



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

34697

**YÜKSEK HIZLI FUZZY LOJİK
KONTROLCU KULLANARAK
BİR SERVO MOTORUN
ADAPTİF KONTROLU**

Elk. Müh. Şenol ALKAN

**F.B.E. Elektrik Anabilim Dalında
hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Galip CANSEVER

İSTANBUL, 1994

3.4.2. Kompozisyon.....	29
3.5. Fuzzy Kontrol Sistemleri.....	30
3.5.1. Fuzzy Kontrolcu.....	30
3.6. Defuzzification (Netleştirme).....	33
4. ADAPTİF KONTROL.....	34
4.1. Adaptif Kontrol Sistem Tasarım Yöntemleri.....	36
4.1.1. Lokal Parametre Optimizasyon Teorisine Dayanan Yöntem.....	36
4.1.2. Kararlılık Teorisine Dayanan Yöntem.....	36
4.2. Adaptif Kontrol Sistemin Türleri.....	37
4.3. Model Referans Adaptif Sistem Yapıları.....	38
5. SERVO MOTOR HIZININ MODEL REFERANS ADAPTİF KONTROLÜ.....	41
5.1. Boşta Çalışma.....	45
5.2. Yükte Çalışma.....	46
6. FUZZY KONTROLÜ İLE SERVO MOTOR HIZ KONTROLÜ.....	48
7. MODEL REFERANS ADAPTİF KONTROLÜ İLE SERVO MOTOR HIZ KONTROLÜ.....	53
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	56
KAYNAKLAR.....	58
EK.....	62

ÖZGEÇMİŞ

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ.....	III
TABLO LİSTESİ.....	V
KISALTMALAR.....	VI
ÖZET.....	VII
SUMMARY.....	VIII

1. GİRİŞ.....	1
2. DOĞRU AKIM SERVO MOTORU.....	2
3. FUZZY SET (BULANIK KÜME).....	10
3.1. Fuzzy Set Teorisi.....	10
3.2. Üyelik fonksiyonu.....	13
3.2.1. Üyelik Ağırlığı.....	13
3.2.2. Üyelik Fonksiyonlarının Şekil ve Tabloları.....	13
3.2.2.1. Üçgen Üyelik Fonksiyonu.....	14
3.2.2.2. Yamuk Üyelik Fonksiyonu.....	15
3.2.2.3. Çan Üyelik Fonksiyonu.....	16
3.2.2.4. Monolitik Üyelik Fonksiyonu.....	17
3.2.2.5. Monotonik Üyelik Fonksiyonu.....	18
3.3. Fuzzy Matematigi.....	19
3.3.1. Eşitlik.....	19
3.3.2. Kapsama.....	20
3.3.3. Değil İşlemi.....	21
3.3.4. Birleşim.....	23
3.3.5. Kesişim.....	24
3.3.6. Çarpım.....	25
3.3.7. Geçiş Noktası.....	26
3.3.8. Normal ve Altnormal.....	26
3.4. Bulanık İlişkiler.....	27
3.4.1. Koşullu Önergeler.....	27

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.I.	Doğru akım servo motor için alınan model.....	2
Şekil 2.II.	Servo Motorun transfer fonksiyonu.....	5
Şekil 2.III.	Servo motorun yüksüz halda birim basamak girişe cevabı.....	7
Şekil 2.IV.	Servo motorun yükte ve 165 V girişe cevabı.....	8
Şekil 2.V.	Servo motorun hız-moment eğrisi.....	9
Şekil 3.1.I.	Keskin kümeler (crisp set).....	10
Şekil 3.1.II.	Bulanık kümeler (fuzzy set).....	11
Şekil 3.2.2.	Çeşitli üyelik fonksiyonları.....	13
Şekil 3.2.2.1.	Üçgen Üyelik fonksiyonu.....	15
Şekil 3.2.2.2.	Yamuk şeklindeki üyelik fonksiyonu.....	16
Şekil 3.2.2.3.	Çan şeklindeki üyelik fonksiyonu.....	17
Şekil 3.2.2.4.	Monolitik üyelik fonksiyonu.....	18
Şekil 3.2.2.5.	Monotonik üyelik fonksiyonu.....	19
Şekil 3.3.1.	Eşit iki fonksiyon.....	20
Şekil 3.3.2.	Kapsama.....	21
Şekil 3.3.3.	Değil İşlemi.....	22
Şekil 3.3.4.I.	Birleşim yapılacak X ve T fonksiyonları.....	23
Şekil 3.3.4.II.	X ve T kümelerinin birleşim sonucu.....	24
Şekil 3.3.5.	X ve T kümelerini kesişimi.....	25
Şekil 3.3.7.	Geçiş noktası.....	26
Şekil 3.3.8.I.	Normal X kümesi.....	26
Şekil 3.3.8.II.	Altnormal T kümesi.....	27
Şekil 3.5.1.I.	Fuzzy kontrolcü yapısı.....	31
Şekil 3.5.1.II.	If-Then ilişkisi.....	33
Şekil 4.2.I.	Model referans adaptif kontrol sistemi.....	37
Şekil 4.2.II.	Kendi kendini düzenleyen regülatör.....	37
Şekil 4.3.1.	Seri MRAS.....	38
Şekil 4.3.2.	Paralel MRAS.....	39
Şekil 4.3.3.I.	Seri-Paralel MRAS.....	39
Şekil 4.3.3.II.	Seri-Paralel MRAS.....	40

Şekil 5.1.	Servo motorun boşta adaptasyondan sonraki davranışı.....	46
Şekil 5.2.	Servo motorun yükte adaptasyondan sonraki davranışı.....	46
Şekil 6.I.	Hata ve hatanın değişimi için seçilen üçgen üyelik fonksiyonu....	48
Şekil 6.II.	Çıkış için seçilen monolitik üyelik fonksiyonu.....	49
Şekil 6.III.	Servo kural tabanına göre giriş-çıkışların üç boyutlu gösterimi.....	50
Şekil 6.IV.	Fuzzy kontrolcü ile kontrol edilen servomotorun hız-zaman eğrisi.....	51
Şekil 6.V.	Fuzzy kontrolcü ile kontrol edilen servomotorun hata-zaman eğrisi.....	51
Şekil 6.VI.	Fuzzy kontrolcü ile kontrol edilen servomotorun hata değişimi-zaman eğrisi.....	52
Şekil 7.I.	MRAK ile kontrol edilen servo motorun hız-zaman eğrisi.....	54
Şekil 7.II.	MRAK ile kontrol edilen servo motorun hata-zaman eğrisi.....	54
Şekil 7.III.	MRAK ile kontrol edilen servo motorun hata değişimi-zaman eğrisi.....	55

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.2.2.1. Üçgen üyelik fonksiyonu tablosu.....	15
Tablo 3.2.2.2. Yamuk üyelik fonksiyonu tablosu.....	16
Tablo 3.2.2.3. Çan üyelik fonksiyonu tablosu.....	17
Tablo 3.2.2.1. Monolitik üyelik fonksiyonu tablosu.....	18
Tablo 3.2.2.1. Monotonik üçgen üyelik fonksiyonu tablosu.....	19
Tablo 3.4.1. Normal mantık önermesi.....	27
Tablo 6.1. Servo kural tabanı.....	49



KISALTMALAR

ce	Hata değişimi değeri
dak	Dakika
dev	Motor deviri
e	Hata değeri
I, i(t)	Amper
kg	Kilogram
m	Metre
mH	Mili Henry
MHz	Mega Hertz
MRAC	Model Reference Adaptive Control
MRAFC	Model Reference Adaptive Fuzzy Control
MRAFK	Model Referans Adaptif Fuzzy Kontrol
MRAK	Model Referans Adaptif Kontrol
μ	Üyelik ağırlığı
n	Motor hızı
N	Newton
Ω	Ohm
rad	Radyan
RAM	Random Access Memory (Rastgele erişimli bellek)
s	Saniye
V, v(t)	Volt
w	Motorun açısal hızı

ÖZET

Endüstriyel sistemlerin kontrolunda insan mantığını taklit edebilecek bir strateji geliştirmek ve bu stratejiye uygun algoritmalar çıkarmak fuzzy kontrolcunun temelidir. Fuzzy ile sistem kontrolunda sistemin belli durumlarda ne yapacağını bilmek ve bu durumları sözel ifadelerle dökmek yeterlidir.

Fuzzy kontrolcu'nun servomotor kontroluna uygulanmasında elde edeceğimiz sonuçlarla diğer kontrol sistemlerine göre karşılaştırılacaktır. Ayrıca fuzzy kontrolcu'yu servomotor'a uygularken PID ve Adaptif kontrol algoritmalarından da faydalanılacaktır.

Servo motorun MRAK (Model Referans Adaptif Kontrol) algoritmasıyla hız kontrolu incelendi. Referans model sabit tutularak Adaptasyon Algoritmasının çıkışına Fuzzy Kontrolcu yerleştirildi. Böylece MRAK dan daha etkili e daha iyi sonuç veren MRAFK (Madel Referans Adaptif Kontrol) algoritması geliştirildi.

Çalışmalar sonucunda MRAFK sonucunun referans modele bağlı olduğu görüldü. Bununla beraber servo motoru sadece Fuzzy kontrolcu ile kontrol ettiğimizde sonucun MRAFK ve MRAF' den daha iyi olduğu simülasyon sonucu gözlemlendi.

SUMMARY

To develop a strategy that can imitate human logic in industrial control system is the basic of fuzzy controller. In using Fuzzy Control, it is adequate to know what the system makes in certain cases, and to express the cases by means of linguistic expression.

The results obtained from applying fuzzy controller to servo motor control are compared with the order control systems. More over, while applying fuzzy control to servo motor control, the algorithms of PID and adaptive control are compared.

The cycle control of servo motor is investigated by using MRAC (Model Reference Adaptive Control) Algorithm. Fixing Reference Model, Fuzzy controller is connected to output of Adaptation Mechanism, being exchanged by conventional controller. Then, new control algorithm, MRAFC (Model Reference Adaptive Fuzzy Controller) which gives more reliable and effective results than MRAC is presented.

During studies, it is observed that the results obtained from the algorithm of MRAFC depend on choice of reference model. However, if servo motor is only controlled by the algorithm of Fuzzy Controller it gives more reliable and effective result than MRAFC as well as MRAC.

1. GİRİŞ:

Kontrol edilecek sistemlerin veya çevre şartlarının değişmesinde yada belirsiz durumların ortaya çıkmasında adaptif kontrol kullanılmaktadır. Adaptif kontrol 1951 yılında Draper ve Li tarafından ortaya atılmıştır. Bu terimini ilk olarak 1954 yılında Tsien kullandı. Daha sonra 1955' te Berner ve Drenick, 1958' de Whitaker, 1974' te Monopoli, Narendra, Morse, Goodwin 1980' de Sternby, Parks, 1983' te Astrom tarafından çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Birçok uygulama alanı olan adaptif kontrol, uçak kontrolu, uydu hız kontrolu, elektromekanik sistem kontrolu gibi konularda kullanılmaktadır.

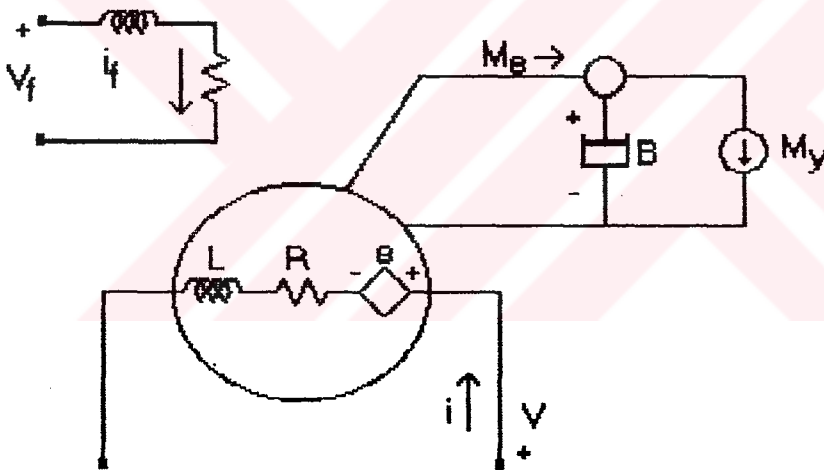
Endüstriyel süreç kontrolunda bazı zorluklar vardır. Bu zorluklar sürecin matematiksel modelinin bilinmemesi, kontrol edilecek sistemin lineer olmaması, ölçme zorlukları, model parametrelerinin zamanla büyük değişiklikler gösterebilmesidir. Ayrıca istenilen sistem davranışı ve bunun gerçekleştirilmesi için gerekli sınırlamalar nümerik değerlerle ifade edilemeyebilir. Böyle durumlarda bir uzman kişiden yararlanmak gerekebilir. Uzman kişi denetimde kesin matematik ilişkisi yerine "sıcak", "az sıcak", "ılık", "soğuk" gibi sözel ifadeler kullanılır. İşte Fuzzy kontrol bu tür bulanık mantık ilişkileri üzerine kuruludur.

Bu yeni sistemin temel düşünceleri Black tarafından ortaya atıldı. Daha sonra Lukasiewicz sonsuz değerli mantığı geliştirdi. 1974' te Sugeno bulanık ölçme kuramını oluşturdu. Fakat esas gelişme Azerbeycan'lı Lutfi A. ZADEH' in bulduğu fuzzy set kuramını 1965' te ortaya atılmasıyla gerçekleşmiştir. Birçok bilim adamının ilgisini çeken bu sistemle teorik çalışmalar yürütülmüştür. 1980'li yıllarda çeşitli uygulamalar yapılmıştır (asansör, metro, beyaz eşya ve elektronik araçlar). Birçok ülkede fuzzy kontrolcu kullanan çeşitli aletler günlük yaşamda kullanılmaktadır. ABD, Japonya, Çin ve bir çok Avrupa ülkesinde bu konuda çalışmalar yapılmaktadır.

2. DOĞRU AKIM SERVO MOTORU :

D. C. servo motor, kontrol parametreleri teke indirilmiş bir doğru akım motorudur. Bir doğru akım motoru uyarma akımı, yani alan uyarması ve giriş gerilimi ile kontrol edilir. Servo motorda ise sadece gerilim değiştirilerek , yani uyarma akımı sabit tutularak kontrol edilir.

Hesaplamalarda ve incelemelerde model olarak serbest uyarmalı doğru akım motoru uyarma akımı sabit olmak üzere seçilmiştir. Lineer bölgede çalışan serbest uyarmalı bir doğru akım (d. c.) motor eşdeğer devresi Şekil 2.1.' de gösterilmiştir.



Şekil 2.1.Doğru akım servo motor için alınan model.

Bu şekile göre aşağıdaki denklemler yazılabilir.

$$V_f = R_f \cdot i_f + L_f \cdot \frac{di_f}{dt} = R_f \cdot i_f \quad i_f = \text{Sabit} \quad (2.1)$$

$$V = R \cdot i(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt} + e(t) \quad (2.2)$$

$$M_e = j \cdot \frac{dw(t)}{dt} + B \cdot w(t) + M_y(t) \quad (2.3)$$

e : Motorda endüklenen gerilim,

$M_e(t)$: Motorda endüklenen moment,

$M_y(t)$: Yük momenti,

j : Atalet momenti,

B : Sürtünme katsayısı,

R : Rotor sargısı toplam direnci,

L : Rotor sargısı toplam selfi,

R_f : Uyarma sargısı toplam direnci,

L_f : Uyarma sargısı toplam selfi,

K hız gerilim katsayısı olmak üzere

$$\frac{di(t)}{dt} = -\frac{R}{L} \cdot i(t) - \frac{K}{L} \cdot w(t) + \frac{V(t)}{L} \quad (2.4)$$

$$\frac{dw(t)}{dt} = \frac{K}{j} \cdot i(t) - \frac{B}{j} \cdot w(t) + \frac{M_y(t)}{j} \quad (2.5)$$

yazılabilir. Matris şeklinde ise,

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i(t) \\ w(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & -\frac{K}{L} \\ \frac{K}{j} & -\frac{B}{j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i(t) \\ w(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v(t) \\ M_y(t) \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

$X_1(t)=i(t)$, $X_2(t)=w(t)$ dersek,

$$\dot{\bar{X}}(t)=A \cdot X(t)+B \cdot U(t) \quad (2.7)$$

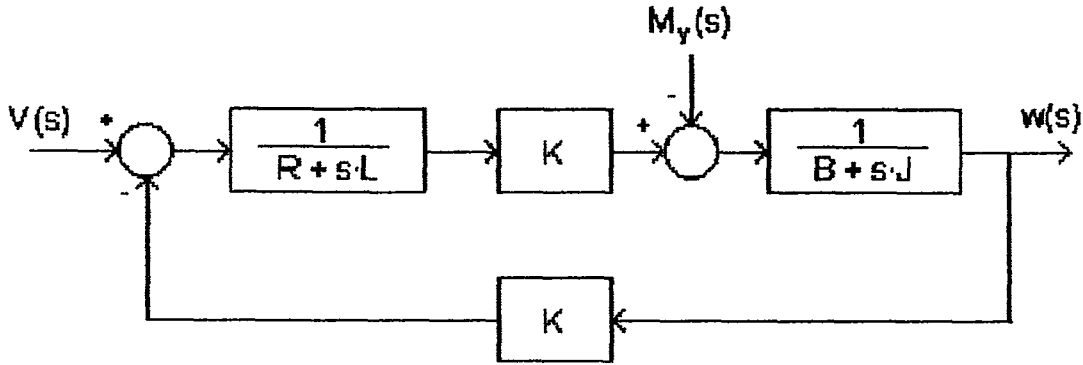
şeklinde durum denklemlerini elde ederiz.

