

**TİP-2 BULANIK MANTIK İLE TEKERLEK İÇİ
SABİT MIKNATISLI FIRÇASIZ DOĞRU AKIM
MOTORUNUN SÜRÜLMESİ**

**2013
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

Muammer ALBAYRAK

**TİP-2 BULANIK MANTIK İLE TEKERLEKİÇİ SABİT MIKNATISLI
FİRÇASIZ DOĞRU AKIM MOTORUNUN SÜRÜLMESİ**

Muammer ALBAYRAK

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Kasım 2013**

Muammer ALBAYRAK tarafından hazırlanan “TİP-2 BULANIK MANTIK İLE TEKERLEKİÇİ SABİT MIKNATISLI FIRÇASIZ DOĞRU AKIM MOTORUNUN SÜRÜLMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Raif BAYIR



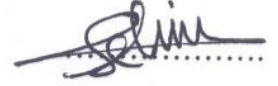
Tez Danışmanı, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 26/ 11/ 2013

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Selim ÖNCÜ (KBÜ)



Üye : Doç. Dr. Raif BAYIR (KBÜ)



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



24/12/2013

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

Prof. Dr. Mustafa BOZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



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

Muammer ALBAYRAK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TİP-2 BULANIK MANTIK İLE TEKERLEKİÇİ SABİT MIKNATISLI FİRÇASIZ DOĞRU AKIM MOTORUNUN SÜRÜLMESİ

Muammer ALBAYRAK

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Raif BAYIR

Kasım 2013, 77 sayfa

Bu çalışmada, günümüz teknolojisinde önemli bir yere sahip olan tekerlek içi sabit mıknatıslı fırçasız doğru akım motoru (TİSMFDAM) için tip-2 bulanık mantık kontrollü bir sürücü sistemi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Bir fırçasız doğru akım motoru olan TİSMFDAM, direk sürüş tekniğini sağlayan jant içine gömülmüş yapısıyla tekerlek içi motor olarak adlandırılmaktadır. TİSMFDAM karakterleri gereği kalkış anında yüksek tork üreterek aşırı akım tüketimine ve sarsıntıya neden olmaktadır. Hem sürücü ve besleyici sistemlerin güvenliği hem de sarsıntısız bir sürüş için bu durumun önlenmesi şarttır.

Bu sistem ile TİSMFDAM'nun kalkış anında yüksek akım çekerek sarsıntı ve sürücü sistemler üzerinde zarara neden olmasının önüne geçilmektedir. Batarya ömrü uzatılması ve yük altında aşırı akımdan dolayı motorun bozularak süresinden önce

yenilenmesinin önlenmesi sağlanmaktadır. Geliştirilen sürücü PID (Proportional Integral Derivative), bulanık mantık ve tip-2 bulanık mantık yöntemleri kullanılarak yüksüz, yarım yük ve tam yük altında üç farklı hızda test edilmiştir. Testler sonucunda geliştirilen sürücü sistemi TİSMFDAM'nun kalkış anındaki akımını sınırlandırılarak yumuşak kalkış ve güvenli sürüş sağlanmaktadır.

Anahtar Sözcükler : Motor denetimi, bulanık mantık, tip-2 bulanık mantık, fırçasız doğru akım motoru.

Bilim Kodu :

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE DRIVING APPLICATION OF IN WHEEL PERMANENT MAGNET BRUSHLESS DIRECT CURRENT MOTOR VIA FUZZY TYPE II

Muammer ALBAYRAK

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechatronics Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Raif BAYIR

November 2013, 77 pages

In this study, a driver system have been designed and implemented for hub motors which have an important role in today's technology. Hub motor, that is actually a brushless direct current motor, is also named as in wheel motor because of its embedded structure into the rim which ensures direct drive technique. Hub motor, because of its characteristic, produces high torque at the start time. High torque causes concussion and high power consumption. This situation has to be prevented for both the security of the driver and supply systems and a smooth drive.

With the developed driver system, harms of the hub motor on driver and supply systems and concussion at start time have been prevented. The developed driver system has been tested under various conditions by using PID, fuzzy logic and type-2 fuzzy logic methods. As a result of the tests, success of the

developed driver system has been proved. By limiting the current at the start time, a smooth and safe driving is provided.

Key Word : Motor control, fuzzy logic, type-2 fuzzy logic, brushless direct current motor.

Science Code :

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve sonuçlandırılmasında ilgi ve desteğini esirgemeyen, sayın hocam Doç. Dr. Raif BAYIR'a teőekkürlerimi sunarım.

Deney düzeneğinin hazırlanması aşamasında bilgi ve tecrübelerini paylaşarak çalıőmamın olgunlaőmasına yardımcı olan Sayın Ali Kemal TÖTÖNCÖ ve sevgili ağabeyim Öğr. Gör. Ahmet ALBAYRAK'a teőekkürü bir borç bilirim.

Sevgili aileme yardımlarını esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR TARAMASI	4
BÖLÜM 3	6
TEKERLEKİÇİ SABİT MIKNATISLI FIRÇASIZ DOĞRU AKIM MOTORLARI	6
3.1. FIRÇASIZ DA MOTORLAR.....	6
3.1.1. Fırçasız Doğru Akım Motorunun Yapısı.....	7
3.1.2. Fırçasız Doğru Akım Motorunun Sürülmesi.....	8
3.1.2. Konum Algılayıcılar	9
3.2. TİSMFDAM YAPISI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ.....	12
3.2.1. TİSMFDAM Yapısı.....	12
3.2.2. TİSMFDAM'nun Çalışma Prensibi	13
BÖLÜM 4	14
BULANIK MANTIK VE TİP 2 BULANIK MANTIK	14
4.1. BULANIK MANTIK.....	14

	<u>Sayfa</u>
4.2. BULANIK MANTIK SİSTEMLER.....	15
4.2.1. Bulanıklaştırma.....	16
4.2.2. Kural İşleme Birimi.....	20
4.2.3. Durulaştırma.....	22
4.3. TİP 2 BULANIK MANTIK.....	22
4.3.1. Tip – 2 Bulanık Mantık Sistemler.....	23
4.3.2. Basitleştirilmiş Tip – 2 Bulanık Mantık.....	24
BÖLÜM 5	28
MATERYAL VE METOD.....	28
5.1. DENEY DÜZENİĞİ.....	28
5.1.1. Tercih Edilen TİSMFDAM.....	29
5.1.2. Denetleyici.....	30
5.1.3. Sürücü Devre.....	31
5.1.4. Algılayıcılar.....	33
5.1.5. Veri Alış-Veriş Kartı.....	34
5.1.6. Alternatör.....	34
5.2. DENETİM YÖNTEMLERİ.....	36
5.2.1. PID Denetimi.....	37
5.2.2. Bulanık Mantık Denetimi.....	38
5.2.3. Tip – 2 Bulanık Mantık Denetimi.....	39
BÖLÜM 6	40
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	40
6.1. YÜKSÜZ DENEYLER.....	40
6.1.1. Yüksüz 100 Devirdeki Deneysel Çalışmalar.....	41
6.1.2. Yüksüz 200 Devirdeki Deneysel Çalışmalar.....	43
6.1.3. Yüksüz 300 Devirdeki Deneysel Çalışmalar.....	45
6.2. YARIM YÜKLÜ DENEYLER.....	47
6.2.1. Yarım Yüklü 100 Devirdeki Deneysel Çalışmalar.....	47
6.2.2. Yarım Yüklü 200 Devirdeki Deneysel Çalışmalar.....	50
6.2.3. Yarım Yüklü 300 Devirdeki Deneysel Çalışmalar.....	54

	<u>Sayfa</u>
6.3. TAM YÜKLÜ DENEYLER.....	57
6.3.1. Tam Yüklü 100 Devirdeki Deneysel Çalışmalar.....	58
6.3.2. Tam Yüklü 200 Devirdeki Deneysel Çalışmalar.....	61
6.3.3. Tam Yüklü 300 Devirdeki Deneysel Çalışmalar.....	64
BÖLÜM 7	69
SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	70
KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİŞ	77

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Fırçasız bir DC motorun prensip şeması.....	7
Şekil 3.2. İç rotorlu bir fırçasız doğru akım motorunun yapısı	8
Şekil 3.3. Fırçasız doğru akım motoru anahtarlama sistemi	9
Şekil 3.4. TİSMFDAM'nun yapısı	12
Şekil 3.5. TİSMFDAM'nun iç görünüşü.....	13
Şekil 4.1. Bulanık mantık sistem.....	16
Şekil 4.2. Üçgen üyelik fonksiyonu	17
Şekil 4.3. Yamuk üyelik fonksiyonu	18
Şekil 4.4. Çan eğrisi üyelik fonksiyonu	18
Şekil 4.5. Örnek üyelik fonksiyonları	19
Şekil 4.6. Kesme metodu ile kuralın uygulanması.....	21
Şekil 4.7. Ölçekleme metodu ile kuralın uygulanması.....	21
Şekil 4.8. Üyelik fonksiyonları.....	23
Şekil 4.9. Tip-2 bulanık mantık sistem.....	23
Şekil 4.10. Tip-2 üyelik fonksiyonunun klasik fonksiyonlara ayrılması	25
Şekil 4.11. Sol üyelik fonksiyonu	25
Şekil 4.12. Üst üyelik fonksiyonu	26
Şekil 4.13. Alt üyelik fonksiyonu.....	26
Şekil 4.14. Sağ üyelik fonksiyonu.....	26
Şekil 4.15. Basitleştirilmiş tip-2 bulanık mantık sistem.....	27
Şekil 5.1. Deney düzeneği blok diyagramı.....	28
Şekil 5.2. Deney düzeneği	29
Şekil 5.3. mbed LPC1768 mikrodenetleyici bordu	30
Şekil 5.4. Geliştirilen sürücü devre	31
Şekil 5.5. 4N25 entegresi	32
Şekil 5.6. IR2113 entegresinin içyapısı ve bağlantı şekli.....	32
Şekil 5.7. IRFP260N güç mosfeti.....	33
Şekil 5.8. LTS25 - NP akım algılayıcı şekli ve çıkış karakteristiği	33

Şekil 5.9. Arduino Uno mikrodenetleyici kartı	34
Şekil 5.10. Alternatör ve TİSMFDAM bağlantısı	35
Şekil 5.11. Kullanılan alternatörün performans grafiği	35
Şekil 5.12. Sürücü yazılım akış şeması	36
Şekil 5.13. PID blok diyagramı	37
Şekil 6.1. 100 devir yüksüz PID deneyi	41
Şekil 6.2. 100 devir yüksüz bulanık mantık deneyi	42
Şekil 6.3. 100 devir yüksüz tip-2 bulanık mantık deneyi	42
Şekil 6.4. 200 devir yüksüz PID deneyi	43
Şekil 6.5. 200 devir yüksüz bulanık mantık deneyi	44
Şekil 6.6. 200 devir yüksüz tip-2 bulanık mantık deneyi	44
Şekil 6.7. 300 devir Yüksüz PID deneyi	45
Şekil 6.8. 300 devir yüksüz bulanık mantık deneyi	46
Şekil 6.9. 300 devir yüksüz tip-2 bulanık mantık deneyi	46
Şekil 6.10. 100 devir yarım yüklü PID deneyi	47
Şekil 6.11. 100 devir yarım yüklü PID deneyi alternatör çıkışı	48
Şekil 6.12. 100 devir yarım yüklü bulanık mantık deneyi	48
Şekil 6.13. 100 devir yarım yüklü bulanık mantık deneyi alternatör çıkışı	49
Şekil 6.14. 100 devir Yarım yüklü tip-2 bulanık mantık deneyi	49
Şekil 6.15. 100 devir yarım yüklü tip-2 bulanık mantık deneyi alternatör çıkışı	50
Şekil 6.16. 200 devir yarım yüklü PID deneyi	51
Şekil 6.17. 200 devir yarım yüklü PID deneyi alternatör çıkışı	51
Şekil 6.18. 200 devir yarım yüklü bulanık mantık deneyi	52
Şekil 6.19. 200 devir yarım yüklü bulanık mantık deneyi alternatör çıkışı	52
Şekil 6.20. 200 devir yarım yüklü tip-2 bulanık mantık deneyi	53
Şekil 6.21. 200 devir yarım yüklü tip-2 bulanık mantık deneyi alternatör çıkışı	53
Şekil 6.22. 300 devir yarım yüklü PID deneyi	54
Şekil 6.23. 300 devir yarım yüklü PID deneyi alternatör çıkış	55
Şekil 6.24. 300 devir yarım yüklü bulanık mantık deneyi	55
Şekil 6.25. 300 devir yarım yüklü bulanık mantık deneyi alternatör çıkışı	56
Şekil 6.26. 300 devir yarım yüklü tip-2 bulanık mantık deneyi	56
Şekil 6.27. 300 devir yarım yüklü tip-2 bulanık mantık deneyi alternatör çıkışı	57

Sayfa

Şekil 6.28. 100 devir tam yüklü PID deneyi	58
Şekil 6.29. 100 devir tam yüklü PID deneyi alternatör çıkışı	58
Şekil 6.30. 100 devir tam yüklü bulanık mantık deneyi	59
Şekil 6.31. 100 devir tam yüklü bulanık mantık deneyi alternatör çıkışı	59
Şekil 6.32. 100 devir tam yüklü tip-2 bulanık mantık deneyi.....	60
Şekil 6.33. 100 devir tam yüklü tip-2 bulanık mantık deneyi alternatör çıkışı.....	60
Şekil 6.34. 200 devir tam yüklü PID deneyi	61
Şekil 6.35. 200 devir tam yüklü PID deneyi alternatör çıkışı	62
Şekil 6.36. 200 devir tam yüklü bulanık mantık deneyi	62
Şekil 6.37. 200 devir tam yüklü bulanık mantık deneyi alternatör çıkışı	63
Şekil 6.38. 200 devir tam yüklü tip-2 bulanık mantık deneyi.....	63
Şekil 6.39. 200 devir tam yüklü tip-2 bulanık mantık deneyi alternatör çıkışı.....	64
Şekil 6.40. 300 devir tam yüklü PID deneyi	65
Şekil 6.41. 300 devir tam yüklü PID deneyi alternatör çıkışı	65
Şekil 6.42. 300 devir tam yüklü bulanık mantık deneyi	66
Şekil 6.43. 300 devir tam yüklü bulanık mantık deneyi alternatör çıkışı	66
Şekil 6.44. 300 devir tam yüklü tip-2 bulanık mantık deneyi.....	67
Şekil 6.45. 300 devir tam yüklü tip-2 bulanık mantık deneyi alternatör çıkışı.....	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Anahtarlama sıralaması.....	13
Çizelge 5.1. Tercih edilen TİSMFDAM’na ait parametreler	30
Çizelge 5.2. PID katsayılarının sistem üzerindeki etkileri.....	37
Çizelge 5.3. Kural tabanı.....	38
Çizelge 6.1. Deneysel çalışmalar	40
Çizelge 6.2. 100 Devir yüksüz deneylerine ilişkin sayısal veriler	43
Çizelge 6.3. 200 Devir yüksüz deneylerine ilişkin sayısal veriler	45
Çizelge 6.4. 300 Devir yüksüz deneylerine ilişkin sayısal veriler	46
Çizelge 5.5. 100 Devir yarım yüklü deneylerine ilişkin sayısal veriler	50
Çizelge 6.6. 200 Devir yarım yüklü deneylerine ilişkin sayısal veriler	54
Çizelge 6.7. 300 Devir yarım yüklü deneylerine ilişkin sayısal veriler	57
Çizelge 6.8. 100 Devir tam yüklü deneylerine ilişkin sayısal veriler	61
Çizelge 6.9. 200 Devir tam yüklü deneylerine ilişkin sayısal veriler	64
Çizelge 6.10. 300 Devir tam yüklü deneylerine ilişkin sayısal veriler	68
Çizelge 7.1. Kullanılan kontrol yöntemlerinin performans karşılaştırması.....	69

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- V : gerilim
 R : direnç
 i : akım
 L : endüktans
 e : elektromotor
 ω_m : açısal hız
 λ_m : akış bağlantısı
 θ_r : pozisyonu
 J : atalet momenti
 T_l : tork
 π : pi sayısı

KISALTMALAR

BLDC	: brushless direct current (firçasız doğru akım)
PID	: proportional integral derivative (oransal integral türev)
DC	: direct current (doğru akım)
TİSMFDAM	: tekerlek içi sabit mıknatıslı firçasız doğru akım motoru
DA	: doğru akım
AA	: alternatif akım
EMK	: elektromotor kuvvet
SMSM	: sabit mıknatıslı senkron motor
FDAM	: firçasız doğru akım motoru
V	: gerilim (volt)
R	: direnç (resistance)
L	: endüktans (inductance)
PWM	: darbe genişlik modülasyonu (pulse width modulation)
ADC	: analog sayısal dönüştürücü (analog digital converter)
USB	: evrensel seri veriyolu (universal serial bus)
W	: watt
A	: amper
Nm	: newton metre (newton meter)
Rpm	: dakikadaki devir sayısı (rotate per minute)
Mhz	: mega hertz
e	: hata
et	: hata değişimi
kp	: oransal kazanç
ki	: integral sabiti
kd	: türev sabiti
NB	: negatif büyük
NK	: negatif küçük
SF	: sıfır
PK	: pozitif küçük
PB	: pozitif büyük
mA	: mili amper

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde enerji ihtiyacı ve verimliliği insanlık için en önemli unsurlardandır. Dünya nüfusunun hızla artması ve buna bağlı faktörler nedeniyle enerji ihtiyacı her geçen gün artmakta ancak buna karşın enerji kaynakları azalmaktadır. Bu durum insanlığı yenilenebilir enerji kaynaklarına ve enerjinin verimli kullanılması için çalışmaya yöneltmektedir. Bu noktada yenilenebilir enerji kaynaklarıyla beslenebilen ve enerjiyi verimli kullanan cihazlar önem kazanmaktadır [1-3].

Fosil yakıtların tükenmek üzere olması, bilim adamlarını yeni yöntemler bulmaya sevk etmiştir. Özellikle taşımacılık sektöründe enerji kaynağı olarak fosil yakıtların kullanılıyor olması nedeniyle, hibrit ve elektrikli araçlar geliştirilmiştir. Bu araçlarda hareketi sağlamak için elektrik motorları kullanılmaktadır [4,5]. Elektrikli araçlar fosil yakıtlara olan bağımlılığı ortadan kaldırmasının yanı sıra fosil yakıtların neden olduğu küresel ısınma ve çevre kirliliğine neden olmaması açısından da son derece önemlidir [6,7].

Tekerlek içi sabit mıknatıslı fırçasız doğru akım motoru (TİSMFDAM), avantajlı özellikleri nedeniyle sanayi ve endüstride birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle elektrikli araçlarda giderek yaygınlaşan TİSMFDAM, taşımacılık sektöründe elektrikli araçların payını her geçen gün arttırmaktadır. Bu motorların en önemli avantajları verimlerinin yüksek olması, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanması ve direkt sürüş tekniğini sağlaması olarak sayılabilir [8].

TİSMFDAM, fırçasız doğru akım motorlarının (FDAM) bir türüdür. FDAM'ndan farkı direkt sürüş tekniğini sağlamasıdır. FDAM'nda ortadaki rotor dönerken stator sabit durur. Bu nedenle gücün aktarımına ihtiyaç duyar ve bu durum güç kayıplarına ve dolayısıyla verimin düşmesine neden olur.

TİSMFDAM ise stator sabit dururken dış rotor döner ve böylece gücün aktarımından kaynaklanan kayıplar önlenerek direk sürüş tekniği sağlanmış olur. Bu durum TİSMFDAM'un verimliliğini arttırırken aynı zamanda motora kompakt bir yapı kazandırır. Böylece motor bir jantın içine gömülerek kolaylıkla kullanılabilir [7,8].

Birçok motor çeşidinde olduğu gibi, TİSMFDAM'lar da kalkış anında aşırı güç tüketirler. Bunun sebebi kalkış anında motorun yüksek tork üretmesidir. Bu aşırı güç tüketimi kendini akım yükselmesi ve gerilim düşümü şeklinde gösterebilmektedir. Ayrıca elektrikli araçlarda sarsıntı ve patinaj şeklinde de gözlemlenebilmektedir [9, 10]. Kullanılan besleme kaynağı yeterli korumaya sahip değilse kısa devre olarak yanabilmekte ya da aşırı ısınabilmekte ve kullanım ömrü kısalmaktadır. TİSMFDAM ayrıca bir sürücü ile kontrol edildiğinden bu sürücü kart da zarar görebilmektedir. Bu olumsuzluklardan korunmak için kullanılan ekipmanlar motorun nominal değerlerinden çok daha yüksek değerlere göre seçilmekte, buda maliyeti ve boyutları arttırmaktadır [2,13].

Bu olumsuzluklar geleneksel yani sert yol verme yöntemi kullanıldığında geçerlidir. Ancak yumuşak yol verme yöntemi kullanılarak tüm bu olumsuzlukların önüne geçilebilmektedir. Yumuşak yol verme ile motor akımının başlangıç anındaki ani yükselişi önlenerek sürücü ve besleyici sistemlerin korunması ve sarsıntı ve patinaj gibi durumların da engellenmesi sağlanmaktadır [1,6-8].

Yumuşak yol verme için kullanılan birçok yöntem vardır. Genellikle motor ile besleyici sistem arasına yerleştirilen ek bir düzenek ile yumuşak yol verme yapılmaktadır. Bu yöntemde geri besleme olarak faz akımları kullanılır. Kullanılan ek elemanlar, kontrolcü ve her faz için akım algılayıcıları bu yöntemin maliyetini arttırmaktadır.

Tip-2 bulanık mantık, özellikle son on yıllık dönemde birçok farklı alanda kullanılmakta ve başarılı sonuçlar vermektedir. Özellikle belirsizlik derecesinin yüksek olduğu durumlarda, belirsizlikleri daha iyi modelleyebildiği için, PI, PID ya da klasik bulanık mantık yöntemlerinin yerine tip – 2 bulanık mantık yöntemi tercih

edilmektedir. Başta bilgisayar bilimleri olmak üzere mühendislik uygulamaları, otomasyon ve kontrol sistemleri, sınıflandırma ve örüntü tanıma problemleri, hibrit elektrikli araçlarda enerji yönetimi, robot sistemleri ve matematik bu alanlar arasında sayılabilir [14-16].

Bu tez çalışmasında, TİSMFDAM'nun yumuşak yol verilerek sürülmesi için bir test düzeneği gerçekleştirilmektedir. TİSMFDAM için geliştirilen sürücü karta motorun ana şebeke akımını algılamak için bir akım algılayıcısı yerleştirilmekte ve bu geri besleme bilgisi sürücü tarafından ek bir parametre olarak kullanılarak motora yumuşak yol verilmesi sağlanmaktadır. TİSMFDAM'un sürülmesi için PID, bulanık mantık ve tip-2 bulanık mantık yöntemleri kullanılmakta, her yöntem farklı şartlar altında test edilmekte ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak analiz edilmektedir.

Bu tezin birinci bölümünde çalışmanın geniş bir zeti verilmektedir. İkinci bölümünde literatür taraması, nc bölümünde TİSMFDAM'un yapısı ve çalışma prensibi açıklanmaktadır. Çalışmanın dördüncü bölümünde ise, TİSMFDAM'un yumuşak yol verilerek sürülmesi uygulamasında kullanılan bulanık mantık tipleri verilmektedir.

Beşinci bölümünde, materyal ve metot, çalışmada kullanılan deneysel materyaller, deney düzeneği, kullanılan yöntemlerin ayrıntıları ve yazılım geliştirme aşamaları açıklanmaktadır. Altıncı bölümünde ise gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ve sonuçları ayrıntılarıyla verilmektedir.

Tezin son bölümünde, deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar analiz edilerek karşılaştırılmakta ve yorumlanmaktadır. Çalışmanın sonucu değerlendirilerek bundan sonra yapılacak çalışmalar için öneriler sunulmaktadır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

TİSMFDAM, ülkemizde ve dünyada birçok akademik çalışmaya konu olmaktadır. Çalışmalar ağırlıklı olarak TİSMFDAM tasarımı, denetim yöntemleri, performans ve verimliliğin artırılması, sürücü devre tasarımı konularında yapılmaktadır.

Kandiban ve Arulmozhiyal klasik PID, bulanık PID ve adaptif bulanık PID yöntemlerini karşılaştırmak amacıyla bir FDAM'nun kontrolünde adaptif bulanık PID yöntemini kullanmış ve adaptif bulanık PID yönteminin diğer iki yöntemden daha iyi bir kontrol performansı sunduğunu belirlemiştir [17]. Ying Wu ve arkadaşları, lineer motorun karakteristiğine göre bulanık mantık ve PID kontrol algoritmalarının avantajlarını birleştirerek sabit mıknatıslı lineer senkron motorun kontrolünde bulanık PID yöntemini kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlar Matlab ortamında analiz edildiğinde bulanık PID yaklaşımının klasik PID yaklaşımına göre çok daha iyi sonuç verdiğini görmüşlerdir [18].

Wang Yuanxi ve arkadaşları FDAM'nun lineer olmayan çok değişkenli yapısını düzeltmek için bulanık mantık ve PID kontrolünü birlikte kullanarak FDAM için otomatik ayarlamalı bir PID kontrolcü tasarlamışlardır. Sonuçlar klasik PID yöntemine göre bu yöntemin statik ve dinamik performansının çok daha iyi olduğunu göstermiştir [19]. Gerasimos'un çalışmasında doğru akım (DA) motor kontrolcülerinin yük dinamikleri değiştiğinde zayıf kalan performanslarını geliştirmek için adaptif bir bulanık kontrolcü önermiştir [20].

Patricia Merlin ve Oscar Castillo, bir adım motorunun hız kontrolünde bulanık mantık kullanırken, bulanık kural tabanının hazırlanışında sinirsel bulanık bir yaklaşımı tercih etmiştir [21]. Çetin Elmas ve arkadaşları sabit mıknatıslı senkron bir motorun hız kontrolü için sinirsel bulanık bir kontrolcü tasarlamışlardır. Simülasyon

sonucunda geliştirilen yaklaşımın sabit mıknatıslı senkron motorların hız kontrolünde etkili olduğu görülmüştür [22]. Chaio-Shiung Chen ve Wen-Chi Lin tarafından ortaya konan çalışmada sabit mıknatıslı lineer senkron motorların yüksek çözünürlüklü hareket kontrolü için kendi kendine adapte olabilen tip-2 sinirsel bulanık ağ tabanlı bir kontrol sistemi önerilmiştir. Deneysel sonuçlar önerilen kontrol sisteminin tip-1 versiyonu ile karşılaştırıldığında daha iyi izleme performansı sunduğunu ortaya koymuştur [23].

Tan ve Tang tarafından 2001 yılında gerçekleştirilen çalışmada bulanık mantık otomatik yönlendirilmiş bir aracın uçurulması için sevk sistemi geliştirilmesi amacıyla kullanılmıştır [24]. Atacak ve Bay tarafından 2010 yılında gerçekleştirilen çalışmada, kural tabanı ve üyelik fonksiyonlarının parametrelerindeki belirsizlik durumlarından dolayı, DA-DA dönüştürücü kontrolünde tip-2 bulanık mantığı kullanmıştır [25]. Mendez ve arkadaşları, sonuçları klasik bulanık mantık sonuçları ile karşılaştırmak amacıyla sargı giriş sıcaklığı tahmininde tip-2 bulanık mantığı kullanmıştır [26].

Martinez ve arkadaşları 2008 yılındaki çalışmalarında otonom bir tekerlekli robotun kontrolünde [27], Wagner ve Hargas tarafından 2007 yılında ortaya konan çalışmada gerçek dünya ortamlarında hareket edecek bir mobil robotun kontrolünde tip-2 bulanık mantık yöntemini kullanmıştır [28]. Lynch ve arkadaşlarının aynı yıl gerçekleştirdikleri çalışmada motor yönetiminde ortaya çıkan belirsizliklerin üstesinden gelebilecek güçlü ve hassas bir kontrolcü tasarlamak için tip-2 bulanık mantıktan yararlanmışlardır [29]. Lynch ve arkadaşlarının 2006 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada bir dizel motorun gerçek zamanlı hız kontrolü tip-2 bulanık mantık ile gerçekleştirilmiştir [30].

Bu tez çalışmasında tekerlek içi sabit mıknatıslı fırçasız bir doğru akım motorunun kontrolünde tip-2 bulanık mantık yöntemi kullanılmış, PID ve klasik bulanık mantık yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Kullanılan tip-2 bulanık mantık yöntemi özellikle yük altında ve yüksek devirlerde PID ve klasik bulanık mantık yöntemlerinden daha iyi sonuçlar vermiştir.

BÖLÜM 3

TEKERLEK İÇİ SABİT MIKNATISLI FIRÇASIZ DOĞRU AKIM MOTORLARI

Günümüz teknolojisinin vazgeçilmez unsurlarından biri olan motorlar manyetik alan kuvvetinin elektrik akımıyla oluşturulmasıyla ortaya atılmıştır. Bir demir nüve üzerine sarılan çok sipirli bobin telin üzerinden akım geçirildiğinde demir nüve kutup başları olan N - S kutuplarını oluşturarak çevresindeki zıt kutupları veya metal cisimleri çekmektedir. Bu teoriden yola çıkan bilim adamları çekme itme kuvvetini ard arda koyarak ve bu hareketi dairesel harekete çevirerek ilk elektrikli motoru yapmışlardır [6].

Motorlar kendi aralarında besleme kaynağı ve şekli, iç yapısı ve kullanım alanları gibi özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Bunların arasında doğru akım motorları basit yapıları, kolay kullanılmaları ve ihtiyaca göre neredeyse her boyutta üretilebilmeleri nedeniyle en çok tercih edilen motorlardandır [6,7]. DA motorlar yüksek verimleri, basit kumanda üniteleri ile değişken yükler altında hız ayarı imkânı sağlarlar. Motorlarda hassas devir kontrolü, iş kalitesinin yükselmesine, verimin artmasına ve üretim üzerinde daha fazla kontrol sağlanmasına yol açmaktadır. Ayrıca DA Motorlar senkron kumanda sistemlerine olanak vermektedir [6,7].

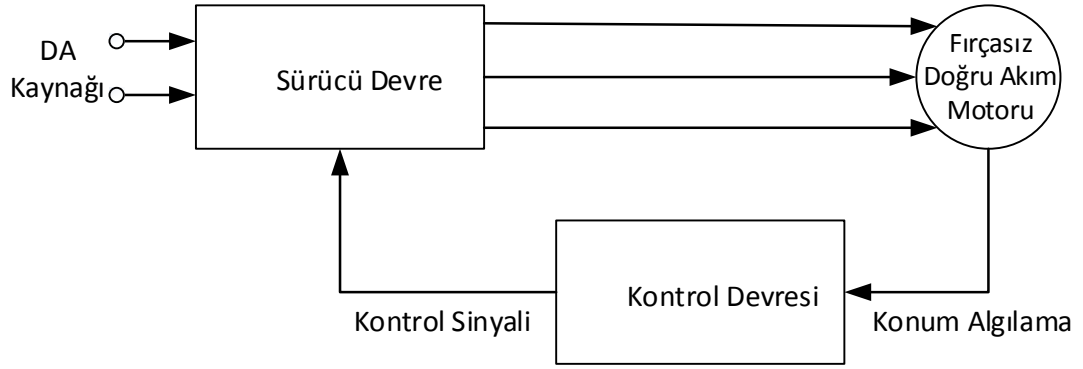
3.1. FIRÇASIZ DA MOTORLAR

Fırçasız DA makineleri, klasik doğru akım makineleri veya asenkron makineler gibi doğrudan besleme kaynağına bağlanarak çalıştırılmazlar. Bir kontrol devresine ihtiyaç duyarlar. Bu nedenle bu tip makineler, kontrol devreleri ve diğer yardımcı elemanlarıyla bütün bir sistem olarak incelenmektedir. Doğru akım motorlarına benzer şekilde, fırçasız motorlar sabit bir doğru akım kaynağından beslenebilir ve hız, besleme gerilimi değiştirilerek ayarlanabilir.

Fırçasız doğru akım makineleri, başlıca üç ana kısımdan meydana gelir. Bu kısımlar:

1. Sürekli mıknatıslı senkron makine.
2. Konum algılayıcı cihazlar.
3. Sürücü devresidir.

Şekil 3.1, Fırçasız bir doğru akım motorunun prensip şeması verilmektedir.



Şekil 3.1. Fırçasız bir DA motorun prensip şeması.

