



**T. C.  
SIVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOĞRU AKIM MOTORUNUN BULANIK VE KAYMA KIPLI  
BULANIK KONTROLÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Basri YARAŞ  
(201092151067)**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Vekil SARI**

**SIVAS  
EYLÜL 2019**

**Basri YARAŞ**'ın hazırladığı ve ‘‘**DOĞRU AKIM MOTORUNUN BULANIK VE KAYMA KIPLI BULANIK KONTROLÜ**’’ adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı :**      **Dr. Öğr. Üyesi Vekil SARI**      .....

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Dr. Öğr. Üyesi Fatih KABURCUK**      .....

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi Ayhan ALTINÖRS**      .....

Fırat Üniversitesi

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

**Prof. Dr. Özlem Pelin CAN**  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

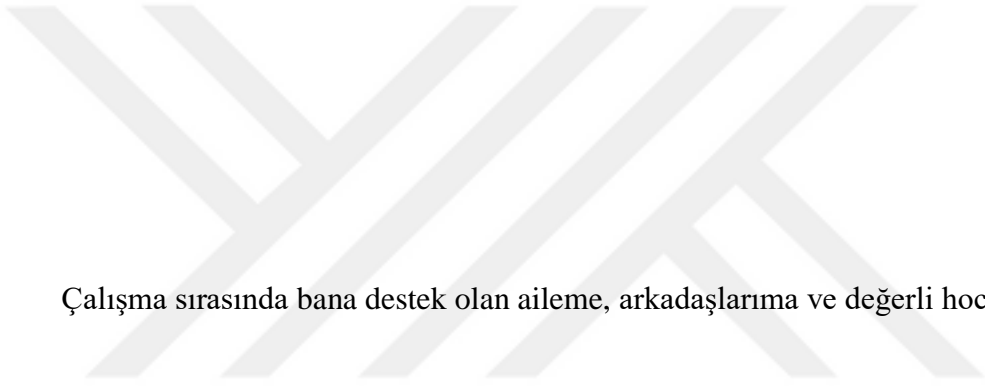
Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.





Bütün hakları saklıdır.  
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Basri YARAŞ, 2019



Çalışma sırasında bana destek olan aileme, arkadaşlarıma ve değerli hocalarıma...

## ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

11.09.2019

Basri YARAŞ

## KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bilgi ve deneyimleri ile beni yalnız bırakmayan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Vekil SARI'ya çok teşekkür ederim.

Sabırlı ve güler yüzlü emekli danışman hocam Doç. Dr. Rafael HÜSEYNOV'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışması süresince bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren saygı değer hocam Doç. Dr. Manafeddin NAMAZOV'a teşekkürü bir borç bilirim.

Emeğini esirgemeyerek, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan Dr. Öğr. Üyesi Ayhan ALTINÖRS'e de teşekkürü bir borç bilirim.

## ÖZET

### DOĞRU AKIM MOTORUNUN BULANIK VE KAYMA KIPLİ BULANIK KONTROLÜ

**Basri YARAŞ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Vekil SARI**

**2019, 79+ xv sayfa**

Doğru akım (DA) motorları konum ve hız kontrolü gerektiren uygulamalarda sıklıkla kullanılırlar. DA motorlarının çalışması sırasında direnç ve endüktans gibi parametreler zamanla değişirken, motorun maruz kaldığı yükte ise belirsizlikler olabilir. Bu sebeple özellikle hassasiyeti yüksek sistemlerde uygulanan denetim yönteminin iyi seçilmesi gerekir. Bu çalışmada, bulanık denetim ile kayma kipli denetim yöntemleri sentezlenerek, bulanık denetime göre daha dayanıklı bir yöntem geliştirilmiştir. Parametre değişimleri ve belirsizlikler, Matlab/Simulink/Robust Control Toolbox kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Direnç ve endüktansa tolerans, yüke ise belirsizlik verilmiştir. Benzetim sonuçlarına bakılarak kayma kipli bulanık denetim yönteminin, bulanık denetim yöntemine göre yük değişimlerine ve belirsizliklerine karşı daha dayanıklı olduğu, yerleşme süresinin daha kısa olduğu ve sistemin daha hızlı referans sinyaline ulaştığı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Bulanık Kontrol, Kayma Kipli Kontrol, DA Motor Modeli



