İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖLÜ ZAMANLI SİSTEMLERDE ÜYELİK FONKSİYONLARININ TABAN ARALIĞININ AYARLANMASINA DAYALI BULANIK KONTROLÖR TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Engin TARI

Anabilim Dalı : Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği

Programı : Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Müjde GÜZELKAYA

Ocak 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖLÜ ZAMANLI SİSTEMLERDE ÜYELİK FONKSİYONLARININ TABAN ARALIĞININ AYARLANMASINA DAYALI BULANIK KONTROLÖR TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Engin TARI
504071111

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Ocak 2010

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Müjde GÜZELKAYA (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. İbrahim EKSİN (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Osman Kaan EROL (İTÜ)

Ocak 2010

Aileme,

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince, doğru alanda çalışmamı sağlayan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen başta danışman hocam Prof. Dr. Müjde GÜZELKAYA'ya, önerileri ve yönlendirmeleriyle çalışmama katkı sağlayan hocam Prof. Dr. İbrahim EKSİN'e, fikirleriyle sonuca hızlı bir şekilde ulaşmama yardımcı olan Araş. Gör.Dr. Engin YEŞİL'e ve tüm yaşamım boyu maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen ve her zaman yanımda olan değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2010 Engin TARI

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xiii**
SEMBOL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xvii**
SUMMARY ..... **xix**
1. GİRİŞ **1**
2. BULANIK KÜME KAVRAMI **3**
2.1 Bulanık Kontrolörlerin Temel Yapısı 3
2.2 Bulanık Kümelerde Temel İşlemler 7
3. BULANIK KONTROLÖRLER **9**
3.1 Bulanık Kontrolörlerin Temel Yapısı 9
3.1 Genel Bulanık Mantık Kontrolörler 10
3.1.1 Bulandırma Birimi 10
3.1.2 Bilgi Tabanı 11
3.2 Bulanık Kural Tabanları 11
3.2.1 Mamdani Tipi Kural Tabanı 12
3.2.2 Tekli (Singleton) Tipi Kural Tabanı 13
3.2.3 Takagi Sugeno (T-S) Tipi Kural Tabanı 13
3.3 Durulama Birimi 14
3.3.1 Ağırlık Merkezi Yöntemi 15
3.3.2 Alanlar Toplamının Merkezi Yöntemi 16
3.3.3 En Büyük Alanın Merkezi Yöntemi 16
3.3.4 Maksimum Durulayıcılar Yöntemi 16
3.3.5 Yüksekliğin Ortalaması (Ağırlıklı Ortalama) Yöntemi 17
3.4 Bulanık Kontrolör Çeşitleri 18
3.5 Bulanık Kontrolör Tasarımı 21
4. ÜYELİK FONKSİYONLARININ TABAN ARALIĞININ AYARLANMASI YÖNTEMİ **23**
4.1 Giriş 23
4.2 Bulanık Kontrolör Yapısı 23
4.2.1 Üyelik Fonksiyonlarının Tanımlanması 23
4.2.2 Ölçekleme Çarpanlarının Tanımlanması 25
4.2.3 Ölçekleme Çarpanlarının Ayarlanması 25
4.2.4 Taban Aralığını Ayarlama 27
4.2.4.1 Ölü Zamanın Sistem Cevabı Üzerindeki Etkisi 27
4.2.4.2 Ayarlama Kurallarının Temel Prensipleri 29
4.2.4.3 Ayarlama Prensiplerinin Uygulanması 30

5. BENZETİM SONUÇLARI 35
6. DAYANIKLILIK ANALİZİ 49
6.1.1 Ölü Zaman Değişimine Bağlı Dayanıklılık Analizi 49
6.1.2 Zaman Sabiti Değişimine Bağlı Dayanıklılık Analizi 51
6.1.3 Kural Sayısını Değişimine Bağlı Dayanıklılık Analizi 54
7. SONUÇ 55
KAYNAKLAR 57
EK 1: Benzetim Çalışmalarında Kullanılan Bulanık Kontrolör MATLAB Yazılımları 59

KISALTMALAR

IMK-BMK : Ölçekleme Çarpanları İç Model Kontrolör İle Belirlenmiş Geleneksel Bulanık Model Kontrolör

AA-BMK : Ölçekleme Çarpanları İç Model Kontrolör ile Belirlenmiş, Üyelik Fonksiyonu Taban Aralığı Ayarlanmış Bulanık Model Kontrolör

GA-BMK : Ölçekleme Çarpan Ayarlama Parametresi Genetik Algoritma İle Belirlenmiş Geleneksel Bulanık Model Kontrolör

GAA-BMK : Ölçekleme Çarpan Ayarlama Parametresi Genetik Algoritma İle Belirlenmiş, Çıkış Üyelik Fonksiyonu Taban Aralığı Ayarlanmış Bulanık Model Kontrolör

IMC : İç Model Kontrolör

IMK-BMK : Ölçekleme Çarpanları İç Model Kontrolör ile Belirlenmiş Geleneksel Bulanık Model Kontrolör

PD : Oransal Türev

PI : Oransal Integral

PID : Oransal Türev İntegral

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Bulanık Çıkarımda Kural Tiplerinin Yapısı. 14
Çizelge 4.1 : 7x7 Kural Tablosu 24
Çizelge 5.1 : Sistem-1 İçin Başarım Değerlendirmesi 38
Çizelge 5.2 : Sistem-2 İçin Başarım Değerlendirmesi 40
Çizelge 5.3 : Sistem-3 İçin Başarım Değerlendirmesi 42
Çizelge 5.4 : Sistem-4 İçin Başarım Değerlendirmesi 44
Çizelge 5.5 : Sistem-5 İçin Başarım Değerlendirmesi 46
Çizelge 6.1 : Sistem-2 İçin Dayanıklılık Değerlendirmesi (L=1.15) 50
Çizelge 6.2 : Sistem-2 İçin Dayanıklılık Değerlendirmesi (L=0.7) 51
Çizelge 6.3 : Sistem-1 İçin Dayanıklılık Değerlendirmesi (T=1,1) 52
Çizelge 6.4 : Sistem-1 İçin Dayanıklılık Değerlendirmesi (T=0,9) 53
Çizelge 6.5 : Sistem-1 İçin Dayanıklılık Değerlendirmesi 54

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Bulanık Kontrolörlerin İç Yapısı 4
Şekil 2.2 : Üyelik Fonksiyonu Çeşitleri..... 6
Şekil 2.3 : Bulanık Kümeler Arası İşlemler..... 7
Şekil 3.1 : Bulanık Kontrolörlerin İç Yapısı..... 9
Şekil 3.2 : Bulanık Kontrolörlerin İç Yapısı.....10
Şekil 3.3 : Tekli (Singleton) Tipi Üyelik Fonksiyonu.....13
Şekil 3.4 : Ağırlık Merkezi Yöntemi.....15
Şekil 3.5 : Alanlar Toplamının Merkezi Yöntemi.....16
Şekil 3.6 : En Büyük Alanın Merkezi Yöntemi.....16
Şekil 3.7 : Maksimum Durulayıcılar Yöntemi.....17
Şekil 3.8 : Yüksekliğin Ortalaması (Ağırlıklı Ortalama) Yöntemi 17
Şekil 3.9 : PD Tipi Bulanık Kontrolör.....18
Şekil 3.10 : PI Tipi Bulanık Kontrolör 19
Şekil 3.11 : İki Kural Tablolu PID Tipi Bulanık Kontrolör.....20
Şekil 3.12 : Tek Kural Tablolu PID Tipi Bulanık Kontrolör.....20
Şekil 4.1 : Bulanık PID Kontrol Yapısı.....23
Şekil 4.2 : Giriş Üyelik Fonksiyonları.....24
Şekil 4.3 : Çıkış Üyelik Fonksiyonları 24
Şekil 4.4 : Hata ve Hatanın Türevinin Ölü Zamanı Olmayan Sistem Cevabı Üzerindeki Değişimi.....27
Şekil 4.5 : Ölü Zamana Sahip Olan ve Olmayan Sistem Cevaplarının Karşılaştırılması 28
Şekil 4.6 : Kural Kaydırma Yöntemi.....28
Şekil 4.7 : Geleneksel Bulanık Kontrolörler İçin Çıkış Üyelik 30
Fonksiyonu (a) ve Ayarlanmış Bulanık Kontrolörler.....30
İçin Üyelik Fonksiyonu (b).....30
Şekil 4.8 : Üyelik Fonskiyonu Taban Aralığı Bölgelerin Dağılımı 32
Şekil 4.9 : "s1" Üyelik Fonksiyonu Konumlarının Ölü Zaman Göre Değişimi 34
Şekil 5.1 : Geleneksel Kontrolör Giriş-Çıkış Üyelik Fonksiyonları 36
Şekil 5.2 : Ayarlanmış Kontrolör Giriş Üyelik Fonksiyonları.....37
Şekil 5.3 : Sistem-1 İçin Performans Kıyaslaması.....38
Şekil 5.4 : Sistem-1 Ayarlanmış Üyelik Fonksiyonu 39
Şekil 5.5 : Sistem-2 İçin Performans Kıyaslaması.....40
Şekil 5.6 : Sistem-2 İçin Ayarlanmış Üyelik Fonksiyonu 41
Şekil 5.7 : Sistem-3 İçin Performans Kıyaslaması.....42
Şekil 5.8 : Sistem-3 İçin Ayarlanmış Üyelik Fonksiyonu 43
Şekil 5.9 : Sistem-4 İçin Performans Kıyaslaması.....44
Şekil 5.10 : Sistem-4 İçin Ayarlanmış Üyelik Fonksiyonu 45

Şekil 6.1 : Ölçekleme Çarpanları Sistem-2'de Verilen Parametrelere Göre Ayarlanmış Kontrolörün L=1.15 Sn. Ölü Zaman için (%15 artış) Performans Karşılaştırması……...50
Şekil 6.2 : Ölçekleme Çarpanları Sistem-2'te Verilen Parametrelere Göre Ayarlanmış Kontrolörün L=0.7 Sn. Ölü Zaman için (%30 azalma) Performans Karşılaştırması.....51
Şekil 6.3 : Ölçekleme Çarpanları Sistem-1'de Verilen Parametrelere Göre Ayarlanmış Kontrolöürn T=1.1 Sn. Zaman Sabiti için (%10 artış) Performans Karşılaştırması.....52
Şekil 6.4 : Ölçekleme Çarpanları Sistem-1'te Verilen Parametrelere Göre Ayarlanmış Kontrolörün T=0.9 Sn. Zaman Sabiti İçin (%10 azalma) Performans Karşılaştırması.....53
Şekil 6.4 : 9x9 Kural Tablosu ile Oluşturululan Ayarlanmış Bulnaık Kontrolör Başarım Değerlendirlmesi 50

SEMBOL LİSTESİ

μ :Üyelik fonksiyonu
Ai :Öncül dilsel terim
Bi :Sonuç dilsel terim
y* :Bulanık kontrolör çıkış işareti
e :Hata
Δe :Hatanın türevi
Ke :Giriş ölçekleme çarpanı
Kd :Giriş ölçekleme çarpanı
α :Çıkış ölçekleme çarpanı
β :Çıkış ölçekleme çarpanı
K_0 :Çıkış ölçekleme çarpanı
K_1 :Çıkış ölçekleme çarpanı
u :Kontrol işareti
L :Ölü zaman
x :Üyelik fonksiyonu bacak konumu
K :Kazanç
T :Zaman Sabiti
Tc :IMC kontrolör ayar parametresi
J :Performasn indeksi
mp :Maksimum aşım
ts :Yerleşme zamanı
tr :Yükselme zamanı
ess :Kararlı hal hatası
t :Süre
ITSE :Başarım Kriteri
ς :Kontroledilebilirlik Sabiti

ÖLÜ ZAMANLI SİSTEMLERDE ÜYELİK FONKSİYONLARININ TABAN ARALIĞININ AYARLANMASINA DAYALI BULANIK KONTROLÖR TASARIMI

ÖZET

Bulanık kontrolörler, sistem başarımını geleneksel kontrolörlere nazaran önemli ölçüde artırabilme ve matematik modelden bağımsız tasarlanabilme özellikleri başta olmak üzere sağladığı avantajlar sebebiyle birçok çalışmanın odak noktasını oluşturmaktadır. Bulanık mantık yaklaşımı ile oluşturulan kontrolörler, klasik yöntemin etkisiz kaldığı karmaşık yapılı sistemlerde, yapısal ve ayarlama parametreleri üzerinde esnek tasarım yapılabilme özelliği nedeniyle başarı ile uygulanabilmektedir. Endüstriyel süreçlerin büyük bir bölümünü oluşturan ölü zamanlı süreçlerin kontrolünde, özellikle gecikmenin zaman sabitine göre büyük olduğu durumlarda, geleneksel kontrolörlerin başarımı yeterli olmayabilmektedir. Bu çalışmada bulanık kontrolörlerin yapısal parametrelerinden olan üyelik fonksiyonu taban noktalarının, ölü zamanın diğer bir deyişle gecikmeli bilginin sebep olduğu etkileri giderecek şekilde belirlenmesine ilişkin yeni bir yöntem önerilmiştir. Bu amaçla, ölü zaman ve sistem zaman sabitini içeren kontroledilebilirlik sabitine bağlı bir fonksiyon elde edilmiş ve bu fonksiyondan yararlanılarak PID tipi bulanık kontrolörün çıkış üyelik fonksiyonlarının taban aralıkları ayarlanmıştır.

Elde edilen üyelik fonksiyonu taban aralığı ayarlamalı bulanık kontrolörün başarımı, farklı parametrelere sahip birinci dereceden ölü zamanlı sistemler ve birinci dereceden ölü zamanlı sistem olarak modellenebilen yüksek mertebeli sistemler ve doğrusal olmayan sistemler üzerinde yapılan benzetim çalışmaları ile değerlendirilmiş ve yöntemin etkinliği ortaya konulmuştur. Ayrıca, yöntemin, ölü zaman ve zaman sabiti değişimlerine bağlı olarak dayanıklılığı incelenmiş ve bulanık kontrolör için kullanılan kural tabanı sayısının değişimine bağlı olarak önerilen yöntemin geçerliliği değerlendirilmiştir.

FUZZY CONTROLLER DESIGN FOR THE SYSTEMS WITH DEAD TIME BY TUNING THE MEMBERSHIP FUNCTION BASE INTERVAL

SUMMARY

Fuzzy controllers have been the focus of many studies due to their various advantages such as their performance improvement with respect to the conventional controllers and independent structures from mathematical model. Because of their flexible design ability on structural and tuning parameters, the controllers designed using fuzzy logic approach, can succesfully be performed on complex systems on which the conventional control methods are not sufficient. In the control of the systems with dead time, which arises in most of the industrial processes, the performance of the conventional methods are not satisfactory when the dead time is relatively greater than the system time constant. In this study, a new method is proposed to tune the membership functions of fuzzy logic controllers so that to compensate the effect of dead time on the system performance. For this reason, a function that depends on the controlability constant, which involves the dead time and the system time constant, is obtained and the base interval of the output membership functions of the PID type fuzzy logic controller are tuned according to this function.

The performance of the fuzzy logic controller with the proposed membership function base interval tuning is demonstrated through simulation studies on first order systems with dead time and nonlinear or high order systems that can be modeled as first order systems with dead time to show the effect of the porposed tuning method. Moreover, the robustness of the method is analyzed due to dead time and system time constant variations.On the other hand, the effect of changing the rule base of fuzzy logic controller obtained.

1. GİRİŞ

İlk kez 1965 yılında California Berkeley Üniversitesinden Prof. Lotfi Zadeh tarafından klasik Aristo mantığına alternatif olarak ortaya atılan *Bulanık Mantık Teorisi*, 1974 yılında, E.H.Mamdani ve S. Assilian (Mamdani, 1974) tarafından model buhar makineleri üzerinde *EĞER- O HALDE* kural yapısının başarı ile uygulanabildiğinin kanıtlanması ile *Bulanık Kontrol* kavramı ile literatürde yerini almış ve sanayide oldukça yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [1]. Bulanık kontrol kavramı, insan düşünce yapısına yakınlığı, matematiksel modelden bağımsız işlev görmesi, lineer olmayan yapısı ve özellikle ölü zaman gibi sistem kontrolünü zorlaştıran durumlar karşısında gösterdiği esneklikten dolayı birçok akademik çalışmaya konu olarak gelişimine günümüzde de hızla devam etmektedir. Bir sistemde doğal ya da harici sebeplerle ölü zaman oluştuğu takdirde sistem kontrolünün zorlaştığı ve istenilen sonuçlara ulaşmakta güçlük çekildiği gözlemlenmiştir.

Bulanık kontrolörler, sistem başarımını geleneksel kontrolörlere nazaran önemli ölçüde artırabilme ve matematik modelden bağımsız tasarlanabilme özellikleri başta olmak üzere sağladığı avantajlar sebebiyle bir çok çalışmanın odak noktasını oluşturmaktadır. Farklı konularda bulanık model kontrolörler baz alınarak birçok başarılı çalışma ortaya konulmuştur. Sistem başarımını artırmak amacıyla ölçekleme çarpanları ve üyelik fonksiyonlarının ayarlanması üzerinde çalışmalar yapılmıştır [2,3,4]. Ölü zamanlı sistemlerde ölü zamanın yaratmış olduğu olumsuz etkileri gidermek amacıyla çalışmalar ortaya konulmuştur. [5].

Bu çalışmada bulanık kontrolörlerin yapısal parametrelerinden olan üyelik fonksiyonlarının, ölü zamanın sebep olduğu etkileri giderecek şekilde belirlenmesine ilişkin yeni bir yöntem önerilmiştir. Bu amacla, kontroledilebilirlik sabitine bağlı bir fonksiyon elde edilmiştir ve PID tipi bulanık kontrolörün çıkış üyelik fonksiyonlarının taban aralıkları bu fonksiyona bağlı olarak ayarlanmıştır. Kontroledilebilirlik sabiti, ölü zaman ve sistem zaman sabitinin sistem üzerindeki göreli etkisini ifade eden bir sabittir.

Elde edilen üyelik fonksiyonu taban aralığı ayarlamalı bulanık kontrolörün başarımı, farklı parametrelere sahip sistemler üzerinde yapılan benzetim çalışmaları ile değerlendirilmiş ve yöntemin etkinliği gösterilmiştir. Ayrıca, yöntemin, ölü zaman ve zaman sabiti değişimlerine bağlı olarak dayanıklılığı incelenmiştir.

Diğer bölümlerde üzerinde durulan konular şöyledir: İlk üç bölümde bulanık kümeler ve bulanık kontrolörler üzerinde durularak yapısal ve ayar parametrelerinin açılımları üzerinde durulmuştur. Dördüncü bölümde önerilen yöntem ve gerekçesi ortaya konulmuştur. Bulanık kontrolöre ait ölçekleme çarpanları yine ölü zamanlı sistemlerde uygulanabilecek nitelikte değerlendirilerek iki farklı sınıflandırma ile etkiler göz önüne alınmıştır. Beşinci bölümde yapılan benzetimlerde farklı kontroledilebilirlik sabiti için yöntemin etkinliği tartışılmıştır. Son Bölümde ise Yöntemin, ölü zaman değişimlerine, yapısal ve ayar parametrelerindeki belirsizliklere karşı dayanıklılığı tüm ortaya konulmuştur.

2. BULANIK KÜME KAVRAMI

2.1 Bulanık Kontrolörlerin Temel Yapısı

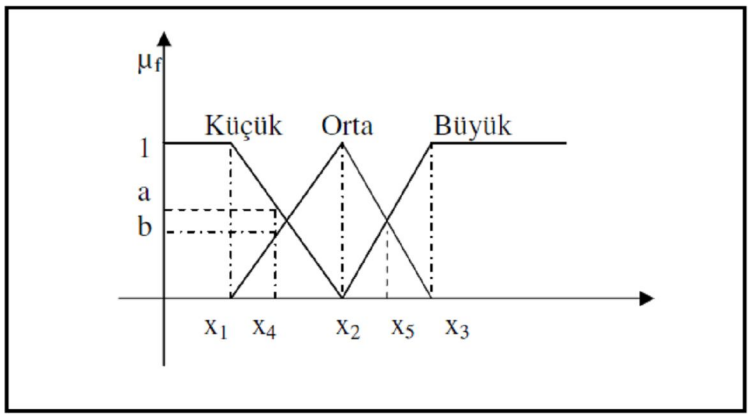
Klasik küme kuramında bir eleman o kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Hiçbir zaman kısmi üyelik olmaz. Nesnenin üyelik değeri 1 ise kümenin tam elemanı, 0 ise elemanı değildir. Başka bir deyişle klasik veya yeni ürün kümelerinde elemanların üyelikleri {0,1} değerlerini alır. Bulanık mantık, insanın günlük yaşantısında nesnelere verdiği üyelik değerlerini, dolayısıyla insan davranışlarını taklit eder. Örneğin elini suya sokan bir kişi hiçbir zaman tam ısısını bilemez, onun yerine sıcak, az sıcak, soğuk, çok soğuk gibi dilsel niteleyiciler kullanır. Klasik kümelerde bir odanın sıcaklığı 20 °C olduğu söylenirse, 19,5 °C'nin sıcak olmadığı söylenebilir. Doğal olarak bu mantığın hiçbir esnekliği yoktur. Gerçek dünyada ise sınırlar bu kadar keskin değildir. Endüstriyel kontrolör için bu durum ele alınırsa, kontrolördeki fiziksel büyüklüklerin dahil olduğu kümeler birbirlerinden böyle keskin sınırlarla ayrılmışlarsa denetim çıktısının ani değişiklikler göstermesi kaçınılmaz olacaktır. Bir de üyelik durumunun belirsizliği söz konusudur. Çok sık olarak, gerçek fiziki kelimelerle karşı karşıya gelen nesnelerin kümeleri, üyeliklerin önkoşullarını tam olarak tanımlayamaz. Gerçek küme tanımlaması, bilginin iletişimi, insan düşüncesindeki özellikle modellerin tanınması, soyut düşünce alanlarında önemli rol oynar.

