

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR SİSTEMİN ÖZ UYARLAMALI BULANIK PID
KONTROLÖR İLE KONTROLÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Mehmet Eren ERDOĞAN**

Anabilim Dalı : ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ

Programı : KONTROL VE OTOMASYON

HAZİRAN 2006

**BİR SİSTEMİN ÖZ UYARLAMALI BULANIK PID
KONTROLÖR İLE KONTROLÜ
(504031116)**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Mehmet Eren ERDOĞAN**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Mayıs 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 9 Haziran 2006**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Fuat GÜRLEYEN (İ.T.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. İbrahim Eksin (İ.T.Ü)
Yrd.Doç.Dr. Osman Kaan EROL (İ.T.Ü)**

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Tez konumda bana bütün bilgi birikimiyle yardımcı olan ve göstermiş olduğu büyük sabrı için tez danışmanım Doç. Dr. Fuat Gürleyen hocama, sevgili arkadaşlarım Mert Yardımcı ve Hayk Markaroğlu' na teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Ayrıca tüm yaşamım boyunca bana maddi ve manevi destek için aileme ve dostlarıma sonsuz şükranlarımı sunarım.

Mayıs 2006

Mehmet Eren Erdoğan

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. PID KONTROLÖRÜ TASARIMI	4
2.1. PID Tipi Kontrolör Algoritmaları	4
2.2. PID Kontrolörün Gerçeklenmesi	8
2.2.1. PID Kontrolörün Parametrelerinin Tespiti	10
2.2.2. Sonuçların İrdelenmesi	11
3. BULANIK KONTROLÖR TASARIMI	14
3.1. Bulanık PID Tipi Kontrolör Yapıları	14
3.1.1. Öz Uyarlamasız Bulanık PID Tipi Kontrolörler	16
3.1.2. Öz Uyarlamalı Bulanık PID Tipi Kontrolörler	21
3.1.2.1. Aşım Gözleyicisi ile Parametre Uyarlamalı Yöntem	21
3.1.2.2. Fonksiyon Ayarlayıcısı ile Parametre Uyarlamalı Yöntem	24
3.1.2.3. Model Temelli Fonksiyon Ayarlayıcısı İle Parametre Uyarlamalı Yöntem	26
3.2. Öz Uyarlamasız Bulanık PID Tipi Kontrolör Tasarımı	27
3.2.1. Öz Uyarlamasız Bulanık PID Tipi Kontrolörün İkinci Dereceden Ölü Zamansız Bir Sisteme Uygulanması	29
3.2.2. Öz Uyarlamalı Bulanık PID Tipi Kontrolörün İkinci Dereceden Ölü Zamansız Bir Sisteme Uygulanması	30
3.2.2.1. Fonksiyon Ayarlayıcısı Yönteminin İkinci Dereceden Ölü Zamansız Bir Sisteme Uygulanması	31
3.2.2.2. Model Temelli Fonksiyon Ayarlayıcısı Yönteminin İkinci Dereceden Ölü Zamansız Bir Sisteme Uygulanması	33
3.2.2.3. Fonksiyon Ayarlayıcısı Yönteminin İkinci Dereceden Ölü Zamansız Bir Sisteme Dışarıdan Gürültü Uygulanması Durumunda Sistem Cevaplarının İncelenmesi	41

3.2.2.4. Model Temelli Fonksiyon Ayarlayıcısı Yönteminin İkinci Dereceden Ölü Zamansız Bir Sisteme Dışarıdan Gürültü Uygulanması Durumunda Sistem Cevaplarının İncelenmesi	42
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	55
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	60

KISALTMALAR

PID	: Proportional Integral Derivative
FLC	: Fuzzy Logic Controller
PD	: Proportional and Derivative Controller
PI	: Proportional and Integral Controller
SF	: Scaling Factor
MF	: Membership Function

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Ziegler-Nichols yöntemine göre kontrolör parametrelerinin tespiti	10
Tablo 2.2. Ziegler-Nichols Frekans Yanıtı Metodu ile kontrolör parametrelerinin tespiti	11
Tablo 2.3. Ziegler-Nichols Basamak Yanıt Metoduna göre kontrolör parametreleri	11
Tablo 3.1. Bulanık Kontrol Kural Tablosu.....	28

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1.	İdeal aç-kapa kontrol karakteristiği (A), ölü bölgeli aç-kapa kontrol (B), histerisiz yapıli aç-kapa kontrol (C) 5
Şekil 2.2.	Oransal Kontrolör karakteristiği, giriş hata işareti e , çıkış kontrol işareti u 5
Şekil 2.3.	PID kontrolörün blok diyagramı (standart yapı) 6
Şekil 2.4.	PID kontrolörün seri olarak gerçekleşmesi 7
Şekil 2.5.	PID kontrolör ile kontrol edilen sistem cevabı ile, sistemin basamak girişi cevabının karşılaştırılması 12
Şekil 2.6.	PID kontrolör ile kontrol edilen sistem cevabı ile, kontrol edilmeyen sistemin cevabının karşılaştırılması 12
Şekil 3.1.	Bulanık PD tipi kontrolöre ait blok gösterimi 16
Şekil 3.2.	Girişlerin hata ve hatanın integrali olarak alınması durumunda elde edilen bulanık kontrolöre ait blok gösterimi 17
Şekil 3.3.	Bulanık PI tipi kontrolöre ait blok gösterimi 18
Şekil 3.4.	Girişlerin hata, hatanın değişimi ve hatanın integrali olarak alınması durumunda elde edilen bulanık kontrolöre ait blok gösterimi 18
Şekil 3.5.	Hata ve hatanın değişimi olmak üzere iki adet girişe ve iki ayrı kural tabanına sahip bulanık kontrolöre ait blok gösterimi 19
Şekil 3.6.	Bulanık PID tipi kontrolöre ait blok gösterimi 20
Şekil 3.7.	Bir kontrol sistemi basamak cevabının değişik evreleri 22
Şekil 3.8.	Aşım gözleyicisi ile parametre uyarlamalı bulanık PID tipi kontrolörün kapalı çevrim kontrol yapısı 23
Şekil 3.9.	Fonksiyon ayarlayıcısı ile parametre uyarlamalı bulanık PID tipi kontrolörün kapalı çevrim kontrol yapısı 25
Şekil 3.10.	Model temelli fonksiyon ayarlayıcısı ile parametre uyarlamalı bulanık PID tipi kontrolörün kapalı çevrim kontrol yapısı 27
Şekil 3.11.	e , e' ve u' nun üyelik fonksiyonları 28
Şekil 3.12.	Farklı β değerleri için sistem cevaplarının karşılaştırılması 30
Şekil 3.13.	Fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile elde edilen öz uyarlamalı bulanık PID kontrolörün sistem cevabı 31
Şekil 3.14.	Fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile elde edilen öz uyarlamalı bulanık PID kontrolörün sistem cevabı ile, öz uyarlamasız bulanık PID kontrolörün sistem cevabı 32
Şekil 3.15.	Fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile elde edilen öz uyarlamalı bulanık PID kontrolörün kontrol işareti ile, öz uyarlamasız bulanık PID kontrolörün kontrol işaretinin karşılaştırılması 32
Şekil 3.16.	Referans No.1 34

Şekil 3.17.	Referans No.1 için sistem cevaplarının karşılaştırılması	34
Şekil 3.18.	Referans No.1 için kontrol işaretlerinin karşılaştırılması	35
Şekil 3.19.	Referans No.2	35
Şekil 3.20.	Referans No.2 için sistem cevaplarının karşılaştırılması	36
Şekil 3.21.	Referans No.2 için kontrol işaretlerinin karşılaştırılması	36
Şekil 3.22.	Referans No.3	37
Şekil 3.23.	Referans No.3 için sistem cevaplarının karşılaştırılması	37
Şekil 3.24.	Referans No.3 için kontrol işaretlerinin karşılaştırılması	38
Şekil 3.25.	Referans No.4	38
Şekil 3.26.	Referans No.4 için sistem cevaplarının karşılaştırılması	39
Şekil 3.27.	Referans No.4 için kontrol işaretlerinin karşılaştırılması	39
Şekil 3.28.	Referans No.5	40
Şekil 3.29.	Referans No.5 için sistem cevaplarının karşılaştırılması	40
Şekil 3.30.	Referans No.5 için kontrol işaretlerinin karşılaştırılması	41
Şekil 3.31.	Fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile elde edilen öz uyarlamalı bulanık PID kontrolörün gürültüye karşı sistem cevabı ile öz uyarlamasız bulanık PID kontrolörün gürültüye karşı sistem cevabı	41
Şekil 3.32.	Fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile elde edilen öz uyarlamalı bulanık PID kontrolörün gürültüye karşı ürettiği kontrol işareti, öz uyarlamasız bulanık PID kontrolörün gürültüye karşı ürettiği kontrol işareti	42
Şekil 3.33.	Referans No.1	43
Şekil 3.34.	Sistem cevaplarının karşılaştırılması	43
Şekil 3.35.	Referans No.2	44
Şekil 3.36.	Sistem cevaplarının karşılaştırılması	44
Şekil 3.37.	Referans No.5	45
Şekil 3.38.	Sistem cevaplarının karşılaştırılması	45
Şekil 3.39.	Kontrol işaretlerinin karşılaştırılması	46
Şekil 3.40.	Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID ile öz uyarlamasız bulanık PID' nin sistem cevaplarının karşılaştırılması	47
Şekil 3.41.	Öz uyarlamasız ve bulanık olmayan PID ile öz uyarlamasız bulanık PID' nin kontrol işaretlerinin karşılaştırılması	47
Şekil 3.42.	Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID ile fonksiyon ayarlayıcı yönteminin sistem cevaplarının karşılaştırılması	48
Şekil 3.43.	Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID ile fonksiyon ayarlayıcı yönteminin kontrol işaretlerinin karşılaştırılması	48
Şekil 3.44.	Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID ile referans No.1 için model izleyen fonksiyon ayarlayıcı yönteminin sistem cevaplarının karşılaştırılması	49
Şekil 3.45.	Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID ile referans No.1 için model izleyen fonksiyon ayarlayıcı yönteminin kontrol işaretlerinin karşılaştırılması	49
Şekil 3.46.	Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID ile referans No.2 için model izleyen fonksiyon ayarlayıcı yönteminin sistem cevaplarının karşılaştırılması	50
Şekil 3.47.	Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID ile referans No.2 için	50

	model izleyen fonksiyon ayarlayıcı yönteminin kontrol işaretlerinin karşılaştırılması	
Şekil 3.48.	Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID ile referans No.5 için model izleyen fonksiyon ayarlayıcı yönteminin sistem cevaplarının karşılaştırılması	51
Şekil 3.49.	Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID ile referans No.5 için model izleyen fonksiyon ayarlayıcı yönteminin kontrol işaretlerinin karşılaştırılması	51
Şekil 3.50.	Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID, referans No.5 için model izleyen fonksiyon ayarlayıcı ve fonksiyon ayarlayıcısı yönteminin sistem cevaplarının karşılaştırılması	52
Şekil 3.51.	Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID, referans No.5 için model izleyen fonksiyon ayarlayıcı ve fonksiyon ayarlayıcısı yönteminin kontrol işaretlerinin karşılaştırılması	52

SEMBOL LİSTESİ

K	: Sistem kazancı
L	: Ölü zaman değeri
T	: Sistem zaman sabiti
u	: Kontrol İşareti
e	: Hata işareti
\dot{e}	: Hatanın türevi
K_p	: Oransal kazanç
K_i	: İntegral kazanç
K_d	: Türevsel kazanç
K_e	: Bulanık PID tipi kontrolör giriş ölçekleme faktörü
K_{de}	: Bulanık PID tipi kontrolör giriş ölçekleme faktörü
K_{ie}	: Bulanık PID tipi kontrolör giriş ölçekleme faktörü
β	: Bulanık PID tipi kontrolör çıkış ölçekleme faktörü
α	: Bulanık PID tipi kontrolör çıkış ölçekleme faktörü
δ	: Mutlak tepe değeri
de	: Hata değerindeki değişim
μ	: Üyelik fonksiyonu
U	: Bulanık PID tipi kontrolör çıkışı

BİR SİSTEMİN ÖZ UYARLAMALI BULANIK PID KONTROLÖR İLE KONTROLÜ

ÖZET

Bulanık küme kuramı, ilk olarak 1965 yılında Zadeh (1965) tarafından ortaya konulduktan sonra ilk uygulamasını 1974 yılında kontrol alanında bulmuştur. Takip eden yıllarda bulanık kontrol birçok araştırmacı tarafından önemli bir çalışma konusu olarak ele alınmış ve son on yıl içerisinde bulanık kontrolörler endüstride geniş bir kullanım alanına sahip olmuştur. Bu kontrolörler arasında en yaygın olanı, yapıları itibariyle PID kontrolörleri ile denkliği ortaya konmuş olan bulanık PID tipi kontrolörlerdir. Literatürde öz uyarlamasız bulanık PID tipi kontrolörlerin yaygın olarak kullanılmasına karşın, son zamanlarda bu tip kontrolörlerin başarımını arttırmak amacıyla çeşitli uyarlama yöntemlerinin kullanıldığı öz uyarlamalı bulanık PID tipi kontrolör tasarımına önem verilmiştir.

Bu tezde, öncelikle kontrol edilecek sisteme ait modele uygun olarak PID kontrolörü tasarımı yapılmıştır. Daha sonra tasarlanan kontrolöre ait gerçek sistem yanıtları ile simülasyon yanıtları karşılaştırılmıştır. Kontrolör tasarımında ikinci aşamada ise bulanık kontrolör yapıları ele alınmış, yapıları itibariyle bir PID kontrolörüne benzeyen, bulanık PID tipi kontrolörler hakkında teorik bilgiler verilmiştir. Burada bulanık PID tipi kontrolörler temel olarak

1. Ölçekleme faktörleri, güncel olmayan şekilde (off-line) tasarım başlangıcında ayarlanarak bu değerler için sistem yanıtının elde edilebildiği öz uyarlamasız bulanık PID tipi kontrolörler
2. Kontrolöre ait iki adet ölçekleme faktörünün değişik algoritmalar ile güncel (on-line) olarak ayarlanan ve öz uyarlama neticesinde kontrolöre ait sistem yanıtının elde edildiği öz uyarlamalı bulanık PID tipi kontrolörler

şeklinde sınıflandırılmıştır.

Daha sonra sisteme öz uyarlamasız bulanık PID tipi kontrolör tasarlanmış ve yapılan simülasyonlarda β parametre değerinin düşürülmesi ile beraber oransal kontrol bileşeninin değerinin de azaldığı ve böylelikle sistemin hataya karşı olan tepkisinin de yavaşladığı görülmüştür.

Sonraki bölümde, aşım gözleyicisi, fonksiyon ayarlayıcısı ve bağıl hız gözleyicisi yoluyla iki adet ölçekleme faktörü uyarlanan öz uyarlamalı bulanık PID tipi kontrolör anlatılmış ve fonksiyon ayarlayıcısı yöntemine ilişkin elde edilen sistem yanıtları ile model temelli fonksiyon ayarlayıcısı yöntemine ilişkin elde edilen sistem yanıtları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarda, ölçekleme faktörleri düzgün olarak ayarlanmayan bir bulanık kontrolör yanıtının uygulanan bu yöntemler neticesinde iyileştirilebildiği görülmüştür. Kontrolör tasarımında toplam $7 \times 7 = 49$ adet kural yazılmıştır.

Çalışmada simülasyon yanıtları Matlab 7.0 ve Simulink programları vasıtasıyla elde edilmiştir.

CONTROL OF A SYSTEM WITH SELF TUNING FUZZY PID CONTROLLER

SUMMARY

After proposed by Zadeh (1965) in 1965, the fuzzy set theory had its first application at the control research in 1974. In the following years, the fuzzy control was accepted as an important study by many researchers and in the last decade fuzzy controllers had found a wide usage area in the industry. Since their structures are almost as the same as PID controllers' structures, the fuzzy PID type controllers had become the most widely used controllers. Although many fuzzy PID type controllers which has no self tuning mechanism are proposed in literature, in the last years self-tuned fuzzy PID type controllers in which many tuning algorithms are used had given importance in order to improve the performance of non self-tuned fuzzy PID type controllers.

In this thesis, first of all, appropriate PID coefficients were calculated and PID controller design was made due to the system model. After this step, the system responses of PID controlled system and non-controlled system were compared. At the second stage of designing controllers, some theoretical information was given about the fuzzy PID type controllers which have similar structures as PID controllers. The fuzzy PID type controllers were basically classified in two categories as follows;

1. The fuzzy PID type controllers that has no tuning mechanism in which the scaling factors of the controller are tuned at the beginning stage of controller design in an off line manner that the response of the system can be obtained for these parameter values
2. The fuzzy PID type controllers that has a tuning mechanism in which the two scaling factors of the controller are tuned by different algorithms in

an on line manner that the response of the system can be obtained for self tuning parameter values

After this, a fuzzy PID type controller that has no tuning mechanism was designed for the system model and it was observed that as the β parameter value decreases proportional control component decreases too, thus system's response to error slows.

In the following chapter the fuzzy PID type controllers which were obtained with peak observer, function tuner and relative rate observer methods were described and the system responses of function tuner and model based function tuner were compared. After getting the systems responses for these controllers, it was seen that the system responses can be improved after applying these methods to a fuzzy PID type controller whose parameters were tuned improperly. While designing the controllers $7 \times 7 = 49$ rules were written.

In the study, the simulation results were obtained by using the Matlab 7.0 and Simulink programs.

1.GİRİŞ

Birçok araştırmanın ve yüksek sayıda değişik çözümlerinin önerilmesine karşın, çoğu endüstriyel kontrol sistemi hala PID kontrolüne dayanmaktadır. PID kontrolörünün endüstride kullanım oranının yaklaşık olarak %90 ile %99 arasında olduğu bilinmektedir. Bu yüksek kullanım oranının bazı sebepleri şu şekilde ifade edilebilir:

- a) PID kontrolörleri dayanıklı ve tasarımları basittir.
- b) PID ile sistem yanıtına ait parametreler arasında belirgin bir ilişki mevcuttur. Bir PID kontrolörünün sadece üç adet parametreye sahip olmasından dolayı, operatörler bu parametrelerin etkileri ve sistem yanıtı açısından birbirlerine karşı olan üstünlükleri hakkında geniş bir bilgiye sahiptir.
- c) Son yıllarda PID kontrolörüne ait parametrelerin ayarlanmasına ilişkin birçok değişik yöntem önerilmiştir.

Ancak, PID kontrolörleri bütün kontrol problemlerine karşı genel bir çözüm sağlayamamaktadır. Zaman gecikmesine ve doğrusal olmayan özelliklere sahip, karmaşık, zamanla değişen sistemler karşılaşılabilecek bu tür problemlere örnek olarak verilebilir. Bir proses analitik modellerle ifade edilemeyecek kadar karmaşık bir yapıya sahip ise o zaman bu sistemin klasik yaklaşımlar ile etkili biçimde kontrol edilebilmesi imkansız hale gelmektedir.

Yapay zeka ve kontrol mühendisliği arasında sınır olan bulanık kontrol bir çözüm olarak düşünülebilir. Bulanık mantık ile kontrol, uzman kişi bilgisini ve kontrol yöntemlerini sayısal algoritmalara başarılı şekilde aktarabilmektedir.

Zadeh, 1965 yılında bulanık küme kuramını önerdikten sonra 1968' de bulanık algoritmalar konusu üzerinde çalışmış, 1970' de ise Bellman ile beraber bulanık kontrol kavramını açıklayan bir makale yayımlamıştır (Bellman ve Zadeh, 1970). Bu makalede, bulanık kontrolde insan bilgisinin "EĞER - O HALDE" kurallarıyla ifade edilmesi için dilsel değişkenler kavramı ortaya konulmuştur. Son 30 yıl

içerisinde, bulanık kontrolör uygulamaları çeşitli endüstriyel kontrol uygulamalarını ve önemli araştırma çalışmalarını kapsayacak şekilde genişlemiştir. 1974 yılında Mamdani, Zadeh (1973) ile önerilen çıkarım mekanizmasını dinamik bir sistemi kontrol etmekte kullanmıştır (Mamdani, 1974). Bir yıl sonra Mamdani ve Assilian ilk bulanık mantık kontrolörünü (FLC) geliştirmişler ve bu kontrolörü bir buhar makinasını kontrol etmek amacıyla kullanmışlardır (Mamdani ve Assilian, 1975). Ancak bu algoritma büyük ölçüde uzman operatörün bilgi ve tecrübesine dayanmaktadır. Mac Vicar-Whelan bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak amacıyla birtakım kurallar önermiştir ve tasarlanan kontrolörler PD ve PI kontrolörlere benzer yapıda elde edilmiştir (Mac Vicar-Whelan, 1976).

Bulanık kontrolörlerde yaygın olarak Mamdani (1974) ile önerilen min-max çıkarım mekanizması ve Mizumoto (1990) ile önerilen çarpım-toplam çıkarım mekanizması kullanılmaktadır. Durulaştırmanın zaman alıcı bir işlem olması nedeniyle, özellikle Takagi ve Sugeno (1985)' de önerilen bulanık kontrol kurallarının sonuç kısmında bulanık kümeler yerine gerçel sayılar kullanılmasıyla elde edilen kural yapısı ile çarpım-toplam çıkarım mekanizmasının beraber olarak kullanılması, oldukça iyi bir başarı ve kolay bir algoritma üretmektedir.

Mizumoto ve Qiao (1996)' da, bu tip çıkarım mekanizmasına sahip bir bulanık kontrolörü PID'ye ilişkilendiren, PID kontrolörün yapısına benzer bir kontrolör yapısı önerilmiştir. Elde edilen bu kontrolöre öz uyarlamasız bulanık PID tipi kontrolör adı verilmektedir. Burada kontrol işareti bilgi tabanı ve çıkarım mekanizmasından üretilmekte ve kontrolöre ait ölçekleme faktörleri tasarım başlangıcında ayarlanarak kontrolöre ait sistem yanıtı elde edilmektedir.

Bulanık kontrolör tasarımı üç önemli safhadan meydana gelmektedir. Bunlar; bilgi tabanı tasarımı, ayarlama parametreleri ve üyelik fonksiyonlarıdır. Tasarlanan kontrolörün istenilen başarıyı sağlayabilmesi için bu üç safhanın ayarlanması gerekmektedir. Ancak sadece ölçekleme faktörlerinin ayarlanması ile gerçek zaman kontrolünün gereksinimleri sağlanabilmektedir (Woo ve diğ., 1998). Sadece üyelik fonksiyonlarının ayarlanması ile ancak geçici hal yanıtında iyileştirme yapılabilir, sürekli hal yanıtında bir değişiklik sağlanamaz. Dolayısıyla, öz uyarlamalı ölçekleme faktörlerine sahip bulanık kontrolör tasarımı, istenilen başarıyı elde etmek için önemli bir ihtiyaçtır. Bu sebepten ötürü, öz uyarlamasız bulanık PID tipi kontrolörlerin ölçekleme faktörleri çeşitli algoritmaların kullanımı ile uyarlanmış ve

sistem başarımı önemli ölçüde arttırılmıştır. Elde edilen bu tip kontrolörlere öz uyarlamalı bulanık PID tipi kontrolörler adı verilmektedir.

Bu tez kapsamında modelleme, PID kontrolörü ve bulanık PID tipi kontrolörü tasarımı ele alınmıştır. 2. Bölüm' de sistem için PID kontrolörü tasarlanmış ve kontrolöre ait sistem yanıtları irdelenmiştir. 3. Bölüm' de sırasıyla öz uyarlamasız ve öz uyarlamalı bulanık PID tipi kontrolörler hakkında detaylı olarak teorik bilgiler verilmiş ve ilk olarak öz uyarlamasız bulanık PID tipi kontrolör tasarlanmış, daha sonra ölçekleme faktörleri düzgün olarak ayarlanamayan bulanık kontrolöre ait başarımı arttırmak maksadıyla, bu kontrolöre fonksiyon ayarlayıcısı yöntemi uygulanarak öz uyarlamalı bulanık PID tipi kontrolör tasarlanmış ve elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Bunun yanı sıra, yeni bir öneri olarak, fonksiyon ayarlayıcısı yönteminde kullanılan hata değerinin, sistem girişi ve çıkışı ile arasındaki farktan elde edilmesine alternatif olarak, referans bir model ile sistem çıkışı karşılaştırılarak elde edilen hata değerinin kullanıldığı, model temelli fonksiyon ayarlayıcısı yöntemi önerilmiş olup, çeşitli karşılaştırmalar yapılarak üstünlükler irdelenmiştir. Yapılan bu çalışmanın, bu konularda çalışacak diğer kontrol mühendislerine rehberlik edeceği düşünülmektedir.