## **ABSTRACT**

# **FUZZY AND SLIDING MODE FUZZY CONTROL OF DIRECT CURRENT MOTOR**

**Basri YARAŞ**

**Master of Science Thesis**

**Department of Electrical and Electronics Engineering**

**Supervisor: Asst. Prof. Vekil SARI**

**2019, 79+xv pages**

Direct current (DC) motors are often used in applications requiring position and speed control. While parameters such as resistance and inductance varies in time during operation of DC motors, in the load exposed to motor may be uncertainties. For this reason, especially the control method applied in the high-accuracy systems must be best selected. In this study, a method which more durable based on fuzzy control has been developed synthesizing sliding mode control with fuzzy control methods. Parameter variations and uncertainties are carried out using the library of Matlab/Simulink/Robust Control Toolbox. As the tolerance is given to the resistance and inductance, uncertainty is given to the load. By looking at the results of the simulation sliding mode fuzzy control method based on fuzzy control method has been concluded that is more stable against load variations and uncertainties, settling time is shorter than, and the system reaches a faster reference signal.

**Key Words:** Fuzzy Control, Sliding Mode Control, Model of DC Motor

## İÇİNDEKİLER

<b>KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR .....</b>	<b>vii</b>
<b>ÖZET.....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ .....</b>	<b>xi</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ .....</b>	<b>xiii</b>
<b>SİMGELER DİZİNİ .....</b>	<b>xiv</b>
<b>KISALTMALAR DİZİNİ .....</b>	<b>xv</b>
<b>1.GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1.Bulanık Denetimin ve Kayma Kipli Denetimin Tarihsel Gelişimi .....	2
1.2.Tezin Amacı ve Kapsamı .....	4
1.3.Tezin Çalışma ve Değerlendirme Yöntemi .....	5
1.4.Tezin İçeriği .....	5
<b>2.DOĞRU AKIM MOTORU VE DOĞRU AKIM MOTORUNUN MATEMATİKSEL MODELİ.....</b>	<b>6</b>
2.1.Doğru Akım Motoru.....	6
2.2.Doğru Akım Motorunun Matematiksel Modeli .....	8
<b>3.BULANIK KONTROL.....</b>	<b>10</b>
3.1.Bulanık Kümeler ve Bulanık Mantık .....	10
3.2.Bulanık Denetim Sistemi.....	11
3.2.1.Bulanıklaştırma.....	12
3.2.2.Kural tabanı ve bulanık çıkarım mekanizması .....	14
3.2.3.Durulaştırma .....	18
<b>4.DOĞRU AKIM MOTORUNUN BULANIK KONTROLÜ .....</b>	<b>20</b>
<b>5.KAYMA KIPLİ KONTROL .....</b>	<b>26</b>
<b>6.DOĞRU AKIM MOTORUNUN KAYMA KIPLİ BULANIK KONTROLÜ. 30</b>	<b>30</b>
6.1.Giriş .....	30
6.2.Satürasyon Bloğunun Önemi.....	40
6.3.Çatırdama Problemi ve Geciktiricinin Önemi.....	46
<b>7.BULGULAR VE BENZETİM SONUÇLARI .....</b>	<b>50</b>
7.1.Toleranslı Direnç ve Endüktans .....	50
7.2.Yükteki Belirsizlik .....	55
7.3.Merdiven Şeklinde Basamak Referans Sinyal .....	58
7.4.Değişken Referans Sinyal .....	62
7.5.Çatırdama Problemi.....	65
