

Zaman Gecikmeli Sistemler İçin Özayarlama Bulanık Mantık Kontrolör Tasarımı

A Self-Tuning Fuzzy Logic Controller Design for Time Delayed Systems

Müge Ateşova Köse¹, Erhan Yumuk², Müjde Güzelkaya², İbrahim Eksin²

¹Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu Sanayi ve Ticaret A.Ş. (Togg)
mugeatesova@gmail.com

²Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Fakültesi
İstanbul Teknik Üniversitesi
yumuk@itu.edu.tr
guzelkaya@itu.edu.tr
eksin@itu.edu.tr

Özetçe

Gerçek sistemlerin modellenmesinde çoğunlukla zaman gecikmesine sahip modellerden yararlanır. Ancak çeşitli nedenlerle, gerçekte var olan zaman gecikmesi, sistem modelinde bulunan zaman gecikmesinden daha az veya daha fazla olabilir veya bazı koşullar altında değişim gösterebilir. Bu çalışmada, iki girişli bulanık mantık kontrolörün kural tabanını, sistemdeki zaman gecikmesindeki değişimlere bağlı olarak ayarlayan bir yöntem sunulmuştur. Önerilen yöntem kontrolör kural tabanının uygun yön ve miktarlarda kaydırılmasına dayanmaktadır. Yöntemin sistem başarımını iyileştirdiği çeşitli örnekler üzerinden gösterilmiştir.

Abstract

Models with time delays are mostly used in modeling real time systems. However, for various reasons, the actual time delay may be less or greater than the time delay found in the system model, or may vary under certain conditions. In this study, a method that adjusts the rule base of a two-input fuzzy logic controller is presented depending on the changes in the time delay of the system. The proposed method is based on shifting the controller rule base in appropriate directions and amounts. It has been demonstrated through various examples that the method improves system performance.

1. Giriş

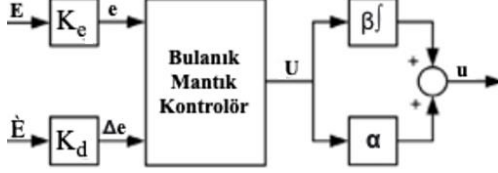
Otomatik kontrol problemleri başlığı altında çalışmaları yapılan pratik süreçlerin önemli bir çoğunluğu, zaman gecikmesi olabilen ve doğrusal olmayan yüksek mertebeli sistemlerdir [1]. Yüksek mertebeli sistemler, uygun yaklaşımlar sağlandığında birinci mertebeli zamanlı bir muadili ile modellenebilir [2]. Zaman gecikmesi olan sistemlerde kontrol işareti kaçınılmaz olarak geç uygulanır. Bu açıdan incelendiğinde zaman gecikmesi, fiziksel sistemlerde doğal olarak meydana gelen en zor dinamik unsurlardan biri olarak kabul edilmektedir [3]. Bu nedenle, zaman gecikmesiyle başa çıkabilmek bir kontrol sisteminin tasarlanmasında en önemli

unsurlardan biridir [1]. Geleneksel PID kontrolörleri, zaman gecikmeli sistemleri kontrol etmekte genellikle yetersizdir. Zaman gecikmesi veya doğrusal olmama durumları için bulanık mantık kontrolörler uygun kontrol stratejileri üretebilirler [4]. Zaman gecikmesi durumunda, gözlemlenen bilgi, kontrol eyleminin alınması için beklenenden daha sonra gelir. Bu bilgi gecikmesinin üstesinden gelmek için, bir hücre için kural tabanının üst tarafını sola ve alt tarafı sağa kaydırılması önerilmiştir [5]. "Hücresele Kod Bölmeli Çoklu Erişim" sistemlerinde aynı kaydırma stratejisinin başarılı olduğu görülmüştür [6]. Az kuralın bulunması durumunda, uygun kaydırmayı sağlamak zordur. Bu nedenle, kaydırma yönteminin tek başına yeterli olmayacağı, daha büyük kural tabanları gerektirdiği öne sürülmüştür [7]. Kaydırma yöntemi ile lazer takip sisteminde küçük zaman gecikmeleri için oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir [8]. Trafik ışık kontrol sistemlerinde daha önceden bulanık mantık kontrol tasarımı yapılmış bir sistemin iyileştirilmesinde kural tabanının kaydırılması yöntemi başarı ile uygulanmıştır [9]. Diğer bir çalışmada, sistemin zaman gecikmesi bilgisini kullanarak, bulanık mantık kontrolörlerin kural tabanının yeniden düzenlenmesini sağlamış ve bu yöntemin sistemi kontrol etmedeki başarımını gösterilmiştir [10].

Bir bulanık mantık kontrolör için "daha iyi" bir kural tabanı elde etmede dikkate alınması gereken birçok unsur olabilir. Hali hazırda zaman gecikmesi olan sistemler için, çeşitli nedenlerle, gerçekte var olan zaman gecikmesi, sistem modelinde bulunan zaman gecikmesinden daha az veya daha fazla olabilir veya bazı koşullar altında değişim gösterebilir. Bir sistemdeki zaman gecikmesinin artmasının ve azalmasının miktarı değiştiğinde kural tabanının kaydırıldığı yön ve kaydırma miktarı değişmelidir. Bu çalışmada, iki girişli bulanık mantık kontrolörün kural tabanını, zaman gecikmesindeki değişime bağlı şekilde öz-ayarlamalı olarak ayarlayan bir bulanık mantık kontrol yöntemi sunulmuştur. Yöntem kontrolör kural tabanının uygun yön ve miktarlarda kaydırılmasına dayanmaktadır. Önerilen yöntemin sistem başarımını iyileştirdiği çeşitli örnekler üzerinden gösterilmiştir.