2. PID KONTROLÖRÜ TASARIMI

2.1 PID Tipi Kontrolör Algoritmaları

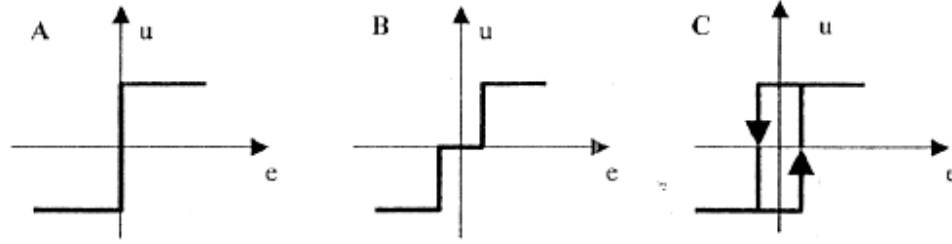
En çok kullanılan kontrol algoritması PID kontrolördür. Çoğu geri besleme çevrimi bu algoritma veya onun küçük değişikliklerle oluşturulmuş türevleriyle kontrol edilir. PID kontrolöre birkaç temel kuralla çalışan bir cihaz olarak bakılabileceği gibi, analitik olarak da yaklaşılabilir.

Tüm kapalı çevrim kontrol sistemlerinde olduğu gibi, PID Kontrolörde de basit olduğu kadar kullanışlı olan geri besleme fikri geçerlidir. Geri beslemenin temel ilkesi, “proses çıkışı referans değerden küçükse girişi arttır, büyükse girişi azalt” şeklinde verilebilir. Bu ilke çerçevesinde en basit geri besleme düzeneği aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

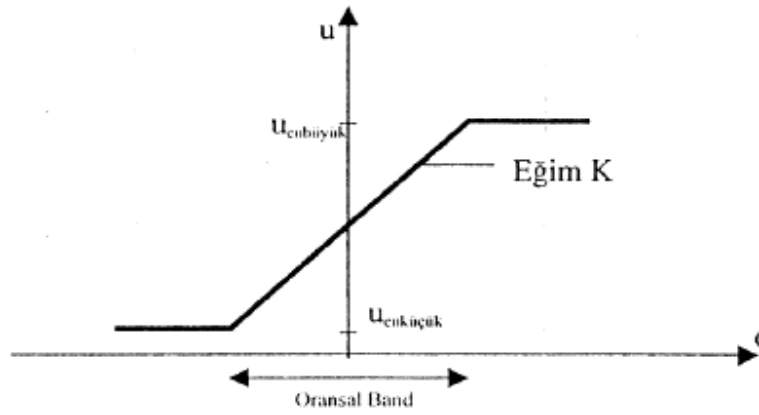
$$u = \begin{cases} u_{enbüyük}, & e > 0 \\ u_{enküçük}, & e < 0 \end{cases} \quad (2.1)$$

Burada e , sistemin istenen çıkış değeri ile, ölçülen çıkış değeri arasındaki fark, yani kontrol hata terimidir. Bu tip geri beslemeye aç-kapa kontrol adı verilmektedir. Bir fırın sıcaklığının kontrolü buna örnek verilebilir. Fırın sıcaklığı, istenilen değer altına düştüğünde ısıtıcı çalıştırılır, sıcaklık istenilen değeri aştığında ise ısıtıcı kapatılır.

Aç-kapa kontrol, sistem çıkışını referans değer civarında tutma işleminde genellikle başarılı olur. Ancak çıkışın sürekli olarak dalgalanmasına neden olacaktır. Fırın örneğinde, fırın sıcaklığının yükselmesi, ısıtıcının kapatılmasına neden olacak, ancak sıcaklık bir süre daha yükselmeye devam edecektir. Çünkü ısıtıcı direnci üzerindeki akım kesilse de direnç bir süre daha etrafa ısı yaymaya devam edecektir. Aç-kapa kontrol, üzerinde birkaç değişiklik yapılarak daha verimli olarak kullanılabilir. Kontrolör karakteristikleri şekil 2.1 'de görülmektedir.



Şekil 2.1: İdeal aç-kapa kontrol karakteristiği (A), ölü bölgesi aç-kapa kontrol (B), histerisiz yapıli aç-kapa kontrol (C)



Şekil 2.2: Oransal Kontrolör karakteristiği, giriş hata işareti e , çıkış kontrol işareti u

Aç-kapa kontrolün dalgalanmaya yol açmasının nedeni, hata işareti büyük olsun küçük olsun sisteme hep aynı girişi uygulamasıdır. Bu değişiklik, hatanın büyüklüğü ile orantılı kontrol işareti üreten oransal kontrolör ile çözülür. Oransal kontrolörün karakteristiği şekil 2.2'de görülmektedir. Büyük hata değerleri için oransal kontrolörün aç-kapa kontrolör şeklinde davranacağı şekilden de anlaşılmaktadır.

Pratikte kullanılan kontrol algoritmaları genellikle oransal kontrolörden daha karmaşık yapıdadır. PID kontrolörün uygulamada oldukça kullanışlı yapıda olduğu deneysel olarak anlaşılmıştır. Genel olarak PID kontrolör algoritması şu şekilde tarif edilebilir:

$$u(t) = K \cdot \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (2.2)$$

Bu gösterime standart gösterim adı verilir. Bu ifadede $u(t)$, kontrol işareti; $e(t)$, hata işareti; K , kazanç; T_i , integral zaman sabiti; T_d , türev zaman sabitidir. (3.2) denkleminde

de anlaşıldığı gibi, PID kontrolör çıkışı, hata işareti ile beraber, hatanın zamanla değişimini de içerir.

(2.2) ifadesi aynı zamanda:

$$u(t) = Ke(t) + K_i \int e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.3)$$

olarak yazılabilir. Burada $K_i = K/T_i$, $K_d = KT_d$ 'dir. Bu tip yapı, PID kontrolörün paralel olarak ifadesi adını alır.

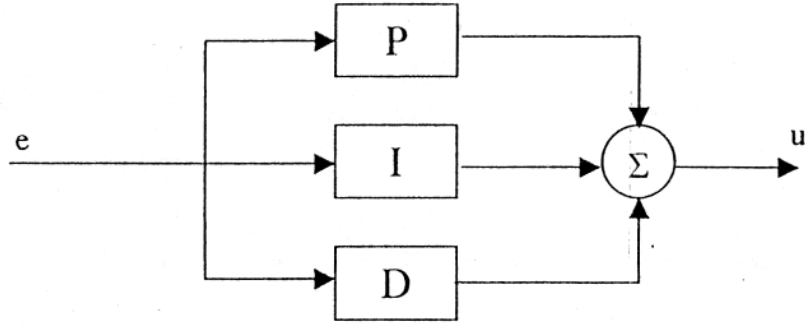
Eğer (2.2) ve (2.3) ifadelerinin Laplace dönüşümleri alınırsa, ifadeler sırayla:

$$G(s) = K(1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d) \quad (2.4)$$

ve

$$G(s) = K + \frac{K_i}{s} + sK_d \quad (2.5)$$

biçimine gelir. Standart ve paralel yapıda PID kontrolörün blok diyagramı şekil 2.3'de görülmektedir.

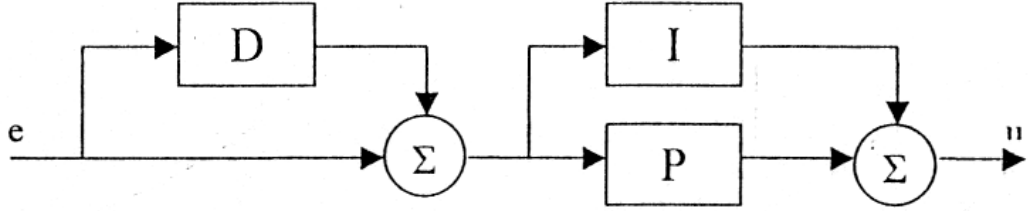


Şekil 2.3: PID kontrolörün blok diyagramı (standart yapı)

Ancak ticari kontrolörlerin çoğunda bu yapıların biraz daha değişiki kullanılır:

$$G'(s) = K'(1 + \frac{1}{sT_i})(1 + sT_d') \quad (2.6)$$

Bu kontrol yapısının blok diyagramı ise şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4: PID kontrolörün seri olarak gerçekleştirilmesi

Bu yapıya seri gerçekleştirme adı verilir. Seri olarak gerçekleştirilen bir PID kontrolör her zaman katsayıları aşağıdaki gibi olan standart yapıda bir PID kontrolör olarak gösterilebilir:

$$K = K' \frac{T_i' + T_d'}{T_i'} \quad (2.7a)$$

$$T_i = T_i' + T_d' \quad (2.7b)$$

$$T_d = \frac{T_i' \cdot T_d'}{T_i' + T_d'} \quad (2.7c)$$

Ancak bunun tersi bir işlem sadece $T_i \geq 4T_d$ ise mümkündür. Bu halde:

$$K' = \frac{K}{2} (1 + \sqrt{1 - 4T_d / T_i}) \quad (2.8a)$$

$$T_i' = \frac{T_i}{2} (1 + \sqrt{1 - 4T_d / T_i}) \quad (2.8b)$$

$$T_d' = \frac{T_d}{2} (1 - \sqrt{1 - 4T_d / T_i}) \quad (2.8c)$$

şeklinde bir dönüşüm yapılır.

Üç kontrolör yapısı da (seri gerçekleştirme çoğunlukta olmak üzere) üreticiler tarafından tercih edilmektedir. Standart forma kimi zaman ISA algoritması veya ideal algoritma da denilmektedir.

Seri yapının tercih edilmesi biraz da tarihsel bir nedene dayanmaktadır. Kontrolör üreticileri, önceleri pnömatik kontrolörler üretiyorlardı. Bu tip kontrolörlere bu yapı çok iyi uyuyordu. Sonra zamanla analog ve sayısal elektronik teknolojisi gelişti, ancak yapı değişmeden kaldı.

2.2 PID Kontrolörün Gerçeklenmesi

Sayısal olarak, oransal, integral ve türev terimleri ayrı ayrı hesaplanıp sonra toplanarak $u(t)$ kontrol işareti elde edilir:

$$u(k) = u_p(k) + u_i(k) + u_d(k) \quad (2.9)$$

ve

$$u_p(k) = K_c e(k) \quad (2.10)$$

$$u_d(k) = K_d \frac{[e(k) - e(k-1)]}{T} \quad (2.11)$$

olarak hesaplanabilir. İntegral terimi $u_i(k)$ ise dikdörtgen veya yamuk yaklaşımına göre elde edilir. Dikdörtgen yaklaşımı yapılırsa:

$$u_i(k) = u_i(k-1) + K_i \cdot T \cdot e(k-1) \quad (2.12)$$

Yamuk yaklaşımı ile yapılırsa:

$$u_i(k) = u_i(k-1) + K_i \cdot T \frac{e(k) - e(k-1)}{2} \quad (2.13)$$

şeklinde hesaplanır.

Fark denklemi olarak elde edilen (2.10),(2.11) ve (2.13) ifadeleri, içgüdüsel olarak göze hoş görünse de kazanç ve türev terimlerindeki $e(k)$ hata işareti nedeniyle uygulamada

sorun oluşturabilir. Çünkü $e(k)$, içinde referans işareti taşımaktadır. Bu da referanstaki ani bir değişimin kontrol işaretinde istenmeyen değişimlere neden olması sonucunu doğurur. Böyle bir değişim en çok türev teriminde etkisini göstereceğinden, bunu önlemek için, türev terimindeki hatanın türevi yerine çıkışın türevini almak da uygun olabilmektedir.

Türev teriminde yapılan bu değişikliğin, (2.10),(2.11) ve (2.13)'deki gibi programlanan kontrolörlerde yapılması kontrolör başarımı açısından çok iyi sonuçlar verecektir. PID kontrolör de kendi başına ayrı bir sistem olduğundan, tasarım sırasında kontrolör transfer fonksiyonunda yerleşme zamanı artacak şekilde değişiklikler yapılırsa, referans işaretin ani değişimlerinde çıkışta görülen istenmeyen değişimler önlenir.

Bir kontrol sistemi çoğu durumda doğrusal ifadelerle tanımlanabilse de bazı doğrusal olmayan durumları hesaba katmak gerekli olabilir. Örneğin uygulamada her zaman bir motorun ulaşabileceği bir sınır hız değeri, yada bir vananın akıtılabileceği bir sınır debi değeri vardır, hiçbir gerçek sistemden fiziksel yapısından daha fazla şey beklenemez. Çoğu kontrol sistemi için, geniş bir çalışma aralığında, kontrol işareti bu sınır değerlere ulaşabilir. Bu durumda geri besleme çevrimi devreden çıkar ve sistem sanki açık çevrim çalışıyormuş gibi olur. Çünkü cihaz (motor, vana vb.) sınır değere ulaştığından, sistem çıkışından bağımsız olarak hep aynı değeri korur. Eğer integral kontrol kullanılıyorsa, bu sırada hata terimi $e(t)$ 'nin integrali alınmaya devam edildiğinden kontrolör çıkışı aşırı büyüklükte değerlere ulaşır. Bu halde, hata işaretinin her şey normale dönene kadar uzun bir süre, pozitif değere sahip olmasına ihtiyaç vardır.

Bu sorunu önlemek için çok çeşitli metotlar vardır. Üretici firmalar ürünlerinde çeşitli yollar kullanmalarına rağmen bunları bir imalat sırrı olarak saklamaktadırlar. Sorunu önlemenin bilinen en kolay yolu, kontrolör çıkışını sınırlandırmaktır, öyle ki kontrol işareti asla cihazın (motor vb.) sınır giriş değerini aşmamalıdır. Diğer bir metot ise kontrol işaretinin sürekli artıp doymaya ulaşması durumunda integral işlemini durdurmaktır. Çeşitli koşullara bağlı olarak integral işleminin devreye alınıp çıkarılmasını temel alan birçok farklı metot bulunmaktadır.

2.2.1 PID Kontrolörün Parametrelerinin Tespiti

PID kontrolörün yapıları ve programlanması hakkında gerekli bilgiler verildikten sonra, artık sıra kontrolörün sisteme uygunluğunu ve başarımını ortaya çıkaracak parametreleri tespit etmektedir. Endüstriyel uygulamalarda, PID'lerin programlanması ve yapıları çok farklılık göstermez, bunların standart hale getirildiği bile söylenebilir. PID hangi tip ve yapıda olursa olsun, üzerinde çalışılan sisteme uygun kontrol parametrelerini belirlemek her zaman en hassas nokta olmaktadır.

Parametrelerin tespiti için çeşitli yollar mevcuttur. Bu yöntemlerden en çok kullanılanı Ziegler-Nichols metotları olarak anılan 1942 yılından kalma iki yöntemdir. Metot, kontrolör parametrelerini çok basit formüllere dayanarak hesaplamaya imkan verdiği için uygulamada oldukça sık kullanılmaktadır. Ancak bu hesap kolaylığı, metodun her zaman en uygun çözümü vereceğini göstermez. Metot yine de, parametreler hakkında kabaca bir ön fikir edinmek için kullanılabilir.

Ziegler-Nichols Metodu denilince ilk olarak anlaşılan Ziegler-Nichols basamak yanıt metodudur. Sistemin basamak yanıtından ölü zaman " L " ve yanıtın eğimi " K " olmak üzere $K=a/L$ şeklinde " a " parametresi tespit edilir. Daha sonra aşağıdaki Tablo 2.1'deki gibi kontrolör parametreleri belirlenir.

Tablo 2.1: Ziegler-Nichols yöntemine göre kontrolör parametrelerinin tespiti

Kontrolör Tipi	K	T_i	T_d
P	l/a	-	-
PI	$0.9/a$	$3.33L$	-
PID	$1.2/a$	$2L$	$L/2$

Ziegler-Nichols diye adlandırılan metotlardan ikincisi ise Frekans Yanıtı Metodu'dur. Sistem oransal kontrolör kullanılarak kapalı çevrim çalıştırılır. Bu halde oransal kontrolör parametresi " K " sürekli artırılarak çıkış gözlenir. Sistem çıkışının osilasyon yapmaya başladığı ana ait " K " değeri " K_u ", bu osilasyonun periyodu ise " T_u " olarak tanımlanır. Tanımlanan değer Tablo 2.2'deki yerine konular ve kontrolör parametreleri hesaplanır.

Tablo 2.2: Ziegler-Nichols Frekans Yanıtı Metodu ile kontrolör parametrelerinin tespiti

Kontrolör Tipi	K	T_i	T_d
P	$0.5K_u$	-	-
PI	$0.4K_u$	$0.8T_u$	-
PID	$0.6K_u$	$0.5T_u$	$0.125T_u$

Kontrol edilecek sistemin transfer fonksiyonu;

$$G(s) = \frac{1}{0.5s^2 + 1.5s + 1} \quad (2.14)$$

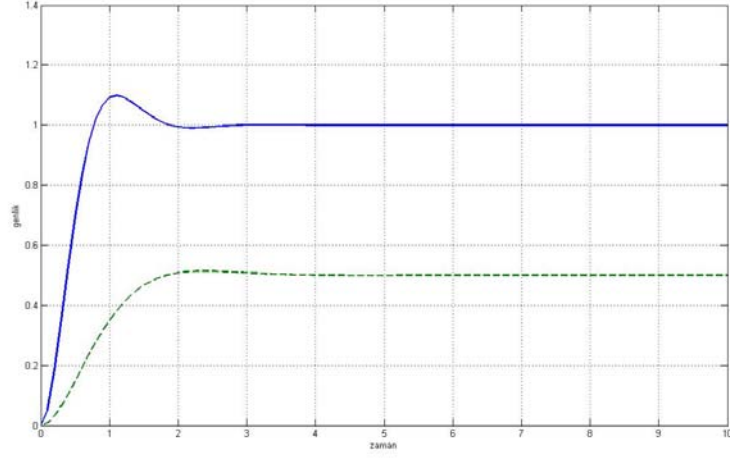
olup, ilgili a ve L değerleri sırayla 0,2 ve 0,25 olarak hesaplanmıştır. Buna göre Ziegler-Nichols basamak yanıt metodu kullanılarak belirlenen parametreler Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.3: Ziegler-Nichols basamak yanıt metoduna göre kontrolör parametreleri

Kontrolör Tipi	PID		
	K	T_i	T_d
Katsayılar			
Değer	6	0,5	0,125

2.2.2 Sonuçların İrdelenmesi

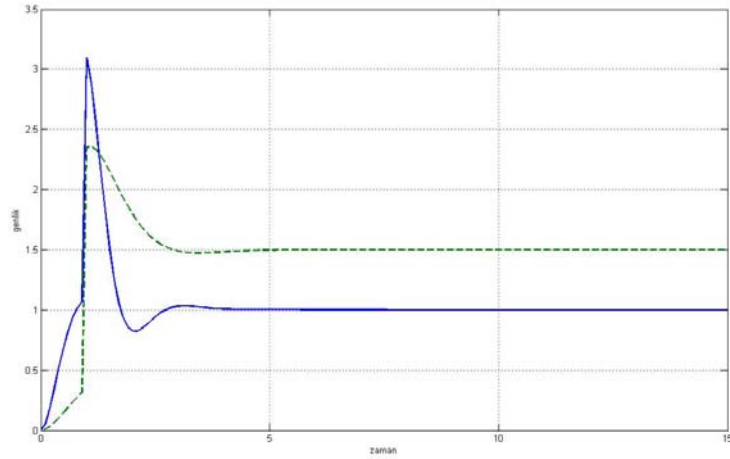
Yukarıda, hesaplanması detaylı bir şekilde anlatılan PID katsayıları, sistem için hesaplandıktan ve kontrolörün dizaynı yapıldıktan sonra, sistemin basamak girişine vermiş olduğu yanıt elde edilmiş olup, Şekil 2.5' de gösterilmiştir. Grafiğin düzgün bir şekilde incelenebilmesi amacıyla program 10 saniye boyunca çalıştırılmıştır.



Şekil 2.5: PID kontrolör ile kontrol edilen sistem cevabı ile, sistemin basamak girişi cevabının karşılaştırılması (Düz: PID ile kontrol edilen sistemin cevabı, Kesikli: Sistemin basamak girişi cevabı)

Şekil 2.5’ de görüldüğü üzere, sisteme PID kontrolör eklendikten sonra, sistem kısa bir yükselme zamanıyla, tolere edilebilir bir aşımaya ulaştıktan sonra, yaklaşık 2. saniye içerisinde kararlı hale gelmektedir.

Sisteme 1. saniyede 2 genlikli bir basamak girişi uygulandığında, PID ile kontrol edilen ve kontrol edilmeyen sistemin cevapları şekil 2.6’ da gösterilmiştir.



Şekil 2.6: PID kontrolör ile kontrol edilen sistem cevabı ile, kontrol edilmeyen sistemin cevabının karşılaştırılması (Düz: PID ile kontrol edilen sistemin cevabı, Kesikli: Kontrol edilmeyen sistemin cevabı)

Şekil 2.6' da görüldüğü üzere, PID ile kontrol edilen sistem, dışarıdan gelen tepkiye kısa sürede cevap vererek yaklaşık 3. saniyenin içerisinde kararlı hale gelmektedir. Ancak sistem her ne kadar PID ile kontrol edilirse edilsin, sistemin dış etkenler karşısında çok da başarılı olmadığı açıkça görülmektedir. Örneğin sistem yaklaşık %300 genliğinde bir aşımına ulaşmaktadır ve bu çoğu sistem için istenen bir durum değildir. 4. bölümde ele alınacak olan öz uyarlamasız ve öz uyarlamalı tip bulanık PID kontrolörler ile sistemin bu tarz etkiler karşısında negatif ve pozitif aşımının azaltılması sağlanacaktır.

3. BULANIK KONTROLÖR TASARIMI

Bulanık mantık, sistem dinamiğinin karmaşık ya da yüksek derecede doğrusal olmayan özellik gösterdiği proseslerde kullanılır. İlk bulanık mantık algoritması 1974 yılında Mamdani tarafından insan operatörünün dilsel kontrolünü birleştirmek amacıyla oluşturulmuştur (Mamdani, 1974). Klasik kontrolörlerle karşılaştırıldığında, bu tip bulanık mantık kontrolörlerinin (FLC) daha başarılı olmasına rağmen, algoritma önemli derecede operatörün deneyim ve bilgisine dayanmaktadır. Operatör deneyimine bağlılıktan ötürü oluşan bu olumsuzluktan kurtulmak için ilk olarak bulanık mantık kontrolörlerin yapısı için 1976 yılında Mac Vicar-Whelan tarafından bazı genel kurallar önerilmiştir (Mac Vicar-Whelan, 1976). Mac Vicar-Whelan tarafından önerilen bu bulanık kurallar ile, PI ve PD kontrolör yapılarına yaklaşılmış ve hatta oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir (Tang ve Mulholland, 1987).

3.1 Bulanık PID Tipi Kontrolör Yapıları

Literatürde değişik tipte bulanık PID (PI ve PD içeren) kontrolörler önerilmektedir. Tasarımlarına göre, bulanık mantığın PID kontrolörlerine uygulanması temel olarak iki sınıfa ayrılabilir (Xu ve diğ. 2000).

