritmaları arasında parametrik ayarlarla uyumlu tırılabilen mikroilemciler ön plana çıkmı tır [10].

2.1.1. Mekanik Yapısı ve Tipleri

FDAM' ler; üç adet faz sargısının bulunduğu stator, mıknatıstan oluşan bir rotor, konum sensörü ve sürücüden meydana gelir. Burada faz sargılarının sarıldığı stator çıkışlarının sayısı, kutup sayısı ile do ru orantılıdır.

Fırçasız do ru akım motorlarında fırça-kollektör düzeninin görevini elektronik bir denetleyici üstlenir. Denetleyicide, yüksek akımı anahtarlama görevini yürüten yarı iletken devre elemanları ve anahtarlama ile ilgili zamanlamayı sağlayan mikrodenetleyici bulunur. Motorun dönüünde aksama olmaması için denetleyicinin uygun bir hızda rotoru takip etmesi gerekir. Bu için, rotor pozisyonunun bilinmesini gerektirir. Ço u uygulamada hall effect sensörleri kullanılarak rotor pozisyonu kolayca tespit edilir.

ekil 2.1. (a) ve ekil 2.1. (b)'de fırçasız do ru akım motorlarının genel yapısı ve hangi malzemelerden meydana geldi i verilmektedir.



ekil 2.1. Fırçasız do ru akım motorlarının genel yapısı.

2.1.2. Sabit Mıknatıslar

Sabit mıknatıslar, fırçasız do ru akım motorların ana malzemeleridir. Fırçasız do ru akım motorlarında rotor yüzeyine yerleştirilen, sabit mıknatıslar sayesinde uzun ömürlü bir manyetik alan sağlanır.

Bir motor için magnetik malzeme seçiminde dikkat edilmesi gereken birincil hususlar motorun birim hacmine düşen moment miktarı, işletme sıcaklığı aralığı ve iletkenliği açısından mıknatıs sertliği dır [11].

Günümüzde sabit mıknatıs malzemelerin pek çok tipleri mevcuttur. Bunlar Al-Ni-Co, ferrit (seramik), toprak elementi samaryum-kobalt ve neodmiyumiron-boron (NdFeB)'dir. Son yıllarda geliştirilen NdFeB mıknatıslar, en yüksek güç yoğunluğuna sahiptir. Ferrit mıknatıslar, ucuz maliyetinden dolayı en yaygın kullanılan mıknatıs çeşitidir. Her mıknatıs çeşidi, fırçasız DA motorlarda farklı performans seviyelerine ve çeşitli kısıtlamalara yol açan farklı özelliklere sahiptir. Çizelge 2.1.'de sabit mıknatıslı malzemelerin özellikleri gösterilmektedir [12].

Çizelge 2.1. Sabit mıknatıslı malzemelerin karşılaştırılması.

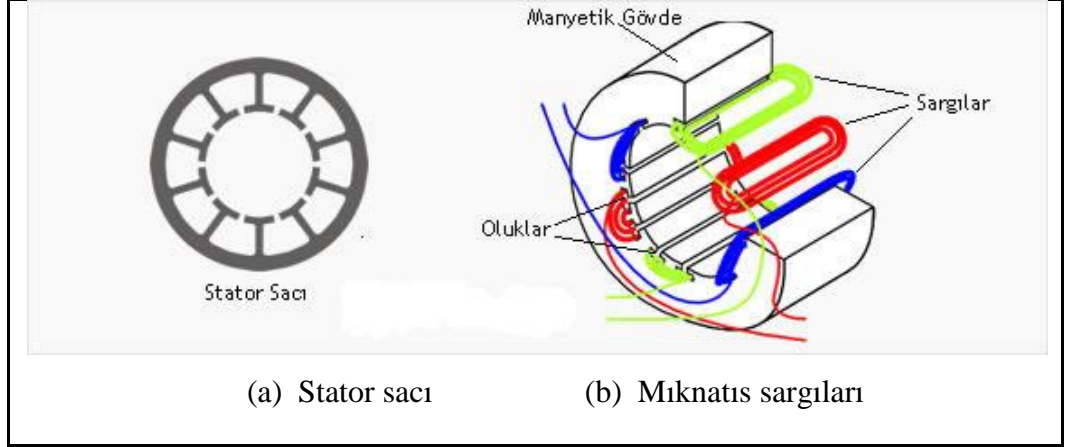
Ferit	Daha ucuz ve kolay kırılabilir.
Al-Ni-Co	Büyük boyutlu sabit mıknatıslar içindir. Sağlam ve uzun ömürlüdür.
NdFeB	Pahalı ve dayanıklıdır, Performansı yüksektir.

Rotor kutuplarının sayısı dönüş hızına ters orantılıdır. Çoklukla fırçasız do ru akım motorları dört, altı veya sekiz kutuplu makinelerdir ancak piyasada çoklukla tercih edilen dört kutuplu makinelerdir.

2.1.3. Stator Sargıları

Stator faz sargılarının sarıldığı motor kısmıdır. Stator, demir kayıplarını azaltmak için silisli saçlardan yapılmıştır. Stator sargılarının sarıldığı çıkık sayısı, çift kutup sayısının üç katına eşittir. Statorun boyutları, motorun gücüne bağlı olarak

de i mektedir. Güç arttı 1 zaman, motorun üzerinden geçen akım ve buna ba lı olarak kablo kesiti artar. Artan kablo kesiti, sargıların sarıldı 1 statorun boyutlarının büyümesine neden olur [13]. FDAM'ın örnek bir stator yapısı ekil 2.2. (a) ve (b)'de verilmektedir.



ekil 2.2. Statorun yapısı.

Fırçasız do ru akım motorları genel olarak üç fazlıdır ancak bu her zaman geçerli değildir. Özellikle düşük güç gerektiren so utma uygulamaları gibi ucuz maliyetli uygulamalarda iki ya da tek fazlı olarak da kullanılmaktadırlar. Diğer yandan yüksek güçlü uygulamalarda da üçten fazla kutuplu olarak kullanılmaktadırlar.

2.1.4. Rotor ve Yapısına Göre Çe itleri

Sabit mıknatıstan oluşan ve motorun dönen kısmıdır. Rotorun sabit mıknatıstan yapılmı olması, motorda kolektör ve fırça kullanılmadığı anlamına gelir. Bunun sonucu olarak da ark olayı olmaz, bakım gerektirmez ve sürtünme kayıpları azalır.

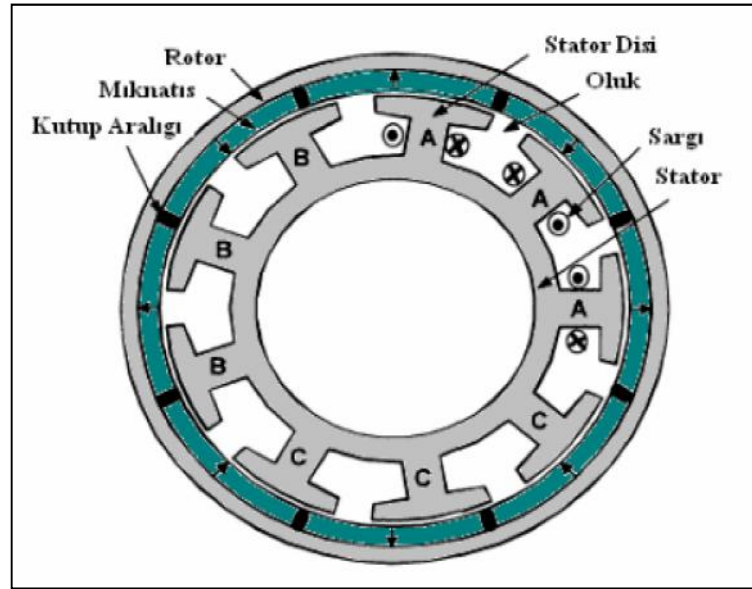
Fırçasız do ru akım motorları rotorunun yapısına göre üç çe ide ayrılırlar. Bunlar;

- Dört rotorlu fırçasız do ru akım motorları
- Disk tipi fırçasız do ru akım motorları
- Çten rotorlu fırçasız do ru akım motorları

2.1.4.1. Dıştan Rotorlu Fırçasız Doğru Akım Motorları

Rotorun, statorun dışına yerleştirildiği dış rotorlu fırçasız doğru akım motoru en çok kullanılan yapılardandır. Bu tip motorlarda endüvi sargılarını taşıyan stator iç kısmında, sürekli mıknatısların bulunduğu rotor ise dış kısmında serbest olarak dönmektedir. Stator ve rotor yapısı olarak sabit mıknatıslı fırçalı doğru akım motorlarına benzemektedir.

Şekil 2.3.'te dıştan rotorlu fırçasız doğru akım motorunun yapısı verilmektedir. Bu yapıda mıknatıslar rotora gömülü olarak yerleştirilenden savrulmaya karşı oldukça dayanımlıdır. Aynı zamanda stator sargılarının dış yüzeyde olması seri üretimde sarım işlemi oldukça kolaylaştırmaktadır.



Şekil 2.3. Dıştan rotorlu FDAM'ın genel yapısı.

Dıştan rotorlu fırçasız doğru akım motorlarının kullanıldığı uygulamalarda içten rotorluya göre yüksek akı yoğunluğu gerektirmediğinden ferit mıknatıslar daha fazla kullanım alanı bulmaktadır. Mıknatısların kırılma problemi dıştan rotorlu yapıda karşılaşılan diğer bir problem rotordaki dengesizliklerin yaratacağı sorunlardır. Rotordaki küçük dengesizlikler, ancak hızlarında bile iç rotorlu yapıya göre büyük olan etkisiyle titreşimlere neden olmaktadır. Bu tip motorlar özellikle fan ve çamaşır

makinesi uygulamalarında, yüksek eylemsizlik nedeni ile ani yük değişimlerinde, hız sabitliğini koruma özellikleri nedeniyle geniş kullanım alanı bulmaktadırlar [14,15].

Bu tip motorlar arasında tekerlek içi (hub, wheel hub, in-wheel) motorlar girer. Tekerek içi motorlar elektrikle çalışan taksi, otobüs, bisiklet, elektrikli mobilet gibi çeşitli araçlarda kullanılmaktadır.

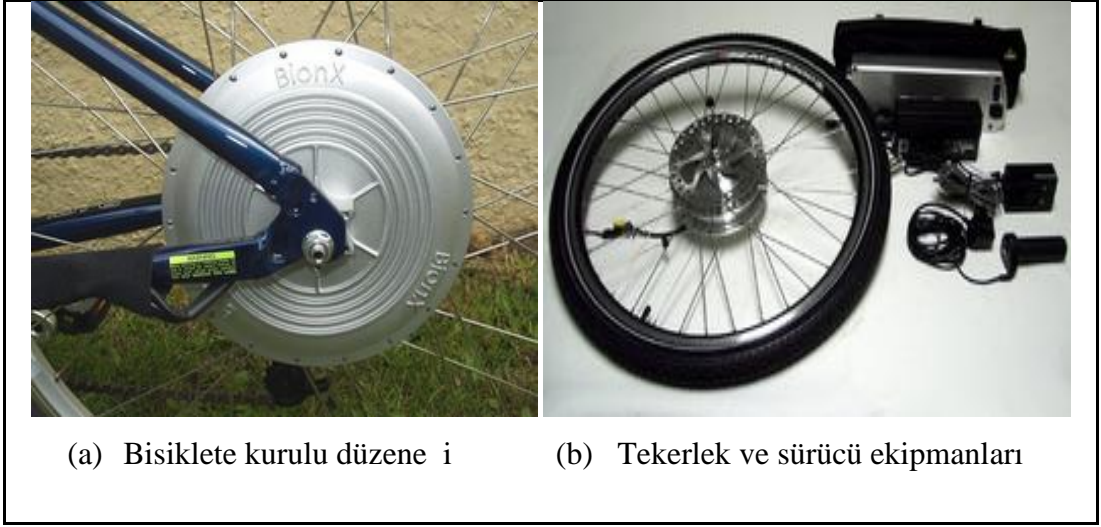
Tekerlek İçi Motor ve Mekanizması

Tekerlek içi motorda oluşan manyetik alanlar, motorun sabit mıknatıslı bobinlerine verilir. Tekerek dönüşü; oluşan manyetik alanlarla motorun dış parçasını takip ederek yapar. Bir fırçalı motorda, motorun dönen kısmı fırçalara temas ederek enerji transferini gerçekleştirirken fırçasız motorda ise sabit ve hareketli parçalar fiziksel bir temas olmadan enerjiyi transfer eder. Tekerek içi motorda fırça sistemi olmamasına rağmen fırçalı motorlardan daha pahalı, daha verimli ve daha uzun ömürlüdür.

Elektrik motorları başlangıçta en yüksek torka sahiptir. Bu motorları ideal hale getirir. Çünkü elektrik motorları başlangıçta çok yüksek torka ihtiyaç duyarlar. Daha çok içten yanmalı motorlarda kullanılan hızlandırma (rev up) işlemi elektrikli motorlarda gereksizdir. Elektrikli motorların en büyük torku motor dönmeye başladığı anda olur. Bu nedenle tekerlek içi motor ve diğer elektrik motorlarında anizman sistemine gerek yoktur [16].

Tekerlek içi motorlar dünyanın değişik yerlerinde, özellikle Asya ülkelerinde elektrikli bisikletlerde ve elektrikli mobiletlerde (scooter) yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tekerlek içi motoru kontrol edebilmek için elektronik bir kontrol sistemine ihtiyaç vardır. Şekil 2.4. (a)'da tekerlek içi motorun bisiklete kurulumu düzeni verilmiştir. Şekil 2.4. (b)'de ise görüldüğü gibi sürücü, gaz kolu, farlar gibi bisiklet ve mobiletlere uygun olarak tasarlanan çeşitli kontrol sistemleri vardır. Bunların yanında taksi ve otobüs içinde üretilen daha güçlü motorları da mevcuttur.



ekil 2.4. Tekerlek içi motorun genel görünümü.

Tekerlek içi Motorun Geleneksel Araç Motorları ile Karşılaştırılması

Enerji Verimliliği: Enerji verimliliği tekerlek içi motorların doğrudan sürüşünün en önemli avantajlarından bir tanesidir. Geleneksel araçlar tekerleklere; motora bağlı bir merkezden güç gönderen mekaniksel yapılar kullanır. Tekerlek içi motorlarında ise tekerlek içine yerleştirilmiş elektrik motoru, herhangi bir mekaniksel iletim olmadan çalışır. Böylece mekaniksel nedenlerden oluşan tüm kayıplar önlenmiş olacaktır.

Sürüş Kontrolü (drive by wire): Bu sistem tekerlek içi motorlarda elektronik fren kontrolü ile araçlara çeşitli fırsatlar sağlar. Bunlar;

- Aktif seyir kontrol; hareket halindeyken öndeki araç ile arasındaki mesafeyi koruyabilir.
- Çarpma engelleme; hareket halinde otomatik frenleme yapılarak çeşitli çarpma ve çarpımlardan kaçınılabılır.
- Acil fren yardımı: araç acil durmaları algılayarak en fazla frenlemeyi uygulayabilir.

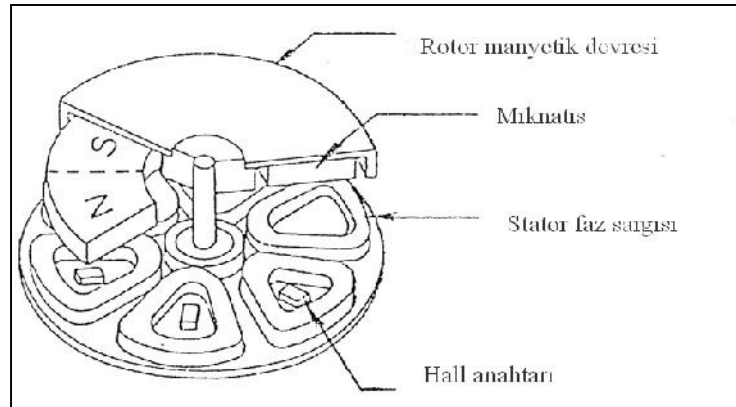
- Aktif yazılım farklılıkları; her bir tekerle in ya da ba ka bir deyi le motorun hızı, araçtaki di er tekerleklere göre ayarlanır.
- Fren yönlendirme; yazılım ile yönlendirme asistanı ayarı yapılır. Asistan artlara uygun olarak hangi motoru frenlemesi gerekti ini kendisi yapar.
- Aktif fren dengesi; tüm motorlar birbirleriyle dengeli olarak frenleme sistemini çalı tırır.

A ırlık tasarrufu: Akslar, sürü aftları, difransiyeller, vites kutuları ve mekaniksel iletim yapıları ortadan kaldırılarak önemli bir a ırlık tasarrufu ve imalat fiyatı tasarrufu sa lanır.

2.1.4.2. Disk Tipi Fırçasız Do ru Akım Motorları

Sürekli mıknatıslar, disk ekindeki rotorun bir yüzeyine yerleştirilmiştir. Stator sargıları, mıknatıslara karşılıklı gelecek şekilde ekildedir. Stator sargıları baskılı devre ekinde imal edilebilir [17].

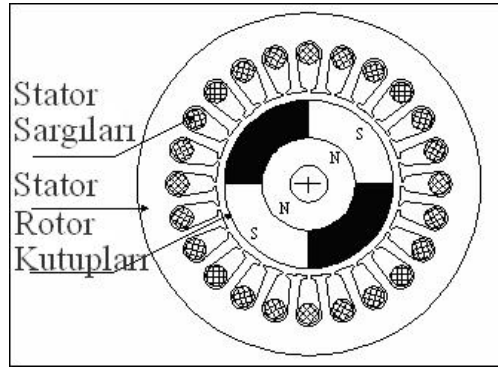
Bu tür makineler düşük hızlar için uygundur. 1000 dev/dak'ın üzerindeki hızlarda stator veya rotor disk çeli inde ısı problemleri çıkabilir. ekil 2.5.'te disk tipi makine verilmektedir.



ekil 2.5. Disk tipi FDAM.

2.1.4.3. ten Rotorlu Fırçasız Do ru Akım Motorları

Motorun dönen kısmı yani rotoru motorun i kısmındadır. Gövde sabittir. Bu motorların genellikle hızları di er tür olan dı tan rotorlu motora göre daha yüksektir. Buna kar ılık motorların gerilim ba ına ürettikleri tork daha azdır. Rotorun ite olması birçok kullanım kolaylı ı sa lar. Grn olarak standart fırçalı motorlara benzerler. ekil 2.6.'da içten rotorlu fırçasız do ru akım motorlarının iç yapısı verilmektedir.



ekil 2.6. ten rotorlu FDAM.

Bu motorlar fırçalı motorların kullanıldı ı bütün yerlerde kullanılabilirler bunlara ek olarak, Motor komtatrlerinden olu abilecek arkların (kıvılcımların) tehlike olu turdu u sistemlerde, daha yüksek enerji yo unlu u gerektiren i lerde, yüksek hız isteyen sistemlerde kullanılırlar.

2.1.5. Fırçasız Do ru Akım Motorunun stnlkleri ve Zayıf Yönleri

Fırçasız do ru akım motorları, di er elektrik makineleriyle kar ıla tırıldı ında a a ıda sıralanan üstünlüklere sahiptir [18].

- Sürekli mıknatıs olarak nadir topraklı veya Ferit malzeme kullanılan makineler, asenkron makinedeki rotor kafesine göre aynı güç için daha d k eylemsizli e sahip olduklarından referans de i imlerine veya verilen elektriksel momente kar ı daha hızlı cevap verirler. Asenkron makineyle

kar ıla tırıldı ı zaman daha küçük bir eylemsizli e sahiptir. Moment/Eylemsizlik oranı daha yüksektir.

- Yüksek verim ve kolay so utma: Sürekli mıknatıslı makineler bir asenkron makineden daha yüksek bir verime sahiptir. Sürekli mıknatıslı motorlarda ihmal edilebilir rotor kayıpları olmasına kar ılık, asenkron makinada rotor kayıpları çalı ma kaymasına ba lı olarak oldukça fazla olabilir. Bu kayıplar aynı zamanda önemli bir ısı kayna ı oldu undan so utmanın yeterli olmadı ı ortamlarda çalı ma akımlarını sınırlar. Ayrıca fırça ve kolektörlerden kaynaklanan mekaniksel sürtünme kayıpları için ilave bir moment üretimine gereksinim duyulmaması verimi arttıran di er bir faktördür. Do ru akım motorlarında enerji dönü ümü endüvi iletkenlerinde olu tu undan ısı transferini gerçekle tirmek zordur. FDAM'lerde akım ta ıyan iletkenler statorda bulundu undan ısının dı ortama transferi daha kolay olmaktadır.
- Asenkron makinelerde uyarma alanı için endüktif karakterli mıknatıslama akımları gereklidir. Bu akım de eri sabit gerilim/frekans oranı için sabit bir de erdedir ve makinenin güç katsayısının dü mesine, stator elektriksel kayıplarının artmasına dolayısıyla verimin dü mesine neden olur. Sürekli mıknatıslı makinelerde uyarma rotordaki sabit akılı mıknatıslarla sa landı ndan bu olumsuzluklar giderilmi olur.
- Fırçasız do ru akım motorunun güç yo unlu u yüksek, yani yüksek moment/akım oranına sahiptir. Bu yüzden aynı kapasitedeki bir asenkron makineden daha küçük ve hafiftir. Bu durumda, motor hacminin önemli bir sınırlama oldu u hallerde sürekli mıknatıslı makinelerin tercih edilmesi sonucunu do urmaktadır.
- Dü ük gürültü seviyesi: Fırçasız do ru akım motorlarında fırça ve kolektör bulunmadı ndan, mekaniksel gürültü seviyesi oldukça dü üktür. Komutasyon elektronik olarak gerçekle tirilmektedir.