Klasik kümelerin aksine bulanık kümelerde elemanların üyelik dereceleri [0,1] aralığında sonsuz sayıda değişebilir. Bunlar üyeliğin derecelerinin devamlı ve aralıksız bütünüyle bir küme oluşturur. Keskin kümelerdeki soğuk-sıcak, hızlı-yavaş, aydınlık-karanlık gibi ikili değişkenler, bulanık mantıkta biraz soğuk, biraz sıcak, biraz karanlık gibi esnek niteleyicilerle yumuşatılarak gerçek dünyaya benzetilir. En önemli fark, böyle bir çatıda bilginin kaynağındaki küme üyeliğinin kesin tanımlanmış önkoşullarının olmayışı ve daha çok problemlerle rasgele değişkenlerin hazır bulunarak iş yapılan doğal yolu hazırlamasıdır [6].

Herhangi bir U evrensel kümesi altında F bulanık kümesi,eleman ve elemanın üyelik fonksiyonu derecesi çiftinden olusur . F kümesinin tanımı denklem 2.1'de verilmiştir.

$$F = \{(u, \mu_F(u)) | u \in U\} \quad \textbf{(2.1)}$$

Üyelik fonksiyonu küme elemanlarının üyelik derecelerini gösteren egridir. Üçgen, sinüsoid, trapezoid, gaussian gibi çesitli şekiller kullanılarak en yüksek üyelikderecesi 1 olabilen bulanık kümeler olusturulur. Bulanık kümelerde üyelikfonksiyonları belirsizlik degiskenlerinin ifade edilebilmesi için iç içe geçmiş haldedirler. Şekil 2.1'de örnek üyelik fonksiyonları gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Bulanık Kontrolörlerin İç Yapısı

Üyelik fonksiyonları ile "Küçük", "Orta", "Büyük", aralıklarındaki tüm "x"degerlerine üyelik derecesi $\mu_f(x)$ atanmıs olur. Örnegin x_4 elemanı "Küçük" kümesine b, "Orta" kümesine a derecesi ile baglıdır. Üyelik dereceleri ve elemanlar denklem 2.2'de verilmiştir.

$$K = \left\{ \frac{1.0}{x_1} + \frac{b}{x_4} \right\} \qquad (0 < a, b < 1) \quad \textbf{(2.2)}$$

x, A kümesinin elemanı olmak üzere bir bulanık küme denklem (2.3),(2.4),(2.5)'te verildiği gibi gösterilebilir.

$$A = \mu_A(x_1)/x_1 + \mu_A(x_2)/x_2 + ... + \mu_A(x_n)/x_n \quad \textbf{(2.3)}$$

$$A = \left\{ \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + ... + \frac{\mu_A(x_n)}{x_n} \right\} = \sum_{i=1}^{n} \mu_A(x_i)/x_i \quad \textbf{(2.4)}$$

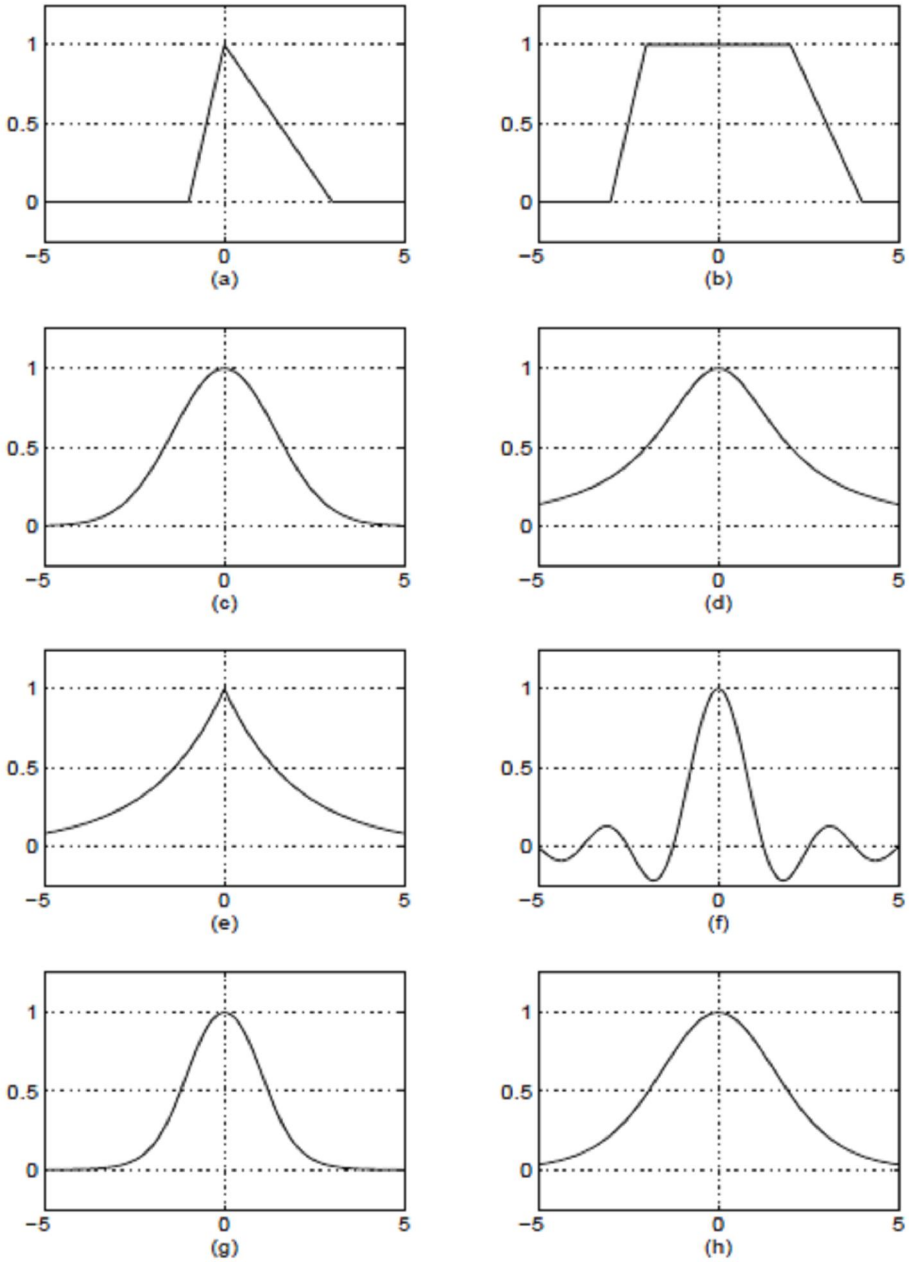
$$A = \int_x \mu_A(x_i)/x_i \quad \textbf{(2.5)}$$

Bulanık değişkenler tanımlar arasında yumuşak geçişe izin verdiğinden gerçek gözlemler ve ölçme belirsizliklerini ifade etmek ve bunlarla başa çıkmakta doğal bir yetenek sergiler.keskin değişkenlerin bu özelliği yoktur.

Bulanık kümelerle ifade edilen matematiksel bir modele ihtiyaç duymadığından, matematiksel bir modeli olmayan ve veya zamanla değişen, doğrusal olmayan sistemler en başarılı yaklaşım alandır.

Bulanık mantık yaklaşımında işaretler bir ön işlemeye tabi tutulmaları ve geniş bir alana yayılmış olan değerlerin az sayıda üyelik fonksiyonuna indirgenmeleri, uygulamaların daha hızlı sonuca ulaşmalarını sağlar.

Üyelik fonksiyonlarının değişkenlerinin belirlenmesinde kesin sonuç veren belirli bir yöntem bulunmamaktadır. Bu sebeple uzun testler yapmadan ne kadar ve ne biçimde üyelik fonksiyonunun gerektiğini önceden belirlemek mümkün değildir. Şekil-2.2'de kullanılan bazı üyelik fonksiyonları verilmiştir.



Şekil 2.2 : Üyelik Fonksiyonu Çeşitleri (a) Üçgen (b) Yamuk (c) Gauss (d) Cauchy (e) Laplas (f) Sinc (g) Lojik (h) Hiperbolik Tanjant

2.2 Bulanık Kümelerde Temel İşlemler

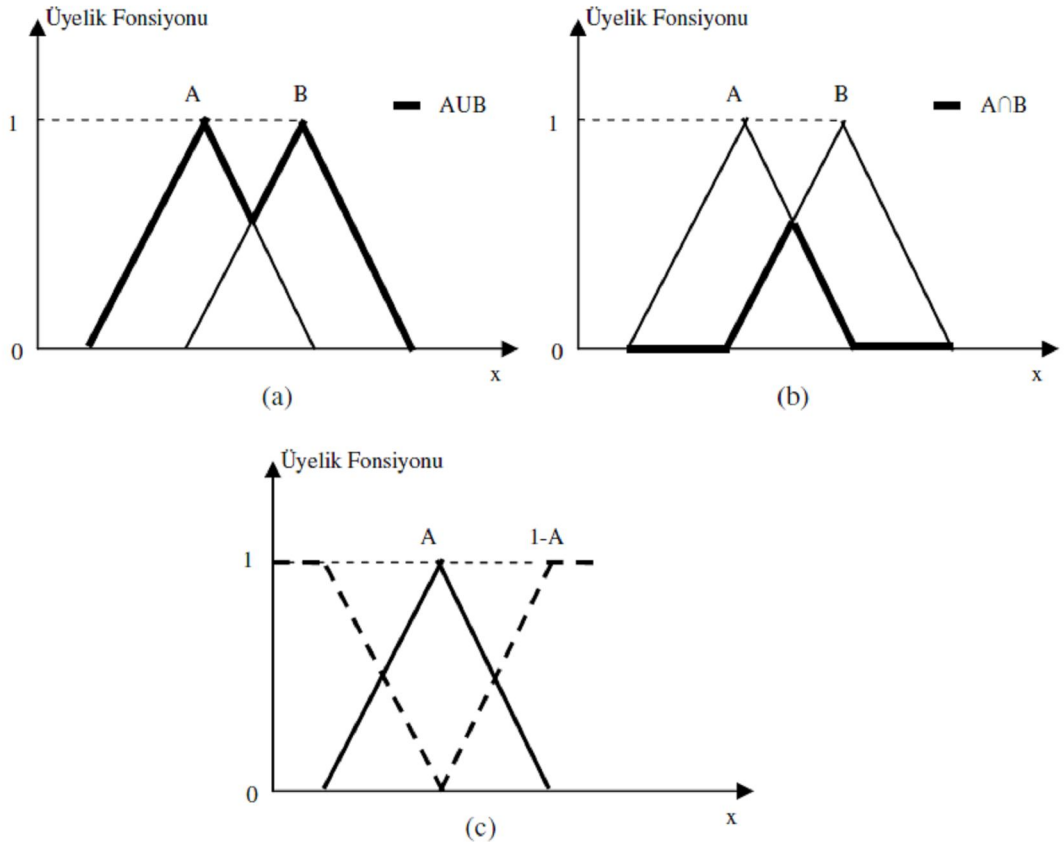
Bulanık kümeler arası islemler, üyelik fonksiyonları ile (elemanların üyelik dereceleri ile) yapılır. Örnek olarak, A ve B iki bulanık küme için, μ_A ve μ_B üyelik fonksiyonu olmak üzere sırasıyla birlesim, kesisim ve tümleyen islemleri;

$$\mu_{A\cup B}(x) = \mu_A(x) \cup \mu_B(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad \textbf{(2.6)}$$

$$\mu_{A\cap B}(x) = \mu_A(x) \cap \mu_B(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad \textbf{(2.7)}$$

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad \textbf{(2.8)}$$

olarak ifade edilir. İfadelere ait örnek grafikler Sekil 2.3 de gösterilmistir [7].

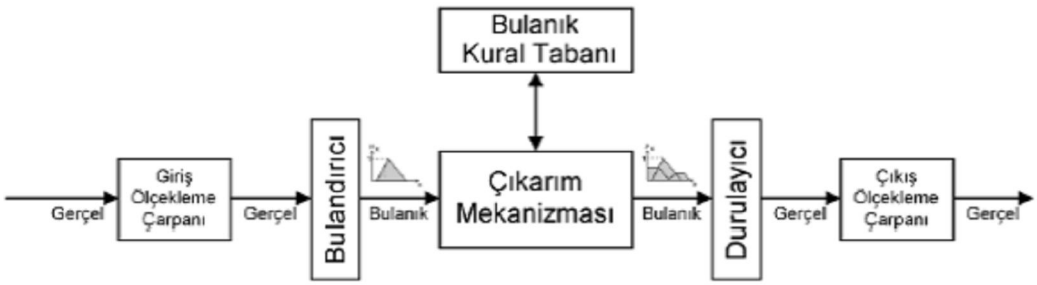


Şekil 2.3 : Bulanık Kümeler Arası İşlemler

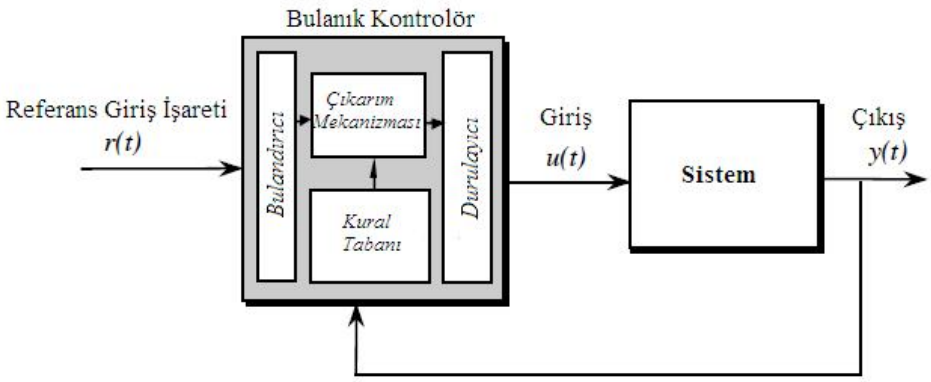
3. BULANIK KONTROLÖRLER

3.1 Bulanık Kontrolörlerin Temel Yapısı

Bulanık sistemlerin çok büyük bir kısma, Eğer (If) – O halde (Then) kuralları ile tanımlanmıştır. En basit bulanık sistemin ana yapıları, bulanık kural tabanı ve çıkarım mekanizmasıdır. Kural tabanında, bulanık Eğer- O Halde kuralları bulunur. Kural tabanı ve çıkarım mekanizmasından oluşan temel bulanık sistem yapısı, bulandırıcı ve durulayıcı adı verilen iki birim daha içermektedir. Bulandırıcı gerçel değerli sistem girişini bulanık kümelere dönüştürerek çıkarım mekanizmasında değerlendirilecek giriş değişkenlerini belirlemektedir. Durulayıcı ise bulanık mekanizmanın üretmiş olduğu bulanık kümeleri gerçel değerlere dönüştürerek kontrol işareti üretmektedir. Şekil-3.1 ve Şekil-3.2'de bulanık kontrolörün temel yapısı verilmiştir [8]



Şekil 3.1 : Bulanık Kontrolörlerin İç Yapısı



Şekil 3.2 : Bulanık Kontrolörlerin İç Yapısı

3.1 Genel Bulanık Mantık Kontrolörler

Sistem değişkenleri, denetlenen sistemden ölçülen giriş değişkeni ve sistemi denetim için bulanık mantık kontrolör tarafından kullanılan çıkış değişkeni olmak üzere iki çeşittir. Bulandırma birimi en son ölçülen verinin uygun dilsel değerlere dönüştürülmesini sağlar. Bulanık bilgi tabanı bilginin iki ana tipini kapsar: veri tabanı, her bir sistem değişkeninin değerleri gibi kullanılan bulanık kümelerin üyelik işlevlerini tanımlari kural tabanı ise giriş bulanık değerlerin, çıkış bulanık değerlerine tam olarak eşlenmesini temsil eder. Karar verme birimi bulanık kontrolörün özüdür ve arzu edilen denetim stratejisine erişmek için, yaklaşık çıkarım sağlaması ile insan gibi karar verme yeteneğine sahiptir. Durulama birimi ise karar verme biriminden gelen bulanık bilgileri, gerçek değerlere dönüştürerek, sistemin tanıyabileceği denetim hareketi haline gelmesini sağlar.

3.1.1 Bulandırma Birimi

Bulandırma, sistemden alınan denetim giriş bilgilerini dilsel niteleyiciler olan sembolik değerlere dönüştürme işlemidir. Üyelik işlevinden faydalanılarak giriş bilgilerinin ait olduğu bulanık kümeyi/kümeleri ve üyelik derecesini tespit edip, girilen sayısal değere küçük, en küçük gibi dilsel değişkenler atar. Sistemin verimli çalışmasını sağlamak amacıyla değişik şekillerde (üçgen, yamuk,çan eğrisi….vs) bulanık kümeler seçilebilir.

3.1.2 Bilgi Tabanı

Bilgi tabanı, karar verme biriminin kural tabanının da kullndığı bilgileri aldığı veri tabanı ve denetim amaçlarına uygun dilsel denetim kurallarının bulunduğu kural tabanı olmak üzere iki kısma ayrılabilir. Genel olarak da uygulama dönemindeki bilgilerden ve denetim amaçlarından oluşur. Dilsel denetim kurallarının tanımlanmasında ve bulanık mantık denetimdeki bulanık bilgi işleme süresince yararlanılır. Kurallar kümesi denetim amaçlarını ve denetim stratejisini belirler. Denetimi yapılan sistemle ilgili, bulandırma, bulanık çıkarım, durulama işlemleri sırasında gerek duyulan üyelik işlevi ve kural tablosu bilgileri veri tabanından kullanıma sunulmaktadır.

Girişler ve çıkışlar arasındaki bağıntılar, kural tabanındaki kurallar kullanılarak sağlanır. *A* ve *B* girişler, *C* ise çıkış değişkeni olan bir sistem için,

Eğer A=x ve B=y ise O HALDE C=z, **[3.1]**

Şeklindeki bir kural A ve B'nin aldığı değerlere göre C çıkışının bulanık değerini belirlemektedir [6].

3.2 Bulanık Kural Tabanları

Bulanık sistemlerde değişkenler arasındaki ilişkiler bulanık

EĞER *öncül(antecedent) önerme* **O HALDE** *sonuç(consequent) önerme*

şeklindeki "EĞER – O HALDE" bulanık kurallar ile ifade edilir. Öncül önerme, her zaman "$\tilde{x}$ A'dır" şeklinde bir bulanık önermedir. Burada $\tilde{x}$ bir dilsel değişken ve A ise bir dilsel terimdir. Önermenin doğruluk değeri sıfır ile bir arasında bir gerçel sayıdır ve bu değer $\tilde{x}$ ve A arasındaki uyumun(benzerliğin) derecesine bağlıdır. Örneğin kapalı bir kaptaki gazın sabit sıcaklıkta basınç -hacim ilişkisi

EĞER *basıç fazla ise* **O HALDE** *hacim azdır.*

şeklindeki bir bulanık kural ile verilebilir.

Elde edilen bulanık model, bulanık kuralların türüne göre adlandırılır. Bulanık

önermedeki sonuç ifadesinin yapısına göre bulanık kural tabanı dört farklı yapı oluştururlar.

i. Mamdani tipi bulanık kurallar,

ii. Tekli (singleton) tip bulanık kurallar,

iii. Takagi-Sugeno tipi bulanık kurallar.

iv. Tsukamoto tipi bulanık kurallar.