- i. PID kontrolörün kazançları bilgi tabanı ve çıkarım mekanizmasına göre güncel şekilde ayarlanır ve kontrol sinyali PID kontrolörü tarafından üretilir.
- ii. Kontrol kurallarından tipik bir bulanık mantık kontrolörü oluşturulur ve kontrol sinyali Mac Vicar-Whelan ya da köşegen kural tabanı oluşturma yaklaşımlarında Mizumoto (1992), Qin ve Borders (1994), Palm ve Driankov (1996), Xu ve diğ. (1998) olduğu gibi bilgi tabanı ve çıkarım mekanizmalarından elde edilir.

İkinci sınıfta bulunan kontrolörler bulanık PID tipi kontrolörler olarak bilinir, çünkü giriş-çıkış ilişkisi bakımından yapıları PID kontrolörü yapılarına benzemektedir. Bu tip kontrolörlerin PID kontrolörlerine göre en önemli kazancı iki adet girişe sahip olması ve kural tabanının iki boyutlu olmasıdır. Ancak bulanık PD tipi kontrolör ile PD kontrolörü arasındaki denklik bazı özel koşullar altında oluşturulmaktadır (Galichet ve Foulloy, 1995)(Qiao ve Mizumoto, 1996).

Bulanık PI tipi kontrol, bulanık PD tipi kontrole nazaran daha kullanışlı olarak bilinir çünkü bulanık PD tipi kontrol için sürekli hal hatasını ortadan kaldırmak oldukça zordur. Ancak integrasyon nedeniyle, bulanık PI tipi kontrolörün yüksek mertebeli prosesler için geçici hal cevabında düşük başarımlı gösterdiği bilinmektedir. Dolayısıyla teorik olarak bulanık PID tipi kontrol başarımlı daha fazla artıracaktır. Bulanık PID tipi kontrolör için gerçekte 3-D kural tabanı gerekmektedir ancak uzman operatörün algılama kapasitesi açısından bu oldukça güçtür. Bu sebepten ötürü oran, integral ve türev kontrol elemanlarını biraraya getirerek PI ve PD etkilerini birleştirmek yoluyla bulanık PID tipi kontrolör elde etmek mümkündür (Kvovok ve diğ. 1990)(Li ve Gatland, 1996)(Qiao ve Mizumoto, 1996)(Golob, 2001)(Güzelkaya ve diğ. 2001).

Bulanık PID tipi kontrolörü ya bulanık PI ve PD tipi kontrolörleri iki ayrı kural tabanı ile birleştirerek ya da bir bulanık PD tipi kontrolörünün çıkışına integral ve toplam elemanı koyarak elde etmek mümkündür (Qiao ve Mizumoto, 1996).

Kontrolör için tasarım parametreleri iki ayrı grupta toplanabilir (Hu ve diğ. 1999).

- i. Yapısal parametreler
- ii. Ayarlama parametreleri

Temel olarak, yapısal parametreler bulanık çıkarım için giriş / çıkış (I/O) değişkenlerini, bulanık dilsel kümeleri, üyelik fonksiyonlarını, bulanık kuralları, çıkarım mekanizmasını ve duralama mekanizmasını içerir. Ayarlama parametreleri ise giriş / çıkış (I/O) ölçekleme faktörlerini (SF) ve üyelik fonksiyon parametrelerini (MF) içerir. Genellikle yapısal parametreler güncel olmayan (off-line) biçimde ayarlanırken, ayarlama parametreleri sistem belirsizliğine ve proses gürültüsüne karşı ayarlama kapasitesinin düzenlenmesi ve dolayısıyla proses başarımlı artırmak maksadıyla güncel (on-line) olarak ayarlanır. Bu özelliklerden

dolayı bulanık PID tipi. kontrolörler öz uyarlamasız ve öz uyarlamalı kontrolörler olarak iki sınıfta toplanabilir.

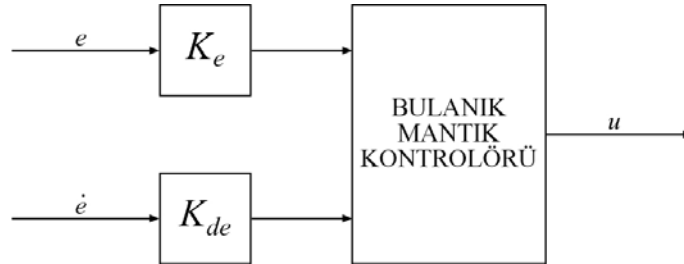
3.1.1 Öz Uyarlamasız Bulanık PID Tipi Kontrolörler

Tasarlanacak bulanık kontrolörünün hata (e) ve hatanın değişimi (\dot{e}) olmak üzere iki girişinin olması, çıkarım mekanizması olarak çarpım-toplam çıkarım mekanizmasının kullanılması ve hata ile hatanın değişiminin her bir dilsel değeri için üçgen tip üyelik fonksiyonunun kullanılması durumunda kontrolöre ait kontrol işareti

$$u = A + K_e + Pe + K_{de} D \dot{e} \quad (3.1)$$

şeklinde elde edilir (Qiao ve Mizumoto, 1996).

Elde edilen kontrol işaretine bakıldığında tasarlanan bulanık kontrolörün yaklaşık olarak bir PD kontrolörü gibi davrandığı görülmektedir. Bu sebepten ötürü bu tip kontrolörlere bulanık PD tipi kontrolör adı verilir. Bu tip kontrolöre ilişkin blok gösterimi Şekil 3.1' de görülmektedir.



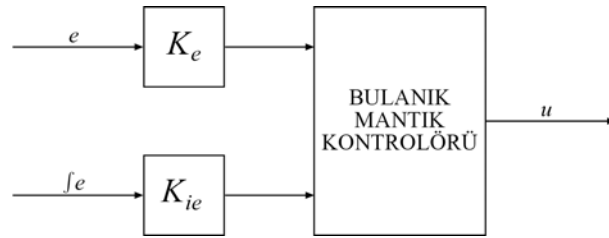
Şekil 3.1: Bulanık PD tipi kontrolöre ait blok gösterimi

Bir PID kontrolörün başarımı, kontrolöre ait K_p oransal parametresi, K_i integral parametresi ve K_d türev parametresi tarafından belirlenir. Oransal kontrol sistem cevabının hızlı olmasını garanti eder, integral kontrolü sistem yanıtında oluşacak olan sürekli hal hatasını ortadan kaldırır, türev kontrolü ise sistem yanıtının sönümünü artırır, böylece aşımı ve osilasyonu azaltır. Dolayısıyla PID kontrolörü eğer düzgün olarak tasarlanırsa hızlı yükselme zamanlı, düşük aşımlı, sürekli hal hatası olmayan bir sistem yanıtına neden olur. Eğer kontrol edilen sistem

tipi sıfır ise bir PI ya da PD kontrolörü sistem yanıtında sürekli hal hatasının oluşmasına sebep olur.

Bulanık PD tipi kontrolörde yaklaşık olarak bir PD kontrolörü gibi davranacağından, eğer sistem tipi sıfır ise o zaman bulanık PD tipi kontrolörde sistem yanıtında sürekli hal hatasının oluşmasına neden olacaktır. Bu nedenden ötürü tıpkı PD kontrolörü gibi, bulanık PD kontrolörü için de kontrol başarımı tatmin edici olmayacaktır. Ancak sistem başarımı bulanık kontrolöre integral kontrolünün eklenmesi ile artırılabilir.

Sistem yanıtında oluşacak sürekli hal hatasını ortadan kaldırmak maksadıyla integral kontrolü bulanık kontrolöre dahil etmenin ilk yolu, bulanık PD tipi kontrolörün girişlerinden olan hatanın değişimi yerine hatanın integralini koymak olacaktır. Ancak bu yöntem bulanık kontrolörün, parametresi zamanla değişen bir PI kontrolörü gibi davranmasına neden olacaktır. Bu tip kontrolöre ait blok gösterim Şekil 3.2' de görülmektedir.



Şekil 3.2: Girişlerin hata ve hatanın integrali olarak alınması durumunda elde edilen bulanık kontrolöre ait blok gösterimi

Elde edilen bu tip kontrolörle sürekli hal hatası ortadan kaldırılmaktadır ancak oransal kontrol parametresinin küçük seçilmesi durumunda sistem yanıtı yavaş yükselme zamanına ve oransal ya da integral kontrol parametrelerinin büyük seçilmesi durumunda ise sistem yanıtı büyük bir aşımaya sahip olacaktır. Ayrıca sistemi kontrol eden operatör için kontrolör girişinde bulunan hatanın integralini takip etmek pek mümkün değildir. Dolayısıyla kontrolör girişlerini hata ve hatanın değişimi olarak ve kontrolör çıkışının integralini olarak kontrol işaretinin elde edilebileceği yeni bir kontrolör tasarlanabilir. Bu tip kontrolöre ait blok gösterimi Şekil 3.3' de görülmektedir.

$$A = u_{ij} - P e_i - D \dot{e}_i \quad (3.2)$$



Şekil 3.3: Bulanık PI tipi kontrolöre ait blok gösterimi

Tasarlanan bu tip kontrolöre ait kontrol işareti

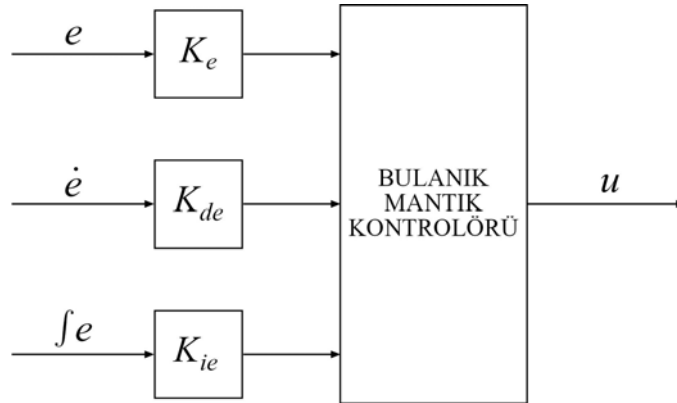
$$u = \beta At + \beta K_{de} De + \beta K_e P \int edt \quad (3.3)$$

şeklinde olacaktır (Qiao ve Mizumoto, 1996).

Elde edilen kontrol işaretine bakıldığında kontrolörün aslında parametresi zamanla değişen PI kontrolörü gibi davrandığı görülmektedir. Bu tip kontrolörlere bulanık PI tipi kontrolörler adı verilir.

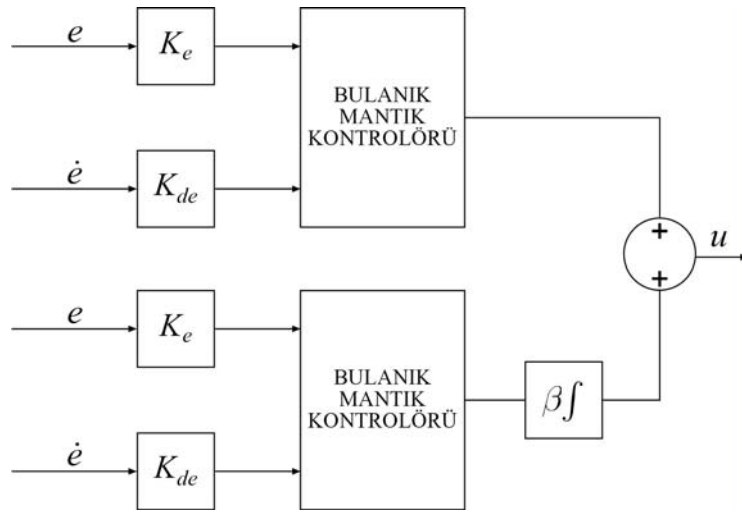
Bulanık PD tipi kontrolör kullanılması sonucunda ortaya çıkan sürekli hal hatası ve bulanık PI tipi kontrolör kullanılması durumunda karşılaşılabilecek büyük aşım ve yavaş yükselme zamanı gibi olumsuzluklar ancak integral ve türev kontrollerinin birarada kullanılması ile ortadan kaldırılabilir. Böylece sistem başarımı önemli derecede artırılmış olur.

Türev ve integral kontrolün birleştirilmesi, kontrolör girişinde hata, hatanın değişimi ve hatanın integralinin kullanılması ile gerçekleştirilebilir. Bu tip kontrolöre ait blok gösterimi Şekil 3.4' de görülmektedir.



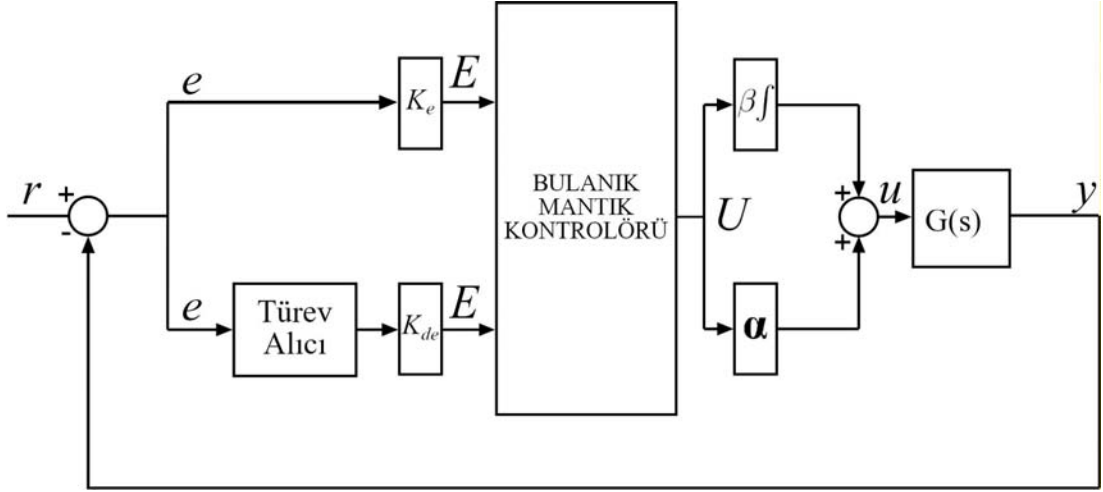
Şekil 3.4: Girişlerin hata, hatanın değişimi ve hatanın integrali olarak alınması durumunda elde edilen bulanık kontrolöre ait blok gösterimi

Ancak bu yöntem uygulamada oldukça zordur, çünkü kontrolör girişinde kullanılan hatanın integralinin sistemi kontrol eden operatör tarafından takip edilip kontrol işleminde düzenlemeler yapılması çok güçtür. Buna ilave olarak kontrolöre ait giriş sayısının ikiden üçe çıkarılması ile beraber bulanık kontrolör yapısında oluşturulacak kural sayısında da önemli derecede artış olacaktır. Örneğin, iki adet giriş için herbir girişe ait beş adet dilsel değişken kullanılması durumunda toplam 25 adet kural yazılması gerekirken, kontrolör giriş sayısının üçe çıkarılması ile beraber kural sayısı da 125 olacaktır. Kontrolör tasarımında karşılaşılabilecek bu iki önemli olumsuzluktan kurtulmak için Şekil 3.5' de verilen kontrolör yapısı oluşturulabilir.



Şekil 3.5: Hata ve hatanın değişimi olmak üzere iki adet girişe ve iki ayrı kural tabanına sahip bulanık kontrolöre ait blok gösterimi

Şekil 3.5' den de görüldüğü üzere iki ayrı kural tabanına sahip bulanık PD ve bulanık PI tipi kontrolörlerin birleştirilmesi ile yeni bir bulanık kontrolör elde edilmektedir. Kontrolörlerin girişlerinde hata ve hatanın değişimi alınarak girişte hatanın integralini takip etme durumu ortadan kaldırıldığı gibi bulanık mantık kontrolöründe oluşturulacak kural sayısı da, yine her bir girişe ait beş dilsel değişken kullanılması durumunda bulanık PD tip kontrolör için 25 ve bulanık PI tip kontrolör için 25 olmak üzere toplamda 50' ye indirilmektedir. Ancak bu yapıdan daha kullanışlı başka bir kontrolör yapısı Şekil 3.6' da görülmektedir.



Şekil 3.6: Bulanık PID tipi kontrolöre ait blok gösterimi

Şekil 3.6' dan da görüldüğü gibi önce bir bulanık PD tipi kontrolör, daha sonra kontrolör çıkışının integrali alınarak ve β katsayısı ile çarpılarak bir bulanık PI tipi kontrolör oluşturulmakta ve bu kontrolör elde edilen bulanık PD tipi kontrolörün α değeri ile çarpımı ile toplanarak yeni bir bulanık kontrolör yapısı oluşturulmaktadır. Elde edilen kontrol işareti

$$u = \alpha A + \beta At + (\alpha K_e p + \beta K_{de} D)e + \beta K_e P \int edt + \alpha K_e D \dot{e} \quad (3.4)$$

şeklindedir (Qiao ve Mizumoto, 1996).

Kontrol işaretine bakıldığında, tasarlanan kontrolörün parametresi zamanla değişen PID kontrolörü gibi davrandığı görülmektedir. Bu tip kontrolörlere bulanık PID tipi kontrolörler adı verilir. Kontrolör yapısına bakıldığında aslında bulanık PD ve PI tipi kontrolörlerin paralel olarak bağlanmasıyla bulanık PID tipi kontrolör elde edilmektedir.

Burada K_e ve K_{de} ' ye giriş ölçekleme faktörleri, α ve β ' ya ise çıkış ölçekleme faktörleri adı verilmektedir. Bu tip kontrolörde, kontrolör girişleri hata ve hatanın değişimi alınmakta böylece Şekil 3.4 ve Şekil 3.5' te verilen kontrolör tiplerine nazaran daha az sayıda bulanık kurala sahip olunmaktadır. Örneğin her bir girişe ait beş adet dilsel değişken tanımlanması durumunda toplam 25 adet kural yazılması gerekmektedir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, Şekil 3.5' te verilen kontrolör tipiyle karşılaştırıldığında, bu kontrolör daha az sayıda

ölçekleme faktörüne sahiptir. Dolayısıyla burada ölçekleme faktörlerinin ayarlanması daha büyük bir önem taşımaktadır. Bundan sonraki bölümlerde elde edilen model için tasarlanan bulanık PID tipi kontrolörlerde Şekil 3.6' da verilen kontrolör yapısı kullanılacaktır.

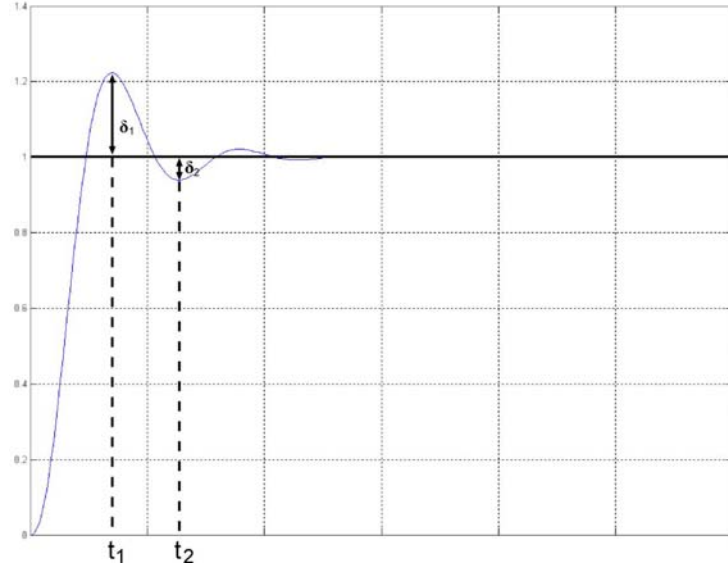
3.1.2 Öz Uyarlamalı Bulanık PID Tipi Kontrolörler

Bulanık kontrolör tasarımı üç önemli safhadan oluşmaktadır. Bunlar; bilgi tabanı tasarımı, ayarlama parametreleri ve üyelik fonksiyonları olarak sıralanabilir. Eğer bulanık kontrolörün istenen amacı başarması isteniyorsa o zaman bulanık kontrolöre ait bu üç safhanın ayarlanması gerekmektedir. Ancak gerçek zaman kontrolü için sadece ölçekleme faktörlerinin ayarlanması yeterli olmaktadır. Dolayısıyla bulanık kontrol uygulaması için bulanık kontrolöre ait ölçekleme faktörlerinin güncel olarak ayarlanması önemli bir ihtiyaçtır. Bulanık PID tipi kontrolörlerin ölçekleme faktörlerinin ayarlanmasına ilişkin bir çok çalışma yapılmıştır (Ollero ve Garcia-Cerezo, 1989)(Peng, 1990)(Vega ve diğ. 1991).

Bulanık PID tipi kontrolörlerin başarımını artırmak maksadıyla bazı öz uyarlamalı mekanizmalar yapılan çalışmalarda önerilmiştir. Buna ilişkin üç yöntem aşağıda daha detaylı olarak verilmektedir.

3.1.2.1 Aşım Gözleyicisi ile Parametre Uyarlamalı Yöntem

Bir önceki bölümde elde edilen bulanık PID tipi kontrolör gerek bulanık PD gerekse bulanık PI tipi kontrolörlerin başarımını arttırmıştır. Bulanık PID tipi kontrolörde eğer integral teriminin değeri küçükse o zaman sistem yanıtı yavaş olmakta, eğer integral teriminin değeri büyükse o zaman da sistem kararsızlığa gidebilmektedir. Bu halde kontrolöre ait integral teriminin bahsedilen bu kazanç ve olumsuzlukları gözönünde tutularak bu terim üzerinde iyileştirmeler yapılabilir. Örneğin bulanık kontrolörün integral bileşeninin değeri zamanla değişmektedir. Dolayısıyla sistem yanıtının erken safhalarında terimin değeri büyük seçilebilir ve zamanla değer küçültülerek sistemin sönümü artırılabilir, böylece sistem daha kararlı hale getirilebilir. Bu yolla sistem yanıtında hızlı yükselme ve kısa yerleşme kriterleri sağlanabilir.



Şekil 3.7: Bir kontrol sistemi basamak cevabının değişik evreleri

Şekil 3.7' de genel olarak bir kontrol sisteminin basamak yanıtı görülmektedir. Sistem yanıtı tepe değerlerinin oluşturduğu zaman değerleri ile çeşitli safhalara ayırılabilir. $0-t_1$ zaman aralığında hata değeri geniş bir değer aralığını ifade etmekte, t_1 zamanından sonra hata değeri $[\delta_1, -\delta_1]$ değer aralığı dışına çıkmamakta (δ_1, t_1 anında meydana gelen mutlak tepe değeridir), t_2 anında yeni bir tepe değeri elde edilmekte ve t_2 anından sonra hata değeri $[\delta_2, -\delta_2]$ aralığının dışına çıkmamakta ve oluşan tepe değerleri ile hata aralıkları böylece devam etmektedir. O zaman integral teriminin değeri her tepe değerinde mutlak tepe değerine bağlı olarak azaltılabilir.

Daha önce Eşitlik 3.4' te verilen bulanık PID tipi kontrolöre ait kontrol işaretinin oransal, integral ve türev kontrol bileşenlerinin değerleri sırasıyla

$$\alpha K_e P + \beta K_{de} D \quad (3.5a)$$

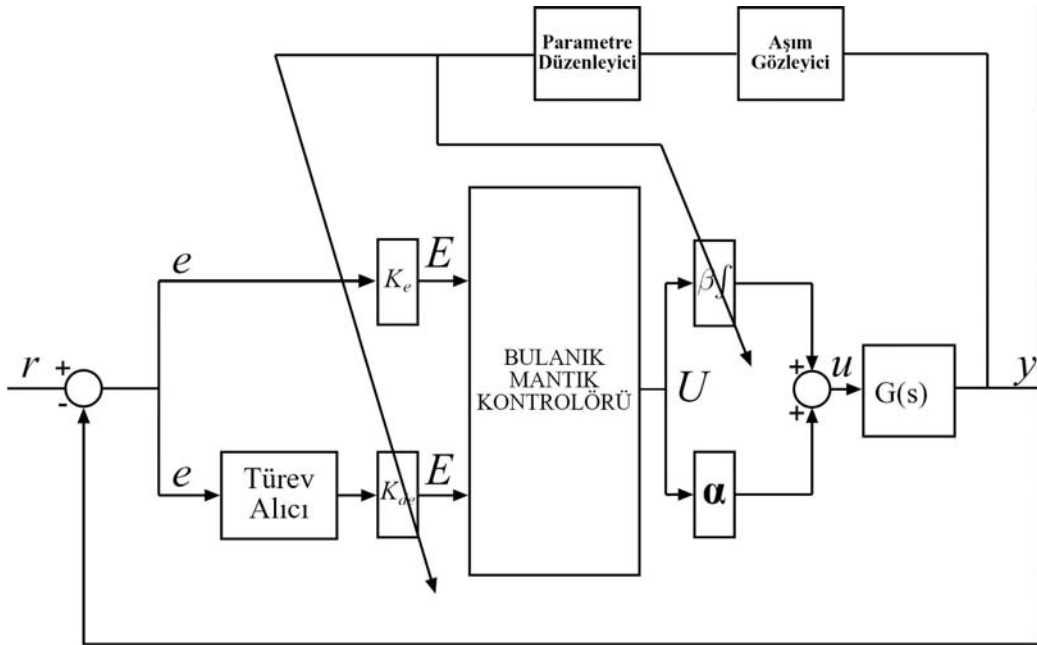
$$\beta K_e P \quad (3.5b)$$

$$\alpha K_{de} D \quad (3.5c)$$

şeklinde yazılabilir.

