

89495

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BULANIK MANTIK İLE DOĞRU AKIM MOTOR KONTROLÜNÜN  
İNCELENMESİ

Elektrik Mühendisi Kadir ERKAN

F.B.E.Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Mühendisliği Programında  
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ  
TEZ DANIŞMANI: YRD. DOÇ. DR. M. Hadi SARUL

84995  
Aky.

Doç. Dr. Hacı BODUR Bodur  
Doç. Dr. Selim AKYOKAŞ S.A.

İSTANBUL, 1999

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	iix
1. GİRİŞ.....	1
2. BULANIK KÜME TEORİSİ.....	3
2.1 Bulanık Küme Matematiğine Giriş.....	3
2.2 Klasik Kümeler .....	5
2.3 Klasik Kümelerde Temel Küme İşlemleri.....	5
2.3.1 Kümelerde eleman kavramı.....	5
2.3.2 İki kümenin birleşimi.....	6
2.3.3 İki kümenin kesişimi.....	6
2.3.4 Birkümenin tümleyeni.....	6
2.4 Klasik Kümelerde Diğer Özellikler.....	6
2.4.1 Değişme özelliği.....	6
2.4.2 Birleşme özelliği.....	6
2.4.3 Dağılma özelliği.....	6
2.4.4 Çiftnegatiflik özelliği.....	7
2.4.5 De-Morgankuralı.....	7
2.4.6 Tekrarlama kuralı.....	7
2.4 Bulanık Kümeler.....	7
2.4.1 Bulanık kümelerde tanımlama yöntemleri.....	7
2.4.1.1 Sıralı ikili ile gösterim yöntemi.....	7
2.4.1.2 Toplam formunda gösterim yöntemi.....	8
2.4.2 Önemli üyelik fonksiyon şekilleri.....	8
2.4.2.1 S fonksiyonu.....	9
2.4.2.2 Çan fonksiyonu.....	9
2.4.2.3 Üçgen fonksiyonu.....	10
2.4.2.4 Yamuk fonksiyonu.....	11
2.4.2.5 Exponensiyel fonksiyon.....	11
2.4.3 Bulanık kümelere ilişkin temel kavramlar.....	12
2.4.3.1 Dilsel niceleyiciler.....	12
2.4.3.2 Bir bulanık kümenin desteği .....	12
2.4.3.3 Bir bulanık kümenin çekirdeği.....	13
2.4.3.4 Bir bulanık kümenin normalitesi.....	13
2.4.3.5 Bir bulanık kümenin geçiş noktaları.....	13
2.4.3.6 Tek bulanık kümenin.....	14
2.4.3.7 Düzeyli bulanık küme.....	14

2.4.4	Bulanık kümelerde temel küme işlemleri.....	14
2.4.4.1	İki bulanık kümenin kesişimi .....	15
2.4.4.2	İki bulanık kümenin birleşimi.....	15
2.4.4.3	Bir bulanık kümenin tümleyeni.....	16
2.4.5	Bulanık bağıntılar (ilişkiler) .....	16
2.4.6	Bulanık bağıntılarda izdüşüm ve silindirik genişletme .....	19
2.4.6.1	İzdüşüm.....	19
2.4.6.2	Silindirik genişletme.....	20
2.5	Bulanık Kontrol .....	21
2.5.1	Klasik kontrol sistemleri.....	21
2.5.1.1	Açık çevrim kontrol sistemleri.....	21
2.5.1.2	Kapalı çevrim kontrol sistemleri.....	22
2.5.2	Bulanık kontrole giriş.....	23
2.5.2.1	Bulanıklaştırma bloğu.....	26
2.5.2.2	Durulaştırma bloğu.....	33
2.5.2.3	Kontrol edilen sistem.....	37
2.5.2.4	Veri tabanı.....	37
2.5.2.5	Kural tabanı.....	37
2.5.2.6	Bulanık Çıkartım Motoru.....	39
3.	DOĞRU AKIM MOTORLARI.....	40
3.1	Giriş.....	40
3.2	Serbest Uyarımlı Doğru Akım Motorunun Eşdeğer Devresi Ve Karakteristikleri.....	42
3.3	Serbest Uyarımlı Doğru Akım Motorlarında Hız Kontrol Düzenekleri.....	43
3.3.1	Açık çevrim transfer fonksiyonu.....	45
3.3.2	Kapalı Çevrim Transfer Fonksiyonu.....	48
4.	SERBEST UYARTIMLI DOĞRU AKIM MOTORUNUN BULANIK KONTROLÜ.....	50
4.1	Giriş.....	50
4.2	Serbest Uyarımlı Doğru Akım Motorunun Bulanık Kontrolünün Simülasyonu.....	50
4.2.1	Bulanık Denetleyici Tasarımı.....	51
4.2.2	Bulanık denetim algoritması.....	52
4.2.2	Simülasyon sonuçları.....	64
5.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	78
	KAYNAKLAR.....	79
	ÖZGEÇMİŞ.....	81

## SİMGE LİSTESİ

$U_a$	Endüvi gerilimi
$E_a$	Ters elektromotor kuvvet
$I_a$	Endüvi akımı
$L_a$	Endüvi devresine ait reaktans
$R_a$	Endüvi devresine ait direnç
A,B	Kollektör fırçaları
$U_f$	Uyarma gerilimi
$I_f$	Uyarma akımı
$L_f$	Uyarma devresine ait reaktans
$R_f$	Uyarma devresine ait direnç
w	Motor açısal hızı
n	Motor devir sayısı
B	Viskoz sürtünme katsayısı
$K_v$	Gerilim sabiti
$K=K$	Moment sabiti
$T_L$	Yük momentini
$T_d$	Motor tarafından endüklenen moment
E	Evrensel küme
$\mu(.)$	Üyelik fonksiyon derecesi

## ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Kümelerin şema ile gösterimi.....	4
Şekil 2.2	E evrensel kümesi ve buna ait bir A alt kümesinin gösterimi.....	5
Şekil 2.3	S üyelik fonksiyonunun gösterimi.....	9
Şekil 2.4	Çan üyelik fonksiyonunun gösterimi.....	9
Şekil 2.5	Üçgen üyelik fonksiyonunun gösterimi.....	10
Şekil 2.6	Yamuk üyelik fonksiyonunun gösterimi.....	11
Şekil 2.8	Dilsel niceleyicilerin ifade edilmesi.....	11
Şekil 2.9	Bir bulanık kümede geçiş noktaları, çekirdek ve desteğin ifade edilmesi...12	
Şekil 2.10	Bir bulanık kümede teklik, çekirdek ve desteğin ifade edilmesi.....	13
Şekil 2.11	İki bulanık kümenin kesişimi.....	14
Şekil 2.12	İki bulanık kümenin birleşimi.....	15
Şekil 2.13	Bir bulanık kümenin tümleyeni.....	16
Şekil 2.14	Orta yaşlı insanlar ve orta kilolu insanlara ait bulanık küme gösterimi .....	17
Şekil 2.15	Hem orta yaşlı ve hem de orta kilolu insanları ifade eden bulanık küme ifadesi .....	17
Şekil 2.16	Bir bulanık bağıntının izdüşümü ve silindirik genişletmesi.....	19
Şekil 2.17	Açık çevrim kontrol sistemlerine ait prensip blok şema.....	22
Şekil 2.18	Kapalı çevrim kontrol sistemlerine ait prensip blok şema.....	22
Şekil 2.19	Bir bulanık kontrol sistemlerine ait prensip blok şema.....	25
Şekil 2.20	Az bulanık kümesinin gösterimi.....	30
Şekil 2.21	Çok bulanık kümesinin gösterimi.....	30
Şekil 2.22	Az bulanık kümesinin ayrık gösterimi.....	31
Şekil 2.23	Çok bulanık kümesinin ayrık gösterimi.....	31
Şekil 2.24	Az bulanık kümesinin ayrık gösterimi.....	32
Şekil 2.25	Çıkartım işleminin şematik gösterimi.....	34
Şekil 2.26	Maksimum ortası çıkartım metodunun gösterimi.....	34
Şekil 2.27	Maksimum sol kenar noktası metodunun gösterimi.....	35
Şekil 2.28	Maksimum sağ kenar noktası metodunun gösterimi.....	36
Şekil 2.29	Ağırlık merkezi metodunun gösterimi.....	36
Şekil 3.1	Doğru akım motorlarının çalışma bölgeleri.....	40
Şekil 3.2	Serbest uyarımlı doğru akım motorunun eşdeğer devresi.....	41
Şekil 3.3	Mıknatıslanma karakteristiği.....	42
Şekil 3.4	Bir serbest uyarımlı doğru akım motorunda güç, moment, uyarma ve endüvi akımlarının devir sayısına bağlı olan değişimleri.....	44
Şekil 3.5	Bir dönüştürücü ile beslenen serbest uyarımlı doğru akım motorunun açık çevrim kontrol blok şeması.....	45
Şekil 3.6	Serbest uyarımlı bir doğru akım motor sürücüsüne ait kapalı çevrim kontrol sistemi blok diyagramı.....	45
Şekil 3.7	Serbest uyarımlı doğru akım motor sürücüsünün açık çevrim blok diyagramı.....	47
Şekil 3.8	Moment değişikliği girişi için açık çevrim blok diyagramı.....	47
Şekil 3.9	Serbest uyarımlı doğru akım motorunun kapalı çevrim kontrolüne ait blok diyagram.....	48
Şekil 4.1	Serbest uyarımlı bir doğru akım motorunun bulanık kontrolüne ilişkin presib şema.....	50
Şekil 4.2	Bir serbest uyarımlı doğru akım motorunun basamak giriş	

	gerilimine ilişkin cevabı.....	53
Şekil 4.3	Hata ve hatanın değişiminin faz yörüngesindeki gösterimi.....	53
Şekil 4.4	Hız cevabında hata ve hatanın değişimi .....	54
Şekil 4.5	Motor hız cevabının bölgelere ayrılması ve bu bölgelerin hata ve hatanın değişimine ait faz yörüngesinde ifadesi.....	55
Şekil 4.6	Motor hız cevabının bölgelere ayrılması ve bu bölgelerde geçiş ve extremum noktalarının belirtilmesi.....	55
Şekil 4.7	Hız cevabında geçiş noktalarındaki olası durumlar.....	55
Şekil 4.8	Hız cevabında extremum noktalarındaki olası aşım ve düşüm durumları.....	56
Şekil 4.9	Hataya ait bulanık kümeyi ifade eden üyelik fonksiyonları.....	57
Şekil 4.10	Hatanın değişimine ait bulanık kümeyi ifade eden üyelik fonksiyonları.....	58
Şekil 4.11	çıkış bulanık kümesine ait üyelik fonksiyonları.....	61
Şekil 4.12	Matlab-Simulink ortamında elde edilen serbest uyarımlı doğru akım motorunun modeli.....	62
Şekil 4.13	Kontrol yüzeyi.....	62
Şekil 4.14	Giriş ve çıkışa ait üyelik fonksiyonlarının beraber gösterildiği bulanık denetleyiciye ait genel şema.....	63
Şekil 4.15	Serbest uyarımlı doğru akım motorunun bulanık denetimini ifade eden ve simülasyonda kullanılan temel kontrol blok diyagramı.....	64
Şekil 4.16	$M_0=0$ ve $n=n_n$ için motorun devir sayısının değişimi.....	64
Şekil 4.17	$M_0=0$ $n=n_n$ için Motora uygulanan uç geriliminin değişimi.....	65
Şekil 4.18	$M_0=0$ ve $n=n_n$ için motorda endüklenen emk değerinin değişimi.....	65
Şekil 4.19	$M_0=0$ ve $n=n_n$ için motord endüvi akımının değerinin değişimi.....	66
Şekil 4.20	$M_0=0$ ve $n=n_n$ için kontrolör giriş ve çıkışının değişimi.....	66
Şekil 4.21	$M_0=0$ ve $n=n_n$ için bulanık denetleyicinin çıkışının değişimi.....	67
Şekil 4.22	$M_0=0$ ve $n=n_n$ için motorda endüklenen moment ve yük moment değerinin değişimi.....	67
Şekil 4.23	$M_0=M_n$ ve $n=n_n$ durumu için motor hızının değişimi.....	68
Şekil 4.24	$M_0=M_n$ ve $n=n_n$ durumu için motorda endüklenen moment ve uygulanan yük momentinin değişimi.....	68
Şekil 4.25	$M=M_n$ ve $n=n_n$ durumu için motor uç geriliminin değişimi.....	69
Şekil 4.26	$M_0=*M_n$ ve $n=n_n$ durumu için motor endüvi akımının değişimi.....	69
Şekil 4.27	$M=M_n$ ve $n=n_n$ için bulanık denetleyicinin giriş ve çıkışı.....	70
Şekil 4.28	$M_0=M_n$ ve $n=n_n$ durumu için bulanık denetleyicinin çıkışının değişimi.....	70
Şekil 4.29	$M_0=M_n$ ve $n=n_n$ durumu için motoryn endüklediği zıt emknın değişimi.....	71
Şekil 4.30	$M=0.5*M_n$ ve $n=n_n$ için motor devir sayısının değişimi.....	71
Şekil 4.31	$M=0.5*M_n$ ve $n=n_n$ için motor uç geriliminin değişimi.....	72
Şekil 4.32	$M=0.5*M_n$ ve $n=n_n$ için motorda endüklenen zıt emk'nın değişimi.....	72
Şekil 4.33	$M=0.5*M_n$ ve $n=n_n$ için motor endüvi akımının değişimi.....	73
Şeki 4.34	$M=0.5*M_n$ ve $n=n_n$ için bulanık denetleyicinin giriş ve çıkışının değişimi.....	73
Şekil 4.35	$M=0.5*M_n$ ve $n=n_n$ için motorda endüklenen moment ve uygulanan yük momentinin değişimi.....	74
Şekil 4.36	$M=0.5*M_n$ ve $n=n_n$ için bulanık denetleyicinin çıkışının değişimi.....	74
Şekil 4.37	$M_0=0$ ve $n=1500$ d/d için motor devir sayısının değişimi.....	75
Şekil 4.38	$M_0=0$ ve $n=1500$ d/d için motor uç geriliminin değişimi.....	75
Şekil 4.39	$M_0=0$ ve $n=1500$ d/d için motorda endüklenen zıt emk'nın değişimi.....	76
Şekil 4.40	$M_0=0$ ve $n=1500$ d/d için motor endüvi akımının değişimi.....	76
Şekil 4.41	$M_0=0$ ve $n=1500$ d/d için bulanık denetleyicinin çıkışının değişimi.....	77
Şekil 4.42	$M_0=0$ ve $n=1500$ d/d için bulanık denetleyicinin giriş ve çıkışının değişimi.....	78

Şekil 4.43  $M_0=0$  ve  $n=1500$  d/d için motorda endüklenen moment ve uygulanan yük momentinin değişimi.....78



## ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	A bulanık kümesinin gösterimi.....	8
Çizelge 2.2	Önemli çıkartım metotları.....	29
Çizelge 4.1	Hata durum planı.....	57
Çizelge 4.2	Simgesel kural tabanı.....	60



## ÖZET

Günlük yaşantımızda kontrol sistemleri önemli bir role sahiptir. Zamanımız teknolojileri sistem parametrelerindeki değişimler, işlemlerdeki nonlineerlik ve bozucu yük etkileri gibi değişken ortam problemlerinin çözümü için daha gelişmiş ve daha doğru işlem yapan kontrol sistemlerine ihtiyaç duyar. Bu durumlar da kullanılması muhtemel kontrol metotlarından bir tanesi 1965 yılında L. A. ZADEH tarafından ortaya sürülen bulanık mantık temelli kontrol sistemleridir. Bulanık mantık bazlı kontrol sistemleri son zamanlar da kontrol sistemleri üzerinde etkisini artırmıştır. Bulanık mantık temelli kontrol sistemlerinin uygulama alanlarından birisi konum kontrolü ve elektrik motorlarının devir sayısı kontrolüdür.

Bulanık mantık kontrol sistemleri klasik kümelerin genişletilmesinden meydana gelmiş bulanık küme teorisi kullanılarak oluşturulur. Birinci kısımda bulanık mantığa genel bir giriş yapılarak tarihsel gelişimi ifade edilmiştir. İkinci kısımda ilk olarak klasik küme teorisinin temelleri verilmiştir. Bunun akabinde bulanık küme teorisinin temelleri ifade edilmiş ve bulanık mantık kontrol sistemleri açıklanmıştır. Üçüncü kısımda serbest uyarımlı doğru akım motoruna ilişkin kontrol sistemlerine değinilerek kapalı çevrim transfer fonksiyonu çıkartılmıştır. Dördüncü bölümde Matlab-Simulink ortamında serbest uyarımlı doğru akım motoru modellenerek bulanık kontrolü Matlab-Fuzzy Logic Toolbox ortamında simule edilmiştir.

## ABSTRACT

In our daily life control systems have an important role. Recent technologies require more sophisticated and more accurate control strategies to solve varying environment problems such as a result of load disturbances, process nonlinearities and change of plant parameters. One of the possible control methods in this situation is fuzzy logic based control methods introduced by L. A. ZADEH in 1965. Fuzz logic based control systems or fuzzy control systems is recently getting increasing emphasis in control systems. One of the control application area is servo control systems and electrical motors velocity control systems.

Fuzzy control systems are constructed by using fuzzy set theory which is enhancement versions of crisp or conventional set theory. In first section, an introduction to fuzzy logic is made and historical background is remind. In second section the basic principles of conventional set theory first of all is given. After that the basic principles of fuzzy set theory mentioned and a fuzzy control system is described, respectively. Third section control strategies of direct current motors are given and closed loop transfer function of separately excited direct current motors is derived. In fourth section, in Matlab-Simulink environment a separately excited direct current motor is modelled and simulation of fuzzy control of this model made by using Matlab-Fuzzy Logic Toolbox.

## 1.GİRİŞ

Modern çağımızın çok süratli biçimde gelişen teknolojileri, artık klasik kontrol metotlarından yeterli derecede verim alamamaktadır. Zamanımız teknolojilerinin ortaya koyduğu daha hassas işlemler ve kaçınılmaz bir şekilde artan tasarruf sağlama zorunluluğu bilim adamlarını ve araştırmacıları bu yönde araştırmalar yapmaya itmiştir. İnsanın doğasında olan mükemmelle yaklaşma isteği ve hatta bir gün doğanın aynısının yapay yollarla ortaya çıkarılmaya çalışılması “yapay zeka”, “yapay sinir ağları”, “çok değerli mantık” ve bunlarla birlikte “bulanık mantığın (fuzzy logic)” ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Bulanık mantık günlük hayatımızda kullandığımız ve davranışlarımızı yorumladığımız yapıya ulaşmamızı sağlayan matematiksel bir disiplindir. Bulanık mantığın temelini bulanık küme kuramı oluşturur. Bulanık küme kuramı ise bildiğimiz klasik küme kuramının biraz daha geliştirilmiş bir ifadesidir. Klasik kümelerde bir eleman ya klasik kümeye aittir yada ait değildir dolayısıyla klasik kümelerde net bir kesinlik söz konusudur. İnsan davranışlarını ele aldığımızda , davranışların bu şekilde klasik kümeler kullanılarak yorumlanması mümkün değildir. Çünkü insanlar için varlık ve yokluk kavramlarının yanında kısmi varlık ve kısmi yokluk kavramları da vardır. Mesela sıcak ve soğuk kavramlarının yanında ılık , hafif sıcak yada hafif soğuk gibi ara değerleri de içeren kavramlar insan anlayışı içinde yer tutmaktadır. Dolayısıyla bu ara değerlerinde içerilmesiyle yani insan davranış ve düşüncelerini yorumlayacak ve kapsayacak bir matematiksel ifadelendirmeye ihtiyaç vardır. Bu ihtiyaç ise ara değerlerin de dikkate alındığı “Bulanık küme” teorisiyle ortadan kaldırılabilir. Böylece gerçel dünya dilinde kullanılan bir takım kavramsal değişkenler yardımıyla “biraz sıcak” , “çok soğuk”, “yavaş” gibi günlük yaşamımızda kullandığımız kelimeler yardımıyla insan mantığına en yakın doğrulukta, kompleks sistemlerin elektroniksel kontrolü gerçekleştirilebilir.

Bulanık mantık, 1965 yılında University of Berkeley öğretim üyelerinden aslen Azerbaycan’lı Prof. Dr. Lotfi A. ZADEH ‘in “Information and Control” dergisinde yayımlanan “Fuzzy Sets (Bulanık Kümeler)” makalesiyle ortaya çıkmıştır.1966 yılında Bulanık Mantık Bell Laboratuvarları Dr. Peter MARINOS tarafından kurulmuştur.1972 yılında University of London öğretim üyelerinden Prof. Dr. E. H. MAMDANI bulanık mantık temelli uzman sistemle bir buhar türbininin hızını ve performansının çok başarılı bir şekilde kontrol edilebileceğini göstermiştir. Bulanık mantık teorisinin ilk önemli uygulaması 1980 yılında Danimarka’daki bir çimento fabrikasında gerçekleştirilmiş , çimento harmanlama işlemi

içinde çok hassas bir denge ile oranlanması gereken sıcaklık ve oksijen ayarı en uygun bir biçimde yapılmıştır. Bundan sonra, bir başka çarpıcı uygulama ise Hitachi firması tarafından 1987 yılında Sendai Metrosunda gerçekleştirilerek , trenin istenen konumda durması 3 kat iyileştirilmiş, kullanılan enerji %10 oranında azaltılmıştır. Bunun üzerine Hitachi firmasına benzer bir sistemin Tokyo metrosuna kurulması için istek gelmiştir.1987’de Yamaichi Securities firmasının geliştirdiği bulanık mantık temelli bir uzman sistem yine 1987 yılının Ekim ayındaki “Kara Pazartesi” adı verilen büyük ekonomik çöküşü 18 gün öncesinden haber verebilmiştir. Bu kadar başarılı uygulamaların ardından bulanık mantığa olan ilgi artmış uluslar arası bir zemin oluşturabilmek için 1989 yılında aralarında SGS-Thomson, Omron, Hitachi , NCR , IBM , Toshiba ve Matsushita gibi dünya devlerindeki bulunduğu 51 firma tarafından LIFE (Laboratory for International Fuzzy Engineering) Laboratuvarları kurulmuştur.



## 2.BULANIK KÜME TEORİSİ

### 2.1.Bulanık Küme Matematiğine Giriş

Bulanık kontrolün temelini oluşturan bulanık kümeler klasik kümelerin geliştirilmiş türleridir. Dolayısıyla bulanık küme matematiğine girmeden önce klasik küme teorisinin ve matematiğinin incelenmesi konunun anlaşılmasını kolaylaştıracaktır.

### 2.2.Klasik Kümeler

Genel manada bir küme, küme elemanı olarak adlandırılan nesnelerin birleşiminden meydana gelen topluluktur. Bir kümenin elemanlarının kendi aralarında herhangi bir bağıntı olabileceği gibi, bir bağıntı bulunmayabilir. Klasik kümelerin belirtilmesi için belirli temsil yöntemleri ortaya konmuştur. Bu temsil yöntemleri aşağıdaki gibi incelenebilir.

- **Listeleme yöntemi:**

Bu gösterim tipi özellikle sınırlı sayıda elemanı bulunan (sonlu eleman sayısına sahip) kümeler için kullanılır. Örnekleri inceleyecek olursak;

$$A=\{\text{Afyon , İzmir , Manisa , Uşak}\} \quad (2.1)$$

$$B=\{a , b , c , d , e , 1 , 2 , 3\} \quad (2.2)$$

- **Ortak özellik (genelleme ) yöntemi:**

Bu gösterim yöntemi ortak özelliğe sahip elemanların çeşitli bağıntısal anlatım ifadeleri kullanılarak gösterimini sağlar.

$$A=\{x \in \mathbb{N} \mid x < 5\} \quad (2.3)$$

(A kümesi 5'ten küçük doğal sayıları eleman olarak içeren kümedir.)

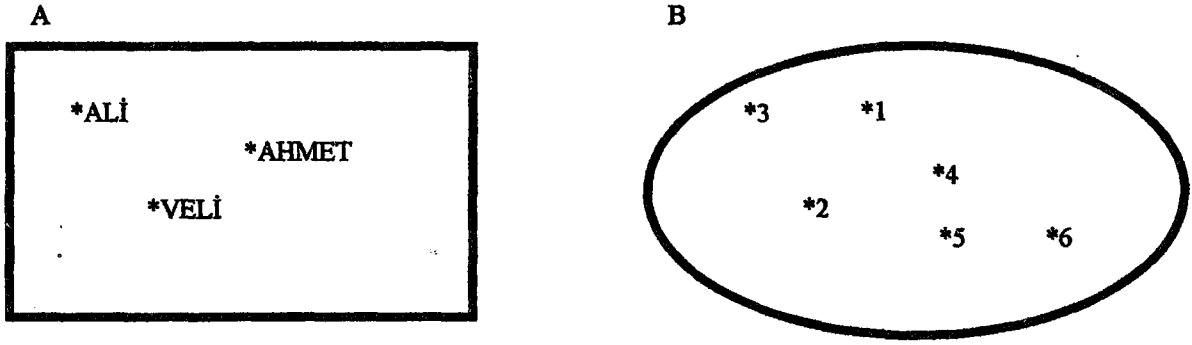
$$A=\{0 , 1 , 2 , 3 , 4\} \quad (2.4)$$

$$B=\{x \in \mathbb{N} \mid x > 5 \wedge x < 10\} \quad (2.5)$$

Şeklinde pek çok örnek verilebilir..

- **Şema ile gösterim yöntemi:**

Küme elemanlarının kapalı geometrik bir şekilde ifade edildiği gösterim biçimidir.



Şekil 2.1 Kümelerin şema ile gösterimi

• **Karakteristik Fonksiyon ile Gösterim Şekli:**

Bu gösterimde klasik mantıktan yararlanır. Belirli bir E evrensel kümesinde tanımlanan bir A kümesine ait karakteristik fonksiyon E'nin herhangi bir elemanı için eğer o eleman A kümesine ait ise karakteristik fonksiyon "1" değerini alır ve eğer o eleman A kümesine ait değil ise "0" değerini alır.

A kümesi E evrensel kümesinde tanımlı olmak üzere A kümesinin karakteristik fonksiyonu  $X_A$  aşağıdaki şekilde ifade edilebilir,

$$X_A: A \rightarrow \{1,0\} \quad (2.6)$$

$$X_A(e) = \begin{cases} 1 & e \in A \\ 0 & e \notin A \end{cases} \quad (2.7)$$

bir örnekle ifade edecek olursak

$$E = \{\text{doğal sayılar kümesi}\} \quad (2.8)$$

$$A = \{e \in E \mid e \leq 10 \wedge e \geq 5\} \quad (2.9)$$

$$X_A(10) = 1, X_A(8) = 1, X_A(11) = 0 \dots \quad (2.10)$$

$$X_A(e) = \begin{cases} 1 & 5 \leq e \leq 10 \\ 0 & 11 \leq e \wedge 4 \geq e \end{cases} \quad (2.11)$$

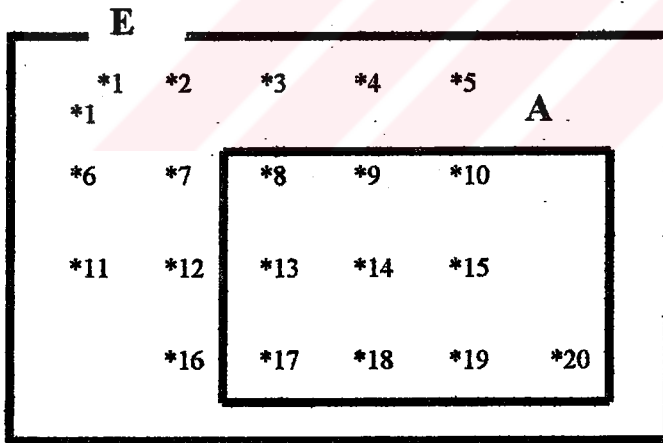
Karakteristik fonksiyon yöntemiyle gösterim klasik kümelerde nadiren kullanılır. Buna mukabil bulanık küme teorisinde, karakteristik fonksiyon üyelik fonksiyonuna karşılık gelir ve çok sıklıkla kullanılır.

### 2.3.Klasik Kümelerde Temel Küme İşlemleri

Bir küme üzerinde işlem yaparken elemanlar belirli bir kümeden alınır. Göz önüne alacağımız bütün elemanları kapsayan kümeye “evrensel küme” denir. Böylece işlemlerde kullanacağımız tüm kümeler evrensel kümenin alt kümeleri olmuş olur. Bu kısımda klasik kümelerle ilişkin kavramlar kısaca gözden geçirilecek ve örneklerle ifade edilecektir.

#### 2.3.1.Kümelerde eleman kavramı

Şekil 2.2’de E evrensel küme olarak gösterilmiş ve A kümesi ise E’nin alt kümesi olarak ifade edilmiştir. Burada E bütün elemanları, A ise E’nin elemanlarının bir kısmını içerir. Bir eleman A kümesine ait ise  $e \in A$  (örneğin  $10 \in A$ ) şeklinde, eğer ait değil ise  $e \notin A$  şeklinde



Şekil 2.2 E evrensel kümesi ve buna ait bir A alt kümesinin gösterimi

ifade edilir. Bütün klasik küme işlemlerinin bir küme ile gerçekleşmesi mümkün değildir. Dolayısıyla başka bir kümenin de tanımlanmasına ihtiyaç vardır.

$$E = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20\} \quad (2.12)$$

$$A = \{8, 9, 10, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20\} \quad (2.13)$$

$$B = \{4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 15, 18, 20\} \quad (2.14)$$

Şeklinde kümeler tanımlanabilir. Böylece küme işlemlerini yukarıda tanımlanan A ve B kümelerini kullanarak gerçekleştirebiliriz.

### 2.3.2.İki kümenin birleşimi

İki kümenin birleşimi “ $\cup$ ” işareti ile ifade edilir. İki kümeyle ait elemanlara karşılık gelir.

$$A \cup B = \{4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 15, 18, 20, 13, 14, 17, 19\} \quad (2.15)$$

### 2.3.3.İki kümenin kesişimi

İki kümenin kesişimi “ $\cap$ ” işareti ile ifade edilir. İki kümede ortak olarak bulunan elemanlara karşılık gelir.

$$A \cap B = \{8, 9, 10, 15, 18, 20\} \quad (2.16)$$

### 2.3.4.Bir kümenin tümleyeni

Bir kümede belirli elemanlar sınır dışı bırakılmak istenirse, bu uygulama tümleyen işlemi ile gerçekleştirilir. A'nın tümleyen kümesi öyle elemanlardan meydana gelir ki elemanlar A kümesinin dışındaki elemanlardır. A kümesi için tümleyen işlemi  $A'$  yada  $\bar{A}$  işaretleriyle ifade edilebilir. Buna göre A'nın tümleyeni

$$\bar{A} = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 12, 16\} \quad (2.17)$$

## 2.4.Klasik Kümelerde Diğer Özellikler

### 2.4.1.Değişme özelliği

$$A \cup B = B \cup A \quad (2.18)$$

$$A \cap B = B \cap A \quad (2.19)$$

### 2.4.2.Birleşme özelliği

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap C \quad (2.20)$$

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup C \quad (2.21)$$

### 2.4.3.Dağılma özelliği

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C) \quad (2.22)$$

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C) \quad (2.23)$$

#### 2.4.4.Çift negatifik özellikli

$$A = \overline{\overline{A}} \quad (2.24)$$

#### 2.4.5.De-Morgan kuralı

$$\overline{A \cup B} = \overline{A} \cap \overline{B} \quad (2.25)$$

$$\overline{A \cap B} = \overline{A} \cup \overline{B} \quad (2.26)$$

#### 2.4.6.Tekrarlama kuralı

$$A \cup A = A \quad (2.27)$$

$$A \cap A = A \quad (2.28)$$

### 2.4.Bulanık Kümeler

#### 2.4.1.Bulanık kümelerde tanımlama yöntemleri

Klasik kümeler karakteristik fonksiyonlarla ifade edilmelerine karşılık bulanık kümelerde ise üyelik fonksiyonu ile tanımlama söz konusudur. Üyelik fonksiyonları ise verilen kümelerin elemanları için çeşitli üyelik derecelerini içeren fonksiyonlardan ibarettir.

##### 2.4.1.1.Sıralı ikili ile gösterim yöntemi:

X genellikle x'le gösterilen evrensel küme olmak üzere, X üzerinde tanımlanan A bulanık kümesi sıralı ikililerden oluşan bir küme olarak ifade edilebilir.

$$X = \{ x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 \dots x_n \} \quad (2.29)$$

$$A = \{ (x | \mu_{A(x)} | x \in X) \} \quad (2.30)$$

Bu gösterimde birinci kısım elemanı, ikinci kısım ise elemanın üyelik derecesini ifade eder.

$$X = \{ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 \} \quad (2.31)$$

sonlu bir domen olmak üzere

A bulanık kümesi ise

$$A = \{ (1, 0.1), (2, 0.3), (3, 0.9), (4, 1.0), (5, 0.8), (6, 0.6), (7, 0.3) \} \quad (2.32)$$

şeklinde ifade edilir.

Çizelge 2.1 A bulanık kümesinin gösterimi

X	1	2	3	4	5	6	7
$\mu_A(x)$	0.1	0.3	0.9	1.0	0.8	0.6	0.3

#### 2.4.1.2. Toplam formunda gösterim yöntemi:

X bir evrensel küme ve A ise bu küme üzerinde tanımlanan bir bulanık küme olmak üzere ;

X'in sonlu bir küme olması durumunda

$$X = \{ x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, \dots, x_n \} \quad (2.33)$$

$$A = \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \quad (2.34)$$

Şeklinde ifade edilir

X'in sürekli olması durumunda

$$A = \int_x \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \quad (2.35)$$

Şeklinde olur. Örnek ile ifade edilirse,

A="10'a yakın doğal sayılar" kümesi olmak üzere

$$A = \left\{ \frac{0.1}{7} + \frac{0.5}{8} + \frac{0.8}{9} + \frac{1.0}{10} + \frac{0.8}{11} + \frac{0.5}{12} + \frac{0.1}{13} \right\} \quad (2.36)$$

Olarak gösterilir.