3.2.1 Mamdani Tipi Kural Tabanı

$$K_i = Eger\ \tilde{x}\ A_i\ ise\ O\ HALDE\ y\ \tilde{B_i}\ dir. \qquad \textbf{[3.2]}$$

K_i=i. Kural

$\tilde{x}$ = giriş (öncül) dilsel değişken

$\tilde{y}$ = çıkış (sonuç) dilsel değişken

A_i =öncül dilsel terim

B_i =sonuç dilsel terim

Kurallarda yer alan ($\tilde{x}$ / $\tilde{y}$) dilsel değişkenlerinin değerleri ve A_i ($/B_i$) dilsel terimleri kendi tanım bölgelerinde tanımlı bulanık kümelerdir

Öncül (/sonuç) bulanık kümelerine ilişkin üyelik fonksiyonları

$$\mu(x) : X \rightarrow [0,1],\ \mu(y) \rightarrow [0,1] \qquad \textbf{[3.3]}$$

şeklinde dönüşümlerdir. A_i bulanık kümeleri, ilişkili sonuç önermelerinin geçerli olduğu öncül uzaydaki bulanık bölgelerdir. A_i ve B_i dilsel değişkenleri genellikler daha önceden tanımlanmış *KÜÇÜK, ORTA, BÜYÜK, NEGATİF, POSİTİF* gibi terimlerden seçilir. Bu kümeler, **A** ve **B** ile gösterilirse A_i ve B_i 'ler, $A_i \in \mathbf{A}$ ve $B_i \in \mathbf{B}$ şeklinde ifade edilebilir.

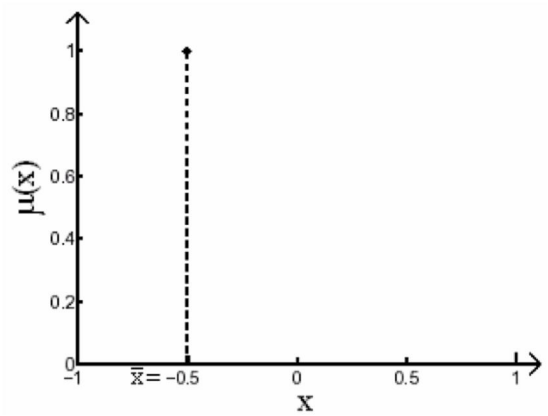
3.2.2 Tekli (Singleton) Tipi Kural Tabanı

Mamdani tipi bulanık kuralların özel bir halidir. Kuralların sonuç önermesinde yer alan Bi bulanık kümelerinin tekli(singleton) bulanık küme seçilmesiyle oluşturulur.

Tekli üyelik fonksiyonu denklem (3.4)' te verilmiştir.

$$\mu(x) = \begin{Bmatrix} 1 & , x = x^* \\ 0 & , aksi\ halde \end{Bmatrix} \qquad \textbf{[3.4]}$$

şeklinde tanımlanır. Şekil 3.3'te bir tekli üyelik fonksiyonu verilmiştir.



Şekil 3.3 : Tekli (Singleton) Tipi Üyelik Fonksiyonu

B_i bulanık kümeleri, b_i gerçel sayılar ile aşağıdaki gibi basit şekilde ifade edildiğinde

Tekli kurallar

K_i: EĞER x, A_i ise O HALDE $y= b_i$, i= 1, 2, 3,……,r **[3.5]**

Şeklinde yazılabilir.

3.2.3 Takagi Sugeno (T-S) Tipi Kural Tabanı

Mamdani tipi bulanık EĞER - O HALDE kurallardaki öncül ve sonuç kısımlar bulanık önermeler ile sistemi ifade etmektedir. Oysaki Takagi-Sugeno (T-S) bulanık modelinin sonuç kısımda, bir belirgin (kesin) fonksiyon mevcuttur. Dolayısıyla bu model hem matematiksel, hem de dilsel ifadelerle oluşturulan bir model olarak görülebilir. Öncül kısım, sonuç kısmındaki fonksiyonların var olduğu, giriş uzayının bulanık bölgelerini ifade eder. T-S modelinde kurallar aşağıdaki yapıdadır:

K_i: EĞER x, A_i ise O HALDE $y_i = fi(x)$, i= 1, 2, ….., r **[3.6]**

Mamdani modelin aksine, x girişi kesin değerlidir. Her kuraldaki $f_i(x)$ fonksiyonu aynı tip yapıdadır, yalnızca parametreler değişiktir. Basitlik ve pratiklik açısından, $f_i(x)$ fonksiyonu için doğrusal olan aşağıdaki yapı oldukça kullanışlıdır.

K_i: EĞER x, A_i ise O HALDE $y_i = a_i^T x + bi$, i= 1, 2, …, r **[3.7]**

Burada a_i parametre vektörü, b_i ise bir skalerdir. Dikkat edilecek olursa, kurallardaki tüm a_i ler sıfır vektörü olarak alındığında tekli model elde edilir.

Çizelge 3.1 : Bulanık Çıkarımda Kural Tiplerinin Yapısı.

Kural Tipi	**Öncül Bölüm**	**Sonuç Bölümü**
Mamdani	x=[dilsel terim]	y=[dilsel terim]
Tekli (Singleton)	x=[dilsel terim]	y=[sayı]
Takagi-Sugeno	x=[dilsel terim]	y=f(x)

3.3 Durulama Birimi

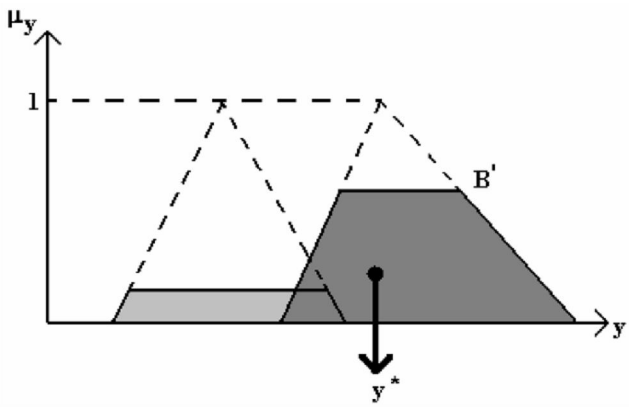
Bulanık çıkarım sonucu bulanık bir kümedir. Bu sonucun tekrar sisteme uygulanması için giriş değeri gibi sayısal bir değere dönüştürülmesi gerekir. Bu işlem durulama olarak adlandırılır. Durulama birimi karar verme biriminden gelen bulanık bir bilgiden bulanık olmayan ve uygulama kullanılacak gerçek değerlerin elde edilmesini sağlar.

Durulama işleminde değişik yöntemler kullanılmaktadır. Önce her kural için üyelik derecelerinden oluşan değer ve sonuç kural tespit edilir. Daha sonra en uygun yöntem seçilerek durulama yapılır.En çok kullanılan yöntemler şunlardır.

- Ağırlık merkezi yöntemi
- Alanlar toplamanının merkezi yöntemi
- En büyük alanın merkezi yöntemi
- Maksimum durulayıcılar
- Yükseliklerin ortalaması (ağırlıklı ortalama) yöntemi

3.3.1 Ağırlık Merkezi Yöntemi

Ağırlık merkezi veya alan merkezi olarak da bilinen bu yöntem en yaygın kullanılan durulama yöntemidir.



Şekil 3.4 : Ağırlık Merkezi Yöntemi

Şu formülle ifade edilir.

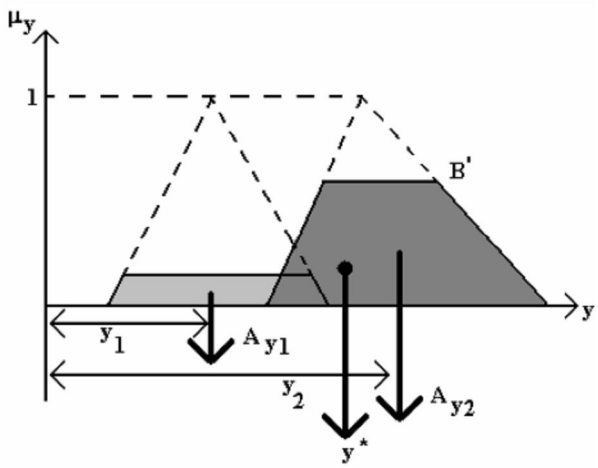
Sürekli durumlarda,

$$y^* = \frac{\int y\mu_B.(y).dy}{\int \mu_B.(y)dy} \qquad \textbf{[3.8]}$$

Ayrık durumlarda,

$$y^* = \frac{\sum y\mu_B.(y)}{\sum \mu_B.(y)} \qquad \textbf{[3.9]}$$

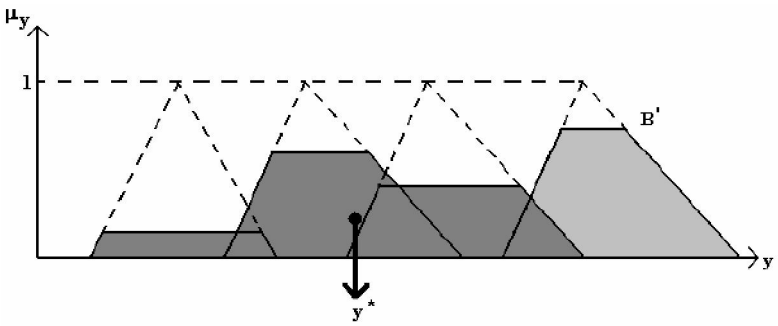
3.3.2 Alanlar Toplamının Merkezi Yöntemi



Şekil 3.5 : Alanlar Toplamının Merkezi Yöntemi

$$y^* = \frac{\sum_i y_i A_{yi}}{\sum_i A_{yi}} \qquad \textbf{[3.10]}$$

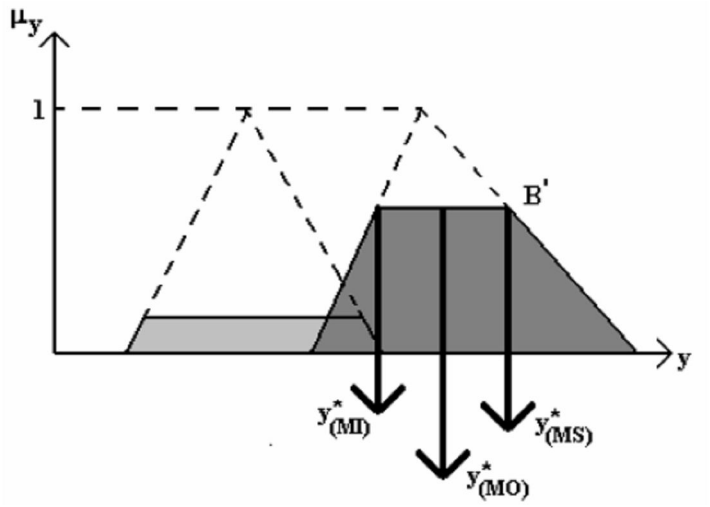
3.3.3 En Büyük Alanın Merkezi Yöntemi



Şekil 3.6 : En Büyük Alanın Merkezi Yöntemi

3.3.4 Maksimum Durulayıcılar Yöntemi

Maksimum durulayıcılar yöntemi; Maksimum İlki (Mİ), Maksimum Ortalaması (MO) ve Maksimum Sonu (MS) hesaplamalarından oluşmaktadır.



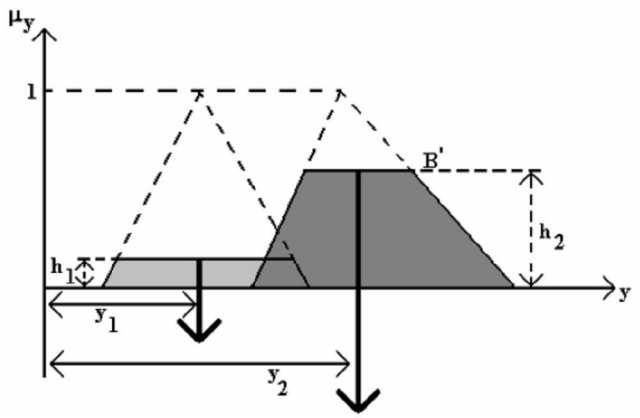
Şekil 3.7 : Maksimum Durulayıcılar Yöntemi

$$y^{*}_{(MI)} = \inf_{y \in Y} \left\{ y \in Y \middle| \mu_Y(y) = hgt(Y) \right\} \quad \textbf{[3.11]}$$

$$y^{*}_{(MS)} = \sup_{y \in Y} \left\{ y \in Y \middle| \mu_Y(y) = hgt(Y) \right\} \quad \textbf{[3.12]}$$

$$y^{*}_{(MO)} = \frac{y^{*}_{(MI)} + y^{*}_{(MS)}}{2} \quad \textbf{[3.13]}$$

3.3.5 Yüksekliğin Ortalaması (Ağırlıklı Ortalama) Yöntemi



Şekil 3.8 : Yüksekliğin Ortalaması (Ağırlıklı Ortalama) Yöntemi

$$y^* = \frac{\sum_i y_i h_i}{\sum_i h_i} \qquad \textbf{[3.14]}$$

$$y^* = \frac{h_1 y_1 + h_2 y_2}{h_1 + h_2} \qquad \textbf{[3.15]}$$

3.4 Bulanık Kontrolör Çeşitleri

Literatürde çeşitli tiplerde bulanık kontrolörler mevcuttur. Bunlardan biri PD tip bulanık kontrolörlerdir. Bu kontrolörler sistemden gelen hata (e) ve hatanın türevi bilgisini kullanarak uygun kontrol işaretini (u) üretirler. Bulanık PD tip kontrolörler sistem yanıtında iyi bir sönüm sağlar ve maksimum asım, yükselme zamanı ve yerleşme zamanı değerlerini azaltırlar. Ayrıca geri beslemeli sistemlerin kararlılığını arttırırlar. Fakat bu tip kontrolörlerde kararlı hal hatasını ortadan kaldırmak oldukça zordur. Sekil-3.9'da PD tip bulanık kontrolörün blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.9 : PD Tipi Bulanık Kontrolör

e : *hata*

$\dot{e}$: *hatanin degisimi*

K_e : *giriş ölçekleme çarpanı* (e)

K_d : *giriş ölçekleme çarpanı* $(\dot{e})$

α : *cikis ölçekleme çarpanı*

PD tip bulanık kontrolörlerin kararlı hal hatasına sebep olmalarından ötürü PI tip bulanık kontrolörler uygulamalarda daha fazla tercih edilmektedir. Girişte hata ve hatanın integrali bilgisinin kullanılması kural çıkarımı açısından zor olduğundan, bunun yerine girişte hata ve hatanın türevi bilgisi kullanılıp kontrolörün çıkısına bir integratör konularak PI tip bulanık kontrolörler elde edilir. Böylece bulanık PI tip kontrolörler giriş olarak hata ve hatanın türevi bilgisini kullanarak kontrol işaretindeki değişim miktarını belirlerler. Bu tip kontrolörlerde kararlı hal hatası

oluşmamasına karsın, özellikle sistem derecesi ve sistemdeki ölü zaman değeri arttıkça yapılarındaki integral etkisinden ötürü geçici hal üzerinde etkinlikleri azalmaktadır. Sekil-3.10'da PI tip bulanık kontrolörün blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.10 : PI Tipi Bulanık Kontrolör

e : *hata*

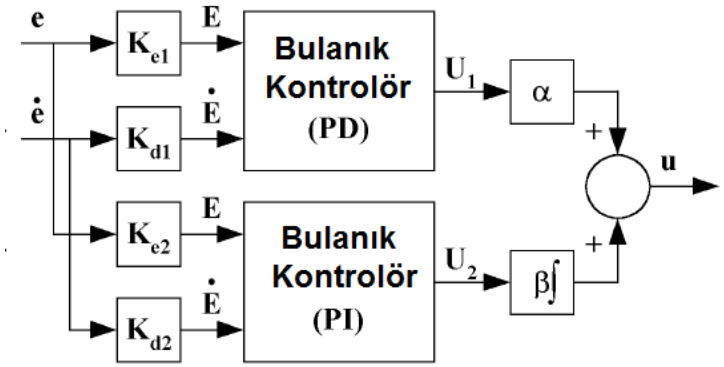
$\dot{e}$: *hatanin degisimi*

K_e : *giriş ölçekleme çarpanı* (e)

K_d : *giriş ölçekleme çarpanı* $(\dot{e})$

β : *cikis ölçekleme çarpanı*

Bulanık PID tip kontrolörler başarımı daha çok arttırırlar.Üç boyutlu kural çıkarımı zor olduğundan dolayı genellikle PID tip bulanık kontrolörler PI ve PD tip bulanık kontrolörlerin bir arada kullanılmasıyla oluşturulurlar [35-38]. PI ve PD tip bulanık kontrolörlerin kullanılmasıyla PID tip bulanık kontrolörün elde edilmesi iki yolla olmaktadır. İki ayrı kural tablosu kullanılarak PI ve PD tip bulanık kontrolörlerin çıkışları toplanır ve böylece kontrol işareti üretilir ya da tek kural tablosu kullanılarak PD tip bulanık kontrolörün çıkısına bir integratör ve toplama birimi eklenir ve bu şekilde kontrol işareti üretilir. Her iki yöntemin blok diyagramları Sekil-3.11 ve Sekil-3.12'de sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 3.11 : İki Kural Tablolu PID Tipi Bulanık Kontrolör

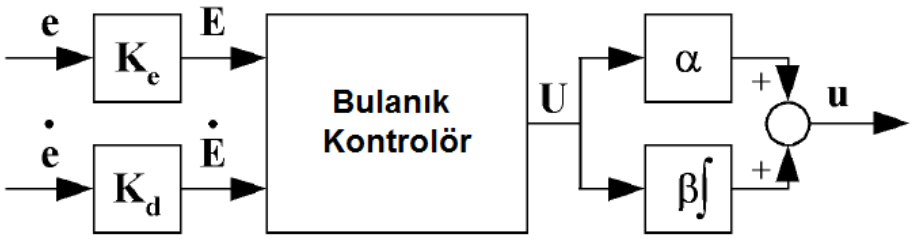
e : *hata*

$\dot{e}$: *hatanin degisimi*

K_e : *giriş ölçekleme çarpanı* (e)

K_d : *giriş ölçekleme çarpanı* $(\dot{e})$

α, β : *cikis ölçekleme çarpanı*



Şekil 3.12 : Tek Kural Tablolu PID Tipi Bulanık Kontrolör

e : *hata*

$\dot{e}$: *hatanin degisimi*

K_e : *giriş ölçekleme çarpanı* (e)

K_d : *giriş ölçekleme çarpanı* $(\dot{e})$

α, β : *cikis ölçekleme çarpanı*

Genel olarak bulanık kontrolörlerin tasarım parametrelerini iki grupta toplayabiliriz.

- Yapısal parametreler
- Ayarlama parametreleri

Yapısal parametreler, bulanık kontrolörün giriş ve çıkış değişkenlerini, üyelik fonksiyonlarını, bulanık kuralları, bulanık dilsel kümeleri, bulanık çıkarım mekanizması ve durulama mekanizmasını içerir. Ayarlama parametreleri ise giriş-çıkış ölçekleme çarpanlarını ve üyelik fonksiyonu parametrelerini içerir. Genellikle yapısal parametreler çevrim dışı durumda belirlenir ve kontrolörün temel yapısı tasarlanır. Örneğin üyelik fonksiyonu tipi, üyelik fonksiyonu sayısı, giriş- çıkış değişkenleri sayısı, kurallar ve kural sayısı, durulama yöntemi çevrimdışı olarak belirlenir ve süreç boyunca değişmez. Ayarlama parametreleri ise genellikle

belirlenen kontrolörün başarımını artırmak, karalığını sağlamak amacıyla çevrim içi hesaplanan ve belirlenen kriterlere göre değişkenlik gösteren parametrelerdir.

3.5 Bulanık Kontrolör Tasarımı

Bir bulanık mantık kontrolörü tasarlarken gerekli temel aşamalar aşağıdaki gibi sıralanabilir. Bunlar genel olarak bütün sistemler için geçerlidir.

- Öncelikle problemin çözümü için bulanık mantığın uygun olup olmadığı tespit edilir. Eğer sistemin davranışı hakkındaki bilgi klasik kuralların tanımlanması için yeterliyse bulanık mantık yeterlidir.
- Ele alınan sistemin durum, giriş ve çıkış değişkenleri dizileri tanımlanır. Algılayıcılardan gelen ölçümler giriş, denetim ve çıkış değişkenleri dizilerini üretir.
- Her bir giriş ve çıkış parametresi için üyelik işlevleri tanımlanır. Üyelik işlevlerinin sayısı, tasarımcının seçimi ve sistem davranışlarına bağlıdır.
- Bilginin esas bölümü, uzman dilsel kuralları, sezgisel olarak elde edilen bilgileri, giriş ve çıkış bilgilerinin ölçümlerini içerir. Böylece bulandırma yapılabilir ve hangi kuralın uygulanacağı belirlenir.
- Bir kural tabanı oluşturulur. Kural tabanında, tasarımcı, kuralların 'ne kadar' önemli olduğunu tanımlar.
- Oluşturulan kural tabanı ile bazı örnek girişler için sistemin çıkışlarına bakılır. Elde edilen çıkışların, doğruluğu ve verilen girişler kümesi için kural tabanına uygunluğu tespit edilir.
- Uygulanan kurala göre sonuç tespit edilir.