- Kollektör ve fırça grubu içermedi inden kollektörlü makinelere göre bakım gereksinimi oldukça azdır, bu durum aynı zamanda sistem güvenilirli inin ve ömrünün artmasını da sa lamaktadır.
- Fırçasız do ru akım motoru, klasik fırçalı do ru akım motor yapısında, yani çıkı momenti do rudan motor akımıyla orantılı oldu undan asenkron ve senkron makinelere göre kontrolü oldukça kolaydır. Bu durum üretici açısından, karma ık kontrol algoritmaları içermedi inden, sistemin toplam maliyetinin azalmasını da sa lamaktadır.

Bütün bu üstünlüklerine ra men fırçasız do ru akım motorları bir takım olumsuz özelliklere de sahiptir.

- Yüksek enerjili mıknatısların fiyatlarının ve üretim giderlerinin yüksek olması nedeniyle fırçasız do ru akım motorlarının maliyetleri asenkron ve do ru akım motorlarına göre oldukça yüksektir. Aynı zamanda sürekli mıknatısların çalı ma sıcaklık aralı ı sınırlıdır.
- Uzun zaman süresince kullanılan sürekli mıknatısların, atmosferik ve termik etkiler sonucu kalıcı mıknatısiyetleri azalmaktadır. Mıknatis malzemelerinin sıcaklı a olan duyarlılı ı ve demagnetize olması riski sistemin güvenilirli ini de azaltmaktadır.
- Sürekli mıknatıslar sabit bir uyarma sa ladı ndan, fırçasız do ru akım motorlarının alan zayıflatma bölgesinde çalı maları sınırlıdır, bu bölgede kontrol daha zordur ve hız sınırlaması gereksinimi bulunmaktadır.
- Sürekli mıknatıslı fırçasız do ru akım motorları, motor sargılarının komutasyonu için mekanik rotor konum algılayıcılarına ihtiyaç duyarlar. Sinüs biçimli akım ve gerilimli makinelerde, konum yüksek hassasiyetli konum algılayıcılarıyla, trapezoidal gerilim endüklenen makinelerde sargılar belirli durum ve aralıklarla kare dalga akımla beslendi inden rotor konumunu elektriksel olarak 60 derece aralıklarla algılanmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

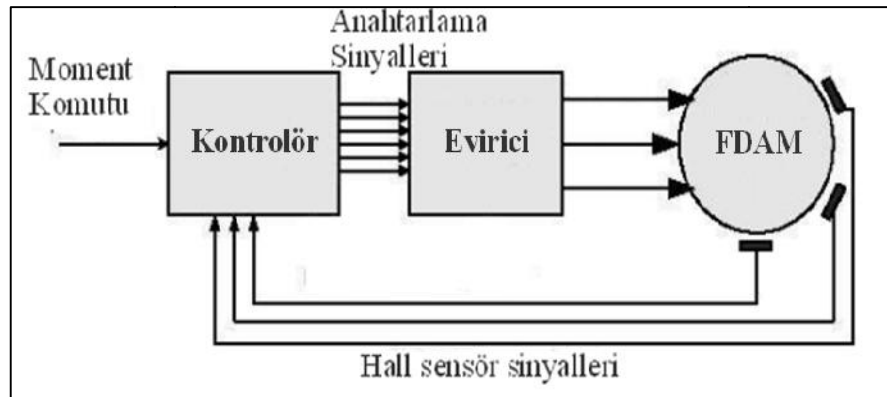
Konum algılayıcıları özellikle uygulama, performans, seri üretim ve maliyet açısından tahrik sistemlerinde çe itli kısıtlamalar meydana getirmektedir.

Bütün bu üstünlük ve sakıncaları incelendi inde, fırçasız do ru akım motorları uygulamanın çe idine göre farklılık göstermektedir. Yani tercih edilecek FDAM'lar yapılacak olan uygulamanın amacına ve kullanım alanlarına göre farklı olmaktadır.

2.2. FIRÇASIZ DO RU AKIM MOTORLARININ KONTROLÜ

Motor kontrol uygulamalarında rotorun açıs al konumunu ve hızını algılamak için hall sensörler ya da enkoder bilgileri okunarak yapılabilir. Fırçasız do ru akım motorlarında, elektriksel senkronizasyon için anahtarlanması gereken fazın belirlenmesinde, hall etkili pozisyon sensörleri kullanılır. Yüksek performanslı sürücüler için genellikle, daha yüksek çözünürlü e sahip optik enkoderler veya resolverler kullanılır. Ancak bu mekanik pozisyon sensörleri, gerçek uygulamalarda bazı problemlere yol açar. Mekanik pozisyon sensörleri ile ilgili ilk problem, sensörlerin pahalı olmasıdır. Rotor pozisyon sensörlerinin yüksek maliyeti, ev aletleri ve toptan üretim endüstrisi gibi maliyete duyarlı uygulamalar için bir sorun te kil etmektedir.

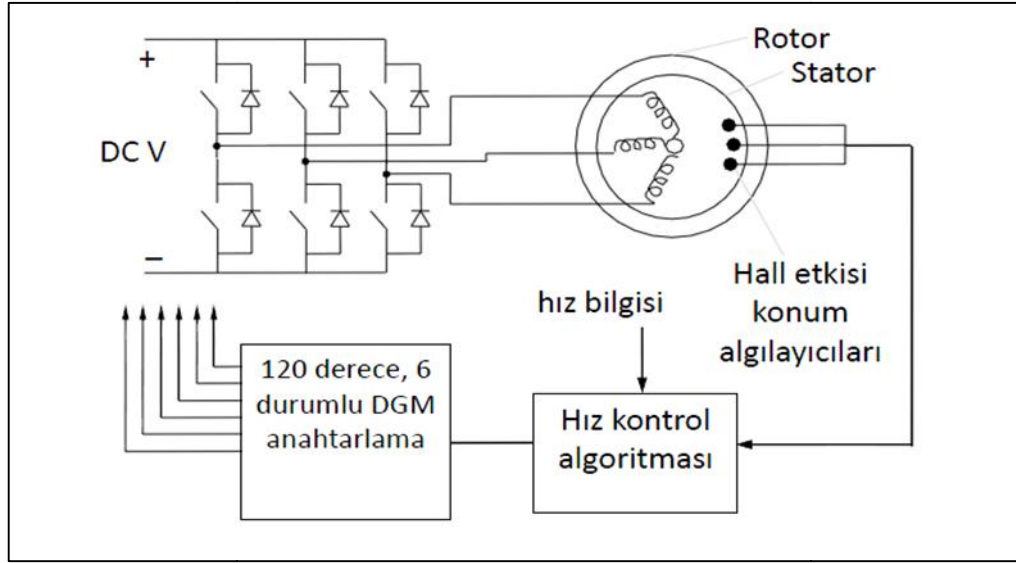
Fırçasız do ru akım motor sürücü elemanları temel olarak fırçasız do ru akım motoru, mikrodenetleyici ya da farklı türde i lemcilerden olu an elektronik kontrol sistemi ve güç dönü türücü elemanlardan olu ur. Güç dönü türücüler, ebekeden gelen gerilimi fırçasız motora ya da aküye ba lar.



ekil 2.7. FDAM sürücü blok diyagramı.

Kontrol sisteminde hall sensörler okunarak açısız hız hesaplanır ve hangi fazın tetikleneceği belirlenir. Bu işlemlerden sonra temel eleman olan fırçasız motor bu sisteme bağlanarak çalıştırılmı olur. ekil 2.7.'de FDAM'lerin blok diyagramı verilmektedir. ekildeki eviricide üç faz anahtarlama yapılmaktadır.

ekil 2.8.'de verilen FDAM'lerin sargıları yıldız eklindedir. Yüksek verim hedeflenen ve bu yapıya sahip motorun sürülebilmesi için rotor pozisyonları ile motorun tetiklenecek fazı belirlenmektedir. Bu amaçla stator üzerine rotorun hangi pozisyonda olduğunu öğrenmek için üç adet manyetik alan algılayıcıları konulmu tur. Konulan bu üç adet manyetik algılayıcı; rotorun mıknatıslarının hangi konumda olduğunu bilgisini sürücü kartına gönderir. Bu amaçla hız bilgisini almak ve anahtarlamaı do ru yapmak için bu algılayıcılar kullanılmaktadır.

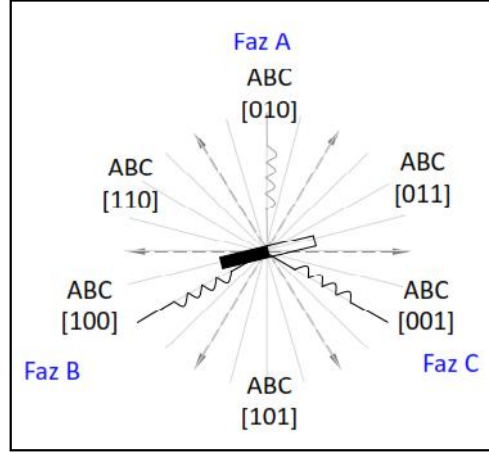


ekil 2.8. FDAM sürücülerinin temel yapısı.

Mosfetler; mikrodenetleyici ile okunan hall sensör bilgilerine göre uygun sıra ile tetiklenir. Tetikleme yanlı sırada oldu unda ya da mosfetlerden bir ya da bir kaç zarar gördü ünde motor teklemeye ba layacaktır.

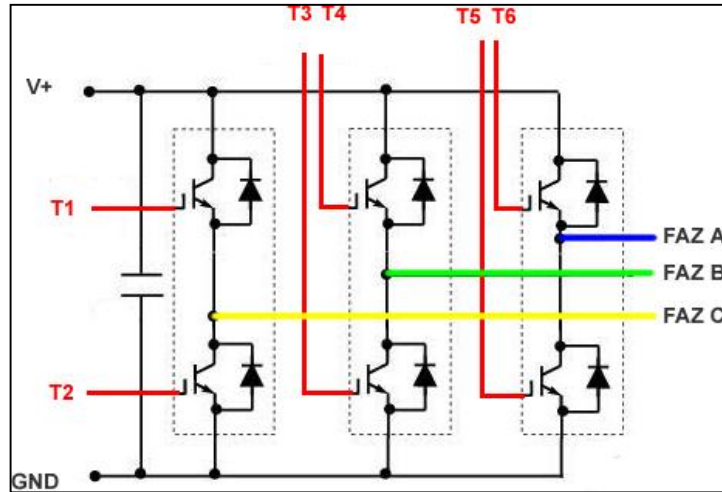
ekil 2.9.'da üç fazlı FDAM'lerin yıldız bağlantısı verilmi tir. ekil 2.8.'de verilen motoru hareket ettirebilmek için hall algılayıcılarından alınan bilgi ile altı adımda

tetikleme yapılmaktadır. Hall algılayıcıları 1 (+5 volt) ve 0 (0 volt) bilgilerini içermekte ve mıknatısların durumlarını sürücü karta bildirmektedir.



ekil 2.9. Üç fazlı yıldız bağlantısı.

Üç fazlı tekerlek içi motoru sürmek için kullanılan evirici devrenin içindeki yarım köprü mosfet bağlantısı ekil 2.10.'da verilmiştir. Evirici devrede V+ ve GND uçları devrenin besleme gerilimini oluşturmaktadır. Motorun yapısına göre uygulanan gerilim de değişmektedir.



ekil 2.10. Yarım köprü tipi mosfet sürücü devresi.

FAZ A, FAZ B, FAZ C uçları motorun uçlarına bağlanacak, T1, T2, T3, T4, T5, T6 mosfetleri ise mikrodenetleyiciden gelen sinyaller ile tetiklenecektir.

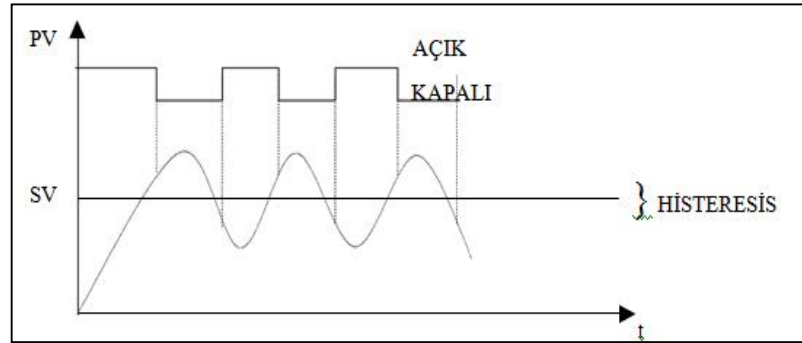
BÖLÜM 3

ENDÜSTRİYEL YEL KONTROL YÖNTEMLERİ

Endüstriyel uygulamalarda çeşitli denetim yöntemleri mevcuttur. Kontrol uygulamalarında sıklıkla tercih edilen yöntemlerin başlıcaları aç – kapa (on-off) denetleyici, PID denetleyici ve bulanık mantık denetleyicileridir.

3.1. AÇ – KAPA DENETİM SİSTEMİ

Bu teknik; en basit denetim tekniğidir. Bu teknikte ölçülen değer (PV), set değerinin (SV) üzerinde olduğunda çıkış sinyali açılır, set değerinin üzerine çıkmasıyla çıkış sinyali kapanır. Aç-kapa denetim sinyalinin grafiği Şekil 3.1.'de verilmektedir.



Şekil 3.1. Aç-kapa denetim yöntemi cevap grafiği.

Sistemlerin ataleti nedeniyle, denetim gücü (çıkış) kesildiği halde, ölçülen değer yükselmeye devam eder ve set değeri üzerinde sürekli bir dalgalanma olur. Dalgalanmanın tepeden tepeye değeri ve sıklığı denetim edilen sürecin dinamiğine bağlıdır. Aç-kapa denetim sistemlerinde genellikle anlattığımız sistemin, histeresis eklenmiş tipi kullanılmaktadır. Set değeri etrafında histeresis bandı oluşturulur, süreç değeri, set değerini geçer geçmez kontrol cihazı çıkışı “kapalı” sinyali üretmez, ancak bu bandı aştıktan sonra çıkış kapatılır. Aynı şekilde, ölçülen değer düşerken, set değerinin altına düşünce de il, histeresis bandının altına çıkınca “açık” sinyali üretilir. Bu sistemin sakıncaları ilk olarak kesinlikle sıklıkla bir

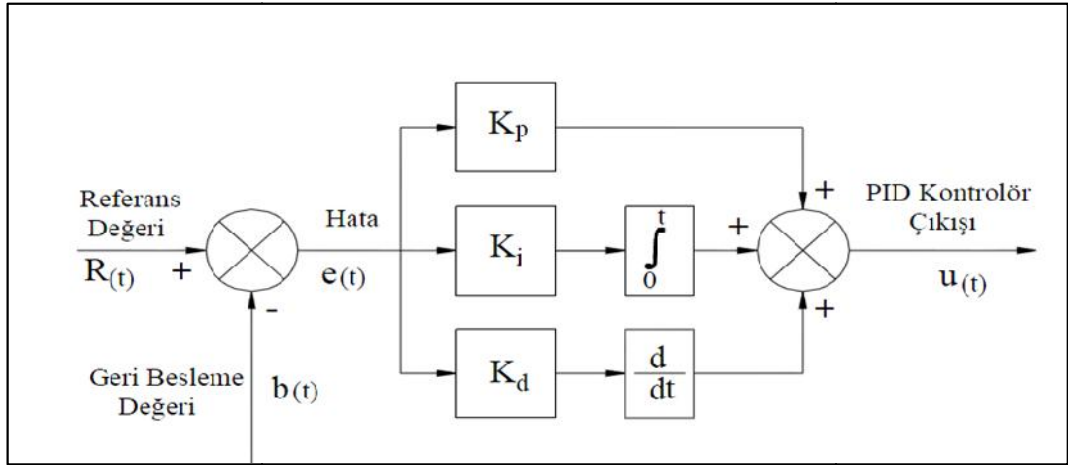
denetim sistemi de ildir. Ölçülen süreç de eri, hiçbir zaman set noktasına sabitlenemez, sürekli salınım olur. kincisi ise bu sistemle a ırı enerji tüketimi olur. Son olarak kritik ve hızlı süreçlerde tümüyle yetersiz denetim gerçekleştirir [19-34].

3.2. PID DENETİM TEORİSİ

Endüstriyel uygulamalarda en çok tercih edilen denetim yöntemi PID'dir PID parametrelerinin kullanılmasıyla oluşturulan, P, PI, PD ve PID denetim sistemleri mevcuttur.

3.2.1. PID Denetim

Oransal, türev ve integral denetleyicilerinin birleşimi ile oluşan PID denetleyicisinin yapısı ekil 3.2.'de verilmektedir.



ekil 3.2. PID denetleyiciye ait blok diyagramı.

PID denetleyici, üç temel kontrol etkisinin üstünlüklerini tek bir birim için birleştirir. Integral etki, sistemde ortaya çıkabilecek kaza durum hatasını sıfırlarken türev etkide, yalnızca PI denetleyici etkisi kullanılması haline göre aynı görelî kararlılı ı için cevap hızını artırır. Buna göre denetleyici sistemde sıfır kalıcı-durum hatası olan bir cevap sağlar. PID denetleyici, diğerlerine göre daha karmaşık yapıda olduğundan daha pahalıdır.

$$u_{(t)} = k_p e_{(t)} + k_i \int_0^t e_{(t)} dt + k_d \frac{d}{dt} e_{(t)} \quad (3.1)$$

PID denetleyicinin çıkışına ait Eşitlik 3.1’de verilmiştir. Eşitlikteki k_p oransal sabiti, k_i integral sabiti, k_d ise türev sabitidir. $u_{(t)}$ PID denetleyici çıkışı, $e_{(t)}$ ise hatanın zamana göre değişimini ifade etmektedir. Eşitlik 3.2.’de blok diyagramı verilen PID denetleyicinin transfer fonksiyonu ise Eşitlik 3.2’de verilmektedir. Eşitlik 3.2’deki $G_{c(s)}$ kontrolcü çıkışı, S ise laplas domeynini ifade etmektedir.

$$G_{c(s)} = k_p + k_d s + \frac{k_i}{s} \quad (3.2)$$

PID denetleyiciyi oluşturan oransal, integral, türev kazançlarının her biri sistemin çalışmasına belirli etkilerde etki etmektedir. Oransal denetleyici, yükseliş zamanının azalmasına etki eder ancak sürekli rejim hatasını ortadan kaldırmada asla etkili değildir. Integral denetleyici, sistemin sürekli rejim hatasını ortadan kaldırır fakat geçici rejim cevabını kötüleştirebilir. Türev denetleyici, sistemin kararlılığını artırır, zamanı azaltır ve geçici rejim cevabını iyileştirir. Kapalı çevrim sisteminde denetleyicinin her birinin etkisi (k_p, k_d, k_i) Çizelge 3.1.’de verilmektedir [20].

Çizelge 3.1. P., I. ve D. parametrelerinin denetleyici çıkışına etkileri.

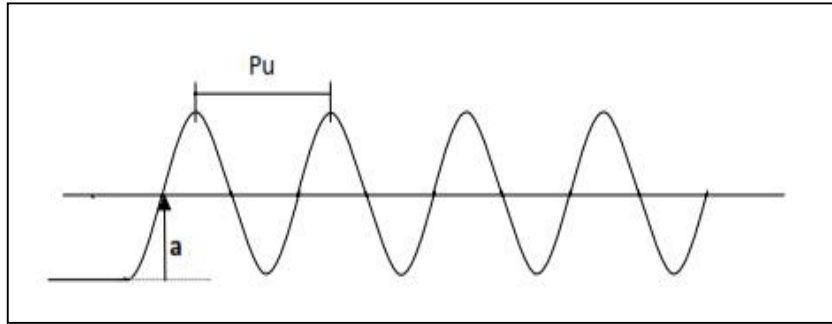
Denetleyici Türü	Kapalı Çevrim Cevabı	Yükseliş Zamanı	Zaman	Yerleşim Zamanı	Sürekli Rejim Hatası
Oransal	k_p	Azalır	Artar	Küçük oranda artar	Azalır
Integral	k_i	Küçük oranda azalır	Artar	Artar	Büyük oranda azalır
Türev	k_d	Küçük oranda azalır	Azalır	Azalır	Önemsizdir

3.2.2. PID Parametrelerinin Hesaplanması

PID denetleyiciler, endüstride kullanılan kontrol türlerinin %90'dan fazlasını oluşturmaktadır. Geçmişte PID parametrelerinin hesaplanmasında frekans cevabı kullanılmıştır. Günümüzde ise parametrelerin hesaplanmasında de i ik metotlar kullanılmaktadır. Ziegler- Nichols metodu, Cochen Coon, röle metodu bunlardan bazılarıdır. Bu yöntemler, kullanımları kolay ve kontrol edilen sistem hakkında çok fazla bilgi gerektirmeyen yöntemlerdir. Fakat bu metotların PID denetleyicide istenen performansı kar ılamakta yetersiz kaldıkları sistemler vardır. Bu yüzden parametrelerin hesaplanmasında birçok yeni metot geli tirilmi tir.