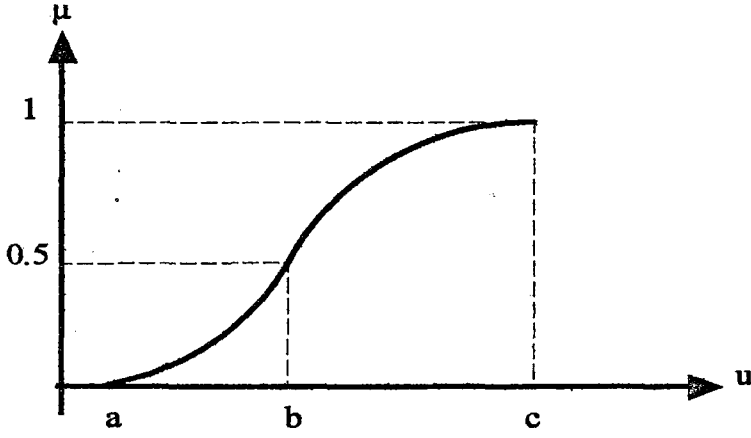
Bu yöntemde "/" ve "+" işaretleri matematiksel anlam ifade etmemektedir. Sadece bulanık kümelerin gösteriminde kullanılan notasyonlardan ibarettirler. "Σ" işlem yapılan domenin kesikli (sonlu) , "∫" işareti ise işlem yapılan domenin sürekli (sonsuz) olduğunu ifade eder. Ayrıca bu iki işaret bulanık küme elemanlarının genel manada bir araya getirildiğinin de bir ifadesidir.

#### 2.4.2. Önemli üyelik fonksiyon şekilleri

Üyelik fonksiyonları için kullanılan şekiller ele alınan durumlara göre farklılık arz edebilir.

Aşağıda en çok kullanılan ve büyük öneme sahip üyelik fonksiyon şekilleri ifade edilmiştir.

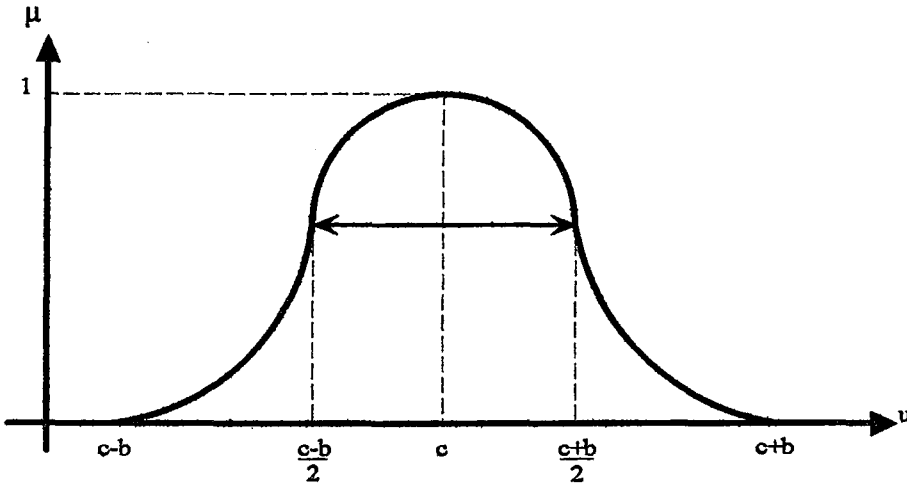
### 2.4.2.1. S fonksiyonu



Şekil 2.3 S üyelik fonksiyonunun gösterimi

$$S(x;a,b,c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ 2 * \left( \frac{x-a}{c-a} \right)^2 & a \leq x \leq b \\ 1 - 2 * \left( \frac{x-c}{c-a} \right)^2 & b \leq x \leq c \\ 1 & x > c \end{cases} \quad (2.37)$$

### 2.4.2.2.Çan fonksiyonu (Π)



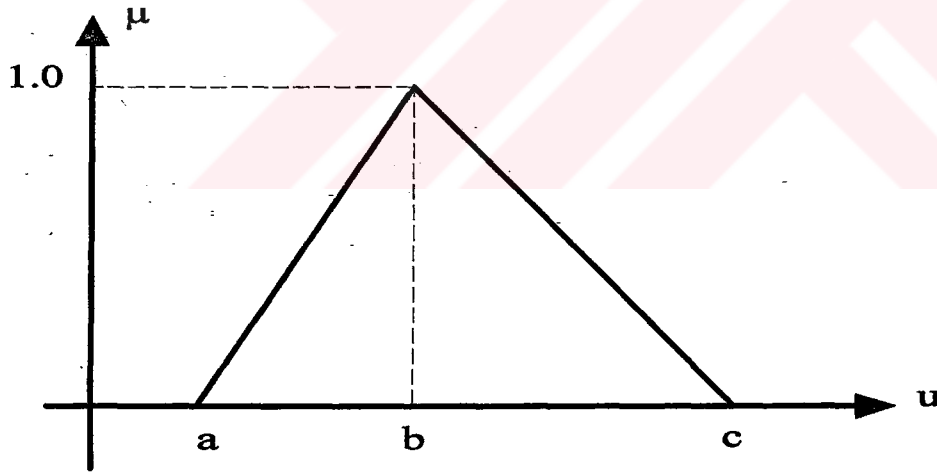
Şekil 2.4 Çan üyelik fonksiyonunun gösterimi

$$\Pi(u; a, b, c) = \begin{cases} S(u, c-a, \frac{c-b}{a}, c) & u > c \\ S(u, c-a, \frac{c+b}{a}, c) & u < c \end{cases} \quad (2.38)$$

Bu fonksiyon iki adet "s" fonksiyonu gibi düşünülebilir

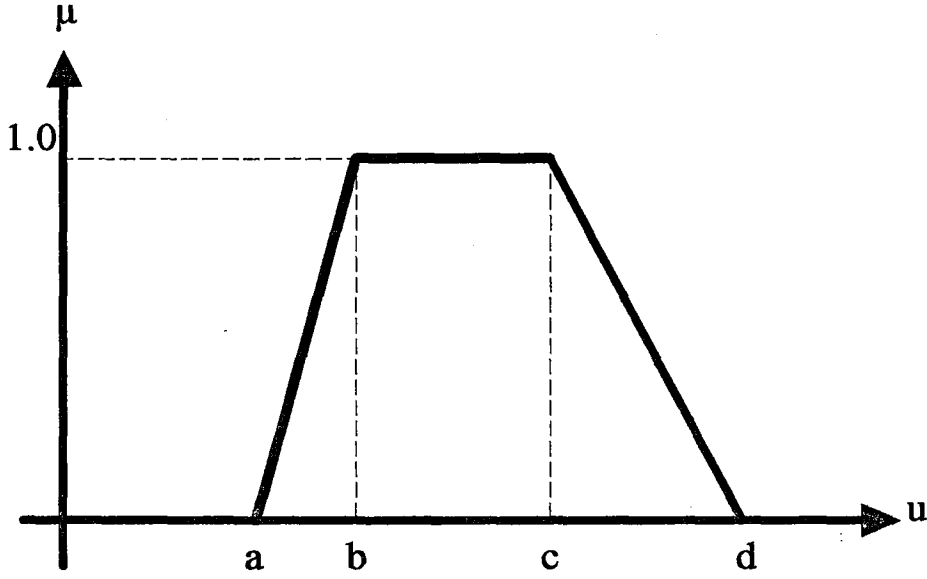
### 2.4.2.3. Üçgen fonksiyonu

$$\tilde{U}(u; a, b, c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ \frac{u-a}{b-a} & a \leq u \leq b \\ \frac{c-u}{c-b} & b \leq u \leq c \\ 0 & u > c \end{cases} \quad (2.39)$$



Şekil 2.5 Üçgen üyelik fonksiyonunun gösterimi

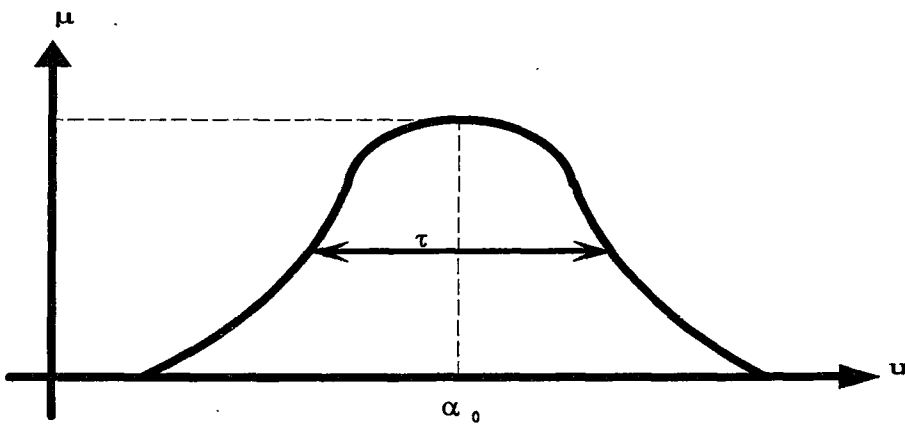
#### 2.4.2.4. Yamuk fonksiyonu



Şekil 2.6 Yamuk üyelik fonksiyonunun gösterimi

$$Y(u; a, b, c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ \frac{u-a}{b-a} & a \leq u < b \\ 1 & b \leq u < c \\ \frac{c-u}{d-c} & u > c \\ 0 & u > d \end{cases} \quad (2.40)$$

#### 2.4.2.5. Exponensiyel fonksiyon



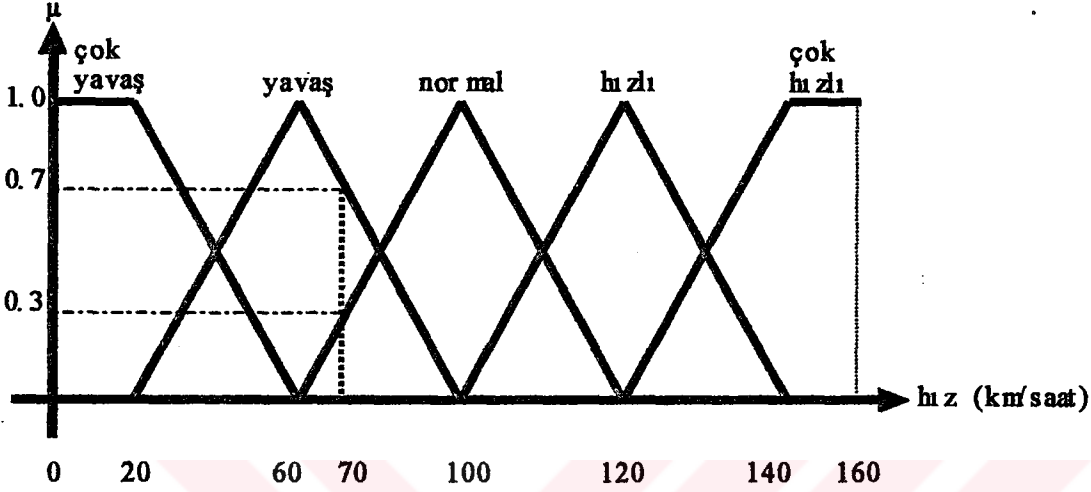
Şekil 2.7 Exponensiyel üyelik fonksiyonunun gösterimi

$$E(u; \alpha, \alpha_0, \tau) = e^{-\frac{(u-\alpha_0)^2}{\tau}} \quad (2.41)$$

### 2.4.3. Bulanık kümelerle ilişkin temel kavramlar

#### 2.4.3.1. Dilsel niceleyiciler

Bulanık kümelerle ait en önemli dilsel niceleyiciler “dilsel değişken” ve “dilsel değerler” kavramlarıdır. Bunları bir örnekte ifade edecek olursak;



Şekil 2.8 Dilsel niceleyicilerin ifade edilmesi

Şekil 2.8’de bir otomobile ait hız ifade edilmiştir. Burada “hız” kelimesi [0-160] km/saat sayısal değerlerini alabilen bir dilsel değişkendir. Üyelik fonksiyonlarının üzerinde yazılı değerler ise “çok yavaş”, ..., “çok hızlı” olarak isimlendirilen dilsel değerlerdir. Şekil 2.8 üzerinde 70 km/saat değerini ele alacak olursak bu değer hem “yavaş” ve hem de “normal” üyelik fonksiyonlarını keser ve her bir üyelik fonksiyonuna belirli bir üyelik derecesi ile katılır.

Dilsel değere ait keskin bir değer bulanıklaştırma adı verilen yöntemle bulanık olarak işlem yapılabilecek bir duruma dönüştürülür. Bulanık kümelerle ait dilsel değerler kesin değerlerin üyelik derecelerinden meydana gelir. Burada ifade edilen “bulanıklaştırma” terimi “bulanık denetleyicinin tanıtımının yapıldığı sonraki kısımlarda detaylı ifade edilecektir.

#### 2.4.3.2. Bir bulanık kümenin desteği

Bir bulanık küme üyelik dereceleri 0’dan büyük olan bütün noktalara o kümenin desteği denir.

$$\text{Destek}(A) = \{x \mid \mu_{A(x)} > 0\} \quad (2.42)$$

Olarak ifade edilir.

#### 2.4.3.3. Bir bulanık kümenin çekirdeği

Bir bulanık kümede üyelik dereceleri 1'e eşit olan bütün noktaların kümesine o kümenin çekirdeği denir.

$$\text{Çekirdek}(A) = \{x \mid \mu_{A(x)} = 1\} \quad (2.43)$$

Olarak ifade edilir.

#### 2.4.3.4. Bir bulanık kümenin normalitesi

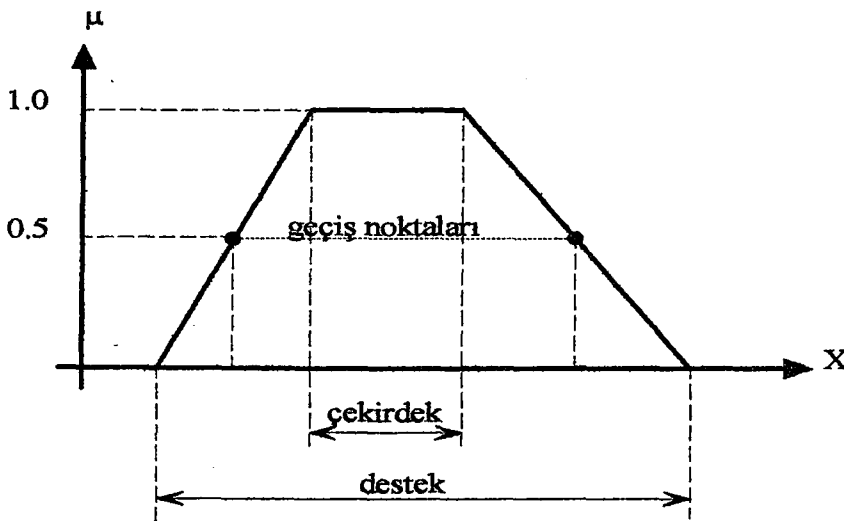
Bir bulanık kümenin çekirdeğini oluşturan küme boş küme değilse bu kümeye "normal bulanık küme" denir.

$x \in X \Rightarrow$  en azından bir  $x$  elemanı için  $\mu_A(x) = 1$  olmalıdır.

#### 2.4.3.5. Bir bulanık kümenin geçiş noktaları

Bir bulanık kümede üyelik derecesi 0.5 olan noktalara bu bulanık kümenin geçiş noktaları denir.

$$\text{Geçiş}(A) = \{x \mid \mu_A(x) = 0.5\}$$

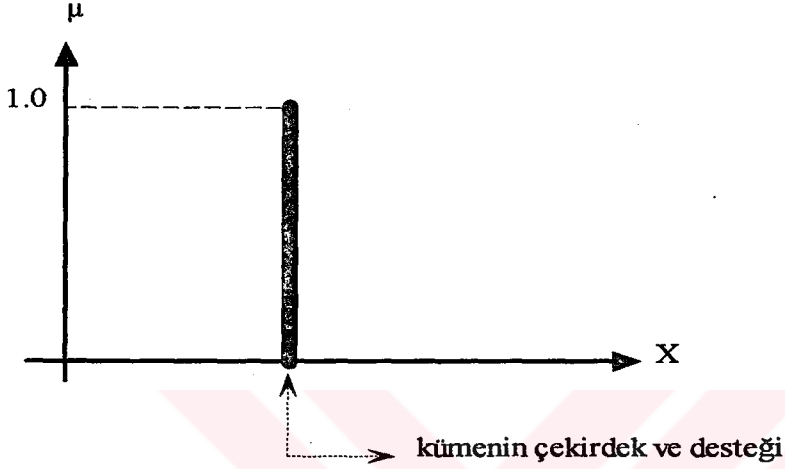


Şekil 2.9 Bir bulanık kümede geçiş noktaları, çekirdek ve desteğin ifade edilmesi

### 2.4.3.6. Tek bulanık küme

Desteği tek bir nokta ve bu noktanın üyelik derecesi  $\mu_A(x)=1$  olan bulanık kümeye bu bulanık kümenin tekliği denir.

Bu özellikleri şekil üzerinde ifade edecek olursak ;



Şekil 2.10 Tek bir bulanık kümede teklik, çekirdek ve desteğin ifade edilmesi

### 2.4.3.7. $\alpha$ - Düzeyli bulanık küme

Bir bulanık kümede  $\alpha$  üyelik derecesinden büyük ve buna eşit üyelik derecelerine sahip düzeye " $\alpha$ -kesimi" yada " $\alpha$ -düzeyli" bulanık küme adı verilir. Eğer  $\alpha$  üyelik derecesinden tamamen büyüklük söz konusu ise yani  $\alpha < \mu_A(x)$  durumu geçerli ise elde edilen kümeye " $\alpha$ -güçlü  $\alpha$ -kesimi" yada " $\alpha$ -güçlü  $\alpha$ -düzeyli" bulanık küme adı verilir.

$$A_\alpha = \{x \in X \mid \mu_A(x) \geq \alpha\} \quad (2.45)$$

$$A_\alpha^1 = \{x \in X \mid \mu_A(x) > \alpha\} \quad (2.46)$$

olarak ifade edilirler.

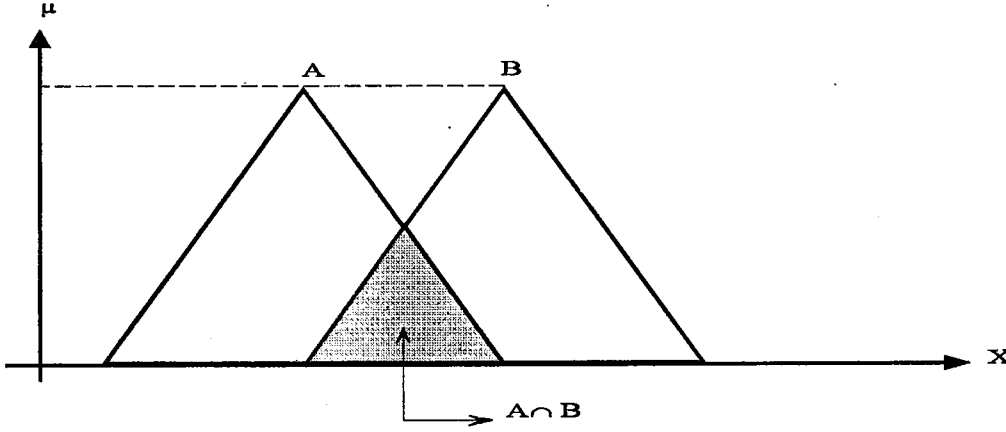
### 2.4.4. Bulanık kümelerde temel küme işlemleri

Klasik kümelerde olduğu gibi bulanık kümelerde de bir takım işlemlerden bahsetmek mümkündür. Üyelik fonksiyonları kuşkusuz bir bulanık kümenin en önemli özelliklerindedir. Dolayısıyla bulanık kümelerde kullanılan temel küme işlemlerinin en önemli öğeleri üyelik fonksiyonlarıdır.

### 2.4.4.1. İki bulanık kümenin kesişimi

A, B ve C bulanık kümeler olmak üzere A ve B bulanık kümelerinin kesişimi aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$C = A \cap B \Rightarrow \mu_C(x) = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} \rightarrow x \in X \quad (2.47)$$

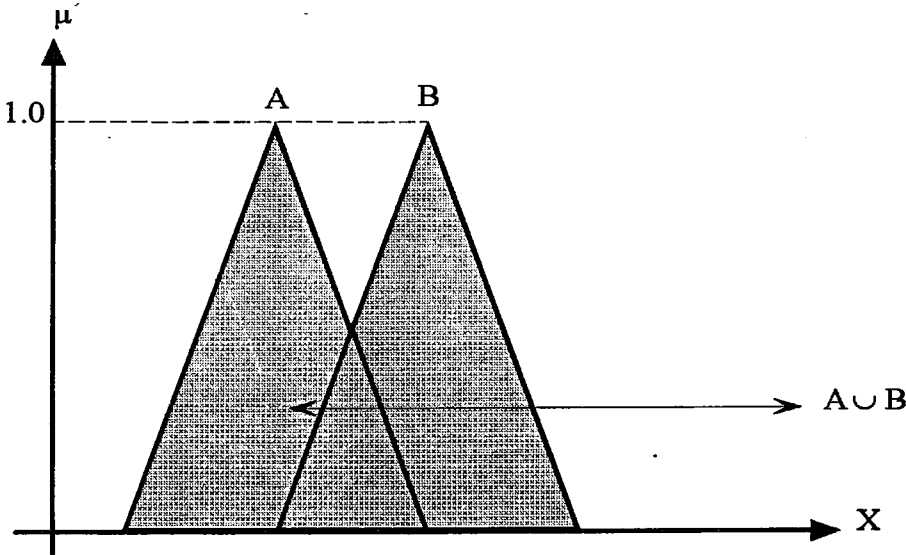


Şekil 2.11 İki bulanık kümenin kesişimi

### 2.4.4.2. İki bulanık kümenin birleşimi

A, B ve D bulanık kümeler olmak üzere A ve B bulanık kümelerinin birleşimi aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$D = A \cup B \Rightarrow \mu_D(x) = \max \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} \rightarrow x \in X \quad (2.48)$$

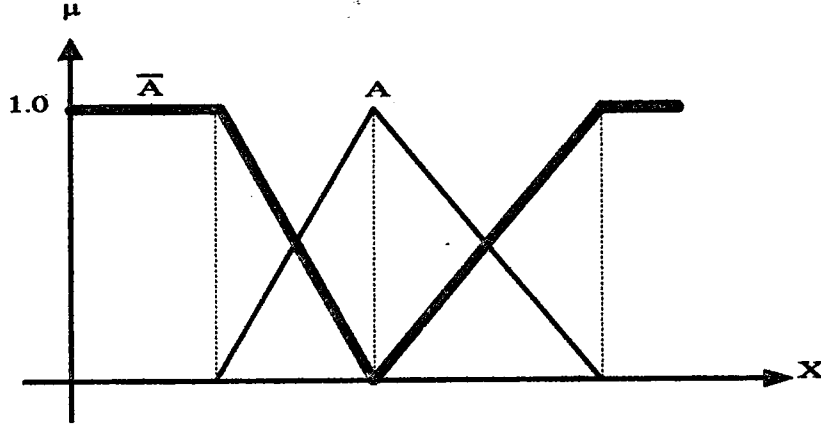


Şekil 2.12 İki bulanık kümenin birleşimi

### 2.4.4.3. Bir bulanık kümenin tümleyeni

A bulanık küme olmak üzere ; A'ya ait elemanların üyelik derecelerinin 1'den çıkarılmasıyla elde edilen kümeye A bulanık kümesinin tümleyeni denir ve  $\bar{A}$  ya da  $A^c$  ile ifade edilir.

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \rightarrow x \in X \quad (2.49)$$

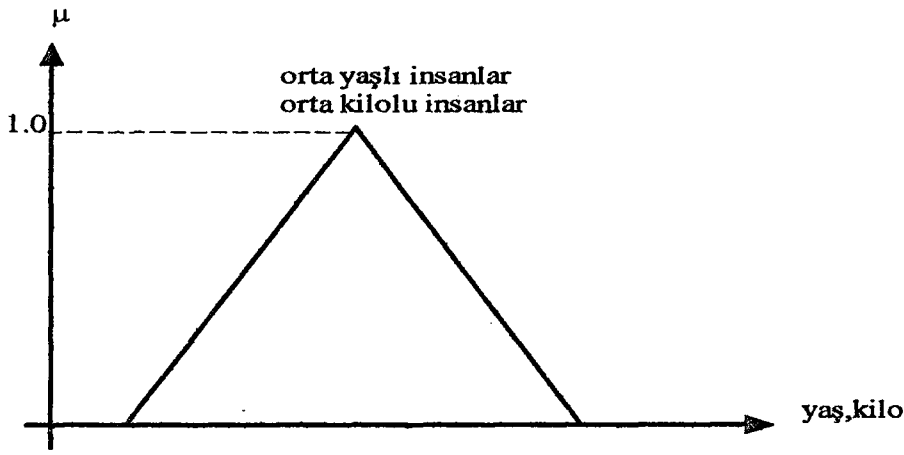


Şekil 2.13 Bir bulanık kümenin tümleyeni

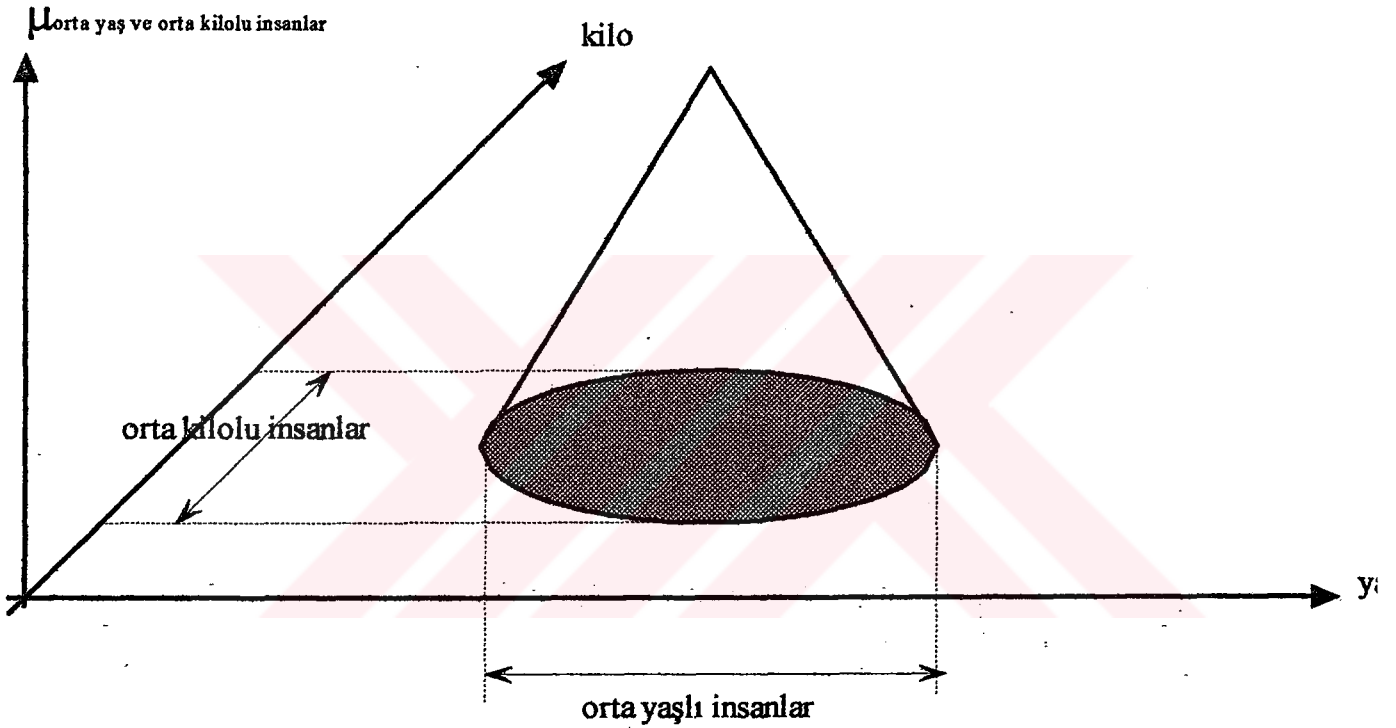
### 2.4.5. Bulanık bağıntılar (ilişkiler)

Bulanık kümelerde ifade edilen bağıntılar klasik küme teorisindeki bağıntıların geliştirilmiş yada genişletilmiş şekilleridir. Klasik kümelerde bağıntılar kümelerle ifade edilirler aynı durum bulanık kümeler için de geçerlidir.

Bulanık bağıntı çok boyutlu uzayda bulunan bir bulanık kümedir. (Kartezyen ya da çarpım uzayında olduğu gibi). Mesela bir toplantı salonunda bulunan insanlar yaş ve kilo bakımından kümelere bölünsün. Bulanık kümelerden "orta kilolu insanlar" ile "orta yaşlı insanlar" kümeleri arasında "orta yaşlı ve orta kilolu insanlar" bağıntısı ele alınırsa elde edilen kümenin de çok boyutlu uzayda bir bulanık küme meydana getirdiği aşağıdaki şekilde açık olarak görülebilir.



Şekil 2.14 Orta yaşlı insanlar ve orta kilolu insanlara ait bulanık küme gösterimi



Şekil 2.15 Hem orta yaşlı ve hem de orta kilolu insanları ifade eden bulanık küme ifadesi

Bulanık bağıntılar kartezyen çarpım uzayında ifade edilebilir.  $n$  Boyutlu bir bulanık bağıntı kartezyen uzayında aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, \dots, X_n \Rightarrow$  Bulanık kümeler

$X_1 \times X_2 \times X_3 \times X_4 \times X_5 \times \dots \times X_n \Rightarrow$  Kartezyen çarpım uzayı

Olmak üzere

Sürekli kümelerin meydana getirdiği bulanık bağıntı;

$$R = \int_{X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n} \frac{\mu_R(X_1, X_2, \dots, X_n)}{(X_1, X_2, \dots, X_n)} \quad (2.50)$$

$$\mu_R : X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, \dots, X_n \Rightarrow [1.0, 0.0] \quad (2.51)$$

$$\mu_R (X_1, X_2, \dots, X_n) = \begin{cases} 1 & (x_1, x_2, \dots, x_n) \in R \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (2.52)$$

Yukarıdaki genelleme aynı zaman da sonlu bulanık kümeler için de geçerlidir. İki adet sonlu kümeden meydana gelen bulanık bağıntıyı inceleyecek olursak ;

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (2.53)$$

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\} \quad (2.54)$$

X ve Y kümeleri arasındaki bağıntı aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$R = \begin{matrix} x_1 & \begin{bmatrix} \mu_R(x_1, y_1) & \mu_R(x_1, y_2) & \dots & \mu_R(x_1, y_n) \end{bmatrix} \\ x_2 & \begin{bmatrix} \mu_R(x_2, y_1) & \mu_R(x_2, y_2) & \dots & \mu_R(x_2, y_n) \end{bmatrix} \\ \vdots & \begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \end{bmatrix} \\ x_n & \begin{bmatrix} \mu_R(x_n, y_1) & \mu_R(x_n, y_2) & \dots & \mu_R(x_n, y_n) \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (2.55)$$

$y_1 \quad y_2 \quad \dots \quad y_n$

Burada elde edilen "R" matrisine "bağıntı yada bulanık matris" denir.

$$R \subset X \times Y \quad (2.56)$$

olarak ifade edilir.

Bulanık bağıntı olayını bir örnekle ifade edecek olursak ;

$$E = \{\text{Türkiye'deki iller}\} \quad (2.57)$$

$$A = \{\text{Afyon, Edirne, İstanbul}\} \quad (2.58)$$

$$B = \{\text{Ağrı, Konya, Muş}\} \quad (2.59)$$

şeklinde verilen kümeler arasında "A kümesindeki şehirlerin B kümesindeki şehirlere yakınlığı" adlı bir bağıntı oluşturursak;

$$R = \begin{matrix} \text{Edirne} & \begin{bmatrix} 0.6 & 0.4 & 0.1 \end{bmatrix} \\ \text{İstanbul} & \begin{bmatrix} 0.7 & 0.5 & 0.2 \end{bmatrix} \\ \text{Afyon} & \begin{bmatrix} 1.0 & 0.6 & 0.3 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (2.60)$$

$\text{Konya} \quad \text{Muş} \quad \text{Ağrı}$

şeklinde bağıntı matrisi elde edilebilir

Bu matrise "aralarındaki mesafe 400 km'den küçük iller" sınırlamasını getirecek olursak;

$$R = \begin{matrix} \text{Edirne} & \begin{bmatrix} 0.0 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix} \\ \text{İstanbul} & \begin{bmatrix} 0.0 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix} \\ \text{Afyon} & \begin{bmatrix} 1.0 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (2.61)$$

$\text{Konya} \quad \text{Muş} \quad \text{Ağrı}$

(2.61)'deki gibi "1" ve "0" lardan meydana gelen ve "Boolean Matrisi" de denilen bağıntı matrisi elde edilmiş olur.

#### 2.4.6. Bulanık bağıntılarda izdüşüm ve silindirik genişletme

Bulanık bağıntılarda temel işlemlerin yapılmasını sağlayan en temel kavramlar izdüşüm ve silindirik genişletme kavramlarıdır.