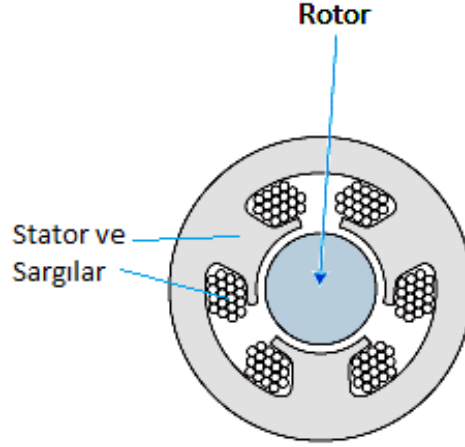
3.1.1. Fırçasız Doğru Akım Motorunun Yapısı

Fırçasız motorların dört temel bölümü vardır. Bunlar; sabit mıknatıstan oluşan rotor (endüvi), bobinlerin sabitlendiği stator (endüktör), komütatör (dağıtıcı), rotor durumunu kontrol eden algılayıcı ve kontrol birimleridir [6]. Bir fırçasız DA motorunun yapısı senkron motor olarak da bilinen mıknatıslı alternatif akım (AA) motoruna çok benzer. Motorun statorunda AA motor sargısı benzeri çok fazlı sargılar bulunur. Rotor ise mıknatıs malzemeyi taşır [6,7].

Fırçasız doğru akım motorları dış rotorlu, disk tipi ve iç rotorlu olmak üzere üç sınıfa ayrılır. Kullanım alanı en fazla olan tip iç rotorlu fırçasız doğru akım motordur. Rotor, statorun içinde yer alır. Mıknatıslar rotor içine yerleştirilmiştir.

Şekil 3.2’de iç rotorlu bir fırçasız doğru akım motorunun yapısı verilmektedir. Statordaki oluklara sargıların yerleştirilmesi bakımından, senkron motorla fırçasız DA motoru arasında farklılıklar vardır. Senkron motorda sargılar stator boyunca

sinüzoidal olarak dağıtılırlar. Böylece sinüzoidal formda emk indüklenmesi sağlanır. Buna karşın, fırçasız DA motorunda indüklenen emk trapezoidal formda olmalıdır. Bunu sağlamak için stator kutup ayaklarının altına yığılmış biçimde yerleştirilir [6,7].



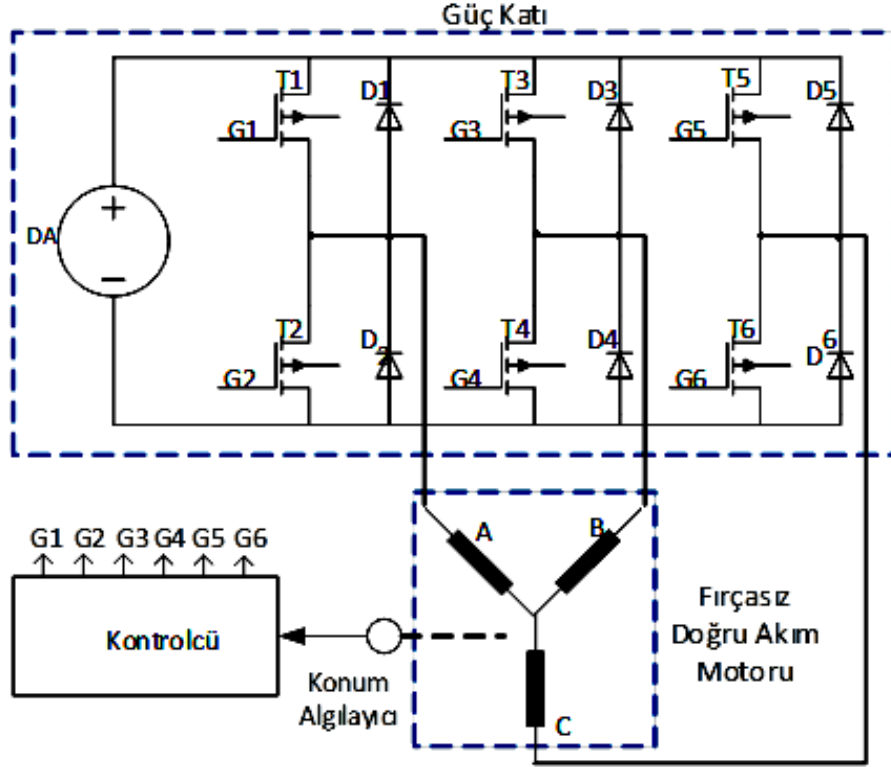
Şekil 3.2. İç rotorlu bir fırçasız doğru akım motorunun yapısı.

Senkron motorda endüvi sargılarından geçirilen doğru akım sabit bir manyetik alan oluşturur. Bu kutuplar statorda oluşan döner alanın peşinden giderek dönme olayı gerçekleşir. Senkron motorda, statorda bulunan faz sargılarına sinüzoidal formda alternatif gerilim uygulanır. Fırçasız DA motorunda ise, sargı akımları adım motorlarındaki gibi elektronik olarak anahtarlanır [6].

3.1.2. Fırçasız Doğru Akım Motorunun Sürülmesi

Fırçasız doğru akım motorları yarım köprü ya da tam köprü sürücüler ile sürülebilirler. Konum bilgisi anahtarlama sıralamasını belirlemek için kullanılır. Üç transistör kullanılarak hazırlanan yarım köprü motor kontrol devrelerinde kontrol geriliminin kutbu kullanılan transistörün tipine bağlıdır. NPN transistör ya da P kanal Fet kullanılıyor ise bu elemanlar pozitif gerilim uygulandığında ilettime geçer. PNP transistörler ise negatif gerilim uygulandığında iletkenidir. Yarım köprü devrelerinin dezavantajı çift ya da simetrik bir güç kaynağının kullanılmasının gerekmesi ve devrenin karmaşıklaşmasıdır. Bu nedenle altı transistörlü tam köprü sürücülerin kullanılması daha uygundur.

Bu tezde, kontrol edilen fırçasız doğru akım motoru üç fazlı olduğundan, her bir faz için iki adet olmak üzere toplamda altı mosfetten meydana gelen tam köprü sürücü tercih edilmektedir. Şekil 3.3'te fırçasız doğru akım motorlarında kullanılan üç fazlı tam köprü sürücü sistemi verilmektedir.



Şekil 3.3. Fırçasız doğru akım motoru anahtarlama sistemi.

3.1.3. Konum Algılayıcılar

Fırçasız DA motorunun, AA senkron motordan bir diğer farkı, motor kontrolü için gereksinim duyulan rotor konum algılayıcılarıdır. Bu algılayıcılar, stator sargı akımlarının doğru zamanda anahtarlama için, elektronik kontrol devresine gereken rotor konum bilgisini sağlar.

En yaygın olarak kullanılan konum algılayıcıları alan etkili algılayıcılarıdır. Bununla birlikte bu iş için optik algılayıcılar da kullanılabilir. Alan etkili algılayıcılar oldukça az yer kaplar ve motorun içine kolayca yerleştirilebilir. Algılayıcı eleman seçiminde maliyet ve motorun çalışma koşulları gibi ölçütler etkili olmaktadır [1,11].

Manyetik algılayıcılar bobin tipinde ya da yarı iletken malzeme tipinde yapılırlar. Yarı iletken malzeme tipinde olan algılayıcılar, transistöre benzer + ve - besleme geçişleri 0 ile 5V (lojik 0 ve lojik 1) çıkış verebilen iki zıt çıkıştan meydana gelir. Bu algılayıcılara enerji verildikten sonra yanına bir manyetik parça yaklaştırıldığında çıkış uçlarında (1) ve (0) sayısal bilgisi alınır [1,11].

Manyetik bobin tipi algılayıcı ise, sabit bir yere tutturulan bobinin yakınına bir mıknatıs yaklaştırılması ile bobin çıkışındaki gerilimin değiştirilmesi esasına göre çalıştırılır. Bu durumda bobin çıkışında bobine yaklaştırılan manyetik parçanın bir fonksiyonu olarak bir gerilim elde edilir. Bu gerilim istenilen amaç için kullanılır [1,11].

Optik algılayıcılar foto diyot veya foto transistör algılayıcısı ile kızılötesi led ışık kaynağından meydana gelir. Işık, optik algılayıcı üzerine düşürüldüğünde, optik algılayıcı transistörleri ateşleyerek bobinden geçen akımın kontrolünü sağlar. Optik algılayıcılar; küçük, hafif, dayanıklı ve daha yüksek duyarlılıklılırlar [1].

Son yıllarda, algılayıcısız kontrol yöntemleri uygulanmakta olup bunlardan biri sıfır geçiş yöntemi olarak adlandırılan metottur. Faz sargılarına 120° genişlikte akımlar uygulandığında, üç fazlı bir motorda, fazlardan biri pozitif diğeri negatif akım akıtacak, üçüncü faz ise pasif durumda kalacaktır. Sıfırdan geçiş yönteminde pasif durumdaki bu faz, zıt emk'yı ölçmek için kullanılabilir. Zıt emk'nın sıfırdan geçtiği nokta, iki komütasyon noktasının tam ortasıdır. Buradan hareketle, sıfır noktasından geçiş gerçekleştiğinde, önceki sıfırdan geçiş noktasına yarı periyot süresi ekleyerek, bir sonraki komütasyonun gerçekleşeceği zaman tahmin edilebilir [1].

Bu yöntemin bazı zayıf noktaları vardır. Yüksek hızlarda fazın pasif durumda kaldığı süre kısılacağından, uygun zamanlamayı yapmak zorlaşacaktır. Yüklü çalışma durumunda aktif fazlardan yüksek değerli akımlar akar. Stator sargıları endüktif karakterli olduğundan, komütasyon zamanlarında dönüştürücü devresindeki serbest geçiş diyotlarından geçecek akımlar nedeniyle pasif faz, zıt emk'yı ölçmek için kullanılamaz. Bundan dolayı, yüksek hızlı ve yüklü çalışma durumlarında sıfırdan geçişi izlemek mümkün olmaz [1].

Algılayıcısız çalışmada, daha güçlü bir yöntem olarak Kalman filtre teorisi kullanılmaktadır. Bu yöntemde motora ait konum, hız ve zıt emk bilgilerini içeren bir matematiksel model kullanılır. Tahmin aşamasında, bu model yardımıyla her bir zaman adımında motorun durumunun nasıl değişeceği tahmin edilir. Tahmin edilen zıt emk, ölçülen değerle karşılaştırılır ve fark, motorun çalışmasını iyileştirmek için kullanılır. Kalman tekniği kullanılarak sadece sıfır geçişlerinde değil, her zaman adımında motorun konum ve hız tahminleri yapılır. Bu sayede daha doğru komütasyon ve dolayısıyla yüksek verim elde edilebilir [1].

3.1.4. Fırçasız Doğru Akım Motorlarının Üstünlük ve Sınırlılıkları

Fırçasız doğru akım motorlarının üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [2-5,12,13].

1. Mükemmel hız kontrol olanağına sahiptir.
2. Verimleri çok yüksektir.
3. Fırçasız yapı sebebi ile fırçadan çıkan karbon tozlarını içermemektedir.
4. Küçük boyutta yüksek moment üretebilirler.
5. Uyarma akımına ihtiyaç duymazlar.
6. Güvenilir çalışma ortamı sağlarlar.
7. Soğutması kolaydır.
8. Yüksek hızlarda çalışma imkânı verirler.
9. Sessiz çalışma sağlarlar.

Fırçasız doğru akım motorları, kontrol devresinin karmaşık olması, rotor konumu algılayıcı sensörlerin kullanılması ve yüksek maliyet gibi sınırlılıklara sahiptir [2-4]. Bu motorların kullanım alanları aşağıdaki gibi özetlenebilir [5-7].

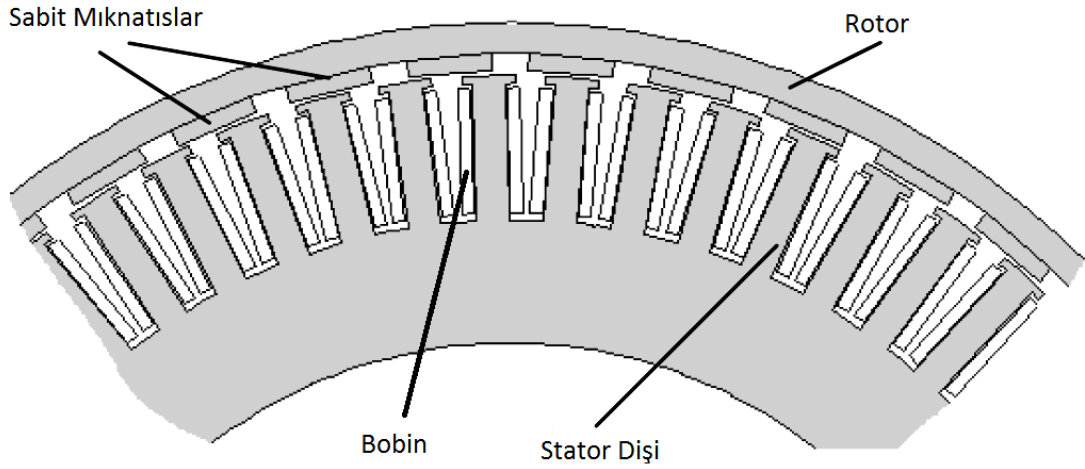
1. Otomotiv sektöründe; yakıt pompası, otomatik kontrollü klima motoru olarak,
2. Endüstri tesislerinde; servo sistemlerde, robotik uygulamalarda,
3. Bilgisayar endüstrisinde; yazıcı ve disk sürücülerinde,
4. Elektronik eşyalarda; kompakt disk ve kasetçalar motorlarında,
5. Lokomotif endüstrisinde, raylı sistem araçlarının tahrikinde,
6. Ev aletlerinde, çamaşır makinası tahrikinde kullanılmaktadır.

3.2. TİSMFDAM YAPISI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

TİSMFDAM fırçasız doğru akım motorunun geliştirilmiş bir sürümü olarak düşünülebilir [8,31]. TİSMFDAM'nun çalışma prensibi açısından fırçasız doğru akım motorundan hiçbir farkı yoktur. Farklılık TİSMFDAM'nun tasarımı ve içyapısındadır [3,12].

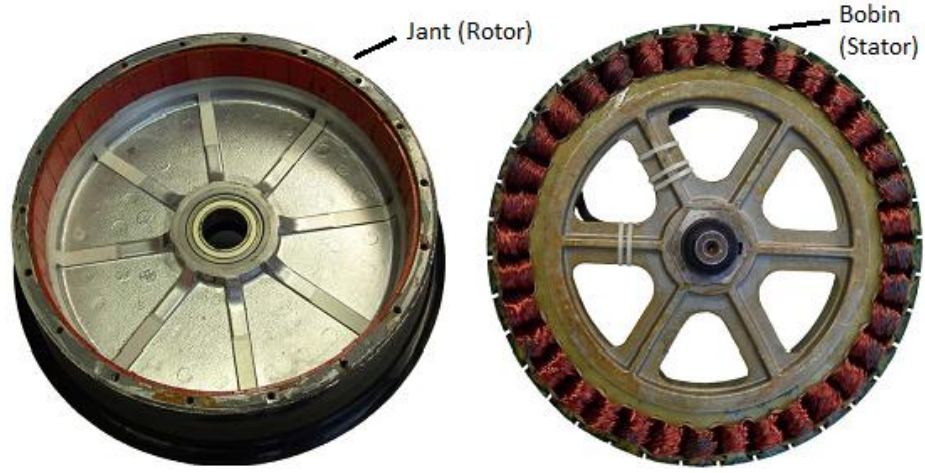
3.2.1. TİSMFDAM Yapısı

TİSMFDAM'nun fırçasız doğru akım motorlarından farkı rotor ve statorun yerlerinin değişmiş olması olarak özetlenebilir. Fırçasız doğru akım motorlarında içinde rotoru barındıran stator sabit dururken rotor statorun içinde döner. TİSMFDAM'da ise stator rotorun içindedir ve rotor statorun dışında döner. Bu sayede direk sürüş denilen teknik sağlanmış olmaktadır. TİSMFDAM'nda sargılar statorun, sabit mıknatıslar ise rotorun üzerinde bulunur. Şekil 3.4'te TİSMFDAM'nun yapısı verilmektedir.



Şekil 3.4. TİSMFDAM'nun yapısı.

Direk sürüş tekniği ile normal sürüşte güç aktarımından kaynaklanan güç kayıpları olmadığından dolayı verimlilik artar. Özellikle motor bir jant içine gömüldüğünde motorunu içinde barındıran bir araç tekerleği elde edilmiş olur [8,31]. Bu durum TİSMFDAM'nı elektrikli araçlar için mükemmel kılmaktadır. Şekil 3.5 bir TİSMFDAM'nun iç görünüşünü göstermektedir.



Şekil 3.5. TISMFDAM'nun iç görünüşü.

3.2.2. TISMFDAM'nun Çalışma Prensibi

TISMFDAM motorlar pozisyon algılayıcılara göre uygun komütasyon uygulandığında fırçasız doğru akım motoru sürücülerine ile sürülebilirler. Komütasyon TISMFDAM'nda FDAM'ndan farklıdır. Algılayıcıların durumuna göre fazların anahtarlama sıralaması Çizelge 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Anahtarlama sıralaması.

Konum Bilgisi (A-B-C)	Faz A	Faz B	Faz C
001	+	Boş	-
100	Boş	-	+
110	-	Boş	+
011	Boş	+	-
101	+	-	Boş
010	-	+	Boş

Her durumda fazlardan biri boş olmak zorundadır. TISMFDAM'nun fren yapması için ise tüm fazlara pozitif bilgi gönderilmesi gerekir. Tüm fazlara negatif bilgi gönderilirse TISMFDAM boşa döner. TISMFDAM'nun devir yönünün değiştirilmesi için Çizelge 3.1'de verilen anahtarlama sıralaması ters olarak uygulanmalıdır.

BÖLÜM 4

BULANIK MANTIK VE TİP 2 BULANIK MANTIK

Günümüz bilgisayarların ikili mantığı gerçek dünyanın belirsizliğini ifade etmekte yetersizdir. Bulanık mantık, belirsizlikleri ifade etmek amacıyla Zadeh tarafından geliştirilmiş bir analiz yöntemidir [32-37]. Bulanık mantık düzgün olmayan bilgilerin kullanılmasına ve kesin sonuçlar yerine yaklaşık sonuçlar üretmeye olanak sağlar. Her ne kadar bulanık mantık belirsizlikleri betimlemek amacıyla kullanılsa da klasik bulanık mantık yöntemlerinin yetersiz kaldığı durumlar söz konusu olabilmektedir [9,24]. Bu durumda bulanık mantığın bir türü olan tip-2 bulanık mantık yöntemi kullanılır [14,15]. Belirsizlikleri modelleme konusunda daha yetenekli olan tip-2 bulanık mantık yöntemi ile belirsizlik derecesi azaltılarak daha iyi sonuçlar üretilebilmektedir. [16].

4.1. BULANIK MANTIK

Birçok anahtar özelliğe sahip olan bulanık mantık, diğer yaklaşımlara göre model geliştirme ve analiz anlamında zamanın önemli olduğu durumlarda basitleştirilmiş bir platform sunar. Bu nedenle bulanık mantığın uygulanması oldukça kolaydır ve belirsizlik koşullarında en az diğer yaklaşımlar kadar ve genellikle daha iyi sonuçlar üretmektedir. Bu özellikleri bulanık mantığı birçok alanda oldukça popüler duruma getirmiştir [9,32]. Özellikle son yirmi yılda çeşitli alanlarda bulanık mantık uygulamalarının sayısında hızlı bir artış görülmüştür. Bulanık mantık temelde değişkenleri kesin değerler yerine üyelik derecelerine göre dikkate alan bir sistemdir. Bu üyelik derecesi 0 ile 1 arasında bir değer olabilir. Bu yapıyla bulanık mantık diğer yöntemlerden ayrılır [9]. Böylece örneğin kesin olmayan ölçüm sonuçlarına dayanan girişler bulanık mantıkta rahatlıkla kullanılabilir. Benzer şekilde dilsel değişkenler de rahatlıkla kullanılabilir. Bu durum bulanık mantık karakterinin en güçlü yönlerinden biridir.

Bulanık mantığın çeşitli alanlara dağılmış birçok başarılı uygulaması gerçekleştirilmiştir. Süreç denetimi ve optimizasyon, imalat hücreleri ve makine kontrolü, planlama, imalat sistemleri, kalite kontrolü, bakım onarım sistemleri, talep tahmini, imalat stratejisi ve kaynak belirleme bu alanlar arasında gösterilebilir [32].

Bulanık mantığın ilk uygulamaları Japonya'da görülmüştür. 1980'li yıllarda ilk olarak bir çimento fabrikasının kontrolünde kullanılan bulanık mantık daha sonra metro kontrolünde kullanılmış ve sonrasında birçok alana yayılan sayısız uygulamada kullanılmıştır [31].

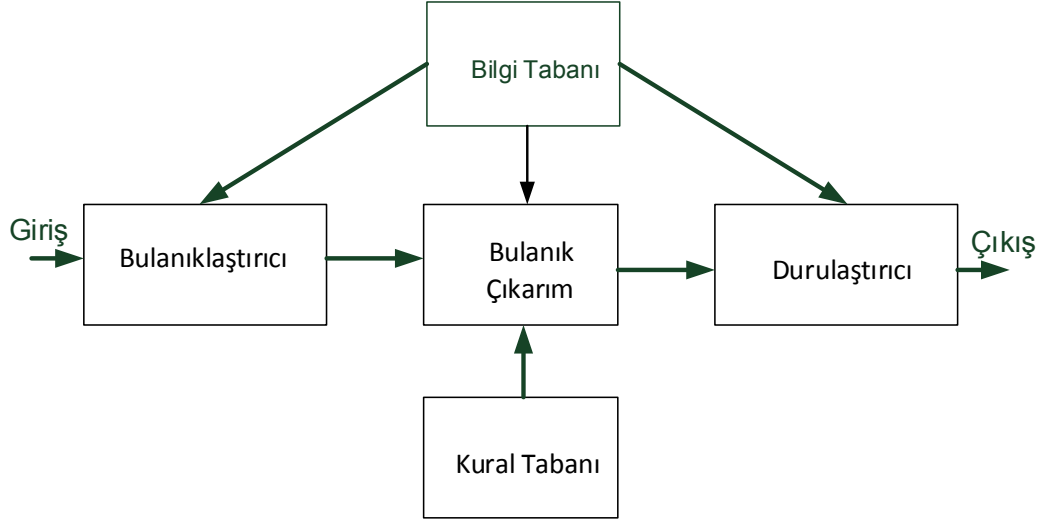
Bulanık mantık, entegrelerde, kameralarda otomatik odaklanma ve görüntü titremelerinin engellenmesi için, helikopterlerin kontrolünde, tıp alanında hastalık teşhisi ve benzeri konularda, otomobillerde fren, vites ve yakıt sistemlerinin kontrolünde ve ekonomik verilere göre tahmin yürütme gibi alanlarda yıllarca başarıyla kullanılmıştır [31].

Bulanık mantık birçok üstünlüğünün yanında, kararlılık analizinin yapılışının zorluğu, üyelik fonksiyonlarının deneme yanılma yoluyla bulunmasından dolayı uzun zaman alabilmesi ve uygulamada kullanılan kuralların oluşturulmasının bulanıklığa bağlılığı gibi sınırlılıklara sahiptir.

4.2. BULANIK MANTIK SİSTEMLER

Bulanık mantık sistemler, genelde, dört ayrı birimden oluşmaktadır. Bu birimler; sırası ile bulanıklaştırıcı birim, bulanık çıkarım birimi, durulaştırıcı birim ve çıktı bilgileridir [9,32-37]. Bulanıklaştırıcı birim, bulanık işlem sisteminin ilk birimi olarak devreye girmektedir. Kesin veya geri besleme sonuçları biçiminde bu birime giren bilgiler, burada bir ölçek değişikliğine uğrayarak bulanıklaştırılmaktadır [9,36].

Başka bir deyişle; bu bilgilerin her birine bir üyelik değeri atanıp, dilsel bir yapıya dönüştürülerek, buradan kural işleme birimine gönderilir [9,36]. Şekil 4.1'de genel bir bulanık sistem yapısı verilmektedir.



Şekil 4.1. Bulanık mantık sistem.

Kural işleme birimine gelen bilgiler, kural işleme biriminde depolanmış bir şekilde bulunan bilgi tabanına dayalı “if ... and ... then ... else” (eğer ... ise, ... olsun) gibi kural işleme bilgileri ile birleştirilir. Burada sözü edilen mantıksal önermeler, problemin yapısına göre sayısal değerlerle de kurulabilmektedir. Son adımda; problemin yapısına uygun mantıksal karar önermeleri kullanılarak elde edilen sonuçlar durulaştırıcı birime gönderilir. Durulaştırıcı birime gönderilen bulanık küme ilişkilerinde, bir ölçek değişikliği daha gerçekleştirilerek bulanık haldeki bilgilerin her biri gerçel sayılara dönüştürülerek kesin sonuçlar elde edilir. Bu sonuçlar bulanık mantık sistemin çıkışıdır [32].

4.2.1. Bulanıklaştırma

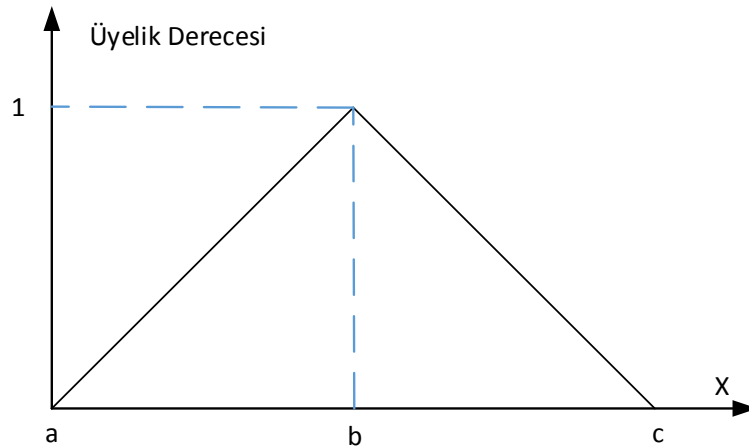
Matematikte, benzer özellikler gösteren elemanların bir arada gruplandırılmasıyla ‘küme’ adı verilen kavram oluşturulur [36,37]. Klasik matematikte bir konunun bir bölümünün o kümeye ait olması gibi bir kavram düşünülmez ve kabul edilmez. Bu sınırlama, problemlerin her zaman uygun bir çözüme kavuşturulabilmesine engel teşkil etmektedir [36].

Pratikte genel olarak, klasik küme şeklinde beliren değişim aralıklarının bulanıklaştırılması, bulanık küme, mantık ve sistem işlemleri için gereklidir. Bunun için, bir aralıkta bulunabilecek öğelerin hepsinin, 1’e eşit üyelik derecesine sahip

olacak yerde, 0 ile 1 arasında değişik değerlere sahip olması düşünülür. Bu durumda, bazı öğelerin belirsizlik içerdikleri kabul edilir [32]. Bu belirsizliklerin, sayısal olmayan durumlardan kaynaklanması halinde bulanıklıktan söz edilir. Bulanıklaştırma sürecinde ele alınan üyelik fonksiyonları, problemin yapısına ve amacına uygun olmalıdır. Genel anlamda üyelik fonksiyonları sezgisel, matematik, geometrik ya da istatistiksel yaklaşımlara dayandırılabilir [36].

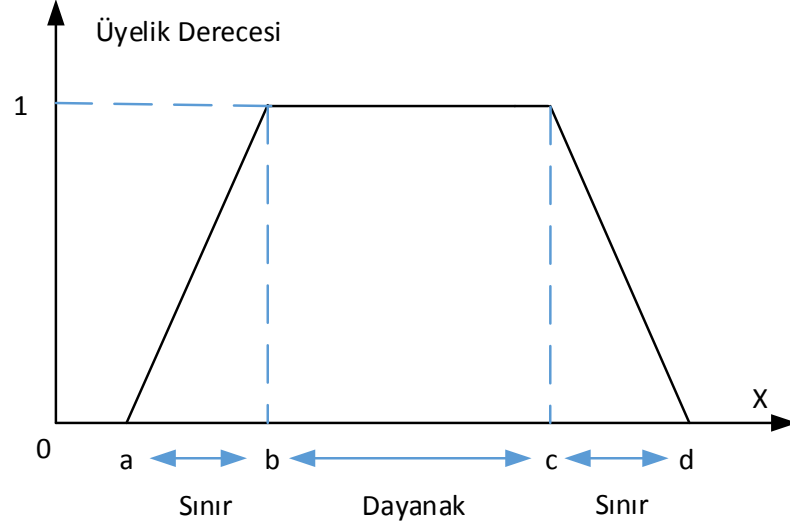
Bulanık kümelerin üyelik derecelerinin tümünü temsil edebilecek üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde, kişisel sezgi, mantık ve tecrübelerin kullanılmasına sıkça rastlanır. Pratikte birçok sorunun üstesinden gelebilmek için bu yaklaşımlar çoğu zaman yeterlidir [9]. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan başlıca yöntemler; sezgi, çıkarım, mertebelenme, açılı bulanık kümeler, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar, çıkarımcı muhakeme gibi yaklaşımlardır [9,36].

Bulanık kümelerin kullanışlılığı, farklı kavramlara uygun üyelik derecesi fonksiyonlarını oluşturabilme becerisine dayanmaktadır. En sık kullanılan fonksiyonlar “üçgen” ve “yamuktur”. “A” bulanık kümesine ait elemanların, üçgen üyelik fonksiyonu, yamuk üyelik fonksiyonu ve çan eğrisi (Gauss) üyelik fonksiyonu ile gösterimi sırasıyla Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’te verilmektedir. Eşitlik 3.1, Eşitlik 3.2 ve Eşitlik 3.3’te, belirtilen üyelik fonksiyonunun matematiksel ifadesi verilmektedir. Eşitlik 3.1 ve Eşitlik 3.2’de a, b, c, ve d üçgen ve yamuğun sınır değerlerini, x bulanıklaştırılacak değeri ifade etmektedir.



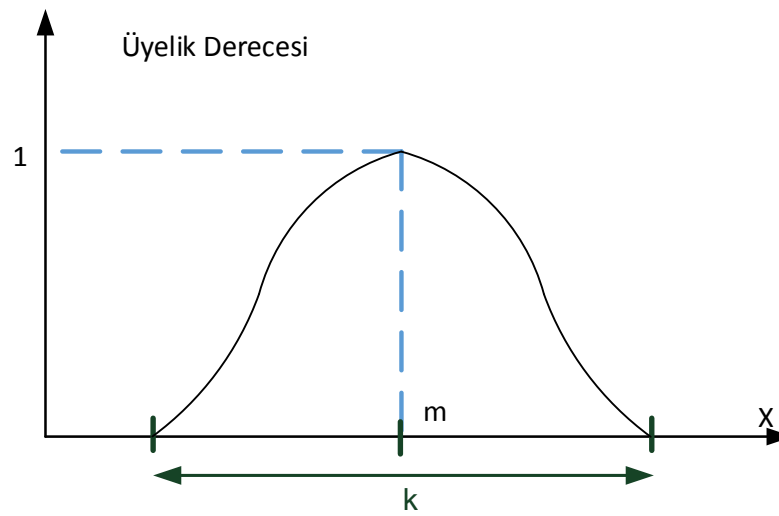
Şekil 4.2. Üçgen üyelik fonksiyonu.

$$\mu_A(x) = \mu_A(x; a, b, c) = \begin{cases} (x-a)/(x-b) & \text{eger } a \leq x < b \\ (c-x)/(c-b) & \text{eger } b \leq x < c \\ 0 & \text{eger } x > c \text{ veya } x < a \end{cases} \quad (3.1)$$



Şekil 4.3. Yamuk üyelik fonksiyonu.

$$\mu_A(x) = \mu_A(x; a, b, c, d) = \begin{cases} (x-a)/(b-a) & \text{eger } a \leq x < b \\ 1 & \text{eger } b \leq x < c \\ (d-x)/(d-c) & \text{eger } c < x \leq d \\ 0 & \text{eger } x > d \text{ veya } x < a \end{cases} \quad (3.2)$$

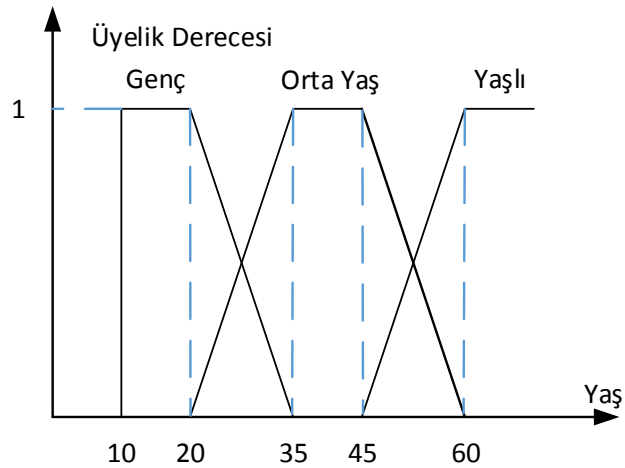


Şekil 4.4. Çan eğrisi üyelik fonksiyonu.

$$\mu_A(x) = e^{-\frac{(x-m)^2}{2k^2}} \quad a>0, m \in \mathbb{R} \quad (3.3)$$

Eşitlik 3.3'te k çan eğrisinin genişliğini, m merkez noktasını ifade etmektedir. Bulanık küme kavramı, hassasiyetin artırılması ya da esneklik açısından klasik kümelerinkine göre daha uygun olan bir yöntem olarak görülebilir. Gerçekte getirdiği yaklaşım, klasik küme kuramlarında kullanılan üyelik kavramını bir kenara bırakıp yerine tamamen yenisini koymak değil, iki-değerli üyeliği çok-değerliliğe taşıyarak genellemesini yapmaktır [9]. İki değerli mantıkla, iki mutlak sonuç "0" ve "1" olarak gösterilirken, sonsuz değerli mantıkta ise sonuçlar $[0,0, 1,0]$ aralığında tanımlanır. Bu değerlere "üyelik derecesi" denir. "0" mutlak "yanlışlığı", "1" ise mutlak "doğruluğu" gösterir. Bu üyelik derecesi, belirsizliği gidermeye çalışıp, tanımlamaya çalışan bir fonksiyonla ölçülebilir [32]. Bu fonksiyon, bir bulanık kümedeki elamanları $[0,1]$ aralığındaki reel bir değere dönüştürür.

