

105505

**BULANIK MANTIK KONTROLÖRLER İLE KLÂSİK PID
KONTROLÖRLERİN KARŞILAŞTIRILMASI VE BİR
BULANIK MANTIK KONTROLÖR TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Müh. İhsan PEHLİVAN

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Abdullah FERİKOĞLU

Bu tez 10 / 01 / 2001 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Abdullah FERİKOĞLU Doç. Dr. Saadettin AKSOY Yrd. Doç. Dr. Cenil ÖZ

Jüri Başkanı



Jüri Üyesi



Jüri Üyesi



ÖNSÖZ

Tezimin hazırlanmasında bana yol gösteren ve ilgisini esirgemeyen sayın Doç. Dr. Abdullah FERİKOĞLU 'na, kıymetli yardımlarını esirgemeyen sayın Yrd. Doç. Dr. Musa ALCI' ya teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Aynı zamanda araştırmama katkıda bulunan Bayram Ali DÖNMEZ' e ve Mesud KAHRİMAN' a teşekkür ederim.

OCAK 2001

İhsan PEHLİVAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
ÖZET.....	X
SUMMARY.....	XI
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
1.1. Bulanık Mantık Kavramı.....	1
1.2. Bulanık Mantık Kontrolün Teorik Avantajları.....	4
1.3. Bulanık Mantık Kontrolün Pratik Avantajları.....	5
1.4. Bulanık Mantığın Uygulama Alanları.....	5
BÖLÜM 2. BULANIK KÜMELER.....	6
2.1. Bulanık Küme.....	6
2.2. Temel Bulanık İşlemler.....	8
2.3. Dilsel Değişkenler.....	8
BÖLÜM 3. BULANIK MANTIK KONTROLÖRLER.....	10
3.1. Giriş.....	10
3.1.1. Bulandırıcı.....	11
3.1.2. Bilgi Tabanı.....	11
3.1.3. Çıkarım Mekanizması.....	11
3.1.4. Netleştirici.....	11
3.2. Bulandırıcı.....	12

3.2.1. Tek Noktalı Bulandırıcı.....	12
3.3. Bilgi Tabanı.....	13
3.3.1. Veri Tabanı.....	13
3.3.2. Kural Tabanı.....	13
3.3.3. Bulanık Kontrol Kural Tipleri.....	15
3.4. Çıkarım Mekanizması.....	16
3.4.1. Birleşik Tabanlı Çıkarım.....	16
3.4.2. Tek Kural Tabanlı Çıkarım.....	18
3.4.3. En Çok Kullanılan Çıkarım Mekanizmaları.....	18
3.5. Netleştirici.....	19
3.5.1. Maksimum Kriteri Metodu.....	19
3.5.2. Maksimumların Ortalaması Metodu (MOM).....	20
3.5.3. Ağırlık Merkezi Metodu.....	20
3.5.4. Ortalama Merkezi Metodu.....	21

BÖLÜM 4. BULANIK MANTIK KONTROLÖR İLE KLASİK PID

KONTROLÖR ALGORİTMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....	23
4.1. Giriş.....	23
4.2. Üç Farklı Bulanık PID Kontrolör Tasarımının Karşılaştırılması.....	24
4.2.1. İki Girişli Bulanık PID Kontrolör Tasarımı.....	24
4.2.2. Tek Girişli Bulanık PID Kontrolör Tasarımı.....	24
4.2.2.1. Tek Girişli Bire-Bir Bulanık PID Kontrolör Tasarımı.....	24
4.2.2.2. Tek Girişli Bire-Üç Bulanık PID Kontrolör Tasarımı.....	27
4.3. Üç Farklı Bulanık PID Kontrolör Tasarımının Nonlineer Bir Sistem Üzerinde Klasik PID Kontrolör ile Karşılaştırılması.....	34

BÖLÜM 5. BULANIK KONTROLÖR TASARLANMASI VE

SİMÜLASYONU.....	40
5.1. Giriş - Çıkış Bilgilerini Kullanarak Bulanık Kontrolör Tasarımı.....	40
5.2. Look - Up Tablosu Kullanarak Bulanık Kontrolör Tasarımı.....	40
5.3. Look - Up Tablosu Kullanarak Bulanık Kontrolör Simülasyonu.....	43
5.4. Bulanık PI Kontrolör Simülasyonu.....	50

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	55
KAYNAKLAR	57
EKLER.....	60
EK A. İKİ GİRİŞLİ BULANIK PID KONTROLÖRÜN TOOLBOX'A AİT TASARIM AŞAMALARI.....	60
EK B. TEK GİRİŞLİ BULANIK PID KONTROLÖRÜN TOOLBOX'A AİT TASARIM AŞAMALARI.....	63
ÖZGEÇMİŞ	66



SİMGELER VE KISALTMALAR

$\mu_A(x)$: A Bulanık Kümesinin Üyelik Fonksiyonu
$A \cap B$: A ve B Kümelerinin Kesişimi
$A \cup B$: A ve B Kümelerinin Birleşimi
\bar{A}	: A Kümesinin Tümlenyeni
t	: Bulanık Kesişme t Normu
s	: Bulanık Birleşme s Normu
X	: Dilsel Değişkenin Adı
T	: Dilsel Değişken X 'in Alabileceği Değerler
M	: Bulanık Kurallar Kümesi
Q	: Bulanık Bağıntı
U	: Bulanık Sayıların Tanımlandığı Evren
$hgt(B')$: B ' nün Üyelik Fonksiyonunun Maksimum Değerlerini Aldığı Noktalar Kümesi
e	: Hata
de	: Hatanın Değişimi
K_P	: Oransal Katsayı
K_I	: İntegrasyon Katsayısı
K_D	: Türevsel Katsayı
u	: Kontrolör Tarafından Üretilen Kontrol İşareti
r	: Resetleme Parametresi
ξ	: Söndürme Oranı
BMK	: Bulanık Mantık Kontrolör

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Sıfıra Yakın Olan Sayılar İçin Gaussian Üyelik Fonksiyonu.....	6
Şekil 2.2. Sıfıra Yakın Olan Sayılar İçin Üçgen Üyelik Fonksiyonu.....	7
Şekil 2.3. Bir Arabanın Hız Tanımı İçin Bulanık Üyelik Fonksiyonu.....	9
Şekil 3.1. Tipik Bir Bulanık Kontrol Sistemi ve Bulanık Kontrol Bileşenleri.....	10
Şekil 3.2. Maksimum Kriterli Netleştirici.....	20
Şekil 3.3. Ağırlık Merkezli Netleştirici.....	21
Şekil 3.4. Ortalama Merkezli Netleştirici.....	22
Şekil 4.1.A İki Girişli Bulanık PID Tasarımı.....	25
Şekil 4.1.B Ölü Zamanlı Sisteme İlişkin İki Girişli Bulanık PID Tasarımı.....	25
Şekil 4.2.A Tek Girişli Bire - Bir Bulanık PID Tasarımı.....	26
Şekil 4.2.B Ölü Zamanlı Sisteme İlişkin Tek Girişli Bire- Bir Bulanık PID Tasarımı.....	26
Şekil 4.3.A Tek Girişli Bire - Üç Bulanık PID Tasarımı.....	27
Şekil 4.3.B Ölü Zamanlı Sisteme İlişkin Tek Girişli Bire-Üç Bulanık PID Tasarımı.....	27
Şekil 4.4.A1 Birinci Dereceden Sisteme İlişkin İki Girişli Bulanık PID Tasarımının Simülasyon Sonucu.....	28
Şekil 4.4.A2 Birinci Dereceden Sisteme İlişkin Tek Girişli Bire-Bir Bulanık PID Tasarımının Simülasyon Sonucu.....	28
Şekil 4.4.A3 Birinci Dereceden Sisteme İlişkin Tek Girişli Bire-Üç Bulanık PID Tasarımının Simülasyon Sonucu.....	28
Şekil 4.4.B1 Birinci Dereceden Ölü Zamanlı Sisteme İlişkin İki Girişli Bulanık PID Tasarımının Simülasyon Sonucu.....	29
Şekil 4.4.B2 Birinci Dereceden Ölü Zamanlı Sisteme İlişkin Tek Girişli Bire-Bir Bulanık PID Tasarımının Simülasyon Sonucu.....	29
Şekil 4.4.B3 Birinci Dereceden Ölü Zamanlı Sisteme İlişkin Tek Girişli Bire-Üç Bulanık PID Tasarımının Simülasyon Sonucu.....	29

Şekil 4.4.C1 İkinci Dereceden Sisteme İlişkin İki Girişli Bulanık PID Tasarımının Simülasyon Sonucu.....	30
Şekil 4.4.C2 İkinci Dereceden Sisteme İlişkin Tek Girişli Bire-Bir Bulanık PID Tasarımının Simülasyon Sonucu.....	30
Şekil 4.4.C3 İkinci Dereceden Sisteme İlişkin Tek Girişli Bire-Üç Bulanık PID Tasarımının Simülasyon Sonucu.....	30
Şekil 4.4.D1 İkinci Dereceden Ölü Zamanlı Sisteme İlişkin İki Girişli Bulanık PID Tasarımının Simülasyon Sonucu.....	31
Şekil 4.4.D2 İkinci Dereceden Ölü Zamanlı Sisteme İlişkin Tek Girişli Bire-Bir Bulanık PID Tasarımının Simülasyon Sonucu	31
Şekil 4.4.D3 İkinci Dereceden Ölü Zamanlı Sisteme İlişkin Tek Girişli Bire-Üç Bulanık PID Tasarımının Simülasyon Sonucu	31
Şekil 4.4.E1 Marjinal Kararlı Sisteme İlişkin İki Girişli Bulanık PID Tasarımının Simülasyon Sonucu.....	32
Şekil 4.4.E2 Marjinal Kararlı Sisteme İlişkin Tek Girişli Bire-Bir Bulanık PID Tasarımının Simülasyon Sonucu.....	32
Şekil 4.4.E3 Marjinal Kararlı Sisteme İlişkin Tek Girişli Bire-Üç Bulanık PID Tasarımının Simülasyon Sonucu.....	32
Şekil 4.4.F1 Marjinal Kararlı Ölü Zamanlı Sisteme İlişkin İki Girişli Bulanık PID Tasarımının Simülasyon Sonucu.....	33
Şekil 4.4.F2 Marjinal Kararlı Ölü Zamanlı Sisteme İlişkin Tek Girişli Bire-Bir Bulanık PID Tasarımının Simülasyon Sonucu	33
Şekil 4.4.F3 Marjinal Kararlı Ölü Zamanlı Sisteme İlişkin Tek Girişli Bire-Üç Bulanık PID Tasarımının Simülasyon Sonucu	33
Şekil 4.5.A İki Girişli Bulanık PID ' nin Nonlinear Sisteme İlişkin Tasarımı.....	36
Şekil 4.5.B Nonlinear Sisteme İlişkin İki Girişli Bulanık PID Tasarımının Simülasyon Sonuçları	36
Şekil 4.6.A Tek Girişli Bire-Bir Bulanık PID ' nin Nonlinear Sisteme İlişkin Tasarımı	37
Şekil 4.6.B Nonlinear Sisteme İlişkin Tek Girişli Bire-Bir Bulanık PID Tasarımının Simülasyon Sonuçları	37
Şekil 4.7.A Tek Girişli Bire-Üç Bulanık PID ' nin Nonlinear Sisteme İlişkin Tasarımı	38

Şekil 4.7.B Nonlineer Sisteme İlişkin Tek Girişli Bire-Üç Bulanık PID Tasarımının Simülasyon Sonuçları	38
Şekil 4.8.A Klasik PID Kontrolörün Nonlineer Sisteme İlişkin Tasarımı.....	39
Şekil 4.8.B Nonlineer Sisteme İlişkin Klasik PID Kontrolör Tasarımının Simülasyon Sonuçları	39
Şekil 5.1. İki Farklı Giriş Durumu İçin Giriş - Çıkış Çiftleri ve Üyelik Fonksiyonları.....	41
Şekil 5.2 Bulanık Look - Up Kural Tablosu	42
Şekil 5.3 Bulanık Kontrolör Yapısı.....	43
Şekil 5.4 Look - Up Tablosuyla Oluşturulan Bulanık Kontrolörlü Sistem Modeli ..	44
Şekil 5.5 Bulanık Kontrolör Kaba Kontrol Look - Up Tablosu.....	48
Şekil 5.6 Bulanık Kontrolör Hassas Kontrol Look - Up Tablosu.....	49
Şekil 5.7 Look - Up Tablosu Kullanarak Elde Edilen Sistem Cevabı	50
Şekil 5.8 Genelleştirilmiş Bulanık PI Kontrolör Modeli	51
Şekil 5.9 Resetleme İşlemine p ' nin Etkisi.....	51
Şekil 5.10 FLC1 - du ' yu Hesaplamak İçin Bulanık Kural Tablosu	52
Şekil 5.11 FLC1 İçin e , de , du Üyelik Fonksiyonları	52
Şekil 5.12 FLC2 - r ' yi Hesaplamak İçin Bulanık Kural Tablosu.....	53
Şekil 5.13 FLC2 İçin e , de , r Üyelik Fonksiyonları.....	53
Şekil 5.14 FLC1 - du Kontrol İşareti Değişimi Bulanık Kontrolör Giriş - Çıkış Arayüzeyi	54
Şekil 5.15 FLC2 - r Resetleme Parametresi Bulanık Kontrolör Giriş - Çıkış Arayüzeyi	54

ÖZET

Anahtar Kelimeler : Bulanık mantık, Bulanık mantık kontrolör, İki girişli bulanık PID, Tek girişli bulanık PID, Look-up tablosu, Resetleme parametresi, Genelleştirilmiş bulanık PI kontrolör.

Günümüzde bilimin amacı akıllı insan zekasına, daha benzer sistemler geliştirmektir. Bu yüzden kontrol sistemlerinde kullanılan klasik mantık bu amaç için yetersiz kalmaktadır. Çünkü klasik mantığa göre olaylar “var” yada “yok” olarak değerlendirilmektedir. Hava ya sıcaktır yada soğuktur, bir araba ya hızlıdır yada yavaştır. Oysa insan aklının işleyişi böylesine katı kurallara bağlı değildir. Matematikçilerin elinde bir sistemin girdilerine yanıt verecek özel algoritmalar bulunmadığında, bulanık mantık belirsiz niceliklere başvuran “sağduyulu” kurallar kullanarak sistemi denetleyebilir ve betimleyebilir. Bilinen hiçbir matematiksel model bir kamyonun park yerinden yükleme yerine gidişini, kamyonun hareket noktası rastgele seçilebiliyorsa yönetemez. Oysa gerek insan, gerekse bulanık mantık sistemleri, “Kamyon biraz sola dönerse, sen de biraz sağa çevir” gibi pratik ancak kesinlik taşımayan kurallar kullanarak bu doğrusal olmayan(nonlinear) kılavuzluk işlemini gerçekleştirebilir.

Klasik mantık karmaşık dinamik modeller gerektirdiği halde bulanık mantık daha çok deneyime dayalı, fazla ayrıntılı olmayan modellerle çalışır. Ayrıca bulanık mantık, kontrol ettiği sistemin parametre değişimlerinden etkilenmediği için daha geçerli bir kontrol imkanı sağlar. Dolayısıyla klasik kontrolörlerden olan PID model daha ekonomik ve daha basit görünmesine rağmen, bulanık mantık kontrolörler bu yüksek denetim hızı ve niteliği ile daha ucuza mal olmakta, daha doğru kontrol yapmakta ve daha basit bir yapı sergilemektedir. Bu da denetim hızı ve niteliği yüksek kontrol yapmaya olanak verir. Bu ve bunlar gibi birçok sebepten dolayı bulanık mantık, ilk önceleri sadece teorik bir araştırma alanı olarak ortaya çıkmasına rağmen daha sonra pek çok uygulama alanı bularak, günümüzün en popüler konularından biri olmuştur.

Bu çalışmada birinci bölümde bulanık mantık kontrol kavramı, ikinci bölümde bulanık mantığa ilişkin matematiksel ifadeler, üçüncü bölümde bulanık mantık kontrolörün yapısı ve tasarımı hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde üç ayrı bulanık PID kontrolör (iki girişli, tek girişli bire-bir, tek girişli bire-üç olmak üzere) tasarlanıp, bunların birinci dereceden, ikinci dereceden, marjinal kararlı sistemler ve bu sistemlerin ölü zamanlı yapıları üzerinde karşılaştırılması yapılmıştır. Son bölümde look-up tablosu kullanarak bulanık mantık kontrolör tasarım yöntemi anlatılmış, Matlab, Simulink ortamında look-up tablosu bulanık kontrol algoritması kullanarak tasarım ve simülasyon gerçekleştirilmiş ve simülasyon sonuçları incelenmiştir.

FUZZY LOGIC CONTROLLERS

SUMMARY

Keywords : Fuzzy logic, Fuzzy logic controller, Fuzzy PID with one input, Fuzzy PID with two inputs, Look-up table, Resetting parameter, Generalized Fuzzy PI controller

When designing a control system, an initial step is to obtain a mathematical model for the plant and controller. This model represent the formulation of prior information into an analytic structure, but many real world systems have unknown parameters or highly complex and nonlinear characteristics. Attempts to overcome these difficulties have led to research into very complex controllers, which may cause difficulties when applied.

Fuzzy logic control appears very useful when the processes are too complex for analysis by conventional quantitative techniques. Experiences show that the fuzzy logic control yields results superior to those obtained by conventional control algorithms in the complex situation where the system or parameters are difficult to obtain. Other advantages of fuzzy control are; 1- it can work with less precise inputs; 2- it doesn't need fast processors; 3- it needs less data storage in the form of membership functions and rules than conventional look-up table for nonlinear controllers; and 4- it is more robust than other nonlinear controllers.

Fuzzy logic is much closer in spirit to human thinking and natural language than the traditional logical systems. Viewed in this perspective, the essential part of the FLC (Fuzzy Logic Controller) is a set of linguistic control rules related by the dual concepts of fuzzy implication and compositional rule of inference . Then, the FLC provides an algorithm which can convert the linguistic control strategy based on expert knowledge into an automatic control strategy.

The components of conventional and fuzzy systems are quite alike, differing mainly in that fuzzy systems contain “fuzzifiers” which convert inputs into their fuzzy representations, and “defuzzifiers” which convert the output of the fuzzy process logic into “crisp” (numerically precise) solution variables.

In a fuzzy system, the values of fuzzified input execute all the rules in the knowledge repository that have the fuzzified input as part of their premise. This process generates a new fuzzy set representing each output or solution variable. Defuzzification creates a value for the output variable from that new fuzzy set.

For physical systems, the output value is often used to adjust the setting of an actuator that in turn adjusts the state of physical system. The change is picked up by the sensors, and the entire process starts again.

In contrast, a PID controller is based on a rigorous mathematical model of some linear process. These models develop, by means of root locus or some other method, a set of equations that describe the stable equilibrium state of control surface with coefficients being assigned to the proportional, integral, and derivative aspects of the system. A PID controller reads a precise sensor value, applies the mathematical model, and produce a specific output from mathematical algorithm.

While the PID model may seem the simpler and hence, the more economical representation, the contrary is more often true. Fuzzy controllers are in fact easier to prototype and implement, simpler to describe and verify, and can be maintained and extended with greater accuracy in less time.

This study has five parts. In the first part, it has been given an introduction to fuzzy logic. The second part, mathematical relations of fuzzy logic. In the third part, fuzzy logic controller's principals and fuzzy logic controller's design have been explained. In the fourth part, three different types of fuzzy PID controllers, using one and two input inferences, are investigated. This three controllers are used to control a nonlinear system. Numerical simulation results demonstrate the effectiveness of the fuzzy PID controller in comparison with the conventional PID controller. At the final part of the study, fuzzy logic controller design method using look-up table is explained. In Matlab, Simulink, using look-up table fuzzy control algorithm, design and simulation are realized, and simulation results are discussed.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Bulanık Mantık Kavramı

Mühendislik sistemlerinin birçoğunda iki çeşit bilgi kaynağı vardır. Değişkenler için nümerik ölçümler sağlayan “sensörler”, ve sistem hakkında dilsel bilgiler ve tanımlamalar veren “uzman kişiler” .

Sensörlerden alınan bilgi “nümerik bilgi” olarak ve uzman kişilerden sağlanan bilgi de “dilsel bilgi” olarak adlandırılır. Nümerik bilgi sayılarla temsil edilirken, dilsel bilgi, örneğin sıcaklık için, soğuk, ılık, sıcak, çok sıcak, çok soğuk gibi sözcüklerle ifade edilir.

Geleneksel mühendislik yaklaşımı, yalnızca nümerik bilgi kullanır ve dilsel bilgi kullanmakta zorluk içerisindedir.

Diğer taraftan bulanık mantık, dilsel kuralları kullanabilmek için en etkili yaklaşımdır.

Bulanık mantık, insan düşünce yapısına ve günlük konuşma diline geleneksel yaklaşımlardan daha yakındır.

Bulanık mantık en etkili bir şekilde, yaklaşıklığı ve tam kesin olmayan gerçek dünya doğasını elde etmeyi sağlar.

Bu yüzden, bu açıdan bakıldığında bulanık mantık kontrolörün temel parçası dilsel kontrol kuralları setidir.

Mühendislikte ve diğer bilim dallarında sistemler kesin matematik modelleri kullanılmak suretiyle modellenirler. Klasik kontrol teorisi de oluşturulan bu modeller yardımıyla güçlü analiz ve iyi çözümler üretebilir. Fakat sistemin kesin matematik modelinin bilinmediği durumlarda, klasik mantık ya hiç çözüm üretememekte ya da istenen performansı sağlayamamaktadır.

Klasik mantığın bu gibi durumlarda yetersiz gelmesi ve insan aklının işleyişini yeterince yansıtamaması bilim adamlarının bulanık mantığın üzerine eğilmesine neden olmuştur. İlk kez 1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından yazılan bir makalede, matematiksel bir düşünce olarak ortaya atılmıştır.[1]

Bulanık mantığın temel amacı, insanların tam ve kesin olmayan bilgiler ışığında, tutarlı ve doğru kararlar vermelerini sağlayan, düşünme ve karar verme mekanizmalarının modellenmesidir. Temel olarak çok değerli mantık, olasılık, yapay zeka, yapay sinir ağları alanları ile ilişkilidir.

Bulanık mantık olayların oluşum olasılığından çok oluşum derecesiyle ilgilenir. Bundan dolayı bazı bilim adamları bulanık mantığı olasılığın bir devamı olarak düşünmüşlerdir. Fakat ikisi de oldukça farklı kavramlardır. Olasılık bir şeyin olup olmayacağını ölçer. Bulanıklık ise bir olayın ne dereceye kadar olduğunu ölçer.

Aralarındaki farkı anlamak için bir örnek verelim; Bir çölde mahsur kaldığınızı ve uzun süredir hiç su içmediğinizi düşünün. Karşınıza içi sıvı dolu iki şişe çıkıyor. Bunlardan birincisinin üzerinde 0,91 olasılıkla içilebilir su, ikincisinin üzerinde üyelik derecesi 0,91 yani içilebilir su sınıfına 0,91 olasılıkla aittir yazıyor.

Şimdi “ bu sıvılardan hangisini içmeliyiz ?” sorusuna yanıt bulmaya çalışalım. Birincisinin 0,91 olasılıkla içilebilir su olması demek, % 9 olasılıkla da suya benzer bir sıvı olmasını gerektirir. Bu renksiz sıvıda örneğin; Hidroklorik asit (HCl) olabilir. İçilebilir su sınıfına 0,91 üyelik derecesiyle ait olmak ise, ikincisinin 0,91 kalite de iyi bir su olmasını gerektirir. Bu durumda, anlaşıldığı gibi ikinci şişe tercih edilir. Sonuç olarak bu iki ifade de belirsizliği tanımlamasına rağmen birbirinden farklıdır.[2]

Bulanık mantık kavramı ile beraber araştırmacılar arasında bir tartışma ortamı doğdu. Bazı araştırmacılar bulanık mantığın temel bilimsel prensiplere aykırı olduğunu göstermeye çalıştılar. Özellikle olasılık ve istatistikle uğraşan matematikçiler olasılık teorisile belirsizlik problemlerinin çözülebileceğini savundular.

1965'te bulanık küme kavramı ve 1968'de bulanık algoritmalar, Zadeh ve 1970'te bulanık karar verme yöntemleri, Zadeh ve Bellman tarafından ortaya atıldı. 1973'te, Zadeh "Kompleks Sistemlerin ve Karar verme İşlemlerinin Analizine Yeni Bir Yaklaşım" adıyla bulanık kontrolün temelini atan bir makale yayınladı. Zadeh bu makalesinde dilsel değişkenleri ve insan bilgisini formüle etmek için EĞER - O HALDE kurallarını kullanmayı önerdi.

