

**ENDÜSTRİYEL ÇAMAŞIR MAKİNELERİNDE
ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTORU KULLANIMI VE SİSTEMİN
ZEKİ DENETİMİ**

FECİR DURAN

**DOKTORA TEZİ
ELEKTRONİK BİLGİSAYAR EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

**ŞUBAT 2008
ANKARA**

Fecir DURAN tarafından hazırlanan ENDÜSTRİYEL ÇAMAŞIR MAKİNELERİNDE ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTORU KULLANIMI VE SİSTEMİN ZEKİ DENETİMİ adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ömer Faruk BAY
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektronik Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. İnan GÜLER

Üye : Prof. Dr. Ömer Faruk BAY

Üye : Prof. Dr. Raşit AHISKA

Üye : Yrd. Doç. Dr. Aydın ÇETİN

Üye : Yrd. Doç. Dr. İlyas ÇANKAYA

Tarih : 06 / 02 / 2008

Bu tez, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Fecir DURAN

**ENDÜSTRİYEL ÇAMAŞIR MAKİNELERİNDE ANAHTARLAMALI
RELÜKTANS MOTORU KULLANIMI VE SİSTEMİN ZEKİ DENETİMİ
(Doktora Tezi)**

Fecir DURAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

Şubat 2008

ÖZET

Bu tezde zeki denetimli endüstriyel çamaşır makinesi (EÇM), anahtarlama relüktans motoru (ARM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. EÇM’lerde genellikle asenkron motor kullanılmakta ve denetiminde geleneksel denetim algoritması kullanılmaktadır. Doğrusal olmayan çok değişkenli durum denklemleri ile modellenmesinden dolayı bir asenkron motorun denetimi çok karmaşıktır. Bu karmaşıklık vektör denetim tekniği ile azaltılabilmektedir. Ancak, bir anahtarlama relüktans motor ile bir asenkron motoru kıyaslandığında ise bir ARM yüksek akım olmaksızın yüksek kalkınma torku, daha yüksek verimlilik, oldukça yüksek hız ve daha iyi tork/atalet oranı verebilmektedir. EÇM’de denetim algoritması olarak bulanık mantık algoritması kullanılmıştır. Bulanık mantık denetim algoritması sistemin matematiksel modeline ihtiyaç duymadığı için kolayca uygulanabilmektedir. Bu tezde EÇM’deki geleneksel denetim algoritmalarının zayıflıkları giderilmiş ve ARM kullanılarak EÇM’nin verimi artırılmıştır.

Bilim Kodu : 702
Anahtar Kelime : çamaşır makinesi, ARM, bulanık mantık denetimi
Sayfa Adedi : 95
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Ömer Faruk BAY

**INTELLIGENT CONTROL OF INDUSTRIAL WASHING MACHINE USES
SWITCHED RELUCTANCE MOTOR
(Ph. D. Thesis)**

Fecir DURAN

GAZI UNIVERSITY

INFORMATICS INSTITUTE

February 2008

ABSTRACT

In this thesis, intelligent controlled industrial type washing machine using a Switched Reluctance Motor (SRM) is developed. Induction motors are generally used in industrial type washing machines and classical control algorithms are chosen as control algorithms. Control of induction motors are complex, as it is modeled by nonlinear multivariable state equations. Vector control techniques alleviate the complexity of the problem. But a SRM in comparison to an induction motor can offer a high starting torque without high currents, higher efficiency and a better torque/inertia ratio. In this study fuzzy logic control algorithm was chosen as a control algorithm. Fuzzy logic control is somewhat easy to implement because it does not need the mathematical model of the system. In this study, the disadvantages of the classical control algorithm are eliminated and a high efficient system is performed using a SRM in the industrial type washing machines.

Science Code : 702
Key Words : washing machine, SRM, fuzzy logic control
Page Number : 95
Adviser : Prof. Dr. Ömer Faruk BAY

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla ben yönlendiren hocam Prof. Dr. Ömer Faruk BAY' a yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Prof. Dr. İnan GÜLER' e, ayrıca Yrd. Doç. Dr. Raif BAYIR, Yrd. Doç. Dr. İsmail ATACAK' a, uygulama çalıőmalarım boyunca desteğini esirgemeyen Mehmet AY ve Serdar DERİCİ' ye, Mesut ÜNAL' a ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ	1
2. ÇAMAŞIR MAKİNELERİ.....	4
3. ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTORU.....	7
3.1. ARM'nin Yapısı	7
3.2. ARM'nin Eşdeğer Devre Modeli	8
3.3. ARM'de Kullanılan Konvertörler	10
3.3.1. Bifilar sargı kullanılan konvertör	12
3.3.2. Sönümlenme dirençli konvertör	13
3.3.3. Her fazda iki anahtar bulunan klasik konvertör (Asimetrik konvertör)	14
3.3.4. Ayrık beslemeli konvertör	14
3.3.5. Ortak anahtarlı konvertör (Miller devresi).....	15
3.3.6. H-köprü konvertör.....	16
3.3.7. Sood konvertör	16
3.3.8. RC konvertör	17
3.3.9. C-Dump konvertör	18
4. BULANIK MANTIK DENETLEYİCİSİ	20
4.1. BMD'nin Yapısı	21
5. ENDÜSTRİYEL ÇAMAŞIR MAKİNESİ DENETİMİNİN TASARIMI.....	31
5.1. Matlab simulink ile ARM denetiminin benzetimi.....	32
5.2. EÇM' de Anahtarlamalı Relüktans Motoru Kullanımı	36
5.3. EÇM'de Kullanılan Klasik Konvertör	39
5.4. EÇM'nin Denetiminde Kullanılan Algılayıcılar ve Dönüştürücüler	39
5.4.1. LA-55P Akım Sensörü.....	39

5.4.2. LV-25P Gerilim Sensörü.....	40
5.5. EÇM'nin denetiminde kullanılan Sayısal İşaret İşlemcisi	40
5.6. Aç Kapa ile ARM Denetimi	44
5.7. ARM'nin Hızının PI İle Denetimi.....	44
5.8. ARM'nin hızının BM ile denetimi	45
5.9. Yıkama Sürecinin BMD İle Benzetimi	48
5.9.1. Giriş ve çıkış üyelik fonksiyonlarının seçimi	49
5.9.2. Kural tabanının oluşturulması	51
5.9.3. Benzetimin Simulink modelinin oluşturulması ve yüklenmesi	51
5.9.4. Benzetim çalışmasının sonuçları.....	52
5.10. EÇM'nin Yıkama Süresinin Denetimi	53
5.10.1. pH ölçümü.....	54
5.10.2. Toplam çözünmüş katılar (TDS).....	54
5.10.3. Tuzluluk	56
5.10.4. Bulanıklık.....	56
5.10.5. Kapasitans	58
5.11. EÇM nin Yıkama Süresinin BM Denetiminin Gerçekleştirilmesi.....	59
6. EÇM TEST SONUÇLARI.....	63
6.1. Elektriksel Ölçümler.....	64
6.1.1. Akım ve Gerilim ölçümleri	64
6.1.2. Enerji ölçümü	70
6.1.3. Güç ölçümleri.....	72
6.2. Tork Ölçümü	72
6.3. Hız Ölçümü	76
6.4. Yıkama Suyundaki Değişim Ölçümleri	80
7. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	82
KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ	95

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1. ARM hızı BMD'sine ait kural tabanı	47
Çizelge 5.2. EC 500 teknik özellikleri	53
Çizelge 5.3. Yıkama süresinin tahmini BMD'sine ait kural tabanı	61
Çizelge 6.1. Gerçekleştirilen ARM denetimli EÇM'sine ait Enerji Harcaması	71
Çizelge 6.2. Gerçekleştirilen ARM denetimli EÇM'ye ait Güç Harcaması	72
Çizelge 6.3. Yıkama süresi tahmin tablosu.....	81

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Çamaşır makinesinin yapısı [29]	4
Şekil 2.2. Çamaşır makinesinin çalışma algoritması	5
Şekil 3.1. 8/6 bir ARM'nin iç yapısı	8
Şekil 3.2. ARM'nin bir fazı için eşdeğer devresi	9
Şekil 3.3. Bifilar sargı kullanılan konvertör	13
Şekil 3.4. Sönümlenme dirençli konvertör	13
Şekil 3.5. Asimetrik köprü konvertör	14
Şekil 3.6. Ayrık belsemli konvertör	15
Şekil 3.7. Ortak anahtarlı konvertör	15
Şekil 3.8. H-Köprü konvertör	16
Şekil 3.9. Sood Konvertör	17
Şekil 3.10. RC konvertör	17
Şekil 3.11. C-Dump konvertör	18
Şekil 4.1. Zeki denetimin iskeleti	20
Şekil 4.2. Bulanık mantık denetleyicisi blok diyagramının konfigürasyonu	22
Şekil 4.3. Çeşitli üyelik fonksiyonları	23
Şekil 4.4. Giriş değerleri için yapılmış örnek bir bulanıklaştırma	24
Şekil 4.5. MAX-MIN çıkarım işlemi	27
Şekil 5.1. Tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilen ARM kullanan zeki denetimli EÇM'nin blok diyagramı	31
Şekil 5.2. Anahtarlama Relüktans Motorun indüktans grafiği	32
Şekil 5.3. Matlab Simulinkte hazırlanan ARM denetim modeli	33
Şekil 5.4. Sabit referans hız için 5 Nm yük altında hız eğrisi	33

Şekil	Sayfa
Şekil 5.5. Motorun fazlarına ait başlangıç anı akım grafiği.....	34
Şekil 5.6. Motorun A fazına ait başlangıç anı akım grafiği.....	34
Şekil 5.7. Motorun A fazına ait kalıcı durum akım grafiği.....	35
Şekil 5.8. Değişken referans hız için 5 Nm yük altında hız eğrisi.....	35
Şekil 5.9. Matlab Simulinkte ARM'li EÇM tasarımı	36
Şekil 5.10. ARM anahtarlama sinyallerinin üretilmesi.....	37
Şekil 5.11. Durum ve işlem tablosu	38
Şekil 5.12. Klasik konvertörlü ARM sürücü katı.....	39
Şekil 5.13. Sİİ blok diyagramı	40
Şekil 5.14. ADC modülün blok diyagram.....	42
Şekil 5.15. DGM çıkışı ve ölü zaman uygulaması.....	43
Şekil 5.16. ARM hızının aç-kapa ile denetiminin blok diyagramı	44
Şekil 5.17. ARM hızının PI ile denetiminin blok diyagramı	44
Şekil 5.18. PI denetimin blok diyagramı.....	45
Şekil 5.19. ARM hızının BM ile denetiminin simulink blok diyagramı.....	45
Şekil 5.20. ARM hız denetimi için kullanılan bulanık çıkarım sistemi.....	46
Şekil 5.21. ARM hızı hata üyelik fonksiyonları	46
Şekil 5.22. ARM hızındaki hata değişim üyelik fonksiyonları.....	46
Şekil 5.23. ARM hız denetimi çıkışı DGM görev saykılı üyelik fonksiyonları	47
Şekil 5.24. ARM hızı BMD'sine ait kural tabanının oluşturulması.....	48
Şekil 5.25. FIS Editörün yapısı	49
Şekil 5.26. Giriş üyelik fonksiyonları tipi ve küme sınırları.....	50
Şekil 5.27. Çıkış üyelik fonksiyonları tipi ve küme sınırları	50

Şekil	Sayfa
Şekil 5.28. Çamaşır makinesi için gerçekleştirilen BMD kural tabanı	51
Şekil 5.29. Çamaşır makinesi için gerçekleştirilen BMD benzetimi	52
Şekil 5.30. Çamaşır makinesi için gerçekleştirilen BMD benzetiminin kural görüntüleyicisi.....	53
Şekil 5.31 pH ile yıkama süreci arasındaki ilişki.....	54
Şekil 5.32. TDS ile yıkama süreci arasındaki ilişki	55
Şekil 5.33. İletkenlik ile yıkama süreci arasındaki ilişki	55
Şekil 5.34. Tuzluluk ile yıkama süreci arasındaki ilişki	56
Şekil 5.35. Bulanıklık ölçmede kullanılan algılayıcının karakteristiği.....	57
Şekil 5.36. Bulanıklık ile yıkama süreci arasındaki ilişki.....	57
Şekil 5.37. Su kirliliği ile kapasitans ilişkisi	58
Şekil 5.38. Kapasite ile yıkama süreci arasındaki ilişki.....	59
Şekil 5.39. Yıkama sürecinin bulanık denetimi	59
Şekil 5.40. Yıkama süresinin Bulanık Çıkarım Sistemi ile belirlenmesi.....	61
Şekil 5.41. Yıkama Süreci denetimi giriş üyelik fonksiyonları	60
Şekil 5.42. Yıkama Süreci denetimi çıkış üyelik fonksiyonları.....	60
Şekil 6.1. a) Sistem çalışırken ve motor dönmez iken şebeke gerilimi ve akımı b) Sistem ve motor çalışırken şebeke gerilimi ve akımı	64
Şekil 6.2. Yıkama modunda güç kaynağı akım ve gerilimi	65
Şekil 6.3. Yıkama modunda güç kaynağı çıkış gerilimi ve akımı	66
Şekil 6.4. Yıkama modunda motor sıkma yönünde dönerken faz akımları.....	66
Şekil 6.5. Yıkama modunda motor sıkma yönü tersine dönerken faz akımları.....	67
Şekil 6.6. Sıkma modunda motor faz akımları.....	68
Şekil 6.7. Mosfet sürücü çıkış gerilimleri	68

Şekil	Sayfa
Şekil 6.8. Mosfet sürücü çıkış gerilimleri	69
Şekil 6.9. Sİİ tarafından bir faz için üretilen DGM ve anahtar çıkış gerilimleri.....	69
Şekil 6.10. Sİİ tarafından bir faz için üretilen ayrıntılı DGM ve anahtar çıkış sinyalleri.....	70
Şekil 6.11. Yıkama modunda enerji harcaması a) sıkma yönünde b) sıkma yönünün tersine	71
Şekil 6.12 yıkama modunda her iki yöne toplam enerji ölçümü.....	71
Şekil 6.13. ARM sıkma modunda çalışırken enerji ölçümleri a) başlangıç anı enerji harcaması b) tam hız bölgesi enerji harcaması	71
Şekil 6.14. Yıkama modunda güç harcaması a) sıkma yönünde b) sıkma yönünün tersine	72
Şekil 6.15. Yıkama modunda sıkma yönü ve sıkma yönünün tersine tork	73
Şekil 6.16. Yıkama modunda sıkma yönünde kalkınma anı tork grafiği.....	74
Şekil 6.17. Yıkama modunda sıkma yönünde sürekli durum tork grafiği	74
Şekil 6.18. Yıkama modunda sıkma yönünün tersinde kalkınma anı tork grafiği.....	75
Şekil 6.19. Yıkama modunda sıkma yönünün tersine sürekli durum tork grafiği	75
Şekil 6.20. Sıkma modu kalkınma anı tork grafiği	76
Şekil 6.21. Sıkma modu tam hızda tork grafiği	76
Şekil 6.22. Yıkama modunda aç kapa denetleyicili ARM hız grafiği	77
Şekil 6.23. Sıkma modunda aç kapa denetleyicili ARM hız grafiği.....	78
Şekil 6.24. Sıkma modunda tam hızda aç kapa denetleyicili ARM hız grafiği	78
Şekil 6.25. Yıkama modunda PI denetleyicili ARM hız ve tork grafiği.....	79
Şekil 6.26. Yıkama modunda BM denetleyicili ARM hız ve tork grafiği.....	79
Şekil 6.27. Sıcaklık, bulanıklık, iletkenlik ve pH algılayıcılarının değişimlere cevap	

eğrileri 80

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 6.1. Sistemin genel fotoğrafı.....	63

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
V_s	Kaynak gerilimi
R	Stator direnci
i	Akım
i'	Bir önceki sargı akımı
$M(\theta)$	Karşılıklı indüktans
Ψ	Manyetik akı
θ	Rotor pozisyon açısı
$L(\theta)$	Rotor pozisyon açısına göre indüktans
ω	Açısal hız
$\mu(e)$	Devirdeki hataya ait bulanık mantık üyelik fonksiyonu
$\mu(de)$	Devirdeki hatanın değişimine ait bulanık mantık üyelik fonksiyonu
$\mu(DGM)$	Darbe genişlik modülasyonu çıkışına ait bulanık mantık üyelik fonksiyonu
$\mu(DE)$	İletkenlik, bulanıklık ve pH'a ait bulanık mantık üyelik fonksiyonu
$\mu(YS)$	Yıkama süresine ait bulanık mantık üyelik fonksiyonu
Kısaltmalar	Açıklama
ADC	Analog sayısal dönüştürücü
ARM	Anahtarlamalı relüktans motoru
BDT	Bilgisayar destekli tasarım
BM	Bulanık mantık
BMD	Bulanık mantık denetleyici

Kısaltmalar**Açıklama****DGM**

Darbe genişlik modülasyonu

EÇM

Endüstriyel çamaşır makinesi

FIS

Bulanık çıkarım sistemi

QEP

Çeyrek faz farklı enkoder darbesi

PI

Oransal integral

Sİİ

Sayısal işaret işlemcisi

1. GİRİŞ

Çamaşır makineleri insan hayatını kolaylaştıran en önemli cihazlardan biridir. Bu makineler günümüzde neredeyse her evde ve işletmede kullanılmaktadır. Standart ev çamaşır makinelerine güncel bilimsel teknikler çok hızlı bir şekilde uygulanmaktadır. Endüstriyel çamaşır makineleri ise bu gelişmelerden payını yeterince alamamıştır. Bu makineler mevcut kullanım şekliyle büyük enerji kayıplarına neden olmaktadır. Yüksek yıkama kapasitesine sahip bu makineler, hastane, otel, yurt ve kuru temizleme firmaları gibi yerlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu geniş kullanım alanı göz önüne alınca, endüstriyel çamaşır makinelerinin verimli bir şekilde çalıştırılması gerekliliği açıkça görülmektedir.

İnsan hayatını kolaylaştıran çamaşır makinelerinin tarihi 1797 yılına kadar uzanmaktadır. 1875 yılına kadar 2000 patent alınan bu makineler başlangıçta tahtadan tasarlandı. Bu ilk makineler kas gücü ile çalışan ve yıkama süreci boyunca insan tarafından denetlenen yapıdaydılar. Zamanla buhar enerjisi ve sonrasında elektrik enerjisi kullanılarak çalıştırılan bu makinelerin bu günkü yapısına 1950'li yıllarda ulaştı. Sıkma ünitesi için merdaneli bir yapıda olan ilk otomatik çamaşır makinesi 1953 yılında üretildi [1,2].

Çamaşır makinelerinin başarımını arttırmak için iki farklı yaklaşım sergilenmiştir.

- a. Denetim sisteminde değişiklikler
- b. Yapısal değişiklikler

Denetim sistemindeki gelişmeler, çamaşır makinesinde yıkama süresini, kullanılan su miktarını, deterjan miktarını ve harcanan enerjiyi azaltmayı hedeflemektedir. Zeki denetim teknikleri kullanan yeni nesil çamaşır makineleri, yıkama girdileri algılayıcılar ve dönüştürücülerle belirlenerek verimli sonuçlar üretmektedir [3-22]. Günümüzde, yurtiçinde ve yurt dışında birçok çamaşır makinesi üreticisi zeki denetim sistemlerini ev tipi çamaşır makinelerine uygulamaktadır.

Yıkama motoru ve ısıtıcılar çamaşır makinelerinin güç harcamasının büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Üreticiler sıcak su girişi kullanılarak yıkama suyunu ısıtmak

için harcanan enerjinin azaltılması sağlanmaktadır. Yıkama motorunda harcanan enerjiyi azaltmak için, kullanılan asenkron motorları verimli sürme ve farklı motor türleri kullanma gibi çalışmalar yapılmaktadır [8-35].

Anahtarlama Relüktans Motoru basit yapılı, üretim ve bakım maliyeti düşük ve verimi yüksek bir motordur. ARM'nin çalışma prensibi ilk olarak 1838 yılında ortaya konmuştur. ARM, sürücü tekniklerinin gelişmesi, denetim elemanlarındaki ilerlemeler ve yazılım desteğinin artması ile 1970'li yıllardan sonra daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde başlatma motorlarında, uçakların benzin pompalarında, asansörlerde ve daha birçok alanda kullanılmaktadır [36-45].

Bu çalışmada, ARM kullanan bir EÇM'nin zeki denetimi yapılmaktadır. Endüstriyel çamaşır makinesinde anahtarlama relüktans motoru (ARM) kullanılacaktır. Mevcut endüstriyel çamaşır makinelerinde asenkron motor kullanılmaktadır. Doğrusal olmayan çok değişkenli durum denklemleri ile modellenmesinden dolayı bir asenkron motorun denetimi çok karmaşıktır. Bu karmaşıklık vektör denetim tekniği ile azaltılabilmektedir. Ancak, bir ARM ile bir asenkron motoru kıyaslandığında ise bir ARM yüksek akım olmaksızın yüksek kalkınma torku, daha yüksek verimlilik, oldukça yüksek hız ve daha iyi tork/atalet oranı verebilmektedir. Bu üstün özellikleri ARM'leri endüstriyel ve ev uygulamalarında ayarlı hız sürücüleri olarak gittikçe artan bir ilgiye sahip kılmaktadır. Çünkü bu motorlar aynı zamanda yapı olarak basittirler, düşük üretim ve bakım maliyetine sahiptirler. Motorların tasarımında ve üretiminde kullanılan Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) ve sayısal analiz ile birlikte elektronik teknolojisindeki gelişmeler ARM sürücülerini diğer alternatif akım (AA) sürücülerine rakip olabilecek bir duruma getirmiştir. ARM kullanılarak endüstriyel çamaşır makinelerinin düşük enerji harcaması ve yüksek verim bu çalışmanın hedeflerindedir.

Bu çalışma için zeki denetimli anahtarlama relüktans motoru kullanarak gerçekleştirilen prototipin zeki denetim algoritması, sayısal işaret işlemcisi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Girdiler algılayıcılar ve dönüştürücüler ile sisteme aktarılmaktadır. Elde edilen sinyaller zeki denetim algoritması kullanılarak

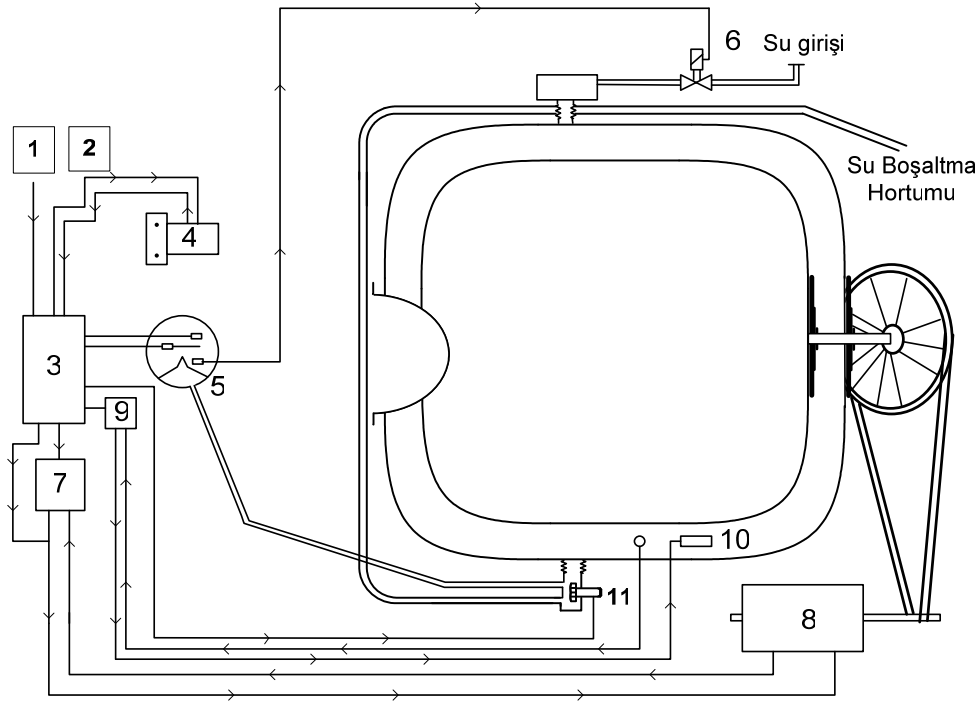
işlenmektedir. Yıkama esnasında insan faktöründen kaynaklanan hataların, zeki denetim algoritması sayesinde ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır.

Günümüzde endüstride üretimde olan 20 kg üzerinde çamaşır yıkayan çamaşır makinelerine alternatif olarak geliştirilen ARM kullanan zeki denetimli endüstriyel çamaşır makinesi, yüksek performanslı, düşük enerji tüketimli olacak şekilde tasarımı gerçekleştirilmektedir.

Tezin ikinci bölümünde çamaşır makinelerinin tarihsel gelişimi, yapısal ve denetim sistemlerindeki araştırmalara yer verilmektedir. Üçüncü bölümde ARM'nin yapısı, denetimi için kullanılan konvertörler ve sensörler açıklanmaktadır. Dördüncü bölümde EÇM'nin tasarımı ve denetiminin nasıl gerçekleştirildiği, ARM için yapılan benzetimler, EÇM için tasarlanan hız ve yıkama süreci tahmin BMD'si yer almaktadır. Beşinci bölümde gerçekleştirilen ARM kullanan zeki denetimli EÇM'nin test sonuçları verilmektedir. Sonuç ve değerlendirme bölümünde ise geleneksel EÇM ile gerçekleştirilen EÇM'nin, güç tüketimi ve yıkama süresi karşılaştırılmaktadır.

2. ÇAMAŞIR MAKİNELERİ

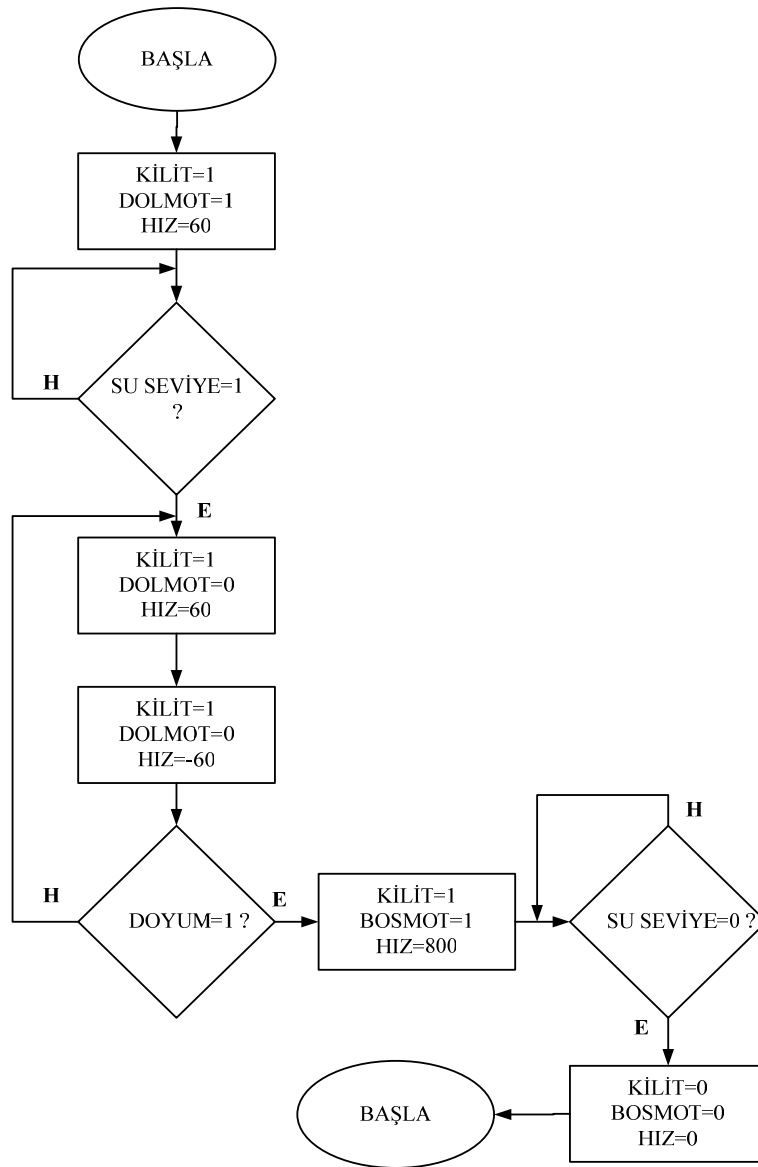
Günümüzde çamaşır makinelerinin yapısal değişikliklerdeki en büyük arayışı yıkama şekli ve yıkama motorunun türü oluşturmaktadır ve bu konuda birçok çalışma yapılmaktadır. Önceleri dikey eksenli tamburlara sahip ve tambur hızı dakikada 200 devir olan makineler yüksek enerji harcamasına ve büyük sarsıntılara neden olmaktadır. Günümüzde yatay eksenli tambur ve gelişmiş süspansiyon sistemleri kullanılarak sarsıntıların % 70 oranında azalması sağlanmıştır. Tamburu doğrudan sürme teknolojisi de sarsıntıların azaltılmasını ve dakikada 1600 devir hızla çalışan, yıkama kalitesini ve verimliliği yüksek çamaşır makinelerinin gerçekleştirilmesini sağlamıştır. Ayrıca Matsushita Electric Industrial şirketi 2004 yılında yıkama verimliliğini arttırmak için eğimli eksene sahip bir çamaşır makinesi üretmiştir [7-15]. Çamaşır makinesinin temel yapısı şekil 2.1.'de verilmektedir.



- | | |
|------------------------|----------------------|
| 1 Parazit Kondansatörü | 7 Hız Denetim Birimi |
| 2 Açma/Kapama Anahtarı | 8 Yıkama Motoru |
| 3 Program Birimi | 9 Termostat |
| 4 Emniyet Kilidi | 10 Rezistans |
| 5 Su Seviye anahtarı | 11 Pompa Motor |
| 6 Elektronik Musluk | |

Şekil 2.1. Çamaşır makinesinin yapısı

Yıkama süreci şekil 2.2.'deki algoritma ile gerçekleştirilmektedir. Geleneksel çamaşır makinelerinde yıkama süresi kullanıcı tarafından seçilen programa göre belirlenmektedir. Yeni nesil makinelerde ise yıkama süresi çamaşır makinesine yerleştirilen algılayıcılar tarafından elde edilen bilgilere göre belirlenmektedir.



Şekil 2.2. Çamaşır makinesinin çalışma algoritması

Geliştirilen endüstriyel çamaşır makinesinde ARM kullanılmaktadır. Doğrusal olmayan çok değişkenli durum denklemleri ile modellenmesinden dolayı bir asenkron motorun denetimi çok karmaşıktır. Bu karmaşıklık vektör denetim tekniği ile azaltılabilmektedir. Ancak, bir anahtarlamalı relüktans motor ile bir asenkron

motor kıyaslandığında ise bir ARM yüksek akım olmaksızın yüksek kalkınma torku, daha yüksek verimlilik, oldukça yüksek hız ve daha iyi tork/atalet oranı verebilmektedir. Bu üstün özellikleri ARM'leri endüstriyel ve ev uygulamalarında gittikçe artan bir ilgiye sahip kılmaktadır. Çünkü bu motorlar aynı zamanda yapı olarak basittirler, düşük üretim ve bakım maliyetine sahiptirler. Motorların tasarımında ve üretiminde kullanılan Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) ve sayısal analiz ile birlikte elektronik teknolojisindeki gelişmeler ARM sürücülerini diğer AA sürücülerine rakip olabilecek bir duruma getirmiştir [36-42].

Çamaşır makinelerinde elektrik kullanım miktarı ve su tüketimi önem arz etmektedir. Türkiye'deki elektrik üretiminin sağlandığı yerler çoğunlukla barajlardır. Global ısınma nedeniyle su birikimi azalmakta ve dolayısıyla üretilen elektrik enerjisinde de azalma olmaktadır. Bu noktada elektriğin önemi hızla artmakta ve günümüzün modern yaşantısında vazgeçilmez bir öge halindedir. Bundan dolayı yapılacak en küçük tasarruf dahi önem arz etmektedir. Temizlik sektöründe kullanılan EÇM'lerin yaygın olarak kullanılması ve Türk toplumunun temizliğe verdiği önem değerlendirildiğinde, temizliği gerçekleştirirken yapılacak elektrik tasarrufunun önemi daha da önemli olmaktadır. Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında da sanayide kullanılan bir çamaşır makinesinin daha az güç harcayarak buna katkıda bulunacağı gösterilmektedir.

3. ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTORU

ARM'lerin üretimi basit ve ucuzdur. Çünkü rotorunda sargı yoktur ve stator sargıları oldukça basittir. Fazlar arasında herhangi bir bağlantı olmadığından, her faz diğerlerinden bağımsız olarak çalışır. Böylece herhangi bir fazda arıza meydana gelse bile motor çalışmaya devam edecektir.

ARM'ler basit bir konvertör yapısına sahip olduğu için kullanılacak anahtar sayısı daha azdır. Rotorunda sargı ya da fırça olmadığı için çok yüksek hızlarda çalıştırılabilirler. Yüksek güç ve moment çıkışı elde edebilirler ve verimi çok yüksektir. Soğutmaları kolaydır, çünkü sadece statorunda sargı vardır.

ARM'lerin diğer motorlara göre bazı zayıflıkları vardır. Uyarma işlemi esnasında, bir fazdan diğer faza geçerken, akım geçiş anları iyi tespit edilemez ise momentte çökme olur ve yüksek gürültüye neden olur. Ayrıca hangi fazın ne zaman uyarılacağı motor miline bağlanacak bir algılayıcı ile tespit edilmeli ya da algılayıcısız bir sistem için yüksek güvenilirlikli bir denetim tekniği kullanılmalıdır. ARM'lerde stator indüktansı büyüktür ve anahtarlama anında sargı indüktanslarının uçlarında yüksek gerilim oluşur [36-43,30,31].

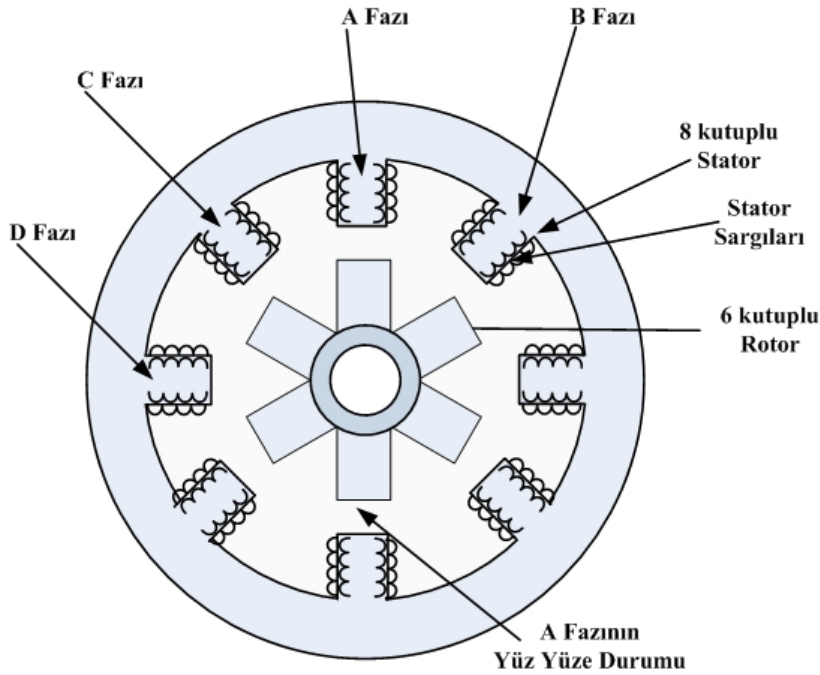
3.1. ARM'nin Yapısı

ARM yapı olarak diğer motor türlerinden farklıdır. Hem statoru hem de rotoru çıkık kutuplu yapıya sahiptir. Sargılar statorda bulunan çıkık kutuplar etrafına yerleştirilmekte ve rotorda sargı bulunmamaktadır. Sargılara gerilim uygulandığında stator, rotor kutbunu kendine doğru çekmektedir. Stator fazlarına belirli zaman aralıklarıyla ve sırayla gerilim uygulanacak olursa rotor dönme hareketi gerçekleştirmektedir [36,38].