Fonksiyonların sık kullanılan üçgen ya da yamuk şeklinde, ya da diğer uygun formlarda olmasının yanında alt kümelerin birbiri ile örtüşecek şekilde olması gerekmektedir. Şekil 4.5'te genç, orta yaşlı ve yaşlı insan kavramını temsil eden, $[10,90]$ aralığında örtüşmeli geçişler halinde tanımlı üç bulanık küme gösterilmektedir. Öncelikle bu yaş gruplarının, isteğe bağlı bir şekilde aralıklarının belirlenmesi gerekmektedir.



Şekil 4.5. Örnek üyelik fonksiyonları.

Bu üç yaş grubunun matematiksel fonksiyonları Eşitlik 3.4, Eşitlik 3.5 ve Eşitlik 3.6'da verilmektedir.

$$\mu_{Genç}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq 20 \\ (30-x)/15 & 20 < x < 35 \\ 0 & x \geq 35 \end{cases} \quad (3.4)$$

$$\mu_{OrtaYaş}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 20, x \geq 55 \\ (x-20)/15 & 20 < x < 35 \\ (55-x)/15 & 40 < x < 55 \\ 1 & 35 \leq x \leq 40 \end{cases} \quad (3.5)$$

$$\mu_{Yaşlı}(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 55 \\ (x-55)/15 & 40 < x < 55 \\ 0 & x \leq 40 \end{cases} \quad (3.6)$$

Bu örnekteki yaşın alt kümeleri ile ilgili fonksiyonlardan, bir yaşın o kümeyle ne kadar ait olduğu yani üyelik derecesi tespit edilir [32].

4.2.2. Kural İşleme Birimi

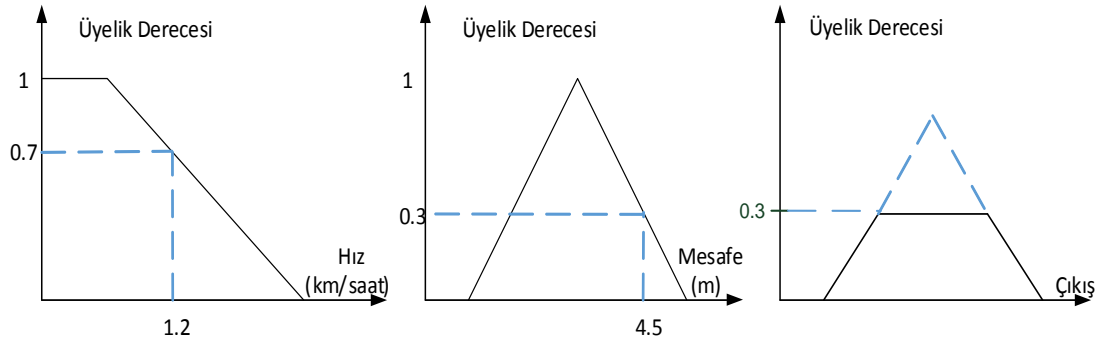
Bulanık mantıkta kurallar, 'eğer ... ise, ... olsun' şeklinde koşullu durumlarla formüle edilirler [9,31-37]. Tüm girdi değişkenleri, sözel değişken değerlere çevrilerek, bulanık sonuç çıkarma adımı, güncel durum için kurallara dayandırılarak uygulanır ve çıkışta sözel değişkenlerin değerleri hesaplanır [40-43]. Bir bulanık kural, 'eğer ... ise, ... olsun' şeklinde (örneğin X değeri A ise, Y değeri B) sözel girdi ve çıktı terimlerine sahip olmalıdır. 'eğer ...' bölümüne durum; '... olsun' bölümüne ise sonuç ya da karar kısmı adı verilir [9,24,39].

1973 yılında, Zadeh, bulanık değişkenler ya da sözel ifadeler ile ilgili kavramlar ortaya koymuştur. Bu kavramlardan önemli olanlardan bir tanesi bulanık nesne kavramıdır. Nesne olarak tanımlanmış algılayıcı girdilerine örnek olarak 'sıcaklık', 'yer değiştirme', 'hız', 'akış', 'basınç' vb. gösterilebilir. Fark değeri olan 'hata'

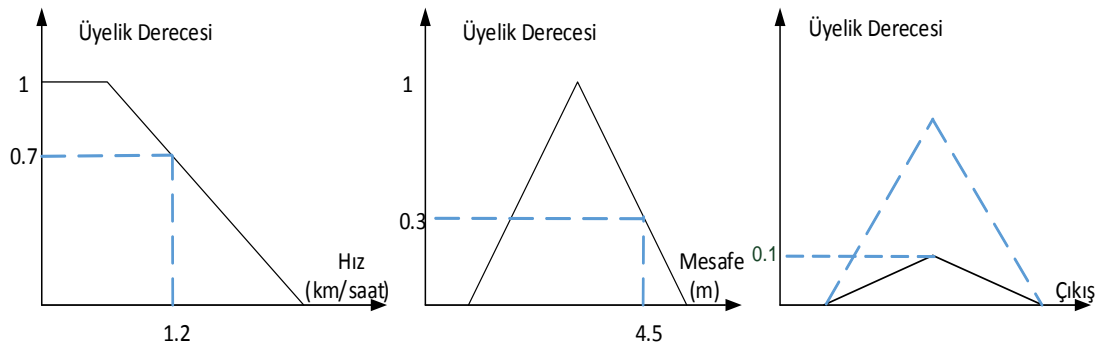
sinyalini de aynı kategoriye sokmak mümkündür [32]. Bulanık mantıkta ifadelerin sıfat olarak kullanımına örnek olarak ise, ‘büyük pozitif’ hata, ‘küçük pozitif’ hata, ‘sıfır’ hata vb. örnekler gösterilebilir. Her bir parametre için ‘büyük’, ‘küçük’ ve ‘sıfır’ gibi değişkenler, ifadeler hakkında bilgi verilir [37]. Bunlara ilaveten, ‘çok büyük’, ‘çok küçük’ vb. ifadeler de çok doğrusal olmayan ya da istisnai durumlar için kullanımda daha esneklik kazandırılabilir [9].

Bulanık mantıkta karşılaşılan, bulanık muhasebe ya da diğer bir deyişle bulanık kural, bilinen gerçeklerin oluşturduğu bir küme için sonuçların türetildiği bir işlem katıdır. Birden fazla bulanık girdinin işin içine girmesi durumunda, bu fonksiyonlardan iki farklı yöntem ile çıkış fonksiyon grafiği elde edilebilir [9,32]. Bu yöntemler kesme yöntemi ve ölçkleme yöntemidir.

Örnek olarak iki giriş (hız – mesafe) parametrelerine karşılık gelen, çıkış durumları Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de verilmektedir.



Şekil 4.6. Kesme metodu ile kuralın uygulanması.



Şekil 4.7. Ölçkleme metodu ile kuralın uygulanması.

4.2.3. Durulaştırma

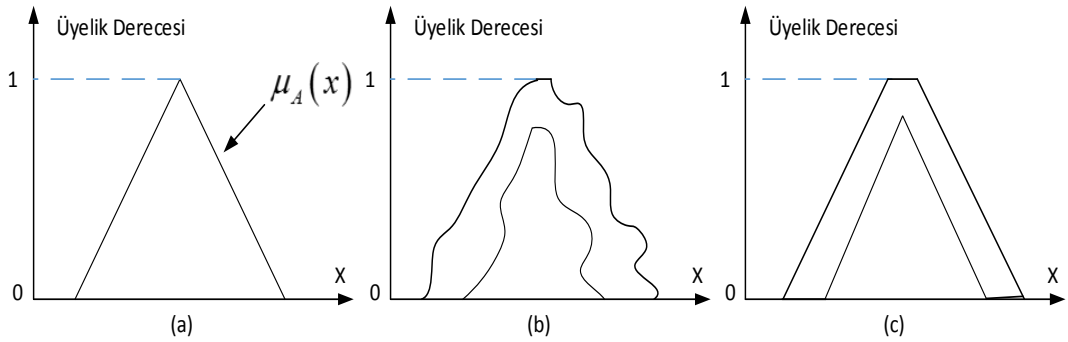
Pratik uygulamalarda, özellikle mühendislik plan, proje ve tasarımlarında boyutlandırmalar için kesin sayısal değerlere gerek duyulmaktadır [31,32]. Yapay zekâ çalışmalarındaki bulanık değişken, küme, mantık ve sistemlerin bulanık olabilecek çıkarımlarının kesin sayılar haline dönüştürülmesi gerekir [9,37]. Bulanık olan bilgilerin kesin sonuçlar haline dönüştürülmesi için yapılan işlemlerin tümüne birden durulaştırma işlemleri adı verilir. Durulaştırma işleminde en çok tercih edilen yöntem ağırlık merkezi yöntemidir [36].

4.3. TİP 2 BULANIK MANTIK

Elemanların üyeliği 0 veya 1 olarak belirlenemediğinde tip-1 bulanık kümeler kullanılır [33-35,40]. Benzer şekilde koşullar çok bulanıkça yani üyelik derecesini [0,1] arasında belirlemede problem yaşıyorsa, tip-2 bulanık kümeler kullanılır [41-43]. Bu fikir ilk kez 1975 yılında Zadeh tarafından ileri sürülmüştür [44-46]. Ancak bu görüş tip-2 kümeleri kullanmak için olağanüstü bulanık koşullara sahip olunması gerektiği anlamında değildir [50-52]. Eğer belirsizliğin tam değeri belirlenemiyorsa (üyelik derecesi net olarak belirlenemiyorsa), tip-1 yerine tip-2 bulanık kümeleri kullanmak daha doğru olacaktır [33,40]. Bu şekilde düşünüldüğünde, belirsizliği sonlu tipte bir bulanık kümenin temsil edemeyeceği söylenebilir [41,42]. Bu durumda, belirsizliği tamamen göstermek için tip- ∞ bulanık kümesini kullanma ihtiyacı duyulur. Ancak pratikte bu mümkün değildir. Bu yüzden bazı sonlu tip bulanık kümeler kullanılır [43,44]. Bu durum klasik bulanık mantığın sahip olduğu sınırlılıkların yanısıra tip-2 bulanık mantık yöntemine hesaplama zorluğu sınırlılığını da eklemektedir.

Tip-2 bulanık mantık klasik bulanık mantığa göre oldukça yeni bir yöntem olmasına karşın birçok farklı alanda çeşitli problemlere uygulanmıştır. Kümeleme, sınıflandırma, örüntü tanıma, bilgisayar bilimleri, mühendislik uygulamaları, otomasyon ve kontrol sistemleri, robotik ve matematik bu alanlardan bazılarıdır. Özellikle bilgisayar bilimleri alanında tip-2 bulanık mantık uygulamalarının sayısının oldukça fazla olduğu görülmektedir [14-16].

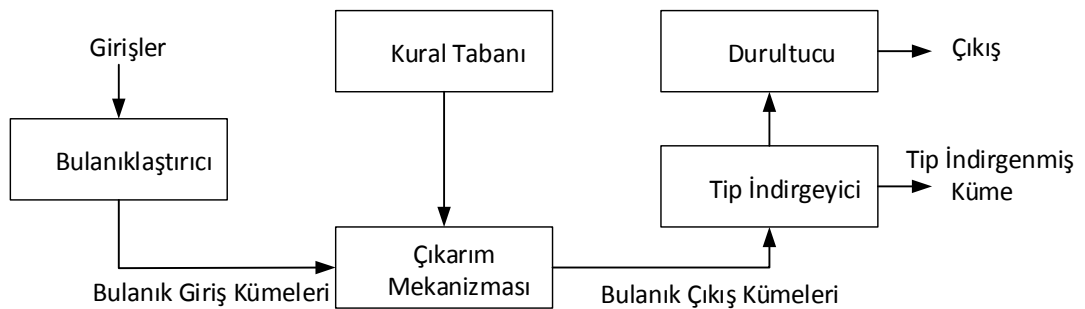
Şekil 4.8 (a)'daki tip-1 üyelik fonksiyonu üçgenin solundan ve sağından çeşitli miktarlarda noktaları kaydırılarak bulanıklaştırılmış olsun. Şekil 4.8 (b)'ye bakılırsa x 'te dikey çizginin bulanık kısım ile kesiştiği noktalarda üyelik fonksiyonu birden fazla değer almıştır [33,40]. Bu değerler aynı ağırlığa sahip olmak zorunda değildir ve bu noktalara bir genlik dağılımı uygulanabilir. Bu bütün X 'ler için yapılırsa Şekil 4.8 (c)'de verilen tip-2 bulanık kümeleri tanımlayan üyelik fonksiyonu yani tip-2 üyelik fonksiyonu elde edilir [41-43].



Şekil 4.8. Üyelik fonksiyonları a) tip-1 (b) bulanıklaştırılmış tip-1 c) belirsizliğin ayak izi.

4.3.1. Tip – 2 Bulanık Mantık Sistemler

Tip-2 bulanık mantık sistemin yapısı Şekil 4.9'da verildiği gibi klasik bulanık mantık sisteme çok benzemektedir. Tip-2 bulanık mantık sistemin yapısal farklılığı çıkış bloğundadır [33, 40, 43]. Klasik bulanık mantık sistemin çıkış bloğunda sadece durultucu bulunurken, tip-2 bulanık mantık sistemin çıkış bloğunda tip-indirgeyici ve durultucu birlikte yer almaktadır [45, 50].



Şekil 4.9. Tip-2 bulanık mantık sistem.

Tip-2 bulanık mantık sistemde çıkarım mekanizmasının işleyişi, tip-1 bulanık sistemle paralellik göstermektedir [33]. Tip-1 bulanık mantık sistemde çıkarım mekanizması, bulandırıcının çıkışlarını (üyelik derecelerini) ve kural tabanını kullanarak bir bulanık küme oluşturur [44,50]. Bu bulanık küme, durultucu tarafından denetleyicinin çıkışını hesaplamak için kullanılacaktır. Kuraldaki varsayımlar t-norm (üçgen norm) ile bağlıdır. T-norm, özellikle bulanık mantıkta, olasılık uzayı çerçevesinde ve çok değerli mantıkta kullanılan bir ikili işlem türüdür. Giriş kümelerindeki üyelik dereceleri çıkış kümesindeki üyelik dereceleri ile sup-star yöntemi kullanılarak birleştirilir [49,50]. Sup-star yöntemi giriş değerlerini çıkışa aktarmada kullanılan bir yöntemdir. Benzer şekilde tip-2 bulanık mantık sistemde de üyelik dereceleri, genişletilmiş sup-star yöntemi kullanılarak birleştirilmektedir [52].

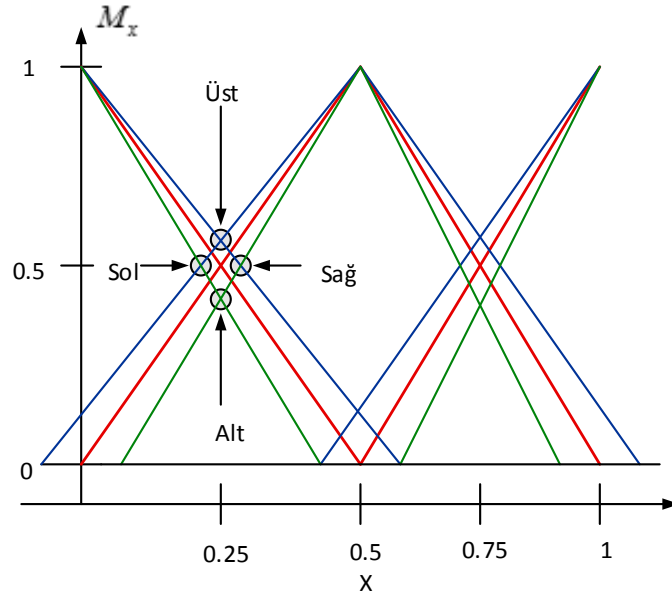
4.3.2. Basitleştirilmiş Tip – 2 Bulanık Mantık

Tip-2 bulanık mantık uygulamaları oldukça karmaşık ve zordur. Bu durum uygulamada kendini daha da fazla hissettirmektedir. Teoride tip-2 bulanık mantık sistemler sonsuz sayıda klasik bulanık mantık sistemin paralel çalışması olarak ifade edilir [34]. Ancak uygulamada bu mümkün değildir. Bu yüzden tip-2 bulanık mantık sistemler yaklaşık hesaplamaya dayalı yöntemlerle kullanılır. Buna rağmen kullanılan iteratif yöntemler hesaplama işlemlerini oldukça zorlaştırmaktadır [44,45]. Bu nedenle tip-2 bulanık mantık sistemlerinin uç değerlerini ele alarak yeni ve basitleştirilmiş bir hesaplama yöntemi geliştirilmiştir [35].

Bu yöntemde tip-2 bulanık mantık sistemi üst, alt, sağ ve sol olmak üzere dört klasik bulanık sistemin paralel çalışmasıyla sonuç üreten bir sistem olarak tasarlanmıştır. Şekil 4.10'da tip-2 bulanık mantık üyelik fonksiyonlarının nasıl dört ayrı klasik bulanık mantık üyelik fonksiyonuna dönüştürüldüğü gösterilmiştir.

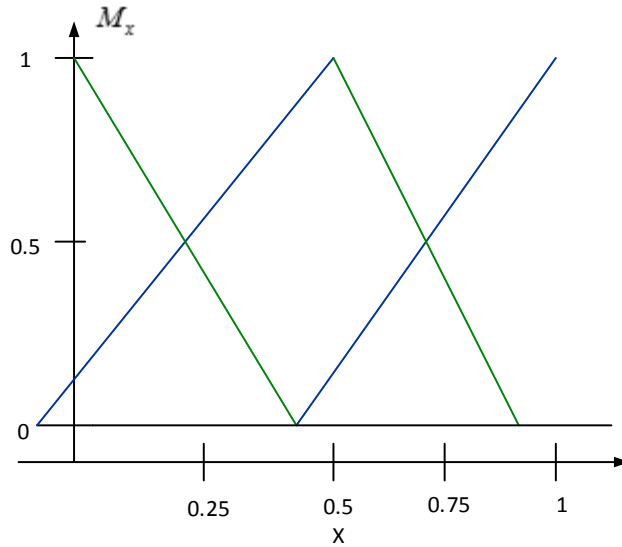
Tip-2 bulanık mantık üyelik fonksiyonlarından elde edilen üst, alt, sağ ve sol klasik bulanık mantık üyelik fonksiyonları paralel çalışarak her biri bir sonuç üretir. Üretilen sonuçların ortalaması ise sistemin çıkışını oluşturur. Bu yapı ile tip-2 bulanık mantık hesaplamalarında kullanılan iteratif yöntemlerden kaynaklanan hesaplama zorlukları ortadan kaldırılmıştır. Ayrıca hesaplama süresi de azaltılmıştır.

Bu yöntemle tip-2 bulanık mantık hesaplamaları kullanılmadan tamamen klasik bulanık mantık hesaplamalarıyla tip-2 bulanık mantık sistemi uygulaması yapılabilmektedir [34]. Şekil 4.10'da tip-2 üyelik fonksiyonunun tip-1 üyelik fonksiyonlarına ayrılması işlemi verilmektedir.

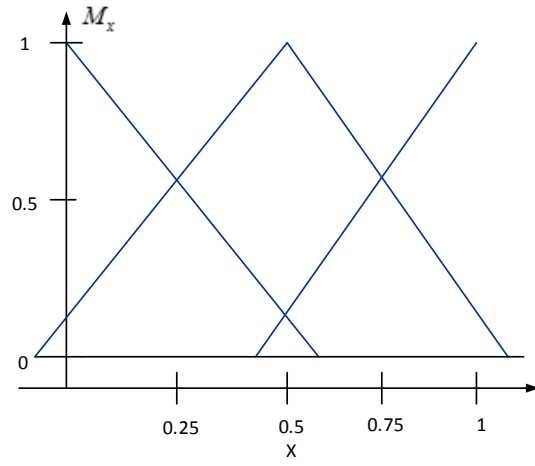


Şekil 4.10. Tip-2 üyelik fonksiyonunun klasik fonksiyonlara ayrılması.

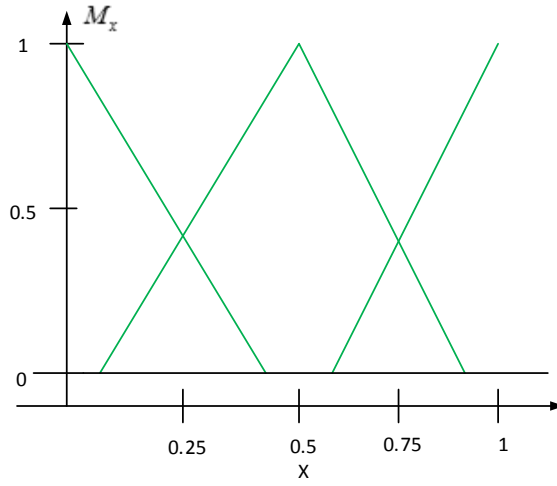
Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 ise ayrılma işleminden sonra oluşan yeni tip-1 üyelik fonksiyonlarını göstermektedir.



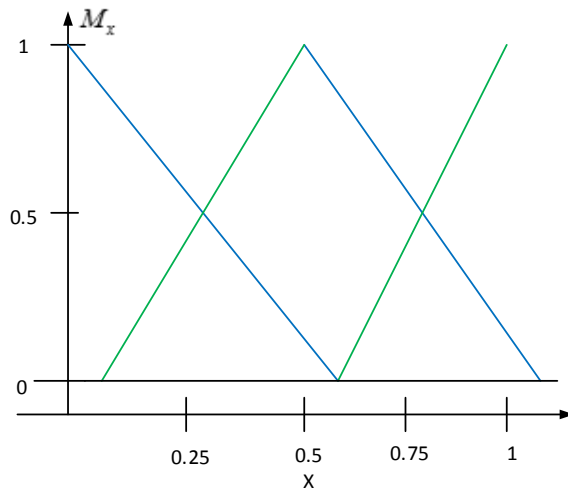
Şekil 4.11. Sol üyelik fonksiyonu.



Şekil 4.12. Üst üyelik fonksiyonu.

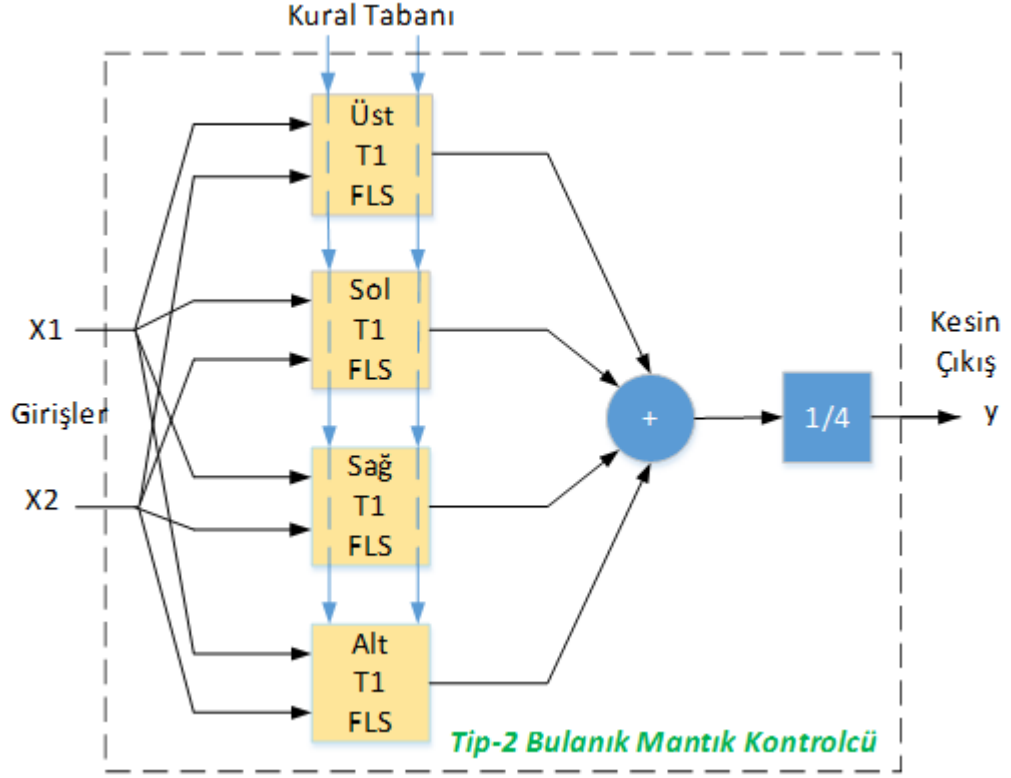


Şekil 4.13. Alt üyelik fonksiyonu.



Şekil 4.14. Sağ üyelik fonksiyonu.

Şekil 4.15'te basitleştirilmiş tip-2 bulanık mantık sistemin genel yapısı verilmektedir.



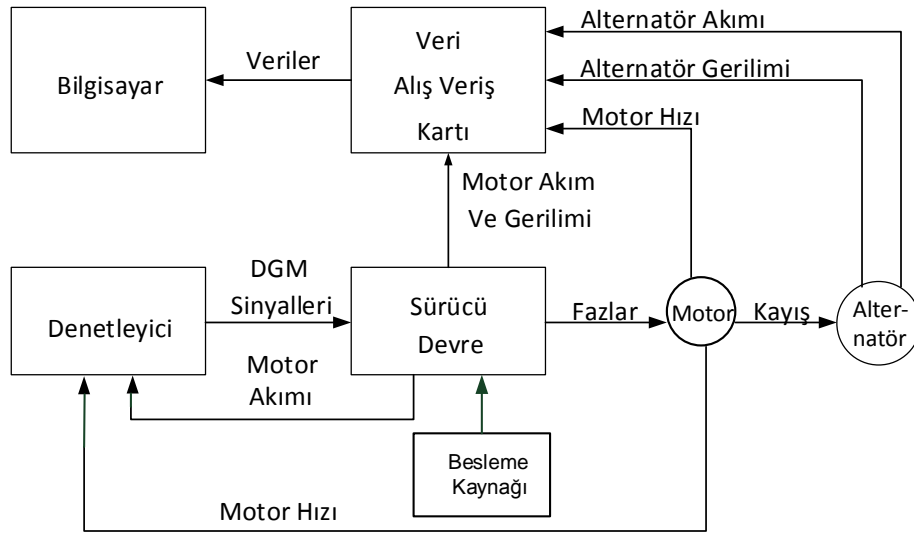
Şekil 4.15. Basitleştirilmiş tip-2 bulanık mantık sistem.

BÖLÜM 5

MATERYAL VE METOD

5.1. DENEY DÜZENEĞİ

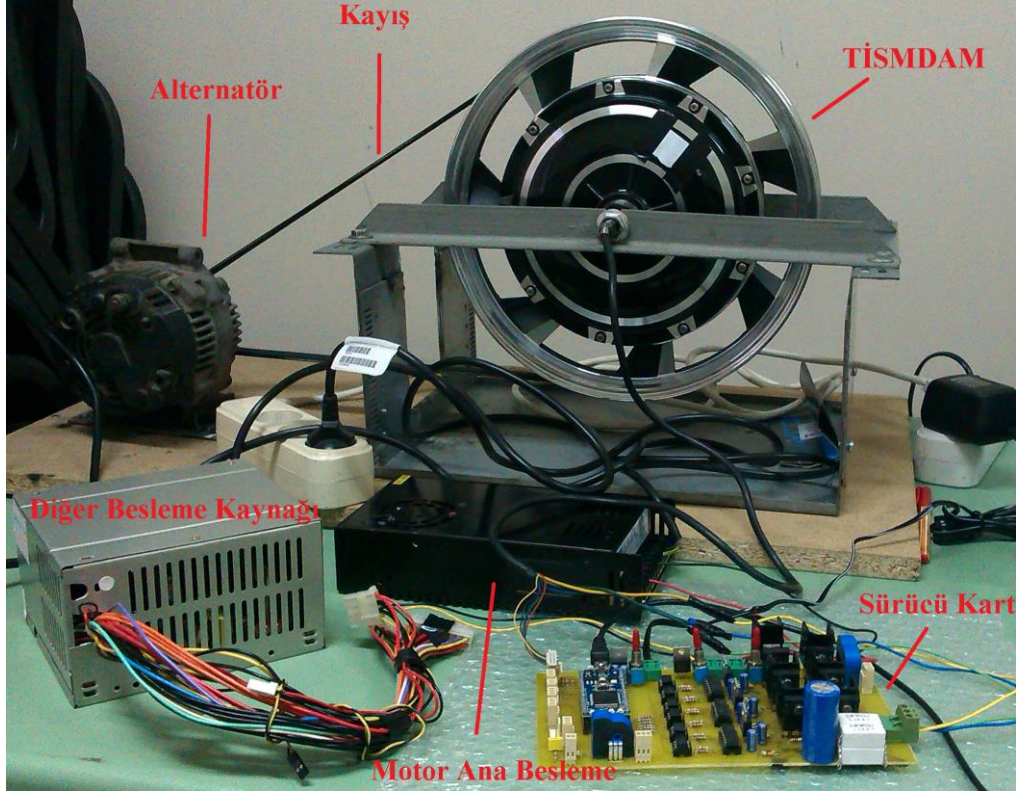
TİSMFDAM için tasarlanan sürücünün farklı yük ve devir durumlarında ve farklı kontrol yöntemleri kullanılarak test edilmesi için deneysel bir düzenek hazırlanmıştır. Hazırlanan deney düzeneğinde alternatör TİSMFDAM'na kayış sistemiyle bağlanmış ve alternatör uyarım akımı verilerek kaydıyla yüklenerek farklı yük durumları için deneyler gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan deney düzeneğinin blok diyagramı Şekil 5.1'de verilmektedir.



Şekil 5.1. Deney düzeneği blok diyagramı.

Tasarlanan deney düzeneğinde denetleyici motor ana besleme akımı ve devir sayısı verilerini geri besleme bilgisi olarak almaktadır. Devir sayısı verisi referans hız değerine ulaşıp ulaşılmadığını kontrol etmek ve hatayı hesaplamak, ana besleme akımı verisi ise akım artış hızını kontrol ederek aşırı ve hızlı artışı engellemek için artış hızını sınırlandırmak amacıyla kullanılmaktadır. Denetleyici, aldığı geri

beslemeye göre ürettiği darbe genişlik modülasyonu sinyallerini sürücü karta göndererek motorun kontrolünü sağlamaktadır. Bu esnada motor ve motora kayış aracılığıyla bağlanmış olan alternatöre ait veriler veri kazanım kartı ile bilgisayara aktarılarak kaydedilmektedir. Deney düzeneğinin şekli Şekil 5.2’de verilmektedir.



Şekil 5.2. Deney düzeneği.

Bu çalışmada kullanılan materyal TİSMFDAM, denetleyici, sürücü kart, algılayıcılar, veri alış-veriş kartı ve alternatörden oluşmaktadır. TİSMFDAM’ın denetiminde metod olarak PID, bulanık mantık ve tip-2 bulanık mantık yöntemleri kullanılmaktadır.