1970'lerde gerçek sistemler için bulanık kontrolörler kullanılmaya başlandı. Bulanık mantıkla kontrol, ilk olarak 1975'de Mamdani ve arkadaşları tarafından bir buhar makinesinin denetimi için bulanık kural tabanlı bir kontrolör geliştirmeleriyle başladı. Bu uygulama sonucunda, nonlineer kontrol problemleri için bulanık kontrolörün klasik kontrolörlere göre çok daha kolay geliştirildiği ve oldukça iyi sonuçlar verdiği belirtildi. 1978'de de, ilk kez bir çimento fırınına tüm endüstriyel süreç için bulanık bir kontrolör geliştirildi.

1980'lerde bulanık mantık teorik olarak çok yavaş gelişmiştir. Bu senelerde bulanık kontrolörler, matematiksel model eksikliği nedeniyle geleneksel kontrol yöntemlerinin uygulanamadığı sistemlerde uygulanmaya başlanmıştır. 1980'de Sugeno, Japonların ilk bulanık mantık uygulaması olan Fuji Electric su arıtma tesisinin kontrolünü gerçekleştirdi. 1983'te, komutlarla kendi kendine park eden bir araba olan bulanık kontrollü bir robot çalışmasına başlandı. Yine bu arada Hitachi' den Miyamoto, Sendai metrosu için bulanık kontrol sistemi geliştirmeye başladı. 1987'de bu proje bitirildi ve başarılı bir uygulama gerçekleştirildi. Sendai metrosunun devreye alınmasından sonra, temmuz 1987'de Tokyo'da ikinci uluslar arası bulanık sistemler konferansı yapıldı. Bu konferansta katılımcılara Sendai metrosu ve ayrıca iki boyutlu masa tenisi oynayabilen bir bulanık robot kolu da tanıtıldı. Sendai metrosu uygulamasından sonra bulanık kontrol konusundaki çalışmalar yeni bir ivme kazanmış ve endüstriyel uygulama alanları hızla artmıştır.

Çalışmaların uluslar arası alanda koordinasyonu amacı ile Japonya'da 1989 yılında LIFE (Laboratory for International Fuzzy Engineering) adlı bir laboratuvar kurulmuştur. Bu laboratuvar da yapılan araştırma çalışmalarına aralarında Hitachi, Toshiba, Omron, Matsushita gibi ünlü Japon firmalarının yanı sıra IBM, NCR ve Thomson gibi Japonya dışı firmalarında aralarında bulunduğu 51 firma katılmıştır. LIFE laboratuvarı üç ayrı laboratuvar dan oluşturuldu. İlk laboratuvar, bulanık kontrol konusunda çalışma yapmak amacıyla, ikinci laboratuvar bulanık akıllı bilgi işleme ve üçüncü laboratuvar ise bulanık bilgisayarlar konusunda araştırma yapmak amacıyla kuruldu. Daha sonra şubat 1992'de San Diego' da ilk olarak bulanık sistemler üzerine IEEE uluslar arası konferansı yapıldı. Bu konferans bulanık mantık teorisinin, en büyük mühendislik organizasyonu IEEE tarafından kabul edildiğini göstermektedir.

1.2. Bulanık Mantık Kontrolün Teorik Avantajları

1- Sistemin matematik modelinin çıkarılmasının çok güç olduğu durumlarda en önemli bilgiler iki kaynaktan gelir. Bunlardan biri sensörler ki bunlar durum değişkenlerinin sayısal değerlerini gösterirler. Diğeri ise operatör deneyimleridir ki bunlarda sistem hakkında operatörün dilsel tanımlamaları ve kontrol talimatlarını içerirler. Bulanık kontrol bu bilgilerden yararlanırken klasik kontrol bu bilgilerden faydalanamaz. İyi mühendislik yaklaşımının, mevcut olan bütün bilgilerin kullanımını gerektirdiği düşünülürse, sistem hakkındaki bilgilerin bu türden olduğu durumlarda bulanık kontrol en iyi seçimdir.

2- Bulanık kontrol, serbest model yaklaşımına dayanır. Kontrol edilecek sistemin matematiksel modeline ihtiyaç duymaz. Günümüzde çok karmaşık sistemlerle karşı karşıya kalındığı düşünülürse, serbest model yaklaşımı da oldukça artan bir öneme sahiptir.

3- Bulanık kontrol ile elde edilen kontrolör nonlineer kontrolördür. Bu yüzden bulanık kontrolörün parametreleri dikkatlice seçilerek nonlineer sistemlerin kontrolü de yapılabilir.

1.3. Bulanık Mantık Kontrolün Pratik Avantajları

- 1- Anlaşılması kolaydır. Çünkü bulanık kontrol insanın kontrol stratejisini taklit eder.
- 2- Gerçeklenmesi basittir, çok sayıda paralel işleme izin verir.
- 3- Diğer sistemlere göre yazılımları basit olduğundan, uygulamalar ucuza mal olmakta ve yapılan işler basitleşmektedir. Bu yüzden bulanık kontrol yüksek performans / maliyet oranına sahip bir yaklaşımdır.[3,4]

1.4. Bulanık Mantığın Uygulama Alanları

Bulanık mantığın ilk önemli uygulaması çimento sanayisinde olmuştur. Bu sanayide değirmen içerisindeki sıcaklık ve oksijen oranı kaliteli bir ürün elde etmek için son derece önemlidir. Ayrıca ısı ve karbonmonoksit oranı gibi bilgilerin doğruluğu da iyi bir çalışma düzeni elde edilebilmesi için gereklidir. Bu şartlar altında 1980 yılında Danimarka'da bir firma geleneksel kontrolör yerine bir bulanık mantık kontrolör kullanmış ve çok başarılı sonuçlar veren bir uzman sistem geliştirmiştir.

İkinci ve aynı zamanda en önemli bulanık kontrol uygulaması 1987 yılında Japonya'da taşımacılık alanında gerçekleştirilmiştir. Bu Sendai' de kullanılan, gerek insan sürücüler, gerekse geleneksel otomatik kontrolörden daha iyi çalışan metro freni kontrolüdür. Sendai Metrosu kontrolünün böyle bir bulanık mantık sistemine terk edilmesinden sonra, bu alandaki çalışmalarda ve uygulama alanlarında son derece büyük bir artış olmuştur. Özellikle Japonya'da bulanık denetimli ev aletleri ve elektronik ürünler güncel yaşamın bir parçası haline gelmişlerdir.

Bu örnekler altında, bulanık mantığın önemli uygulama alanlarını kısaca özetleyecek olursak; çimento sanayi, su arıtma sistemleri, buhar türbini, nükleer reaktör, asansör ve vinç denetimleri, otomobillerin hız ve seyahat kontrolü, uçakların uçuş denetimi, otomatik fren çalışmaları, gemiler için optimal rota seçimi ve çok çeşitli ev aletleri v.b. gibi uygulama alanlarından bahsedebiliriz. Ayrıca günümüzde bulanık mantık ve uygulamalarına yönelik yazılım ve donanımlar piyasada hazır bir şekilde bulunmakta olup, bulanık mikroişlemciler de pazarlanmaktadır.[5,6]

BÖLÜM 2. BULANIK KÜMELER

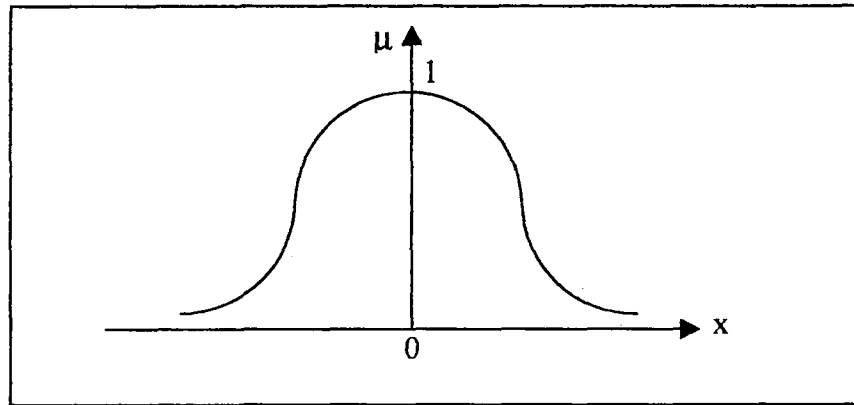
2.1. Bulanık Küme

Klasik küme teorisinde bir elemanı ele aldığımızda bu elemanı iki farklı kategoride değerlendirmeye alırız (örneğin iyi – kötü, tek – çift, siyah – beyaz gibi). Ancak gerçek hayatta bu iki değerli mantık çoğu uygulamada yeterli değildir. Genellikle bu iki değer arasındaki kesin sınır belirgin değildir.

Klasik küme teorisinde üyelik dereceleri yalnızca 0 ve 1 değerini alabilirler.[7]

Bir kümenin elemanları o kümeye $[0,1]$ arasında değişen üyelik dereceleri ile ait oluyorsa bu tür kümelere “bulanık kümeler” denir. Bulanık küme, $[0,1]$ arasında değerler alan üyelik fonksiyonu $\mu_A(x)$ tarafından tanımlanır. [8]

Örnek: A, sifıra yakın sayıların kümesi olsun. A için mümkün olan üyelik fonksiyonu, $\mu_A(x) = e^{-x^2}$ ise, bu Gaussian fonksiyonun sıfır değeri için, sifıra yakınlık üyelik fonksiyonu $\mu_A(0) = e^0 = 1$ dir.

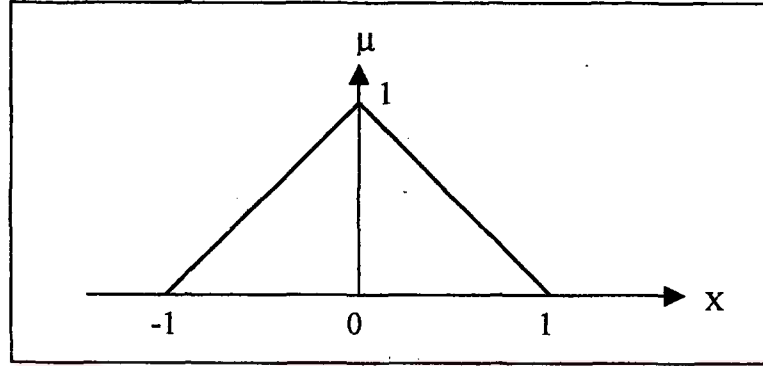


Şekil 2.1. Sifıra Yakın Olan Sayılar İçin Gaussian Üyelik Fonksiyonu

Üyelik fonksiyonunu şu şekilde de tanımlayabiliriz.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & , & \text{eğer } x < -1 \\ x+1 & , & \text{eğer } -1 \leq x < 0 \\ 1-x & , & \text{eğer } 0 \leq x < 1 \\ 0 & , & \text{eğer } 1 \leq x \end{cases}$$

μ_A üyelik fonksiyonuna göre -1 ve 1 arasındaki sayılar 0 ve 1 arasında üyelik derecesine sahiptir.



Şekil 2.2. Sıfıra Yakın Olan Sayılar İçin Üçgen Üyelik Fonksiyonu

Örnekten üç önemli sonuç çıkmaktadır.

1. Örnekte sıfıra yakın olan sayıları tespit ederken kesin bir tanım yoktur. Bundan dolayı problemi çözerken farklı üyelik fonksiyonları tanımlanabilir. Bununla birlikte üyelik fonksiyonları tek başlarına kesin matematiksel fonksiyonlardır. Bir bulanık problem için üyelik fonksiyonu belirlendiği zaman bulanıklık durumu ortadan kalkar.

2. Bulanık bir problemi çözerken nasıl bir üyelik fonksiyonu tanımlamalıyız?

Bunun için iki yöntem söz konusudur. Birinci yöntem; üyelik fonksiyonlarını belirlerken insan tecrübesi ve bilgisinden yararlanmaktır. İkinci yöntem ise; çeşitli sensörler aracılığıyla toplanan bilgilerden yararlanarak üyelik fonksiyonlarını oluşturmaktır.

3. Bir bulanık küme üyelik fonksiyonu ile bire-bir bir ilişkiye sahiptir. Yani bir bulanık kümeyle ilgili sadece bir üyelik fonksiyonu olmalıdır.

2.2. Temel Bulanık İşlemler

A ve B, üyelik fonksiyonları sırasıyla μ_A ve μ_B olan X evreninde tanımlanmış iki bulanık küme olmak üzere, klasik küme teorisinde tanımlanan işlemler onlar içinde tanımlanabilir. Buna göre $\mu \in X$ için,

$$\text{BİRLEŞME} \quad : \mu_{A \cup B}(x) = \max \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}$$

$$\text{KESİŞME} \quad : \mu_{A \cap B}(x) = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}$$

$$\text{TÜMLEME} \quad : \mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

şeklinde tanımlanır.[9]

2.3. Dilsel Değişkenler

Günlük hayatımızda kelimeler çoğunlukla değişkenleri ifade etmek için kullanılır. Örneğin, “Bugün hava çok sıcak !” veya “Bugün hava sıcaklığı yüksek”. Burada hava sıcaklığı kelimesi yüksek değişkeniyle tanımlanmaktadır. Burada 19 °C veya 25 °C gibi rakamsal ifadeler kullanmakta mümkündür. Rakamsal değerlerin yerini kelimeler almaya başladığı zaman bu bilgiyi formüle etmek için klasik matematiksel kurallar yetersiz kalmaktadır.

Dilsel bir değişken $(x, T(x), U, G, M)$ beşlisiyle karakterize edilmektedir.

x = Değişkenin ismi

$T(x)$ = x değişkeninin terim kümesidir. Bir başka deyişle x değişkeninin alabileceği, dilsel değişkenlerinin isimlerinden oluşan kümedir. Bu kümedeki her bir değer bulanık bir sayıdır.

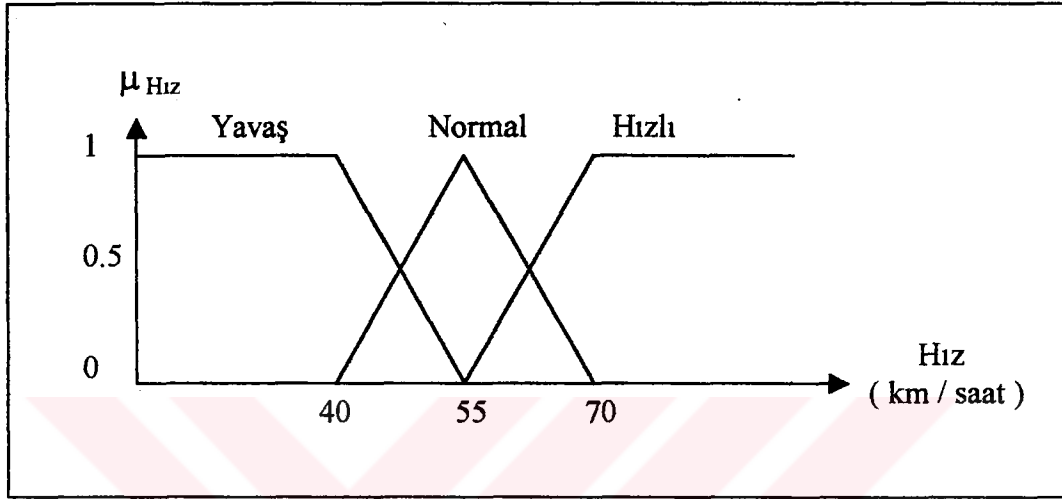
U = Bulanık sayıların tanımlandığı evren,

G = x değişkenini üretmek için kullanılan söz dizimi kuralı,

M = Bulanık küme U ile dilsel değişken değeri T' yi birbirine bağlayan anlamsal kurallardır.

Örneğin bir arabanın hızını dilsel değişken olarak ele alalım. Dilsel değişkenin alabileceği değerler, $T(\text{Hız}) = \{ \text{Yavaş}, \text{Normal}, \text{Hızlı} \}$ olarak tanımlanabilir.

$T(\text{Hız})$ 'daki her bir terim $U = [0, 100]$ evreninde tanımlanmış bir bulanık küme ile karakterize edilebilir. "Yavaş" terimi 40 km/saat altını, "Normal" terimi 55 km/saat civarını, "Hızlı" terimi de 70 km/saat üstünü temsil etmek üzere bu terimleri bulanık küme olarak aşağıdaki gibi karakterize edebiliriz.[9]



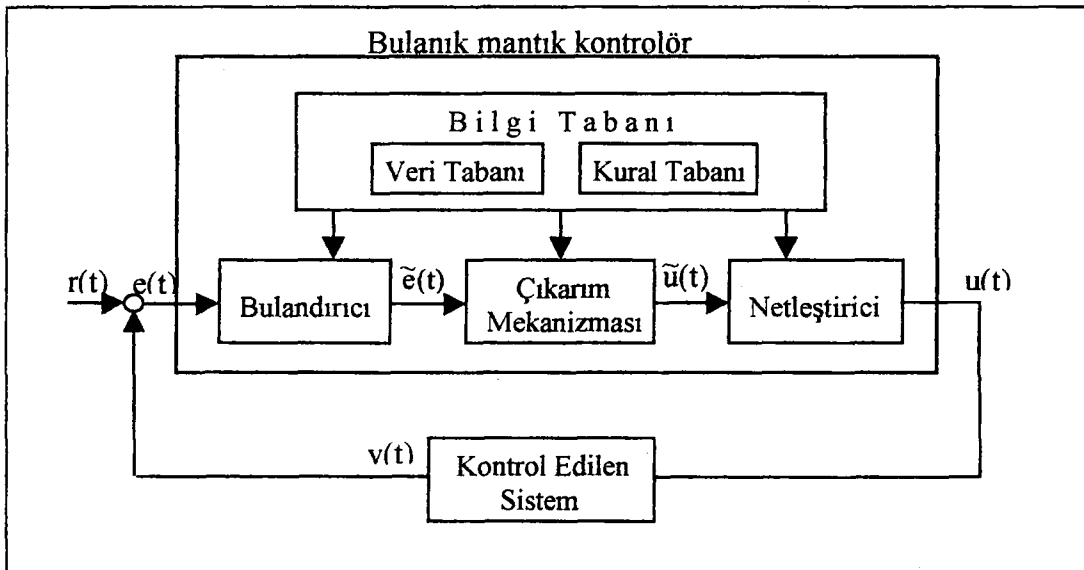
Şekil 2.3. Bir Arabanın Hız Tanımı İçin Bulanık Üyelik Fonksiyonu

BÖLÜM 3. BULANIK MANTIK KONTROLÖRLER

3.1. Giriş

Bulanık kontrolörler matematiksel modeli tam olarak elde edilemeyen, çok parametrelili ve nonlineer süreçlere uygulanmaktadır. Bulanık kontrolörde, uzman bilgisine dayanan dilsel kontrol stratejisini, otomatik kontrol stratejisine dönüştüren bir algoritma, geleneksel kontrol algoritmalarına göre daha iyi sonuç vermektedir. Son yıllardaki mikroişlemci teknolojisindeki gelişmeler bulanık kontrolörün artan bir ilgi ile birçok alanda kullanılmasına neden olmuştur. Bulanık kontrolörler uzman bir sistem olduğundan sürecin kontrolünde uzman bilgisine başvurulmaktadır. Uzman bilgisi dilsel EĞER - O HALDE kuralları haline getirilir ve bulanık kontrol algoritmasında kullanılır. Eğer uzman bilgisine ulaşamıyorsa bulanık kural tabanını oluşturmak için; varsa matematiksel model, simülasyonlar, sürecin bulanık modeli ve çeşitli öğrenme algoritmaları kullanılır.

Bir bulanık kontrolör şekil 3.1.'de görüldüğü gibi dört temel bileşenden oluşur. Bunlar ; Bulandırıcı, Bilgi Tabanı, Çıkarım Mekanizması, Netleştirici' dir.



Şekil 3.1. Tipik Bir Bulanık Kontrol Sistemi ve Bulanık Kontrolör Bileşenleri

3.1.1. Bulandırıcı

- a) Giriş değişkenlerinin değerini ölçer.
- b) Giriş bilgisini, uygun bulanık kümelerine üyelik fonksiyonuyla birlikte eşleme yapar, yani gerçek bir değeri, dilsel değişken değerine dönüştürür.
- c) Söylem evrenine ilişkin giriş değişkenleri, değer dağılım aralığına dönüştüren derecelendirmeyi sağlar.

3.1.2. Bilgi tabanı

Uygulama domen bilgisi ve mevcut olan kontrol amaçlarını oluşturur. Veri tabanı ve Kural tabanından ibarettir.

- a) Veri tabanı, dilsel kontrol kurallarını ve bulanık bilgi idaresini tanımlamak için gerekli olan ifadeleri sağlar.
- b) Kural tabanı, kontrol amaçlarını ve kontrol stratejisini belirler.

3.1.3. Çıkarım mekanizması

Bulanık Mantık Kontrolörün (BMK) çekirdek kısmıdır. Bu kısım insanın karar verme yeteneğinin benzeri bir yolla bulanık kavramları işler ve çıkarsamalar yaparak gerekli kontrolü belirler.

3.1.4. Netleştirici

- a) Ölçekleme ; söylem evrenine ilişkin çıkış değişkenlerini, değer dağılım aralığına dönüştürür.
- b) Netleştirme ; Çıkarılmış bulanık kontrol hareketinden bulanık olmayan kontrol hareketini oluşturur.

Kısaca, bulanık bir bilgiden bulanık olmayan ve uygulamada kullanılacak reel değerlere geri dönülür.

3.2. Bulandırıcı

Bulandırıcı ; $x_0 \in U \subset \mathbb{R}^n$, gerçek değerli noktadan U uzayındaki A bulanık kümesine bir fonksiyondur. Bulandırıcıyı tasarlarken şu kriterlere dikkat edilmelidir. İlk olarak, bulanık küme A' nın x_0 değerindeki geçişleri göz önüne alınmalıdır. İkinci olarak, bulanık kontrolöre alınan giriş gürültü nedeniyle bozulursa, bulandırıcı gürültüyü azaltacak yapıda olmalıdır. Üçüncü olarak ; bulandırıcı, bulanık çıkarım motorunda yapılacak hesaplamaları basitleştirmeye yardımcı olmalıdır.

Tek Noktalı Bulandırıcı, Gaussian Bulandırıcı, Üçgen Bulandırıcı gibi çeşitleri olmasına rağmen uygulamada çok yaygın olarak Tek Noktalı Bulandırıcı kullanılır.

3.2.1. Tek noktalı bulandırıcı

Tek noktalı bulandırıcı kuramsal olarak reel bir değeri söylem uzayında tanımlanmış bulanık singletona (üyelik fonksiyonu 1'e eşit olan nokta, tek nokta) dönüştürür. Bulanık singleton kesin bir değere sahiptir ve bulanıklık içermez. Bu strateji uygulaması kolay ve de doğal olduğu için bulanık kontrol uygulamalarında çok yaygın kullanılmaktadır. Şu şekilde yorumlanmaktadır, A bulanık kümesinin $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonu ; x_0 noktasında 1, diğer noktalarda 0'a eşittir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & , x = x_0 \\ 0 & , x \neq x_0 \end{cases}$$

Gözlenen bilgi rastgeledir. Bulandırıcı, olası bilgileri bulanık sayılara dönüştürmektedir. Bu yöntemle, hesaplanan verim yüksektir. Çünkü bulanık sayılar rastgele sayılara göre daha kolay idare edilir.

3.3. Bilgi Tabanı

BMK' nın bilgi tabanı, kural tabanı (bulanık kontrol kuralları) ve veri tabanı olarak isimlendirilen iki kısımdan oluşur. Veri tabanındaki fikirler BMK' daki bulanık kontrol kuralları ve bulanık bilgi değerlendirmesini karakterize etmek için kullanılır. Bu fikirler öznel olarak tanımlanır, deneyime ve mühendisin yargısına dayanır. Konuyla ilgili olarak doğru üyelik fonksiyonunun seçimi uygulamanın başarılı olmasında önemli rol oynar. [9]

3.3.1. Veri tabanı

- a) Giriş çıkış uzayları için ayrıklaştırma / normalizasyon
- b) Giriş çıkış uzaylarının bulanık bölümlenmesi
- c) Bütünsellik
- d) Temel bulanık kümenin üyelik fonksiyonunun seçimi

3.3.2. Kural tabanı

Bir BMK' da, bulanık sistemin dinamik davranışı; uzman bilgisine dayanan dilsel kural kümeleriyle karakterize edilir. Burada adı geçen uzman bilgisi genellikle “ eğer proses şu durumda ise o halde şöyle bir kontrol uygula ” şeklindedir. Kısaca; EĞER (Durum kümesini karşılar) - O HALDE (Sonuçların kümesini karşılar) kalıbı ile tanımlanabilir (IF-THEN kalıbı) . Bunlara bulanık koşul ifadeleri denir ve bulanık mantık içinde kolayca işlenirler. Bu kurallar bulanık sistemin temelidir. Bulanık kontrol kurallarının toplamı bir BMK' daki kural tabanı ve kural kümesini oluşturur.