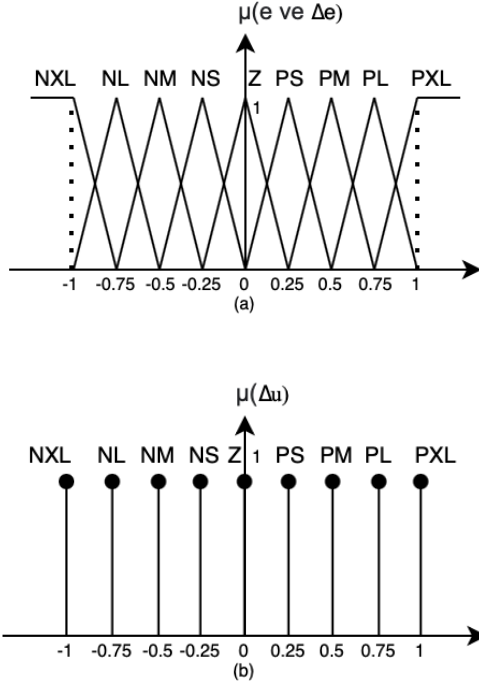
2. Bulanık Mantık Kontrolör

Bu çalışmada Şekil 2.1 de verilen iki girişli bulanık kontrolör kullanılmıştır. Burada E sistem hatası, U kontrol işaretidir. Kontrolörün girişinde hata ve hatanın türevi için sırasıyla K_e ve K_d ölçekleme çarpanları kullanılmıştır. Hatanın türevi \dot{E} ve ölçekleme çarpanı ile çarpıldıktan sonra bulanık kontrolör girişi Δe ile gösterilmiştir. PID kontrolörünün çıkışında ise (β, α) çarpanlarından yararlanılmaktadır.



Şekil 2.1: Bulanık PID kontrolör

Giriş ve çıkış parametrelerinin her biri için 9 bulanık küme tanımlanmıştır. Bulanık kümeler NXL (Negatif Çok Büyük), NL (Negatif Büyük), NM (Negatif Orta), NS (Negatif Küçük), Z (Sıfır), PS (Pozitif Küçük), PM (Pozitif Orta), PL (Pozitif Büyük), PXL (Pozitif Çok Büyük) olarak adlandırılmıştır. Şekil 2.2'de giriş ve çıkış değişkenlerinin üyelik fonksiyonlarının grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 2.2: (a) Giriş değişkenlerinin üyelik fonksiyonları (b) Çıkış üyelik fonksiyonu

Bulanık mantık kontrol için kural tabanı, genellik adına simetrik yapıya sahiptir. Tablo 2.1'de kullanılan 9x9 büyüklüğündeki kural tabanı verilmiştir. Bu kural tabanından

çalışmanın devamında “kaydırılmamış kural tabanı” olarak bahsedilecektir.

Tablo 2.1: Kaydırılmamış kural tabanı (9x9)

$\Delta e/e$	NXL	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL	PXL
PXL	Z	PS	PM	PL	PXL	PXL	PXL	PXL	PXL
PL	NS	Z	PS	PM	PL	PXL	PXL	PXL	PXL
PM	NM	NS	Z	PS	PM	PL	PXL	PXL	PXL
PS	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL	PXL	PXL
Z	NXL	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL	PXL
NS	NXL	NXL	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
NM	NXL	NXL	NXL	NL	NM	NS	Z	PS	PM
NL	NXL	NXL	NXL	NXL	NL	NM	NS	Z	PS
NXL	NXL	NXL	NXL	NXL	NXL	NL	NM	NS	Z

3. Kural Tabanı Değiştirme Stratejisi

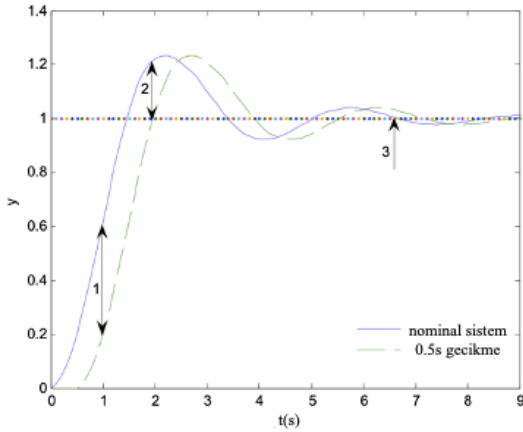
3.1 Kural Tabanı Değiştirmede Etken Faktörler