5.1.1. Tercih Edilen TİSMFDAM

Deneyleerde kullanılan TİSMFDAM elektrikli motosiklet tekerleği olarak kullanılan 250W gücünde bir motordur. Lastiksiz ve sadece jant şeklinde olan motor Şekil 5.2’de gösterildiği gibi bir düzenek üzerine yerleştirilmiş ve ortada bulunan mil aracılığı ile sabitlenmektedir. Motor milinin içinden çıkan faz ve konum algılayıcı

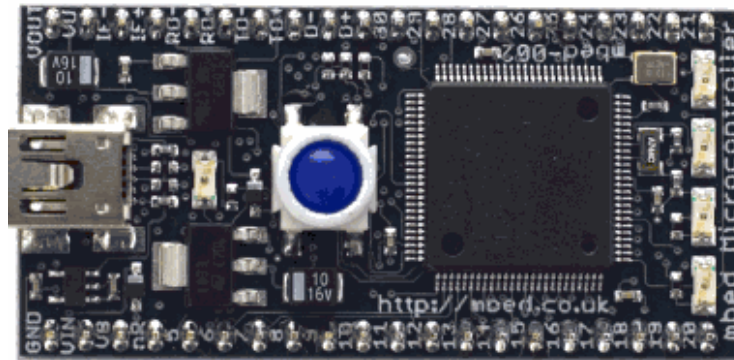
kabloları sürücü kart üzerinde ilgili soketlere bağlanmaktadır. Motoru, alternatöre bağlamak için kayış kullanılmaktadır. İthalatçı firmadan alınan motor parametreleri Çizelge 5.1’de verilmektedir.

Çizelge 5.1. Tercih edilen TİSMFDAM’na ait parametreler.

Parametre	Değer	Birim
Çalışma Gerilimi	48	V
Nominal Güç	250	W
Maksimum Akım	7.2	A
Maksimum Tork	17.13	N.m
Maksimum Verim	85.8	%
Maksimum Devir	415	Rpm
Maksimum Güç	340	W

5.1.2. Denetleyici

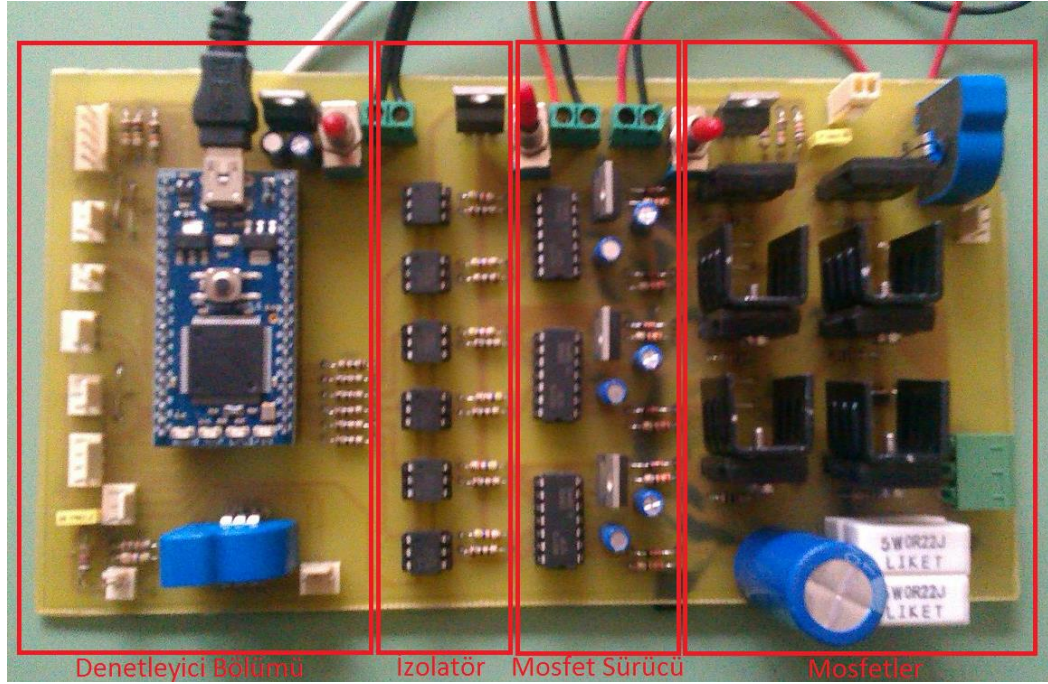
Geliştirilen tip-2 bulanık mantık kontrollü TİSMFDAM sürücü sisteminde ana kontrolcü olarak mbed LPC1768 mikrodenetleyici bordu kullanılmaktadır. Bu denetleyici bordu yüksek performanslı ARM (Advanced RISC Machines) Cortex M3 işlemciye, 32 bit komut işleme kapasitesine, 100Mhz saat hızına, 12 bit 6 kanal darbe genişlik modülasyonu (DGM) modülüne, 16 bit analog dijital dönüştürücüye (ADC) sahip olması ve evrensel seri yol (USB) üzerinden güç ve veri iletişimi yapabiliyor olması nedeniyle tercih edilmektedir. Şekil 5.3’te denetleyicinin şekli ve pin özellikleri verilmektedir.



Şekil 5.3. mbed LPC1768 mikrodenetleyici bordu.

5.1.3. Sürücü Devre

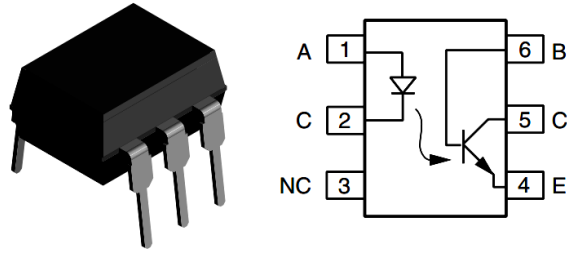
Geliştirilen tam köprü sürücü kart dört kısımda incelenebilir. Bunlar; denetleyici bölümü, izolatör bölümü, mosfet sürücü bölümü ve mosfetler bölümü olarak adlandırılabilir. Ayrıca akım algılayıcılar da bu kart üzerine yerleştirilmiştir. Geliştirilen sürücü kartın görüntüsü Şekil 5.4'te gösterilmektedir.



Şekil 5.4. Geliştirilen sürücü devre.

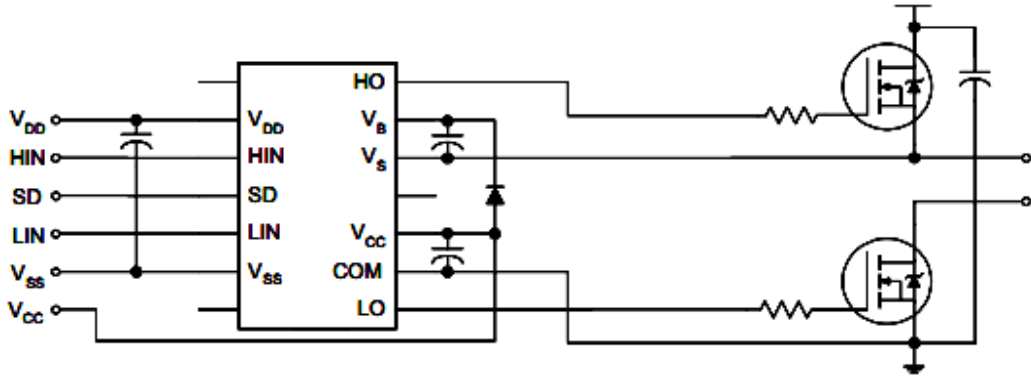
Denetleyici bölümünde mbed LPC1768 mikrodeneleyici kartı bulunmaktadır. Motor akımı bilgisi LTS25-NP akım algılayıcısı kullanılarak ölçülmektedir. Motor konum algılayıcıları kullanılarak motorun hızı ve motor sürücünün komütasyonu belirlenmektedir.

İzolatör bölümü her DGM çıkışı için bir tane olmak üzere toplam 6 adet 4N25 entegresinden oluşmaktadır. Bu entegreler DGM sinyallerini temas olmadan ışık ile ileterek izolasyon sağlamakta ve denetleyici kısmını ters ve yüksek gerilimlerden korumaktadır. 4N25 entegresi, çalışma frekansı, gerilimi ve akımı gibi parametrelerinin uygun olması ve kolay kullanımı nedeniyle tercih edilmiştir. 4N25 entegresinin görüntüsü ve iç yapısı Şekil 5.5'te verilmektedir [55].



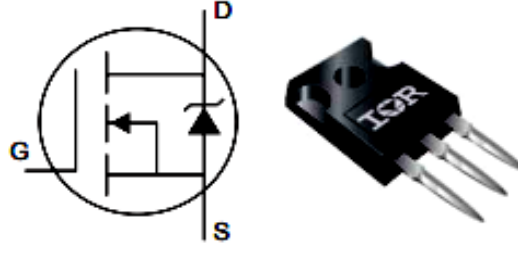
Şekil 5.5. 4N25 entegresi.

Mosfet sürücü bölümü, her bir faz için bir adet olmak üzere 3 adet IR2113 mosfet sürücü entegresi ve çevresel komponentlerinden oluşmaktadır. IR2113 entegresi yüksek anahtarlama hızına sahip bir mosfet sürücü olması ve kullanımının kolay olması nedeniyle tercih edilmiştir. Bir IR2113 entegresi bir fazı yani yüksek ve düşük taraftaki iki adet mosfeti sürebildiğinden üç fazlı motoru sürmek için 3 adet entegre kullanılmaktadır. Bu şekilde üç fazlı tam köprü bir sürücü elde edilmektedir. IR2113 entegresinin bağlantı şeması Şekil 5.6'da verilmektedir [56].



Şekil 5.6. IR2113 entegresinin iç yapısı ve bağlantı şekli.

Mosfetlerin bulunduğu bölüm ise 6 adet IRFP260N güç mosfetinden oluşmaktadır. IRFP260N mosfeti motorun çekeceği maksimum akım ve motor nominal gerilimi parametrelerinin oldukça üstünde değerlere ve yüksek anahtarlama hızına sahip bir güç mosfetidir. Deneyler sırasında oluşabilecek beklenmedik durumlarda mosfetlerin kolaylıkla bozulmaması için bu mosfet tercih edilmiştir. Ancak güvenli çalışması test edilmiş bir sürücüde maliyet açısından daha düşük özelliklere sahip mosfetler kullanılabilir. IRFP260N güç mosfetinin görüntüsü ve sembolü Şekil 5.7'de verilmektedir [57].

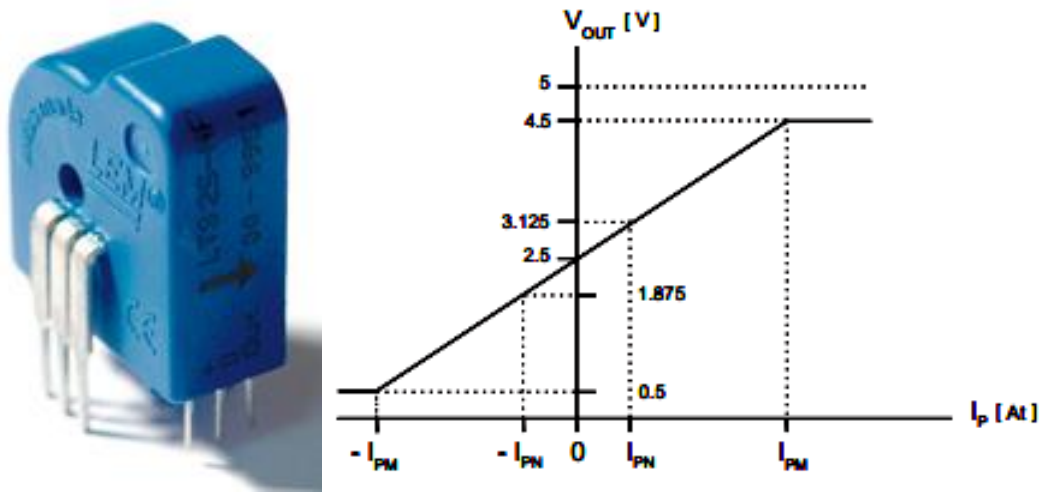


Şekil 5.7. IRFP260N güç mosfeti.

5.1.4. Algılayıcılar

Motor ve alternatörden alınan devir, akım ve gerilim verilerinden sadece akım verisi için akım algılayıcı kullanılmış, motor devir bilgisi motorun komütasyonunda kullanılan manyetik algılayıcılardan, motor ve alternatör gerilimi bilgileri ise geliştirilen opamp'lı evirici devresi aracılığıyla alınmaktadır. Akım algılayıcı olarak manyetik etkili LTS25-NP akım algılayıcısı tercih edilmektedir.

Bu algılayıcı manyetik etkili olması nedeniyle güvenilirdir ve kullanımı kolaydır. 8, 12 veya 25 ampere ayarlanabilen bu algılayıcı pozitif veya negatif yönde geçen akımı referans gerilimini pozitif veya negatif yönde değiştirerek algılamaktadır. 0-5V arasında değişen çıkış gerilimi mikrodenetleyici tarafından ADC portu aracılığıyla kolaylıkla okunabilmektedir. Şekil 5.8'de LTS25-NP akım algılayıcısının şekli ve çıkış karakteristiği verilmektedir [58].

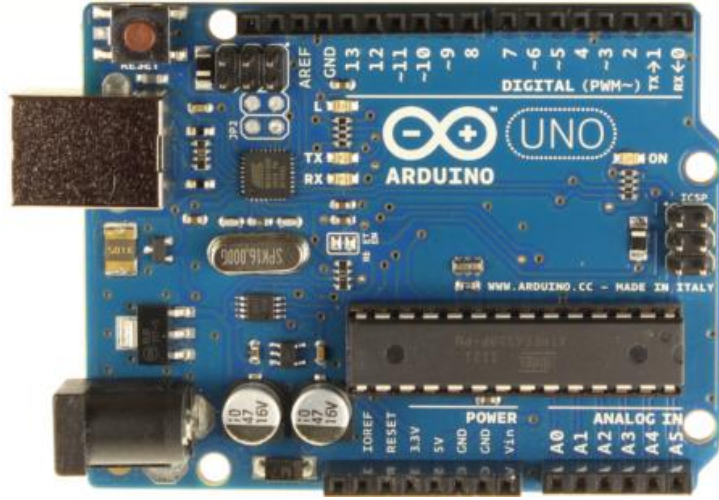


Şekil 5.8. LTS25 - NP akım algılayıcı şekli ve çıkış karakteristiği.

5.1.5. Veri Alış-Veriş Kartı

Veri kazanım kartı olarak Arduino Uno mikrodenetleyici bordu kullanılmaktadır. TİSMFDAM'un besleme akımı ve gerilimi, devir sayısı ve alternatör akımı ve gerilimi bilgileri bu kart üzerinden bilgisayara aktarılmaktadır. 16 Mhz saat frekansına sahip bu denetleyici kartı ile motor ve alternatöre ait akım ve gerilim değerleri 10 bit ADC portundan okunarak, motor devir bilgisi ise dijital porttan kesme ile okunarak USB kablosu aracılığı ile seri iletişim kullanılarak bilgisayara aktarılmaktadır.

Verilerin aktarım hızı 10 Hz'dir. Matlab yazılımı ile seri porttan okunan bu veriler kaydedilmiş ve daha sonra yine Matlab yazılımı ile filtrelenerek görselleştirilmiştir. Şekil 5.9'da Arduino Uno mikrodenetleyici bordunun şekli verilmektedir [59].



Şekil 5.9. Arduino Uno mikrodenetleyici kartı.

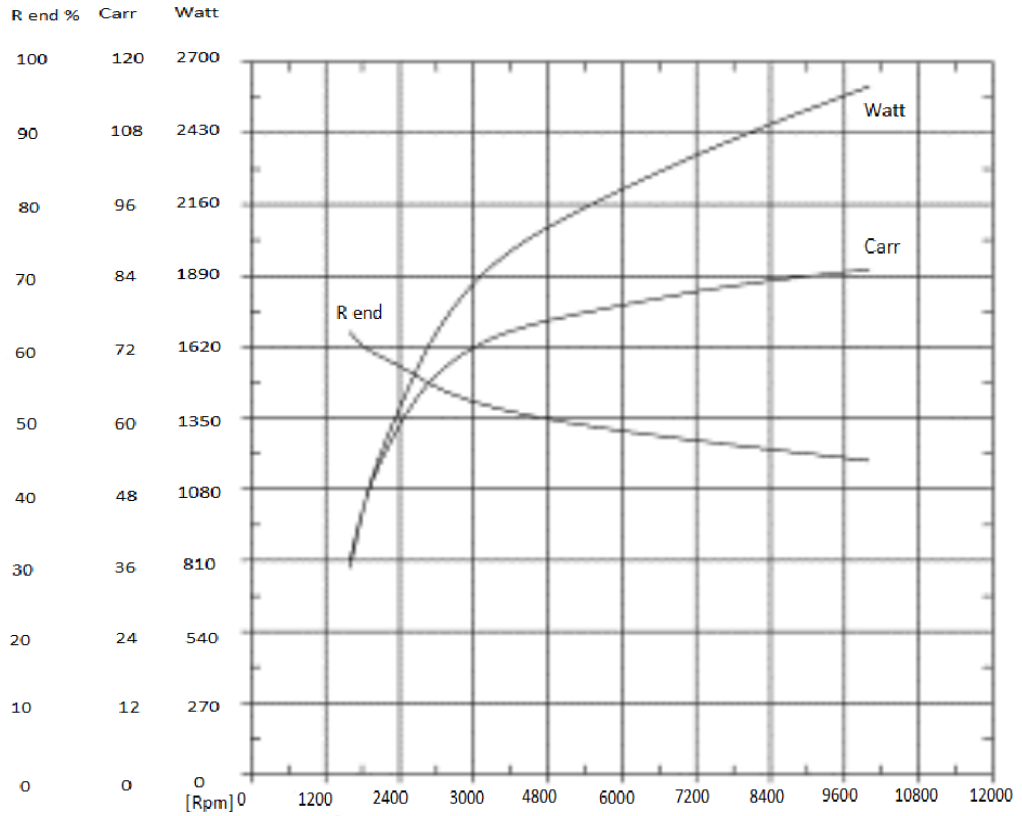
5.1.6. Alternatör

TİSMFDAM'un yarım ve tam yüklü deneylerinde motoru yüklemek amacıyla bir oto alternatörü kullanılmaktadır. Alternatör kayış aracılığıyla motor jantına bağlanmış ve güç aktarımı sağlanmaktadır. Alternatöre uyarım akımı verilerek motorun yüklenmesi sağlanmış ve deneyler farklı yük durumlarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.10'da kullanılan alternatör ve motor bağlantısının şekli verilmektedir.



Şekil 5.10. Alternatör ve TİSMFDAM bağlantısı.

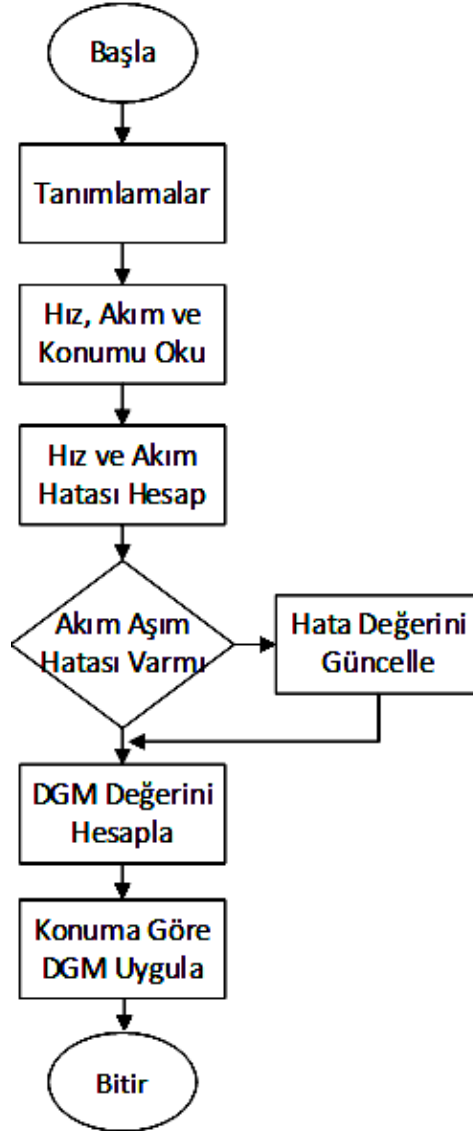
Kullanılan alternatör 75A ve 14V maksimum akım ve gerilim değerlerine sahip bir otomobil alternatörüdür. Alternatörün makara yarıçapı TİSMFDAM'nun jant yarıçapının 1/10'u kadar olduğundan TİSMFDAM bir tur döndüğünde alternatör 10 tur dönmektedir. Alternatörü yüklemek için uyarım akımı uygulanmaktadır. Alternatörün çıkış gücünü ölçmek için yük olarak yarım yüklü deneylerde 1,1 Ω , tam yüklü deneylerde ise 2,2 Ω değerinde 25 W'lık taş dirençler kullanılmaktadır. Şekil 5.11'de kullanılan alternatörün performans grafiği verilmektedir [60].



Şekil 5.11. Kullanılan alternatörün performans grafiği.

5.2. DENETİM YÖNTEMLERİ

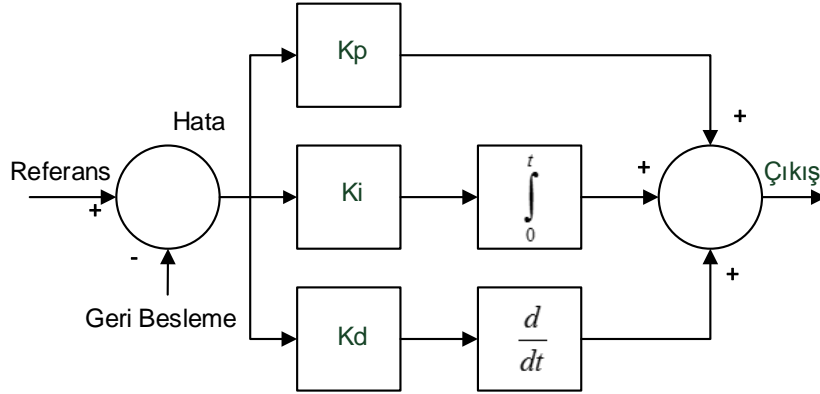
Geliştirilen sistemde, TİSMFDAM'un sürülmesi için PID, bulanık mantık ve tip-2 bulanık mantık yöntemlerinin kullanıldığı üç ayrı yazılım denenmiştir. Bu üç yazılımda da temel mantık aynıdır. Ancak geri besleme bilgilerinin işlenmesi ve çıkış değerlerinin oluşturulmasında farklı hesaplamalar yapılmaktadır. Kontrol yazılımının dışında veri aktarımında verilerin gönderilmesi ve alınması için yazılımlar kullanılmaktadır. Bunlar; verileri bilgisayara gönderen Arduino Uno denetleyici kartının ve bilgisayarda verileri alıp kaydeden ve daha sonra görselleştiren Matlab yazılımıdır. Şekil 5.12'de sistemin yazılım akış şemasını verilmektedir.



Şekil 5.12. Sürücü yazılım akış şeması.

5.2.1. PID Denetimi

Günümüzde kontrol sistemlerinde en çok kullanılan yöntemlerden biri PID yöntemidir. PID oransal, integral ve türev katsayıları kullanarak hesaplama yapar. PID denetleyicisinin blok diyagramı Şekil 5.13'te verilmektedir.



Şekil 5.13. PID blok diyagramı.

Katsayıların hesaplanması için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu çalışmada katsayılar deneme yanılma yöntemiyle belirlenmiş ve tüm deneylerde aynı katsayılar kullanılmaktadır. Bu katsayıların sistem üzerindeki etkileri Çizelge 5.2'de açıklanmaktadır. Türev etkisinin yüksek olması sistemin aşırı sönümlü ya da sönümlü, integral etkisinin yüksek olması sistemin osilasyonlu, oransal etkinin yüksek olması ise sistemin sönümsüz cevap vermesine neden olur.

Çizelge 5.2. PID katsayılarının sistem üzerindeki etkileri.

Katsayı	Yükseliş Zamanı	Aşım	Yerleşim Zamanı	Sürekli Rejim Hatası
Oransal	Azalır	Artar	Artar	Azalır
İntegral	Azalır	Artar	Artar	Azalır
Türev	Etkisiz	Azalır	Azalır	Etkisiz

Bu çalışmada bulanık mantık yöntemiyle karşılaştırma amaçlı olarak PID yöntemi kullanılmaktadır. İlgili PID kodu aşağıda verilmektedir.

```

void function pid {
e = referansdegeri – gerçekdeger;
et = eskie – e;
çıkış = kp*e + ki*(e + et) + kd*(e - et);}

```

5.2.2. Bulanık Mantık Denetimi

Bulanık mantık denetimi yine tip-2 bulanık mantık denetimi ile karşılaştırma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Beş adet üçgen üyelik fonksiyonunun kullanıldığı bulanık mantık denetiminde ve tip-2 bulanık mantık denetiminde aynı kural tabanı kullanılmaktadır. Kural tabanı Çizelge 5.3'te verilmektedir. Kural tabanı tüm deneylerde aynı kullanılmaktadır.

Çizelge 5.3. Kural tabanı.

e\et	NB	NK	SF	PK	PB
NB	NB	NB	NB	NK	SF
NK	NB	NB	NK	SF	PK
SF	NB	NK	SF	PK	PB
PK	NK	SF	PK	PB	PB
PB	SF	PK	PB	PB	PB

Bulanık mantık yazılımına ait kod bloğu aşağıda verilmektedir.

```

void function bulanık_mantık {
e = referansdegeri – gerçekdeger;
et = eskie – e;
emf = get_emf(e);
fuzzy_e = get_fuzzy_e(e);
etmf = get_etmf(et);
fuzzy_et = get_fuzzy_et(et);
out_mf = get_out_mf(emf, etmf);
fuzzy_out = get_fuzzy_out(out_mf, fuzzy_e, fuzzy_et);
crisp_out = get_crisp_out(fuzzy_out);}

```


5.2.3. Tip-2 Bulanık Mantık Denetimi

Tip-2 bulanık mantık kural tabanı klasik bulanık mantık kural tabanı ile aynı olmakla birlikte hesaplama işlemleri farklıdır. Tip-2 bulanık mantık yönteminde tip-2 üyelik fonksiyonlarından türetilmiş üyelik fonksiyonlarını kullanan dört klasik bulanık mantık denetleyici paralel olarak çalışmaktadır. Tip-2 bulanık mantık kod bloğu aşağıda verilmektedir.

```
void function tip2_bulanik_mantık {
e = referansdegeri – gerçekdeger;
et = eskie – e;
eupmf = get_eupmf(e);
etupmf = get_euptmf(et);
out_upmf = get_out_upmf(eupmf, etupmf);
fuzzy_upout = get_fuzzy_upout(out_upmf, fuzzy_eup, fuzzy_etup);
crisp_upout = get_crisp_upout(fuzzy_upout);
elowmf = get_elowmf(e);
etlowmf = get_etlowmf(et);
out_lowmf = get_out_lowmf(elowmf, etlowmf);
fuzzy_lowout = get_fuzzy_lowout(out_lowmf, fuzzy_elow, fuzzy_etlow);
crisp_lowout = get_crisp_lowout(fuzzy_lowout);
erightmf = get_erightmf(e);
etrightmf = get_etrightmf(et);
out_rightmf = get_out_rightmf(erightmf, etrightmf);
fuzzy_rightout = get_fuzzy_rightout(out_rightmf, fuzzy_eright, fuzzy_etright);
crisp_rightout = get_crisp_rightout(fuzzy_rightout);
eleftmf = get_eleftmf(e);
etleftmf = get_etleftmf(et);
out_leftmf = get_out_leftmf(eleftmf, etleftmf);
fuzzy_leftout = get_fuzzy_leftout(out_leftmf, fuzzy_eleft, fuzzy_etleft);
crisp_leftout = get_crisp_leftout(fuzzy_leftout);
crisp_out = (crisp_upout + crisp_lowout + crisp_rightout + crisp_leftout) / 4;}
```

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar özet olarak Çizelge 6.1’de verilmektedir. Gerçekleştirilen yüksüz, yarım yüklü ve tam yüklü deneylere ait ölçümler Matlab ortamında grafiklere dönüştürülmektedir. Deneysel çalışmaların ana amacı farklı yük ve devir durumlarında PID, bulanık mantık ve tip-2 bulanık mantık yöntemleri ile sürücünün performansının karşılaştırılmasıdır.

Çizelge 6.1. Deneysel çalışmalar.

Deney Türü	Devir	PID	Bulanık Mantık	Tip-2 Bulanık Mantık
Yüksüz	100 Devir	√	√	√
	200 Devir	√	√	√
	300 Devir	√	√	√
Yarım Yüklü	100 Devir	√	√	√
	200 Devir	√	√	√
	300 Devir	√	√	√
Tam Yüklü	100 Devir	√	√	√
	200 Devir	√	√	√
	300 Devir	√	√	√

6.1. YÜKSÜZ DENEYLER

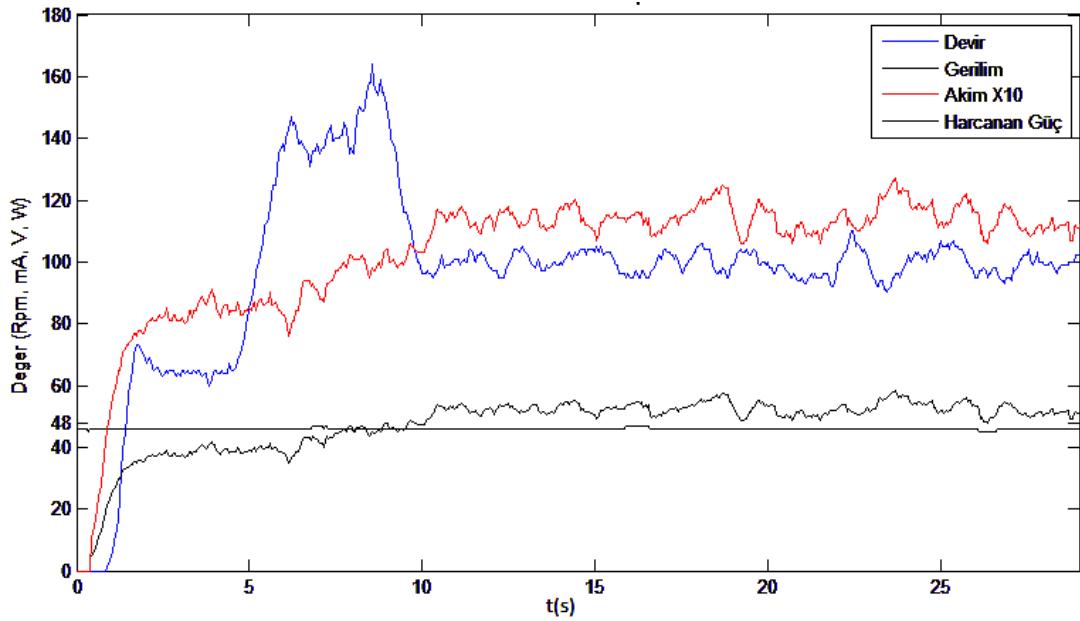
TİSMFDAM’nun sürülmesine ilişkin 100, 200, 300 referans devir durumlarında PID, bulanık mantık ve tip-2 bulanık mantık yöntemlerinin test edildiği yüksüz deneylere ilişkin veriler takip eden bölümlerde sunulmuştur.

6.1.1. Yüksüz 100 Devirdeki Deneysel Çalışmalar

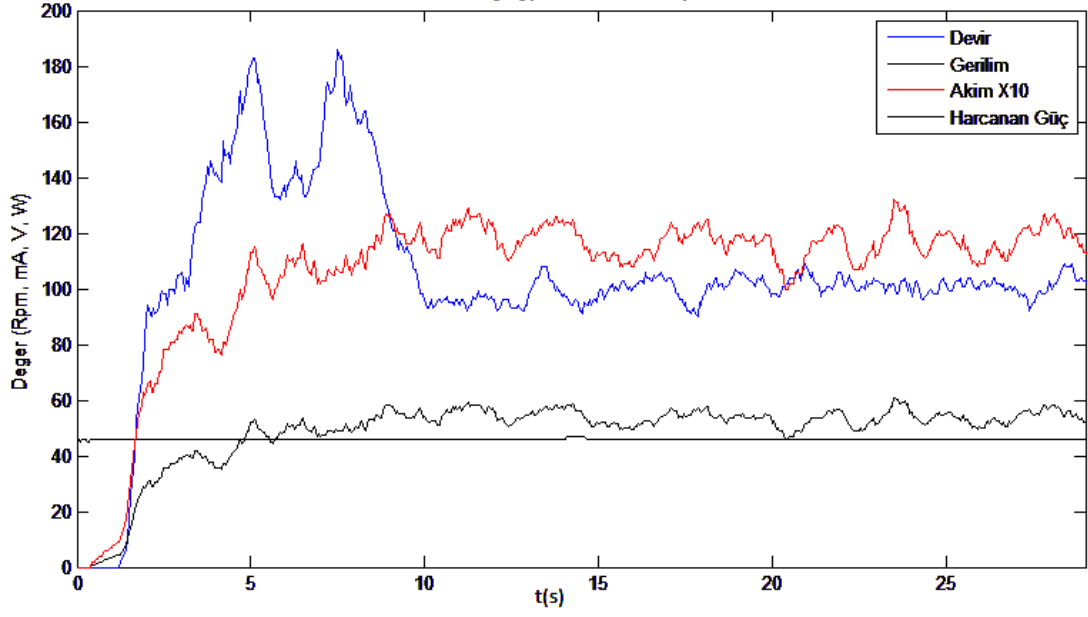
TİSMFDAM'nun yüksüz koşulda sürülmesine ilişkin 100 referans devir sayısı için gerçekleştirilen PID, bulanık mantık ve tip-2 bulanık mantık deneylerinin sonuç grafikleri Şekil 6.1, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'te verilmektedir. Deneylere ilişkin sayısal veriler Çizelge 6.2'de verilmektedir.