Eğer β ölçekleme faktörü değeri kademe kademe düşürülürse, integral teriminin değeri de azalacak ve buna karşın sistemin sönümü artacak, sistem daha kararlı hale gelecektir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, kontrolöre ait oransal kontrol bileşeninin de β parametresine sahip olmasıdır. Başka bir deyişle β parametre değerinin düşürülmesi ile beraber oransal kontrol bileşeninin değeri de azalacaktır ve böylelikle sistemin hataya karşı olan tepkisi de yavaşlayacaktır. Bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak için K_{de} ölçekleme faktörünün değeri β 'nın azalma oranıyla doğru orantılı olarak artırılmalıdır. Dolayısıyla oransal kontrol şiddeti değişmeyecektir ve sistem hataya karşı olan hızlı tepkisini her zaman korumuş olacaktır. Ayrıca K_{de} ölçekleme faktörü değerinin artması ile türev kontrolü bileşeninin değeri de artacaktır ancak bu artış sistem başarımına olumsuz bir etkide bulunmaz çünkü türev kontrolü, meydana gelebilecek salınıma ve aşımaya karşı sistemin direncini arttırmaktadır.

Bu düşüncelerden yola çıkılarak aşım gözleyicisi kullanan parametre uyarlamalı bulanık PID tipi kontrolör tasarlanmıştır (Qiao ve Mizumoto, 1996). Bu kontrolöre ait blok gösterimi Şekil 3.8' de verilmektedir.



Şekil 3.8: Aşım gözleyicisi ile parametre uyarlamalı bulanık PID tipi kontrolörün kapalı çevrim kontrol yapısı

Şekil 3.8' den görüldüğü üzere, aşım gözleyicisi ile parametre uyarlamalı bulanık PID tipi kontrolör temel olarak bir aşım gözleyicisi, bir parametre düzenleyicisi ve bir bulanık PID tipi kontrolörden oluşmaktadır.

Aşım gözleyicisi sistem çıkışını sürekli olarak gözler, her tepe zamanında bir işaret üretir ve mutlak tepe değerini ölçer. Parametre düzenleyicisi, tepe değerine bağlı olarak her tepe değerinde eşzamanlı olarak β ve K_{de} parametre değerlerini düzenler. Bu parametrelerin ayarlanmasına ilişkin algoritma

$$K_{de} = \frac{K_{des}}{\delta_k} \quad (3.6)$$

$$\beta = \delta_k \beta_s \quad (3.7)$$

şeklinde dir. Burada K_{des} ve β_s , K_{de} ve β 'nın başlangıç değerleri ve δ_k tepe zamanlarındaki mutlak tepe değeridir.

3.1.2.2 Fonksiyon Ayarlayıcısı ile Parametre Uyarlamalı Yöntem

Eğer bulanık PID tipi kontrolöre ait bulanık kurallarda ve ölçekleme faktörlerinde değişiklik yapılmaz ve sadece üyelik fonksiyonlarında birtakım ayarlamalar yapılırsa o zaman sadece sistem yanıtının sürekli hal cevabında iyileştirmeler yapılabilir, buna karşın sistem yanıtının geçici hal cevabında iyileştirme yapılamaz. Dolayısıyla sistemin gerek sürekli hal gerekse geçici hal cevabında iyileştirme yapılabilmesi için ölçekleme faktörlerinin ayarlanması kaçınılmazdır. Bu amaçla iki adet deneysel fonksiyon

$$0 \leq |e| \leq 1 \quad (3.8)$$

$$f(e(t)) = a_1 \times \text{abs}(e(t)) + a_2 \quad (3.9)$$

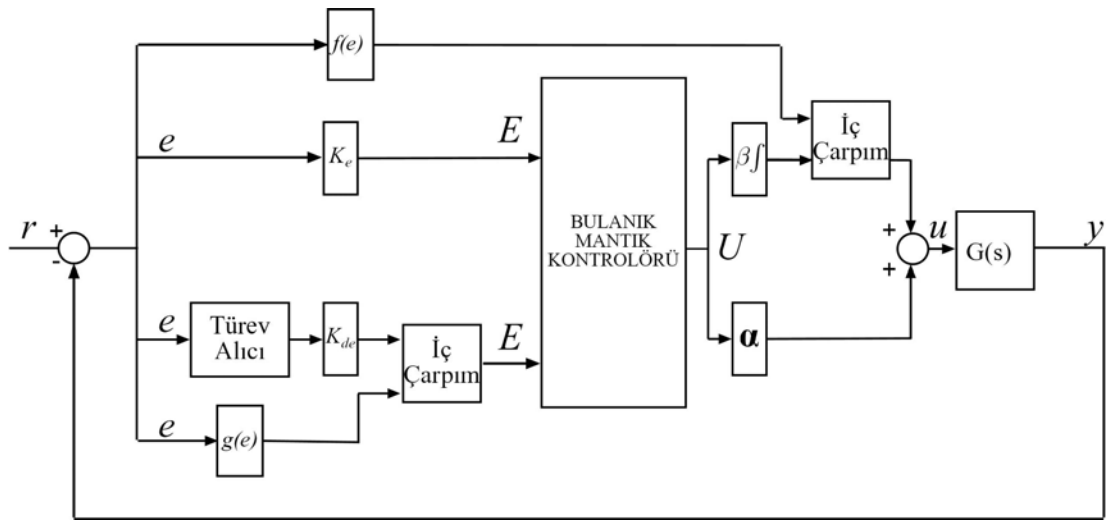
$$g(e(t)) = b_1 \times (1 - \text{abs}(e(t))) + b_2 \quad (3.10)$$

şeklinde tanımlanmaktadır (Woo ve diğ. 2000). Burada a_1 , a_2 , b_1 , b_2 pozitif sabitlerdir. Zamanla değişen ölçekleme faktörlerinin ayarlanmasına ilişkin algoritma

$$\beta(e(t)) = \beta_s \times f(e(t)) \quad (3.11)$$

$$K_{de}(e(t)) = K_{des} \times g(e(t)) \quad (3.12)$$

şeklinindedir. Burada β_s ve K_{des} sırasıyla β ve K_{de} ölçekleme faktörlerinin başlangıç değerleridir. Eşitlik 3.11' den de görüldüğü gibi, $f(e(t))$ fonksiyonunun amacı $\beta(e(t))$ ölçekleme faktörü değerini hatanın zamanla değişimine bağlı olarak azaltmaktır. Bunun aksine $g(e(t))$ fonksiyonunun amacı $K_{de}(e(t))$ ölçekleme faktörü değerini hatanın zamanla değişimine bağlı olarak arttırmaktır. Sistem yanıtının başlangıç anında hatanın değeri maksimum olacağından $f(e(t))$ fonksiyonunun değeri de maksimum olacaktır, buna karşın $g(e(t))$ fonksiyonunun değeri minimum olacaktır. Ancak zamanla hatanın değeri küçüleceğinden $f(e(t))$ fonksiyonunun değeri azalırken $g(e(t))$ fonksiyonunun değeri artacaktır. Böylelikle sistem yanıtının erken safhalarında bulanık PID kontrolöre ait integral kontrol bileşeninin değeri büyük olacak ve zamanla bu değer azalarak sistemin sönümü artarak sistem daha kararlı hale gelecektir. Bu tip kontrolöre ait blok gösterimi Şekil 3.9' da görülmektedir.



Şekil 3.9 Fonksiyon ayarlayıcısı ile parametre uyarlamalı bulanık PID tipi kontrolörün kapalı çevrim kontrol yapısı

Her iki fonksiyonda verilen pozitif katsayıların tespiti oldukça önemlidir. Bu katsayıların belirlenmesine ilişkin bir yöntem fonksiyonların başlangıç ve sürekli hal anında alacağı değerlerden belirlenmesidir. Örneğin referans değerinin "1" olması durumunda katsayıların belirlenmesi ilişkin yöntem şu şekilde olacaktır:

Başlangıç anında hata değeri "1" ve $f(1) = a_1 + a_2$, $g(1) = b_2$ buna karşın sürekli hal anında hata değeri "0" ve $f(0) = a_2$, $g(0) = b_1 + b_2$ değerleri elde edilecektir. Dolayısıyla bulanık PID tipi kontrolörün girişe ait ölçekleme faktörü değeri başlangıç anında $\beta(e(t)) = \beta_s(a_1 + a_2)$ ve sürekli hal anında $\beta(e(t)) = \beta_s a_2$, çıkışa ait ölçekleme faktörü değeri başlangıç anında $K_{de} = K_{des} b_2$ ve sürekli hal anında $K_{de} = K_{des}(b_1 + b_2)$ olacaktır. Böylelikle $\beta(e(t))$ ' nin başlangıç $\beta_s(a_1 + a_2)$ ve son $\beta_s a_2$ değerlerini belirlemek yoluyla a_1 ve a_2 katsayı değerleri ayarlanabilir. Benzer şekilde $K_{de}(e(t))$ ' nin başlangıç $K_{des} b_2$ ve sonuç $K_{des}(b_1 + b_2)$ değerlerini belirlemek yoluyla da b_1 ve b_2 katsayı değerleri ayarlanabilir. Ayrıca fonksiyonlara ait katsayıların değerleri genetik arama algoritması ya da benzer algoritmalarla da belirlenebilir.

3.1.2.3 Model Temelli Fonksiyon Ayarlayıcısı ile Parametre Uyarlamalı Yöntem

Bu yöntemin, fonksiyon ayarlayıcısı ile parametre uyarlamalı yöntemden farkı, $f(e(t))$ ve $g(e(t))$ fonksiyonların sistem çıkışı ile sistem girişi arasındaki fark olan hata değeri e ile değişmesi yerine, sistem çıkışı ile referans model arasındaki fark olan hata değeri \hat{e} ile değişmesidir. Bundan dolayı yeni fonksiyonlar

$$f(\hat{e}(t)) = a_1 \times \text{abs}(\hat{e}(t)) + a_2 \quad (3.13)$$

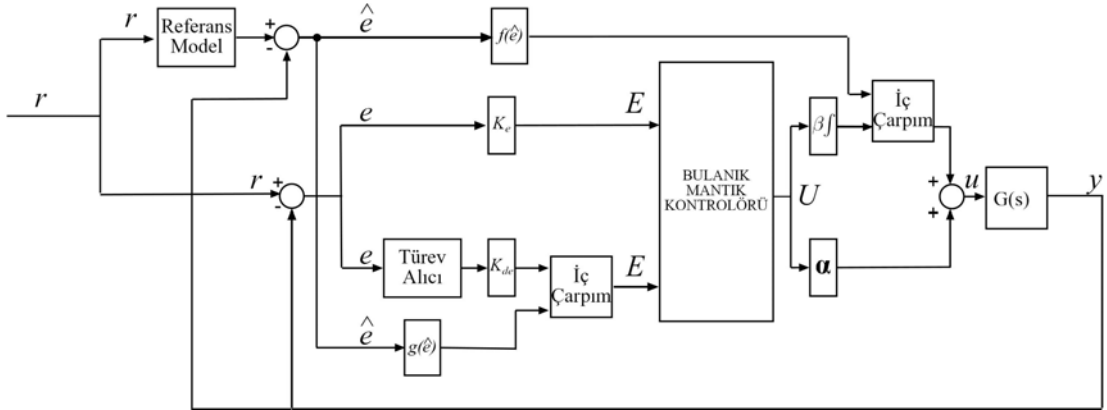
$$g(\hat{e}(t)) = b_1 \times (1 - \text{abs}(\hat{e}(t))) + b_2 \quad (3.14)$$

şeklinde tanımlanır. Zamanla değişen ölçekleme faktörlerinin ayarlanmasına ilişkin algoritma aşağıda verilmiştir;

$$\beta(e(t)) = \beta_s \times f(\hat{e}(t)) \quad (3.15)$$

$$K_{de}(e(t)) = K_{des} \times g(\hat{e}(t)) \quad (3.16)$$

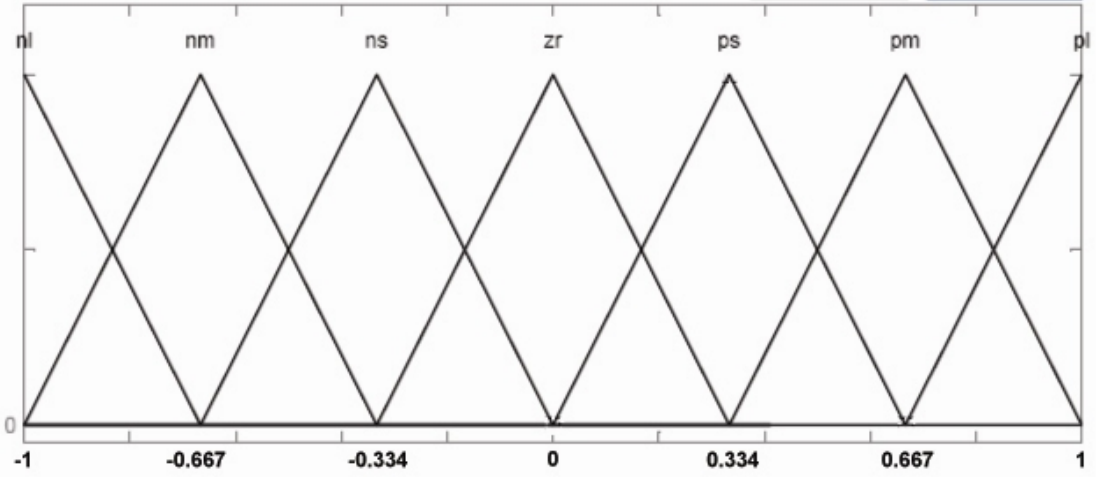
Burada β_s ve K_{des} sırasıyla β ve K_{de} ölçekleme faktörlerinin başlangıç değerleridir. Eşitlik 3.15' ten de görüldüğü gibi, $f(\hat{e}(t))$ fonksiyonunun amacı $\beta(e(t))$ ölçekleme faktörü değerini referans model ile sistem çıkışı arasındaki hatanın zamanla değişimine bağlı olarak azaltmaktır. Bunun aksine $g(\hat{e}(t))$ fonksiyonunun amacı $K_{de}(e(t))$ ölçekleme faktörü değerini referans model ile sistem çıkışı arasındaki hatanın zamanla değişimine bağlı olarak arttırmaktır. Bu tip kontrolöre ait blok gösterimi Şekil 3.10' da görülmektedir.



Şekil 3.10: Model temelli fonksiyon ayarlayıcısı ile parametre uyarlamalı bulanık PID tipi kontrolörün kapalı çevrim kontrol yapısı

3.2 Öz uyarlamasız Bulanık PID Tipi Kontrolör Tasarımı

Öz uyarlamasız bulanık PID tipi kontrolör tasarımında ikinci dereceden sistem transfer fonksiyonu $G(s) = \frac{1}{0.5s^2 + 1.5s + 1}$ olarak alınmıştır. Üyelik fonksiyonları Şekil 3.11' de gösterildiği gibi seçilmiştir.



Şekil 3.11: e , e' ve u' nun üyelik fonksiyonları

nl	: Negatif büyük	{-1,-1,-0.833,-0.667}
nm	: Negatif orta	{-1,-0.833,-0.667,-0.5,-0.334}
ns	: Negatif küçük	{-0.667,-0.5,-0.334,-0.167,0}
zr	: Sıfır	{-0.334,-0.167,0,0.167,0.334}
ps	: Pozitif küçük	{0,0.167,0.334,0.5,0.667}
pm	: Pozitif orta	{0.334,0.5,0.667,0.833,1}
pl	: Pozitif büyük	{0.667,0.833,1,1}

Tablo 3.1: Bulanık Kontrol Kural Tablosu

e/e'	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL
PL	ZR	ps	pm	pl	pl	pl	pl
PM	ns	ZR	ps	pm	pl	pl	pl
PS	nm	ns	ZR	ps	pm	pl	pl
ZR	nl	nm	ns	ZR	ps	pm	pl
NS	nl	nl	nm	ns	ZR	ps	pm
NM	nl	nl	nl	nm	ns	ZR	ps
NL	nl	nl	nl	nl	nm	ns	ZR

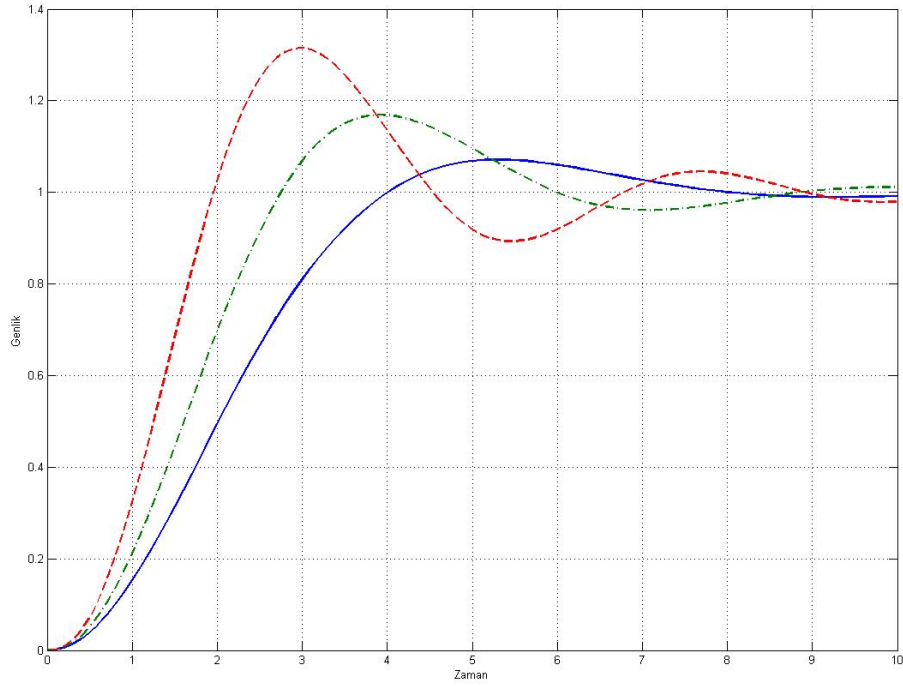
Tabloda belirtilen bulanık kurallar, aşağıda örnek olarak gösterildiği gibi dilsel terimler biçiminde de yazılabilir.

1. Eğer hata (e) PL ve hatanın değişimi (e') NL ise o zaman kontrol işaretinde yapılacak değişim değeri "ZR"dir.

2. Eğer hata (e) PL ve hatanın değişimi (\dot{e}) NM ise o zaman kontrol işaretinde yapılacak değişim değeri "PS"dir.
3. Eğer hata (e) PL ve hatanın değişimi (\dot{e}) NS ise o zaman kontrol işaretinde yapılacak değişim değeri "PM"dir.
4. Eğer hata (e) PL ve hatanın değişimi (\dot{e}) ZR ise o zaman kontrol işaretinde yapılacak değişim değeri "PL"dir.
5. Eğer hata (e) PL ve hatanın değişimi (\dot{e}) PS ise o zaman kontrol işaretinde yapılacak değişim değeri "PL"dir.
6. Eğer hata (e) PL ve hatanın değişimi (\dot{e}) PM ise o zaman kontrol işaretinde yapılacak değişim değeri "PL"dir.
- ...
49. Eğer hata (e) NL ve hatanın değişimi (\dot{e}) PL ise o zaman kontrol işaretinde yapılacak değişim değeri "ZR"dir.

3.2.1 Öz Uyarlamasız Bulanık PID Tipi Kontrolörün İkinci Dereceden Ölü Zamansız Bir Sisteme Uygulanması

Transfer fonksiyonu $G(s) = \frac{1}{0.5s^2 + 1.5s + 1}$ olarak seçilen ikinci dereceden bir sistem için tasarlanan öz uyarlamasız bulanık PID kontrolörün katsayıları $K_e = 1$, $K_{de} = 0.25$, $\alpha = 0.2$, $\beta = 1, 1.6, 2.8$ olarak seçilmiştir. Kontrolör tasarımında referans 1 genlikli işaret değeri alınmıştır ve program sistem cevabının iyi bir şekilde gözlenebilmesi için 10 saniye boyunca çalıştırılmıştır.



Şekil 3.12 Farklı β değerleri için sistem cevaplarının karşılaştırılması (düz: $\beta = 1$, kesikli-noktalı: $\beta = 1.6$, kesikli: $\beta = 2.8$)

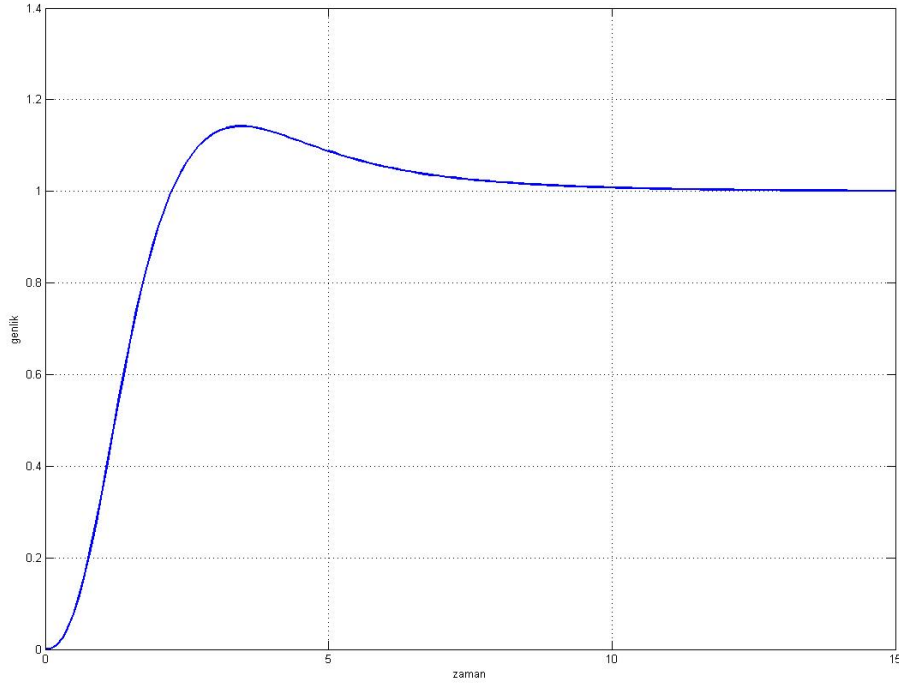
Şekil 3.12' de görüldüğü üzere, eğer β ölçekleme faktörü değeri kademe kademe düşürülürse, integral teriminin değeri de azalacak ve buna karşın sistemin sönümü artacak, sistem daha kararlı hale gelecektir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, kontrolöre ait oransal kontrol bileşeninin de β parametresine sahip olmasıdır. Başka bir deyişle β parametre değerinin düşürülmesi ile beraber oransal kontrol bileşeninin değeri de azalacaktır ve böylelikle sistemin hataya karşı olan tepkisi de yavaşlayacaktır.