Bir bulanık kontrol kuralı da bulanık bir koşul ifadesidir. Bir neden ve bir sonuçtan oluşur. Temel olarak, kontrol politikasını ve domen bilgisini ifade etmek için uygun bir yoldur. Bulanık kontrol kurallarındaki nedenler ve sonuçlar birden fazla olabilir. Bulanık kontrol kuralları sayısal terimlerden ziyade dilsel terimler olarak daha iyi formülize edilebilir. Dilsel değişkenlerin seçiminin BMK' nın performansı üzerine ikincil bir etkisi vardır. Bu değişkenlerin seçiminde deneyimlerin ve mühendislik bilgisinin önemli bir rolü vardır. Özellikle dilsel değişkenlerin seçiminin BMK' nın

dilsel yapısı üzerinde güçlü bir etkisi vardır. Tipik olarak BMK' daki dilsel değişkenler, genellikle durum değişkenleri hataları, bu hataların türevleri ve integralleri şeklindedir.

Bulanık kontrol kurallarının türetilmesinin 4 değişik biçimi vardır. Etkin bir yöntem oluşturmak için bunların birleştirilmesi uygun olur.[1]

1 - Uzman deneyimi ve kontrol mühendisliği bilgisi :

Bulanık kontrol kuralları bulanık durum ifadeleri şeklindedir ($a \Rightarrow b'$ gibi). Kuralların neden kısmı, proses durum değişkenlerinden; sonuç kısmı ise BMK' nın kontrol çıkışından (proses girişi) oluşur. Bulanık kontrol kuralları, insan davranış ve karar analizinin karakterize edilmesi için doğal bir çalışma çerçevesi sağlar. Dolayısıyla bir prostedeki uzmanın veya operatörün bilgilerinden ve deneyimlerinden yararlanma açısından BMK yapısı çok uygundur. Bu yüzden birçok uzman, uygulama alanındaki bilgileri aktarmanın en uygun yolunun, bulanık kontrol kuralları olduğu konusunda birleşmişlerdir.

2 – Operatörün kontrol işlemlerine dayalı olarak :

Yetenekli insan operatörleri kafalarında herhangi bir matematiksel model olmaksızın başarılı bir şekilde karmaşık sistemleri kontrol edebilirler ve bunu yaparken bilinçsiz olarak bir çok bulanık kontrol kuralından yararlanırlar. Bu açıdan bakıldığında operatörün uyguladığı kuralları, bulanık kontrol kuralları olarak oluşturmak faydalı olacaktır.

3 – Prosesin bulanık modeline dayalı olarak :

Kontrol edilen sistemin dinamik özelliklerinin dilsel olarak tasvir edilmesine dayanır. Böyle bir tanımlamaya prosesin bulanık modeli gözüyle bakılır. Elde edilen bulanık modele göre kontrol kuralları üretilir. Bu yöntem daha karmaşık olmasına rağmen iyi performans sağlamaktadır ama geliştirilmeye ihtiyacı vardır.

4 – Öğrenmeye dayalı olarak :

Birçok BMK, insan karar verme davranışını taklit etmek için oluşturulmuştur. Fakat birkaçı insan öğrenmesi üzerinde yoğunlaştı. Şöyleki, bulanık kontrol kurallarını oluşturma yeteneği ve deneyime dayalı olanları değiştirme yeteneği gibi kendi kendini organize eden kontrolör tanımlandı. Bu konudaki ilginç örneklerden birisi Sugeno' nun bulanık mantık kontrollü otomobilidir ki kendi kendine park etmeyi öğrenebilmektedir.

3.3.3. Bulanık kontrol kural tipleri

Bulanık kontrol kuralları iki tiptedir. Bunlar durum değerlendiren ve amaç değerlendiren kontrol kurallarıdır.

1 – Durum değerlendiren bulanık kontrol kuralları

Çoğu BMK, durum değerlendiren bulanık kontrol kurallarına sahiptir. Çok girişli ve çok çıkışlı bir sistem için aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\begin{array}{l}
 R_1 : \text{EĞER } x = A_1 \text{ ve } y = B_1 \text{ ise O HALDE } z = C_1 , \\
 R_2 : \text{EĞER } x = A_2 \text{ ve } y = B_2 \text{ ise O HALDE } z = C_2 , \\
 \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\
 R_n : \text{EĞER } x = A_n \text{ ve } y = B_n \text{ ise O HALDE } z = C_n
 \end{array}$$

x, y : proses durum değişkenlerini ifade eden dilsel değişkenler,

z : kontrol değişkenini ifade eden dilsel değişken,

A_i, B_i, C_i : x, y ve z değişkenlerinin dilsel değerleri ($i = 1, 2, 3, \dots, n$)

Genel gösterimde sonuç, proses durum değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak ifade edilir.

$$R_i : \text{EĞER } x = A_i \text{ ve } y = B_i \text{ ise O HALDE } z = f_i(x, \dots, y)$$

Bu tipe durum değerlendiren bulanık denetim kuralları denir.

2 – Amaç değerlendiren bulanık kontrol kuralları

Kurallar deneyimli bir operatörün tecrübesinden yararlanılarak oluşturulur.

Örneğin ;

$R_i : \text{EĞER } (V ; C_i \rightarrow (x ; A_i \text{ ve } y ; B_i)) \text{ ise O HALDE } V ; C_i' \text{ dir.}$

Dilsel olarak şu şekilde yorumlanır. EĞER $x ;$ performans indeksi , A_i ve $y ; B_i$ ise O HALDE kontrol komutu C_i seçilir. Bunun sonucunda C_i kontrol komutu bir kontrolörün çıkışı olarak alınır. Daha karmaşık olmasına rağmen bu yöntem trenlerin ve vinçlerin otomatik kontrolünde başarıyla uygulanmaktadır.

3.4. Çıkarım Mekanizması

Bulanık çıkarımda ; bulanık mantık işlemleriyle, bulanık kural tabanındaki EĞER – O HALDE kurallarını birleştirerek giriş ve çıkış bulanık uzayı arasında bir bağıntı oluşturulur.

Çoğu pratik sistemde bulanık kural tabanı birçok kuraldan oluşur. Bu kurallarla bir bulanık çıkarım yapmak için iki yöntem vardır. Bu yöntemler birleşik tabanlı çıkarım ve tek kural tabanlı çıkarım yöntemleridir.

3.4.1. Birleşik tabanlı çıkarım

Birleşik tabanlı çıkarımda, bulanık kural tabanındaki bütün kurallar tek bir bulanık bağıntıyla birleştirilerek $U \times V$ uzayındaki tek bir bulanık üyeliğe indirgenir. Bu birleştirme uygun mantıksal operatörler kullanarak yapılır. Bu operatörler birleşme ve kesişme operatörleri olabilir. Birbirinden bağımsız koşullar içeren kurallar varsa en iyi yöntem birleşme özelliğini kullanmaktır, ancak birbirine bağlı koşullar içeren kurallar varsa bu durumda kesişme özelliği kullanılmalıdır.

$Ru^{(l)}$, EĞER – O HALDE kuralını gösteren $U \times V$ uzayında

$Ru^{(l)} = A_1^l \times A_2^l \times \dots \times A_n^l \rightarrow B^l$ şeklinde bir bulanık bağıntı olsun.

$A_1^I \times A_2^I \times \dots \times A_n^I$, $U = U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n$ uzayında aşağıdaki ifade tarafından belirlenen bir bulanık bağıntıdır.

$$\mu_{A_1^I} \times \mu_{A_2^I} \times \dots \times \mu_{A_n^I} (x_1, x_2, \dots, x_n) = \mu_{A_1^I}(x_1) * \dots * \mu_{A_n^I}(x_n)$$

Birbirinden bağımsız kurallar olması halinde M tane kuraldan $U \times V$ uzayında tek bir Q_M bağıntısı çıkarılır.

$$Q_M = \bigcup_{l=1}^M R_{u^{(l)}} \text{ ya da } \mu_{Q_M}(x,y) = \mu_{R_{u^{(1)}}}(x_1) + \dots + \mu_{R_{u^{(M)}}}(x_n)$$

Bu kombinasyon Mamdani Kombinasyonu olarak adlandırılır. + sembolü s normu için kullanılmaktadır.

Birbirine bağlı koşulların bulunduğu kurallarda, Q_G , M tane bulanık EĞER- O HALDE kuralından $U \times V$ uzayında bir bulanık bağıntı olarak tanımlanırsa

$$Q_G = \bigcup_{l=1}^M R_{u^{(l)}} \text{ ya da } \mu_{Q_G}(x,y) = \mu_{R_{u^{(1)}}}(x_1) + \dots + \mu_{R_{u^{(M)}}}(x_n)$$

Bu kombinasyon ise Gödel kombinasyonu olarak adlandırılır. * operatörü t-normunu göstermektedir.

Q_M ve Q_G tek bir bulanık kural olmak üzere bulanık çıkarım çıkışı, Mamdani kombinasyonu ile ;

$$\mu_B(y) = \sup t [\mu_A(x), \mu_{Q_M}(x,y)]$$

Gödel kombinasyonu ile ;

$$\mu_B(y) = \sup t [\mu_A(x), \mu_{Q_G}(x,y)]$$

3.4.2. Tek kural tabanlı çıkarım

Tek kural tabanlı çıkarımda, kural tabanındaki her bir kural tek bir çıkış bulanık kümesi tanımlar ve tüm bulanık çıkarımın çıkışı M adet bulanık kümenin kombinasyonundan oluşur. Kombinasyon birleşme veya kesişme özellikleri kullanılarak alınabilir.

$$\mu_B(y) = \sup t [\mu_A(x), \mu_{Ru}^{(l)}(x,y)]$$

$$\mu_B(y) = \mu_{B1}(y) + \mu_{B2}(y) + \dots + \mu_{BM}(y)$$

$$\mu_B(y) = \mu_{B1}(y) * \mu_{B2}(y) * \dots * \mu_{BM}(y)$$

3.4.3. En çok kullanılan çıkarım mekanizmaları

- Çarpım Çıkarım Motoru : Bu çıkarım motorunda kullanılan
 1. Birleşme kombinasyonu ile tek kural tabanlı çıkarım
 2. Mamdani çarpım bağıntısı
 3. Tüm t-normu operatörleri için cebirsel çarpım ve s-normu operatörleri için maksimum

$$\mu_B(y) = \max_{l=1}^M [\sup (\mu_A(x) \prod_{i=1}^n \mu_{A_i}^{-1}(x_i) \mu_B^{-1}(y))]$$

- Minimum Çıkarım Motoru :
 1. Birleşme kombinasyonu ile tek kural tabanlı çıkarım
 2. Mamdani minimum bağıntısı
 3. Tüm t-normu operatörleri için minimum ve s-normu için maksimum

$$\mu_B(y) = \max_{l=1}^M [\sup \min (\mu_A(x), \mu_{A_1}^{-1}(x_1), \mu_{A_2}^{-1}(x_2), \mu_B^{-1}(y))]$$

Çarpım ve minimum çıkarım metotları bulanık sistemlerde ve kontrolde en çok kullanılan çıkarım metotlarıdır. Bu yöntemlerin en önemli avantajları hesaplama ve programlama basitlikleridir. Dezavantajı ise, eğer bazı $x \in U$ noktalarında $\mu_{A_i}^{-1}(x_i)$ çok küçükse hesaplanan $\mu_B(y)$ çok küçük olacaktır.

- Zadeh Çıkarım Motoru :

$$\mu_B(y) = \min_{l=1}^M \{ \sup \min [\mu_{A_l}(x), \max (\min (\mu_{A_1}^{-1}(x_1), \dots, \mu_{A_n}^{-1}(x_n), \mu_B^{-1}(y)), 1 - \min_{l=1}^n (\mu_{A_l}^{-1}(x_l)))] \}$$

3.5. Netleştirici

Netleştirici $V \subset R$ uzayında B' bulanık kümesinin $y^* \in V$ geçiş noktasına dağılımıdır. Kavramsal olarak netleştiricinin görevi bulanık küme B' yi V uzayında en iyi temsil eden noktayı belirlemektir. Bu noktayı belirlerken farklı metotlar kullanılabilir. Aşağıdaki üç kriter netleştirici seçimi yapılırken göz önünde bulundurulmalıdır.

- Uygun Olması (Plausibility) : y^* noktası sezgisel olarak B' bulanık kümesini temsil etmelidir.
- Hesaplama Kolaylığı : Bu kriter özellikle gerçek zamanda çalışan bulanık kontrolörler için önemlidir.
- Süreklilik : B' bulanık kümesindeki küçük bir değişiklik y^* ' da çok büyük bir değişikliğe neden olmamalıdır.

3.5.1. Maksimum kriteri metodu

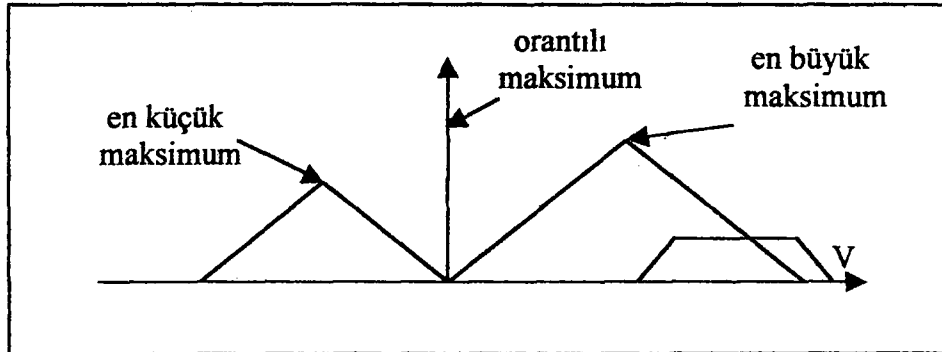
Maksimum kriteri kullanan netleştirici kavramsal olarak, V uzayındaki y^* noktasını $\mu_B(y)$ üyelik fonksiyonunun maksimum değerini aldığı nokta olarak seçilir. Maksimum netleştirici hesaplama açısından basittir. Ancak en küçük bir değişimde y^* değeri büyük değişiklikler gösterebilir.

$$\text{hgt}(B') = \{ y \in V \mid \mu_B(y) = \sup \mu_B(y) \}$$

$\text{hgt}(B')$, V uzayında $\mu_B(y)$ 'nin maksimum değerlerini aldığı noktalar kümesidir. Maksimum netleştirici y^* , $\text{hgt}(B')$ kümesinde herhangi bir elemandır. Şekil 3.2.' de verildiği gibi en küçük maksimum netleştirici, en büyük maksimum netleştirici ve orantılı maksimum netleştirici olmak üzere 3 farklı yöntemle netleştirme işlemi yapılabilir. Orantılı maksimum netleştirici şu şekilde verilmektedir.

$$y^* = \frac{\int_{\text{hgt}(B')} y dy}{\int_{\text{hgt}(B')} dy}$$

Maksimum netleştirici hesap açısından basit bir netleştirme yöntemidir.



Şekil 3.2. Maksimum Kriterli Netleştirici

3.5.2. Maksimumların ortalaması metodu (MOM)

Eğer birden fazla maksimumlara ulaşan nokta varsa bu durumda bunların ortalaması kesin kontrol eylemi olarak kullanılır. Örneğin n tane maksimuma ulaşan w_j noktası varsa,

$$z_0 = \sum_{j=1}^n \frac{w_j}{n}$$

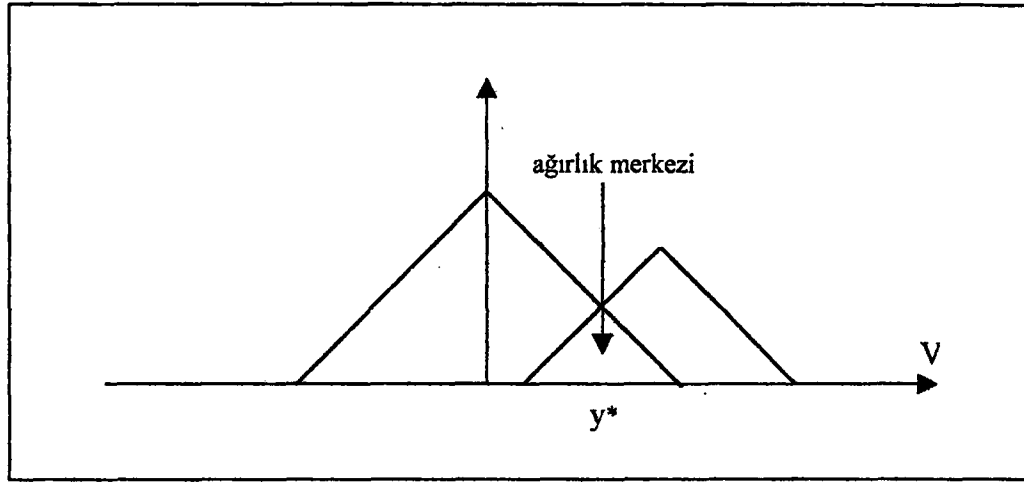
formülü ile prosesin kontrol eylemi hesaplanır.

3.5.3. Ağırlık merkezi metodu

Netleştiricinin ağırlık merkezi, B' bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu tarafında kapsanan alanın merkezi olarak y^* 'yü temsil etmektedir.

$$y^* = \frac{\int_V y \mu B'(y) dy}{\int_V \mu B'(y) dy}$$

Bu işlem grafiksel olarak Şekil 3.3.' te görülmektedir.



Şekil 3.3. Ağırlık Merkezli Netleştirici

Eğer $\mu_B(y)$ rastgele değişkenin olasılık yoğunluk fonksiyonu ise netleştiricinin ağırlık merkezi rastgele değişkenin ortalama değerini vermektedir. Bazen $y \in V$ için B' kümesindeki üyelik değerleri çok küçük ise bu indeksli netleştirici ağırlık merkezini verir.

$$y^* = \frac{\int_{V_\alpha} y \mu B'(y) dy}{\int_{V_\alpha} \mu B'(y) dy} \quad V_\alpha = \{ y \in V \mid \mu_B(y) \geq \alpha \} \quad \alpha : \text{sabit}$$

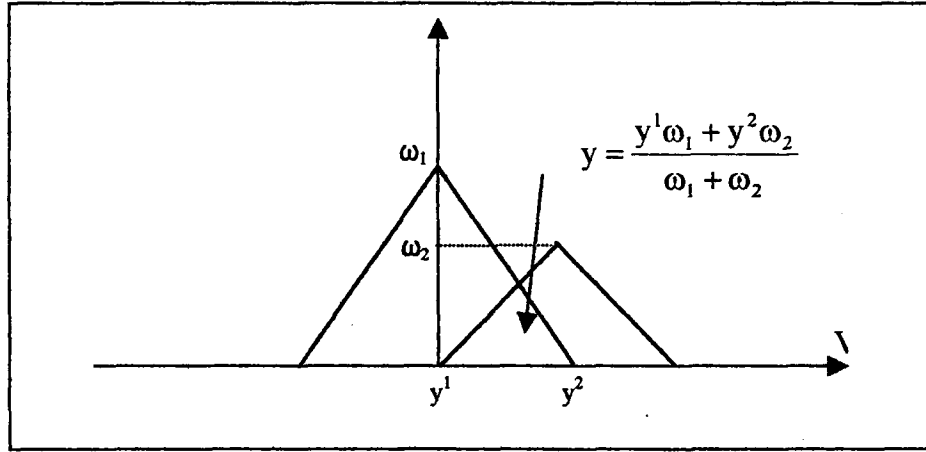
Ağırlık merkezli netleştiricinin avantajı uygunluğudur. Dezavantajı ise hesaplama açısından zor olmasıdır. Çoğunlukla $\mu_B(y)$ üyelik fonksiyonu kolay hesaplanabilir yapıda olmadığından dolayı integrasyon hesaplamalarını yapmak oldukça zordur.

3.5.4. Ortalama merkezi metodu

M tane bulanık küme için y^l , l . bulanık kümenin merkezi ve ω_l kümenin yüksekliği olmak üzere ortalama merkezli netleştirici y^* şu şekilde gösterilir.

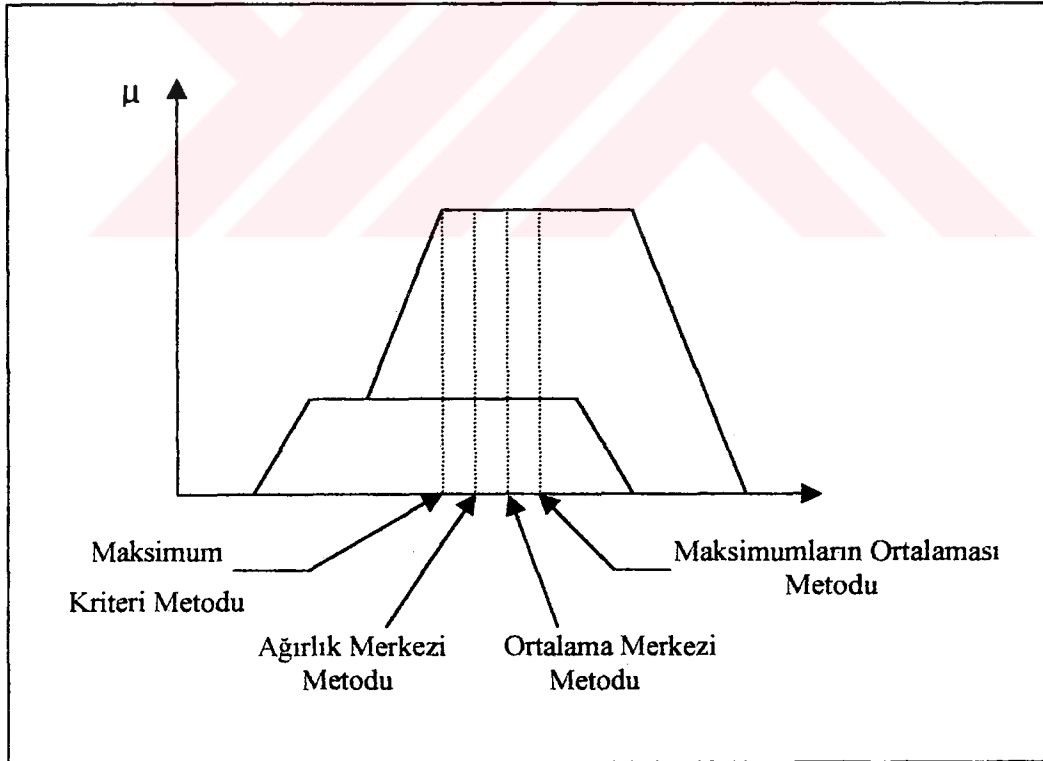
$$y^* = \frac{\sum_{l=1}^M y^l \omega_l}{\sum_{l=1}^M \omega_l}$$

M = 2 için Şekil 3.4. ' te grafiksel olarak bir örnek verilmektedir.



Şekil 3.4. Ortalama Merkezli Netleştirici

Ortalama merkezli netleştirici, hesaplama kolaylığı açısından ve diğer açılardan bulanık sistemlerde ve kontrolde en çok kullanılan yöntemdir.



Şekil 3.5. Değişik Netleştirme Metotlarına Ait Diyagram

BÖLÜM 4. BULANIK MANTIK KONTROLÖR ile KLASİK PID KONTROLÖR ALGORİTMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI

4.1. Giriş

Günümüze kadar, klasik PID kontrolörler basit yapıları ve uygun maliyetleri nedeniyle endüstride en çok kullanım alanları olan kontrolörler olmuşlardır. Ancak PID tip kontrolörlerin sistem nonlineerlik taşıdığına uygun kontrol imkanı sağlayamadıkları bilinmektedir. Bu yüzden bu tip sistemler için başka kontrol imkanları aranmış ve bunlardan biri olan bulanık mantık kontrol sistemleri geliştirilmiştir.

Bu gelişim kendini çeşitli tasarımlarla göstermiştir. Mamdani' nin 1974' te tasarladığı iki girişli bulanık PID kontrolör tasarımını, Maeda ve Murakami (1992)' nin üç girişli bulanık PID' si ve en son 1997' de Hu, Mann ve Gosine' nin bir girişli bulanık PID kontrolör tasarımı izlemiştir. Bu bölümde, bahsedilen tasarımlardan iki girişli, bir girişli bire-bir ve bir girişli bire-üç bulanık PID kontrolörlerin birinci dereceden, ikinci dereceden, marjinal kararlı sistemleri ve bunların ölü zamanlı sistemleri üzerinde uygulaması yapılarak, karşılaştırılmaları bir başlık altında verilmiştir.