Kontrol işleminde, en uygun bir tane çözüm değil, yeterli derecede iyi bir çözüm elde edilmelidir.

Temel olarak bulanık kontrol etrme işlemi dört kısımdan oluşur

- Uzman karar vericinin dilsel stratejilerinden oluşan kuralların kümesi
- Giriş bilgilerinin kümesi
- İstenen hareketi (çıkışı) elde etmek için verilen verilere kuralların uygulanması
- Hedeflenen en iyi değerin elde edilmesi [6]

Bundan sonraki bölümde, sistemlerdeki ölü zaman etkisinin bulanık kontrolör başarımı üzerinde oluşturduğu olumsuz etkiyi gidermek amacıyla ortaya konulan bir yöntem üzerinde durulmuştur.

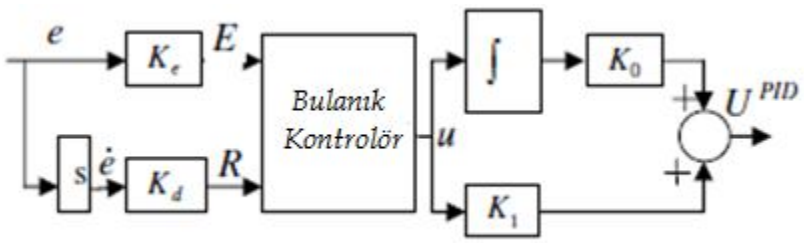
4. ÜYELİK FONKSİYONLARININ TABAN ARALIĞININ AYARLANMASI YÖNTEMİ

4.1 Giriş

Zaman gecikmesi endüstriyel süreçler için kontrol edilmeyi güçleştiren bir problem halini alarak birçok çalışmanın odak noktası olmuştur. Bir sistemde doğal ya da harici sebeplerle ölü zaman oluştuğu takdirde sistem kontrolünün zorlaştığı ve istenilen sonuçlara ulaşmakta güçlük çekildiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmada ölü zamanın bulanık PID kontrolörleri üzerindeki etkisini gidermeyi amaçlayan bir yöntem geliştirilmiştir.

4.2 Bulanık Kontrolör Yapısı

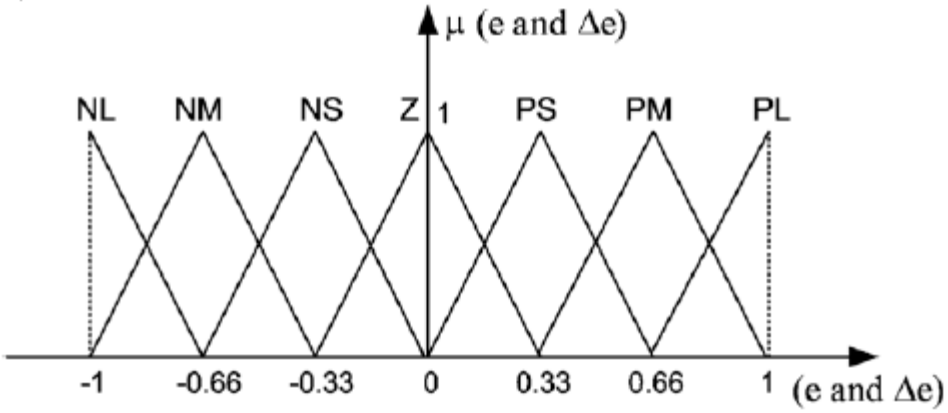
Bu çalışmada hata ve hatanın türevini giriş işareti olarak alan iki girişli PID kontrolör yapısı kullanılmıştır. Bu yapı ikisi giriş değişkenleri için ve diğer ikisi çıkış değişkenleri için kullanılmak üzere dört ölçekleme çarpanına sahiptir.
Bulanık PID Kontrol yapısı Şekil-4.1 ‘de verilen sistem kullanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 4.1 : Bulanık PID Kontrol Yapısı

4.2.1 Üyelik Fonksiyonlarının Tanımlanması

Şekil-4.1 de kullanılan yapıda yer alan bulanık kontrolörün giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları Şekil-4.2 ve Şekil-4.3 ’de tanımlanmıştır. Giriş ve çıkış üyelik fonksiyonlarına ait tanım aralığı [-1, 1] olarak seçilmiştir.



Şekil 4.2 : Giriş Üyelik Fonksiyonları

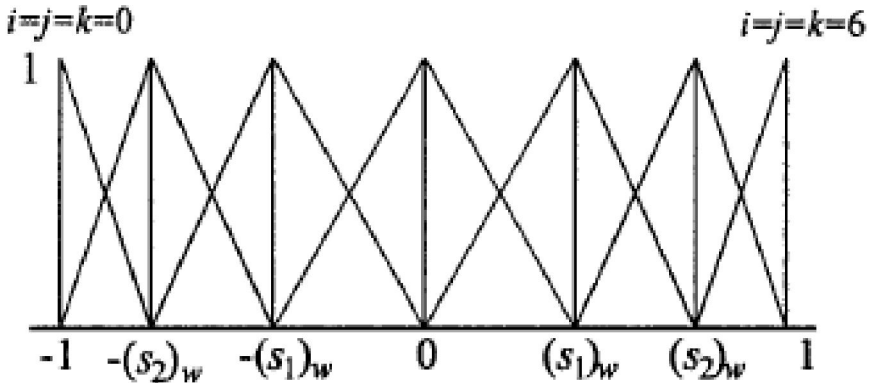
Yedi üyelik fonksiyonuna sahip bulanık yapıya ait kural tablosu Çizelge-4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : 7x7 Kural Tablosu

Δe/e	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
PL	Z	PS	PM	PL	PL	PL	PL
PM	NS	Z	PS	PM	PL	PL	PL
PS	NM	NS	Z	PS	PM	PL	PL
Z	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
NS	NL	NL	NM	NS	Z	PS	PM
NM	NL	NL	NL	NM	NS	Z	PS
NL	NL	NL	NL	NL	NM	NS	Z

.

Şekil-4.3'de yer alan üyelik fonksiyon taban aralıklarını $\pm s1$ ve $\pm s2$ noktaları ifade etmektedir.



Şekil 4.3 : Çıkış Üyelik Fonksiyonları

4.2.2 Ölçekleme Çarpanlarının Tanımlanması

Ölçekleme çarpanları, giriş ölçekleme çarpanları ve çıkış ölçekleme çarpanları olmak üzere iki gruba ayrılır. Giriş ölçekleme çarpanları, gerçek giriş değerlerini üyelik fonksiyonlarının tanım aralığına normalize edilmesini sağlar. Çıkış ölçekleme çarpanları ise normalize kontrol işaretini, gerçek çıkış değerine çevrilerek pratik uygulamalar için kullanılabilir hale getirilmesini sağlar.

Giriş-Çıkış ölçekleme çarpanlarının normalize ve gerçek değerleri arasındaki ilişki aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$E = e.K_e$$
$$R = e^{\bullet}\ .K_d d$$
$$U_{PID} = K_o \int u\ du + K_1 u \qquad \textbf{[4.1]}$$

K_e, K_d :Giriş Ölçekleme Çarpanları

K_o :Çıkış Ölçekleme Çarpanı

e :Hata değeri (e=referans-sistem çıkışı)

$e^{\bullet}$:Hatanın türevi

u :Kontrol İşareti

4.2.3 Ölçekleme Çarpanlarının Ayarlanması

Ölü zamana sahip birinci mertebeden sistemler aşağıdaki transfer fonksiyonuna sahiptir.

$$G(s) = \frac{K}{Ts+1} e^{-sL} \qquad \textbf{[4.2]}$$

***L**: Ölü zaman*

***K**:Kazanç*

***T**:Zaman sabiti*

Bu tür sistemler için “Kontroledilebilirlik Sabiti” [0 1] aralığında aşağıdaki gibi tanımlanmıştır [9].

$$\tau = \frac{\mathrm{L}}{\mathrm{L}+\mathrm{T}} \qquad \textbf{[4.3]}$$

τ parametresi zaman sabiti ve ölü zaman arasındaki ilişkiden yola çıkarak oluşturulmuştur. τ parametresi küçük değerler aldığında sistemin kontrolünün kolay olduğu, büyük değerlere ulaştığında ise sistem kontrolünün zorlaştığı söylenebilir

Şekil 4.1’de verilen yapıda K_e, K_d, K_0, K_1 ölçekleme çarpanlarının ölü zamana bağlı olarak belirlenmelidir. Ölü zamanın sistem cevabına doğrudan etkisi göz önüne alındığı zaman taban aralığı ayarlaması yapmadan önce çözüm uzayının belirli kriterlere bağlı olarak değişmesi gerektiği kaçınılmaz olmaktadır.

Ölçekleme çarpanları, bulanık PID kontrolörüne ait parametreleri ayarlamak için önerilen analitik IMK (İçsel Model Kontrolör) tabanlı ayar yöntemi kullanılarak belirlenmiştir [5]. Bu ayar yöntemine göre ölçekleme çarpanları aşağıdaki denklemler yardımıyla ayarlanabilmektedir.

$$K_d = \alpha K_e$$

$$K_1 = \beta K_0$$

$$\alpha = \min(T, L/2)$$
$$\beta = \max(T, L/2)$$

$$K_0 = \frac{A}{B}\frac{1}{KK_e(t_c + \frac{L}{2})} \qquad \textbf{[4.4]}$$

K_e,K_d,K_0,K_1:Giriş çıkış ölçekleme çarpanları

T : zaman sabiti

L: ölü zaman

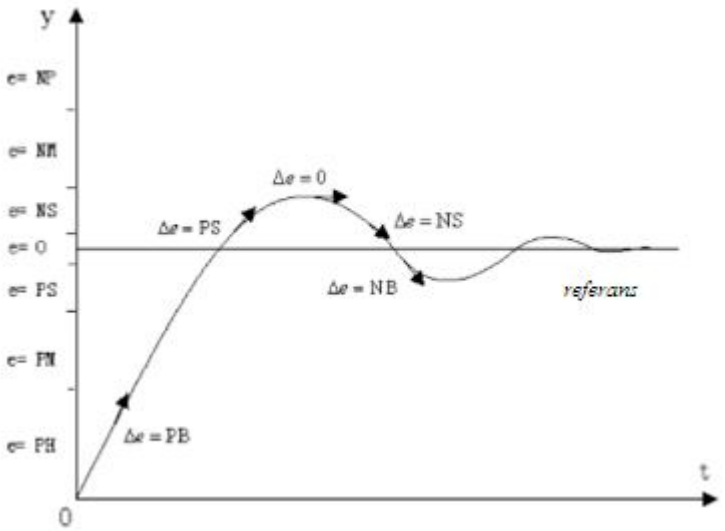
A,B: Giriş- Çıkış üyelik fonksiyonlarının merkezleri arası uzaklık

t_c=IMC (kapalı çevrim zaman sabiti) ayar parametresi

4.2.4 Taban Aralığını Ayarlama

4.2.4.1 Ölü Zamanın Sistem Cevabı Üzerindeki Etkisi

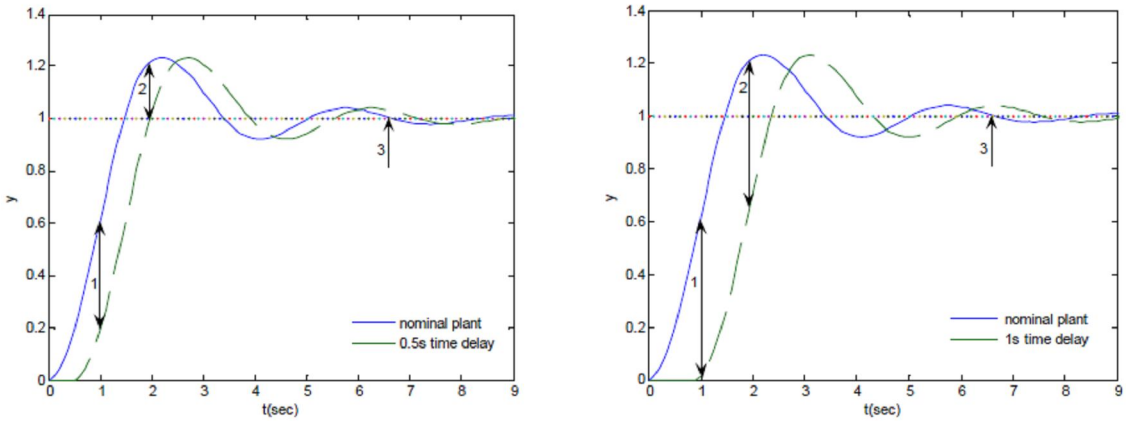
Bu çalışmada ölü zamana sahip sistemlerde bulanık PID kontrolörlerinin başarımını artıran bir yöntem geliştilirilmek istenmektedir. Bu nedenle ölü zamanlı sistemlerde, gecikmenin başarım üzerinde yarattığı olumsuz etkilerin nedenini irdelemek gerekir.
Şekil-4.4'te ölü zamana sahip olmayan bir sisteme ilişkin cevaba ait hata ve hatanın değişiminin farklı noktalardaki büyüklük ve işaretleri görülmektedir.



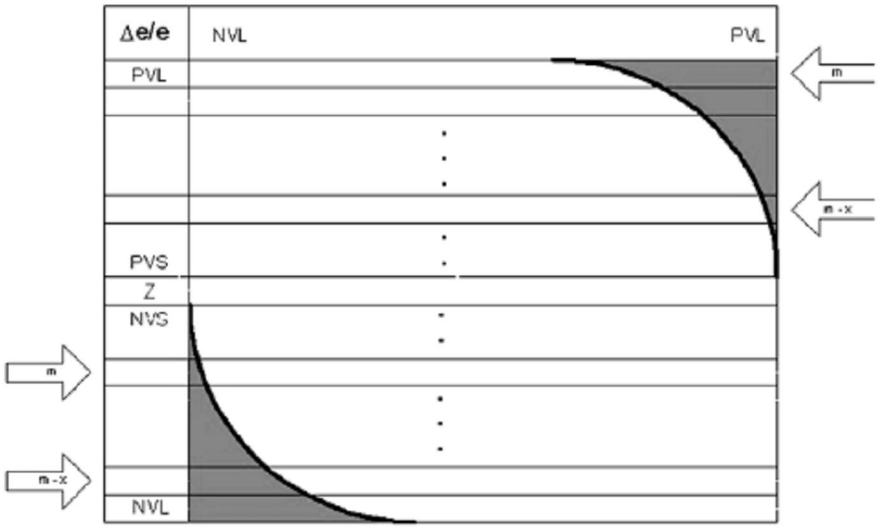
Şekil 4.4 : Hata ve Hatanın Türevinin Ölü Zamanı Olmayan Sistem Cevabı Üzerindeki Değişimi

Şayet sistemde ölü zaman var ise Şekil-5'te görüleceği gibi gerçek ve ölü zamanlı değerleri arasında farklılığın oluştuğu söylenebilir. Oluşan bu farklılığı gidermek amacıyla, Şekil-4.6'te verilen kural tabanı kaydırma yöntemi önerilmiştir [4].

Bu yöntemde ölü zamanın etkisinden sonra hangi noktalarda kontrol işaretinin artırılması gerektiği kural tabanında yapılan modifikasyon ile ortaya konulmuştur.



Şekil 4.5 : Ölü Zamana Sahip Olan ve Olmayan Sistem Cevaplarının Karşılaştırılması



Şekil 4.6 : Kural Kaydırma Yöntemi

Şekil-4.6'da verilen kural kaydırma yöntemi ile ölü zamana ve zaman sabitine bağlı olan kontroledilebilirlik sabitinin büyüklüğüne bağlı olarak değişen kaydırma yöntemi ile ölü zamanın olumsuz etkisi giderilmiştir.

Bu tezde ise, kullanılan kural tabanı sabit kalmak şartıyla ölü zamanın değişimine bağlı olarak üyelik fonksiyonları taban konumlarının belirli bir yönteme bağlı olarak ayarlanması üzerinde durulmaktadır. Şekil-4.5'te görüleceği gibi ölü "1", "2" ve "3" numaralarıyla belirlenmiş bölgelerde, ölü zamana sahip olan ve olmayan sistem cevaplarına ait hata işaretleri farkılılık göstermektedir. "1" numaralı bölgede hata ve hatanın değişimi negatif değerdedir. Bu sebeple bu bölgede uygulanması gereken kontrol işareti, sistem cavabınının referans değere ulaşmasını sağlayarak hata işaretinin sıfıra yaklaştırmaya yönelik olmalıdır. "2" numaralı bölgede ise sistem

cevabı referans değerine yakındır ve hata ve hatanın değişiminin işaretinin değiştiği bölgedir. Bu bölge ölü zamanın yaratmış olduğu etkinin "1" numaralı bölgeye kıyasla daha az olduğu ancak aşım değerini ön plana çıktığı görülmektedir.. "3" numaralı bölgede ise ölü zamanın etkisinin minimum hissedildiği ancak kararlı hal hatasının ön plana çıktığı gözlenebilmektedir.

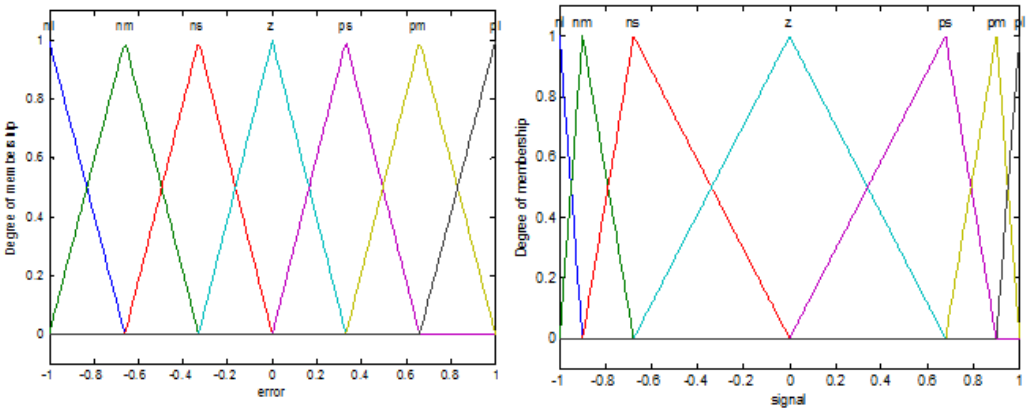
4.2.4.2 Ayarlama Kurallarının Temel Prensipleri

Ölü zamanın sistem cevabı üzerindeki etkisi göz önüne alınarak kontrol işaretinin sahip olması gereken özelliklere ilişkin aşağıdaki kurallar elde edilir..

- ✓ Ölü zamanın etkisinin en fazla hissedildiği bölge, hata işaretinin pozitif büyük, hatanın değişiminin ise negatif büyük olduğu bölgedir. Ölü zaman, Şekil-4.5' te verilen "1" numaralı bölgede baskındır. Bu bölgede ölü zamana sahip olmayan sistem için uygulanan kontrol işareti artırılarak baskınlıktan kaynaklanan faz kayması giderilmelidir.
- ✓ "2" numaralı bölgede ölü zamanın ve aşımın etkileri değerlendirilmeli, "1" numaralı bölgeye nazaran kontrol işaretinin artışı, aşım oluşturmamak amacıyla daha az olmalıdır.
- ✓"3" numaralı bölgede ise kontrol işareti kararlı hal hatası göz önüne alınarak sınırlı artırılmalıdır.

Herhangi bir geleneksel bulanık kontrolörde kullanılan çıkış üyelik fonksiyonları Şekil-4.7' de verilmiştir. Bu kontrolörler için durulama yöntemi olarak, ağırlık merkezi durulama yöntemi kullanılmıştır. Ölü zamanın baskın olduğu, diğer bir deyişle hatanın pozitif büyük ve hatanın değişiminin negatif büyük değerlere sahip olduğu bölgelerde kontrol işaretini artırmak için s2 olarak tanımlanan üyelik fonksiyonu taban noktası ile üyelik fonksiyonun en büyük taban değeri olan 1 noktası arasındaki mesafe daraltılmalıdır. Pozitif büyük üyelik fonksiyonu taban aralığı daraldığından ağırlık merkezi bir önceki konumuna göre yukarı çıkacaktır. Bu bölgede , taban aralığı minimum tutulduğu takdirde, kontrol işaretinde maksimum düzeyde artış sağlanacaktır. "2" numaralı bölge civarında ateşlenen pozitif orta değerinin taban aralığı ayarlanması aşım ve kararlı hal hatasından dolayı, kontrol

işareti “1” numaralı bölgede uygulanan düzeyden daha az artırılmalı ve aşım ve kararlı hal hatasının oluştuğu sınır değerler belirlenmelidir. Şekil-4.5’ te de görülebileceği gibi ölü zamanın etkisi, bölgelere göre farklılık göstermektedir. Sonuç olarak kontrol işaretinin ayarlanması da bölgelere göre tanımlanmalıdır.