ARM'lerin dönebilmesi için stator ve rotor kutup sayılarının farklı olması gerekmektedir. Genellikle stator kutup sayısı, rotor kutup sayısına göre büyük yapılmaktadır. Bu oranlar genelde, $8/6$, $6/4$, $6/2$, $4/2$ şeklinde olmaktadır. Bunun

nedeni ise yüksek hız yerine yüksek moment isteğidir. Şekil 3.1.'de 8/6 bir ARM görülmektedir. Burada A fazının yüz yüze konumda olduğu görülmektedir. ARM modelinde indüktansın değeri, stator ve rotor konumuna göre değişmektedir. Örneğin şekilde A fazı için stator ve rotor yüz yüze konumdadır ve bu durumda indüktans en yüksek değerindedir. Kutupların bir birini hiç görmemesi durumunda ise o faza ait indüktans en küçük değerdedir [36-38,40-42].

ARM'nin yapısı, tasarımı ve hız denetimi ile ilgili zeki denetim sistemleri kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır [37-40,42-89].

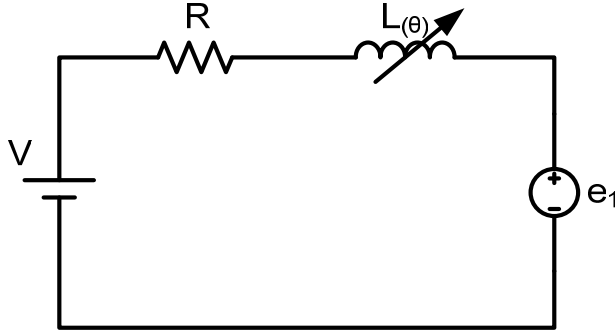


Şekil 3.1. 8/6 bir ARM'nin içyapısı

Rotor konumunun tespiti için ARM' de yakın bir zamana kadar sadece algılayıcılar kullanılmaktaydı. Günümüzde ise algılayıcısız konum tespiti başarıyla yapılmaktadır. Böylece ARM'nin zayıflıkların biri giderilmektedir [46,47,49,55-59,89].

3.2. ARM'nin Eşdeğer Devre Modeli

ARM'nin tek faz için eşdeğer devresi şekil 3.2.'deki gibidir.



Şekil 3.2. ARM'nin bir fazı için eşdeğer devresi

ARM'nin modeli her bir stator sargısı (her bir faz) için gerilim diferansiyel denklemi ile ifade edilmektedir ve bu denklem aşağıdaki gibidir.

$$V = R \cdot i + \frac{d\psi(\theta, i)}{dt} - M(\theta) \frac{di'}{dt} \quad (3.1)$$

Burada; V: doğru akım (DA) kaynak gerilimi, R:stator sargı direnci, ψ :manyetik akı (flux), i :sargı (faz) akımı, $M(\theta)$:karşılıklı indüktans, θ :rotor pozisyon açısı, i' :bir önce uyarılan sargı akımıdır.

Doyum ihmal edildiğinde flux: $\psi = L(\theta) \cdot i$ olduğundan Denklem (3.1) yeniden düzenlendiğinde:

$$V = R \cdot i + \frac{d(L(\theta) \cdot i)}{dt} - M(\theta) \frac{di'}{dt} \quad (3.2)$$

olmaktadır. Burada $L(\theta)$ faz indüktansını göstermektedir.

Türevsel ifade parçalara ayrıldığında Denklem (3.2) şu şekilde almaktadır:

$$V = R \cdot i + L(\theta) \frac{di}{dt} + i \frac{dL(\theta)}{dt} - M(\theta) \frac{di'}{dt} \quad (3.3)$$

Karşılıklı indüktans değeri en küçük indüktanstan daha küçüktür. Bu ihmal edildiğinde:

$$V = R \cdot i + L(\theta) \frac{di}{dt} + i \frac{dL(\theta)}{dt} \quad (3.14)$$

olmaktadır. Aynı zamanda

$$\frac{dL(\theta, i)}{dt} = \frac{dL(\theta, i)}{d\theta} \cdot \omega \quad (3.5)$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{di}{d\theta} \cdot \omega \quad (3.6)$$

Burada ω açısal hızdır. Denklemi (3.10) yeniden düzenlendiğinde şu şekle gelmektedir.

$$V = R \cdot i + L(\theta) \frac{di}{d\theta} \cdot \omega + i \frac{dL(\theta)}{d\theta} \cdot \omega \quad (3.7)$$

3.3. ARM'de Kullanılan Konvertörler

ARM' de kullanılan konvertörler, moment tek yönlü akım ile üretildiğinden dolayı, A.C. motorların beslendiği konvertörlerle karşılaştırıldığında daha basit yapıya sahip olması beklenmektedir. Konvertör topolojisindeki gelişmeler makine tasarımı ile paralel olarak ilerlemektedir. Şimdiye kadar birçok konvertör topolojisi geliştirilmiştir. Fakat asenkron makine sürücülerinde kullanılan konvertörlerden farklı olarak ARM sürücüleri henüz standartlaştırılmamıştır. İdealde bir ARM konvertörü; güvenilir, kararlı, faz başına anahtar sayısı az, yüksek verimli, gürültü ve moment titreşimi düşük, VA oranı düşük, aynı zamanda akımı doğru ve çok hızlı kontrol edilebilme özelliklerine sahip olmalıdır. Bütün bu özellikler sağlanabilirse ARM konvertörleri, geleneksel asenkron makine konvertörleri ve diğer kullanışlı değişken hızlı, sürücülerle karşılaştırılabilir [36-45,50-54].

ARM'nin beslendiği konvertörlerin tasarımındaki problemler;

- a)Sargıların yüksek indüktans değerlerinden
- b)İndüktans değerlerinin yüksek değişimlerinden (ki moment üretimi için değişim gereklidir) kaynaklanmaktadır.

ARM için kullanılan tipik konvertörlerde çoğu zaman bir gerilim kaynağı kullanılır ve konvertörde akım kontrolü yapılır. Genellikle aynı anda sadece bir faz iletimde olduğu için anahtarlar bağımsız olarak çalışır.

Konvertör beslemeli bir ARM'de komutasyon, bir akım komutasyonudur. Yani, bir fazdaki akım sıfıra düşürülürken diğer fazdaki akım sıfırdan büyük olmalıdır. Komutasyondan dolayı oluşan moment bozulmasını minimum yapmak için, kesime giden fazdaki akım mümkün olduğunca hızla sıfıra düşürülmeli, yine ilettime giren fazdaki akım en kısa zamanda yükseltilmelidir. Çünkü indüktans en büyük değerine yaklaştığı zaman meydana gelmelidir. Bu yüzden kesim süresince anahtarlama devresi çok büyük bir indüktans depolanan enerjiyi alır. Diğer taraftan iletim süresince konvertör, nispeten küçük indüktanslarda akımı arttırmaya çalışır.

ARM sürücüsünün fiyatı ve verimi, sürücüde kullanılan konvertör topolojisine oldukça bağlıdır. Bu sürücülerde yeni uygulama alanları açmak için gerekli olan yüksek verim ve düşük maliyet, ya makine tasarımındaki ilerlemeler ya da konvertör yapısındaki yenilikler ile başarılabilir. En iyi verime sahip ARM sürücüsü elde edebilmek için;

- a) Bir fazdan diğer faz'a geçiş mümkün olduğunca hızlı olmalıdır.
- b) Aktif fazdaki motor akımı ayarlanmalıdır.

Literatürde ARM konvertörler ile ilgili çok fazla topolojiye rastlamak mümkündür. (Vukosavić ve Stefonović 1991, Hava ve diğerleri 1992, Le-Huy ve diğerleri 1990, Ehsani ve diğerleri 1987 vs.) Bunlardan bazıları şu şekilde sıralanabilir.

ARM için kullanılan konvertörler, moment tek yönlü akım ile üretildiği için AA motorlarının beslendiği konvertörlere göre daha basit yapıdadırlar. Kullanılan konvertör çeşitleri çok olup henüz standartlaşmamışlardır. Bir ARM konvertöründe bulunması gereken özellikler şunlardır:

- Güvenirlilik
- Kararlılık
- Faz başına az anahtar sayısı
- Yüksek verim
- Düşük gürültü ve moment titreşimi
- Düşük V/A oranı

- Akımı hızlı kontrol edebilme

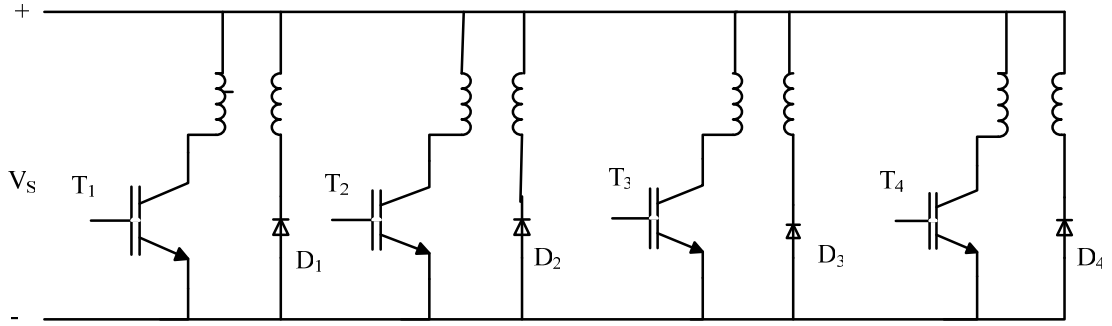
ARM için kullanılan tipik konvertörlerde genelde gerilim kaynağı kullanılmakta ve konvertörde akım kontrol edilmektedir. Günümüzde kullanılan konvertör çeşitlerinin başlıcaları şunlardır [36-43].

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

3.3.1. Bifilar sargı kullanılan konvertör

Kesim süresini azaltabilmek için, faz indüktansının mıknatıslığını giderecek yardımcı şekil 3.3'te gösterilen bir ilave sargı kullanılır. Bu yapının dezavantajı, 'bifilar' olarak adlandırılan böyle bir sargı gerektirmesidir.

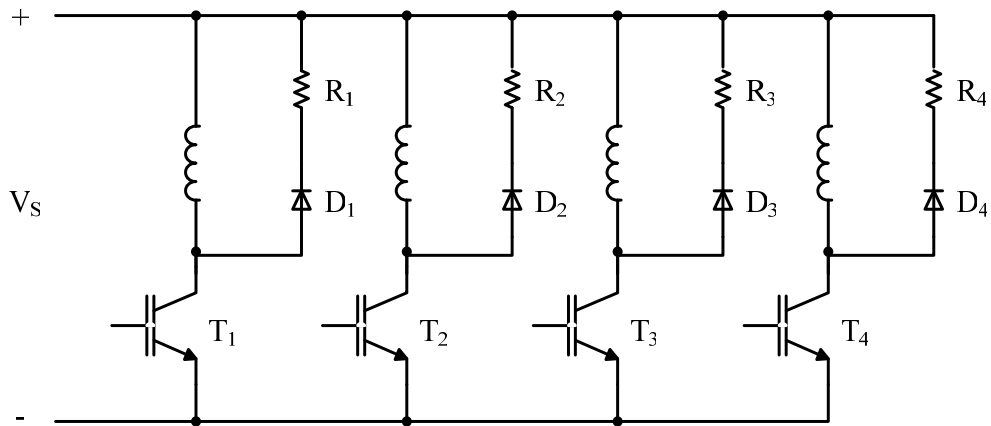
Bu devre, her fazında sadece bir anahtar bulunan ve tek yönlü çalışmayı başaran bir devredir. Step motor sürücülerinde yaygın olarak kullanılır. Primer ve sekonder arasındaki eksik manyetik bağlantıdan dolayı oluşan gerilim yükselmeleri, anahtar gerilim oranlarını $2V_s$ veya daha büyük değerler çıkarır. Yardımcı sargılarla birlikte bakır kayıpları birçok uygulama için kabul edilmeyecek kadar büyüktür. Ayrıca motor ile konvertör arasındaki bağlantı sayısı iki katıdır.



Şekil 3.3. Bifilar sargı kullanılan konvertör

3.3.2. Sönümlenme dirençli konvertör

Faz akımlarının anahtarlama şekli 3.4.'teki gibi, ortak bir serbest geçiş direnci ile (sönümlenme direnci) sağlanır. Böylece bifilar sargının kullanılmasına ihtiyaç duyulmaz. Her faz için sadece bir anahtar kullanılır. İletim periyodu boyunca akımı hızlıca yükseltmek için yüksek bir gerilim kaynağı ve dirençler gereklidir. Kesim süresince indüktans akımı, serbest geçiş diyodu ve direnç üzerinde dolaşacaktır. Kesim süresi, indüktans en büyük olduğu zaman uzundur. Dirençteki güç kayıpları birçok durumda doğal olarak büyüktür ve bu tasarım güçlü devrelerde kesinlikle pratik değildir. En büyük verim için, stator ve rotor kutuplarının mümkün olduğunca çakıştığı en yakın pozisyonda anahtarlama meydana gelmelidir ve akımı hemen sıfıra götürecek yüksek bir direnç gereklidir. Fakat bu durum anahtarlarda istenmeyen yüksek bir gerilim üretir.

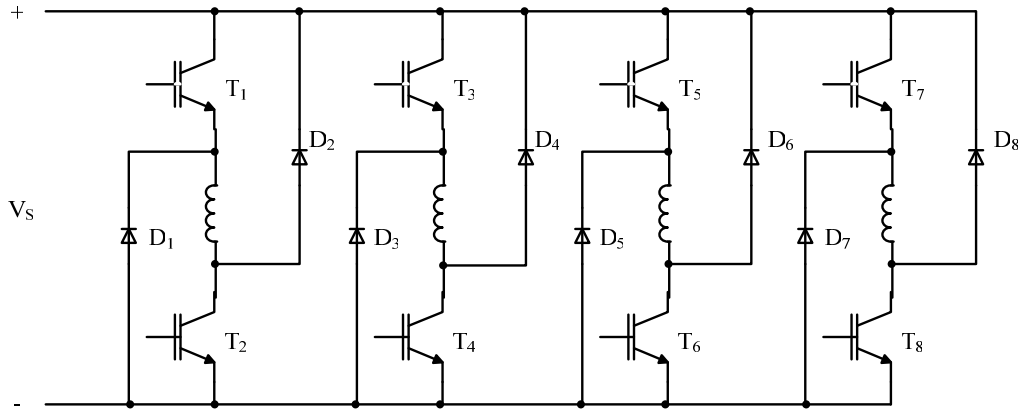


Şekil 3.4. Sönümlenme dirençli konvertör

3.3.3. Her fazda iki anahtar bulunan klasik konvertör (Asimetrik konvertör)

Motor sargı akımları birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilen bir konvertördür. Her fazda akımı hem iletme hem de kesime sokmak için, sargı uçlarından her iki polariteye ters bağlanmış diyot mevcuttur (şekil 3.5.). V_s kaynak gerilimini fazlara tamamen uygulama özelliğine sahiptir.

Bu konvertör modeli 6-darbeli geleneksel AA konvertör benzerdir. Farkı, motor sargılarının faz anahtarları ile seri olmasıdır. Üstteki ve alttaki anahtarlar birlikte iletme ve kesime giderler ve pratikte AA konvertör sürücülerinin eşdeğeri oranındaki akım ve gerilime sahiptirler. Kullanılan ek anahtarlar ile kesim süresince depolanan enerji güç kaynağına geri gönderilir. Kesim süresi böylece düşürülebilir. Ancak, bu konvertör faz başına anahtar oranının yüksek olmasından dolayı problemlidir. Bu yüzden her fazda iki anahtar kullanıldığı için pahalıdır.

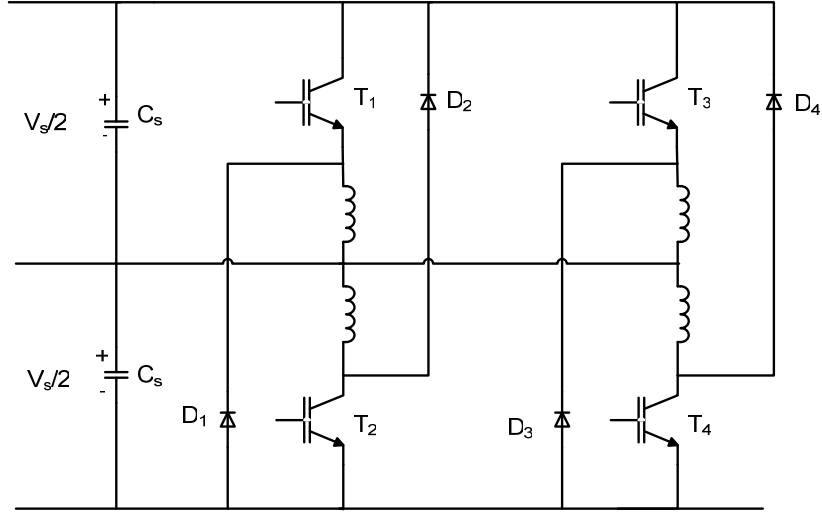


Şekil 3.5. Asimetrik köprü konvertör

3.3.4. Ayrık beslemeli konvertör

Bu topoloji en az anahtar gerektiren denetim sistemidir ve şekil 3.6.' da görülmektedir. Ancak, bu durumda faz sayısı çift olmalıdır. Konvertör herhangi bir fazdaki hata veya dengesizliğe izin vermez. Herhangi bir fazdaki bir hata üst ve alt seviyelerin dengesini bozar ve kondansatör grubunda gerilim yükselmesine neden

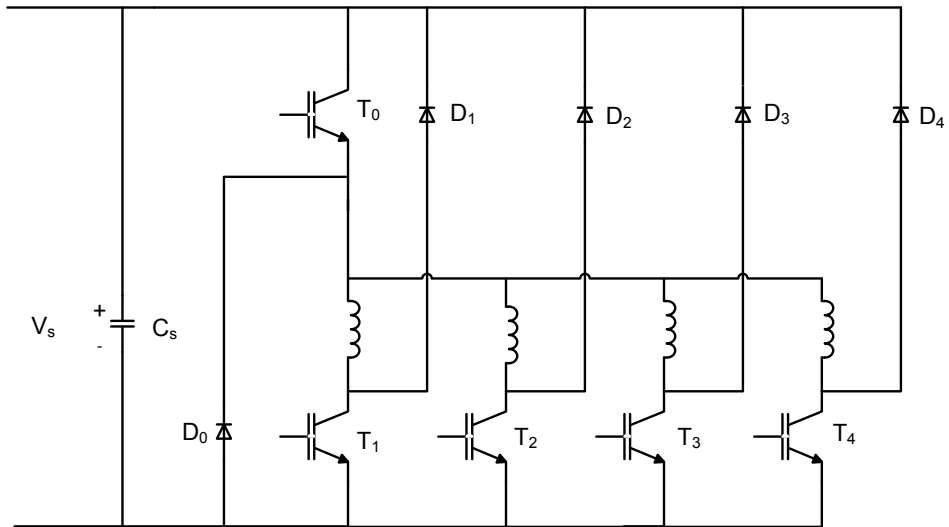
olur. Bu yüzden bu devre fazlar arası bağımsızlığa sahiptir. Sadece $V_s/2$ kullanıldığından dolayı, DA kaynak gerilimi kullanımı zayıftır.



Şekil 3.6. Ayrık beslemeli konvertör

3.3.5. Ortak anahtarlı konvertör (Miller devresi)

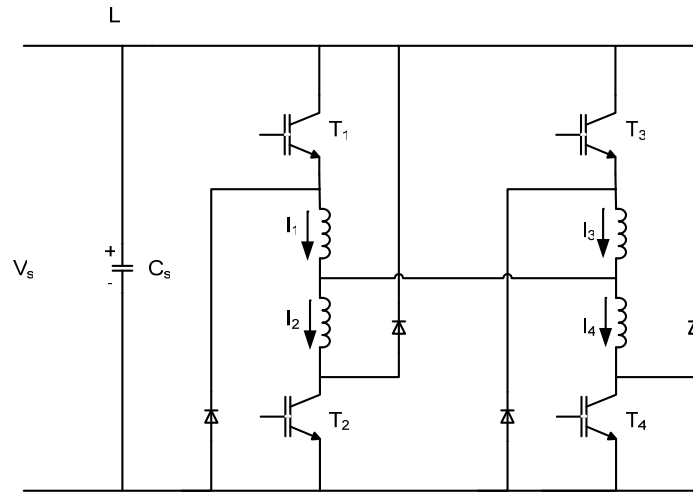
En az anahtar ihtiyacından sadece bir adet fazla anahtar gerektirir. Şekil 3.7.'de görülen konvertöre ait fazların üst üste gelmesine izin vermediğinden dolayı faz akımlarının birbirinden bağımsız olarak kontrol edilmesini zorlaştırır. Bu yüzden özellikle tek darbe modu için kabiliyeti çok sınırlıdır.



Şekil 3.7. Ortak anahtarlı konvertör

3.3.6. H-köprü konvertör

En az anahtar gerektiren şekil 3.8.'de görülen H konvertör 4 veya daha fazla fazlı makineler için uygundur. DC kaynak geriliminin sadece yarısını kullanır. Bu topolojide, aynı anda iki faz daima iletimdedir. Oysa iki fazdan sadece birisi herhangi bir anda motor moment üretimine katkıda bulunur. Bu yüzden çıkış momentinin düşeceği açıktır. Anahtarların kesime gitmesi anında sargılarda biriken enerjinin kaynağa geri aktarılması açısından üstündür. Herhangi bir faz arızalandığı zaman ise kondansatörlerden birinde biriken enerji diğerlerinden çok farklı olur.

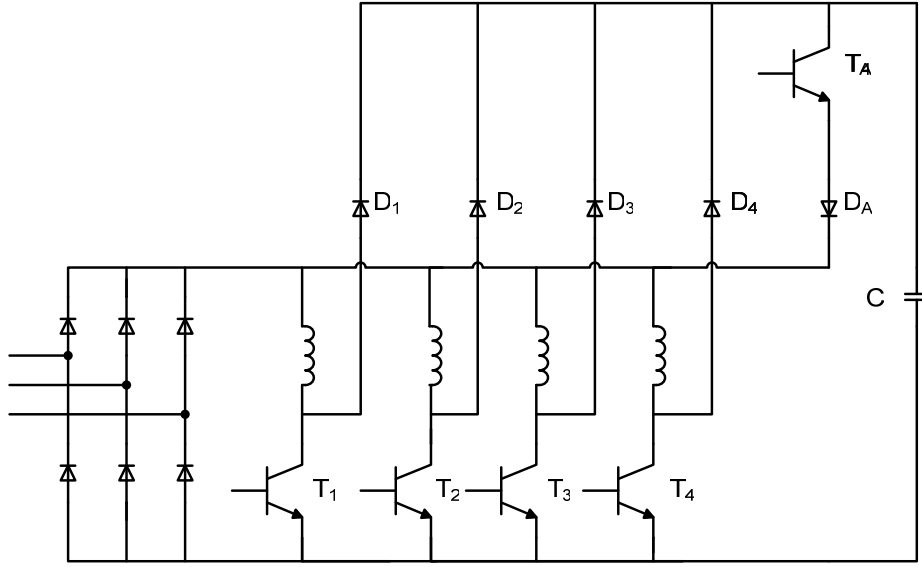


Şekil 3.8. H-Köprü konvertör

3.3.7. Sood konvertör

Faz başına anahtar ihtiyacında bir adet fazla anahtar gerektirir. İki yönlü bir topoloji kullanır. Şekil 3.9.'daki sood konvertör devresinde DA hat indüktansı ve kondansatörü kullanılmamıştır. Aynı zamanda kondansatördeki enerjinin, motor sargılarına direkt transferi önlenmiştir. Böylece minimum bileşenli bir topoloji elde edilmiştir.

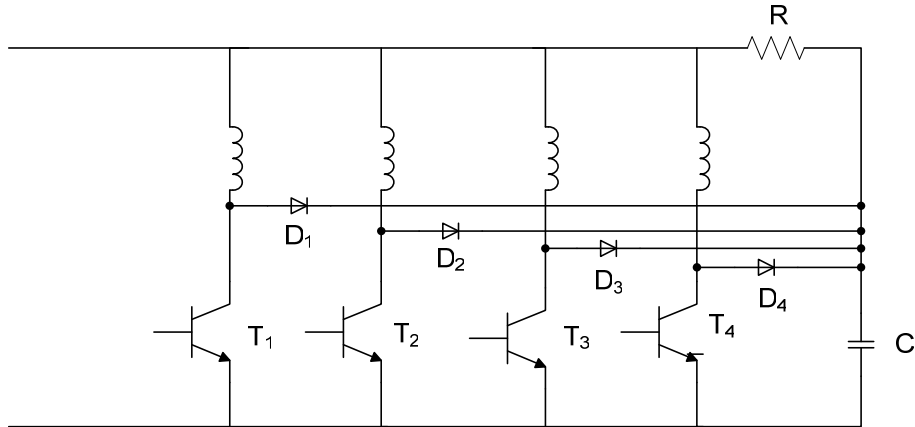
Konvertör, motor kaynak geriliminin en az iki katı oranında değerlerde aktif cihazlar gerektirir. Dolayısıyla bu konvertörler, küçük güçlü gerilimli sürücülerde uygulama alanı bulabilir. Endüstriyel uygulamalar için uygun değildir.



Şekil 3.9. Sood Konvertör

3.3.8. RC konvertör

Sargı akımları birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilen şekil 3.10.'daki RC konvertör devresinde anahtar ihtiyacı en az sayıdadır. Anahtarlar, ortak noktaya sahip oldukları için kolayca sürülebilirler. Kaynak geriliminin iki katı oranında bir gerilime sahip olan anahtarların açılması esnasında kondansatöre boşaltılan enerji sayesinde sargı akımı hemen düşürülebilir. Böylece negatif döndürme momenti oluşması önlenir. Bu devrede kondansatöre pompalanan enerji R direncinde harcanır. Bu ise verimi düşürür. Fakat konvertör ucuz ve basit yapıya sahiptir.

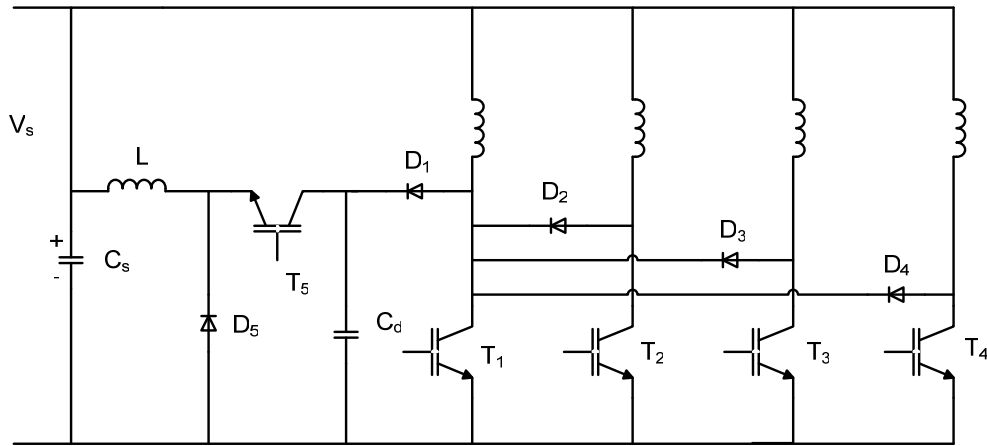


Şekil 3.10. RC konvertör

3.3.9. C-Dump konvertör

Faz başına anahtar ihtiyacından sadece bir adet fazla anahtar gerektiren bu konvertör, Sood konvertör benzer olmasına rağmen, çalışma modları temelde farklıdır. Şekil 3.11.'deki konvertör devresinde, kesimdeki fazın enerjisi sönmölemek için bir kondansatör kullanılır ve bu devre kondansatörü boşaltmak için buck prensipli bir kıyıcı olarak çalışır. Buck prensipli çalışma ise kayıplara neden olur. Kondansatör gerilimi genellikle kesimdeki faz'a $-V_s$ uygulamak için $2*V_s$ 'de tutulur (iletim süresi $d=0.5$ için). Bu ise istenmeyen bir problemdir. Konvertör, hem iletim hem de kesim süresi boyunca akımı kontrol edebilmektedir.

Sargı akımları bağımsız olarak kontrol edilebilen bu konvertörde, kesimdeki fazlarda toplanan enerji C-Dump kondansatörüne aktarılır. Geri alınan enerji, kabul edilebilir bir değerde kondansatör gerilimi içeren yardımcı bir kıyıcı kullanılarak güç kaynağına tekrar gönderilir. Bu yaklaşım konvertör verimini artırır ve kesim süresini azaltır. Ancak, kondansatör gerilimi yüksek bir değerde tutulmalıdır.



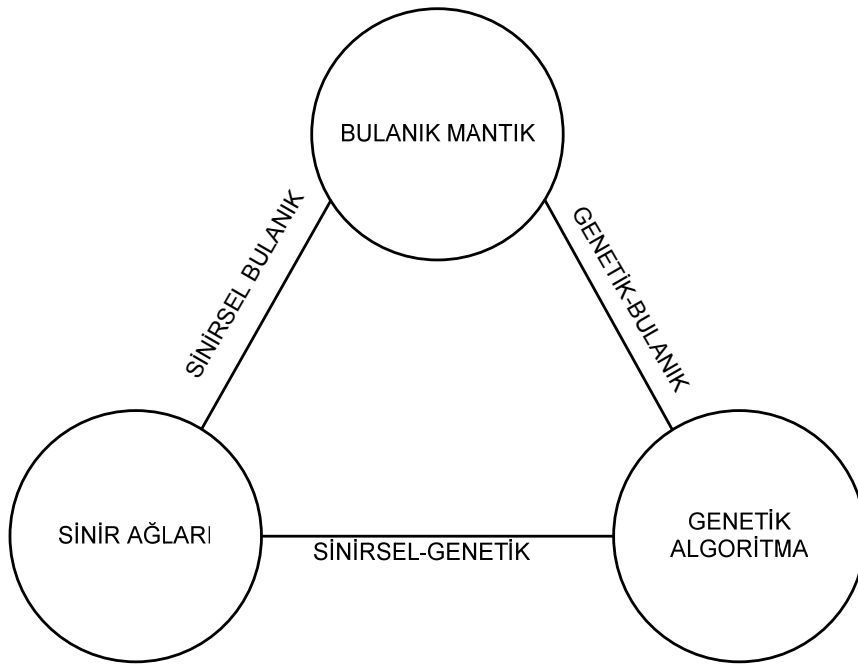
Şekil 3.11. C-Dump konvertör

Bu konvertörde, başlangıçta ve düşük hızlarda bir akım sınırlama düzeni gereklidir. Kıyma modu yaygın olarak kullanılır. Bu moda, akımı emniyetli bir değerde tutmak için aktif anahtarlar kullanılır.

Bu konvertörler yüksek verimli çalışır. Dezavantajları; C-Dump anahtarının yüksek gerilim oranlarına, ek anahtar, sönümlenme kondansatörü, sönümlenme indüktansı ve reaktif elemanlarla birlikte kayıpların var olmasıdır.

4. BULANIK MANTIK DENETLEYİCİSİ

Zeki denetim teknikleri, insan aklı tarafından üretilen dilsel metodolojilerin denetim sistemlerine uygulanması ile oluşmaktadır. Geleneksel denetim algoritmalarından farklı olarak birçok çeşidi mevcuttur. Şekil 4.1.'de en temel zeki denetim yöntemleri görülmektedir. Her bir denetim tekniği diğer tekniklerle birleşik olarak kullanılarak farklı sistemler için eniyileme çalışmaları da yapılmaktadır [90-94].



Şekil 4.1. Zeki denetimin iskeleti

Günümüzde Bulanık mantık denetleyicileri otomotiv, ev aletleri, uzay araştırmalarında, uçaklarda ve daha birçok endüstride denetim sistemleri için ve hata teşhislerinde kullanılmaktadır [95-99]

Bulanık mantık denetleyicileri (BMD), temel olarak; sözel ifadelerin sayısal değerlere atanması için bulanıklaştırma (fuzzification), karar verme için bulanık çıkarım (fuzzy inference), ve sembolik değerlerin sayısal değerlere atanması için durulaştırma (defuzzication) işlemleri olmak üzere üç temel özellikten oluşmaktadır.

Bulanık tabanlı yaklaşımda girişler, çıkışlar ve denetim tepkisi, bir uzman tarafından tespit edilen terimler ile tanımlanmaktadır. Denetim altındaki sistemin karmaşık matematik modeline ihtiyaç duyulmamaktadır. Böylece çok farklı ve karmaşık matematik modele sahip sistemler sözel ifadelerle denetlenebilmektedir [90,100-107].

Bu uzman bilgisi genellikle kurallar şeklinde ifade edilmekte ve kuralların değerlendirilmesi için ihtiyaç duyulan oldukça yoğun hesaplamalar bir sayısal sinyal işlemcisi veya şu an mevcut olan birçok özel amaçlı bulanık mantık yongalarından birini kullanarak hızlandırılabilir. Bir BMD'nin tasarımında, bilinmesi gereken temel işlemler aşağıdaki gibi sıralanabilir [38,90,103-107].