(2.4) ve (2.5) eşitliklerinden sistemin blok diyagramını çıkarmak için başlangıç koşulları sıfır alınarak Laplace dönüşümleri yapılırsa,

$$i(s) = \frac{V(s) - K \cdot w(s)}{R + s \cdot L} \quad (2.8)$$

$$w(s) = \frac{K \cdot i(s) - M_y(s)}{B + s \cdot j} \quad (2.9)$$

elde edilir. $V(s)$ rotor gerilimi ve $M(s)$ yük momentı giriş büyüklükleri, $w(s)$ açısal hız da çıkış büyüklüğü olmak üzere sistemin transfer fonksiyonu,



Şekil 2.II. Servo motorun transfer fonksiyonu.

şeklinde blunur.Buradan açısal hız,

$$F_1(s) = \frac{K}{R+s \cdot L} \quad (2.10)$$

$$F_2(s) = \frac{1}{B+s \cdot j} \quad (2.11)$$

$$F_3(s) = K \quad (2.12)$$

$$F(s) = F_1(s) \cdot F_2(s) \quad (2.13)$$

$$w(s) = \frac{F(s)}{1+F(s) \cdot F_3(s)} \cdot V(s) - \frac{F_2(s)}{1+F(s) \cdot F_3(s)} \cdot M_y(s) \quad (2.14)$$

Yük momenti sıfırken sistemin transfer fonksiyonu,

$$T(s) = \frac{w(s)}{V(s)} = \frac{F(s)}{1 + F(s)F_3(s)} \quad (2.15)$$

Transfer fonksiyonu açık ifadesi ile aşağıdaki gibi elde edilir.

$$T(s) = \frac{\frac{K}{j \cdot L}}{s^2 + \frac{(BL + Rj)}{j \cdot L} \cdot s + \frac{BR + K}{j \cdot L}} \quad (2.16)$$

Ek'te verilen değerleri (7.6) matris takımında yerine yazarsak,

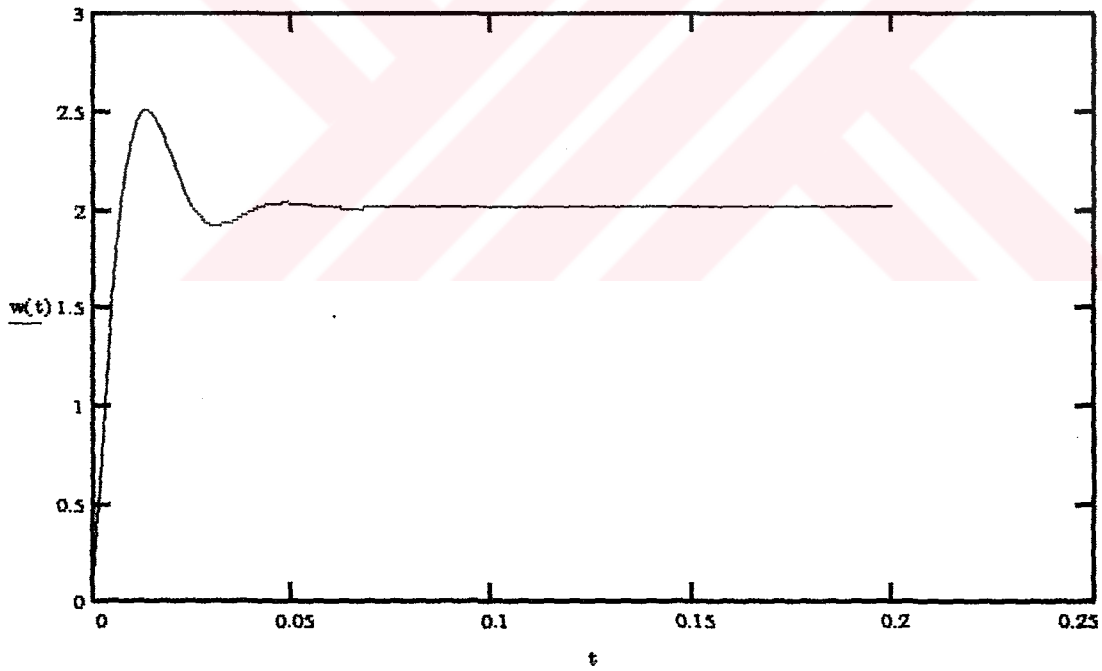
$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i(t) \\ w(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -188.889 & -183.6547 \\ 236.1275 & -0.23281 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i(t) \\ w(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 370.37 & 0 \\ 0 & -476.19 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V(t) \\ M_y(t) \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

açık ifadesi ise,

$$\frac{di(t)}{dt} = -188.889 \cdot i(t) - 183.6547 \cdot w(t) + 370.37 \cdot V(t) \quad (2.18)$$

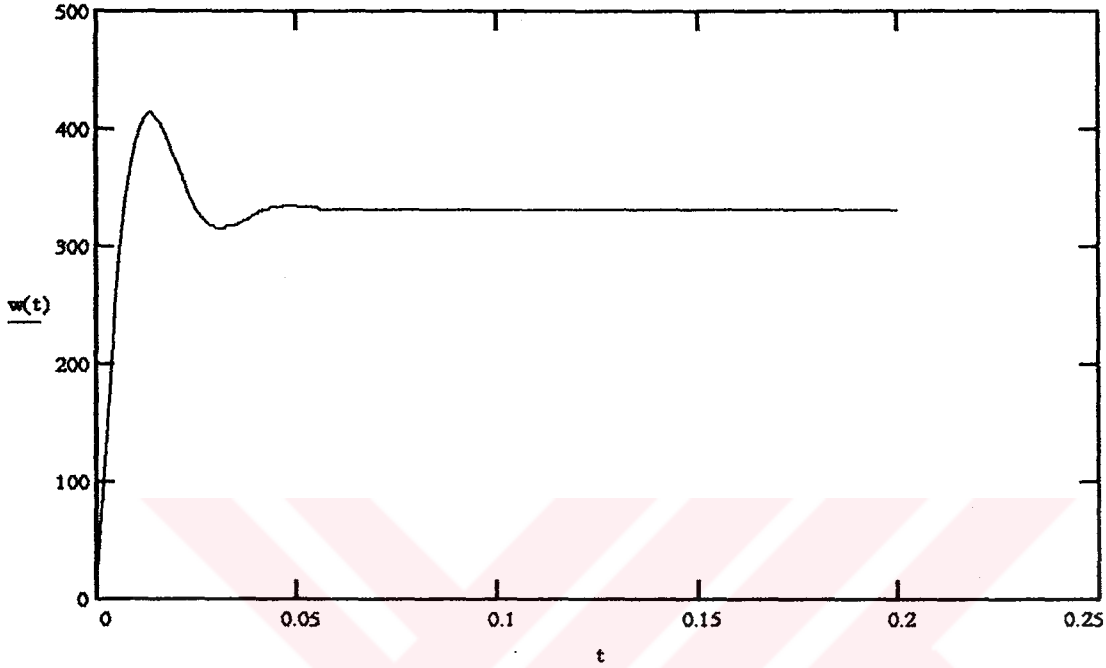
$$\frac{dw(t)}{dt} = 236.1275 \cdot i(t) - 0.2381 \cdot w(t) - 476.190 \cdot M_y(t) \quad (2.19)$$

(2.18) ve (2.19) denklemlerinden yararlanarak, yüksüz ve girişe birim basamak fonksiyonu uygulandığında açısal hız $w(t)$ 'nin zamana göre değişimi Şekil 2.III.'te verilmiştir. Bu eğriler, ilk koşullar sıfır alındıktan sonra t domenindeki formüller Laplace dönüşümüyle " s " domenine çevrilip çözülerek daha sonra t domenine çevrilmiş ve Mathcad 4.0 for Windows paket programı yardımıyla çizdirilmiştir.



Şekil 2.III. Servo motorun yüksüz ve birim basamak girişe cevabı.

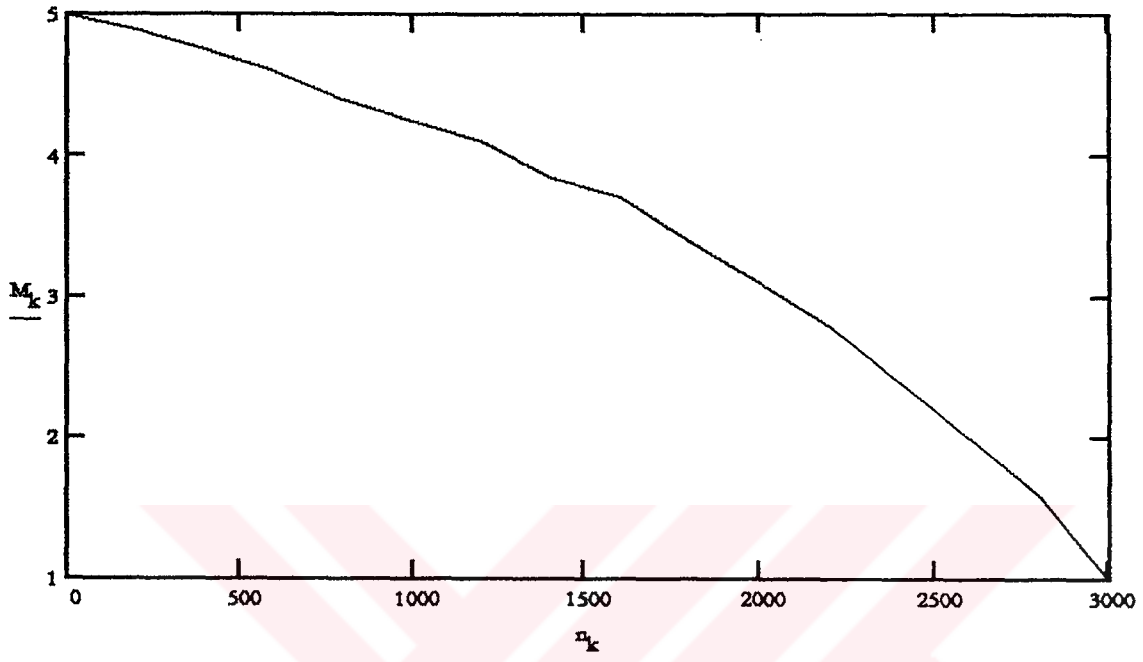
Yükte ve girişe 165 V uygulandığında açısal hız $w(t)$ 'nin zamana göre değişimi Şekil 2.IV.'te verilmiştir.



Şekil 2.IV. Servo motorun yükte ve 165 V girişte hız-zaman eğrisi.

Bu eğriler incelendiğinde, servo motorun 0.2 saniye sonunda $w(t)$ açısal hızının kararlı hale geldiği görülüyor. Fakat 0.2 saniyeye kadar geçen sürede $w(t)$ açısal hızının salınım yaptığı ve nominal değerinin üzerine çıkıp sonra tekrar altına düştüğü daha sonra tekrar sabit değere ulaştığı görülüyor. Burada bizim amacımız $w(t)$ açısal hızının en kısa sürede kararlı hale gelmesi, kararlı hale gelirken de nominal değerinin üzerine çıkıp salınım yapmasının önlenmesi olacaktır.

Şekil 2.V.' te ise servo motorun hız-moment eğrisi verilmiştir. Yatay ekseninde motor hızı devir/dakika olarak, dikey ekseninde ise motorun momenti Nm (Newton metre) olarak verilmiştir. Burada kullanılan veriler incelemesini yaptığımız servo motorun katalogunda verilmiştir.



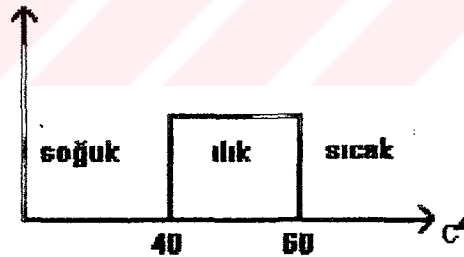
Şekil 2. V. Servo motorun hız-moment eğrisi.

3. FUZZY SET (BULANIK KÜME):

3.1. FUZZY SET (BULANIK KÜME) TEORİSİ:

Fuzzy kelimesinin, anlamı bulanık, hayal meyaldir. Bulanık mantık (fuzzy lojik) Prof. ZADEH tarafından, çok değerli mantık, olasılık, yapay zeka ve nöron ağlar konuları üzerine oturtulmuştur. Bir sayısal denetim yöntemi olmakla beraber insan mantığını taklide çalışır.

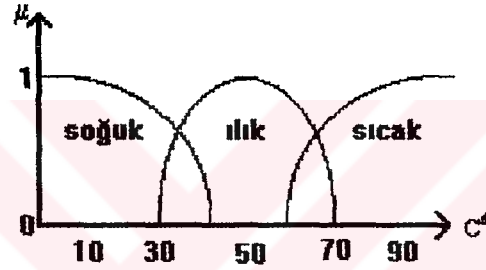
Şimdiye kadar bilinen mantıkta kümeleri oluşturan elamanlar keskin bir biçimde ayrılmışlardır. Yani bir elaman, ya bir kümenin elamanıdır yada değildir. Başka bir ifadeyle bir eleman birden fazla kümenin elamanı olamaz (1-0, var-yok, açık -kapalı). Bu tür kümelere keskin küme denir (Crisp set). Örneğin sıcaklık kavramını ele alalım. $50C^{\circ}$ 'yi orta derecede sıcaklık olarak alırsak, $40C^{\circ}$ 'nin altındaki bir ortam sıcaklığı "soğuk", $40C^{\circ}$ - $60C^{\circ}$ arası "ılık (orta sıcak)", $60C^{\circ}$ 'nin üstünde de "sıcak" kümelere girer. (Şekil 3.1.I.)



Şekil .3.1.I. Keskin kümeler (crisp sets).

Böyle olunca $39C^{\circ}$ 'deki bir ortam soğuk iken $41C^{\circ}$ 'deki bir ortam ılık olarak alınacaktır. Bu şekilde bir endüstriyel kontrolde fiziksel büyüklüklerin dahil olduğu kümeler keskin bir biçimde ayrılmışlar. Dolayısıyla denetleyicinin çıkışında ani değişiklikler olur. Örneğin nem oranı 25 birim olan açık-kapalı denetleyicide 24,5 birim nemsiz, 25,5 birim nemli olarak alınacak ve çıkış ani olarak değiştirilecektir. (Kaynak, 1992)

Bu kesin kümelerle karşın bulanık mantık, kümeleri yumuşatarak biraz, az, çok gibi terimler kullanılır (biraz yaşlı, biraz sıcak, fazla soğuk, az açık, az kapalı,... gibi). Bunu yine sıcaklık konusuna uygularsak, 35°C 'ye pek sıcak denemeyeceği gibi pek te soğuk değildir. Hatta hem sıcak hem de soğuk diye düşünebiliriz. Bulanık kümeler buna imkan verir. Kümeler birbirinden net çizgilerle ayrılmış değildirler. 35°C olan bir ortamın hem ılık hem soğuk olarak düşünülmesini olanak sağlar. (Şekil 3.1.II.)



Şekil 3.1.II. Bulanık kümeler (fuzzy set).

Sıcaklık kavramını tanımlamak için kullanılan Şekil 3.1.II' deki eğriler üyelik fonksiyonu olarak bilinir. Sıcaklık kavramını tanımlamak için içiçe geçmiş kümeler kullanılır. Bu kümelerin herbirine (membership function) üyelik fonksiyonu denir.

Soğuk ifadesini gösteren eğri kümesi soğukluk derecesini gösteren üyelik fonksiyonu ile, yine aynı şekilde sıcaklık ifadesini gösteren eğri kümesi sıcaklık derecesini gösteren üyelik fonksiyonu ile tanımlanır. Üyelik fonksiyonu 0 ile 1 arası değerler alabilirler. Üyelik fonksiyonunun merkez noktası üyelik ağırlığı 1 olan değerdir.

Bir bulanık X alt kümesi, y 'lerden oluşmuş Z uzayının her elemanı ile üyelik seviyesini gösteren ve 0 ile 1 aralığında $[0,1]$ değerler alabilen bir

$\mu_x(y)$ fonksiyonuyla gösterilir. Bu bulanık X kümesi onu meydana getiren tek değerlerin birleşimi olarak dikkate alınır.