<b>8.SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>69</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>72</b>
<b>EK-1</b> Bulanık Kontrolörde Direnç Ve Endüktansa Tolerans, Yüke Belirsizlik Ekleyebilmek İçin Yazılan Matlab Dosyası .....	<b>74</b>
<b>EK-2</b> Kayma Kipli Bulanık Kontrolörde Direnç Ve Endüktansa Tolerans, Yüke Belirsizlik Ekleyebilmek İçin Yazılan Matlab Dosyası.....	<b>76</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>78</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 DA motorunun prensip şeması. ....	7
Şekil 2.2 DA motoru blok diyagramı.....	9
Şekil 3.1 En sık kullanılan üyelik fonksiyonları.....	11
Şekil 3.2 Bulanık denetim sisteminin genel yapısı. ....	12
Şekil 3.3 Giriş değişkeni olan donanım için üyelik fonksiyonları ve donanım=12 giriş değeri için üyelik dereceleri.....	13
Şekil 3.4 Giriş değişkeni olan model için üyelik fonksiyonları ve model=8 giriş değeri için üyelik dereceleri. ....	13
Şekil 3.5 Çıkış değişkeni olan fiyat için üyelik fonksiyonları.....	14
Şekil 3.6 donanım=12 ve model=8 giriş değerleri için ima ve toplama işlem görseli.....	17
Şekil 3.7 AutoCAD programında ‘‘massprop’’ komutu yardımıyla elde edilen fiyat* değeri.....	18
Şekil 4.1 Giriş değişkenleri olan hata (e) ve hatanın türevi (de/dt) için üyelik fonksiyonları. ....	20
Şekil 4.2 Çıkış değişkeni olan kontrol sinyali (u) için üyelik fonksiyonları. ....	21
Şekil 4.3 DA motoru BD blok diyagramı.....	22
Şekil 4.4 BD optimizasyon koşulları. ....	23
Şekil 4.5 BD optimizasyon süreci.....	24
Şekil 4.6 BD yüzey diyagramı.....	25
Şekil 5.1 Erişim ve kayma kipleri.....	27
Şekil 5.2 $e(0)=-10$ rad için hata (e), hatanın türevi (de/dt) ve kaymanın (S) zamanla değişimi.....	28
Şekil 5.3 $\theta(0)=10$ rad için konum ( $\theta$ ), açısal hız ( $\omega$ ) ve kaymanın (S) zamanla değişimi.....	29
Şekil 6.1 DA motoru KKBD blok diyagramı.....	31
Şekil 6.2 PD denetleyici bloğu.....	32
Şekil 6.3 KKBD optimizasyon koşulları. ....	33
Şekil 6.4 KKBD optimizasyon süreci.....	34
Şekil 6.5 KKBD’de kayma fonksiyonu. ....	36
Şekil 6.6 KKBD’de kontrol sinyali.....	37
Şekil 6.7 Giriş değişkenleri olan kayma (S) ve kayma farkı (dS) için üyelik fonksiyonları. ....	38
Şekil 6.8 Çıkış değişkeni olan $K_{\text{bulanık}}$ için üyelik fonksiyonları. ....	39
Şekil 6.9 KKBD yüzey diyagramı. ....	40
Şekil 6.10 KKBD’de satürasyon bloğunun önemi.....	41
Şekil 6.11 Referans sinyal ( $\theta_{\text{ref}}$ ).....	42
Şekil 6.12 KKBD’de satürasyon öncesi kontrol sinyali. ....	44
Şekil 6.13 KKBD’de satürasyon sonrası kontrol sinyali. ....	45
Şekil 6.14 Giriş değişkenleri olan kayma (S) ve kaymanın türevi (dS/dt) için üyelik fonksiyonları. ....	46
Şekil 6.15 dS/dt bulanık girişli DA motoru KKBD blok diyagramı.....	47
Şekil 6.16 dS/dt bulanık girişli KKBD optimizasyon koşulları.....	48
Şekil 6.17 dS/dt bulanık girişli KKBD optimizasyon süreci. ....	49
Şekil 7.1 Referans sinyal ( $\theta_{\text{ref}}$ ).....	51