Yine bu bölümde yukarıda bahsedilen üç farklı bulanık PID kontrolörün, klasik PID kontrolörle lineer olmayan bir sistem üzerinde karşılaştırılması yapılmıştır.

Özellikle sistem parametreleri değiştirildiğinde elde edilen sonuçlar PID ile bulanık kontrolör konusundaki ayrımı bize açıkça göstermiştir. Bu analizleri yaparken bulanık mantık kontrolörlerin tasarlanmasında Matlab / Fuzzy Logic Toolbox' tan yararlanılmıştır. Grafiksel gösterimler de Simulink ortamında elde edilmiştir.

4.2. Üç Farklı Bulanık PID Kontrolör Tasarımının Karşılaştırılması

Daha önce bahsedildiği gibi bulanık kontrolörler oldukça hızlı bir gelişim süreci geçirmiştir. Bu gelişim sürecinde değişik kontrolör tasarımları bulunmuştur ve bunların hangisinin daha iyi performans sağladığı araştırmaları güncel bir konu haline almıştır. Bu bölümde Mamdani' nin 1974' te tasarladığı iki girişli bulanık PID kontrolör ile Hu, Mann ve Gosine' nin 1997' de tasarladıkları bir girişli (bire-bir ve bire-üç) bulanık kontrolörün karşılaştırılması yapılacaktır. Sistem olarak birinci dereceden, ikinci dereceden, marjinal kararlı sistemler ve bu sistemlerin ölü zamanlı yapıları seçilmiş olup, yorumlar bu sistemler üzerinde yapılmıştır.

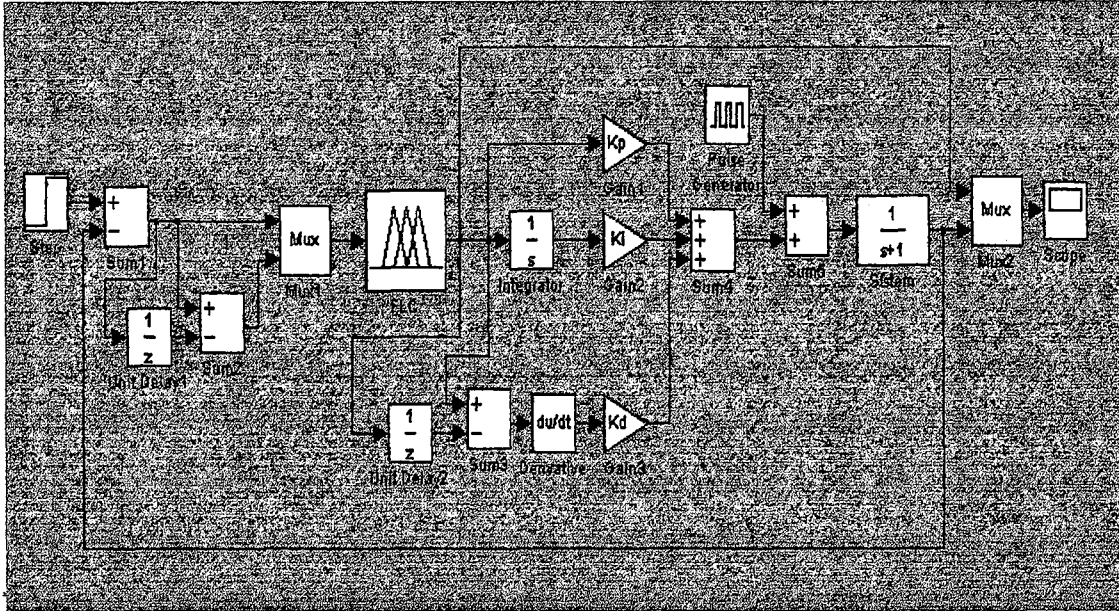
4.2.1. İki girişli bulanık PID kontrolör tasarımı

Uygulamada en çok rastlanılan kontrolör tasarımıdır. Giriş olarak hata ve hatanın değişimi kullanılmaktadır. Bu tasarıma ilişkin simulink yapısı Şekil 4.1.A ve Şekil 4.1.B' de gösterilmiştir. Bahsedilen simulink yapısındaki sistem bloğu sırasıyla Şekil 4.1.A için $G1(s) = 1 / s + 1$, $G2(s) = 1 / s^2 + s + 0.2$, $G3(s) = 1 / s^2 + s$, Şekil 4.1.B için $G11(s) = e^{-s} / s + 1$, $G22(s) = e^{-0.3s} / s^2 + s + 0.2$, $G33(s) = e^{-0.3s} / s^2 + s$ olarak seçilmiştir. Sistemde yer alan FLC bloğun tasarımında Fuzzy Logic Toolbox' tan yararlanılmış olup, ayrıntılar EK- A' da verilmiştir. Tasarımın simülasyon sonuçları ise diğer kontrolörlerin çıktılarıyla karşılaştırma kolaylığı açısından Şekil 4.4' te yer almaktadır.

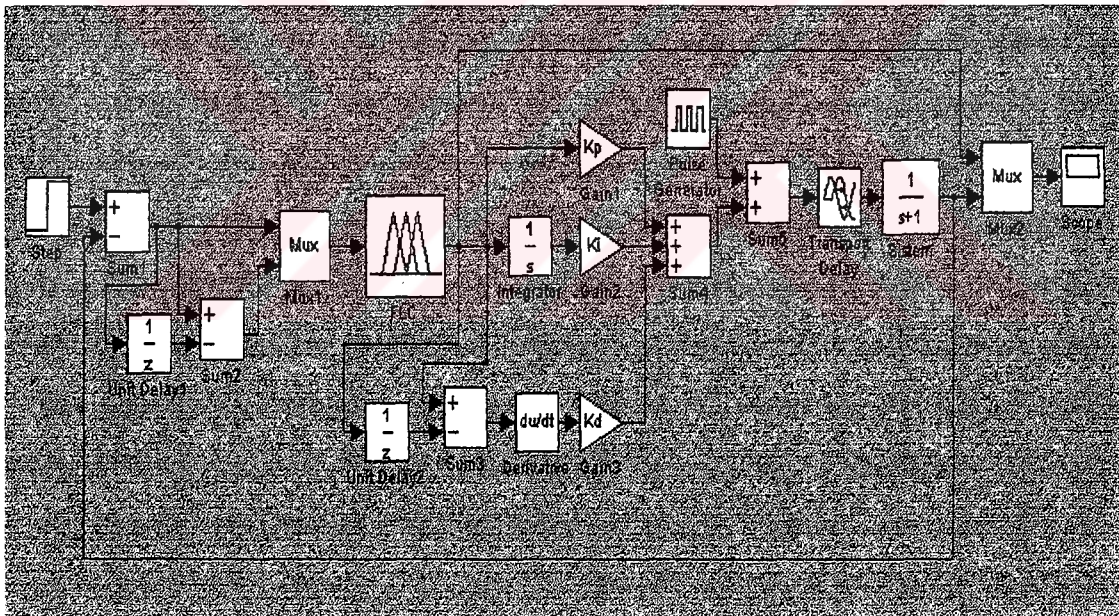
4.2.2. Tek girişli bulanık PID kontrolör tasarımı

4.2.2.1. Tek girişli bire-bir bulanık PID kontrolör tasarımı

Şekil 4.2.A ve Şekil 4.2.B' de görülen yapıya ilişkin bir tasarım yapılmaktadır. Görüldüğü gibi giriş olarak tek hata değeri alınmış ve bir adet FLC bloğundan yararlanılmıştır. Bu sisteme ilişkin FLC bloğun ayrıntıları EK-B' de , simülasyon çıktıları da Şekil 4.4' te yer almaktadır.



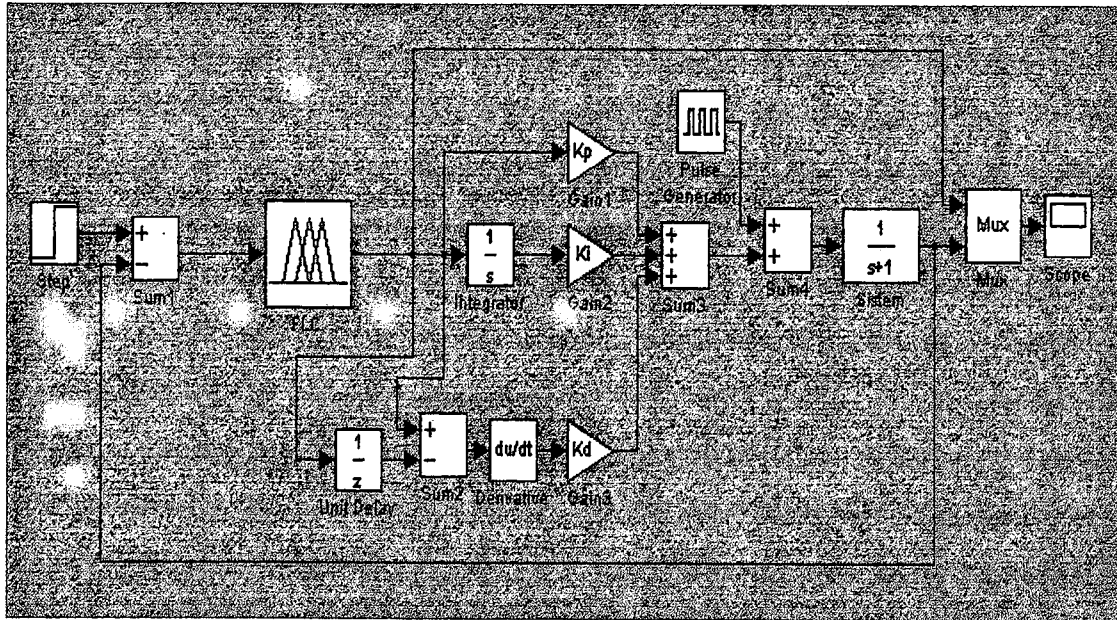
(A)



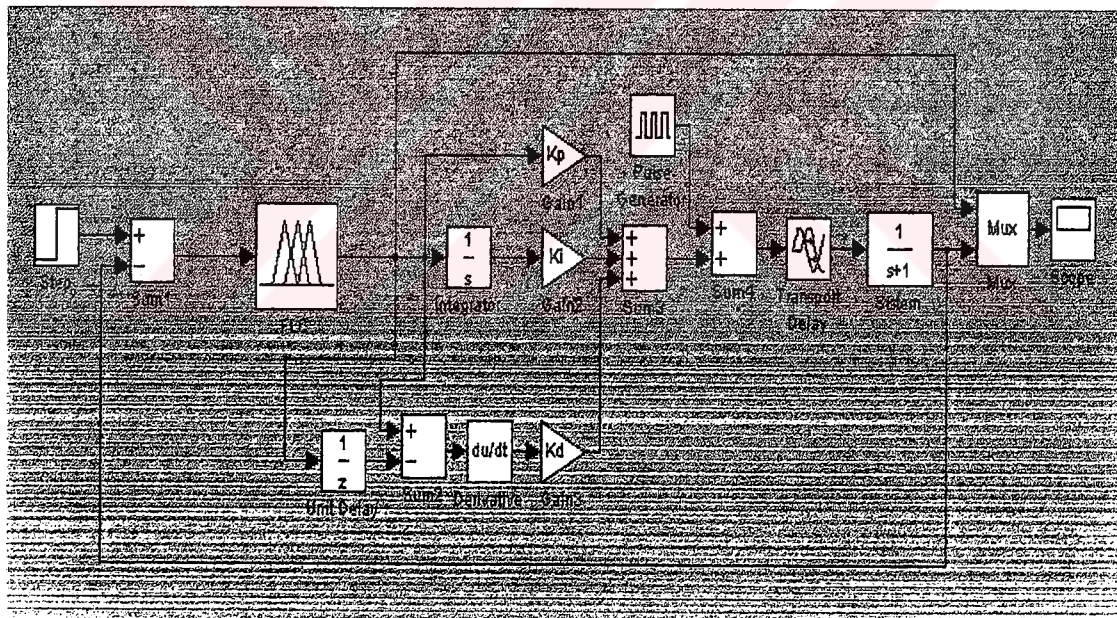
(B)

Şekil 4.1. A- İki Girişli Bulanık PID Tasarımı

B- Ölü Zamanlı Sisteme İlişkin İki Girişli Bulanık PID Tasarımı



(A)



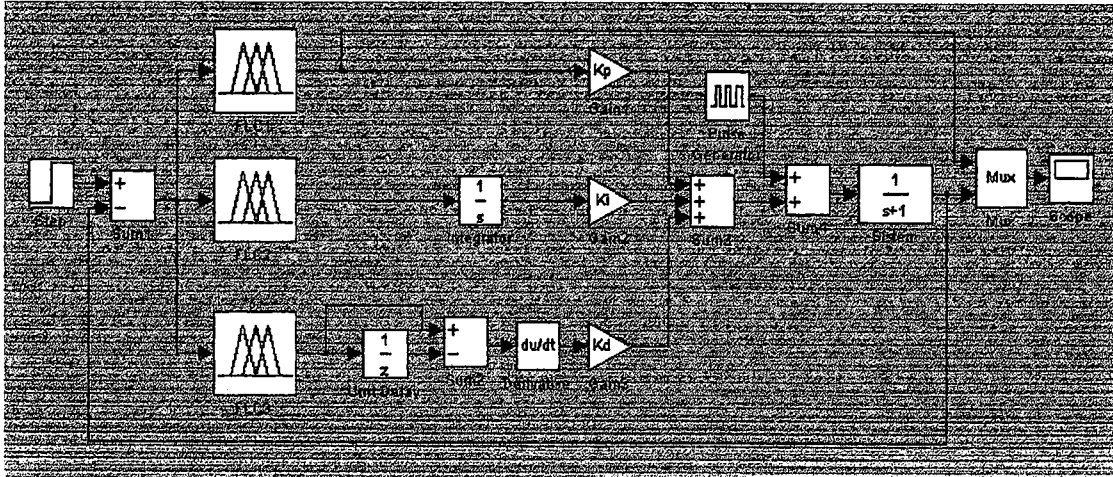
(B)

Şekil 4.2. A- Tek Girişli Bire-Bir Bulanık PID Tasarımı

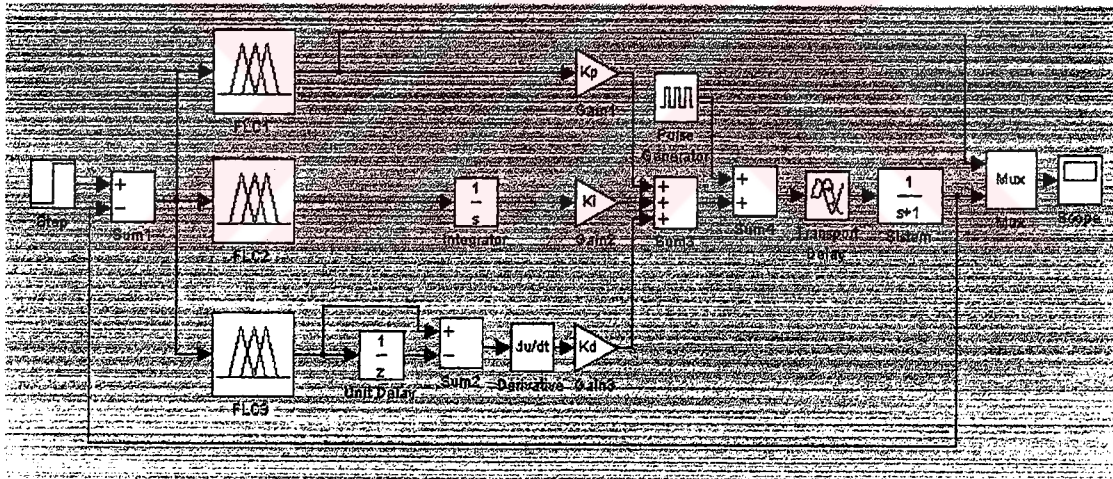
B- Ölü Zamanlı Sisteme İlişkin Tek Girişli Bire-Bir Bulanık PID Tasarımı

4.2.2.2. Tek girişli bire-üç bulanık PID kontrolör tasarımı

Aşağıda görüldüğü gibi tasarımda 3 tane FLC bloktan yararlanılmıştır ve yine giriş olarak sadece hata değeri alınmıştır. FLC' ler EK-B' dekinin aynıdır. Bu sisteme ilişkin simülasyon çıktıları da Şekil 4.4' te yer almaktadır.

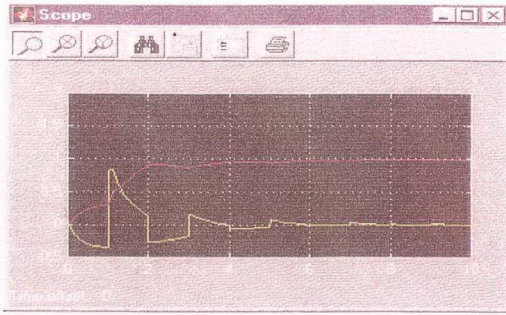


Şekil 4.3. A- Tek Girişli Bire-Üç Bulanık PID Tasarımı

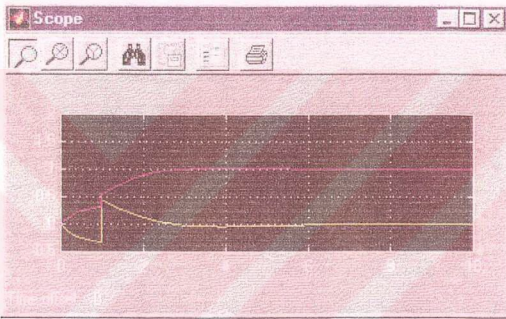


Şekil 4.3. B- Ölü Zamanlı Sisteme İlişkin Tek Girişli Bire-Üç Bulanık PID Tasarımı

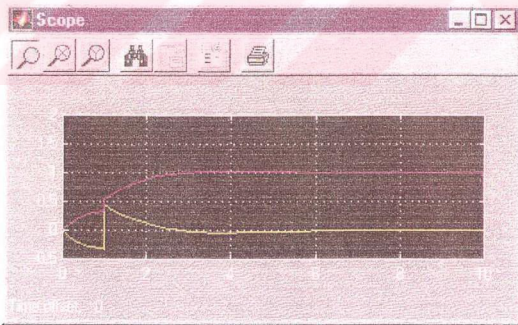
Sonuçta Şekil 4.4' teki simülasyon sonuçları incelendiğinde, tek girişli bulanık PID' lerin iki girişli bulanık PID' ye göre çok daha iyi kontrol imkanı sağladığı gözlemlenmiştir. Özellikle bu gözlem ölü zamanlı sistemlerde açıkça görülmektedir. Tek girişli bire-bir ve bire- üç arasında bu sistemlere ilişkin pek fark olmadığı görülmekle birlikte pratikte tek girişli bire-üç tasarımının daha iyi sonuç verdiği söylenmektedir.



(A1)



(A2)



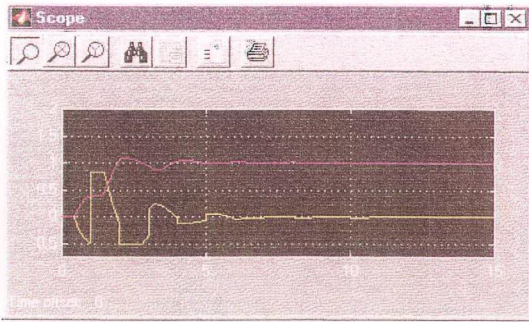
(A3)

Şekil 4.4 A. Birinci Dereceden Sisteme İlişkin Simülasyon Sonuçları

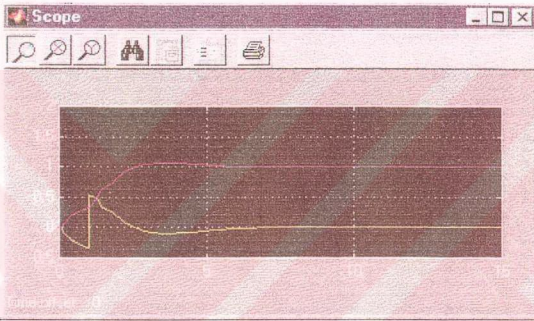
A1 – İki Girişli Bulanık PID Tasarımı İçin

A2 – Tek Girişli Bire-Bir Bulanık PID Tasarımı İçin

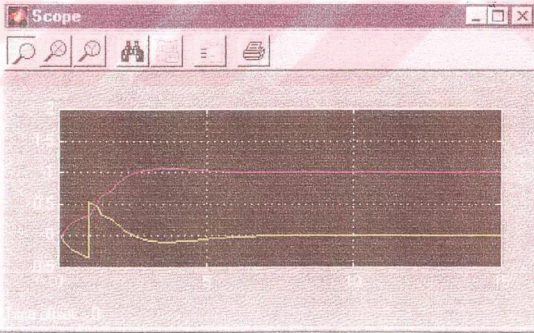
A3 – Tek Girişli Bire-Üç Bulanık PID Tasarımı İçin,



(B1)



(B2)



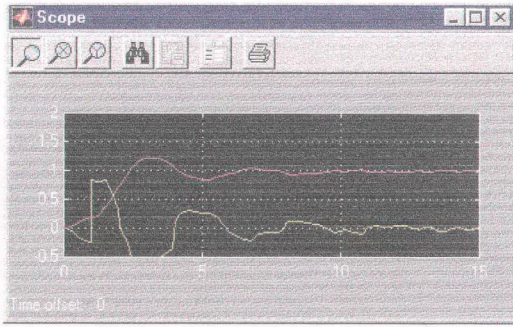
(B3)

Şekil 4.4 B. Birinci Dereceden Ölü Zamanlı Sisteme İlişkin Simülasyon Sonuçları

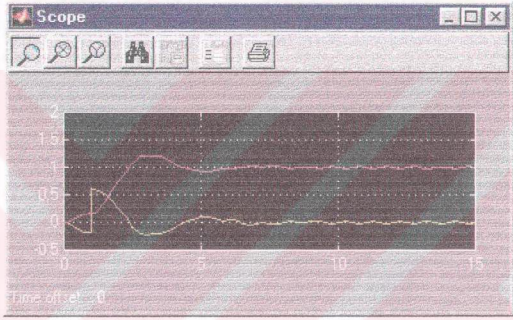
B1 – İki Girişli Bulank PID Tasarımı İçin

B2 – Tek Girişli Bire-Bir Bulank PID Tasarımı İçin

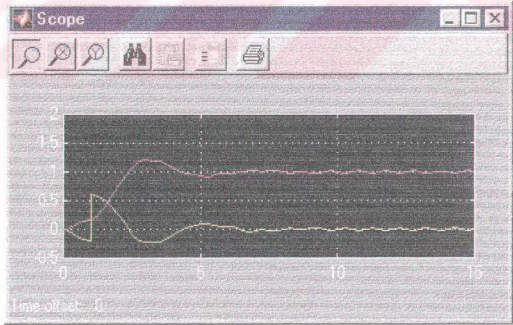
B3 – Tek Girişli Bire-Üç Bulank PID Tasarımı İçin



(C1)



(C2)



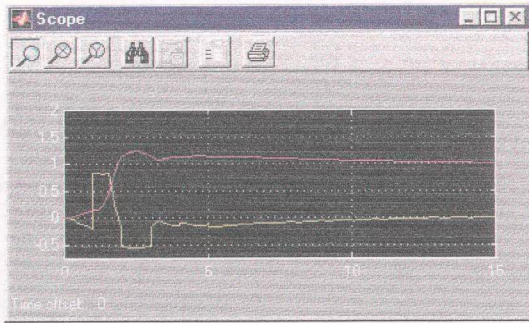
(C3)

Şekil 4.4 C. İkinci Dereceden Sisteme İlişkin Simülasyon Sonuçları

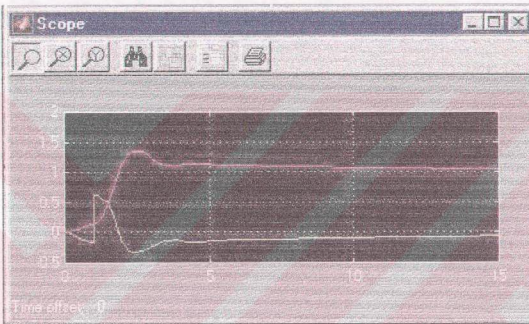
C1 – İki Girişli Bulanık PID Tasarımı İçin