Örneğin:

Z uzayı 2, 4, 6, 7, 10, 12 sayılarından oluşuyorsa ve

$$Z = 2 + 4 + 6 + 7 + 10 + 12 \quad (3.1)$$

biçiminde gösterilirse, "4' ten büyük sayılar " önermesinin ifadesi aşağıdaki gibi gösterilir.

$$y_x: y \rightarrow [0,1] \quad (3.2)$$

$$X = \frac{0}{2} + \frac{0}{4} + \frac{0.2}{6} + \frac{0.75}{7} + \frac{0.8}{10} + \frac{1.0}{12} \quad (3.3)$$

eğer bulanık X altkütmesi tek bir noktadan oluşuyorsa, bu X bulanık altkütmesi;

$$X = \frac{\mu}{y} \quad (3.4)$$

gibi gösterilir. Buna göre X bulanık altkütmesi tek noktaların birleşimi olarak şu şekilde yazılabilir.

$$X = \int_Z \frac{\mu_x(y)}{y} \quad (3.5)$$

veya Z uzayının her elemanı ayrık ise

$$X = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_i}{y_i} \quad Z = y_1 + y_2 + \dots + y_n \quad (3.6)$$

yazılabilir.

3.2. ÜYELİK FONKSİYONU (MEMBERSHIP FUNCTION) :

3.2.1. ÜYELİK AĞIRLIĞI :

Bilinen klasik lojikte bir elemanın bir kümenin elemanı olması 1, olmaması 0 ile ifade edilir. Yani bir eleman bir kümeye ait ise 1, ait değilse 0 ile gösterilir. İşte bu 1 veya 0'a üyelik ağırlığı denir. Fuzzy Lojik'te de üyelik ağırlığının alacağı en büyük değer 1, en küçük değer 0'dır. Fakat üyelik ağırlığı Fuzzy Lojik'te 0 ile 1 arasında çeşitli değerler alabilir. Örneğin, 0.1, 0.25, 0.9 gibi. (OMRON, 1991,1992, Ruspini, 1992)

3.2.2. ÜYELİK FONKSİYONLARININ ŞEKİL VE TABLOLARI :

Üyelik fonksiyonunun tepe noktasının üyelik ağırlığı 1 olarak seçilir. Üçgen, yamuk, çan, s, z, i biçiminde olabilirler. Çeşitli üyelik fonksiyonları aşağıda gösterilmiştir. (Şekil 3.2.2.)



Şekil 3.2.2. Çeşitli üyelik fonksiyonları.

Farklı uygulamalarda çeşitli sayıda ve isimde etiket kullanılmaktadır. Fakat genelde 7 ayrı etiket kullanılır. Bunlar,

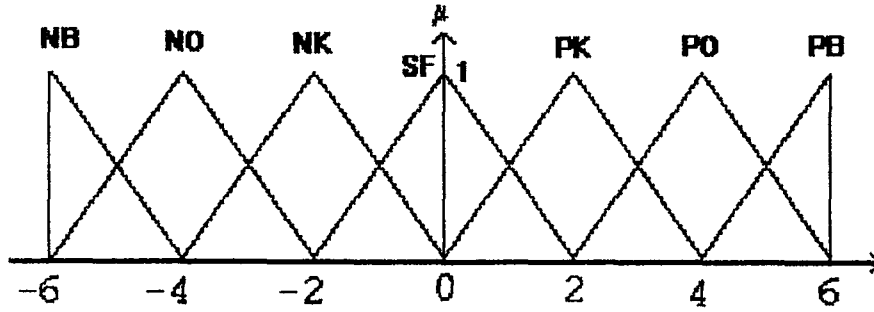
NB	: Negatif Büyük	(NB : Negative Big)
NO	: Negatif Orta	(NM : Negative Medium)
NK	: Negatif Küçük	(NS : Negative Small)
SF	: Sıfır	(ZR : Zero)
PK	: Pozitif Küçük	(PS : Positive Small)
PO	: Pozitif Orta	(PM : Positive Medium)
PB	: Pozitif Büyük	(PB : Positive Big)

Etiketlerin maximum ve minimum değerleri -6 ile +6 arasında derecelendirilir. Bu değerler giriş ve çıkış büyüklüğünün sınır değerlerine göre belli bir katsayı ile çarpılır.

Üyelik fonksiyonları değişken parametreleri olan bir fonksiyon veya bir tablo olarak ifade edilebilir. Aşağıda çeşitli üyelik fonksiyonları ve üyelik değerlerini gösteren şekiller ve tablolar verilmiştir. (Li et.al.,1988)

3.2.2.1. ÜÇGEN ÜYELİK FONKSİYONU :

Sistem kontrolunda üçgen şeklindeki üyelik fonksiyonu hem giriş hem de çıkış büyüklüğünü tanımlamak için kullanılır. Şekilde görüldüğü gibi NB (Negatif Büyük) etiketini taşıyan üyelik fonksiyonu -6 ile -4 aralığında tanımlanmıştır. NO (Negatif Orta) etiketini taşıyan üyelik fonksiyonu ise -6 ile -2 aralığında tanımlanmıştır. Dolayısıyla -5 değeri hem NB hem de NO üyelik fonksiyonlarına karşılık gelir. Çıkış kural tablosunda kullanılacak giriş kuralları NB ve NO için hesaplanacaktır. (Şekil 3.2.2.1)



Şekil 3.2.2.1. Üçgen üyelik fonksiyonu.

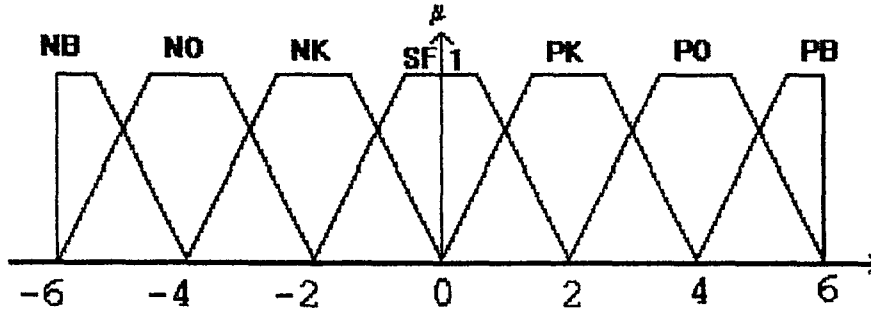
Tablo şeklinde verilecek olursak,

	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1
PO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0
PK	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0
SF	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0
NK	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0
NO	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NB	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 3.2.2.1. Üçgen şeklinde seçilmiş üyelik fonksiyonu tablosu.

3.2.2. YAMUK ÜYELİK FONKSİYONU :

Yamuk şeklindeki üyelik fonksiyonu da yine üçgen üyelik fonksiyonu gibi giriş ve çıkış büyüklüğünü tanımlamak için kullanılır. (Şekil 3.2.2.2.)



Şekil 3.2.2.2 Yamuk şeklindeki üyelik fonksiyonu.

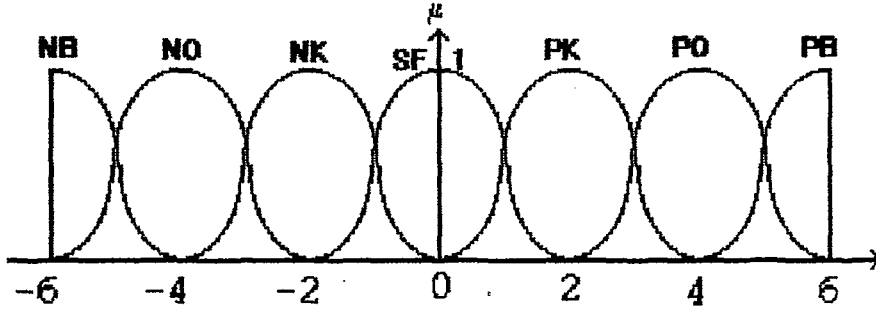
Tablo halinde verecek olursak,

	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.66	1
PO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.66	1	0.66	0
PK	0	0	0	0	0	0	0	0.66	1	0.66	0	0	0
SF	0	0	0	0	0	0.66	1	0.66	0	0	0	0	0
NK	0	0	0	0.66	1	0.66	0	0	0	0	0	0	0
NO	0	0.66	1	0.66	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NB	1	0.66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 3.2.2.2. Yamuk şeklindeki üyelik fonksiyonu tablosu.

3.2.2.3. ÇAN ÜYELİK FONKSİYONU :

Çan şeklindeki üyelik fonksiyonu giriş-çıkış büyüklüklerini tanımlamada kullanılan en iyi üyelik fonksiyonudur. Bu birçok makale ve çalışmalarda ifade edilmektedir. (Şekil 3.2.2.3)



Şekil 3.2.2.3. Çan şeklinde seçilmiş üyelik fonksiyonu.

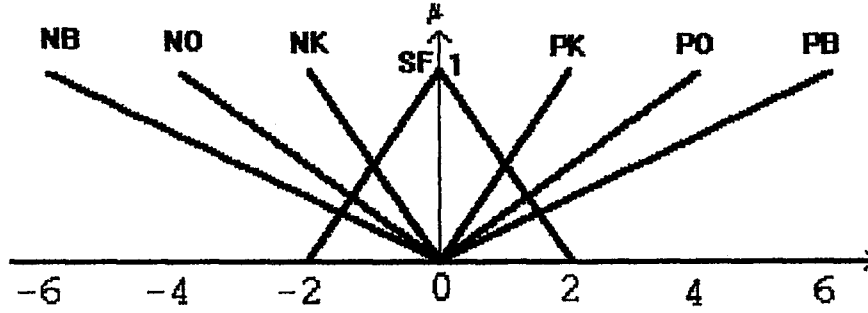
Tablo şeklinde verecek olursak,

	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.66	1
PO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.66	1	0.66	0
PK	0	0	0	0	0	0	0	0.66	1	0.66	0	0	0
SF	0	0	0	0	0	0.66	1	0.66	0	0	0	0	0
NK	0	0	0	0.66	1	0.66	0	0	0	0	0	0	0
NO	0	0.66	1	0.66	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NB	1	0.66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 3.2.2.3. Çan şeklinde seçilmiş üyelik fonksiyonu tablosu.

3.2.2.4. MONOLİTİK ÜYELİK FONKSİYONU:

Monolitik üyelik fonksiyonu giriş ve çıkış değişkenlerini tanımlamada kullanılır. Her üyelik fonksiyonu doğru parçaları şeklinde tanımlanmıştır. Yalnızca SF (Sıfır) üyelik fonksiyonu üçgen şekline benzer. Fakat iki doğru parçasının birleşimi olarak düşünülür.(Şekil 3.2.2.4.)



Şekil 3.2.2.4. Monolitik üyelik fonksiyonu.

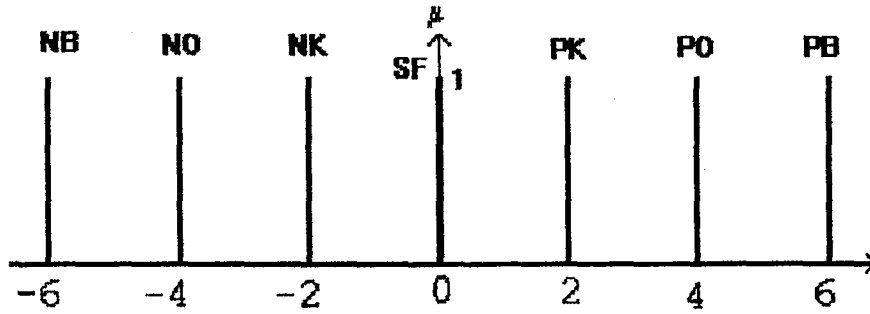
Tablo şeklinde verecek olursak,

	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
PB	0	0	0	0	0	0	0	0.16	0.33	0.5	0.66	0.83	1
PO	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0.5	0.75	1	0	0
PK	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0	0	0	0
SF	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0
NK	0	0	0	0	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0
NO	0	0	1	0.75	0.5	0.25	0	0	0	0	0	0	0
NB	1	0.83	0.66	0.5	0.33	0.16	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 3.2.2.4. Monolitik üyelik fonksiyonu tablosu.

5.2.5. MONOTONİK ÜYELİK FONKSİYONU :

Monotonik üyelik fonksiyonu yalnızca çıkış değişkenlerini tanımlamada kullanılır. Her üyelik fonksiyonu doğru parçaları şeklinde tanımlanmıştır. Üyelik fonksiyonları birbirini örtmezler . Yani üyelik fonksiyonlarının merkez noktaları haricindeki değişkenin üyelik ağırlığı 0' dır. Bu yüzden çıkış değişkenlerinin tanımlanmasında kullanılır. (Şekil 3.2.2.5.)



Şekil 3.2.2.5. Monotonik şekilde seçilmiş üyelik fonksiyonu.

Tablo şeklinde verecek olursak,

	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
PO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
PK	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
SF	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
NK	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NB	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 3.2.2.5. Monotonik üyelik fonksiyonu tablosu.

3.3. FUZZY MATEMATİĞİ:

3.3.1. EŞİTLİK:

X ve T bulanık kümeleri, Z uzayının her y elemanına ait μ üyelik değerleri birbirine eşit olduğu zaman eşit bulanık altkümeleridir. X ve T bulanık kümelerinin üyelik fonksiyonları eşitse, Z uzayının her değeri için aynı ağırlık değerini alıyordur. Z' deki her y değeri için,

$$\mu_x(y) = \mu_t(y) \quad (3.7)$$

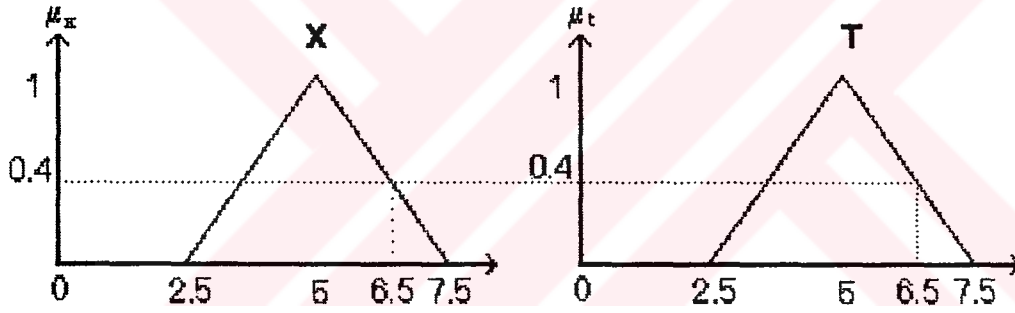
ise X ve T kümeleri eşittir.

Örneğin:

X ve T bulanık kümelerinin üyelik fonksiyonları eşitse, Z uzayının $y = 6.5$ değeri için,

$$\mu_x(6.5)=0.4 \text{ ve } \mu_t(6.5)=0.4$$

ve y' nin diğer değerleri için de geçerlidir. (Şekil 3.3.1.)



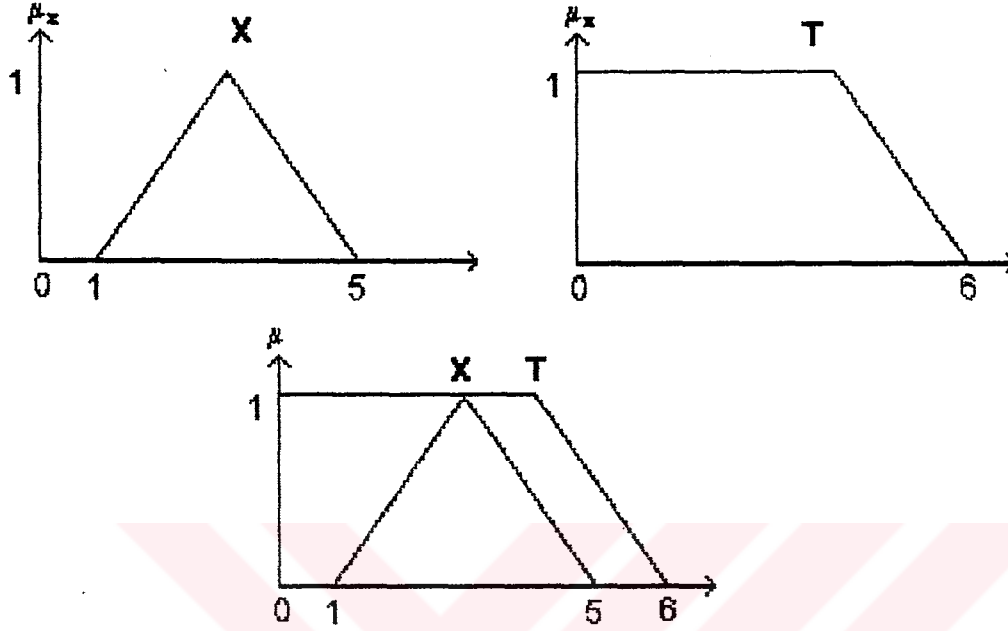
Şekil 3.3.1. Eşit iki fonksiyon.

Şekil 3.3.1' de gördüğümüz X ve T eşit iki üyelik fonksiyonudur.