Şekil 3.1'de düzenli bir kural tabanı dört bölgeye ayrılmıştır. R1 bölgesinde, hatanın değişimi negatif ve hata pozitifdir. Hata değeri büyüklük olarak azalır. Bu nedenle, zaman gecikmesi için gerçek (e, Δe) çifti, ölçülenin sol tarafında bir yerde olmalıdır. Bu sapmayı telafi etmek için R1'e karşılık gelen kurallar sağa kaydırılabilir. Kaydırma miktarı doğruysa, kontrolör uygun eylemleri gerçekleştirir. R2'de hem hata ve hata değişimi negatifdir hem de hata büyüklüğü artma eğilimindedir. Yine asıl nokta gözlemlenenin solundadır ve sistem için uygun miktarlarda ise kuralları sağa kaydırmak uygun olabilir. Benzer argümanlar kural tabanının üst tarafı için de geçerlidir. R3 ve R4'te gerçek noktalar gözlemlenenlerin sağındadır ve kural tabanı kayması solda olmalıdır. Δe 'sıfır' olduğunda, o sıra tarafsızdır ve kaydırmaya gerek yoktur. Aynı zamanda bu tablo, hali hazırda zaman gecikmesi olan bir sistemde zaman gecikmesinin azalması durumu için de değerlendirilebilmektedir. Yukarıda açıklananın aksine zaman gecikmesinin azalması durumunda gerçek (e, Δe) çifti, ölçülenin sağ tarafında bir yerde olmalıdır. Bu sapma R1'e ve R2'ye karşılık gelen kurallara sola kaydırılarak telafi edebilir. Diğer bir tarafta ise R3 ve R4 için gerçek noktalar gözlemlenenlerin solundadır. Bu durum için de kural tabanının kayması sağa doğru olmalıdır.

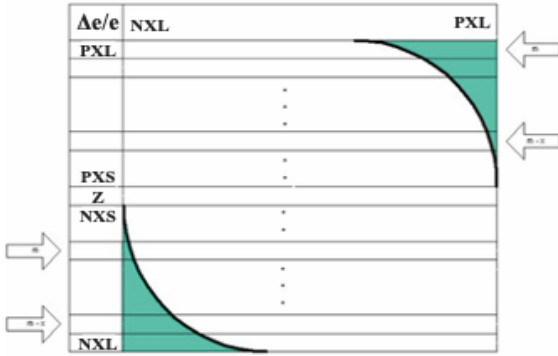
$\Delta e/e$	Büyük	N	Küçük	Küçük	P	Büyük
Büyük						
P						
Küçük						
Küçük						
N						
Büyük						

Şekil 3.1: Hata ve hatanın değişimi işaretlerine göre sınıflandırılan bir kural tabanı için bölgeler [10].

Şekil 3.2'de, zaman gecikmesi etkisi, rastgele seçilmiş bir sistem için zaman düzleminde bir kayma olarak modellenmiştir. $t = 1s$ civarında, 1 ile etiketlenen ok, hata büyüklüklerinin farkını gösterir. Bu nokta Şekil 3.1'de R1 bölgesinde bir yere karşılık gelmektedir. Kayma miktarı, kontrol altındaki (birinci dereceden) sistemin hata büyüklüğüne, zaman gecikme büyüklüğüne, hata büyüklüğünün değişimine ve zaman sabitine bağlı olmalıdır. Şekil 3.2'de üç okla gösterilen noktalar dikkatlice incelenirse, hata büyüklüğü açısından iki yanıtın farkının her noktada aynı olmadığı kolayca görülür. Sistem yanıtı sürekli durum bölgesine yaklaştıkça (Δe düşük olduğunda) kayma miktarı 'düşük' tutulmalıdır ve sistemin değişim tepki hızı yüksek olduğunda 'yüksek' olmalıdır. Salınımları önlemek için küçük hata değişim değerleri için kural tabanı kaydırması uygun değildir.



Şekil 3.2: Zaman gecikmesi yokluğunda sistem basamak yanıtı (düz çizgi) ve 0,5 saniye gecikmeyle ölçülen veriler (kesik çizgi) [10].



Şekil 3.3: Sonsuz çözünürlük için ideal kaydırma mekanizması [10].

Üyelik fonksiyonlarının sayısı, kural tabanı kaydırmada bir başka önemli etkidir. Her parametre için daha fazla bulanık bölge tanımlanırsa, zaman geciktirme sürecinin doğrusal olmayan etkisini yok etmek amacıyla oluşturulan kurallar daha uygun bir şekilde ayarlanabilir. Şekil 3.3, sonsuz çözünürlük durumunda kaymanın değişimini göstermektedir. Gerçek dünya uygulamalarında yalnızca sınırlı sayıda dilsel

değişkenler kullanılabilir. Bu çalışmada, her bir değişken için 9 bulanık küme tanımlanmıştır.

Kural tabanı kaydırma stratejisi için, kontrol altındaki sistemin yapısından gelen bilgiler de kullanılmalıdır. Doğadaki pek çok sistem için birinci dereceden ölü zamanlı bir modelin geçerli olduğu bilinmektedir. Bu nedenle çalışmamızdaki sistem modelleri

$$G(s) = \frac{K}{1+T s} e^{-sL} \quad (3.1)$$

şeklinde seçilmiştir. Burada L gecikme zamanı, K kazanç ve T zaman sabitidir. Bu sistem modellerinde zaman sabiti ve zaman gecikmesi bilgilerinin bağlı olarak değerlendirilebilmesi için için aşağıdaki kontrol edilebilirlik oranı τ dikkate alınmıştır.