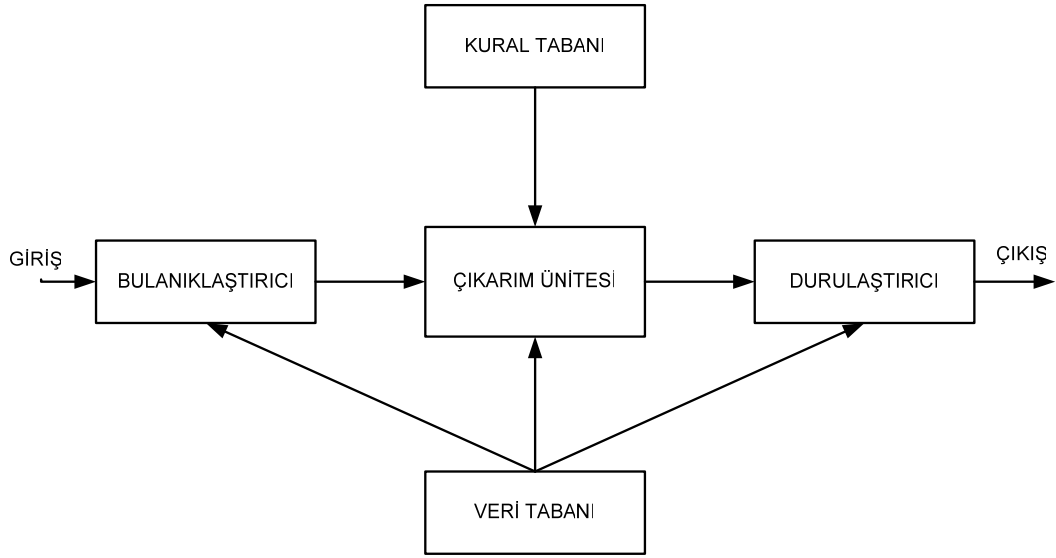
- Gerçek giriş, çıkış değişkenleri ve bunların evrensel kümeleri, yani her bir değişkenin alması muhtemel değerler aralığı
- Giriş ve çıkış değişkenlerinin ölçekleme faktörleri
- Her bir giriş ve çıkış değişkeni için bulanık değerlerin kurulmasında kullanılacak bulanık üyelik fonksiyonları
- Bulanık kontrol kural tabanı tespit edilir.

BMD tasarımında, Üyelik fonksiyonlarının ve bulanık denetim kurallarının belirlenmesi en önemli hususlardan biridir. Tasarım amacına bağlı olarak, bir BMD aynı zamanda kendi kendini organize etme veya öğrenme kabiliyetine sahip olabilmektedir.

4.1. BMD'nin Yapısı

BMD tasarımında, giriş değişkenleri, üyelik fonksiyonları ve kural tabanının belirlenmesi en önemli hususlardır.

Şekil 4.2.'de BMD'nin temel elamanları olan; bulanıklaştırma ünitesi, çıkarım ünitesi, bilgi tabanı ve durulama ünitesi gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Bulanık mantık denetleyicisi blok diyagramının konfigürasyonu

Bulanıklaştırma ünitesi (Fuzzification), sistem değişkenleri üzerinde ölçek değişikliği yaparak sayısal verileri bulanık kümeler haline dönüştürmektedir. Bir başka deyişle sayısal verilere bir etiket vererek sözel değişkenler haline dönüştürür.

$$X = \text{bulanıklaştırıcı } (X_o) \quad (4.1)$$

Eşitlik 4.1’de X_o sistemden alınan bir giriş değişkeninin kesin değerinin bir vektörüdür. X bir değişken için tanımlanmış bir bulanık kümeler vektörüdür. Bulanıklaştırıcı ise kesin verileri bulanık kümelere yerleştiren bir bulanıklaştırma operatörüdür.

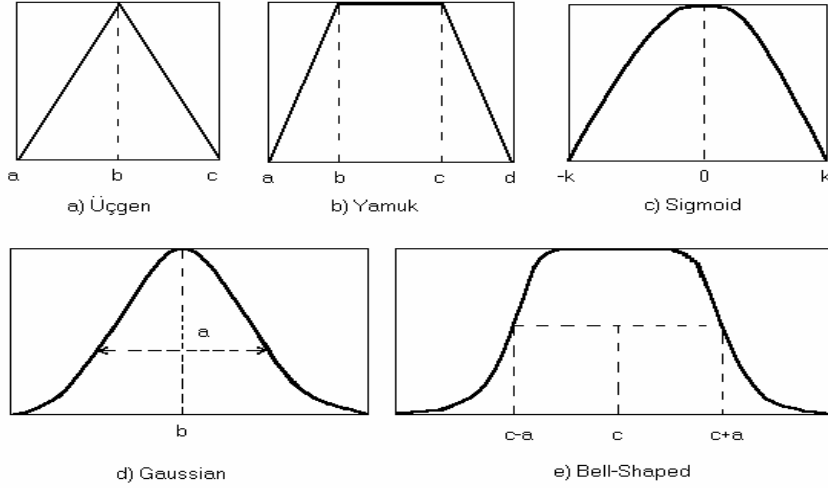
Sayısal tanımlamada; üyelik fonksiyonları sayısal değeri temsil eden bir vektör olarak gösterilir. Bu durumda her bir bulanık kümenin üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi temsil edilecektir.

$$\mu_f(u) = \sum_{i=1}^5 a_i / u_i$$

$$a = [0.4, 0.6, 1, 0.6, 0.4] \quad (4.2)$$

Üyelik fonksiyonları; üçgen, bell-shaped(Çan), yamuk gibi fonksiyonları temsil etmektedir. Bulanık mantık aritmetiğine daha uygun olduğu için bulanık mantık

denetleyicilerinin tasarlanmasında genel olarak bu tipte fonksiyonlar kullanılır. Şekil 4.3.'te bu tipteki üyelik fonksiyonlarına örnekler verilmiştir.



Şekil 4.3. Çeşitli üyelik fonksiyonları

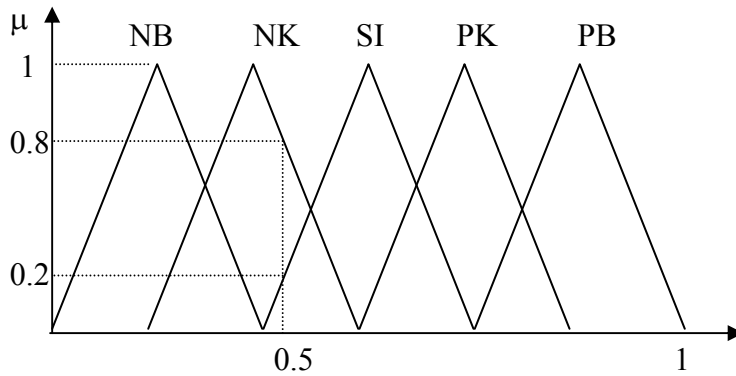
Üçgen	Yamuk
$\mu(x) = \frac{(a-x)}{(a-b)} \dots\dots a \leq x \leq b$ $\mu(x) = \frac{(c-x)}{(c-b)} \dots\dots b \leq x \leq c$	$\mu(x) = \frac{(a-x)}{(a-b)} \dots\dots a \leq x \leq b$ $\mu(x) = 1 \dots\dots b \leq x \leq c$ $\mu(x) = \frac{(d-x)}{(d-c)} \dots\dots c \leq x \leq d$
Gaussian	Bell-Shaped
$\mu(x) = e^{-\{(x-b)/a\}^2}$	$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left \frac{x-c}{a} \right ^{2b}} \quad (4.3)$

Eşitlik 4.3.'te üyelik fonksiyonlarının her biri için bulanıklaştırma formülleri verilmiştir. Bu formüllerden üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonlarının hesapsal kolaylığı ön plana çıkmaktadır. Sayısal bir giriş verisi bulanık formda aşağıdaki işlem basamakları halinde temsil edilir.

- Sistemden sayısal giriş değişkenlerinin değerleri elde edilir.
- Giriş değişkenlerinin kesin değerleri ilgili evrensel kümeye yerleştirilir.

- Bunların her birinin değişkenler için tanımlanmış bulanık kümelerin etkileri olarak uygun sözel terimlere çevrilir.

Dış ortamdan bir algılayıcı yardımıyla okunan sayısal verilerin bulunduğu evrensel küme tespit edilir (0 ile 1 arasında). Daha sonra evrensel küme içerisindeki bu değerler üyelik fonksiyonları kullanılarak alt kümeler halinde temsil edilir. Elde edilen sayısal veriler sözel değişkenler haline dönüştürülür. Bu işleme bulanıklaştırma denir. Şekil 4.4.'te örnek bir bulanıklaştırma gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Giriş değerleri için yapılmış örnek bir bulanıklaştırma

BMD'nin girişine 0.5 gibi sayısal bir değer geldiğini varsayalım. Bulanıklaştırma ünitesi ilk olarak bu değer için NK(Negatif Küçük) ve SI(Sıfır) bulanık kümelerinin sınırları içerisinde girdiğini tespit eder. Daha sonra bunu NK ve SI kümelerine ait olan üyelik fonksiyonlarında yerine koyarak; sayısal değer için NK kümesine 0.2 üyelik derecesi ile SI kümesine ise 0.8 üyelik derecesi ile ait olduğunu saptar. Bu şekilde girişine gelen sayısal değeri sözel bir değişken halinde tespit edilir.

Bulanık bilgi tabanı (data base) ve kural tabanı (rule base) olmak üzere iki ana tip bilgiyi ifade etmektedir. Veri tabanı ve kural tabanı bulanık bilgi tabanını oluşturmaktadır.

Veri tabanını, her bir değişken için evrensel kümenin tanımlanmasını bulanık kümelerin sayısının belirlenmesini ve üyelik fonksiyonlarının tasarlanmasını gerektirmektedir. BMD denetleyicisi; ya Basic, Pascal, C gibi programlama dillerini kullanarak kişisel bilgisayarda ya da C, Assembler gibi programlama dillerini

kullanarak Mikro denetleyici tipindeki hafıza birimlerini kullanarak oluşturulur. Bu tipteki hafıza birimlerinde veri tabanında ilk olarak dilsel olarak temsil edilecek bölgeleri içine alacak evrensel kümenin alt ve üst sınırları ve bu evrensel kümenin kaç alt kümeye bölüneceği tespit edilir. Bu sistemin kabaca hassasiyetini belirler. Daha sonra ilgili alt küme sınırları ve bu alt kümelerin üyelik fonksiyonları oluşturulur.

Kural tabanı ünitesi, giriş çıkış arasındaki bağıntıyı tanımlayan bir dizi bulanık kuralları içermektedir. Bu kurallar genellikle Eğer ise (IF-THEN) şartından oluşan bir bütünü temsil etmektedir.

$$R_i : \text{IF } u_m = A_{mn} \text{ and } u_{m-1} = A_{m-1n} \text{ THEN } v = B_i \quad (4.4)$$

Buradaki u_m m' inci giriş değişkeni, v ise çıkış değişkenini, A_{mn} m' inci giriş değişkenine ait n' inci üyelik kümesini, m giriş sayısını, n Her bir girişe ait üyelik kümesi sayısını ve i kural sayısını temsil eder.

Kural tabanında giriş değerleri ve çıkış değerlerinin birbirleri arasında "AND" ifadesi, ayrı davranışları ifade eden kural kümeleri arasında "OR" ifadesi kullanılır. Denetim tabanını oluşturan kurallar aşağıdaki özelliklere sahiptir [40].

Bir bulanık denetim algoritması evrensel kümedeki herhangi bir giriş için uygun bir denetim işlevi çıkarabilmelidir. Bu özellik bütünlük olarak adlandırılır. Bu bütünlük özelliği içerisinde bulanık denetim kuralları, tasarım tecrübesi ve mühendislik bilgisiyle bir bütünlük arz etmekte ve genellikle her bir giriş değerinin en az bir bulanık kümede yer alması için bulanık kümelerin belli bir yüzde ile üst üste bindirilmesi gerektirmektedir. Aynı zamanda her bir girişin belli bir tepki vermesi için kuralların dikkatli bir şekilde tasarlanması da büyük önem arz etmektedir.

Çıkarım ünitesi (inference engine), bulanık kurallar üzerinde bulanık çıkarım işlemini gerçekleştiren ünedir. Bu ünite bu işlemi insanın düşünüş şekline benzeterek gerçekleştirmektedir. İlk olarak bulanıklaştırma ünitesinden gelen bulanık

bilgiler kural tabanında yerine konarak aktif kurallar saptanır. Daha sonra bu kurallar bulanık muhakeme yöntemlerinden biri kullanılarak bileştirilir ve bu şekilde muhakeme edilmiş bulanık çıkış elde edilir. X ve Y evrenlerinde sırası ile A ve B gibi iki küme tanımlansın ve bu iki küme arasındaki kural IF x=A THEN y=B şeklinde verilsin. Bu iki ifadenin oluşturduğu kural; X x Y evreninde RA→B tanımlanmış bulanık bir ilişki ile yorumlanır.

$$\mu_R(x, y) = \mu_A(x) * \mu_B(y) \quad (4.5)$$

IF $\bar{x} = \bar{A}$ THEN $\bar{y} = \bar{B}$ şeklindeki bir kural IF x=A THEN y=B şeklinde verilmiş bir kurala uygulanırsa elde edilecek \bar{B} çıkışı eşitlik 4.6'daki gibi elde edilecektir.

$$\mu_B(y) = \mu_R(x, y) \oplus \mu_A(x) \quad (4.6)$$

Eşitlik 4.6.'da *, t-norm operatörünü ve \oplus ise t-conorm operatörünü göstermektedir. Bulanık mantık denetleyicisindeki çıkarım işlemi, bulanık durum değişkenlerinin değerlerini bir dizi sözel kurallar üzerinden bulanık çıkış değerine atamakla gerçekleşir. Elde edilen giriş bilgileri için hangi kuralların uygulanacağı ve hangi uygun bulanık denetim hareketinin çıkarılacağını belirlemek için birçok değişik metot vardır. En sık kullanılan metotlar MAX-MIN ve MAX-DOT olarak verilir.

MAX-MIN Çıkarım Metodu; * t-norm operatörü yerine MIN, \oplus t-conorm operatörü yerine ise MAX işleminin kullanıldığı bir metottur. Aşağıda verilen iki adet kuralın aktif olduğunu varsayalım.

Kural 1: IF x=A1 AND y=B1 THEN z=C1

Kural 2: IF x=A2 AND y=B2 THEN z=C2

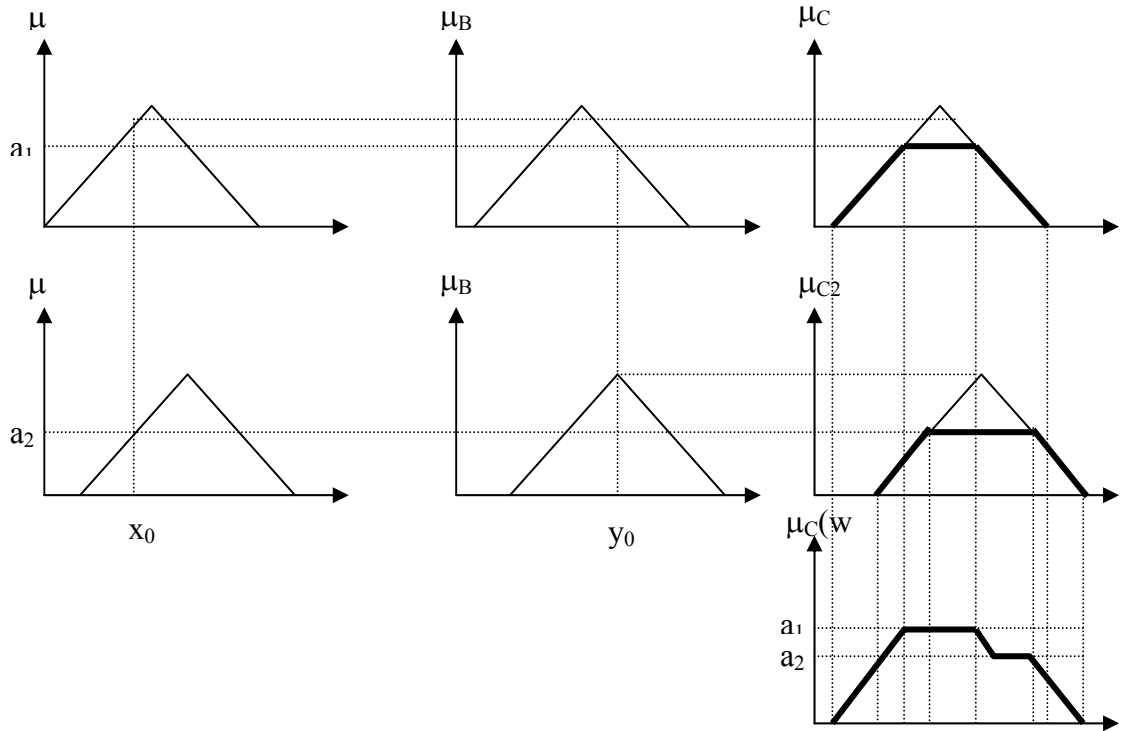
i 'nci kuralın ateşleme aralığı (fire-strenght) a_i ile gösterilirse; x_0 ve y_0 girişleri için kural tabanındaki yukarıdaki iki kuralın ateşleme ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} a_1 &= \mu_{A1}(x_0) \wedge \mu_{B1}(y_0) \\ a_2 &= \mu_{A2}(x_0) \wedge \mu_{B2}(y_0) \end{aligned} \quad (4.7)$$

Eşitlik 4.7 'de göre i ' ninci kural $a_i \wedge \mu_{Ci}(w)$ ile açıklanarak denetim çıkışına ulaşılır ve C 'nin üyeliği eşitlik 4.8'deki gibi elde edilir.

$$\mu_C(w) = [(a_1 \wedge \mu_{C1}) \vee (a_2 \wedge \mu_{C2})] \quad (4.8)$$

Şekil 4.5.'te kesin giriş değerleri x_0 ve y_0 için MAX-MIN çıkarım işlemi gösterilmiştir.



Şekil 4.5. MAX-MIN çıkarım işlemi

Durulaştırma Ünitesi çıkarım ünitesinden gelen bulanık denetim işaretini tek bir sayısal değer haline dönüştürür. Denetim stratejisinde karşılaşılan durulaştırma metotları aşağıda verilmiştir.

- Merkez Yöntemi
- Üyelik Fonksiyonunun En büyük Noktası
- Ağırlıklı Ortalama Yöntemi
- Üyelik Fonksiyonunun En büyük Noktalarının Ortalaması
- Geniş Alan Merkezi
- İlk ve Son Yükselti

Merkez Yöntemi (Centroid Method), Ağırlık Merkezi Yöntemi olarak ta isimlendirilir. Durulama yöntemi olarak en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde göre Durulama ünitesinin çıkışı; üyelik ağırlığı ile çıkışın çarpımının integrali, üyelik ağırlığının integraline oranlanması ile elde edilir.

$$z^* = \frac{\int \mu(z) \cdot z \cdot dz}{\int \mu(z) \cdot dz} \quad (4.9)$$

Burada $\mu(z)$ çıkarım işlemi neticesinde elde edilmiş üyelik ağırlığını, z her bir kuraldaki çıkış değerini ve z^* durulaştırılmış çıkışı temsil etmektedir.

En büyük Üyelik Metodu (Max-Membership Principle), Yükseklik Yöntemi olarak ta isimlendirilir. Bu yöntemde aktif olan kurallar içerisinde en büyük üyelik derecesine sahip olan sayısal değer denetim işareti olarak alınır.

$$z^* = \text{Max}[\mu(z)] \quad (4.10)$$

Ağırlıklı Ortalama Metodu (Weighted-Average Method), sadece simetrik çıkışlı üyelik fonksiyonları için kullanılır. Her bir simetrik üyelik fonksiyonunun tepe noktaları belirlendikten sonra bu noktalara tekâmül eden sayısal değerlerin ortalaması alınarak denetim çıkışı elde edilir.

$$z^* = \frac{\sum \mu(z) \cdot z \cdot dz}{\sum \mu(z) \cdot dz} \quad (4.11)$$

En büyük Üyeliklerin Ortalaması (Mean-Max membership) metodu, Yüksek Noktaların Ortalaması olarak ta isimlendirilir. Bu yöntem Yükseklik Metoduna benzemektedir. Ancak en büyük üyelik derecesi tek değildir. Şekil 4.7'den de anlaşılacağı üzere dörtgen biçiminde de olabilir.

$$z^* = \frac{a+b}{2} \quad (4.12)$$

Geniş alan Merkezi Metodu (Center of Largest Area), bulanık çıkarımın sonucu en az iki dışbükeyden oluşan sistemlere uygulanır. Dışbükey olmayan üyelik derecelerinin bileşkeleri parçalanarak Ak'nın geniş bir parçası elde edilir. Şayet Ak dışbükey olsaydı bu yöntem merkez yöntemi ile aynı sonucu verecekti.

$$z^* = \frac{\int \mu_{Am}(z) \cdot z \cdot dz}{\int \mu_{Am}(z) \cdot dz} \quad (4.13)$$

İlk veya Son Yükselti Metodu (First or Last of maxima method), çıkarım sonucu elde edilmiş tüm bulanık çıkışlara uygulanabilir.

İlk yükselti için;

$$z^* = \inf \{z \in Z / \mu_{Ak}(z) = hght(Ak)\} \quad (4.14)$$

Son yükselti için;

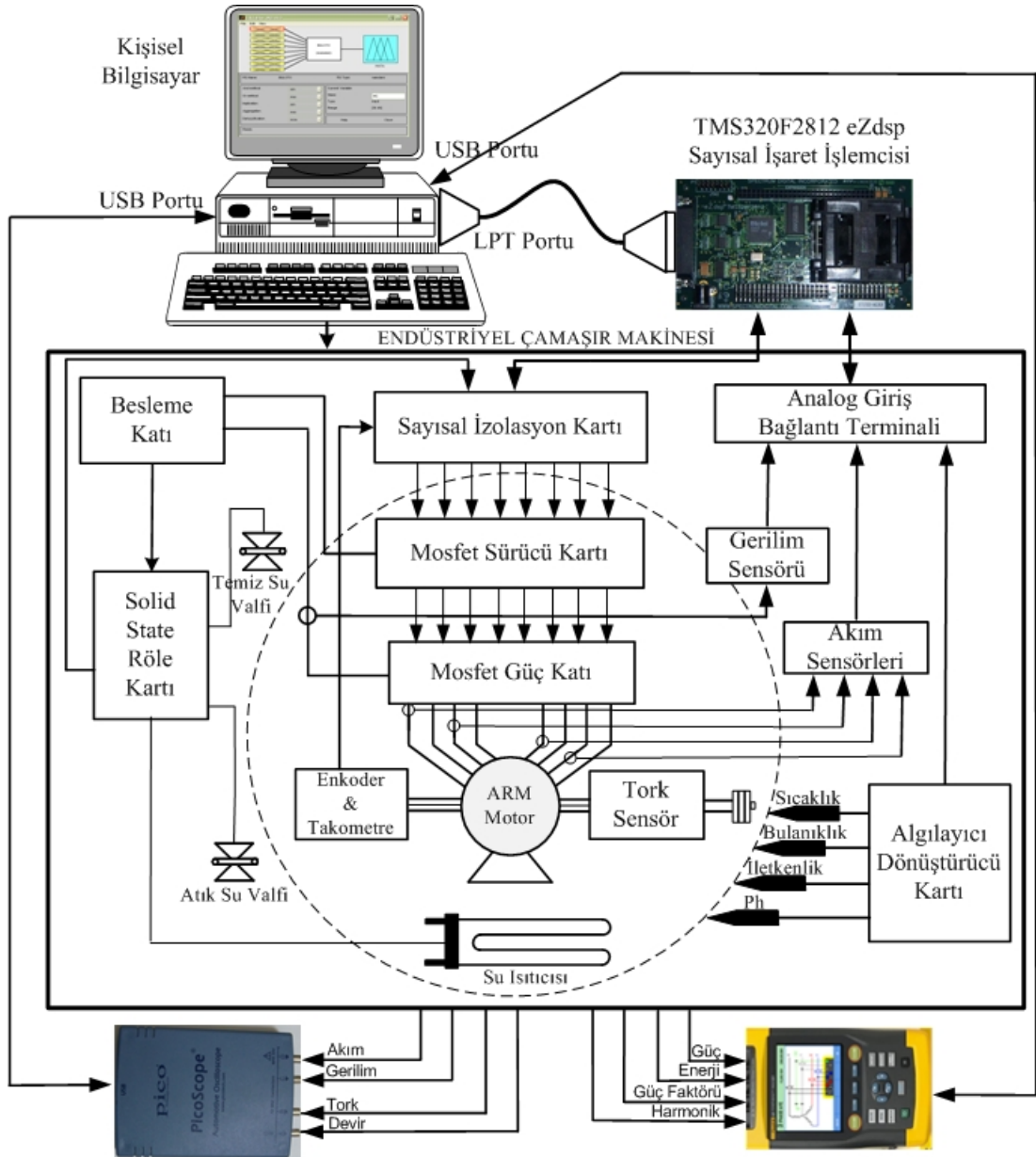
$$z^* = \sup \{z \in Z / \mu_{Ak}(z) = hght(Ak)\} \quad (4.15)$$

Eşitlik 4.14 ve 4.15 kullanılarak durulaştırılmış sonuç elde edilir. Burada sup en düşük yüksek sınırı ve inf en yüksek düşük sınırı göstermektedir.

Uygulamada hangi metodun kullanılması gerektiği konusunda 5 temel dayanak ortaya atılmıştır. Bunlar; süreklilik, belirsiz olmama, uygunluk, hesapsal kolaylık ve ağırlık merkezi olarak açıklanmıştır. Ayrıca fiziksel sistemin yapısı ve kullanıcının deneyimleri de durulama yöntemini seçmede önemli rol oynamaktadır [103,104].

5. ENDÜSTRİYEL ÇAMAŞIR MAKİNESİ DENETİMİNİN TASARIMI

Endüstride üretimde olan 20 kg ve üzerinde çamaşır yıkama kapasitesine sahip çamaşır makinelerine alternatif olarak geliştirilen ARM kullanan zeki denetimli endüstriyel çamaşır makinesi (EÇM) blok şeması şekil 5.1.' de görülmektedir.



Şekil 5.1. Tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilen ARM kullanan zeki denetimli EÇM'nin blok diyagramı

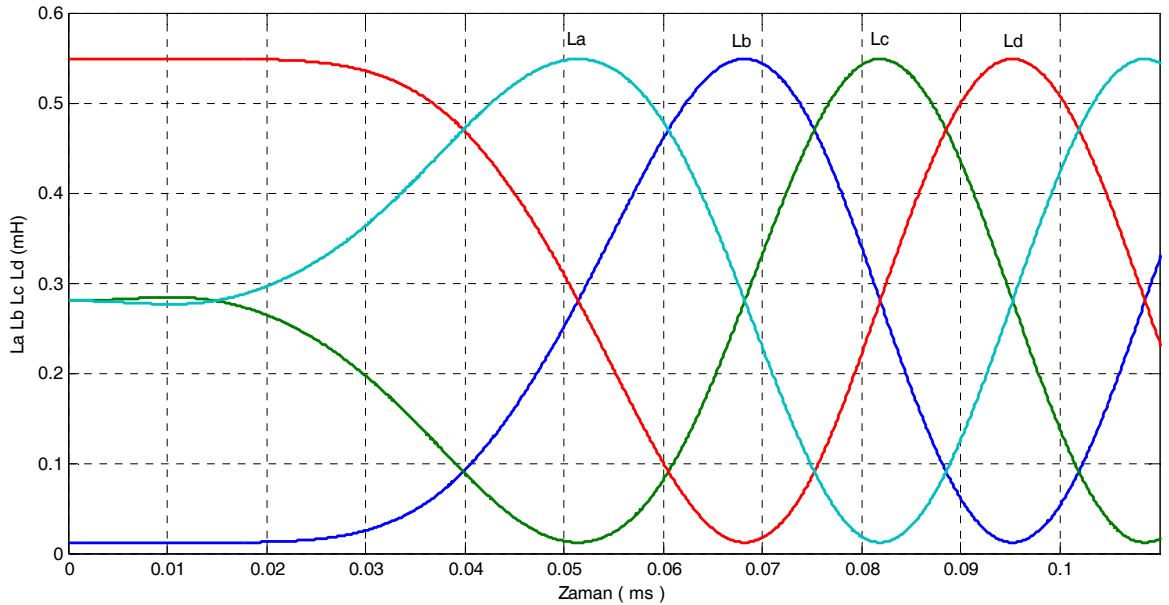
Sistemin tasarımı EÇM' de ARM kullanımının gerçekleştirilmesi ve yıkama sürecinin algılayıcılar kullanılarak bulanık denetimi olmak üzere iki alt sistem şeklinde gerçekleştirilmektedir.

BM denetimin etkinliğini göstermek için, EÇM'nin denetimi yapılırken sırasıyla aç-kapa, oransal integral (PI) ve BM denetimi gerçekleştirilmiştir.

5.1. Matlab simulink ile ARM denetiminin benzetimi

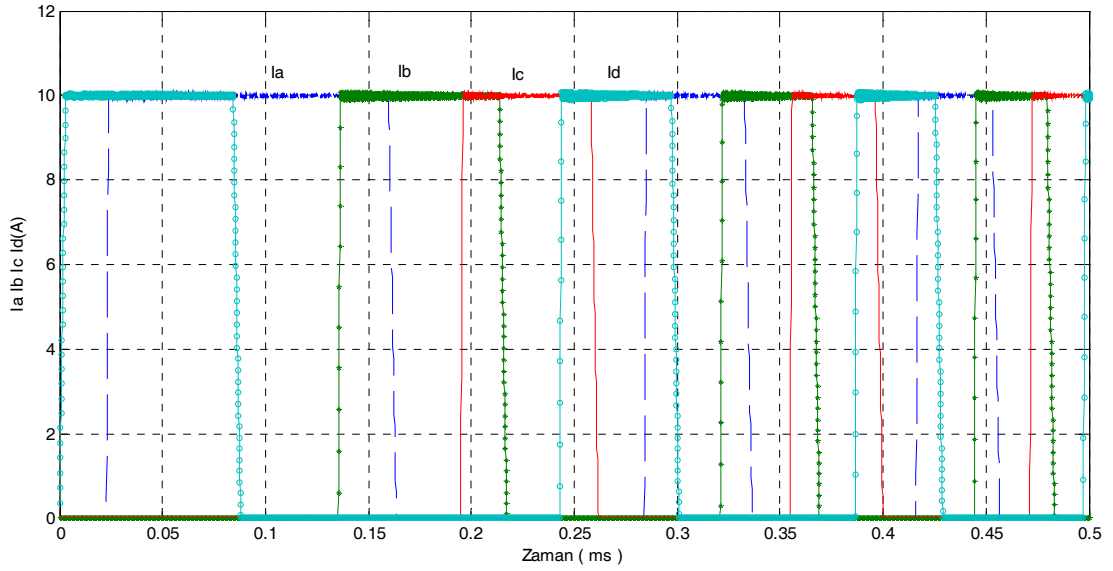
ARM gerçek ortamda çalıştırmadan önce benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Benzetim çalışmasında kullanılan ARM; 48V, 2KW, Rfaz=3 ohm, Lmak=0,055 H, Lmin=0,012 H, Imak=10 A teknik özelliklere sahiptir.

Bu değerlerle yapılan benzetim çalışmasında indüktans değişim grafiği şekil 5.2.'de görülmektedir. Bu değerler ile sistemin anahtarlama açıları elde edilmekte ve anahtar konumları değiştirilmektedir.



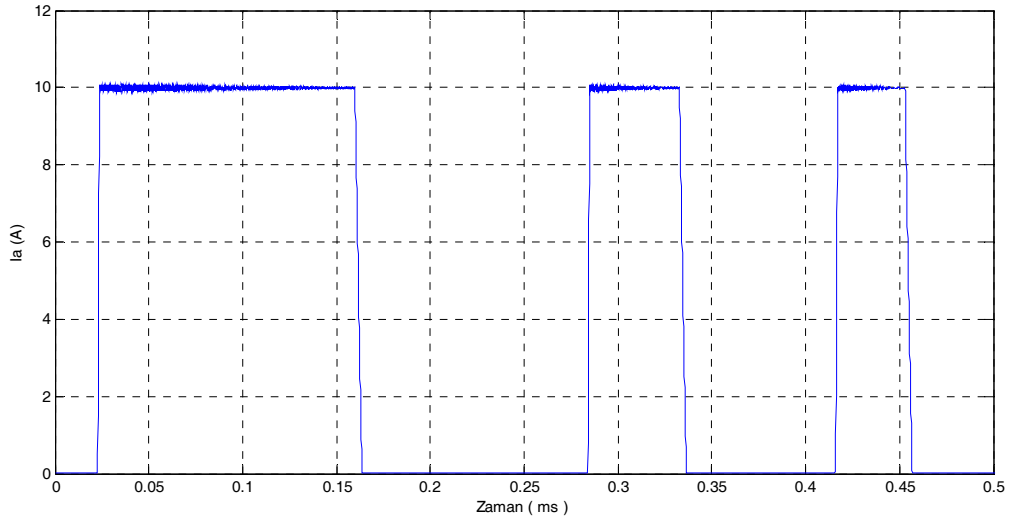
Şekil 5.2. Anahtarlama Relüktans Motorun indüktans grafiği

Şekil 5.4.'te görülen sisteme ait hız grafiğinde, hız dalgalanması 3 rad/sn ile sınırlanmaktadır. Bu çalışma modunda elde edilen akım değerleri ise şekil 5.5'te görülmektedir.

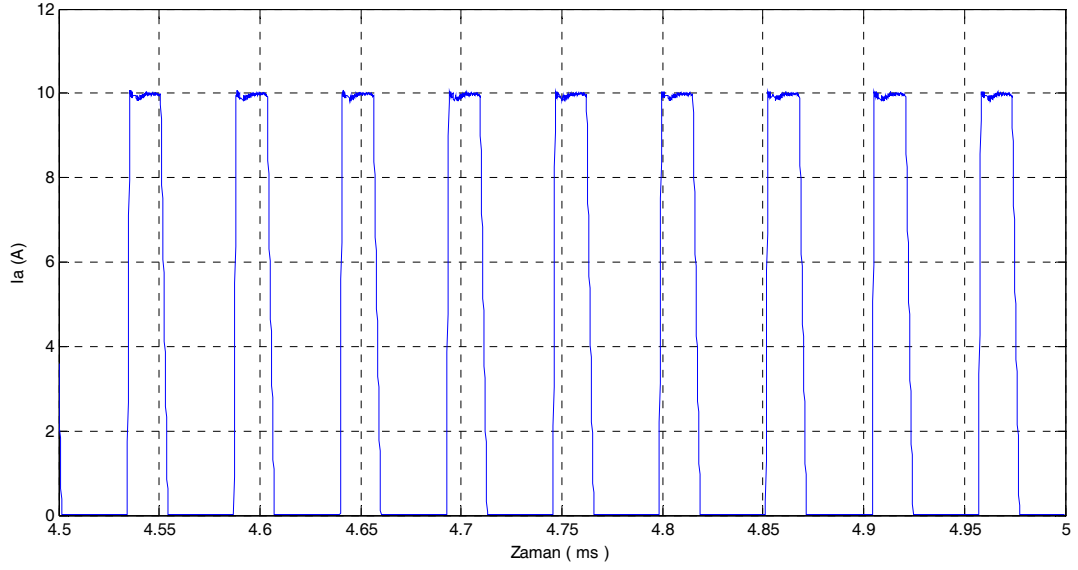


Şekil 5.5. Motorun fazlarına ait başlangıç anı akım grafiği

Şekil 5.6.'da görülen motorun kalkınma anındaki A fazına ait akım grafiğidir. Şekil 5.7.'de ise motor hızı referans hızına ulaştığında motorun A fazındaki akım değerinin periyodik sinyallere dönüştüğü görülmektedir.