<b>Şekil 7.2</b> $R_a=11,2 \Omega \pm \%20$ ve $L_a=0,1215 H \pm \%20$ belirsizlik sınırları içerisinde BD çıkış sinyalleri. ....	52
<b>Şekil 7.3</b> $R_a=11,2 \Omega \pm \%20$ ve $L_a=0,1215 H \pm \%20$ belirsizlik sınırları içerisinde dS bulanık girişli KKBD çıkış sinyalleri.....	53
<b>Şekil 7.4</b> $R_a=11,2 \Omega \pm \%20$ ve $L_a=0,1215 H \pm \%20$ belirsizlik sınırları içerisinde dS/dt bulanık girişli KKBD çıkış sinyalleri. ....	54
<b>Şekil 7.5</b> $R_a=11,2 \Omega \pm \%20$ , $L_a=0,1215 H \pm \%20$ ve $T_{yük}=0-50J_m$ belirsizlik sınırları içerisinde BD çıkış sinyalleri. ....	56
<b>Şekil 7.6</b> $R_a=11,2 \Omega \pm \%20$ , $L_a=0,1215 H \pm \%20$ ve $T_{yük}=0-50J_m$ belirsizlik sınırları içerisinde KKBD çıkış sinyalleri. ....	57
<b>Şekil 7.7</b> Referans sinyal ( $\theta_{ref}$ ). ....	59
<b>Şekil 7.8</b> $R_a=11,2 \Omega \pm \%20$ , $L_a=0,1215 H \pm \%20$ ve $T_{yük}=0-50J_m$ belirsizlik sınırları içerisinde BD çıkış sinyalleri. ....	60
<b>Şekil 7.9</b> $R_a=11,2 \Omega \pm \%20$ , $L_a=0,1215 H \pm \%20$ ve $T_{yük}=0-50J_m$ belirsizlik sınırları içerisinde KKBD çıkış sinyalleri. ....	61
<b>Şekil 7.10</b> $R_a=11,2 \Omega$ , $L_a=0,1215 H$ ve $T_{yük}=25J_m$ için BD referans ve çıkış sinyali. ....	63
<b>Şekil 7.11</b> $R_a=11,2 \Omega$ , $L_a=0,1215 H$ ve $T_{yük}=25J_m$ için KKBD referans ve çıkış sinyali. ....	64
<b>Şekil 7.12</b> $R_a=13,44 \Omega$ , $L_a=0,1458 H$ , $T_{yük}=50J_m$ ve $t_{örneklem}=0,01 s$ için dS/dt bulanık girişli KKBD referans ve çıkış sinyali. ....	66
<b>Şekil 7.13</b> $R_a=13,44 \Omega$ , $L_a=0,1458 H$ , $T_{yük}=50J_m$ ve $t_{örneklem}=0,01 s$ için dS bulanık girişli KKBD referans ve çıkış sinyali. ....	67

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Üyelik dereceleri.....	14
Çizelge 3.2 Kural çizelgesi .....	14
Çizelge 3.3 İma işlemi .....	16
Çizelge 4.1 BD kuralları .....	25
Çizelge 6.1 KKBD kuralları .....	39



## SİMGELER DİZİNİ

<b>B<sub>m</sub></b>	Vizkoz sürtünme katsayısı, Nms/rad
<b>e</b>	Hata sinyali, rad
<b>E<sub>b</sub></b>	Zıt EMK, V
<b>I<sub>a</sub></b>	Armatür akımı, A
<b>J<sub>m</sub></b>	Rotor eylemsizliği, kgm <sup>2</sup>
<b>K<sub>b</sub></b>	Zıt EMK sabiti, Vs/rad
<b>K<sub>d</sub></b>	Türevsal kazanç katsayısı
<b>K<sub>p</sub></b>	Oransal kazanç katsayısı
<b>K<sub>t</sub></b>	Tork sabiti, Nm/A
<b>L<sub>a</sub></b>	Armatür endüktansı, H
<b>n</b>	Devir sayısı, rpm
<b>P</b>	Güç, hp
<b>R<sub>a</sub></b>	Armatür direnci, Ω
<b>S</b>	Anahtarlama (kayma) fonksiyonu
<b>T<sub>m</sub></b>	Motor torku, Nm
<b>T<sub>yük</sub></b>	Motor torku, Nm
<b>u</b>	Kontrol sinyali, V
<b>u<sub>eq</sub></b>	Eşdeğer kontrol sinyali, V
<b>u<sub>s</sub></b>	Kayma sinyali, V
<b>V<sub>a</sub></b>	Armatür gerilimi, V
<b>V<sub>N</sub></b>	Nominal gerilim, V
<b>ω</b>	Açısal hız, rad/s
<b>θ</b>	Konum, rad