(a) (b)

Şekil 4.7 : Geleneksel Bulanık Kontrolörler İçin Çıkış Üyelik Fonksiyonu (a) Ayarlanmış Bulanık Kontrolörler İçin Üyelik Fonksiyonu (b)

Sonuç olarak, ölü zamanın sistem cevabı üzerindeki etkisini azaltmak amacıyla çıkış üyelik fonksiyonu taban aralıkları üzerinde yapılması gerekenler aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

- ✓ Negatif büyük üyelik fonksiyonunun konumu 0,9~0.95 gibi büyük bir değere alınarak kontrol işaretinin büyük olması sağlanmalıdır.
- ✓ Negatif orta ve pozitif orta üyelik fonksiyonlarının taban aralığı konumu ise ölü zamanın değişimine bağlı olarak belirli bir aralıkta tanımlanmalıdır.

4.2.4.3 Ayarlama Prensiplerinin Uygulanması

Yukarıda ifade edilen prensiplerin doğruluğunun test edilmesi ve ikinci prensip uyarınca taban aralığı değişiminin ölü zaman miktarına bağlı hale getirilebilmesi için çıkış üyelik fonksiyonlarının taban aralıklarının, ölü zaman ve zaman sabitine bağlı olarak hangi değer kümeleri için geleneksel kontrolörlere nazaran sistem başarımını artırdıklarını ortaya koyabilmek çeşitli denemeler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla , birinci dereceden ölü zamanlı sistemler üzerinde (farklı ölü zaman ve zaman

sabitleri) s1 ve s2 olarak tanımlanmış üyelik fonksiyonu taban değerlerinin alabileceği tüm mantıklı değerleri tarayabilmek amacıyla MATLAB kodları oluşturulmuştur. Sistem başarımını değerlendirebilmek için ITSE başarım kriteri ve başarım indeksi kullanılmıştır.

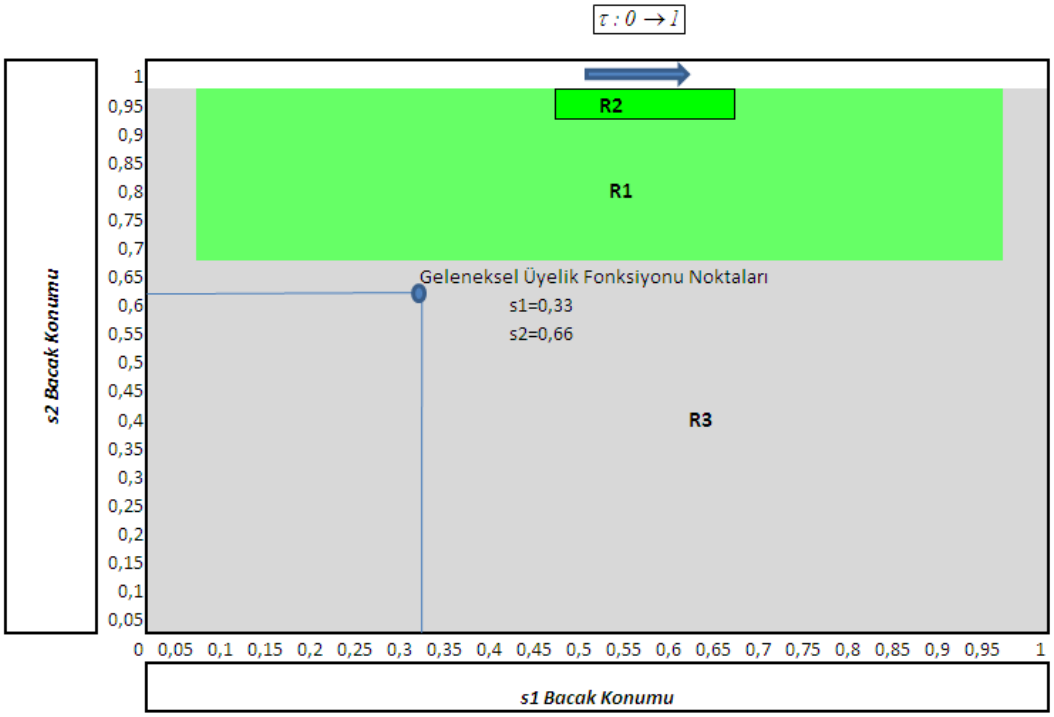
Hata ve zamanın çarpımlarının integralinin alınmasına dayalı ITSE başarım kriteri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$ITSE = \int etdt$$
$$e : hata$$
$$t : sure \qquad \textbf{[4.5]}$$

s1 ve s2 taban değerlerinin alabileceği tüm mantıklı değerler ve sistem cevabına ait başarım kriter sonuçları, kontroledilebilirlik sabitini baz alınarak kaydedilmiş ve sistem başarımını artıran ve en iyi artıran taban konumları belirlenmiştir.

Yapılan aramalarda üyelik fonksiyonları taban noktaları kümesinin, sistem başarımlarına etkileri göz önüne alınarak üç farklı bölgeye ayrılabileceği gözlenmiştir. Geleneksel kontrolörlere ait üyelik fonksiyonunun taban noktaları s1=0.33 ve s2=0.66 noktalarıdır. Ölü zamanın baskınlığı dikkate alındığında baskın bölgeye karşılık gelen hatanın pozitif büyük ve hatanın değişiminin negatif büyük olduğu bölgeyi doğrudan üyelik fonksiyonu taban noktası s2=0.66 noktasıdır. Ölü zamanın baskınlığının azaldığı, aşım ve kararlı hal hatasının ön plana çıktığı bölgeyi etkileyen taban noktası ise s1=0.33 noktasıdır. Şekil-4.8' de verilen dağılıma göre, s2 noktasının 0.66 değerinden büyük olduğu [0,7 0,9] aralığında ve s1 noktasının

[0.1 0.9] aralığında sistem başarımında iyileşme sağlanmaktadır. Bu bölge R1 bölgesi olarak tanımlanmıştır. R1 bölgesi için en iyi başarımın elde edildiği bölge ise R2 bölgesidir. Bu bölgede s2 taban noktası 0.95 değerine ulaşmaktadır. s1 taban noktası ise kontroledilebilirlik sabitine bağlı olarak [0.4 0.7] aralığında değer almaktadır. Üyelik fonskyionları R1 ve R2 bölgesinin dışında kalan R3 bölgesinde yer alan değer çiftlerine sahip olduklarında sistem başarımına olumlu bir etkileri olmamaktadır.



Şekil 4.8 : Üyelik Fonskiyonu Taban Aralığı Bölgelerin Dağılımı

R1: Geleneksel kontrolöre göre **daha iyi cevap** alınan üyelik fonskiyonu taban noktaları

R2: Geleneksel kontrolöre göre **en iyi cevap** alınan üyelik fonskiyonu taban noktaları

R3: Geleneksel kontrolöre göre **daha kötü cevap** alınan üyelik fonskiyonu taban noktaları

Yapılan değerlendiremeler ve aratılan en iyi çözüm kümesine bağlı olarak bir önceki bölümde ifade edilen prensiplere benzer olarak aşağıdaki sonuçlara varılır:

- ✓ *Kontroledilebilirlik sabitinden bağımsız olarak*, ölü zamanın baskın olduğu bölgeyi etkileyen üyelik fonksiyonu taban noktası ile 1 noktası arasındaki taban aralığı azaltılmalıdır. (s2=0.95 değerine ulaşmalıdır.)
- ✓ Aşım ve kararlı hal hatasını etkileyen üyelik fonksiyonu taban noktası ile ölü zamanın baskın olduğu bölgeyi etkileyen üyelik fonksiyonu taban noktası arasındaki mesafe, *kontroledilebilirlik sabitine bağlı olarak* eksponansiyel olarak artırılmalıdır. (s1 noktası [0.4 0.7] aralığından tanımlanmalıdır.)

R1,R2 ve R3 bölgeleri *herhangi bir kontroledilebilirlik sabiti* için aratılmış olan bölgelerdir. Kontroledilebilirlik sabitinin 0→1'e doğru değişimi için en iyi başarımın elde edildiği bölge ise R2 olarak tanımlanmıştır.

R2 bölgesi için üyelik fonskiyonları taban aralığı aratılması ile farklı kontroledilebilirlik sabitleri için aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir.

Kontroledilebilirlik sabiti dilsel değişken olarak 3 durum için tanımlanabilir.

τ değeri *küçük* → < 0,2s

τ değeri *orta* → [0,2s 0.5s]

τ değeri *büyük* → >0.5s

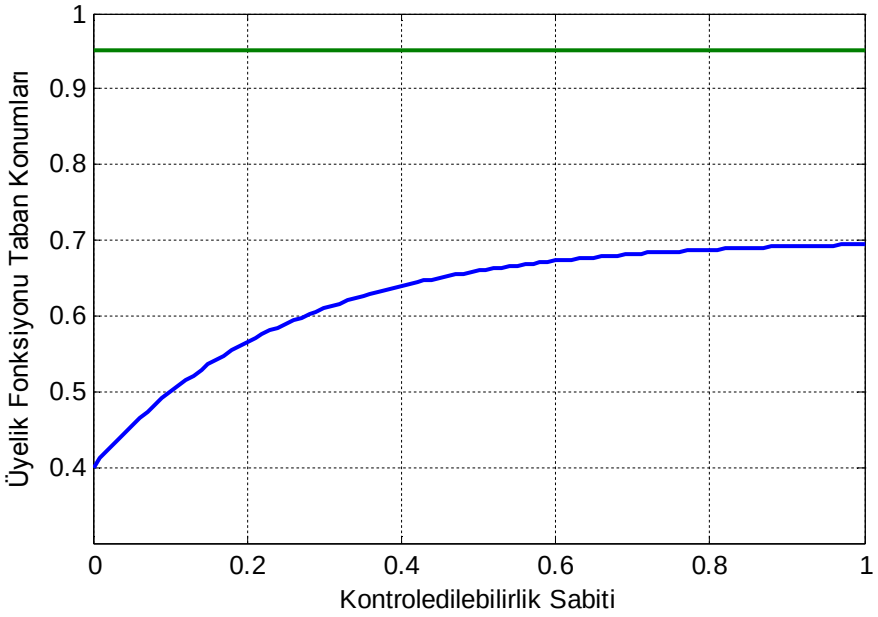
Eğer kontrol edilebilirlik sabiti ***küçük*** ise bacak konumları ***s1=0.5~0.55 s2=0.95*** tir

Eğer kontrol edilebilirlik sabiti ***orta*** ise bacak konumları ***s1=0.55~0.65 s2=0.95*** tir.

Eğer kontrol edilebilirlik sabiti ***büyük*** ise bacak konumları ***s1=0.65~0.7 s2=0.95*** tir.

En iyi çözümün elde edildiği R2 bölgesi için yukarıda verilen bulanık kurallar kullanılabilceği gibi, ampirik bir formül de tanımlanabilir. Bu çalışmada en iyi bölge için belirlenen ampirik formülden yararlanılmıştır.

Yukarıda tanımlanan aralıklar için oluşturulmuş s1 noktasındaki üyelik fonksiyonlarına ilişkin grafik Şekil-4.9'da verilmiştir. Sonuç olarak ölü zamanın artışına bağlı olarak üstel olarak artmalıdır.



Şekil 4.9 : s1 ve s2 Üyelik Fonksiyonu Konumlarının Ölü Zaman Göre Değişimi

"s1" üyelik fonksiyonu konumunun kontroledilebilirlik sabitine bağlı olarak değişimini veren ampirik formül aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$f(\tau) = s1 = -0{,}3.exp(-4\tau) + 0.7 \qquad \textbf{[4.6]}$$

τ:Ölü zaman

s1:Üyelik fonksiyonu taban konumu

5. BENZETİM SONUÇLARI

Bu bölümde, önerilen yöntemin geçerliğini ortaya koyabilmek için farklı ölü zamana ve zaman sabitine bağlı olarak çeşitli benzetimler gerçekleştirilmiştir. Benzetimlerde birinci dereceden ölü zamanlı sistemler kullanılmıştır. Ayrıca yüksek mertebeli sistemler ve doğrusal olmayan ve birinci dereceden ölü zamanlı sistemler olarak ifade edilebilen modeller üzerinde çalışılmıştır.

Bulanık PID kontrolörüne ait ölçekleme çarpanları, **4.2.3'** de belirtildiği IMK (İçsel Model Kontrolör) tabanlı ayar yöntemi kullanılarak belirlenmiştir [5]. Benzetim çalışmalarında, önerilen taban ayarlama yönteminin etkisi, ölçekleme çarpanları ayarlama parametresi t_c nin bir ölçüt uyarınca optimum olan ve olmayan değerleri için ayrı ayrı incelenmiştir. t_c, önce, arama uzayını geniş tutabilmek amacıyla 3L olarak seçilmiş, taban ayarlama yönteminin optimum olmayan ölçekleme çarpanları ile tasarlanmış kontrolör üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Daha sonra t_c parametresinin optimum değeri aşağıda verilen başarım ölçütü maksimum olacak şekilde "Genetik Arama Algoritması" aracılığı ile aratılmıştır.

$$J = \frac{1000}{100 m_p + 9 t_s + 3 t_r + 100 e_{ss}} \qquad \textbf{[4.5]}$$

$$Basarim\ \ Indeksi\ \ z = 1 / J$$

m_p : *maksimum asim*
t_s : *yerlesme zamanı*
t_r : *yükselme zamanı*
e_{ss} : *kararlı hal hatası*

Böylece önerilen yöntemin optimum ölçekleme çarpanları ile tasarlanmış kontrolör üzerindeki etkisini incelemek de mümkün olmuştur.

Benzetimlerde kullanılan kısaltmalar ve açılımları aşağıdaki gibidir.

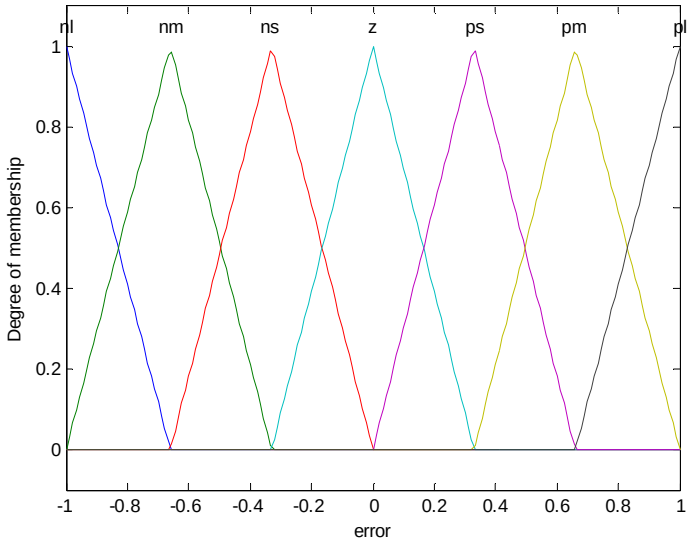
IMK-BMK : Ölçekleme Çarpanları İçsel Model Kontrolörle Belirlenmiş Geleneksel Bulanık Model Kontrolör

AA-BMK : Ölçekleme Çarpanları İçsel Model Kontrolör İle Belirlenmiş, Üyelik Fonksiyonu Taban Aralığı Ayarlanmış Bulanık Model Kontrolör

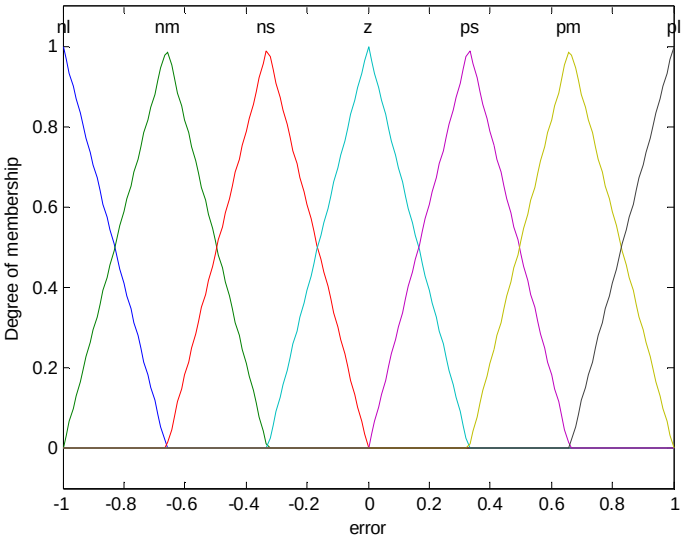
GAA-BMK: Ölçekleme Çarpan Ayarlama Parametresi Genetik Algoritma İle Belirlenmiş, Çıkış Üyelik Fonksiyonu Taban Aralığı Ayarlanmış Bulanık Model Kontrolör

GA-BMK : Ölçekleme Çarpan Ayarlama Parametresi Genetik Algoritma İle Belirlenmiş Geleneksel Bulanık Model Kontrolör

Geleneksel bulanık kontrolöre ait giriş-çıkış üyelik fonksiyonları Şekil-5.1 de verilmiştir. Ayrıca ayarlanmış bulanık kontrolörlerde kullanılan giriş üyelik fonksiyonu Şekil-5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.1 : Geleneksel Kontrolör Giriş-Çıkış Üyelik Fonksiyonları



Şekil 5.2 : Ayarlanmış Kontrolör Giriş Üyelik Fonksiyonları

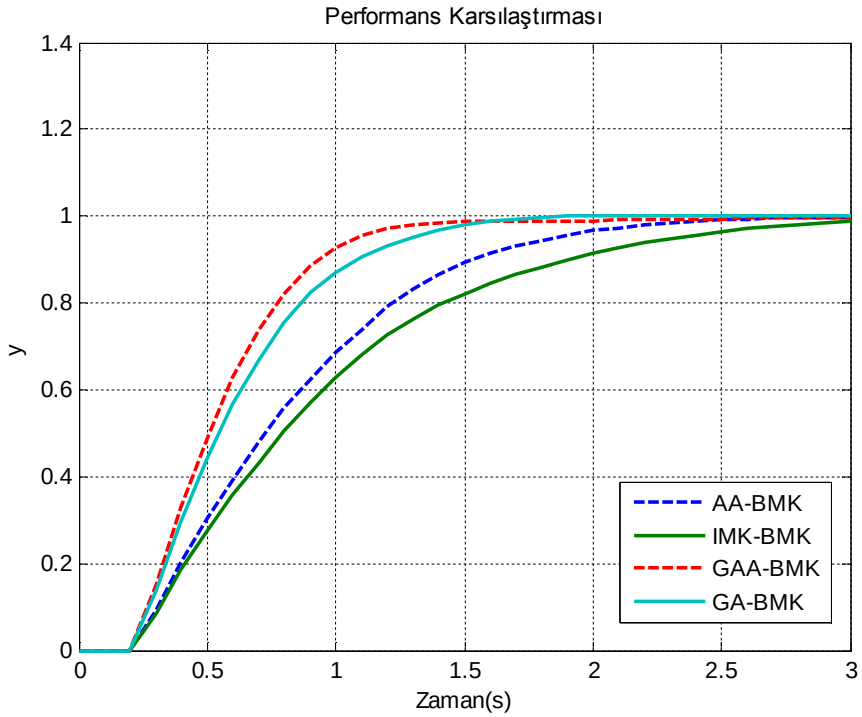
Sistem-1

Küçük değerde kontroledilebilirlik sabitine sahip sistem için başarım karşılaştırması aşağıdaki gibidir.