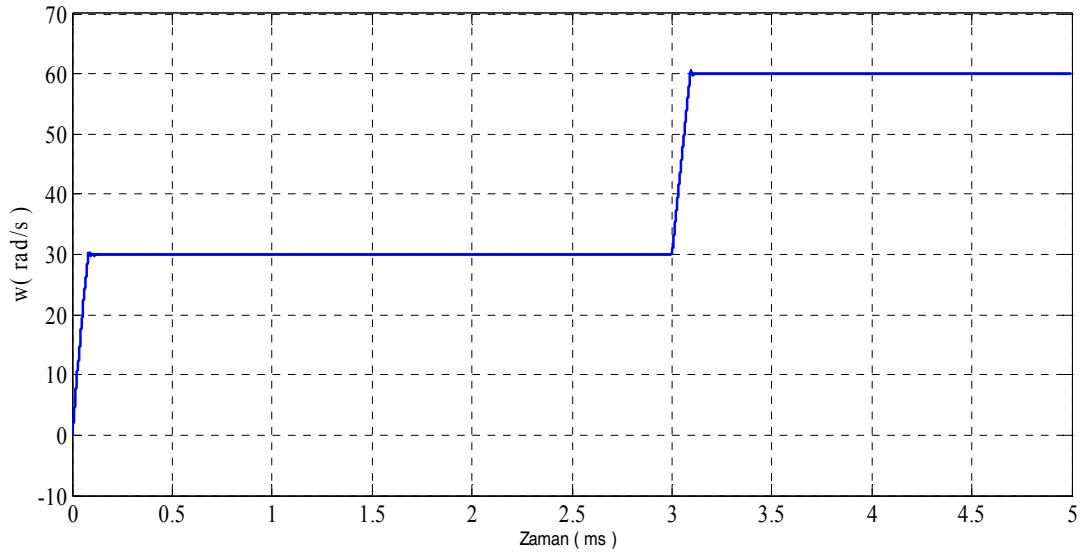


Şekil 5.6. Motorun A fazına ait başlangıç anı akım grafiği



Şekil 5.7. Motorun A fazına ait kalıcı durum akım grafiği

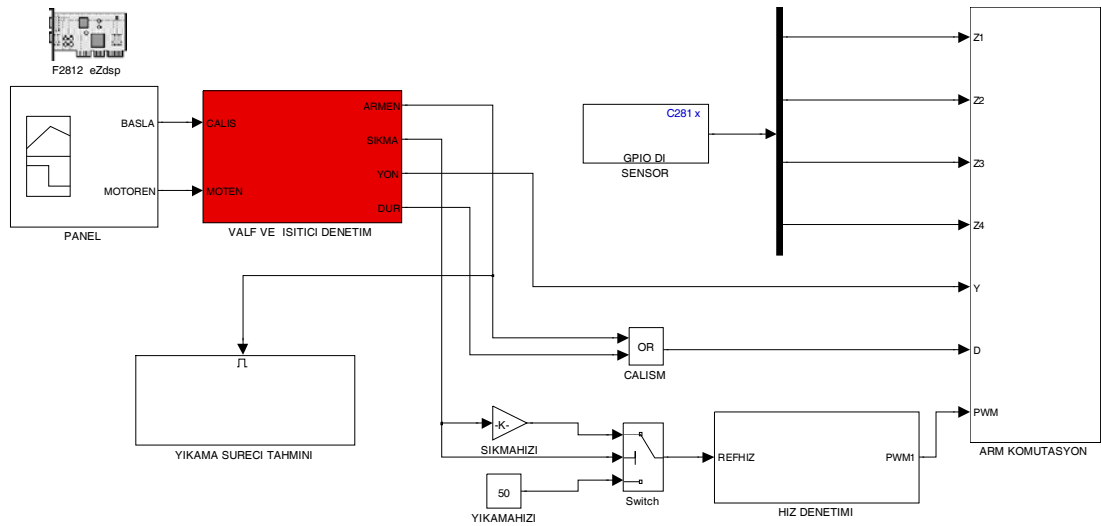
PI denetleyici kullanılarak ile gerçekleştirilen benzetim çalışmasında başlangıçta referans hız 30 rad/s olarak ayarlanmış $t=3$ s anında 60 rad/s olarak değiştirilmiştir. Başlangıç anından itibaren 5 Nm lik yük sisteme uygulanmıştır. Şekil 5.8.'de sisteme ait hız grafiği görülmektedir.



Şekil 5.8. Değişken referans hız için 5 Nm yük altında hız eğrisi

5.2. EÇM' de Anahtarlama Relüktans Motoru Kullanımı

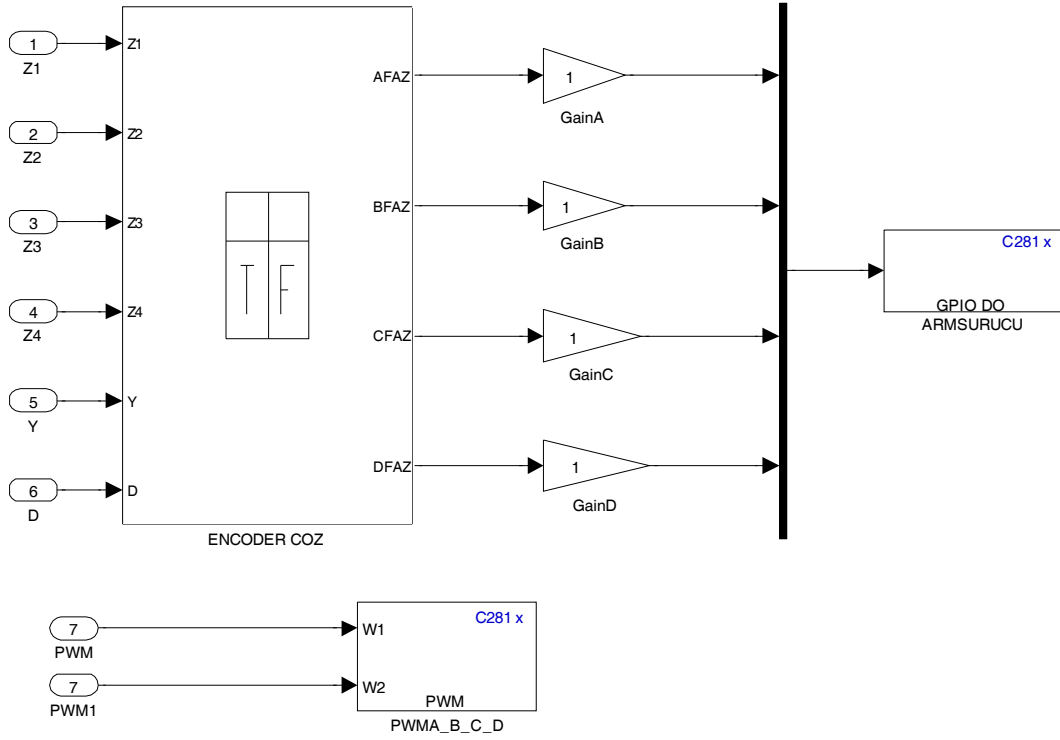
EÇM denetimi için Matlab Simulinkte gerçekleştirilen sistem şekil 5.9.'da görülmektedir. Denetim algoritmasının elemanları Matlab Simulink kütüphanelerinden seçilmektedir. Kütüphanelerde bloklar şeklinde bulunan her bir elemanın özelliği kendi özellikler penceresinden ayarlanmaktadır. Ayrık zamanlı olarak çalıştırılan bu blokların örnekleme zamanları aynı değerlerde girilmektedir. Benzetim esnasında örnekleme zamanı olarak 0.00001 sn değeri kullanılmaktadır. Denetim sistem oluşturulduktan sonra Ctrl+B ile derlenerek TMS320F2812 Sİİ içerisine yüklenmektedir.



Şekil 5.9. Matlab Simulinkte ARM'li EÇM tasarımı

ARM'ye ait anahtarlama sırası Simulinkte bulunan doğruluk tablosuna göre gerçekleştirilmektedir. Sensörden gelen bilgiler tablo içerisinde doğru anahtarlama modu seçilerek gerçekleştirilmektedir.

ARM'nin anahtarlama sırasını ayarlayarak istenilen hızda dönmesini sağlamak için kullanılan klasik konvertördeki üst sıra ve alt sıra anahtarlama sinyalleri, şekil 5.10'daki denetim bloğu tarafından üretilmektedir. Alt sıra sinyalleri için Sİİ için özel olarak tasarlanan DGM sinyal üreteç bloğu kullanılmaktadır. Her bir faz için ayrı DGM çıkış kanalı kullanılmaktadır.



Şekil 5.10. ARM anahtarlama sinyallerinin üretilmesi

Her iki yön içinde faz anahtarlama sıraları, dur ve yön bilgisinin karşılığı durum tablosunda belirtilmiş ve gerçekleşen koşullarda hangi işlemlerin yapılacağı tanımlanmıştır. Böylece Motorun her iki yöne dönmesi ve durması şekil 5.11.'de görülen tabloda belirlenen koşullarla gerçekleştirilmiştir.

Durum tablosunun giriş-çıkış sayıları tablodaki menü çubuğundan ayarlanmaktadır. EÇM için gerçekleştirilen durum tablosunda 4 fazın konumu, yön ve dur-başla olmak üzere 6 girişi bulunmaktadır. Girişlere göre işlem tablosundan hangi görevlerin yapılacağı seçilmekte ve böylece alt sıra anahtarlarından hangisi ya da hangilerinin aktif olacağı belirlenmektedir. ARM'nin dönme yönü de bu tablo sayesinde kolayca ayarlanmaktadır.

İşlem tablosuna istenilen sayıda işlem girilebilmektedir. Böylece ARM'den yüksek tork elde etmek için aynı anda iki faz birden sürülebilmektedir.

Block: ostimcammakfuzzy/ARM KOMUTASYON/ENCODER COZ																			
File Edit Settings Add Help																			
Condition Table																			
#	Description	Condition	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17
1	ENCODER Z1	Z1 == 1	F	T	T	T	F	F	F	T	F	T	T	T	F	F	F	T	-
2	ENCODER Z2	Z2 == 1	F	F	F	T	F	T	T	T	F	F	F	T	F	T	T	T	-
3	ENCODER Z3	Z3 == 1	F	F	T	T	F	F	T	T	F	F	T	T	F	F	T	T	-
4	ENCODER Z4	Z4 == 1	F	F	F	F	T	T	T	T	F	F	F	F	T	T	T	T	-
5	YON SAAT YONUNDE ISE	Y == 1	F	F	F	F	F	F	F	F	T	T	T	T	T	T	T	T	-
6	DUR	D == 1	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	T
Action Table																			
#	Description	Action																	
1	7,50-15 DERECE ARASI 0	AFAZ = logical(1) ; BFAZ = logical(0) ; CFAZ = logical(0) ; DFAZ = logical(0) ;																	
2	00-7,50 DERECE ARASI 1	AFAZ = logical(1) ; BFAZ = logical(0) ; CFAZ = logical(0) ; DFAZ = logical(1) ;																	
3	52,5-00 DERECE ARASI 5	AFAZ = logical(0) ; BFAZ = logical(0) ; CFAZ = logical(0) ; DFAZ = logical(1) ;																	
4	45-52,5 DERECE ARASI 7	AFAZ = logical(0) ; BFAZ = logical(0) ; CFAZ = logical(1) ; DFAZ = logical(1) ;																	
5	15-22,5 DERECE ARASI 8	AFAZ = logical(1) ; BFAZ = logical(1) ; CFAZ = logical(0) ; DFAZ = logical(0) ;																	
6	22,5-30 DERECE ARASI 10	AFAZ = logical(0) ; BFAZ = logical(1) ; CFAZ = logical(0) ; DFAZ = logical(0) ;																	
7	30-37,5 DERECE ARASI 14	AFAZ = logical(0) ; BFAZ = logical(1) ; CFAZ = logical(1) ; DFAZ = logical(0) ;																	
8	37,5-45 DERECE ARASI 15	AFAZ = logical(0) ; BFAZ = logical(0) ; CFAZ = logical(1) ; DFAZ = logical(0) ;																	
9	DIGER DURUMLAR ENKODER BOZUK	AFAZ = logical(0) ; BFAZ = logical(0) ; CFAZ = logical(0) ; DFAZ = logical(0) ;																	

Şekil 5.11. Durum ve işlem tablosu

TMS320F2812 sayısal işaret işlemcisinin (Sİİ) içerisinde 2 adet Çeyrek faz farklı enkoder (quadrature encoder pulse –QEP) bulunmaktadır. ARM'nin hızının tespiti A modülünde yer alan QEP ile gerçekleştirilmektedir. Hız Devir/dakika olarak ölçülmektedir. Ölçüm örnekleme frekansı ise 1 KHZ olarak seçilmiştir. Hız ölçümünde kullanılan enkoderin çözünürlüğü 1024 darbe/devirdir.

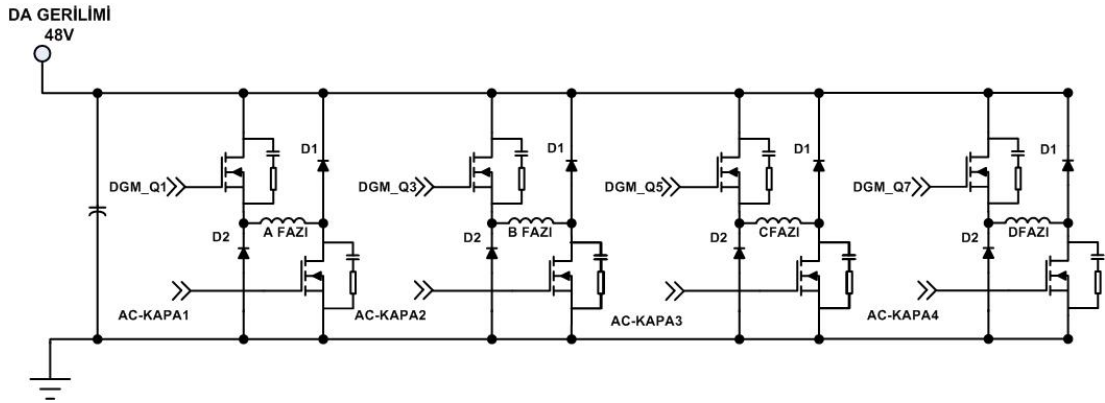
F2812 eZdsp Sİİ'nde 8 adeti A modülünde 8 adeti B modülünde olmak üzere toplam 16 kanal ADC mevcuttur. Her bir kanalın ölçüm çözünürlüğü 12 bittir. Örnekleme süresi ve çevirme modu Blok parametrelerinden ayarlanabilmektedir.

EÇM'nin denetiminde kullanılan sayısal girişler F2812 eZdsp Sİİ'ne genel amaçlı giriş çıkış (General Purpose Input Output- GPIO) biriminin sayısal giriş modülü ile gerçekleştirilmektedir. Girişler için örnekleme süresi blok parametreleri tarafından ayarlanabilmektedir. Sayısal çıkışlar ise sayısal çıkış modülü ile kullanılmaktadır.

ARM'nin hız denetiminde kullanılan DGM, F2812 eZdsp SİI tarafından üretilmektedir. Denetim sisteminde kullanılan 20 KHz ayarlanabilir görev saykılı bu blok tarafından üretilmektedir.

5.3. EÇM'de Kullanılan Klasik Konvertör

Uygulama çalışmalarında 4 fazlı ARM kullanılarak, şekil 5.12.'de gösterilen klasik konvertör sürücü ile motor çalıştırılmaktadır.



Şekil 5.12. Klasik konvertörlü ARM sürücü katı

Anahtarlama eleman sayısı artmasına rağmen kullanılan elemanların akım değerlerinin daha düşük olması ve maliyeti ve arızaları en aza indirmesi klasik konvertörün seçilmesinin en önemli nedenidir. Konvertörün mosfet anahtarlama elemanları olarak IRFP3710 ve boşaltma diyotları olarak ise DSEI120-12A kullanılmaktadır.

5.4. EÇM'nin Denetiminde Kullanılan Algılayıcılar ve Dönüştürücüler

5.4.1. LA-55P Akım Sensörü

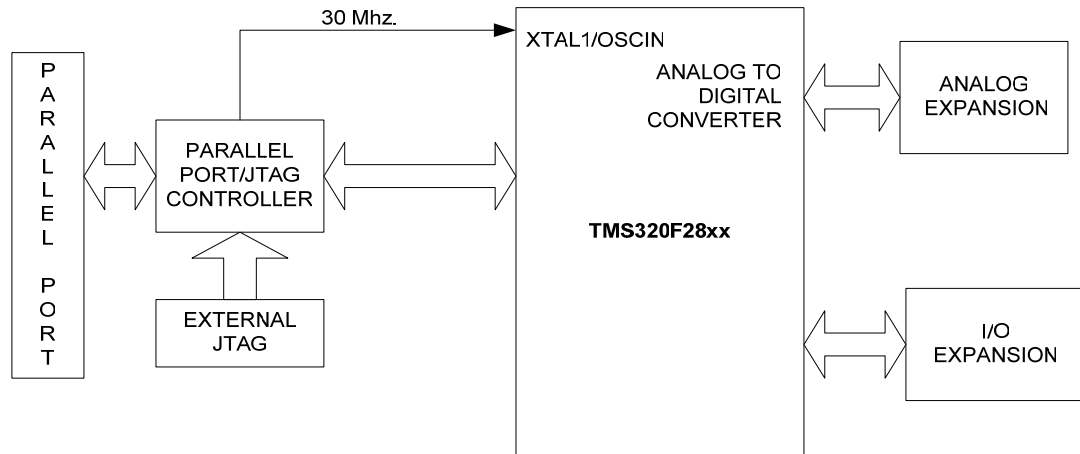
Doğrudan bağlantılı ya da hat ile izoleli çalışma prensibine sahiptir. Doğrusal RMS çıkışına sahip, hızlı, 4-20 mA standart bir akım çıkışı olan modüler bir algılayıcıdır.

5.4.2. LV-25P Gerilim Sensörü

Hall-Effect prensibi ile çalışan ve hat ile izoleli çalışma prensibine sahiptir. Ayrıca sensör %99,2 gibi çok yüksek doğruluk oranına, çok yüksek doğrusallığa, yüksek band genişliğine ve düşük cevap zamanına sahiptir.

5.5. EÇM'nin denetiminde kullanılan Sayısal İşaret İşlemcisi

Sayısal işaret işlemcileri (Sİİ) 1970'lerin sonlarında mikro-işlemcilerin ortaya çıkmasıyla, geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Sİİ kullanım alanlarından uzay bilimlerinde; veri sıkıştırma, zeki sensör uygulamaları, fotoğraf inceleme, tıp bilimlerinde; teşhis amaçlı görüntüleme, EKG analizi, medikal görüntüleme kaydı, ticari alanda; multimedya sunumları için ses ve görüntü sıkıştırma, özel film efektleri, görüntülü konferans, EKG analizi, askeri alanda; radar, sonar, ordu donatım malzemeleri, güvenli iletişim bilimsel çalışmalarda; yer hareketleri kaydı ve analizi, veri toplama, spektral analiz, benzetim ve modelleme, endüstriyel uygulamalarda; petrol ve mineral arama, süreç izleme ve denetim, CAD ve dizayn araçları telefon sistemlerinde; ses ve veri sıkıştırma, eko azaltma, sinyal çoğullama, filtreleme gibi çok geniş bir alana yayılmaktadır. Sİİ yongaları, mikro-işlemciler gibi programlanabilir sistemler olup, saniyede milyonlarca işlem gerçekleştirebilir Şekil 5.13.'te TMS320F2812 işlemcisinin blok diyagramı görülmektedir [108-110].



Şekil 5.13. Sİİ blok diyagramı

5.5.1.1. Sİİ'lerin Genel Yapısı

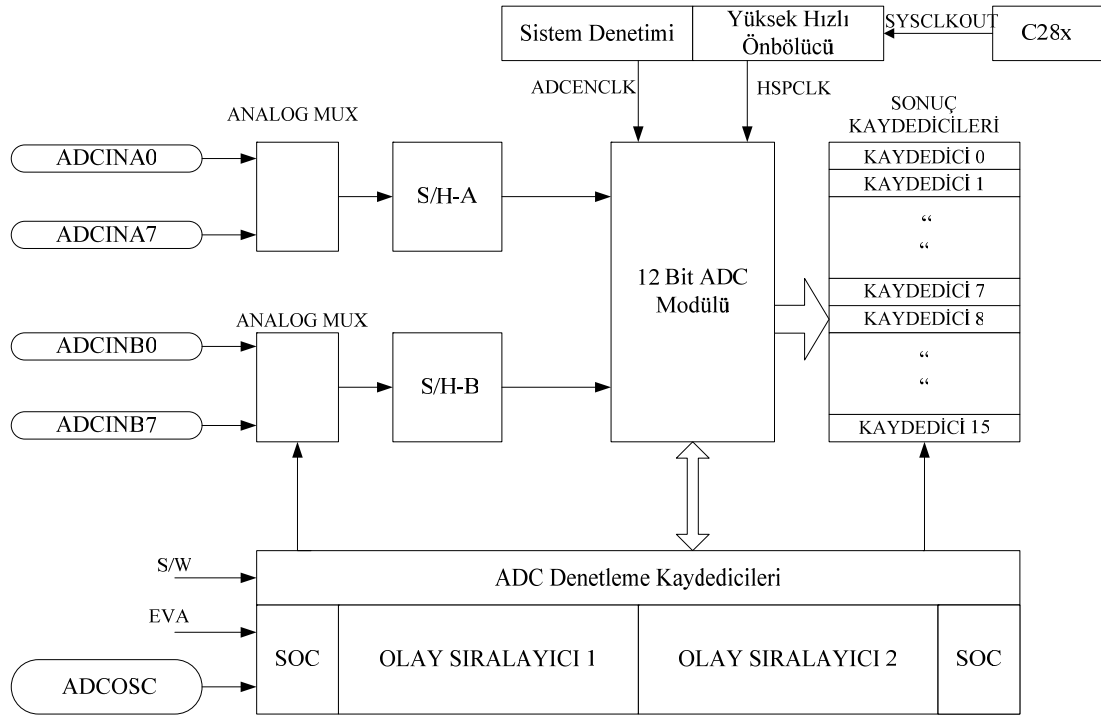
Kullanılan Sİİ işlemcisinin temel özellikleri, 150 MIPS işlem hızı, 128K Word Dahili Flash hafıza, 64K Word Harici SRAM hafıza, 30 MHz onboard işlemci osilatörü, 2 adet genişletme yuvası, AC adaptörden 5 Volt ile çalışma, Onboard IEEE 1149.1 JTAG Denetimci, TI F28xx Code Composer Studio aygıt sürücüsü ve Onboard IEEE 1149.1 JTAG benzetim bağlantısı olarak sıralanabilir.

Merkezi İşlem Ünitesi

Merkezi işlemci ünitesinde; 32 bitlik merkezi aritmetik mantık ünitesi (CALU), 32 bitlik akümülatör, CALU için giriş-çıkış veri ölçüm geçişi, 16 bit * 16bit çarpıcı, yardımcı kaydedici aritmetik ünite (ARAU) ve 8 tane yardımcı kaydediciden oluşan veri-adres üretim mantığı, program adres üretim mantığı özelliklerine sahiptir.

ADC Modülü

TMS320 F2812 A ve B olay yöneticileri (Event Managers) tarafından yönlendirilen ve bir birinden bağımsız olarak çalışan iki ayrı 8 kanal analog dijital dönüştürücü (Analog digital converter – ADC)' den oluşur. Bu iki ayrı modül 16 kanal oluşturmak için bir birine seri şekilde bağlanabilir. ADC modülde çoklu giriş kanalları ve iki sıralayıcı bulunmasına rağmen sadece bir dönüştürücü vardır. Şekil 5.14.'te TMS320 F2812' ye ait ADC modülün blok diyagramını göstermektedir.

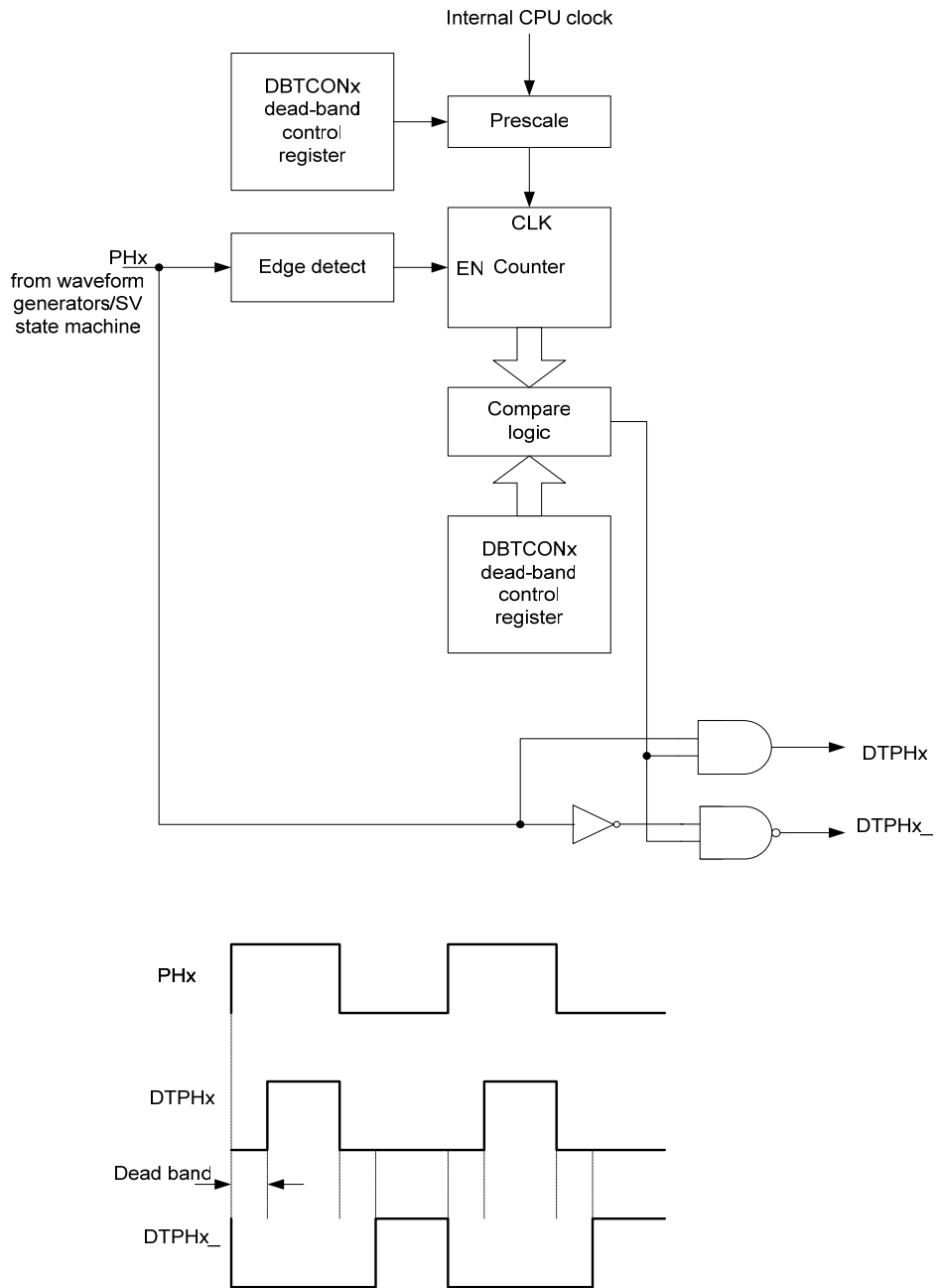


Şekil 5.14. ADC modülün blok diyagram

DGM Modülü

F2812’de 12 kanal DGM üretici mevcuttur. A ve B modülü olarak adlandırılan iki bölümde toplanan bu kanallardan her biri ayrı DGM sinyalleri üretebilmektedir. Bu sinyaller simetrik ve asimetrik olarak üretilebilmekte ve genlik değerleri haricen de uygulanabilmektedir.

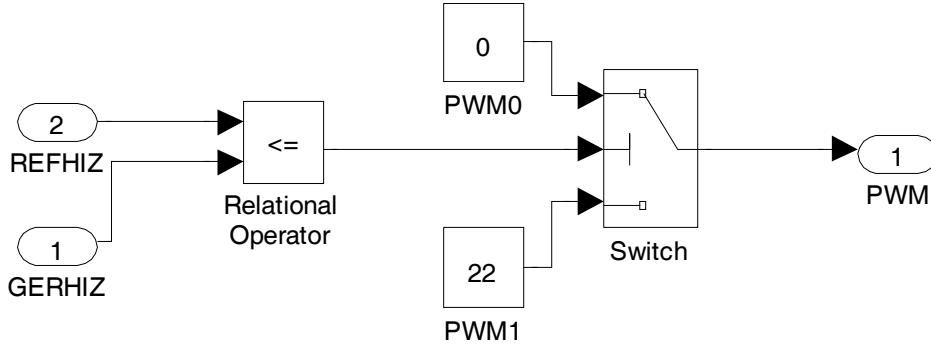
Anahtarlama elemanlarında gerekli olan ölü zaman süresi F2812’de yazılımsal olarak gerçekleştirilebilmektedir. Şekil 5.15.’te DGM çıkışı ve ölü zaman özelliği gösterilmektedir.



Şekil 5.15. DGM çıkışı ve ölü zaman uygulaması

5.6. Aç Kapa ile ARM Denetimi

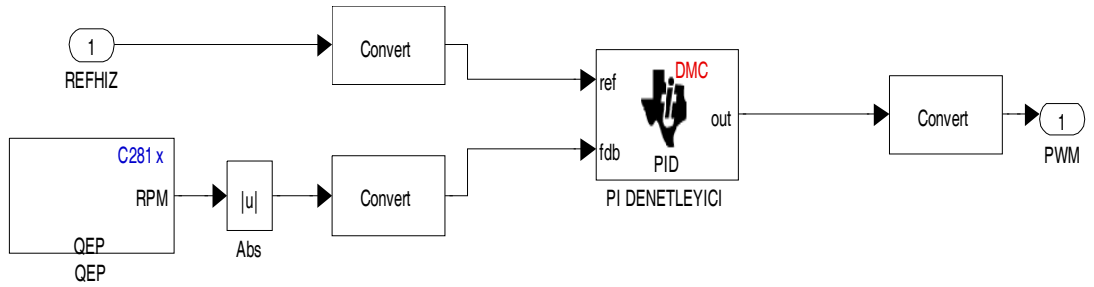
Aç kapa denetimde şekil 5.16.'da görüldüğü gibi referans gerçekte hızın hızı geçmesi durumunda çıkışın o diğer durumlarda belirlenen sabit DGM görev oranında çıkış üreten denetleyicidir.



Şekil 5.16. ARM hızının aç-kapa ile denetiminin blok diyagramı

5.7. ARM'nin Hızının PI İle Denetimi

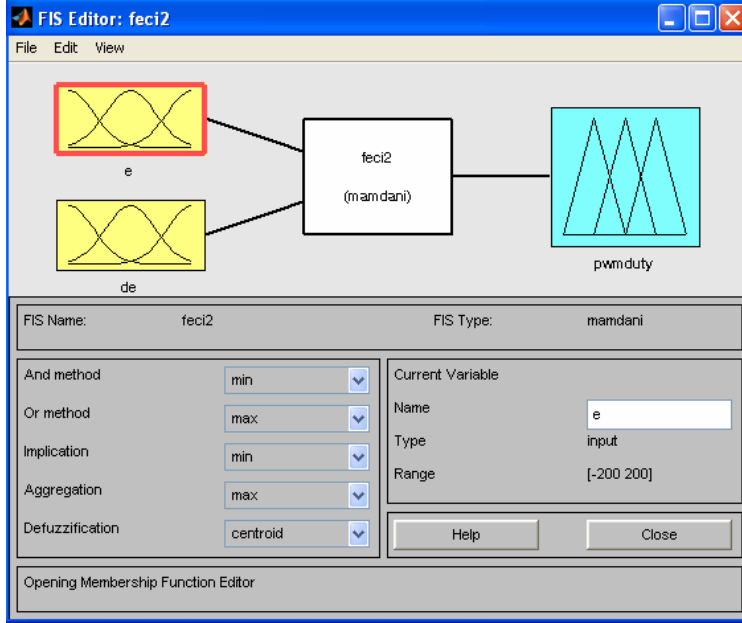
Oransal integral (PI) denetleyici okunan hız değerine istenen hız değeri arasındaki fark sinyaline göre yeni çıkış sinyalleri üretir. Şekil 5.17.'de kullanılan PI denetleyici görülmektedir.



Şekil 5.17. ARM hızının PI ile denetiminin blok diyagramı

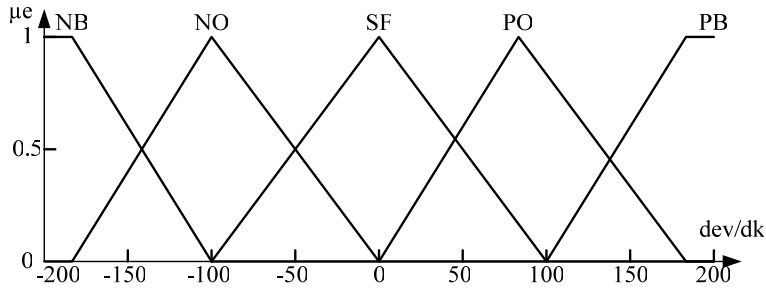
$$DGM = DGM + K_p * \Delta Hata + K_i * Hata M \quad (5.1)$$

ARM hızının PI ile denetlendiği sistemde kullanılan denetleyiciye ait eşitlik 5.1'de belirtilen katsayılar PI ayar blok parametreleri tarafından ayarlanmaktadır.

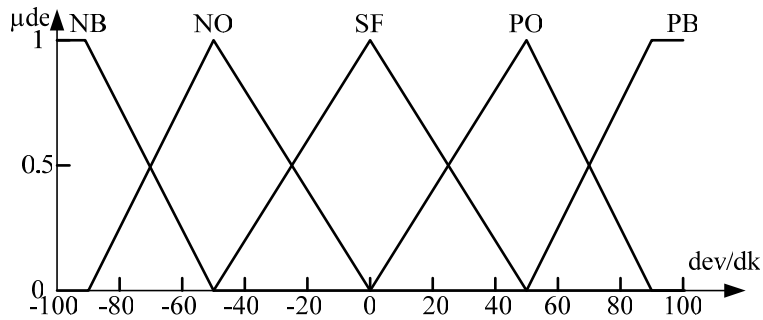


Şekil 5.20. ARM hız denetimi için kullanılan bulanık çıkarım sistemi

BMD denetiminin giriş değişkenleri olarak hızdaki hata ve bu hata miktarındaki değişim seçilmiştir (şekil 5.21. ve şekil 5.22.).