$$\tau = \frac{L}{L+\tau} \quad (3.2)$$

Kural kaydırma işleminin sistem üzerindeki etkisini incelemek için, başarımlı ölçütü, zaman ağırlıklı hata karelerinin toplamı (ITSE) olarak seçilmiştir.

$$ITSE = \int t e^2(t) dt \quad (3.3)$$

3.2. Kural Tabanı Değiştirme Stratejisinin Belirlenmesi

Önerilen kural tabanı öz-ayarlamalı kaydırma yönteminin bağlı olduğu parametreleri belirleyebilmek adına dokuz farklı sistem belirlenmiştir. Bu dokuz sistemden her üç tanesi (3.2) ile ifade edilen aynı kontrol edilebilirlik oranına sahiptir. Böylece, üç ayrı zaman gecikme değeri için üçer adet farklı kontrol edilebilirlik oranına sahip toplamda dokuz adet sistem ele alınmıştır. Ölçeklendirme çarpanlarının değerleri bahsedilen dokuz ayrı sistem için ayrı ayrı ITSE kriterine göre genetik algoritma yardımı ile bulunmuştur.

Tablo 3.1: Önerilen kontrol yöntemlerini incelemek için yararlanılan sistem transfer fonksiyonları

$L \setminus \tau$	$\tau=0.25$	$\tau=0.33$	$\tau=0.4$
$L=0.5$	$G_1(s) = \frac{1}{1+1.5s} e^{-0.5s}$	$G_2(s) = \frac{1}{1+s} e^{-0.5s}$	$G_3(s) = \frac{1}{1+0.75s} e^{-0.5s}$
$L=1$	$G_4(s) = \frac{1}{1+3s} e^{-1s}$	$G_5(s) = \frac{1}{1+2s} e^{-1s}$	$G_6(s) = \frac{1}{1+1.5s} e^{-1s}$
$L=1.5$	$G_7(s) = \frac{1}{1+4.5s} e^{-1.5s}$	$G_8(s) = \frac{1}{1+3s} e^{-1.5s}$	$G_9(s) = \frac{1}{1+2.25s} e^{-1.5s}$

Bu sistem modelleri kullanılarak, her bir L ve T değeri için kural tabanı kaydırılarak ITSE değerlerini veren tablolar oluşturulmuştur. Bu bildiride kural tabanı kaydırma sonuçları, örnek olarak, sadece zaman gecikmesi $L=1s$ olan sistemler için Tablo 3.2, Tablo 3.3 ve Tablo 3.4 de sunulmuştur. Tabloların her satırı o satırdaki en küçük ITSE değerini koyu mavi, en büyük ITSE değerini koyu kırmızı gösterecek şekilde renklendirilmiştir. Tablodaki her bir satır boyunca transfer fonksiyonu aynı olan sistemler bulunmaktadır. Her sütun farklı bir kural tabanını içermektedir.

Tablolarda, örneğin FLC_0011L olarak adlandırılan kontrolörde tüm satırlar eşit olarak kaydırılmamıştır; $\Delta e = Z$

(sıfır) sırasının alt ve üst taraflarında kaydırma miktarları eşit ve zıt yöndedir. '0' komşu satırların kaydırılmadığı ve '1' uygun yönlerde bir hücre için kaydırıldığını göstermektedir. L harfi sola, R harfi sağa kaymayı simgelemektedir. Kaydırma şeması 0011L (düşükten daha yüksek Δe hata değişim değerlerine kaydırılan hücre sayısı) olarak kodlanmıştır ve FLC_0011L ilgili kontrolör olarak isimlendirilmiştir.

Tablo 3.2: L=1s ve T=2s olan sistem için zaman gecikmesine göre kural tabanı kaydırılmış kontrol yöntemlerinin ITSE kriteri değerleri

ΔL	FLC_0233L	FLC_0122L	FLC_0112L	FLC_0011L	FLC	FLC_0001R	FRC_0011R	FRC_0112R
-0.4	0.483434575	0.495863662	0.515582846	0.558729143	0.623004976	0.81650172	0.90960557	1.64344323
-0.3	0.607213081	0.586254534	0.589899023	0.615501741	0.663599498	0.87576325	0.96166684	1.71696244
-0.2	0.78988847	0.721319285	0.701460377	0.702980925	0.726744506	0.94623318	1.0235075	1.78818365
-0.1	1.116291676	0.923874762	0.870355484	0.83757637	0.82538194	1.03248288	1.09540121	1.86043303
0	1.961645862	1.277406961	1.138034207	1.046850835	0.981482473	1.14239804	1.18238566	1.93979182
0.1	11.36486051	2.024870822	1.673345132	1.379421442	1.234178341	1.29022831	1.29385124	2.03550421
0.2	155.1713064	4.396253742	3.259137152	1.926499575	1.6575452	1.50330263	1.44829543	2.15009494
0.3	211.3819481	27.74091899	18.75898518	2.878842842	2.403339764	1.83827789	1.68496963	2.27690605
0.4	262.9445954	221.2851579	174.8523848	5.11699663	3.817297607	2.42563788	2.09614449	2.41452668

Tablo 3.3: L=1s ve T=3s olan sistem için zaman gecikmesine göre kural tabanı kaydırılmış kontrol yöntemlerinin ITSE kriteri değerleri