PID deneyine ilişkin verilen grafik incelendiğinde, motor akımının ilk 2 saniyelik periyotta 0.8 A seviyelerine yükseldiği devir sayısının ise ilk 2 saniyede motor akımına paralel şekilde seyrettiği ve 10'uncu saniyede referans değeri yakalayarak sabitlendiği görülmektedir. Bu deneyde PID yöntemi devirde meydana gelen dalgalanmanın dışında iyi bir performans göstermektedir.

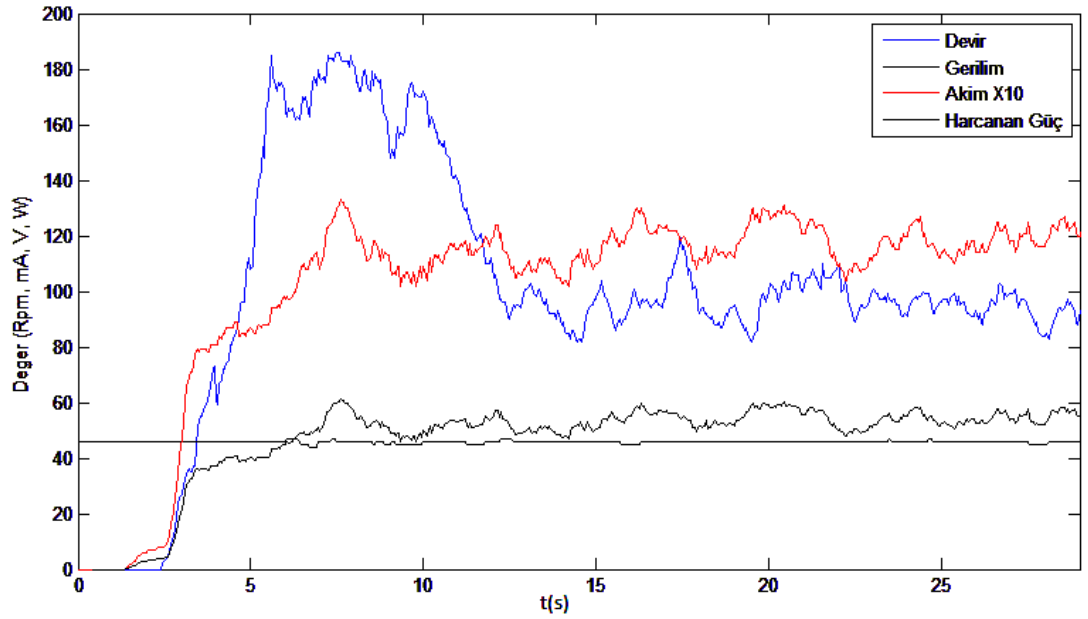
Bulanık mantık deneyine ilişkin grafik incelendiğinde, PID yöntemiyle benzer bir performans gösterdiği ancak devirdeki dalgalanmanın bir miktar arttığı görülmektedir. Tip-2 bulanık mantık deneyinde ise devir yerleşme süresinin daha uzun olduğu görülmektedir. Üç yöntemde de motor akımının yumuşak bir şekilde yükselmesi sağlanarak besleme geriliminin düşmesi önlenmektedir.



Şekil 6.1. 100 devir yüksüz PID deneyi motor verileri.



Şekil 6.2. 100 devir yüksüz bulanık mantık deneyi motor verileri.



Şekil 6.3. 100 devir yüksüz tip-2 bulanık mantık deneyi motor verileri.

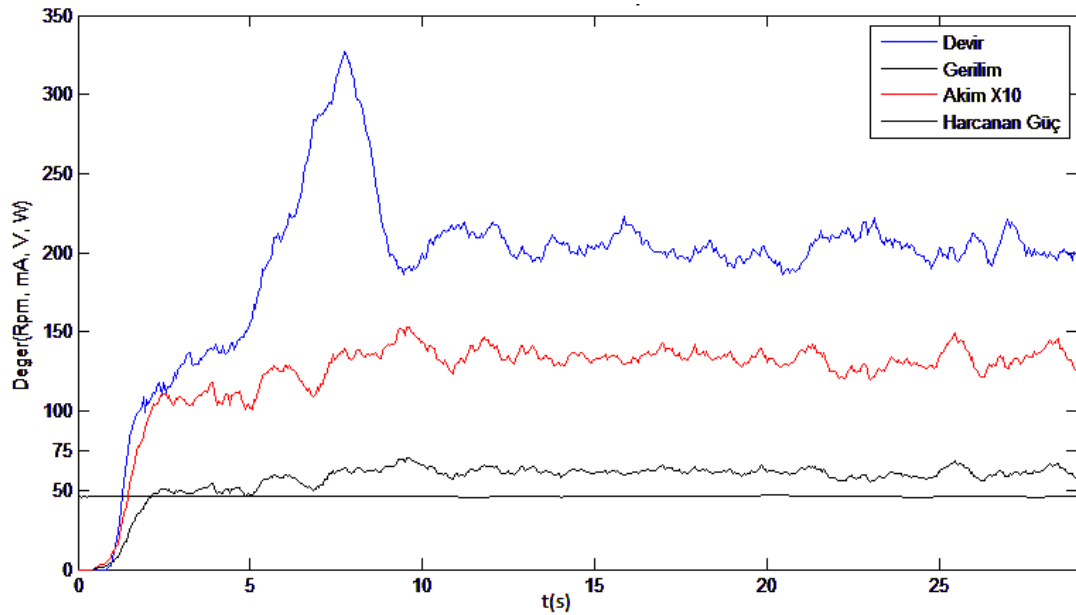
Yüksüz koşulda 100 referans devir sayısı için gerçekleştirilen deneylerde PID yöntemi devir sayısının yakalanması ve yerleşme sürelerinin daha kısa olması nedeniyle diğer iki yöntemden daha iyi sonuç vermektedir. Çizelge 6.2'de yüksüz olarak 100 devir için gerçekleştirilen deneylerin karşılaştırılması için sayısal veriler verilmektedir. Bu deneylerde motor giriş gücü 60W olmaktadır.

Çizelge 6.2. 100 Devir yüksüz deneylerine ilişkin sayısal veriler.

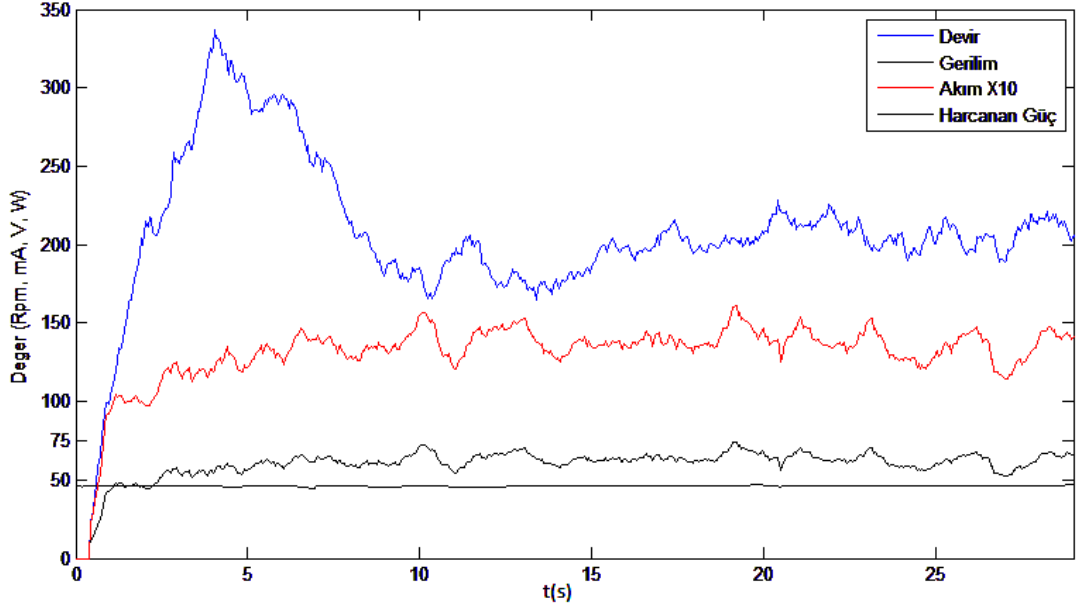
	Devir Yükselme Zamanı (s)	Aşım (Devir)	Yerleşme Zamanı (s)
PID	6	60	4
Bulanık Mantık	2	80	8
Tip-2 Bulanık Mantık	5	80	8

6.1.2. Yüksüz 200 Devirdeki Deneysel Çalışmalar

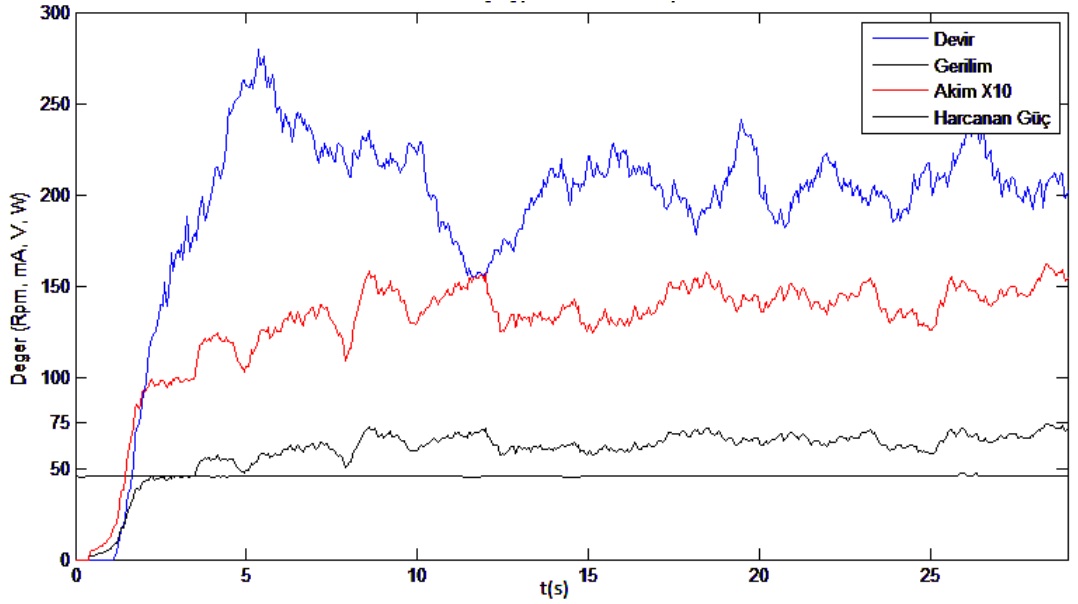
TİSMFDAM'nun yüksüz koşulda sürülmesine ilişkin 200 referans devir sayısı için gerçekleştirilen PID, bulanık mantık ve tip-2 bulanık mantık deneylerinin sonuç grafikleri Şekil 6.4, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da verilmektedir. Deneylere ilişkin sayısal veriler Çizelge 6.3'te verilmektedir. PID deneyine ilişkin grafik incelendiğinde, motor akımının yumuşak bir şekilde arttığı, motor devrinin ise 5 ile 10'uncu saniyeler arasında meydana gelen anormal bir artışın ardından referans değerini yakaladığı görülmektedir. Bulanık mantık deneyinde ise devir sayısındaki anormal artış bir miktar daha fazla olmaktadır. Tip-2 bulanık mantık deneyinde de devirdeki dalgalanmanın diğer yöntemlere göre daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 6.4. 200 devir yüksüz PID deneyi motor verileri.



Şekil 6.5. 200 devir yüksüz bulanık mantık deneyi motor verileri.



Şekil 6.6. 200 devir yüksüz tip-2 bulanık mantık deneyi.

Yüksüz koşulda 200 referans devir sayısı için gerçekleştirilen deneylerde PID yönteminde diğer yöntemlere göre referans devir sayısı daha kısa sürede yakalanmakta ve devirdeki dalgalanmalar daha az olmaktadır. Bu nedenle PID yönteminin bu deneylerde daha iyi sonuçlar ürettiği görülmektedir. Çizelge 6.3'te kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması için sayısal veriler verilmektedir. Bu deneylerde motor güç harcaması 75W olmaktadır.

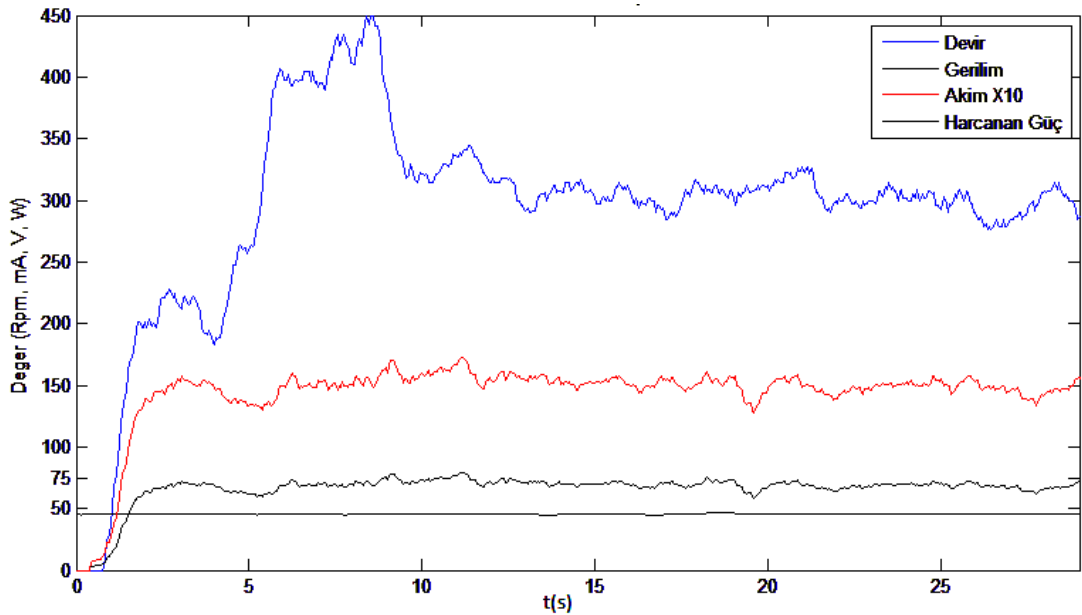
Çizelge 6.3. 200 Devir yüksüz deneylerine ilişkin sayısal veriler.

	Devir Yükselme Zamanı (s)	Aşım (Devir)	Yerleşme Zamanı (s)
PID	6	120	4
Bulanık Mantık	2	120	8
Tip-2 Bulanık Mantık	4	70	6

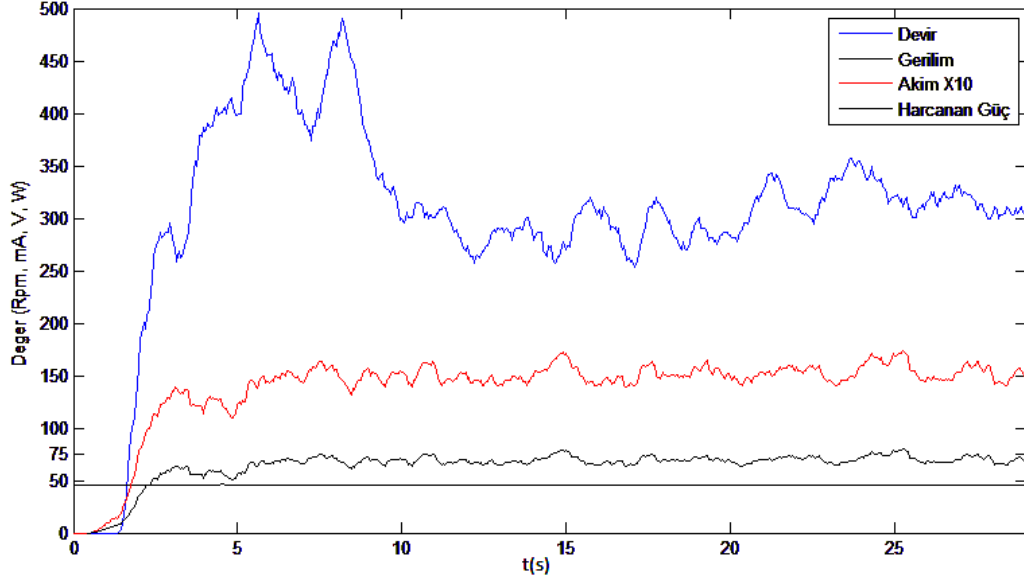
6.1.3. Yüksüz 300 Devirdeki Deneysel Çalışmalar

TİSMFDAM'nun yüksüz koşulda sürülmesine ilişkin 300 referans devir sayısı için gerçekleştirilen PID, bulanık mantık ve tip-2 bulanık mantık deneylerinin sonuç grafikleri Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da verilmektedir. Deneylere ilişkin sayısal veriler Çizelge 6.4'te verilmektedir.

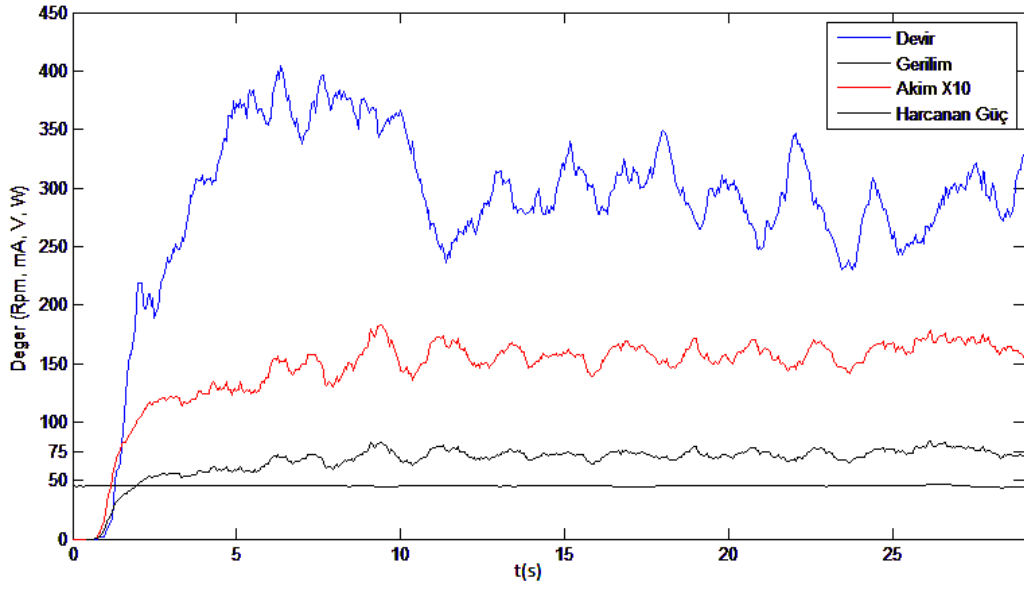
PID deneyinde, 100 ve 200 devir için gerçekleştirilen deneylere benzer sonuçlar gözlenmektedir. Devir sayısındaki dalgalanma yine tekrar etmekte, ancak motor akımı yumuşak bir şekilde artmaktadır. Bulanık mantık ve tip-2 bulanık mantık deneylerinde de 100 ve 200 devir deneylerine benzer sonuçlar elde edilmektedir.



Şekil 6.7. 300 devir Yüksüz PID deneyi motor verileri.



Şekil 6.8. 300 devir yüksüz bulanık mantık deneyi motor verileri.



Şekil 6.9. 300 devir yüksüz tip-2 bulanık mantık deneyi motor verileri.

Çizelge 6.4. 300 Devir yüksüz deneylerine ilişkin sayısal veriler.

	Devir Yükselme Zamanı (s)	Aşım (Devir)	Yerleşme Zamanı (s)
PID	6	150	4
Bulanık Mantık	3	200	7
Tip-2 Bulanık Mantık	4	100	8

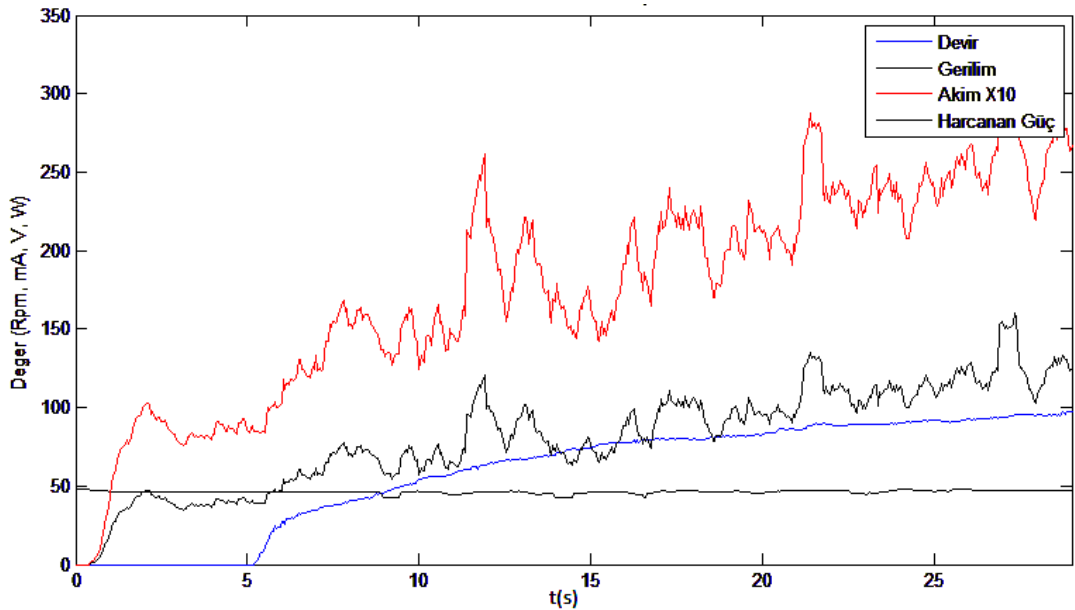
6.2. YARIM YÜKLÜ DENEYLER

TİSMFDAM'un sürülmesine ilişkin 100, 200, 300 devir durumlarında PID, bulanık mantık ve tip-2 bulanık mantık yöntemlerinin denendiği yarım yüklü deneylerin grafikleri takip eden bölümlerde sunulmuştur. Her bir deneye ait alternatör çıkışlarını ifade eden grafikler de verilmektedir.

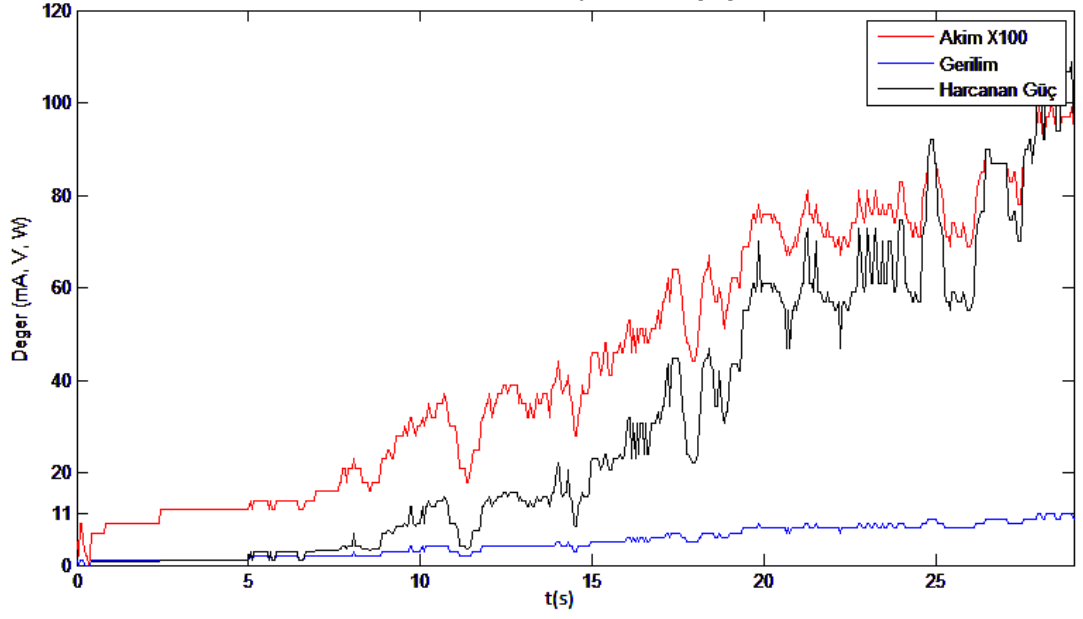
6.2.1. Yarım Yüklü 100 Devirdeki Deneysel Çalışmalar

TİSMFDAM'nun yarım yüklü koşulda sürülmesine ilişkin 100 referans devir sayısı için gerçekleştirilen PID, bulanık mantık ve tip-2 bulanık mantık deneylerinin sonuç grafikleri Şekil 6.10, Şekil 6.12 ve Şekil 6.14'te verilmiştir. İlgili deneylere ait alternatör çıkış grafikleri de Şekil 6.11, Şekil 6.13 ve Şekil 6.15'te verilmektedir.

PID deneyinde, motor akımı düzgün bir artış ile yükselmekte motor devri ise 5'inci saniyeden itibaren düzgün bir şekilde artarak referans devir sayısını 25'inci saniyede yakalamaktadır. Motor akımında bazı küçük dalgalanmalar olmasına karşın motor devrinde, yüksüz deneylerden farklı olarak herhangi bir dalgalanma meydana gelmemektedir.

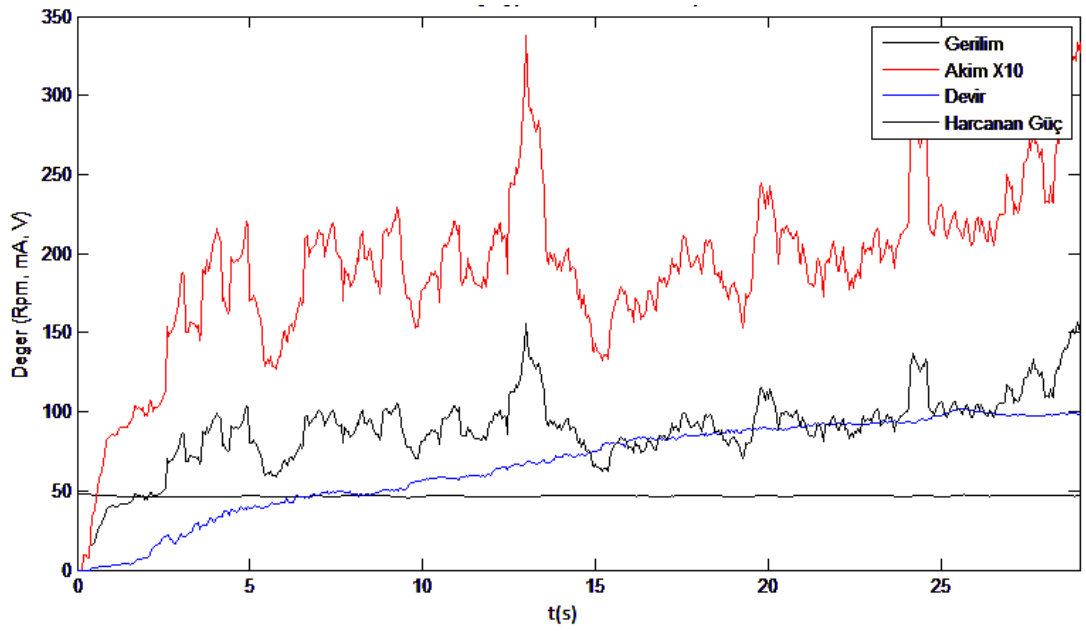


Şekil 6.10. 100 devir yarım yüklü PID deneyi motor verileri.

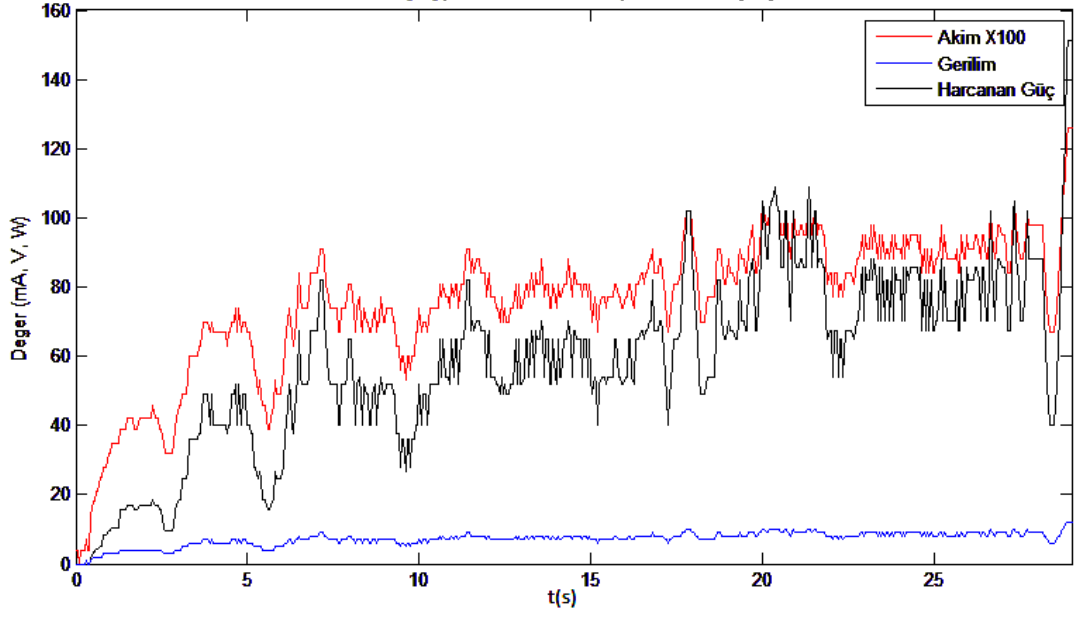


Şekil 6.11. 100 devir yarım yüklü PID deneyi alternatör çıkışı.

Bulanık mantık deneyine ilişkin grafik incelendiğinde, motor akımındaki dalgalanmaların PID deneyine göre bir miktar arttığı görülmektedir. Motor devri ise ilk saniyeden itibaren artmaya başlamakta ve düzgün bir artış ile 20'nci saniyede referans değeri yakalamaktadır.

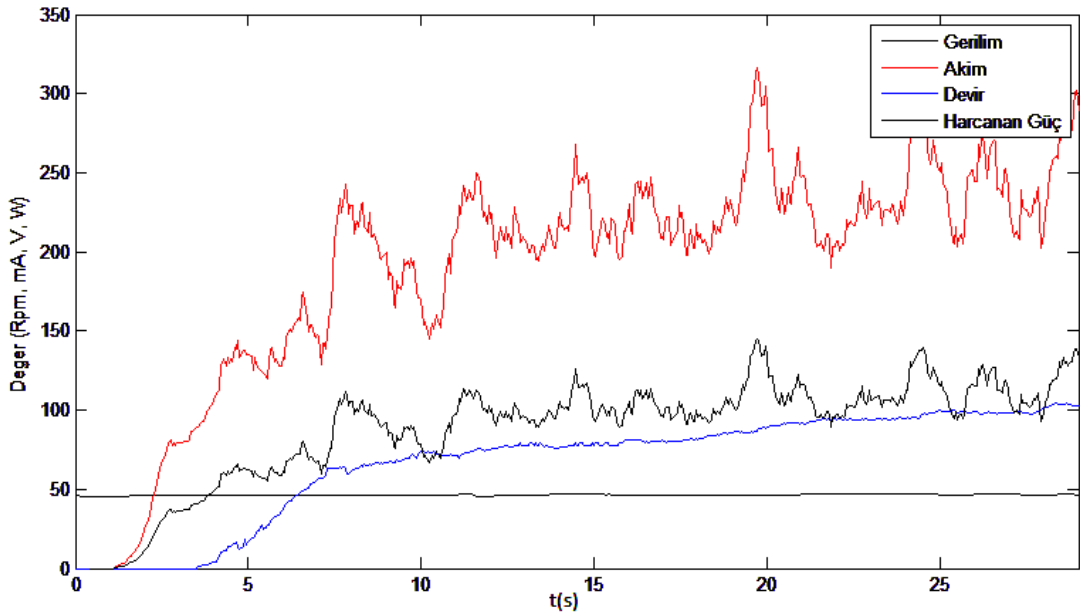


Şekil 6.12. 100 devir yarım yüklü bulanık mantık deneyi motor verileri.