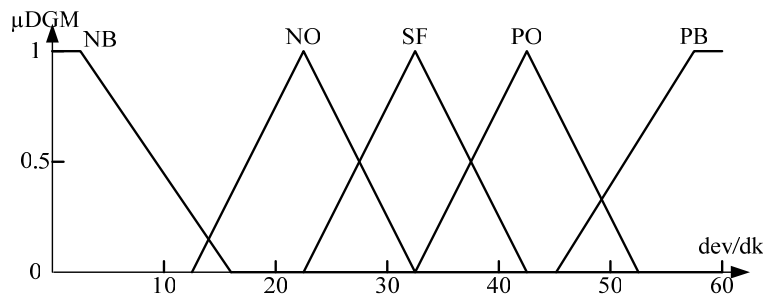


Şekil 5.21. ARM hızı hata üyelik fonksiyonları



Şekil 5.22. ARM hızındaki hata değişim üyelik fonksiyonları

Çıkış değişkenleri olarak ta DGM modülasyonunun görev saykılı tespit edilmektedir (şekil 5.23.). Giriş ve çıkış üyelik değişkenlerinde bir üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Bunlar Negatif Büyük(NB), Negatif Orta (NO), Sıfır (SF), Pozitif Orta (PO) ve Pozitif Büyüktür (PB). Sistemin kural tabanındaki kural sayısı $5 \times 5 = 25$ adettir. Bu kurallar çizelge 5.1.'deki verildiği gibi belirlenmiş ve şekil 5.24.'teki editör vasıtasıyla sisteme girilmiştir.

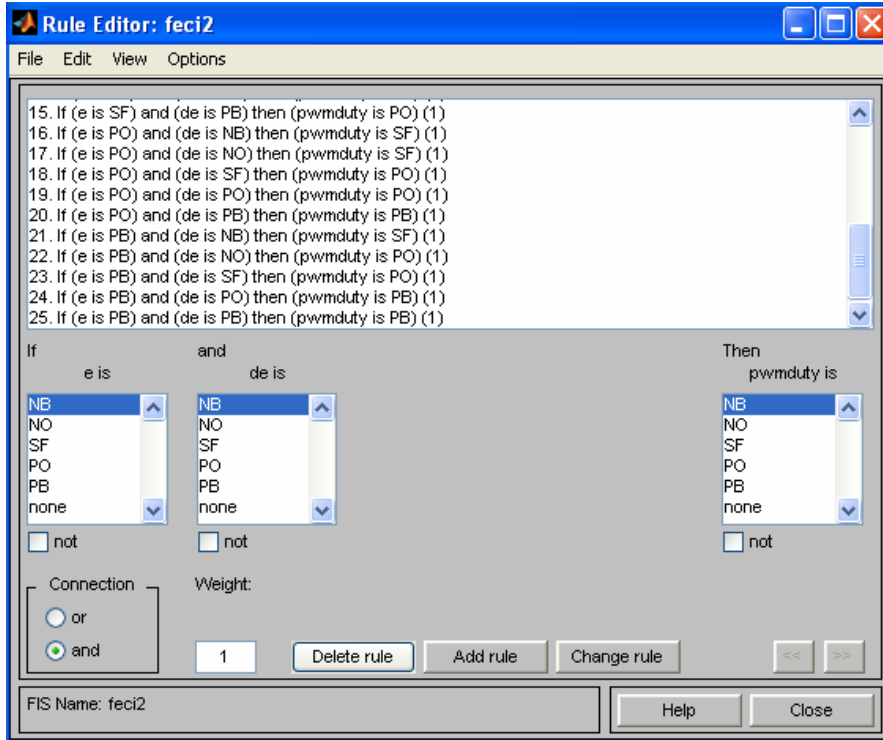


Şekil 5.23. ARM hız denetimi çıkışı DGM görev saykılı üyelik fonksiyonları

Çizelge 5.1. ARM hızı BMD'sine ait kural tabanı

(de) (e)	NB	NO	SF	PO	PB
NB	NB	NB	NO	SF	SF
NO	NO	NO	SF	SF	PO
SF	NO	NO	SF	PO	PO
PO	SF	SF	PO	PO	PB
PB	SF	PO	PO	PB	PB

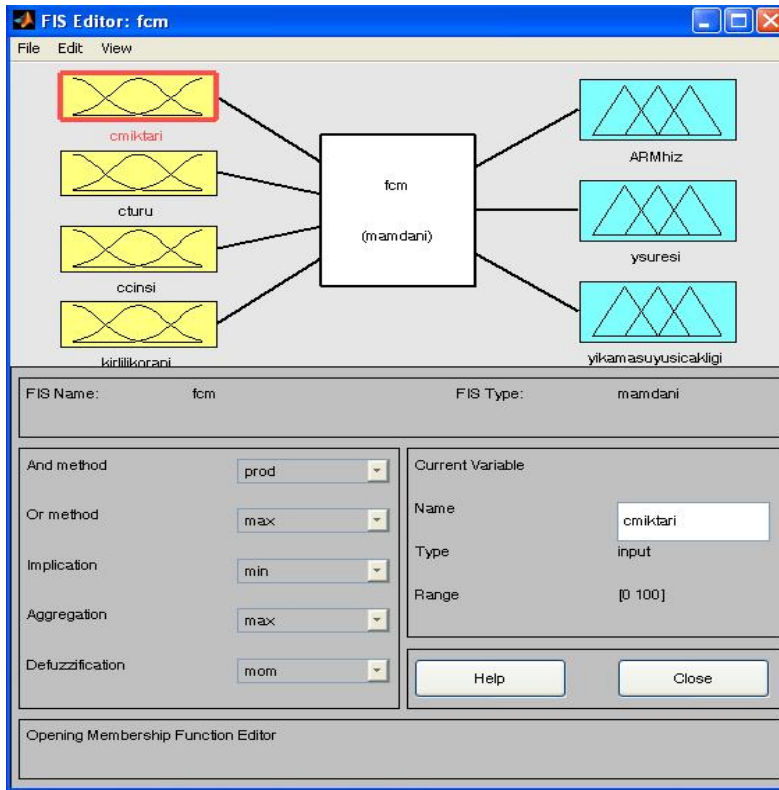
ARM hızı denetlenirken kullanılan çizelge 5.1.'de verilen kural tabanı oluşturulurken yükün doğrusal olmaması ve yükün değişmesi nedeniyle deneye dayalı yaklaşım kullanılmaktadır.



Şekil 5.24. ARM hızı BMD'sine ait kural tabanının oluşturulması

5.9. Yıkama Sürecinin BMD İle Benzetimi

BMD için Matlab Fuzzy Logic Toolbox'ın içinde yer alan FIS editör kullanılmıştır. Bu editör sayesinde tez çalışması için gerekli benzetim kolaylıkla gerçekleştirilmektedir. Giriş üyelik fonksiyonları, kural tabanı ve çıkış üyelik fonksiyonları FIS editör penceresi içerisinde ayarlanmaktadır. Şekil 5.25.' te verilen FIS editöründe giriş sayısı, giriş değişkenleri üyelik fonksiyonlarının tipleri, kural tabanı, kural tabanı içindeki ve (and) ve veya (or) seçimleri, çıkış sayısı ve çıkış üyelik fonksiyonlarının tipleri grafik kullanıcı ara yüzü ile kullanıcının istediği gibi tercih edilebilmektedir.



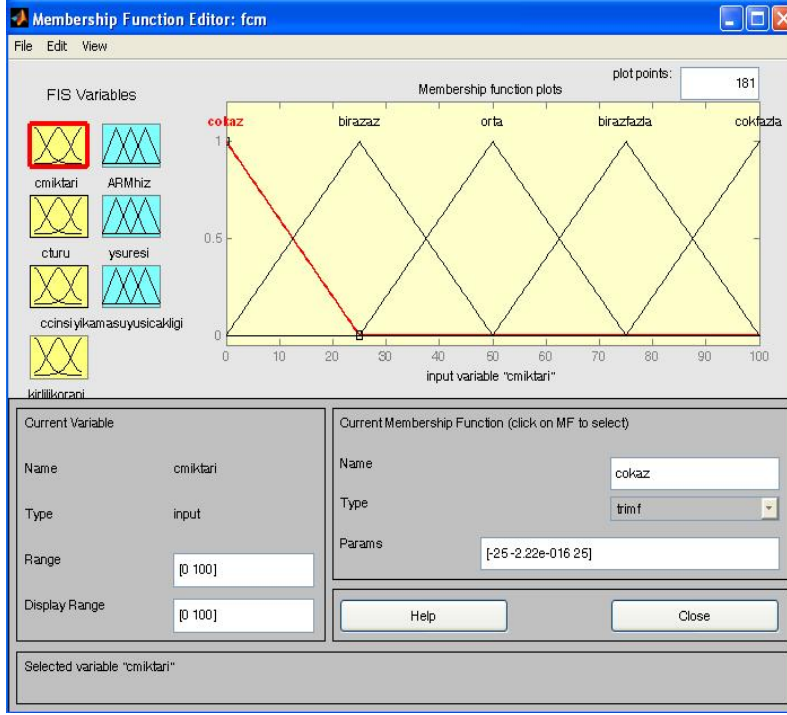
Şekil 5.25. FIS Editörün yapısı

5.9.1. Giriş ve çıkış üyelik fonksiyonlarının seçimi

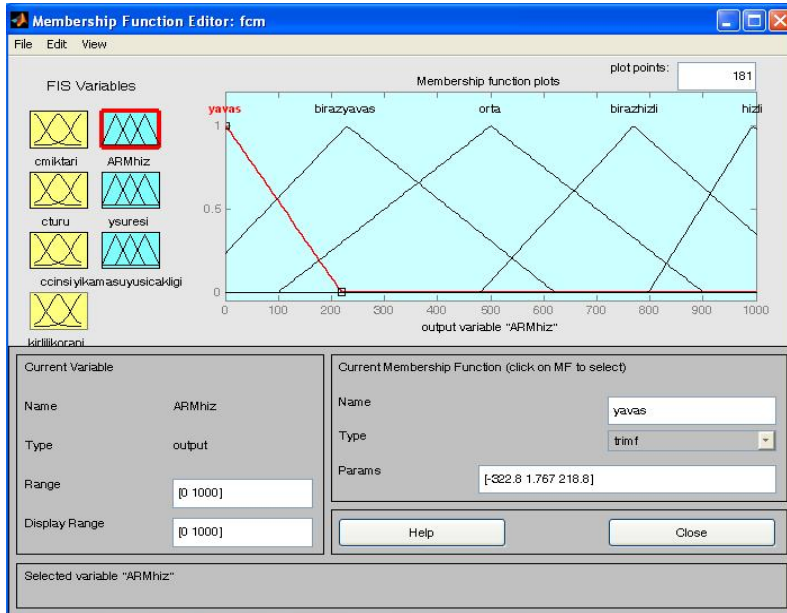
FIS editörün girişleri; çamaşırın miktarı, çamaşırın türü, çamaşırın cinsi ve kirlilik oranı seçilmiştir. FIS editörün çıkışları ise motor hızı, yıkama süresi ve yıkama suyu sıcaklığı olarak belirlenmiştir. Bulanık mantık denetleyicisinin çıkarım ünitesinde max-min çıkarım metodu, durulaştırma ünitesinde ise en büyük üyeliklerin ortalaması metodu kullanılmaktadır. Benzetim çalışmasında giriş ve çıkışlar için 5 kümeden oluşan yapılar tercih edilmiştir.

BMD'nin giriş üyelik fonksiyonları için üçgen dalga formu seçilmiş ve her bir giriş için bu tekrarlanmıştır. Şekil 5.26.'da çamaşır miktarı girişine ait üyelik fonksiyonu verilmiştir. Type seçeneğinden fonksiyonun her bir kümesinin türü Gaussian, yamuk, bell-shaped ya da sigmoid olarak ta seçilebilmektedir. FIS editöründe her bir kümenin başlama ve bitiş noktaları kullanıcı tarafından arzu edildiği gibi değiştirilebilmektedir. Şekil 5.27.'de ise ARM hızı çıkış üyelik fonksiyonu

görülmekte ve motor hızı 0 ile 1000 devir arasında değiştirilebilecek şekilde ayarlanmaktadır.



Şekil 5.26. Giriş üyelik fonksiyonları tipi ve küme sınırları

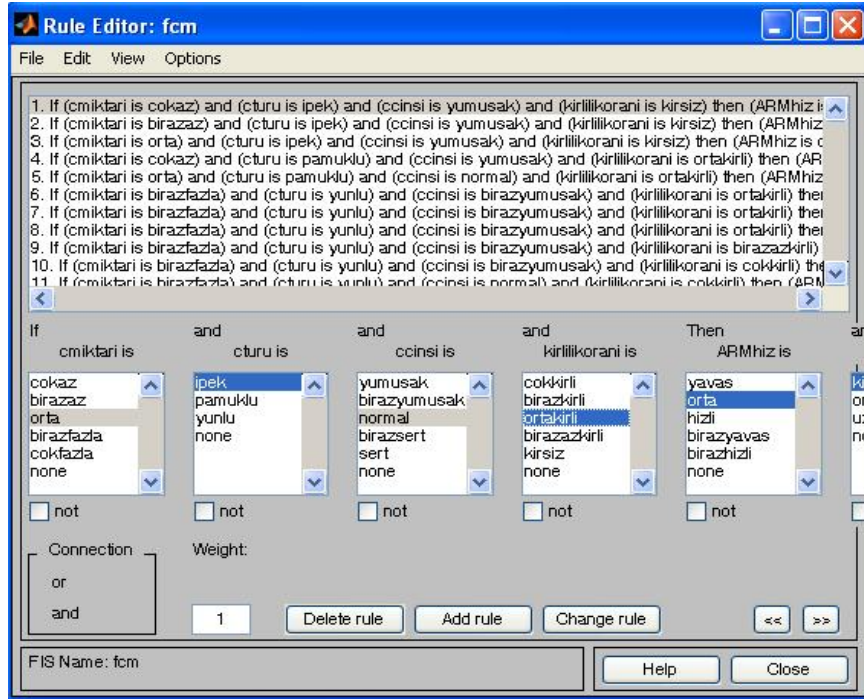


Şekil 5.27. Çıkış üyelik fonksiyonları tipi ve küme sınırları

5.9.2. Kural tabanının oluşturulması

FIS editörde giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları gerçekleştirildikten sonra şekil 5.28.'de görülen kural tabanı oluşturulmuştur. Bu taban oluşturulurken uzman bilgisi ve bu konuda yapılmış çalışmalar ön planda tutulmuştur.

Kural tabanını FIS editörde oluşturmak, geleneksel yazılımlar kullanarak bir program geliştirmekten çok daha kolaydır. FIS editörün, yeni kurallar eklemek, kuralları silmek ve değiştirmek gibi çok kullanışlı yapısı kullanıcıya büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

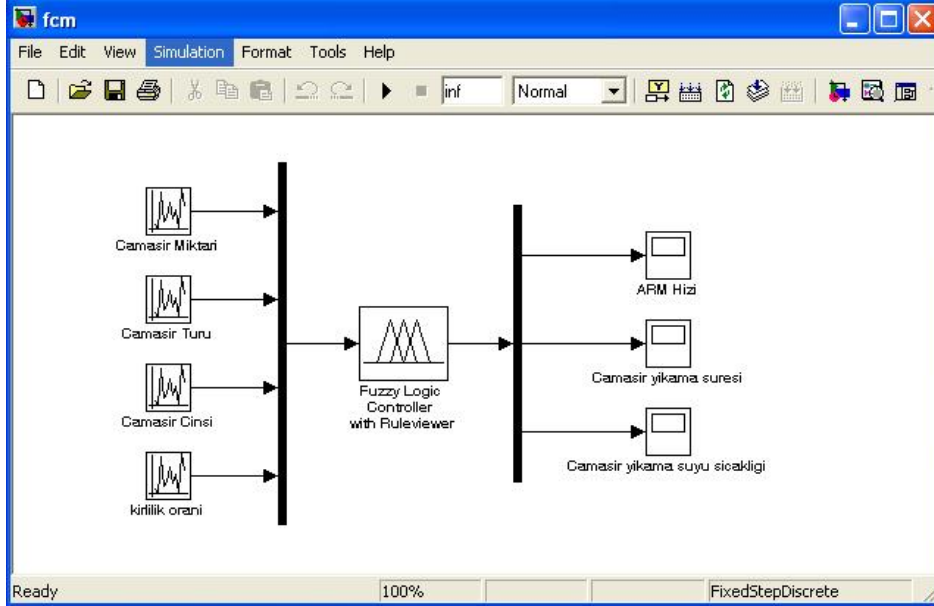


Şekil 5.28. Çamaşır makinesi için gerçekleştirilen BMD kural tabanı

5.9.3. Benzetimin Simulink modelinin oluşturulması ve yüklenmesi

Benzetim çalışmasının sonuçlarını kurallar düzeyinde görebilmek için Fuzzy Controller with Rule viewer bloğu tercih edilmiştir. Girişler için random sinyaller kullanarak giriş değişkenlerinin ihtimal dahilindeki bütün değerleri alabilmesi sağlanmıştır. Benzetim çalışmasının bu aşamasında Matlab Simulinkte çamaşır

makinesi için model oluşturulmuştur. BMD ile denetlenen bu model şekil 5.29.'da verilmektedir.

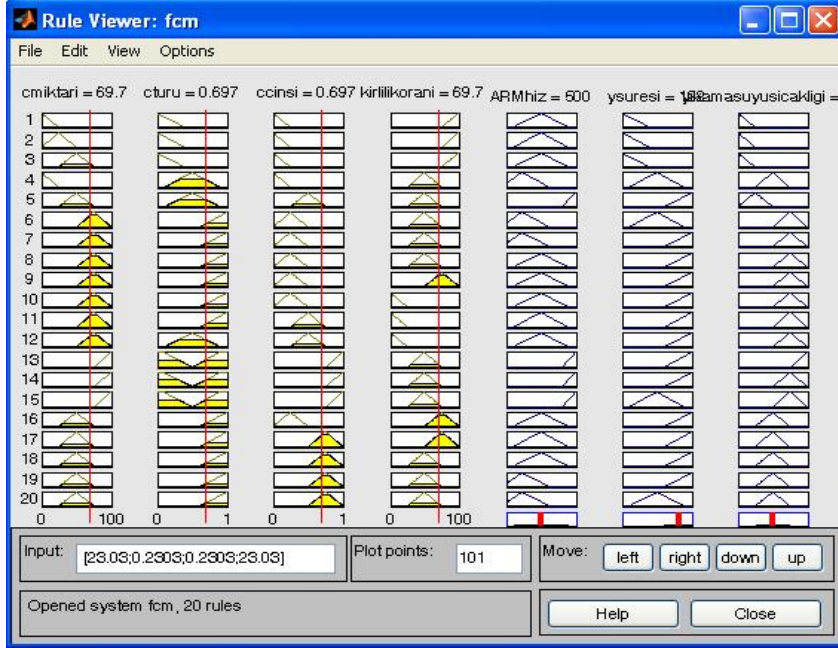


Şekil 5.29. Çamaşır makinesi için gerçekleştirilen BMD benzetimi

Benzetim için oluşturulan BMD Function Block Parameters penceresi aracılığı ile FIS matrix kısmına daha önceden hazırlanıp workspace'e atılmış BMD'nin adı yazılarak modele yüklenmektedir.

5.9.4. Benzetim çalışmasının sonuçları

Gerçekleştirilen benzetim çalışması sonucunda şekil 5.30.'da da görüldüğü gibi BMD'nin, çamaşır miktarı, türü, cinsi ve kirlilik oranı giriş değişkenleri ile motor hızı, yıkama süresi ve yıkama suyu sıcaklığı çıkış değişkenlerini oluşturulan kural tabanına göre denetlemektedir. Alınan verilere göre yıkama suyu sıcaklığı ve yıkama süresi çıkışlarının istenilen şekilde tasarruf sağlayıcı olduğu gözlenmektedir. Motor hızının belirlenmesinde, çamaşır türünün algılanmasının ya da kullanıcı tarafından belirlenmesinin çamaşırın zarar görmemesi açısından yeniden değerlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca motor hızının belirlenmesi ile ilgili olarak yıkama sürecinin takip edilmesi gerekliliği gözlenmiştir. Yıkama süreci ile ilgili çalışmalar uygulama aşamasında değerlendirilmiştir.



Şekil 5.30. Çamaşır makinesi için gerçekleştirilen BMD benzetiminin kural görüntüleyicisi.

5.10. EÇM'nin Yıkama Süresinin Denetimi

Yıkama sürecinin denetiminde giriş olarak kullanılan EC 500 algılayıcısının teknik özellikleri çizelge 5.1.'de görülmektedir.

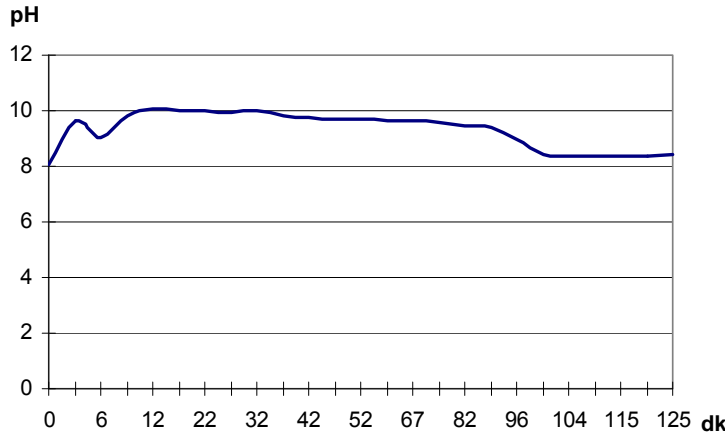
Çizelge 5.2. EC 500 teknik özellikleri

Algılayıcı	Özellik	Değer
pH Algılayıcısı	pH ölçüm aralığı	0.00 dan 14.00 a
	pH ATC değerleri	0°C den 90°C ye
	pH doğruluğu	±0.01 pH
İletkenlik Algılayıcısı	İletkenlik ölçüm aralığı	0 dan 1999µS/cm
	TDS değerleri	0 dan 99.9ppm ve ya mg/L
	Tuzluluk değerleri	0 dan 99.9ppm
	İletkenlik ATC	Derece °C başına 2,0%
	ATC iletkenlik değerleri	0.0°C den 60.0°C ye
	Doğruluk	İletkenlik: ±2% tam ölçek TDS: ±2% tam skalada Tuzluluk: ±2% tam skalada
Sıcaklık Algılayıcısı	Sıcaklık ölçüm aralığı	-5.0°C den 90.0°C ye
	Sıcaklık çözünürlüğü	0.1 den 99,9 a kadar, 1>100
	Sıcaklık doğruluğu	±1°C; (-5 ten 50°C arasında) ±3°C; (50 den 90°C arasında)

5.10.1. pH ölçümü

pH suyun asitlik veya bazlık durumunu gösteren logaritmik bir ölçüdür. Çözeltide bulunan H⁺ iyonu konsantrasyonunu ifade eder. Saf su H⁺ ve OH⁻ iyonları açısından dengededir ve pH değeri 7'dir. pH, H⁺ iyonlarının elektrik potansiyellerine bağlı olarak veya renk indikatörleri (örn;fenolfitalein) ile ölçülebilir. pH < 7 ise ortam asidiktir. pH > 7 ise ortam baziktir.

Yıkama esnasında kullanılan deterjanlar suda bazik özelliği öne çıkartmaktadır. Zamanla deterjanın çamaşır kirleriyle tepkimeye girmesi suyun pH değerini değiştirecek ve temizleme kapasitesi azalacaktır. Bu parametre de yıkama sürecinin uzunluğunun belirlenmesinde önemli bir yere sahip olacaktır.



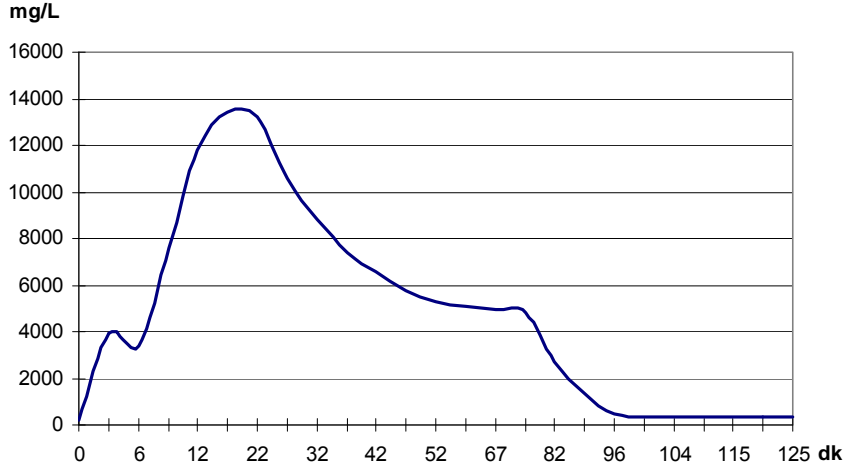
Şekil 5.31 pH ile yıkama süreci arasındaki ilişki

Deterjanın pH değerini arttırdığı şekil 5.31.'de görülmektedir. Zamanla deterjan kir topları oluştururken bazik özelliğini kaybetmektedir.

5.10.2. Toplam çözünmüş katılar (TDS)

Sudaki toplam çözünmüş katılar, inorganik tuzları ve az miktarda organik maddeleri içerirler. Çözünmüş inorganik maddeler suda iyon olarak bulunur. Suda bilinen en genel iyonlar şu şekildedir; KATYONLAR : Ca⁺², Mg⁺², Na⁺², Fe⁺², Mn⁺²; ANYONLAR : Bikarbonat HCO₃⁻, Cl⁻¹, SO₄⁻², NO₃⁻ Nitrat, CO₃⁻² Karbonat

Bunların yanında sular ağır metal iyonlarını (kurşun, civa, kadmiyum vb.) ve organik maddeleri de içerebilmektedir.

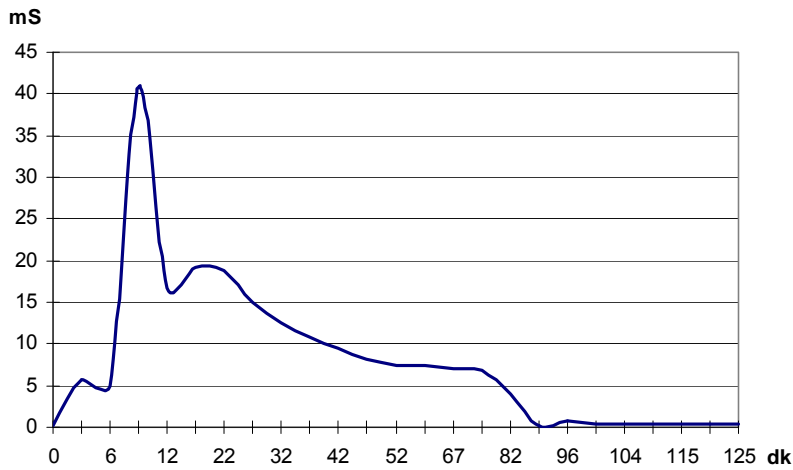


Şekil 5.32. TDS ile yıkama süreci arasındaki ilişki

En belirgin sonuçlardan biri de şekil 5.32.'de görülen TDS değişim sürecidir. Çamaşır kiri bıraktıkça suyun TDS değerinin azaldığı görülmektedir.

5.10.2.1. İletkenlik

İletkenliği suyun içerdiği çözülmüş iyonların miktarını belirlemektedir. Su saflaştıkça iletkenlik azalır. Birimi direnç biriminin tersi olup, $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir. Özellikle; deterjanın temizleme etkisinin devam edip etmediği ve yıkama sürecinin bitirilmesi için gerekli verileri sağlayacak kolay ölçülebilen bir parametredir.



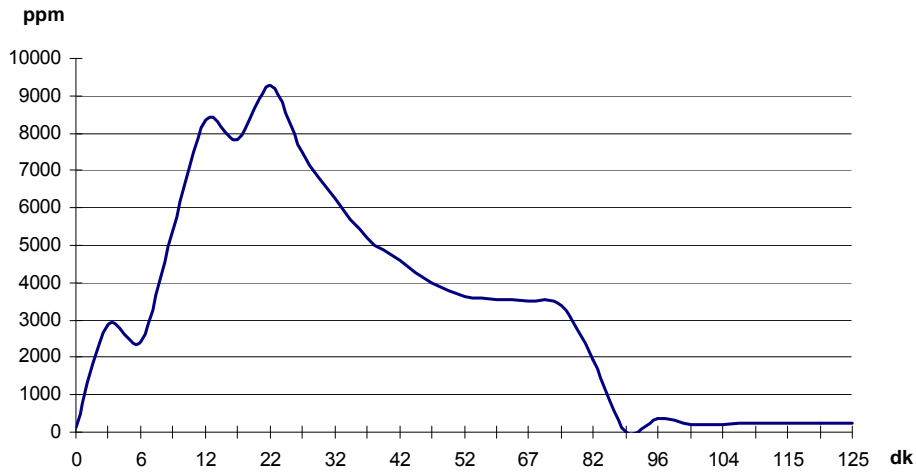
Şekil 5.33. İletkenlik ile yıkama süreci arasındaki ilişki

İletkenlikte aynen TDS gibi çok belirgin sonuçlar vermektedir. Şekil 5.33.'te görülen değerler kirin iletkenliği arttırdığı fakat zamanla sudaki kir oranı yüksek dahi olsa deterjanın etkisiyle sudaki iyonların azaldığı ve iletkenliğin de azaldığı görülmektedir.

5.10.3. Tuzluluk

Sudaki tuz miktarını ifade etmektedir. İletkenlikle bağlantılı olup suyun deterjan ile tepkimesinden etkilenmektedir.

Şekil 5.34.'te tuzluluk ile yıkama süreci arasındaki ilişki görülmektedir. TDS, iletkenlik ve tuzluluk arasında çok yakın bir ilişki bulunduğu görülmektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi tuzlulukta süreci belirlemek için kullanılacak parametrelerden biri olabilir.

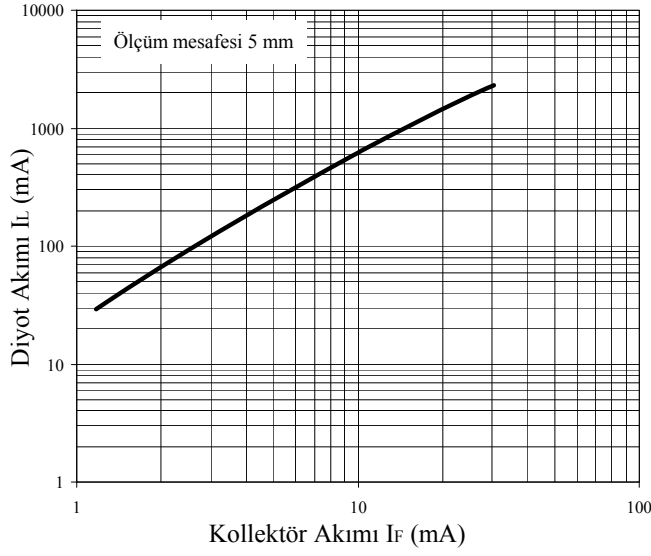


Şekil 5.34. Tuzluluk ile yıkama süreci arasındaki ilişki

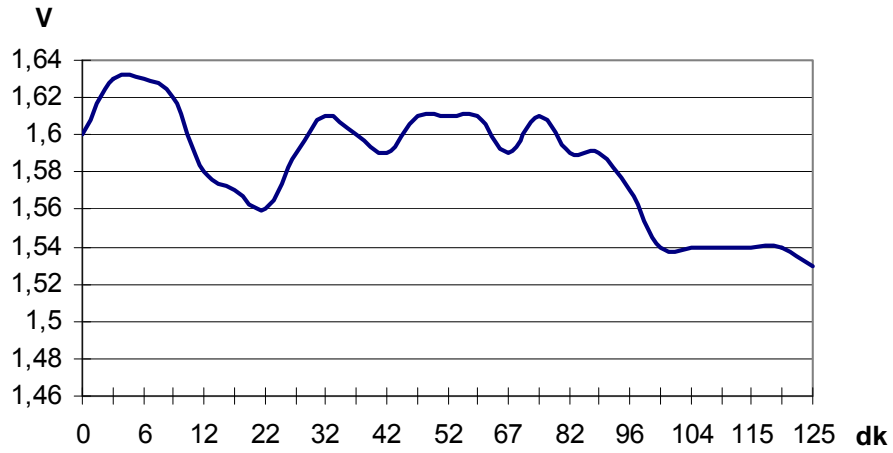
5.10.4. Bulanıklık

Bulanıklık, askıda katı madde içeren suların ışık geçirgenliğinin bir ölçüsüdür. Bulanıklığın nedeni; suyun içindeki askıda maddelerden, gözle görünecek büyük tortulara kadar her şey olabilmektedir. Kum, kil, silis, kalsiyum karbonat, demir, mangan, sülfür vb. gibi maddeler bulanıklığa neden olmaktadır.

Çamaşırdaki katı kirlerin çözünmesi suda bulanıklığa neden olan en önemli etkidir. Kir unsurunun bulanıklığı değiştirmesi nedeniyle bu özellik ölçülmektedir. Suyun bulanıklığının ölçümünde kirli ortamlara ve sıkı montaja uygun EE-SF5(-B) algılayıcısı kullanılmıştır. Şekil 5.35.'te özelliği verilen algılayıcı paslanmaz çelik tambura 5mm mesafe uzaklığa gelecek şekilde bağlanmıştır.



Şekil 5.35. Bulanıklık ölçmede kullanılan algılayıcının karakteristiği

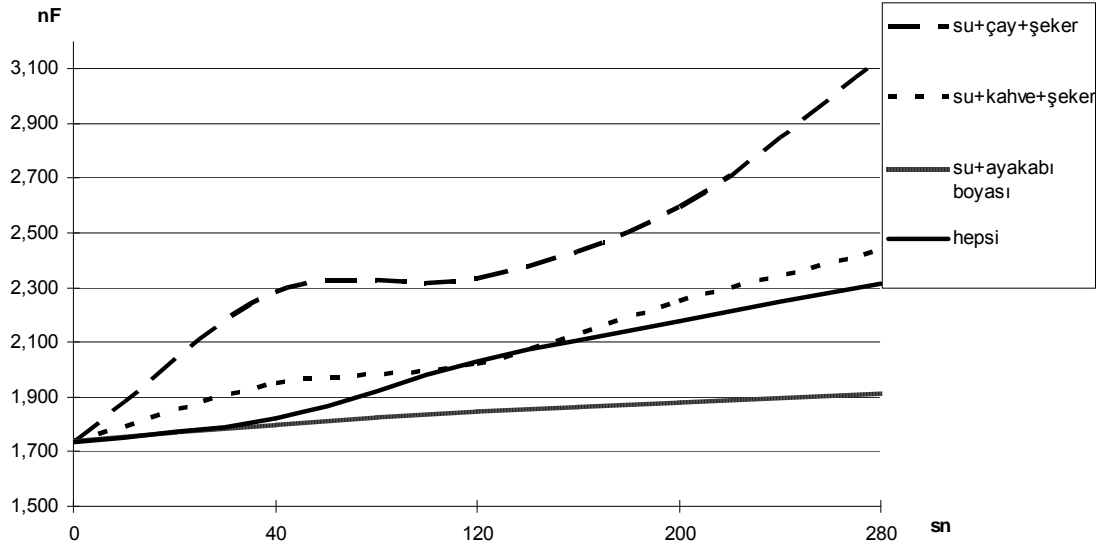


Şekil 5.36. Bulanıklık ile yıkama süreci arasındaki ilişki

Yapılan deneysel çalışmada 5mm mesafeden suyun bulanıklığı ölçülmüştür. Şekil 5.36.'da görülen grafikteki gibi çıkışlar elde edilmiştir. Ölçüm sonuçları gerilim olarak alınmıştır. Gerilimdeki yükselme bulanıklık, düşme ise şeffaflık ölçüsüdür.