## KISALTMALAR DİZİNİ

<b>BD</b>	:	Bulanık Denetleyici
<b>CC</b>	:	Cohen-Coon
<b>CHR</b>	:	Chien-Hrones-Reswich
<b>DA</b>	:	Doğru Akım
<b>DC</b>	:	Direct Current (Doğru Akım)
<b>EMK</b>	:	Elektro Motor Kuvvet
<b>FLC</b>	:	Fuzzy Logic Controller (Bulanık Mantık Denetleyici)
<b>KKBD</b>	:	Kayma Kipli Bulanık Denetleyici
<b>KKD</b>	:	Kayma Kipli Denetleyici
<b>L</b>	:	Large (Büyük)
<b>M</b>	:	Medium (Orta)
<b>NB</b>	:	Negative Big (Negatif Büyük)
<b>NS</b>	:	Negative Small (Negatif Küçük)
<b>PB</b>	:	Positive Big (Pozitif Büyük)
<b>PD</b>	:	Proportional-Derivative (Oransal-Türevsel)
<b>PI</b>	:	Proportional-Integral (Oransal-İntegral)
<b>PID</b>	:	Proportional-Integral-Derivative (Oransal-İntegral-Türevsel)
<b>PS</b>	:	Positive Small (Pozitif Küçük)
<b>S</b>	:	Small (Küçük)
<b>XL</b>	:	Extra Large (Çok Büyük)
<b>XS</b>	:	Extra Small (Çok Küçük)
<b>ZE</b>	:	Zero (Sıfır)
<b>ZN</b>	:	Ziegler-Nichols

## 1.GİRİŞ

Doğru akım (DA) motorlarının denetiminde sade ve basit yapıları nedeniyle, oransal, integral ve türevsel kazançtan oluşan PID (Proportional-Integral-Derivative) denetleyici veya alternatifleri olan PI, PD denetleyiciler tercih edilebilir. PID denetleyiciler endüstriyel sistemlerde yaygın olarak kullanılır. PID denetleyicilerin parametrelerini ayarlamak amacıyla farklı yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan açık çevrim yöntemlerden en çok bilinenleri;

- Ziegler-Nichols'un (ZN) birinci yöntemi
- Chien-Hrones-Reswich (CHR) yöntemi
- Cohen-Coon (CC) yöntemi

olup; kapalı çevrim yöntemleri 4 gruba ayrılabilir;

- Ziegler-Nichols yöntemi
- Geliştirilmiş Ziegler-Nichols yöntemi
- Tyreus Luyben yöntemi
- Sönümlü sinüsoidal yöntem

Tüm bu yöntemler başarılı sonuçlar vermekle birlikte; istenen sistem cevabını elde edebilmek için gerekli olan optimal PID parametre değerlerini hesaplamak, zaman alıcı ve zahmetlidir. Ayrıca elde edilen bu değerlerin farklı koşullar altında tekrar optimizasyonunun yapılması gerekir [1-4].

Matematiksel olarak modellenmesi zor veya imkansız olan, parametreleri kesin olarak bilinmeyen veya parametreleri zamana ve ortam şartlarına bağlı olarak değişen, doğrusal olmayan sistemlerin denetiminde, PID denetleyicilerin kullanılması, istenen sistem çıkışını elde edebilmek için yetersiz kalabilir. Zadeh'in literatüre sunduğu bulanık kümeler teorisi [5] ve bulanık kümeler teorisi ile gelişim gösteren bulanık denetim yöntemi belirsizliklerle başa çıkabilecek etkili bir denetim yöntemidir. Bulanık denetim yönteminin en büyük avantajı, sistemlerin matematiksel modeline ihtiyaç duymadan, kompleks yapılı, doğrusal olmayan, belirsizlik içeren sistemlerin denetiminde dahi başarılı ve etkili denetim sistemleri oluşturulabilmesidir [6,7].