Ölü Zaman (L) : 0.2 saniye

Zaman Sabiti (T) : 1 saniye

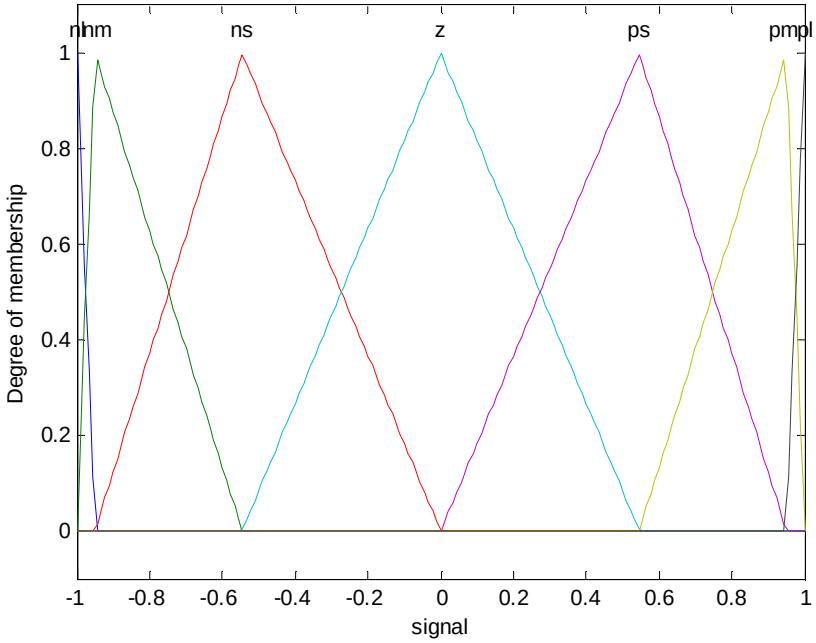
Kontroledilebilirlik Sabiti : $\varsigma = \frac{L}{L+T}$ =0.1667



Şekil 5.3 : Sistem-1 İçin Başarım Kıyaslaması

Çizelge 5.1 : Sistem-1 İçin Başarım Değerlendirmesi

Performans Değerlendirmesi							
Kontrolör	***Ölü Zaman L (s)***	***Zaman Sabiti T (s)***	***ζ=L/L+T***	***x***	***y***	***ITSE***	***PI(1/J)***
IMK-BMK	0,2	1	0,1667	0,3300	0,66	0,2608	0,0312
AA-BMK				0,5460	0,95	0,2085	0,0273
GA-BMK				0,3300	0,66	0,1188	0,0187
GAA-BMK				0,5460	0,95	0,1017	0,0160



Şekil 5.4 : Sistem-1 Ayarlanmış Üyelik Fonksiyonu

Sistem-1' e ilişkin benzetim sonuçlarına göre, İç Model Kontrol ile ölçekleme çarpanları optimum olmayan bir şekilde ayarlanmış sistemlerde önerilen yöntemin iyileştirme sağladığı görülmektedir. Diğer taraftan 0.2 saniye gibi küçük ölü zamanlı sistemlerde en iyi çözüm aranıyorsa, çıkış ölçekleme çarpanları genetik algoritma ile aranmış, üyelik fonskiyonu taban aralığı ayarlı bulanık kontrolörün, çıkış ölçekleme çarpanları yine genetik algoritma ile aranmış geleneksel bulanık kontrolöre nazaran arzu edilen iyileştirmeyi sağladığı görülmektedir.

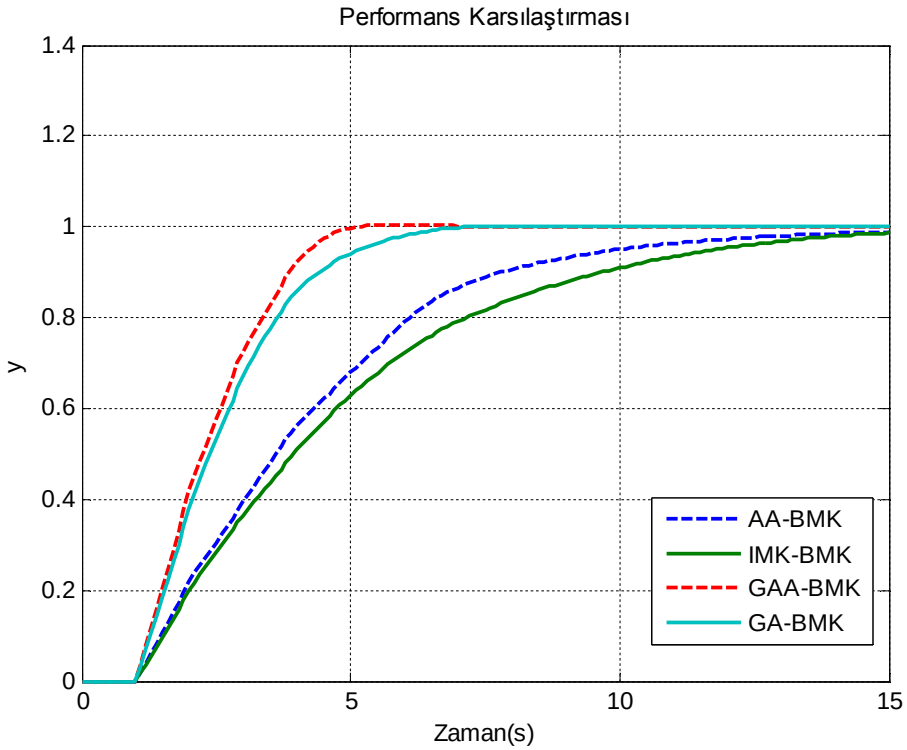
Sistem-2

Orta değerde kontroledilebilirlik sabitine sahip sistem için başarım karşılaştırması aşağıdaki gibidir.

Ölü Zaman (L) : 1 saniye

Zaman Sabiti (T) : 0.5 saniye

Kontroledilebilirlik Sabiti : $\varsigma = \frac{L}{L+T}$ =0.6667

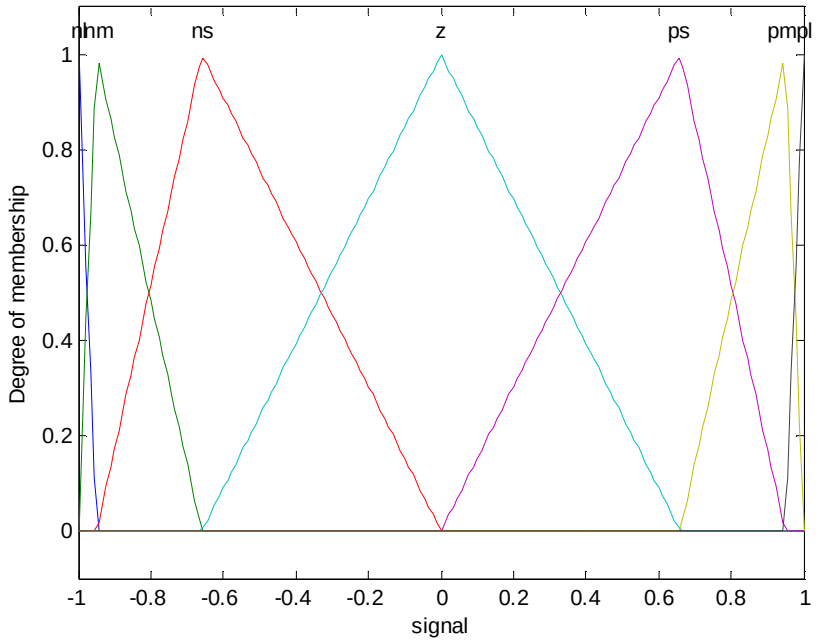


Şekil 5.5 : Sistem-2 İçin Başarım Kıyaslaması

Sistem-2'ye ilişkin benzetim sonuçlarına göre, İç Model Kontrol ile ölçekleme çarpanları optimum olmayan bir şekilde ayarlanmış sistemlerde sistemlerde önerilen yöntemin iyileştirme sağladığı görülmektedir. Diğer taraftan 0.667 saniye gibi kontroledilebilirlik sabitine sahip sistemlerde optimum çözüm kümesi için, geleneksel kontrolörlere nazaran iyileşme sağlanmaktadır.

Çizelge 5.2 : Sistem-2 İçin Başarım Değerlendirmesi

Performans Değerlendirmesi							
Kontrolör	***Ölü Zaman L (s)***	***Zaman Sabiti T (s)***	***ζ=L/L+T***	***x***	***y***	***ITSE***	***PI (1/J)***
IMK-BMK	1	0,5	0,6667	0,3300	0,66	6,4915	0,1525
AA-BMK				0,6792	0,95	5,2131	0,1351
GA-BMK				0,3300	0,66	2,2382	0,0622
GAA-BMK				0,6792	0,95	1,9740	0,0544



Şekil 5.6 : Sistem-2 İçin Ayarlanmış Üyelik Fonksiyonu

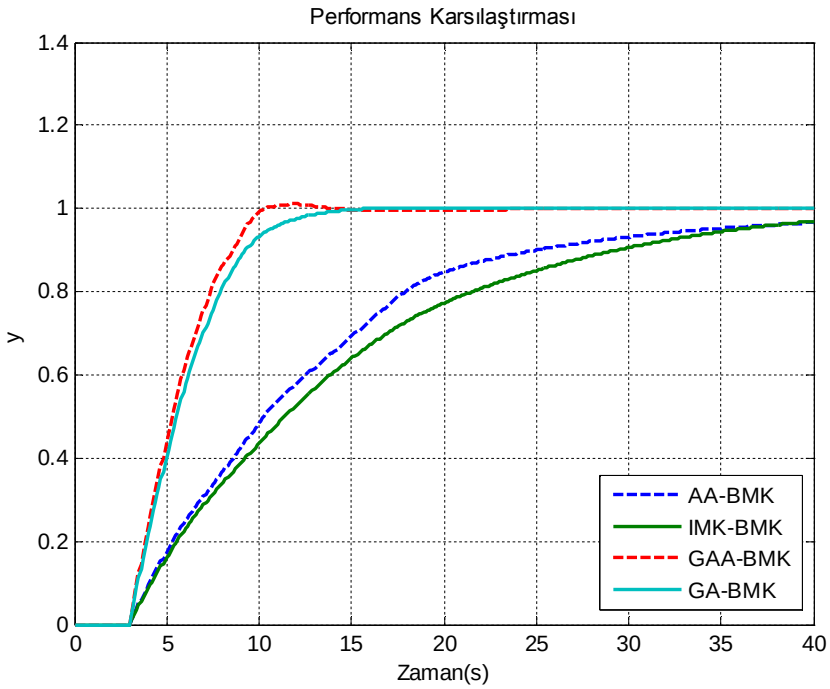
Sistem-3

Yüksek değerde kontroledilebilirlik sabitine sahip sistem için başarım karşılaştırması aşağıdaki gibidir.

Ölü Zaman (L) : 3 saniye

Zaman Sabiti (T) : 1 saniye

Kontroledilebilirlik Sabiti : $\varsigma = \frac{L}{L+T}$ =0.8571

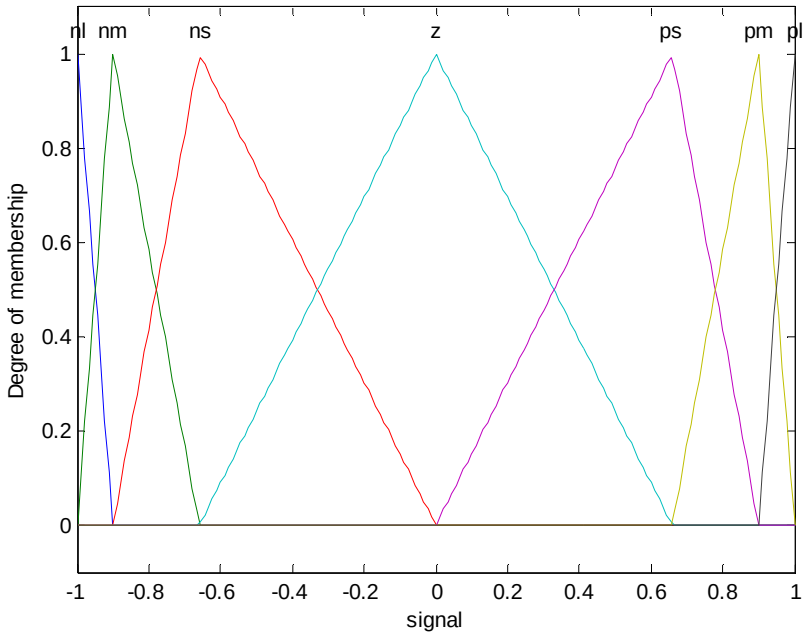


Şekil 5.7 : Sistem-3 İçin Başarım Kıyaslaması

Sistem-3'e ilişkin simülasyon sonuçlarına göre, İç Model Kontrol ile ölçekleme çarpanları optimum olmayan bir şekilde ayarlanmış sistemlerde sistemlerde önerilen yöntemin iyileştirme sağladığı görülmektedir. Diğer taraftan 0.75 saniye gibi kontroledilebilirlik sabitine sahip sistemlerde optimum çözüm kümesi için, geleneksel kontrolörlere nazaran iyileşme sağlanmaktadır.

Çizelge 5.3 : Sistem-3 İçin Başarım Değerlendirmesi

Performans Değerlendirmesi							
Kontrolör	***Ölü Zaman L (s)***	***Zaman Sabiti T (s)***	***ζ=L/L+T***	***x***	***y***	***ITSE***	***PI (1/J)***
IMK-BMK	3	1	0,7500	0,3300	0,66	55,5596	0,4368
AA-BMK				0,6851	0,90	44,7040	0,4289
GA-BMK				0,3300	0,66	12,3989	0,1291
GAA-BMK				0,6851	0,90	11,3273	0,1091



Şekil 5.8 : Sistem-3 İçin Ayarlanmış Üyelik Fonksiyonu

Sistem-4

Yüksek mertebeden bir sistem için başarım değerlendirmesi aşağıdaki gibidir.

$$P(s) = \frac{1}{(s+1)^8}$$

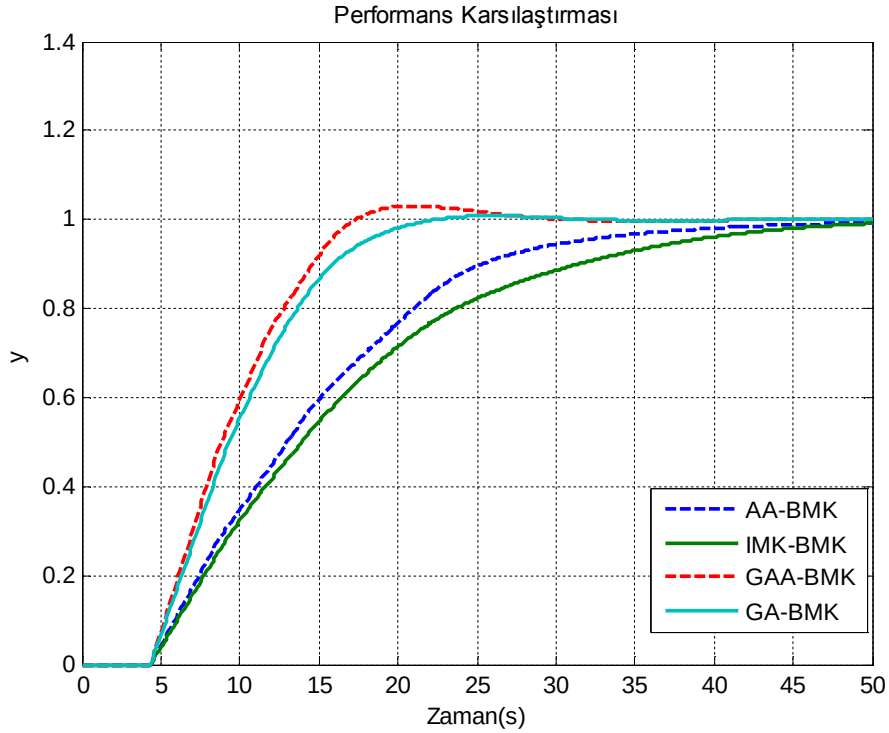
sistemi göz önüne alınırsa, modelleme hatasının sıfır olduğu kabul edilerek, aynı sistem aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\tilde{P}(s) = \frac{1}{4.3s+1} e^{-4.3s}$$

Ölü Zaman (L) : 4.3 saniye

Zaman Sabiti (T) : 4.3 saniye

Kontroledilebilirlik Sabiti : $\varsigma = \frac{L}{L+T}$ =0.5

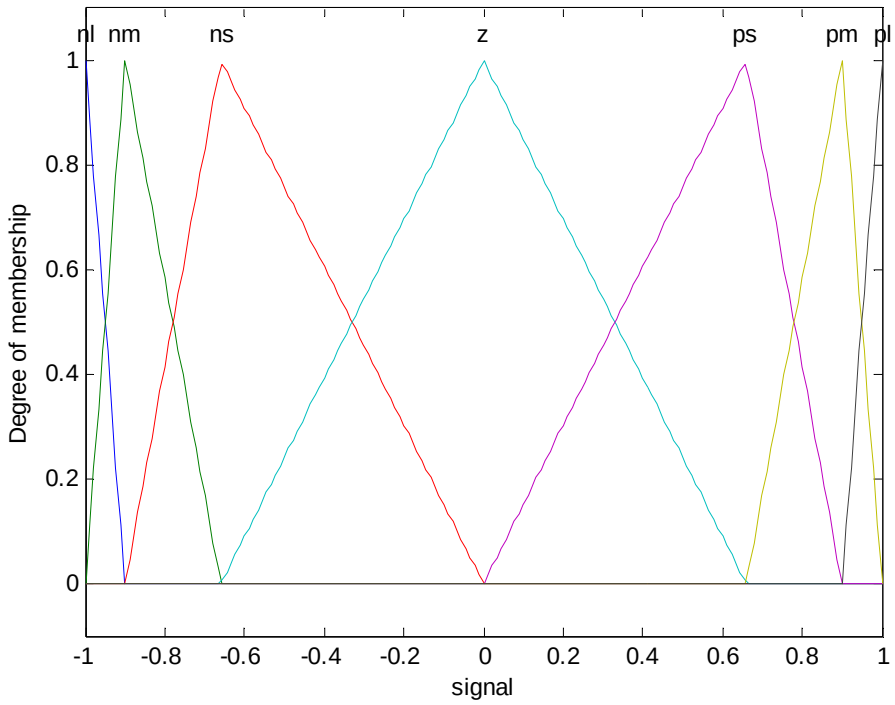


Şekil 5.9 : Sistem-4 İçin Başarım Kıyaslaması

Yüksek dereceli bir sistem için bulanık kontrolöre ait ölçekleme çarpanları iç model kontrolör ile optimum olmayan bir şekilde ayarlanmış ya da genetik algoritma ile aratılmış olsun, sistem cevabını iyileştirmektedir.

Çizelge 5.4 : Sistem-4 İçin Başarım Değerlendirmesi

Performans Değerlendirmesi							
Kontrolör	***Ölü Zaman L (s)***	***Zaman Sabiti T (s)***	***ζ=L/L+T***	***x***	***y***	***ITSE***	***PI (1/J)***
IMK-BMK	4,3	4,3	0,5000	0,3300	0,66	78,4192	0,4812
AA-BMK				0,6594	0,95	65,5053	0,4153
GA-BMK				0,3300	0,66	34,3703	0,2123
GAA-BMK				0,6594	0,95	31,1426	0,1879



Şekil 5.10 : Sistem-4 İçin Ayarlanmış Üyelik Fonksiyonu

Sistem-5

Doğrusal olmayan bir sistem ele alınırsa

$$y''+y'+0.25y^2 = u(t-0.5)$$

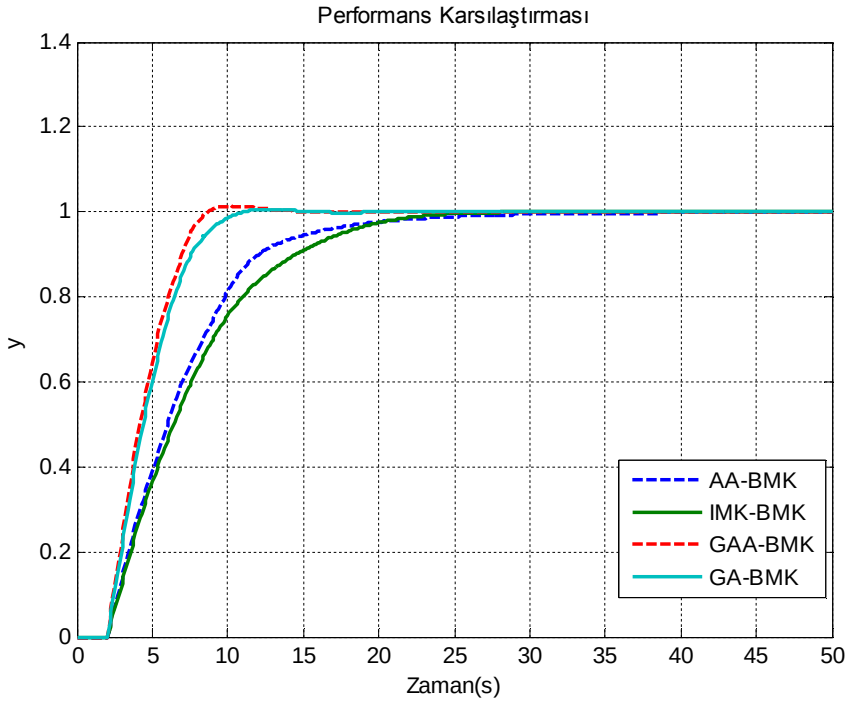
Denklemi ile ifade edilen sistem birinci derecen ölü zamanlı bir sistem olarak modellenebilir.