3.2.2 Öz Uyarlamalı Bulanık PID Tipi Kontrolörlerin İkinci Dereceden Ölü Zamansız Bir Sisteme Uygulanması

Bu bölümde, öz uyarlamalı bulanık PID tipi kontrolörlerden, fonksiyon ayarlayıcısı ile parametre uyarlamalı yöntem ve model temelli fonksiyon ayarlayıcısı ile parametre uyarlamalı yöntem ele alınmış olup, ilgili karşılaştırmalar yapılmıştır.

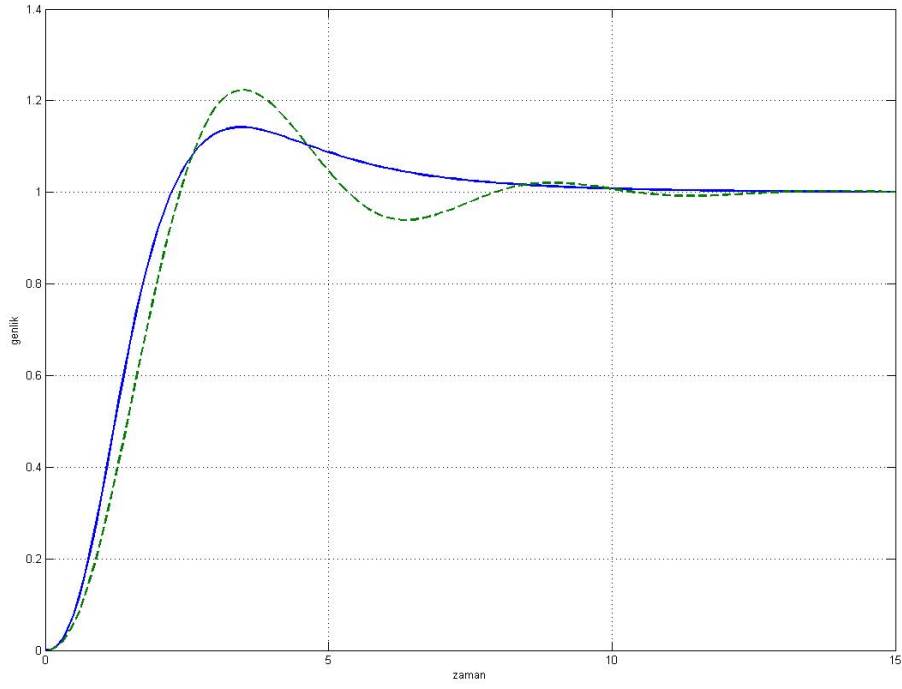
3.2.2.1 Fonksiyon Ayarlayıcısı Yönteminin İkinci Dereceden Ölü Zamansız Bir Sisteme Uygulanması

Transfer fonksiyonu $G(s) = \frac{1}{0.5s^2 + 1.5s + 1}$ olarak seçilen ikinci dereceden bir sistemi kontrol etmek için kullanılan öz uyarlamalı bulanık PID kontrolörünün giriş ve çıkış ölçekleme faktörleri $K_e = 1$, $K_{de} = 0.25$, $\alpha = 0.2$ ve $f(e(t))$ ve $g(e(t))$ fonksiyonlarına ait olan pozitif katsayılar $a_1 = 1.3$, $a_2 = 0.25$, $b_1 = 4.3$, $b_2 = 0.8$ olarak hesaplanmıştır. Kontrolör tasarımında referans 1 genlikli işaret değeri alınmıştır ve program sistem cevabının iyi bir şekilde gözlenebilmesi için 15 saniye boyunca çalıştırılmıştır.

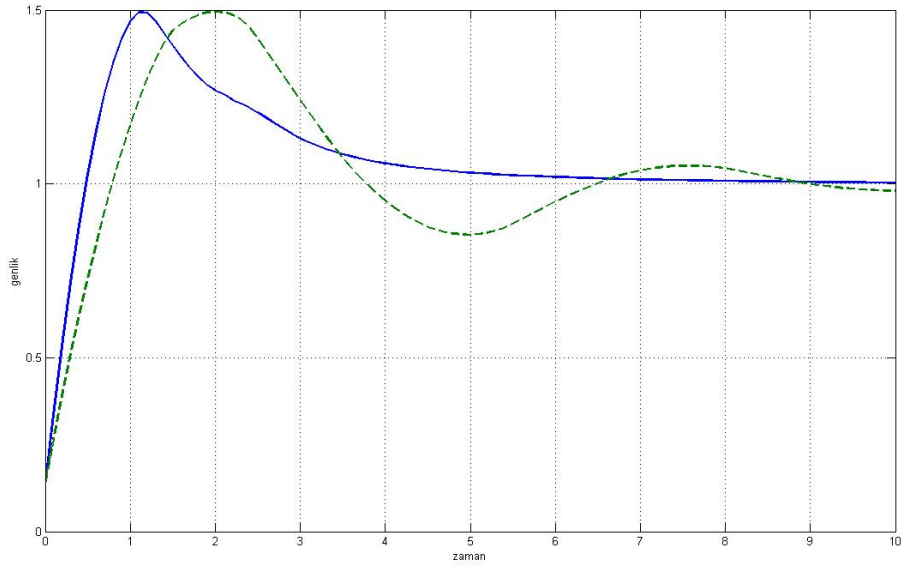


Şekil 3.13 Fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile elde edilen öz uyarlamalı bulanık PID kontrolörün sistem cevabı

Fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile elde edilen öz uyarlamalı bulanık PID kontrolörün sistem cevabı ile , öz uyarlamasız bulanık PID kontrolörün sistem cevabının karşılaştırması ve kontrol işaretleri sırasıyla şekil 3.14’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.14 Fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile elde edilen öz uyarlamalı bulanık PID kontrolörün sistem cevabı ile, öz uyarlamasız bulanık PID kontrolörün sistem cevabı (düz: Fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile elde edilen sistem cevabı, kesikli: öz uyarlamasız bulanık PID kontrolör ile elde edilen sistem cevabı)

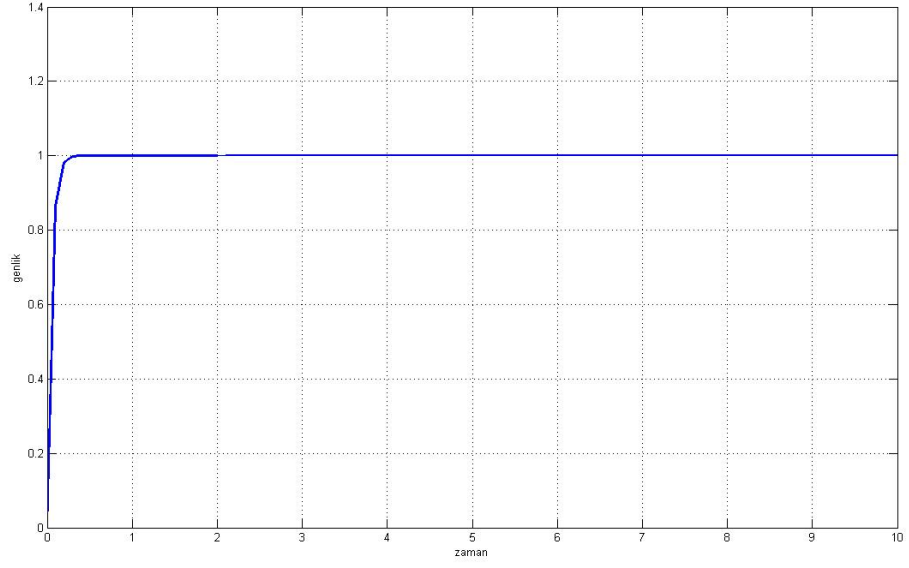


Şekil 3.15 Fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile elde edilen öz uyarlamalı bulanık PID kontrolörün kontrol işaretini karşılaştırılması (düz: Fonksiyon ayarlayıcı yönteminin kontrol işareti, kesikli: öz uyarlamasız bulanık PID kontrolörünün kontrol işareti)

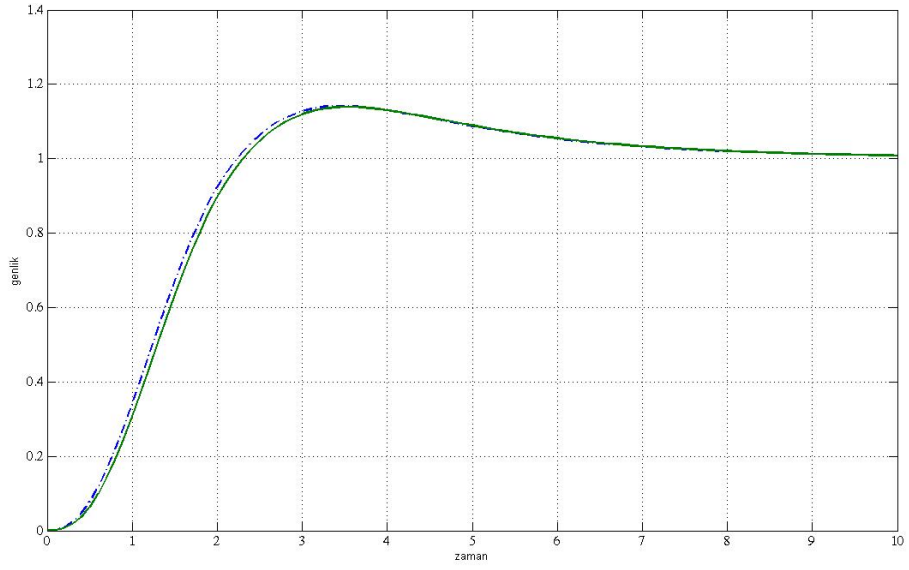
Şekil 3.14' de açıkça görüldüğü üzere, fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile elde edilen öz uyarlamalı bulanık PID kontrolör ile elde edilen sistem cevabı, öz uyarlamasız bulanık PID kontrolörü ile elde edilen sistem cevabından gerek sistemin cevap zamanı gerekse aşım miktarı bakımından oldukça geliştirilmiştir.

3.2.2.2 Model Temelli Fonksiyon Ayarlayıcısı Yönteminin İkinci Dereceden Ölü Zamansız Bir Sisteme Uygulanması

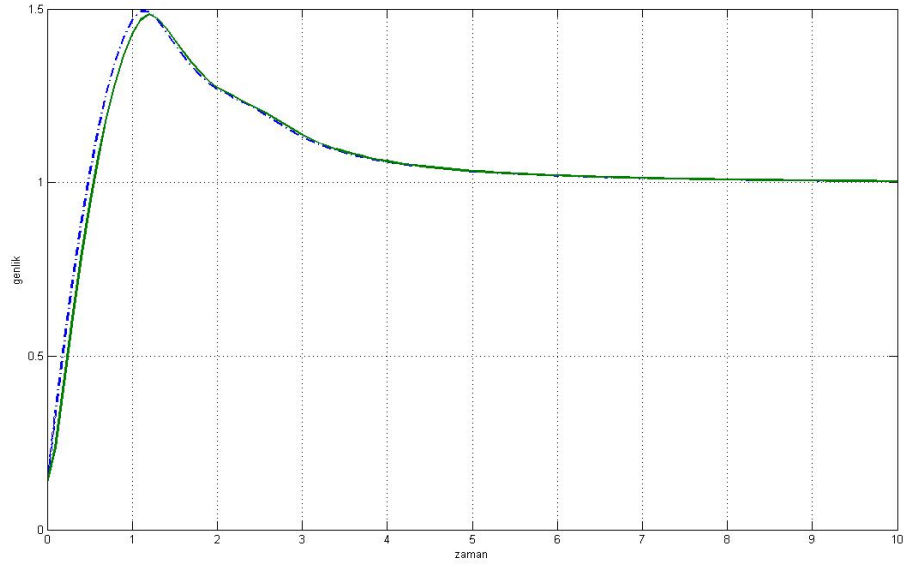
Transfer fonksiyonu $G(s) = \frac{1}{0.5s^2 + 1.5s + 1}$ olarak seçilen ikinci dereceden ölü zamansız bir sistemi kontrol etmek için kullanılan model temelli fonksiyon ayarlayıcısı yöntemi ile elde edilen öz uyarlamalı bulanık PID kontrolörünün giriş ve çıkış ölçekleme faktörleri $K_e = 1$, $K_{de} = 0.25$, $\alpha = 0.2$ ve $f(\hat{e}(t))$ ve $g(\hat{e}(t))$ fonksiyonlarına ait olan pozitif katsayılar $a_1 = 1.3$, $a_2 = 0.25$, $b_1 = 4.3$, $b_2 = 0.8$ olarak hesaplanmıştır. Karşılaştırmada kullanılan fonksiyon ayarlayıcısı yöntemi ile elde edilen Öz uyarlamalı bulanık PID kontrolörünün giriş ve çıkış ölçekleme faktörleri $K_e = 1$, $K_{de} = 0.25$, $\alpha = 0.2$ ve $f(e(t))$ ve $g(e(t))$ fonksiyonlarına ait olan pozitif katsayılar $a_1 = 1.3$, $a_2 = 0.25$, $b_1 = 4.3$, $b_2 = 0.8$ olarak hesaplanmıştır. Kontrolör tasarımında farklı referans modeller kullanılmış olup, program sistem cevabının iyi bir şekilde gözlenebilmesi için 10 saniye boyunca çalıştırılmıştır. Beş adet farklı referans model kullanılmış olup, bu modeller kullanılarak elde edilen model temelli fonksiyon ayarlayıcısı yönteminin sistem cevapları, fonksiyon ayarlayıcısı yönteminin sistem cevapları ile karşılaştırılmıştır. Aşağıda, ilk önce farklı referansların işaretleri farklı grafiklerde verilmiş olup, daha sonra o referansa ait model temelli fonksiyon ayarlayıcısının sistem yanıtı ve fonksiyon ayarlayıcısının sistem yanıtı ayrı bir grafikte karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.16: Referans No.1

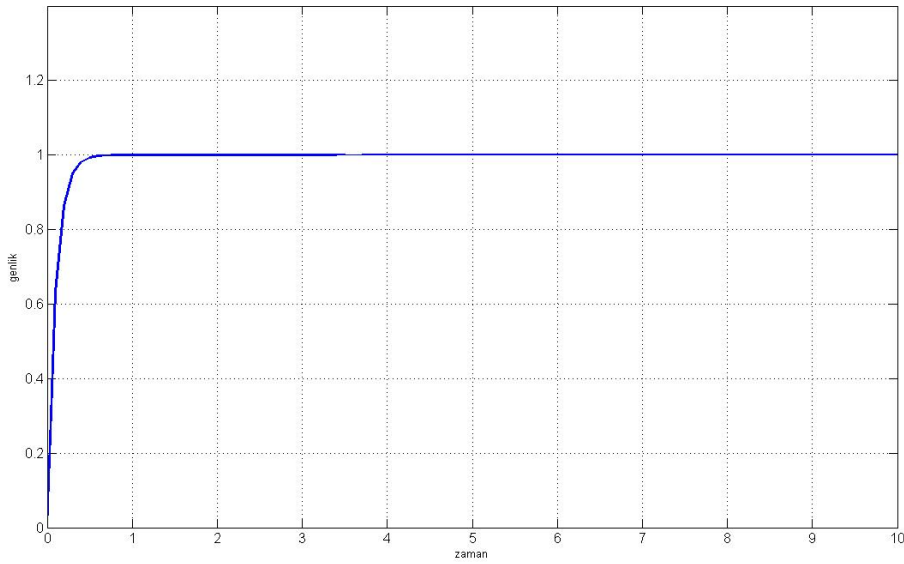


Şekil 3.17: Referans No.1 için sistem cevaplarının karşılaştırılması (düz: Model temelli fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile elde edilen sistem cevabı, kesikli-noktalı: fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile elde edilen sistem cevabı)

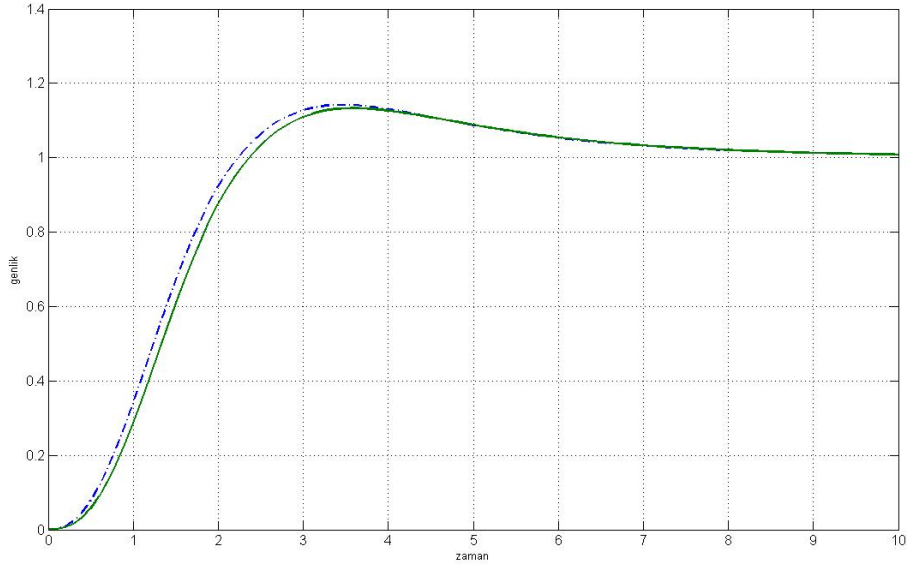


Şekil 3.18: Referans No.1 için kontrol işaretlerinin karşılaştırılması (düz: Model temelli fonksiyon ayarlayıcı yöntemin kontrol işareti, kesikli-noktalı: fonksiyon ayarlayıcı yöntemin kontrol işareti)

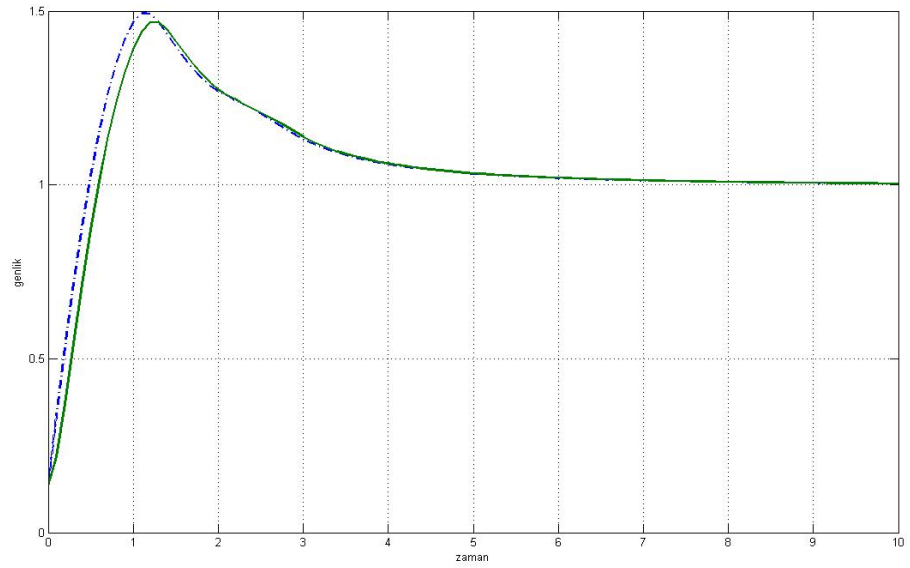
Şekil 3.16' da gösterilen referans model, 1 genlikli adım girişine çok benzediği için, her iki tip kontrolörün sistem çıkışları birbirine çok yakındır.



Şekil 3.19: Referans No.2

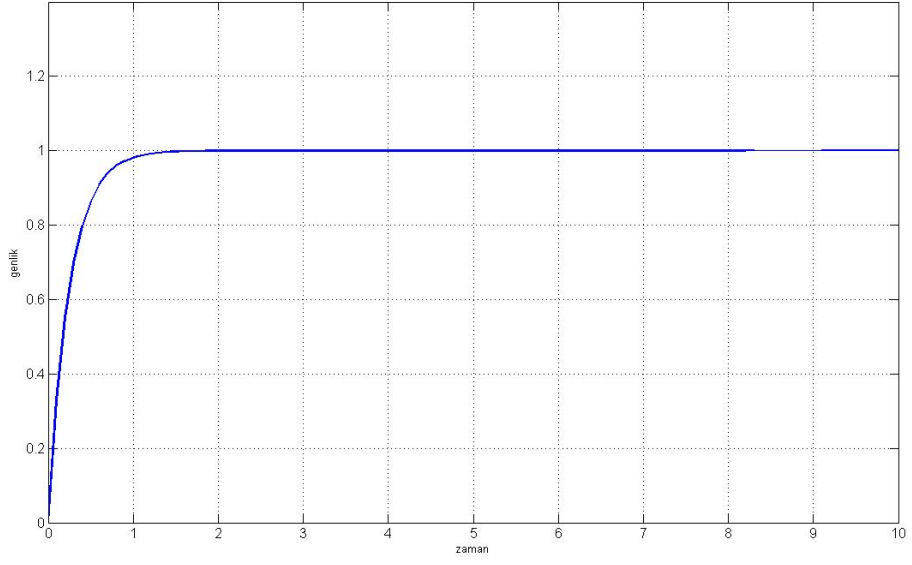


Şekil 3.20: Referans No.2 için sistem cevaplarının karşılaştırılması (düz: Model temelli fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile elde edilen sistem cevabı, kesikli-noktalı: fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile elde edilen sistem cevabı)

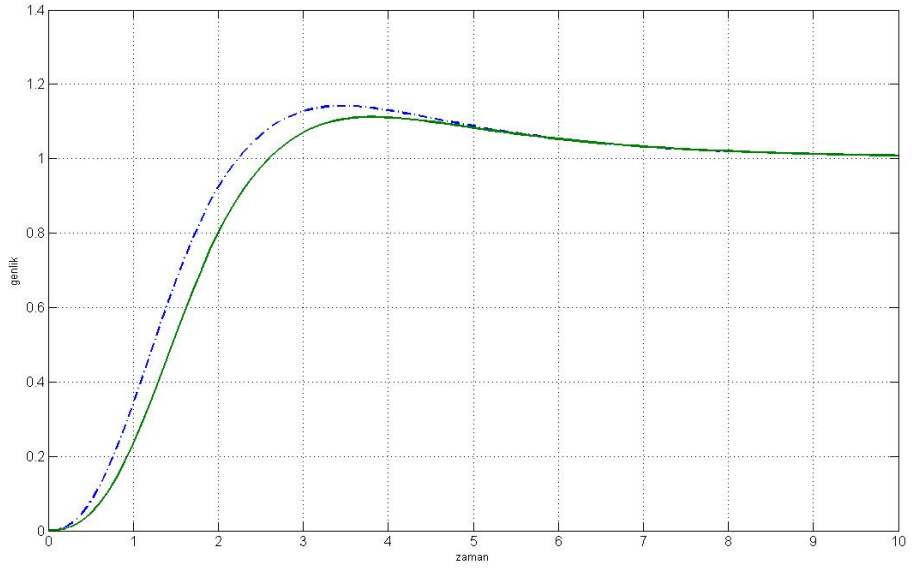


Şekil 3.21: Referans No.2 için kontrol işaretlerinin karşılaştırılması (düz: Model temelli fonksiyon ayarlayıcı yönteminin kontrol işareti, kesikli-noktalı: fonksiyon ayarlayıcı yönteminin kontrol işareti)

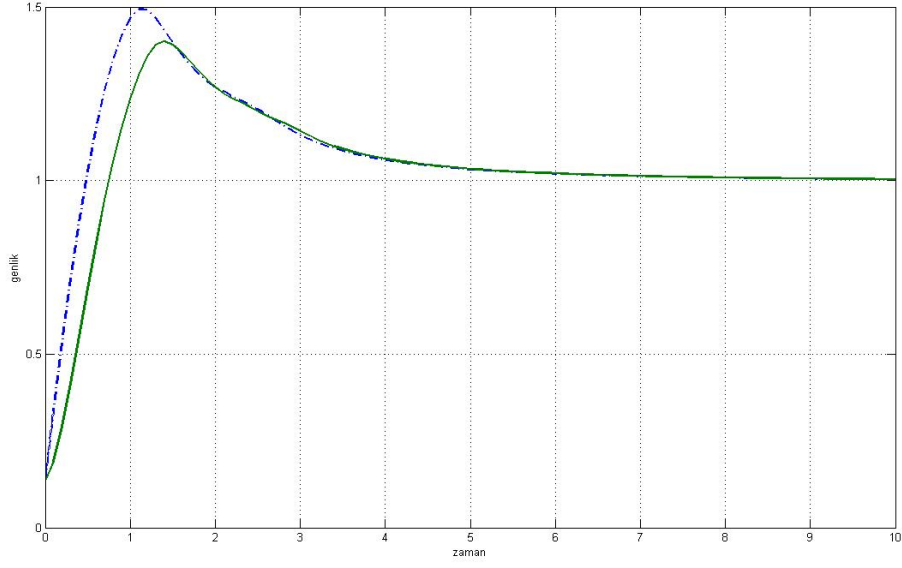
Şekil 3.19' da gösterilen referans model, 1 genlikli adım girişinden biraz farklı olduğu için, sistem çıkışları birbirine Şekil 3.17' deki kadar yakın değildir. Sistem cevabının daha yavaş olmasına rağmen, aşımın azalmaya başladığı gözlenmektedir.