Sistemlerin denetiminde karşılaşılan belirsizlikler iki sınıfa ayrılabilir;



- Yapılandırılmış belirsizlikler (parametrik belirsizlikler)
- Yapılandırılmamış belirsizlikler (parametrik olmayan belirsizlikler veya modellenmemiş dinamikler)

Parametrik belirsizlikler, model içindeki terimlere ait ölçme hatalarına, parametrik olmayan belirsizlikler ise sistem derecesindeki eksiklikten kaynaklanan belirsizliklere karşılık gelir.

Bulanık denetim uygulamaları, günümüzün karmaşık problemlerinin çözümünde ve belirsizlik içeren sistemlerin denetiminde kullanışlı bir denetim haline gelmiştir.

Kompleks yapılı, doğrusal olmayan ve belirsizlik içeren sistemlerin denetimine çözüm getiren yöntemlerden biri de dayanıklı denetim yöntemidir. Dayanıklı denetim, denetlenen sistemdeki parametre değişimlerine veya belirsizliklerine, parametrik olmayan belirsizliklere ya da modellenmemiş dinamiklere ve harici bozucu girişlere karşı istenen sistem çıkışı muhafaza edebilen veya kabul edilebilir sınırlar içerisinde tutabilen etkili bir denetim yöntemidir. Bu yöntemdeki denetleyiciye ise dayanıklı denetleyici denir [8-10].

Dayanıklı denetimde en çok kullanılan yaklaşımlardan biri de kayma kipli denetim yöntemidir. Kayma kipli denetim yöntemi, parametrik belirsizliklerin, modellenmemiş dinamiklerin ve bozucu girişlerin etkilerinin görüldüğü durumlarda, parametrik ve parametrik olmayan belirsizliklerin ve bozucu girişlerin sınır değerleri bilindiği sürece dayanıklı bir denetim sağlar [11].

### **1.1.Bulanık Denetimin ve Kayma Kipli Denetimin Tarihsel Gelişimi**

Klasik küme teorisine göre bir nesne bir kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Nesne kümeye ya tam üyedir yani üyelik derecesi 1'dir ya da üye değildir yani üyelik derecesi 0'dır. Klasik kümelerde elemanların üyelik dereceleri bu yüzden değer kümesinde "{0,1}" şeklinde iki değer alabilir. Zadeh, 1965 yılında klasik kümelerden daha geniş uygulama imkanına sahip bulanık kümeler teorisini ortaya atmıştır [5]. Zadeh, "Hayvanlar" kümesini bulanık kümelere örnek olarak göstermiştir. Mantar, bakteri gibi canlıların bu kümeye aitliğinin belirsiz olduğunu ifade etmiş, sadece iki üyelik derecesi ile değil, 0 ile 1 arasında çeşitli üyelik dereceleri alabilen bulanık küme gösterim şekline genişletmiştir. Bulanık kümelerde elemanların üyelik dereceleri bu yüzden değer kümesinde "[0,1]" şeklinde değerler alabilir.

Zadeh, sonraki çalışmalarında ekonomi, yönetim bilimi gibi toplumsal ölçekli sistemlerde, kompleks ve belirsiz durumların analizinde geleneksel yöntemlerin yetersiz kaldığını, bulanık kümeler teorisi ile bulanık mantığın kullanımını araştırmıştır [12,13].