C2 – Tek Girişli Bire-Bir Bulanık PID Tasarımı İçin

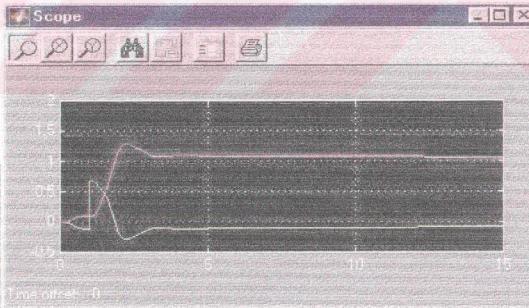
C3 – Tek Girişli Bire-Üç Bulanık PID Tasarımı İçin



(D1)



(D2)



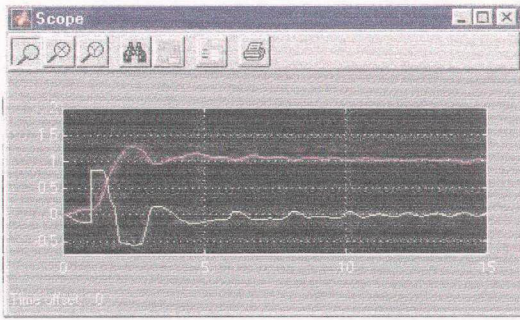
(D3)

Şekil 4.4 D. İkinci Dereceden Ölü Zamanlı Sisteme İlişkin Simülasyon Sonuçları

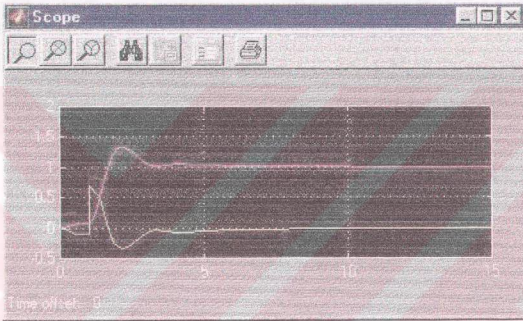
D1 – İki Girişli Bulank PID Tasarımı İçin

D2 – Tek Girişli Bire-Bir Bulank PID Tasarımı İçin

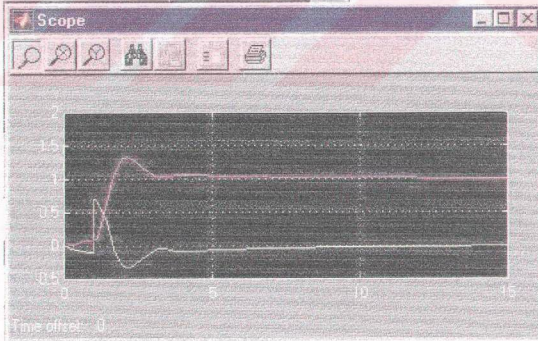
D3 – Tek Girişli Bire-Üç Bulank PID Tasarımı İçin



(E1)



(E2)



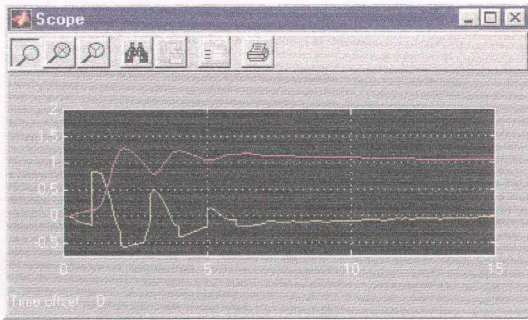
(E3)

Şekil 4.4 E. Marjinal Kararlı Sisteme İlişkin Simülasyon Sonuçları

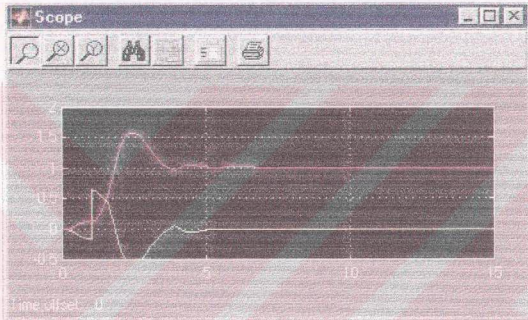
E1 – İki Girişli Bulanık PID Tasarımı İçin

E2 – Tek Girişli Bire-Bir Bulanık PID Tasarımı İçin

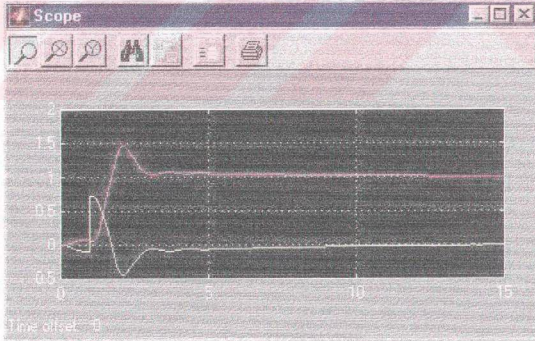
E3 – Tek Girişli Bire-Üç Bulanık PID Tasarımı İçin



(F1)



(F2)



(F3)

Şekil 4.4 F. Marjinal Kararlılı Ölü zamanlı Sisteme İlişkin Simülasyon Sonuçları

F1 – İki Girişli Bulanık PID Tasarımı İçin

F2 – Tek Girişli Bire-Bir Bulanık PID Tasarımı İçin

F3 – Tek Girişli Bire-Üç Bulanık PID Tasarımı İçin

4.3. Üç Farklı Bulanık PID Kontrolör Tasarımının Nonlineer bir Sistem Üzerinde Klasik PID Kontrolör ile Karşılaştırılması

Bu bölümde yukarıda tasarladığımız üç ayrı bulanık mantık kontrolörün, klasik PID kontrolörle nonlineer bir sistem üzerinde karşılaştırması yapılmıştır. Nonlineer sistem olarak aşağıdaki yapı seçilmiştir.

$$\ddot{y} + 2.0 \xi \sigma \dot{y} + \sigma^2 y = \sigma^2 u$$

Bütün simülasyon çalışmalarında $T=0.05$ sn alınmıştır. Bulanık mantık kontrolöre ilişkin simulink yapıları Şekil 4.5.A, Şekil 4.6.A, Şekil 4.7.A ' da gösterilmiş olup tasarımlarda görülen nonlineer sisteme ilişkin K kazancı sistem parametreleri ξ ve σ değiştirilerek sırasıyla $K=2$, $K=1.4$ ve $K=0.8$ yapılarak gerkli simülasyon sonuçları elde edilmiştir. (Şekil 4.5.B, Şekil 4.6.B, Şekil 4.7.B)

Aynı işlemler PID kontrolör için de yapılarak $K=2$, $K=1.4$ ve $K=0.8$ ' e ilişkin simülasyon sonuçları elde edilmiştir. (Şekil 4.8. A–B)

Tasarımlarda görülen K_p , K_i , K_d katsayıları Ziegler-Nichols tekniğinden yararlanılarak elde edilmiştir. Buna göre PID kontrolör için aşağıdaki formüllerden yararlanılmıştır.

$$K_p = 0.6 K_{P(CRIT)}$$

$$K_i = 2.0 K_p / T_{(CRIT)}$$

$$K_d = 0.12 K_p T_{(CRIT)}$$

Dolayısıyla PID için $K_p = 1.2$, $K_i = 1$, $K_d = 0.29$ alınmıştır.

Aynı teknik bulanık kontrolöre uygulanarak aşağıdaki formüller elde edilmiştir.

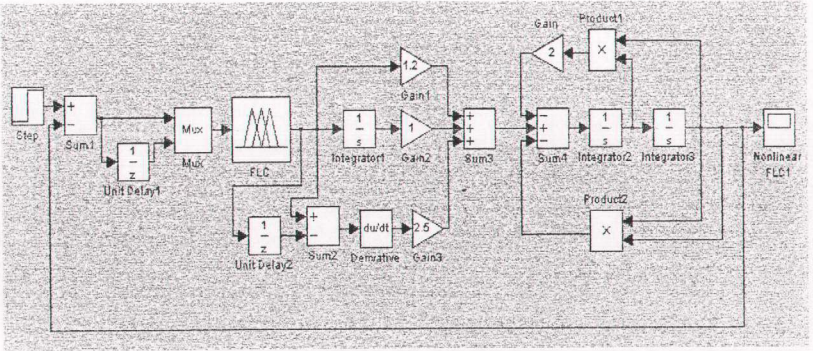
$$K_P = 0.6 K_{P(CRIT)}$$

$$K_I = 2.0 K_P / T_{(CRIT)}$$

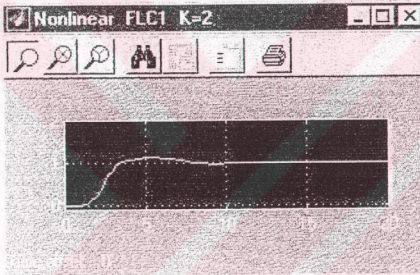
$$K_D = (T+2) K_P + K_I T^2$$

Dolayısıyla bulanık kontrolör için $K_P = 1.2$, $K_I = 1$, $K_D = 2.5$ elde edilir.

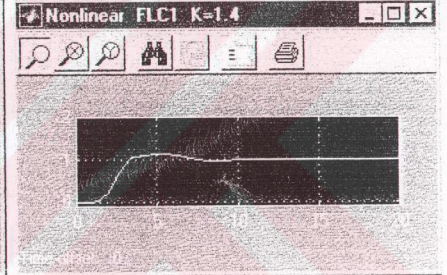
Sonuçta bu şartlar altında elde edilen simülasyon sonuçlarını incelersek Bulanık Mantık Kontrolör' ün Klasik PID' ye göre oldukça iyi bir kontrolör olduğunu saptarız. Özellikle sistem parametreleri değiştiğinde, elde etmek istediğimiz çıkışın ihmal edilebilecek düzeyde değişmesi Bulanık Mantık Kontrolör ile Klasik PID' nin farkını bize en açık bir biçimde göstermektedir.



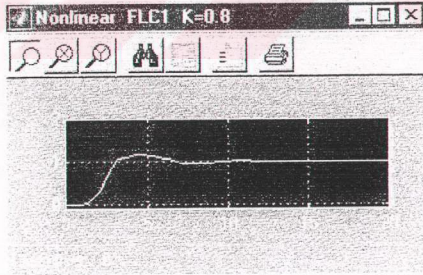
Şekil 4.5. A- İki Girişli Bulanık PID' nin Nonlineer Sisteme İlişkin Tasarımı



B1 - K = 2 için

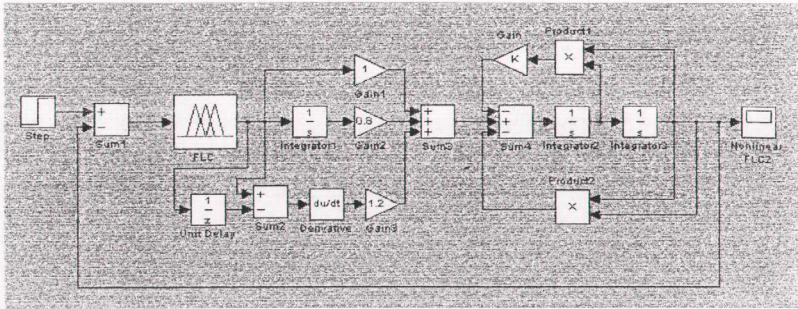


B2 - K = 1.4 için

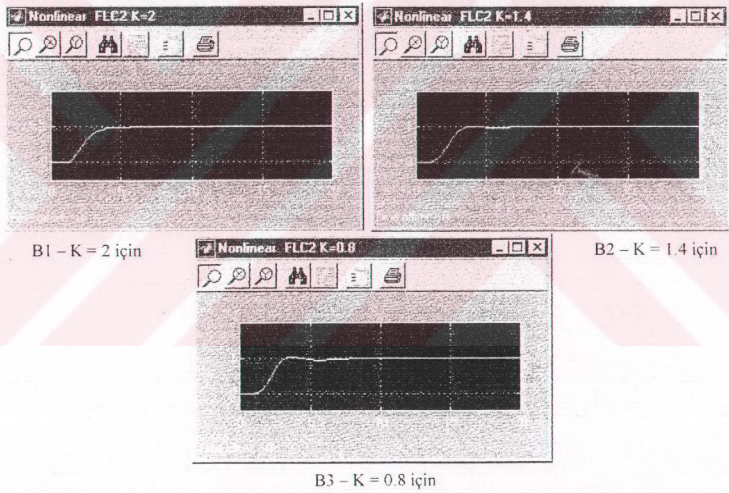


B3 - K = 0.8 için

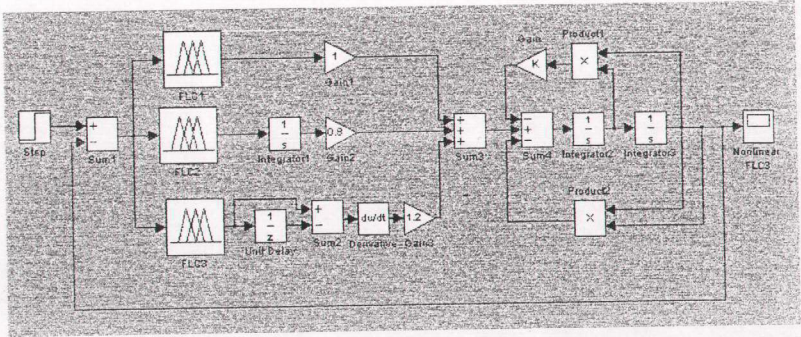
Şekil 4.5. B - Simülasyon Sonuçları



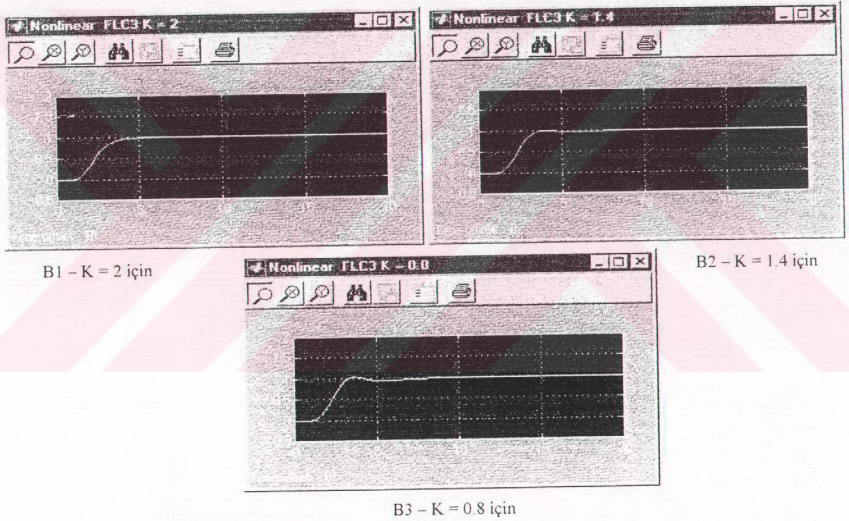
Şekil 4.6. A – Tek Girişli Bire-Bir Bulanık PID' nin Nonlinear Sisteme İlişkin Tasarımı



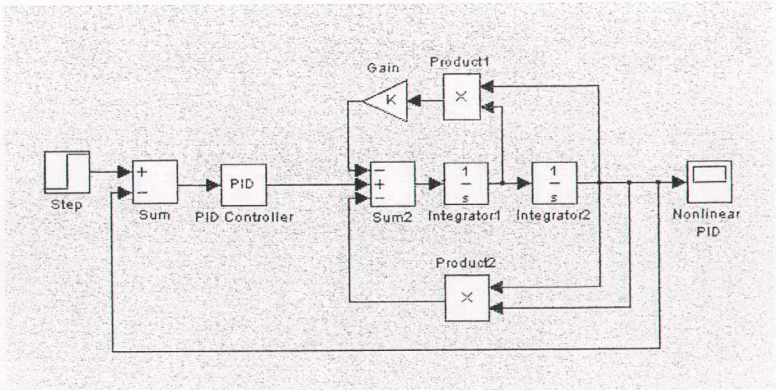
Şekil 4.6. B – Simülasyon Sonuçları



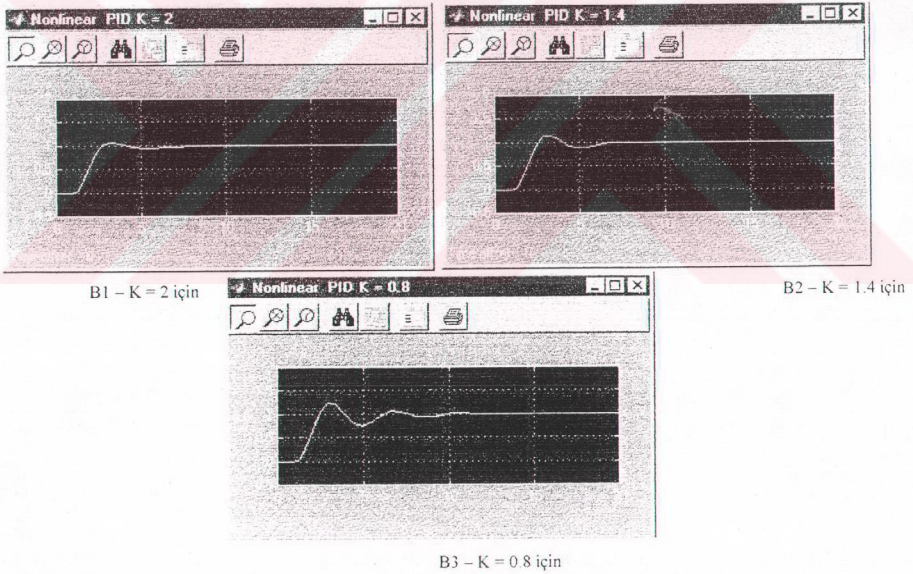
Şekil 4.7.A – Tek Girişli Bire-Üç Bulanık PID' nin Nonlineer Sisteme İlişkin Tasarımı



Şekil 4.7.B – Simülasyon Sonuçları



Şekil 4.8. A – Klasik PID Kontrolörün Nonlinear Sisteme İlişkin Tasarımı



Şekil 4.8. B – Simülasyon Sonuçları

BÖLÜM 5. BULANIK KONTROLÖR TASARLANMASI ve SİMÜLASYONU

5.1. Giriş-Çıkış Bilgilerini Kullanarak Bulanık Kontrolör Tasarımı

Bulanık Sistemler uzman insan bilgisini formüle etmek için kullanılmaktadırlar. Burada öncelikli olarak uzman insan bilgisinin nasıl elde edileceği bilinmelidir. Uzman insan sistem hakkındaki bilgisini EĞER-O HALDE kurallarıyla ifade edebilirse bu kurallar bulanık sistemin oluşturulmasında kullanılabilir. Ancak bu kurallar elde edilemiyorsa, sistemin tipik durumları için denemelerle çeşitli giriş-çıkış çiftleri elde edilerek bulanık sistem dizayn edilir. Ancak birçok pratik uygulamada elde edilen giriş-çıkış çiftleri sınırlıdır ve bundan dolayı rastgele bir giriş için çıkış değeri elde edilemeyebilir. Bu durumda yapılması gereken eldeki giriş-çıkış çiftleriyle giriş-çıkış davranışını karakterize eden bir bulanık kontrolör tasarlamaktır.

5.2. Look-Up Tablosu Kullanarak Bulanık Kontrolör Tasarımı

$$(x_0^p; y_0^p) \quad , p = 1, 2, \dots, N$$

$$x_0^p \in U = [\alpha_1, \beta_1] \times \dots \times [\alpha_n, \beta_n] \subset \mathbb{R}^n \quad \text{ve} \quad y_0^p \in V = [\alpha_v, \beta_v] \subset \mathbb{R}$$

1'den N'e kadar N adet giriş-çıkış çiftine sahip olduğumuzu kabul edelim. Bu çiftleri kullanarak bulanık sistemi kurmak için look-up tablosu oluşturmak amacıyla bir yöntem sunulmaktadır.

1. Adım : Giriş ve çıkış uzayını kapsayacak bir bulanık küme tanımla

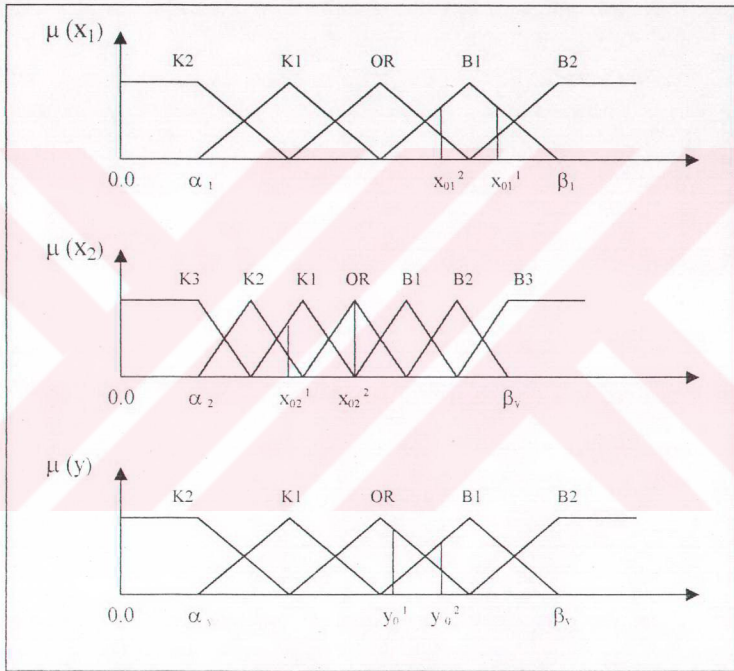
N_i adet A_i^j ($j = 1, 2, \dots, N_i, i = 1, 2, \dots, n$) bulanık küme tanımlansın. Her A_i^j için üyelik fonksiyonu $\mu_{A_i^j}(x_i) \neq 0$ olması gerekmektedir. Burada üyelik fonksiyonları üçgen, yamuk veya diğer şekillerde seçilebilir.

2.Adım : Her bir giriş ve çıkış çiftinden bir kural oluştur

Üyelik fonksiyonlarını oluşturduktan sonra her bir giriş-çıkış çiftinin en büyük üyelik değerine sahip olduğu bulanık küme belirlenir. Şekildeki gibi iki adet giriş-çıkış çiftine sahip bir örnek için şu kuralları oluşturabiliriz.

Eğer $x_1 = B_1$ ve $x_2 = K_1$ O halde $y = OR$

Eğer $x_1 = B_1$ ve $x_2 = OR$ O halde $y = B_1$



Şekil 5.1 İki Farklı Giriş Durumu İçin Giriş - Çıkış Çiftleri ve Üyelik Fonksiyonları

3.Adım : Belirlenen her kural için bir derece belirle

Gerçekte giriş-çıkış çifti sayısı oldukça fazla olduğundan çok fazla sayıda kural elde edilmektedir. Çok sayıda kural elde edilmesi halinde çelişen aynı EĞER kısmına

fakat farklı O HALDE kısmına sahip kurallar bulunması olasılığı doğmaktadır. Bu çelişmeyi engellemek için üretilen her kurala bir derece atanmaktadır.

($x_0^p; y_0^p$) giriş-çıkış çiftinin üyelik derecelerinden

$$D(\text{kural}) = \prod_{i=1}^n \mu_{A_i^j}(x_{0i}^p) \mu_{B_i^k}(y_0^p)$$

Şekil 5.1'de verilen ;

$$x_{01}^1, x_{02}^1, y_0^1 \text{ için } D(\text{kural1}) = \mu_{B1}(x_0^1) \mu_{K1}(x_0^1) \mu_{OR}(x_0^1)$$

$$x_{01}^2, x_{02}^2, y_0^2 \text{ için } D(\text{kural2}) = \mu_{B1}(x_0^2) \mu_{OR}(x_0^2) \mu_{B1}(x_0^2)$$

4.Adım : Bulanık kural tabanını oluştur

Bulanık kural tabanı şu üç kurallar kümesini içermektedir.

- 2. Adımda üretilen ve birbiriyle çelişmeyen kurallar
- Birbiriyle çelişen kurallardan en yüksek üyelik derecesine sahip kurallar
- Uzmanın dilsel olarak belirlediği kurallar

Elde edilen kuralları ve giriş-çıkış için belirlenen bulanık kümeleri kullanarak bir look-up tablosu oluşturulur.