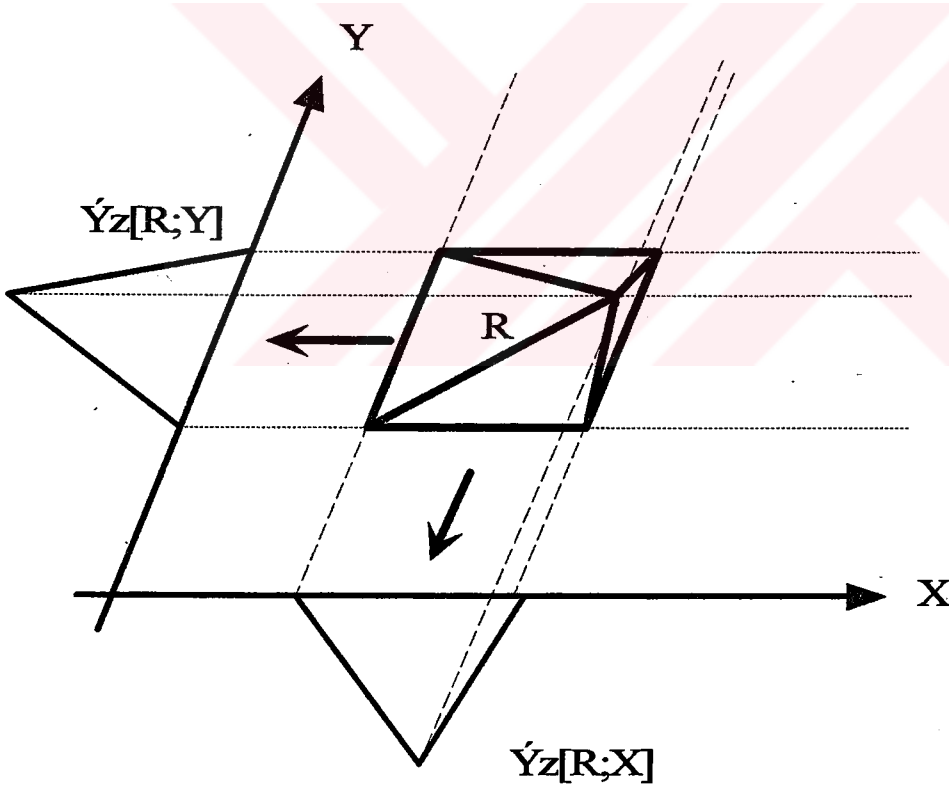
##### 2.4.6.1. İzdüşüm

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (2.62)$$

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\} \quad (2.63)$$

R bağıntısı  $X \times Y$  kartezyen çarpım uzayında tanımlanmak üzere

R bağıntısının X üzerindeki izdüşümünü veren bulanık küme;



Şekil 2.16 Bir bulanık bağıntının izdüşümü ve silindirik genişletmesi

$$\dot{I}z[R; X] = \sum_{i=1}^n \left( \left\{ \max_{y_i \in Y} \mu_R(x_i, y_i) \right\} / x_i \right) \quad (2.64)$$

şeklindedir ve aynı zamanda R bağıntısının Y üzerindeki izdüşümünü veren bulanık küme;

$$Iz[R; Y] = \sum_{i=1}^n \left( \left\{ \max_{x_i \in X} \mu_R(x_i, y_i) \right\} / y_i \right) \quad (2.65)$$

şeklinde ifade edilir.

#### 2.4.6.2. Silindirik genişletme

X üzerinde A bulanık kümesi tanımlanmak üzere, A kümesinin X x Y kartezyen uzayında silindirik genişletmesi

$$S(A) = \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{matrix} \begin{bmatrix} \mu_A(x_1) & \mu_A(x_1) & \cdots & \mu_A(x_1) \\ \mu_A(x_2) & \mu_A(x_2) & \cdots & \mu_A(x_2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_A(x_n) & \mu_A(x_n) & \cdots & \mu_A(x_n) \end{bmatrix} \begin{matrix} y_1 \\ y_2 \\ \cdots \\ y_n \end{matrix} \quad (2.66)$$

şeklinde Y üzerinde tanımlanan B kümesinin X x Y kartezyen çarpım uzayındaki silindirik genişletmesi ise

$$S(B) = \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{matrix} \begin{bmatrix} \mu_B(y_1) & \mu_B(y_2) & \cdots & \mu_B(y_n) \\ \mu_B(y_1) & \mu_B(y_2) & \cdots & \mu_B(y_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_B(y_1) & \mu_B(y_2) & \cdots & \mu_B(y_n) \end{bmatrix} \begin{matrix} y_1 \\ y_2 \\ \cdots \\ y_n \end{matrix} \quad (2.67)$$

olarak ifade edilir.

İzdüşüm ve silindirik genişletme işlemini sonlu iki bulanık küme üzerinde inceleyecek olursak;

$$X = \{x_1, x_2, x_3\} \quad (2.68)$$

$$Y = \{y_1, y_2, y_3\} \quad (2.69)$$

$$R = \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{matrix} \begin{bmatrix} 0.6 & 1.0 & 0.3 \\ 0.5 & 0.2 & 0.8 \\ 0.1 & 0.4 & 0.7 \end{bmatrix} \begin{matrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{matrix} \quad (2.70)$$

R bağıntısının X üzerindeki izdüşümü

$$Iz[R; X] = \frac{\max(0.6, 1.0, 0.3)}{x_1} + \frac{\max(0.5, 0.2, 0.8)}{x_2} + \frac{\max(0.1, 0.4, 0.7)}{x_3} \quad (2.71)$$

$$Iz[R; X] = \frac{1.0}{x_1} + \frac{0.8}{x_2} + \frac{0.8}{x_3} \quad (2.72)$$

R bağıntısının Y üzerindeki izdüşümü

$$Iz[R;Y] = \frac{\max(0.6, 0.5, 0.1)}{y_1} + \frac{\max(1.0, 0.2, 0.4)}{y_2} + \frac{\max(0.3, 0.8, 0.7)}{y_3} \quad (2.73)$$

$$Iz[R;Y] = \frac{0.6}{y_1} + \frac{1.0}{y_2} + \frac{0.8}{y_3} \quad (2.74)$$

X kümesinin silindirik genişletilmesi;

$$S(X) = \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{matrix} \begin{bmatrix} 1.0 & 1.0 & 1.0 \\ 0.8 & 0.8 & 0.8 \\ 0.7 & 0.7 & 0.7 \end{bmatrix} \begin{matrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{matrix} \quad (2.75)$$

X kümesinin silindirik genişletilmesi;

$$S(X) = \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{matrix} \begin{bmatrix} 0.6 & 1.0 & 0.8 \\ 0.6 & 1.0 & 0.8 \\ 0.6 & 1.0 & 0.8 \end{bmatrix} \begin{matrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{matrix} \quad (2.76)$$

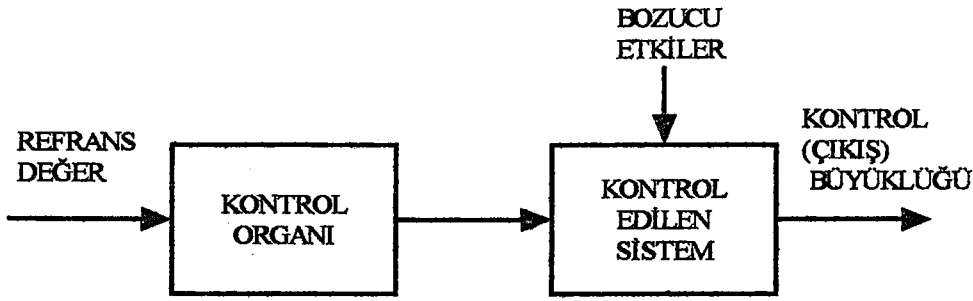
## 2.5. Bulanık Kontrol

### 2.5.1. Klasik kontrol sistemleri

Bir kontrol sisteminin amacı, sistemine ait belirli durumları ve değişkenleri tanımlanan bir aralıkta gözlemlemek, tanımlanan denetleme işlemlerini uygulayarak sistemi istenen duruma getirmek ve bu durumda minimum hata ile tutarak stabil olarak çalışmasını sağlamaktır. Bir sistem belirli bir amaca yönelik olarak bir araya getirilmiş bileşenlerden meydana gelmiştir. Dolayısıyla bir kontrol ya da denetleme sistemi de kontrol işleminin uygulandığı sistem, denetleyici ve algılayıcılar gibi çeşitli fiziksel elemanlardan meydana gelmiştir. Sistemdeki girişler denetleyicide kontrol edilen sistemi uygun duruma ulaştıran kontrol işaretlerinin üretilmesi için kullanılır ve denetlenen sistemden uygun çıkışlara elde edilmiş olur. Kontrol sistemleri yapılarına bağlı olarak açık çevrim ve kaplı çevrim kontrol sistemleri olmak üzere iki gruba ayrılabilir.

#### 2.5.1.1. Açık çevrim kontrol sistemleri

Kontrol edilen fiziksel büyüklüğün kontrol hareketine etkisinin bulunmadığı kontrol sistemleridir

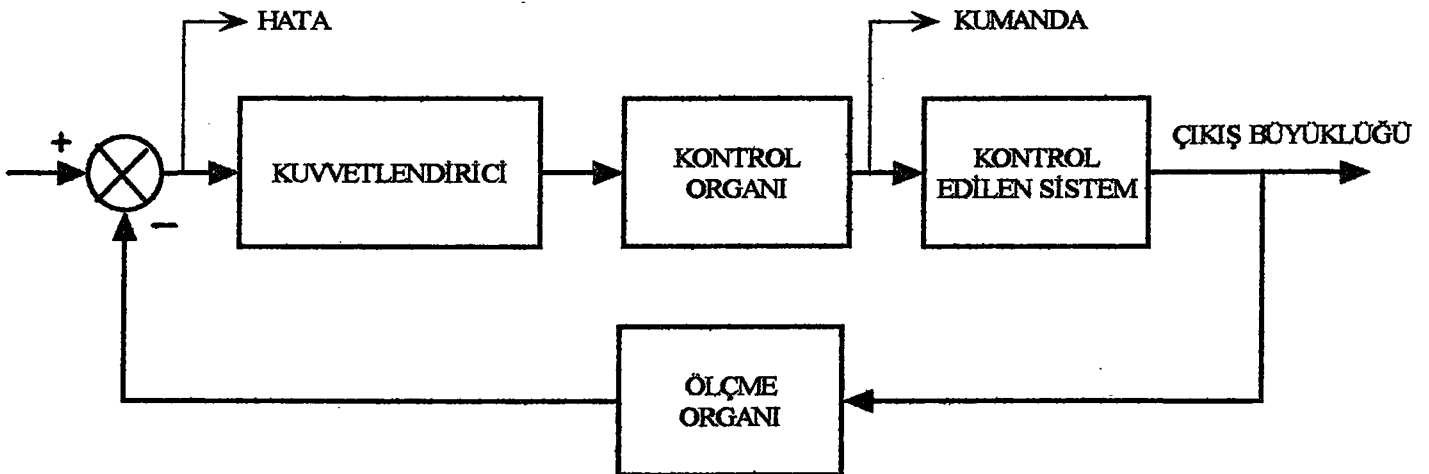


Şekil 2.17 Açık çevrim kontrol sistemlerine ait prensip blok şema

Evlerde kullanılan kontrollü cihazların pek çoğu bu prensiple çalışır. Mesela eski tip çamaşır makineleri, bu makineler sırasıyla rutin olarak bir dizi işlemi gerçekleştirirler. Fakat, çalışma esnasında, kontrol büyüklüğü olan çamaşır temizlik derecesini ölçmez ve kontrol hareketi üzerine yansıtırlar. Sistem referans değeri uygun bir yıkama programı seçerek sağlanır.

### 2.5.1.2. Kapalı çevrim kontrol sistemleri

Kontrol edilen fiziksel büyüklüğün kontrol hareketine etkisinin yansıtıldığı kontrol sistemleridir. Kapalı çevrimli çalışmada, çıkış büyüklüğü ölçülerek referans değeri ile karşılaştırılarak hata büyüklüğü elde edilir. Hata işareti istenen çıkış değerinden sistemin ne kadar saptığının bir ölçütüdür. Sistemin istenen çıkışa ulaşması için hatayı küçültücü bir kontrol işareti hatadan yararlanarak değişik metotlar kullanılarak denetleyici tarafından üretilir.



Şekil 2.18 Kapalı çevrim kontrol sistemlerine ait prensip blok şema

Şekil 2.18'de görüleceği üzere çıkış büyüklüğü ölçme organı tarafından ölçülerek geri beslenir. Ölçülen değeri ile referans değeri karşılaştırılarak hata değeri elde edilir, hata değeri

kuvvetlendirilerek kontrol organına aktarılır , kontrol organı kuvvetlendirilmiş hata işaretini işleyerek gerekli kontrol ve kumanda işaretini üreterek kontrol edilen sisteme uygular. Böylece çıkış büyüklüğünün kontrolü sağlanmış olur.

Kapalı çevrim kontrol sistemleri çok çeşitli şekillerde gerçekleştirilebilir ve çok farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Sınıflandırma kontrol sisteminde yer alan elemanlara göre bilgisayar destekli , elektro-mekanik , biyolojik , hidrolik ve pnömatik olarak , amacına göre konum kontrolü , hız kontrolü , gerilim kontrolü , akım kontrolü olarak ,sistem parametrelerinin zamana bağlı olarak değişip değişmemesine göre lineer ve nonlineer , kontrol sinyallerinin karakteristiklerine göre deterministik yada stokastik olarak sınıflandırılabilir.

### 2.5.2.Bulanık kontrole giriş

Mükemmel bir kontrol sisteminin tasarımı kontrol edilecek sistemi tanımlayan matematiksel modelin uygunluğu ile direkt olarak ilişkilidir. Bazı sistemlerin matematiksel modellerinin elde edilmesi çok zordur. Aynı zamanda elde edilen matematiksel modeller çok kompleks olabilir. Dolayısıyla elde edilen bu matematiksel modeller kullanılarak kontrol sisteminin gerçekleştirilmesi mümkün olmayabilir ya da çeşitli nedenlerden dolayı matematiksel modeller elde edilemeyebilir. Bu gibi durumlarda klasik kontrol sistemlerinin kullanımı mümkün olmaz. Böyle bir sistemin kontrolü gerektiğinde , eğer mümkünse , matematiksel modele ihtiyaç duymayan uzun süre bu işle uğraşmış bir insanın (operatörün ) kullanılması uygun bir çözümdür. İnsanın işlerini kolaylaştıracak elemanlarla donatılmış bir sistemde insan duyu organlarını kullanarak , içgüdülerine güvenerek gerekli kontrol işaretinin üretilmesini bir denetleyici maharetiyle gerçekleştirebilir. Dolayısıyla aklımıza şöyle bir soru gelebilir. "İnsan yerine insan gibi hareket eden bir denetleyicinin koyulması mümkün olmaz mı?"Böyle insani vasıflarla donatılmış bir denetleyicinin yapılması mümkündür. İnsani vasıflar denetleyiciye insanın karar verme şekli ile paralel olarak karar verebilen bulanık mantığın kullanılması ile mümkün olabilir. Bu noktada bulanık mantığın önemi ortaya çıkmaktadır.

Ancak her yöntemde olduğu gibi , bulanık mantık temelli kontrolün yani bulanık kontrolün kullanılmasına karar vermeden önce sistemi iyice incelemek ve neden bulanık kontrolün kullanıldığına karar vermek gerekmektedir. İkinci aşamada ise sistem iyice tanınarak ne tür bir bulanık denetleyicinin kullanılacağına karar vermek gerekmektedir. Ancak bu aşamalardan sonra eğer daha iyi bir yöntem bulunamıyor ise bulanık kontrolün uygulamasına

geçilmelidir. Diğer uygulamalarda olduğu gibi yanlış uygulama alanının seçimi ya da yukarıdaki işlevlerin yerine getirilmemesi kontrol sistemini sadeleştireceği yerde daha karmaşık şekle de sokabilir.

Bütün kararlar verildikten sonra kontrol sisteminin tasarımı ve kontrol algoritmasının belirlenmesine gelinmiştir. Bu aşamada da önemli kararlar ve seçilmesi gereken bir takım parametreler vardır. Bunlar arasında kontrol parametrelerinin ve sistemden geri besleme yolu ile alınacak durum değişkenlerinin belirlenmesi , bulanık kümelerin uygun seçilmesi ve üyelik fonksiyonlarının tanımlanması ve en sonunda gerekli kontrol işlemlerinin yürütülmesi için kontrol kurallarının tamamlanması en önemli işlevlerdir. Ayrıca karar verme mekanizmasının da belirtilmesi de gerekmektedir. İzleneceği üzere bir bulanık kontrol sisteminin tasarlanması ve gerekli kontrol algoritmasının gerçekleştirilmesi başlı başına bir zorluktur.

Kontrol algoritması belirlendikten sonra algoritmanın bilgisayara ya da mikroişlemciye program olarak geçirilmesi gerekmektedir. Bu aşama gerçek zamanda kontrol işlemlerinin yapılması için en önemli aşamalardan birisidir. Programın yazılması esnasında kontrol edilecek sistemin gereksinimleri dikkate alınarak esnek ve efektif bir program yazılmaya çalışılmalıdır. Mesela hızlı durum değiştiren bir sistemin gerçek zamanda kontrolünün yapılması son derece hızlı olarak bellek erişimi ve yönetimi gibi pek çok işlevin optimize edilerek programa aktarılması ile mümkün olmaktadır. Geliştirilen kontrol algoritması ne kadar etkin olursa olsun eğer kullanılacak program yeterince iyi değil ise ve sistemin gerektirdiği bir takım şartları yerine getiremiyor ise kontrol sisteminin etkinliği ortadan kalkabilir.

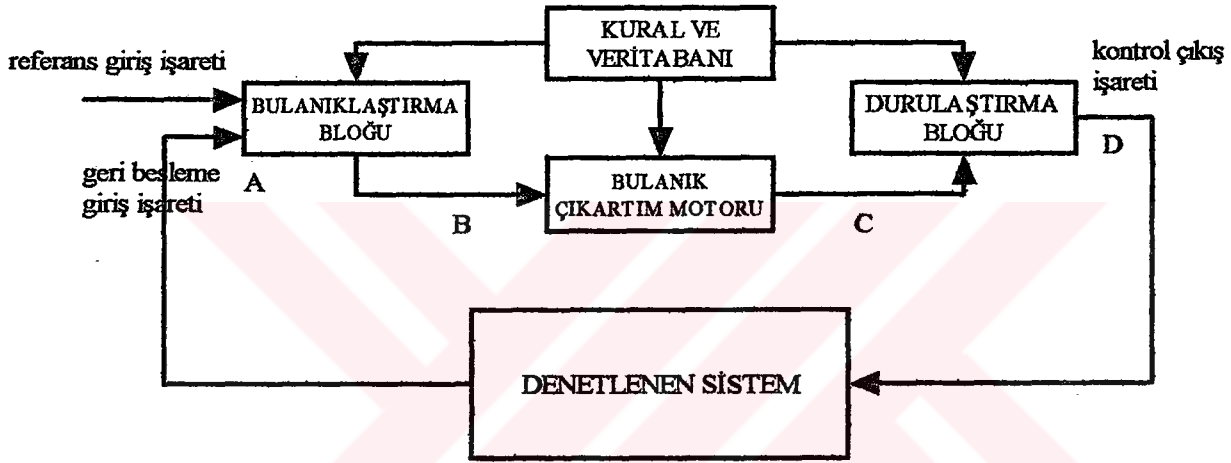
Bulanık kontrol sistemleri, kontrol sistemlerine çok esnek ve yumuşak hesaplamalar getirdiğinden dolayı teorik ve pratik olarak en çok araştırma yapılan sahalardan biri olmuştur. Pratikte bulanık kontrol sistemlerini üstün kılan sebepleri şu şekilde ifade edebiliriz.

- Sistemin genel bir matematik modelini elde etmeye gerek yoktur.
- Ele alınan proses çok karmaşık ve buna ait bilgiler sınırlı veya sistem nonlineer ise bu durumda klasik kontrol teknikleri kullanılamaz. Bu durumda bulanık kontrol ön plana çıkar sistemin kontrolü bulanık mantıkla gerçekleştirilebilir.

- Bulanık denetleyiciler sistemin daha esnek çalışmasını temin eder farklı durumlarda minimum değişiklik yapılarak kontrol işleminin yapılmasını sağlar.
- Bulanık denetleyici kullanılarak elde edilen sonuçlar , en az klasik kontrol metotları ile elde edilen sonuçlar kadar iyidir ve aynı zamanda klasik kontrol tekniklerine göre daha basit ve direkt olarak erişilebilir.

Günümüzde , bulanık kontrol konusunda başta Japon firmaları olmak üzere pek çok alanda uygulamaya yönelik çalışmalar yapılmış ve binlerin üzerinde patent alınmıştır.

Genel manada bir bulanık kontrol sistemini Şekil 2.19'daki gibi ifade edebiliriz.



Şekil 2.19 Bir bulanık kontrol sistemlerine ait prensip blok şema

Yukarıda görüleceği üzere bir bulanık kontrol sistemi ; bir bulanık çıkartım motoru , bir bulanıklaştırma bloğu , bir durulaştırma bloğu , kontrol kurallarını içeren bir kural tabanı , bulanık kümeleri içeren bir veri tabanından meydana gelmiştir . Sistemi kısım kısım inceleyecek olursak;

- ◆ A Noktası:Geri besleme ve referans sinyalleri gerçek dünyaya ait sinyallerdir. Bulanık kontrol işleminin yapılabilmesi için gerçek zamandaki sinyallerin bulanık sinyallere çevrilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla bu iki sinyal bulanıklaştırma işlemine tabi tutulmak için bulanıklaştırma bloğu içine gönderilir.
- ◆ B Noktası:Bulanıklaştırma bloğundan gelen bulanık sinyallerdir. Bu sinyaller bulanık çıkartım motoru içine alınarak kontrol işlem sonucunun elde edilmesi için kullanılır.

- ◆ C Noktası: Bulanık çıkartım motorundan gelen bulanık kontrol sinyalidir. Gerçek kontrol sinyalinin belirlenmesi için bulanık sinyalin durulaştırıldığı durulaştırma bloğuna gönderilir.
- ◆ D Noktası: Durulaştırma bloğundan gelen durulaştırılmış sinyali içerir. Bu sinyal gerçek dünyada kullanılabilir bir kontrol sinyalidir. Kontrol sinyali olarak denetlenen sisteme gönderilir.

Bir prensip bulanık kontrol sisteminde yer alan bloklar ayrı ayrı aşağıdaki gibi incelemeye tabi tutulabilir.

### 2.5.2.1. Bulanıklaştırma bloğu

Bu blokta giriş olarak kabul edilen gerçek dünyaya ait işaretler bulanık kontrol sisteminin kullanabileceği bulanık sinyallere çevrilirler. İlk olarak giriş değişkenlerine ait değerler bir giriş ölçeklendirme faktörü ile çarpılarak gerçek kümelerle dönüştürülürler. Blok çıkışındaki sinyaller bulanık sinyallerdir. Bu bulanık sinyaller veri tabanında tanımlanmış bulanık kümelerin kavramsal değişkenler ile ifade edilmiş şekilleridir, kontrol işaretinin üretilmesi için bulanık çıkartım motoruna gönderilirler.

- Bulanık Çıkartım; farklı evrensel kümelerde tanımlanan büyüklükler üzerindeki keskin olmayan ifadeler “ve” ya da “veya” bağlayıcıları ile temel kümelerin çapraz çarpımı ile bulanık bağıntıya aktarılır.

Bu durumu bir örnekle ifade edecek olursak ;

X ve Y evrensel kümeler olmak üzere  $x \approx y$  yaklaşık eşit durumu için geçerli olan çiftlere ait  $(x, y)$  kümesi tanımlansın. Keskin olmayan  $\approx$  operatöründen dolayı bulanık bağıntı aşağıda (2.77)'deki gibi verilebilir.

$$R: x \approx y \quad (2.77)$$

R	y			
	3	4	5	6
1	0.4	0.1	0.0	0.0
x	2	0.7	0.4	0.1
	3	1.0	0.7	0.4
	4	0.7	1.0	0.4

(2.78)

Farklı evrensel kümelerde tanımlanmış bulanık kümelerin birleştirilmesi ile (bağlanması ile bulanık bağıntılar oluşur. Mesela;

IF  $x = \text{az}$  AND  $y = \text{çok}$  THEN <her hangi bir şey>

EĞER  $x = \text{az}$  VE  $y = \text{çok}$  İSE <her hangi bir şey>

Şeklindeki bir IF...THEN... kuralı dikkate alınacak olursa şartlar kısmını içeren ( $x = \text{az}$  VE  $y = \text{çok}$ ) ifadenin birbirine bir bağlaçla bağlandığı görülür. Şartları içeren ifade çözümlenecek olursa ;  $x$  için verilen “az” ifadesi  $x$ 'e ait kavramsal durumu ifade ederken ,  $y$  için verilen “çok” ifadesi  $y$ 'ye ait kavramsal durumu ifade eder , farklı evrensel kümeler birbirleri ile ilişkiye girdiğinden dolayı “AND (VE)” bağlantısı ile iki kademeli bir bulanık bağıntı oluşturulur. Bulanık bağıntının üyelik fonksiyonu “AND (VE)” işleminin modellenmesi için MIN operatörü kullanılarak

$$\mu_R(x) = \text{MIN}(\mu_{\text{az}}(x), \mu_{\text{çok}}(y)) \quad (2.79)$$

ifadesi elde edilir.

Bu kısımda ise ilk olarak

EĞER  $x=A$  İSE  $y=B$ 'DİR

Şeklindeki tek şartlı ve tek sonuçlu bir kural incelenecektir.

Bulanık çıkartımda kullanılan yukarıdaki gibi bir kural genel manada “şart” ve “sonuç” kısımlarından meydana gelir. Burada şart kısmı  $x=A$  ,  $x$  değişkeninin A kavramsal ifadesi ile karakterize edilir. Sonuç kısmı ise  $y=B$  şeklinde  $y$  değişkeninin B kavramsal ifadesi ile karakterize edilir. Kural , “EĞER  $x$  değişkeni A kavramsal ifadesine eşit İSE  $y$  değişkeni B

kavramsal ifadesine eşit olmalıdır.” Şeklinde değerlendirilir. Burada A ve B kavramsal ifadeleri bulanık ifadeler olduklarından dolayı şartlar ve sonuç ifadeleri keskin olmayan ifadelerdir.

Buna göre kural , bulanık çıkartım (implication) olarak ifade edilir ve

$$A \Rightarrow B \quad (2.80)$$

ile gösterilir.

Klasik ifade mantığının tersine burada, şartlar kısmı “sadece doğru ya da sadece yanlış” değerleri ile ifade edilmeyip “daha doğru veya daha az doğru yada daha az yanlış” gibi ifade edildiğinden dolayı sonuç yargısında da “daha doğru veya daha az doğru yada daha az yanlış” gibi , duruma bağlı olarak değişen , çıkartım talimatına ihtiyaç vardır.

**KURAL** :EĞER  $x=A$  İSE  $y=B$ 'DİR

**OLAY** : $x$  daha az ya da daha fazla  $A$ 'nın özelliğine sahiptir.

**SONUÇ** : $x$ 'in durumuna bağlı olarak  $y$  de sonuç olarak  $B$ 'nin daha az ya da daha fazla özelliğine sahiptir.

Yukarıdaki kuralda “ $x$ ” ve “ $y$ ” gibi iki büyüklük ilişkiye girdiğinden dolayı , bu kural iki kademeli bir  $R$  bağıntısı ile bulanık küme matematiğinde ifade edilir. Bulanık bağıntı üyelik fonksiyonu  $\mu_R(x, y)$ , şart kısmına ait üyelik fonksiyonu  $\mu_A(x)$  ve sonuç kısmına ait üyelik fonksiyonu  $\mu_B(y)$  olarak dikkate alınır. Buradaki en önemli sorun üyelik fonksiyonlarının birleştirilmesinde hangi operatör tanımının dikkate alınacağıdır. Zira literatürde pek çok operatör tanımı yapılmıştır.

Yukarıdaki incelemelerde “Mamdani çıkartım metodu” adı verilen metot kullanılmıştır. Bu çıkartım metodunda sonuçta elde edilen çıkartım kavramının doğruluk değeri şartlar için elde edilen doğruluk değerine eşit olması ya da küçük olması kavramı ile çıkartım işlemi gerçekleştirilmektedir. Mesela, şartların üyelik derecesi ele alınan durum için 0.5 değerine karşılık geliyorsa, böyle bir durumda oluşması gereken sonuç çıkartım değerinin üyelik değeri en fazla 0.5 değerini göstermelidir. Buna göre kuralın  $A \Rightarrow B$  üyelik fonksiyonu basitçe , her iki üyelik fonksiyonunun minimumunu veren “ve” bağlacının seçilmesi durumu ile ifade edilir.

$$\mu_{R:A \Rightarrow B}(x, y) = \text{MIN}(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (2.81)$$

olarak (2.81) ile ifade edilir.

Bulanık çıkartım işlemlerinde kullanılan bu kural, EĞER ... İSE ... 'DİR formatının elde edildiği en çok kullanılan yöntemlerden biridir.

“MIN” operatörü yerine üyelik fonksiyonlarının cebirsel çarpımını çıkartım metodu olarak ele alan “MAX-PROD” metodu da en çok kullanılan metotlardan biridir. “MAX-PROD” çıkartım metodunun seçilmesi ele alınan duruma farklı bir anlam kazandırır.

Aşağıdaki Çizelge 2.2’de literatürde sıkça karşılaşılan bazı çıkartım metotları ifade edilmiştir.

Çizelge 2.2 Önemli çıkartım metotları

BULANIK ÇIKARTIM METODU	$\mu_{A \Rightarrow B}(x, y)$
MAMDANI (MAX-MİN)	$\text{MIN}(\mu_A(x), \mu_B(x))$
MAX-PROD	$(\mu_A(x) * \mu_B(x))$
ZADEH	$\text{MAX}[\text{MIN}(\mu_A(x), \mu_B(y)), 1 - \mu_A(x)]$
LUKASIEWICS	$\text{MIN}(1, 1 - \mu_A(x) + \mu_B(y))$
GÖDEL	$1 \rightarrow \mu_A(x) < \mu_B(y)$ $\mu_B(y) \rightarrow \text{diğer}$
KLEENE-DİENES	$\text{MAX}(1 - \mu_A(x), \mu_B(y))$
SHARP	$1 \rightarrow \mu_A(x) < \mu_B(y)$ $0 \rightarrow \text{diğer}$

Çıkartım olayını bir örnek kural üzerinde ifade edecek olursak ;

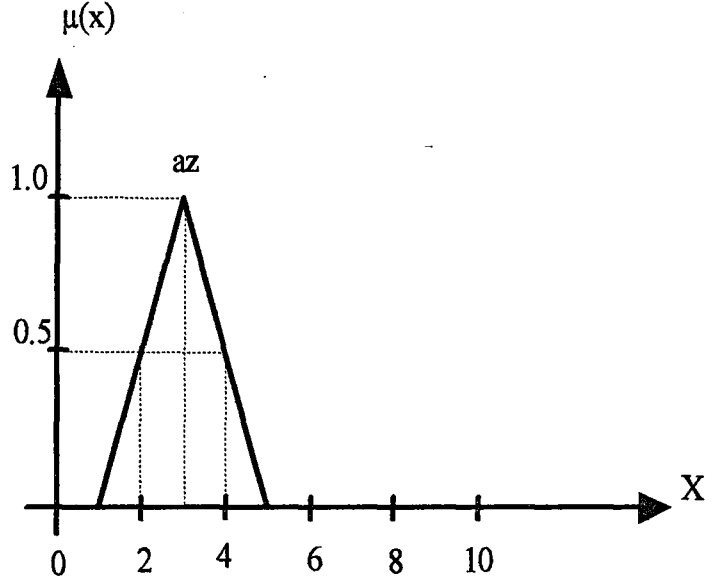
EĞER  $x=AZ$  İSE  $y=ÇOK$ 'dur

$$X = \{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10\}$$

$$Y = \{0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11\}$$

(2.82)

olarak verilen evrensel kümelerde aşağıdaki Şekil 2.20-21'deki “az” ve “çok” bulanık kümeleri tanımlanabilirler

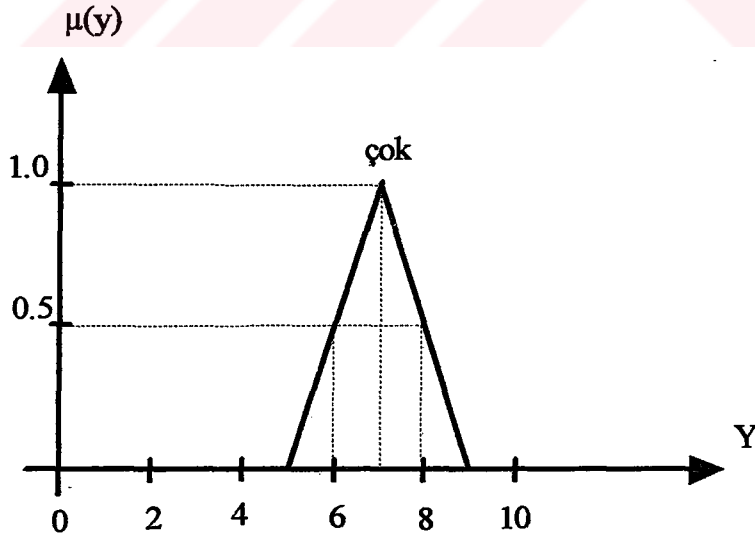


Şekil 2.20 Az bulanık kümesinin gösterimi

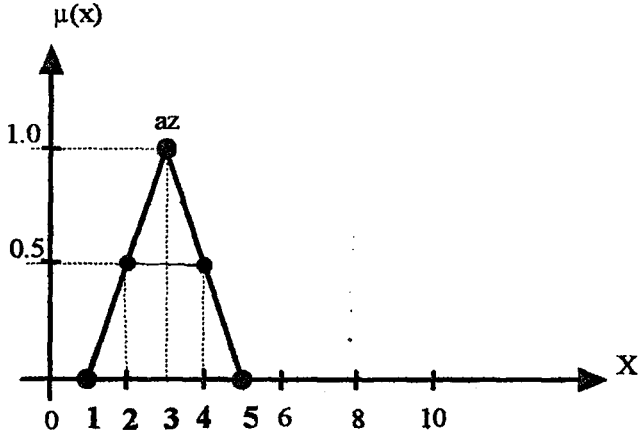
Bulanık bağıntıyı elde etmek için , bulanık kümeler amaca uygun olarak aşağıdaki gibi ayrıklaştırılabilirler. Ayrıklaştırma için belirli destek noktaları belirlenir. (1,2....gibi)

$$X_{az}(x) = A(x) = \left\{ \frac{1}{0.0}, \frac{2}{0.5}, \frac{3}{1.0}, \frac{4}{0.5}, \frac{5}{0.0} \right\} \quad (2.83)$$

$$Y_{çok}(y) = Ç(y) = \left\{ \frac{5}{0.0}, \frac{6}{0.5}, \frac{7}{1.0}, \frac{8}{0.5}, \frac{9}{0.0} \right\}$$



Şekil 2.21 Çok bulanık kümesinin gösterimi



Şekil 2.22 Az bulanık kümesinin ayrık gösterimi

Bağıntıya ait değerleri hesaplayacak olursak

$$\mu_R(x=2, y=7) = \text{MIN}(\mu_A(2), \mu_B(7)) = \text{MIN}(0.5, 1.0) = 0.5 \quad (2.84)$$

$$\mu_R(x=1, y=7) = \text{MIN}(\mu_A(1), \mu_B(7)) = \text{MIN}(0.0, 1.0) = 0.0 \quad (2.85)$$

$$\mu_R(x=3, y=7) = \text{MIN}(\mu_A(3), \mu_B(7)) = \text{MIN}(1.0, 1.0) = 1.0 \quad (2.86)$$

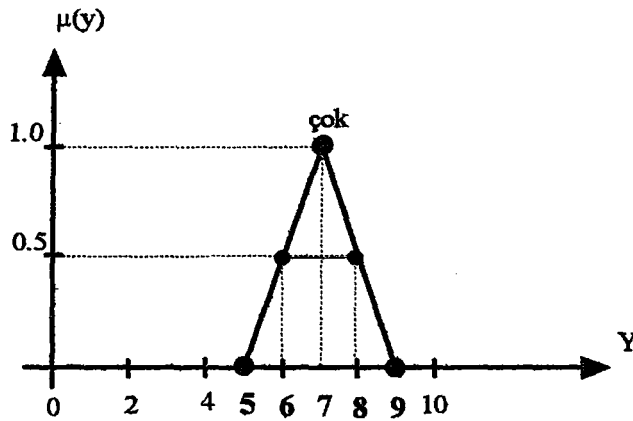
gibi sonuçlar bütün olası değer çiftleri için hesaplanarak aşağıdaki bağıntı matrisi oluşturulur.