Ölü Zaman (L) : 2 saniye

Zaman Sabiti (T) : 1.86 saniye

Kazanç :4

Kontroledilebilirlik Sabiti : $\varsigma = \frac{L}{L+T}$ =0.5181



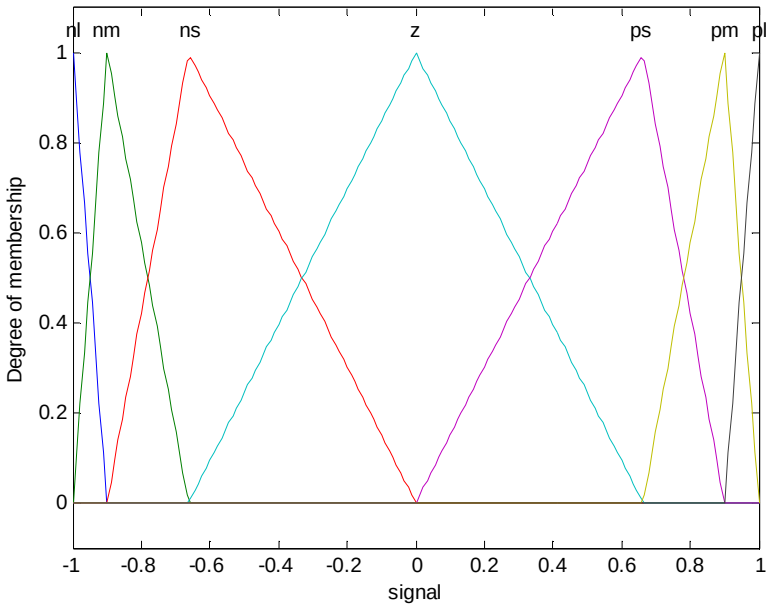
Şekil 5.11 : Sistem-5 İçin Ayarlanmış Üyelik Fonksiyonu

Doğrusal olmayan bir sistem için bulanık kontrolöre ait ölçekleme çarpanları iç model kontrolör ile optimum olmayan bir şekilde ayarlanmış ya da genetik algoritma ile aratılmış olsun, sistem cevabını iyileştirmektedir.

Çizelge 5.5 : Sistem-5 İçin Başarım Değerlendirmesi

Performans Değerlendirmesi							
Kontrolör	***Ölü Zaman L (s)***	***Zaman Sabiti T (s)***	***ζ=L/L+T***	***x***	***y***	***ITSE***	***PI (1/J)***
IMK-BMK	2	1,86	0,5181	0,3300	0,66	16,7370	0,2260
AA-BMK				0,6622	0,90	14,2675	0,2148
GA-BMK				0,3300	0,66	7,5876	0,1041
GAA-BMK				0,6622	0,90	6,9130	0,0951

Arama uzayının yetrerincwe büyük ooolması için uygun görülmüşütğr.



Şekil 5.12 : Sistem-4 İçin Ayarlanmış Üyelik Fonksiyonu

6. DAYANIKLILIK ANALİZİ

Önerilen yönteme ilişkin benzetimler bu ana kadar parametre değişiminin olmadığı kabul edilerek gerçekleştirilmiştir. Ancak genelleme yapabilmek ve üzerinde çalışılan yöntemin dayanıklılığını test edebilmek amacıyla aşağıdaki benzetimler uygulanmıştır.

6.1.1 Ölü Zaman Değişimine Bağlı Dayanıklılık Analizi

Önerilen yöntemde üyelik fonskiyonu taban aralığı ayarlama , ölü zamana bağlı olarak üyelik fonksiyonlarının değişimini belirli bir kurala dayandırarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan cihazlardan ya da sistemin doğasından kaynaklanan dış etkilerden dolayı sistem modeli değişime uğrayabilmektedir. Şekil-5.5'te başarım karşılaştırması verilen Sistem-2'ye ilişkin parametreler aşağıdaki gibidir.

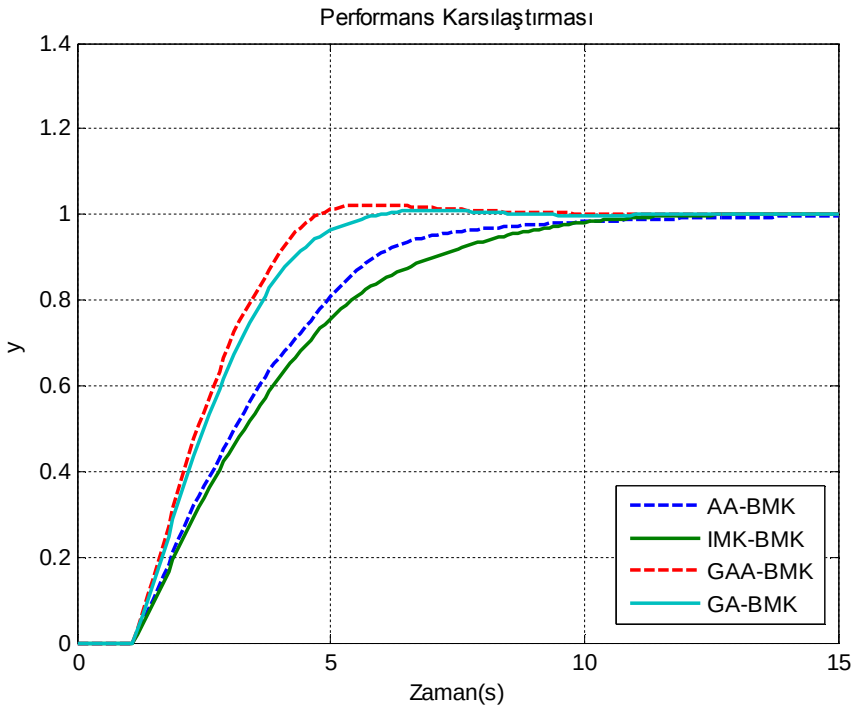
Orta değerde kontroledilebilirlik sabitine sahip sistem için başarım karşılaştırması aşağıdaki gibidir.

Ölü Zaman (L) : 1 saniye

Zaman Sabiti (T) : 0.5 saniye

Kontroledilebilirlik Sabiti : $\varsigma = \frac{L}{L+T}$ =0.667

Yukarıda verilen sistem parametreleri ile bulunan ölçekleme çarpanları ve taban aralığı ayarlama oranı sabit kalmak kaydıyla ölü zaman süresi %15 oranında artırılarak elde edilen sistem cevabı değerlendirmesi Şekil-6.1'de verilmiştir.

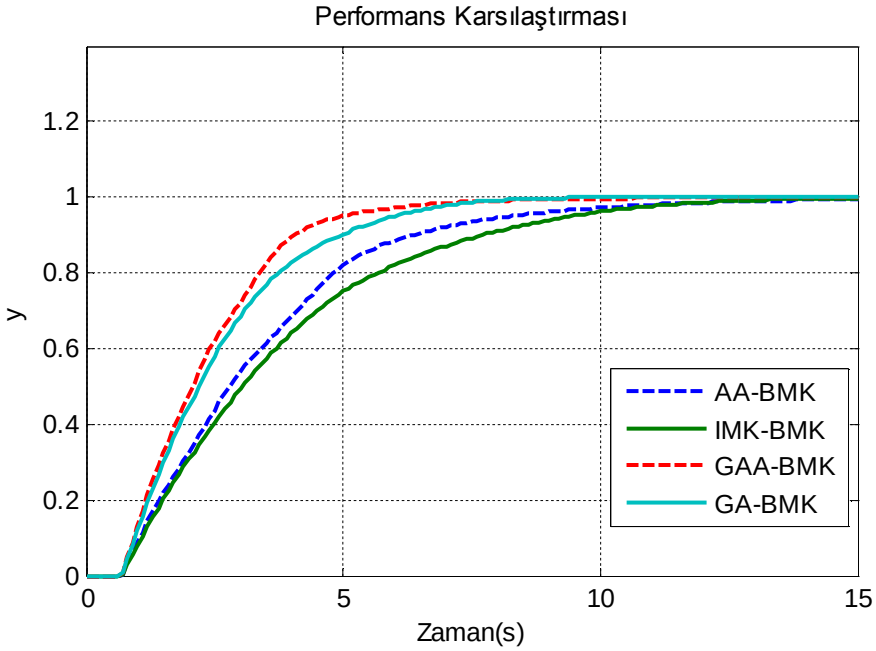


Şekil 6.1 : Ölçekleme Çarpanları Sistem-2'de Verilen Parametrelere Göre Ayarlanmış Kontrolörün L=1.15 Sn. Ölü Zaman İçin (%15 artış) Başarım Karşılaştırması

Çizelge 6.1 : Sistem-2 İçin Dayanıklılık Değerlendirmesi (L=1.15)

Performans Değerlendirmesi							
Kontrolör	***Ölü Zaman L (s)***	***Zaman Sabiti T (s)***	***ζ=L/L+T***	***x***	***y***	***ITSE***	***PI (1/J)***
IMK-BMK	1	0,5	0,6667	0,3300	0,66	4,3633	0,1056
AA-BMK				0,6792	0,95	3,7696	0,0991
GA-BMK				0,3300	0,66	2,4360	0,0637
GAA-BMK				0,6792	0,95	2,2171	0,0569

Sistem-2'e ait parametreler kullanılarak bulunan ölçekleme çarpanları ve taban aralığı ayarlama oranı sabit kalmak kaydıyla sadece ölü zaman süresi %30 oranında azaltarak elde edilen sistem cevabının değerlendirmesi Şekil-6.2'de verilmiştir.



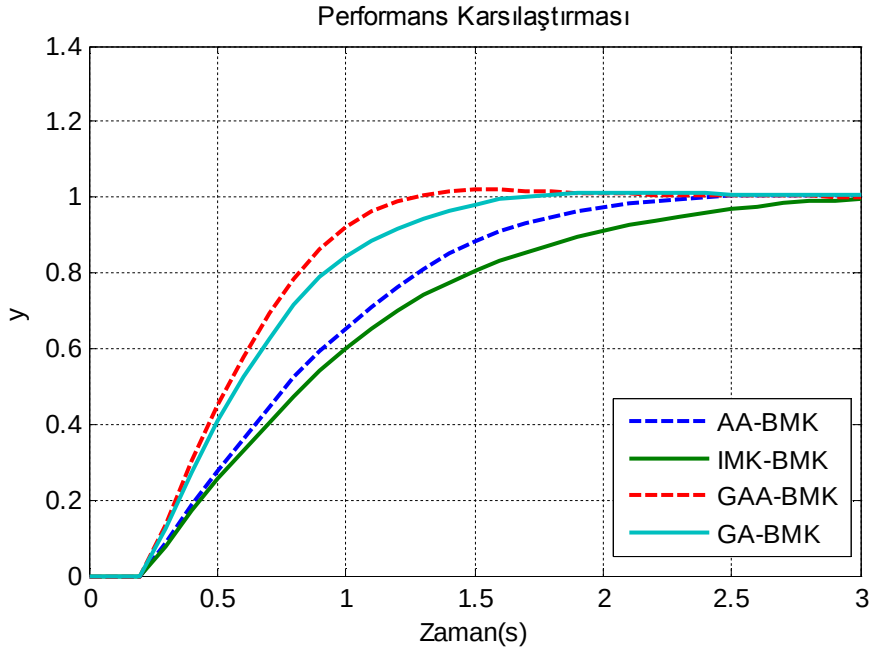
Şekil 6.2 : Ölçekleme Çarpanları Sistem-2'te Verilen Parametrelere Göre Ayarlanmış Kontrolörün L=0.7 Sn. Ölü Zaman İçin (%30 azalma) Başarım Karşılaştırması

Çizelge 6.2 : Sistem-2 İçin Dayanıklılık Değerlendirmesi (L=0.7)

Performans Değerlendirmesi							
Kontrolör	***Ölü Zaman L (s)***	***Zaman Sabiti T (s)***	***ζ=L/L+T***	***x***	***y***	***ITSE***	***PI (1/J)***
IMK-BMK	1	0,5	0,6667	0,3300	0,66	3,9223	0,1230
AA-BMK				0,6792	0,95	3,1796	0,1135
GA-BMK				0,3300	0,66	1,9488	0,0759
GAA-BMK				0,6792	0,95	1,6601	0,0678

6.1.2 Zaman Sabiti Değişimine Bağlı Dayanıklılık Analizi

Zaman sabiti, birinci dereceden sistemler için, değişimi durumunda sistem dayanıklılığının mutlaka analiz edilmesi gereken bir parametredir. Şekil-5.7'de başarım karşılaştırması verilen Sistem-1'e ilişkin ölü zaman sabitinin %10 artırıldığı dayanıklılık analizi aşağıdaki gibidir.

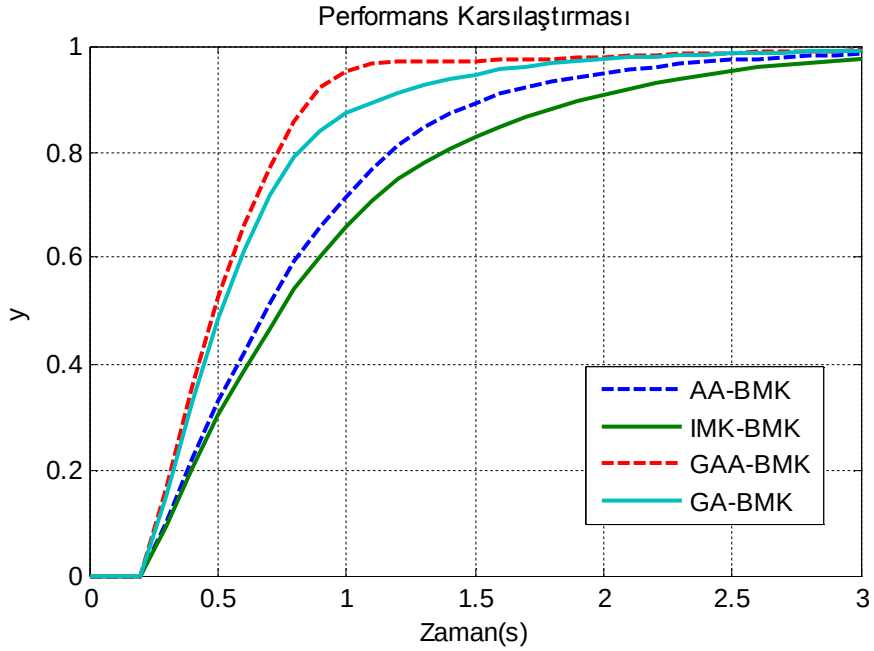


Şekil 6.3 : Ölçekleme Çarpanları Sistem-1'de Verilen Parametrelere Göre Ayarlanmış Kontrolörün T=1.1 Sn. Zaman Sabiti İçin (%10 artış) Başarım Karşılaştırması

Çizelge 6.3 : Sistem-1 İçin Dayanıklılık Değerlendirmesi (T=1,1)

Performans Değerlendirmesi							
Kontrolör	***Ölü Zaman L (s)***	***Zaman Sabiti T (s)***	***ζ=L/L+T***	***x***	***y***	***ITSE***	***PI (1/J)***
IMK-BMK	0,2	1	0,1667	0,3300	0,66	0,2847	0,0304
AA-BMK				0,5460	0,90	0,2332	0,0282
GA-BMK				0,3300	0,66	0,1319	0,0205
GAA-BMK				0,5460	0,90	0,1139	0,0177

Sistem-1'e ilişkin ölü zaman sabitinin %10 azaltıltığı dayanıklılık analizi aşağıdaki gibidir.



Şekil 6.4 : Ölçekleme Çarpanları Sistem-1'te Verilen Parametrelere Göre Ayarlanmış Kontrolörün T=0.9 Sn. Zaman Sabiti İçin (%10 azalma) Başarım Karşılaştırması

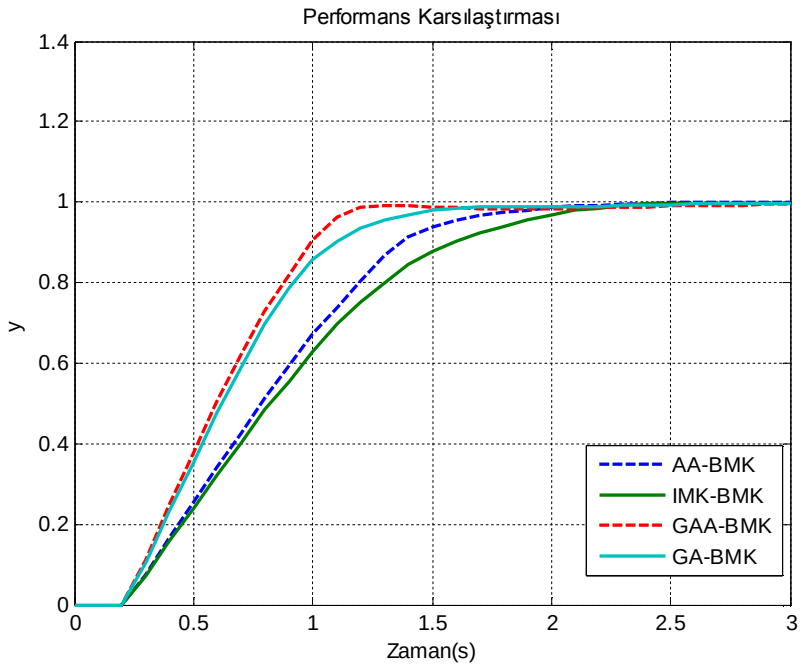
Çizelge 6.4 : Sistem-1 İçin Dayanıklılık Değerlendirmesi (T=0,9)

Performans Değerlendirmesi							
Kontrolör	***Ölü Zaman L (s)***	***Zaman Sabiti T (s)***	***ζ=L/L+T***	***x***	***y***	***ITSE***	***PI (1/J)***
IMK-BMK	0,2	1	0,1667	0,3300	0,66	0,2422	0,0323
AA-BMK				0,5460	0,90	0,1934	0,0306
GA-BMK				0,3300	0,66	0,1115	0,0243
GAA-BMK				0,5460	0,90	0,0938	0,0205

Dayanıklılık sonuçlarına göre, önerilen yöntemin sistem dayanıklılığına olumsuz bir etkisi olmamakla birlikte, geleneksel kontrolörlere nazaran avantajı devam etmektedir.

6.1.3 Kural Sayısını Değişimine Bağlı Dayanıklılık Analizi

Simulasyonlarda kullanılan 7x7 kural tabalosunun 9x9 olması durumunda sistemin dayanıklılığı değerlendirilmiştir.



Şekil 6.5 : 9x9 Kural Tablosu ile Oluşturulan Ayarlanmış Bulanık Kontrolörü Başarım Değerlendirmesi

Çizelge 6.5 : Sistem-1 İçin Dayanıklılık Değerlendirmesi

Performans Değerlendirmesi							
Kontrolör	***Ölü Zaman L (s)***	***Zaman Sabiti T (s)***	***ζ=L/L+T***	***x***	***y***	***ITSE***	***PE***
IMK-BMK	0,2	1	0,1667	0,3300	0,66	0,2513	0.0255
AA-BMK				0,546	0.95	0.2218	0.0237
GA-BMK				0,3300	0,66	0.1431	0.0181
GAA-BMK				0,546	0.95	0.1310	0.0179

Şekil-6.5'te görüleceği gibi kural tablosunun değişimi, sistemin dayanıklılığına olumsuz bir etkisi olmamaktadır.

7. SONUÇ

Bulanık kontrolörleri oluşturan yapısal parametreler ve ayar parametrelerinin hangi sistem için ne tür kriterlere sahip olacağı tasarımcı tarafından ortaya konulan yöntemlerle belirlenmektedir. Bu sebeple bulanık kontroller bir çok sistem üzerinde farklı kriterler üretilerek başarılı bir şekilde uygulamalarda yer almaktadır.

Bu çalışmada bulanık kontrolörlerin yapısal parametrelerinden olan üyelik fonksiyonlarının, ölü zamanın sebep olduğu etkileri giderecek şekilde belirlenmesine ilişkin yeni bir yöntem önerilmiştir. Öncelikle ölü zamanın, sistem cevabı üzerindeki etkisi değerlendirilmiş, kararlı hal hatası ve aşım değerleri de göz önüne alınarak bu etkinin ortadan kaldırılması amacıyla. , ölü zaman ve sistem zaman sabitini içeren kontroledilebilirlik sabitine bağlı bir fonksiyon elde edilmiş ve PID tipi bulanık kontrolörün çıkış üyelik fonksiyonlarının taban aralıkları bu fonksiyona bağlı olarak ayarlanmıştır. Ölü zaman ve zaman sabiti parametrelerine bağlı olarak ortaya konulan bu yöntem geçerliliği, birinci dereceden ölü zamanlı sistemler için ve birinci dereceden ölü zamanlı sistemler gibi modellenebilen yüksek mertebeli ve doğrusal olmayan sistemler için denenmiştir. Yapılan benzetim çalışmalarında, önerilen yöntemin geleneksel kontrolörlere nazaran optimum olan ve optimum olmayan çözüm kümeleri için daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Önerilen yöntemin sistemin dayanıklılığı üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla, ölü zaman ve zaman sabiti parametrelerinin değişime uğrayabileceği düşünülerek dayanıklılık analizi yapılmıştır. Sonuç olarak önerilen yöntemin sistemin dayanıklılığını bozmadığı gibi, geleneksel kontrolöre nazaran sahip olduğu avantajın devam ettiği gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

[1] Tsoukalas, L.H., Uhrig, R.E., 1997. Fuzzy and Neural Approaches In Engineering John Wiley Sons.Inc.