3.2.2.1. Ziegler–Nichols metodu

Ziegler–Nichols metodu PID parametrelerinin hesaplanmasında en yaygın olarak kullanılan metotlardır. Özel bir sistem modeli gerektirmeyen bu metot ilk olarak 1942 yılında J.G. Ziegler ve N.B. Nichols tarafından bir makalede yayınlanmıştır [21].



ekil 3.3. Ziegler-Nichols metoduna ait çıkı ş i areti.

Ziegler-Nichols metoduna ait çıkı ş e risi ekil 3.3.'te verilmektedir. Kapalı çevrim Ziegler–Nichols metodunda sistemin cevap e risinin osilasyona girmesi sa lanır ve osilasyon periyodu ile osilasyon kazancı kullanılarak gerekli PID katsayıları elde edilir. Bu i lemler a a ıdaki sırayla yapılır.

- Sadece oransal denetleyici kullanılır. ntegral ve türev kazançları sıfıra getirilir.

- Denetleyici kazancı (K_p) yavaş yavaş artırılır. Her de i iklikten sonra sistemin kararlı hale gelmesi beklenmeli ve sistem oturduktan sonra K_p tekrar artırılmalıdır.
- Sistem osilasyona girdi i zaman K_p daha artırılmamalıdır ve osilasyon periyodu (P_u) ölçülmelidir. Sistemin osilasyona girdi i andaki kazanç osilasyon kazancı olarak adlandırılır.
- Bu iki de er, K_p ve P_u , kullanılarak P,I ve D katsayıları Çizelge 3.2.’de verilen ifadeler yardımıyla elde edilir [25-26].

Çizelge 3.2. PID sabitlerinin hesaplanması.

Denetleyici Tipi	K_p	K_i	K_d
P	$K_p/2$		
PI	$K_p/2.2$	$P_u/1.2$	
PID	$K_p/1.7$	$P_u/2$	$P_u/8$

3.3. BULANIK MANTIK

Bulanık mantık, insan dü ünme ve algılamasını modellemek için kullanılan güçlü bir yöntemdir. ki de erli önerme yerine bulanık sistemler, çok de erli kümelerle sonuç verir. Bulanık sistemler kuralları saklayıp dilsel giri ten dilsel çıkı a örneklenmi fonksiyonları belirler. Klasik mantı ın dayandı ı temel varsayım “her önerme do ru veya yanlı ” eklindedir. Bu Aristo’dan beri tartı ma konusu olmu tur. Aristo “Temel Varsayım” adlı tezinde gelecek artlara ba lı olarak olayların üpheli do ruluk durumlarından bahseder. Bahsetti i gelecek olaylar hakkındaki önermeler aslında ne do ru ve ne de yanlı tır. Fakat iki durumun da olması imkân dâhilindedir. Bulanık kümeleri konusu ilk defa Lotfi A. Zadeh tarafından 1965 yılında ortaya atılmı tır [19,24]. Zadeh’in bu çalı ması u gerçe i kuvvetlendirmi tir ki, insanların bazı sistemleri, makinelerden daha iyi kontrol edebilmelerinin bir sebebi, insanların kesinlik ifade etmeyen bir takım bilgileri kullanarak karar verebilme özelli ine sahip olmalarındandır. Dolayısıyla e er bu özellik sistemlerin modellenmesinde

kullanılırsa, tasarlanan denetleyicilerin performansının artırılması mümkün olacaktır. Bulanık kümelerinin, bulanık mantık denetleyici (Fuzzy logic controller) olarak pratik uygulamalarda kullanılması 1970'li yıllarda gerçekleşmiştir. Bulanık mantık ile ilgili yapılan ilk uygulama 1974 yılında Mamdani tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile Zadeh'in dilbilimsel kural yaklaşımının bilgisayar tarafından kolaylıkla imlenen bir konu olduğunu kanıtlamıştır. 1982 yılında Danimarka'daki bir çimento fırınının bulanık mantık ile kontrolü ise endüstriyel olarak yapılan ilk uygulamadır [20,22]. Bunlar bazı küçük çaplı endüstriyel uygulamalardır. İlk bulanık çipi ise 1980'lerin başında AT&T Bell laboratuvarlarında Togai ve Watanabe tarafından geliştirilmiştir [28].

3.3.1. Bulanık Mantığın Üstünlük ve Zayıf Yönleri

Bulanık mantıktan yola çıkılarak kullanılan bulanık denetleyicilerle ilgili bazı üstünlükler, zayıf noktalar ve eleştiriler aşağıda açıklanmıştır.

Üstünlükleri

- Günlük hayatta olduğu gibi belirsiz, zamanla değişen, karmaşık, iyi tanımlanmamış sistemlerin denetimine basit çözümler getirir.
- Sistem basit bir matematiksel modelle tanımlanabilen bir sistemse o zaman geleneksel bir denetim yeterli olacaktır. Ama karmaşık bir sisteme geleneksel bir mantık uygulamak hem çok zor hem de yüksek maliyetlidir. Buna karşılık bulanık mantık denetimi geleneksel mantığa göre sistemi daha iyi analiz edebileceği gibi aynı zamanda da ekonomiktir.
- Bulanık mantıkta değişkenlerin bir ön kısıtlama tabii tutulmaları ve oldukça geniş bir alana yayılan değişkenlerin az sayıda üyelik fonksiyonlarına indirgenmeleri nedeni ile bulanık denetim genellikle daha küçük bir yazılımla daha hızlı bir şekilde sonuçlanır.
- Söz edilen az sayıda değişkenler üzerinde uygulanacak kural sayısı da az olduğundan sonuca ulaşmak daha da çabuk olacaktır.

- Bu durum geleneksel bilgisayar ortamında böyledir. Özel geli tirilmi bir donanım ile sonuca daha da hızlı ula mak olasıdır.
- Bulanık mantık denetiminin sa ladı ı bir di er avantaj ise do rudan kullanıcı giri lerine ve kullanıcının deneyimlerinden yararlanabilmesine olanak sa lamasıdır.

Ele tiriler

Bulanık denetleyicilere yönelik çe itli ele tiriler de getirilmi tir. Bunlardan birkaçı a a ıda sıralanmı tır:

- Bulanık mantık denetleyicilerinin süreç hakkında daha fazla bilgiye ve algılayıcıya ihtiyaç duyması, dolayısıyla hem pahalı hem de daha az güvenilir olmasıdır.
- Bulanık mantık denetleyicilerinin geleneksel denetleyicilere kıyasla gösterdi i yüksek performans do rusal olmayan denetleyici aracılı ı ile de sa lanabilir.

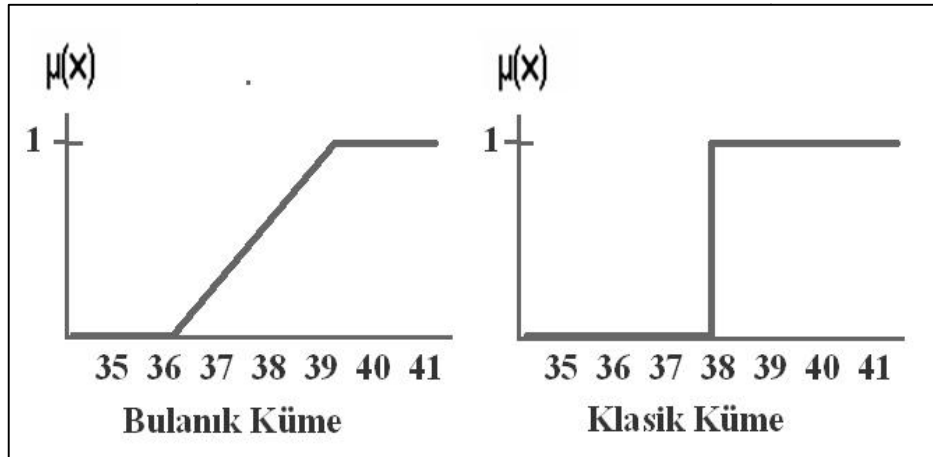
Zayıf Yönleri

- Bulanık denetimde kullanılan kurallar deneyime çok ba lıdır.
- Üyelik fonksiyonlarının seçiminde belirli bir yöntem yoktur. En uygun fonksiyon deneme ile bulunur. Bu da oldukça uzun bir zaman alabilir.
- Denetlenen sistemin bir kararlılık analizi yapılamaz ve sistemin nasıl cevap verece i önceden kestirilemez. Yapılacak tek ey benzetim çalı masıdır.

3.3.2. Bulanık Mantık ın Temel Kavramları

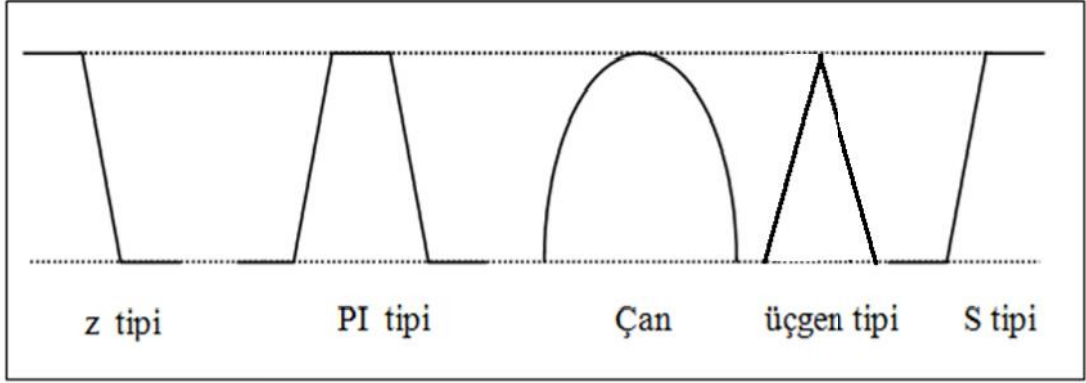
Bulanık mantık, bulanık küme teorisine dayanmaktadır. Bulanık küme teorisi genel bir matematiksel yaklaşımdır. Çözülmesi güç olan problemler genel bir yapıya kavuşturularak daha kolay bir sonuca gidilir. Bulanık küme teorisi kısmi üyeli ve izin veren bir mantık sistemidir. Yani bir kümenin tam üyeli i ile o kümenin üyesi olmama durumları arasında derece derece geçişe izin verir. Verilen bir elemanın bir kümede kısmi üyeli i nin bulunması demek, aynı zamanda bu elemanın bu kümenin üyesi olmama durumunun da kısmen başlaması demektir. Çünkü bulanık küme teorisi, hem tam üyeli i ve hem de hiç üye olmamaya izin verir.

Bulanık mantık ile yapılan bir çözümün ilk aşamasında sistemin giriş ve çıkışlarına, üyelik fonksiyonları tayin edilir. Tipik olarak, bir üyelik fonksiyonu x-y düzleminde bir eksen olarak gösterilir. Bu düzlemde, x-ekseni, giriş ve çıkış değişkenlerinin değer aralığını ve y-ekseni ise 0-1 arasında olmak üzere değişkenin üyelik derecesini gösterir. Bulanık küme ile klasik kümenin karşılaştırılması şekil 3.4.'te verilmektedir.



Şekil 3.4. Bulanık küme ile klasik kümenin karşılaştırılması.

Üyelik fonksiyonları, denetlenen sürecin özelliklerine göre çok değişik biçimlerde kullanılabilirler. Şekil 3.5.'te örnek üyelik fonksiyonları verilmektedir. Hesaplama kolaylığından dolayı en çok üçgen üyelik fonksiyonu tercih edilmektedir.



ekil 3.5. Üyelik fonksiyonları çe itleri.

Bulanık mantık kontrolün dört temel bile ni vardır. Bunlar; bulanıkla tırma, kural tabanı, bilgi tabanı ve durula tırmadır. Bulanık mantık denetleyicinin blok diyagramı ekil 3.6.'da verilmektedir.

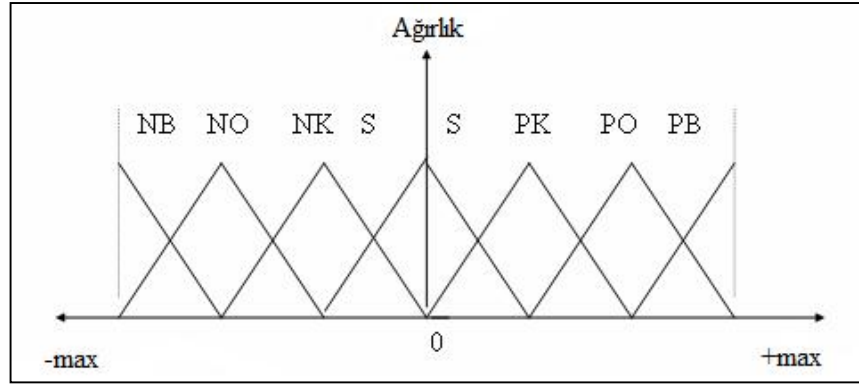


ekil 3.6. Bulanık mantık denetleyicinin temel yapısı.

Burada bilgi tabanı; uygulanacak olan sistemin de i kenlerini ve bu de i kenler hakkındaki bilgileri içerir. Bulanıkla tırma arabirimi, gelen bilgilerin dilsel niteleyicilere dönü türüldü ü bölümdür. Sonuç çıkarım mekanizması, giri ve çıkı bulanık de erlerinin incelenerek bulanık kontrol kurallarının de erlendirildi i bölümdür. Durula tırma arabirimi ise bulanık de erlerin kesin sayısal de erlere dönü tü ü bölümdür.

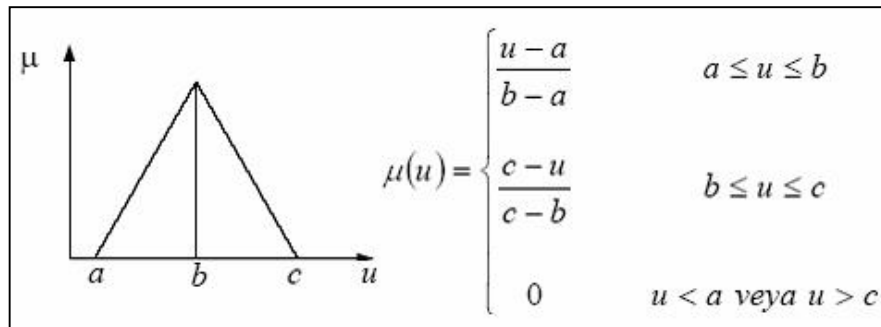
3.3.2.1. Bulanıkla tırma

Sistemden alınan denetim giri bilgilerini dilsel niteleyiciler olan sembolik de erlere dönü türme i lemidir. Bulanık mantık dilsel terimleri genellikle E er-Öyleyse kuralı gibi mantıksal anlamlandırma formu ekinde tanımlanır. Bu kurallar bulanık üyelik i levi olarak bilinen de erlerin bir sınırıyla tanımlanır. Sistemin verimli çalı ması için üçgen, yamuk, çan e risi gibi de i ik ekillerde üyelik i levleri seçilebilir. Sistemde hata, hatanın de i imi ve çıkı için kullanılan yedi bulanık de i kenli üçgen üyelik fonksiyonları ekil 3.7.'de verilmektedir.



ekil 3.7. Yedi tanımlı üyelik fonksiyonları.

Üyelik fonksiyonlarında kullanılacak etiket sayısı 3, 5, 7, 9 olabilir ve uygulamanın amacına göre kullanıcı tarafından en uygun olanı seçilir. ekil 3.7.'deki üyelik fonksiyonlarındaki etiketler; NB: Negatif Büyük, NO: Negatif Orta, NK: Negatif Küçük, PB: Pozitif Büyük, PO: Pozitif Orta, PK: Pozitif Küçük ve S: Sıfır olarak isimlendirilmiştir.



ekil 3.8. Üçgen üyelik fonksiyonu ve sınırları.

Üçgen üyelik fonksiyonunda herhangi bir giri veya çıkı de erinin (u), bulanık kümeye ne kadar üye oldu $\mu(u)$, ekil 3.8. 'de verilmektedir.

3.3.2.2. Kural Tabanı

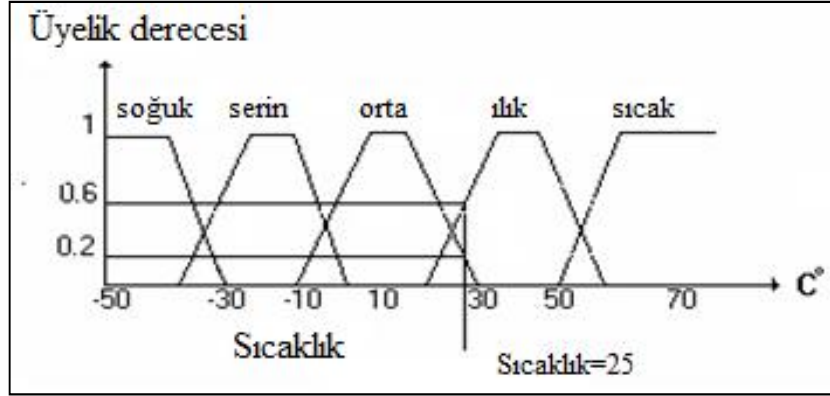
Kural tabanında denetim amaçlarına uygun dilsel denetim kuralları bulunur. Bulanık mantık, makinelere operatörünün ahsi dü üncelerini i leyebilme ve deneyimlerinden faydalanarak çalı abilme imkânı sa lar. Bu, bir sistemin bulanık mantık ile yapılan tasarımında sistemin çalı ma mekanizmasını belirleyecek olan “Kural Kümesi” ile gerçekleşir. Bu kurallar sayesinde, insana ait çıkarım ekleinin veya karar verme tarzının sistemlere uygulanması mümkün olur. Kuralların belirlenmesinde kullanılacak belli bir yöntem yoktur. Ama bir uzmanın bilgi ve deneyimlerine dayanarak, sistemin bir bulanık modelinin kurulmasına göre ya da çe itli ö renen algoritmaları kullanarak kuralları olu turabiliriz. Bir kural yazımı E itlik 3.3'teki gibi yazılır [28].

E er < ön art > se < sonuç > (3.3)

Bulanık mantık sisteminin kuralları sistem bilgisini gösterir. Bulanık mantık kontrol sisteminin kontrol stratejisini ifade etmek için kendisine ait sözcükler olarak dilsel de i kenler kullanılır. ekil 3.9. 'da giri sıcaklı ı atanana be üyelik fonksiyonu verilmiştir. Bu eilde y eksenine her giri de eri için ona kar ılık gelen bütün üyelik fonksiyonlarındaki üyelik derecesini vermektedir. Örne in giri sıcaklı ı $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ olsun. y eksenine bakıldı ında bu giri de eri için ılık ve orta fonksiyonlarındaki üyelik derecesi sırasıyla 0.2 ve 0.6'dır. Bu giri de eri için di er bulanık kümelerindeki üyelik derecesi sıfırdır. Giri ve çıkı üyelik fonksiyonları atandıktan sonra yapılacak i , sistemin davranı nı tanımlamak için bulanık kuralları üretmektir. Bulanık kurallar tipik olarak E er- se eklindedir (E itlik 3.3). Örne in tipik bir bulanık kural olarak;

E er < sıcaklık Dü ük > ve < basınç Orta > ise < güç Hızlı > (3.4)

E itlik 3.4'teki kural; iki varsayım ekinde tanımlanır ve bir karar içermektedir. Bulanık mantıkta varsayımlar Ve i lemi ile kurallar da Veya i lemi ile ayrılır. E itlik 3.4 ile kural tabanı Çizelge 3.3.'teki gibi olu turulmaktadır.



ekil 3.9. Sıcaklık de i keni için üyelik fonksiyonları.

Denetim sürecinde bulanıkla tırma, bulanık çıkarım (karar mekanizması) ve durula tırma a amalarında bu kural tablosundan faydalanılır.