5.10.5. Kapasitans

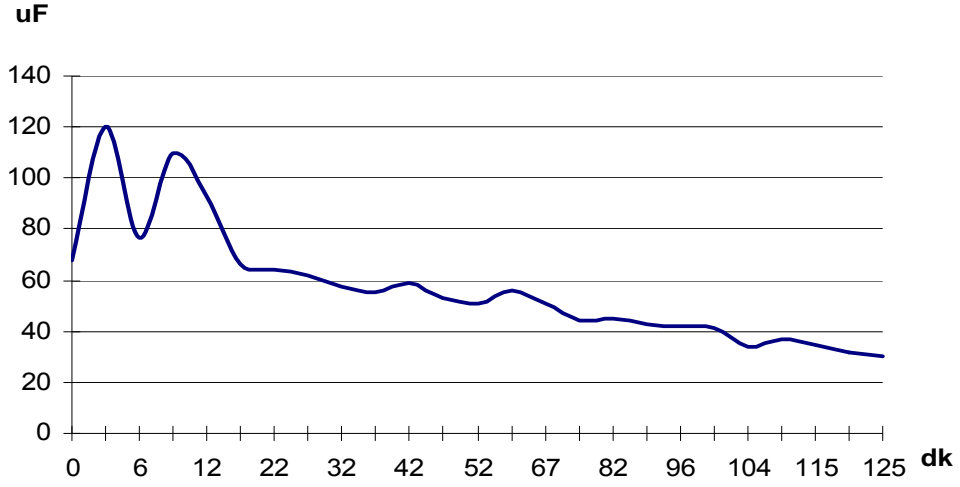
Suyun kirliliği ile kapasitenin değiştiği tespit edilmiştir. Bununla ilgili olarak önce su, çay, şeker, kahve ve ayakkabı boyası ile bir deney gerçekleştirilmiş ve şekil 5.37.'deki grafik elde edilmiştir. Böylece kapasitans ile kirlilik arasındaki ilişki geliştirilmiştir.



Şekil 5.37. Su kirliliği ile kapasitans ilişkisi

Suyun kirliliğinin kapasitansı etkilediğinin anlaşılması ile yıkama süreci ile kapasitans arasındaki ilişki gözlemlenmiş ve şekil 5.38.'deki veriler elde edilmiştir.

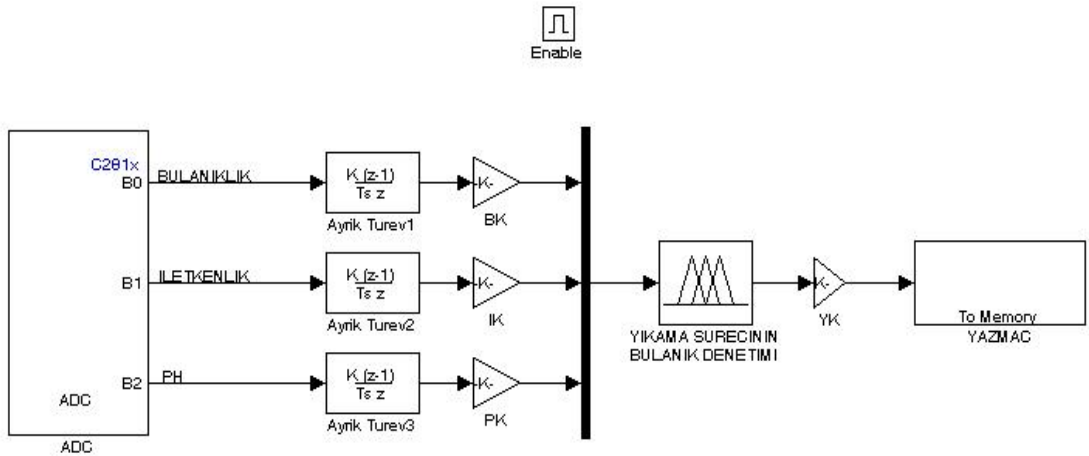
Elde edilen verilerden su kirlendikçe kapasitenin azaldığı ölçülmektedir. Kapasite değerinin kirlenme anından itibaren düştüğü ve 10sn süre içerisinde sabitlendiği görülmektedir.



Şekil 5.38. Kapasite ile yıkama süreci arasındaki ilişki

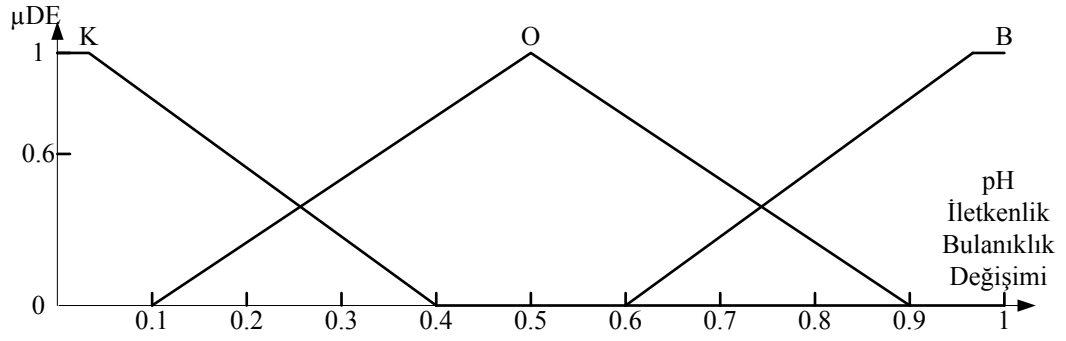
5.11. EÇM'nin Yıkama Süresi Tahmininin BMD ile Gerçekleştirilmesi

EÇM' de yıkama süresinin BMD ile denetimi için şekil 5.39.'daki Matlab simulink modeli kullanılmaktadır. EÇM'nin gövdesi ile tambur arasında kalan ve tabana yakın olan konuma yerleştirilen sensörlerden alınan girişler Sİİ'nin ADC girişleri ile denetleyici sisteme alınmaktadır. Sensörlerden gelen verilerin değişimleri Matlab Simulink programındaki bloklar kullanılarak hesaplanmakta ve BMD'nin girişine uygulanmaktadır.

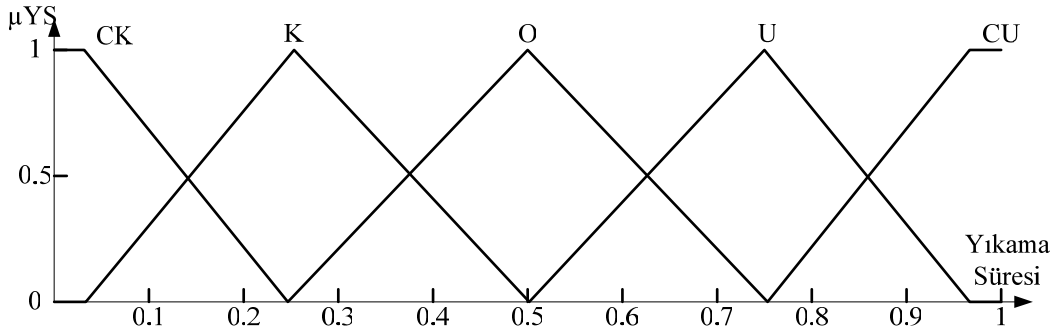


Şekil 5.39. Yıkama süresinin bulanık denetimi

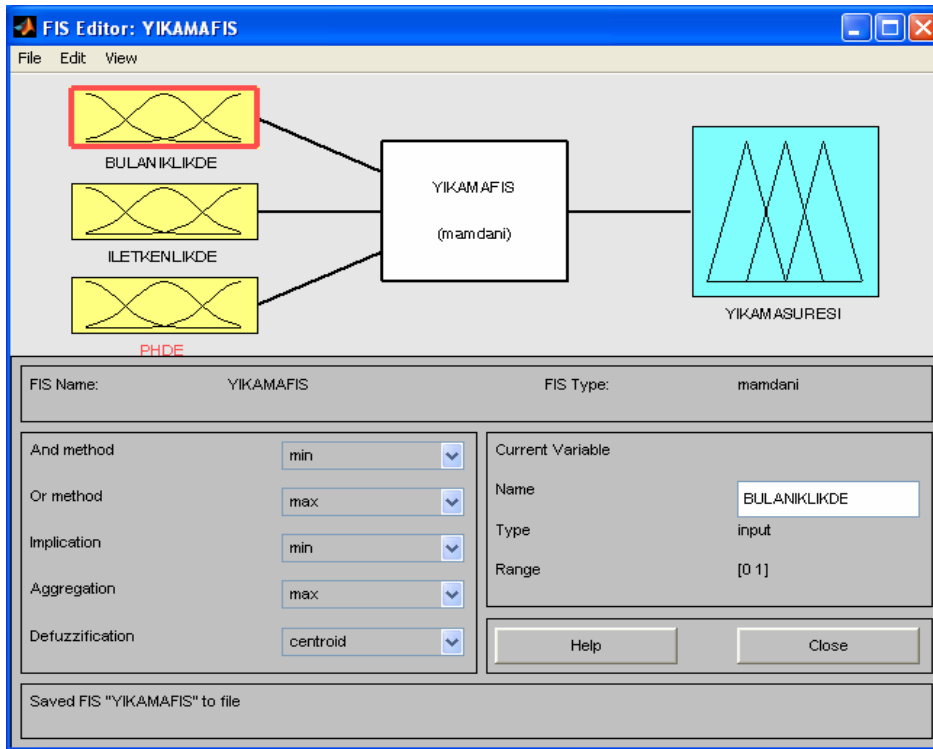
BMD denetiminin giriş değişkenleri olarak bulanıklık, iletkenlik ve pH değerindeki değişim miktarı seçilmiştir (şekil 5.40., şekil 5.41. ve şekil 5.42.). Çıkış değişkenleri olarak da EÇM'nin yıkama süresi tespit edilmektedir. Giriş değişkenlerinin üyelik fonksiyonları küçük, orta ve büyük olarak belirlenmiştir. Çıkış değişkeninin üyelik fonksiyonları ise çok kısa, kısa, orta, uzun ve çok uzun olarak seçilmiştir.



Şekil 5.40. Yıkama Süresi denetimi giriş üyelik fonksiyonları



Şekil 5.41. Yıkama Süresi denetimi çıkış üyelik fonksiyonları



Şekil 5.42. Yıkama süresinin Bulanık Çıkarım Sistemi ile belirlenmesi

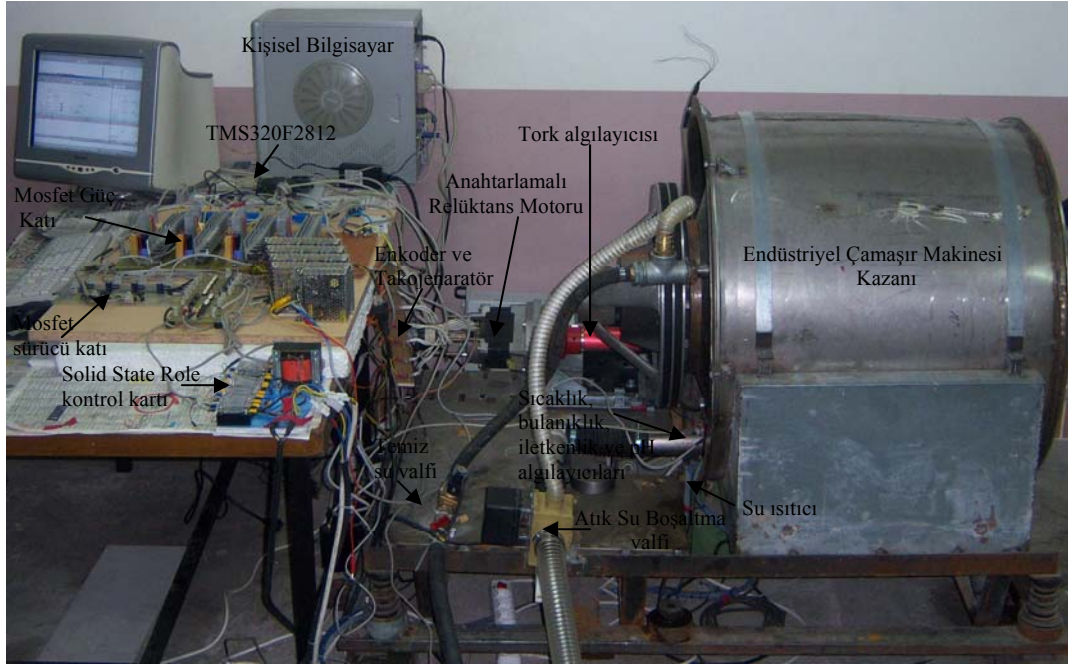
Sistemin kural tabanındaki kural sayısı $3 \times 3 \times 3 = 27$ adettir (çizelge 5.3.). Kural tabanı oluşturulurken çamaşır deterjanı üretimi ve su arıtma sektöründe faaliyet gösteren Damla Kimya Ltd. Şti. bünyesinde çalışan uzmanlar ile görüşülmüştür. Uzman görüşü, çamaşır deterjanının ve kirlerin su içerisinde bulanıklık ve pH değerlerinin baskın olduğunu ortaya koymaktadır. Kural tabanı bu görüşlere göre belirlenmiştir. Örneğin, iletkenlikteki değişim büyük ve pH'taki değişim küçük ve bulanıklıktaki değişimde küçük ise yıkama süresi de çok kısa yıkama programı seçilmektedir. İletkenlikteki değişim küçük ve pH'taki değişim büyük ve bulanıklıktaki değişimde büyük ise yıkama süresi de çok uzun yıkama programı seçilmektedir. BMD girişlere göre yıkama süresini her 30sn de bir dinamik olarak yeniden hesaplamaktadır. Böylece yıkama işlemi, belirli bir süre boyunca değil çamaşırdan kir çıkartılabildiği sürece gerçekleştirilmektedir. En uzun yıkama süresi değeri Sİİ içerisinde bir yazmaç içerisinde saklanmaktadır. Yıkama süresi bu sürenin üzerine çıktığı zaman EÇM bir sonraki işleme geçmektedir.

Çizelge 5.3. Yıkama süresinin tahmini BMD'sine ait kural tabanı

İ L E T K E N L İ K	P H	BULANIKLIK		
		K	O	B
K	K	CK	CK	K
K	O	CK	O	O
K	B	K	O	U
O	K	CK	K	O
O	O	K	O	U
O	B	O	U	CU
B	K	CK	K	U
B	O	K	O	CU
B	B	U	CU	CU

6. EÇM TEST SONUÇLARI

ARM kullanılarak gerçekleştirilen EÇM'nin genel görüntüsü resim 6.1.'de görülmektedir. Gerçekleştirilen sistemden faz akımları, faz gerilimleri, tork, hız ve kirlilik değerleri ölçülmektedir. Ölçümler yapılırken sistemin mekaniksel yapısı ve EÇM'nin çalışma sistematigi değerlendirilerek sınıflandırılmıştır. Yıkama modunda tambur sıkma yönüne dönerken ve sıkma yönünün tersine dönerken ölçümler alınmıştır. Bunun nedeni sistemin mekaniksel yapısının sıkma yönüne dönecek şekilde tasarlanmasından kaynaklanmaktadır. Sıkma anı ölçümleri de çalışma yapısının yıkama modundan farklı olmasından dolayı kaydedilmektedir.



Resim 6.1. Sistemin genel fotoğrafı

Sistem kişisel bilgisayar üzerinden gerçekleştirilen yazılımların Sİİ üzerine yüklenmesi ile çalışmaktadır. Çalıştırılan sistemin ölçümleri ayrıık şase sağlaması açısından şebeke gerilimi kesilmiş bir dizüstü bilgisayar tarafından kaydedilmektedir. Gerçekleştirilen ölçümlerde Fluke 434 ölçü aleti ve Picoscope 3423 veri alış-veriş kartı kullanılmaktadır.

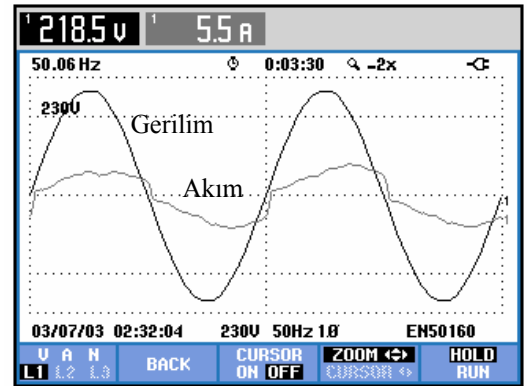
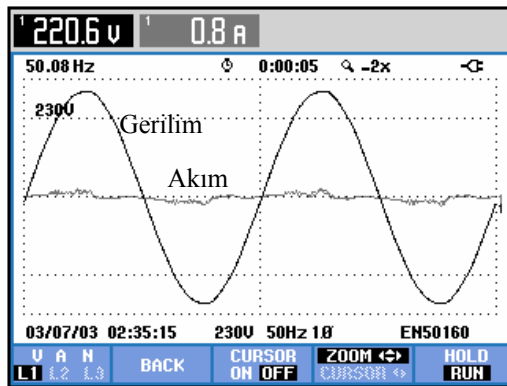
6.1. Elektriksel Ölçümler

Elektriksel ölçümler herhangi bir dönüştürücüye ihtiyaç duymadan Picoscope 3423 ve Fluke 434ölçü aletleri ile kaydedilmiştir. Ölçümler akım ve gerilim, enerji ve güç ölçümleri olarak sınıflandırılmıştır. Güç ve enerji ölçümleri Fluke 434 ile akım ve gerilim ölçümleri ise Picoscope 3423 ile yapılmıştır.

6.1.1. Akım ve Gerilim ölçümleri

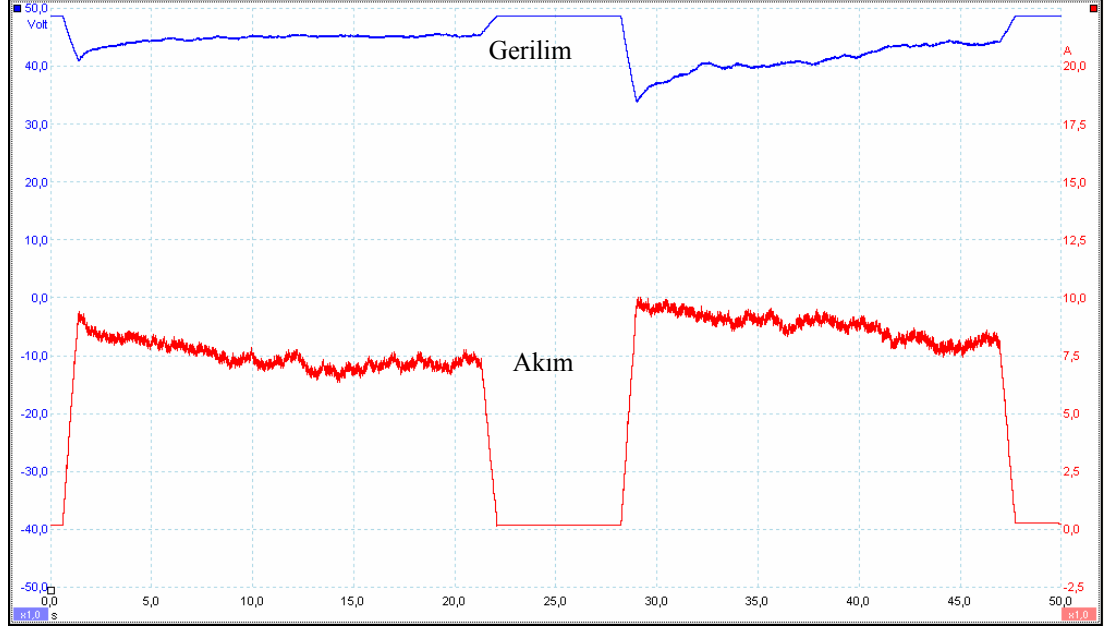
Akım ölçümleri 4 adet 10mV/A Fluke akım pensi aracılığı ile ölçülmektedir. Pens ampermetreler Picoscope 3423'ün girişlerine bağlanmış ve ara yüz yazılımında uygun kademelendirme yapılmıştır. Gerilim ölçümleri ise standart osilaskop propları ile X10 kademesinde ölçülmüştür.

Sistem çalışmaya başladığı anda şebeke gerilimi ve akımı şekil 6.1(a)'da görülmektedir. ARM ve EÇM çalıştırılması için yapılan denetim devrelerin çektiği 0,8 A'dir. EÇM yıkama moduna geçtiği anda şekil 6.1.(b)'de görüldüğü gibi 5,5 A akım çekmekte ve akım gerilimin gerisine düşmektedir. Ayrıca gerilimde 2 V çökme meydana gelmektedir.



Şekil 6.1. a) Sistem çalışırken ve motor dönmez iken şebeke gerilimi ve akımı
b) Sistem ve motor çalışırken şebeke gerilimi ve akımı

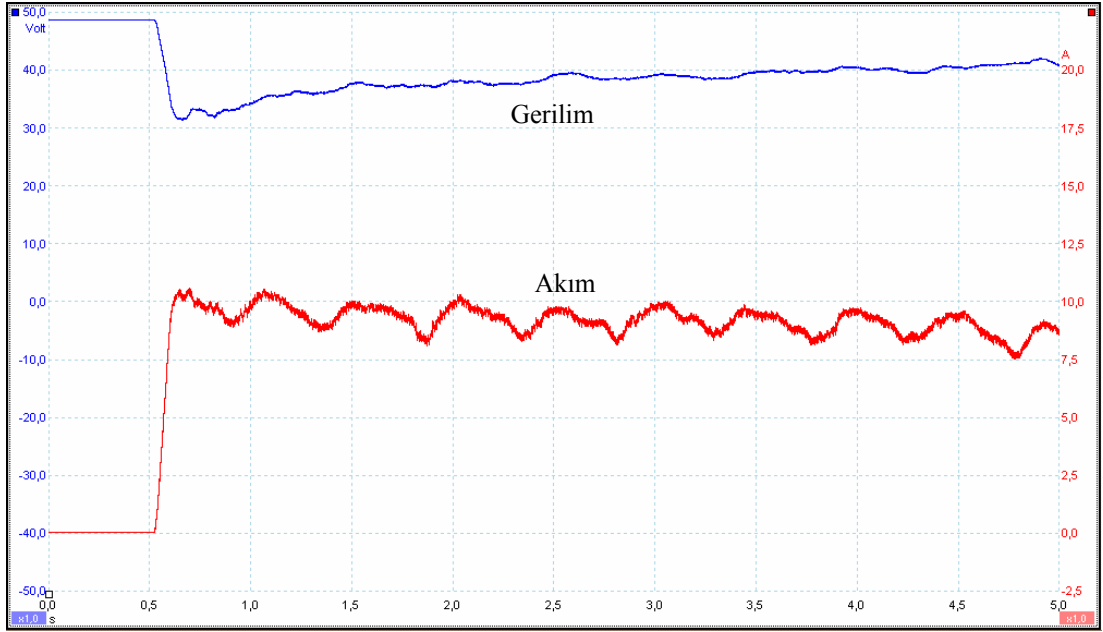
ARM sürücü devresinin beslemesinde kullanılan 48V güç kaynağı çıkışı motor sıkma yönü ve tersine dönerken şekil 6.2.' de görülmekte ve akım sinyallerinde olduğu gibi farklı tepkiler vermektedir. Motor sıkma yönünün tersine dönerken 12V'luk çökme meydana gelmektedir. Çekilen akımlar arasında 2A fark olmaktadır.



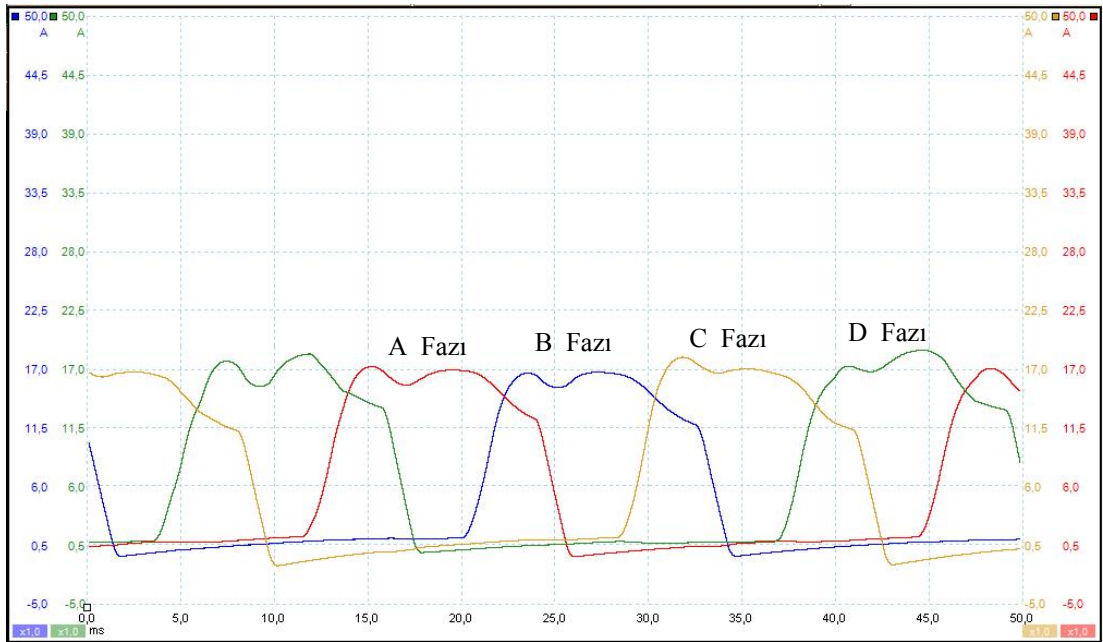
Şekil 6.2. Yıkama modunda güç kaynağı akım ve gerilimi

Sistemin yıkama modunda güç kaynağı çıkışı akım ve gerilim eğrileri şekil 6.3.' ten incelendiğinde çamaşırın oluşturduğu dengesiz yük dalgalanmalarına neden olmaktadır. Sistemde kullanılan güç kaynağı sistem için yeterli gerilim ve akımı sağlamakla birlikte ARM için tasarlanacak güç kaynağı sistemin daha dengeli çalışmasına neden olacaktır. Akımdaki değişimler var olmaya devam edecek olsa da gerilimdeki dalgalanmalar yok olacaktır.

ARM faz akımları yıkama modunda motor sıkma yönüne dönerken şekil 6.4.'te görüldüğü gibi ölçülmüştür. Motor dakikada 360 devir ile dönmektedir.

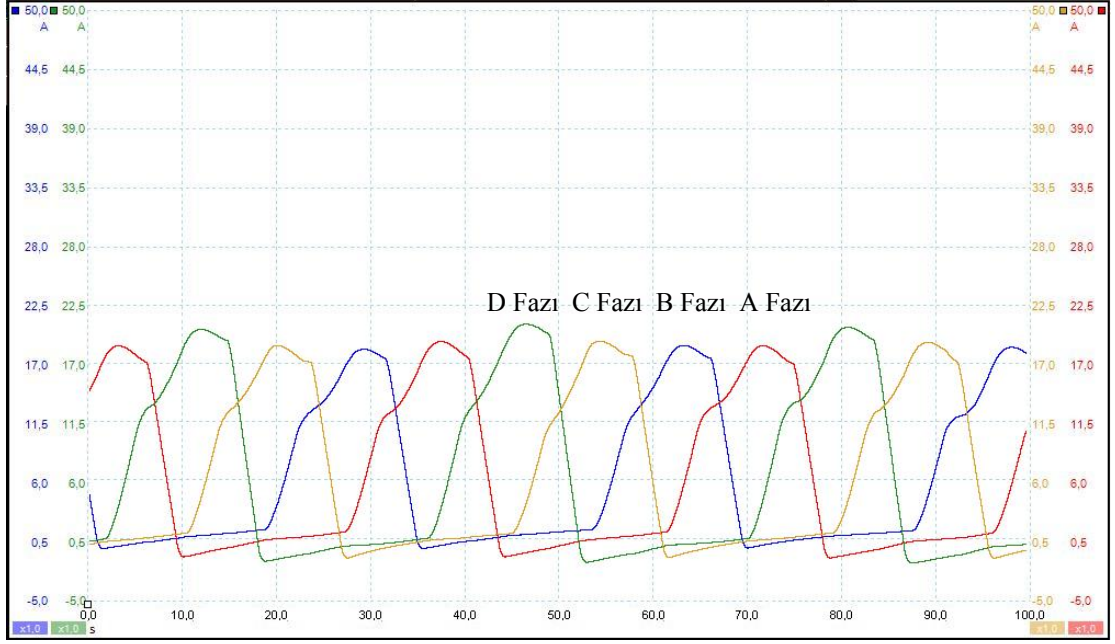


Şekil 6.3. Yıkama modunda güç kaynağı çıkış gerilimi ve akımı



Şekil 6.4. Yıkama modunda motor sıkma yönünde dönerken faz akımları

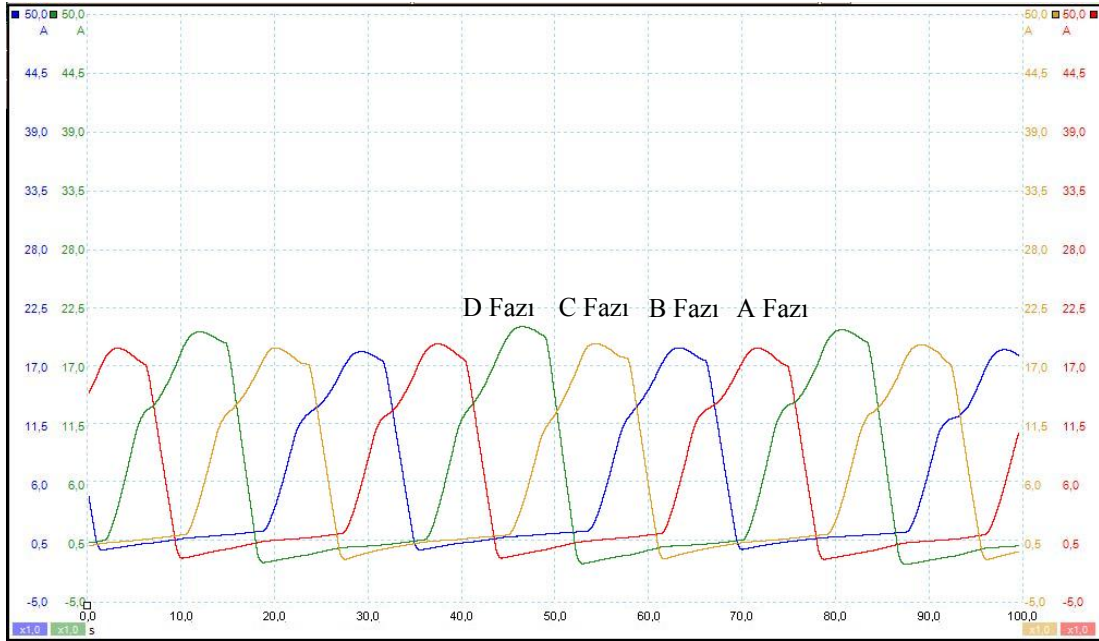
Faz akımları sıkma yönüne dönerken 20 A ile sınırlanmaktadır. Motor sıkma yönünün tersine dönerken mekaniksel tasarımdan kaynaklanan fazladan güç gerektirdiğinden motor faz akımları 30 A ile sınırlandırılmıştır. Motor şekil 6.5.'te motor sıkma yönünün tersine dönerken faz akımlarının 10 A arttığı görülmektedir.



Şekil 6.5. Yıkama modunda motor sıkma yönü tersine dönerken faz akımları

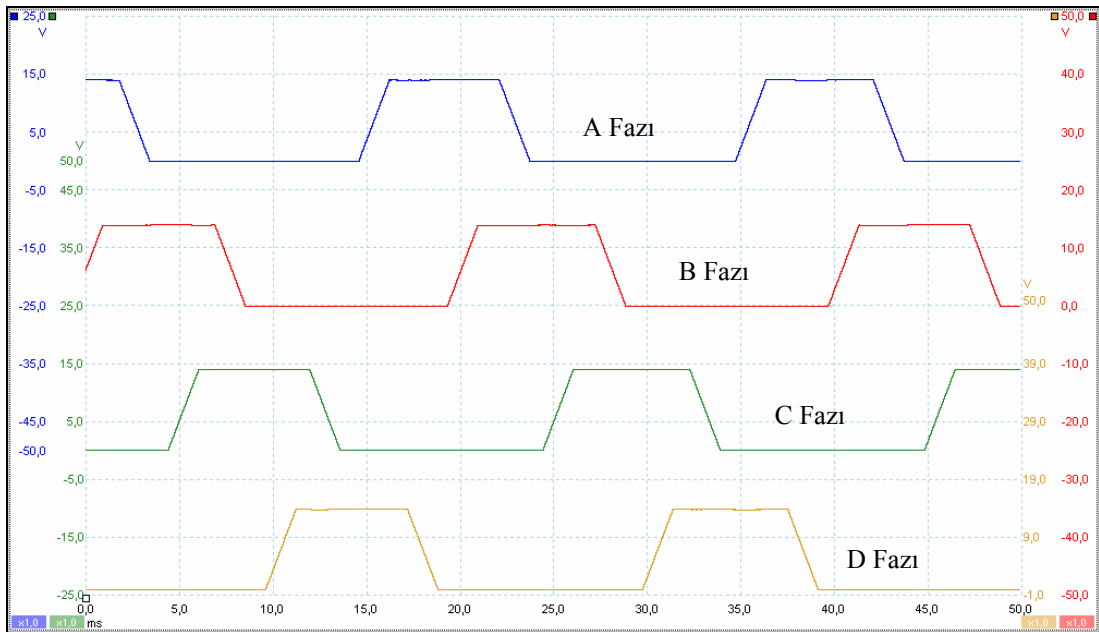
ARM'nin faz akımları incelendiğinde motor sıkma yönü tersine dönerken akım faz sıralarının ters sırayla geldiği görülmektedir. Sürülen fazın bobininde oluşan başlangıç anı tepkisi ve yüksek tork elde etmek için fazların çakışık sürülmesi akım dalgalarındaki yükselmelere neden olmaktadır.

Çamaşır makinesi sıkma moduna geçtiğinde tambur içerisindeki su boşaltıldığı için yük azalmaktadır. Ayrıca yüksek hızda çalıştığı için yük dengeli bir yük gibi davranmaktadır. Bu nedenlerden dolayı sıkma modu ARM'nin en az akım çektiği moddur. Sıkma modunda faz akımları 15 A kadar düşmektedir. Faz akımlarının sıkma modundaki dalga şekilleri şekil 6.6.'da görülmektedir.