Bulanık olmayan giriş değeri  $x' = 2$  olarak kabul edilirse, çıkışa ait değerin hesaplanması için, yani kuraldan sonuç çıkartabilmek için bu değer bulanık bağıntının içine yerleştirilir.

$$\mu_R(x', y) = \text{MIN}(\mu_A(2), \mu_B(y)) = \text{MIN}(0.5, \mu_B(y)) \quad (2.87)$$

İşlemi yorumlayacak olursak; kuralı işlemenin sonucunda ortaya çıkan sonuç bulanık kümesi değeri ( $\mu_B(y)$ ), 0.5 üyelik derecesi ile sınırlandırılmış üyelik fonksiyonuna karşılık gelir.

Grafiksel olarak sonuç bulanık kümesinin 0.5 yüksekliğinde kesilmesine (sınırlanmasına) karşılık gelir. Elde edilen sonuca çıkartım denir. Çıkartım sonucu olan, sonuç değeri ( $y'$ )



Şekil 2.23 Çok bulanık kümesinin ayrık gösterimi

R	A (x)					
	1	2	3	4	5	
B (y)	5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	6	0.0	0.5	0.5	0.5	0.0
	7	0.0	0.5	1.0	0.5	0.0
	8	0.0	0.5	0.5	0.5	0.0
	9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

(2.88)

karşılık gelir. Elde edilen sonuca çıkartım denir. Çıkartım sonucu olan, sonuç değeri ( $y'$ ) keskin bir değeri olmayıp düzenlenmiş bir bulanık kümedir. Bu düzenlenmiş bulanık kümeden gerçek dünyada kullanabileceğimiz kesin değeri elde edilmesi gerekir.

Genel manada bir kural için ;

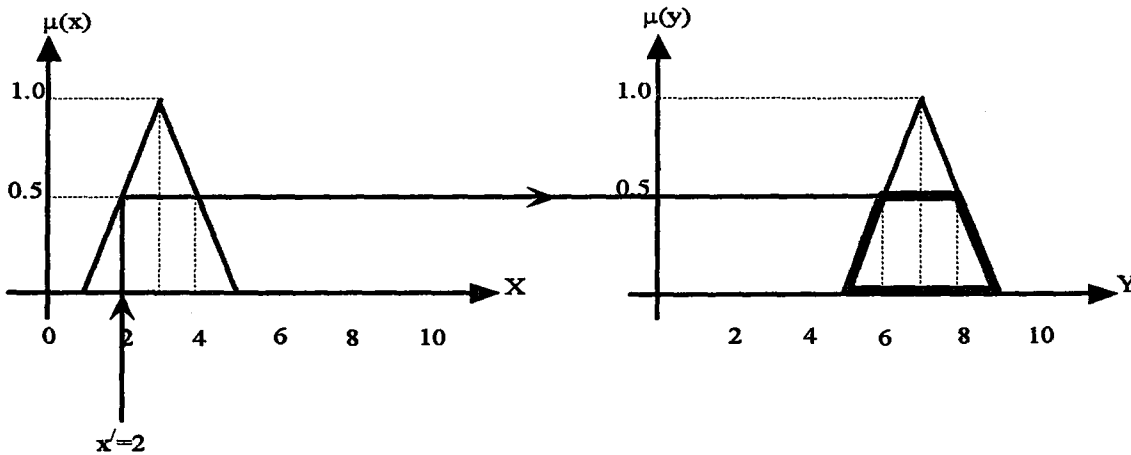
EĞER  $x=x'$  İSE  $y=y'$ 'dür.

Durumunun ele alınması halinde , MAX-MIN çıkartımının uygulanması hali için

$$\mu_B(y') = \mu_R(x', y) = \text{MIN}(\mu_A(x'), \mu_B(y)) \quad (2.89)$$

sonuç bulanık kümesi elde edilir.

Ayrıklaştırılmış formdaki sonuç bulanık kümesi  $\mu_B(y')$  doğrudan bağıntı matrisinden okunabilir. Bu bulanık küme doğrusu kesin giriş değeri  $x'$  ait satırdan okunur. Bu işlemi (2.90)'da izlemek mümkündür.



Şekil 2.24 Az bulanık kümesini ayrı k gösterimi

R		x'		A(x)		
		1	2	3	4	5
B(y)	5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	6	0.0	0.5	0.5	0.5	0.0
	7	0.0	0.5	1.0	0.5	0.0
	8	0.0	0.5	0.5	0.5	0.0
	9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

(2.90)

Ayrıca  $\mu_A(x')$  değerine kuralın ya da şartların karşılama derecesi denir. Eğer bir kurala ait karşılama derecesi 0'dan büyük ise bu kurala da "aktif kural" denir.

### 2.5.2.2. Durulaştırma bloğu

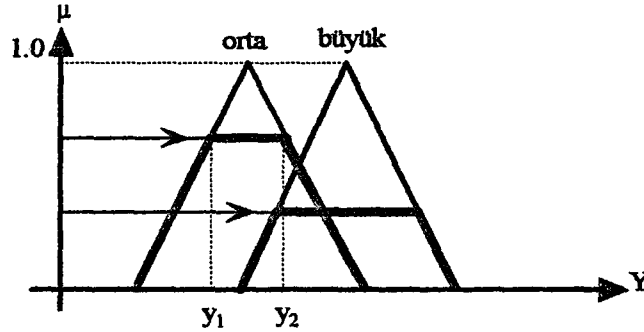
Çıkartım işleminin sonucu yukarıda açıklandığı üzere düzenlenmiş bir bulanık kümedir. Bulanık ifadeler ya da bulanık kümeler gerçek dünyada birer anlam ifade etmediklerinden dolayı çıkarım sonunda elde edilen bulanık bilgilerin gerçek dünyada kullanılan bilgilere dönüştürülmeleri gerekmektedir. Bulanık kontrol sistemlerinde bulanık bilgileri gerçek dünyadaki duru bilgilere dönüştürmek için durulaştırma bloğu adı verilen blok kullanılır. Durulaştırma bloğunun girişinde bulanık çıkartım motorundan gelen bulanık çıkartım sonucunu içeren bulanık bilgi bulunmaktadır. Eldeki bulanık bilgi veri tabanı kullanılarak ve çıkış ölçeklendirme faktöründen yararlanılarak çıkıştaki evrensel kümeye çevrilir. Kontrol işlemi için genellikle bir den fazla kural aktif hale gelir ve dolayısıyla her kural için ayrı ayrı düzenlenmiş bulanık küme elde edilir. Kontrol işaretinin elde edilebilmesi için durulaştırma işleminin gerçekleşmesi gerekir, bu işlem ise pek çok metot kullanılarak yapılır. Kısaca durulaştırma metotları aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

#### ➤ Maksimum metodu

Maksimum ortası metodunda çıkışa ait keskin değer elde edilmesi için sadece en büyük karşılama derecesine sahip olan kural çıkışa gönderilir. Yani işlenen kurallar içinde en büyük

yükseklige sahip (en büyük üyelik derecesi sahip) sonuç bulanık küme işleme tabi tutulur. İki kuralın aynı anda işlendiği, Şekil 2.25’de görüleceği üzere bu metotla elde edilecek değer  $[y_1, y_2]$  aralığına karşılık gelir.  $[y_1, y_2]$  aralığında sonuç bulanık kümesi, en büyük üyelik derecesini ifade etmektedir.

Farklı uygulamalarda bu metotla alakalı olarak, üç değişik kullanım mevcuttur. Bunları sırası ile incelenecektir.



Şekil 2.25 Çıkartım işleminin şematik gösterimi

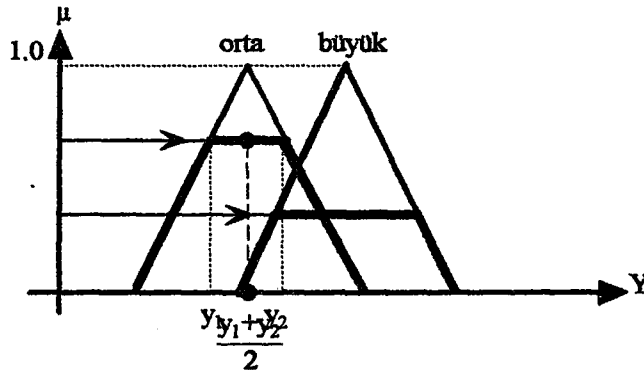
$[y_1, y_2]$  aralığında sonuç bulanık kümesi, en büyük üyelik derecesini ifade etmektedir. Farklı uygulamalarda bu metotla alakalı olarak, üç değişik kullanım mevcuttur. Bunları sırası ile incelenecektir.

◆ **Maksimum ortası metodu:**

Bu metotta en büyük yüksekliğe sahip bulanık çıkış kümesinde maksimum yüksekliğin sınırlarını belirleyen  $[y_1, y_2]$  sınır değerlerinin ortalaması alınır.

$$y' = \frac{y_1 + y_2}{2} \quad (2.91)$$

(2.91) ifadesindeki keskin değer bulunur ve Şekil 2.26’deki gibi ifade edilebilir:



Şekil 2.26 Maksimum ortası çıkartım metodunun gösterimi

Çıkış bulanık kümesi, üçgen veya yamuk şeklinde simetrik üyelik fonksiyonu ya da tek darbeler şeklinde ise keskin çıkış değeri, ortaya çıkan üyelik fonksiyonun yapısına tamamen uygun düşer. Bu durumlarda bulunan değer, belirleyici kuralın karşılama değerine bağlı değildir.

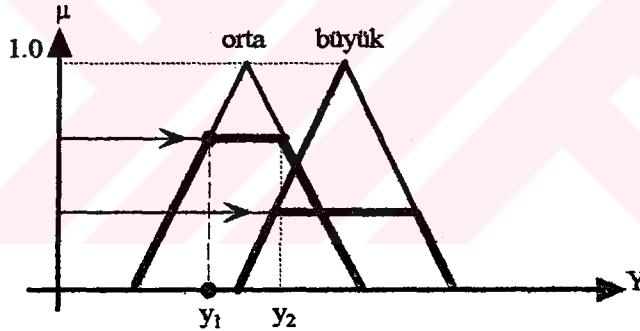
Maksimum metodunun değişik türlerinde, ortalama değer seçilmesi en çok kullanılan uygulama şeklidir. Literatürde “maksimum yüksekliğe göre durulaştırma” söz edildiğinde ortalama değerden bahsedilmektedir.

◆ **Sol kenar noktası metodu:**

Bu çeşit uygulamada sonuç keskin değeri olarak alt aralık sınır değeri seçilir. Literatürde “doğrusal sol kenar durulaştırma” adı da verilir. Böylece elde edilen değer kuralın simetrik üçgen ya da simetrik yamuk şeklindeki üyelik fonksiyonun karşılama değerine bağlı değildir.

$$y' = y_1 \quad (2.92)$$

(2.92) ile ifade edilir.



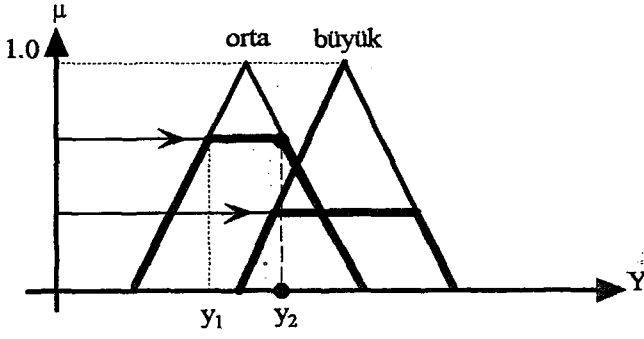
Şekil 2.27 Maksimum sol kenar noktası metodunun gösterimi

◆ **Sağ kenar noktası metodu:**

Bu çeşit uygulamada sonuç keskin değeri olarak üst aralık sınır değeri seçilir. Literatürde “doğrusal sağ kenar durulaştırma” adı da verilir. Böylece elde edilen değer kuralın simetrik üçgen ya da simetrik yamuk şeklindeki üyelik fonksiyonun karşılama değerine bağlı değildir.

$$y' = y_2 \quad (2.93)$$

(2.93) ile ifade edilir.



Şekil 2.28 Maksimum sağ kenar noktası metodunun gösterimi

### ➤ Ağırlık merkezi metodu

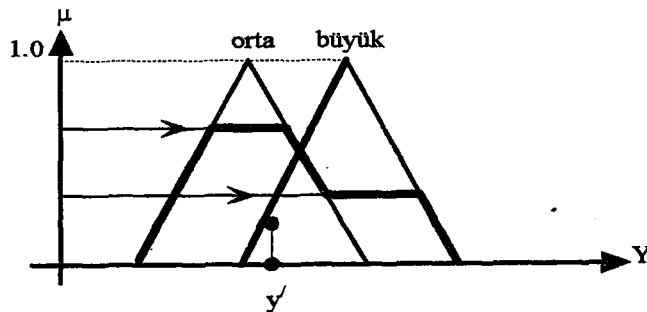
Sonuca ait çıkış keskin değeri , işlenen kuralların oluşturduğu , çıkışa ait elde edilen sonuç bulanık kümelerin karşılama değerlerinin altlarındaki alanların toplamının teşkil ettiği alanın ağırlık merkezinin yatay eksen değeri olarak ele alınır. Bulanık mantık durulaştırma yöntemleri arasında en çok kullanılan yöntemlerden birisidir.

$$y' = \frac{\int y * \mu(y) * dy}{\int \mu(y) * dy} \quad (2.94)$$

olarak ifade edilir.

Teknik olarak bu hesaplama temel ayırık destek noktalarında  $y_i$  nümerik integrali ile gerçekleştirilir. Sonucun daha hassas olması hesap süresini artırır.

Maksimum metoduna karşılık ağırlık merkezi metodunda işlenen kurallar ile elde edilen bütün çıkış bulanık kümeler hesaplama katılır. Dolayısıyla aktif olan pek çok kural karşılama dereceleriyle ortalamaya girer. Grafikselle olarak aşağıdaki Şekil 2.29 ile ifade edilir.



Şekil 2.29 Ağırlık merkezi metodunun gösterimi

Ağırlık merkezi metodunda kullanılan karmaşık hesaplama yöntemleri diğer yöntemlere göre fazladan hesaplama süreleri gerektirmektedir. Bu durum ise dezavantaj teşkil etmektedir. Literatürde bunun önüne geçmek için ağırlık merkezi metodunun verdiği sonuca yakın sonuçlar veren pek çok yöntem ileri sürülmüştür.

### **2.5.2.3.Kontrol edilen sistem**

Kontrol edilen sistem giriş ve çıkışlara sahip bir blok olarak ifade edilir. Bloğun içerisinde bir proses , sistem ya da tesis veya birbirlerine çeşitli şekillerde bağlanmış proses , tesis ya da sistemlerden oluşan bir yapı bulunmaktadır. Kontrol edilen sisteme ait blok ancak kontrol kuralları geliştirildiğinde bir öneme sahip olur, diğer türlü içeriğinin hiçbir önemi yoktur. Kontrol edilecek sisteme ait blokta kontrol edilecek parametre sayısı bir veya birden fazla olabilir. Kontrol edilecek olan bu parametreler belirli aralıklarda örneklenir ve bunlar bulanıklaştırma bloğuna ait girişlerden birini teşkil eder. Bu durum klasik kontrol sistemlerinde kullanılan geri besleme sinyalinin işlenmesinin bir benzeri olarak karşımıza çıkar. Kontrol edilen parametrelere ait sinyal duru sinyaldir. Kontrol edilen sistemde kontrol stratejisi yada yöntemi sistemden alınan bazı parametrelerin ve durum değişkenlerinin işlenerek kontrol işaretinin elde edilmesi prensibine dayanmaktadır.

### **2.5.2.4.Veri tabanı**

Bir sistemin bulanık kontrolünün gerçekleştirilmesi için kontrolde kullanılacak bulanık kümelerin tanımlanması yada kontrolde kullanılacak bu bulanık kümeler için bir veri tabanının oluşturulması gerekmektedir. Daha önceden ifade edildiği üzere bulanık kümeler, küme elemanlarının üyelik derecelerini içeren üyelik fonksiyonları ile ifade tanımlanırlar. Bir bulanık üyelik fonksiyonu keyfi olarak duruma uygun olarak seçilir. Bulanık kümeleri ifade eden üyelik fonksiyonları ayrı olarak küme elemanlarının üyelik dereceleriyle tanımlanabilir. Üyelik fonksiyonunu tanımlayan üyelik dereceleri arasındaki değerler ne kadar çok sayı ile ifade edilirse kontrolörün performansı o derece yüksek olur. Değer sayısına bağlı olarak, üyelik matrisi tabloları tanımlanır. Kontrol edilen sistemden elde edilen değerler bir ölçeklendirme katsayısı ile çarpılarak üyelik matrisine ait değerler seviyesine çekilir.

### **2.5.2.5.Kural tabanı**

Kural tabanı, bulanık kontrolün gerçekleştirilmesini sağlayan kuralların belirtildiği veri tabanıdır. Bulanık kontrol kuralları giriş ile çıkış arasındaki ilişkiye bağlı olarak sistem

hakkındaki bilgilerin değerlendirilmesi neticesinde elde edilen kurallardır. Bu kurallar aşağıda belirtilen formu taşır.

EĞER <Şart Kısmı> İSE <Sonuç Kısmı> DİR.

Bu tür ifadelere aynı zamanda bulanık koşullu ifadeler de denir.

Kural tabanı elde edilmeden önce kontrol edilen sistemin o anki durumu ifade eden geri besleme işaretinin, bulanık kontrolün gerçekleştirilmesi için uygun üyelik fonksiyonları ile tanımlanması ve ayrık olarak ifade edilmesi gerekir. Ayrık olarak ifade ederken uygun ölçeklendirme çarpanının bulunması ve bunun kullanılması da büyük önem taşımaktadır. Bütün bunlar gerçekleştirildikten sonra kural tabanının tasarlanmasına geçilebilir. Kontrol kurallarının elde edilmesinde kullanılan dört temel yöntem vardır.

- **Kontrol Mühendisliği Bilgisi ve Uzman Deneyimlerini İçeren Bilgilerin Kullanımı:**Bu kontrol kurallarını elde etme metodu, kontrol edilen sistem hakkında bilgiye sahip uzman veya operatöre anket uygulayarak yada sistemin kontrolü hakkında bildiklerini belirli bir plan ile sözlü olarak ifade etmesine imkan tanıyarak sistem hakkındaki bilgileri derleyip bu bilgileri temel kontrol mühendisliği temel bilgileri ile birleştirerek kural tabanını oluşturmaktır.
- **Bir Operatörün El Maharetini Temel Alarak:**Bazı endüstriyel uygulamalarda, kontrol edilecek sistemin kesin bir matematiksel modelinin elde edilmesi mümkün olmayabilir, dolayısıyla böyle bir sistemin klasik kontrol yöntemleri ile denetlenmesi mümkün olmayabilir. Fakat bunun yanında tecrübeli bir operatör, tecrübelerini ve sezgilerini kullanarak sistemin kontrolünü gerçekleştirebilir. Bu sayede operatörün hareketleri iyice gözlemlenerek "EĞER <Şart Kısmı> İSE <Sonuç Kısmı> DİR." Şeklindeki bulanık kurallarla ifade edilerek sistemin kontrolünü sağlayacak kural tabanı oluşturulur.
- **Sistemin Bulanık Modelini Elde Ederek:**Sistemin, dilsel niceleyiciler yardımıyla bulanık modeli elde edilir. Sistemin bulanık modelinin elde edilmesi oldukça zor bir işlemdir. Fakat sistemin bulanık modeli elde edilerek oluşturulan kural tabanının güvenilirliği ilk iki metoda göre daha iyidir. Böylece sistemin bulanık modeli elde edilerek oluşturulan kural tabanı sistemin dinamik davranışı esnasında sistemden en optimal performansın elde edilmesini sağlar
- **Öğrenmeyi Temel Almak:**Sistem değişik yöntemler kullanılarak öğrenme yetenekleri ile donatılır. Böylece sistem kendi kendini eğiterek uygun üyelik fonksiyonlarını kendi

oluşturabildiği gibi aynı zamanda kendi kural tabanını oluşturarak düzenleyebilir. Bazı durumlarda kural tabanı elde edildikten sonra, sistemin performansını artırmak için kurallar üzerinde ayarlamalar yada kuralların yeniden düzenlenmesi gerekebilir.

Kural tabanında bulunan kurallar bazı özellikleri üzerlerinde barındırırlar. Bu özellikler dört ana kısımda incelenebilir.

- ❖ *Bütünlük*:Olası bütün bulanık giriş değerleri için bir bulanık çıkartım sonucunun elde edilmesi yani sistemin barındırabileceği her durum için kontrol işaretinin elde edilmesinin sağlanmasıdır.
- ❖ *Kural Sayısı*:Bir bulanık kontrol sisteminde sistemi etkileyen faktörlere ve sistemin içerdiği durumlara bağlı olarak pek çok kural tanımlanabilir.
- ❖ *Kuralların Birbirleriyle Uyumluluğu*:Bir bulanık kontrol sisteminde kural tabanında tanımlanan kurallar birbirleriyle çeliştiklerinde sistemde beklenmeyen durumların ortaya çıkmasına ve sistemin denetimden çıkmasına neden olabilirler. Bu durum kural ifadesinde, şart kısmı aynı yada benzer fakat sonuç kısımlarında farklılıkların bulunduğu kuralların aynı anda çıkartım için kullanılması durumunda ortaya çıkar. Eğer farklı durumlardaki performansı geliştirmek için kurallar tanımlanmış ise özellikle kural tabanının bu kısımları itina ile incelenmelidir zira kural tabanındaki çelişki büyük çoğunlukla farklı performans kriterlerinin çatışması neticesinde ortaya çıkar. Kural tabanında bu şekilde çelişkiler ortaya çıkmış ise bunların elimine edilmesi gerekir.
- ❖ *Kuralların Etkileşimi*:Kural ifadelerinde verilen şart kısımlarına bağlı olarak sonuç kısım ifadeleri o andaki durumu karşılayan sonuç ifadesinin alt yada üst kümeleri olabilir. Bu durum kuralların değerlendirilmesinde izlenecek yöneme bağlıdır.

#### 2.5.2.6.Bulanık Çıkartım Motoru

Çıkartım yada karar verme işleminin gerçekleştirildiği bloktur. Bulanıklaştırma bloğundan gelen bilgileri, veri tabanı ve kural tabanı ile iletişim kurarak, işler ve durulaştırma bloğuna giriş olarak çıkartım sonucu elde edilen bilgileri gönderir.

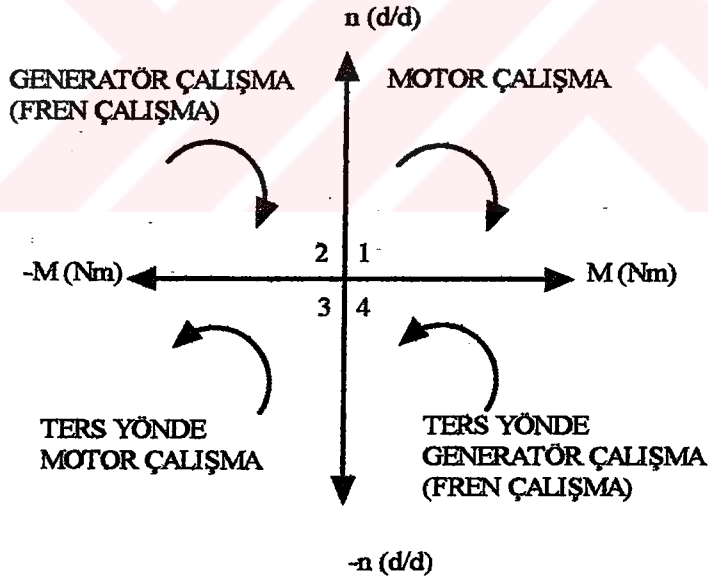
### 3.DOĞRU AKIM MOTORLARI

#### 3.1Giriş

Kağıt fabrikalarında, hadde hanelerde, çimento fabrikalarında, takım tezgahlarında, tekstil sanayiinde ve bir çok yerlerde hızı iki yönde ayarlanabilen ve belli bir doğrultuda sabit tutulabilen motorlara ihtiyaç vardır. Bu maksatla kullanılan motorların başında doğru akım motorları gelir.

Doğru akım motorlarının en önemli tercih nedenleri mükemmel çalışma özellikleri ve kontrol karakteristikleridir. Tek önemli dezavantajları ise kollektöre sahip olmalarıdır. Kollektör , motor hızını ve gücünü sınırlar, ataletini ve aksel uzunluğunu artırır ayrıca periyodik bakım gerektirir.

Doğru akım motorlarının hız kontrolünde dört çalışma bölgesi tanımlanır. Bu tanımlamalar Şeki 3.1'daki gibi ifade edilebilir.



Şekil 3.1 Doğru akım motorlarının çalışma bölgeleri

Doğru akım motorları yapılarına göre 4 ana gruba ayrılır.

- 1) Serbest Uyartımlı Doğru Akım Motorları
- 2) Şönt Uyartımlı Doğru Akım Motorları
- 3) Seri Uyartımlı Doğru Akım Motorları
- 4) Kompund (Şönt – Seri Uyartımlı) Doğru Akım Motorları



$$E_a = K_e \cdot \omega \cdot i_f \quad (3.3)$$

$$T_d = K_t \cdot i_f \cdot i_a \quad (3.4)$$

$$T_d = J \cdot \frac{d\omega}{dt} + B \cdot \omega - T_L \quad (3.5)$$

Denklemlerde;

Yukarıda ifade edilen denklemler matrisel formda aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_a(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_a}{L_a} & -\frac{K}{L_a} \\ \frac{K}{j} & -\frac{B}{j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_a} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a(t) \\ T_l \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Geçici rejim sona erip de kararlı hal başladıktan sonra, yukarıdaki bağıntılarda geçen zamana bağlı ifadeler sıfır olur. Bundan dolayı kararlı hal için aşağıdaki ifade geçerli olur.

$$U_f = R_f \cdot I_f \quad (3.7)$$

$$E_a = K_v \cdot \omega \cdot I_f \quad (3.8)$$

$$U_a = R_a \cdot I_a + E_a \quad (3.9)$$

$$T_d = K_t \cdot I_f \cdot I_a \quad (3.10)$$

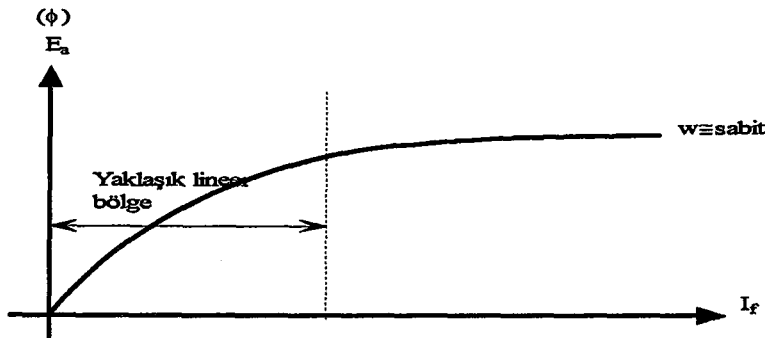
$$T_d = B \cdot \omega + T_L \quad (3.11)$$

Motor milindeki faydalı güç

$$P_d = T_d \cdot \omega \quad (3.12)$$

olarak ifade edilir.

Manyetik doymadan dolayı, uyarma akımı  $I_f$  ile, kendisinin oluşturduğu zıt emk  $E_a$  arasındaki bağıntı doğrusal değildir. Şekil 3.3'de ifade edilen ve bu durumu açıklayan karakteristiğe motorun mıknatıslanma karakteristiği adı verilir. Genelde hesaplama yapılırken yaklaşık lineer bölgede çalışma durumu dikkate alınarak uyarma akımı ile endüklenen emk (uyarma akısı)'nın doğrusal olarak değiştiği kabul edilir.



Şekil 3.3 Mıknatıslanma karakteristiği

Bir serbest uyarımlı doğru akım motorunun hızı yukarıda verilmiş olan kararlı hal denklemleri yardımıyla aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$w = \frac{U_a - R_a \cdot I_a}{K_e \cdot I_f} \quad (3.13)$$

$$w = \frac{U_a - R_a \cdot I_a}{K_v \cdot V_f / R_f} \quad (3.14)$$

Buradan görüleceği üzere motorun devir sayısı,

-Endüvi gerilimi  $U_a$  kontrol edilerek ( Gerilim Kontrolü )

-Uyarma akımı  $I_f$  kontrol edilerek ( Alan Kontrolü )

-Belli bir  $I_f$  uyarma akımına karşılık gelen  $I_a$  endüvi akımının oluşturacağı moment ihtiyacına göre ( Moment Kontrolü )

şeklinde üç değişik biçimde yapılabilir. Motor etiket değerlerinde belirtilen endüvi gerilimi , endüvi akımı ve uyarma akımına karşılık gelen devir sayısına nominal devir adı verilir.

Pratikte nominal devir sayısından aşağı değerdeki hızlarda motorun gerekli momenti mile aktarabilmesi için endüvi ve uyarma akımları sabit tutulur. Bu durumda devir sayısı ayarı  $U_a$  endüvi gerilimi değiştirilerek yapılır. Nominal devir sayısından yukarıdaki hız değerleri için ise endüvi gerilimi nominal değerinde tutulup uyarma akımı değiştirilerek hız ayarı yapılır. Ancak bu durumda motor milinden alınan güç (  $P=T \cdot w$  ) sabit kalacaktır. Şekil 3.4' de güç, moment, uyarma ve endüvi akımlarının devir sayısına bağlı olan değişimleri gösterilmiştir.

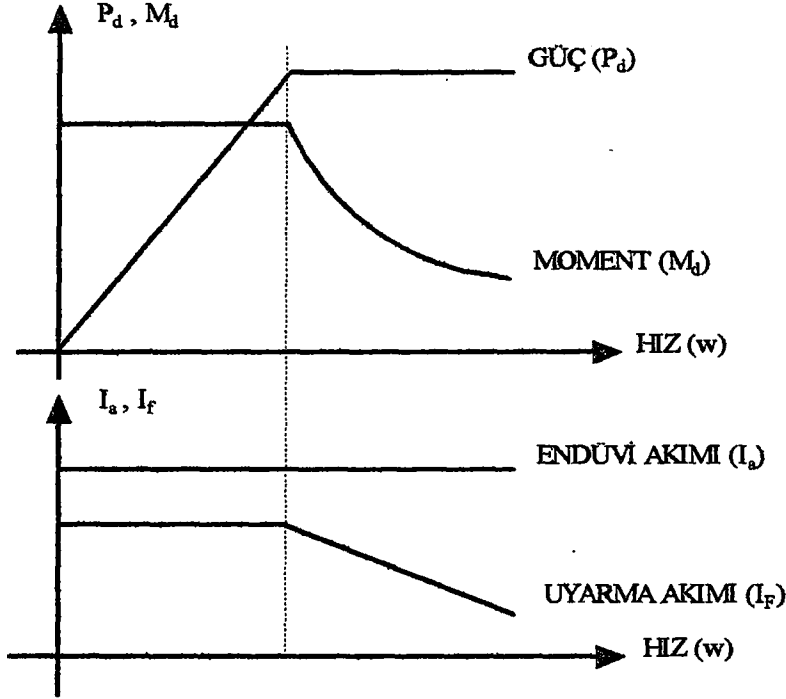
### 3.3 Serbest Uyarımlı Doğru Akım Motorlarında Hız Kontrol Düzenekleri

Günümüzün gelişen güç elektroniği teknolojileri doğru akım motorlarının çok hassas olarak kontrollerinin yapılmasına büyük imkanlar sağlamaktadır. Genelde doğru akım motorları nominal devir sayıları ve bunların altındaki değerlerde kontrol edilir. Dolayısıyla  $U_a$  endüvi gerilimi ile hız kontrolü en çok uygulanan metottür.  $U_a$  gerilimi ise güç elektroniği devreleri kullanılarak çok kolay bir biçimde değiştirilebilir.