[2] Hu,B.G., Mann,G.K.I. and Gosine R.G., 2001. Two Level Tuning Of Fuzzy PID Controllers. *IEEE Trans. Fuzzy Systems.*

[3] Harinath, E., Mann, G.K.I, 2008. Design and Tuning of Standard Additive Model Based Fuzzy PID Controller for Multivariable Process Systems. IEEE Transactions On Systems, Man, And Cyvernetics-Part B: Cybernetics, Vol. 38, No.3, June 2008 667

[4] Genç, H.M., Yeşil,E. Eksin,İ.,Güzelkaya, M., Tekin, O.A., 2008 A Rule Base Modification Scheme In Fuzzy Controllers For Time-Delay Systems.Expert Systems with Applications 36 (2009) 8476–8486

[5] Duan, X.G., Li, H.X., Deng, H., 2008. Effective Tuning Method for Fuzzy PID With Internal Model Control. Ind. Eng. Chem. Res. 2008, 47, 8317-8323.

[6] Çetin, M., 2003.Bulanık Mantık Denetleyiciler,Seçkin Yayıncılık

[7] Tüysüzyan, A., 2007. İkinci Dereceden Ölü Zamanlı Bir Sistemde Ölü Zaman Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü

[8] Passino, K.M, Yurkovich, S. 1998. Fuzzy Control. Addison-Wesley Longman

[9] Astrom, K.J., and Hagglund,T. 1995. PID Controllers: Theory, Design, and Tuning, Instrument Society of America, North Caroline.

[10] Hu,B.G., Mann,G.K.I. and Gosine R.G, 1999. New Methodology for Analytical And Optimal Design of Fuzzy PID Controllers. *IEEE Trans. Fuzzy Systems*

[11] Ying, H.,Yonqquan, Y. and Tao, Z.,2005. A New Real Time Self-Adaptive Rule Modification Algorithm Based On Error Convergence In Fuzzy Control. IEEE

[12] Li, H.X. and Gatland, H.B, 1995. A New Methodology for Designing a FuzzyLogic Controller. *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, 25, 3, 505–512

[13] Hu,B.G., Mann,G.K.I. and Gosine R.G, 1997.Theoretic Derivation Of Control Actions For Three-Rule Fuzzy PID Controllers.IEEE, CCECE

[14] Hu,B.G., Mann,G.K.I. and Gosine R.G, 1997.Fuzzy PID Controller Structures. IEEE, CCECE

[15] Yonqquan, Y.,Bi,Z., Guoukun Z., Haixia P.,2002**,** A Real Time Method to Tunes Rules Base Of Fuzzy Control Systems. IEEE

[16] Hu,B.G., Mann,G.K.I. and Gosine R.G, 1998.Control Curve Design For Nonlinear (or Fuzzy) Proportional Actions Usign Spine-Based Functions. Automatica. Vol. 34. No. 9. pp. 1125-1133. A9888

[17] Hu,B.G., Mann,G.K.I. and Gosine R.G, 1998.Nonlinearity Variation Analysis Of One Input Fuzzy PID Controllers.IEEE

[18] Hu,B.G., Mann,G.K.I. and Gosine R.G, 1997. Theoric and Genetic Design of a Three-Rule Fuzzy PI Controller. FUZ-IEEE'97

[19] Harinath, E., Mann, G.K.I, 2001. A Systematic Study of Fuzzy PID Controllers Function Based Evaluation Approach.IEEE Transactions On Fuzzy Systems, VOL.9,No.5,

[20] Erdem, A., 2007. Bulanık Mantık Tabanlı Kontrolör Yardımı ile Güç Sistem Kararlı Kılıcısı Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü

[21] Ulu, C., 2006. Bulanık Kontrolörlerde Dilsel Biçimlendiricilerin Optimal Ayarlanmasına Dayalı Tasarım Yöntemi. Yüksek Lisans Tezi İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü

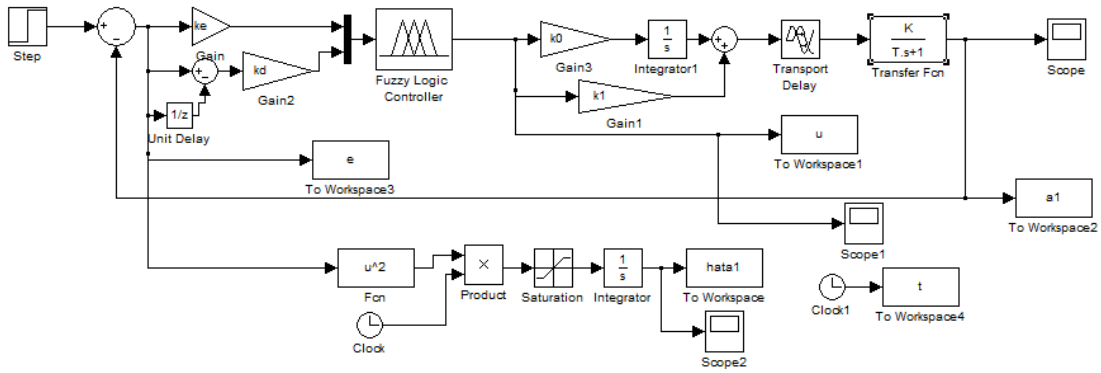
[22] Genç, H.M., 2006. A New Rule Base Modification Scheme For The Time Delay Systems. Yüksek Lisans Tezi İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü

[23] Tüysüzyan, A., 2007. İkinci Dereceden Ölü Zamanlı Bir Sistemde Ölü Zaman Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü

[23] K.J.Astrom and T.Hagglund., 1995. PID Controllers: Theory, Design, and Tuning, Instrument Society of America, North Caroline.

EK 1: Benzetim Çalışmalarında Kullanılan Bulanık Kontrolör MATLAB Yazılımları

Simülasyonlarda kullanılan temel Simulink Modeli aşağıdaki gibidir.



Yukarıda verilen model kullanılarak dört farklı durum için bloklar oluşturularak aşağıda detayları verilen kodlar yardımıyla simülasyon gerçekleştirilmiştir.

```
ke=%%Genetik Algoritma ile belirlenen katsayılar girilir
kd=%%Genetik Algoritma ile belirlenen katsayılar girilir
k0=%%Genetik Algoritma ile belirlenen katsayılar girilir
k1=%%Genetik Algoritma ile belirlenen katsayılar girilir
L=%%Genetik Algoritma ile belirlenen katsayılar girilir
K=%%Genetik Algoritma ile belirlenen katsayılar girilir
T=%%Genetik Algoritma ile belirlenen katsayılar girilir
x=-0.3*exp(-4*tog)+0.7%% Asimetrik ayarlanmış üyelik fonksiyonu
y=0.95 %%Asimetrik ayarlanmış üyelik fonksiyonu
lamda=3*L %%IMC yöntemi ile ölçekleme çarpanlarının bulunması
alpha=min(T,L/2)
beta=max(T,L/2)
A=1/3
B=1/3
ke=1
kd=ke*alpha
k0=(A/B)*1/(K*ke*(lamda+L/2))
k1=beta*k0
a=newfis('tipper');%%Bulanık kontrolör tanımlanır.
a.input(1).name='error'; );%%Giriş üyelik fonksiyonları tanımlanır.
a.input(1).range=[-1 1];
a.input(1).mf(1).name='nl';
a.input(1).mf(1).type='trimf';
a.input(1).mf(1).params=[-1 -1 -0.66];
a.input(1).mf(2).name='nm';
a.input(1).mf(2).type='trimf';
a.input(1).mf(2).params=[-1 -0.66  -0.33];
a.input(1).mf(3).name='ns';
a.input(1).mf(3).type='trimf';
a.input(1).mf(3).params=[-0.66 -0.33 0];
a.input(1).mf(4).name='z';
a.input(1).mf(4).type='trimf';
a.input(1).mf(4).params=[-0.33  0  0.33];
a.input(1).mf(5).name='ps';
```

```
a.input(1).mf(5).type='trimf';
a.input(1).mf(5).params=[0 0.33  0.66];
a.input(1).mf(6).name='pm';
a.input(1).mf(6).type='trimf';
a.input(1).mf(6).params=[ 0.33  0.66 1];
a.input(1).mf(7).name='pl';
a.input(1).mf(7).type='trimf';
a.input(1).mf(7).params=[0.66  1  1 ];
a.input(2).name='derror';
a.input(2).range=[-1 1];
a.input(2).mf(1).name='nl';
a.input(2).mf(1).type='trimf';
a.input(2).mf(1).params=[-1 -1 -0.66];
a.input(2).mf(2).name='nm';
a.input(2).mf(2).type='trimf';
a.input(2).mf(2).params=[-1 -0.66  -0.33];
a.input(2).mf(3).name='ns';
a.input(2).mf(3).type='trimf';
a.input(2).mf(3).params=[-0.66  -0.33  0];
a.input(2).mf(4).name='z';
a.input(2).mf(4).type='trimf';
a.input(2).mf(4).params=[-0.33  0  0.33];
a.input(2).mf(5).name='ps';
a.input(2).mf(5).type='trimf';
a.input(2).mf(5).params=[0 0.33  0.66];
a.input(2).mf(6).name='pm';
a.input(2).mf(6).type='trimf';
a.input(2).mf(6).params=[ 0.33  0.66 1];
a.input(2).mf(7).name='pl';
a.input(2).mf(7).type='trimf';
a.input(2).mf(7).params=[0.66 1 1 ];
a.output(1).name='signal';

%%Çıkış üyelik fonksiyonları tanımlanır.

a.output(1).range=[-1 1];
a.output(1).mf(1).name='nl';
a.output(1).mf(1).type='trimf';
a.output(1).mf(1).params=[-1 -1 -y];
a.output(1).mf(2).name='nm';
a.output(1).mf(2).type='trimf';
a.output(1).mf(2).params=[-1 -y  -x];
a.output(1).mf(3).name='ns';
a.output(1).mf(3).type='trimf';
a.output(1).mf(3).params=[-y  -x  0];
a.output(1).mf(4).name='z';
a.output(1).mf(4).type='trimf';
a.output(1).mf(4).params=[-x  0  x];
a.output(1).mf(5).name='ps';
a.output(1).mf(5).type='trimf';
a.output(1).mf(5).params=[0 x  y];
a.output(1).mf(6).name='pm';
a.output(1).mf(6).type='trimf';
a.output(1).mf(6).params=[ x  y 1];
a.output(1).mf(7).name='pl';
a.output(1).mf(7).type='trimf';
a.output(1).mf(7).params=[y 1 1 ];
a.rule(1).antecedent=[1 1]; %%Kural Tabanı tanımlanır.
a.rule(1).consequent=[1];
a.rule(1).weight=1;
a.rule(1).connection=1;
```

```
a.rule(2).antecedent=[1 2];
a.rule(2).consequent=[1];
a.rule(2).weight=1;
a.rule(2).connection=1;
a.rule(3).antecedent=[1 3];
a.rule(3).consequent=[1];
a.rule(3).weight=1;
a.rule(3).connection=1
a.rule(4).antecedent=[1 4];
a.rule(4).consequent=[1];
a.rule(4).weight=1;
a.rule(4).connection=1;
a.rule(5).antecedent=[1 5];
a.rule(5).consequent=[2];
a.rule(5).weight=1;
a.rule(5).connection=1;
a.rule(6).antecedent=[1 6];
a.rule(6).consequent=[3];
a.rule(6).weight=1;
a.rule(6).connection=1;
a.rule(7).antecedent=[1 7];
a.rule(7).consequent=[4];
a.rule(7).weight=1;
a.rule(7).connection=1;
a.rule(8).antecedent=[2 1];
a.rule(8).consequent=[1];
a.rule(8).weight=1;
a.rule(8).connection=1;
a.rule(9).antecedent=[2 2];
a.rule(9).consequent=[1];
a.rule(9).weight=1;
a.rule(9).connection=1;
a.rule(10).antecedent=[2 3];
a.rule(10).consequent=[1];
a.rule(10).weight=1;
a.rule(10).connection=1;
a.rule(11).antecedent=[2 4];
a.rule(11).consequent=[2];
a.rule(11).weight=1;
a.rule(11).connection=1;
a.rule(12).antecedent=[2 5];
a.rule(12).consequent=[3];
a.rule(12).weight=1;
a.rule(12).connection=1;
a.rule(13).antecedent=[2 6];
a.rule(13).consequent=[4];
a.rule(13).weight=1;
a.rule(13).connection=1;
a.rule(14).antecedent=[2 7 ];
a.rule(14).consequent=[5];
a.rule(14).weight=1;
a.rule(14).connection=1;
a.rule(15).antecedent=[3 1];
a.rule(15).consequent=[1];
a.rule(15).weight=1;
a.rule(15).connection=1;
a.rule(16).antecedent=[3 2];
a.rule(16).consequent=[1];
a.rule(16).weight=1;
a.rule(16).connection=1;
a.rule(17).antecedent=[3 3];
```

```
a.rule(17).consequent=[2];
a.rule(17).weight=1;
a.rule(17).connection=1;
a.rule(18).antecedent=[3 4];
a.rule(18).consequent=[3];
a.rule(18).weight=1;
a.rule(18).connection=1;
a.rule(19).antecedent=[3 5];
a.rule(19).consequent=[4];
a.rule(19).weight=1;
a.rule(19).connection=1;
a.rule(20).antecedent=[3 6];
a.rule(20).consequent=[5];
a.rule(20).weight=1;
a.rule(20).connection=1;
a.rule(21).antecedent=[3 7];
a.rule(21).consequent=[6];
a.rule(21).weight=1;
a.rule(21).connection=1;
a.rule(22).antecedent=[4 1];
a.rule(22).consequent=[1];
a.rule(22).weight=1;
a.rule(22).connection=1;
a.rule(23).antecedent=[4 2];
a.rule(23).consequent=[2];
a.rule(23).weight=1;
a.rule(23).connection=1;
a.rule(24).antecedent=[4 3];
a.rule(24).consequent=[3];
a.rule(24).weight=1;
a.rule(24).connection=1;
a.rule(25).antecedent=[4 4];
a.rule(25).consequent=[4];
a.rule(25).weight=1;
a.rule(25).connection=1;
a.rule(26).antecedent=[4 5 ];
a.rule(26).consequent=[5];
a.rule(26).weight=1;
a.rule(26).connection=1;
a.rule(27).antecedent=[4 6 ];
a.rule(27).consequent=[6];
a.rule(27).weight=1;
a.rule(27).connection=1;
a.rule(28).antecedent=[4 7];
a.rule(28).consequent=[7];
a.rule(28).weight=1;
a.rule(28).connection=1;
a.rule(29).antecedent=[5 1];
a.rule(29).consequent=[2];
a.rule(29).weight=1;
a.rule(29).connection=1;
a.rule(30).antecedent=[5 2];
a.rule(30).consequent=[3];
a.rule(30).weight=1;
a.rule(30).connection=1;
a.rule(31).antecedent=[5 3];
a.rule(31).consequent=[4];
a.rule(31).weight=1;
a.rule(31).connection=1;
a.rule(32).antecedent=[5 4];
a.rule(32).consequent=[5];
```

```
a.rule(32).weight=1;
a.rule(32).connection=1;
a.rule(33).antecedent=[5 5];
a.rule(33).consequent=[6];
a.rule(33).weight=1;
a.rule(33).connection=1;
a.rule(34).antecedent=[5 6];
a.rule(34).consequent=[7];
a.rule(34).weight=1;
a.rule(34).connection=1;
a.rule(35).antecedent=[5 7];
a.rule(35).consequent=[7];
a.rule(35).weight=1;
a.rule(35).connection=1;
a.rule(36).antecedent=[6 1];
a.rule(36).consequent=[3];
a.rule(36).weight=1;
a.rule(36).connection=1;
a.rule(37).antecedent=[6 2];
a.rule(37).consequent=[4];
a.rule(37).weight=1;
a.rule(37).connection=1;
a.rule(38).antecedent=[6 3];
a.rule(38).consequent=[5];
a.rule(38).weight=1;
a.rule(38).connection=1;
a.rule(39).antecedent=[6 4];
a.rule(39).consequent=[6];
a.rule(39).weight=1;
a.rule(39).connection=1;
a.rule(40).antecedent=[6 5];
a.rule(40).consequent=[7];
a.rule(40).weight=1;
a.rule(40).connection=1;
a.rule(41).antecedent=[6 6];
a.rule(41).consequent=[7];
a.rule(41).weight=1;
a.rule(41).connection=1;
a.rule(42).antecedent=[6 7];
a.rule(42).consequent=[7];
a.rule(42).weight=1;
a.rule(42).connection=1;
a.rule(43).antecedent=[7 1];
a.rule(43).consequent=[4];
a.rule(43).weight=1;
a.rule(43).connection=1;
a.rule(44).antecedent=[7 2];
a.rule(44).consequent=[5];
a.rule(44).weight=1;
a.rule(44).connection=1;
a.rule(45).antecedent=[7 3];
a.rule(45).consequent=[6];
a.rule(45).weight=1;
a.rule(45).connection=1;
a.rule(46).antecedent=[7 4];
a.rule(46).consequent=[7];
a.rule(46).weight=1;
a.rule(46).connection=1;5
a.rule(47).antecedent=[7 5];
a.rule(47).consequent=[7];
a.rule(47).weight=1;
```

```
a.rule(47).connection=1;
a.rule(48).antecedent=[7 6];
a.rule(48).consequent=[7];
a.rule(48).weight=1;
a.rule(48).connection=1;
a.rule(49).antecedent=[7 7];
a.rule(49).consequent=[7];
a.rule(49).weight=1;
a.rule(49).connection=1;
```

Benzer şekilde çıkış üyelik fonksiyonlartı taban konumları 0.33 ve 0.66 değerlerine sahip "b" geleneksel kontrolörü tanımlanır.

```
sim('ITSE');
plot(t,a1,'--',t,a2,t,a3,'--',t,a4,'LineWidth',2,'MarkerSize',5)
title('Performans Karsılaştırması')
xlabel('Zaman(s)')
ylabel('y')
h = legend('AA-BMK','IMK-BMK','GAA-BMK','GA-BMK',5);
grid on
max(hata2)
max(hata1)
max(hata4),max(hata3)
```

Üyelik fonksiyonları taban konumlarının aratılması için kullnılan kod yapısı aşağıdaki gibidir.

```
x=0.1;
y=0.1;
K=1
T=0.5
L=1
alpha=min(T,L/2)
beta=max(T,L/2)
A=1/3
B=1/3
ke=1
kd=ke*alpha
k0=0.425
k1=beta*k0
m2=1;
i2=1;
while m2==1
%%%Çıkış değişkenleri parametre olarak tanımlanmış bulanık kontrolör
kodlaması girilir.
 sim('ITSEk')
p=a1;                       %% a1 ayarlanmış
i=1;                         %% a2 konvansiyonel
j=1;                         %% a3 gatool ayarlanmış
k=((L/0.1)+2);
m=1;
n=1;
o=1;
q=1;
l=1;
f=1;
while m==1
if p(i)<0.9
i=i+1;
if i==250
rti2=300;
m=0;
end
else
```

```
 rti2=t(i);
 m=0;
end
end
while n==1
if p(j)<0.1
j=j+1;
if j==250
rti1=0;
n=0;
end
else
 rti1=t(j);
 n=0;
end
end
rti=rti2-rti1;
 r=diff(p);
if max(p)<=1
  os=0;
else
os=(max(p)-1);
end
g = length(a1);
sse=1-(p(g));
while o==1
   w=diff(p);
  if (f+k)==250
st=t(k);
o=0;
  end
if abs(w(k))<0.002&&abs(w(k+f))<0.002&& abs(1-p(k))<0.02
      f=f+1;
else
 k=k+1;
 end
end
  rti;
  os;
  st;
  sse;
 J=1000/((100*os)+(3*rti)+(9*st)+(100*sse));
z=1/J
 D(i2,:)=[x,y,z]
 plot(t,e,t,a1)
 y=y+0.05;
 i2=i2+1
 if y>=0.99
x=x+0.05;
y=x;
end
if x>=0.99 & y>=0.99
         m2=0
     end
end
min(D)
[C,I]=min(D)
minimum=D(I(3),:)
tog=L/(L+T)
L
T
```

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Engin TARI

Doğum Yeri ve Tarihi: Bingöl – 16.11.1984

Adres: Altıntepe Mah. Kılavuzçayırı Cad. Doğu Sok. Günsay Apt. No:16/10
Küçükyalı/ İSTANBUL

Lisans: Yıldız Teknik Üniversitesi
Elektrik Elektronik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü- Kontrol Otomasyon ABD