Şekil 3.22: Referans No.3

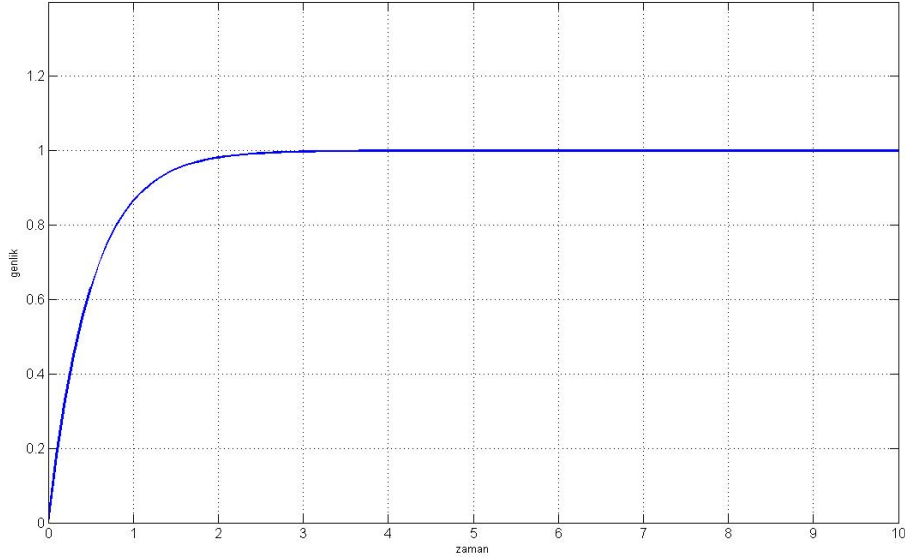


Şekil 3.23: Referans No.3 için sistem cevaplarının karşılaştırılması (düz: Model temelli fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile elde edilen sistem cevabı, kesikli-noktalı: fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile elde edilen sistem cevabı)

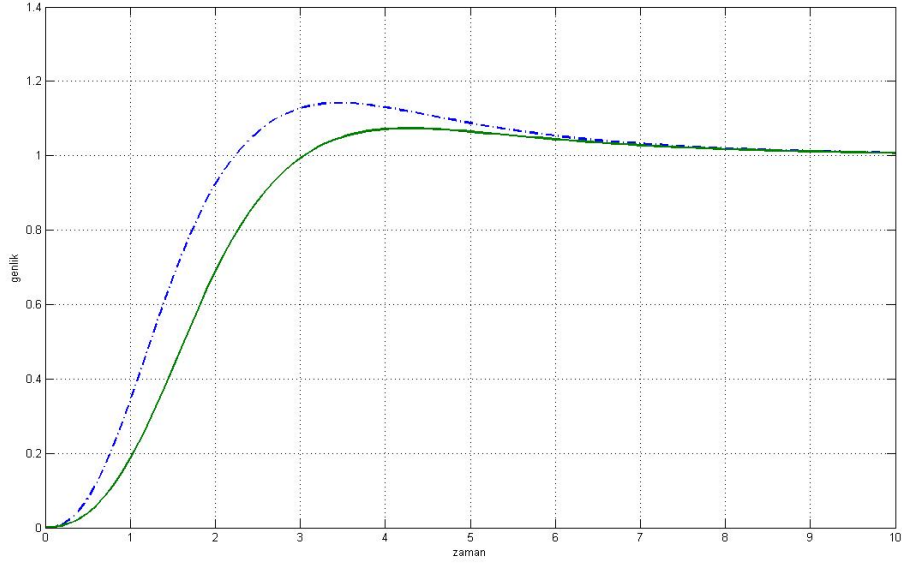


Şekil 3.24: Referans No.3 için kontrol işaretlerinin karşılaştırılması (düz: Model temelli fonksiyon ayarlayıcı yöntemin kontrol işareti, kesikli-noktalı: fonksiyon ayarlayıcı yöntemin kontrol işareti)

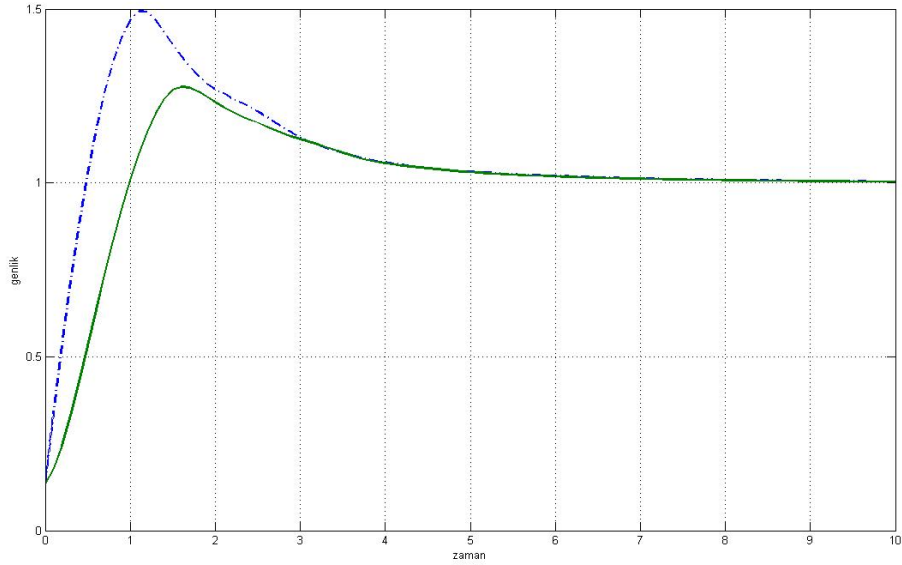
Şekil 3.22' de gösterilen referans model, 1 genlikli adım girişinden farklı olduğu için, sistem çıkışları birbirine yakın değildir. Sistem cevabının gitgide yavaşlamasına karşın, aşımın daha da azalmaya başladığı gözlenmektedir.



Şekil 3.25: Referans No.4

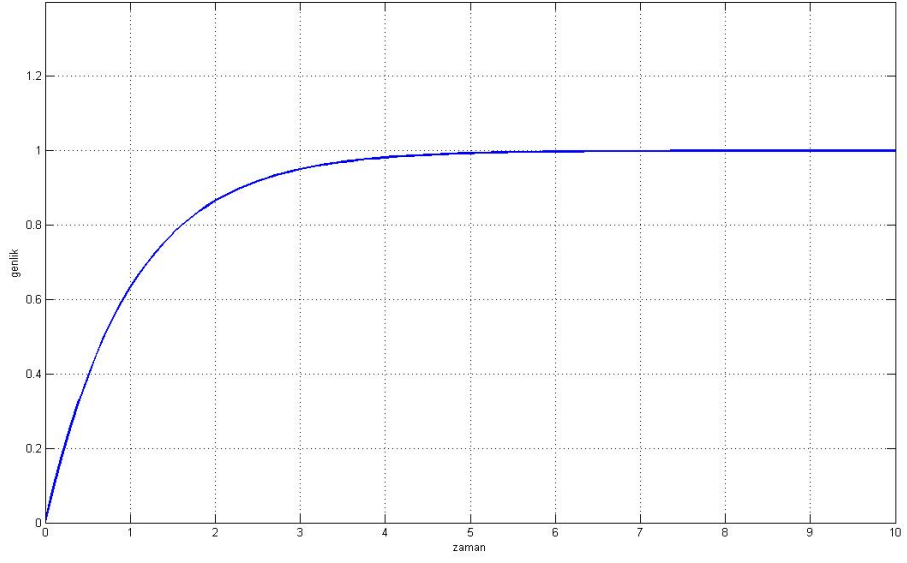


Şekil 3.26: Referans No.4 için sistem cevaplarının karşılaştırılması (düz: Model temelli fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile elde edilen sistem cevabı, kesikli-noktalı: fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile elde edilen sistem cevabı)

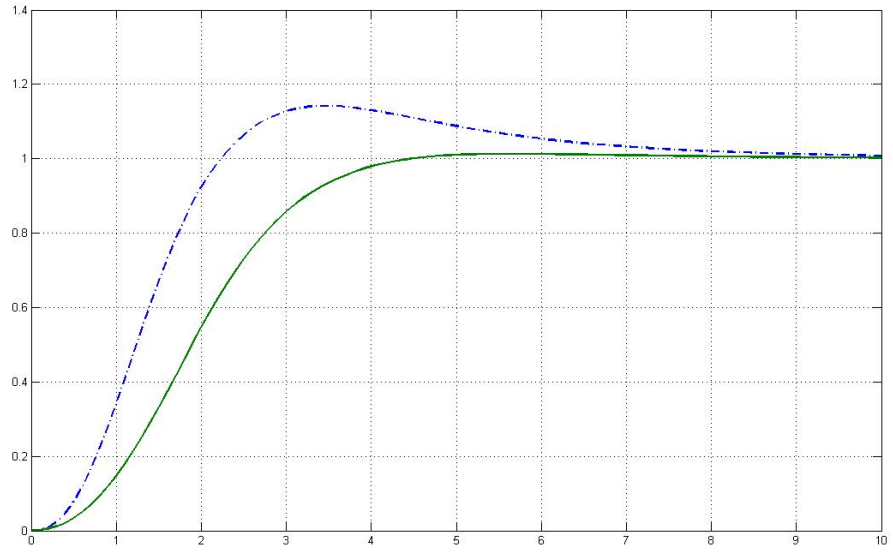


Şekil 3.27: Referans No.4 için kontrol işaretlerinin karşılaştırılması (düz: Model temelli fonksiyon ayarlayıcı yönteminin kontrol işareti, kesikli-noktalı: fonksiyon ayarlayıcı yönteminin kontrol işareti)

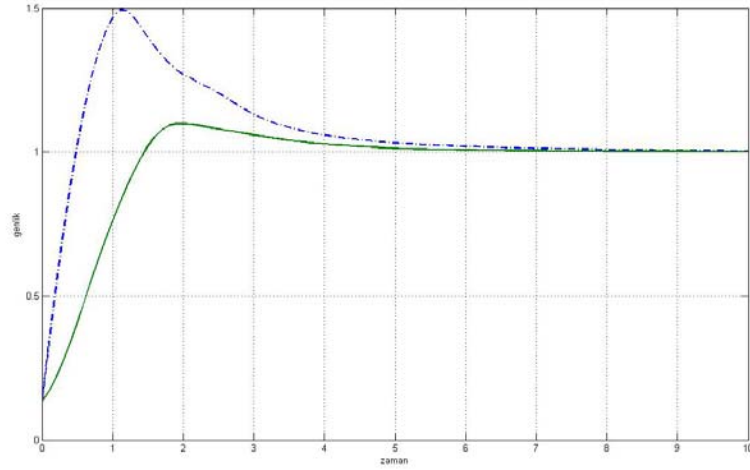
Şekil 3.25' de gösterilen referans model, artık 1 genlikli adım girişinden çok farklıdır ve dolayısıyla sistem çıkışları da birbirine yakın değildir. Sistem cevabının yavaşlamaya devam ettiği gözlenirken, aşım da gitgide azalmaya devam etmektedir.



Şekil 3.28: Referans No.5



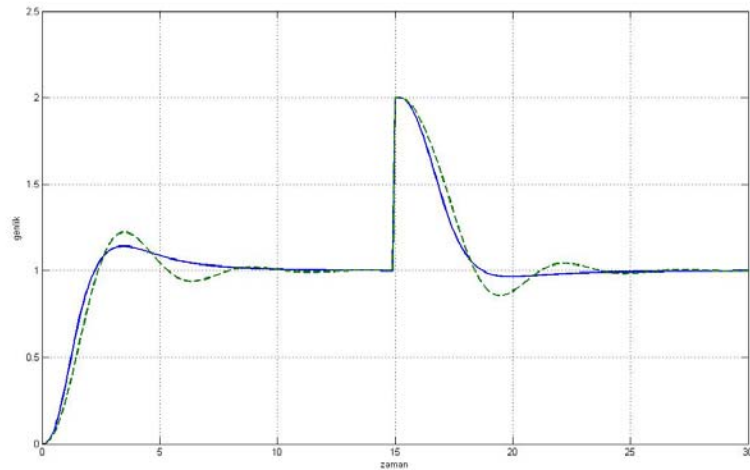
Şekil 3.29: Referans No.5 için sistem cevaplarının karşılaştırılması (düz: Model temelli fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile elde edilen sistem cevabı, kesikli-noktalı: fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile elde edilen sistem cevabı)



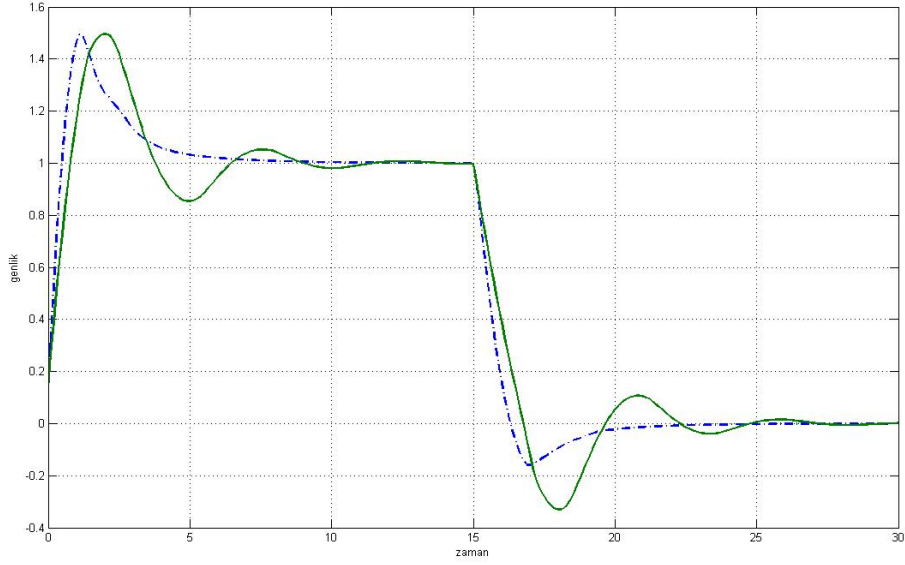
Şekil 3.30: Referans No.5 için kontrol işaretlerinin karşılaştırılması (düz: Model temelli fonksiyon ayarlayıcı yönteminin kontrol işareti, kesikli-noktalı: fonksiyon ayarlayıcı yönteminin kontrol işareti)

3.2.2.3 Fonksiyon Ayarlayıcısı Yönteminin İkinci Dereceden Ölü Zamansız Bir Sisteme Dışarıdan Gürültü Uygulanması Durumunda Sistem Cevaplarının İncelenmesi

Bu bölümde, bölüm 3.2.2.1' de anlatılan sistem kullanılmıştır. Bahsi geçen sisteme, 15. saniyede 1 genlikli adım girişi uygulanmıştır. Sistem yanıtlarının kolaylıkla anlaşılabilmesi için, program 30 saniye boyunca çalıştırılmıştır.



Şekil 3.31: Fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile elde edilen öz uyarlamalı bulanık PID kontrolörün gürültüye karşı sistem cevabı ile, öz uyarlamasız bulanık PID kontrolörün gürültüye karşı sistem cevabı (düz: Fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile elde edilen sistem cevabı, kesikli: öz uyarlamasız bulanık PID kontrolör ile elde edilen sistem cevabı)



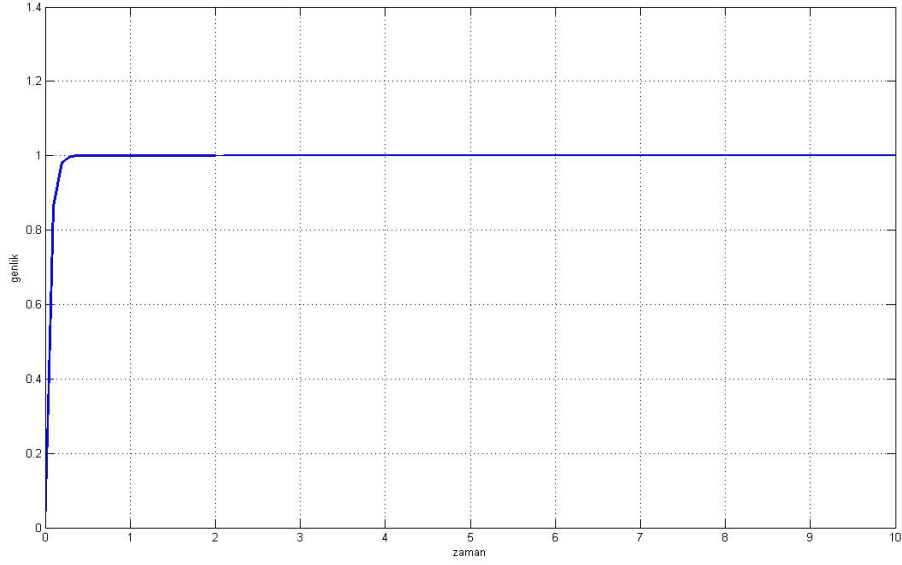
Şekil 3.32: Fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile elde edilen öz uyarlamalı bulanık PID kontrolörün gürültüye karşı ürettiği kontrol işareti, öz uyarlamasız bulanık PID kontrolörün gürültüye karşı ürettiği kontrol işareti (düz: Fonksiyon ayarlayıcı yönteminin ürettiği kontrol işareti, kesikli: öz uyarlamasız bulanık PID kontrolörün ürettiği kontrol işareti)

Şekil 3.31' de açıkça görüldüğü üzere, fonksiyon ayarlayıcı yönteminin sistem cevabı, öz uyarlamasız bulanık PID' nin sistem cevabından gerek sistemin cevap zamanı gerekse aşım miktarı bakımından oldukça geliştirilmiştir.

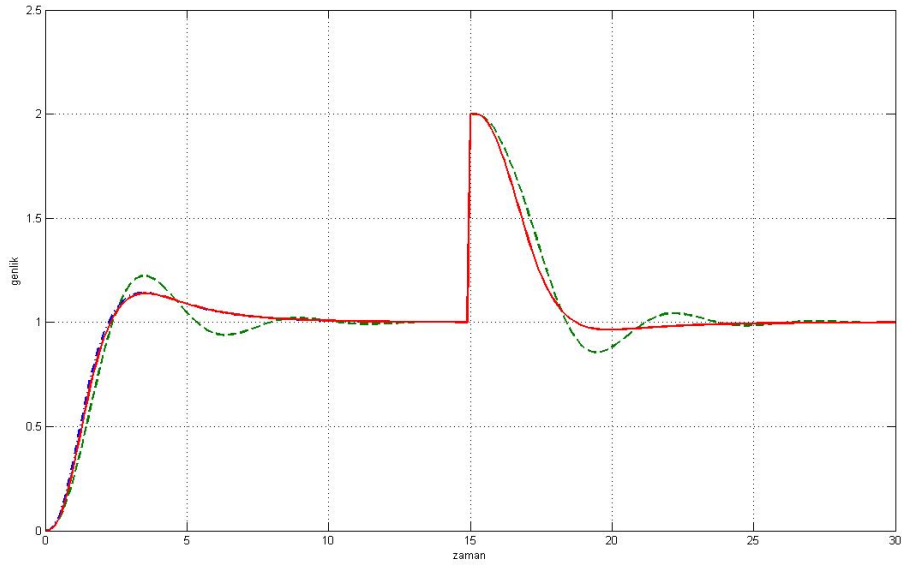
Ayrıca, yine Şekil 3.31' de görüldüğü üzere, her iki sisteme de dışarıdan 15. saniyede 1 genlikli adım girişi uygulanmış olup, fonksiyon ayarlayıcı yönteminin gürültüye karşı vermiş olduğu sistem cevabı, öz uyarlamasız bulanık PID' nin sistem cevabından daha başarılıdır.

3.2.2.4 Model Temelli Fonksiyon Ayarlayıcısı Yönteminin İkinci Dereceden Ölü Zamansız Bir Sisteme Dışarıdan Gürültü Uygulanması Durumunda Sistem Cevaplarının İncelenmesi

Bu bölümde, bölüm 3.2.2.2' de anlatılan sistem kullanılmıştır. Bahsi geçen sisteme, 15. saniyede 1 genlikli adım girişi uygulanmıştır. Sistem yanıtlarının kolaylıkla anlaşılabilmesi için, program 30 saniye boyunca çalıştırılmıştır.



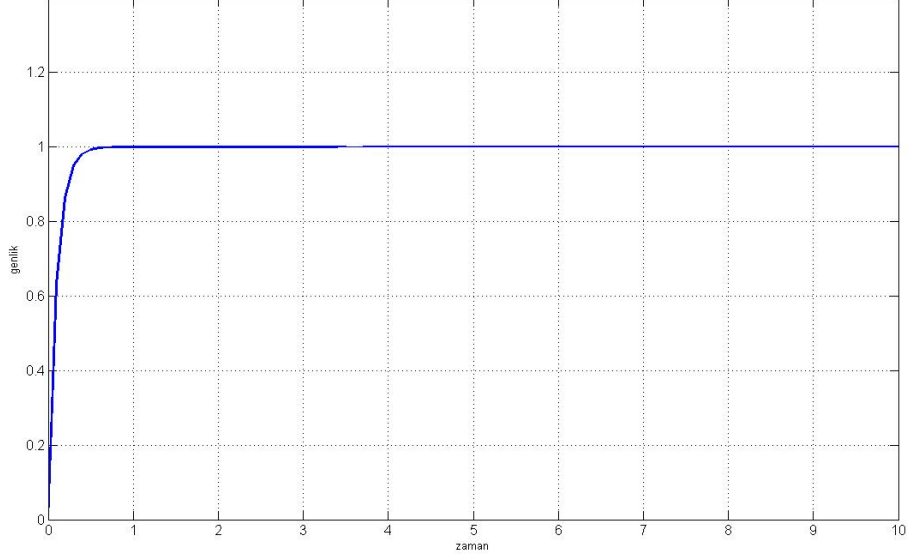
Şekil 3.33: Referans No.1



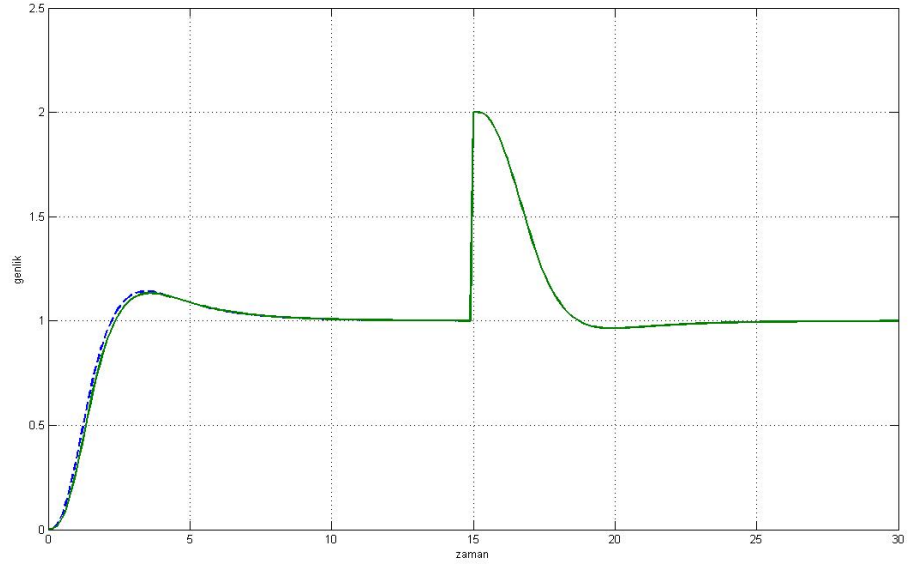
Şekil 3.34: Sistem cevaplarının karşılaştırılması (düz: Referans No.1 için model temelli fonksiyon ayarlayıcının sistem cevabı, kesikli-noktalı: fonksiyon ayarlayıcının sistem cevabı, kesikli: Öz uyarlamasız bulanık PID sistem cevabı)

Beklendiği gibi, Şekil 3.33' deki referans modeli takip eden kontrolörün gürültüye karşı verdiği sistem cevabı ile, fonksiyon ayarlayıcısı ile elde edilen kontrolörün gürültüye karşı verdiği sistem cevabı çakışık çıkmıştır. Ayrıca her iki kontrolörün sistem cevabı, öz uyarlamasız bulanık PID kontrolörün gürültüye karşı vermiş olduğu sistem cevabından daha başarılıdır. Bundan sonraki simülasyonlarda öz uyarlamasız bulanık PID kontrolörün sistem cevabı, fonksiyon ayarlayıcısı ve

model temelli fonksiyon ayarlayıcısı ile elde edilen kontrolörlerden daha başarılı olmadığı için, dikkate alınmamıştır.