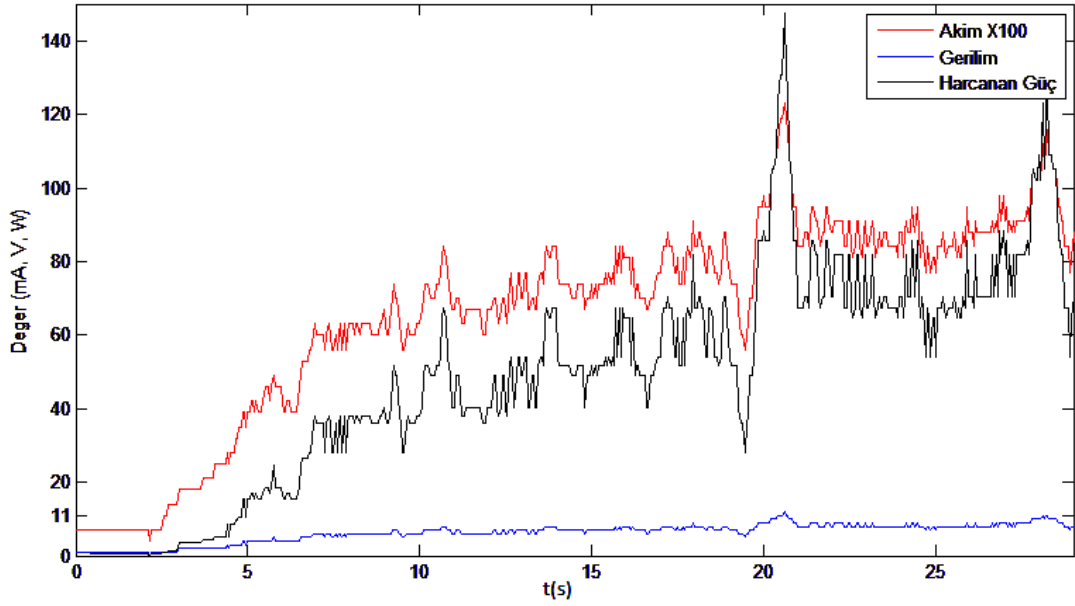


Şekil 6.13. 100 devir yarım yüklü bulanık mantık deneyi alternatör çıkışı.

Tip-2 bulanık mantık deneyinde motor devri 3'üncü saniyeden itibaren artarak 20'nci saniyede referans değeri yakalamaktadır. Motor akımı düzgün bir şekilde artmakta ancak bazı küçük dalgalanmalar olmaktadır. Bu deneyde de yüksüz deneylerden farklı olarak motor devrinde herhangi bir dalgalanma meydana gelmemektedir.



Şekil 6.14. 100 Devir yarım yüklü tip-2 bulanık mantık deneyi motor verileri.



Şekil 6.15. 100 devir yarım yüklü tip-2 bulanık mantık deneyi alternatör çıkışı.

Çizelge 6.5'te ise kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması için sayısal veriler verilmektedir. Burada toplam kayıp motor giriş gücü ile alternatör çıkış gücü arasındaki farkı, verim ise motorun girişinden alternatörün çıkışına aktarılan gücü yüzde olarak göstermektedir. Bu deneylerde tip-2 bulanık mantık yöntemi diğer yöntemlere göre daha iyi performans göstermiştir.

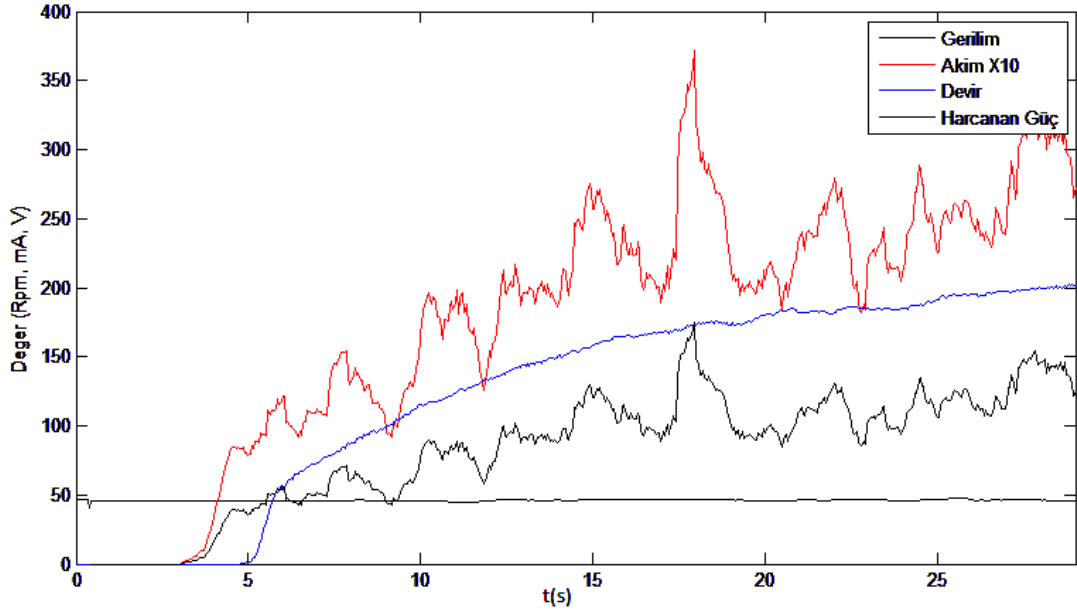
Çizelge 6.5. 100 Devir yarım yüklü deneylerine ilişkin sayısal veriler.

	Yerleşme Zamanı (s)	Motor Giriş Gücü (W)	Alternatör Çıkış Gücü (W)	Toplam Kayıp (W)	Sistemin Verimi (%)
PID	25	140	75	60	53,5
Bulanık Mantık	20	150	80	70	53,3
Tip-2 Bulanık Mantık	20	140	75	65	53,5

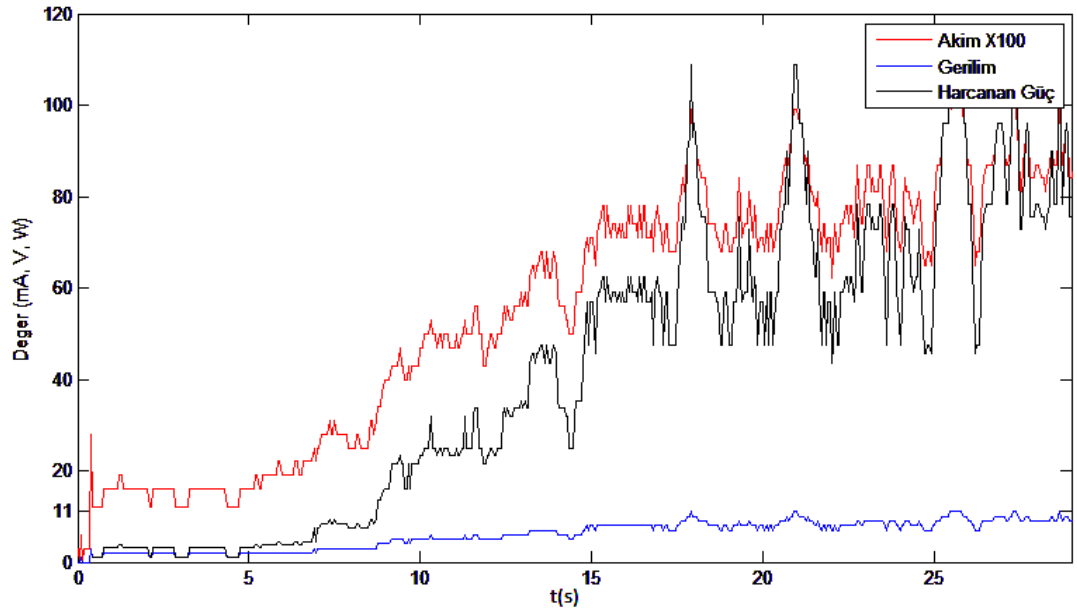
6.2.2. Yarım Yüklü 200 Devirdeki Deneysel Çalışmalar

TİSMFDAM'nun yarım yüklü koşulda sürülmesine ilişkin 200 referans devir sayısı için gerçekleştirilen PID, bulanık mantık ve tip-2 bulanık mantık deneylerinin sonuç

grafikleri Şekil 6.16, Şekil 6.18 ve Şekil 6.20’de, alternatör çıkış grafikleri de Şekil 6.17, Şekil 6.19 ve Şekil 6.21’de verilmektedir. PID deneyinde, motor akımı ve devri düzgün bir şekilde artmakta ve referans değeri yakalamaktadır.

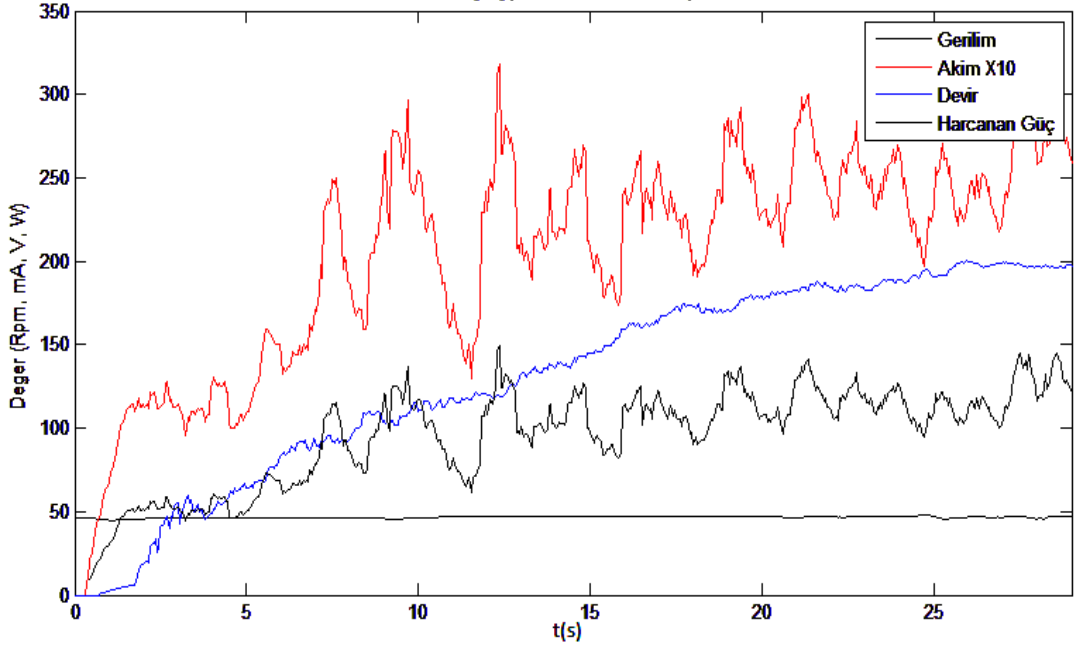


Şekil 6.16. 200 devir yarım yüklü PID deneyi motor verileri.

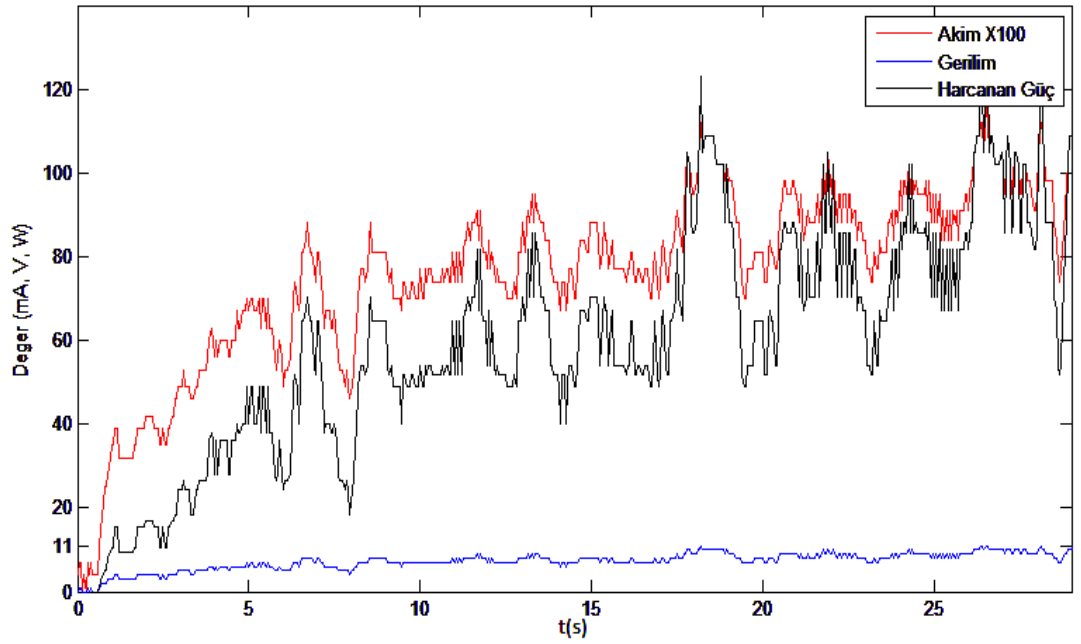


Şekil 6.17. 200 devir yarım yüklü PID deneyi alternatör çıkışı.

Bulanık mantık deneyinde yarım yüklü 100 devir deneyine benzer olarak referans değeri 20'nci saniyede yakalanmakta, motor akımı da benzer bir seyir izlemektedir.

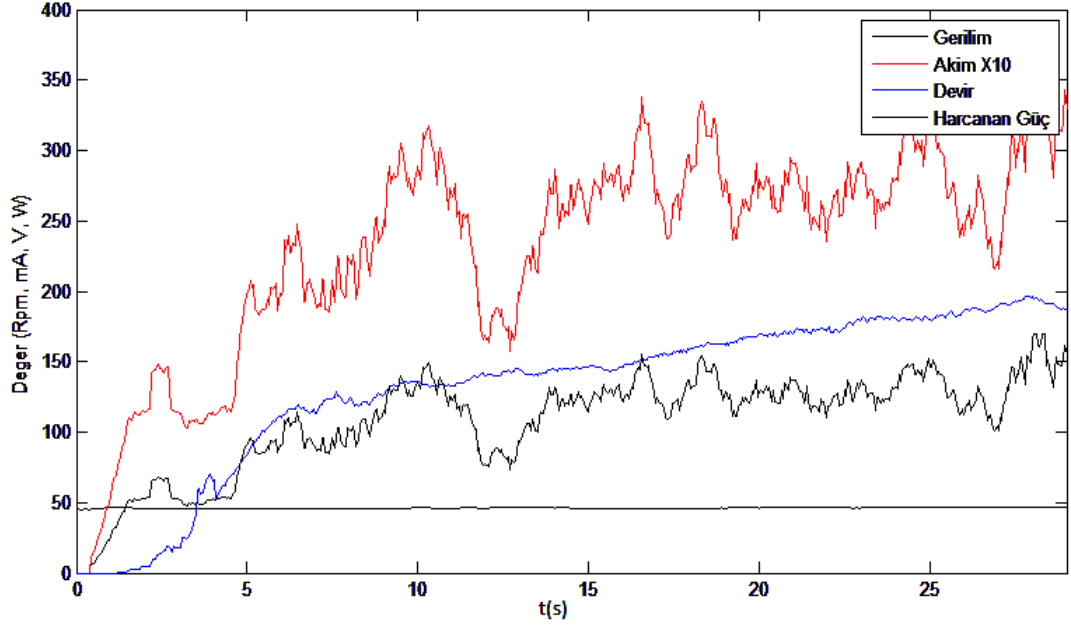


Şekil 6.18. 200 devir yarım yüklü bulanık mantık deneyi motor verileri.

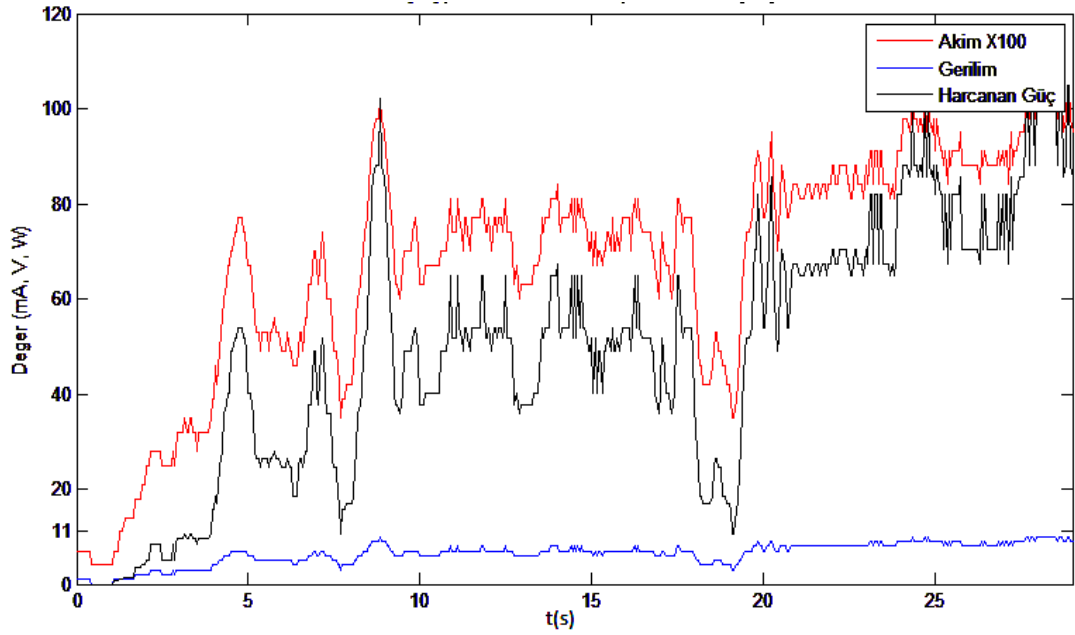


Şekil 6.19. 200 devir yarım yüklü bulanık mantık deneyi alternatör çıkışı.

Tip-2 bulanık mantık deneyine ilişkin grafik incelendiğinde, motor akımının hafif dalgalı bir şekilde yükseldiği, motor devrinin ise düzgün bir artış gösterdiği görülmektedir. Motor devri ilk beş saniyede referans değere yakın bir değere ulaşmaktadır.



Şekil 6.20. 200 devir yarım yüklü tip-2 bulanık mantık deneyi motor verileri.



Şekil 6.21. 200 devir yarım yüklü tip-2 bulanık mantık deneyi alternatör çıkışı.

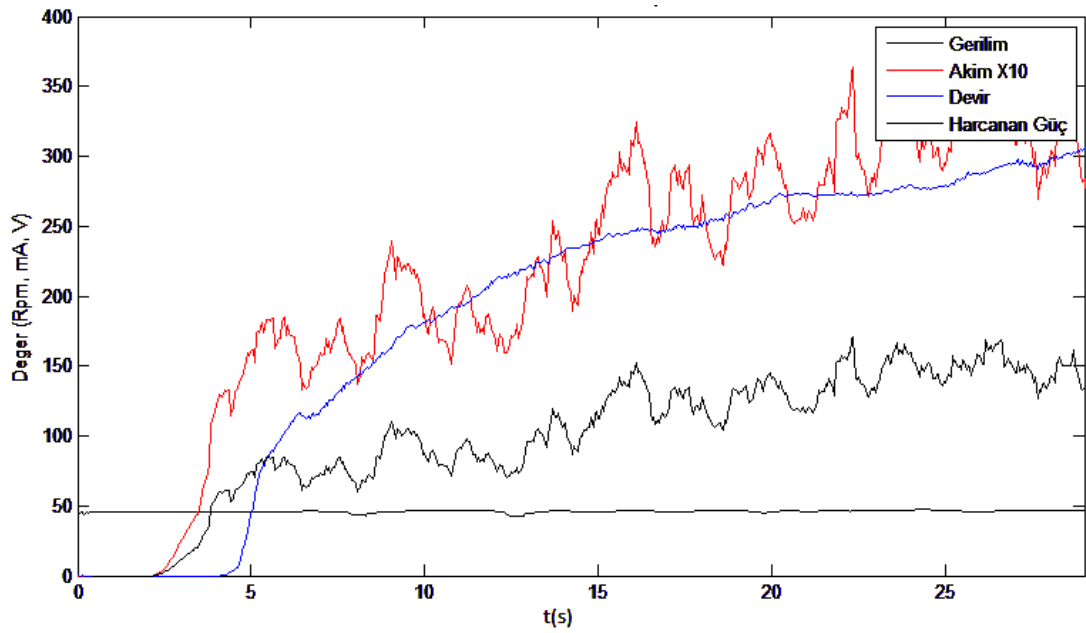
Çizelge 6.6'da kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması için sayısal veriler verilmektedir. Burada toplam kayıp motor giriş gücü ile alternatör çıkış gücü arasındaki farkı, verim ise motorun girişinden alternatörün çıkışına aktarılan gücü yüzde olarak göstermektedir. Bu deneylerde tip-2 bulanık mantık yöntemi referans devir sayısını daha kısa sürede yakalaması nedeniyle daha iyi sonuç vermektedir.

Çizelge 6.6. 200 Devir yarım yüklü deneylerine ilişkin sayısal veriler.

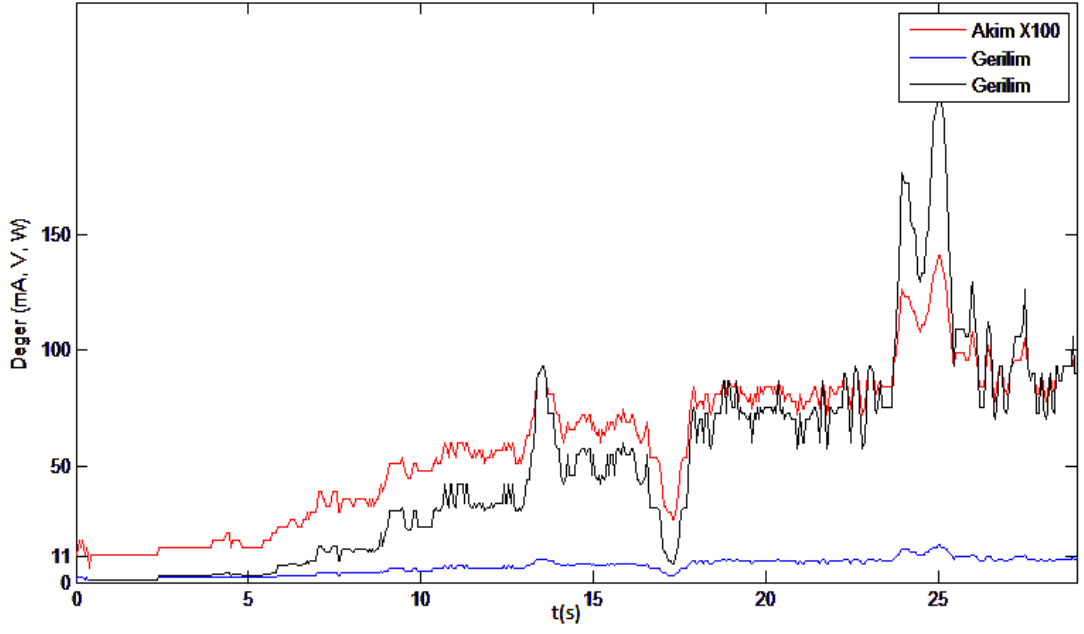
	Yerleşme Zamanı (s)	Motor Giriş Gücü (W)	Alternatör Çıkış Gücü (W)	Toplam Kayıp (W)	Sistemin Verimi (%)
PID	25	150	75	75	50,0
Bulanık Mantık	25	150	80	70	53,3
Tip-2 Bulanık Mantık	23	150	80	70	53,3

6.2.3. Yarım Yüklü 300 Devirdeki Deneysel Çalışmalar

TİSMFDAM'nun yarım yüklü koşulda sürülmesine ilişkin 300 referans devir sayısı için gerçekleştirilen PID, bulanık mantık ve tip-2 bulanık mantık deneylerinin sonuç grafikleri Şekil 6.22, Şekil 6.24 ve Şekil 6.26'da verilmektedir. Alternatör çıkış grafikleri de Şekil 6.23, Şekil 6.25 ve Şekil 6.27'de verilmektedir. PID deneyine ilişkin verilen grafik incelendiğinde, motor akımının ve devrinin düzgün bir artış gösterdiği ve referans devir sayısının 25'inci saniyede yakalandığı görülmektedir.

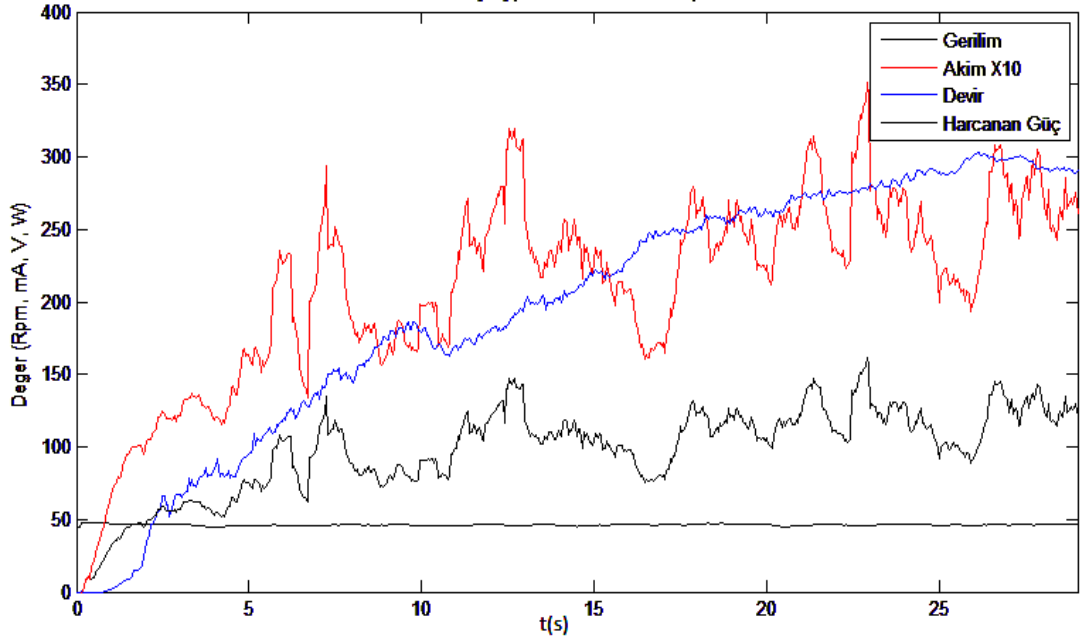


Şekil 6.22. 300 devir yarım yüklü PID deneyi motor verileri.

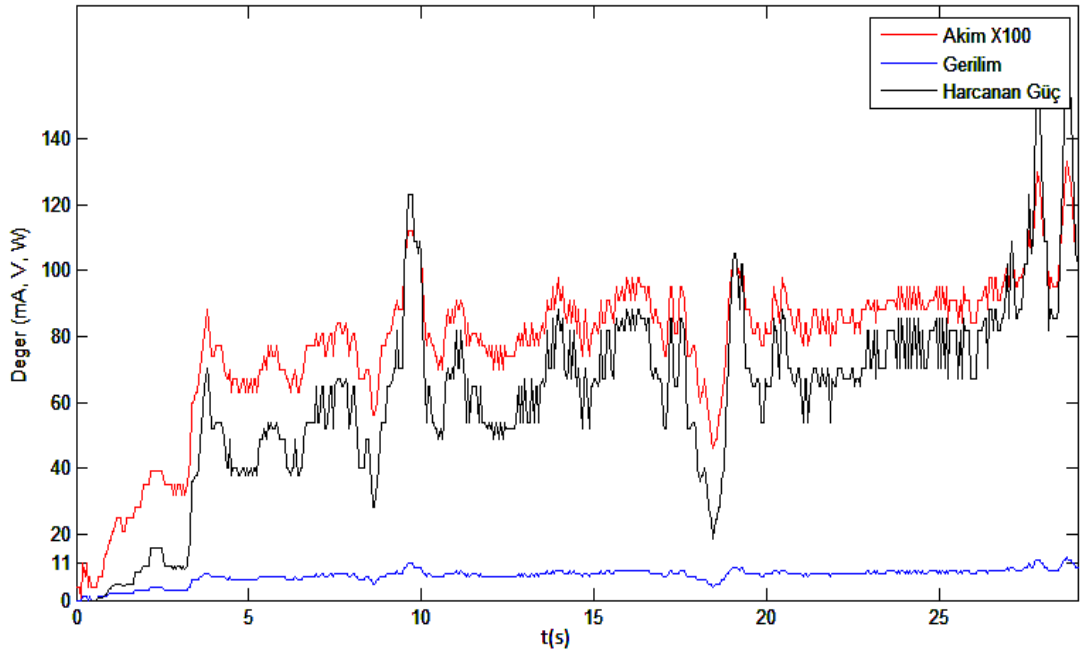


Şekil 6.23. 300 devir yarım yüklü PID deneyi alternatör çıkışı.

Bulanık mantık deneyinde, motor devrinin düzgün bir şekilde arttığı motor akımının ise PID deneyine göre daha fazla dalgalandığı görülmektedir. Motor devrinde 10'uncu saniyede meydana gelen dalgalanma dışında herhangi bir anormallik gözlenmemektedir.

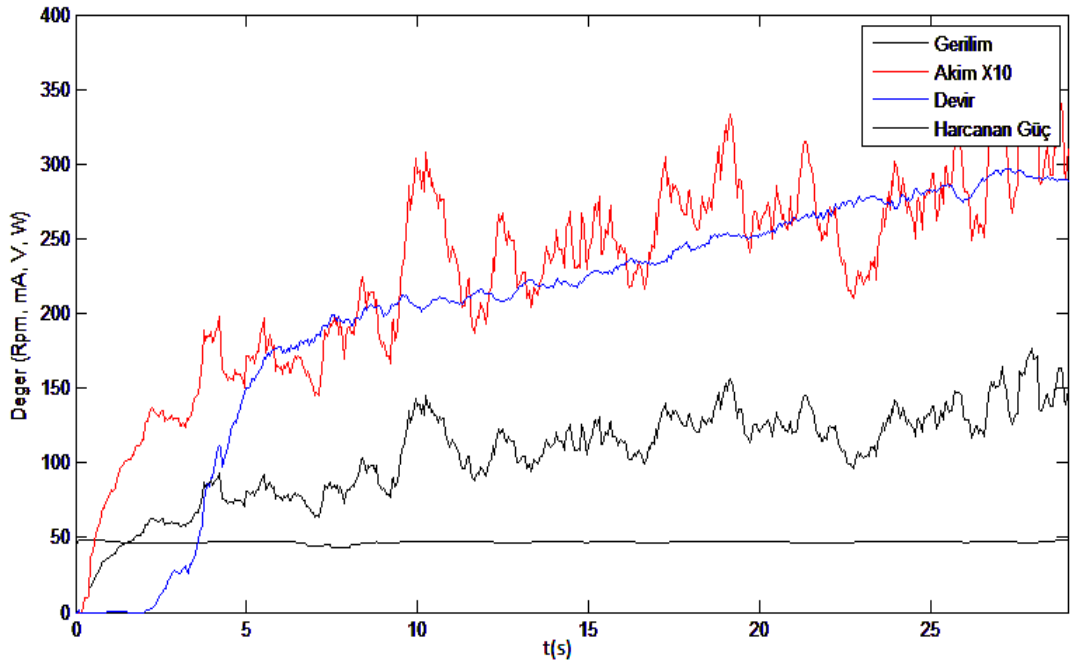


Şekil 6.24. 300 devir yarım yüklü bulanık mantık deneyi motor verileri.