Çizelge 3.3. Hata (e) ve Hatadaki de i ime (de) göre kural tablosu.

e \ de	NB	NO	NK	S	PK	PO	PB
NB	NÇB	NB	NB	NO	NK	NK	S
NO	NB	NB	NO	NK	NK	S	PK
NK	NB	NO	NK	NK	S	PK	PK
S	NO	NK	NK	S	PK	PK	PO
PK	NK	NK	S	PK	PK	PO	PB
PO	NK	S	PK	PK	PO	PB	PB
PB	S	PK	PK	PO	PB	PB	PÇB

3.3.2.3. Karar Mekanizması

Bulanık mantık denetleyici içerisinde karar mekanizması bulanık içirme, bile ke

kural çıkarımları ve cümle ba layıcıları ile ilgilidir. Genel olarak bir bulanık denetim kuralı bir bulanık ili kidir ve bulanık içirme ile açıklanır. Bulanık mantıkta bulanık içermeyi tanımlamanın birçok yolu vardır ve bulanık mantık denetleyici içinde hangi tipin kullanılacağı daha çok sezgisel olarak belirlenir. Mamdani'nin min (minimum kuralı), Larsen'in ürün i lemi (çarpım kuralı), Zadeh'in aritmetik ürün (aritmetik kural) ve Boolean kuralı bulanık içirme kurallarından bazılarıdır. Bu içermeler sırasıyla E itlik (3.5), (3.6), (3.7) ve (3.8)'de verilmektedir. E itliklerde, A ve B sırasıyla V ve Y uzaylarında tanımlanmış olan bulanık kümeleri olan μ_A ve μ_B ise bu kümelerin üyelik i levlerini gösterir [28,29].

$$\mu_{u = AXB} = \int_{V \times Y}^+ \mu_A(u) \cap \mu_B(u) / (V, Y) \quad \text{Minumum kuralı} \quad (3.5)$$

$$\mu_{u = AXB} = \int_{V \times Y}^+ \mu_A(u) \cdot \mu_B(u) / (V, Y) \quad \text{Çarpım kuralı} \quad (3.6)$$

$$\mu_{u = AXB} = \int_{V \times Y}^+ (1 - \mu_A(u)) \cap (1 - \mu_B(u)) / (V, Y) \quad \text{Aritmetik kural} \quad (3.7)$$

$$\mu_{u = AXB} = \int_{V \times Y}^+ (1 - \mu_A(u)) \cup \mu_B(u) / (V, Y) \quad \text{Boolean kuralı} \quad (3.8)$$

Bulanık içirme sonucu elde edilen değer, kural tablosundan dilsel ifadeye çevrilir ve durulama birimine gönderilir.

3.3.2.4. Durula tırma

Bulanık çıkarımın sonucu bulanık bir kümedir. Son çıktı değerinin elde edilmesi için bulanıkla tırılması olan bir değerin durula tırılarak keskin değere dönü türülmesi gerekmektedir. Yani bulanık olabilecek çıkarımların kesin sayılar haline dönü türülmesi gerekir. Bulanık olan bilgilerin kesin sonuçlar haline dönü türülmesi için yapılan i lemlerin tümüne birden “durula tırma” i lemi adı verilir [30]. Durula tırma i leminde maksimum üyelik, a ırlık ortalaması, a ırlık merkezi, maksimumların ortalaması gibi de i lik yöntemler kullanılır.

$$d_u = \frac{\sum \mu(u)u}{\sum \mu(u)} \quad (3.9)$$

Bulanık mantık kontrol uygulamalarında daha çok a ırlık ortalama yöntemi kullanılmaktadır. A ırlık ortalama yönteminde kullanılan denklem ise E itlik (3.9)'da verilmektedir.

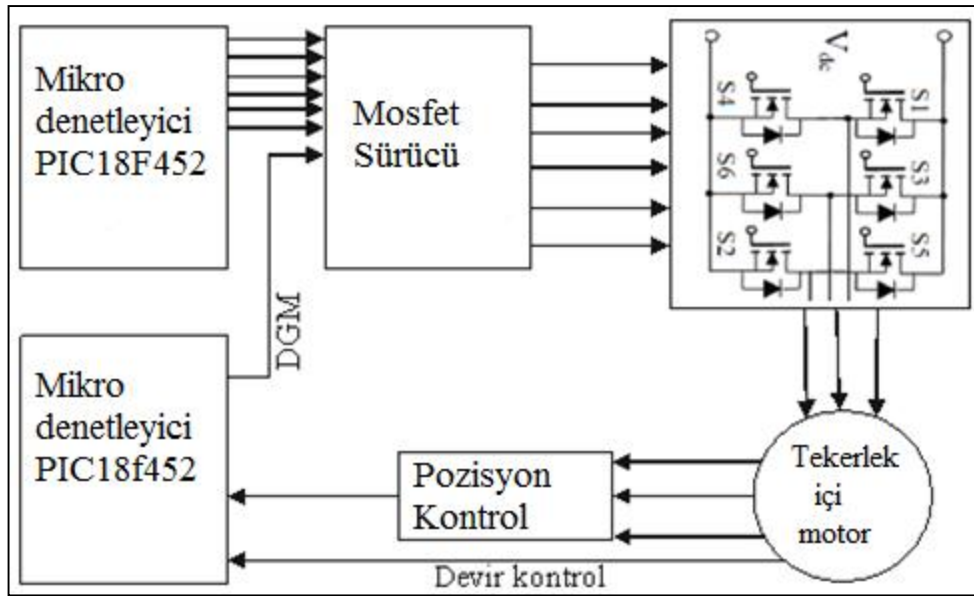
BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOT

4.1. KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLER

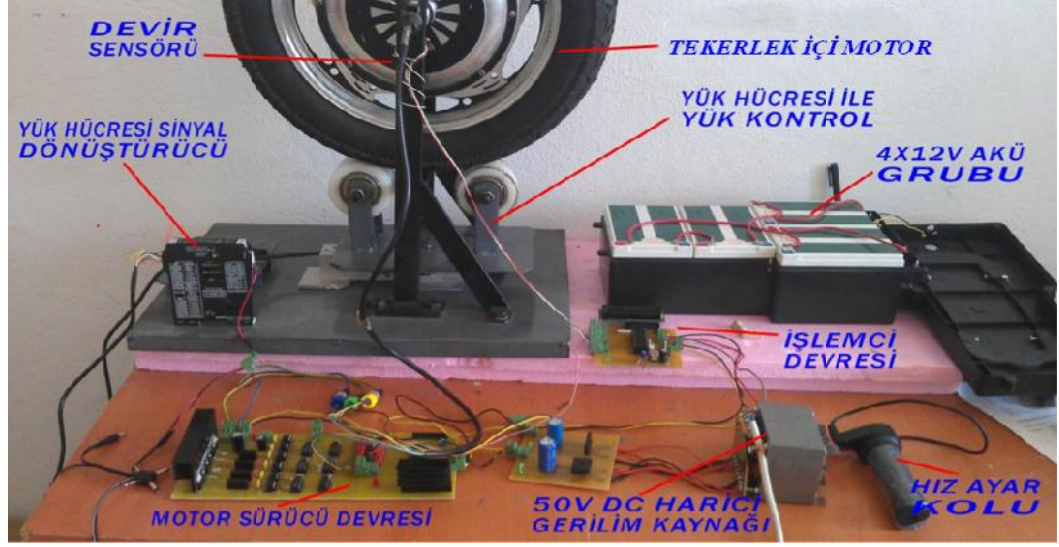
Bu çalışmada kullanılan malzemeler, özellikleri ve tercih edilme sebepleri aşağıda kısaca açıklanmıştır.

4.1.1. Test Düzeneği



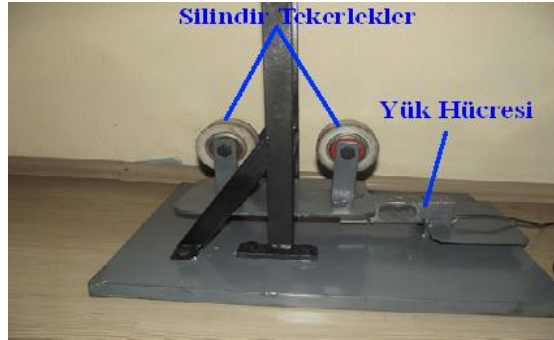
ekil 4.1. Test düzeneği blok diyagramı.

Bu çalışmada motor test düzeneğinin blok diyagramı ekil 4.1.'de, resmi ise ekil 4.2.'de verilmektedir. Sistemde tekerlek içi motorun düz bir zeminde hareket etmesini sağlamak için iki adet silindir kullanılmaktadır. Bu silindirlere motor 30'ar derecelik açıyla temas etmektedir. ekil 4.3.'te tekerlek içi motora temas eden silindirlerin resmi verilmektedir.



ekil 4.2. Test düzene i.

Sistem üzerindeki yük hücresi motorun a ırlı nı hesaplayarak sistemin yükünü kontrol etmektedir. Yük hesabı araçlardaki gibi dört tekerlek üzerinden dü ünülerek her bir tekerlek üzerine dü en yük miktarı yük hücresi ile hesaplanmı tır. Örnek olarak tekerlek içi motora sahip dört tekerlekli bir aracın a ırlı ı 200 Kg ise bu sistem 50 Kg'lık bir yük ile test edilmi tir



ekil 4.3. Tekerlek içi motor test düzene i.

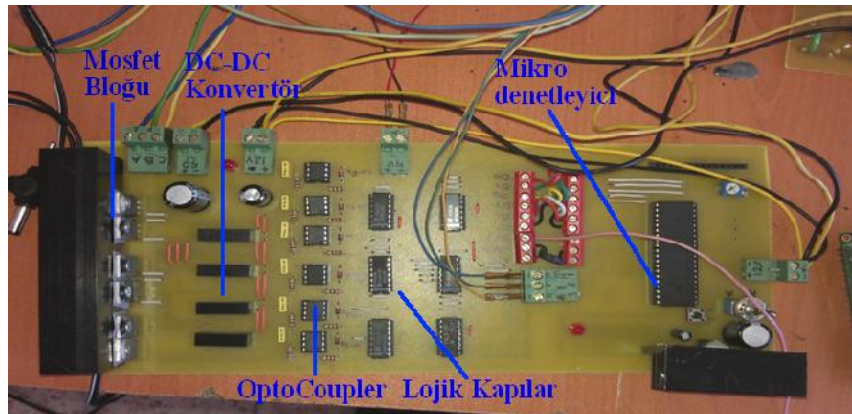
Motorun hızı artırımı enkoder ile anlık olarak takip edilmektedir. ekil 4.4'te devir ölçümü ve enkoderin tekerlek içi motora bağlantısı verilmektedir. Deney düzene inde iki adet elektronik devre tasarlanmı tır. Bunlar; motor sürücü devresi ve işlemci devresidir. Motor sürücü devresi; işlemci devresinde üretilen DGM sinyali ile motor fazlarını tetiklemek için kullanılır. İşlemci devresinde, bulanık mantık ile yazılan kod gömülüdür. Bu kod ile motor hızı uygun devire sabitlenir. Üç çeşit kod

algoritması yazılmıştır. Bunlar; bulanık mantık, PID, ve Aç-Kapa kontrolü eklindedir. Ayrıca i lemci devresi ile sistemin yükü, yük hücresinden gelen verilerle hesaplanmaktadır.



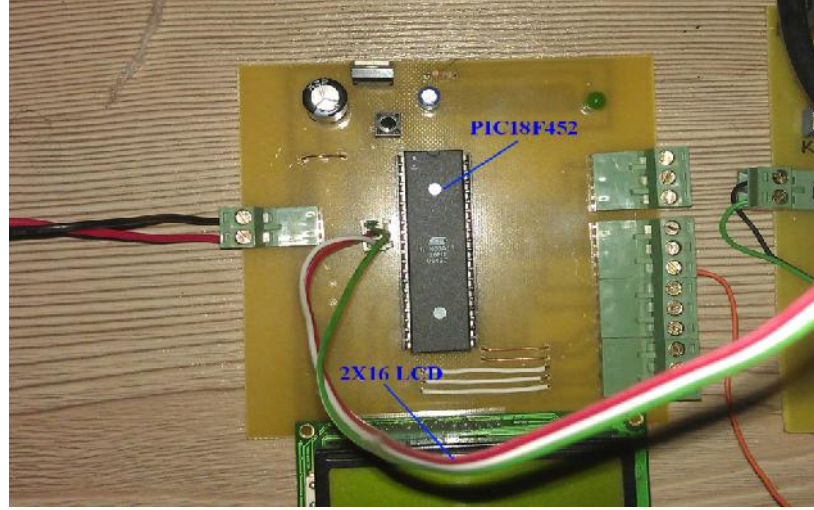
ekil 4.4. Artırımlı enkoder

ekil 4.5.'te motor sürücü devresi verilmektedir. Tekerlek içi motor sürücü devresi; altı adet mosfet, her bir mosfetin i lemci ile yalıtımı için altı tane optocoupler, DGM çö ullama ve izolasyon için lojik kapılar ve mikrodenetleyiciden oluşmaktadır. Mikrodenetleyiciye; hall algılayıcılarından bilgi gelir. Bu bilgi okunarak doğru sıralama ile tetiklenir.



ekil 4.5. Motor sürücü devresi.

ekil 4.6.'da bulanık mantık, PID ve aç-kapa kontrol yöntemleri ile hazırlanan yazılımların yüklendiği denetleyici devre verilmektedir. Mikrodenetleyici olarak MicroChip firmasının PIC18F452 entegresi kullanılmaktadır.



ekil 4.6. Denetleyici devre.

Çalı madaki ölçüm sonuçları dört kanal PicoScope 3423 ile kaydedilmi tir. Ölçüm olarak birinci kanaldan akım, ikinci kanaldan ise devir ölçülmü tür. Kullanılan ölçüm cihazın resmi ekil 4.7.'de verilmektedir.



ekil 4.7. Dört kanal PicoScope.

PicoScope osiloskopları PicoScope yazılımları ile desteklenmektedirler (osiloskop, spektrum analizi ve ölçümü). Aynı zamanda bilgisayarınızı bir veri kaydedicisi olarak kullanmanızı sa layan PicoLog veri yakalama yazılımı ile desteklenmektedir [31].

Çizelge 4.1. Picoscope 3423 teknik özellikleri.

Çözünürlük	12 bit
Kanal Sayısı	4
Gerilim Aralığı	± 20 mV to 50 V
Akım Yük Koruması	± 100 V
Örnekleme Oranı	20 MS/s (1x Kanal) 10 MS/s (2x Kanal) 5 MS/s (3x ve 4x Kanal)
Arayüz Yazılımı	PicoScope Automotive 6
Analog Bant Geniliği	10 Mhz
Arabellek Boyutu	512 örnek

Çizelge 4.1.'de çalışmada kullanılan Picoscope 3423 ölçüm cihazının teknik özellikleri verilmektedir.



ekil 4.8. Pens ampermetre.

Akım ölçümü ekil 4.8.'de resmi verilen pens ampermetre ile alınmış ve ölçüm sonuçları PicoScope ölçüm cihazı ile bilgisayara kaydedilmiştir. Teknik özellikleri olarak, 0-60 amper akım ölçümü, dönüştürme oranı 1 mV kademedeki 10 mA veya 1 mV 100 mA'dir, frekansı 20 kHz ve doğruluğu ise 40 Hz ile 2 kHz arasında % 1, 2 kHz ile 10 kHz arasında %4 ve 10 kHz ile 20 kHz arasında %6 hata ile ölçüm verilebilir.

Enkoder yani sinyal üreticiler, baskılı olduğu hareketine karşılık, sayısal bir elektrik sinyali üreten elektromekanik bir cihazdır. Çalışmada kullanılan enkoder

resmi ekil 4.9.'da verilmektedir. Enkoder ile tekerlek içi motorun devri okunmaktadır.



ekil 4.9. Artırımlı enkoder.

Kullanılan enkodere ait teknik özellikler Çizelge 4.2.'de verilmektedir. Enkoderin çözünürlü ü tur ba ma 100 puls'tir.

Çizelge 4.2. Enkoder teknik özellikleri.

Çalı ma Gerilimi	12-30 Volt
Çözünürlük	1...100 puls
Mil Çapı	3 mm
Çalı ma Sıcaklı ı	-10...+70 °C
Özellik	A, B, Z çıkı , Totem-Pole, Line-Driver çıkı lı
Çalı ma Frekansı	200 kHz

Deney düzene inde tekerlek içi motorun yüklenmesini ölçmek için 150 Kg'lık yük hücresi kullanılmı tır. Kullanılan yük hücresi platform tipi tek noktadan belli bir alanda tartım yapabilen yük hücresidir. Yüksek hassasiyete sahip olan yük hücresinin moment kuvvetinden etkilenmeme özelli i vardır. ekil 4.10.'da deney düzene inde kullanılan yük hücresinin resmi verilmektedir.

Yük hücresi çıkı nda yük hücresi yükselteci kullanılarak motorun yüklenme miktarı 0-5 volt aralı nda analog bilgiye dönü türülmektedir. Böylece mikrodenetleyicinin analog giri lerinden bilgi okunabilmektedir. Yük hücresine ait teknik özellikler Çizelge 4.3.'te verilmektedir.



ekil 4.10. Yük hücresi.

Yük hücresinin nominal çıkışı 2 mV (mili volt)'dur. Böylece yükün bir birimdeki iimi çıkışta 2 mV'lik de i imle ifade edilmektedir.

Çizelge 4.3. Yük hücresi teknik özellikleri.

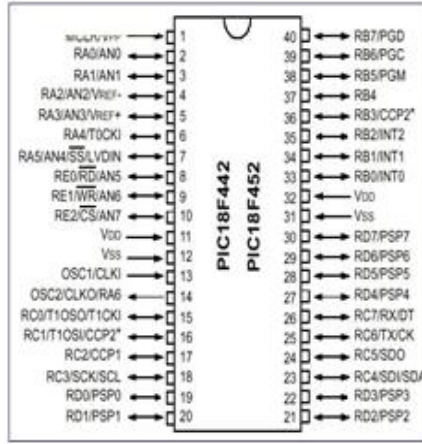
Maksimum Kapasite	150 Kg
Toplama Hatası	0,05 0,02
Germe Uzunluğu	0,7 mm
Giri Direnci	409
Çıkı Direnci	350
Yalıtım Direnci	500
Çalışma Sıcaklığı	-40...+80 °C
Nominal Çıkı	2 ±0,1 mV

Mikrodenetleyici programlanabilme, bir programı içerisinde depolayıp daha sonra çalıştırabilme özelliklerine sahip tek bir chip'ten oluşan mikrobilgisayardır. Bu özelliği mikrodenetleyicileri mikro işlemcilerden ayıran özelliğidir.

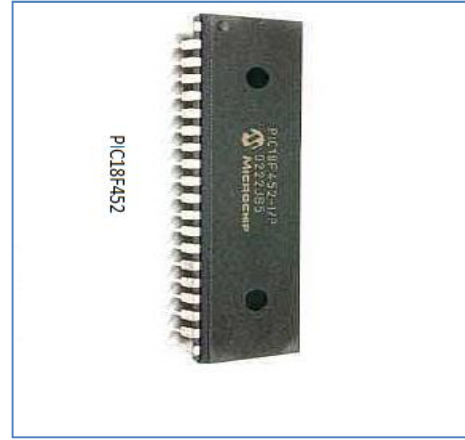
Mikrodenetleyicilerde bir CPU (Central Process Unit), RAM (Random Access Memory), ROM (Read Only Memory), input - output (giriş - çıkış I/O) uçları, seri ve paralel portlar, sayıcılar (counter) ve bazı mikrodenetleyicilerde de Analog'tan Digital'e (A/D) ya da Digital'den Analog'a (D/A) çeviriciler (konvertör) bulunur. Mikro işlemciler kullanılarak oluşturulan sistemlerde ise (örneğin kullandığımız bilgisayarlar) bu özelliklerin her biri için ayrı mikro işlemci kullanılır. Bu çalışmada PIC18F452 mikrodenetleyicisi tercih edilmiştir.

PIC18f452 mikrodenetleyicisinin tercih edilme sebepleri sırasıyla [32];

- Ülkemizde kolayca ve düşük maliyetle elde edilebilir.
- Geni bir kitle tarafından kullanıldığı için programlama ile ilgili üretilen yazılım ve donanım çok fazladır ve kolay bulunur.
- Basit elektronik devre elemanları kullanılarak hazırlanabilen donanımlar ile (programlama kartları) programlanabilir.
- Gerektirdiği reset, clock sinyali ve güç devreleri çok basittir.
- Çok fazla kullanıcısı olduğundan internet sayesinde örnek program, kaynak ve proje bulmakta zorluk çekilmemektedir.



(a) Ayak bağlantıları



(b) Devre montaj resmi

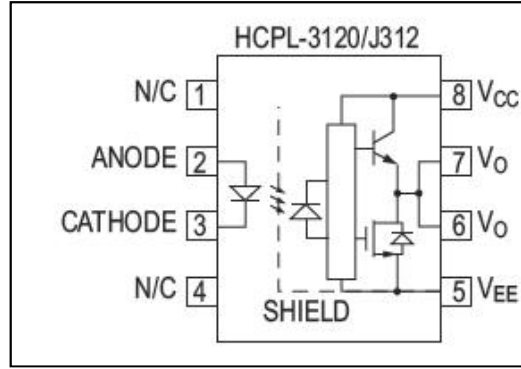
ekil 4.11. PIC18F452 mikrodenetleyicisi.