3.3.2. KAPSAMA :

T ve X iki bulanık küme ise, T X kümesinin elemanlarını içeriyorsa X T 'nin altkümesidir.

$$X \subset T \quad \mu_x \leq \mu_t \quad (3.8)$$



Şekil 3.3.2. Kapsama

Şekil 3.3.2.' te gösterildiği gibi T bulanık kümesi X bulanık kümesini kapsar.

3.3.3. DEĞİL İŞLEMİ:

Bulanık X alt kümesinin değili, $\bar{X}$ ile gösterilir. Aşağıdaki gibi tanımlanır.

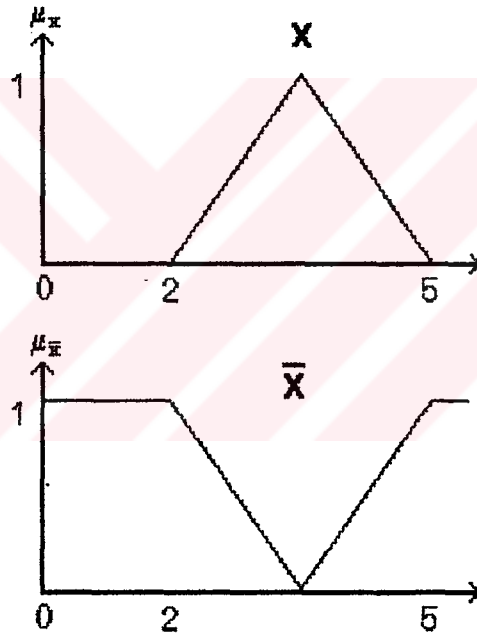
$$\bar{X} = \int_a^b (1 - \mu_X(y)) / y \quad (3.9)$$

ve diğer noktalarda da

$$\mu_x(y) + \mu_{\bar{x}}(y) = 1 \quad (3.10)$$

şartını gerçekleştiriyorsa $\bar{X}$ bulanık altkümesi X bulanık altkümesinin değildir.

Uzayının $Y : 6$ noktasında $\mu_x(3) = 0.66$ için
 Uzayının $Y : 6$ noktasında $\mu_{\bar{x}}(3) = 1 - 0.66 = 0.33$ ise



Şekil 3.3.3. Değil işlemi.

Şekil 3.3.3.' de X üyelik fonksiyonu ve değili görülmektedir.

3.3.4. BİRLEŞİM:

X ve T bulanık alt kümelerinin birleşimi max işlemi ile tanımlanır. Matematiksel ifadesi,

$$X \cup T = V \quad \text{ise} \quad (3.11)$$

$$\mu_V = \max(\mu_X, \mu_T) \quad (3.12)$$

Örneğin:

$$X = \frac{0.2}{2} + \frac{0.3}{3} + \frac{0.8}{4}$$

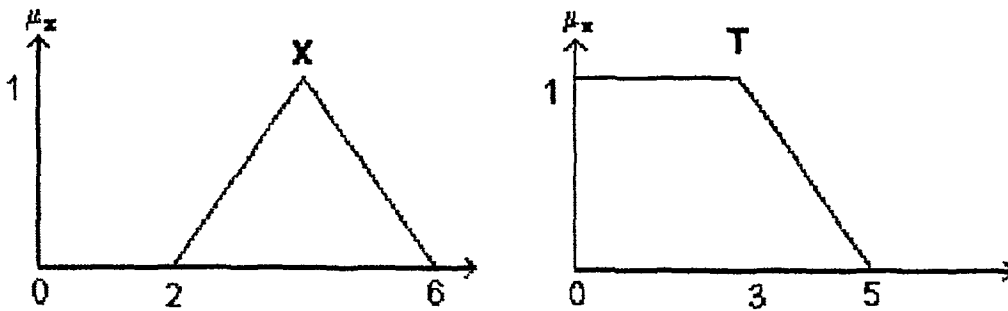
$$T = \frac{0.5}{2} + \frac{0.7}{3} + \frac{0.2}{4} + \frac{0.1}{5}$$

ise

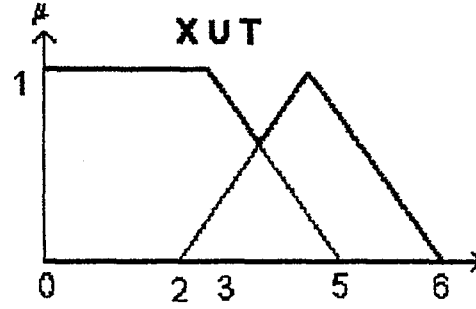
$$X \cup T = \frac{0.5}{2} + \frac{0.7}{3} + \frac{0.8}{4} + \frac{0.1}{5}$$

olur.

Şekil üzerinde örnek verecek olursak, (Şekil 3.3.4.I ve Şekil 3.3.4.II.)



Şekil 3.3.4.I. Birleşim yapılacak X ve T fonksiyonları.



Şekil 3.3.4.II. X ve T kümelerinin birleşim sonucu.

3.3.5. KESİŞİM:

X ve T bulanık alt kümelerinin kesişimi min işlemi ile ifade edilir.

$$X \cap T = V \quad (3.13)$$

$$\mu_v = \min(\mu_x, \mu_y) \quad (3.14)$$

Örneğin,

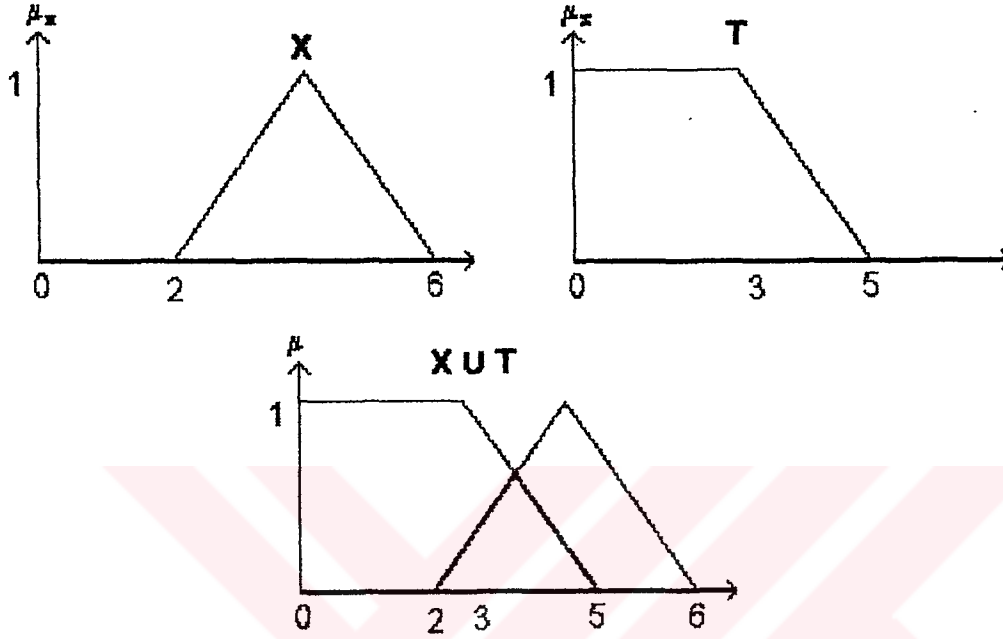
$$X = \frac{0.2}{2} + \frac{0.3}{3} + \frac{0.8}{4}$$

$$T = \frac{0.5}{2} + \frac{0.7}{3} + \frac{0.2}{4} + \frac{0.1}{5}$$

ise, X ve T kümelerinin kesişimi sonunda

$$X \cap T = \frac{0.2}{2} + \frac{0.3}{3} + \frac{0.2}{4}$$

Bir başka örnek Şekil 3.3.5' te verilmiştir.



Şekil 3.3.5. X ve T kümelerinin kesişimi.

3.3.6. ÇARPIM :

X ve T çarpımı $V = X \cdot T$ şeklinde gösterilir. Sonuç $[0,1]$ aralığındadır. yine yukarıdaki örnekte olduğu gibi.

$$X = \frac{0.2}{2} + \frac{0.3}{3} + \frac{0.8}{4}$$

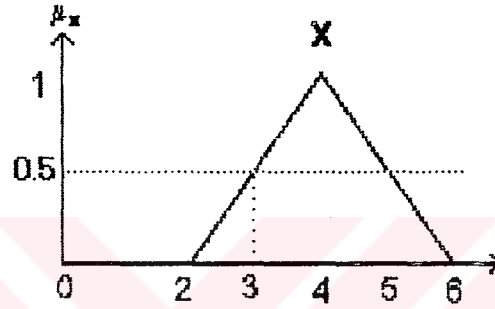
$$T = \frac{0.5}{2} + \frac{0.7}{3} + \frac{0.2}{4} + \frac{0.1}{5}$$

ise,

$$V = X \cdot T = \frac{0.1}{2} + \frac{0.21}{3} + \frac{0.16}{4}$$

3.3.7. GEÇİŞ NOKTASI :

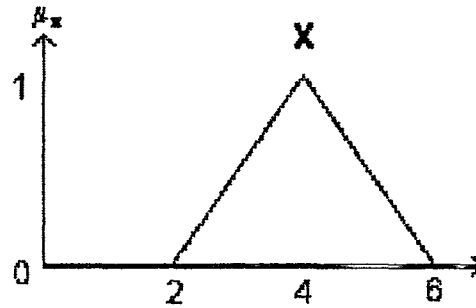
X' in geçiş noktası üyelik ağırlığı 0.5 olan Z uzayındaki değeridir. Şekil 3.3.7' de görüldüğü gibi X bulanık kümesinin geçiş noktası üyelik ağırlığının 0.5 olduğu 3 ve 5 noktalarıdır. (Şekil 3.3.7.)



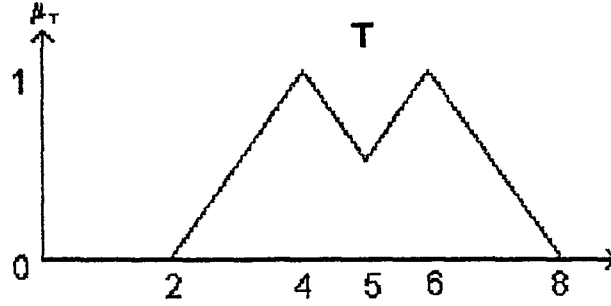
Şekil 3.3.7. Geçiş noktası.

3.3.8. NORMAL ve ALTNORMAL :

Bir bulanık X kümesinin yüksekliği tek ise normal denir. Yüksekliği tek değilse altnormaldir. Şekil 3.3.8.I ' de görülen X bulanık kümesi tek bir yüksekliği olduğundan bu X kümesine normal küme denir. Şekil 3.3.8.II.' deki T bulanık kümesinin iki yüksekliği olduğundan T bulanık kümesine altnormal küme denir.



Şekil 3.3.8.I. Normal X kümesi.



Şekil 3.3.8.II. Altnormal T kümesi.

3.4. BULANIK İLİŞKİLER :

X kümesinden Y kümesine R bulanık ilişkisi X Y şeklinde tanımlanır. İki değişkenli üyelik matrisi ile gösterilir.

$$R = \int_{X \times Y} \frac{\mu_R(x,y)}{(x,y)} \quad (3.15)$$

3.4.1. KOŞULLU ÖNERMELER :

Normal lojik önermeler için, Tablo 2.4.1.' deki gibi bir tablo kullanılır.

X	T	V
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	0

Tablo 3.4.1. Normal mantık önermesi.

"Eğer hava çok sıcaksa, vantilatör hızlı çalışsın " veya " Hız çok fazla ise frene daha çok bas" gibi önermeler normal mantıkla açıklanamaz. Bu ifadeleri fuzzy lojikte kullanabiliriz.

"Eğer hava çok sıcaksa, vantilatör hızlı çalışsın" ifadesindeki çok ve hızlı gibi sözcükler bulanık değişkenlerdir ve üyelik fonksiyonlarına sahiptirler. Bu iki üyelik fonksiyonun kartezyen çarpımı önermenin sonuç matrisini verir.

Kartezyen çarpımı genel olarak eğer "X öyleyse T "cümlesini karşılar.

Örneğin,

$$X = \frac{0.8}{1} + \frac{0.6}{2} + \frac{0.4}{3}$$

$$T = \frac{0.1}{1} + \frac{0.5}{2}$$

ise,

$$X \times T = 0.8/(1,1) + 0.5/(1,2) + 0.6/(2,1) + 0.5/(2,2) + 0.4/(3,1) + 0.4/(3,2)$$

olur. Ya da,

$$X \times T = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.5 \\ 0.8 & 0.5 \\ 0.4 & 0.4 \end{bmatrix}$$

"Eğer X öyleyse T, değilse V" cümlesi için bulanık karşılığı

$$X \times T + (\bar{X} \times V) \quad (3.16)$$

3.4.2.KOMPOZİSYON :

" Eğer hava sıcaksa,vantilatör hızlı çalışsın" önermesine göre, hava sıcaklığı az ise vantilatör hızı ne olmalıdır? Elimizde birtek önerme olduğuna göre bu sorunun cevabı için kompozisyon kuralı uygulanır. R U 'dan V 'ye bir ilişki, x U 'nun, y V 'nin altkümesi, y x ve R 'nin bir kompozisyonudur.

$$U \xrightarrow{R} V \quad (3.17)$$

$$y = x \circ R \quad (3.18)$$

$$x \circ R = \int \max(\min(\mu(x), \mu(x,y)) / y \quad (3.19)$$

Örneğin:

$$x: [0.4 \ 0.3 \ 0.2]$$

$$R = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.2 & 0.3 \\ 0.5 & 0.8 & 0.6 \\ 0.4 & 0.1 & 0.9 \end{bmatrix}$$

$$y = x \circ R$$

$$[0.4 \ 0.3 \ 0.2] \begin{bmatrix} 0.2 & 0.2 & 0.3 \\ 0.5 & 0.8 & 0.6 \\ 0.4 & 0.1 & 0.9 \end{bmatrix} = [0.3 \ 0.3 \ 0.3]$$

$$0.4 \cdot 0.2 + 0.3 \cdot 0.5 + 0.2 \cdot 0.4 = 0.3$$

$$0.4 \cdot 0.2 + 0.3 \cdot 0.8 + 0.2 \cdot 0.1 = 0.3$$

$$0.4 \cdot 0.3 + 0.3 \cdot 0.6 + 0.2 \cdot 0.9 = 0.3$$

$$y = [0.3 \ 0.3 \ 0.3]$$

3.5. FUZZY KONTROL SİSTEMLERİ :

Endüstride kullanılan pek çok işlem lineer olmamaları, ölçme zorlukları vb. sebeplerden kompleks işlemlerdir. Bunların otomatik kontrolü da zor ve yüksek maliyetlidir. Bu tür sistemlerde kontrol bir operatörün (uzman insan kontrolör) elindedir. Bu operatör yerine yeni bir kontrol sistemi getirmek için bu operatörün bilgi ve tecrübelerini inceleyerek aynı işlemleri yapabilecek kontrol stratejileri geliştirmek gerekir. Uzmanın yaptığı işlemler belli cümlelerle ifade edilebilir. Bulanık küme algoritmaları ve işlemleri kullanılarak sözcük grupları işlenebilir ve bu yeni sistem uzman kontrolörün yerini alabilir. Sözü edilen sözcük grupları üçe ayrılır.

*** Atamalar**

x' in değeri 7'dir.

x çok küçüktür.

x çok küçüktür.

*** Koşullu önermeler:**

Eğer x büyükse y az artsın

Eğer x küçükse y çokaz artsın

Eğer x çok büyükse y artmasın

*** Koşulsuz önermeler**

Dur

Başla

Geri dön

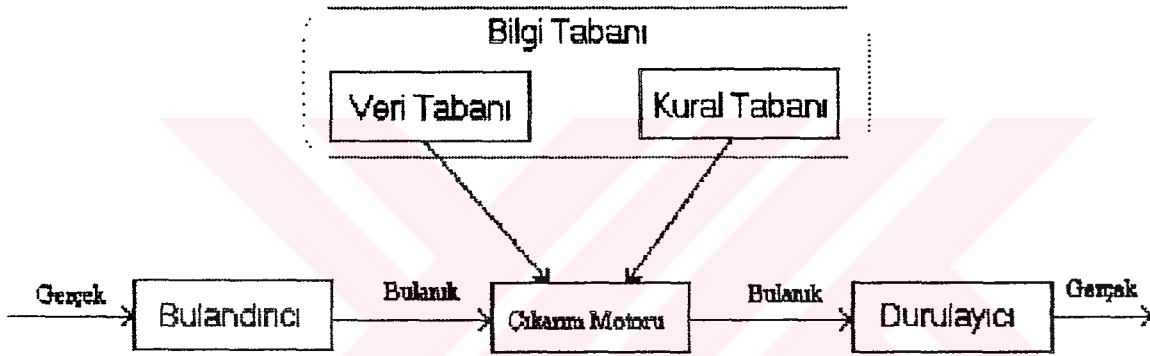
Hesapla

3.5.1. FUZZY KONTROLÇU :

Klasik Matematik birçok probleme uygulandığında yetersiz kalır. Birçok kalınır. Karmaşık işlemlerin kontrolunda operatörler devreye girmiştir. Bu

kalınır. Karmaşık işlemlerin kontrolunda operatörler devreye girmiştir. Bu operatörlerin karşılaştığı durumları ve ve bu durumlarda nasıl hareket ettiğini dilsel kurallarla açıklayabiliriz. Bu dilsel kuralları bir makinaya yaptırmak bilinen sistemler içinde oldukça güçtür. Böyle bir otomatik kontrol işlemi, sözel tarif sistemini kullanan bulanık küme teorisini kullanmayı gerektirir.