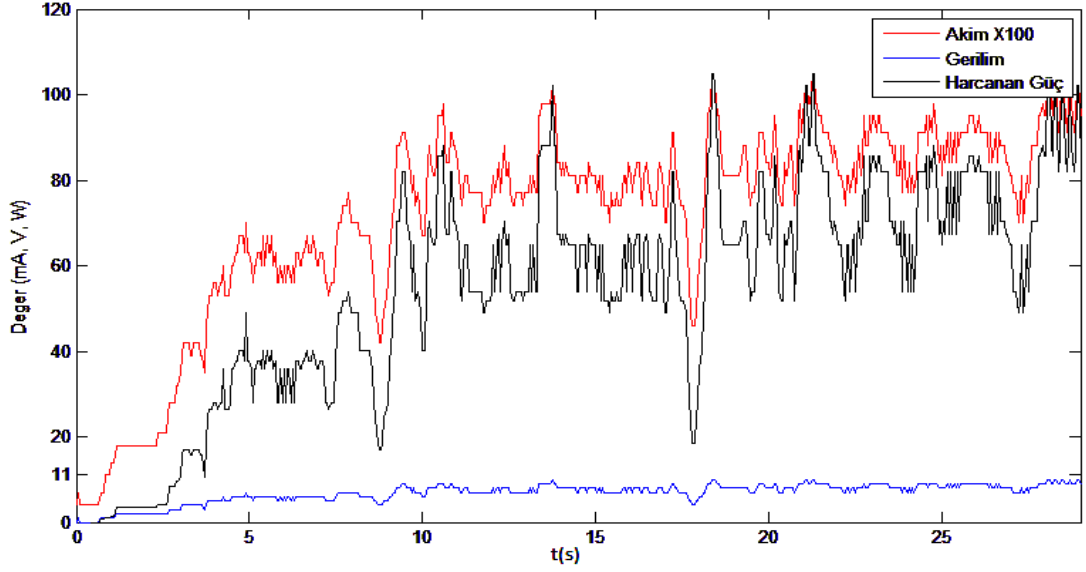


Şekil 6.25. 300 devir yarım yüklü bulanık mantık deneyi alternatör çıkışı.

Tip-2 bulanık mantık deneyine ilişkin verilen grafik incelendiğinde, motor akımının klasik bulanık mantık yöntemine göre daha az dalgalandığı görülmektedir. Motor devri düzgün bir artış göstererek yükselmektedir. Bu deney tip-2 bulanık mantık yönteminin etkinliğinin en net görüldüğü deneylerden biridir.



Şekil 6.26. 300 devir yarım yüklü tip-2 bulanık mantık deneyi motor verileri.



Şekil 6.27. 300 devir yarımlü tip-2 bulanık mantık deneyi alternatör çıkışı.

Çizelge 6.7’de kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması için sayısal veriler verilmiştir. Burada toplam kayıp motor giriş gücü ile alternatör çıkış gücü arasındaki farkı, verim ise motorun girişinden alternatörün çıkışına aktarılan gücü göstermektedir. Bu deneylerde tip-2 bulanık mantık yöntemi daha iyi sonuç vermektedir.

Çizelge 6.7. 300 Devir yarımlü deneylerine ilişkin sayısal veriler.

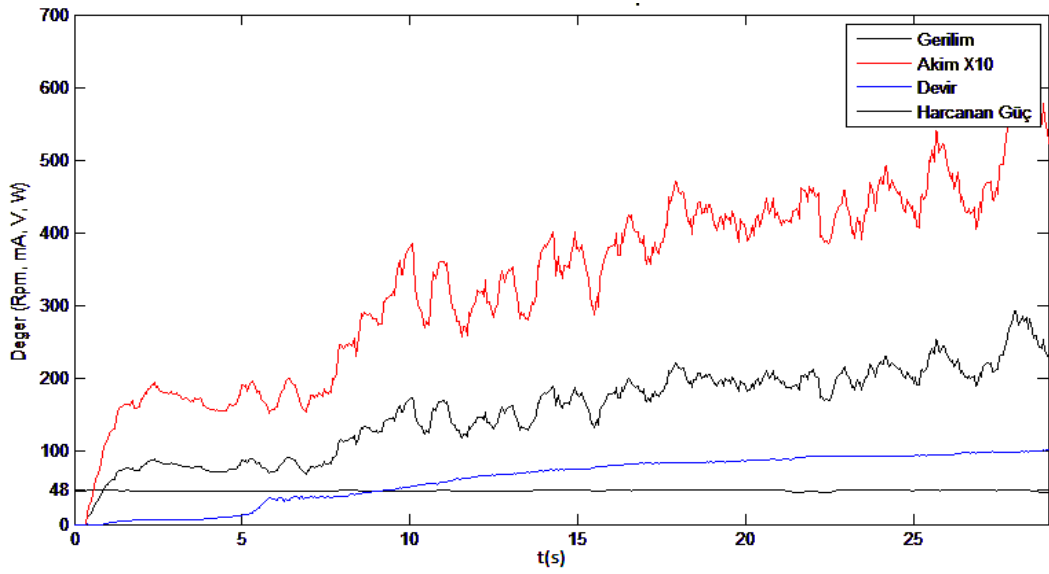
	Devir Yerleşme Zamanı (s)	Motor Giriş Gücü (W)	Alternatör Çıkış Gücü (W)	Toplam Kayıp (W)	Verim (%)
PID	24	160	70	90	43,75
Bulanık Mantık	26	160	70	90	43,75
Tip-2 Bulanık Mantık	23	170	80	90	47,05

6.3. TAM YÜKLÜ DENEYLER

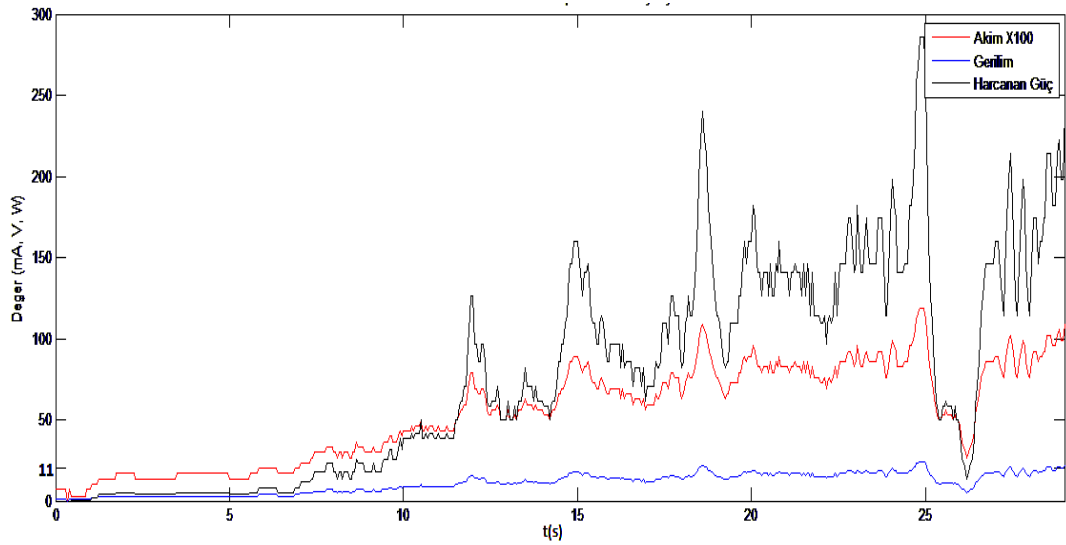
TİSMFDAM’un sürülmesine ilişkin 100, 200, 300 devir durumlarında PID, bulanık mantık ve tip-2 bulanık mantık yöntemlerinin denendiği tam yüklü deneylerin grafikleri ve her deneye ait alternatör çıkış grafikleri de verilmektedir.

6.3.1. Tam Yüklü 100 Devirdeki Deneysel Çalışmalar

TİSMFDAM'nun tam yüklü koşulda sürülmesine ilişkin 100 referans devir sayısı için gerçekleştirilen PID, bulanık mantık ve tip-2 bulanık mantık deneylerinin sonuç grafikleri Şekil 6.28, Şekil 6.30 ve Şekil 6.32'de verilmektedir. Bu deneylere ait alternatör çıkış grafikleri de Şekil 6.29, Şekil 6.31 ve Şekil 6.33'te verilmektedir. PID deneyinde, motor akımı yarım yüklü koşuldaki deneylere göre az dalgalanmakta motor devri 22'nci saniyede referans değeri yakalamaktadır.

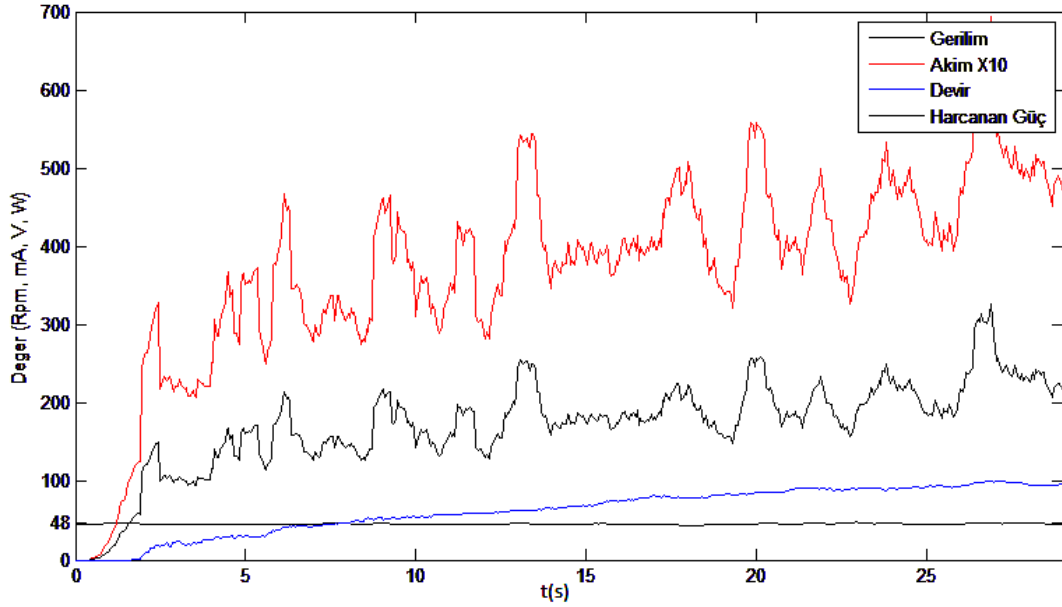


Şekil 6.28. 100 devir tam yüklü PID deneyi motor verileri.

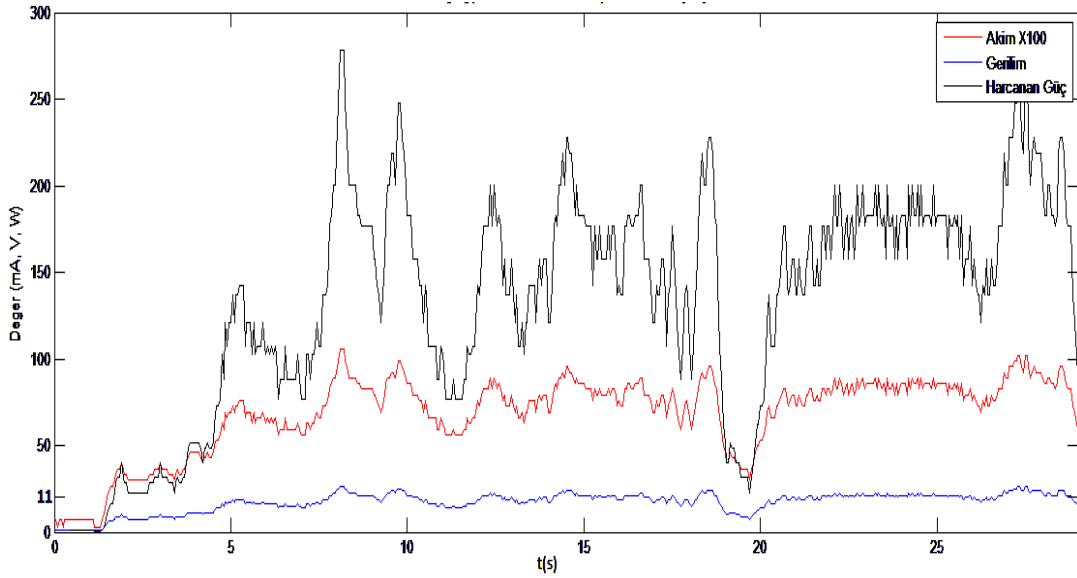


Şekil 6.29. 100 devir tam yüklü PID deneyi alternatör çıkışı.

Bulanık mantık deneyinde, motor akımındaki dalgalanmalar PID deneyine göre daha fazla olurken, motor devri 26'ncı saniyede referans değere ulaşmaktadır.

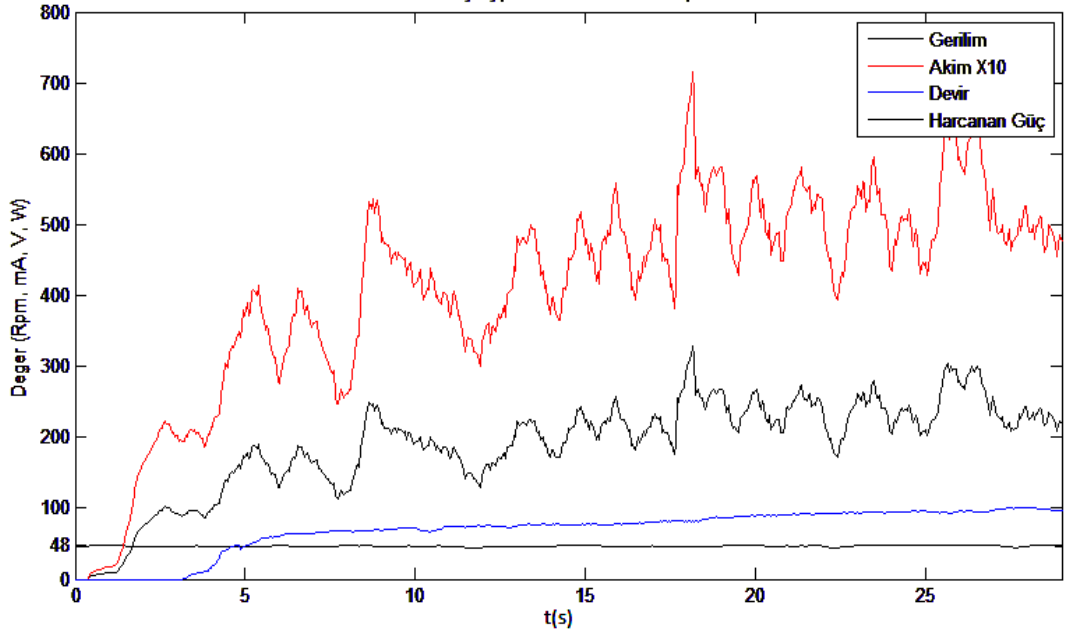


Şekil 6.30. 100 devir tam yüklü bulanık mantık deneyi motor verileri.

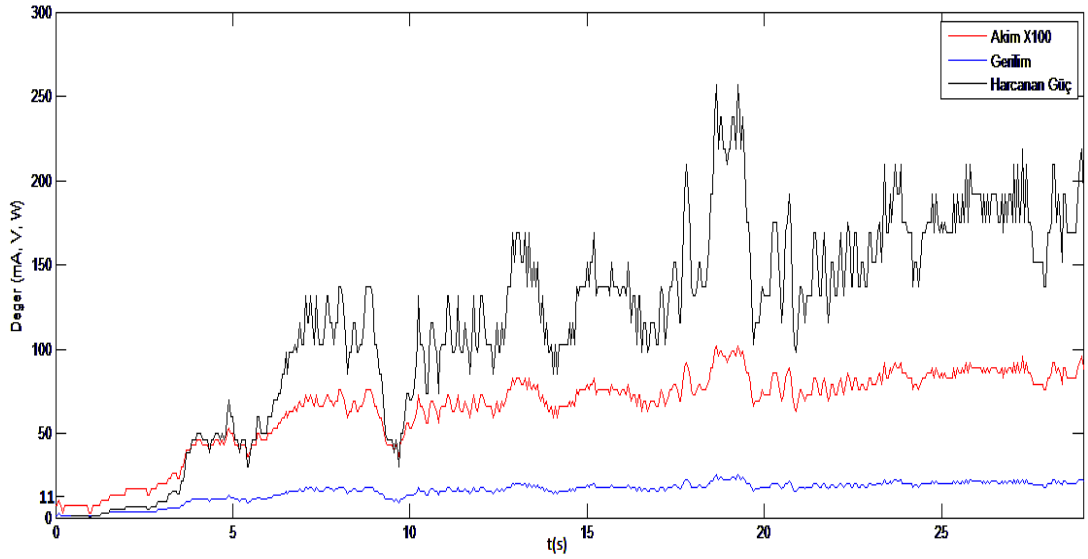


Şekil 6.31. 100 devir tam yüklü bulanık mantık deneyi alternatör çıkışı.

Tip-2 bulanık mantık deneyinde ise motor akımındaki dalgalanmalar klasik bulanık mantık deneyine göre daha az olmaktadır. Referans devir sayısı 20'nci saniyede yakalanmaktadır.



Şekil 6.32. 100 devir tam yüklü tip-2 bulanık mantık deneyi motor verileri.



Şekil 6.33. 100 devir tam yüklü tip-2 bulanık mantık deneyi alternatör çıkışı.

Çizelge 6.8'de kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması için sayısal veriler verilmektedir. Burada toplam kayıp motor giriş gücü ile alternatör çıkış gücü arasındaki farkı, verim ise motorun girişinden alternatörün çıkışına aktarılan gücü yüzde olarak göstermektedir. Bu deneylerde klasik bulanık mantık ve tip-2 bulanık mantık yöntemleri, PID yöntemine göre referans devir sayısını daha kısa sürede yakaladığından dolayı daha iyi sonuç vermektedir.

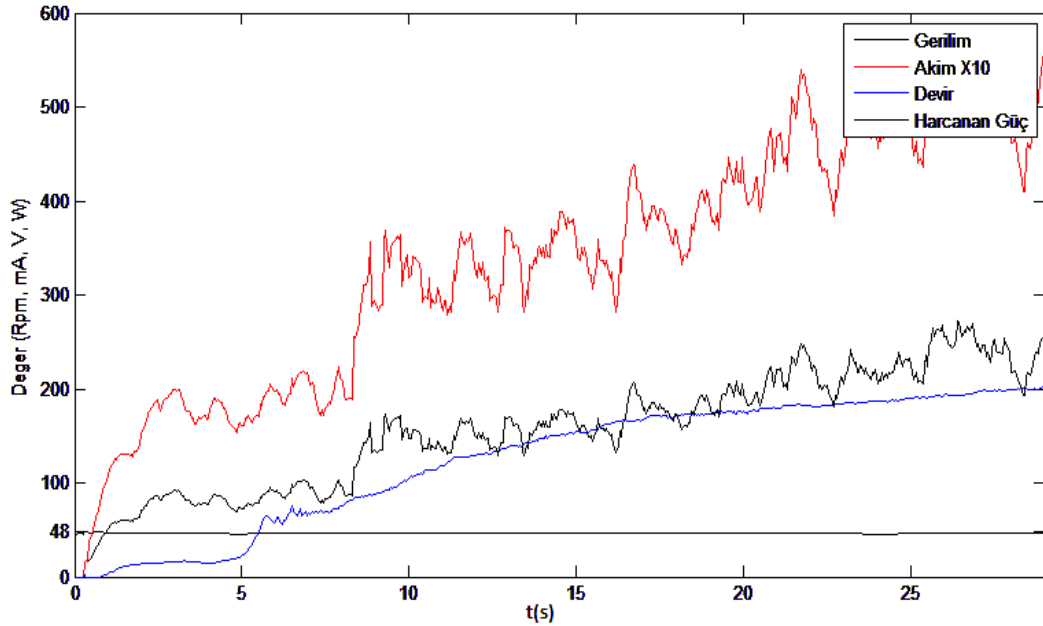
Çizelge 6.8. 100 Devir tam yüklü deneylerine ilişkin sayısal veriler.

	Devir Yerleşme Zamanı (s)	Motor Giriş Gücü(W)	Alternatör Çıkış Gücü (W)	Toplam Kayıp (W)	Sistemin Verimi (%)
PID	25	270	140	130	51,8
Bulanık Mantık	20	270	145	125	53,7
Tip-2 Bulanık Mantık	20	260	145	115	55,7

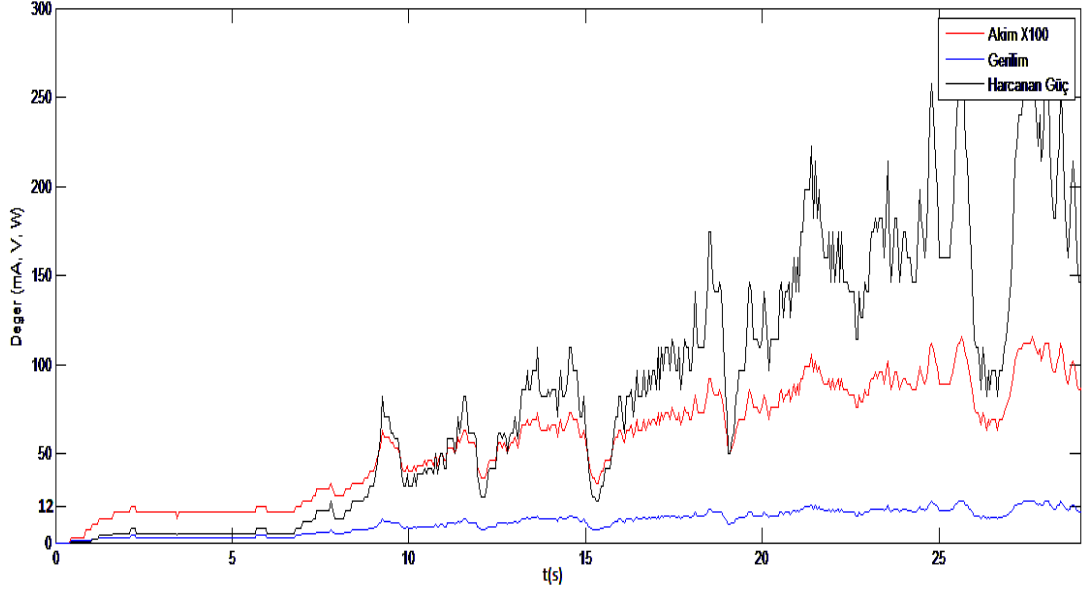
6.3.2. Tam Yüklü 200 Devirdeki Deneysel Çalışmalar

TİSMFDAM'nun tam yüklü koşulda sürülmesine ilişkin 200 referans devir sayısı için gerçekleştirilen PID, klasik bulanık mantık ve tip-2 bulanık mantık deneylerinin sonuç grafikleri Şekil 6.34, Şekil 6.36 ve Şekil 6.38'de verilmektedir. Bu deneylere ait alternatör çıkış grafikleri de Şekil 6.35, Şekil 6.37 ve Şekil 6.39'da verilmektedir.

PID deneyine ilişkin grafik incelendiğinde, motor akımının ve devrinin 100 devir deneyine benzer şekilde arttığı görülmektedir.

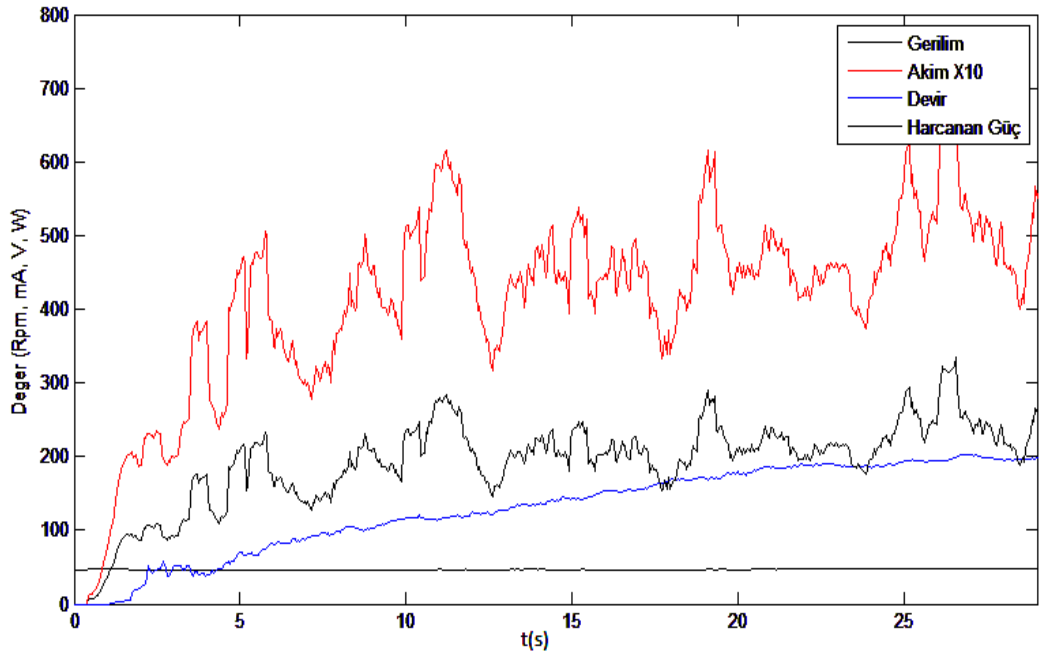


Şekil 6.34. 200 devir tam yüklü PID deneyi motor verileri.

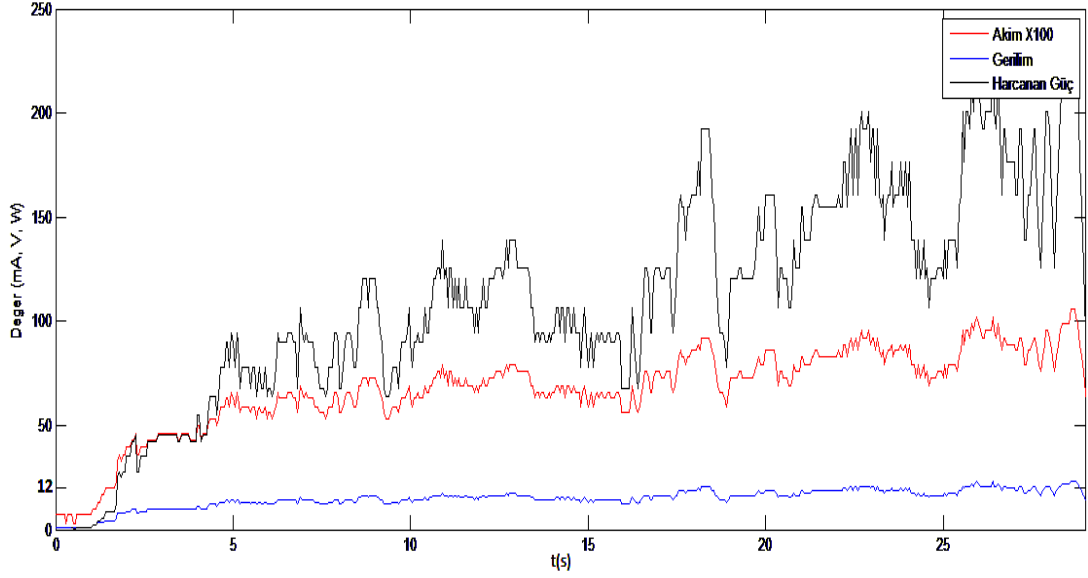


Şekil 6.35. 200 devir tam yüklü PID deneyi alternatör çıkışı.

Bulanık mantık deneyinde, motor akımında dalgalanmalar meydana gelirken motor devri ilk beş saniyedeki dalgalanmadan sonra düzgün bir şekilde artarak 24 saniyede referans değeri yakalamaktadır. Motor akımında meydana gelen dalgalanmalar, PID yöntemine göre daha fazla olurken motor akımının yükselme süresi bir miktar kısalmaktadır.

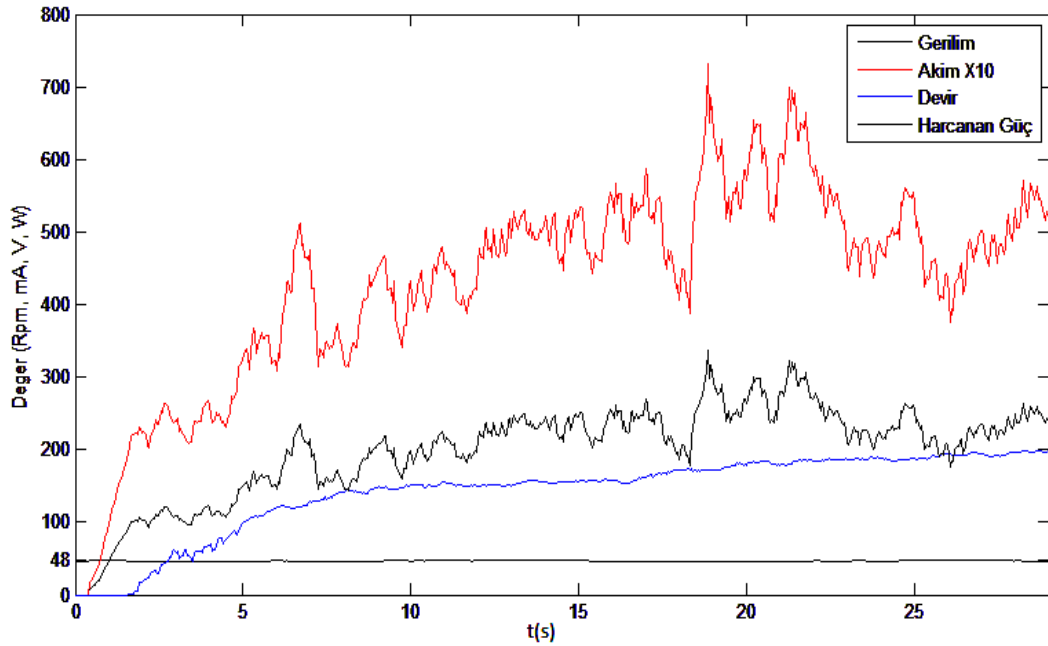


Şekil 6.36. 200 devir tam yüklü bulanık mantık deneyi motor verileri.

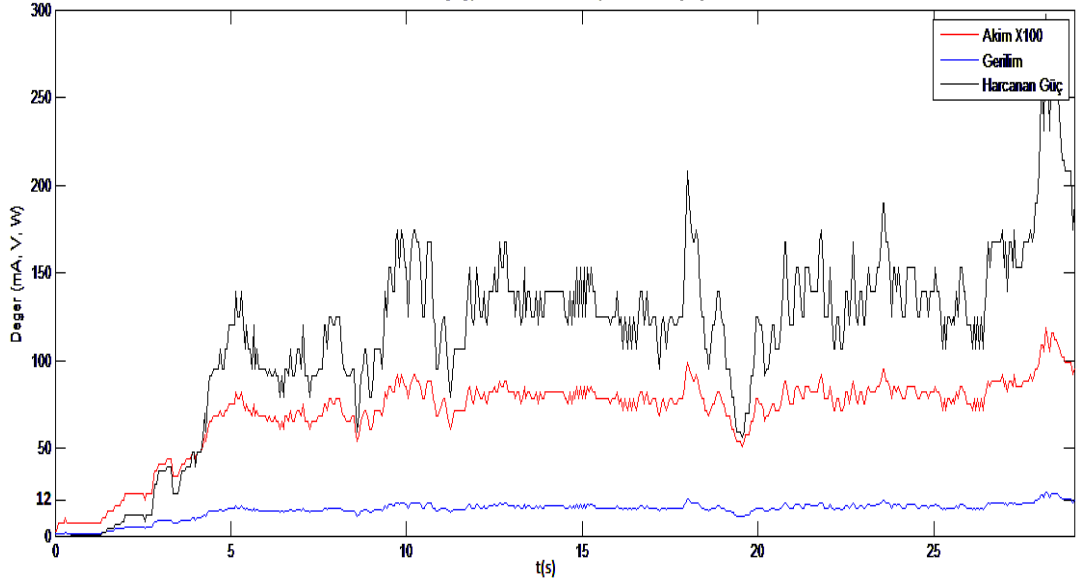


Şekil 6.37. 200 devir tam yüklü bulanık mantık deneyi alternatör çıkışı.

Tip-2 bulanık mantık deneyinde, motor akımında meydana gelen dalgalanmalar klasik bulanık mantık yöntemine göre oldukça azalmakta ve motor akımı düzgün bir artış göstermektedir. Motor devri herhangi bir dalgalanma olmaksızın ikinci saniyeden itibaren düzgün bir artış göstererek 23'üncü saniyede referans devir sayısına ulaşmaktadır.



Şekil 6.38. 200 devir tam yüklü tip-2 bulanık mantık deneyi motor verileri.



Şekil 6.39. 200 devir tam yüklü tip-2 bulanık mantık deneyi alternatör çıkışı.