Pratikte doğru gerilim alternatif akım şebekesinden doğrultucular vasıtasıyla elde edilir. Değişken doğru gerilim ise direkt olarak alternatif akım şebekesinden kontrollü doğrultucuyla ya da kontrolsüz doğrultucu kullanılarak elde edilen sabit doğru gerilim, doğru gerilim kısıyıcısı kullanılarak elde edilir.

Serbest uyarımlı doğru akım motorlarının hızı yük momentiyile değişir. Belirli bir hızı sürekli

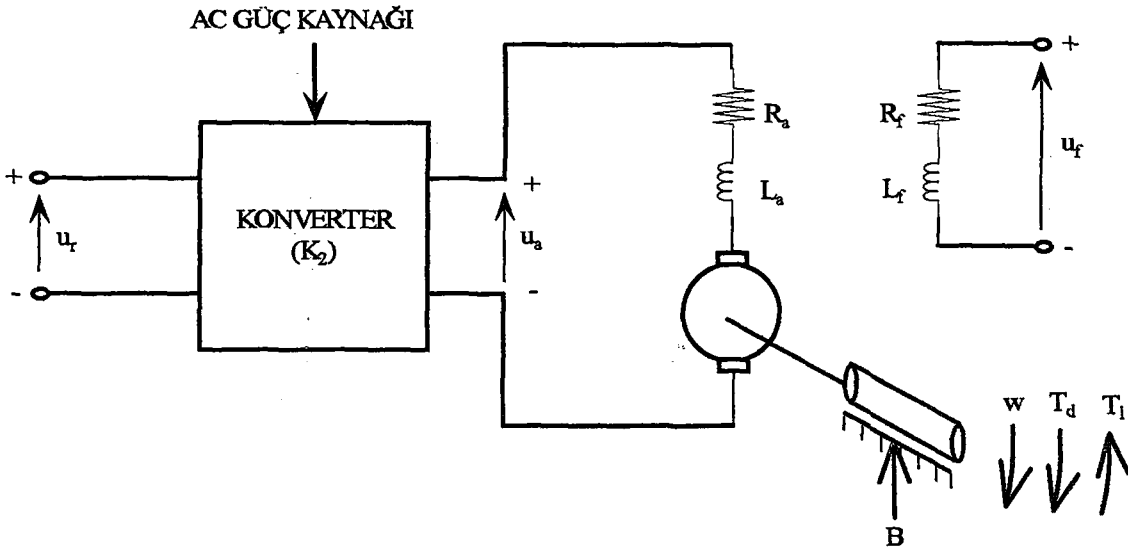
olarak korumak için endüvi yada uyarma devresi gerilimi sürekli olarak ayarlanmalıdır.



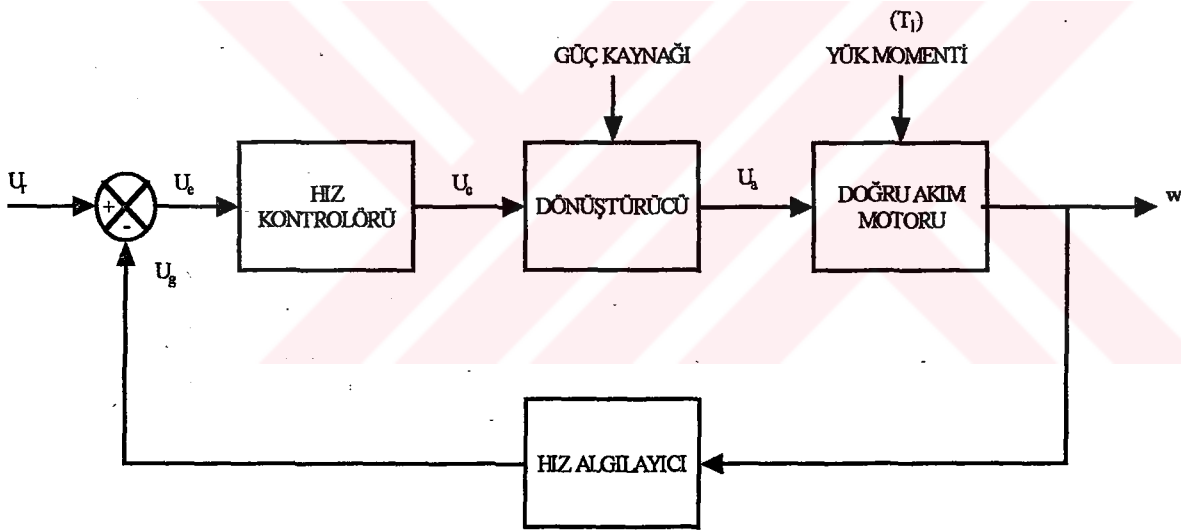
Şekil 3.4 Bir serbest uyarımlı doğru akım motorunda güç, moment, uyarma ve endüvi akımlarının devir sayısına bağlı olan değişimleri

Serbest uyarımlı doğru akım motorlarının hızı yük momentiiyle değişir. Belirli bir hızı sürekli olarak korumak için endüvi yada uyarma devresi gerilimi sürekli olarak ayarlanmalıdır. Pratikte motorun sabit bir moment yada güç ile çalışmasına ilave olarak kontrollü bir hızlanma ve yavaşlama da istenebilir. Endüstride kullanılan serbest uyarımlı doğru akım motor sürücülerinin büyük bir kısmı kapalı çevrim kontrol sistemleri içermektedirler. Kolay gerçekleştirilebilir, hızlı dinamik cevap, yükten kaynaklanan etkileşimlerin ve sistemden kaynaklanan lineer olmayan etkilerin azaltılması kapalı çevrim transfer fonksiyonunun avantajları arasında sayılabilir. Serbest uyarımlı bir dc motor sürücüsüne ait kapalı çevrim kontrol sistemi blok diyagramı aşağıdaki Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

Motor hızının yük momentinin artması nedeniyle düşmesi durumunda  $U_c$  hata değeri artar. Bu durumda hız kontrolörü,  $U_c$  kontrol sinyalinin değerini artırır. Bu da doğrultucu veya dc durumda hız kontrolörü,  $U_c$  kontrol sinyalinin değerini artırır. Bu da doğrultucu veya dc kuyucunun tetikleme açılarının değişmesine neden olur. Tetikleme açılarının değişmesi ile de



Şekil 3.5 Bir dönüştürücü ile beslenen serbest uyarımlı doğru akım motorunun açık çevrim kontrol blok şeması



Şekil 3.6 Serbest uyarımlı bir doğru akım motor sürücüsüne ait kapalı çevrim kontrol sistemi blok diyagramı

endüvi devresi gerilimi artırılmış olur. Endüvi gerilimi artması, motor milinde oluşan yeni yük momentini eski devir sayısı ile karşılayabilecek yeni bir mil momenti oluşturur. Gerekli olan bu yeni mil momenti oluşuncaya kadar geçici rejim durumu oluşur.

### 3.3.1. Açık çevrim transfer fonksiyonu

Doğru akım motor sürücülerinin kararlı hal karakteristikleri , bu sistemlerin seçiminde önemli bir kriterdir. Aynı zamanda motorun dinamik cevabının bir ölçütü olan transfer fonksiyonu da önem arz eder. Şekil 3.7'de bir dönüştürücü ile beslenen serbest uyarımlı doğru motora ait açık çevrim kontrol sistemi gösterilmiştir.

Motor devir sayısı  $u_r$  referans gerilimi ile belirlenir.  $u_r$  referans gerilimi ayarlanarak motor hızı istenen değere getirilir. Eğer kullanılan dönüştürücünün kazancı,  $K_2$  gibi doğrusal bir katsayı olarak kabul edilir ise endüvi devresi gerilimi,

$$u_a = K_2 \cdot u_r \quad (3.15)$$

şeklinde olacaktır. Motor uyarma akımı  $I_f$  ve zıt emk sabiti  $K_e$  herhangi bir geçici durum anında da sabit kabul edilirse sisteme ait eşitlikler,

$$E_a = K_e \cdot I_f \cdot w \quad (3.16)$$

$$u_a = R_a \cdot i_a + L_a \cdot \frac{di_a}{dt} + E_a \quad (3.17)$$

$$T_d = K_t \cdot I_f \cdot i_a = J \cdot \frac{dw}{dt} + B \cdot w + T_L \quad (3.18)$$

Sistemin geçici durum davranışı , sistem parametrelerine Laplace Transformu uygulanarak, 0 başlangıç şartı ile ,

$$U_a(s) = K_2 \cdot U_r(s) \quad (3.19)$$

$$U_a(s) = R_a \cdot I_a(s) + s \cdot L_a \cdot I_a(s) + K_v \cdot I_f \cdot w(s) \quad (3.20)$$

$$T_d(s) = K_t \cdot I_f \cdot I_a(s) = s \cdot J \cdot w(s) + B \cdot w(s) + T_L(s) \quad (3.21)$$

şeklinde elde edilir. Bu durumda rotor akımı da,

$$I_a(s) = \frac{U_a(s) - K_v \cdot I_f \cdot w(s)}{s \cdot L_a + R_a} = \frac{U_a(s) - K_v \cdot I_f \cdot w(s)}{R_a \cdot (s \cdot \sigma_a + 1)} \quad (3.22)$$

olarak bulunur.

$$\sigma_a = L_a / R_a \quad (3.23)$$

İfadesi rotor devresi zaman sabiti adını alır. Motor devir sayısı ise,

$$w(s) = \frac{T_d(s) - T_L(s)}{s \cdot J + B} = \frac{T_d(s) - T_L(s)}{B \cdot (s \cdot \sigma_m + 1)} \quad (3.24)$$

şeklinde ifade edilir.

$$\sigma_m = J / B \quad (3.25)$$

İfadesi mekanik zaman sabiti adını alır.. Tüm bu ifadeler yardımıyla Şekil 3.7'de gösterilen açık çevrim kontrol blok şeması çizilebilir.

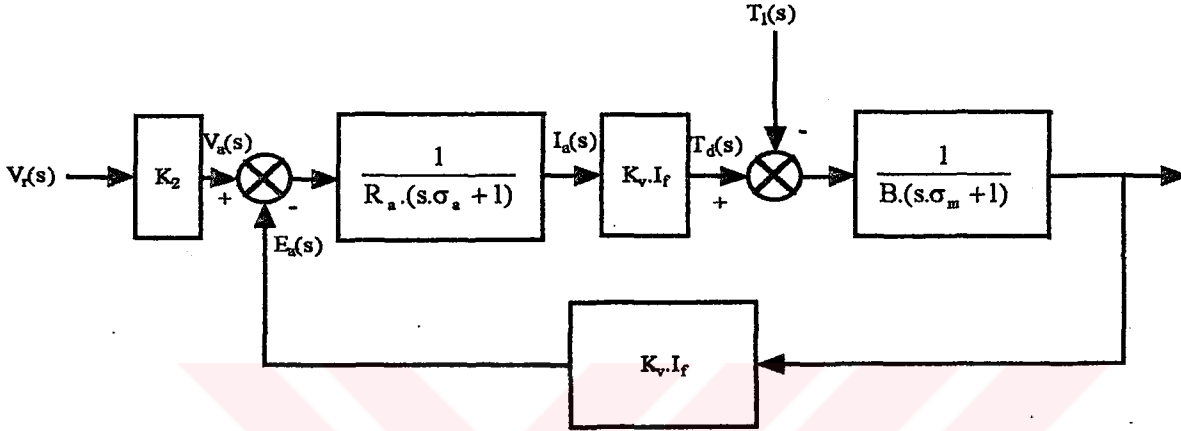
Sistemde değişiklik gösterebilecek 2 parametre vardır,

- Referans gerilimi,  $U_r$

- Yük momenti,  $T_L$

Sisteme ait kararlı hal cevapları,  $U_r$  ve  $T_L$ 'nin ayrı ayrı değişimiyle elde edilen cevapların toplamıyla bulunur.

$U_r$  referans gerilimindeki basamak değişimine sistemin vereceği cevap,  $T_L$  yük momenti 0 alınarak elde edilir. Blok diyagramdan da görüldüğü gibi  $U_r$ 'nin değişimiyle sistemin vereceği cevap,

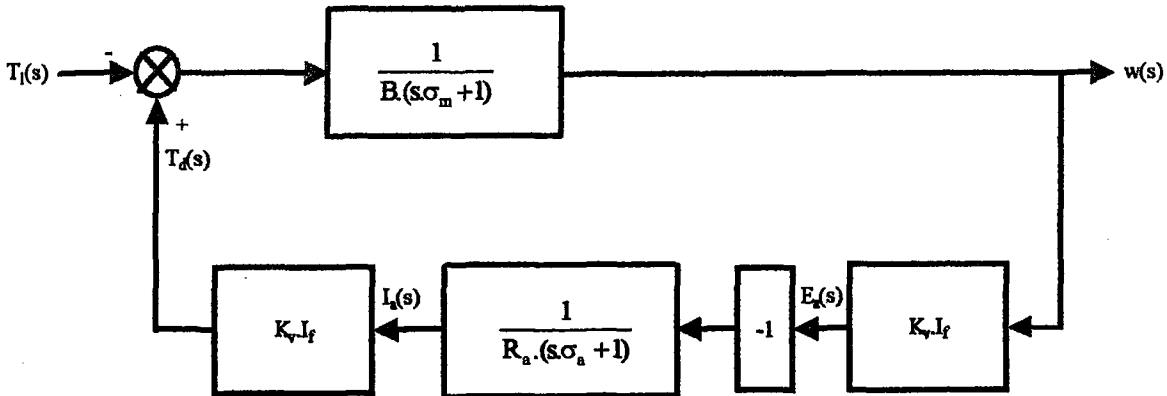


Şekil 3.7 Serbest uyarımlı doğru motor sürücüsünün açık çevrim blok diyagramı

$$\frac{w(s)}{U_r(s)} = \frac{K_2 K_v I_f / (R_a B)}{s^2 (\sigma_a \sigma_m) + s(\sigma_a + \sigma_m) + 1 + (K_v I_f)^2 / R_a B} \quad (3.26)$$

şeklindedir. Benzer şekilde  $T_L$  yük momentindeki basamak değişikliğinin sonucunda sistemin vereceği cevap,  $U_r$  referans gerilimi sıfır yapılarak aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\frac{w(s)}{T_L(s)} = \frac{(1/B)(s \sigma_a + 1)}{s^2 (\sigma_a \sigma_m) + s(\sigma_a + \sigma_m) + 1 + (K_v I_f)^2 / (R_a B)} \quad (3.27)$$



Şekil 3.8 Moment değişikliği girişi için açık çevrim blok diyagramı

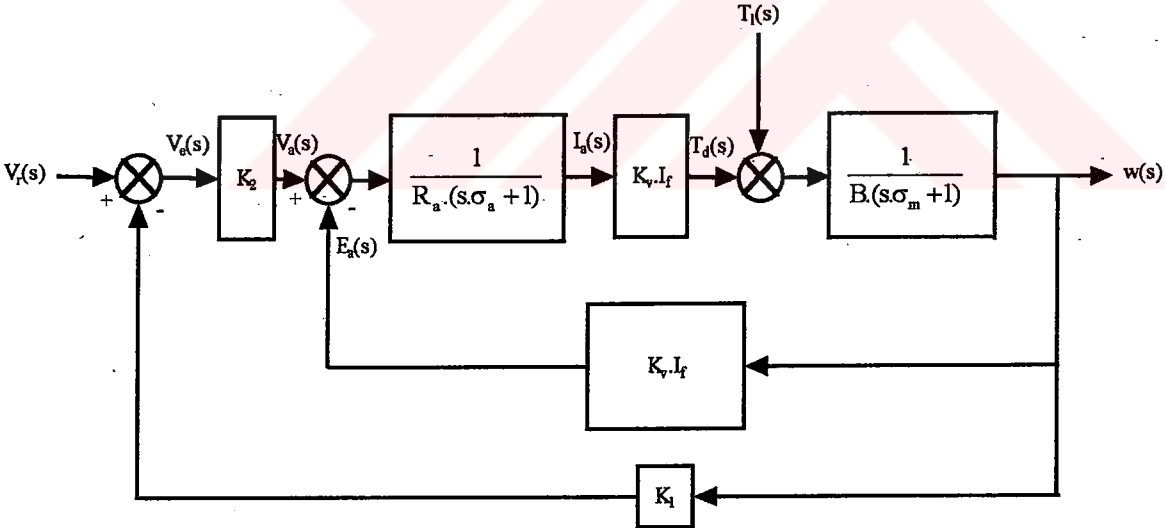
Son değer teoremi kullanılarak , yk momentindeki basamak değişimleri ( $\Delta w$ ) ve kontrol gerilimindeki basamak değişimleri ( $\Delta U_r$ ) ile kalıcı durum hız değişimleri arasındaki bağıntı ayrı ayrı aşağıdaki gibi  $s = 0$  alınarak aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\Delta w = \frac{K_2 \cdot K_v \cdot I_f}{R_a \cdot B + (K_v \cdot I_f)^2} \cdot \Delta V_r \quad (3.28)$$

$$\Delta w = -\frac{R_a}{R_a \cdot B + (K_v \cdot I_f)^2} \cdot \Delta T_L$$

### 3.3.2 Kapalı Çevrim Transfer Fonksiyonu

Motor modeli bilindiği takdirde, uygun şekilde geri besleme uygulanarak sistem cevabı elde edilebilir. Daha önce bahsedilen açık çevrim kontrol sistemini, kapalı çevrim kontrol sistemine çevirmek için motor miline hız algılayan bir takometre ilave etmek yeterlidir. Hız ile orantılı olarak gerilim üreten takometrenin çıkışı  $K_1$  kadar kuvvetlendirilip ,  $U_r$  referans gerilimiyle karşılaştırılarak  $U_e$  hata gerilimi elde edilir. Buna ait blok diyagram şekil 3.9'daki gibi ifade edilebilir.



şekil 3.9 Serbest uyarımlı doğru akım motorunun kapalı çevrim kontrolüne ait blok diyagram  
Kapalı çevrimdeki  $U_r$  referans geriliminin devir sayısı üzerindeki etkisi  $T_L$  yük momenti sıfır yapılarak;

$$\frac{w(s)}{U_r(s)} = \frac{K_2 \cdot K_v \cdot I_f / (R_a \cdot B)}{s^2 \cdot (\sigma_a \cdot \sigma_m) + s \cdot (\sigma_a + \sigma_m) + 1 + [(K_v \cdot I_f)^2 + K_1 \cdot K_2 \cdot K_v \cdot I_f] / R_a \cdot B} \quad (3.29)$$

olarak elde edilir

Yük geriliminin değişimi ile devir sayısındaki değişiklik ise  $U_r$  referans gerilimi sıfır yapılarak;

$$\frac{w(s)}{T_1(s)} = \frac{(1/B).(s.\sigma_a + 1)}{s^2.( \sigma_a . \sigma_m ) + s.( \sigma_a + \sigma_m ) + 1 + [(K_v . I_f)^2 + K_1 . K_2 . K_v . I_f] / R_a . B} \quad (3.30)$$

olarak elde edilir.

Şekil 3.9'daki blok diyagramda devir sayısı geribesleme için kullanılmıştır. Pratikte ise sadece devir sayısının değil aynı zamanda yük momentinin de istenen değerde olması yani çalışma noktasındaki devir sayısıyla çakışması istenir. Bu ise endüvi devresi akımına bağlıdır. Motor belli bir devir sayısı ile dönerken , mile aniden yük akuple edilirse , hız azalır ve motorun yeniden bu hıza ulaşması belli bir zaman geçer.



#### 4.2.1. Bulanık Denetleyici Tasarımı

Klasik kontrol yöntemleri içerisinde önemli bir yere sahip olan ve proses kontrolü başta olmak üzere pek çok alanda yapılarındaki basitlik ve kolayca gerçekleştirilebilme özelliklerinden dolayı PID (Propotional-Integral-Derivative) olarak adlandırılan klasik denetleyiciler büyük oranlarda kullanılmaktadırlar. PID denetleyiciler , bir kontrol sistemi içinde , referans işaret ile geri besleme işaretlerinin farkından oluşan ve sistemin istenen durumdan ne kadar saptığının bir ölçütü olan hata işaretinin bir katsayı ile çarpılması , integralinin alınarak integral katsayısı ile çarpılması ve yine türevinin alınarak türev katsayısı ile çarpılması ile elde edilen bu üç ayrı sonucun toplanarak sisteme kontrol ve kumanda girişi üretmesi esasına dayanır.

Bulanık mantıkta , eğer hata ve hatanın türevi kullanılarak çıkış işareti elde ediliyor ise bu tür denetleyiciye “bulanık-PD denetleyici”, eğer hata ve hatanın türevi kullanılarak çıkış işaretinin türevi elde ediliyor ise bu tür denetleyiciye “bulanık-PI denetleyici” denir. Aynı zamanda denetleyici çıkışının direkt olarak kullanıldığı denetleyicilere “pozisyon kontrol” tipi denetleyici, çıkışın türevinin kullanıldığı denetleyicilere ise “hız kontrol” tipi denetleyiciler denmektedir. Dolayısıyla burada serbest uyarımlı doğru akım motorunun hız kontroluna ilişkin bir çalışma incelendiğinden dolayı bulanık-PI denetleyiciye ilişkin bilgiler ifade edilecektir.

Klasik PI denetleyici, matematiksel olarak kısaca aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int_0^t e(t) \cdot dt \quad (4.1)$$

(4.1) ifadesi integralden kurtarılarak aşağıdaki gibi de ifade edilebilir.

$$\frac{du(t)}{dt} = K_p \cdot \frac{de(t)}{dt} + K_i \cdot e(t) \quad (4.2)$$

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot e(t) \quad (4.3)$$

Şeklinde olur.

Şekil 4.1’de ifade edilen denetleyicinin çalışmasını inceleyecek olursak , burada hata (e(t)) ile hatanın değişimi (de(t)) kontrol değişkenleri olarak seçilmiştir. Hata ve hatanın değişimi aynı seviyede olacak şekilde ölçeklendirilmişlerdir. e(t) ve de(t) girişleri bulanıklaştırma biriminde

işleme tabi tutularak simgesel bulanık alt kümeler ve üyelik fonksiyonları belirlenir. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi uygulama alanlarına göre değişik şekillerde olabilmektedir. Bu çalışmada farklı üyelik fonksiyonları belirlenerek kontrol sağlanmıştır. Bulanık denetleyici kontrol kuralları kısmında serbest uyarımlı doğru akım motorunun uygun kontrol girişini  $du(t)$ 'yi belirlemek için kontrol kuralları (kural tabanı) bulunmaktadır. Sistem girişi ile çıkışı arasındaki ilişkiden dolayı, uygulanacak bulanık denetleyici kuralları, doğru olarak elde edilmelidir. Kontrol girişinin değeri sonuç bulanık alt kümesinin ve üyelik fonksiyonunun sayısal değerlere dönüştürülmesi ile elde edilir. Bu dönüşüm işlemi ise durulaştırma kısmında yapılmaktadır. Elde edilen  $du(t)$  sonuç değeri bir önceki değere eklenerek yeni kontrol değeri bulunur.

#### 4.2.2. Bulanık denetim algoritması:

Yüksek performanslı bir motor kontrol düzeneğinden bazı özellikleri gerçekleştirmesi istenir. Bu özellikler şu şekilde ifade edilebilir.

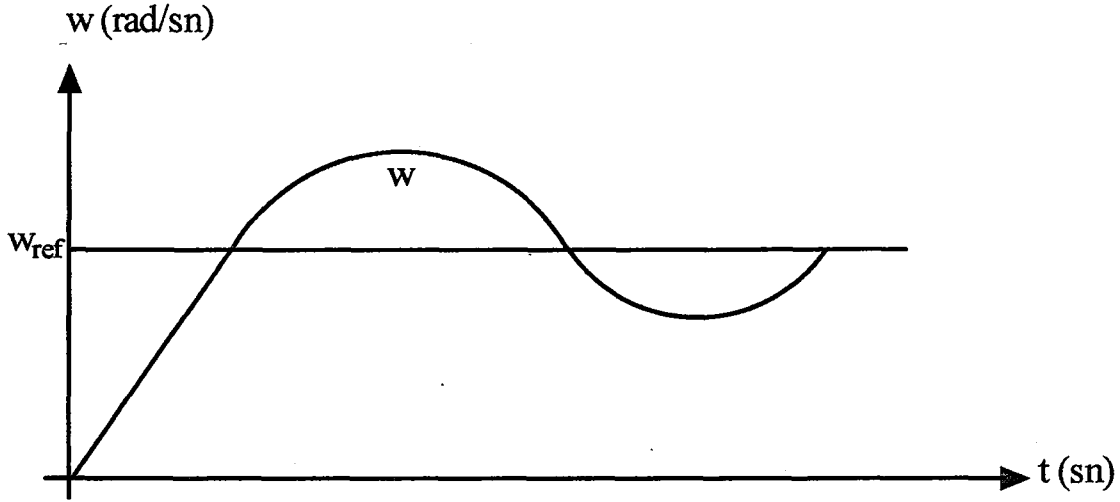
- Referans değer değişikliklerini aşım olmadan hızlı bir biçimde izlemeli
- Ani değişimlere karşı hızlı bir biçimde cevap vermeli
- Sürekli durum hatası minimum olmalı

Serbest uyarımlı doğru akım motorunun hız kontrolünü sağlayan bulanık kontrol algoritmasını gerçekleştirebilmek için motora giriş olarak kabul ettiğimiz parametreler ile çıkış olarak kabul ettiğimiz parametreler arasındaki bağıntının incelenmesi gerekmektedir. Sistemimizde motora giriş olarak kabul ettiğimiz parametre  $U_a$  motor uç gerilimi, çıkış olarak kabul ettiğimiz parametre ise  $w$  motor hızıdır. Dolayısıyla motora basamak bir giriş gerilimi uygulanması durumunda motorun vereceği hız cevabının incelenmesi bulanık kontrol için gerekli bağıntının oluşturulmasını sağlayacaktır.

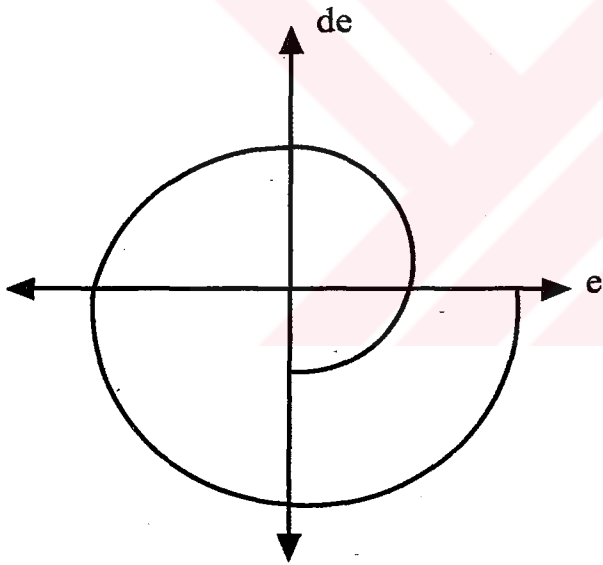
Bir serbest uyarımlı doğru akım motorunun basamak giriş gerilimine ilişkin cevabı Şekil.4.2'deki gibidir

Yukarıda belirtildiği üzere bulanık-PI denetleyicinin giriş parametreleri hata ( $e(t)$ ) ve hatanın değişimi  $de(t)$  olduğu için bunların değişimlerinin ayrı ayrı ifade edilmesi algoritmanın gerçekleştirilmesini kolaylaştıracaktır. Bunlar ise aşağıdaki Şekil 4.3'deki gibi serbest uyarımlı doğru akım motorunun basamak giriş gerilimine ilişkin cevabından elde edilebilir. Hata ve hatadaki değişimlerin büyüklüklerine göre, bulanık kontrol algoritmasının kolayca

elde edilebilmesi için motor hız cevap eğrileri dört ana bölgeye ayrılabilir. Bunlar ise Şekil 4.5'deki gibi belirtilebilir.

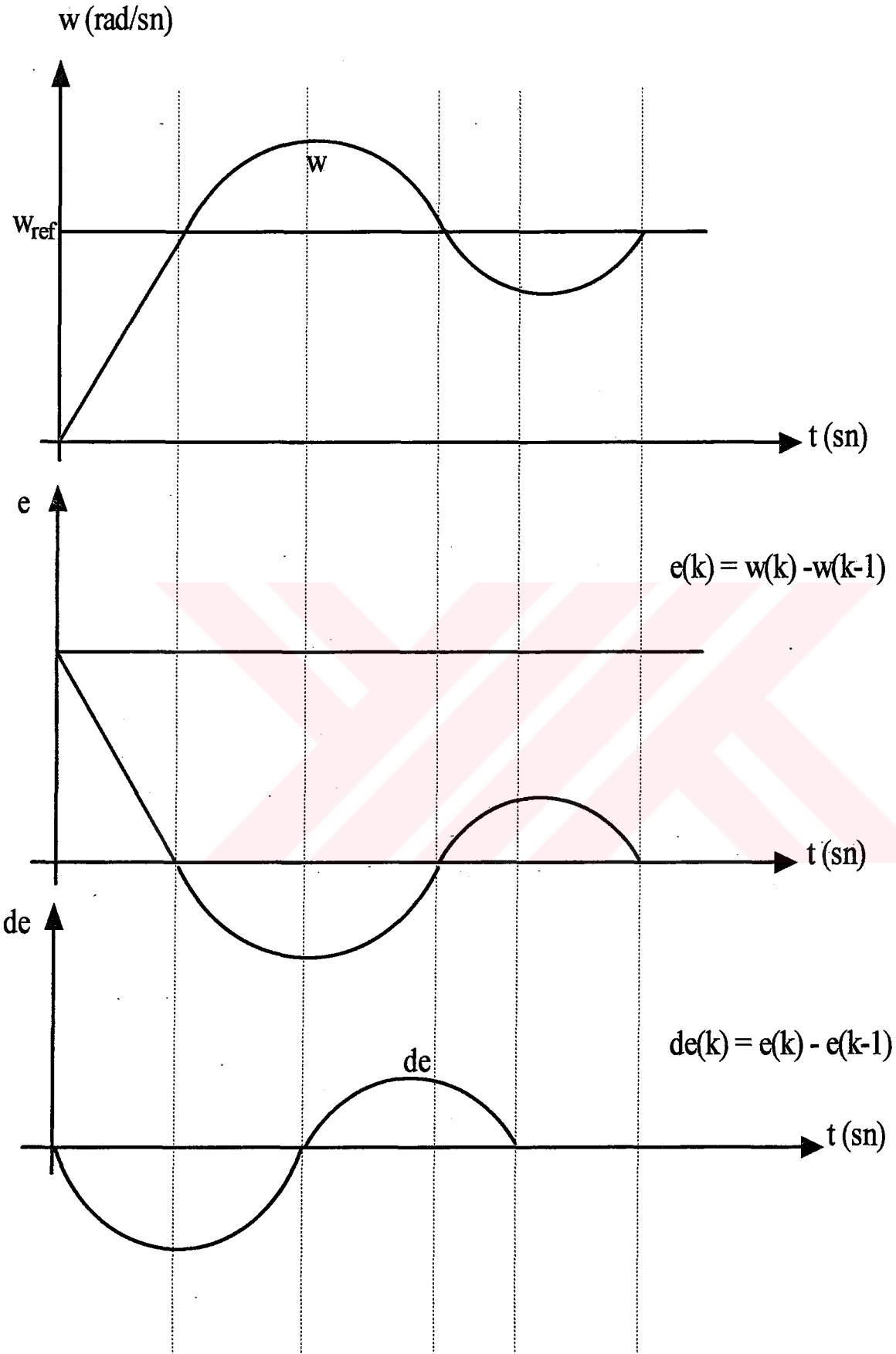


Şekil 4.2 Bir serbest uyarımlı doğru akım motorunun basamak giriş gerilimine ilişkin cevabı



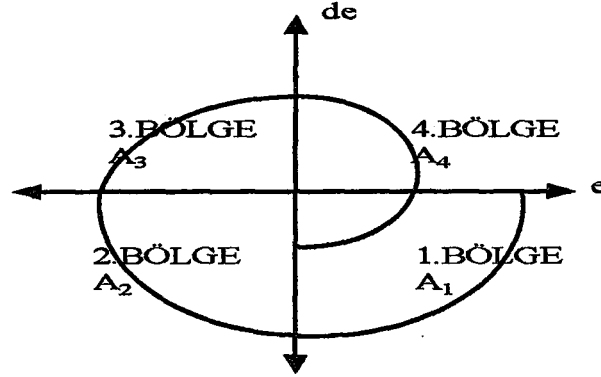
Şekil 4.3 Hata ve hatanın değişiminin faz yörüngesindeki gösterimi

$A_1:$	$e > 0$	ve	$de < 0$	1.bölge	$(+; -)$	(4.4)
$A_2:$	$e < 0$	ve	$de < 0$	2.bölge	$(-; -)$	(4.5)
$A_3:$	$e < 0$	ve	$de > 0$	3.bölge	$(-; +)$	(4.6)
$A_4:$	$e > 0$	ve	$de > 0$	4.bölge	$(+; +)$	(4.7)