Fuzzy kontrolcu yapısı aşağıda verilmiştir. (Şekil 3.5.1.I.) (Kaynak, 1992)



Şekil 3.5.1.I. Fuzzy kontrolcu yapısı.

1. Bulandırıcı: Burada giriş değişkenleri ölçülür. Giriş değerlerine Birer etiket verilir.

2. Çıkarım Motoru: Burada kural tabanı ve veri tabanına bakılarak bulanık mantıklar yürütülür.

3. Veri Tabanı (data base): Kural tabanında kullanılan membership fonksiyonları burada bulunur.

4. Kural Tabanı (rule base): Dilsel kurallar burada bulunur.

5. Durulandırıcı (defuzzification) : Bulanık çıkışlar üzerinde ölçek değişikliği yapılarak gerçek değerler elde edilir.

Fuzzy kontrolcuda sistemin matematik modeli yerine sistemi çalıştıran operatörün sistem hakkındaki bilgilerinden yararlanılır. Operatörün bilgisi, ne zaman neyi yaptığı dilsel kurallar şeklinde yazılır. Dilsel kuralların çıkarılmasında çeşitli yaklaşımlar vardır.

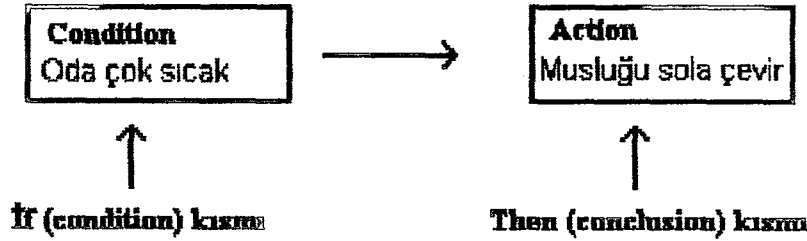
- * Bir uzmanın bilgi ve deneyimlerine dayanır.
- * Sürecin bulanık modelinin kullanılmasına dayanır.
- * Operatörün süreç içerisinde yaptığı işlemlere dayanır.
- * Öğrenen algoritmalar kullanılır.

Fuzzy control sistemlerinin oluşturulmasındaki ilk adım control işlemindeki if - then kurallarının oluşturulmasıdır. Bu kurallar oluşturulurken genellikle kontrol işleminde uzman sistemin -uzman kişi veya kontrol ekipmanının- hangi durumda hangi müdahaleyi yaptığı sözel ifadelerle anlatılır.

- Eğer oda çok soğuksa , ohalde kalorifer musluğunu sola çevir.
- Eğer oda soğuksa , ohalde kalorifer musluğunu az sola çevir.
- Eğer oda ılıksa , ohalde kalorifer musluğu orta konumda kalsın.
- Eğer oda sıcaksa , ohalde kalorifer musluğunu az sağa çevir.
- Eğer oda çok sıcaksa , ohalde kalorifer musluğunu sağa çevir.

Yukarıdaki örnekte de görüldüğü gibi if - then kuralları oluşturulurken odanın sıcaklığı için kesin değerler yerine ılık, sıcak, çok sıcak, soğuk, çok soğuk gibi ifadeler kullanılır. Kalorifer musluğunun konumu için de az sola, çok sola, sağa, çok sağa gibi keskin olmayan, insanın anlama sistemine hitab eden bulanık kavramlar kullanılmıştır.

If ile anlatılan giriş değişkenlerine **condition**, then ile anlatılan çıkış ifadelerine **conclusion** denir. (OMRON, 1992)



Şekil. 3.5.1.II. If-Then ilişkisi.

Fuzzy kontrolcüyle kontrol edilecek sistemde hangi girişlere hangi çıkış değerinin karşı geleceği bilinmektedir. Girişler normalize edilerek üyelik fonksiyonları ve etiket değerleri verilir, yani bulanıklaştırılır. Daha sonra giriş ve çıkış arasındaki kurallar bulanık kural tablosu halinde verilir. Bulanık girişler ve bulanık kural tablosu işlenerek bulanık çıkışlar elde edilir. Çıkışın gerçek değeri ise netleştirme sonunda bulunabilir.

3.6. DEFUZZIFICATION (NETLEŞTİRME) :

Çıkışta üçgen yamuk veya çan gibi alan oluşturabilecek üyelik fonksiyonları seçildiğinde netleştirme şu şekilde yapılır : Girişlerin minimum ağırlık değerine karşılık gelen çıkış üyelik fonksiyonlarının minimum değeri göz önüne alınır. Her çıkış üyelik fonksiyonu şeklinin tabandan o minimum değere kadar alanı hesaplanır. Sonuçta oluşan alanın ağırlık merkezi çıkışın gerçek değerini verir.

Çıkışta doğru parçalarından oluşan bir üyelik fonksiyonu seçildiğinde netleştirme şu şekilde yapılır : Girişlerin aldığı minimum değere karşılık gelen çıkış üyelik fonksiyonlarının minimum değeri bulunur. Sıfırla bu minimum noktalar arasında kalan doğru parçalarının ağırlıklı ortalaması sistemin gerçek çıkışını verir. (Başbuğ, 1994)

4. ADAPTİF KONTROL :

Kontrolörler çalışma koşullarını takip edecek ve en uygun kontrolü gerçekleştirecek şekilde tasarlanır. Klasik kontrolörlerde kazanç ve diğer parametreler belirlenir. Sistemin parametre giriş işaretlerinde belirsiz veya beklenmedik büyük değişiklikler olması halinde, istenen durumdan farklı çıkışlar olabilir, sistem kararlılığı etkilenir. Böyle durumlarda klasik bir kontrolör, sistem performansını istenen seviyede tutamaz. Performansta bir azalma olur. Kararlılığı arttırmak için kontrol parametreleri çalışma koşullarına ayarlanabilir. Bu ayarlama işini adaptif kontrol gibi bir kontrol sistemi ile gerçekleştirmek mümkündür.

Parametrelerdeki ve girişlerdeki oluşan düzensiz değişimler çoğunlukla ölçülemez. Bu gibi durumlarda bu değişiklikleri otomatik olarak sezip, kendisini düzenleyen adaptif kontrol sistemleri uygulanır.

Adaptif kontrol sistemleri, sistem parametrelerinin değişmesinin ve çevre şartlarının değişmesinin sistem üzerine etkilerini azaltmaya yöneliktir. Adaptif kontrol, bir sistemin çalışma koşullarındaki değişimler üzerine kurulmuştur. Kontrol parametrelerinin ayarlanması olarak bilinir. Bir adaptif kontrolör, sistemin çalışma noktasındaki değişimleri sezer ve kontrol parametrelerini belirleyerek sistemin ne yapması gerektiğini bulur.

(Bogosyan ve diğerleri, 1988, Chalam, 1987, Landau, 1979)

Adaptif kontrolde bulunması gereken temel fonksiyonlar

1. Bilinmeyen parametrelerin tanımı,
2. Kontrol sisteminin belirlenmesi,
3. Kontrol parametrelerinin tayini,

Model referans adaptif kontrol parametreleri sistem çıkışı ile referans model çıkışı arasındaki hataya bağlı olarak ayarlanabilir.

Kontrolün yapılması için gerekli algoritma şu şekilde sıralanabilir.

1. Uygun bir model seçmek.
2. Model ve sistem durumları arasındaki hatayı hesaplamak.
3. Hata ile sistem durumları arasındaki bağlantıyı kurmak ve sistemi geri besleme kazancını hesaplamak.

Sistem davranışı

$$\bar{X}_p = A_p \cdot X_p(t) + B_p(t) \cdot u(t) \quad (4.1)$$

Model davranışı

$$\bar{X}_m = A_m \cdot X_m(t) + B_m(t) \cdot u(t) \quad (4.2)$$

Aradaki hata

$$e(t) = X_m(t) - X_p(t) \quad (4.3)$$

şeklinde tanımlanır.

Amaç bu hata fonksiyonunu sıfır yapmaktır. Aradaki fark hatası, kontrol parametreleri ayarlanarak yani, plant referans model gibi davranmaya zorlanarak sıfır yapılacaktır. Böylece sistem istenen model gibi davranacaktır.

4.1. ADAPTİF KONTROL SİSTEM TASARIM YÖNTEMLERİ :

Adaptif kontrol sistem tasarımıındaki esas problem uyarılama düzeninin tasarımıdır. Literatürde iki tasarım yöntem grubu vardır. Birincisi duyarlılık yöntemlerine dayanan ve bütünsel kararlılıktan ziyade lokal parametre optimizasyon teorisi ile ilgili tasarım yöntemidir. İkincisi kararlılık teorisine dayanan tasarım yöntemidir. (Gürleyen, 1986)

4.1.1. LOKAL PARAMETRE OPTİMİZASYON TEORİSİNE DAYANAN YÖNTEM :

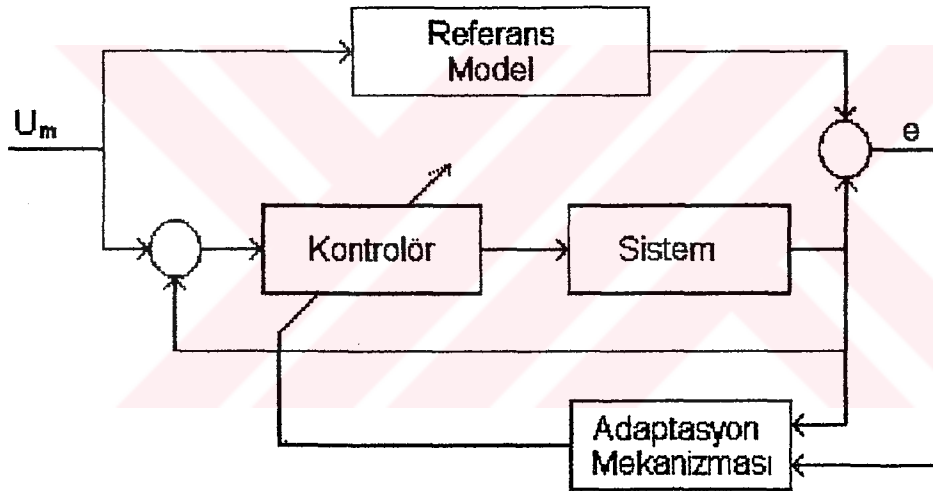
Bu yöntemde seçilen modele sistem parametrelerine ve durum farklarına bağlı bir amaç ölçütü tanımlanır. Bu amaç ölçütü sıfıra denk olduğu takdirde sistem parametreleri ile model parametreleri birbirinin aynısı olacaktır. Referans model, sistem parametrelerinin değişmesi halinde, çıkışta oluşacak hatayı minimize etmek için katsayıları değiştirerek sistem çıkışını istenen noktaya getirecektir.

4.1.2. KARARLILIK TEORİSİNE DAYANAN YÖNTEM :

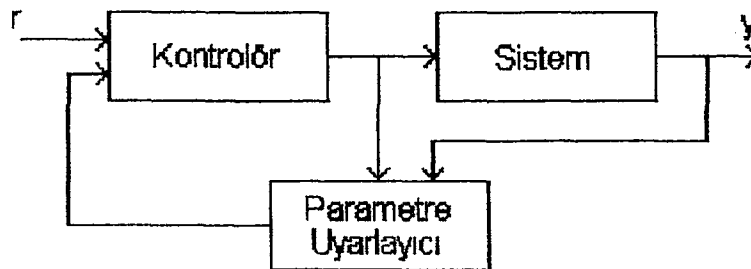
Tasarım problemini kontrol açısından çözmek için iki yaklaşım göz önüne alınır. Birincisinde uygun bir Liyapunov fonksiyonu tanımlanır. Bu fonksiyon bütün sistemin Liyapunov fonksiyonu olacak şekilde türetilir. İkinci yaklaşımda adaptif sistemlerin genelleştirilmiş hatası ile ilgili denklemlerin sistemin transfer fonksiyonu, ileri ve geri besleme bloğu şeklinde eşdeğer bir geri besleme düzenine dönüştürülmesine dayanır. Bu sistemlerin kararlılığı hiperstabilite teorisi kullanılarak incelenir. Liyapunov fonksiyonları düzgün biçimde yazılırsa Liyapunov ve Hiperstabilite teorisi yaklaşımları ile elde edilen matematik modellerin benzer olduğu görülür.

4.2. ADAPTİF KONTROL SİSTEMİNİN TÜRLERİ:

Paralel referans modeli Şekil 4.2.I' de gösterilmiştir. Referans model olarak sistemin transfer fonksiyonuna eşdeğer bir transfer fonksiyonu seçilir. Bu tür kontrol sistemleri kontrol edilen sistemin seçilen model gibi davranmasını sağlayan kontrol sistemidir. Sistem çıkışı istenen referans model gibi sonuç vermezse bir hata işareti oluşacaktır. Bu tür kontrolün çalışma prensibi oluşan hatayı en aza indirmektir.



Şekil 4.2.I. Model Referans Adaptif Kontrol Sistemi



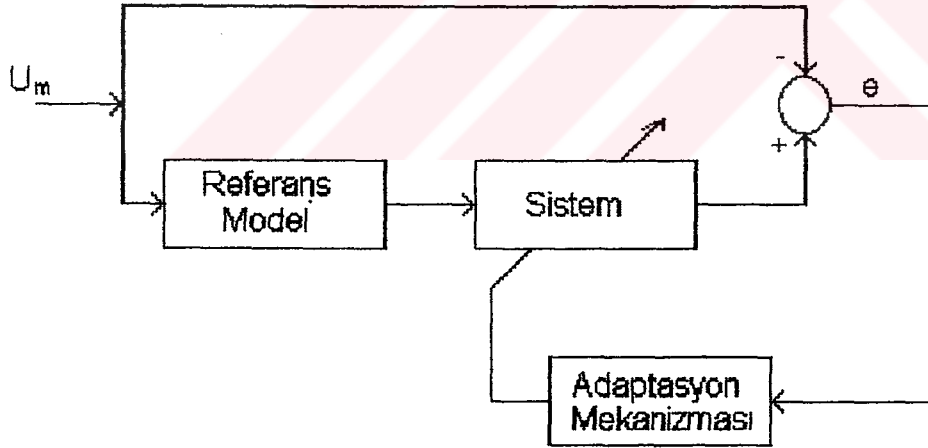
Şekil .4.2.II. Kendi kendini düzenleyen regülatör.

Kendi kendini düzenleyen regülatör (Self Tuning Regülatör. STR) Şekil 4.2.II'de verilmiştir. Bu sistemde kontrol edilen sistemin o anki parametrelerini ortaya çıkaran parametre tahmin edici ve bundan aldığı işaretlerle sistemi kontrol eden bir kontrolör vardır. Burada amaç sistem çıkışında sapmalar olduğunda çıkışı istenen duruma getirmektir.

4.3. MODEL REFERANS ADAPTİF SİSTEM YAPILARI :

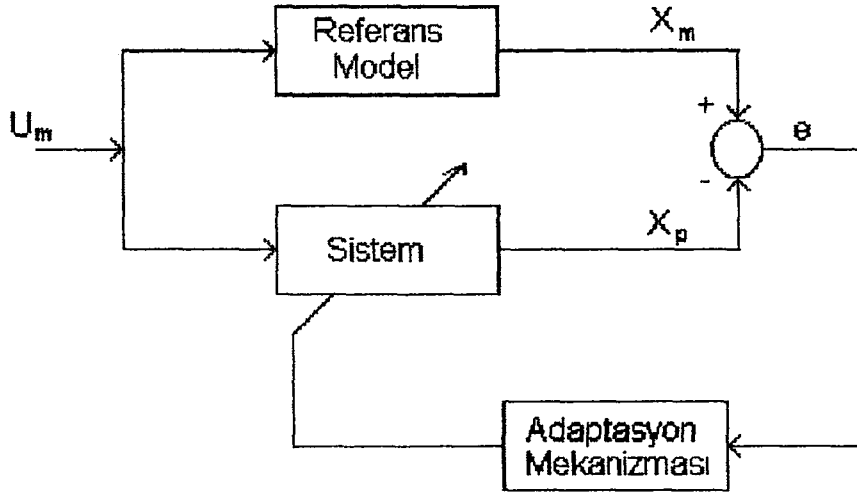
Model referans adaptif sistemleri yapılarına göre üç gruba ayrılır.

4.3.1. Seri M. R. A. S. : Sistem yapısı aşağıdaki şekilde gibidir. Referans model sisteme seri bağlanmıştır. (Şekil 4.3.1.)