X2 \ X1	K2	K1	OR	B1	B2
K3					
K2					
K1					
OR					
B1					
B2					
B3					

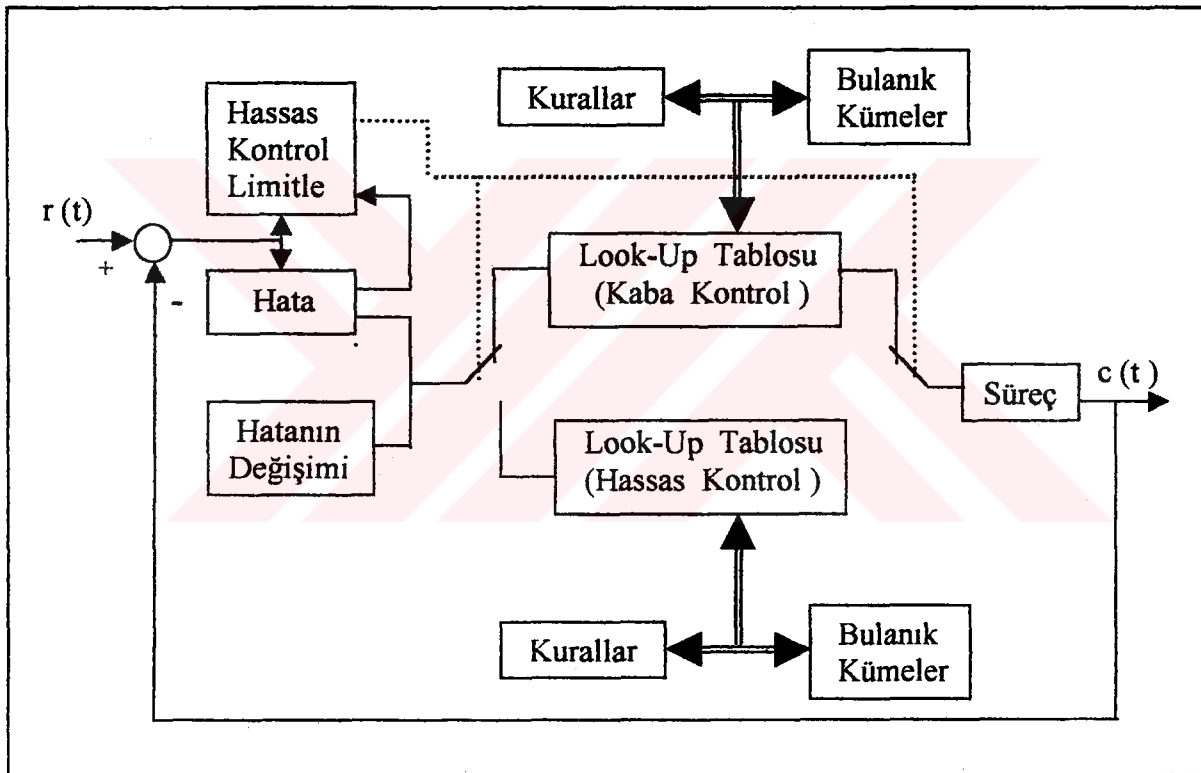
Şekil 5.2 Bulanık Look - Up Kural Tablosu

5.Adım : Bulanık kural tabanına göre bulanık sistem tasarlama

Bulanık kural tabanını oluşturduktan sonra uygun bulanık çıkarım motoru, bulandırıcı ve netleştiriciyi seçerek bulanık sistem oluşturulur.

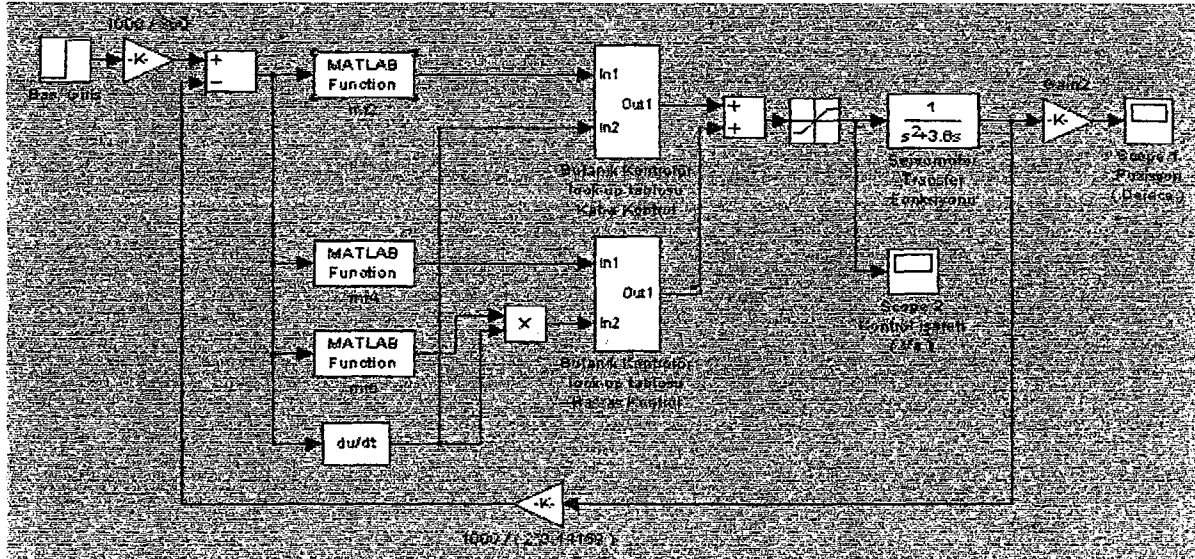
5.3. Look-Up tablosu kullanarak Bulanık Kontrolör Simülasyonu

Transfer fonksiyonu $G(s) = K / s (s + 3.6)$ şeklinde alınan servomotorun look-up tablosu bulanık kontrol algoritmasını kullanarak yapılan simülasyon MATLAB Simulink'te gerçekleştirilmiştir ve look-up tablosu değerleri [10] numaralı makaleden alınmıştır.



Şekil 5.3 Bulanık Kontrolör Yapısı

Şekil 5.3'te bulanık kontrolör yapısı, Şekil 5.4'te ise Simulink'te oluşturulan model verilmektedir. Literatürde ölçekleme parametreleri kullanılarak sistem performansının iyileştirildiği görülmektedir [11]. Hata ve hatanın değişimi için ölçekleme katsayılarını 10 alırsak Şekil 5.7'deki sistem cevabını elde etmekteyiz.



Şekil 5.4 Look - Up Tablosuyla Oluşturulan Bulanık Kontrolörlü Sistem Modeli

Aşağıda sırasıyla içeriği verilen mf1, mf2, mf3, mf4 ve mf5 Matlab fonksiyonlarını kullanarak Simulink'te gerçekleştirilen simülasyonda adımlar 0.01 sn olarak seçilmiştir. Aşağıda verilen mf1 Matlab fonksiyonuyla kaba kontrol için oluşturulan bulanık kural tablosuna göre, mf3 Matlab fonksiyonuyla ise hassas kontrol için oluşturulan bulanık kural tablosuna göre kontrol işareti üretilmektedir. Hata -100 ile 100 arasında ise hassas kontrol look-up tablosu kullanılmakta, bunun dışında kaba kontrol look-up tablosu kullanılmaktadır.

function sonuc1=mf1(u)

% Bulanık kontrolör kaba kontrol look-up tablosu

```
f1=[-5 -5 -4 -4 -3 -1 0 1 1 2 2;
    -5 -5 -5 -4 -3 -1 0 1 1 2 2;
    -5 -5 -5 -4 -3 -1 0 1 2 2 2;
    -5 -5 -4 -4 -3 -1 1 2 3 3 3;
    -5 -5 -4 -3 -2 0 1 2 3 3 4;
    -5 -4 -4 -2 -2 0 1 3 4 4 4;
    -4 -4 -3 -2 -1 0 2 3 4 4 4;
    -4 -4 -3 -2 -1 1 2 3 5 4 5;
    -3 -4 -2 -1 0 1 2 3 5 4 5;
    -2 -3 -2 -1 0 1 3 3 5 5 5;
    -2 -3 -1 -1 0 1 3 3 5 5 5];
```



```

if(u(1)>=5) sonuc1=5;
elseif (u(1)<=-5) sonuc1=-5;
elseif (u(1)==0) sonuc1=0;
else
% mamdani min çıkarımı
for j=1:11
for i=1:11
if(u(j+12)>u(i+1))
t(j,i)=u(i+1);
else
t(j,i)=u(i+12);
end
end
end
end
% Ağırlık merkezli netleştirici
pay=0;
payda=0;
for j=1:11
for i=1:11
pay=pay+(t(i,j)*f1(i,j));
payda=payda+t(i,j);
end
end
sonuc1=pay/payda;
end;

```

function sonuc2=mf2(u); % Kaba kontrol seçimi

```

if (abs(u)>100)
sonuc2=u*0.05;
else
sonuc2=0;
end;

```

```

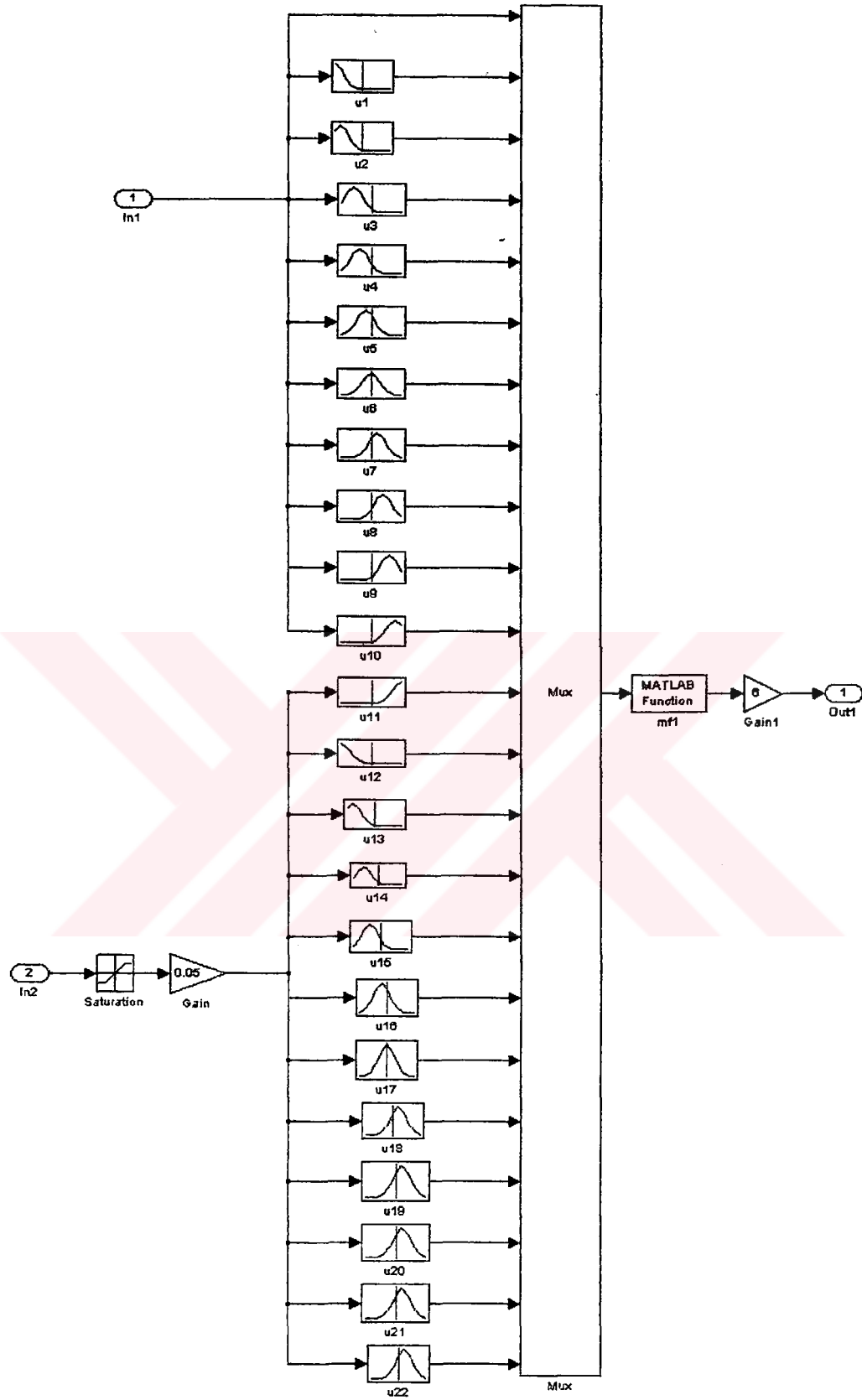
function sonuc3=mf3(u);
% Bulanık kontrolör hassas kontrol look-up tablosu
f2=[-4 -4 -3 -3 -2 -1 -1 0 1 ;
    -4 -3 -3 -2 -2 1 0 1 1 ;
    -3 -2 -2 -1 -1 -1 0 1 2 ;
    -2 -2 -1 0 1 0 1 2 2 ;
    -2 -2 -1 0 0 0 1 2 3 ;
    -2 -2 0 1 1 1 2 3 3 ;
    -1 -1 0 1 1 1 2 3 4 ;
    0 0 1 2 2 2 3 3 4 ;
    0 0 1 2 3 3 3 4 4];
if(u(1)>=4) sonuc3=4;
elseif (u(1)<=-4) sonuc3=-4;
elseif (u(1)==0) sonuc3=0;
else
% mamdani min çıkarımı
for j=1:9
    for i=1:9
        if(u(j+10)>u(i+1));
            t(j,i)=u(i+1);
        else
            t(j,i)=u(i+10);
        end
    end
end
end
% Ağırlık merkezli netleştirici
pay=0;
payda=0;
for j=1:9
    for i=1:9
        pay=pay+(t(i,j)*f2(i,j));
        payda=payda+t(i,j);
    end
end

```

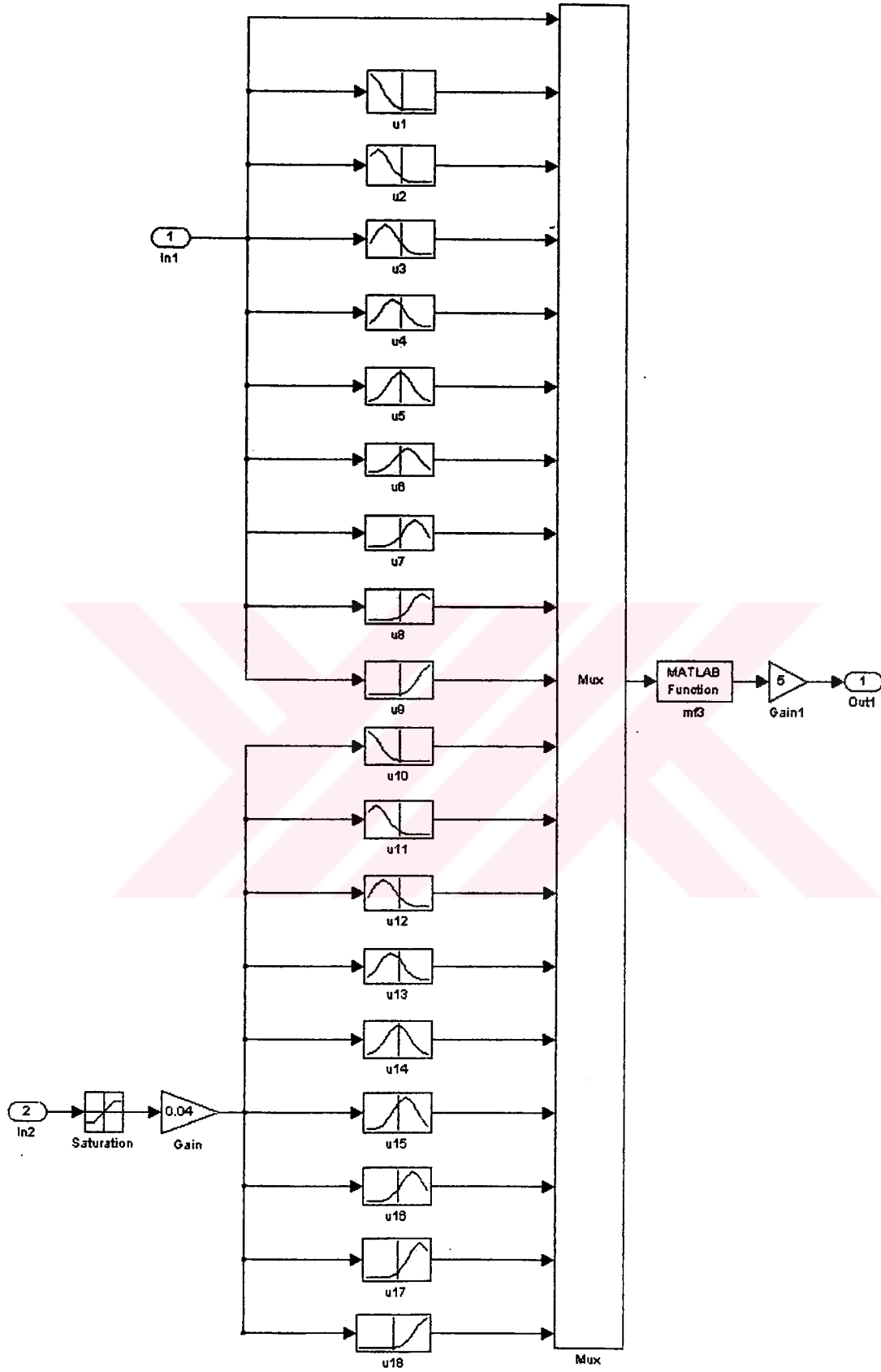
```
end  
sonuc3=pay/payda;  
end;
```

```
function sonuc4=mf4(u); % hassas kontrol look-up tablosu  
if (abs(u)<=100)  
    sonuc4=u*0.04;  
else  
    sonuc4=0;  
end;
```

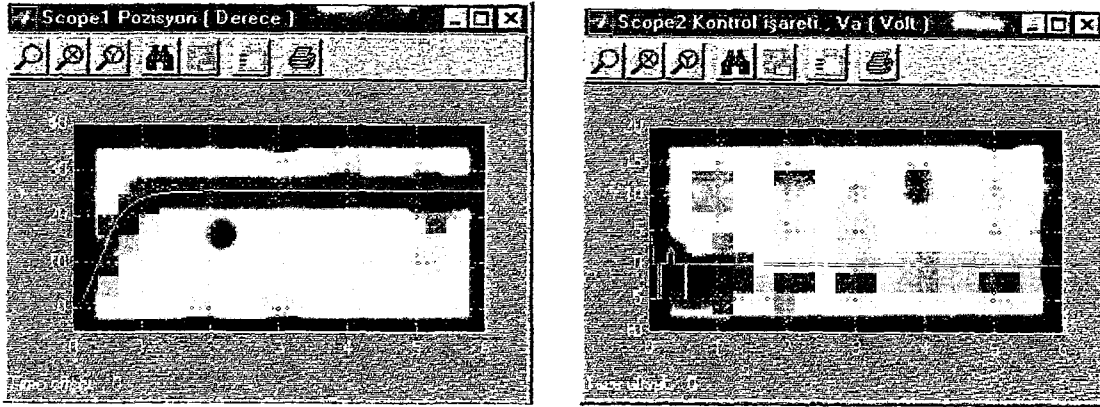
```
function sonuc=mf5(u); % Hassas kontrol seçimi  
if (abs(u)<=100)  
    sonuc=1;  
else  
    sonuc=0;  
end;
```



Şekil 5.5 Bulanık Kontrolör Kaba Kontrol Look - Up Tablosu



Şekil 5.6 Bulanık Kontrolör Hassas Kontrol Look - Up Tablosu



Şekil 5.7 Look - Up Tablosu Kullanarak Elde Edilen Sistem Cevabı

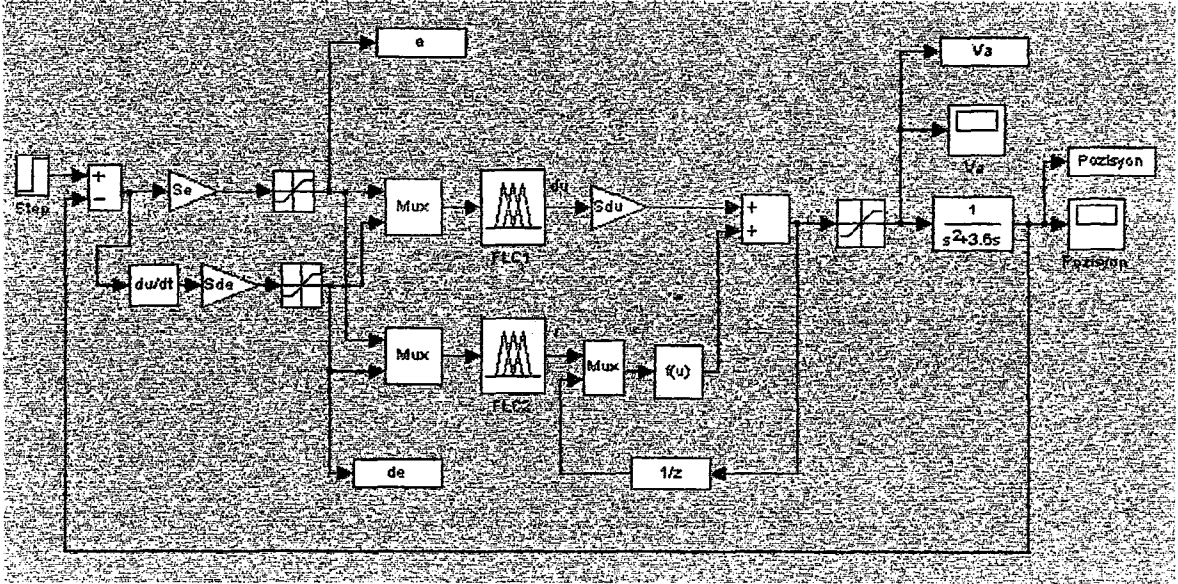
5.4. Bulanık PI Kontrolör Tasarımı

Bulanık PI kontrolör için, kontrolör çıkışı $u(k+1) = u(k) + du(k)$ 'dır. $du(k)$; $e(k)$ ve $de(k)$ kullanılarak belirlenir. PI kontrolör bilindiği üzere yapısındaki integrasyon işlemi nedeniyle geçici hal cevabı iyi olmayan bir kontrolördür. Özellikle yüksek dereceden sistemler için bulanık PI kontrolörün geçici hal cevabını iyileştirmek kolay değildir[12]. Sistemin hızlı cevap vermesi için büyük bir kontrol işareti gereklidir, fakat aşım yapmasını engellemek için küçük kontrol işareti üretilmelidir.

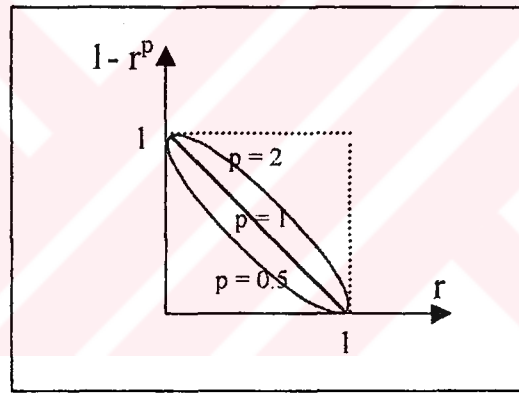
$$u(k+1) = (1 - (r(k))^p)u(k) + du(k) \quad , \quad \tilde{f}(u) = (1 - (r(k))^p)$$

$r(k)$ resetleme oranıdır. Sabit p ise r 'nin resetleme işlemindeki etkisini belirler. Eğer $r(k)$ bir ise integrasyon işlemi kalkar, sıfır ise klasik bulanık PI kontrolör yapısı elde edilir.

FLC1 ve FLC2 bulanık kontrolörleri, Matlab Fuzzy Logic Toolbox kullanılarak oluşturulmuştur. Toolbox bulanık çıkarım sistemi olarak Mamdani çıkarımı kullanılmıştır. Şekil 5.8'de Genelleştirilmiş bulanık PI kontrolör modeli görülmektedir.