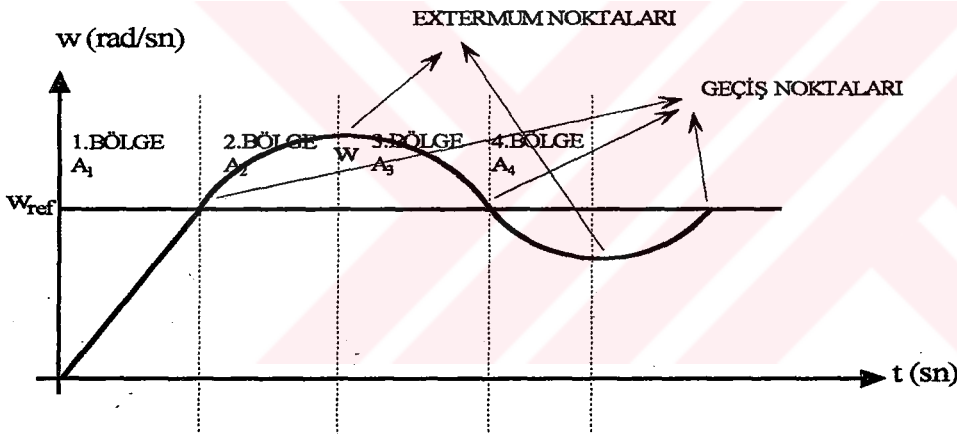


Şekil 4.4 Hız cevabında hata ve hatanın değişimi

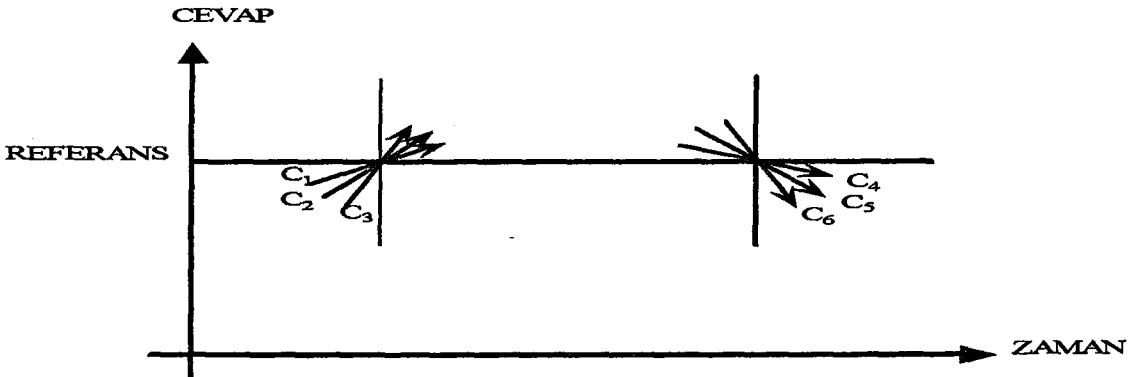
Sistemin davranışının daha yakından incelenebilmesi için hız cevabının geçiş noktaları ve extremum noktalarında olası durumların incelenmesi gerekmektedir. Geçiş ve extremum noktalarındaki olası cevaplar aşağıdaki Şekil 4.6'daki gibi ifade edilebilir



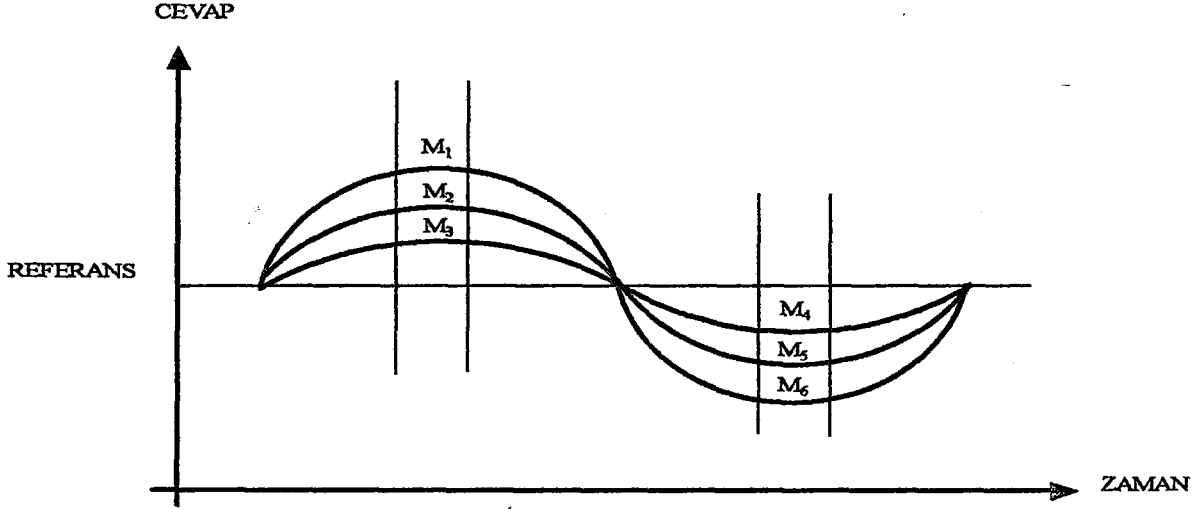
Şekil 4.6 Motor hız cevabının bölgelere ayrılması ve bu bölgelerin hata ve hatanın değişimine ait faz yörüngesinde ifadesi



Şekil 4.5 Motor hız cevabının bölgelere ayrılması ve bu bölgelerde geçiş ve extremum noktalarının belirtilmesi



Şekil 4.7 Hız cevabında geçiş noktalarındaki olası durumlar



Şekil 4.8 Hız cevabında ekstremum noktalarındaki olası aşım ve düşüm durumları

Geçiş noktalarındaki olası durumlar aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\begin{aligned}
 C_1 : & (e > 0 \Rightarrow e < 0) \quad \text{ve} \quad de \lll 0 \\
 C_2 : & (e > 0 \Rightarrow e < 0) \quad \text{ve} \quad de \ll 0 \\
 C_3 : & (e > 0 \Rightarrow e < 0) \quad \text{ve} \quad de < 0 \\
 C_4 : & (e < 0 \Rightarrow e > 0) \quad \text{ve} \quad de > 0 \\
 C_5 : & (e < 0 \Rightarrow e > 0) \quad \text{ve} \quad de \gg 0 \\
 C_6 : & (e < 0 \Rightarrow e > 0) \quad \text{ve} \quad de \ggg 0
 \end{aligned} \tag{4.8}$$

Extremum noktalarındaki olası refrans değerinin üst aşım ve alt düşüm genlikleri ise aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\begin{aligned}
 M_1 : & de \cong 0 \quad \text{ve} \quad e \lll 0 \\
 M_2 : & de \cong 0 \quad \text{ve} \quad e \ll 0 \\
 M_3 : & de \cong 0 \quad \text{ve} \quad e < 0 \\
 M_4 : & de \cong 0 \quad \text{ve} \quad e > 0 \\
 M_5 : & de \cong 0 \quad \text{ve} \quad e \gg 0 \\
 M_6 : & de \cong 0 \quad \text{ve} \quad e \ggg 0
 \end{aligned} \tag{4.9}$$

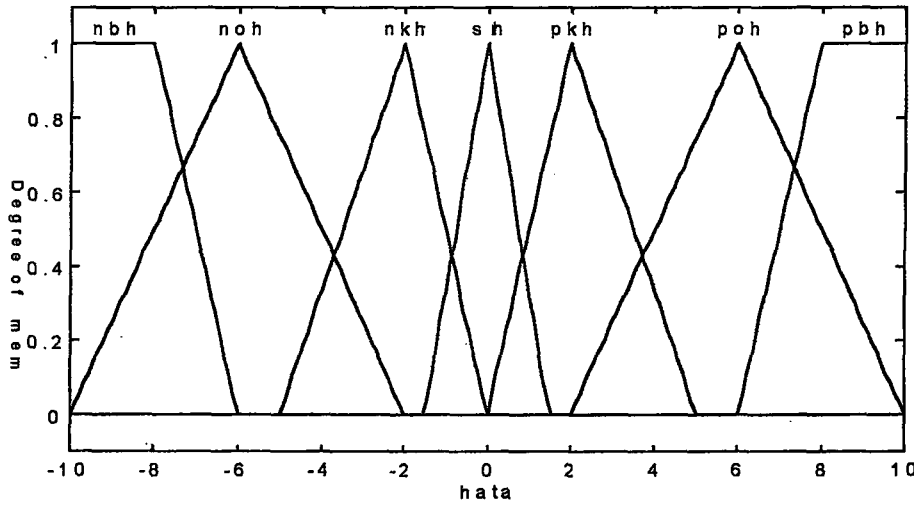
Kural tabanının oluşturulması için yukarıdaki ifadeler kullanılarak hata ve hatanın değişimine ait durum planının aşağıdaki şekilde oluşturulması büyük kolaylık sağlamaktadır. Hata ve hatanın değişimine ilişkin durum planı aşağıdaki Tablo 4.1'deki gibi ifade edilebilir.

Kural tabanının elde edilmesinden önce üyelik fonksiyonlarının ifade edilmesi gerekmektedir. Üyelik fonksiyonları doğru akım serbest uyartımlı motorun kontrol durumuna uygun olarak aşağıdaki Şekil 4.9-10-11'deki gibi ifade edilir. Bu üyelik fonksiyon şekilleri simülasyonda da aynı biçimde kullanılmıştır.

Tablo 4.1 Hata durum planı

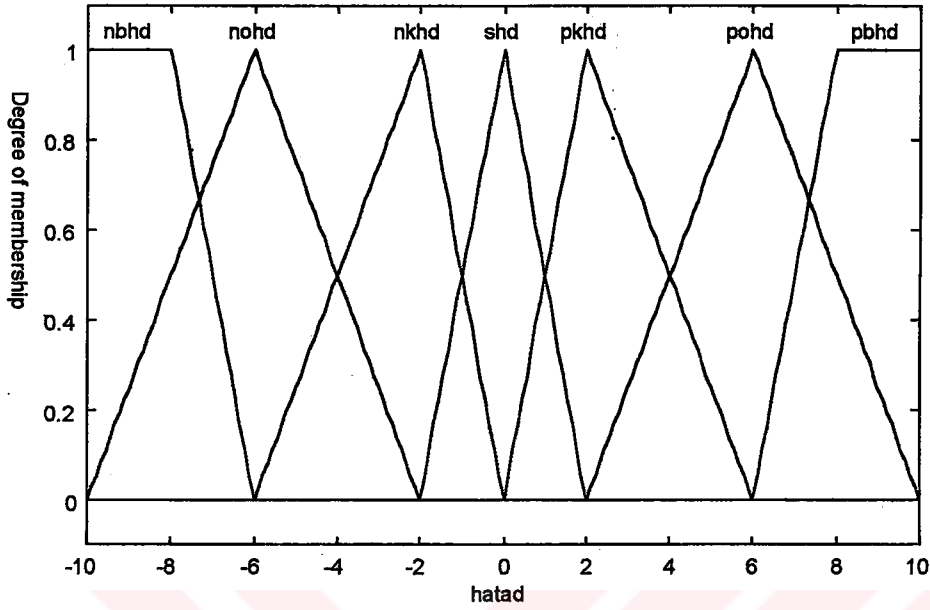
		e						
		nbh	noh	nkh	sh	pkh	poh	pbh
de	nbhd				C <sub>1</sub>			
	nohd		A <sub>2</sub>		C <sub>2</sub>		A <sub>1</sub>	
	nkhd				C <sub>3</sub>			
	shd	M <sub>6</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>4</sub>	sch	M <sub>3</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>
	pkhd				C <sub>4</sub>			
	pohd		A <sub>3</sub>		C <sub>5</sub>		A <sub>4</sub>	
	pbhd				C <sub>6</sub>			

Hataya ait bulanık kümeyi ifade eden üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.



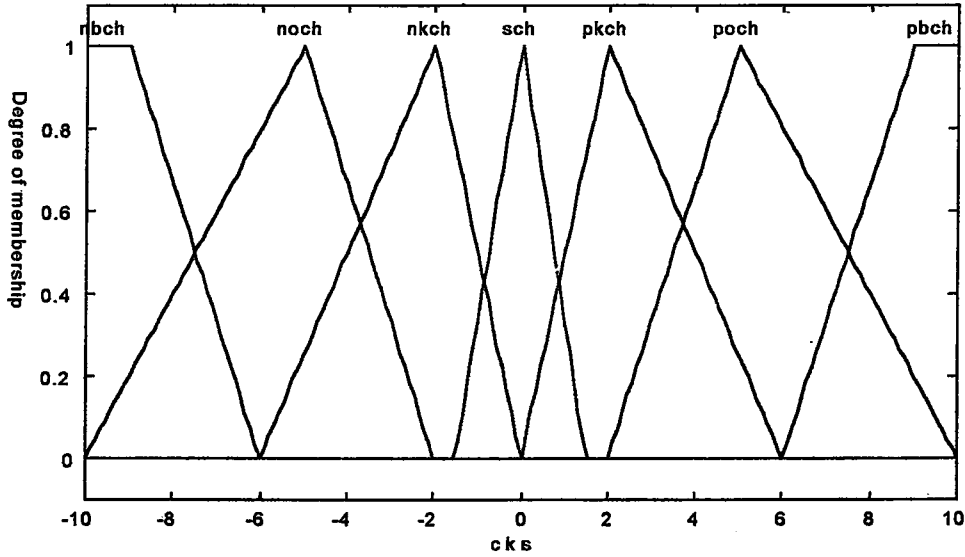
Şekil 4.9 Hataya ait bulanık kümeyi ifade eden üyelik fonksiyonları

Hatanın değişimine ait bulanık kümeyi ifade eden üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.



Şekil 4.10 Hatanın değişimine ait bulanık kümeyi ifade eden üyelik fonksiyonları

Bulanık denetleyicinin, çıkartım sonucunun elde edilmesinde kullanacağı çıkış bulanık kümesine ait üyelik fonksiyonları ise aşağıdaki Şekil 11'de görülebilir.



Şekil 4.11 çıkış bulanık kümesine ait üyelik fonksiyonları

Serbest uyarımlı motorun bulanık kontrolünün gerçekleştirilmesinde kullanılacak kuralların oluşturulması için serbest uyarımlı motorun kontrolüne ilişkin durumlar incelenerek kontrol durumunu ifade eden sözlü ifadeler aşağıdaki gibi kısaca ifade edilmelidir.

Eğer hız referans değere ulaşmadı ise kontrol işareti olan gerilim değerini artır.

Eğer hız referans değeri aştı ise kontrol işareti olan gerilim değerini azalt.

Eğer hız referans değere ulaştı ise kontrol işareti olan gerilim değerini bu değerde sabit...

Gibi ifadeler kontrol işleminin gerçekleştirilmesini sağlar. Fakat bu ifadeler profesyonel olarak, serbest uyarımlı motorun kontrolünün mükemmel yapılması için yeterli değildir. Bunun için serbest uyarımlı motorun kontrolünde basamak kontrol girişine karşılık hız cevabının incelendiği durumları içeren, hata ve hatanın değişiminin ifade edildiği ve bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Böylece serbest uyarımlı motorun kontrolünde büyük öneme sahip olan atalet momentinin dikkate alınması ve extremum ile geçiş noktalarındaki dinamik değişimlerden kaynaklanan aşımalar ve düşümlerin kompanzesi sağlanmış olacaktır.

Buna göre bulanık kurallar aşağıdaki gibi hızdaki hata ve hız hatasının değişimi (ivme) ile motora uygulanan ve bulanık denetleyicinin çıkışını ifade eden gerilim değişiminin arasında r bağıntılar ağı kurularak ifade edilir. Kurallar buna göre aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

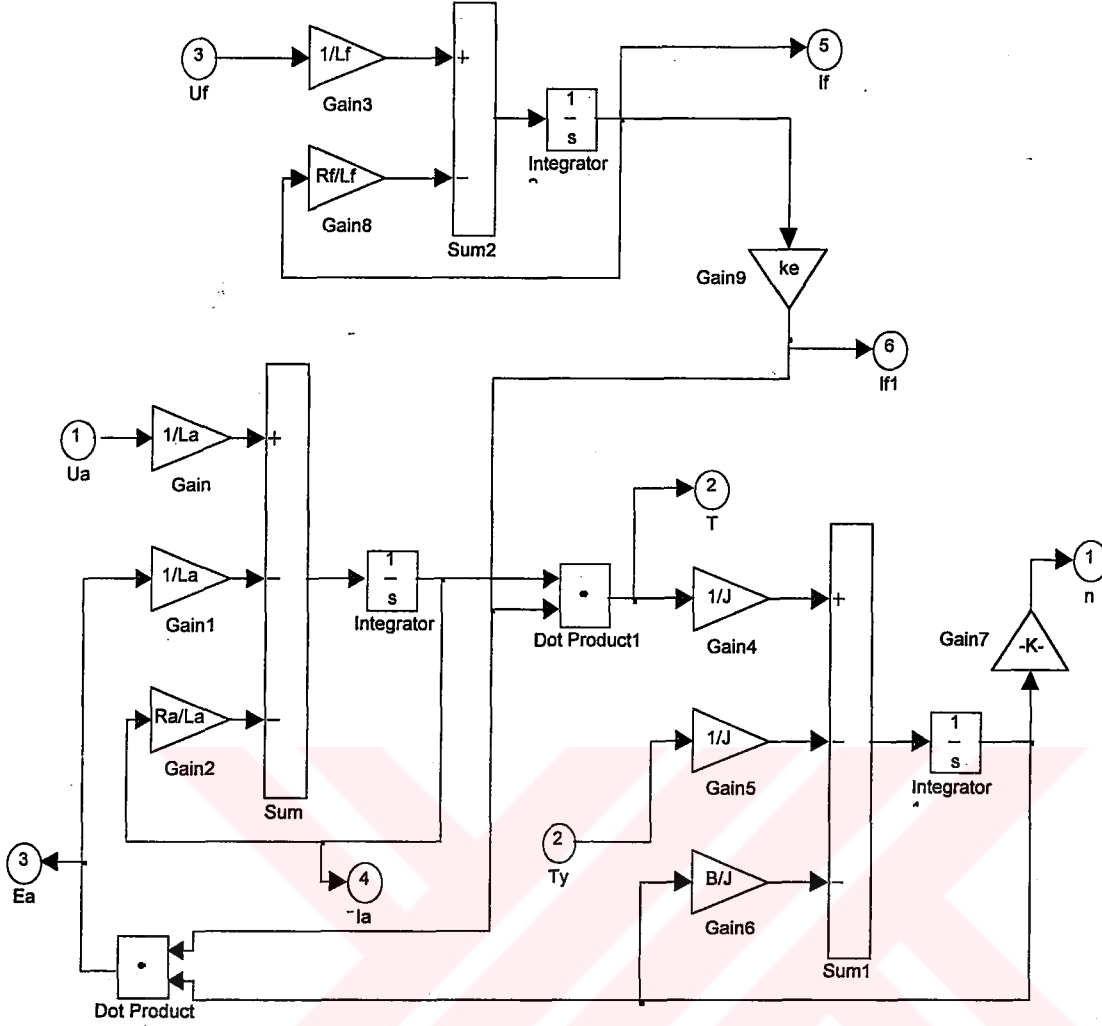
“Eğer hız referans değerden çok küçük yani hata pozitif büyük ve hızdaki değişim (ivme) negatif yönde büyük bir artıma sahip ise motora uygulanacak gerilimdeki artım değeri, sistemi referans noktasına ulaştıracak gerilim, pozitif büyük olmalıdır.”

Şeklinde sistemin gerçek çalışma durumunu çok yakından ifade eden dilsel niceleyiciler ile ifade edilmiş kurallar geliştirilir. Bu kurallar aşağıdaki simgesel kural tablosunda bütün durumları ihtiva edecek şekilde sunulmuştur.

Tablo 4.2 Simgesel kural tabanı

	e						
	nbh	noh	nh	sh	pkh	poh	pbh
nbhd	sch	pkch	pkch	poch	poch	pbch	pbch
nohd	nkch	sch	pkch	pkch	poch	poch	pbch
de nkhd	nkch	nkch	sch	pkch	pkch	poch	poch
shd	$M_1$	nkch	nkch	sch	pkch	pkch	$M_1$
pkhd	noch	noch	nkch	nkch	sch	nkch	pkch
pohd	nbch	noch	nkch	nkch	nkch	sch	pkch
pbhd	nbch	nbch	noch	noch	nkch	nkch	sch

Matlab-Simulink ortamında modellenen serbest uyarımlı motora ait blok diyagram aşağıdaki Şekil 4.12'de ifade edilmiştir.

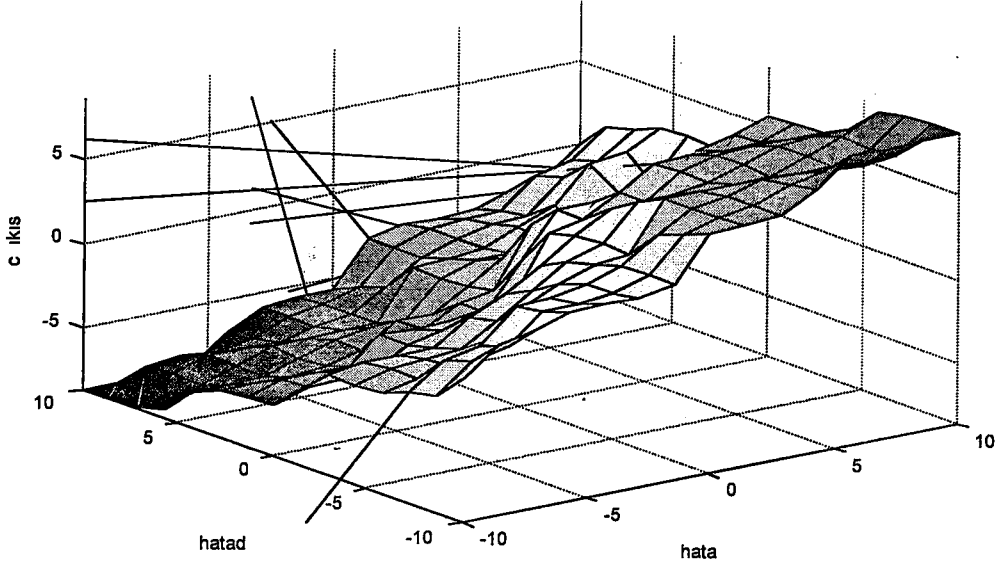


Şekil 4.12 Matlab-Simulink ortamında elde edilen serbest uyarımlı doğru akım motorunun moodeli

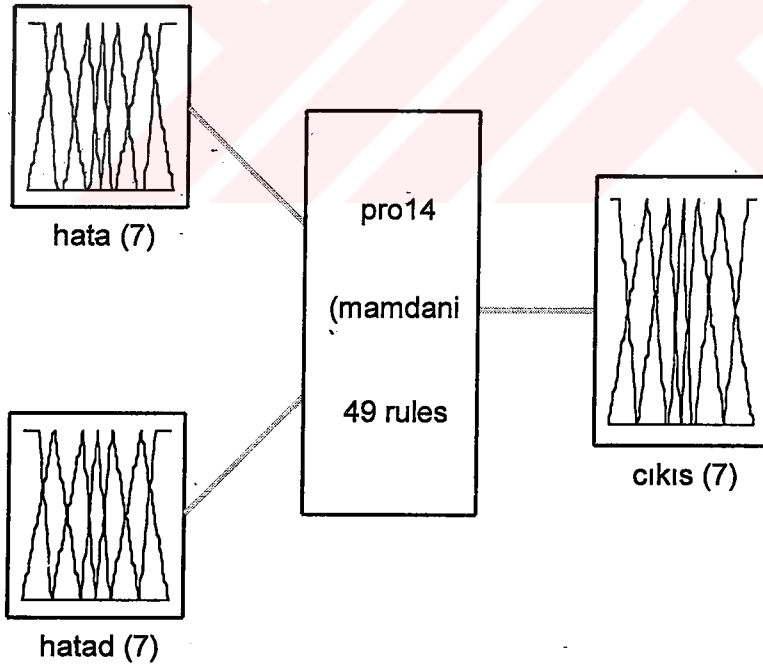
Giriş ve çıkışa ait üyelik fonksiyonlarının beraber gösterildiği bulanık denetleyiciye ait genel şema şekil 4.14'daki gibi ifade edilebilir.

Serbest uyarımlı doğru akım motorunun bulanık denetimini ifade eden ve simülasyonda kullanılan temel kontrol blok diyagramı Şekil 4.15'da verilmiştir.

Simülasyonda kullanılan giriş ve çıkışa ait üyelik fonksiyonlarının kural tabanı ile ilişkilendirilmesi ile elde edilen ve denetleyicinin kontrol karakteristiğini içeren kontrol yüzeyi olarak adlandırılan üç boyutlu grafik Şekil 4.13'da ifade edilmiştir.



Şekil 4.13 Kontrol yüzeyi



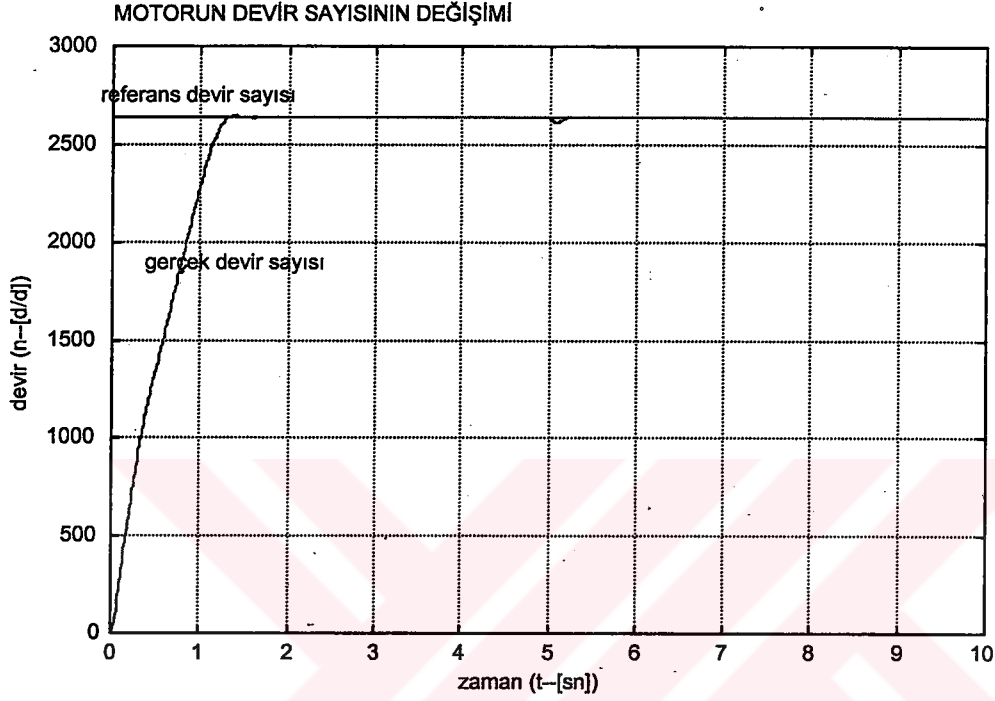
System pro14: 2 inputs, 1 outputs, 49

Şekil 4.14 Giriş ve çıkışa ait üyelik fonksiyonlarının beraber gösterildiği bulanık denetleyiciye ait genel şema

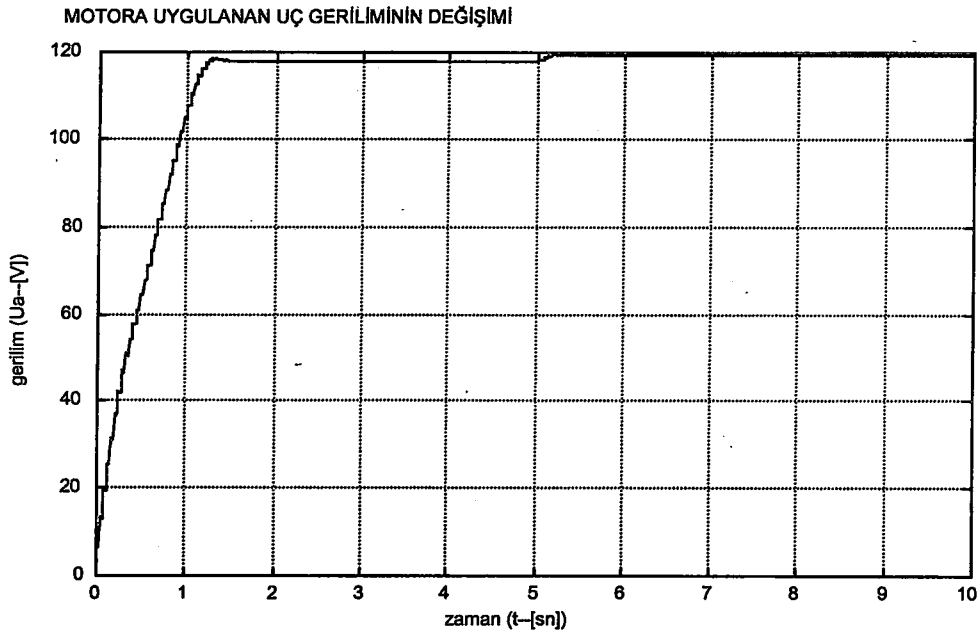


### 4.2.3.Simülasyon Sonuçları

Artım zamanı  $T_s=0.010$  sn ve ode4(Runge-Kutta) (diferansiyel denklem çözücü ) kullanılmak suretiyle, motorun yüksüz kalkış yaptıktan sonra simülasyonun 5. saniyesinde nominal momentle yüklenmesi ve nominal hız regülasyonun sağlanması durumuna ilişkin simülasyon sonuçları aşağıdaki Şekil 4.16 - 22'deki gibi elde edilmiştir.