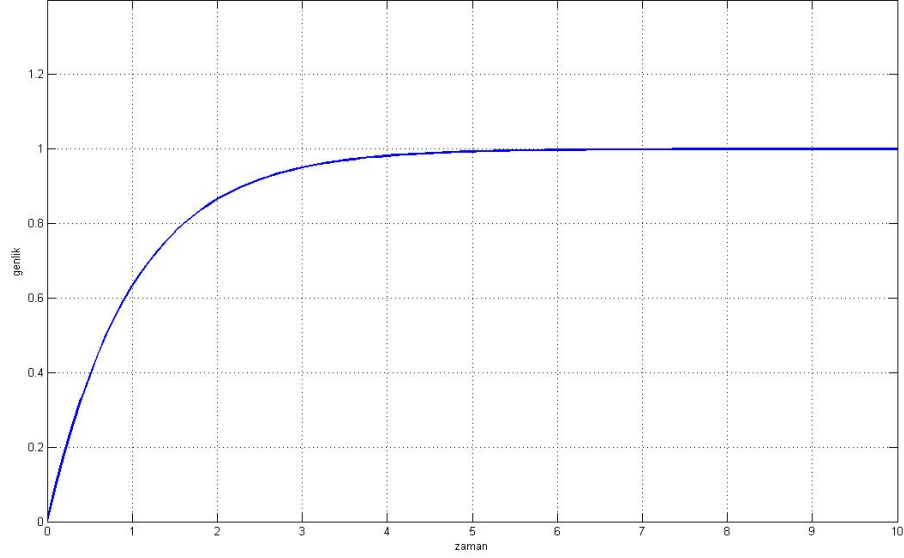
Şekil 3.35: Referans No.2



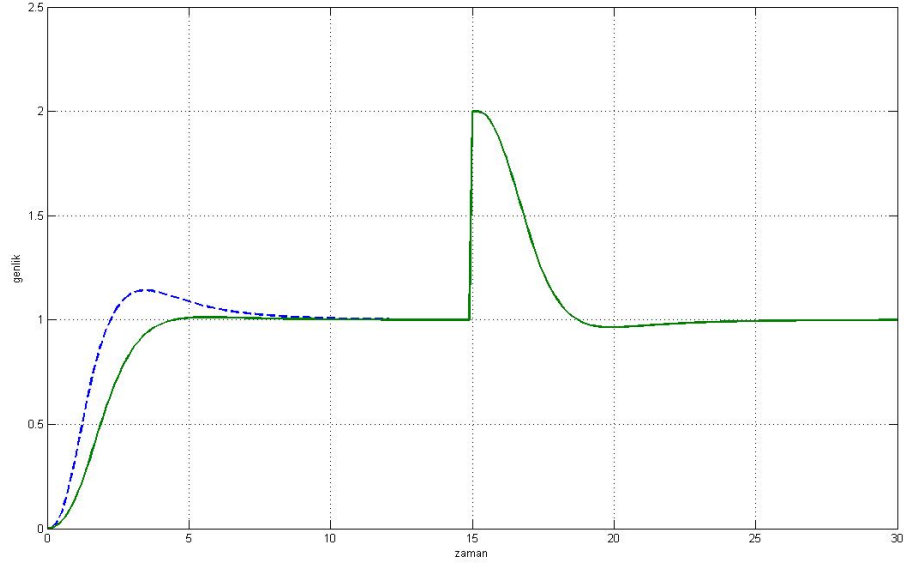
Şekil 3.36: Sistem cevaplarının karşılaştırılması (düz: Referans No.2 için model temelli fonksiyon ayarlayıcı yöntemiyle elde edilen sistem cevabı, kesikli: fonksiyon ayarlayıcı yöntemiyle elde edilen sistem cevabı)

Şekil 3.36' da da görüldüğü üzere, her iki kontrolörün de gürültüye karşı vermiş olduğu sistem cevabı aynıdır.

Bu durumda, son olarak 5 numaralı referans modeli takip eden kontrolörün sistem cevabına da bakılarak, bu durumda fark olup olmadığı aşağıda irdelenmiştir.



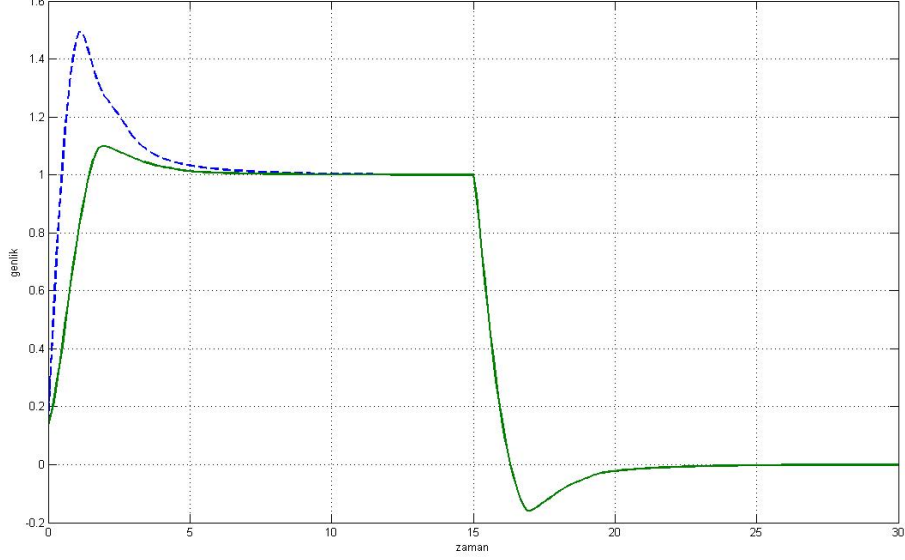
Şekil 3.37: Referans No.5



Şekil 3.38: Sistem cevaplarının karşılaştırılması (düz: Referans No.5 için model temelli fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile elde edilen sistem cevabı, kesikli: fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile elde edilen sistem cevabı)

Şekil 3.38' de gösterilen sistem cevaplarından da beklenen sonuç elde edilmiş olup, her iki kontrolöre ait, gürültü cevapları çakışık çıkmıştır. Bunun nedeni, 15. saniyede, hem referans temelli fonksiyon ayarlayıcısı kontrolörün hem de fonksiyon ayarlayıcı kontrolörün kontrol işaretlerinin aynı olmasıdır. Diğer bir

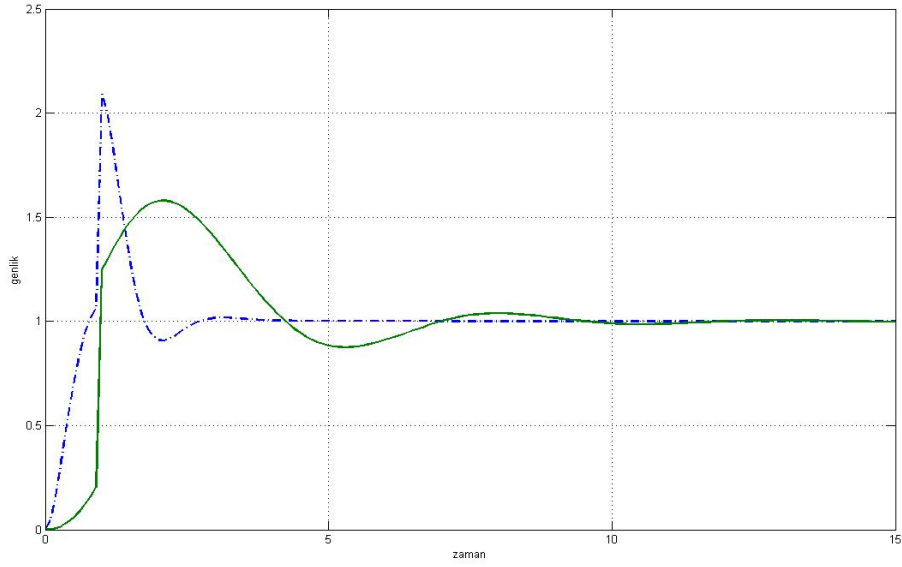
değişle, 15. saniyede referans model ile, 1 genlikli adım girişi aynı olduğu için ve kontrol algoritmasında üretilen kontrolör işareti aynı olduğu için, her iki kontrolörün de gürültüye karşı vermiş olduğu sistem cevapları aynıdır.



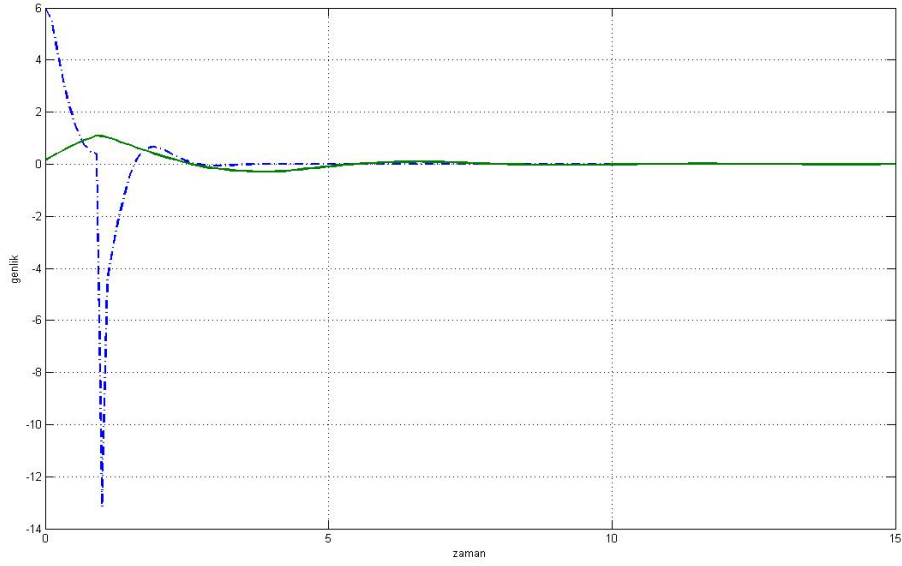
Şekil 3.39: Kontrol işaretlerinin karşılaştırılması (düz: Referans No.5 için model temelli fonksiyon ayarlayıcı yönteminin kontrol işareti, kesikli: fonksiyon ayarlayıcı yönteminin kontrol işareti)

Şekil 3.39' da görüldüğü üzere, her iki kontrolörün 15. saniyede ve sonrasında uygulamış oldukları kontrol işareti aynıdır. Böylece, her iki kontrolörün, 15. saniyede uygulanan 1 genlikli adım girişine vermiş oldukları sistem cevabının aynı olmasının sebebi kolayca anlaşılmaktadır.

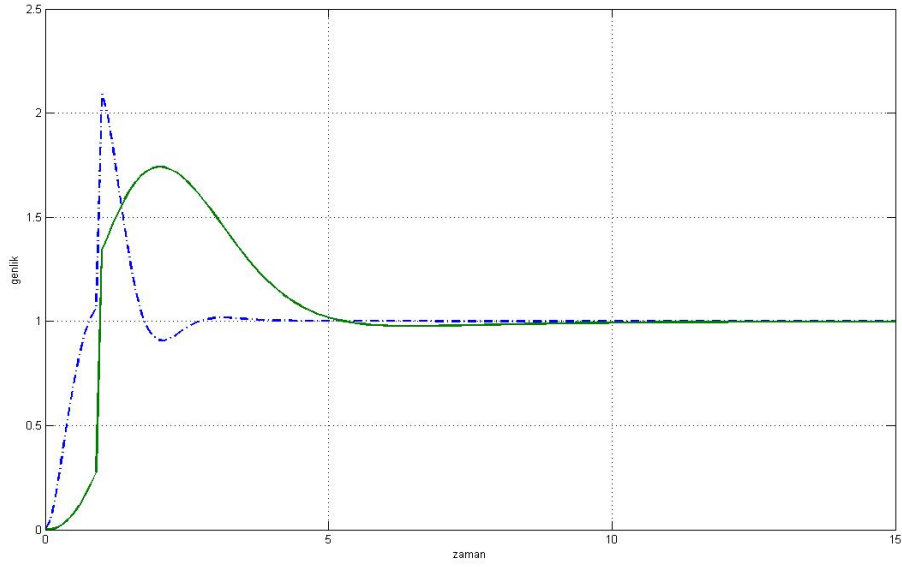
Aynı şekilde 1 genlikli adım girişi, bu sefer sistemlere 1. saniyede uygulanmıştır ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Yukarıdaki karşılaştırmalara ek olarak öz uyarlamasız bulanık olmayan PID kontrolörünün sistem cevapları ve kontrol işaretleri de karşılaştırmalara eklenmiştir. Grafiklerin daha anlaşılır olması amacıyla, program 15 saniye boyunca çalıştırılmıştır.



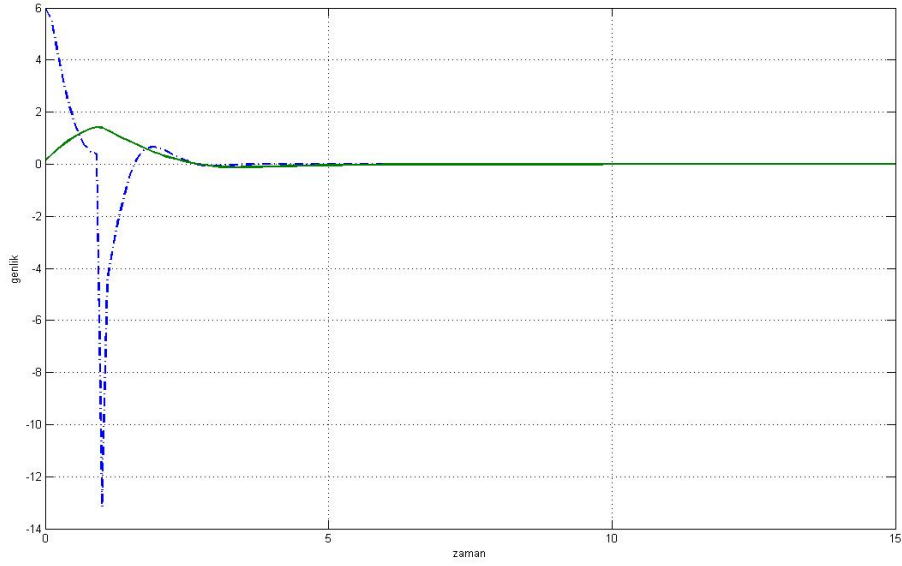
Şekil 3.40: Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID ile öz uyarlamasız bulanık PID' nin sistem cevaplarının karşılaştırılması (düz: Öz uyarlamalı bulanık PID' nin sistem cevabı, kesikli-noktalı: Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID' nin sistem cevabı)



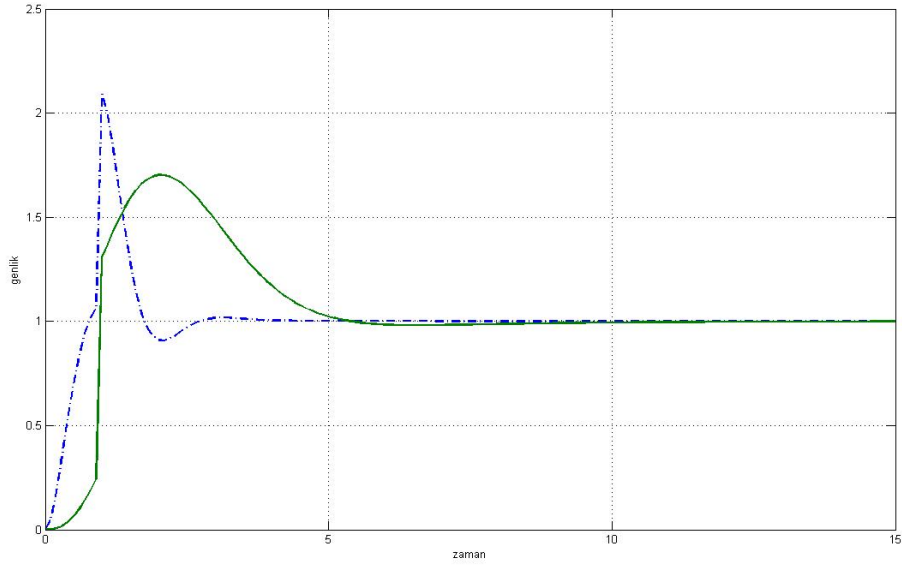
Şekil 3.41: Öz uyarlamasız ve bulanık olmayan PID ile öz uyarlamasız bulanık PID' nin kontrol işaretlerinin karşılaştırılması (düz: Öz uyarlamalı bulanık PID' nin kontrol işareti, kesikli-noktalı: Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID' nin kontrol işareti)



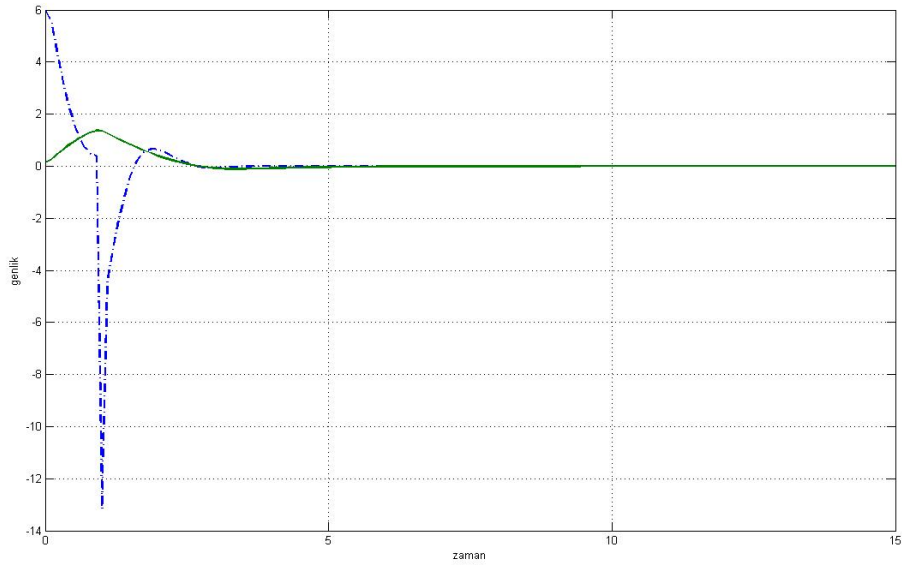
Şekil 3.42: Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID ile fonksiyon ayarlayıcı yönteminin sistem cevaplarının karşılaştırılması (düz: fonksiyon ayarlayıcı yönteminin sistem cevabı, kesikli: Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID' nin sistem cevabı)



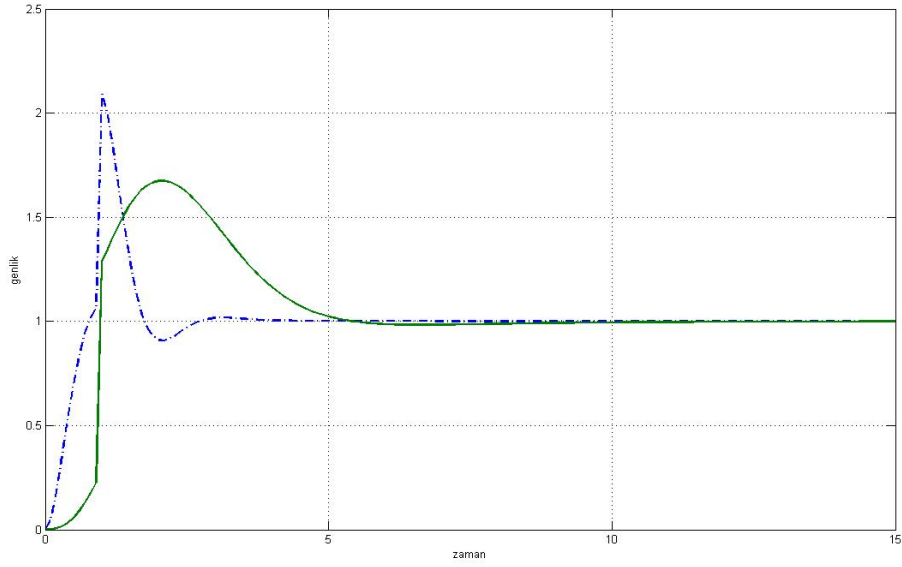
Şekil 3.43: Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID ile fonksiyon ayarlayıcı yönteminin kontrol işaretlerinin karşılaştırılması (düz: fonksiyon ayarlayıcı yönteminin kontrol işareti, kesikli: Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID' nin kontrol işareti)



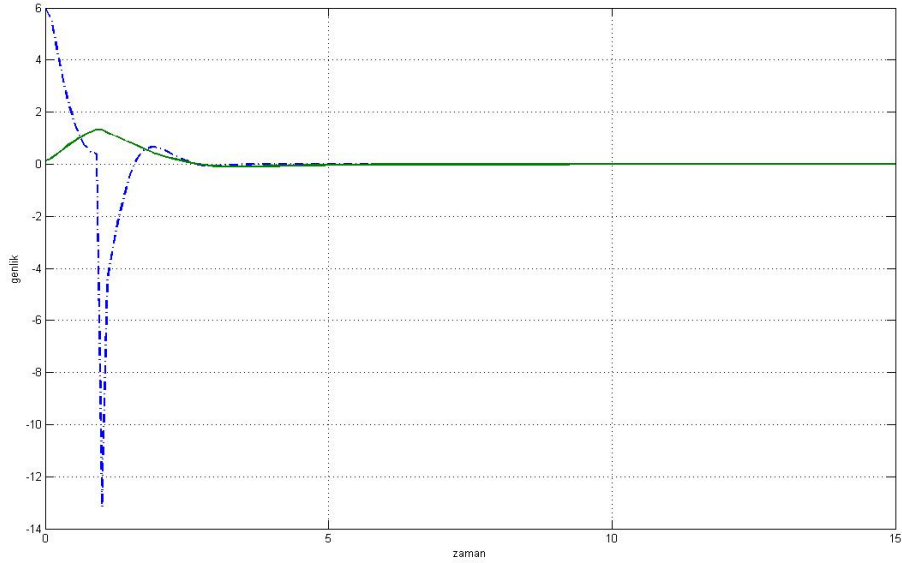
Şekil 3.44: Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID ile referans No.1 için model izleyen fonksiyon ayarlayıcı yönteminin sistem cevaplarının karşılaştırılması (düz: referans No.1 için model izleyen fonksiyon ayarlayıcı yönteminin sistem cevabı, kesikli: Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID' nin sistem cevabı)