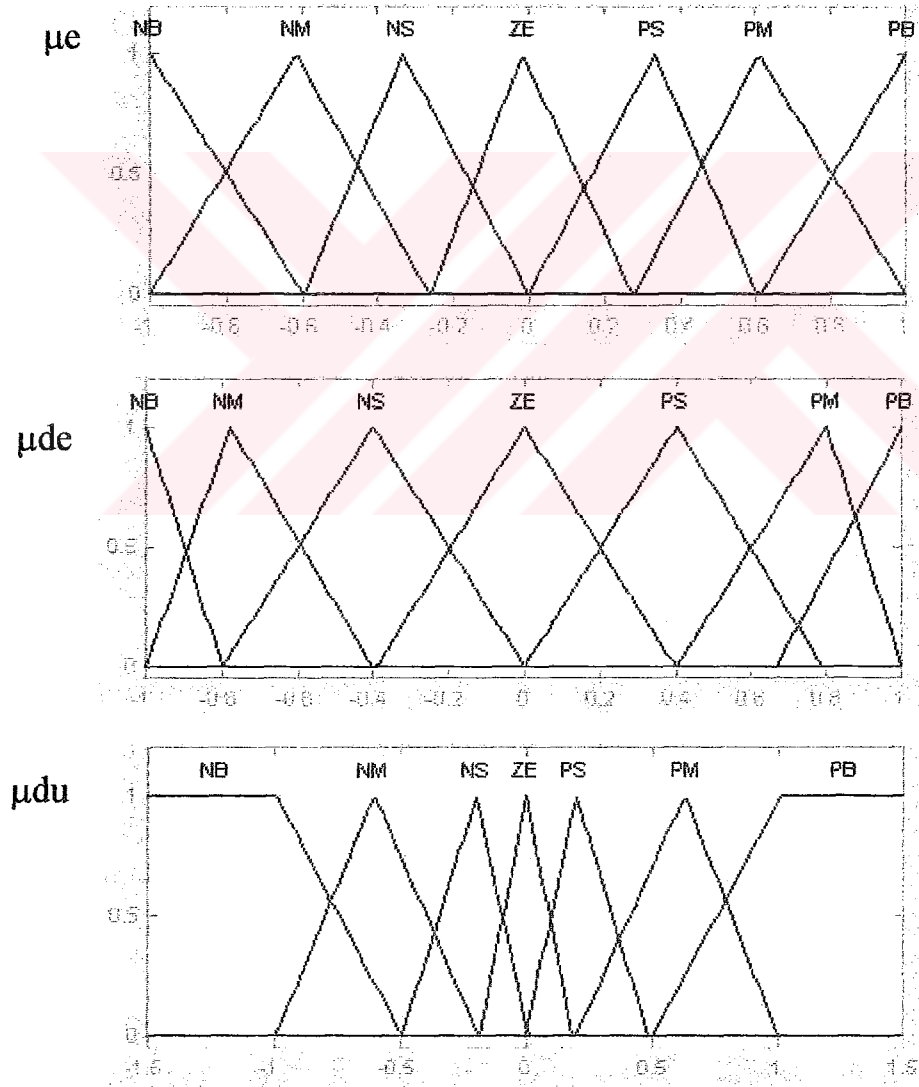
Şekil 5.8 Genelleştirilmiş Bulanık PI Kontrolör Modeli



Şekil 5.9 Resetleme İşlemine p 'nin Etkisi

de \ e	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NM	NS	NS	ZE
NM	NB	NM	NM	NM	NS	ZE	PS
NS	NB	NM	NS	NS	ZE	PS	PM
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZE	PS	PS	PM	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PM	PM	PB
PB	ZE	PS	PS	PM	PB	PB	PB

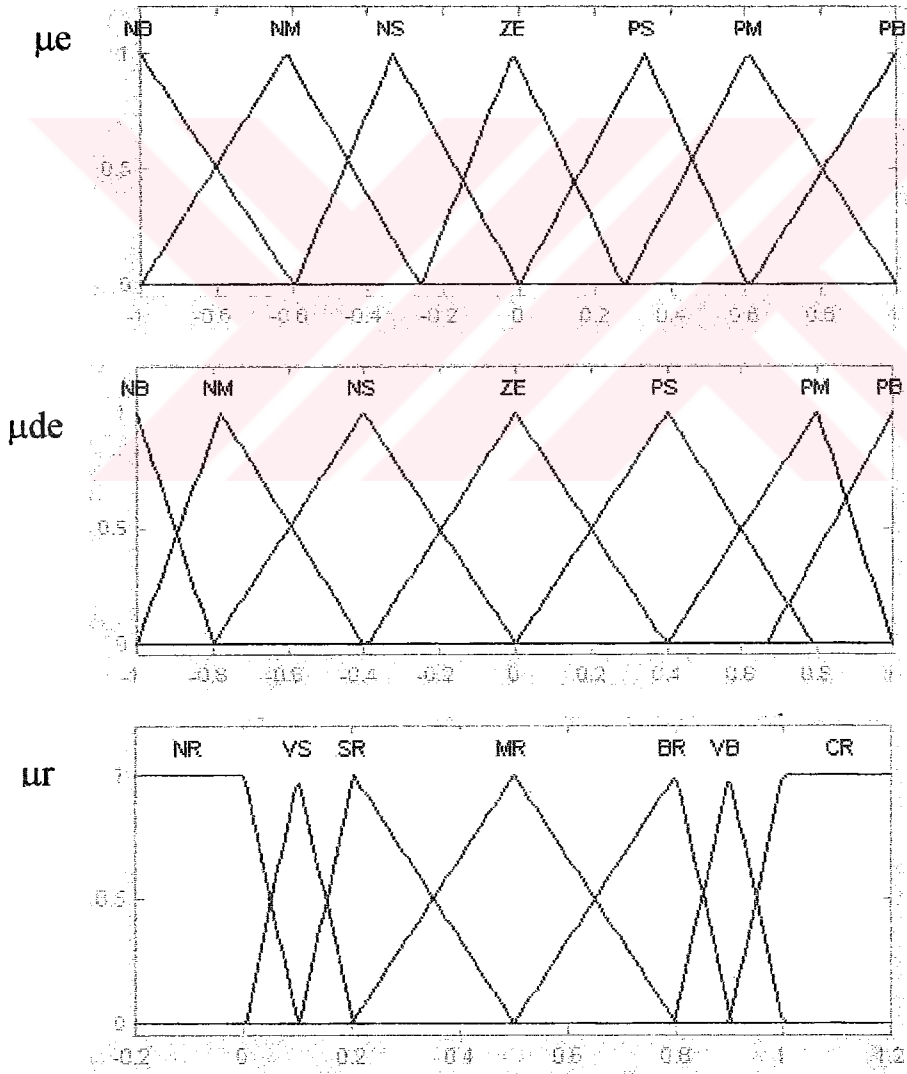
Şekil 5.10 FLC1 - du ' yu Hesaplamak İçin Bulanık Kural Tablosu



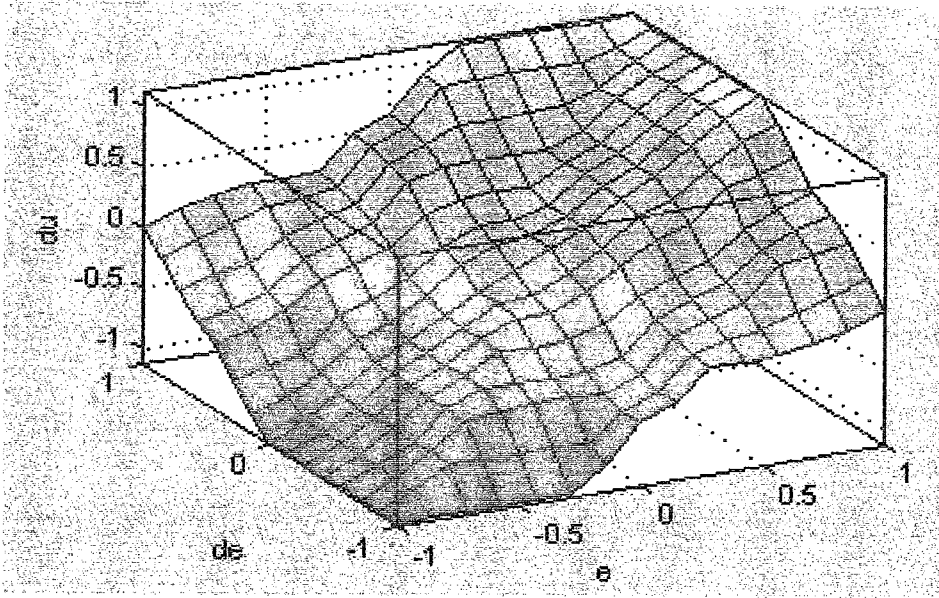
Şekil 5.11 FLC1 için e, de, du Üyelik Fonksiyonları

de \ e	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NR	SR	BR	CR	BR	SR	NR
NM	NR	NR	MR	VB	MR	NR	NR
NS	NR	NR	VS	BR	VS	NR	NR
ZE	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
PS	NR	NR	VS	BR	VS	NR	NR
PM	NR	NR	SR	VB	SR	NR	NR
PB	NR	SR	MR	CR	MR	SR	NR

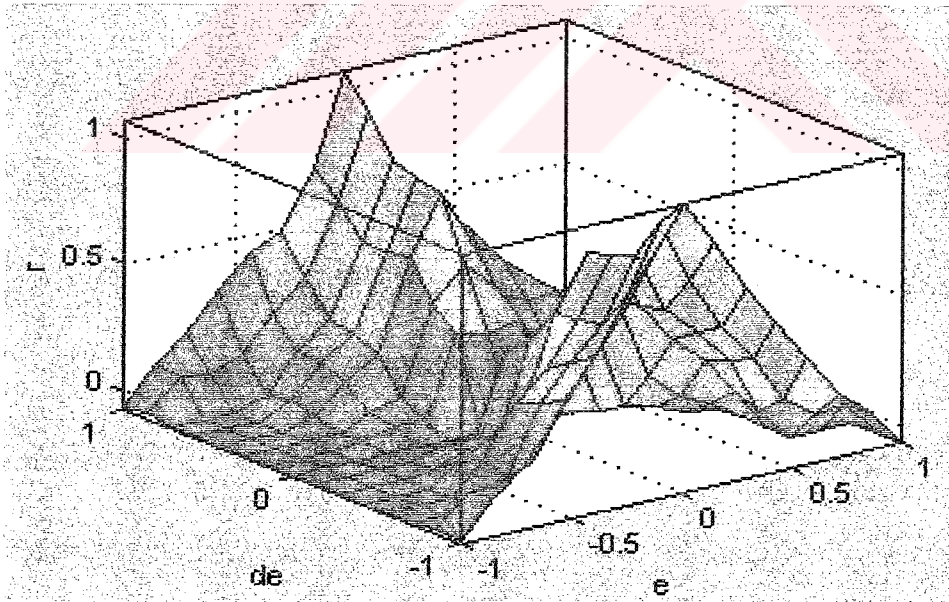
Şekil 5.12 FLC2 - r' yi Hesaplamak İçin Bulanık Kural Tablosu



Şekil 5.13 FLC2 için e, de, r Üyelik Fonksiyonları



Şekil 5.14 FLC1 – du Kontrol İşareti Değişimi Bulanık Kontrolör Giriş-Çıkış Arayüzeyi



Şekil 5.15 FLC2 – r Resetleme Parametresi Bulanık Kontrolör Giriş-Çıkış Arayüzeyi

BÖLÜM 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bulanık kontrol; anlaşılması ve geliştirilmesi kolay bir kontrol yöntemi olduğundan dolayı endüstride çalışan mühendislerin tercih edebilecekleri bir kontrol yöntemidir. Nitekim günümüzde görülmektedir ki birçok tüketici ürününde ve endüstriyel uygulamalarda bulanık kontrolörler kullanılmaktadır.

Bu çalışmada bulanık mantık kontrolörler değişik açılardan incelenmişlerdir. İlk olarak üç ayrı bulanık mantık kontrolör tasarlanıp, bunlar kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Bu aşamada Mamdani' nin 1974' te tasarladığı iki girişli bulanık PID kontrolör ve 1997' de Hu, Mann ve Gosine' nin tasarladığı tek girişli bulanık mantık kontrolör tasarımlarından yararlanılmıştır. Tek girişli bulanık mantık kontrolörler tek girişli bire-bir ve tek girişli bire-üç gibi iki bölüme ayrılarak, iki girişli bulanık mantık kontrolörler ile birinci dereceden, ikinci dereceden, marjinal kararlı sistemler ve bu sistemlerin ölü zamanlı yapıları üzerinde karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuçta simülasyon sonuçları incelendiğinde tek girişli bulanık mantık kontrolörlerin iki girişli bulanık mantık kontrolörlere göre çok daha iyi kontrol imkanı sağladığı gözlemlenmiştir. Özellikle bu gözlem ölü zamanlı sistemlerde açıkça görülmektedir.

İkinci olarak tasarımı yapılan bu üç ayrı bulanık mantık kontrolör, kararlılık koşulu korunmak üzere Ziegler-Nichols tekniğine göre belirlenen uygun katsayılar ile nonlineer bir sisteme uygulanıyor. Aynı nonlineer sistem klasik PID kontrolör ile de kontrol ediliyor. Sonuçta simülasyon çıktıları incelendiğinde bulanık mantık kontrolörlerin klasik PID' ye göre çok daha iyi kontrol imkanı sağladıkları gözlemlenmiştir. Özellikle sistem parametreleri değiştiğinde elde etmek istediğimiz çıkışın bulanık mantık kontrolörde ihmal edilebilecek düzeyde olması, bulanık mantık kontrolörün klasik PID' ye göre farkını bize en açık biçimde göstermektedir.

Son bölümde look-up tablosu kullanarak bulanık mantık kontrolör tasarım yöntemi anlatılmıştır. Bir sistem için, bulanık kontrolörün kural tablosunu ve parametrelerini dikkatli seçerek uygun bir bulanık kontrolör tasarlamak mümkündür. Oluşturulan kural tablosu aynı dinamik davranışa sahip diğer bir sisteme de rahatlıkla uygulanabilir.

Matlab, Simulink ortamında look-up tablosu bulanık kontrol algoritması kullanarak tasarım ve simülasyon gerçekleştirilmiştir. Sonuçta simülasyon çıktıları incelendiğinde bulanık kontrolörle sistemin çok hızlı olarak referans değere ulaştığı ve PID kontrolörde ise daha yavaş olarak referansa yaklaşmasına rağmen integratörün sürekli hal performansını iyileştirdiği söylenebilir.

Klasik bulanık PI kontrolör; ikinci ve üstü derecelerdeki sistemler için iyi sonuçlar vermemektedir. İncelemesi yapılan klasik bulanık PI kontrolöre resetleme parametresi eklenmesiyle aşımın çok büyük bir oranda düştüğü ve sistem geçici hal cevabının dikkate değer düzeyde iyileştiği görüldü.

Bulanık kontrolörde ölçekleme parametrelerinin sistem performansına olan etkisi incelendi. Deneme-yanılma metoduyla ayarlanan ölçekleme parametreleriyle sistem cevabı arasında bir bağıntı olduğu saptanmıştır. Bu bağıntıdan yararlanarak bir ölçekleme parametresi ayarlama algoritması geliştirilebilir.

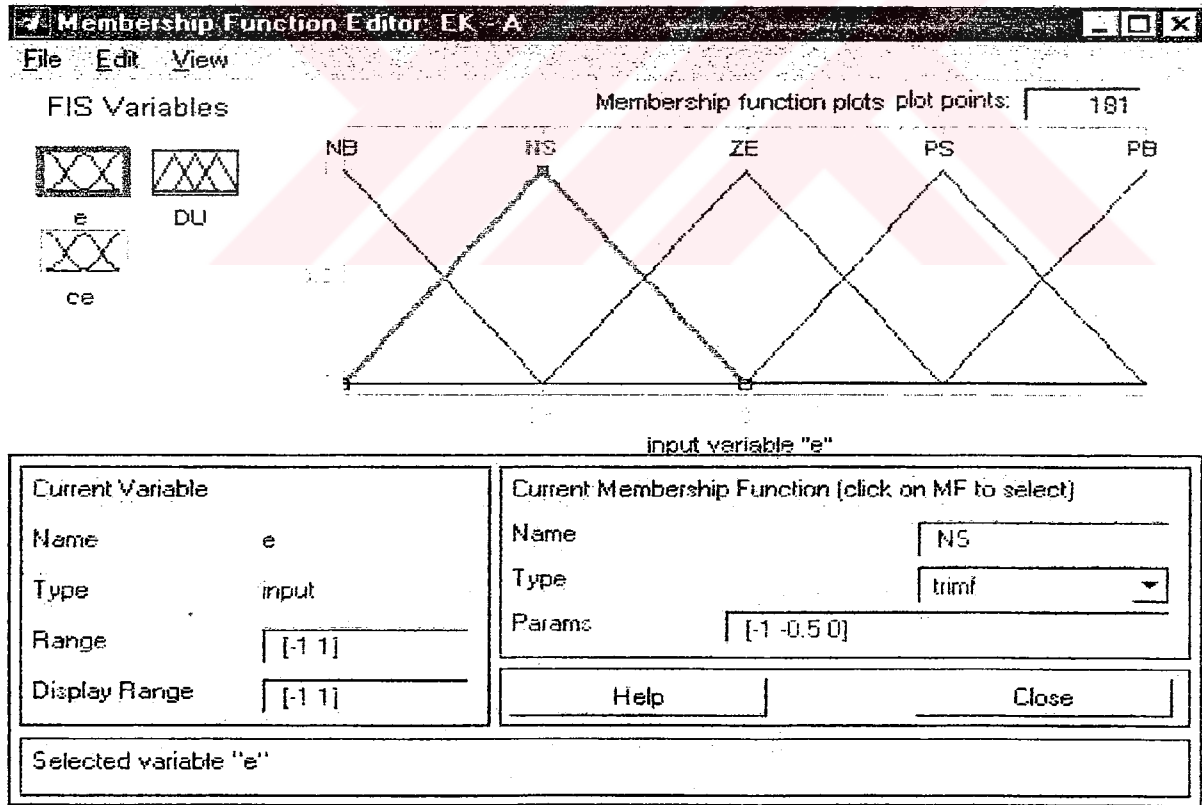
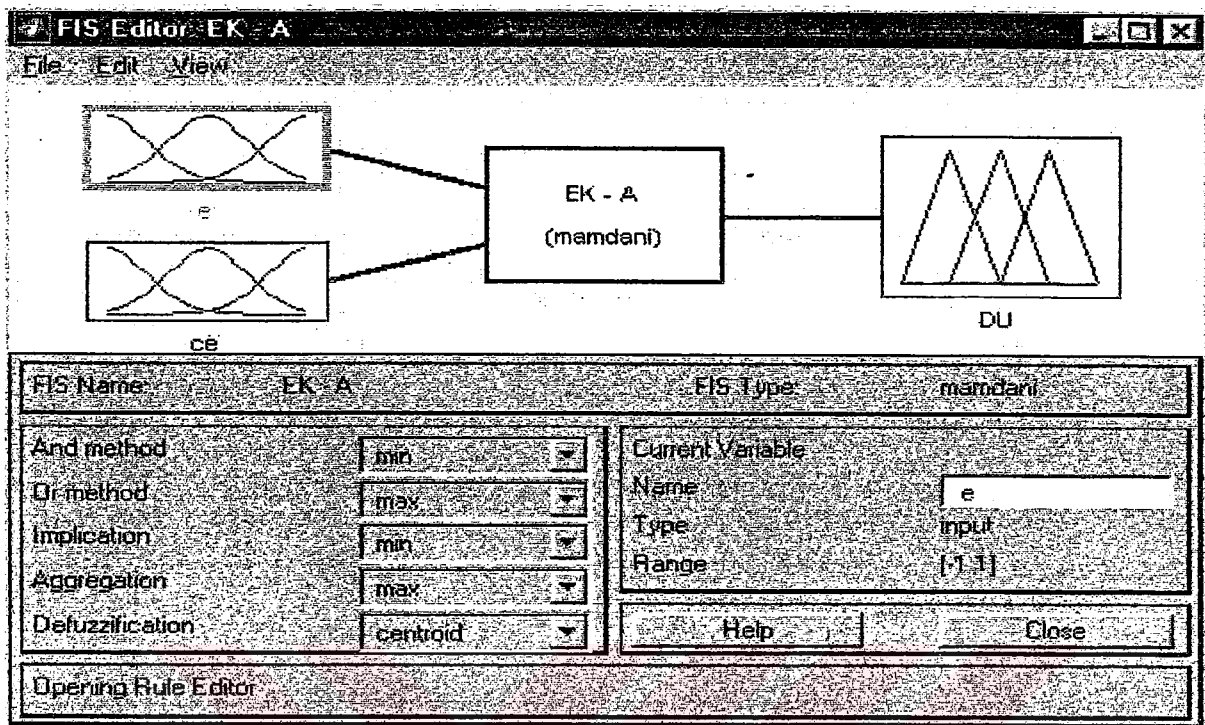
KAYNAKLAR

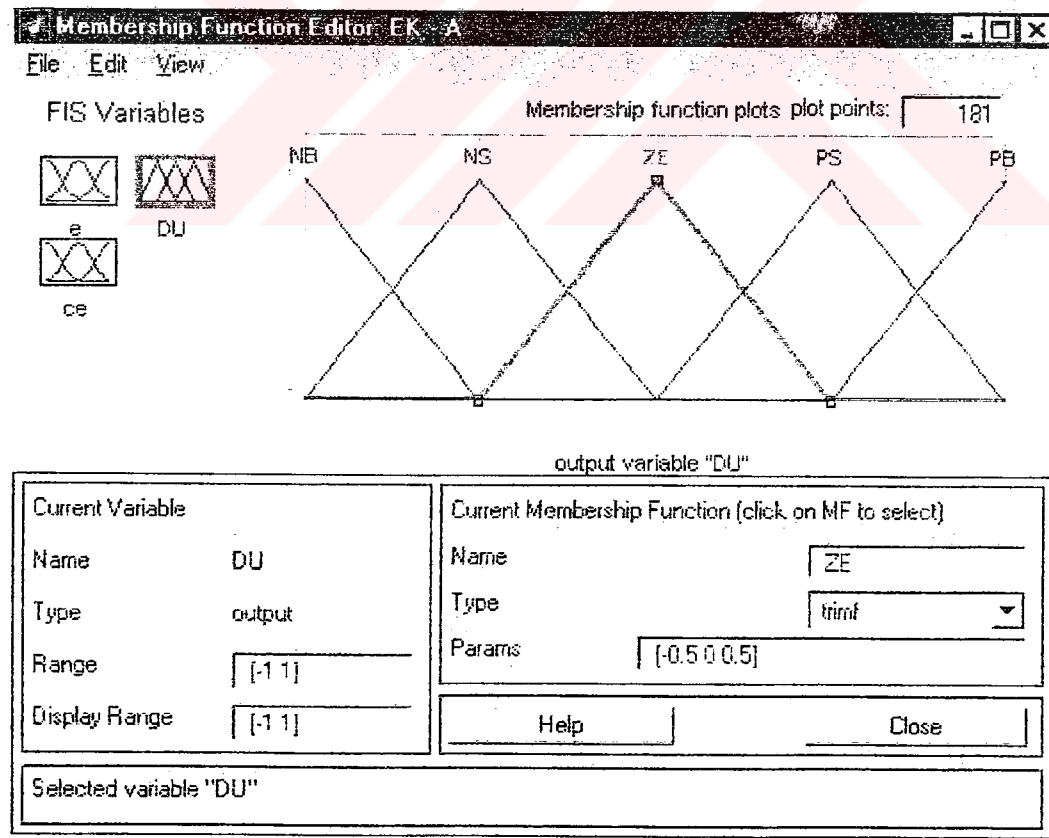
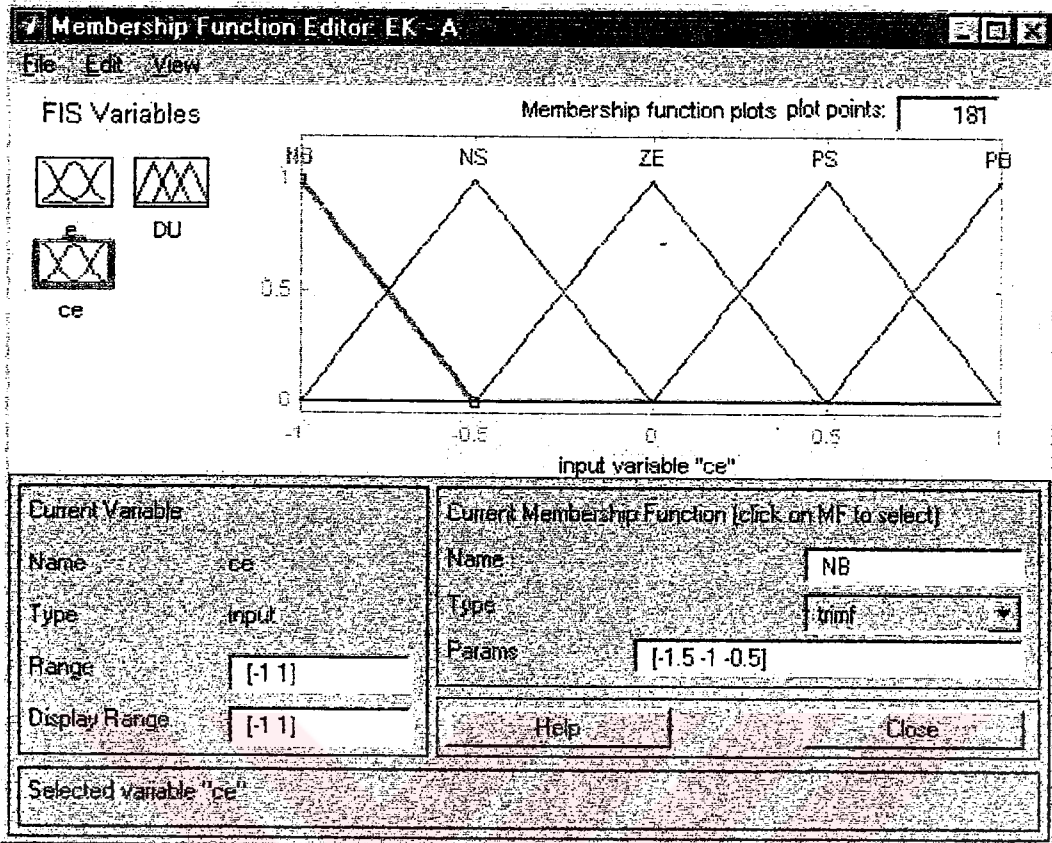
- [1] WANG, L.X., "Stable Adaptive Fuzzy-Control of Nonlinear Systems", IEEE, Transactions on Fuzzy Systems, Vol.1, No.2, pp.146, May 1993.
- [2] BEZDEK, J.C., "Editorial Fuzzy Models-What are They and Why?", IEEE, Transaction on Fuzzy Systems, Vol.11, No.1, pp.1, February 1993.
- [3] COX, E., "Fuzzy Fundamentals", IEEE, Spectrum, pp.58, October 1992.
- [4] KOSKO, B., "Neural Network and Fuzzy Systems", Academic Press, 1993.
- [5] LEE, C.C., "Fuzzy Logic in Control Systems:Fuzzy Logic Controller", PART II, IEEE, Transactions on Systems and Cybernetics, Vol.20, No.2, March 1990.
- [6] KAHANER, D.K., "Advances in Fuzzy Theory and Applications", IEEE, Micro, Vol.11, No.4, August 1991.
- [7] KANDEL, A., "Fuzzy Mathematical Techniques with Applications", Addison - Wesley Publishing Company, 1986.
- [8] MUNAKATOR, T., JANI, Y., "Fuzzy Systems, An Overview, Communications of the ACN", Vol.37, No.3, March 1994.
- [9] LEE, C.C., "Fuzzy Logic in Control Systems:Fuzzy Logic Controller", PART I, IEEE, Transactions on Systems Man and Cybernetics, Vol.20, No.2, March/April 1990.