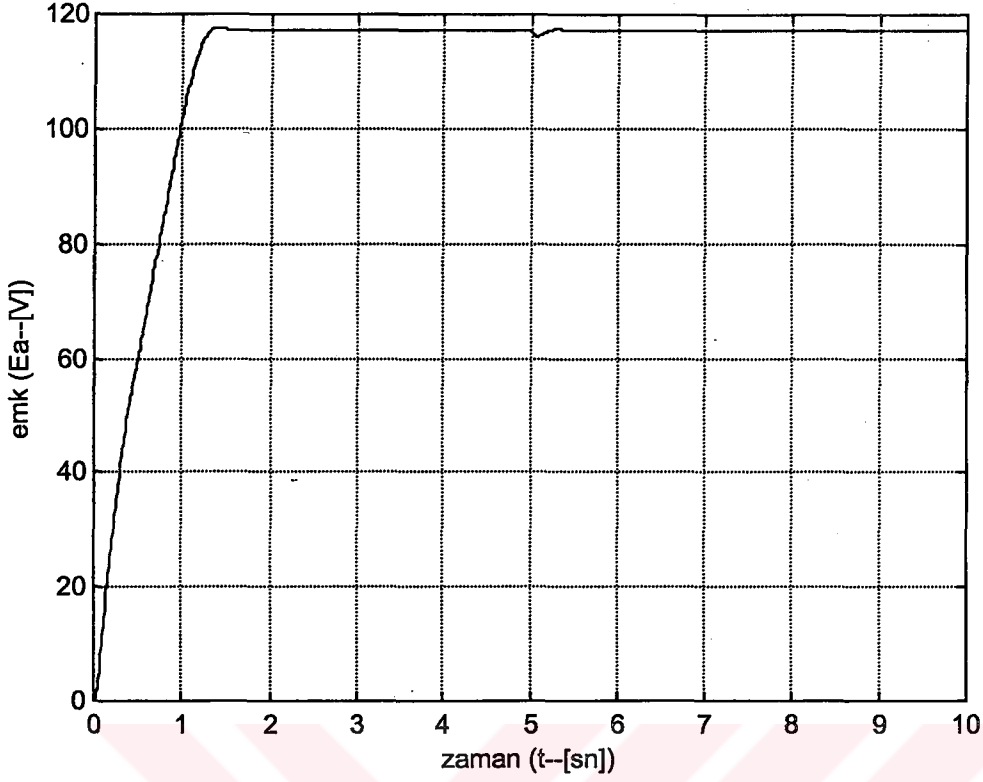


Şekil 4.16  $M_0=0$  ve  $n=n_n$  için motorun devir sayısının değişimi

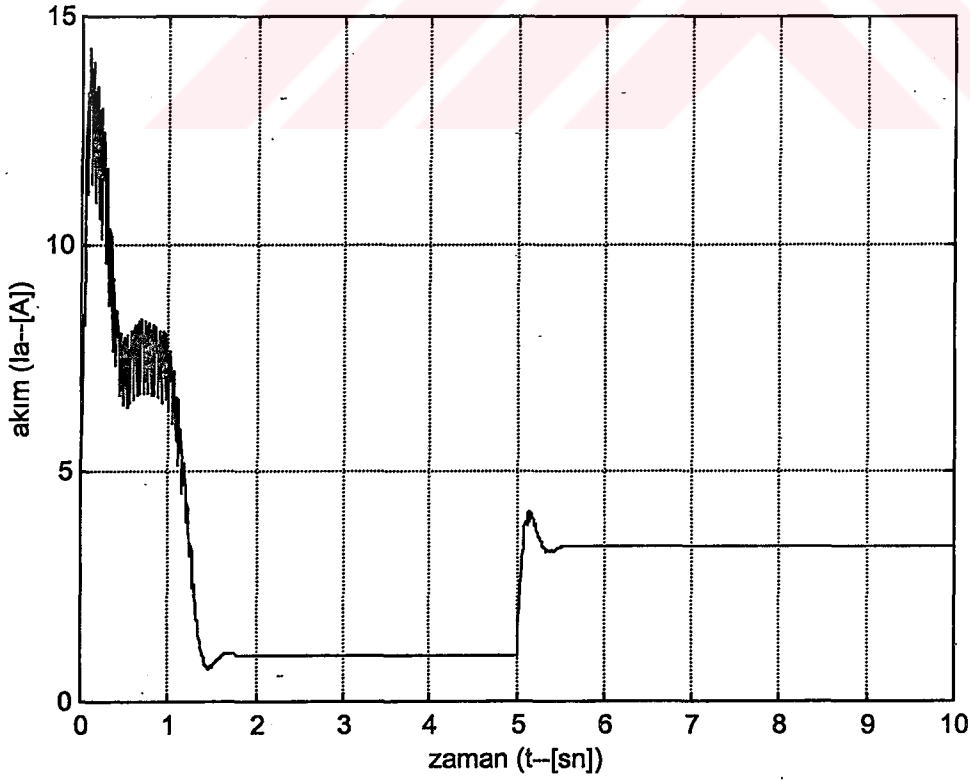


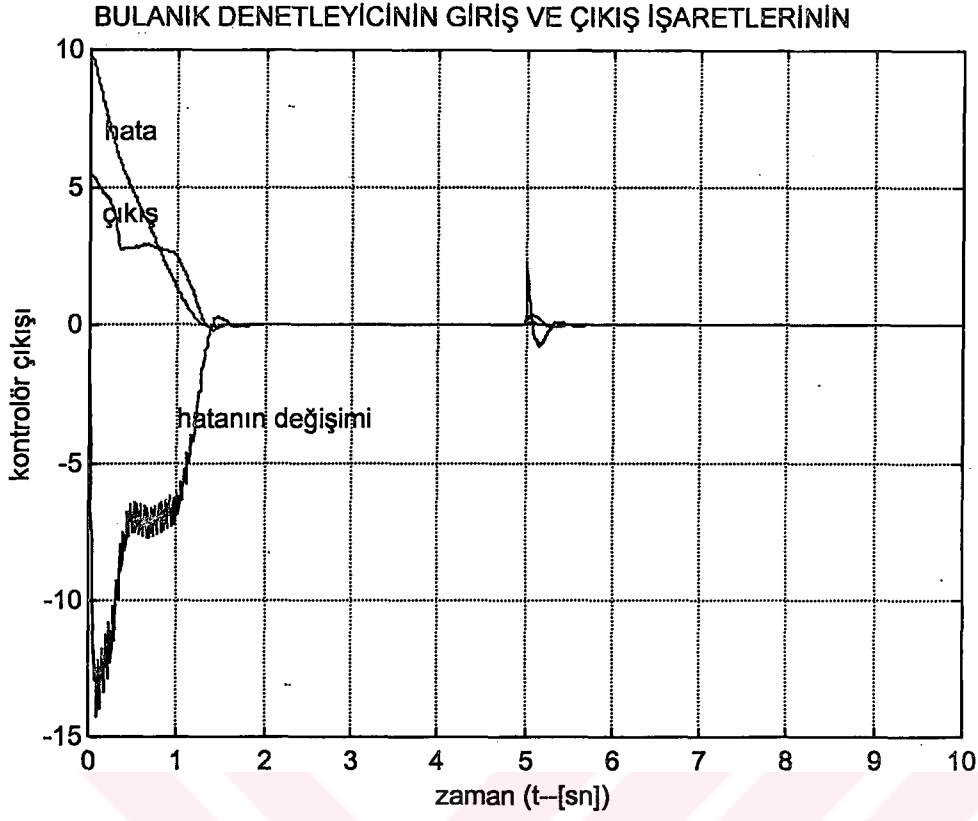
Şekil 4.17  $M_0=0$   $n=n_n$  için Motora uygulanan uç geriliminin değişimi

## MOTORDA ENDÜKLENEN TERS ELEKTROMOTOR GERİLİMİNİN

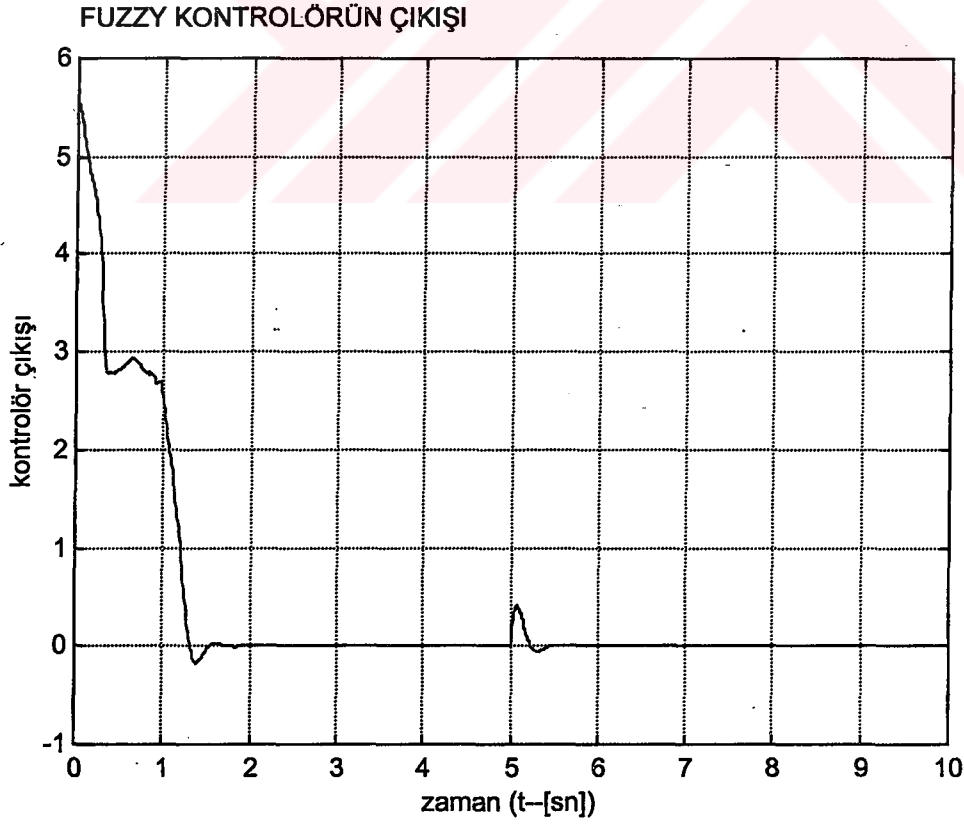
Şekil 4.18  $M_0=0$  ve  $n=n_n$  için motorda endüklenen emk değerinin değişimi

## MOTOR ENDÜVİ AKIMININ DEĞİŞİMİ

Şekil 4.19  $M_0=0$  ve  $n=n_n$  için motord endüvi akımının değerinin değişimi

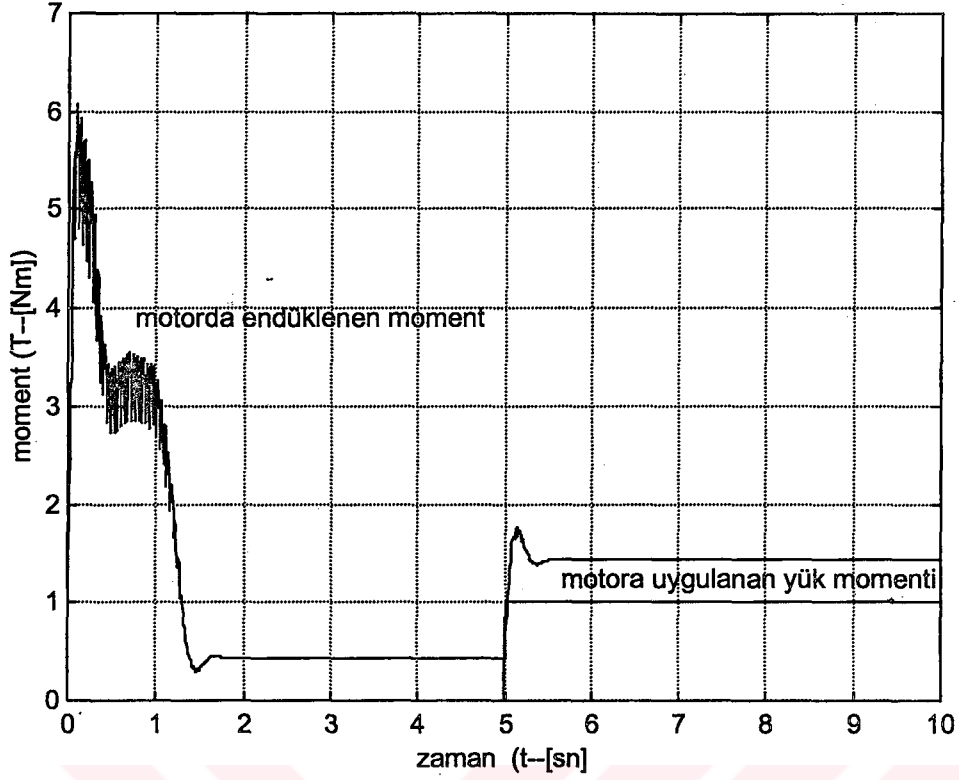


Şekil 4.20  $M_0=0$  ve  $n=n_n$  için kontrolör giriş ve çıkışının değişimi



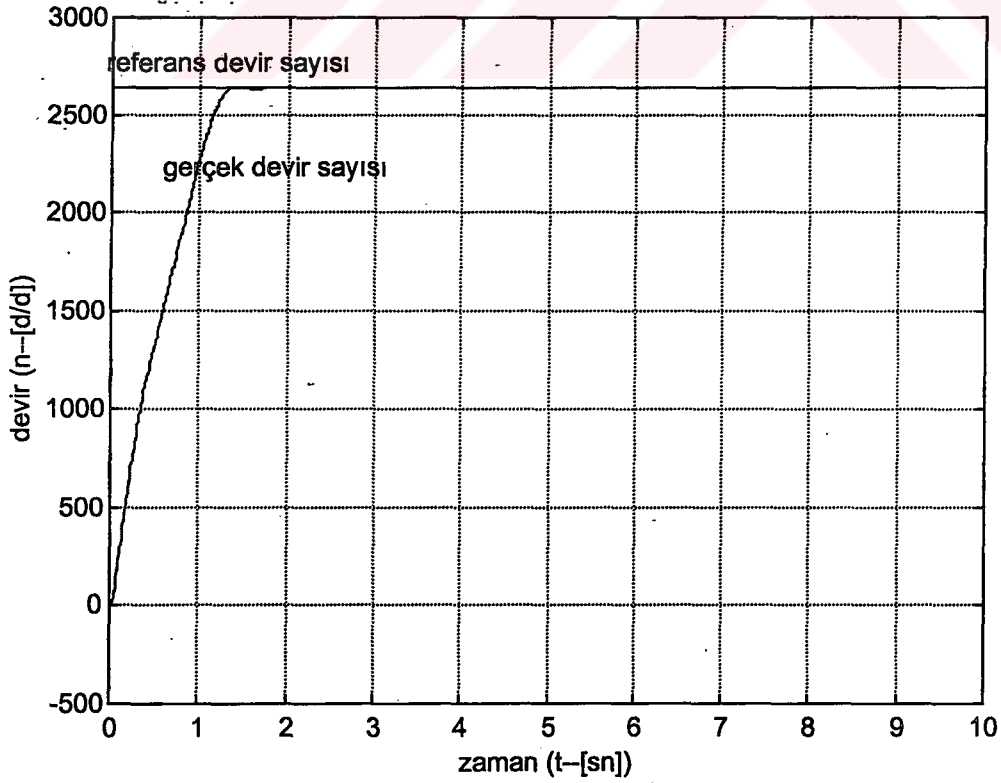
Şekil 4.21  $M_0=0$  ve  $n=n_n$  için bulanık denetleyicinin çıkışının değişimi

## MOTORDA ENDÜKLENEN MOMENT VE MOTORA UYGULANAN MOMENTİN



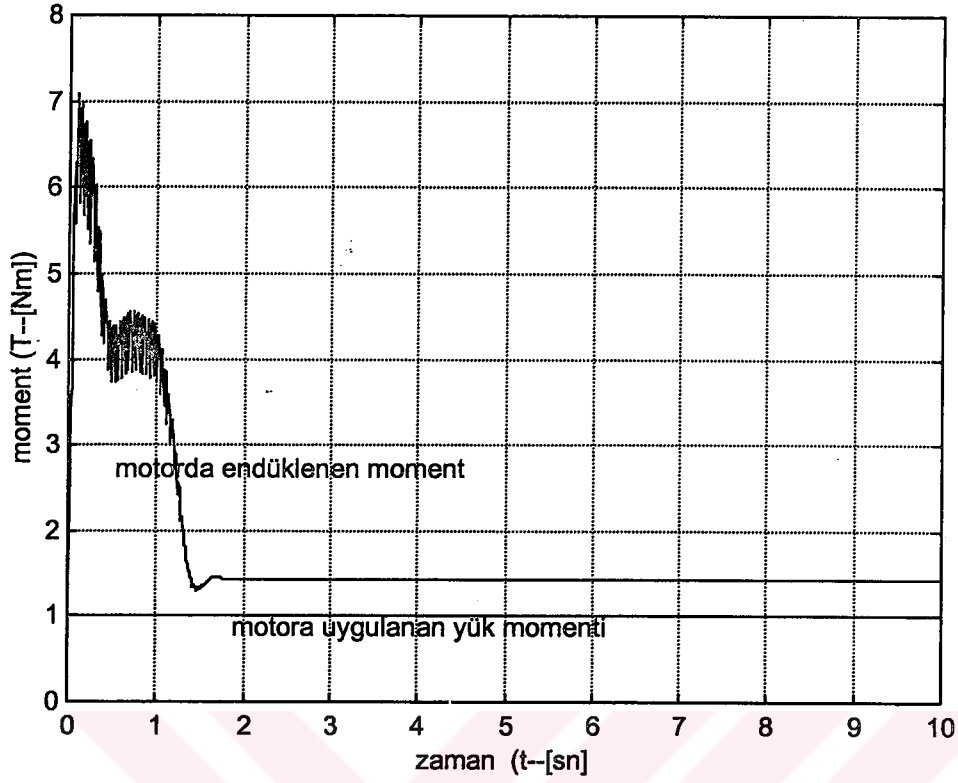
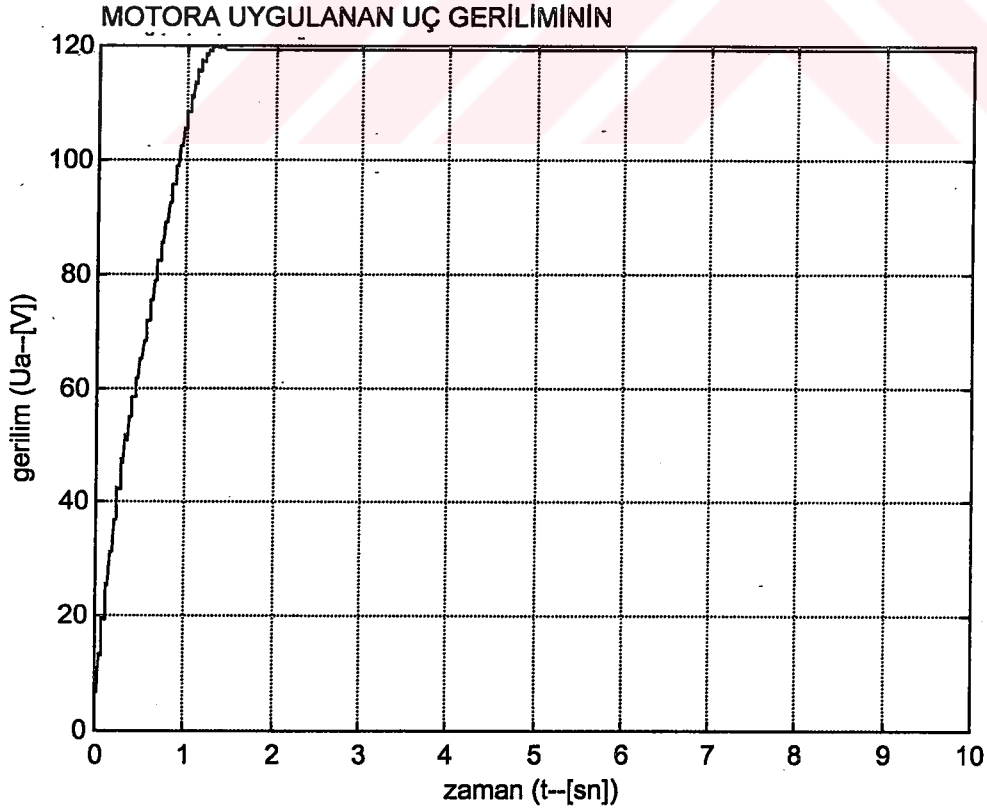
Şekil 4.22  $M_0=0$  ve  $n=n_n$  için motorda endükleneen moment ve yük moment değerinin değişimi Motorun nominal momentle kalkış yapıp nominal hız regülasyonunun sağlanması durumu için simülasyon sonuçları aşağıdaki Şekil 4.23 - 29'daki gibi elde edilmiştir.

## MOTORUN DEVİR SAYISININ

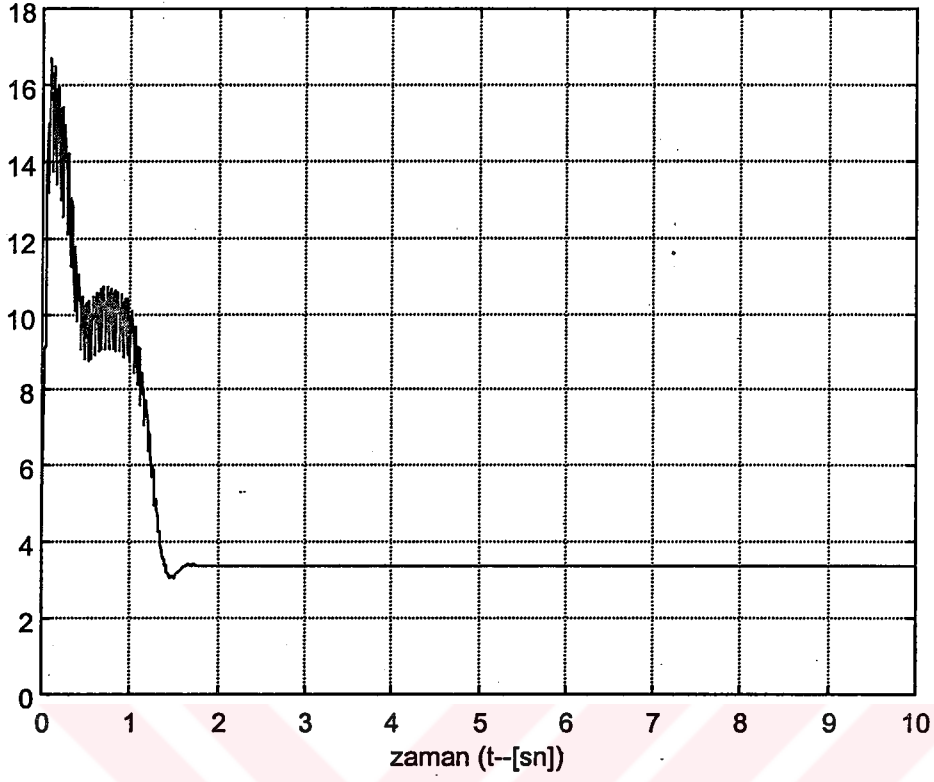


Şekil 4.23  $M_0=M_n$  ve  $n=n_n$  durumu için motor hızının değişimi

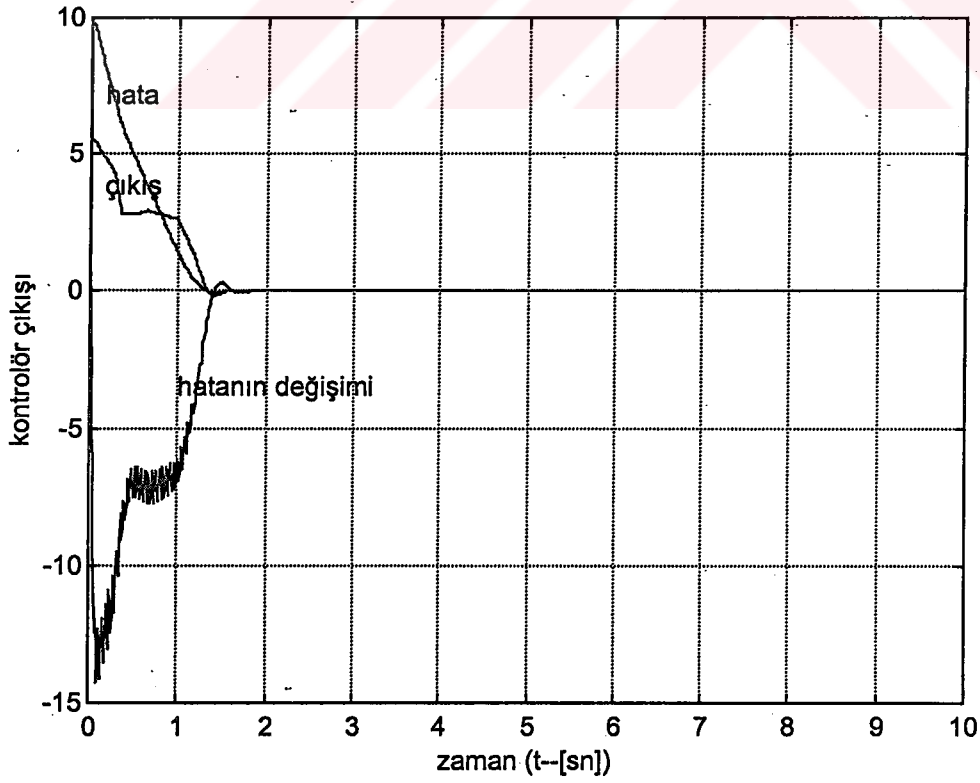
MOTORDA ENDÜKLENEN MOMENT VE MOTORA UYGULANAN MOMENTİN

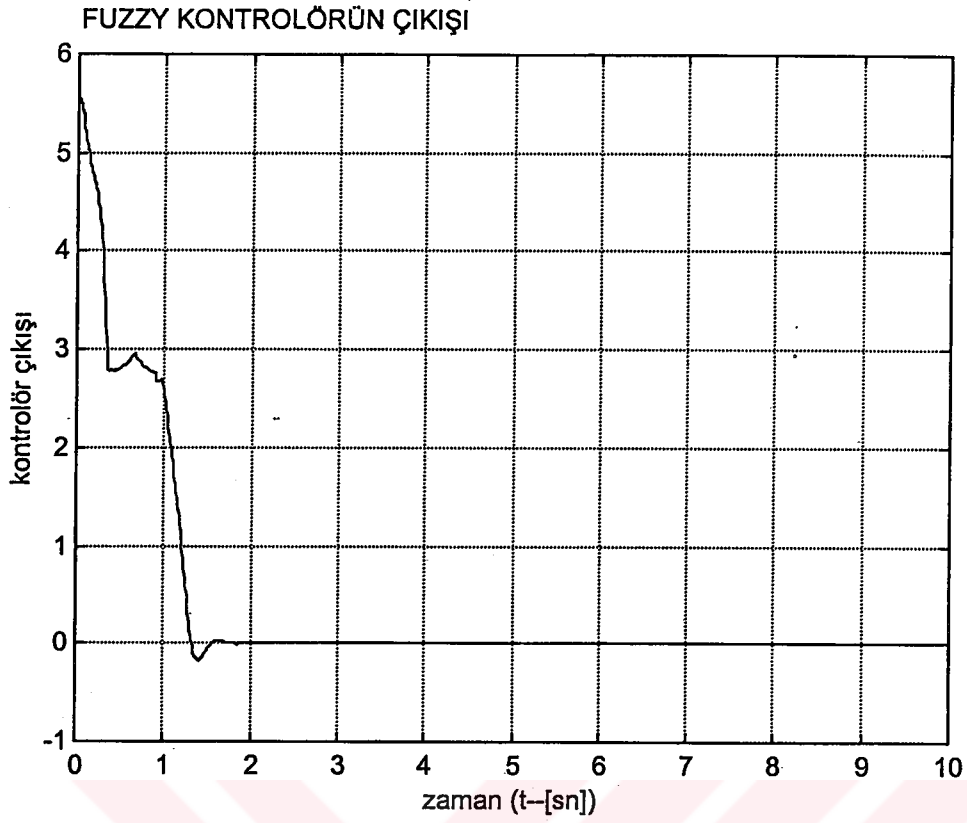
Şekil 4.24  $M_0=M_n$  ve  $n=n_n$  durumu için motorda endüklene moment ve uygulanan yük momentinin değişimiŞekil 4.25  $M=M_n$  ve  $n=n_n$  durumu için motor uç geriliminin değişimi

MOTOR ENDÜVİ AKIMININ DEĞİŞİMİ

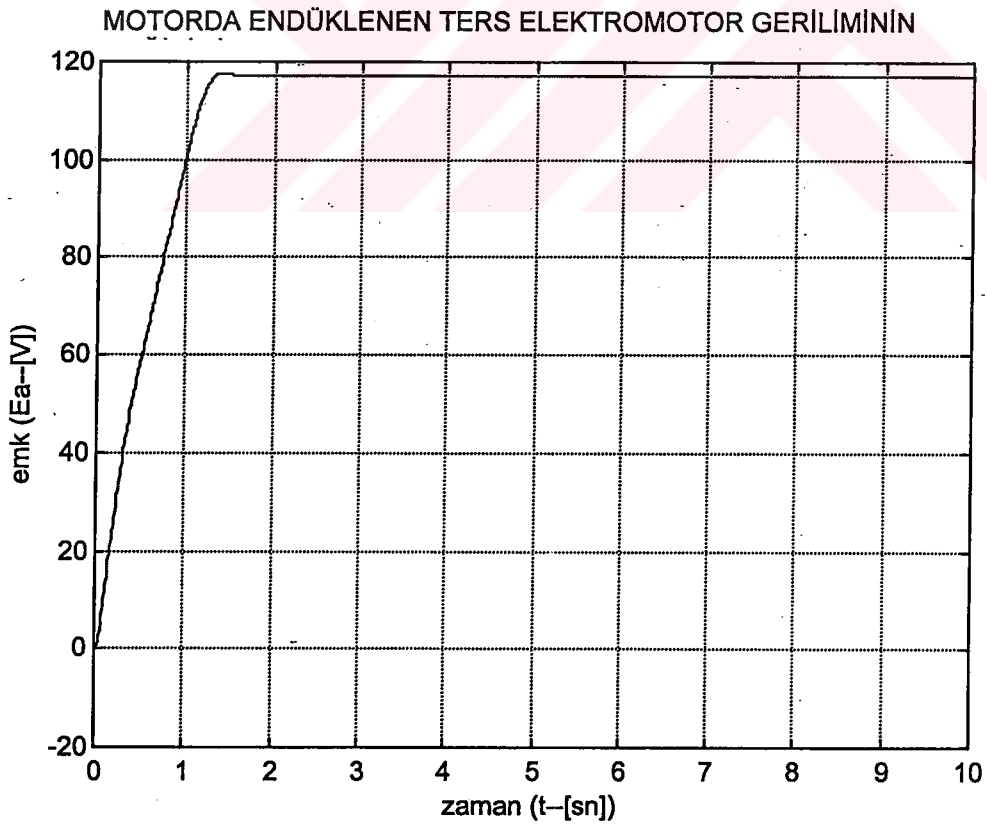
Şekil 4.26  $M_0 = M_n$  ve  $n = n_n$  durumu için motor endüvi akımının değişimi

BULANIK DENETLEYİCİNİN GİRİŞ VE ÇIKIŞ İŞARETLERİNİN DEĞİŞİMİ

Şekil 4.27  $M = M_n$  ve  $n = n_n$  için bulanık denetleyicinin giriş ve çıkışı

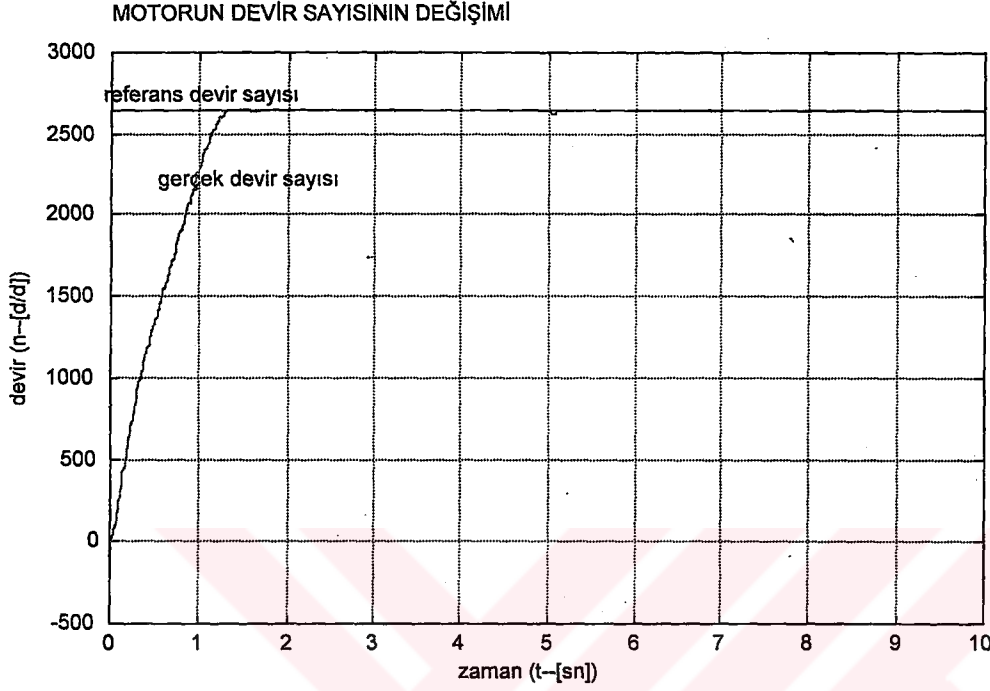


Şekil 4.28  $M_0=M_n$  ve  $n=n_n$  durumu için bulanık denetleyicinin çıkışının değişimi

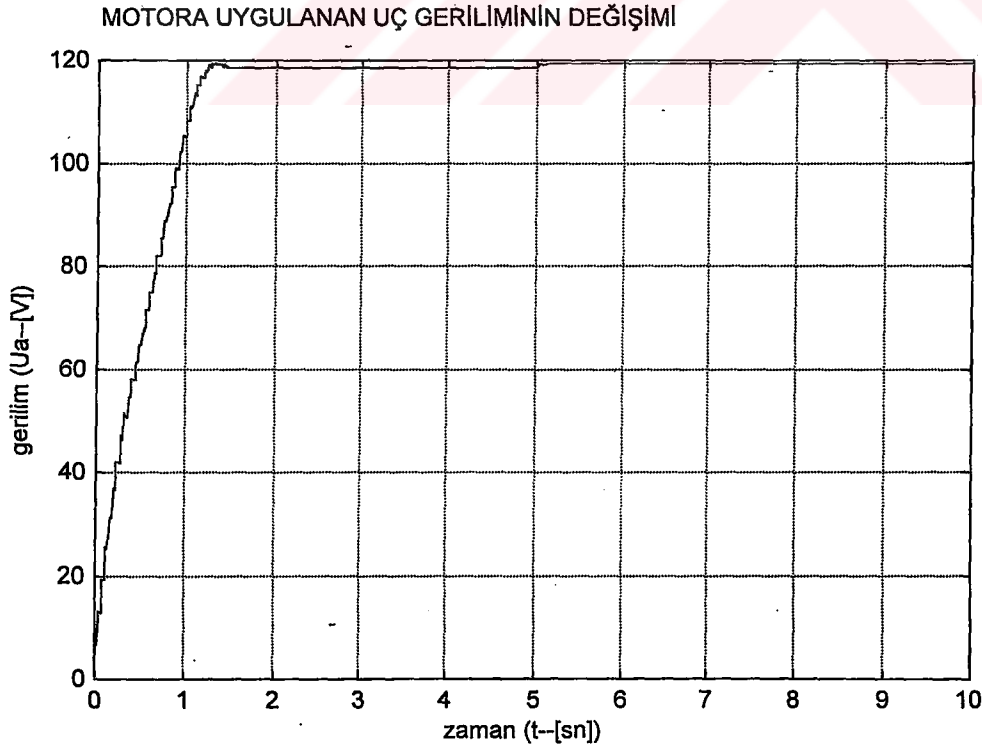


Şekil 4.29  $M_0=M_n$  ve  $n=n_n$  durumu için motorun endüklediği zıt emk'nın değişimi

Motorun nominal momentin yarısıyla kalkış yapıp simülasyonun 5. Saniyesinde motora nominal momentin yarısı kadar bir moment değerinin eklenmesi durumunda nominal hız regülasyonunun sağlanması şartı için simülasyon sonuçları aşağıdaki Şekil 4.30-31-32-33-34-35-36'daki gibi elde edilmiştir.