Çalışmada iki adet mikro denetleyici kullanılmıtır. Birincisi tekerlek içi motoru tetiklemek için, ikincisi ise DGM üretmek ve denetim yazılımlarını bulundurmak için kullanılmıtır. Kullanılan mikrodenetleyici Micro Chip firmasının PIC18F452 entegresidir. ekil 4.11. (a)'da bağlantı pinleri, ekil 4.11. (b)'de ise entegre resmi verilmektedir.

4.2. MOTOR SÜRÜCÜSÜNÜN TASARLANMASI

Tekerlek içi sabit mıknatıslı fırçasız do ru akım motoru için üç fazlı evirici yapısında bulanık mantık ile denetlenen bir sürücü tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Tasarlanan sürücü devre; mosfetler, mikrodenetleyiciler, tekerlek içi motor ve hız ölçmek için kullanılan algılayıcılardan oluşmaktadır. Motorun hızı ve yönü rotorda bulunan hall algılayıcıları kullanılarak yapılabilmektedir. Mikrodenetleyiciler düşük gerilimde (5 Volt) çalışmaktadır. Sürücü devre bloğu ile mikro denetleyici bloğunu yalıtımlamak gerekmektedir.



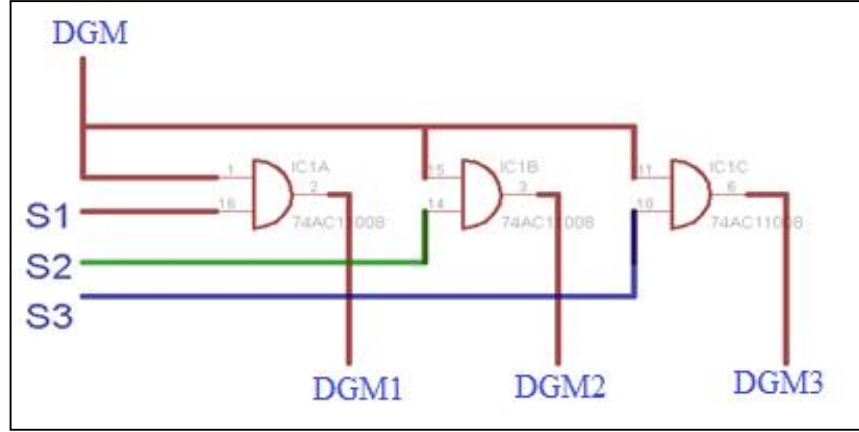
ekil 4.12. Mosfet yalıtım masası.

Sürücü devresinin yalıtımı için mosfetler ile mikrodenetleyici arasına opto-coupler kullanılmıştır. Kullanılan opto-coupler iç yapısı ve pinleri ekil 4.12.'de, teknik özellikleri ise Çizelge 4.4.'de verilmektedir [33].

Çizelge 4.4. HCPL 3021 teknik özellikleri.

Maksimum Akım Çıkışı	2,5 Amper
Minumum Akım Çıkışı	2 Amper
Çalışma Sıcaklığı	-40...+100 °C
Çalışma Aralığı	12-30 .Volt
Anahtarlama Hızı	500 ns
Uygulama Alanları	IGBT (yalıtımlı iki kutuplu transistör) ve mosfet sürme, Fırçasız DA motoru sürme Anahtarlama modlu güç malzemeleri sürme

Motorun hız ayarını yapabilmek için mosfetler DGM ile sürülmektedir. Bu sayede motorun hızı DGM görev saykılı ile istenilen de ere ayarlanabilmektedir. Kullanan mikrodenetleyicideki DGM modül sayısı iki adet oldu undan basit bir elektronik devre ile DGM sayısı çıkarılmaktadır (ekil 4.13.).



ekil 4.13. DGM modül sayısını artırmak için kullanılan devre.

ekil 4.13.'te verilen tek bir DGM ucundan üç adet DGM çıkışı elde edilmektedir. S1, S2 ve S3 ise seçim uçlarıdır. Bu uçlar ile DGM sinyalinin hangi çıkışlara aktarılacağı belirlenmektedir.

Üç fazlı motorlar, mosfetlerin uygun sırada tetiklenmesiyle çalışır. Hall algılayıcılarından okunan bilgi sırası motordan motora de iklik göstermektedir. Kullandığımız tekerlek içi motorun tetikleme sırası ve hall bilgileri Çizelge 4.5.'te verilmektedir.

Çizelge 4.5. Hall sensör konumları ve tetiklenecek fazlar.

DURUM	HALL A	HALL B	HALL C	FAZ A	FAZ B	FAZ C
0	0	1	1	-	+Vdc	-Vdc
1	0	0	1	+Vdc	-	-Vdc
2	1	0	1	+Vdc	-Vdc	-
3	1	0	0	-	-Vdc	+Vdc
4	1	1	0	-Vdc	-	+Vdc
5	0	1	0	-Vdc	+Vdc	-

Çizelge 4.5.’teki durum Basic dilinde a a 1daki kod satırları ile ifade edilmiştir. 249 ile 255 arasındaki de erler hall sensörden okunan de erlerdir. Bu de erlere göre tetiklenecek fazlar; FAZAH, FAZAL, FAZBH, FAZBL, FAZBH, FAZCL gibi de i kenlerle adlandırılmıştır.

Kod: Blo u 1:

MAIN:

Select PORTB

Case 249

FAZAH=1:FAZCL=1 :FAZBH=0:FAZCH=0:FAZAL=0:FAZBL=0

Case 248

FAZAH=1:FAZBL=1 :FAZBH=0:FAZCH=0:FAZAL=0:FAZCL=0

Case 252

FAZCH=1:FAZBL=1 :FAZBH=0:FAZAH=0:FAZAL=0:FAZCL=0

Case 254

FAZCH=1:FAZAL=1 :FAZBH=0:FAZAH=0:FAZBL=0:FAZCL=0

Case 255

FAZBH=1:FAZAL=1 :FAZAH=0:FAZCH=0:FAZBL=0:FAZCL=0

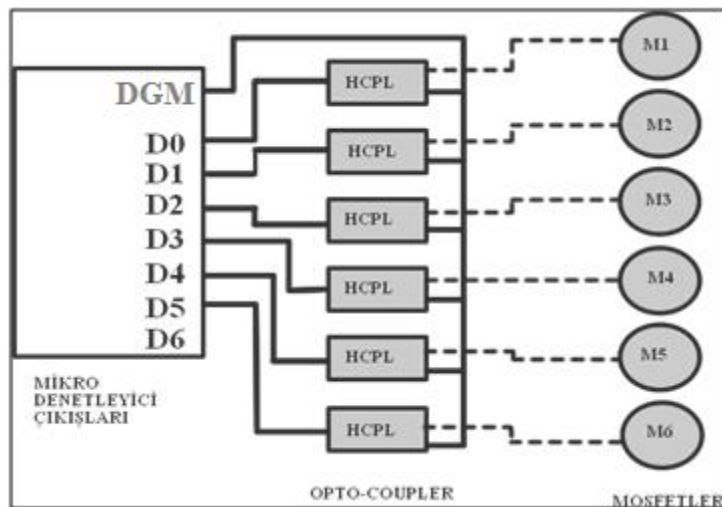
Case 251

FAZBH=1:FAZCL=1 :FAZAH=0:FAZCH=0:FAZAL=0:FAZBL=0

EndSelect

GoTo MAIN

Sürücü devresinin elemanlarına ait blok diyagram ekil 4.14.’te verilmektedir. ekil 4.14.’te D0, D1, D2, D3, D4, D5 mosfetleri tetiklemek için kullanılan portları ifade etmektedir. HCPL (HPCL3120) ise yalıtım için kullanılan “optocoupler”dür. M1, M3, M5 mosfetleri sırası ile A,B,C fazlarının HIGH mosfetlerini oluştururken M2, M4, M6 ise LOW mosfetlerini oluşturmaktadır. Gönderilen DGM sinyalleri HIGH mosfetlere gitmektedir.



ekil 4.14. Sürücü devre blok diyagram.

Tekerlek içi motor sürücüsüne ait ileri ve geri yön mosfet tetikleme durumları Çizelge 4.6. ve Çizelge 4.7.'de verilmektedir. Çizelge 4.6.'ya göre B2B1B0 hall sensörlerden okunan üç bitlik veriyi temsil eder. Okunan bu verilerin durumlarına göre mosfetlerden faza göre yüksek ya da düşük de erlikli olanları tetiklenir. FAZAH; M1 mosfetini, FAZAL ise M2 mosfetinin tetiklenmesi gerektiğini göstermektedir. Hall sensör de erleri motordan motora farklılık gösterebilmektedir. Ancak üretici firmaların kullandığı standart çizelgedeki gibidir.

Çizelge 4.6. İleri yön mosfet tetikleme fazları.

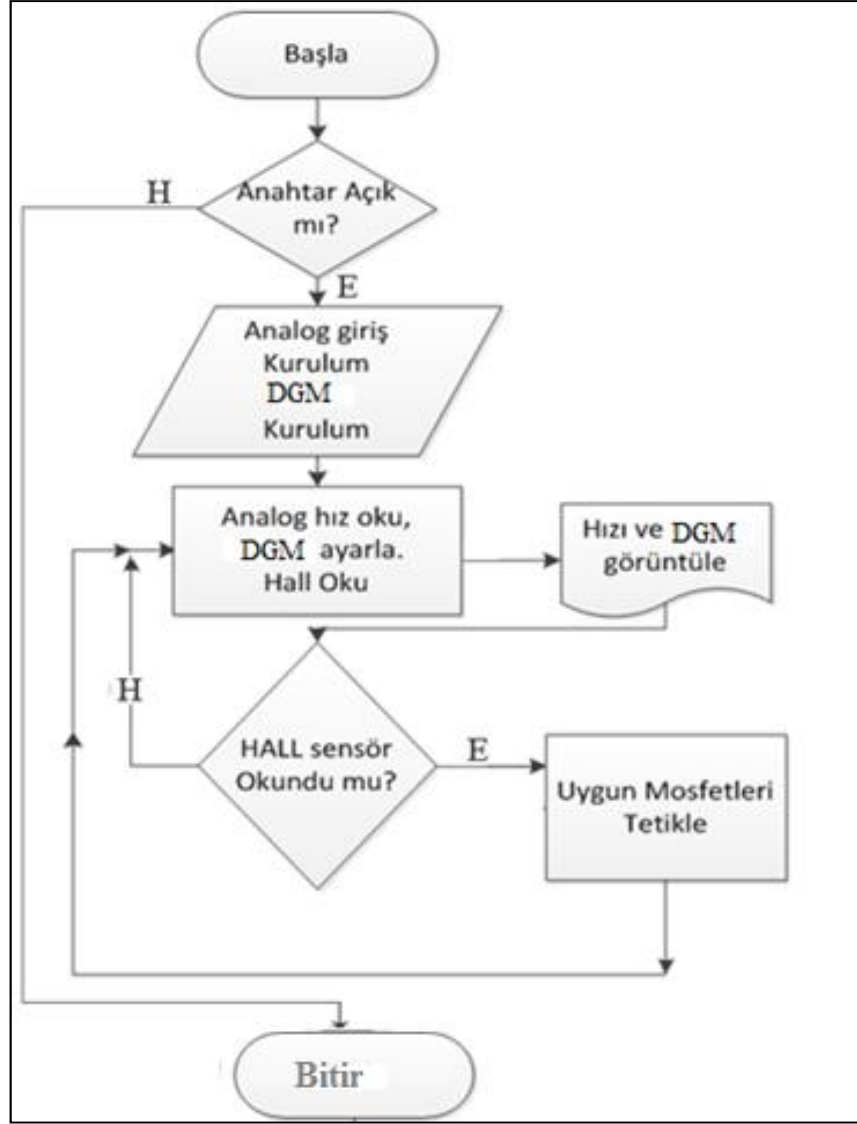
İleri Yön			
B2B1B0	A	B	C
001	FAZAH		FAZCL
000	FAZAH	FAZBL	
100		FAZBL	FAZCH
110	FAZAL		FAZCH
111	FAZAL	FAZBH	
011		FAZBH	FAZCL

Kullanılan tekerlek içi motoru ileri ve geri yön sürerken sensörlerden okunan de erler aynı olup sadece tetikleme sırası değişmektedir. Tekerlek içi fırçasız do ru akım motorunu geri yöne sürmek için tetiklenecek fazlar ve sensörden okunan bilgiler Çizelge 4.7.'de verilmektedir.

Çizelge 4.7. Geri yön mosfet tetikleme fazları.

Geri Yön			
B2B1B0	A	B	C
011		FAZBL	FAZCH
111	FAZAH	FAZBL	
110	FAZAH		FAZCL
100		FAZBH	FAZCL
000	FAZAL	FAZBH	
001	FAZAL		FAZCH

Sürücü devreyi kontrol eden yazılımın akı ıması ekil 4.15.'da verilmektedir. Sistem açıldıktan sonra hız için analog giri ı ayarı yapılır. Hız ayarlandıktan sonra hall sensörden okunan veriler kontrol edilerek uygun sıra ile mosfetler tetiklenir. Bu adım ekil 4.15.'te verildi i gibi sürekli tekrar edilerek motor dönü ü sa lanır.



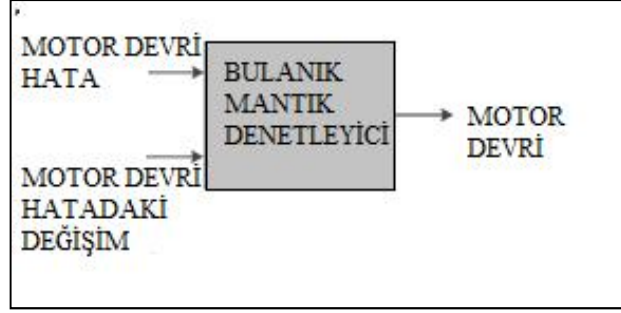
ekil 4.15. Sürücü devre akı ı diyagramı.

4.3. BULANIK MANTIK VE UYGULAMA YAZILIMI

Bulanık mantık denetleyicisi için hazırlanan yazılım Basic programlama dilinde ve Proton Ide derleyicisi kullanılarak hazırlanmıştır.

4.3.1. Bulanık Mantık ile Tekerlek ç i Motor Kontrolü

Böyle bir sisteme bulanık mantık denetleyicisinin uygulanabilmesi için yapılacak ilk işlem sistemin giri ve çıkı larını belirlemektir. Bulanık mantık modelinin giri leri ve çıkı ları ekil 4.16.'da verilmektedir.

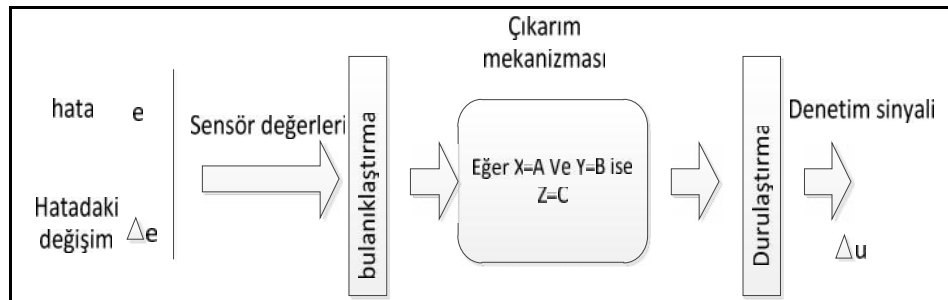


ekil 4.16. Bulanık mantık giri ve çıkı de i kenleri.

4.3.1.1. Bulanık Mantık Denetleyicinin Hazırlanması

Hazırlanan bulanık mantık denetleyicinin iki giri i ve bir çıkısı vardır. ki giri , çıkısının arzu edilen duruma eri mesi için gerekli olan do ru denetim sinyallerinin sa lanmasında kullanılır. Bulanık mantık denetleyicisi genel olarak, hatayı, hatadaki de i im oranlarını veya hatanın türevini giri olarak, denetim sinyalindeki de iikli i çıkı olarak alır.

ekil 4.17.'de hazırlanan denetleyicinin blok eması verilmektedir. Yazılım hazırlanırken izlenecek adımları belirlemek için ekil 4.17.'deki emadan yararlanılmı tır.



ekil 4.17. Bulanık mantık sisteminin çalı ması.

Bulanıkla tırıcı e ve e'nin keskin de erlerini, bunların kar ılı ı olan bulanık de erlere dönü türür (genellikle e ve e'nin birçok bulanık de erleri vardır).

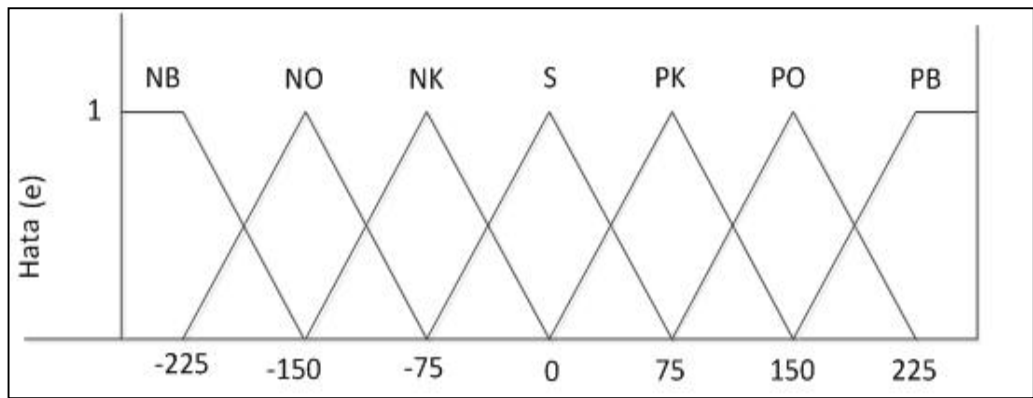
Çıkarım algoritması, e ve e'nin bulanık de erlerine göre kural tabanından hangi kuralların kullanılacağı nı belirler.

Daha sonra u'nun birçok bulanık de eri elde edilecektir ve bir durula tırma mekanizması ile bu de erler keskin tek bir de ere dönü türülür. Gerçek denetim sinyali, cihaza gönderilen en son u de erine u'nun eklenmesi ile elde edilir.

4.3.1.2. Bulanıkla tırma

Bulanıkla tırma sayısal de i kenlerin bulanık de i kenlere dönü türülmesi i lemini yapmaktadır. Bu de i kenler bulanık denetleyicide bulanık kümeler tarafından tanımlanmaktadır. Di er bir ifadeyle bulanıkla tırma giri de i kenlerinin ve çıkı de i kenlerinin ilgili evrensel kümelerinde bulanık kümelere yerle tirme i lemidir.

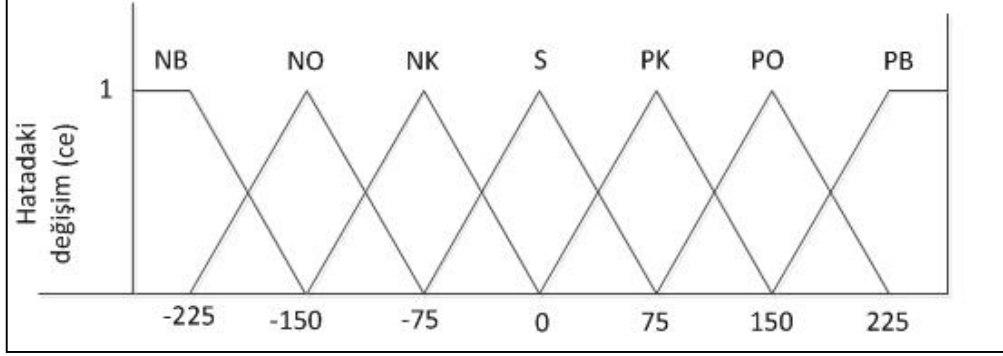
ekil 4.18. ve ekil 4.19.'da giri de i kenlerinin üyelik fonksiyonları hazırlanmıştır. Hata (e), hatadaki de i im (ce) giri üyelik fonksiyonları, denetim sinyali sonucunda olu an fonksiyon ise çıkı fonksiyonu (du)'dur.



ekil 4.18. Hata (e) de i kenleri.

Hata için tanımlanan kod satırları ve de i kenleri a a ıdaki gibi yazılmıştır. Programlama dili olarak Basic programı kullanılmıştır.

Dim Eb0 As DWord : Dim Eb1 As DWord : Dim Eb2 As DWord : Dim Eb3 As DWord : Dim Eb4 As DWord : Dim Eb5 As DWord : Dim Eb6 As DWord
 Eb0=-225 :Eb1=-150 : Eb2=-75 : Eb3=0 : Eb4 = 75 : Eb5 =150 : Eb6 = 225



ekil 4.19. Hatadaki de i im (ce) de i ken i.