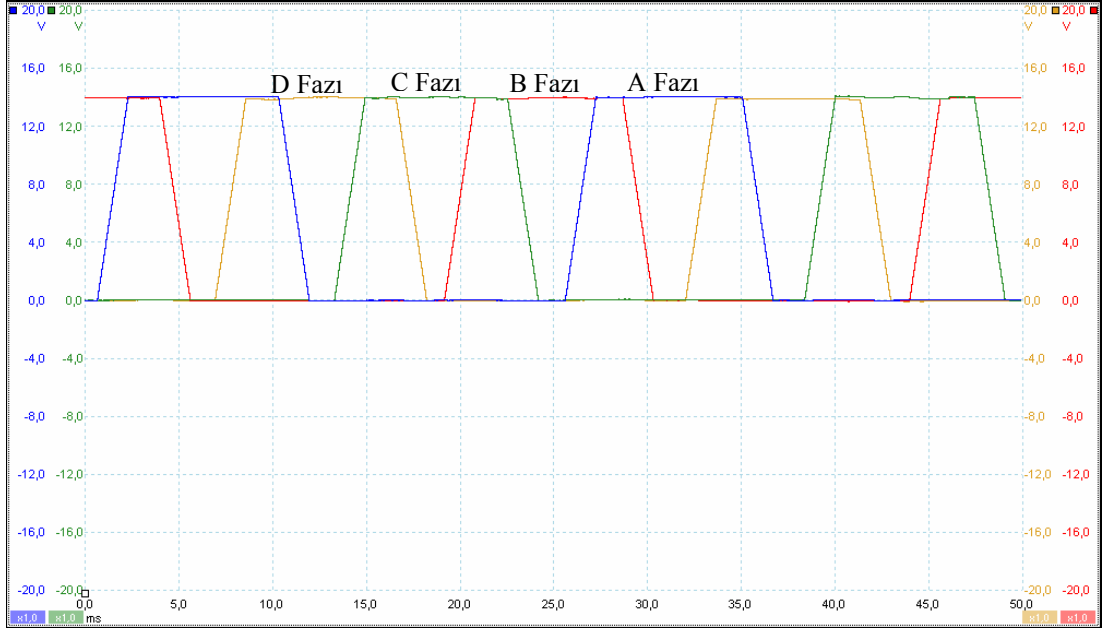


Şekil 6.6. Sıkma modunda motor faz akımları

Mosfet sürücü devrenin çıkışında her bir faz için üretilen gerilim sinyalleri Şekil 6.7.'de görülmektedir. Fazlar sıra ile ve belirlenen açıyla sürülmektedir. Böylece her bir faz tarafından hareketi sağlayacak tork üretilmektedir. Şekil 6.8.'de ise mosfet sürücülerin ürettiği gerilim çakışık y ekseninde görülmektedir.

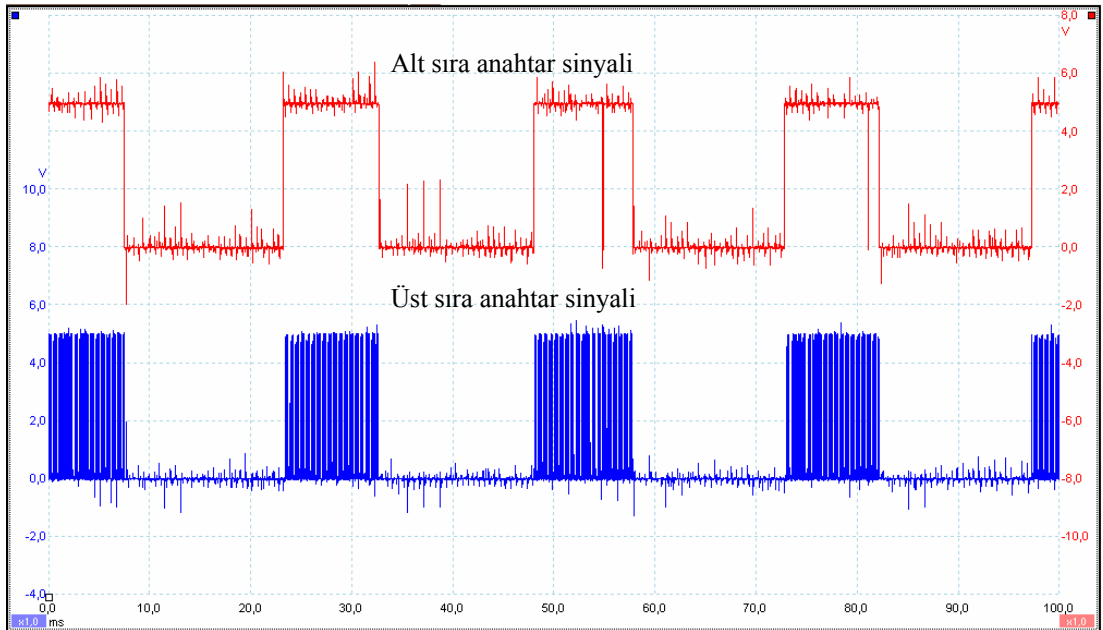


Şekil 6.7. Mosfet sürücü çıkış gerilimleri



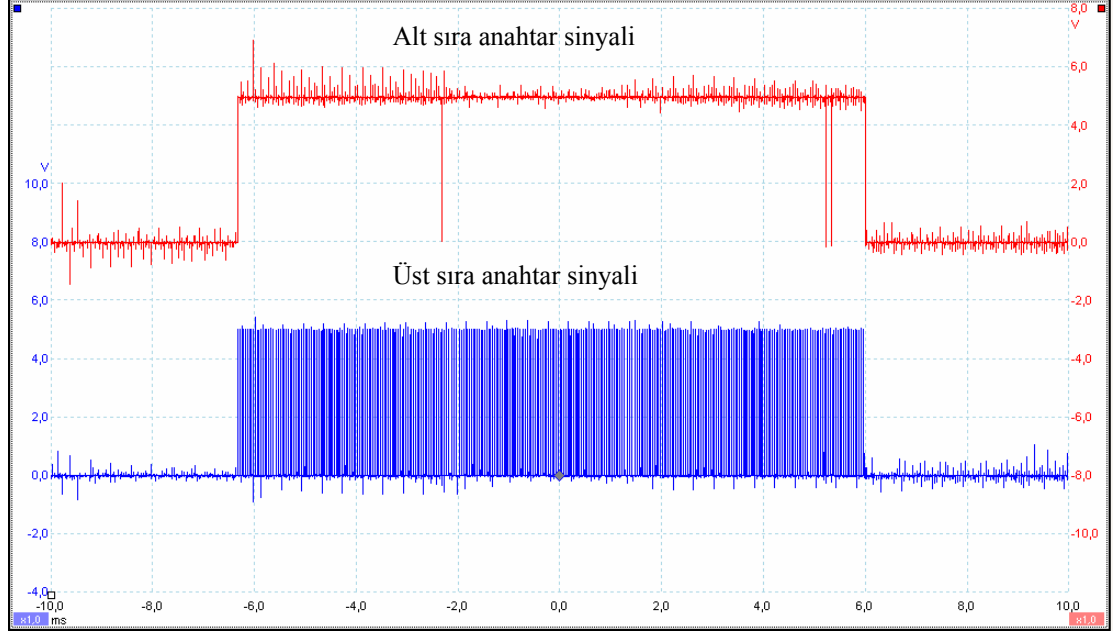
Şekil 6.8. Mosfet sürücü çıkış gerilimleri

Motor hızının denetimi DGM kullanılarak akım ayarı gerçekleştirilmektedir. Sİİ tarafından yıkama modunda A fazı için üretilen anahtarlama sinyalleri şekil 6.9. da görülmektedir. Motorun pozisyonu mosfet anahtarın sürülmesini istenen hızı ise DGM sinyalinin görev saykılı belirlemektedir.



Şekil 6.9. Sİİ tarafından bir faz için üretilen DGM ve anahtar çıkış gerilimleri

Şekil 6.10.'da ise 20 KHZ DGM ile sürülen a fazının bir anahtarlama modu için daha ayrıntılı olarak görülmektedir.



Şekil 6.10. SII tarafından bir faz için üretilen ayrıntılı DGM ve anahtar çıkış sinyalleri

6.1.2. Enerji ölçümü

Enerji harcamaları motorun dönme yönü ve yıkama sürecine göre ölçülmüştür. Ölçme işlemine motor dururken başlanmış ve motor sıkma yönüne döndüğü sürece enerji ölçülmeye devam edilmiş motor durunca enerji ölçümü durdurulmuştur. Böylece enerji harcaması modüler olarak hesaplanmıştır.

EÇM toplam harcadığı enerji ; $E_{toplam} = \text{Dönme sayısı} \times (\text{Sıkma yönü enerji harcaması} + \text{Sıkma yönünün tersine enerji harcaması}) + \text{Durulama sırasında harcadığı enerji} + \text{Sıkma sırasında harcadığı enerji}$, olarak hesaplanmaktadır. Dönme sayısı yıkama sürecini yöneten BMD tarafından belirlenmektedir.

Şekil 6.11.'da motor yıkama modunda çalıştığı sürece gerçekleştirilen enerji ölçümü görülmektedir



Şekil 6.11. Yıkama modunda enerji harcaması a) sıkma yönünde b) sıkma yönünün tersine

Ölçmenin ve toplam enerji hesabının güvenilirliğini test etmek için motor yıkama modunda, her iki yöne dönerken enerji ölçümü gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.12.'de görüldüğü gibi kWh kademesinde toplam değer; $0.006 + 0.006 = 0.012$ olmaktadır.



Şekil 6.12 yıkama modunda her iki yöne toplam enerji ölçümü

Sıkma modunda gerçekleştirilen enerji ölçümleri sıkma modu başlangıcında 100sn ve motorum tam hıza eriştiği 100sn sırasında gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen ölçümler şekil 6.13.'te görülmektedir. Enerji ölçümünün sınıflandırılarak yapıldığı çizelge 6.1.'deki veriler elde edilmiştir.



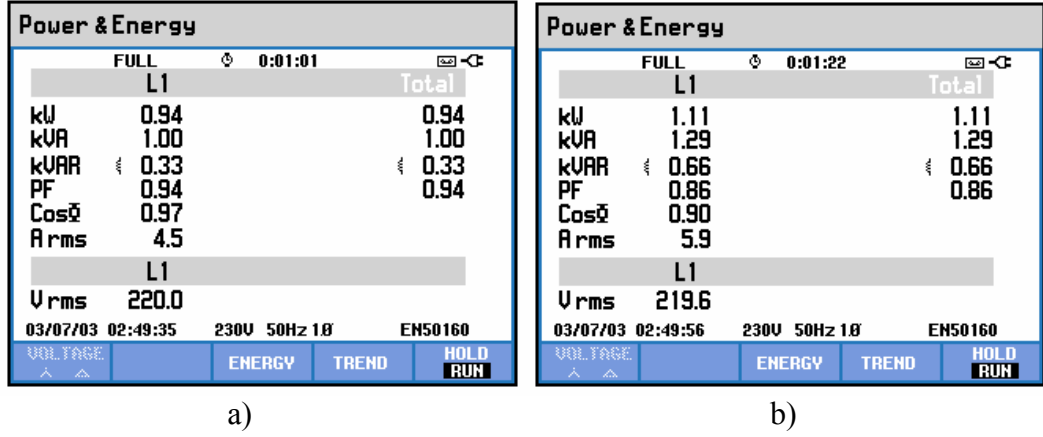
Şekil 6.13. ARM sıkma modunda çalışırken enerji ölçümleri a) başlangıç anı enerji harcaması b) tam hız bölgesi enerji harcaması

Çizelge 6.1. Gerçekleştirilen ARM denetimli EÇM'sine ait Enerji Harcaması

Ölçümler	Sıkma yönü	Sıkma yönü tersi	Sıkma yönü ve tersi toplamı	Sıkma başlangıç	Sıkma tam hız
kWh	0.006	0.006	0.012	0.031	0.037
kVAh	0.007	0.007	0.014	0.033	0.041
kVARh	0.003	0.004	0.006	0.010	0.018

6.1.3. Güç ölçümleri

Güç ölçümleri şekil 6.14.'te görüldüğü gibi yıkama ve sıkma modunda ölçülmüştür. Motor çalışırken anlık değerler kaydedilmiştir.



Şekil 6.14. Yıkama modunda güç harcaması a) sıkma yönünde b) sıkma yönünün tersine

Güç ölçümünün sınıflandırılarak yapıldığı çizelge 6.2.'deki veriler elde edilmiştir.

Çizelge 6.2. Gerçekleştirilen ARM denetimli EÇM'ye ait Güç Harcaması

Ölçümler	Sıkma yönü	Sıkma yönü tersi	Sıkma başlangıç	Sıkma tam hız
KW	0.94	1.11	1.34	1.34
KVA	1.00	1.29	1.48	1.48
KVAR	0.33	0.66	0.64	0.61
PF	0.94	0.86	0.90	0.91
Cosφ	0.94	0.90	0.92	0.93
Arms	4.5	5.9	6.7	6.6
Vrms	220.0	219.6	219.4	219.4

6.2. Tork Ölçümü

Gerçekleştirilen ARM kullanan EÇM için yapılan tork ölçümleri Dr. Staiger Mohilo tork dönüştürücüsü ile yapılmıştır. Tork algılayıcısı en büyük 500Nm'ye kadar

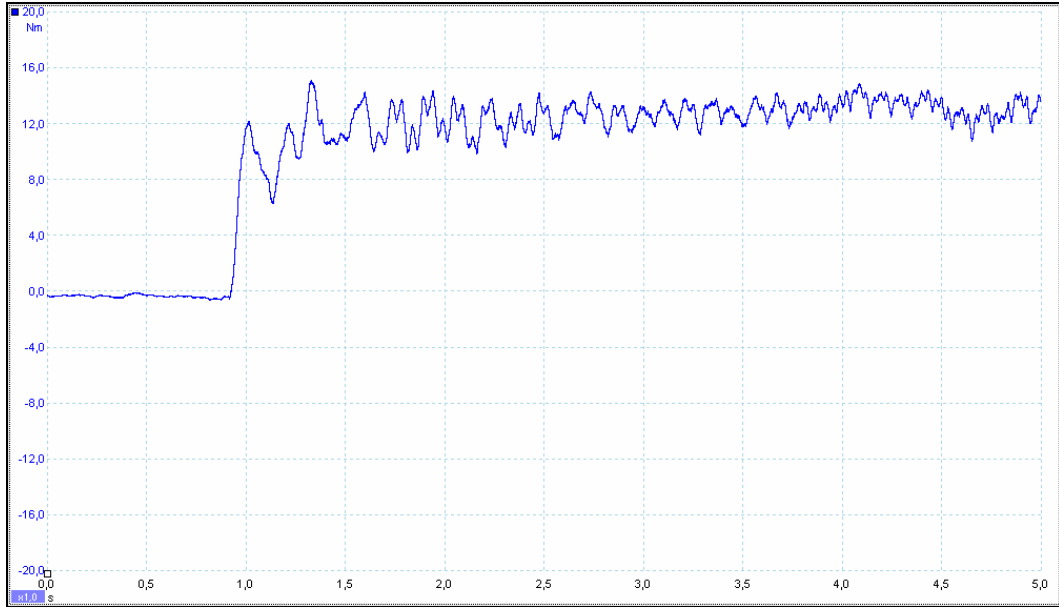
ölçüm yapabilmektedir. Bu ölçümü 8000 dev/dak kadar yapabilir. Doğruluk sınıfı 0.1'dir. Doğrusallık hatası $\leq \pm 0.1\%$ değerindedir. [43]



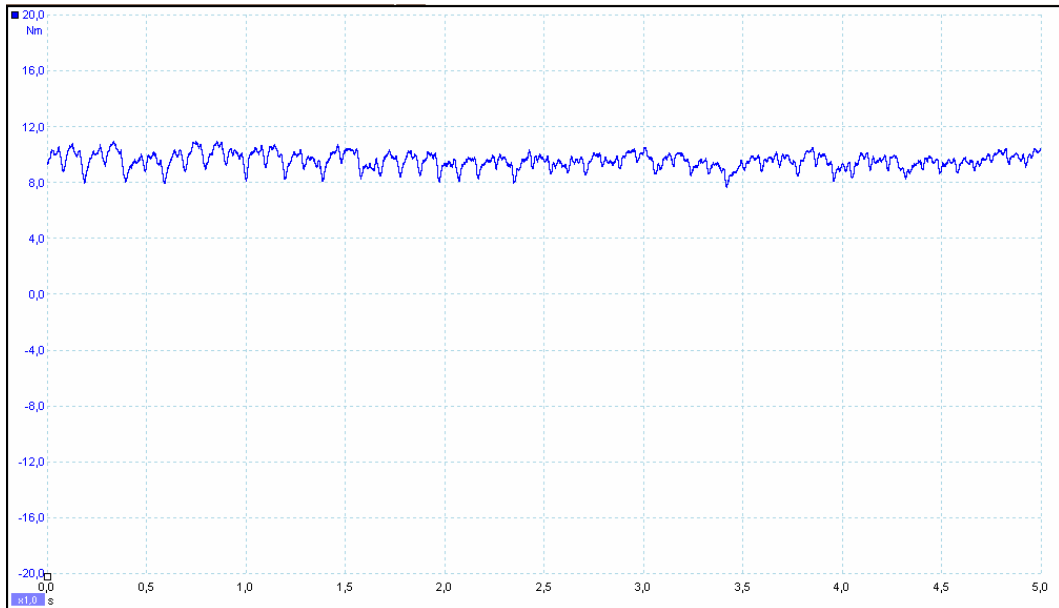
Şekil 6.15. Yıkama modunda sıkma yönü ve sıkma yönünün tersine tork

Yıkama modunda tork ölçümleri şekil 6.15.'te görülmektedir. Sıkma yönünde 10Nm tork üretilmektedir. Sıkma yönün tersine tork 9Nm olarak ölçülmektedir.

Yıkama modundaki tork eğrisindeki dalgalanmalar çamaşırın tambur içinde dengesiz yük oluşturması ve ARM'nin anahtarlama karakteristiğinden kaynaklanmaktadır. Şekil 6.16. ve şekil 6.17.'de dalgalanmalar 4 Nm olarak gerçekleşmektedir.

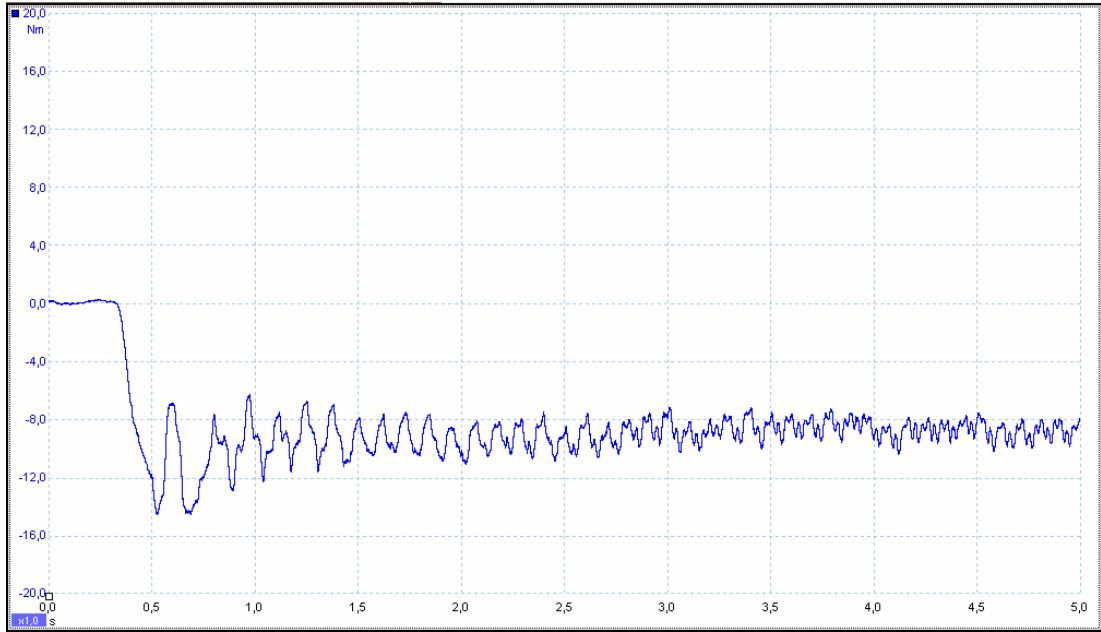


Şekil 6.16. Yıkama modunda sıkma yönünde kalkınma anı tork grafiği

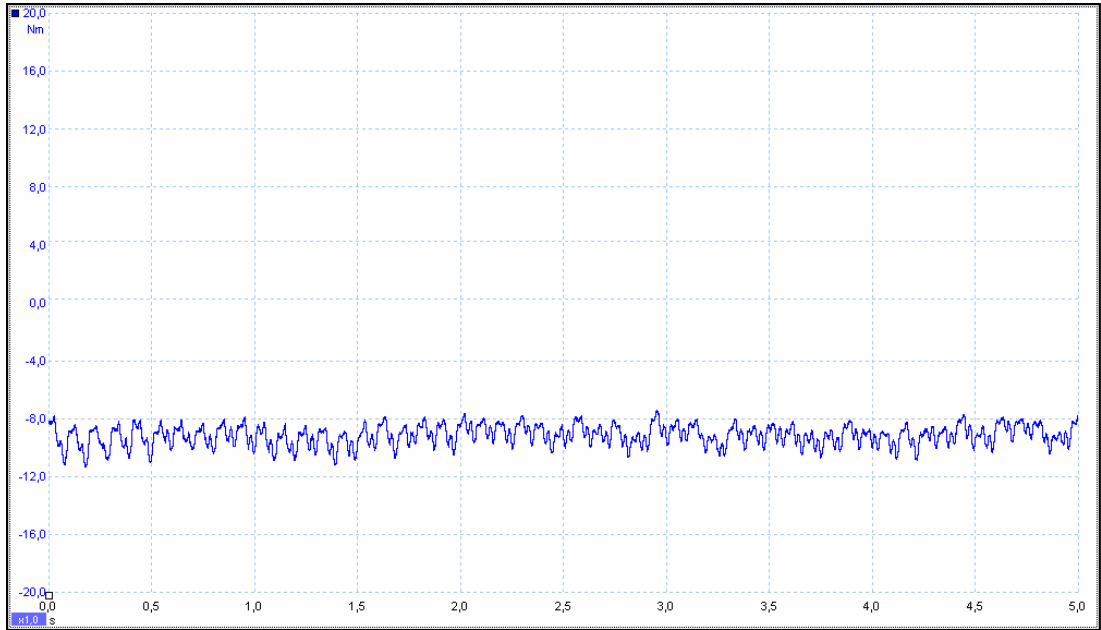


Şekil 6.17. Yıkama modunda sıkma yönünde sürekli durum tork grafiği

Yıkama modunda motor sıkma modunun tersine dönerken tork grafiğinin sıkma yönüne göre çok daha fazla dalgalanma göstermektedir. Prototip EÇM'nin mekaniksel aksamının, mekanik döner parçaların dönme yönü sıkma yönü olacak şekilde gerçekleştirilmesi bu dalgalanmaların büyüklüğünün en önemli nedenidir. Şekil 6.18. ve şekil 6.19.'de görülen dalgalanma 6Nm olarak gerçekleşmektedir.

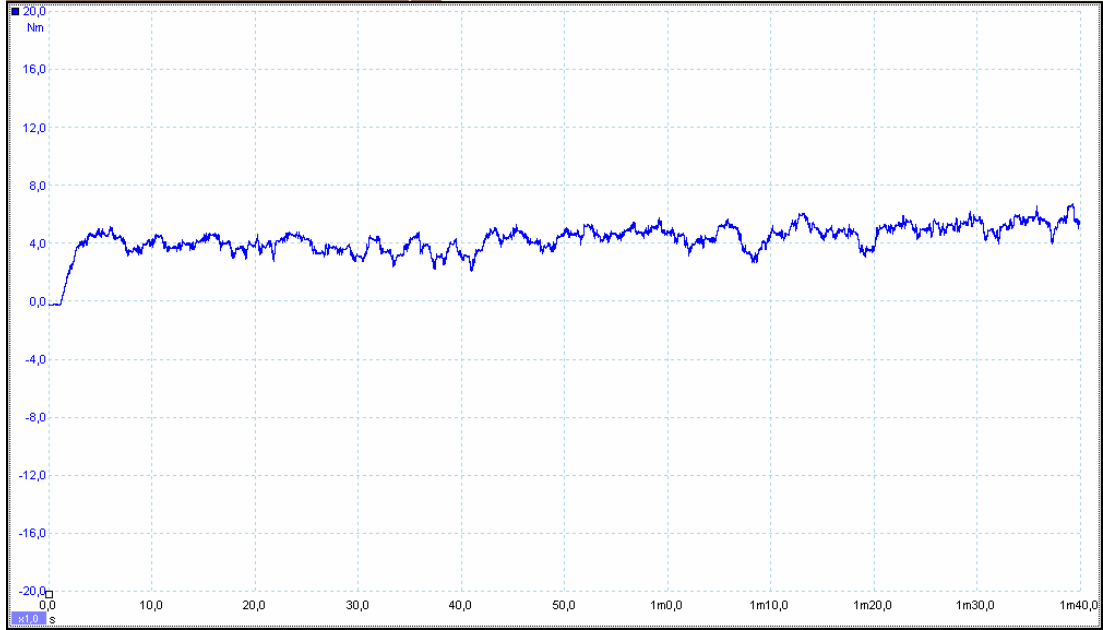


Şekil 6.18. Yıkama modunda sıkma yönünün tersinde kalkınma anı tork grafiği

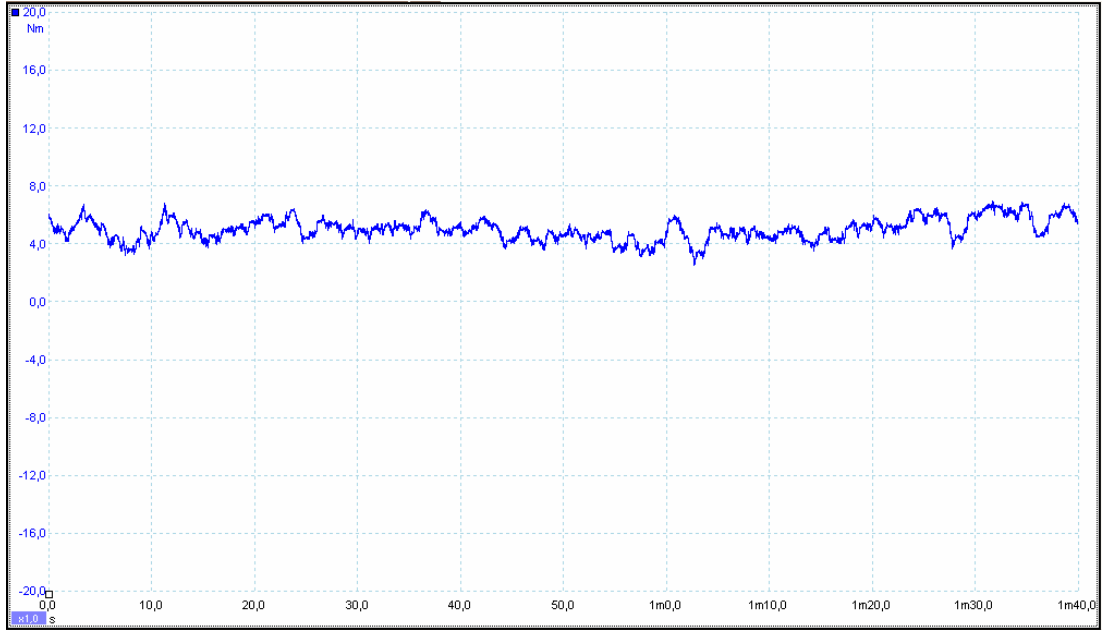


Şekil 6.19. Yıkama modunda sıkma yönünün tersine sürekli durum tork grafiği

Sıkma modunda çamaşır tamburun içinde daha dengeli bir yük oluşturduğu için dalgalanmaların çok daha az olduğu şekil 6.20 ve şekil 6.21' de görülmektedir.



Şekil 6.20. Sıkma modu kalkınma anı tork grafiği



Şekil 6.21. Sıkma modu tam hızda tork grafiği

6.3. Hız Ölçümü

Hız ölçümleri ARM rotor miline bağlanan bir analog çıkışlı takometre vasıtası ile ölçülmektedir. Hız ölçümü aç kapa, PI ve BM denetimi algoritmalarına göre ayrı ayrı

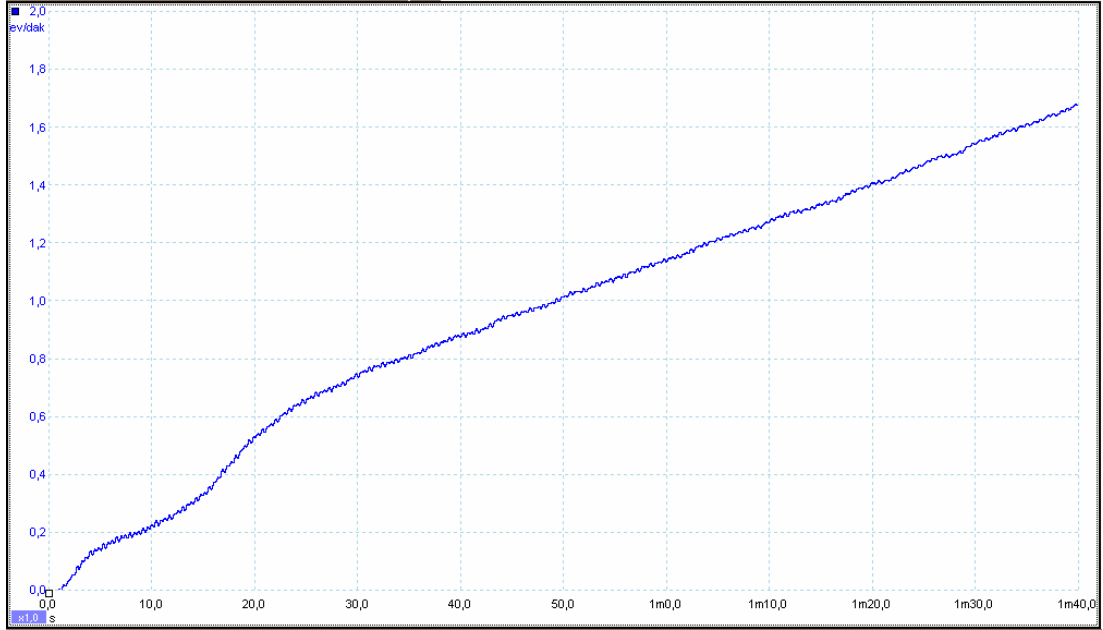
yapılmaktadır ARM ile tambur arasında 1:6 dönüştürme oranının hız dönüşümü mevcuttur.

Şekil 6.22.'de aç kapa denetleyici ile hız denetimi yapılan sistem çıkışı görülmektedir. Geleneksel makinede aç kapa denetleyici kullanıldığı için gerçekleştirilen sistem içinde aç kapa denetleyicinin tepkisi ölçülmektedir. Hızın değişimi yükün dengesiz olması ve aç kapa denetleyicinin tepkisinin iyi sonuç vermemesi nedeniyle referans hızda sabit kalmamaktadır.

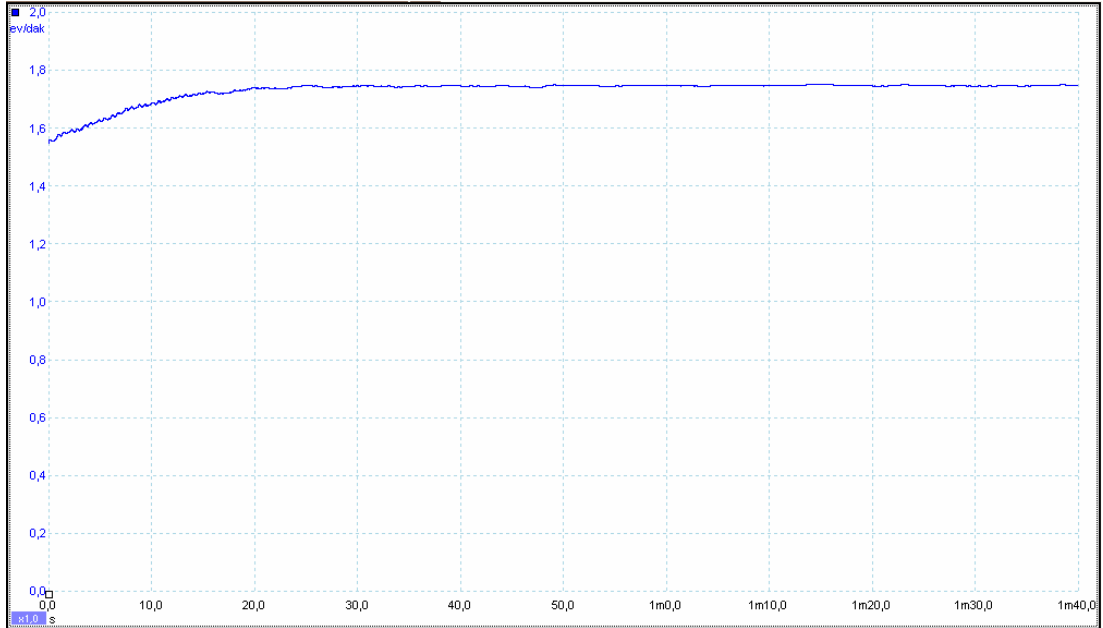


Şekil 6.22. Yıkama modunda aç kapa denetleyicili ARM hız grafiği

Yüksek referans hızlarında yükün daha dengeli davranmasından dolayı aç kapa denetleyicinin çıkışı daha düzgün olmaktadır. Şekil 6.23.'te sıkma hızı için yükselme eğrisi şekil 6.24.'te ise sıkma modu tam hızdaki çıkış hız grafiği görülmektedir. DGM görev saykılının %60 sınırında tutulması sıkma hızının dalgalanmalarını engellemektedir. Aç kapa denetleyici, yıkama modunda gerçek hız ile referans hız arasındaki hatanın büyük olmasına neden olmaktadır.