ΔL	FLC_0233L	FLC_0122L	FLC_0112L	FLC_0011L	FLC	FLC_0001R	FRC_0011R	FRC_0112R
-0.4	0.421799795	0.433064035	0.449146816	0.483742215	0.621402327	0.67597962	0.9242395	1.38934079
-0.3	0.548247701	0.519972305	0.518854457	0.53616963	0.6623734	0.72190228	0.98869874	1.40825719
-0.2	0.751455431	0.666597063	0.640903337	0.633721604	0.725941641	0.78568211	1.06108833	1.43774088
-0.1	1.149362857	0.907667643	0.844627169	0.802669685	0.824981251	0.87679283	1.14392086	1.48672921
0	2.265219721	1.374230831	1.211737673	1.087017015	0.981281129	1.01132141	1.24163874	1.56246235
0.1	15.11223744	2.45033297	2.027658356	1.564109202	1.233508457	1.21790291	1.36243372	1.65690181
0.2	228.0129511	5.935947645	4.830242823	2.378421738	1.654530777	1.55064975	1.52227476	1.76460498
0.3	310.1220584	38.09833743	27.69256095	3.990575166	2.392776449	2.1200684	1.75468524	1.88811997
0.4	383.9593253	322.5605477	255.404978	7.842451219	3.783811732	3.17657963	2.1375307	2.0421934

Tablo 3.4: L=1s ve T=1.5 s olan sistem için zaman gecikmesine göre kural tabanı kaydırılmış kontrol yöntemlerinin ITSE kriteri değerleri

ΔL	FLC_0233L	FLC_0122L	FLC_0112L	FLC_0011L	FLC	FLC_0001R	FRC_0011R	FRC_0112R
-0.4	0.48357293	0.49685609	0.51609345	0.55913795	0.62377018	0.81583244	0.91024273	1.64697852
-0.3	0.60470874	0.58656587	0.59067831	0.61577528	0.66428251	0.87511297	0.96252085	1.71943244
-0.2	0.78314482	0.72061506	0.70136927	0.70314479	0.72735596	0.94588381	1.02462295	1.79012193
-0.1	1.09998265	0.92096247	0.86855757	0.83728410	0.83256243	1.03271929	1.09698284	1.86280773
0	1.89151571	1.26806328	1.13111611	1.04478943	0.98026009	1.14339356	1.18455963	1.94296038
0.1	11.45893415	1.986691485	1.64732058	1.371838251	1.228337109	1.29170886	1.29642410	2.03889730
0.2	155.7905804	4.220085711	3.083130061	1.903352809	1.638811075	1.50356984	1.450045188	2.153761738
0.3	211.2395804	22.26492577	14.90087601	2.807456481	2.348976564	1.83122509	1.681459468	2.281450096
0.4	260.119991	215.9747821	172.5731228	4.8341719	3.661014896	2.39068336	2.07228625	2.420862837

Yukarıdaki tablolardaki ITSE değerleri incelendiğinde aynı gecikme zamanına fakat farklı zaman sabiti değerlerine sahip sistemler için benzer sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür. Zaman gecikmesindeki azalış için sola kaydırılmış kural tabanlarının, zaman gecikmesindeki artış için ise sağa kaydırılmış kural tabanlarının ITSE değerlerinin kural tabanı kaydırılmamış kontrol sistemlerine göre daha küçük olduğu anlaşılmaktadır. Burada verilememekle birlikte L=0.5 s ve L=1.5 s için oluşturulan tablolarda da aynı sonuçlar ile karşılaşılmıştır. Yapılan incelemeler, sistemdeki zaman gecikmesinin azalması ile kural tablosunun sağa kaydırılması, zaman gecikmesinin artması ile ise sola kaydırılmasının gerektiğini göstermiştir. Sistem gecikmesinin (L) sırasıyla 0.5, 1 ve 1.5 birim zaman olduğu sistemler için önerilen kural tabloları sırasıyla Tablo 3.5, Tablo 3.6 ve Tablo 3.7 de sunulmuştur.

Tablo 3.5: L=0.5 s olan sistemler için önerilen özayarlama stratejisi.

ΔL	Önerilen Kural Tablosu
$\Delta L < -0.15$	FLC_0233L
$-0.15 \leq \Delta L < -0.05$	FLC_0011L
$-0.05 \leq \Delta L < 0.05$	FLC
$0.05 \leq \Delta L < 0.15$	FLC_0011R
$\Delta L \geq 0.15$	FLC_0112R

Tablo 3.6: L=1 s olan sistemler için önerilen özayarlama stratejisi.

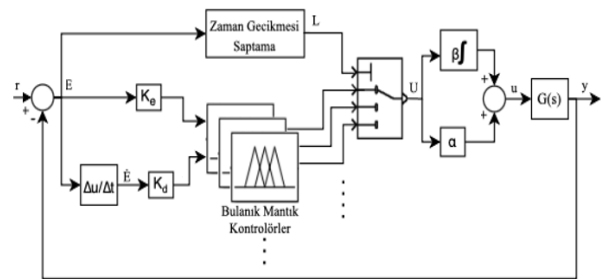
ΔL	Önerilen Kural Tablosu
$\Delta L < -0.35$	FLC_0233L
$-0.35 \leq \Delta L < -0.25$	FLC_0122L
$-0.25 \leq \Delta L < -0.15$	FLC_0112L
$-0.15 \leq \Delta L < 0.15$	FLC
$0.15 \leq \Delta L < 0.35$	FLC_0011R
$\Delta L \geq 0.35$	FLC_0112R

Tablo 3.7: L=1.5 s olan sistemler için önerilen özayarlama stratejisi.