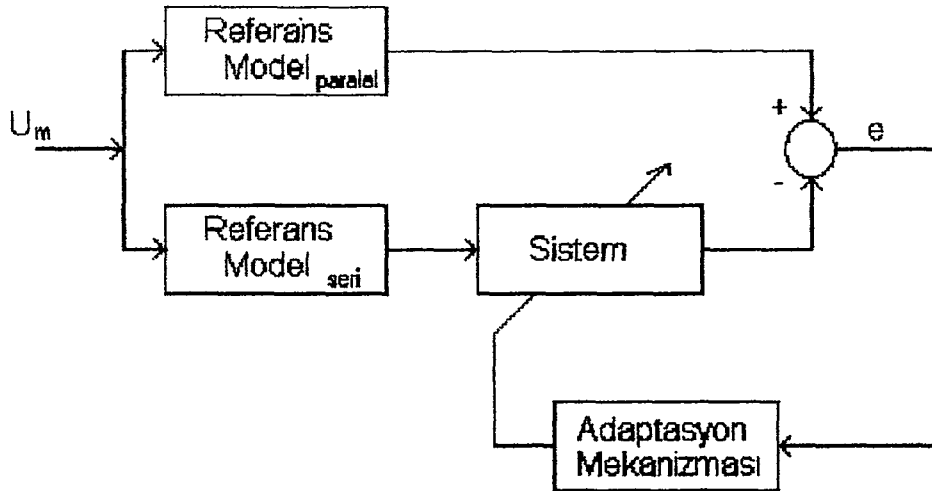
Şekil 4.3.1. Seri MRAS. Referans model sisteme seri bağlanmıştır.

4.3.2. Paralel M. R. A. S : Sistem yapısı aşağıdaki gibidir. En çok kullanılan modeldir. Referans model sisteme paralel olarak bağlanmıştır. Sistem çıkışı ile Referans model arasındaki hata işareti adaptasyon mekanizması ile işlenerek sistem çıkışının referans model gibi davranması sağlanması istenir.

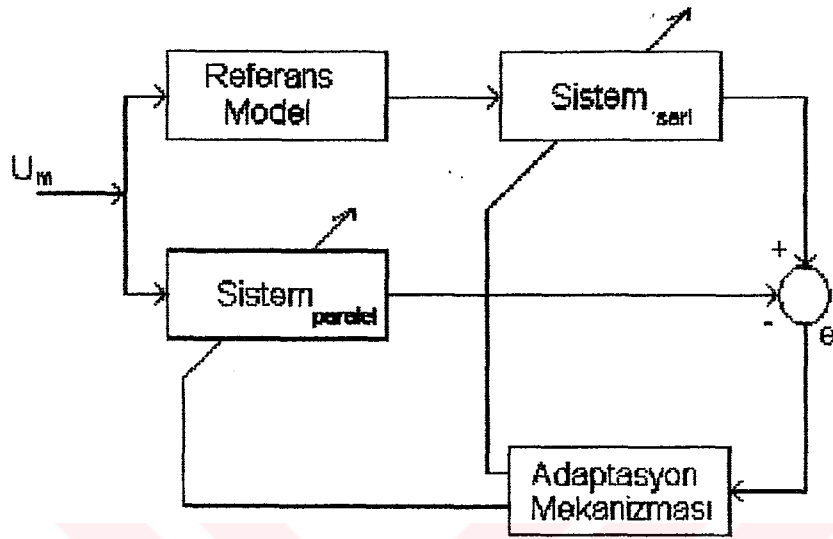


Şekil 4.3.2. Paralel MRAS. Referans model sisteme paralel bağlanmıştır.

4.3.3. Seri - Paralel M. R. A. S : Burada referans model veya sistem iki gruba ayrılarak hem seri, hem de paralel olarak modele eklenir. Kendi aralarında iki gruba ayrılır.



Şekil 4.3.3.I. Seri - Paralel MRAS. Referans model paralel ve seri olarak sisteme bağlanmıştır.



Şekil 4.3.3.II. Seri Paralel MRAS. Plant seri ve paralel olarak sisteme bağlanmıştır.

5. SERVO MOTOR HIZININ MODEL REFERANS ADAPTİF KONTROLU :

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ w(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & -\frac{K}{L} \\ \frac{k}{j} & -\frac{B}{j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ w(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V(t) \\ M_y(t) \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

(5.1) matris takımında $M = M_y = \text{sabit}$ ve $V(t) = u(t)$ alınarak

$$\bar{X}(t) = A \cdot X(t) + B \cdot U(t) \quad (5.2)$$

ifadesi şu şekilde yazılabilir.

$$\bar{X}(t) = A \cdot X(t) + b \cdot u(t) + m \quad (5.3)$$

$$b = \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} \quad m = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{M_y}{j} \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

Amaç ilk koşullar ve son koşullar belirli olduğundan $X(t)$ durum vektörü için model olabilecek bir $X^*(t)$ durum vektörü referansı seçmektir.

$$A = \begin{bmatrix} -188.889 & -183.6547 \\ 236.1275 & -0.2381 \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} 370.37 \\ 0 \end{bmatrix} \quad m = \begin{bmatrix} 0 \\ -476.19 \cdot M_y \end{bmatrix} \quad M_y = 6 \quad (5.5)$$

olarak bellidir. $u(t)$ için bir referans giriş $(r(t))$ seçersek $u(t)$ ' den bağımsız durum denklemleri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\dot{X}^*(t) = (A - b \cdot R^{-1} b^T \cdot K(t)) \cdot X^*(t) + b \cdot r(t) - b \cdot R^{-1} \cdot b^T \cdot z(t) + m \quad (5.6)$$

$X(t)$ durum denklemlerinde servo motorun çıkışı $w(t)$ açısal hızının en kısa sürede kararlı hale salınım yapmadan ulaşması için model olarak alacağımız referans $X^*(t)$ durum denklemleri belirlenirken yine servo motorun parametreleri ile bu parametrelere bağlı olarak değişen $K(t)$ ve $Z(t)$ katsayılarından yararlanılır.

$X^*(t)$ durum denklemlerindeki $K(t)$ ve $Z(t)$ katsayıları şu şekilde hesaplanır.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} b_1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad m = \begin{bmatrix} 0 \\ m_2 \end{bmatrix} \quad Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad R = 1 \quad (5.7)$$

olmak üzere ve

$$K = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \quad K(t) = \begin{bmatrix} K_{11}(t) & K_{12}(t) \\ K_{21}(t) & K_{22}(t) \end{bmatrix} \quad \bar{K}(t) = \begin{bmatrix} \bar{K}_{11}(t) & \bar{K}_{12}(t) \\ \bar{K}_{21}(t) & \bar{K}_{22}(t) \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

$$Z = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \end{bmatrix} \quad Z(t) = \begin{bmatrix} Z_1(t) \\ Z_2(t) \end{bmatrix} \quad \bar{Z}(t) = \begin{bmatrix} \bar{Z}_1(t) \\ \bar{Z}_2(t) \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

şeklinde gösterilirse,

$$\bar{K}_{11}(t) = -2 \cdot [K_{11}(t) \cdot a_{11} + K_{12}(t) \cdot a_{21}] - 1 + [b_1^2 \cdot K_{11}(t)] \quad (5.10)$$

$$\bar{K}_{12}(t) = -[K_{11}(t) \cdot a_{12} + K_{12}(t) \cdot a_{22}] - [K_{12}(t) \cdot a_{11} + K_{22}(t) \cdot a_{21}] + [b_1^2 \cdot K_{11}(t) \cdot K_{12}(t)] \quad (5.11)$$

$$\bar{K}_{22}(t) = -2 \cdot [K_{21}(t) \cdot a_{12} + K_{22}(t) \cdot a_{22}] - 1 + [b_1^2 \cdot K_{12}(t)] \quad (5.12)$$

$$Z_1(t) = [-a_{11} + b_1^2 K_{11}(t)] \cdot Z_1(t) - a_{21} \cdot Z_2(t) - K_{12}(t) \quad (5.13)$$

$$Z_2(t) = [-a_{12} + b_1^2 K_{21}(t)] \cdot Z_1(t) - a_{22} \cdot Z_2(t) - K_{22}(t) \cdot m \quad (5.14)$$

$$K_{21} = K_{12} \quad K_{21}(t) = K_{12}(t) \quad \bar{K}_{21}(t) = \bar{K}_{12}(t) \quad \text{çıkar.} \quad (5.15)$$

Sayısal değerler yerine konursa,

$$\bar{K}_{11}(t) = 377.778 \cdot K_{11}(t) - 472.255 \cdot K_{12}(t) + 127173.94 \cdot K_{11}^2(t) - 1 \quad (5.16)$$

$$\bar{K}_{12}(t) = 183.654 \cdot K_{11}(t) + 188.889 \cdot K_{12}(t) - 236.1275 \cdot K_{22}(t) - 127173.94 \cdot K_{11}(t) \cdot K_{12}(t) \quad (5.17)$$

$$\bar{K}_{22}(t) = 367.308 \cdot K_{21}(t) + 0.4762 \cdot K_{22}(t) + 127173.94 \cdot K_{12}^2(t) - 1 \quad (5.18)$$

$$Z_1(t) = 127173.94 \cdot K_{11}(t) \cdot Z_1(t) + 188.889 \cdot Z_1(t) - 236.1275 \cdot Z_2(t) + 2857.14 \cdot K_{11}(t) \quad (5.19)$$

$$Z_2(t) = 127173.94 \cdot K_{21}(t) \cdot Z_1(t) + 183.654 \cdot Z_1(t) + 0.238095 \cdot Z_2(t) + 2857.14 \cdot K_{22}(t) \quad (5.20)$$

Kalman' ın sonsuz zaman şartları gerçekleşirse, (yani hedef süre olan $t = 0.3$ sn sonunda $K^*(t) = 0$ ve $Z^*(t) = 0$ olacağından) $K(t) = K$ ve $Z(t) = Z$ sabit matrislerine dönüşecektir.

$$-K \cdot A - A^T K - Q + K \cdot b \cdot R^{-1} \cdot b^T \cdot K = 0 \quad (5.21)$$

$$(-A^T + K \cdot b \cdot R^{-1} \cdot b^T) \cdot Z - K \cdot m = 0 \quad (5.22)$$

denklemleri elde edilir. Buradaki K ve Z katsayıları Mathcad 4.0 for Windows paket programı yardımıyla çözüldüğünde,

$$K_{11}=0.00249128481$$

$$K_{12}=0.0016781667$$

$$K_{22}=0.000571050966$$

$$Z_1=-0.039384561904$$

$$Z_2=-0.068199627744$$

5.1. BOŞTA ÇALIŞMA :

Yüksüz durumda $m=0$ ve dolayısıyla $Z=0$ olacağından $K(t)=0$

$$K_{11}=0.00249128481$$

$$K_{12}=0.0016781667$$

$$K_{22}=0.000571050966$$

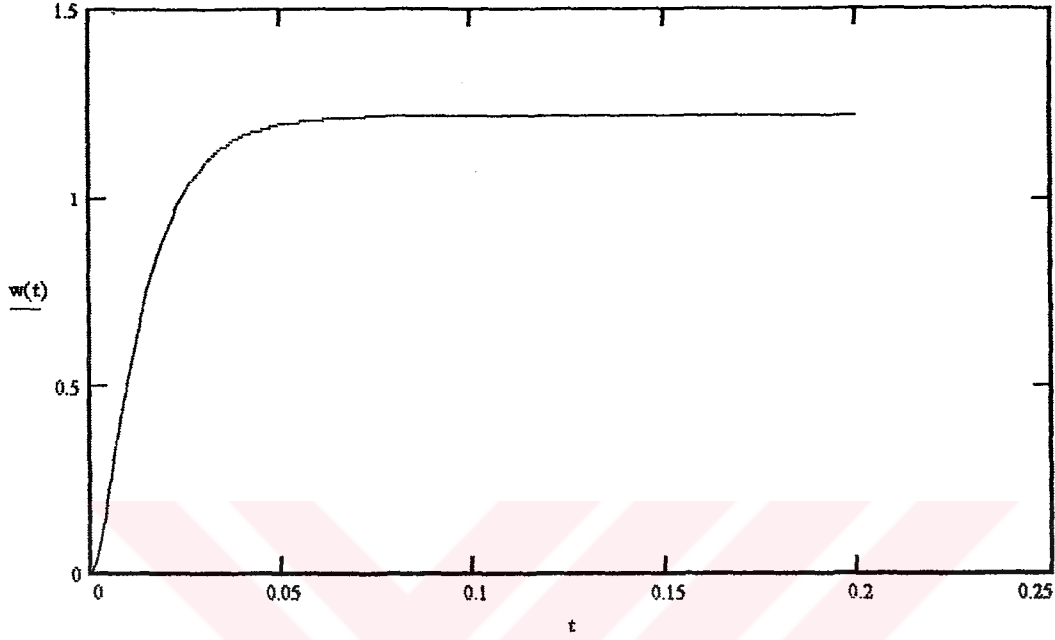
$$Z_1=0$$

$$Z_2=0$$

bulunur.

$$\overline{X}^*(t) = (A - b \cdot R^{-1} \cdot b^T \cdot K) \cdot X^*(t) + b \cdot r(t) \quad (5.23)$$

ifadesinden girişe ($r(t)$) birim basamak fonksiyonu uygulandığında açısal hız $w(t)$ ' nin zamana göre değişimi Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Servo motorun boşa adaptasyondan sonraki açısal hızı.

5.2. YÜKTE ÇALIŞMA :

Yük momentini $M_y=6$ durumunda,

$$K_{11}=0.00249128481$$

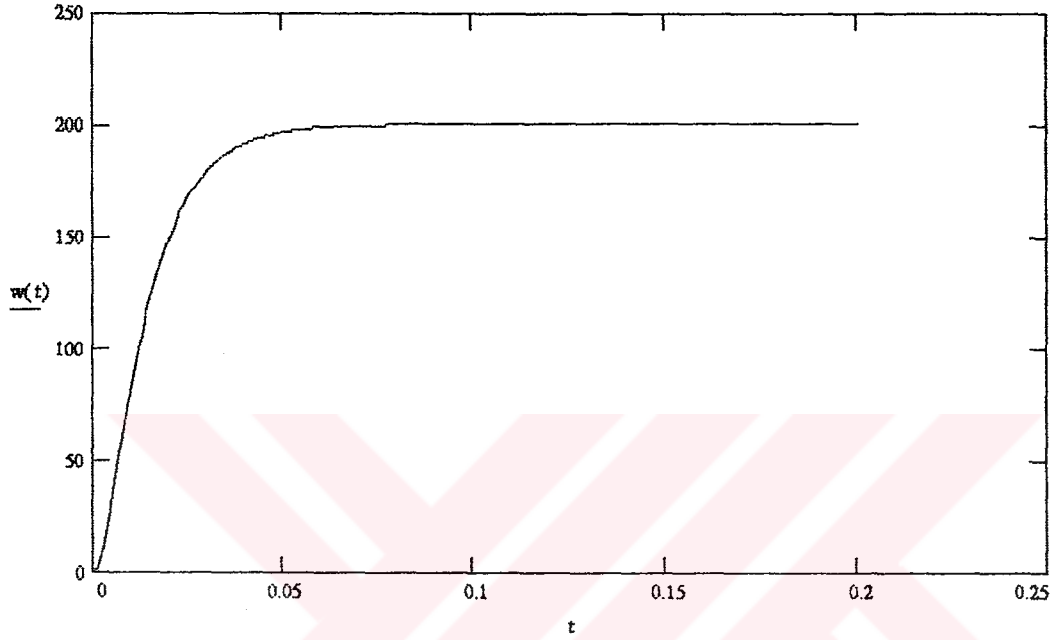
$$K_{12}=0.0016781667$$

$$K_{22}=0.000571050966$$

$$Z_1=-0.039384561904$$

$$Z_2=-0.068199627744$$

ve girişe ($r(t)$) 165 V uygulandığında açısal hızın zamana göre değişimi Şekil 5.2.' dedir.



Şekil 5.2. Servo motorun yükte adaptasyondan sonraki açısal hızı.

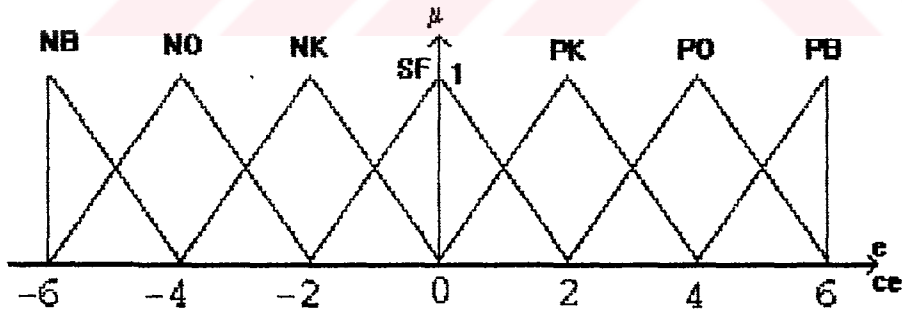
Yatay ekseninde zaman saniye olarak, düşey ekseninde motor hızı radyan/saniye olarak verilmiştir. Denklemler Mathcad 4.0 for Windows paket programı yardımıyla çözülüp çizdirilmiştir.