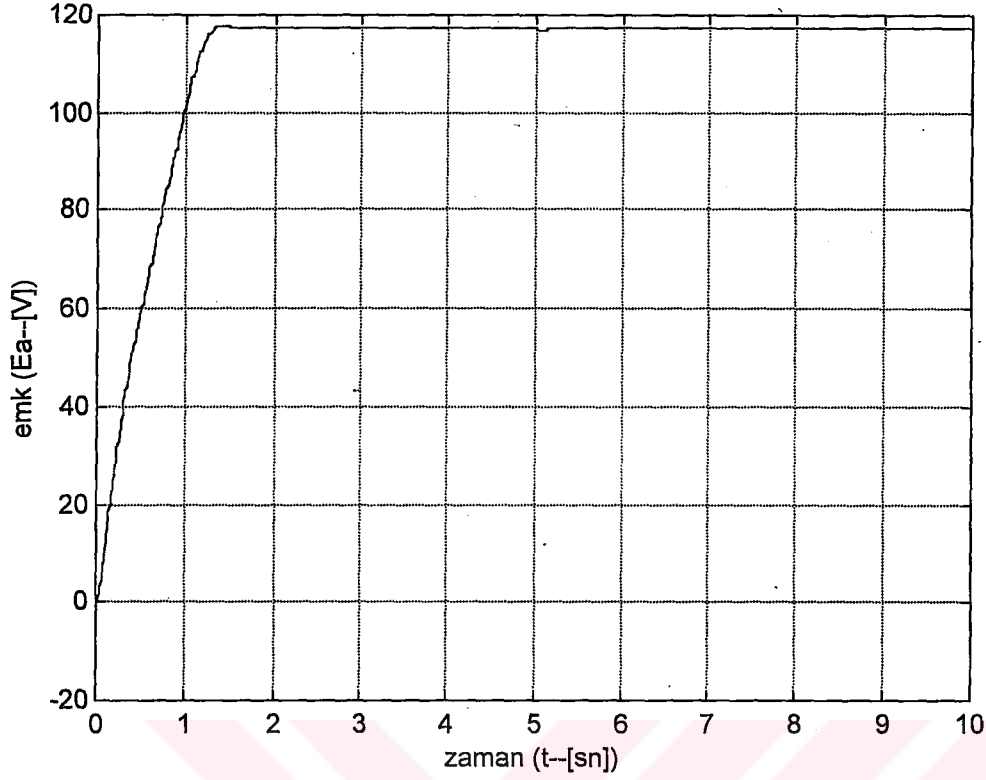


Şekil 4.30  $M=0.5*M_n$  ve  $n=n_n$  için motor devir sayısının değişimi

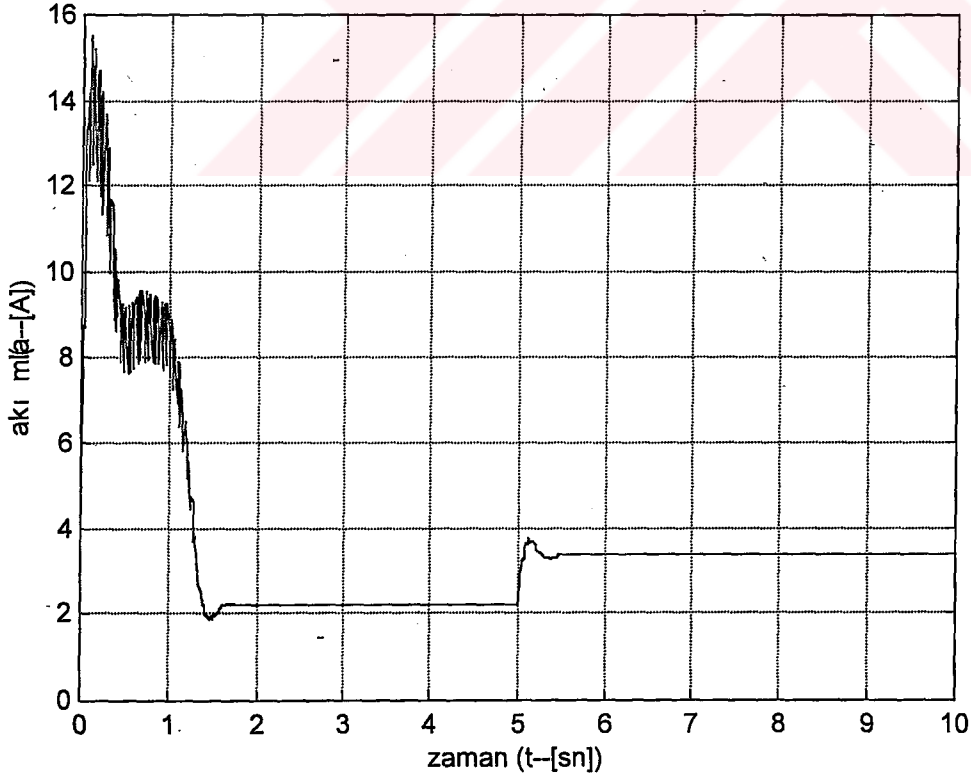


Şekil 4.31  $M=0.5*M_n$  ve  $n=n_n$  için motor uç geriliminin değişimi

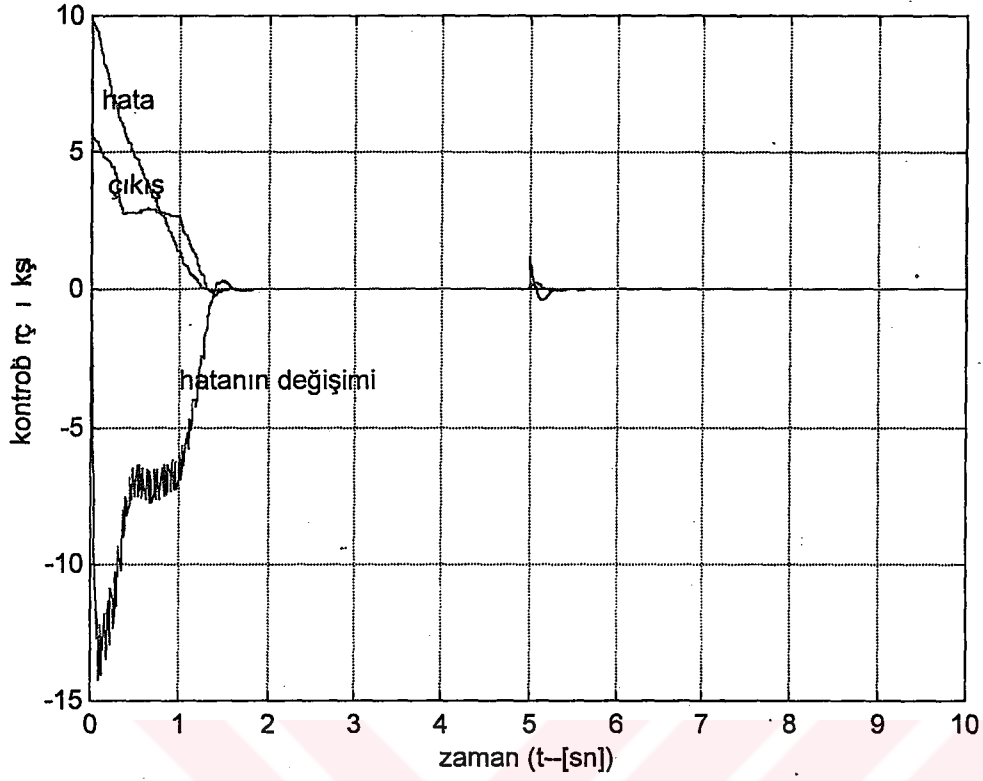
## MOTORDA ENDÜKLENEN TERS ELEKTROMOTOR GERİLİMİNİN DEĞİŞİMİ

Şekil 4.32  $M=0.5 \cdot M_n$  ve  $n=n_n$  için motorda endüklenen zıt emk'nın değişimi

## MOTOR ENDÜVİ AKIMININ DEĞİŞİMİ

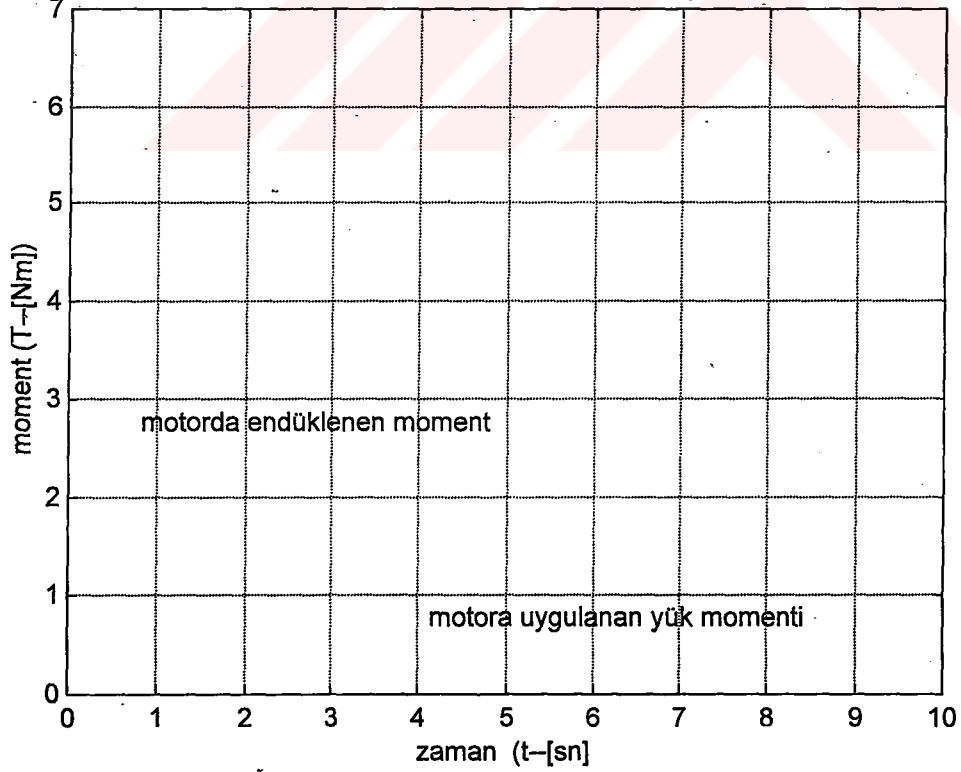
Şekil 4.33  $M=0.5 \cdot M_n$  ve  $n=n_n$  için motor endüvi akımının değişimi

### BULANIK DENETLEYİCİNİN GİRİŞ VE ÇIKIŞ İŞARETLERİNİN DEĞİŞİMİ

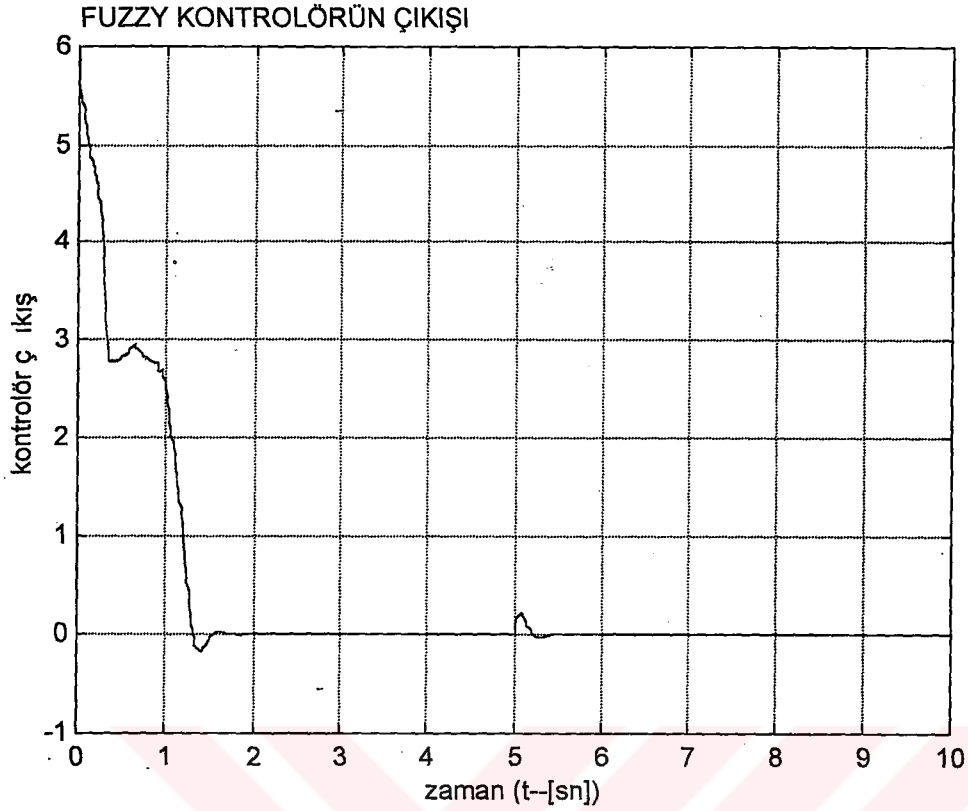


Şeki 4.34  $M=0.5 \cdot M_n$  ve  $n=n_n$  için bulanık denetleyicinin giriş ve çıkışının değişimi

### MOTORDA ENDÜKLENEN MOMENT VE MOTORA UYGULANAN MOMENTİN DEĞİŞİMİ

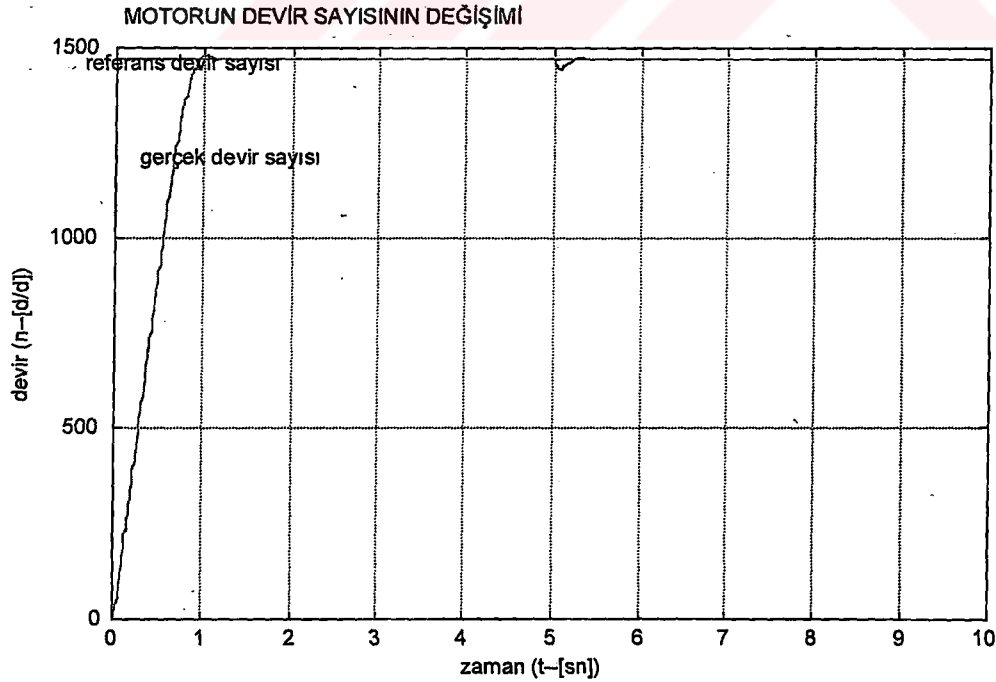


Şekil 4.35  $M=0.5 \cdot M_n$  ve  $n=n_n$  için motorda endüklene moment ve uygulanan yük momentinin değişimi



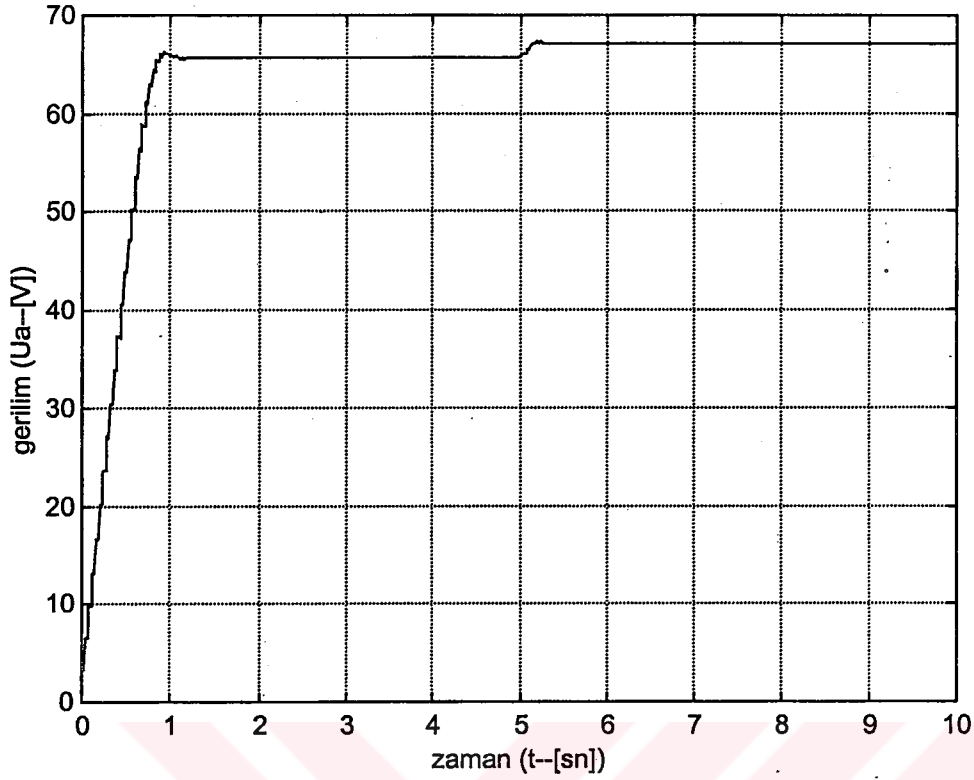
Şekil 4.36  $M=0.5 \cdot M_n$  ve  $n=n_n$  için bulanık denetleyicinin çıkışının değişimi

Motorun yüksüz kalkış yapıp simülasyonun 5. Saniyesinde motora nominal moment kadar bir moment değerinin eklenmesi durumunda 1500 d/d hız regülasyonunun sağlanması şartı için simülasyon sonuçları aşağıdaki Şekil....'daki gibi elde edilmiştir

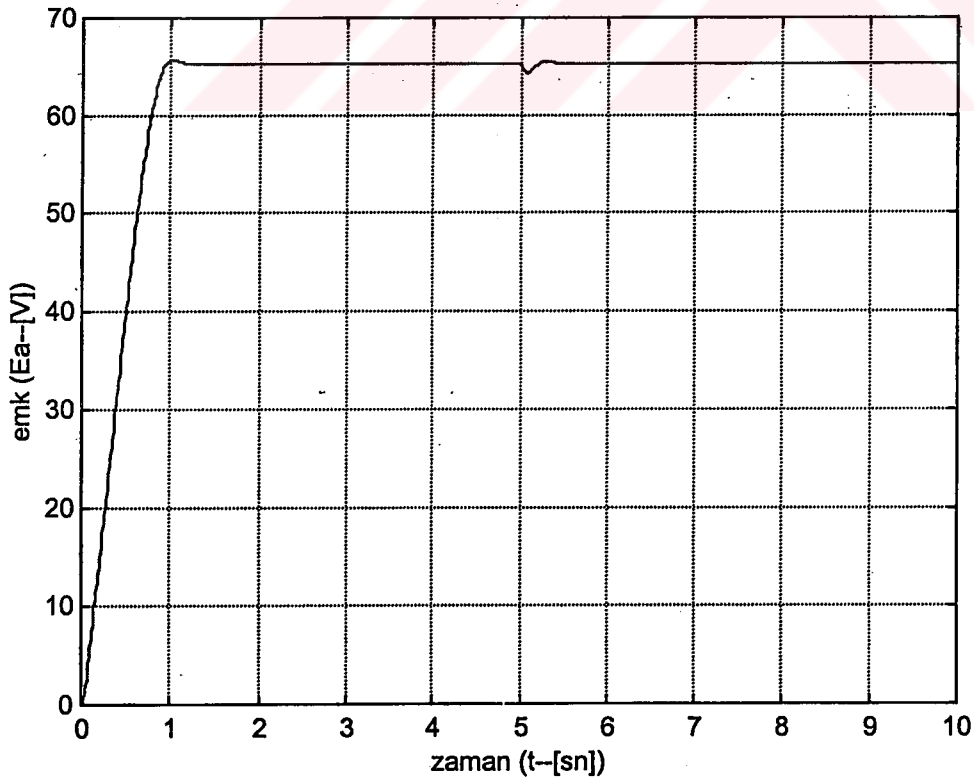


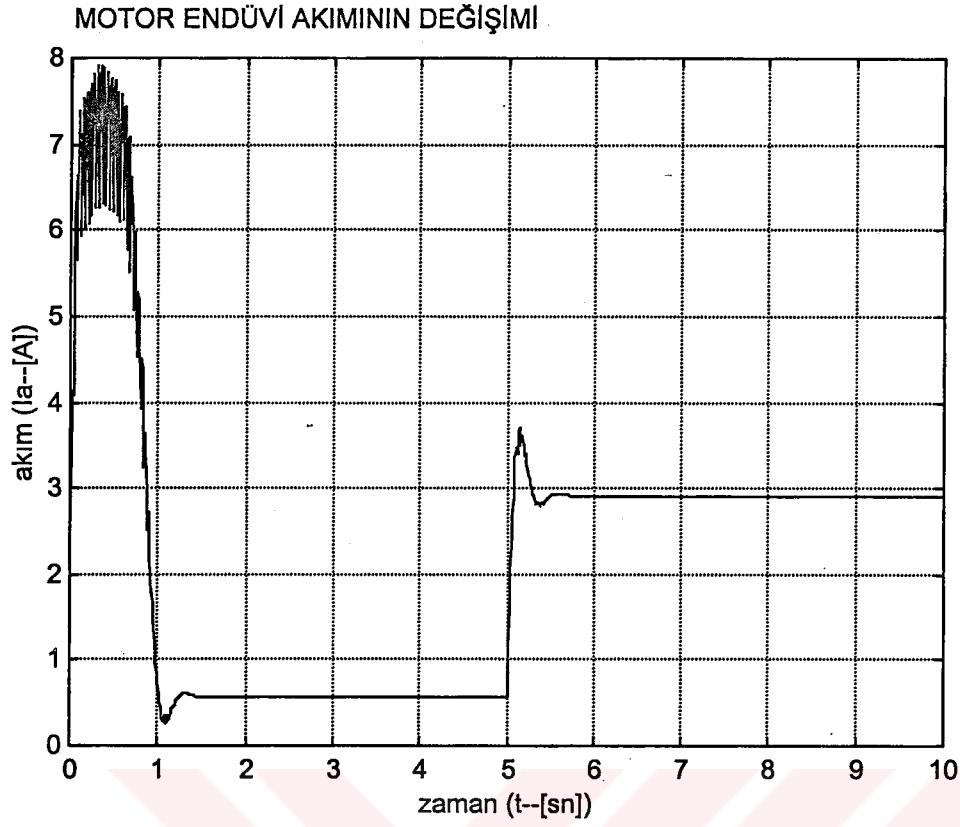
Şekil 4.37  $M_0=0$  ve  $n=1500$  d/d için motor devir sayısının değişimi

## MOTORA UYGULANAN UÇ GERİLİMİNİN

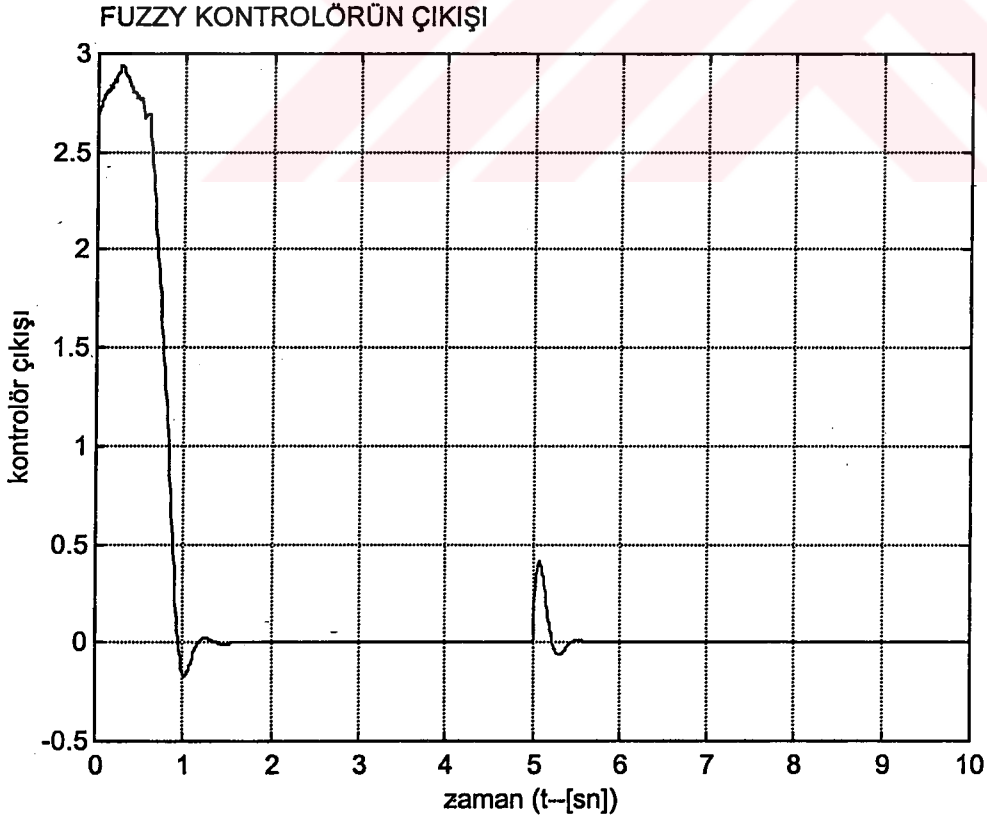
Şekil 4.38  $M_0=0$  ve  $n=1500$  d/d için motor uç geriliminin değişimi

## MOTORDA ENDÜKLENEN TERS ELEKTROMOTOR GERİLİMİNİN DEĞİŞİMİ

Şekil 4.39  $M_0=0$  ve  $n=1500$  d/d için motorda endüklenen zıt emk'nın değişimi

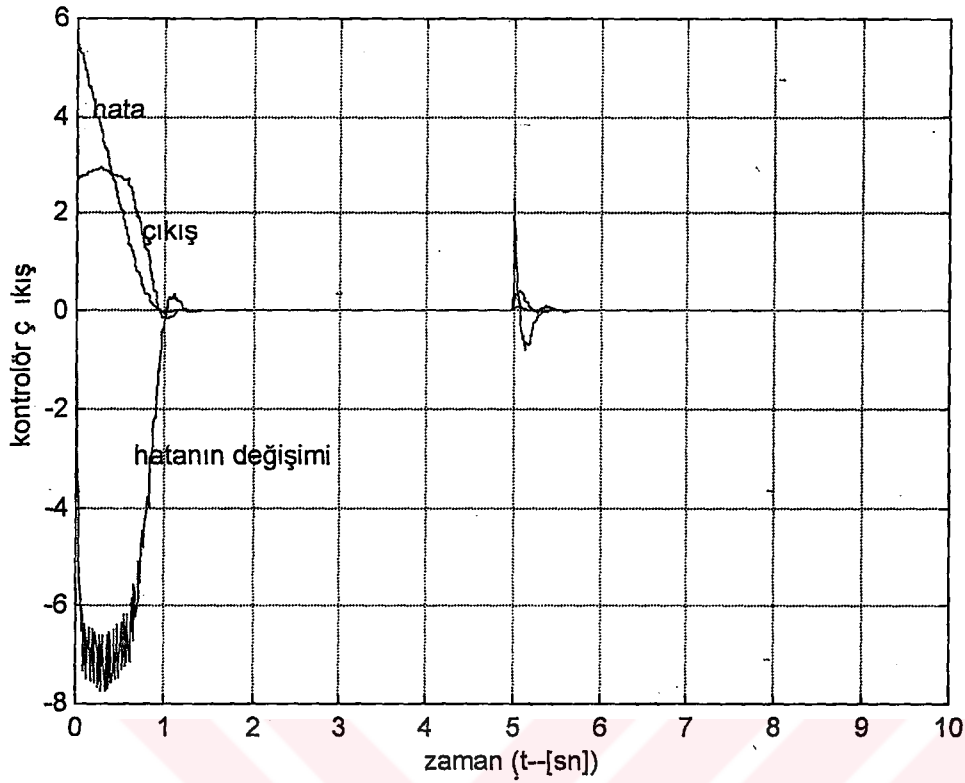


Şekil 4.40  $M_0=0$  ve  $n=1500$  d/d için motor endüvi akımının değişimi

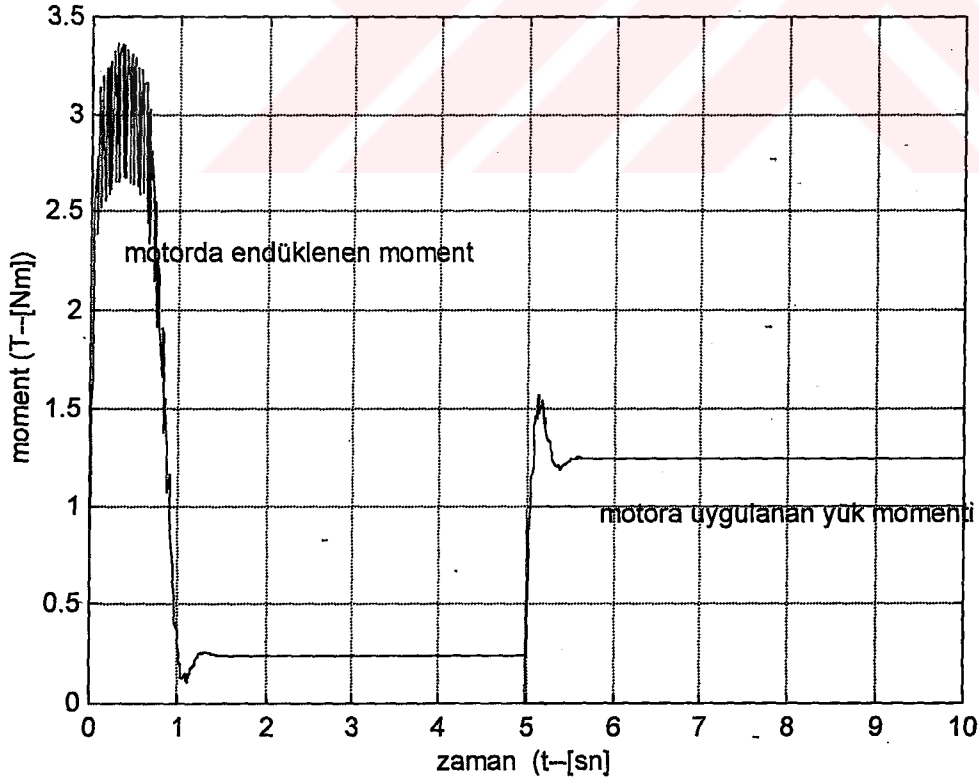


Şekil 4.41  $M_0=0$  ve  $n=1500$  d/d için bulanık denetleyicinin çıkışının değişimi

## BULANIK DENETLEYİCİNİN GİRİŞ VE ÇIKIŞ İŞARETLERİNİN DEĞİŞİMİ

Şekil 4.42  $M_0=0$  ve  $n=1500$  d/d için bulanık denetleyicinin giriş ve çıkışının değişimi

## MOTORDA ENDÜKLENEN MOMENT VE MOTORA UYGULANAN MOMENTİN DEĞİŞİMİ

Şekil 4.43  $M_0=0$  ve  $n=1500$  d/d için motorda endüklenen moment ve uygulanan yük momentinin değişimi

## 5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bulanık mantık kontrol sistemleri kontrol edilecek sistemin matematiksel modeli kullanmadan çeşitli yöntemler ile sistemin kontrolünü sağlayabilir. Burada serbest uyarımlı motorun hız cevabı incelenerek bulanık kontrolüne ilişkin sonuçlar simülasyon ile elde edilmiştir.

- ❖ Düzenlenecek kontrol sisteminde kullanılacak mikroişlemcinin hızı başarımlı açısından önem arz eder mümkün olan en hızlı mikroişlemcinin kullanımı tercih sebebidir.
- ❖ Üyelik fonksiyonlarının seçiminde belirli bir kriter bulunmadığından dolayı sistemin iyi tanınarak uygun üyelik fonksiyonlarının seçimi önemlidir.
- ❖ Sistemde kullanılacak çıkartım metodu işlemlerin basitleşmesi açısından önemlidir. Seçimde belirli bir kriter bulunmadığından dolayı uygun basit olarak kontrol işlemini ifade eden metot seçilmelidir.

**KAYNAKLAR**

Berenji, H. R., (1992), "Fuzzy Logic Controllers", An Introduction To Fuzzy Logic Applications In Intelligent Systems, Yager, R. R., Zadeh, L. A, Kluwer Academic Publishers.

Çaşkurlu, A., Akpınar, S., (1996), "Doğru Akım Motorları Sürücü Düzenlerinde Bulanık Mantık Kullanarak Hız Denetiminin Yapılması", TOK'96 Otomatik Kontrol Bildiriler Kitabı, 183-190.

Driankov, D., Hellendoorn, H., Reinfrank, M., (1996), "An Introduction To Fuzzy Control", Springer Verlag, Berlin.

Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., Umans, S. D., (1986), "Electric Machinery", McGraw-Hill Book Company.

Hanselman, D., Littlefield, B., (1996), "Mastering Matlab A Comprehensive Tutorial And Reference", Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Kasapoğlu, A., (1989), "Elektrik Makinaları: Doğru Akım Makinaları", Yıldız Üniversitesi Yayınları

Kuo, B. C., (1995), "Automatic Control Systems", Prentice Hall Of India Private Limited, New Delhi.

Lee, C. C., (1994), "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller Part I", IEEE Trans. On Systems Man and Sybernetics, vol.20, 404-419.

Lee, C. C., (1994), "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller Part II", IEEE Trans. On Systems Man and Sybernetics, vol.20, 419-435.

Li, Y. F., Lau, C. C., (1989) "Development of Fuzzy Algorithms For Servo Systems", IEEE Control System Magazine, April.

Liaw, C. M., Cheng, S. Y., (1995), "Fuzzy Two-Degrees-of-Freedom Speed Controller For Motor Drives", IEEE Trans. Industrial Electronics, vol 42, 209-216.

Liaw, C. M., Kung, Y. S.,(1994), "Fuzzy Controller Improving A Linear Model Following Controller For Motor Drives", IEEE Trans. On Fuzzy Systems, vol 2, 194-202.

Mir, S. A., Zinger, D. S., Elbuluk, M. E., (1994), "Fuzzy Controller For Inverter Fed Induction Motors", IEEE Trans. On Industry Applications, vol 30, 78-84.

Rashid, M. H., (1993), "Power Electronics", Prentice Hall PTR, Upper Saddle River ,New Jersey

So, W. C., Tse, C. K., Lee, T., (1996), "Development Of A Fuzzy Logic Controller For DC/DC Converters: Design, Computer Simulation, and Experimental Evaluation", IEEE Trans. On Power Electronics, vol 11, 24-31.

Sousa, G. D. S., Bose, B. K., (1996), "A Fuzzy Set Theory Based Control Of A Phase-Controlled Converter DC Machine Drive", IEEE Trans. On Industry Applications, vol 30, 34-44.

The MathWorks Inc, (1995), "Fuzzy Logic Toolbox For Use with Matlab User's Guide".

The MathWorks Inc, (1997), "Simulink Dynamic System Simulation for Matlab User's Guide".

Wang, L. X., (1997), "A Course In Fuzzy Systems And Control", Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi	01.12.1974	
Doğum yeri	Afyon	
Lise	1989-1992	İscehisar Lisesi
Lisans	1992-1996	Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1996-...	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
<b>Çalıştığı kurumlar</b>		
	1997-...	Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü Elektrik Makinaları Anabilim Dalı (Arş. Gör.)

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**