Hatadaki de i im için tanımlanan de i ken ve sabitlere ait kod satırları a a ıdaki gibidir.

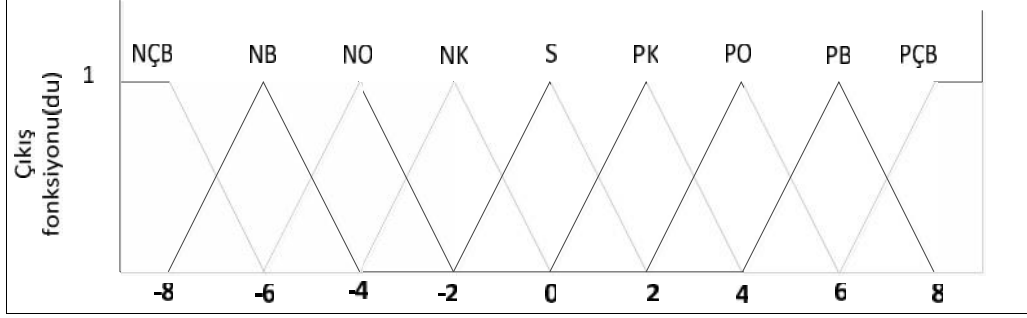
Dim Hdb0 As DWord : Dim Hdb1 As DWord : Dim Hdb2 As DWord : Dim Hdb3 As DWord : Dim Hdb4 As DWord : Dim Hdb5 As DWord : Dim Hdb6 As DWord
 Hdb0= -75 :Hdb1=-50 : Hdb2=-25 : Hdb3=0 : Hdb4 = 25 : Hdb5 = 50 : Hdb6 = 75

ekil 4.18. ve ekil 4.19.'da hata ve hatadaki de i im için üyelik fonksiyonları tanımlanmıştır. Motor devir hızındaki hatalar sözel olarak ifade edilmiştir. Kullanılan kısaltmalar Çizelge 4.8.'de verilmektedir.

Çizelge 4.8. Üyelik fonksiyonu sözel ifadeler kısaltma ve anlamları.

NÇB	Negatif Çok Büyük
NB	Negatif Büyük
NO	Negatif Orta
NK	Negatif Küçük
S	Sıfır
PK	Pozitif Küçük
PO	Pozitif Orta
PB	Pozitif Büyük
PÇB	Pozitif Çok Büyük

Üyelik fonksiyonlarında ço unlukla bu ifadeler veya daha dar kalıpları kullanılmaktadır. Bulanık mantık denetleyicide çe itli üyelik fonksiyonları mevcuttur. Hesaplama kolaylı ı açısından üçgen fonksiyonlar di erlerine göre daha kullanı lıdır.



ekil 4.20. Çıkı de i kenı (du).

Giri fonksiyonlarında hata ve hatadaki de i im için motor hız hata de eri -225 ile 225 arasında tutulmu tur. Bu de er uzman bilgisine göre de i tirilebilir. Olu an bu hata de erlerine göre çıkı keskin de erleri ise -8,8 aralı nda olacaktır. Çıkı de i kenı üyelik fonksiyonları ise ekil 4.20.'de verilmektedir.

Çıkı için tanımlanan de i kenler a a ıdaki satırlardaki gibi tanımlanmı tur.

$$\begin{aligned} Ub[0] &= -8 & Ub[1] &= -6 & Ub[2] &= -4 & Ub[3] &= -2 & Ub[4] &= 0 \\ Ub[5] &= 2 & Ua[6] &= 4 & Ua[7] &= 6 & Ua[8] &= 8 \end{aligned}$$

4.3.1.3. Bilgi Tabanı

Bulanık mantık denetleyicisinde bilgi tabanı, veri ve kural tabanından olu ur. Veri tabanının temel görevi, bulanıkla tırma, kural tabanı ve durula tırma modüllerinin do ru çalı ması için gerekli bilgileri sa lamaktır. Bu bilgiler unlardır;

- Giri -çıkı de i kenlerinin üyelik fonksiyonlarının sözel de erlerinin anlamları
- Bir bulanık kümenin üyelik fonksiyonlarının tiplerini
- Ayrı tırma politikalarını tanımlayan nicelenmi referans (lookup) çizelgeleri

Kural tabanı ise kontrol amacını gerçekle tirmek üzere tasarlanmı bulanık kontrol kurallarını içermektedir. Kural tabanının temel kullanım amacı uzman bilgilerini sebep-sonuç iliksisi içerisinde gösterebilmektir.

Kural tabanını basitle tirmek için kuralların gösteriminde matrisler kullanılabilir. Sisteme ait bulanık matris örne i Çizelge 4.9.'da verilmektedir.

Çizelge 4.9. Bulanık mantık kural tablosu

e ce	NB	NO	NK	S	PK	PO	PB
NB	NÇB	NB	NB	NO	NK	NK	S
NO	NB	NB	NO	NK	NK	S	PK
NK	NB	NO	NK	NK	S	PK	PK
S	NO	NK	NK	S	PK	PK	PO
PK	NK	NK	S	PK	PK	PO	PB
PO	NK	S	PK	PK	PO	PB	PB
PB	S	PK	PK	PO	PB	PB	PÇB

Kural tabanından 49 kural çıkarılır. Bu kurallardan bazıları unlardır;

- E er hata(e)=NB ve Hatadaki de i im(ce)=PB ise Çıkı (du)=S
- E er hata(e)=NO ve Hatadaki de i im(ce)=PB ise Çıkı (du)=PK
- E er hata(e)=NK ve Hatadaki de i im(ce)=PB ise Çıkı (du)=PK
- E er hata(e)=S ve Hatadaki de i im(ce)=PB ise Çıkı (du)=PO
- E er hata(e)=PK ve Hatadaki de i im(ce)=PB ise Çıkı (du)=PB
- E er hata(e)=PO ve Hatadaki de i im(ce)=PB ise Çıkı (du)=PB
- E er hata(e)=NB ve Hatadaki de i im(ce)=PO ise Çıkı (du)=NK
- E er hata(e)=NO ve Hatadaki de i im(ce)=PO ise Çıkı (du)=S
- E er hata(e)=NK ve Hatadaki de i im(ce)=PO ise Çıkı (du)=PK
- E er hata(e)=S ve Hatadaki de i im(ce)=PO ise Çıkı (du)=PK
- E er hata(e)=PK ve Hatadaki de i im(ce)=PO ise Çıkı (du)=PO
- E er hata(e)=PO ve Hatadaki de i im(ce)=PO ise Çıkı (du)=PB
-

E er hata(e)=NB ve Hatadaki de i im(ce)=PO ise Çıkı (du)=NK

Çizelge 4.10.'da kural tablosundaki de erlerin sayısal kar ılıkları verilmektedir. Böylece durula tırmada kullanılacak sayısal veriler uzman bilgisi tarafından kesin ifadelere dönü türülmü tür.

Çizelge 4.10. Kural tablosu sayısal de erleri.

e \ ce	NB	NO	NK	S	PK	PO	PB
	-225	-150	-75	0	75	150	225
NB -225	-8	-6	-6	-4	-2	-2	0
NO -150	-6	-6	-4	-2	-2	0	2
NK -75	-6	-4	-2	-2	0	2	2
S 0	-4	-2	-2	0	2	2	4
PK 75	-2	-2	0	2	2	4	6
PO 150	-2	0	2	2	4	4	6
PB 225	0	2	2	4	6	6	8

Durula tırma biriminde Çizelge 4.9. ve Çizelge 4.10.'daki kural tablosuna göre i lenecek kurallar belirlenecektir.

4.3.1.4. Çıkarım Birimi ve Durula tırma

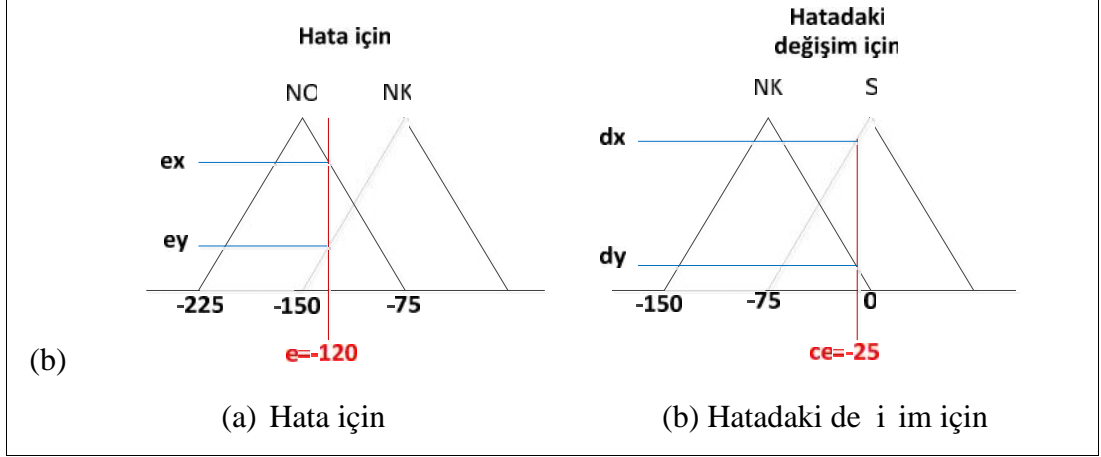
Çıkarım birimi, giri lerin de erine göre kural tabanından uygun kuralları belirleyen bir mekanizma sa lar. Bulanık mantık denetiminde en çok kullanılan iki yöntem maksimum-minimum bile imi (composition) ve maksimum-çarpım bile imidir. Burada kullanılan Mamdani'ye ait olan maksimum-minimum (max-min) bile imi yöntemidir.

ekil 4.21.'deki üyelik fonksiyonlarına göre hata ve hatadaki de i ime ait birer sayısal de ere göre 4 kural i lenir. Bu kurallar;

- e=NO ve ce=NK,
- e=NO ve ce=S,
- e=NK ve ce=NK,

- $e=NK$ ve $ce=S$

gibi olmaktadır. Bu grafiksel çıkarım her bir kural için uygulanır. ekil 4.21. (a)'da hata için ekil 4.21. (b)'de hatadaki de i im için sadece bir kurala ait çıkarım verilmektedir.



ekil 4.21. Üyelik fonksiyonlarından bulanık çıkarım i lemi.

E itlik 4.1., 4.2., 4.3. ve 4.4.'te kuralların sayısal de erleri hesaplanmı tır. Bu kurala ait her bir çıkarımın sayısal olarak minimum de eri seçilir. Sonuçta;

$$\frac{e-75}{150-75} = \frac{ex}{1} \text{ denkleminde } e=120 \text{ yazıp } ex \text{ 'i çekersek } ex=0.6 \text{ (e=NO)} \quad (4.1)$$

$$\frac{150-e}{150-75} = \frac{ey}{1} \text{ denkleminde } e=120 \text{ yazıp } ey \text{ 'yi çekersek } ey=0.4 \text{ (e=NK)} \quad (4.2)$$

$$\frac{ce-0}{75-0} = \frac{dx}{1} \text{ denkleminde } ce=25 \text{ yazıp } dx \text{ 'yi çekersek } dx=0.33 \text{ (de=NK)} \quad (4.3)$$

$$\frac{75-ce}{75-0} = \frac{dy}{1} \text{ denkleminde } ce=25 \text{ yazıp } dy \text{ 'yi çekersek } dy=0.67 \text{ (de=S)} \quad (4.4)$$

olarak bulunur. Çıkarımlar ise

1. Çıkarım için ($e=NO$ ve $ce=NK$) $du=\min(0.6,0.33)= 0.33$
2. Çıkarım için ($e=NO$ ve $ce=S$) $du=\min(0.6,0.67)= 0.6$
3. Çıkarım için ($e=NK$ ve $ce=NK$) $du=\min(0.4,0.33)=0.33$

4. Çıkarım için ($e=NK$ ve $ce=S$) $du=\min(0.4,0.67)=0.4$ gibi elde edilir.

Kod Satır 1:

```
If HATA > 75 And HATA <= 150 Then
  H_ALT = 75 - 150

  HUYE1 = (HATA - 150) / 150-75           'NO
  H_UST = 75 - HATA
  HUYE2 = H_UST / 150-75                 'NK
  HKUME1 = 1
  HKUME2 = 2
```

End If

Kod satırları ile E itlik 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4 Proton Basic derleyicisinde Kod Satır 1'deki gibi yazılmıştır. Böylece Hata de erinin hangi üçgenler arasında oldu unu HKUME1 ve HKUME2 de i kenleri ile tutarken üyelik derecelerini ise HUYE1 ve HUYE2 de i kenleri ile tutulmu tur.

lenen kurallar sonucunda max-min yöntemine göre yukarıdaki sonuçlar çıkarılmıştır. Bu sonuçlardan çıkarılan keskin de er sonraki a ama olan durula tırma i lemi ile yapılır.

Bulanık çıkarım sonucu elde edilen bulanık denetim eyleminin bulanık olmayan (keskin) denetim eylemine çevrilmesi i lemine durula tırma denmektedir.

En yaygın olarak kullanılan yöntem a ırlık ortalama yöntemidir. Bu yönteme göre durulaştırma işlemi aşağıdaki gibi yapılmıştır.

$$u = \frac{\sum \mu c(u) x u}{\sum \mu c(u)} \quad (4.5)$$

E itlik 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'te bulunan de erleri E itlik 4.5'te yerlerinde kullanılır ve kural tablosundan gerekli sabitler alındı ında;

$$u = \frac{-4 * 0.33 - 2 * 0.6 - 2 * 0.33 - 2 * 0.4}{0.33 + 0.6 + 0.33 + 0.4}$$

$u = -2.39$ bulanık denetleyici çıkı ı elde edilmi olunur.

Kod Satır 2:

```
If HUYE1 <= HDUYE1 Then
    MIN1 = HUYE1
    Else
    MIN1 = HDUYE1
End If
KURAL1 =KT[HDKUME1 + (HKUME1 * 7)]

If HUYE1 <= HDUYE2 Then
    MIN2 = HUYE1
    Else
    MIN2 = HDUYE2
End If
KURAL2 =KT[HDKUME1 + (HKUME2 * 7)]

If HUYE2 <= HDUYE1 Then
    MIN3 = HUYE2
    Else
    MIN3 = HDUYE1
End If
KURAL3 =KT[HDKUME2 + (HKUME1 * 7)]

If HUYE2 <= HDUYE2 Then
    MIN4 = HUYE2
    Else
    MIN4 = HDUYE2
End If
KURAL4 =KT[HDKUME2 + (HKUME2 * 7)]
```

Kod Satır 2’de minimum üyelik dereceleri ve tetiklenen kurallar Basic diline çevrilmi tir.

Kod Satır 3:

```
If KURAL1 <= 3 Then
    DU1 = -1 * (MIN1 * Ub[KURAL1])
    Else
    DU1 = MIN1 * Ub[KURAL1]
End If

If KURAL2 <=3 Then
    DU2 = -1 * (MIN2 * Ub[KURAL2])
    Else
    DU2 = MIN2 * Ub[KURAL2]
End If

If KURAL3 <=3 Then
    DU3 = -1 * (MIN3 * Ub[KURAL3])
    Else
    DU3 = MIN3 * Ub[KURAL3]
End If

If KURAL4 <=3 Then
    DU4 = -1 * (MIN4 * Ub[KURAL4])
    Else
    DU4 = MIN4 * Ub[KURAL4]
End If

DUTOP1 = DU1 + DU2
```

```
DUTOP2 = DU3 + DU4
DUTOP = DUTOP1 + DUTOP2

DUBOL1 = MIN1 + MIN2
DUBOL2 = MIN3 + MIN4
DUBOL = DUBOL1 + DUBOL2
DU = DUTOP / DUBOL

DUTY = DUTY + DU
```

Kod Satırı 3'te mininum üyelikler ve kurallar bulunduktan sonra E itlik 4.5'teki a ırlık ortalama yöntemi kullanılarak görev saykılı hesaplanmı tır.

Buradaki çıkı de eri bulanık denetleyicinin kesin çıkı de eridir ve hatanın azalması ile birlikte çıkı de eri de sistemi sabit duruma getirecektir.

BÖLÜM 5

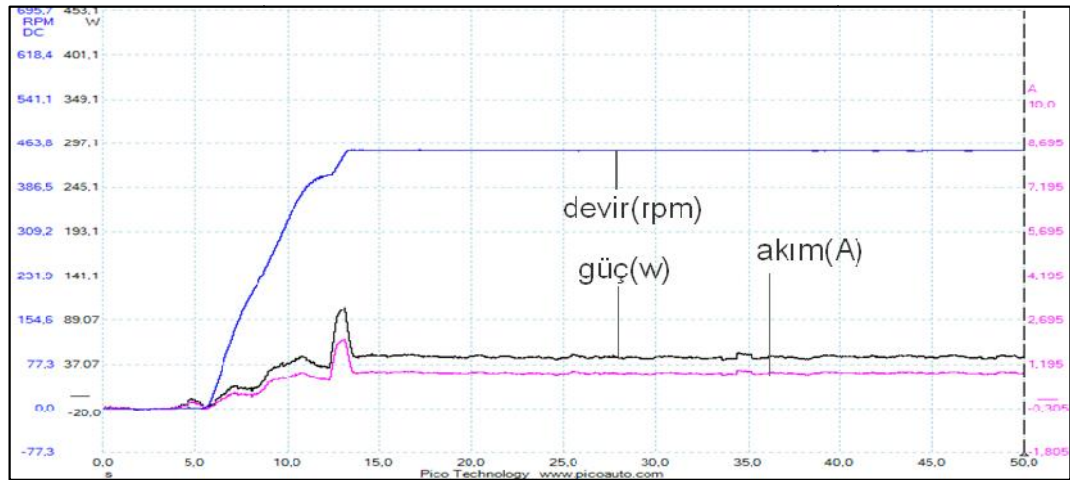
DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLAR

5.1. TASARLANAN DENETLEYİCİLERLE ALINAN SONUÇLAR

Tasarlanan sistemin deney sonuçlarının ölçümü Picoscope 3423, PicoScope 6 Automotive arayüz programı ile yapılmıştır. Deneysel çalışmada devir, akım, gerilim ve bunlara bağlı olarak güç ölçümü yapılmıştır ve sonuçları grafiksel verilmiştir.

5.1.1. Aç-Kapa Denetleyici ile Alınan Sonuçlar

Tasarlanan sürücüye, gaz pedalı ile hız verilerek alınan devir grafiği ekil 5.1.'de verilmektedir. On-off denetleyici ile maksimum devirdeki sonuç alınmıştır. Ulaşılan maksimum devir sayısı bulanık mantıkta olduğu gibi 450 rpm'dir. ekil 5.1.'de tekerlek içi motor uzun bir sürede istenilen devire sabitlenmiştir. Bunun sonucunda bulanık mantık denetimli sürücünün tekerlek içi motoru, daha kısa sürede harekete geçirdiği bulanık mantık ile alınan sonuçlardan görülmektedir.



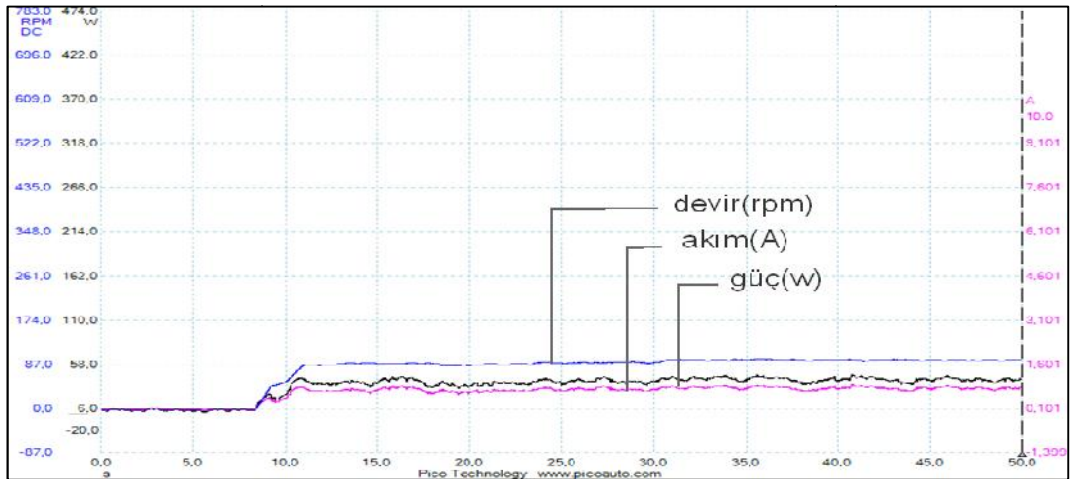
ekil 5.1. Aç-kapa denetim ile maksimum devirdeki ölçüm sonuçları.

5.1.2. Tekerlek İçi Motorun Üretici Firmaya Ait Sürücüsü ile Alınan Sonuçlar



ekil 5.2. Yüksüz sistemde motora ait sürücünün 100 rpm'deki ölçüm sonuçları.