- [10] Li, Y.F., Lau, C.C., Development of Fuzzy Algorithms for Servo Systems, IEEE Control System Magazine, April 1989
- [11] OGATA, Katsuhiko, Modern Control Engineering, Prentice Hall, 1997
- [12] Fuzzy Logic Toolbox User's Guide, 1995
- [13] KLIR, J.G., FOLSER, A.T., "Fuzzy Sets, Uncertainty and Information", Prantice-Hall, 1998.
- [14] VIRK, G.S., "Digital Computer Control Systems", Macmilian Education Ltd. London, 1991.
- [15] CHEN, G., PHEM, T.T., WEUS, J.J., "Fuzzy Modelling of Control Systems", IEEE, Transactions on Aerospace and Electronics System, Vol.31, No.1, January 1995.
- [16] SUGENO, M., "Fuzzy System Theory and Its Applications", Academic Press, USA 1993.
- [17] KAUFMANN, A., "Introduction to Fuzzy Arithmetic Theory and Applications", USA 1991.
- [18] BAŞBUĞ, A., "Bulanık Teknoloji", BYTE, Şubat 1994.
- [19] KOSKO, B., "Puslu Mantık", BİLİM, Eylül 1993.
- [20] FENG, F.C., "Applications of Fuzzy Logic in The Speed Control of AC Servo System and Intelligent Inverter", IEEE, Transactions on Systems and Cybernetics, Vol.20, No.2, March/April 1990.
- [21] BERNARD, J.A., "Use of Rule – Based System For Process Control", IEEE, Contr. Syst. Mag., Vol.8, No.5, 1998.

- [22] LI, W., "Design of Hybrid Fuzzy Logic Proportional Plus Conventional Integral Derivative Controller", IEEE, Transactions on Fuzzy Systems. Vol.6, No.4, November 1998.
- [23] MALKI, H.A. Li.H.D. and CHEN, G., "New Design and Stability Analysis of Fuzzy Proportional – Derivative Controller", IEEE, Tnas. Fuzzy Syst., Vol.2, pp.245-254, November 1994.
- [24] MISIR, D., MALKI, H.A., CHEN,G., "Design and Analysis of Fuzzy Proportional Integral Derivative Controller", Fuzzy Sets Syst., Vol.79, pp.314, 1996.
- [25] HU, B.G., MANN, G.K., GOSINE, R.G., "How to Evaluate Fuzzy PID Controllers Without Using Process Information?", Submitted to IEEE Trans. Fuzzy Systems.
- [26] LI, W., "A Method for Design of a Hybrid Neuro-Fuzzy Control System Based on Behavior Modelling", IEEE, Trans Fuzzy Syst., Vol.5, pp.128-137, February 1997.
- [27] Wang , Li-Xin, "A Course in Fuzzy Systems and Control, Prentice Hall", 1997
- [28] YEN, John, LANGARI, Reza, ZADEH, Lotfi, "Industrial Applications of Fuzzy Logic and Intelligent Systems", IEEE Press Marketing, 1995
- [29] LEE, Jihong, "On Methods For Improving Performance of PI-Type Fuzzy Logic Controllers", IEEE Transactions Fuzzy Systems, Vol.1, No.4, November 1993
- [30] SHAHIAN, Bahram, "Control System Design Using MATLAB", Prentice Hall, 1993

EK - A : İKİ GİRİŞLİ BULANIK PID KONTROLÖRÜN TOOLBOX 'A AİT TASARIM AŞAMALARI





Rule Editor: EK - A

File Edit View Options

1. If (e is NB) and (ce is NB) then (DU is NB) (1)
2. If (e is NB) and (ce is NS) then (DU is NB) (1)
3. If (e is NB) and (ce is ZE) then (DU is NB) (1)
4. If (e is NB) and (ce is PS) then (DU is NB) (1)
5. If (e is NB) and (ce is PB) then (DU is NB) (1)
6. If (e is NS) and (ce is NB) then (DU is NB) (1)
7. If (e is NS) and (ce is NS) then (DU is NB) (1)
8. If (e is NS) and (ce is ZE) then (DU is NS) (1)
9. If (e is NS) and (ce is PS) then (DU is NS) (1)
10. If (e is NS) and (ce is PB) then (DU is NS) (1)

If

e is and ce is

Then DU is

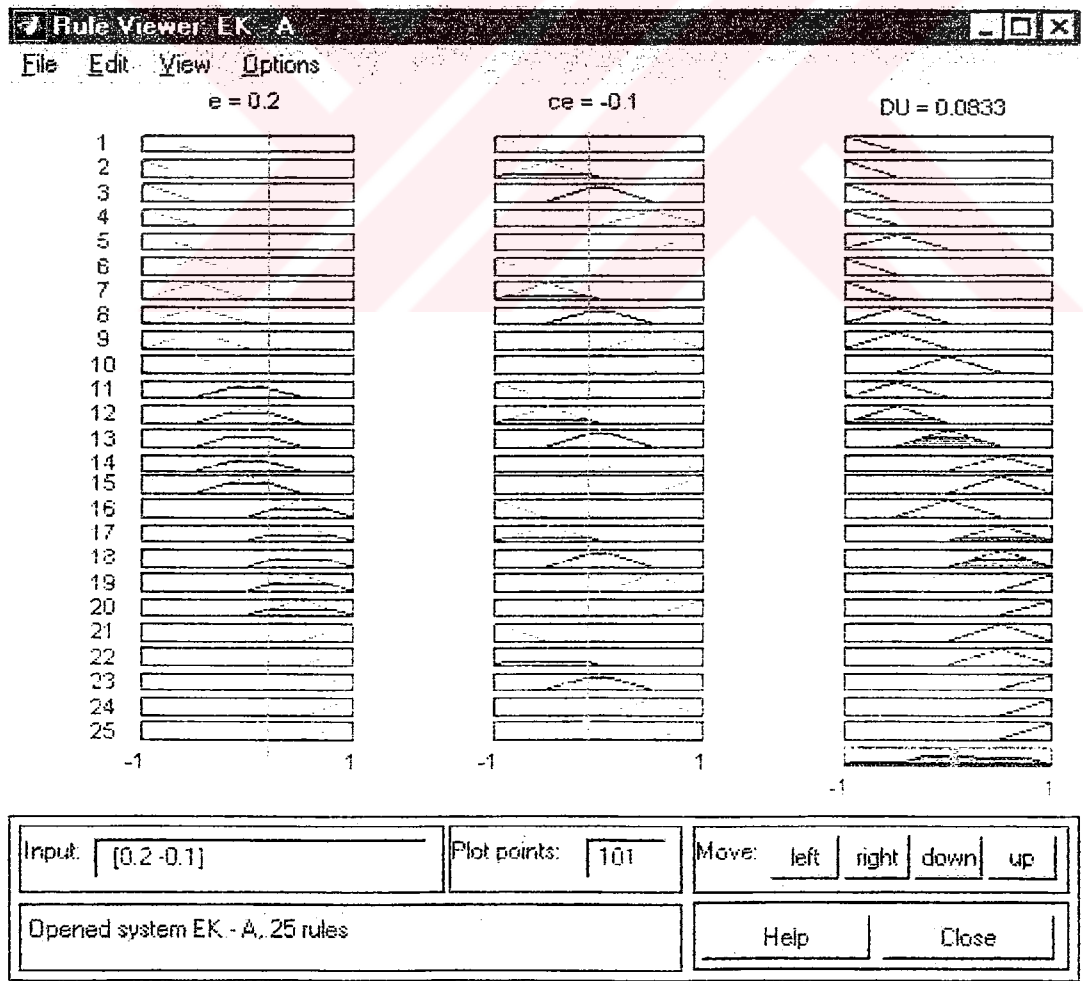
not not not

Connection: or and

Weight:

Delete rule Add rule Change rule

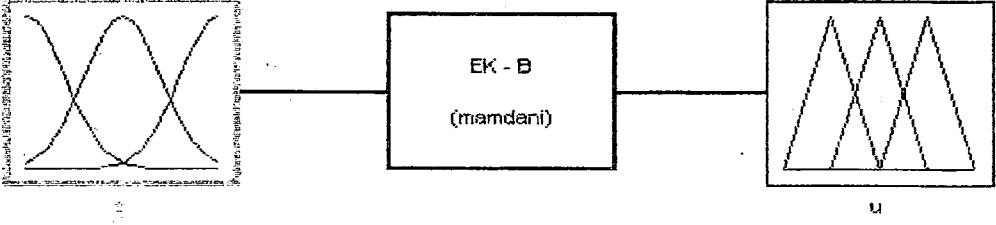
Ready Help Close



EK – B : TEK GİRİŞLİ BULANIK PID KONTROLÖRÜN TOOLBOX 'A AİT TASARIM AŞAMALARI

FIS Editor EK - B

File Edit View



FIS Name: EK - B FIS Type: mamdani

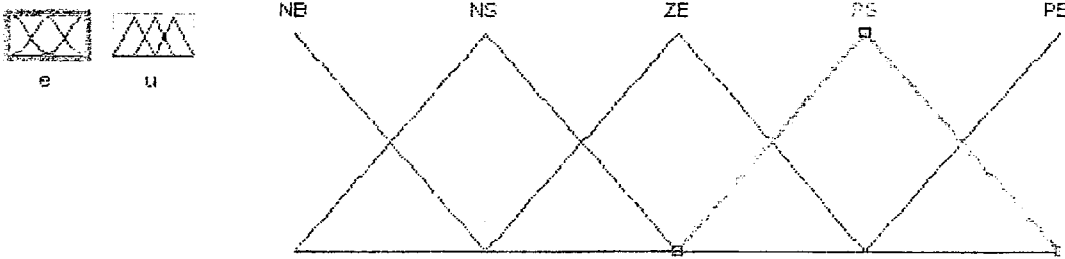
And method	min	Current Variable	
Or method	max	Name	e
Implication	min	Type	input
Aggregation	max	Range	[-1 1]
Defuzzification	centroid	<input type="button" value="Help"/> <input type="button" value="Close"/>	

Opening Rule Editor

Membership Function Editor EK - B

File Edit View

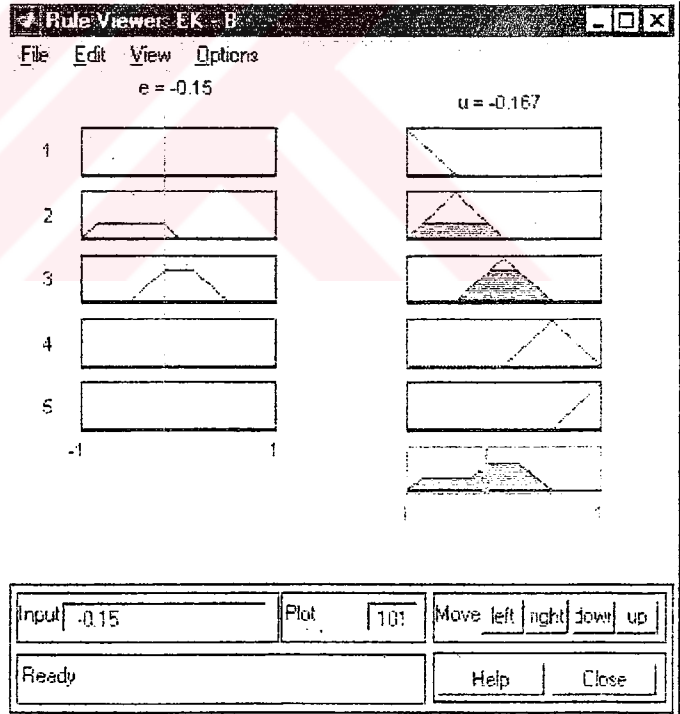
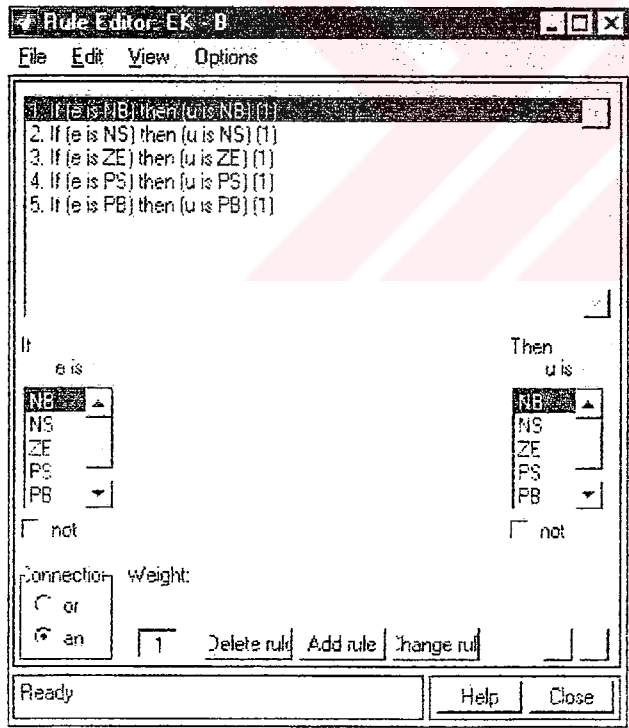
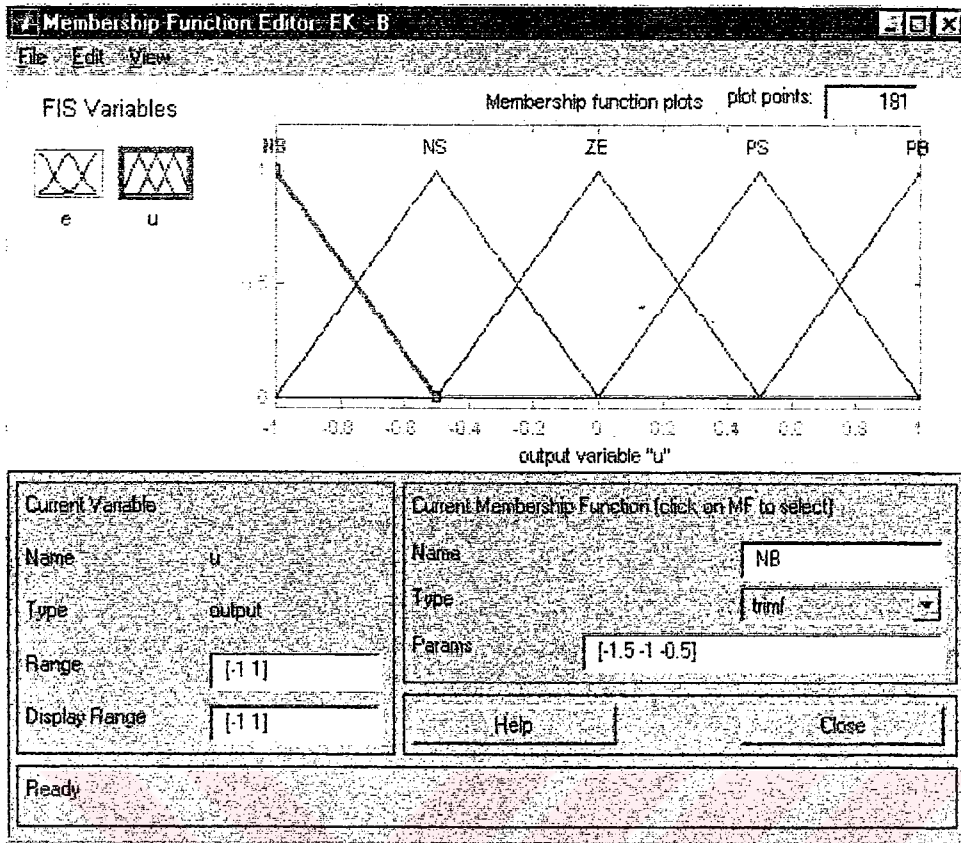
FIS Variables Membership function plots plot points: 181

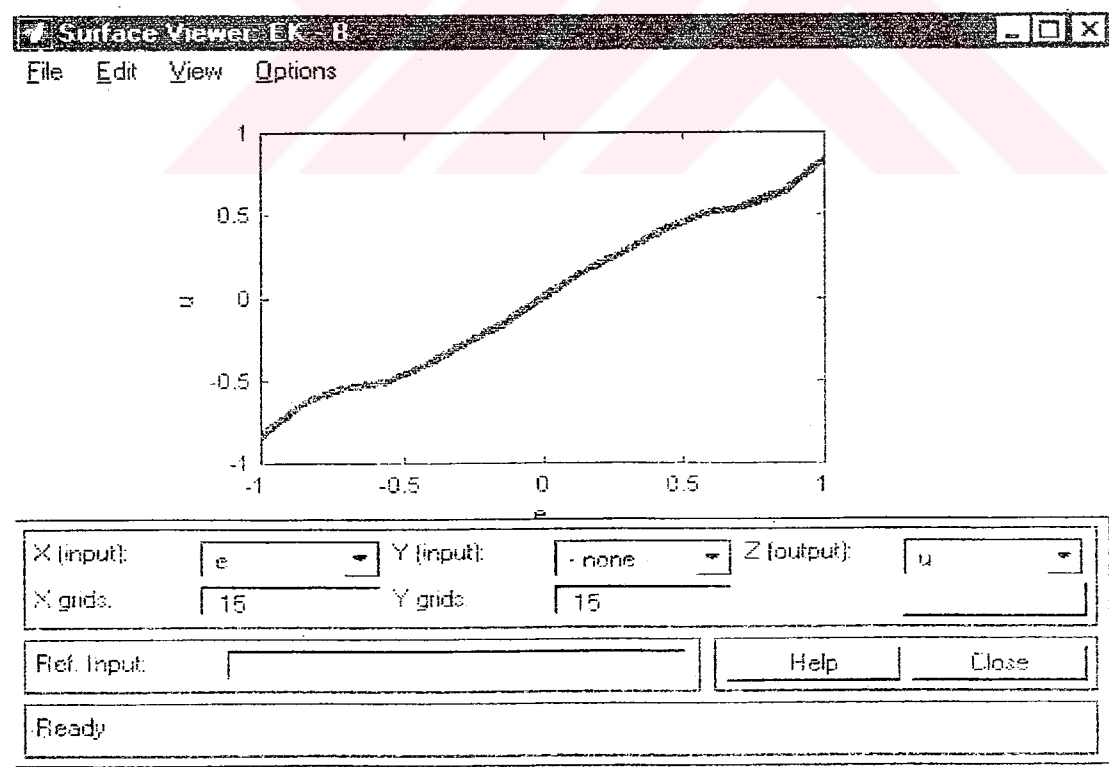
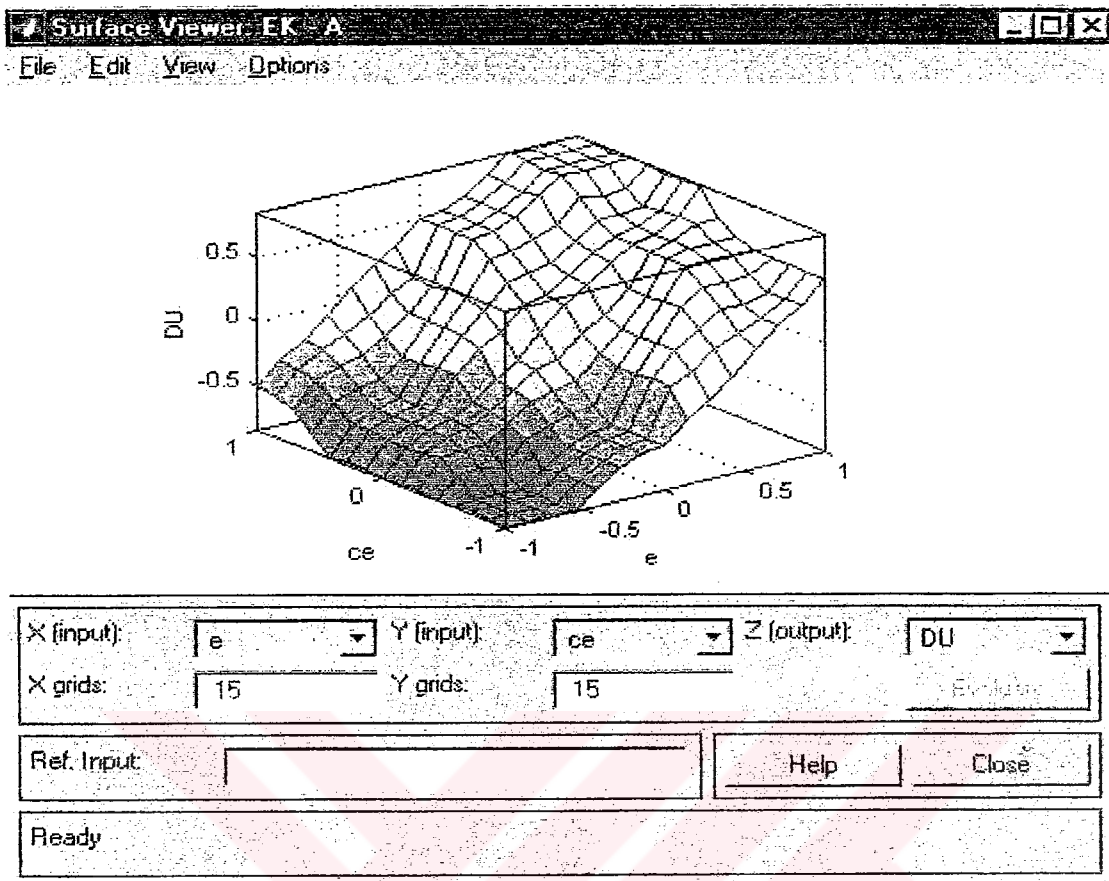


input variable "e"

Current Variable		Current Membership Function (click on MF to select)	
Name	e	Name	PS
Type	input	Type	trimf
Range	[-1 1]	Params	[0 0.5 1]
Display Range	[-1 1]	<input type="button" value="Help"/> <input type="button" value="Close"/>	

Ready





ÖZGEÇMİŞ

İHSAN PEHLİVAN

1974 yılında Yerköy / YOZGAT' ta doğdu. İlkokul ve ortaokulu Ankara' da tamamladı. Liseyi Ankara Yenimahalle Teknik Lisesi Bilgisayar Bölümü' nde tamamladı. 1997 yılında İTÜ Sakarya Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünü bitirdi. 1998'de Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Anabilim dalında Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Aynı sene Yedek Subay olarak askerlik görevine başladı ve Kasım 1999' da bitirdi. Halen Sakarya Anadolu Teknik, Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi' nde Teknik Öğretmen olarak görev yapmaktadır.