Bulanık mantığın denetim uygulamalarındaki ilk kullanımı Ebrahim Mamdani ve Seto Assilian'ın, endüstriyel bir süreci denetlemeyi öğrenebilecek, adaptif bir sistem geliştirme çabaları ile olmuştur [6]. Mamdani ve Assilian, Zadeh'in bulanık mantığının, dilsel kuralları uygun bir denetim stratejisine dönüştürebilecek bir araç olduğunu fark etmiş ve endüstriyel bir süreci denetleyebilmek amacıyla bulanık mantık denetleyicisi (Fuzzy LogicFLC) adını verdikleri yeni bir denetleyici oluşturarak, sistem performansını incelemişlerdir.

Kickert ve van Nauta Lemke, doğrusal olmaması ve değişkenlik göstermesi nedeniyle denetlenmesi zor olan bir sıcak su sürecini bulanık denetleyici ile denetlemeyi başarmışlardır [7].

Ostergaard, laboratuvar ölçekli bir ısı eşanjörünün denetiminde bulanık denetim yöntemini kullanmıştır [14]. Ostergaard ve Holmblad, bulanık denetimin endüstriyel alanda ilk uygulamasını yapmışlar, bulanık denetim uygulamalarını çimento fabrikalarında geliştirmişlerdir [15].

Günümüzde çimento fabrikalarında ısı ve oksijen oranının denetiminde, asansör denetiminde yolcu trafiğini değerlendirmede, bekleme zamanını ayarlama, fotoğraf makinalarında ekranda birden fazla nesne olması durumunda en iyi odaklanmayı ve aydınlatmayı belirlemede, çamaşır makinalarında kirlilik, kumaş cinsi ve ağırlığa göre yıkama programının belirlenmesinde, klimalarda ortam koşullarına en uygun çalışma durumunu saptamada, metro sistemlerinde hızlanma ve yavaşlamayı ayarlayarak yolculuk konforunu artırmada, güç tasarrufu sağlamada, ABS fren sistemlerinde fren sırasında tekerleklerin kilitlenmesini önlemede, hisse senetlerinde portföy yönetiminde, borsada kurdaki dalgalanmaların analizinde bulanık denetim kullanılmaktadır.

Kayma kipli denetimin tarihsel gelişimi ise ilk kez 1950'lerin başlarında tek girişli yüksek dereceli diferansiyel denklemler ile ifade edilen sistemlerde kullanılmasıyla başlamıştır [16]. Ancak çatırdama problemi nedeniyle 1970'lere kadar uygulamada yer alamamıştır.

Utkin vd., kayma kipli denetimin tarihsel gelişimini röleli aç-kapa denetim sistemlerinden başlatmaktadır. Kayma kipli denetleyicide elde edilen kayma sinyali, röleli denetim sistemlerine benzetilmektedir [11].

1980'lerde Slotine ve Sastry doğrusal olmayan zamana bağlı sistemlerde referans sinyali takip edebilecek gelişmeler kaydetmişlerdir [17]. Ancak çatırdama problemi sorunu devam etmektedir. Kalıcı durumda referans sinyal etrafında yüksek frekans osilasyonları ile ortaya çıkan çatırdama problemi, modellenmemiş yüksek frekans dinamiklerini beraberinde getirir. Kalıcı durumda izleme doğruluğu artarken, modellenmemiş yüksek frekans dinamiklerine karşı dayanıklılık azalmaktadır.

Gao ve Hung tarafından klasik kayma kipli denetim yöntemine alternatif olarak Erişim Kuralı Yaklaşımı tanıtılmıştır [16]. Bu yaklaşımda, ulaşılmak istenen anahtarlama fonksiyonu dinamiğinin tanımlanmasıyla dizayna başlanır. Denetim kuralı, sistem ve erişim kuralı eşitlikleri kullanılarak elde edilir. Klasik kayma kipli denetleyicide ise önce Lyapunov fonksiyonu tanımlanır. Denetim kuralı, bu fonksiyondan erişim şartını da sağlayacak şekilde elde edilir.

Lu ve Chan doğrusal olmayan servo sistemlerde [18], Wang vd. statik reaktif güç kompensatörü tasarımında [19], Ha vd. robotik manipülatörlerinde [20], Fallahi ve Azadi doğru akım (DA) motorunun konum kontrolünde [21] kayma kipli denetim ile bulanık denetimi birlikte kullanmışlar, çatırdama probleminin üstesinden gelmeye çalışmışlardır.