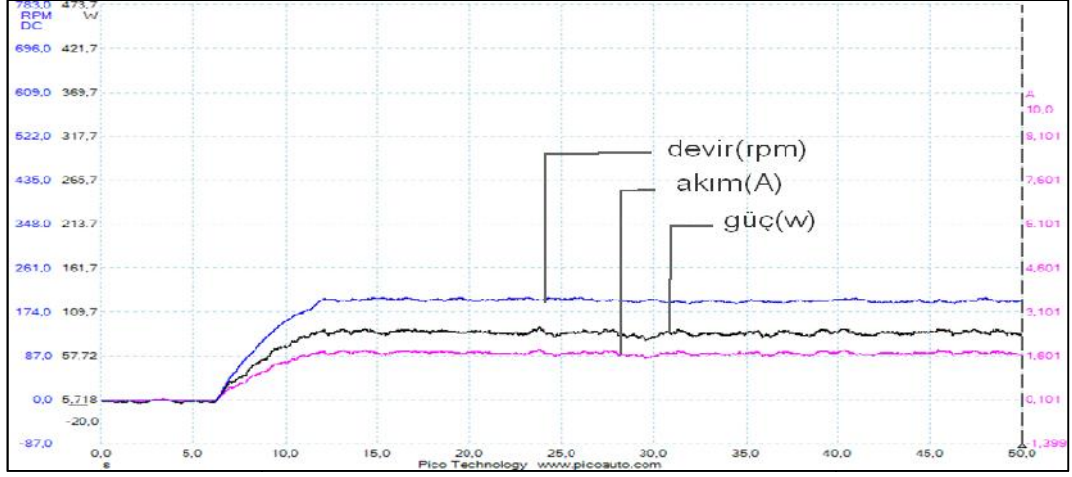
ekil 5.2.'de tekerlek içi motora ait sürücünün 100 rpm'deki ölçüm sonuçları verilmektedir. Motorun çalışmaya başladığı an ve durduğu andaki akım değerleri ekilde görülmektedir. Yüksüz sistemde; kendi sürücüsü ve hazırlanan sürücü ile ölçülen akım değeri minimum olduğu görülmektedir.



ekil 5.3. Yüklü sistemde motora ait sürücünün 100 rpm'deki ölçüm sonuçları.

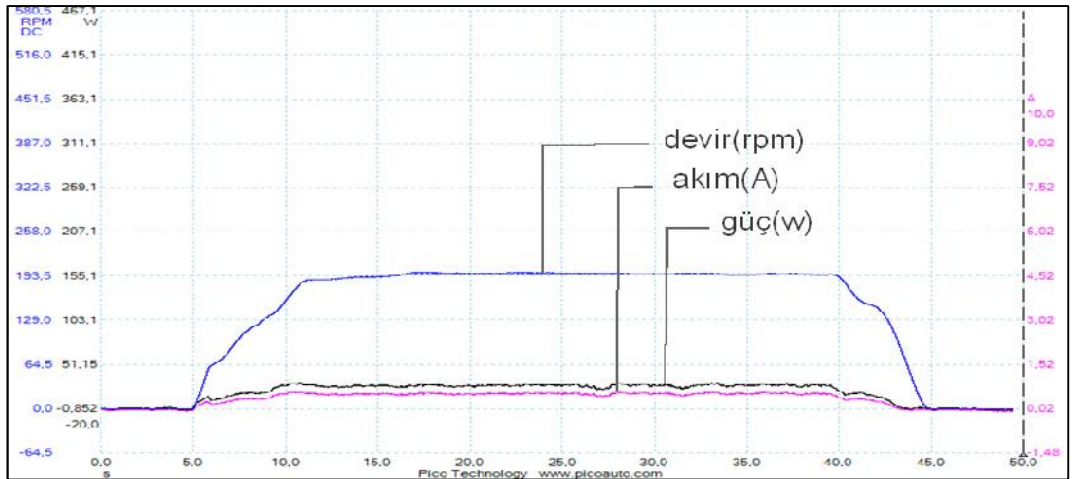
Ölçülen sonuçlara göre bulanık mantık ve PID algoritması ile hazırlanan sürücülerde ve 100 rpm'de tekerlek içi motorun çektiği akım 300 mA olmaktadır.

ekil 5.3.'te motorun kendi sürücüsü ile ve yüklü sistem 100 rpm'deki ölçüm sonuçları verilmektedir. Akım de eri 800 mA seviyesinde olup tasarlanan sürücü ile yakın akım de erlerine sahiptir.



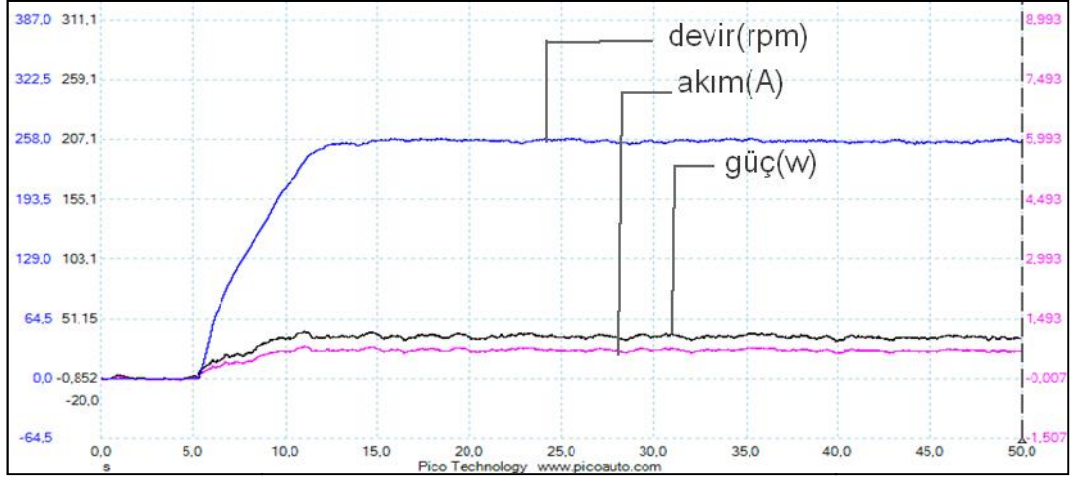
ekil 5.4. Yüklü sistemde motora ait sürücünün 200 rpm'deki ölçüm sonuçları.

ekil 5.4.'te motora ait sürücü ile yüklü sistem ve tekerlek içi motor 200 devirde çalı ırken alınan ölçüm sonuçları verilmektedir. Akım de eri 1.7 amperdir. Motora ait sürücüde; istenilen devire sabitleme süresi bulanık mantık denetimli ve PID denetimli sürücüye göre ekilde de görüldü ü gibi daha uzundur.



ekil 5.5. Yüksüz sistemde motora ait sürücünün 200 rpm'e sabitlemesi.

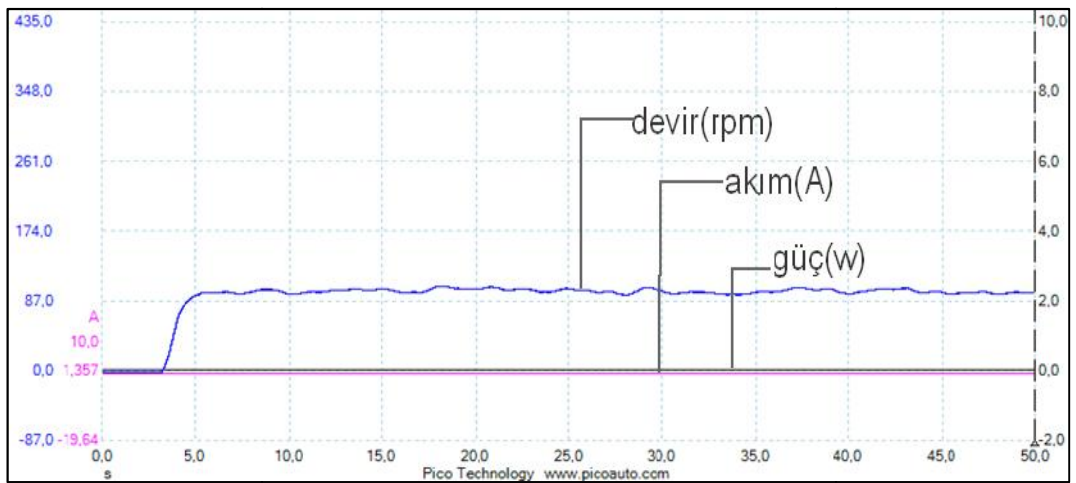
ekil 5.5.'te motora ait sürücünün yüksüz ekilde 200 rpm'e sabitlenmesi verilmektedir. Akım değeri 550 mA seviyesindedir.



ekil 5.6. Motorun kendi sürücüsüne ait maksimum devir hızı grafiği.

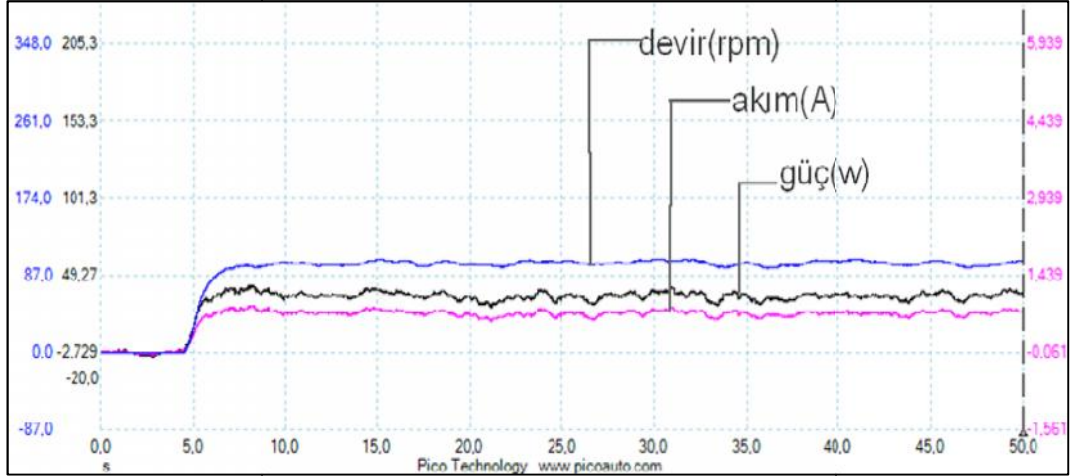
ekil 5.6.'da tekerlek içi motora ait sürücünün ulaabildiği maksimum devir sayısı grafiği verilmektedir ve devir 260 rpm seviyesindedir. Akım 800 mA'dır. Alınan sonuç yüksüz sistemde olup, yük altında ulaılan maksimum devir sayısı 220-230 rpm'dir.

5.1.3. PID Denetleyici ile Alınan Sonuçlar



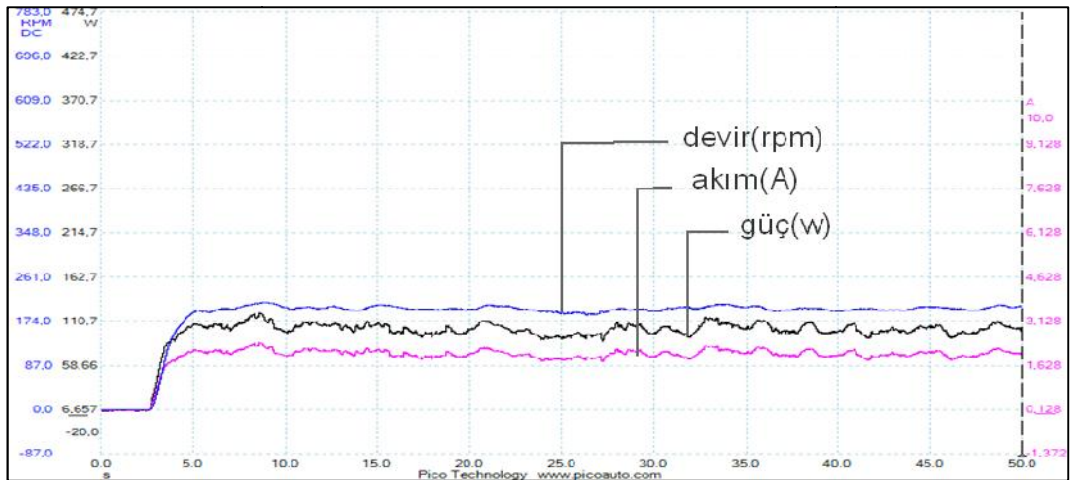
ekil 5.7. PID kod algoritması ile 100 rpm yüksüz sistem ölçüm sonuçları.

ekil 5.7.'de PID algoritması ile motor 100 rpm'deki yüksüz çalı ma ölçüm sonuçları verilmektedir. Akım de eri bulanık mantıkta oldu u gibi yüksüz sistemlerde 300 mA de erlerindedir. Akım ve gerilime ba lı olarak güç de bulanık mantık ile benzer seviyelerdedir.



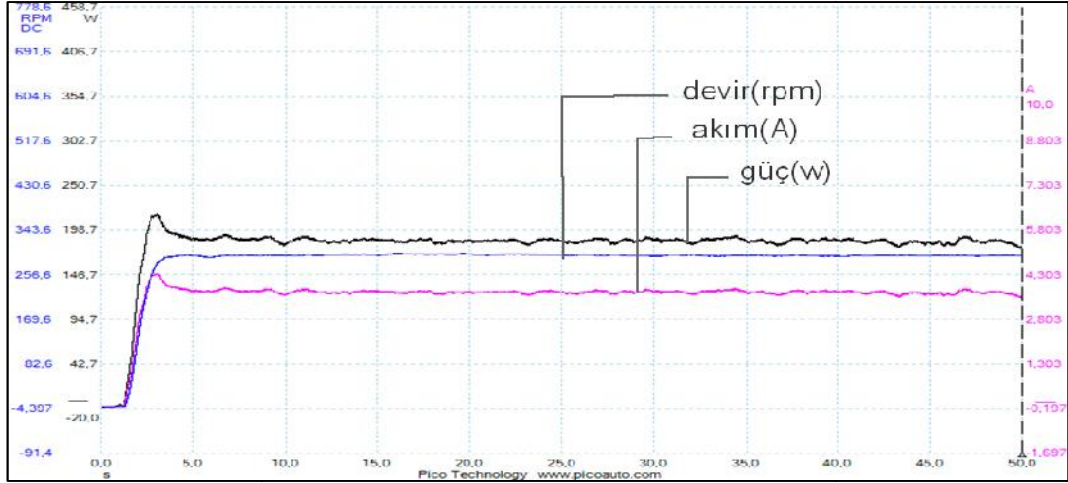
ekil 5.8. PID algoritması ile 100 rpm'de yüklü sistem ölçüm sonuçları.

ekil 5.8.'de PID algoritması ile motor 100 rpm'de çalı ırken alınan ölçüm sonuçları verilmektedir. Bu durumun da 100 rpm'deki yüksüz sistemden farkı akım de erinin artması ve buna ba lı olarak harcadı ı güç ve enerjinin de i mesidir. ekilde de akım de erinin ekil 5.8.'e göre artı ı görülmektedir ve de eri 600 mA'dir.



ekil 5.9. PID algoritması ile 200 rpm'de yüklü sistem ölçüm sonuçları.

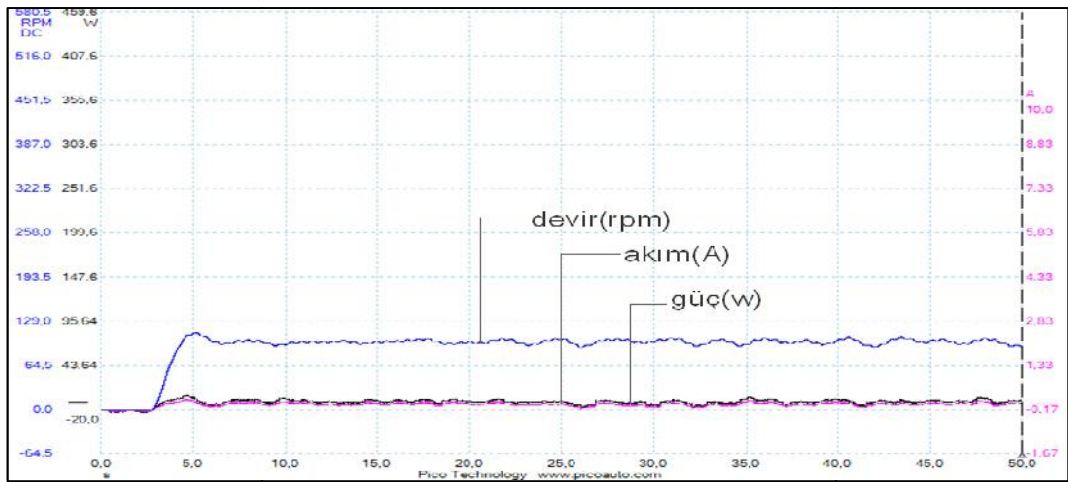
ekil 5.9.'da PID denetimli sürücü ile çalıştırılan motorun devri 200 rpm'de iken alınan ölçüm sonuçları verilmektedir. Akım değeri 2.0 A'dır. Bulanık mantık ile denetlenen sistemde 200 devirde akım değeri 1.85 A ölçülmüştür.



ekil 5.10. PID algoritması ile 300 rpm'de yüklü sistem ölçüm sonuçları.

ekil 5.10.'da PID denetimli sistemde motorun hızı 300 rpm'de iken alınan ölçüm sonuçları verilmektedir. Akım değeri 3.8 A'dır ve bulanık mantık denetimli sistem ile yakın akım değerlerine sahiptir.

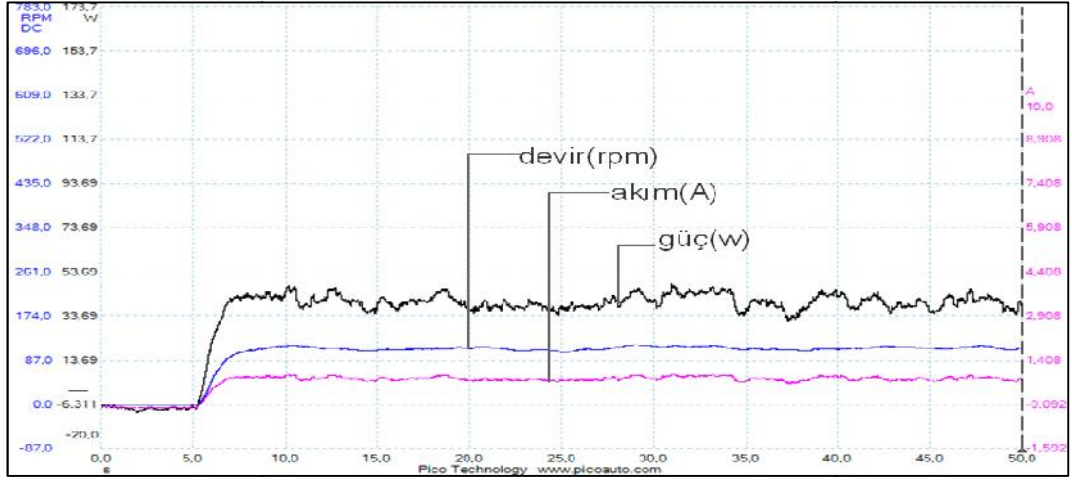
5.1.4. Bulanık Mantık Denetleyici ile Alınan Sonuçlar



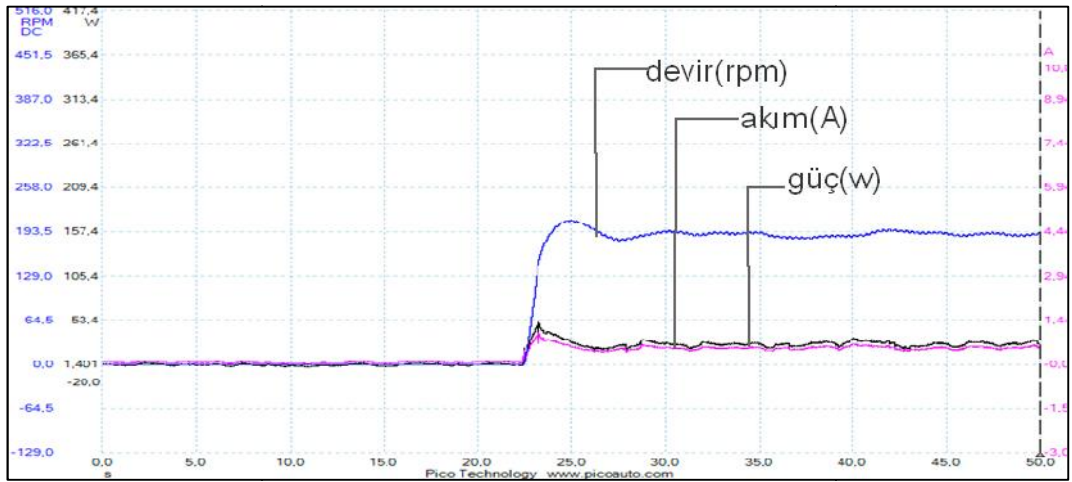
ekil 5.11. Bulanık mantık kodu ile 100 rpm yüksüz sistem ölçüm sonuçları.

ekil 5.11.'de hazırlanan sistemin 100 rpm'de yüksüz olarak çalışırken alınan ölçüm sonuçları verilmektedir. Akım 300 mA seviyesindedir ve sistem yüksüz olduğu için fazla akım çekmemektedir. Motor çalışmaya başladığı anda akımda biraz artı olmaktadır.

ekil 5.12.'de bulanık mantık kodu ile yüklü sistemin 100 rpm de çalışırken alınan ölçüm sonuçları verilmektedir. Devirdeki dalgalanmanın motor yüküne bindiğinde daha az olduğu görülmektedir. ekil 5.11. ile ekil 5.12. incelendiğinde devirdeki dalgalanma farkı görülmektedir. Akım ise 100 rpm yüksüz sistemde 300 mA iken yüklü sistemde 800 mA olmaktadır.