Bu eğriler incelendiğinde servo motor hızını Model Referans Adaptif Kontrol algoritmasıyla kontrol ettiğimizde, hızın 0.09 saniye sonunda kararlı hale geldiğini görürüz.

6. FUZZY KONTROLÜ İLE SERVO MOTOR HIZ KONTROLÜ:

Servo motorun hızı "w" çıkış olmak üzere hata "e", hatanın değişimi "ce" giriş değerleri olarak alınmıştır. Hata ve hatanın değişimi için üçgen, hız için monolitik üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Üyelik fonksiyonlarında giriş ve çıkış maximum değerleri -6, 6 arasında seçilmiştir. Bulanık çıkarım kartı 12 bit işlem yapma kabiliyetine sahiptir. Giriş ve çıkış değerleri -6 ile 6 'ya ve 0 ile 4095 'e dönüştürülerek programa yerleştirilmiştir. Servo motorun hızı dakikada 3000 devirdir. Giriş set değerimiz 3000 olmak üzere sabittir. Hata 3000 ile çıkışın o anki durumu arasındaki fark olacaktır. Hatanın değişimi ise bir an önceki hata ile o anki hata arasındaki fark olacaktır. Dolayısıyla hata ve hatanın değişiminin alacağı en büyük değer 0 ile 3000 arasındadır. Kullanılan kural tablosu servo kural tabanıdır.

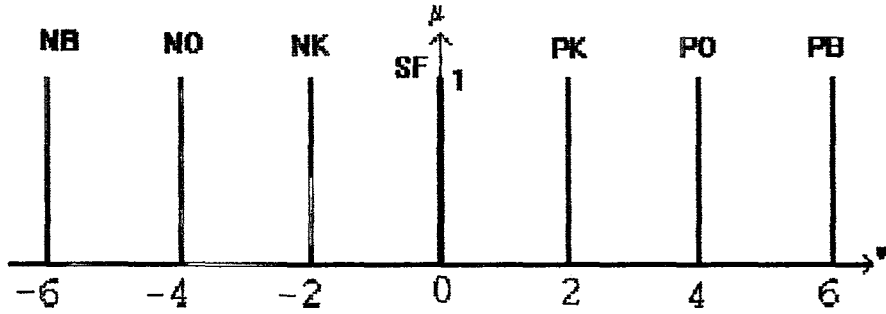
Girişte hata ve hatanın değişimi için simülasyonda en iyi sonucu veren üçgen şeklindeki üyelik fonksiyonları seçilmiştir (Şekil 6.I).



Şekil 6.I. Hata ve hatanın değişimi için seçilen üçgen üyelik fonksiyonu.

Çıkışta ise monotonik üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. (Şekil 6.II)

(Cansever ve diğerleri, 1993,1994, OMRON, 1992)



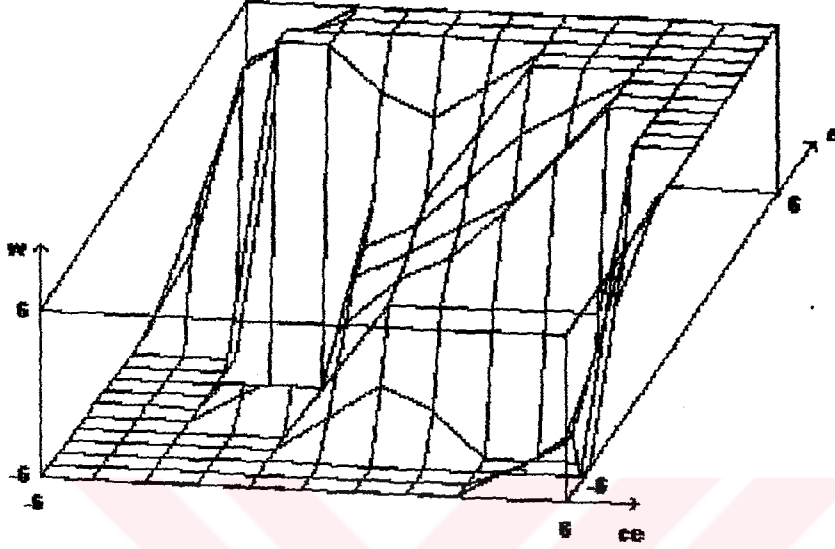
Şekil 6.II. Çıkış için seçilen monolitik üyelik fonksiyonu.

Simülasyonda kullanılan kural tablosu Tablo 6.I 'de verilmiştir.

e ce	NK	NO	NK	SF	PK	PO	PB
NK	NB	PO	PB	PB	PB	PB	PB
NO	NB	*	PB	PB	PB	PB	PB
NK	NB	*	*	PK	PB	PB	PB
SF	NB	NB	NK	FS	PK	PB	PB
PK	NB	NB	NB	NK	*	*	PB
PO	NB	NB	NB	NB	NB	*	PB
PB	NB	NB	NB	NB	NB	NO	PB

Tablo 6.I. Servo kural tabanı (rules table).

Kural tablosunda sütunlar hatayı, satırlar da hata değişimini göstermektedir. Buradaki girişler ve çıkış bulanıktır. Dolayısıyla hangi giriş değerlerinin hangi çıkış değerini verdiği netleştirme (defuzzyfication) yapılarak bulunur. Aşağıdaki Şekil 6.III' de netleştirme işleminin sonunda giriş ve çıkışların normalize edilmiş değerleri gösterilmektedir. Bu değerler belli katsayılarla çarpılarak gerçek çıkış değeri bulunur. Servo kural tabanının üçboyutlu gösterimi ise aşağıdaki gibidir. (Sato et. al., 1994)

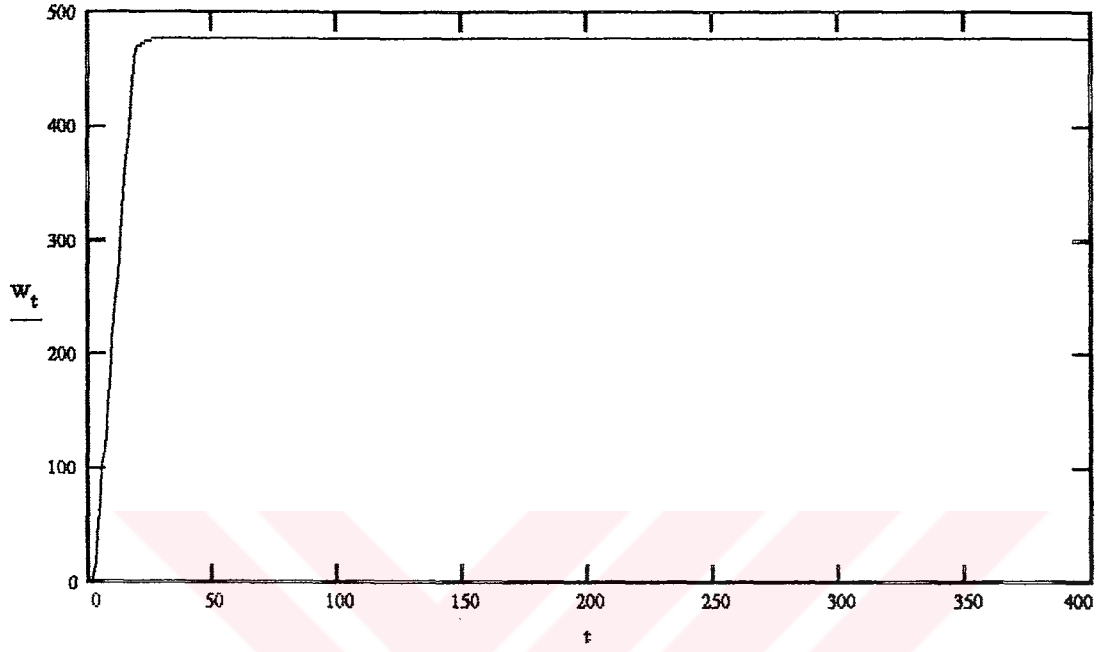


Şekil 6.III. Servo kural tabanına göre girişlerin ve çıkışın üç boyutlu gösterimi.

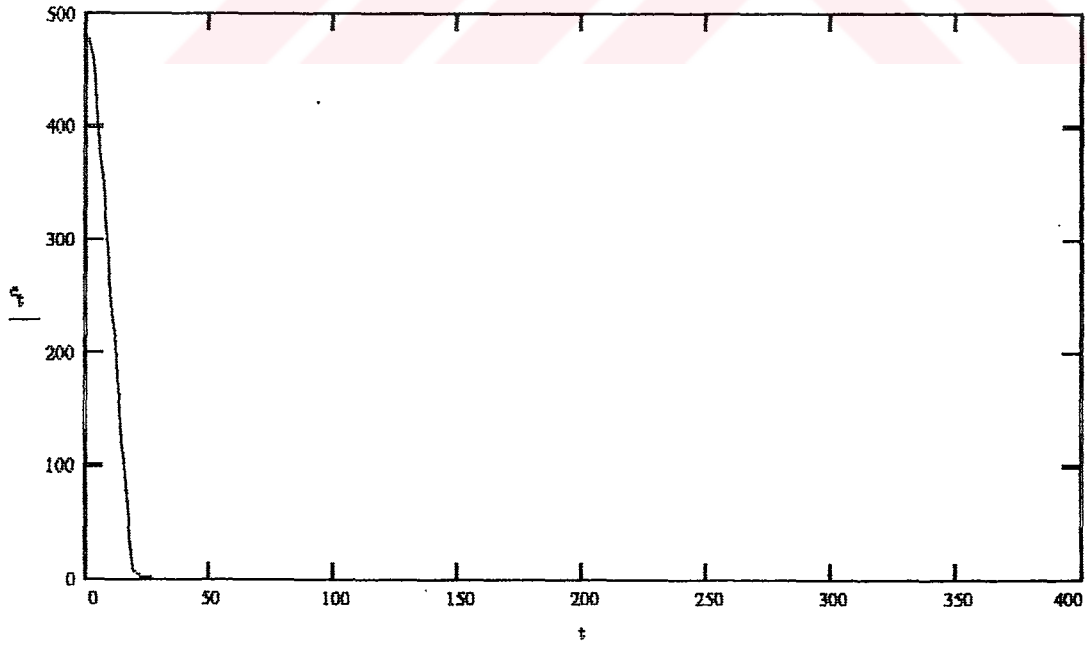
Servomotorun hız kontrolünü Fuzzy kontrolcü ile yaptığımızda simülasyon sonucu servo motorun hız-zaman eğrisi aşağıdaki gibi elde edilir. Burada hız devir/dakika' dan rad/s' ye çevrilmiştir. Toplam süre 0.2 s örnekleme periyodu 0.0005 s seçilmiştir.

Toplam 400 değer için çıkış değerleri nokta nokta alınıp bu değerler Mathcad 4.0 for Windows paket programı yardımıyla çizdirilmiştir.

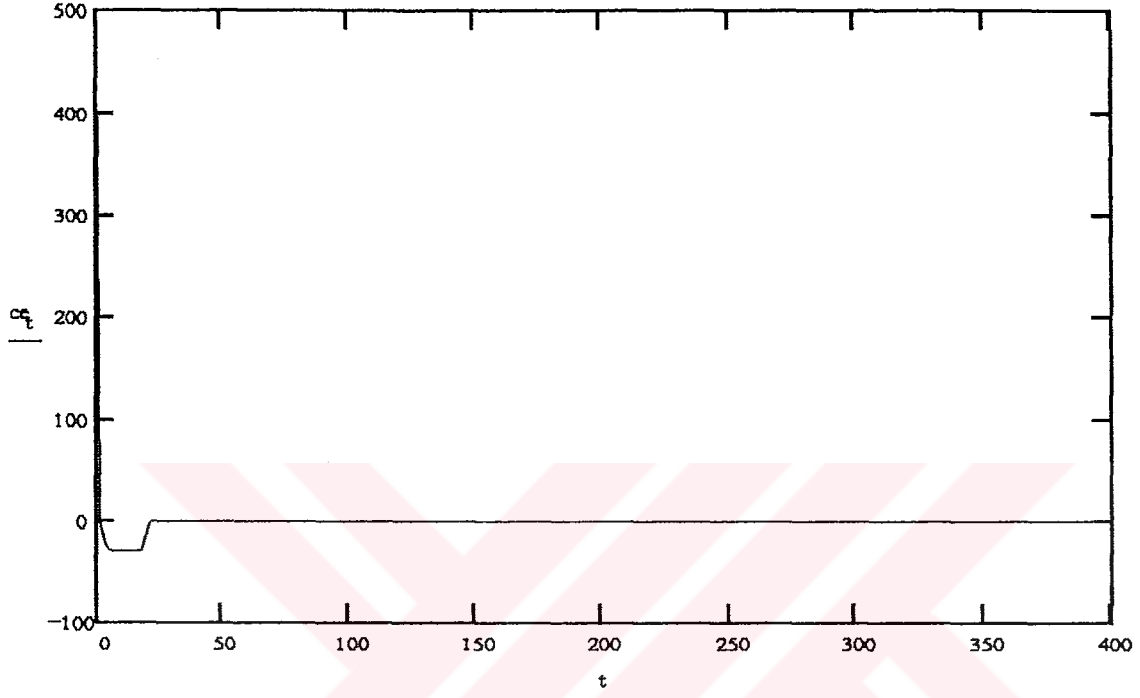
Şekil 6.IV' te w çıkışı, şekil 6.V.' te e hatası, şekil 6.VI' da ce hata değişimi, görülmektedir. Eğrilerde görüldüğü gibi servo motor hızı 0.02 saniyede set değerine ulaşır salınım ve taşma yapmadan kararlı hale gelmektedir.



Şekil 6.IV. Fuzzy kontrolcü ile kontrol edilen servo motorun hız-zaman eğrisi.



Şekil 6.V. Fuzzy kontrolcü ile kontrol edilen servo motorun hata-zaman eğrisi.



Şekil 6.VI. Fuzzy kontrolcü ile kontrol edilen servo motorun hız değişimi-zaman eğrisi.

7. MODEL REFERANS ADAPTİF FUZZY KONTROL CU İLE SERVO MOTOR HIZ KONTROLU :

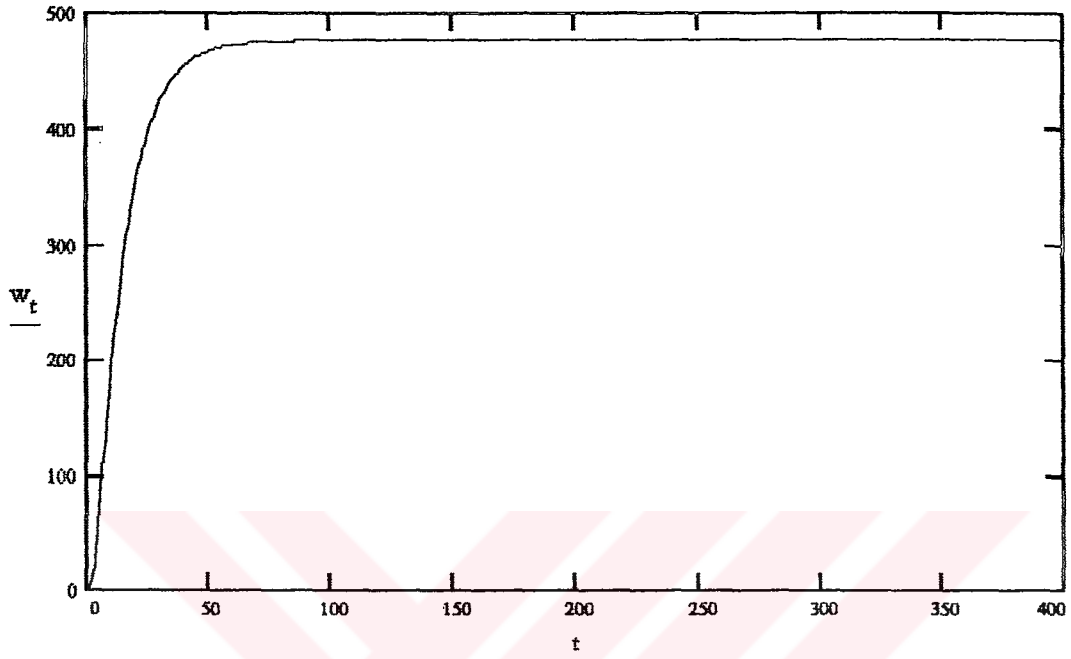
Yine bu uygulamada girişte hata ve hatanın değişimi için üçgen üyelik fonksiyonu çıkışta ise monolitik üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Üyelik fonksiyonlarının giriş ve çıkış maximum değerleri -6, 6 arasında seçilmiştir (Şekil 6.I. ve Şekil 6.II). Bu fuzzy simülasyon kartı için 0, 4095 arasındadır. Bulanık çıkarım kartı 12 bit işlem yapma kabiliyetine sahiptir. Giriş ve çıkış değerleri -6 ile 6 'ya ve 0 ile 4095 'e dönüştürülerek programa yerleştirilmiştir.