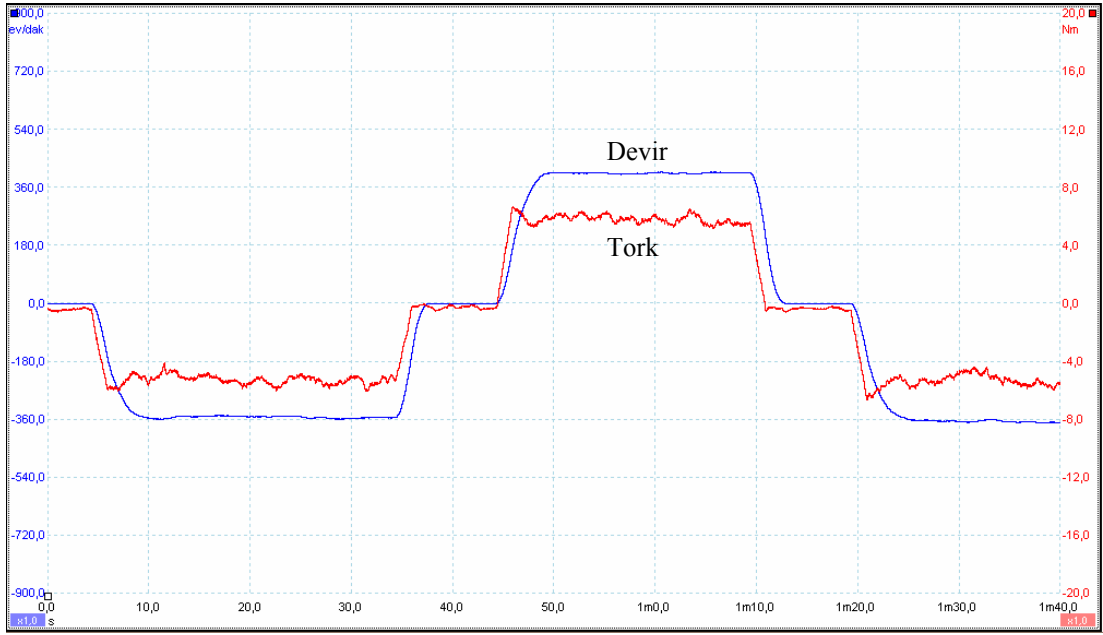
Şekil 6.23. Sıkma modunda aç kapa denetleyicili ARM hız grafiği



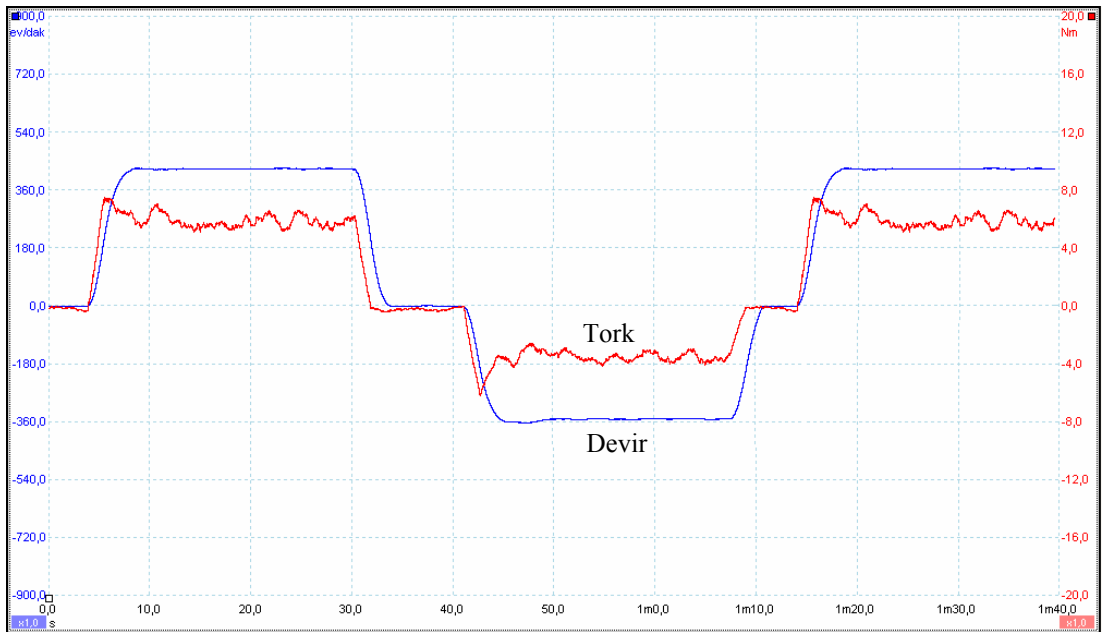
Şekil 6.24. Sıkma modunda tam hızda aç kapa denetleyicili ARM hız grafiği

Sistemin hız denetimini PI ile gerçekleştirildiğinde hızdaki hata azalmaktadır. PI denetleyici ile gerçekleştirilen denetleyicinin çalışması esnasında ayrıca tork sinyalleri de kaydedilmiştir. Şekil 6.25.'te PI denetleyicinin hızdaki hataları 20 devir/dk kadar düşürmektedir. PI oransal katsayısının düşük tutulması istenilen hıza

5sn de ulaşmasına neden olmaktadır. Bu olumsuz bir etki gibi görülmekle birlikte tork eğrisindeki dalgalanmaların azalmasını sağlamaktadır. Tork dalgalanmaları 1,5 Nm ile sınırlı kalmaktadır.



Şekil 6.25. Yıkama modunda PI denetleyicili ARM hız ve tork grafiği

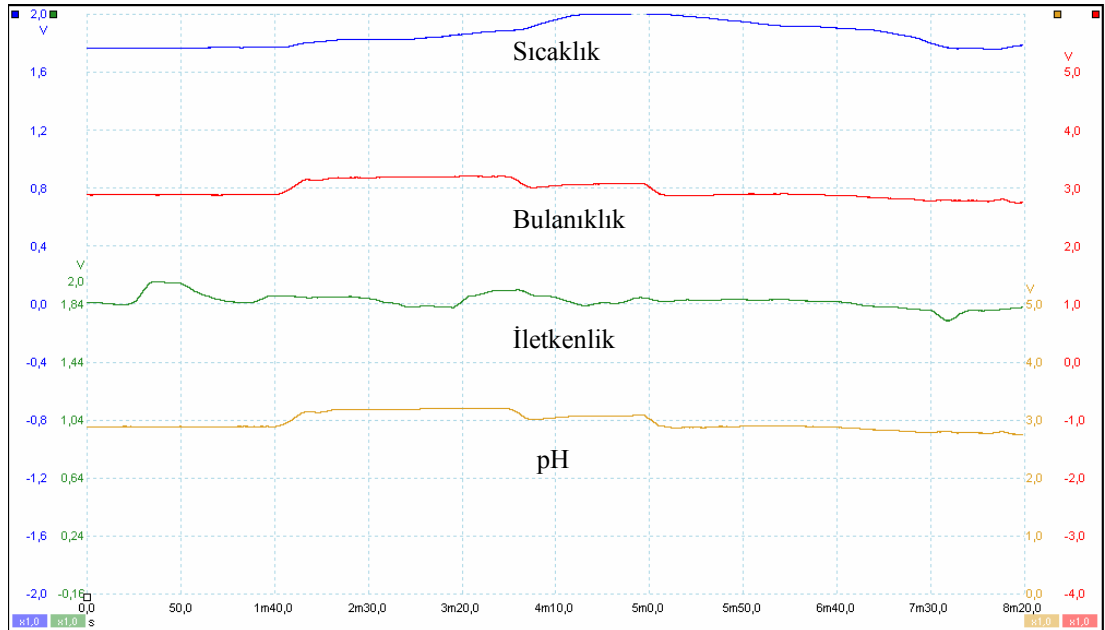


Şekil 6.26. Yıkama modunda BM denetleyicili ARM hız ve tork grafiği

Sistem hızı BM ile denetlendiği zaman ARM referans hıza şekil 6.26.'da görüldüğü gibi 2,5 sn de ulaşmaktadır. Sistemin tepkisi hızlanmakla birlikte tork dalgalanması artmaktadır. Hız dalgalanmaları 12 devir/dk olarak gerçekleşmektedir. Tork dalgalanması ise 3 Nm olarak gerçekleşmektedir.

6.4. Yıkama Suyundaki Değişim Ölçümleri

Yıkama suyundaki değişimler şekillerde sırasıyla sıcaklık, bulanıklık, iletkenlik ve pH olarak ölçülmektedir. Şekil 6.27.'de algılayıcıların tepkilerini görmek için sırasıyla sıcak su boşaltıp, temiz soğuk su alınmaktadır. Yeni alınan su ısıtılmakta ve 1.dk 50.saniyesinde deterjan alınmaktadır. Bir süre tambur döndürülmekte ve algılayıcıların verdiği tepkiler tambur durdurulunca 4. dakikada kararlı hale gelmektedir tambur tekrar dönmeye başladığında algılayıcıların çıkış cevaplarının değiştiği görülmektedir.



Şekil 6.27. Sıcaklık, bulanıklık, iletkenlik ve pH algılayıcılarının değişimlere cevap eğrileri

Yıkama süresi BMD ile gerçekleştirilen sistemde algılayıcılar ile gerçekleştirilen yıkama işleminde çıkış olarak belirlenen yıkama modu dönme sayısı Sİİ tarafından belirlenmektedir.

Sistem tarafından gerçekleştirilen yıkama süreleri çizelge 6.3.'teki gibi olmuştur.

Çizelge 6.3. Yıkama süresi tahmin tablosu

Çamaşır Kirlilik Durumu	BMD Yıkama Süresi Tahmini (dk)	Mevcut sistemde belirlenen süre (dk)	Fark (dk)
Çok kirli	18	15	+3
Kirli	10	13	-3
Az kirli	8	10	-2

Tambur dönerken yapılan ölçümlerde algılayıcıların tepkisinin değişkenlik gösterdiği ani yükselmeler ve düşmeler olduğu gözlenmiştir. Yıkama sürecinin tahmininde algılayıcılar ARM'nin durduğu her zaman diliminde sudan bir örnekleme almaktadır. Böylece yıkama suyunun güvenilir olarak örneklenmesi sağlamak amaçlanmıştır.

Ayrıca yıkama süresinin en küçük ve en büyük limit değerleri belirlenmiş böylece gereğinden çok uzun veya çok kısa bir yıkama süresinin oluşması engellenmiştir.

7. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada EÇM’de ARM kullanılmış ve sistemin ve ARM’nin BM denetimi gerçekleştirilmiştir. Yüksek verim, güç ve moment çıkışına sahip ARM kullanılarak sistemin güç harcaması azaltılmıştır. Tasarlanan EÇM’de ARM hızının denetimi PI ve BM denetleyicileri kullanılarak test edilmiş ve her bir tekniğin sonuçları analiz edilmiştir. PI denetimde motorun referans hıza daha geç geldiği gözlenmekle birlikte tork eğrisinin daha düzgün olduğu gözlenmiştir. BM denetleyicisinde tepki hızının arttığı gözlenmiş ve hız dalgalanmalarının PI denetleyiciye göre %2,2 oranda azaltılmaktadır.

Gerçekleştirilen sistemde yıkama süresinin tahmin edilmesinde bulanıklık, iletkenlik ve pH algılayıcılarındaki değişim BM denetleyicisinin girişleri olarak kullanılmıştır. ARM hızı denetiminde kullanılan BM denetleyicisinde hata ve hatadaki değişim giriş olarak kullanılmış, çıkışta DGM görev saykılı belirlenmiştir. ARM kullanılan EÇM’nin tasarımı ve gerçekleştirilmesinde Matlab simulink programı kullanılmıştır. Matlab Simulinkte oluşturulan model derlenerek sistemin denetimi TMS320F2812 Sİİ tarafından gerçekleştirilmektedir.

Geleneksel EÇM ile ARM kullanılarak gerçekleştirilen EÇM arasındaki güç harcama ilişkisi çizelge 7.1.’deki gibidir. ARM’nin yüksek kalkınma torku ve yüksek verimliliğe sahip olması güç harcamasının azalmasındaki en önemli etkidir.

Çizelge 7.1. EÇM güç harcamalarının karşılaştırılması

Ölçümler	Sıkma yönü	Sıkma yönü tersi	Sıkma başlangıç	Sıkma tam hız
ARM ile gerçekleştirilen EÇM				
KW	0.94	1.11	1.34	1.34
Geleneksel EÇM				
KW	1.12	1.24	1.76	1.72

Enerji harcamaları açısından iki makine karşılaştırıldığında yıkama modunda motor sıkma yönünde dönerken %16, sıkma yönünün tersine dönerken %13 daha az güç harcaması sağlanmıştır. Sıkma modunda ise ortalama %22 oranında güç tasarrufu sağlanmaktadır. Bu ölçümler 30 saniyelik sağa ve sola dönme süresinde ve sıkma süresince gerçekleştirilmiştir. EÇM'nin prototip olması nedeniyle mekanik sistemdeki dengesizlikler sıkma yönü ve sıkma yönünün tersine güç harcamalarında belirgin bir farka neden olmaktadır.

Yıkama süresi ile ilgili testlerde yapılan 3 ana yıkama grubu için geleneksel makinedeki standart yıkama seçeneklerine göre +%20 veya -%20 süre farklılıkları oluşmaktadır. Yıkama süresi açısından +%20 fazla süre her ne kadar güç harcamasını arttırsa da çamaşırın temizliği göz önüne alındığında bir kayıp olarak değerlendirilmemektedir. Çünkü uzmanlara göre genellikle, kullanıcı tarafından seçilen kısa yıkama modunda çamaşırın tam olarak temizlenmediği ve tekrar yıkanmak zorunda kalındığı belirtilmektedir. İkinci kısa yıkama programından sonra bu seferde çamaşırın gereğinden fazla sürece yıkandığı ve çamaşırın yıprandığı ifade edilmektedir. Bu durumlar göz önüne alındığında +%20 uzun süreli yıkama bir kayıp olmaktadır. Gerçekleştirilen EÇM'de kullanılan deterjan, su ve enerji en yüksek verimlilikte değerlendirilmektedir.

Çamaşır makinelerinde temizlik çoğunlukla su kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Ancak çamaşır miktarına ve çamaşırdaki kirlilik oranına göre temizlikte kullanılan su miktarı farklılık arz etmektedir. Bir çamaşır makinesinde her kullanım esnasında aynı su miktarı kullanıldığında, yeri geldiği zaman çamaşırın temizlenemediği yeri geldiği zamanda aşırı derecede su tüketiminin olacağı kaçınılmaz bir sonuç olacaktır. Hızla nüfusun arttığı dünyamızda global ısınma ile birlikte kullanılabilir su kaynaklarının azalması bizim bu noktada su kullanımına çok dikkat etmemiz gerektiğini göstermektedir. Ülkemizde içilebilir ve kullanılabilir şeklinde su açısından ayrılabilen kaynaklarımız ve evlerdeki kullanım farklılığımız sınıflandırılmadığından dolayı tek bir su kaynağı kullanmaktayız. Temizlik için bile olsa kullanılan bu su miktarındaki artış bizlerin içecek su kaynaklarını daha çabuk bitirmemize neden

olacaktır. Bu önemli noktada gerçekleştirilen tez çalışmasında EÇM’de kullanılan su miktarının efektif kullanımı sağlanarak geleceğimiz açısından büyük bir katkı sağlanmaktadır.

Gerçekleştirilen sistemde ARM kullanan EÇM’nin prototip olması dolayısıyla bütün testler yapılamamıştır. Sistemin mekanik eksiklikleri giderilerek testlerin tamamının yapılması elde edilecek çıktıları daha ayrıntılı olarak ortaya çıkartacaktır.

KAYNAKLAR

1. Sergio, A., Duarte, J., Relvas, C., Moreira, R., Freire, R., Ferreira, J. L., Simoes, J. A., "The design of a washing machine prototype", *Materials and Design*, 24 : 331-338 (2003).
2. Bradley, D. A., Hoyle, D. A., Harden, B., "Intelligent consumer products-past, present and future", *IEEE Colloquium on Intelligent Consumer Products*, London, 1-2 (1992).
3. Conrad, D. C., "The fundamentals of automatic washing machine design based upon dynamic constraints", Doktora tezi, *Purdue University*, 1-15, (1994)
4. Moffet, G., "Fuzzy logic applied to system control to enhance commercial appliance performance", Doktora tezi, *Louisiana Tech University*, Louisiana, USA, 172-193, (1998).
5. Boscolo, A., Stibelli S., "A new sensing device for washing machines", *IEEE Transactions on Industry Applications*, 24(3): 499-502 (1988).
6. Öztürk, N., "An introduction to modeling of washing process in washing machines", Yüksek lisans tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 50-60 (1998).
7. Erenay, H. K., "Application of fuzzy algorithms to speed control of washing machines", Yüksek lisans tezi, *Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 108-111 (1998).
8. Han, G. Y., Yi, H. Y., Go, B. S., Lee, D. G., Cho, I. H., Oh, D. I., "A new ASIC for washer controller", *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, Orlando, 485-488 (1999).
9. Clawson, L. G., Petty, J. S., Adamski, J. R., "PSC motor improvement for direct drive clothes washer applications", *IEEE Transactions on Industry Applications*, 30(2):311-316 (1994).
10. Harmer, K., Mellor, P. H., Howe, D., "An energy efficient brushless drive system for a domestic washing machine", *Power Electronics and Variable-Speed Drivers*, Londra, 514-519 (1994).
11. Cheng, W., Zhiwei, H., Jinian, G., "The application of novel motor in washing machines", *Electrical Machines and Systems*, Shenyang, 1030-1033 (2001).

12. Malliband, P. D., McMahon, R. A., "Implementation and calorimetric verification of models for wide speed range three-phase induction motors for use in washing machines", *IAS*, 2485-2492 (2004).
13. İnternet : Matsushita Electric Industrial Co., Ltd., "Matsushita introduces new tilted-drum washers and dryers" <http://panasonic.co.jp/corp/news/official.data/data.dir/en040915-4/en040915-4.html> (2004).
14. Uhlmann, E., Spur, G., Elbing, F., "Development of flexible automatic disassembly processes and cleaning technologies for the recycling of consumer goods", *International Symposium on Assembly and Task Planning*, Fukuoka, 442-446 (2001).
15. Sonada, Y., Yamamoto, H., Yokoi, Y., "Development of the vibration control system "G fall balancer" for a drum type washer/dryer", *IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, Kobe, 1140-1144 (2003).
16. Ferrer, C., Aguirre, J. M., "Digital speed regulation for a washing machine motor", *Euro ASIC'91*, Roma, 340-343 (1991).
17. Ertan, H. B., Şimşir, N. B., "Comparison of PWM and PFM induction drives regarding audible noise and vibration for household applications", *IEEE Transactions on Industry Applications*, 40(6):1621-1628 (2004).
18. Tanaka, T., "Environment friendly revolution in home appliances", *International Symposium on Power Semiconductor Devices & ICs*, Osaka, 91-95 (2001).
19. Chi, S., Xu, L., Zhang, Z., "Sliding mode sensorless control of PM synchronous motor for direct-driven washing machines", *Industry Applications Conference*, Tampa, 873-879 (2006).
20. Papadopoulos, E., Papadimitriou, I., "Modeling, design and control of a portable washing machine during the spinning cycle", *International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, Como, 899-904 (2001).
21. Murray, A., Ho, E., "New motion control architecture simplifies washing machine motor control system development", *Industry Applications Conference*, Tampa, 1229-1234 (2006).
22. Milasi, R. M., Yazdanpanah, M. J., Lucas, C., "Modeling and control of washing machine based on approximate solution of HJB equation", *International Conference on Control and Automation*, Budapest, 822-826 (2005).

23. Milasi, R. M., Lucas, C., Araabi, B. N., “Intelligent modeling and control of washing machine using LLNF modeling and modified BELBIC”, *International Conference on Control and Automation*, Budapest, 812-817 (2005).
24. Ye, S., Chau, K. T., Niu, S., “Chaoization of single-phase induction motor for washing machine”, *Industry Applications Conference*, Tampa, 855-860 (2006).
25. Bianchi, A., Valiani, M., “DSP-based versus microcontroller-based variable frequency drives for domestic washing machines”, *Industry Applications Conference*, New Orleans, 1052-1055 (2007)
26. Leonov, G. V., Khmelev, V. N., Savin, I. I., Barsukov, R. V., Tsyganok, S. N., Zaborovsky, A. N., Khmelev, M. V., “Acoustic drying of garments in drum-type washing machines”, *6th International Siberian Workshop and Tutorial*, Erlagol, 106-111 (2005).
27. Zhang, Z., Xu, H., Xu, L., Heilman, L. E., “Sensorless direct field-oriented control of three-phase induction motors based on ‘sliding mode’ for washing-machine drive applications”, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 42(3):694-701 (2006).
28. Malliband, P. D., McMahon R. A., “Duty cycle and modeling considerations in three-phase induction motor drives for washing machines”, *Power Electronics and Drives Systems*, Kuala Lumpur, 765-770 (2005)
29. Ward, D., “A novel remote measurement and monitoring system for the measurement of critical washing parameters inside a domestic washing machine”, *Measurement*, 34: 193-205 (2003).
30. McAvoy, T., “Intelligent “control” applications in the process industries”, *Annual reviews in control*, 26: 75-86 (2002).
31. Goumasa, S., Zervakisa, M., Pouliezosa, A., Stavrakakisa, G. S., “Intelligent on-line quality control of washing machines using discrete wavelet analysis features and likelihood classification”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 14: 655-666 (2001).
32. Spasojevic, B., “Fuzzy optical sensor for washing machine”, *Neural Network Applications in Electrical Engineering 7th Seminar*, 23-25, 237-242 (2004).
33. Pop, D., Negru, V., Sandru, C., “Expert system creator: A visual tool for expert systems construction”, *Proceedings of the 24th International Conference on Information Technology Interfaces*, Cavtat, 217-222 (2002).

34. Nitta, T., "Applications of neural networks to home appliances", *International joint conference on neural networks*, Nagoya, 1056-1060, (1993).
35. Gaumas, K. S., Zervakis, M. E., Stavrakakis, G. S., "Classification of washing machines vibration signals using discrete wavelet analysis for feature extraction", *IEEE Transactions on Instrumentation and measurement*, 51 (3), 497-507, (2002).
36. Kirshann, R., "Switched reluctance motor drives: modeling, simulation analysis, design and applications", *CRC Press*, Washington, D. C., (2001).
37. İnanç, N., "Anahtarlama relüktans motorunun modellenmesi ve yeni kontrol teknikleri ile denetimi", Doktora tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli (1996).
38. Bay, Ö. F., "Anahtarlama relüktans motorun bulanık mantık tabanlı modellenmesi ve kontrolü", Doktora tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri (1996).
39. Durmuş, O., "Anahtarlama relüktans motorunun tasarımı", Yüksek lisans tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (1994).
40. Çiprut, İ., "DSP tabanlı bir sistem ile anahtarlama relüktans motorunun kontrolü", Yüksek lisans tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (1994).
41. Gao, Y., "Speed control of switched reluctance motors", Yüksek lisans tezi, *The Hong Kong University of Science and Technology*, Hong Kong (2000).
42. Bose, B. K., "Modern power electronics and AC drives", *Prentice Hall PTR*, Upper Saddle River, USA (2002).
43. Elmas, Ç., Zelaya De La Parra, H., "A DSP controlled switched reluctance drive system for wide range of operating speeds" *Power Electronics Specialists Conference*, 23:844-850 (1992).
44. Silventoinen, P., Salo, J., Tolsa, K., Pyrhönen, J., "Dynamic tests with a switched reluctance motor drive", *IEEE AES Systems Magazine*, 14(1): 25-28 (1999).
45. Cui, Y. L., Liu J. M., Hou, X. C., "A control solution for electric vehicle driver with switched reluctance motor", *IEEE International Conference on Robotics Intelligent Systems and Signal Processing*, Changsha, 531-536 (2003).

46. Fahimi, B., Suresh, G., Ehsani, M., "Review of sensorless control methods in switched reluctance motor drives", *IEEE IAC*, Roma, Italy, 1850-1857 (2000).
47. Fahimi, B., Emadi, A., Sepe, R. B., "Position sensorless control", *IEEE Industry Applications Magazine*, 10(1):40-47 (2004).
48. Rahman, K. M., Fahimi, B., Suresh, G., "Advantages of switched reluctance motor applications to EV and HEV: design and control issues", *IEEE Transactions on Industry Applications*, 36(1): 111-121 (2000).
49. Elmas, Ç., Zelaya De La Parra, H., "Position sensorless operation of a switched reluctance drive based on observer", *The European Power Electronics Association*, 6:82-87 (1993).
50. Lachman, T., Mohamad, T. R., Fong, C. H., "Nonlinear modelling of switched reluctance motors using artificial intelligence techniques", *IEE Proceeding Electronics Power Applications*, 151(1): 53-60 (2004).
51. Sahoo, N. C., Xu, J. X., Panda S. K., "Low Torque Ripple Control of Switched Reluctance Motors Using Iterative Learning", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 16(4): 318-326 (2001).
52. Soares, E., Branco, P. J. C., "Simulation of a 6-4 switched reluctance motor based on Matlab-Simulink environment", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 37(3): 989-1009 (2001).
53. Cheok, A. D., Wang, Z., "Flux linkage measurement method for switched reluctance motors and inductor/transformers using a real-time DSP system", *International Journal Electronics*, 89(8): 625-644 (2002).
54. Islam, M. S., Husain, I., Veillette, R. J., Batur, C., "Design and performance analysis of sliding-mode observers for sensorless operation of switched reluctance motors", *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 11(3): 383-389 (2003).
55. Hudson, C. A., Lobo, N. S., Krishnan, R., "Sensorless control of single switch-based switched reluctance motor drive using neural network", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55(1):321-329 (2008).
56. Sahraoui, H., Zeroug, H., Toliyat, H. A., "Switched reluctance motor design using neural-network method with static finite-element simulation", *IEEE Transactions on Magnetics*, 43(12):4089-4095 (2007).
57. Zhou, Y., Xia, C., He, Z., Xie, X., "Torque ripple minimization in a sensorless switched reluctance motor based on flexible neural networks",

- International Conference on Control and Automation*, Guangzhou, 2340-2344 (2007).
58. Baoming, G., Nan, Z., “DSP-based discrete-time reaching law control of switched reluctance motor”, *Power Electronics and Motion Control Conference*, Portoroz, 2:1-5 (2006)
 59. Yu, C. H., Chen, T. C., “Novel sensorless driving method of SRM with external rotor using impressed voltage pulse”, *IEE Proc.-electr. Power Appl.*, 153(5):632-641 (2006).
 60. Edrington, C. S., Krishnamurthy, M., Fahimi, B., “Bipolar switched reluctance machines: a novel solution for automotive applications”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 50(3):795-808 (2005).
 61. Lee, D. H., Kim, T. H., Ahn, J. W., “A simplified novel sensorless control of SRM”, *Industry Applications Conference*, Tampa, 2001-2005 (2005).
 62. Rafajdus, P., Hrabovcova, V., Hudak, P., “Investigation of losses and efficiency in switched reluctance motor”, *Power Electronics and Motion Control Conference*, Portoroz, 296-301 (2006).
 63. Baoming, G., Almeida, A. T., Ferreira, F. J. T. E., “Supercapacitor-based optimum switched reluctance drive for advanced electric vehicles”, *Electrical Machines and Systems*, Beijing, 822-827 (2005).
 64. Mohamadian, M., Pedram, M. M., Ashrafzadeh, F., “Digital second order sliding mode control for a synchronous reluctance motor”, *IAS*, 1899-1902 (2004).
 65. Sozer, Y., Torrey, D. A., “Optimal turn off angle control in the face of automatic turn on angle control for switched-reluctance motors”, *IET Electr. Power Appl.*, 1(3): 395-401 (2007).
 66. Szamel, L., “Optimal control of transistor SRM converters with reduced number of switching elements”, *EPE-PEMC*, Portoroz, 1105-1110 (2006).
 67. Zhou, Y., Xia, C., He, Z., Xie, X., “Torque ripple minimization in a sensorless switched reluctance motor based on flexible neural networks”, *International Conference on Control and Automation*, Guangzhou, 2340-2344 (2007).
 68. Wang, M., “Direct torque controlled system based on pi regulator for switched reluctance motor drive”, *International Conference on Control and Automation*, Guangzhou, 606-610 (2007).

69. Lee, J.H., Lee, E.W., Kim, J.H., “Design of the single phase SRM for the blower considering self-starting”, *Electrical Machines and Systems*, Daejeon, 667-670 (2005).
70. Kim, M.H., Baik, W.S., Kim, D.H., Choi, K.H., “A high performance position control system of switched reluctance motor”, *Power Conversion Conference*, Nagoya, 249-252 (2007).
71. Dean, Z., Kai, S., Li, Q., Jinfeng, M., “Research on the switched reluctance motor for ISAD system for vehicle based on DSP and CPLD”, *Electrical Machines and Systems*, Beijing, 580-584 (2005).
72. Cardenas, R., Pena, R., Perez, M., Clare, J., Asher, G., Wheeler, Patrick., “Power smoothing using a flywheel driven by a switched reluctance machine”, *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, 53 (4):1086-1093 (2006).
73. Srinivas, K.N., Arumugam, R., “Analysis and characterization of switch reluctance motors:part II-flow, thermal, and vibration analyses”, *IEEE Transactions On Magnetics*, 41 (4):1321-1332 (2005).
74. Srinivas, K.N., Arumugam, R., “Analysis and characterization of switch reluctance motors:part II-dynamic, static, and frequency spectrum analyses”, *IEEE Transactions On Magnetics*, 41 (4):1306-1320 (2005).
75. Vujicic, V.P., Vukosavic, S.N., Jovanovic, M.B., “Asymmetrical switched reluctance motor for a wide constant power range”, *IEEE Transactions On Energy Conversion*, 21 (1):44-51 (2006).
76. Lin C.H., Da, L., Li, K.C., Li, M., “An adaptive FNN control for torque-ripple reduction of SR motor drive”, *Power Conversion Conference*, Nagoya, 253-258 (2007).
77. Yang, Y., Zhang, Y., “Sliding mode-PI control of switched reluctance motor drives for EV”, *Electrical Machines and Systems*, Beijing, 603-607 (2006).
78. Cheok, A.D., Wang, Z., “Fuzzy logic rotor position estimation based switched reluctance motor DSP drive with accuracy enhancement”, *IEEE Transactions On Power Electronics*, 20 (4): 908-921 (2005).
79. Andrade, Jr., R., D., Sotelo, G., G., Ferreira, A., C., Rolim, L., G., B., Neto, J., L., D., S., Stephan, R., M., Suemitsu, W., I., Nicolsky, R., “Flywheel energy storage system description and tests”, *IEEE Transaction on Applied Superconductivity*, 17(2):2154-2157 (2007).
80. Neto, J., L., S., Andrade, Jr., R., D., Rolim, L., G., B., Ferreira, A., C., Sotelo, G., G., Suemitsu, W., “Experimental validation of a dynamic model of a

- SRM used in superconducting bearing flywheel energy storage system”, *IEEE ISIE*, Canada, 2492-2497 (2006).
81. Krishnamurthy, M., Edrington, C., S., Emadi, A., Asadi, P., Ehsani, M., Fahimi, B., “Making the case for applications of switched reluctance motor technology in automotive products”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 21(3):659-675 (2006).
 82. Kub, H., Wichert, T., Szymanski, B., “Design of high speed switched reluctance motor for spindle drive”, *Compatibility in Power Electronics*, Gdańsk, 1-5 (2007).
 83. Xue, X., D., Cheng, K., W., E., Ho, S., L., “Online and offline rotary regression analysis of torque estimator for switched reluctance motor drives”, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 22(4):810-818 (2007).
 84. Li, Y., Zhang, L., Guo, D., Shi, Y., “Implementation of SRM principle based on wavelet multi-resolution approximation”, *International Conference on Mechatronics and Automation*, Harbin, 844-849 (2007).
 85. Liang, J., Lee, Z., G., Lee, D., H., Ahn, J., W., “Torque ripple reduction drive of single-phase SRM with PFC”, *Industry Applications Conference*, 2006-2011 (2006).
 86. Wang, S., C., Liu, Y., H., Wang, S., J., Chen, Y., C., Lin, S., Z., “Adaptive iterative learning control of switched reluctance motors for minimizing energy conversion loss and torque ripple”, *Power Electronics Specialists Conference*, Orlando, 1796-1802 (2007).
 87. Lee, D., H., Lee, Z., G., Liang, J., Ahn, J., W., “Single-phase SRM drive with torque ripple reduction and power factor correction”, *IEEE Transaction on Industry Applications*, 43(6):1578-1587 (2007).
 88. Xiu, J., Xia, C., L., “Modeling of switched reluctance motor based on ga optimized t-s type fuzzy logic”, *Fourth International Conference on Fuzzy System and Knowledge Discovery*, Haikou, 4:186-191 (2007).
 89. Ehsani, M., Fahimi, B., “Elimination of position sensors in switched reluctance motor drives: state of the art and future trends”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 49(1): 40-47 (2002).
 90. Gao, X. Z., “Soft computing methods for control and instrumentation”, Doktora tezi, *Institute of Intelligent Power Electronics Publications*, 1999).
 91. Aström, K. J., McAvoy, T. J., “Intelligent control”, *Journal Proceeding Control*, 2(3):115-127 (1992).

92. Feray-Beaumont, S., Corea, R., Tham, M. T., Morris, A. J., "Process modelling for intelligent control", *Engineering Application Artificial Intelligent*, 5 (6): 483-492 (1992).
93. Davis, W., Jones, A., Saleh, A., "Generic architecture for intelligent control system", *Computer-Integrated Manufacturing Systems*, 5(2): 105-113 (1992).
94. Tyan, C., Wang, P. P., Bahler, D. R., "An application on intelligent control using neural network and fuzzy logic", *Neurocomputing*, 12: 345-363 (1992).
95. Mraz, M., "The design of intelligent control of a kitchen refrigerator", *Mathematics and Computers in Simulation*, 56: 259-267 (2001).
96. Roberts, G., "Intelligent mechatronics", *Computing and Control Engineering Journal*, 257-264 (1998).
97. Ward, T. L., Ralston, P. A. S., Stoll, K. E., "Intelligent control of machines and processes", *Proceedings of the 12th Annual Conference on Computers & Industrial Engineering*, Orlando, 205-209 (1990).
98. Hayes-Roth, B., "Intelligent control", *Artificial Intelligence*, 59:213-220 (1993).
99. Masten, M. K., "Electronics: The intelligence in intelligent control", *Annual Reviews in Control*, 22: 1-11 (1998).
100. Günal, Ü., "Bulanık Mantık", *Otomasyon Dergisi*, 55:50-55 (1997).
101. Yeltan, Gökhan, "Zeki denetim sistemleri: Kuram yöntemler", *Otomasyon Dergisi*, 54:65-81 (1996).
102. Schwartz, D. G., Klir, G. J., Lewis, H. W., Ezawa, Y., "Application of fuzzy sets and approximate reasoning", *IEEE Transaction on Computers*, 82(4):482-495 (1994).
103. Lee C. C., "Fuzzy logic in control systems: Fuzzy logic controller-part I", *IEEE Transactions on Systems, MAN, and Cybernetics*, 20(2):404-418 (1990).
104. Lee C. C., "Fuzzy logic in control systems: Fuzzy logic controller-part II", *IEEE Transactions on Systems, MAN, and Cybernetics*, 20(2):419-435 (1990).
105. Mendel, J. T., "Fuzzy logic systems for engineering : A tutorial", *Proceeding of the IEEE*, 83(3):345-377 (1995).

106. Cox, E., "The fuzzy systems handbook", *Academic Press*, London (1999).
107. Terano, T., Asai, K., Sugeno, M., "Fuzzy systems theory and its applications", *Academic Press Ltd.*, London (1992).
108. Smith, S. W., "The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing", *California Technical Publishing*, California, USA (1997).
109. "TMS320C28x DSP CPU and Instruction Set Reference Guide", *Texas Instruments* (2004).
110. Texas Instruments Technology, "DSP SELECTION GUIDE", 3Q (2004)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DURAN, Fecir
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 22.10.1977 ALTINÖZÜ
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (312) 202 85 86
 Faks : 0 (312) 212 00 59
 E-mail : fecirduran@hotmail.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Elektronik Bilgisayar Eğitimi	2001
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Elektronik Eğitimi Bölümü	1998
Lise	Antakya 23 Temmuz Lisesi	1994

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1998-1999	Türközü E.M.L. ANKARA	Öğretmen
1999-	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Masa Tenisi, Bilgisayar Teknolojileri, Tiyatro