Şekil 3.45: Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID ile referans No.1 için model izleyen fonksiyon ayarlayıcı yönteminin kontrol işaretlerinin karşılaştırılması (düz: referans No.1 için model izleyen fonksiyon ayarlayıcı yönteminin kontrol işareti, kesikli: Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID' nin kontrol işareti)



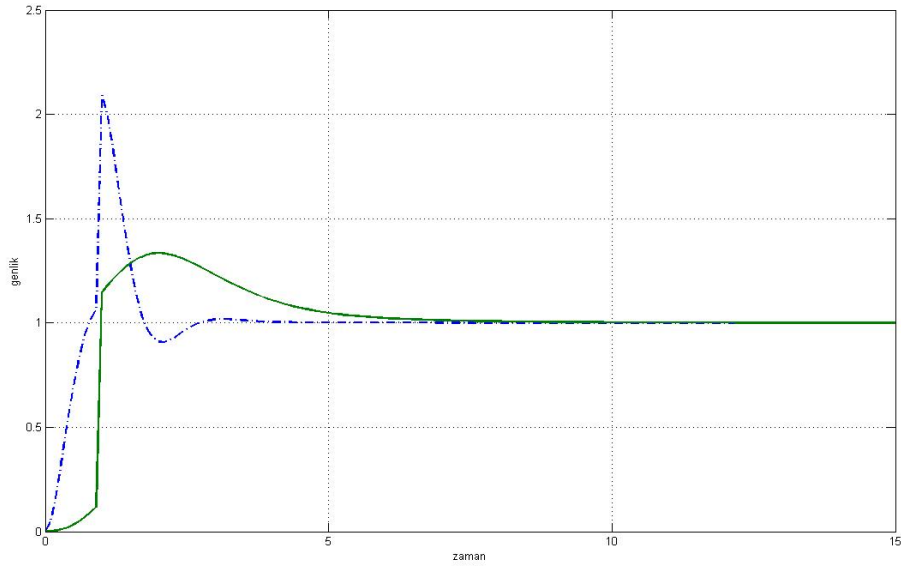
Şekil 3.46: Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID ile referans No.2 için model izleyen fonksiyon ayarlayıcı yönteminin sistem cevaplarının karşılaştırılması (düz: referans No.2 için model izleyen fonksiyon ayarlayıcı yönteminin sistem cevabı, kesikli: Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID' nin sistem cevabı)



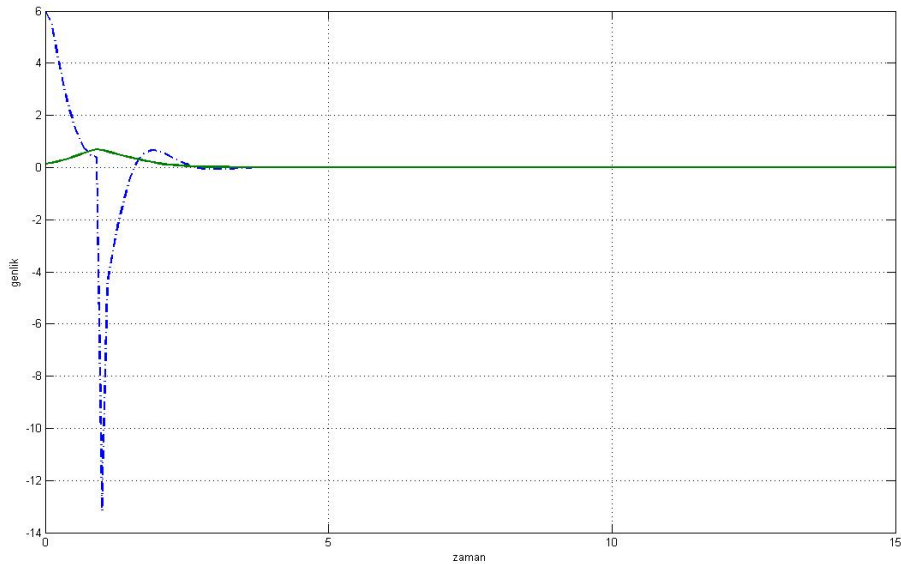
Şekil 3.47: Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID ile referans No.2 için model izleyen fonksiyon ayarlayıcı yönteminin kontrol işaretlerinin karşılaştırılması (düz: referans No.2 için model izleyen fonksiyon ayarlayıcı yönteminin kontrol işareti, kesikli: Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID' nin kontrol işareti)

Diğer referanslar için de sonuçların yaklaşık aynı olacağı aşikardır. Bundan dolayı aradaki referans modeller için oluşturulan model temelli kontrolörlerin sistem cevapları ve kontrol işaretleri karşılaştırılmamış olup son referans model olan 5.

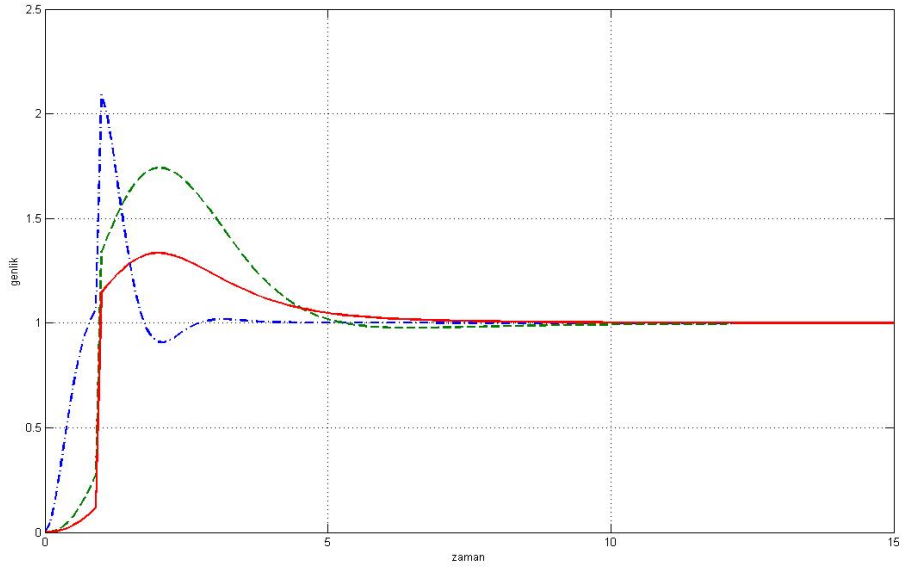
referans model için oluşturulan model temelli kontrolörün sistem cevabı ve kontrol işareti ile öz uyarlamasız bulanık olmayan PID' nin sistem cevabı ve kontrol işareti karşılaştırılmıştır.



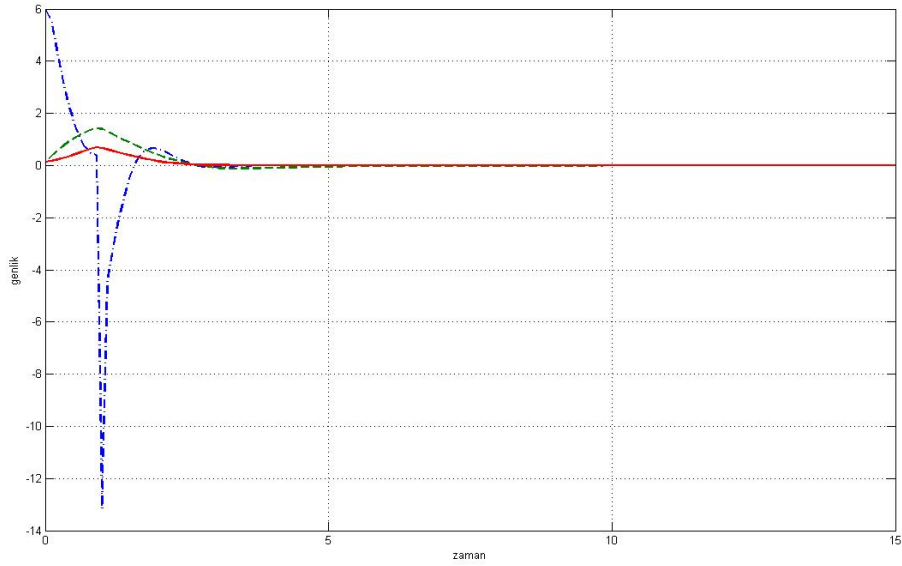
Şekil 3.48: Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID ile referans No.5 için model izleyen fonksiyon ayarlayıcı yönteminin sistem cevaplarının karşılaştırılması (düz: referans No.5 için model izleyen fonksiyon ayarlayıcı yönteminin sistem cevabı, kesikli: Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID' nin sistem cevabı)



Şekil 3.49: Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID ile referans No.5 için model izleyen fonksiyon ayarlayıcı yönteminin kontrol işaretlerinin karşılaştırılması (düz: referans No.5 için model izleyen fonksiyon ayarlayıcı yönteminin kontrol işareti, kesikli: Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID' nin kontrol işareti)



Şekil 3.50: Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID, referans No.5 için model izleyen fonksiyon ayarlayıcı ve fonksiyon ayarlayıcısı yönteminin sistem cevaplarının karşılaştırılması (düz: referans No.5 için model izleyen fonksiyon ayarlayıcı yönteminin sistem cevabı, kesikli-noktalı: Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID'nin sistem cevabı, kesikli: fonksiyon ayarlayıcısının sistem cevabı)



Şekil 3.51: Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID, referans No.5 için model izleyen fonksiyon ayarlayıcı ve fonksiyon ayarlayıcısı yönteminin kontrol işaretlerinin karşılaştırılması (düz: referans No.5 için model izleyen fonksiyon ayarlayıcı yönteminin kontrol işareti, kesikli-noktalı: Öz uyarlamasız bulanık olmayan PID'nin kontrol işareti, kesikli: fonksiyon ayarlayıcısının kontrol işareti)

Şekil 3.40' da görüldüğü üzere, 1 genlikli adım girişi 1. saniyede öz uyarlamasız bulanık olmayan PID' ye ve öz uyarlamasız bulanık PID' ye uygulandığında, öz uyarlamasız bulanık olmayan PID' nin çok yüksek bir aşım yaptığı ve hemen ardından negatif aşım girdiği görülmektedir. Buna karşın öz uyarlamasız bulanık PID' nin aşımının daha az olduğu ancak negatif aşım girdiği ve sistemin daha uzun zamanda kararlı hale geldiği gözlenmektedir. Şekil 3.41' de kontrol işaretleri arasındaki fark da açıkça görülmektedir.

Şekil 3.42' de, 1 genlikli adım girişi 1. saniyede öz uyarlamasız bulanık olmayan PID' ye ve fonksiyon ayarlayıcısı yöntemine uygulandığında, fonksiyon ayarlayıcısı yönteminin sistem cevabında, öz uyarlamasız bulanık olmayan PID' ye göre daha az bir aşım gözlenmekte, negatif aşım gözlenmemektedir. Buna karşın fonksiyon ayarlayıcısı yöntemi ile kontrol edilen sistemin daha uzun zamanda kararlı hale geldiği gözlenmektedir. Şekil 3.43' de kontrol işaretleri arasındaki fark görülmektedir.

Şekil 3.44' de, 1 genlikli adım girişi 1. saniyede öz uyarlamasız bulanık olmayan PID' ye ve referans No.1 için model temelli fonksiyon ayarlayıcısı yöntemine uygulandığında, model temelli fonksiyon ayarlayıcısı yönteminin sistem cevabında, öz uyarlamasız bulanık olmayan PID' ye göre daha az bir aşım gözlenmekte, negatif aşım gözlenmemektedir. Buna karşın model temelli fonksiyon ayarlayıcısı yöntemi ile kontrol edilen sistemin daha uzun zamanda kararlı hale geldiği gözlenmektedir. Şekil 3.45' de kontrol işaretleri arasındaki fark görülmektedir. Daha önce de açıklandığı üzere, fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile, referans No.1 için model temelli fonksiyon ayarlayıcısının sistem cevaplarının birbirine çok yakın olması beklenen bir sonuçtur.

Şekil 3.46' da, 1 genlikli adım girişi 1. saniyede öz uyarlamasız bulanık olmayan PID' ye ve referans No.2 için model temelli fonksiyon ayarlayıcısı yöntemine uygulandığında, model temelli fonksiyon ayarlayıcısı yönteminin sistem cevabında, öz uyarlamasız bulanık olmayan PID' ye göre daha az bir aşım gözlenmekte, negatif aşım gözlenmemektedir. Buna karşın model temelli fonksiyon ayarlayıcısı yöntemi ile kontrol edilen sistemin daha uzun zamanda kararlı hale geldiği gözlenmektedir. Şekil 3.47' de kontrol işaretleri arasındaki fark görülmektedir. Yine beklendiği üzere, referans No.1 için model izleyen

fonskiyon ayarlayıcısının sistem cevabı ile referans No.2 için model izleyen fonskiyon ayarlayıcısının sistem cevabı arasında çok büyük bir fark gözlenmemektedir.

Bu sebepten dolayı, diğer referans modeller için oluşturulan model temelli fonskiyon ayarlayıcıların sistem cevapları karşılaştırılmayarak referans No.5 için oluşturulan model izleyen fonskiyon ayarlayıcısının sistem cevabı karşılaştırılmıştır.

Şekil 3.48' de, 1 genlikli adım girişi 1. saniyede öz uyarlamasız bulanık olmayan PID' ye ve referans No.5 için model temelli fonskiyon ayarlayıcısı yöntemine uygulandığında, model temelli fonskiyon ayarlayıcısı yönteminin sistem cevabında, öz uyarlamasız bulanık olmayan PID' ye göre ve diğer referans modeller için oluşturulan model izleyen fonskiyon ayarlayıcılarına göre çok daha az bir aşım gözlenmekte ve en ufak bir negatif aşım gözlenmemektedir. Buna karşın model temelli fonskiyon ayarlayıcısı yöntemi ile kontrol edilen sistemin az da olsa biraz daha uzun zamanda kararlı hale geldiği gözlenmektedir. Şekil 3.49' da kontrol işaretleri arasındaki fark görülmektedir.

Şekil 3.50' deki sistem cevapları incelendiğinde, referans No.5 için model bazlı fonskiyon ayarlayıcısının, her iki kontrolörün sistem cevaplarındaki aşım göz önüne alındığında, çok daha az aşımaya sahip olduğu ve ayrıca, negatif aşımaya geçmediği görülmektedir. Ancak sistemin kararlılığa ulaşma süresi, fonskiyon ayarlayıcısından daha kısa olmasına rağmen, öz uyarlamasız ve bulanık olmayan PID' den biraz daha uzun olduğu görülmektedir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada öz uyarlamalı ve öz uyarlamasız bulanık PID kontrolörler karşılaştırılmış olup, literatürde var olan kontrolörlere ek olarak yeni bir kontrolör önerilmiş olup önerilen bu kontrolörün başarıyla çalıştığı görülmüştür.

Basit bir yapıya sahip olmasından ötürü endüstride en fazla PID kontrolü kullanılmaktadır. Ancak sistemlerin birtakım doğrusal olmayan özelliklere ve karmaşık bir yapıya sahip olması durumunda PID kontrolörlerinin etkili bir başarımlı sağlayamadıkları bilinmektedir. Bu gibi durumlarda bulanık kontrol algoritmaları alternatif bir çözüm haline gelmektedir. Endüstride kullanılan çoğu bulanık kontrolör PI yada PID kontrolörlere benzer yapılara sahiptir. Bulanık kurallar ve üyelik fonksiyonlarının kullanılması, doğrusal olmayan özelliklerin kontrolöre eklenmesini kolaylaştırmaktadır. Dolayısıyla hem doğrusal olan hem de doğrusal olmayan sistemler için etkili ve basit kullanımı, bulanık PID kontrolörlerinin endüstride geniş bir alanda kullanılmasını sağlamaktadır.

Literatürde değişik yapılarda bulanık PID kontrolörleri olmasına karşın, bu tezde yapıları giriş - çıkış bilgisi açısından bir PID kontrolörüne benzeyen, kontrol sinyalinin çıkarım mekanizması ve bilgi tabanı tarafından üretildiği, hata ve hatanın değişimi olmak üzere iki adet giriş ve bir kural tabanına sahip olan bulanık PID tipi kontrolörler ele alınmıştır. Burada kontrolörün sahip olduğu dört adet ölçekleme faktörü tasarım başlangıçta güncel olmayan (off-line) şekilde ayarlandığı için bu tip kontrolörler öz uyarlamasız bulanık PID tipi kontrolörlerdir.

Bu tip kontrolörün başarımlı da, literatürde mevcut olan ve bulanık PID tipi kontrolörlere ait dört adet ölçekleme faktöründen iki tanesinin, aşım gözleyicisi, fonksiyon ayarlayıcısı ve bağıl hız gözleyicisi olmak üzere üç adet ayarlama algoritması ilk önce teorik olarak anlatıldıktan sonra fonksiyon ayarlayıcısı yöntemi ve bu tezde önerilen model temelli fonksiyon ayarlayıcısı yöntemi ile katsayı uyarlaması yapan, öz uyarlamalı bulanık PID tipi kontrolörler ile arttırılmıştır.

Tasarlanan kontrolörler neticesinde, fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile elde edilen öz uyarlamalı bulanık PID kontrolör ile elde edilen sistem cevabının, öz uyarlamasız bulanık PID kontrolörü ile elde edilen sistem cevabından gerek sistemin cevap zamanı gerekse aşım miktarı bakımından daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Daha sonra beş adet farklı referans için elde edilen beş adet model temelli fonksiyon ayarlayıcı yöntemi, fonksiyon ayarlayıcı yöntemi ile elde edilen öz uyarlamalı bulanık PID kontrolör ve öz uyarlamasız bulanık PID kontrolör ile karşılaştırılmış olup, farklı referans değerler için farklı başarımlar elde edilmiş ve önerilen kontrolörün, özellikle dışarıdan uygulanan gürültüler karşısında vermiş olduğu sistem yanıtının, diğer kontrolörlerden daha başarılı olduğu gözlenmiştir. 1. saniyede 1 genlikli basamak girişi uygulanan sistemlerde, beş numaralı referans model ile elde edilen model temelli kontrolörün, öz uyarlamasız bulanık olmayan PID, öz uyarlamasız bulanık PID ve öz uyarlamalı fonksiyon ayarlayıcısı yöntemine nazaran, pozitif ve negatif aşım miktarları ve hız açısından daha başarılı olduğu görülmüştür.

Özellikle sisteme dışarıdan gürültü gelmesi muhtemel durumlarda, uygun referans model oluşturularak elde edilen model temelli fonksiyon ayarlayıcısı yöntemi en kullanışlı ayarlama mekanizmasıdır.

Bu tezde kullanılan sistem ikinci dereceden ölü zaman içermeyen bir sistem olup, farklı sistemler için bu tezde ele alınan yöntemlerin geliştirilebileceği aşıkardır. Öz uyarlamalı sistemlerde ele alınan katsayılar ayrıca genetik algoritma yöntemleriyle de aratılarak daha farklı sistemler için daha başarılı sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca elde edilen sonuçların başarımını daha fazla arttırmak maksadıyla, referans modeli tam olarak kontrol edilecek sistemin verebileceği en uygun sistem cevabını elde ettikten sonra ona göre oluşturmak yoluyla iyileştirmeler yapılabilir yada bunlara ilave olarak değişik ayarlama mekanizmaları geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Aström, K. and Högglund, T.,** 1995. PID Controllers: Theory, Design and Tuning, Instrument Society of America, New York.
- Bellman, R. E. and Zadeh, L. A.,** 1970. Decision-Making in a fuzzy environment, Management Science, 17.
- Eksin, I., Güzelkaya, M. and Gürleyen, F.,** 2001. A new methodology for deriving the rule-base of a fuzzy logic controller with a new internal structure, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 14(5), 617-628.
- Galichet, S. and Foulloy, L.,** 1995. Fuzzy Controllers: Synthesis and equivalences, IEEE Trans on Fuzzy Systems, 3, 140-148.
- Golob, M.,** 2001. Decomposed fuzzy proportional-integral-derivative controllers, Applied Soft Computing, 1, 201-204.
- Güzelkaya, M., Eksin, I. and Gürleyen F.,** 2001. A new methodology for designing a fuzzy logic controller and PI, PD blending mechanism, Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 11, 85-98.
- Güzelkaya, M., Eksin, I. And Yesil, E.,** 2003. Self-tuning of PID-type fuzzy logic controller coefficients via relative rate observer, Applications of Artificial Intelligence, 16, 227-236.
- Hu, B., Mann, G. K. I. and Gosine, R., G.,** 1999. A new methodology for a analytical and optimal design of fuzzy PID controllers, IEEE Trans on Fuzzy Systems, 7(5), 521-539.
- Kwok, D. P., Tam, P., Li, C. K. and Wang P.,** 1990. Linguistic PID controllers, Proceedings of the 11th World Congress, Tallin, Estonia, 7, 192-197.

- Li, H. X. and Gatland, H. B.,** 1996. Conventional fuzzy control and its enhancement, *IEEE Trans on Systems, Man, Cybernetics-Part(B)*, 26(5), 791-797.
- Mac Vicar-Whelan, P. J.,** 1976. Fuzzy sets for man-machine interaction, *Int. J. Man-Machine Studies*, 8, 687-697.
- Mamdani, E. H.,** 1974. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant, *Proc. Inst. Elect. Eng. Contr. Sci.*, vol 121, 1585-1588.
- Mamdani, E. H., Assilian, S.,** 1975. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller, *Int. J. Man-Machine Stud.*, 7, 1-13.
- Mizumoto, M.,** 1990. Fuzzy controls by product-sum gravity method, *International Academic Publishers*, C. 1. 1 -C. 1. 4.
- Mizumoto, M.,** 1992. Realization of PID controllers by fuzzy control methods, *Fuzzy Sets and Systems*, 70, 171-182.
- Ollero, A. and Garcia-Crezo, A. J.,** 1989 Direct digital control, auto-tuning supervision using fuzzy logic, *Fuzzy Sets and Systems*, 30(2), 135-153
- Palm, R., and Driankov, D.,** 1996. *Model Based Fuzzy Control*, Springer.
- Peng, Z. T.,** 1990. Generating rules for fuzzy logic controllers by functions, *Fuzzy Sets and Systems*, 36(2), 83-89.
- Qiao, W. Z. and Mizumoto, M.,** 1996. PID type fuzzy controller and parameters adaptive method, *Fuzzy Sets and Systems*, 78, 23-35.
- Takagi, T. and Sugeno M.,** 1985. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control, *IEEE Trans Systems, Man, Cybern.*, vol. SMC-15, pp. 116-132.

- Tang, M. L. and Mulholland, R. J.,** 1987. Comparing fuzzy logic with classical controller designs, *IEEE Trans on Systems, Man, Cybernetics*, 17(6), 1085-1087.
- Vega, P., Prada, C., and Aleixander, V.,** 1991. Self-tuning predictive PID controller, *IEEE Proc. D.*, 138(3), 303-311.
- Woo, Z. W., Chung, H. Y. And Lin, J. J.,** 2000. A PID-type fuzzy controller with self-tuning scaling factors, *Fuzzy Sets and Systems*, 115, 321-326.
- Xu, J. X., Liu, C. and Hang, C. C.,** 1998. Tuning and analysis of a fuzzy PI controller based on a gain and phase margins, *IEEE Trans on Systems, Man, Cybernetics-Part(A)*, 28(5), 685-691.
- Xu, J. X., Liu, C. and Hang, C. C.,** 2000. Parallel structure and tuning of a fuzzy PID controller, *Automatica*, 36 673-684.
- Zadeh, L. A.,** 1965. Fuzzy sets *Information and Control*, 8, 338-353.

ÖZGEÇMİŞ

13 Temmuz 1980'de İstanbul'da doğdu. İlkokul ,ortaokul ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladıktan sonra 1999 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümünü kazandı. 2003 yılında buradan mezun olduktan sonra aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Kontrol ve Otomasyon Bölümünde yüksek lisans yapmaya hak kazandı.