Servo motorun hızı dakikada 3000 devirdir. Giriş set değerimiz referans modelin fonksiyonuna bağlı zamanla değişmektedir. Hata bu referans model çıkışı ile servo motor çıkışının o anki durumu arasındaki fark olacaktır. Hatanın değişimi ise bir an önceki hata ile o anki hata arasındaki fark olacaktır. Dolayısıyla hata ve hatanın değişiminin alacağı en büyük değer 0 ile 3000 arasındadır. Kullanılan kural tablosu yine servo kural tabanıdır. (Tablo 6.I. ve Şekil 6.III.)

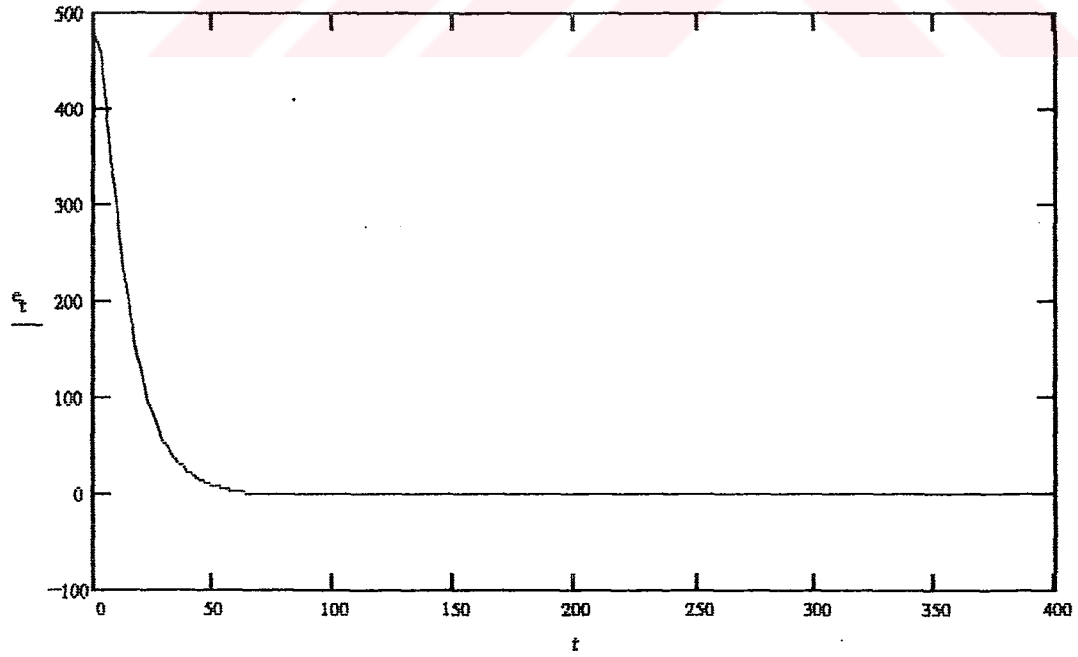
Hız devir/dakika' dan radyan/saniye' ye çevrilmiştir. Toplam süre 0.2 s örnekleme periyodu 0.0005 s seçilmiştir. Toplam 400 değer için çıkış değeri nokta nokta alınıp daha sonra Mcad 4.0 for Windows paket programı yardımıyla çizdirilmiştir.(Şekil 7.I., 7.II., 7.III.)

Burada çıkış 0.05 saniye sonunda taşma yapmadan hedef değere ulaşır sabit hale gelmiştir.

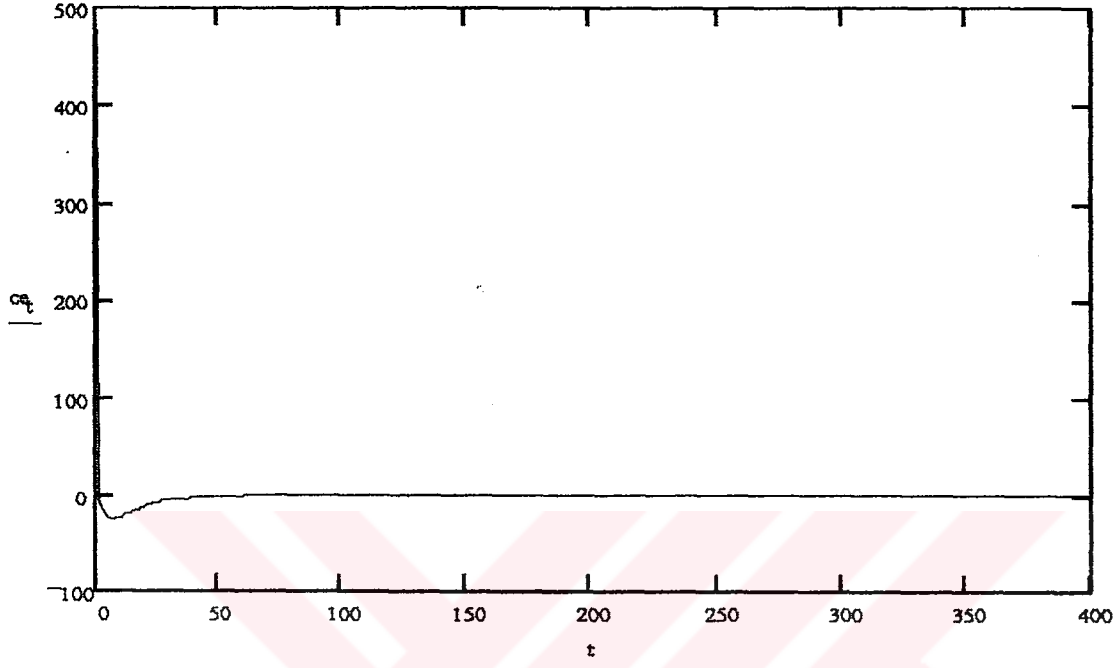
Şekil 7.I.'de w çıkış, şekil 7.II.'de e hatası, şekil 7.III.'de ce hata değişimi görülmektedir.



Şekil 7.I. MRAFK'nin hız-zaman eğrisi,



Şekil 7.II. MRAFK 'nin hata-zaman eğrisi,



Şekil 7.III. MRAFK'nun hata değişimi-zaman eğrisi.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER:

Servo motora gerilim uyguladığımızda motor hızı belli bir gecikmeden sonra salınım yaparak dormal devirine ulaşmaktadır. Burada yaptığımız simülasyon çalışmalarında amacımız servo motora gerilim verildiğinde motor hızının çok kısa bir gecikmeyle ve salınım yapmadan normal devirine ulaşmasını sağlamak olacaktır. Bunun için servo motorun hız kontrolü Fuzzy kontrolcü algoritması, Model Referans Adaptif Kontrol (MRAK) algoritması ve bunların birleştirilmesi ile oluşan Model Referans Adaptif Fuzzy Kontrolcü (MRAFK) algoritması kullanılarak simüle edildi.

MRAK algoritması için servo motorun transfer fonksiyonundan olmasını istediğimiz çıkışı sağlayan bir referans model geliştirildi. Adaptif uyarlayıcı bu referans model ile servo motor çıkışı arasındaki farka göre kontrol katsayıları üreterek servo motorun girişine uyguladı. Sonuçta servo motor seçilen referans model gibi davranmaya zorlandı ve referans model gibi bir davranış gösterdi. Servo motor hızı 0.09 saniye gecikmeyle ve salınım yapmadan normal devirine ulaştı.

Fuzzy kontrolcü simülasyon kartı kullandığımızda giriş olarak çıkışın beklenen değerden farkı ve bu farkın değişimi ile bunları temsil eden 7' şer adet etiket kullanıldı. Buna uygun servo kural tabanı uygulandığında simülasyon sonucu servo motorun 0.02 saniyede ve salınım yapmadan, normal hızına ulaştığı görüldü. Kullandığımız Fuzzy Interface kartı donanım olarak Fuzzy işlemcisi (FP-3000 Fuzzy Processorr - OMRON) kullanarak bulanık işlemleri hızlı bir şekilde gerçekleştirmektedir. Fuzzy İşlemcisi 20 MHz hızıyla 8 MByte RAM kullanarak 8 giriş, 2 çıkış kısmı olan 128 kuralı aynı anda işleyebilmektedir. Simülasyon programı olarak FB10-AT Fuzzy Inference Software kullanıldı. Fuzzy Inference Software programında programın özelliğinden dolayı giriş için sadece üçgen veya yamuk şeklinde üyelik fonksiyonları, çıkış için de monotonik üyelik fonksiyonu seçilebilmektedir. Dolayısıyla çan ve monolitik üyelik fonksiyonları için simülasyon çalışmaları yapılamamıştır. Birçok makalede üyelik fonksiyonlarının çan eğrisine

yaklaştırılmasıyla daha iyi sonuç alınabileceği ifade edilmektedir. Fakat yaptığımız çalışmada üçgen üyelik fonksiyonunun çan eğrisine yakın olan yamuk üyelik fonksiyonundan daha iyi sonuç verdiği simülasyon sonucu görülmüştür. Ayrıca herhangi bir giriş değerinin üyelik ağırlığının toplamının 1 olmasının daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

MRAFK algoritması kullanarak servo motor hız kontrolu uygulamasında referans model olarak MRAK' de kullandığımız referans model transfer fonksiyonu kullanıldı. Servo motor çıkışının Referans model gibi olması istenmektedir. Servo motor ve referans model arasındaki hata ve bu hatanın değişimi baz alınarak servo kural tabanı kullanılıp simülasyon yapıldı. Sonuçta servo motor hızının 0.05 saniye gecikmeyle ve salınım yapmadan sabit hale geldiği görüldü.

Kullanılan üç algoritmanın simülasyon sonuçlarını karşılaştırdığımızda sadece Fuzzy kontrolcu kullanılan algoritmanın daha iyi sonuç verdiği görüldü.

MRAFK algoritması kullanıldığında simülasyon sonucuna göre çıkışın referans modelin seçimine bağlı olduğu görüldü. MRAFK algoritmasında set değeri modelin transfer fonksiyonuna bağlı olarak zamanla değişmektedir. Giriş basamak fonksiyonu gibi düşünüldüğünde çıkışın da basamak fonksiyonu gibi olması beklenmektedir. Zaten set değeri sabit olarak alınan ve sadece fuzzy kontrolcu ile sürülen servo motorun çıkışı belli bir gecikme göstermektedir. MRAFK'da bir de bu gecikmeyle referans modelin gecikmesi üstüste geldiğinde gecikme süresi uzamaktadır. Amacımız gecikme süresini minimum yapmak olduğundan, referans model basamak fonksiyonu şeklinde seçilebildiği zaman bu gecikme azaltılabilir. Ayrıca üyelik fonksiyonu olarak simülasyon programının özelliğinden dolayı deneyemediğimiz diğer üyelik fonksiyonu alternatiflerinin de denenebileceği bir program geliştirilebilirse daha da iyi sonuç alınabilir.

KAYNAKLAR

1. Ashby, W.R., 1960, "Design for Brain", John Willey, New York.
2. Başbuğ A., 1994, "Bulanık Teknoloji", BYTE.
3. Benner, A.H., and Dreennick, R.F., 1955, "An Adaptive Servosystem", IRE Conv. Rec., Pt. 4, 8-14.
4. Bogosyan, S., Gökaşan M., ve Gürleyen, F., 1988, "Adaptive Optimum Control of A Separately Excited DC Machine", International Conference on Electrical Machines ICEM, Italy.
5. Braae M., and Rutherford M., "Theoretical and Linguistic Aspects of the Fuzzy Logic Controller", IEEE Transaction Vol. 15., P. 553-577.
6. Cansever G., Özgüven Ö. F., Uzam M. ve Engin Ş.N., 1993, " Kontrol Sistemlerinde Bulanık Lojik: Bulanık Lojik Denetleyici", Elektrik Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi, P. 57-62.
7. Cansever G., ve Özgüven Ö. F., 1994, "Application of Fuzzy Set Theory to Stabilization of an Inverted Pendulum by a High Speed Fuzzy Logic Controller", 7. Mediterranean Electrotechnical Conference ; Melecon '94, P. 1085-1088.
8. Chalam V.V., 1987, "Adaptive Control Systems, Techniques and Applications" Marcel Dekker Inc..
9. Draper, C.S., and Li, Y.T., 1951, "Principles of optimizing Control Systems and an Application to the Internal Engine" , ASME Publication.

10. Gürleyen F., 1986, "Adaptif kontrol Sistemleri Yüksek Lisans Ders Notları", İTÜ.
11. Kaynak O., 1992, " Sistem Otomasyon, Bulanık Denetim ve Endüstriye Uygulamaları ".
12. Landau Y. D., 1979, "Adaptive Control , The Model Reference Approach", Marcel Dekker Inc..
13. Li Y. F., and Lau C. C., 1989, "Development of Fuzzy Algorithms for Servo System" IEEE Control Systems Magazine P. 65-67.
14. Liaw C.M., and Wang J.B., 1991, "Design and Implementation of a Fuzzy Controller for a High Performance Induction Motor Drive", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernatics, Vol. 21., No 4.
15. Lin Y. H., and Narendra K. S., 1980, "A New Error Model for Adaptive Systems", IEEE Transaction Automatic Controller, AC - 25, P. 585-587.
16. Maeda M., and Murakami S., 1988, "A Design. for a Logic Controller", Information Sciences 45, P. 315-330.
17. Monopoli R.V., 1974, "Model Referance Adaptive Control with an Augmente Error Signal", IEEE Transaction Automatic Controller, AC - 19., P. 474-484.
18. Narenora, K.S.,Lin, Y.H., and Valavani, L.S. 1980, "Stable Adaptive Controller Design", Pt.II Proof of stability, IEEE Trans. Auto. Contr., AC-25, P. 440-461.
19. Omron ,1991, "User's Manuel", FS-10AT Fuzzy Inference Software.

20. OMRON, 1992, "Operation Manuel", Sysmac C200H-FZ001, Fuzzy Logic Unit.
21. Pedrycz W., 1989, "Fuzzy Control and Fuzzy Systems", Research Studies Press LTD., England.
22. Ruspini E., 1992, "Introduction to Fuzzy Set Theory and Fuzzy Logic: Basic Concepts and Structures", IEEE Educational Activities, Visual Materials, P. no. HV0257-6.
23. Sarioğlu M.K., "Dynamics of Electrical Machines, Classnotes for EE" 497 MKS University of Illinois Urbana.
24. Sato M., Kitagawa T., and Sekiguchi T., 1994, "Fuzzy Logic Based Banknote Transfer Control", IEEE Technology Update Series, Fuzzy Logic Technology and Applications, Chapter 15. P.531-536.
25. Tsien, H.S., 1954, "Engineering Cybernetics", Mc Graw-Hill, New York.
26. Whitaker, H.P., Yamron J., and Kezer A., 1958, "Design of Model Reference Adaptive Control Systems for Aircraft", Report No: R-164, Instrumentation Lab. MIT .
27. Y. F. Li, and C.C.Lau, 1988, "Application of Fuzzy Control for Servo Systems", IEEE.
28. Zadeh L.A., "Fuzzy Sets", 1965, Information Control, Vol. 8., P. 338-353.
29. Zadeh L.A., 1973, "Outline of A New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Process", IEEE Transaction SMC, No: 1, P. 28-44.
30. Zadeh L.A., 1978, "Fuzzy Sets As a Basis for Theory of possibility, Fuzzy Sets and System", 1, P. 3-28.

31. Zadeh L.A., 1984, "Making Computer Think Like People", IEEE Spectrum.
32. Zimmermann H.J., Zadeh L.A., and Gaineseds B.R., 1984, "Fuzzy Sets and Decision Analysis" , North Holland.





EK

Servo motorun parametreleri:

$V = 165$	V	Nominal rotor gerilimi
$I = 12.1$	A	Nominal rotor akımı
$n = 3000$	dev/dak	Nominal devir sayısı
$M = 6$	Nm	Nominal yük momenti
$j = 0.0021$	kgm^2	Atalet momenti
$B = 0.0005$	Nms/rad	Sürtünme katsayısı
$K = 6 / 12.1$	Nm/A	Motor sabiti
$R = 0.51$	Ω	Rotor toplam direnci
$L = 0.0027$	mH	Rotor toplam selfi

ÖZGEÇMİŞ

Şenol ALKAN

Elektrik Mühendisi

(1990 Yıldız Teknik Üniversitesi)

Doğum Tarihi ve Yeri

1968 , İstanbul

1974 - 1979

İcadiye İlkokulu

1979 - 1982

Halide Edip Adıvar Ortaokulu

1982 - 1985

Halide Edip Adıvar Lisesi

Fen Kolu

1985 - 1990

Yıldız Teknik Üniversitesi

Elektrik - Elektronik Fakültesi

Elektrik Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil

Almanca

GÖREVİ:

1991-1994

Araştırma Görevlisi

Yıldız Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

(Elektrik - Elektronik Fakültesi

Elektrik Mühendisliği Bölümü

Kontrol ve Kumanda sistemleri Anabilim Dalı)