ΔL	Önerilen Kural Tablosu
$\Delta L < -0.55$	FLC_0233L
$-0.55 \leq \Delta L < -0.45$	FLC_0122L
$-0.45 \leq \Delta L < -0.35$	FLC_0112L
$-0.35 \leq \Delta L < -0.15$	FLC_0011L
$-0.15 \leq \Delta L < 0.15$	FLC
$0.15 \leq \Delta L < 0.25$	FLC_0001R
$0.25 \leq \Delta L < 0.55$	FLC_0011R
$\Delta L \geq 0.55$	FLC_0112R

4. Zaman Gecikmesine Bağlı Özayarlama Kural Tabanı

Bu bölümde, Bölüm 3'de açıklanan kural tablosu kaydırma stratejisinden yola çıkılarak sistemin zaman gecikmesine bağlı olarak kural tabloları arasında geçiş yapabilmesi amaçlanmıştır. Kontrol yapısına zaman gecikmesini tespit edilmesini ve tespit edilen zaman gecikmesine göre kural tabanları arasında geçiş yapmasını sağlayacak bir ekleme yapılmıştır. Şekil 4.1'de güncellenmiş yapı görülmektedir.



Şekil 4.1: Özayarlama kural tablosu ile bulanık mantık kontrol blok diyagramı.

Bu çalışmada zaman gecikmesi, referans işaretinin değiştiği andan itibaren sistemin hata değerinin referans işaretindeki

değişime yakın olduğu süre göz önüne alınarak belirlenmiştir. Tablo 4.1, Tablo 4.2 ve Tablo 4.3 de farklı zaman gecikmeleri için kural tabanı kaydırılmamış, kaydırılmış ve özayarlama kontrol yapıları karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.1: L= 0.5s için kural tabanı kaydırılmamış (NOMİNAL), kaydırılmış (EN İYİ) ve özayarlama (ÖZAYARLAMALI) bulanık mantık kontrol yöntemlerinin ITSE değerleri

L (Zaman Gecikmesi)	τ (Zaman Sabiti)	ΔL	NOMİNAL	EN İYİ	ÖZAYARLAMALI
0.5	1.5	-0,3	0,145341018	0,08245075	0,086756625
		-0,2	0,156150753	0,115087412	0,121499382
		-0,1	0,182474114	0,168758747	0,176995386
		0	0,246567843	0,246567843	0,246567843
		0,1	0,414755228	0,369869377	0,370546357
		0,2	0,942349445	0,524500845	0,612500377
		0,3	3,435960336	0,672660145	1,060461448
		0,4	0,414755228	0,369869377	0,370546357
		0,5	0,942349445	0,524500845	0,612500377
	1	-0,3	0,145594653	0,069832474	0,089927523
		-0,2	0,15624449	0,093254903	0,121079332
		-0,1	0,182468912	0,157655384	0,180073703
		0	0,246508337	0,246508337	0,246508337
		0,1	0,414231658	0,377330037	0,396881891
		0,2	0,936467557	0,50372011	0,703493136
		0,3	3,355490442	0,685282372	1,48352834
		0,4	0,414231658	0,377330037	0,396881891
		0,5	0,936467557	0,50372011	0,703493136
0.75	-0,3	0,149582836	0,08771588	0,08771588	
	-0,2	0,160613837	0,124791699	0,124853683	
	-0,1	0,18646464	0,179468848	0,179885441	
	0	0,249470053	0,249470053	0,249470053	
	0,1	0,420242147	0,368461014	0,374922885	
	0,2	0,998875763	0,536772731	0,61368907	
	0,3	4,299824952	0,69965417	1,251366966	
	0,4	0,420242147	0,368461014	0,374922885	
	0,5	0,998875763	0,536772731	0,61368907	

Tablo 4.2: L=1s için kural tabanı kaydırılmamış (NOMİNAL), kaydırılmış (EN İYİ) ve özayarlama (ÖZAYARLAMALI) bulanık mantık kontrol yöntemlerinin ITSE değerleri

L (Zaman Gecikmesi)	τ (Zaman Sabiti)	ΔL	NOMİNAL	EN İYİ	ÖZAYARLAMALI
1	3	-0,4	0,621402327	0,421799795	0,480756775
		-0,3	0,6623734	0,518854457	0,586357299
		-0,2	0,725941641	0,633721604	0,702381188
		-0,1	0,824981251	0,802669685	0,824916504
		0	0,981281129	0,981281129	0,981281129
		0,1	1,233508457	1,217902909	1,227997287
		0,2	1,654530777	1,522274762	1,492889304
		0,3	2,392776449	1,754685239	2,072782546
		0,4	3,783811732	2,042193402	2,515944535
	2	-0,4	0,623004976	0,483434575	0,48347236
		-0,3	0,663599498	0,586254534	0,58629786
		-0,2	0,726744506	0,701460377	0,70150455
		-0,1	0,82538194	0,82538194	0,82636362
		0	0,981482473	0,981482473	0,981482473
		0,1	1,234178341	1,234178341	1,19619052
		0,2	1,6575452	1,44829543	1,478024
		0,3	2,403339764	1,684969633	2,05760742
		0,4	3,817297607	2,09614449	2,38476952
	1.5	-0,4	0,623770181	0,483572939	0,484132839
		-0,3	0,664282511	0,58656587	0,587207505
		-0,2	0,727355967	0,701369279	0,702029404
		-0,1	0,825624634	0,825624634	0,826488558
		0	0,980260098	0,980260098	0,980260098
		0,1	1,228373109	1,228373109	1,191615571
		0,2	1,638811075	1,450045188	1,462693267
		0,3	2,348976564	1,681459468	2,014110383
		0,4	3,661014896	2,07228625	2,346602272