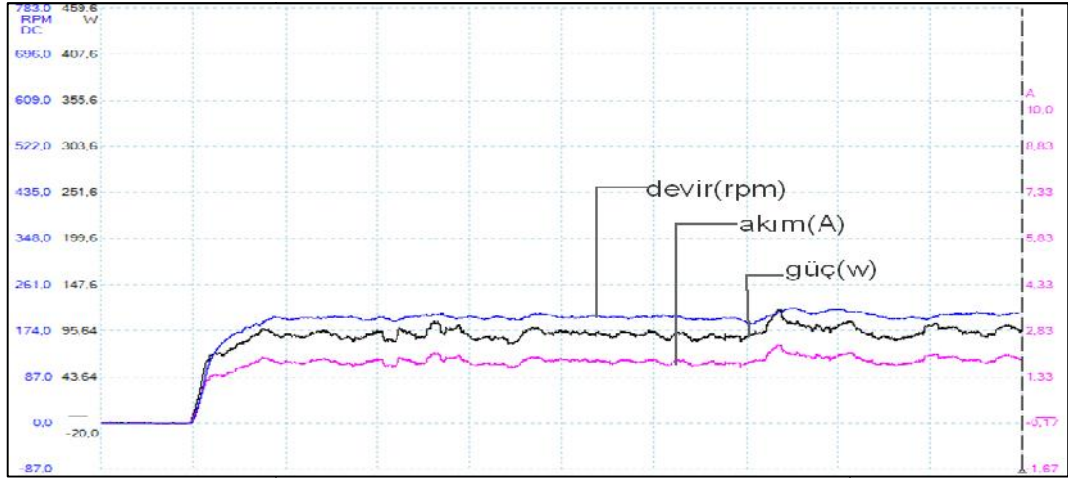
ekil 5.12. Bulanık mantık kodu ile 100 rpm yüklü sistem ölçüm sonuçları.



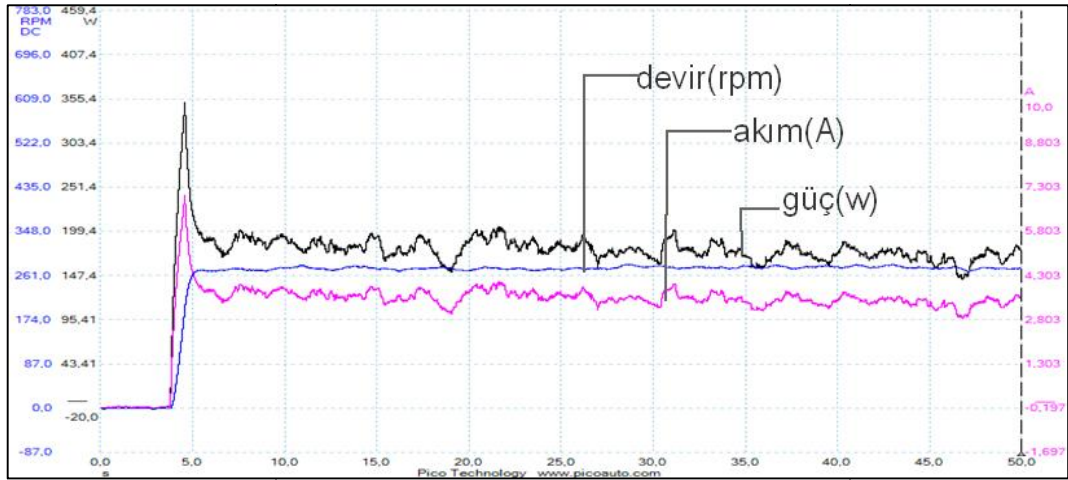
ekil 5.13. Bulanık mantık kodu ile 200 rpm yüksüz sistem ölçüm sonuçları.

ekil 5.13.'te bulanık mantık ile denetlenen sistemde 200 devire sabitlenen motorun akım ve devir grafi i verilmektedir. Sistem yüksüz olarak test edilmi ve akım 500 mA seviyesindedir.

ekil 5.14.'te ise 200 devirde bulanık mantık denetimi ile yüklü sisteme ait sonuçlar verilmektedir. ekil 5.13.'te yüksüz 200 devirde akım 500 mA iken, ekil 5.14.'te yüklü ve 200 devirde akım 1.85 A'dır. Buradaki akım de i imindeki farkın nedeni motorun yüklenmesidir. Yüksüz sisteme göre yüklü sistem istenilen devire otururken hata seviyesi daha az oldu u ekillerden görülmektedir.



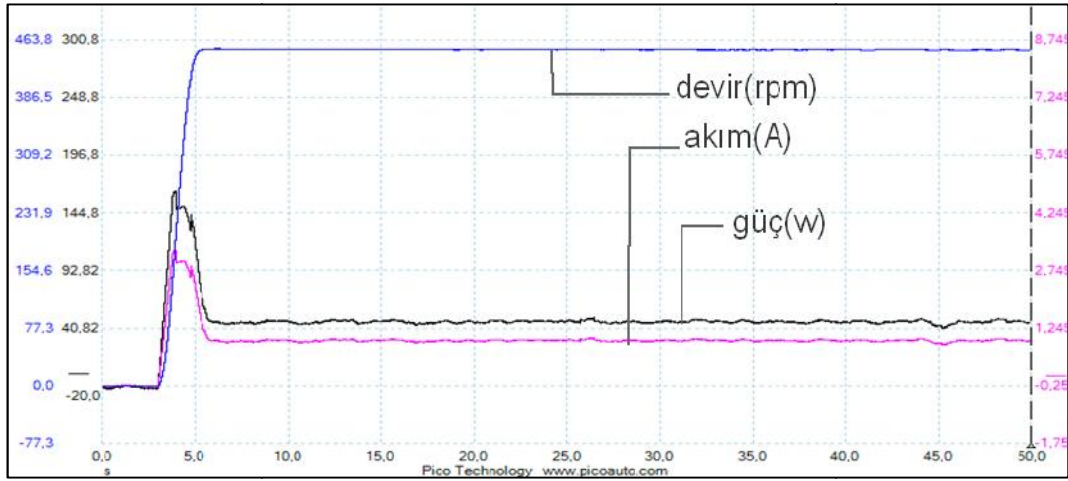
ekil 5.14. Bulanık mantık kodu ile 200 rpm yüklü sistem ölçüm sonuçları.



ekil 5.15. Bulanık mantık kodu ile 280 rpm yüklü sistem ölçüm sonuçları.

Tekerlek içi motor yüke bindi inde maksimum devir sayısı 280 rpm olmu tur. ekil 5.15.'te devir ve akım grafi ine ba lı olarak güç e risi verilmektedir. Akım 3.4 A'dır. ekilde motor çalı maya ilk ba ladı ı anda akım de eri yükselmi ve devir sabitlendi inde akım de eri de sabitlenmi tir. Yüksüz sistemlerde devirin de i mesine ra men akım de erinin fazla de i medi i görülmektedir.

Tasarlanan sürücü bulanık mantık kodu ile yüksüz sistemde çalı tırıldı ında 450 rpm gibi yüksek de erlere çıkabilmektedir. ekil 5.16.'da bulanık mantık ile çalı tırılan sistemin ölçüm sonuçları grafi i verilmektedir. Akım de eri 1 amper'dir ve yüklü sistemde 4 ampere kadar çıkabilmektedir.



ekil 5.16. Bulanık mantık sürücü ile sistemin maksimum devir sayısı grafi i.

ekil 5.16.'da motor çalı maya ba ladı ında akım de erinin ve buna ba lı olarak güç de erinin yükseldi i görülmektedir. Bunun nedeni motorun çok kısa bir sürede maksimum devire ula maya çalı masıdır. stenilen hıza ula tı ında akım de erinin normal seviyelere geldi i görülmektedir.

5.1.5. Tasarlanan Sürücü le Motora Ait Sürücü Arasındaki Farklar

Çizelge 5.1.'de üç ayrı sürücünün çe itli devirlerdeki yüklü ve yüksüz akım de erleri verilmektedir. Motora ait sürücü ile yüklü sistemde maksimum 240 devire, yüksüz sistemde ise 260 devire ula ılmaktadır.

Çizelge 5.1. Sürücülerin akım değerlerinin karşılaştırılması.

Devir Sayısı	Motora ait sürücü ile Akım Değerleri(A)	Bulanık Mantık Denetimli Sistem ile Akım Değeri(A)	PID denetimli Sistem ile Akım Değeri(A)
	Yüksüz-Yüklü	Yüksüz-Yüklü	Yüksüz-Yüklü
100	300 mA- 800 mA	300 mA- 800 mA	300 mA- 800 mA
200	550 mA- 1.7 A	500 mA- 1.85 A	600 mA-2 A
300	Max. 240 rpm 2.2 A	500 mA-3.4 A	600 mA-3.7 A
450	-	yüksüz sistem 1 A	-

Tekerlek içi motora ait sürücü ile bu çalışmada hazırlanan sürücü arasındaki farklar, üstünlük ve sakıncaları madde maddeler halinde verilmektedir.

- Tasarlanan sürücüde yüksüz sistemde 450 rpm, yüklü sistemde ise 300 rpm gibi devirlere ulaşabilirken motorun kendisine ait sürücüde yüksüz sistemde 260 rpm yüklü sistemde ise 200 rpm gibi devirlere ulaşabilmektedir. Çalışmasını yaptığımız sürücü ile tekerlek içi motor 190 rpm daha hızlı dönmektedir. Bunun sonucunda 24 kmh hızla giden araç 40 kmh'lik bir hıza sahip olabilecektir.
- Motorun kendi sürücüsü 40-50 rpm altı devirlerde hareket etmemektedir. İlk hareketine 40 rpm gibi bir devirden başlamıştır. Hazırlanan sürücü ise 1 rpm'den itibaren yavaş bir şekilde kalkı yapabilmektedir. Böylece ilk kalkı ta çok yüksek devirler haricinde aşırı akım çekmemekte ve kalkı daha az sarsıntı ile yapmaktadır.
- Motor firmaya ait sürücü ile yük miktarı arttıkça, ilk harekete başladığı andaki devri yüksek seviyelere (70 rpm gibi) çıkmaktadır. Böylece motor kalkı devrine gelinceye kadar hareket etmeyecek ve pedala basıldığı halde belli bir süre bekleyecektir. Tasarlanan sürücüde ise motor hareketine, gaz pedalına ilk dokunuşla birlikte başlayacaktır (1 rpm'den itibaren).

- Kendi sürücüsünde akü gerilimi 40 V'nin altına düdüünde motor çalı mamaktadır. Tasarlanan sürücüde 12 volt gibi çok düük seviyelerde bile tekerlek içi motor çalı masına devam etmektedir. Bu sayede motor sadece dörütlü akü grubu yerine birli (12 Volt), ikili (24 Volt) ya da üçlü (36 Volt) akü grupları ile çalı tırılabilir ve tekerlek içi motorlu araca normal kullanım ve yarı ma artlarında büyük avantajlar sağlayacaktır.
- Sürücü devrenin kart haline getirilmesi ile istenilen kod çalı maları yapılabilir ve sürücü istenilen eilde programlanabilir. Böylece açık kodlu bir sistem olu turulmu olup deney çalı maları yapılabilir.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tekerlek içi motorların verimlilik, sessiz çalışması, çevre dostu olması gibi özelliklerinden dolayı kullanımının yaygınlaşması ile bu motorlarla ilgili bilimsel çalışmalarda da artış olmuştur. Motorların kontrolünü yapabilmek için sensörlü ve sensörsüz sürücü devreler üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada ise bulanık mantık kullanılarak farklı ve daha verimli bir denetleyici tasarlanmıştır. Bu denetleyici ile üç fazlı motorlar rahatlıkla kontrol edilebilmekte ve yüksek hızlara; kendi sürücülerine oranla daha kısa sürede ulaşabilmektedir.

Denetleyici tasarımında kullanılan elektronik malzemelerin fiyatlarının düşük olması ve kolaylıkla bulunabilmesi bu kartın çoğaltılabilmesi açısından avantaj olmaktadır. Maliyeti hazır olarak alınan sürücülere göre daha uygun olmaktadır.

Denetleyici sistemi test için motor test düzeneği kurulmuş ve elektrik motoru bu sistem üzerinde yüklü ve yüksüz olarak test edilmiştir. Elektrik motoruna ait sürücü ile ve bu tez çalışması için gerçekleştirilen denetleyici kart üzerinde ayrı ayrı testler gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan sürücü kartı bulanık mantık ile kontrol edilmiş ve satın alınan sürücü karta oranla daha verimli çalıştığı görülmüştür.

DeneySEL çalışması sonucunda hazırlanan denetleyici sistem (kontrolcü, sürücü devre, sürücü kartı); tekerlek içi motorların yanında üç fazlı tüm elektrik motorlarının kontrol edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Devre üzerindeki mikrodenetleyici programlanarak yazılım geliştirilebilmekte ya da değiştirilebilmektedir. Böylece deney bordu olarak eğitim amaçlı kullanılabilir.

Sonuç olarak; bu çalışmada gerçekleştirilen denetleyici sistem üç fazlı elektrik motorları için kullanılabilir olacaktır. Tekerlek içi motorları sürmek için bulanık mantık denetleyicisi tasarlanarak var olan bir yöntemi yeni bir alana

uygulayarak; endüstriyel uygulamalara katkı sa lamı tır. Ayrıca bu alanda yapılacak ara tırmalara ve akademik çalı malara katkı sa layacaktır.

KAYNAKLAR

1. Yazıcı, Y., "Fırçasız do ru akım motorunun sayısal i lemci (dsp) ile kontrolü", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 4-17 (2008).
2. Özdemir, A., "Elektrik motorları ve sürücüleri", *Birsen Yayınevi/Mühendislik Dizisi*, İstanbul, 78-101 (2007).
3. I ıklı, ., "Bulanık mantık ve bulanık teknolojiler", *Dil ve Tarih-Co rafya Fakültesi Felsefe Bölümü Dergisi*, Ankara, 9-10 (2007).
4. Aydo du, Ö., Akkaya, R., "DSP based fuzzy control of a brushless DC motor without position and speed sensors", *Proc. Of 4th Int. Advanced Technologies Symposium*, Konya, 182-187 (2005).
5. Mamdani, E. H., "Applications of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis", *IEEE Transactions on Computers*, London, 1182-1191 (1977).
6. ARI, M. E., "Stabilization of an inverted pendulum by using a Fuzzy controller", A Masters Thesis, *Middle East Technical University*, Ankara, (1995).
7. Kıyak, E., Kahvecio lu, A., "Bulanık mantık ve uçu kontrol problemine uygulanması", *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, Eski ehir, 63-72 (2003).
8. Kim, K.H., Youn, M.J., "DSP based high speed sensorless control for a brushless DC motor using a DC link voltage control", *Electric Power Components and Systems*, London, 889-906 (2002).

9. Çunka , M., Akkaya R., “kili ve gerçek kodlu genetik algoritmaların kar ıla tırılması”, *S.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, Konya, 11-17 (2002).
10. Gödeko lu, H., “Fırçasız do ru akım motoru konum kontrolü tasarımı”, *stanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, stanbul, 3-6 (2007).
11. Miller, T., “Brushless PM and reluctance motor drivers”, *Clarendon*, Oxford, 100-187 (1993).
12. Adam, A. A., “Sabit mıknatıslı senkron motorda moment dalgalanması ve gürültünün azaltılması”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, stanbul, 10-35 (2007).
13. Atan, Ö., “Fırçasız d.a. motorunun modellenmesi ve pwm yöntemiyle kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, *Yüzüncü Yıl üniversitesi*, Van, 5-25 (2007).
14. Yılmaz, M., “Fırçasız d.a. motorunun algılayıcısız kontrolünde dalgacık tekni inin uygulanması”, Doktora Tezi, *stanbul Teknik Üniversitesi*, stanbul, 13-38, 57-59 (2005).
15. Karaca, H., “PIC mikrodenetleyici kullanarak fırçasız dc motorun sensörsüz kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi*, Konya, 7-41 (2004).
16. Genç, N., “Fırçasız do ru akım (d.a) motorlarının bulanık mantık yöntemi ile kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Van, 34-57 (2002).
17. Yılmaz, M., “Fırçasız da makinelerinde konum algılayıcısız hız denetimi”, Yüksek Lisans Tezi, *stanbul Teknik Üniversitesi*, stanbul, 13-38 (2000).
18. Deshmukh, A. V., “Microcontrollers theory and applications”, *Push Print Services*, New Delhi, 178-186 (2004).

19. Zadeh, Lotfi A., “Fuzzy sets information and control”, *World Scientific Publishing*, New York, 339-353 (1965).
20. E risö üt Tiryaki, A., Kazan, R., “Bula ık makinesinin bulanık mantık ile modellenmesi”, *Sakarya Üniversitesi*, Mühendis ve Makine Dergisi Sayı:565, Sakarya, 1-8 (2007).
21. Tuncer, S., “De i ken hızlı sürücü sistemleri için fuzzy denetleyicili yeni bir algoritmanın geli tirilmesi ve uygulanması”, *Fırat Üniversitesi*, Elazı , 39-73 (1999).
22. Özek, A., Sinecen, M., “Klima sistem kontrolünün bulanık mantık ile modellenmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Denizli, 353-358 (2003).
23. Munakata, T., Jani, T.Y., “Fuzzy systems: an overview communications of the ACM”, *Kluwer Academic Publishers*, Norwell, 69-76 (1998).
24. Elmas, Ç., “Yapay zeka uygulamaları”, *Seçkin Yayıncılık*, Ankara, 233-255 (2003).
25. Zhang, G., Shao, C., Chai, T., “A new method for independently tuning PID parameters”, *Proceedings of the 35th Conference on Decision and Control, Kobe, IEEE*, 2527-2532 (1996).
26. Yazıcı, ., “Kendinden ayarlamalı sayısal PID tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 5-12 (2002).
27. Sugeno, M., “Industrial applications of fuzzy control”, *Elsevier Science Pub.*, 260-289 (1985).
28. Güvenç, U., Sönmez, Y., Biro lu, S., “Bulanık mantık denetimli DA-DA çeviricileri için geli tirilen bir e itim seti”, *Politeknik Dergisi, Journal of Polytechnic*, Ankara, 339-346 (2007).

29. Zadeh, L.A., “Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility”, 3-10 (1978).
30. DUMANAY, A. 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, 7-47 (2009).
31. nternet: Pico Technology Ltd., “Picoscope 3000 automotive PC oscilloscope”
http://www.picotech.com/discontinued/PicoScope3223_and_PicoScope3423.html (2009).
32. nternet: Microchip Technology, PIC Mikrodenetleyiciler 18FXX2
ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39564c.pdf, (2006).
33. nternet: Avago Technologies, “HCPL 3120 Datasheet”
<http://www.avagotech.com/docs/AV02-0161EN> (2004).
34. nternet: DRC Mühendislik, Proses kontrol sistemleri, iki denetimli kontrol (on-off kontrol)
<http://www.plcprogramlama.com/prosesonoff.htm> (2004).

ÖZGEÇM

Harun YILDIZ 1985'de Samsun'da do du; ilkö renimini aynı ehirde tamamladı. Liseyi ise Çaycuma Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi Bilgisayar Bölümünde okudu. Bu bölümden mezun olduktan sonra 2005 yılında ZKÜ Karabük Teknik E itim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar E itimi Bölümü'ne girdi; 2007'de üniversitenin adının de i tirilip Karabük Üniversitesi'nden 2009'da "iyi" derece ile mezun oldu. 2011 yılında Yüksekova Cumhuriyet İlkö retim Okulunda Bili im Teknolojileri Ö retmeni olarak göreve ba ladı. Halen; aynı okulda görev yapmakta ve 2009 yılında KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü elektronik ve Bilgisayar E itimi Anabilim Dalı'nda ba lamı oldu u yüksek lisans programını sürdürmektedir.

ADRES B LG LER

Adres: Yüksekova Cumhuriyet Ortaokulu.

Yüksekova / Hakkâri

Tel: 0544 416 50 70

E-posta: h.yildiz@msn.com