Çizelge 6.9’da kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması için sayısal veriler verilmiştir. Burada toplam kayıp motor giriş gücü ile alternatör çıkış gücü arasındaki farkı, verim ise motorun girişinden alternatörün çıkışına aktarılan gücü yüzde olarak göstermektedir. Bu deneylerde devir yerleşme zamanı ve akım dalgalanmaları açısından tip-2 bulanık mantık yöntemi daha iyi sonuçlar vermektedir.

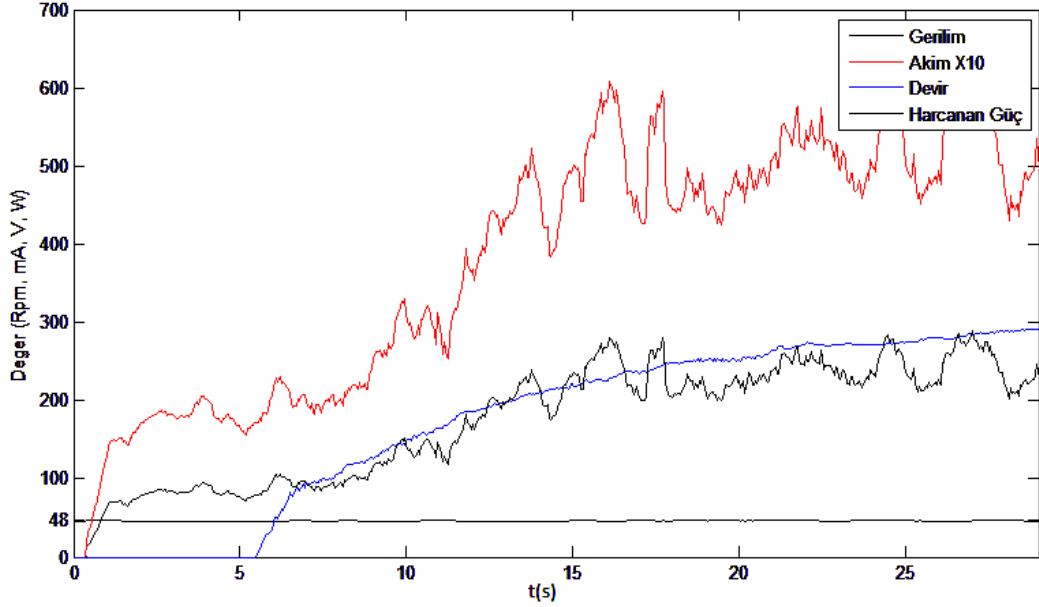
Çizelge 6.9. 200 Devir tam yüklü deneylerine ilişkin sayısal veriler.

	Devir Yerleşme Zamanı (s)	Motor Giriş Gücü (W)	Alternatör Çıkış Gücü (W)	Toplam Kayıp (W)	Sistemin Verimi (%)
PID	24	270	135	135	50,0
Bulanık Mantık	26	280	135	140	48,2
Tip-2 Bulanık Mantık	23	270	140	120	51,8

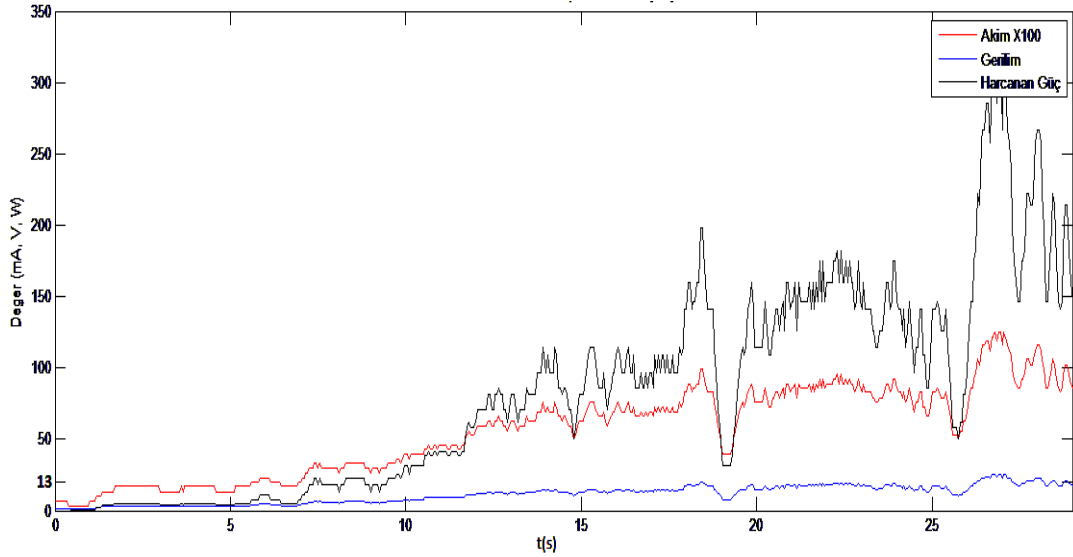
6.3.3. Tam Yüklü 300 Devirdeki Deneysel Çalışmalar

TİSMFDAM’nun tam yüklü koşulda sürülmesine ilişkin 300 referans devir sayısı için gerçekleştirilen PID, bulanık mantık ve tip-2 bulanık mantık deneylerinin sonuç

grafikleri Şekil 6.40, Şekil 6.42 ve Şekil 6.44'te verilmiştir. Bu deneylere ait alternatör çıkış grafikleri Şekil 6.41, Şekil 6.43 ve Şekil 6.45'te verilmektedir. PID deneyinde motor akımındaki dalgalanmalar bir miktar artmakta, motor devri de herhangi bir dalgalanma olmaksızın yükselmektedir.

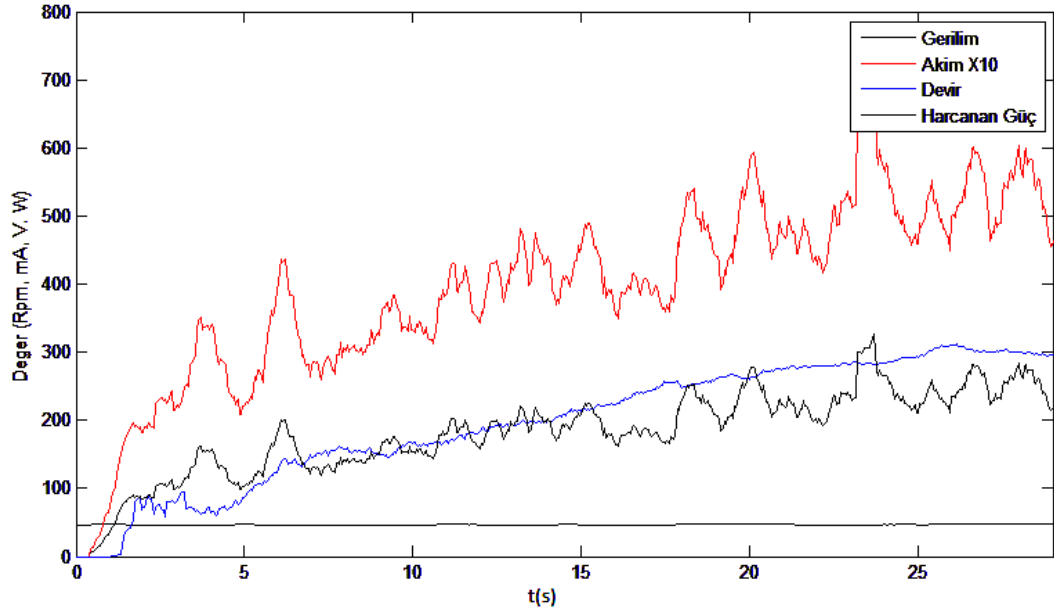


Şekil 6.40. 300 devir tam yüklü PID deneyi motor verileri.

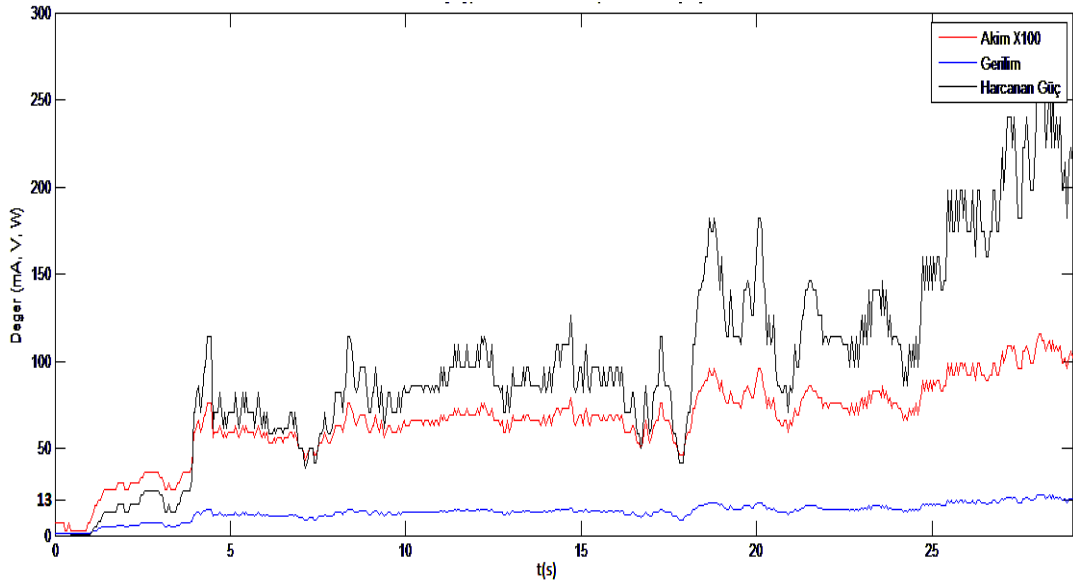


Şekil 6.41. 300 devir tam yüklü PID deneyi alternatör çıkışı.

Bulanık mantık deneyinde motor devrinde ilk beş saniyede küçük dalgalanmalar görülürken referans devir sayısı 26 saniyede yakalanmaktadır.

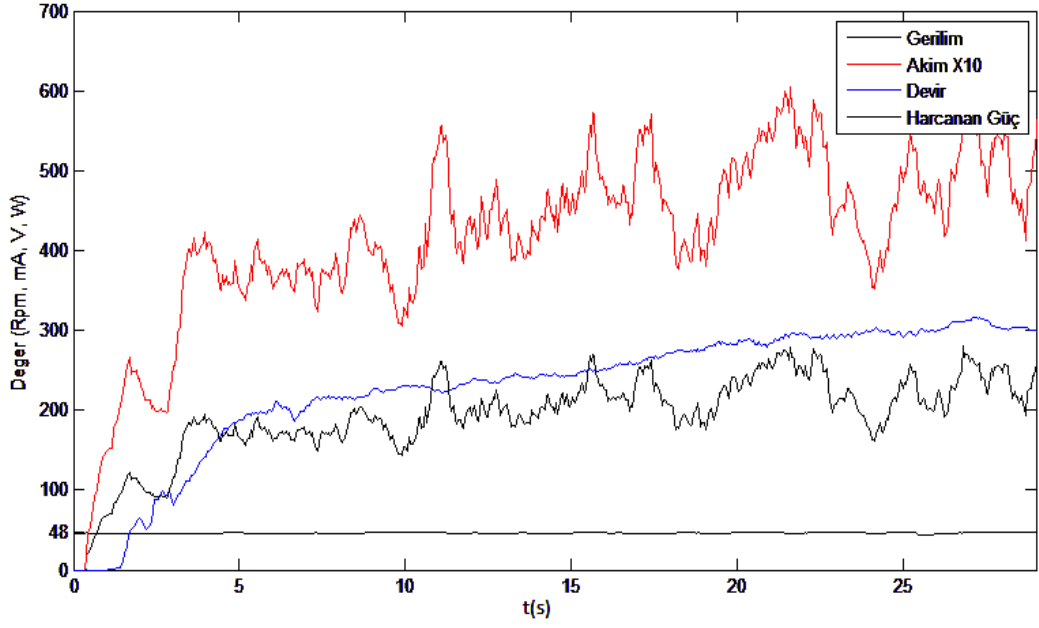


Şekil 6.42. 300 devir tam yüklü bulanık mantık deneyi motor verileri.

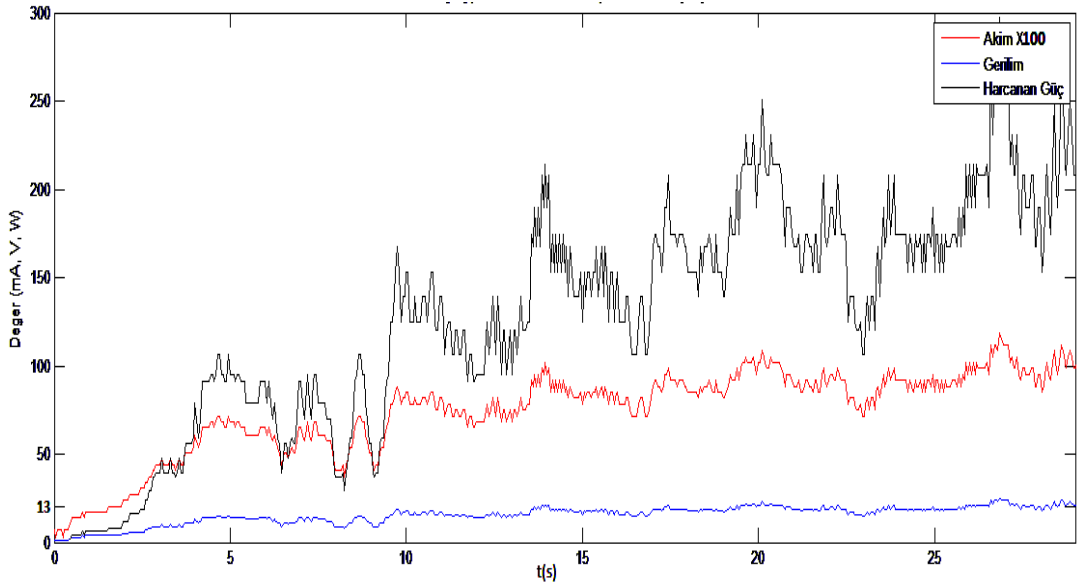


Şekil 6.43. 300 devir tam yüklü bulanık mantık deneyi alternatör çıkışı.

Tip-2 bulanık mantık deneyinde motor devri hızlı bir artışla beş saniyede 200 devir seviyesine yükselmekte ve 17'nci saniyede referans devir değerini yakalamaktadır. Motor akımı da motor devrine paralel seyretmektedir. Bu deney tip-2 bulanık mantık yönteminin farkının en net şekilde gözlemlendiği deneylerin başında gelmektedir.



Şekil 6.44. 300 devir tam yüklü tip-2 bulanık mantık deneyi motor verileri.



Şekil 6.45. 300 devir tam yüklü tip-2 bulanık mantık deneyi alternatör çıkışı

Çizelge 6.10'da kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması için sayısal veriler verilmiştir. Burada toplam kayıp motor giriş gücü ile alternatör çıkış gücü arasındaki farkı, verim ise motorun girişinden alternatörün çıkışına aktarılan gücü yüzde olarak göstermektedir. Bu deneylerde diğer yüklü deneylerde olduğu gibi tip-2 bulanık mantık yöntemi referans devir sayısının yakalanma süresi açısından diğer yöntemlere göre daha iyi performans göstermektedir.

Çizelge 6.10. 300 Devir tam yüklü deneylerine ilişkin sayısal veriler.

	Devir Yerleşme Zamanı (s)	Motor Giriş Gücü (W)	Alternatör Çıkış Gücü (W)	Toplam Kayıp (W)	Verim (%)
PID	22	290	130	160	44,8
Bulanık Mantık	26	290	130	160	44,8
Tip-2 Bulanık Mantık	17	280	130	150	46,4

Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda;

1. Yüksüz deneylerde referans devir sayısı üç yöntemde de yaklaşık beş saniyede yakalanmaktadır. Motor akımında yumuşak kalkış sağlanmış ancak motor devrinde bazı küçük dalgalanmalar görülmektedir.
2. Yarım yüklü deneylerde referans devir sayısı 30 saniyelik deney süresinin sonlarına doğru yakalanmaktadır. Motor akımı ve devrinde yumuşak kalkış başarılı bir şekilde sağlanmaktadır. Motor akımında bazı dalgalanmalar olmasına rağmen motor devrinde düzgün bir artış grafiği sağlanmaktadır.
3. Tam yüklü deneylerde referans devir sayısı yaklaşık 25 saniyede yakalanmaktadır. Motor akımındaki dalgalanmalar yarım yüklü deneylere göre bir miktar daha artmakta motor devri ise düzgün bir şekilde artarak referans değerine ulaşmaktadır.
4. Yüksüz deneylerde PID yöntemi en iyi sonuçları verirken yarım ve tam yüklü deneylerde devirin yükselme zamanının daha kısa olması nedeniyle tip-2 bulanık mantık yöntemi en iyi sonuçları vermektedir.
5. Yarım ve tam yüklü deneylerde sistemin verimi 100 devirde %53, 200 devirde %50 ve 300 devirde %45 olarak gerçekleşmektedir. Buna göre kayış üzerinde harcanan ve alternatör ile motorun veriminden dolayı gerçekleşen kayıplar 100 devirde %47, 200 devirde %50 ve 300 devirde %55'i bulmaktadır.

6. Tüm denetim yöntemlerinde TİSMFDAM'nun başlangıç anında yüksek güç tüketmesinden kaynaklanan gerilim düşmeleri önlenmektedir.
7. Tüm deneylerde TİSMFDAM'nun besleme akımının istenilen değere yerleşerek kararlı hale gelme süresi uzarken osilasyon miktarı azalmakta ve düzgün bir artış sağlanmaktadır.
8. Yarım yüklü ve tam yüklü deneylerde TİSMFDAM'nun devir sayısında ilk anda meydana gelen aşırı yükselme engellenerek minimize edilmekte ve böylece osilasyon miktarı azaltılmaktadır.
9. Özellikle yüklü deneylerde ve yüksek devirlerde tip-2 bulanık mantık yöntemi yükselme süresinin ve aşım miktarının diğer yöntemlere göre daha az olması nedeniyle istenilene daha yakın sonuçlar vermektedir.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, TİSMFDAM'un sürülmesi yüksüz, yarım yüklü ve tam yüklü olmak üzere üç farklı yük durumunda ve her yük durumunda 100, 200 ve 300 devir referans değerleri için deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Her bir deney PID, bulanık mantık ve tip-2 bulanık mantık yöntemleri için tekrar edilerek bu üç yöntem karşılaştırılmaktadır. Çizelge 7.1'de bu üç yöntemin deneylerdeki performansları verilmektedir. Kontrol performansları incelendiğinde, yükün az olduğu ve düşük devir durumlarında PID ya da bulanık mantık, yükün fazla olduğu ve yüksek devir durumlarında tip-2 bulanık mantık yönteminin kullanılacağı hibrit bir kontrol sistemi tasarlanmasının uygun olacağı görülmektedir.

Çizelge 7.1. Kullanılan kontrol yöntemlerinin performanslarının karşılaştırması.

Deney Türü	Devir	PID	Bulanık Mantık	Tip-2 Bulanık Mantık
Yüksüz	100 Devir	İyi	İyi	Orta
	200 Devir	İyi	İyi	Orta
	300 Devir	İyi	İyi	Orta
Yarım Yüklü	100 Devir	Orta	İyi	İyi
	200 Devir	Orta	Orta	İyi
	300 Devir	Orta	Orta	Çok İyi
Tam Yüklü	100 Devir	Orta	İyi	İyi
	200 Devir	Orta	Orta	İyi
	300 Devir	Orta	Orta	Çok İyi

Bu konuda sonraki çalışmalarda; kullanılan veri kazanım kartının daha iyi bir veri kazanım kartıyla değiştirilmesi, deney sürelerinin daha uzun tutulması, PID

deneylerinde katsayıların otomatik ayarlanması, bulanık mantık ve tip-2 bulanık mantık deneylerinde de kural tabanının deneylere göre daha etkili bir şekilde düzenlenmesi faydalı olacaktır. Ayrıca, bu sistem elektrikli araçlarda motor kontrolünde kullanıldığı takdirde, aracın hız kontrolünü gerçekleştirirken kalkış anındaki sarsıntı ve yüksek güç tüketiminden kaynaklanan zararların önüne geçerek motor, sürücü ve besleyici sistemleri korurken kullanım ömürlerinin uzatılması ve arızaların önlenmesini sağlayabilir.

KAYNAKLAR

1. Burger, F., Besse, P. A., and Popovic, R. S., “New single chip hall sensor for three phases brushless motor control”, *Sensors and Actuators*, 81: 320–323 (2000).
2. Yan, G., and Serteller, N. F. O., “Brushless direct current (BLDC) machine bipolar – unipolar driving circuit education study”, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 2: 2694–2699 (2010).
3. Shin, C., Choi, C., and Lee, W., “Advance angle calculation for improvement of the torque-to current ratio of brushless DC motor drives”, *Energy Procedia*, 14: 1410–1414 (2012).
4. Wang, H., “Design and implementation of brushless DC motor drive and control system”, *Procedia Engineering*, 29: 2219–2224 (2012).
5. Janpana, I., Chaisricharoenb, R., and Boonyananta, P., “Control of the brushless DC motor in combine mode”, *Procedia Engineering*, 32: 279 – 285 (2012).
6. Rambabu, S., “Modeling and control of a brushless DC motor”, Master Thesis, *National Institute of Technology*, Rourkela, India, 1–34 (2007).
7. Kan, K. S., and Tzou, Y., “Adaptive soft starting method with current limit strategy for sensorless BLDC motors”, *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, Hangzhou, China, 605-610 (2012).
8. Yousfi, D., Ouahman, A. A., and Elbacha, A., “Combined BLDCM and encoderless PMSM control for electric hub motor drives”, *XIX International Conference on Electrical Machines*, Rome, Italy, 1–6 (2010).
9. Zhuang, F., and Shu, L., “Electric motor soft-start control based on fuzzy theory”, *Third International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems*, Shenyang, China, 430-433 (2010).
10. Guangzhe, J., Changcheng, Z., Qiang, G., and Dianguo, X., “Research on system of self-controlled soft start with variable frequency for synchronous motor”, *IEEE 7th International Power Electronics and Motion Control Conference*, Harbin, China, 2547-2551 (2012).
11. Chang, Y., Lin, H., and Chen, G., “Compensation on hall effect sensor of PWM switching control”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 282: 307–310 (2004).

12. Im, H., Bae, D. S., and Chung, J., “Design sensitivity analysis of dynamic responses for a BLDC motor with mechanical and electromagnetic interactions”, *Journal of Sound and Vibration*, 331: 2070–2079 (2012).
13. Chattopadhyay, M., Roy, P., and Dutta, S., “Simulation modeling of BLDC motor drive and harmonic analysis of stator current, rotor speed and acceleration using discrete wavelet transform technique”, *Procedia Technology*, 4: 666–670, (2012).
14. Dereli, T., Baykasoglu, A., Altun, K., Durmusoglu, A., and Türksen, I., B., “Industrial applications of type-2 fuzzy sets and systems: A concise review”, *Computers in Industry*, 62: 125–137 (2011).
15. Melin, P., and Castillo, O., “A review on the applications of type-2 fuzzy logic in classification and pattern recognition”, *Expert Systems with Applications*, 40: 5413–5423 (2013).
16. Martinez, J. S., John, R. I., Hissel, D., and Pera, M. C., “A survey-based type-2 fuzzy logic system for energy management in hybrid electrical vehicles”, *Information Sciences*, 190: 192–207 (2012).
17. Kandiban, R., and Arulmozhiyal, R., “Speed control of BLDC motor using adaptive fuzzy PID controller”, *International Conference On Modelling Optimization And Computing*, Tamilnadu, India, 306–313 (2012).
18. Wu, Y., Jiang, H., and Zou, M., “The Research on fuzzy PID control of the permanent magnet linear synchronous motor”, *International Conference on Applied Physics and Industrial Engineering*, Palasieau, France, 1311–1318 (2012).
19. Yuanxia, W., Yalia, Y., Guoshenga, Z., and Xiaoliangb, S., “Fuzzy auto-adjust PID controller design of brushless DC motor”, *International Conference on Medical Physics and Biomedical Engineering*, Singapore, Singapore 1533–1539 (2012).
20. Gerasimos G. R., “Adaptive fuzzy control of DC motors using state and output feedback”, *Electric Power Systems Research*, 79: 1579–1592 (2009).
21. Merlin, P., and Castillo, O., “Intelligent control of a stepping motor drive using an adaptive neuro–fuzzy inference system”, *Information Sciences*, 170: 133–151 (2005)
22. Elmas, Ç., Ustun, O., and Sayan, H. H., “A neuro-fuzzy controller for speed control of a permanent magnet synchronous motor drive”, *Expert Systems with Applications*, 34: 657–664 (2005).
23. Chen, C., and Lin, W., “Self-adaptive interval type-2 neural fuzzy network control for PMLSM drives”, *Expert Systems with Applications*, 38: 14679–14689 (2011).

24. Tan, K., and Tang, K., “Vehicle dispatching system based on Taguchi-tuned fuzzy rules”, *European Journal of Operational Research*, 128: 545–557 (2001).
25. Atacak, I., and Bay, O. F., “A type-2 fuzzy logic controller design for buck and boost DC–DC converters”, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23 (4): 1023–1034 (2010).
26. Mendez, G., Leduc-Lezama, L., Colas, R., Murillo-Perez, G., Ramirez-Cuellar, J., and Lopez, J., “Modelling and control of coiling entry temperature using interval type-2 fuzzy logic systems”, *Ironmaking and Steelmaking*, 37: 126–134 (2010).
27. Martinez, R., Castillo, O., and Aguilar, L., “Optimization with genetic algorithms of interval type-2 fuzzy logic controllers for an autonomous wheeled mobile robot: a comparison under different kinds of perturbations”, *IEEE FUZZY Conference*, Hong Kong, China, 901–908 (2008).
28. Wagner, C., and Hagaras, H., “A genetic algorithm based architecture for evolving type-2 fuzzy logic controllers for real world autonomous mobile robots”, *IEEE FUZZY Conference*, London, England, 193–198 (2007).
29. Lynch, C., Hagaras, H., and Callaghan, V., “Parallel type-2 fuzzy logic co-processors for engine management”, *IEEE FUZZY Conference*, London, England, 907–912 (2007).
30. Lynch, C., Hagaras, H., and Callaghan, V., “Using uncertainty bounds in the design of an embedded real-time type-2 neuro-fuzzy speed controller for marine diesel engines”, *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, Vancouver, Canada, 1446–1453 (2006).
31. Wang, L., “A Course In Fuzzy Systems and Control”, *Prentice Hall*, New Jersey, 218-284 (1997).
32. Kıyak, E., ve Kahvecioğlu, A., “Bulanık mantık ve uçuş kontrol problemine uygulanması”, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1 (2): 63-72 (2003).
33. Koca, Ö. G., Akpolat, H. Z., ve Özdemir, M., “Dört-Kol mekanizması için tip – 2 bulanık mantık tabanlı bir kontrolör tasarımı”, *Fırat Univ. Journal of Engineering*, 22 (2): 187-195 (2010).
34. İbrahim A. H., Claus G. S., and Green, O., “Building an intelligent controller using simple genetic type 2 fuzzy logic system”, *Aarhus University Foulum Research Centre*, Denmark, 978-953-307-543-3 (2011).
35. Shoilet, A., and Slonim, M. A., “New topology for soft starting and speed regulation of wound rotor asynchronous machine using IGBT controller”, *IEEE Midwest Symp. on Circuits and Systems*, Lansing, USA, 630-632 (2000).

36. Li, S., and Liu Z., “Constant-Current soft starting of induction motor based on fuzzy control”, *International Conference on Computer Engineering and Technology*, Singapore, Singapore, 358-361 (2009).
37. Tie, L., and Le-Jia, J., “Adaptive neuro fuzzy based soft starting of DC motor”, *International Conference on Electrical and Control Engineering*, Wuhan, China, 3261-3264 (2010).
38. Jiang, J., and Liu, L., “Study of a new type high power motor intelligent soft start controller.”, *International Conference on Digital Manufacturing & Automation*, Changsa, China, 436-439 (2010).
39. İşbilir, H., “Yüksek güçlü yumuşak anahtarlamalı tam köprü bir anahtarlamalı güç kaynağı uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-32 (2005).
40. Nilesh N. K., Jerry M. M., and Qilian L., “Type-2 fuzzy logic systems”, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 7 (6): 643-658 (1999).
41. Jerry M. M., and Robert I. B. J., “Type-2 fuzzy sets made simple”, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 10 (2): 117-127 (2002).
42. Özek, M., B., and Akpolat, Z.,H., “Bulanık mantık için yeni bir yaklaşım: tip-2 bulanık mantık”, *e-Journal of New World Sciences Academy*, 5 (3): 541-557 (2010).
43. Kayacan E., “Interval type 2 fuzzy logic systems: Theory and design” Phd. Thesis, *Boğaziçi University, Institute of Graduate Studies in Science and Engineering*, İstanbul, 1–68 (2011).
44. Hani A. H., “A hierarchical type-2 fuzzy logic control architecture for autonomous mobile robots”, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 12 (4): 524-539 (2004).
45. Jerry M. M., Robert I. J., and Liu, F., “Interval type-2 fuzzy logic systems made simple”, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 14 (6): 808–821 (2006).
46. Castillo O., Melin P., Kacprzyk J., and Pedrycz W., “Type-2 fuzzy logic: theory and applications”, *IEEE International Conference on Granular Computing*, Fremont, USA, 145 (2007).
47. Syed A. R. K., and Muhammad A. S., “Soft starting of induction motors using neuro fuzzy and soft computing”, *Second International Conference on Electrical Engineering*, Lahore, Pakistan, 1-7 (2008).
48. Zhang, C., Liao, Z., and Yang, M., “Research on soft start method for buck-boost bi-directional DC-DC converter of fuel cell power system”, *Pacific-Asia Conference on Circuits, Communications and System*, Chengdu, China, 326-329 (2009).

49. Zhu, X., Liao, Z., and Yang, M., “Two soft start methods for bi-directional DC-DC converter in stand-alone PV system”, *International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management*, Sanya, China, 307–310 (2009).
50. Wu, H., Su, Y., and Lee, S., “A fast method for computing the centroid of a type-2 fuzzy set”, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 42 (3): 764–777 (2012).
51. Lv, Z., Jin, H., and Yuan, P., “The theory of triangle type-2 fuzzy sets”, *IEEE Ninth International Conference on Computer and Information Technology*, Xiamen, China, 57–62 (2009).
52. Wang, Y., “Type-2 fuzzy probabilistic system”, *9th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, Sichuan, China, 482–486 (2012).
53. Sepúlveda, R., Castillo, O., Melin, P., and Montiel, O., “An efficient computational method to implement type-2 fuzzy logic in control applications”, *Analysis and Design of Intelligent Systems using Soft Computing Techniques*, 41: 45–52 (2007).
54. Sepúlveda, R., Castillo, O., Melin, P., Rodríguez-Díaz, A., and Montiel, O., “Experimental study of intelligent controllers under uncertainty using type-1 and type-2 fuzzy logic”, *Information Sciences*, 177: 2023–2048 (2007).
55. İnternet: Vishay Intertechnology, “Optocouplers/Isolators”, <http://www.vishay.com/docs/83725/4n25.pdf> (2012).
56. İnternet: International Rectifier, “Gate Driver ICs”, <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/ir2110.pdf> (2005).
57. İnternet: International Rectifier, “HEXFET Power MOSFETs”, <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irfp260n.pdf> (2004).
58. İnternet: LEM Electronics Co. Ltd, “Current Transducers”, <http://www.lem.com/docs/products/lts%2025-np.pdf> (2011).
59. İnternet: Arduino SA, “Arduino Boards”, <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno> (2013).
60. İnternet: Mako Elektrik Sanayi ve Ticaret A.Ş., “Alternatör”, <http://www.mako.com.tr/tr/urunler/alternator.html> (2013).
61. Albayrak, M., and Bayır, R., “A soft starting application with fuzzy type II for hub motors”, *The 20'th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice*, Ankara, 35-41 (2013).

ÖZGEÇMİŞ

Muammer ALBAYRAK 1988 yılında Trabzon'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Trabzon Merkez Anadolu Meslek Lisesi Bilgisayar Bölümü'nden mezun oldu. 2006 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2010 yılında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü'nden iyi derece ile mezun oldu. Aynı yıl Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programına devam etmektedir. 2012 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde Programcı olarak göreve başladı ve halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karadeniz Teknik Üniversitesi
Enformatik Bölümü, 61080
Merkez / TRABZON

Tel : (462) 377 3763

E-posta : muammeralbayrak@ktu.edu.tr