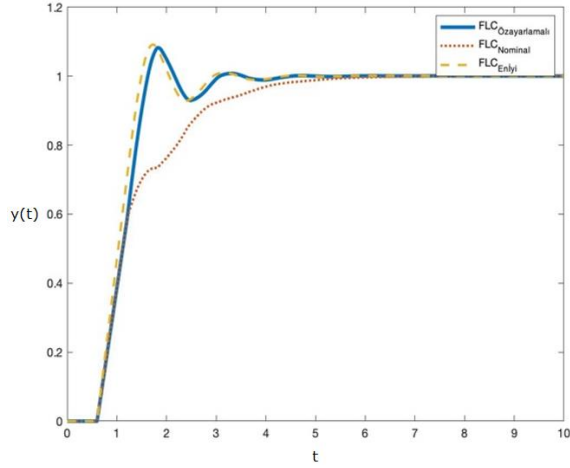
Tablo 4.3: L=1.5s için kural tabanı kaydırılmamış (NOMİNAL), kaydırılmış (EN İYİ) ve özayarlama (ÖZAYARLAMALI) bulanık mantık kontrol yöntemlerinin ITSE değerleri

L (Zaman Gecikmesi)	τ (Zaman Sabiti)	ΔL	NOMİNAL	EN İYİ	ÖZAYARLAMALI
1,5	4,5	-0,6	1,39613689	1,02679009	1,08305823
		-0,5	1,452796	1,17646004	1,23973509
		-0,4	1,5287642	1,33017187	1,40056207
		-0,3	1,63061327	1,50786091	1,57578234
		-0,2	1,76750202	1,70632284	1,76529273
		-0,1	1,95241477	1,95241477	1,95955241
		0	2,20412736	2,20412736	2,20412736
		0,1	2,55042266	2,55042266	2,51024956
		0,2	3,03353387	2,96110006	2,96544991
		0,3	3,71973662	3,30559715	3,32001916
		0,4	4,71707037	3,62285625	3,98371216
		0,5	6,2099582	4,05988759	5,09989822
		0,6	8,53129293	4,70036425	5,50497183
		-0,6	1,39704884	1,08503198	1,08584909
		-0,5	1,4533679	1,2386936	1,24005455
		-0,4	1,52907456	1,39675991	1,4121039
		-0,3	1,63074391	1,57543556	1,62713145
		-0,2	1,76752532	1,76006929	1,76611214
	-0,1	1,95236677	1,95236677	1,9663504	
	0	2,20395277	2,20395277	2,20395277	
	0,1	2,54986392	2,54986392	2,4855621	
	0,2	3,03190575	3,0101184	2,9214161	
	0,3	3,71545826	3,25604304	3,30915135	
	0,4	4,70666012	3,58106983	3,8946306	
	0,5	6,18577034	4,03326856	4,95018664	
	0,6	8,47608483	4,70052807	5,32197451	
	-0,6	1,39683205	1,073676331	1,08365419	
	-0,5	1,452762997	1,226568786	1,23931718	
	-0,4	1,52819373	1,384806339	1,397124037	
	-0,3	1,629678444	1,561918024	1,573613387	
	-0,2	1,766301517	1,753405583	1,764665902	
	-0,1	1,950860274	1,950866506	1,963450249	
	0	2,201724098	2,201724098	2,201724098	
	0,1	2,545841036	2,545831877	2,486308274	
	0,2	3,023761739	3,014262492	2,922035599	
	0,3	3,69835883	3,258547268	3,29898357	
	0,4	4,670648069	3,579053855	3,886926097	
	0,5	6,110032514	4,020619029	4,925020766	
	0,6	8,315603653	4,663902328	5,327874414	

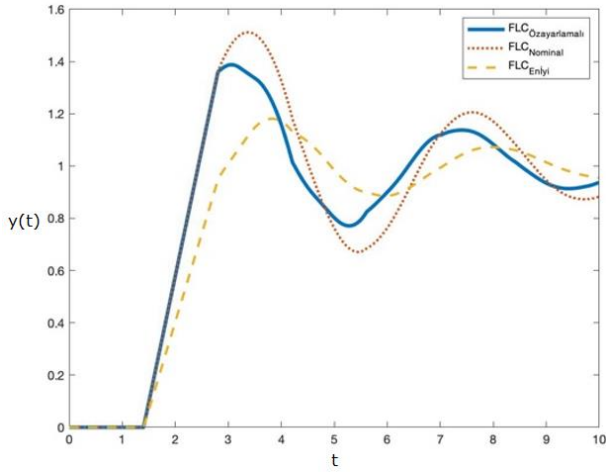
Önerilen yöntemin sistem basamak yanıtları üzerindeki etkisini görmek üzere, Tablo 3.1 de yer alan sistemlerden

$$G(s) = \frac{1}{1 + 3s} e^{-s}$$

sistemini ele alalım. Bu sisteme gecikme zamanının “-0.4” değiştiği duruma ilişkin basamak yanıtları kural tabanı kaydırılmamış (NOMİNAL), kaydırılmış (EN İYİ) ve özayarlama (ÖZAYARLAMALI) olmak üzere Şekil 4.2 de ve “0.4” değiştiği duruma ilişkin basamak yanıtları kural tabanı kaydırılmamış (NOMİNAL), kaydırılmış (EN İYİ) ve özayarlama (ÖZAYARLAMALI) olmak üzere Şekil 4.3 de görülmektedir. Şekil 4.2’den görüldüğü üzere zaman gecikmesinin L=0.4 olduğu durumda, “EN İYİ” ile belirtilen sistem yanıtı, “NOMİNAL” ile belirlenen sistem yanıtından oldukça farklı iken, “ÖZAYARLAMA” ile belirtilen yanıt oldukça yakındır. Şekil 4.3’de gösterilen zaman gecikmesinin L=0.4 olduğu durumda ise “NOMİNAL” ile belirtilen sistem yanıtı, “EN İYİ” ile belirtilen sistem yanıtından yine oldukça farklı iken “ÖZAYARLAMA” ile belirtilen sistem yanıtı her ikisinin arasında bir tavır sergilemiştir.



Şekil 4.2: $G(s) = \frac{1}{1+3s}e^{-s}$ sistemi için zaman gecikmesinin “-0.4” değişimine ilişkin basamak giriş yanıtları



Şekil 4.3: $G(s) = \frac{1}{1+3s}e^{-s}$ sistemi için zaman gecikmesinin “0.4” değişimine ilişkin basamak giriş yanıtları

4. Sonuçlar

Bu çalışmada zaman gecikmesi olan ve değişen sistemler için özayarlama olarak kural tabanı kaydırılmış bulanık mantık kontrol yöntemi önerilmiştir. Öncelikle zaman gecikmeli sistemler için zaman gecikmesinin değerinin, sistem zaman sabitinin, hata değişimi büyüklüğünün ve zaman gecikmesi değişiminin etkisi detaylı incelenmiştir. Sistemdeki zaman gecikmesinin artması durumunda kural tabanının sol yönde, sistemdeki zaman gecikmesinin azalması durumunda ise kural tabanının sağ yönde kaydırılması önerilmiştir. Bu kaydırma şemaları çeşitli zaman gecikmesi ve zaman sabitine sahip sistemler üzerinde denenmiş ve özayarlama kural tabanı kaydırma stratejisi belirlenmiştir. Belirlenen yöntem, aynı şekilde çeşitli zaman gecikmesi ve zaman sabitine sahip sistemler üzerinde test edilmiştir. Simülasyon sonuçları zaman gecikmesindeki değişimi bilinmeyen sistemler için önerilen

özayarlama kural tabanı kaydırılmalarının sistemin başarımını iyileştirdiğini açıkça göstermiştir.

Kaynakça

- [1] R.K. Mudi and N.R. Pal, “A robust Self-tuning Scheme for PI and PD Type Fuzzy Controllers”, IEEE Trans. Fuzzy Systems, Cilt:7, No:1, s: 2–6, 1999
- [2] S. Skogestad, “Simple Analytic Rules for Model Reduction and PID Controller Tuning”, J. Process Control, Cilt:13, No:4, s:291-309, 2002.
- [3] F. G. Shinskey, Process Control Systems—Application, Design, and Tuning, McGraw-Hill, New York, 1998
- [4] Han-Xiong Li and S. K. Tso, Higher Order Fuzzy Control Structure for Higher Order or Time-Delay Systems, IEEE Trans. Fuzzy Systems, Cilt:7, No:5, s: 814- 829, 1999.
- [5] H. X. Li and H. B. Gatland, A New Methodology for Designing a Fuzzy Logic Controller, IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., Cilt: 25, No:3, s:505–512, 1995.
- [6] Po-Rong Chang and Bor-Chin Wang, Adaptive Fuzzy Proportional Integral Power Control for a Cellular CDMA System with Time Delay, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Cilt:14, No:9, s:1818-1829, 1996.
- [7] Y.Bai, H. Zhuang, and Z. S. Roth, Fuzzy Logic Control to Suppress Noises and Coupling Effects in a Laser Tracking System, IEEE Transactions on Control Systems Technology, Cilt:13, No:1, s:113 – 12, 2005.
- [8] Chen, K.Y., Tung, P.C., Tsai, M.T. and Fan, Y.H., A self-tuning fuzzy PID-type controller design for unbalance compensation in an active magnetic bearing. Expert Systems with Applications, Cilt:36, No:4, s:8560-8570, 2009.
- [9] Ayuba, P., Zachariah, B., & Damuut, L. P., Modification of fuzzy logic rule base in the optimization of traffic light control system. Science World Journal, Cilt:13, No:2, s:6-11, 2018.
- [10] Genc, H.M., Yesil, E., Eksin, I., Guzelkaya, M. and Tekin, O.A., A rule base modification scheme in fuzzy controllers for time-delay systems. Expert Systems with Applications, Cilt:36, No:4, s:8476-8486, 2009.