## **1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı**

Günümüzde otomatik denetim uygulamalarındaki çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Araştırmacılar tarafından farklı denetim yöntemleri karşılaştırılmakta veya literatüre yeni denetim yöntemleri veya yaklaşımlar sunulabilmektedir. Bu tez çalışmasının amacı; doğru akım (DA) motor modeli üzerinden, Matlab/Simulink ortamında elde edilen benzetim sonuçlarına göre; bulanık denetleyicinin ve bulanık denetim ile kayma kipli denetim yöntemlerinin senteziyle oluşan kayma kipli bulanık

denetleyicinin performanslarını karşılaştırmak ve kayma kipli bulanık denetleyicinin, bulanık denetleyiciye göre yüksek hassasiyet gerektiren uygulamalar için daha iyi sonuçlar verebileceğini araştırmaktır. Çalışma DA motorunun konum denetimi örneğinden yapılırsa da farklı türden sürücülerin veya sistemlerin denetiminde de kullanılabilir.

### **1.3. Tezin Çalışma ve Değerlendirme Yöntemi**

Bu tez çalışmasında, Bulanık Denetleyici için BD, Kayma Kipli Bulanık Denetleyici için KKBD kısaltmaları kullanılmıştır. Matlab/Fuzzy Logic Designer/Mamdani ile bulanık girişler ve kurallar tanımlanmış, Matlab/Simulink ile blok diyagramları oluşturulmuştur. Parametre değişimleri ve belirsizlikler, Matlab/Simulink/Robust Control Toolbox kütüphanesi ve eklerde verilen yazılım parçacıkları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Direnç ve endüktansa tolerans, yüke ise sınırlı belirsizlik verilmiştir. Konu anlatımı kısımlarında özellikle tez çalışmasına ait örnekler verilerek konuların tez çalışmasıyla bütünlüğü sağlanmıştır. Benzetim sonuçları grafiksel olarak elde edilmiş ve grafikler yorumlanarak değerlendirme yapıp, sonuca varılmıştır.

### **1.4. Tezin İçeriği**

Tezin 2, 3, 4, 5 ve 6. bölümleri Materyal ve Metot kısımlarıdır. Tezin 2. bölümünde doğru akım (DA) motorlarının çalışma prensibinden bahsedilmiş, matematiksel modeli ve Matlab/Simulink blok diyagramı çıkarılmıştır. 3. bölümde bulanık denetleyiciler (BD) anlatılmıştır. 4. bölümde tez çalışmasında kullanılan motor parametreleri ile DA motorunun bulanık denetimi yapılmıştır. 5. bölümde kayma kipli denetimden bahsedilmiş, kayma ve erişim kipleri tez çalışmasında kullanılan motor parametreleri ile örneklendirilmiştir. 6. bölümde kayma kipli denetimde olması gereken eşdeğer kontrol ve kayma sinyalleri BD ile elde edilerek kayma kipli bulanık denetleyici (KKBD) adını verebileceğimiz dayanıklı bir denetim yöntemi elde edilmiştir. 7. bölümde çalışmanın bulguları verilmiş, BD ile KKBD'ye ait benzetim sonuçları karşılaştırılmıştır. 8. bölümde tez çalışmasının sonuçları ve önerileri bulunmaktadır.

## 2.DOĞRU AKIM MOTORU VE DOĞRU AKIM MOTORUNUN MATEMATİKSEL MODELİ

### 2.1.Doğru Akım Motoru

Elektromekanik sistemler, elektrikli bir sistemle mekanik bir sistemin birleşimi şeklinde ifade edilebilir. Elektrik enerjisini kullanarak akışkan geçişini ayarlayan elektrikli vanalar ile elektro mıknatıslı tutma, dengeleme ve yük taşıma sistemleri gibi birçok endüstriyel ürün bu tür sistemlere örnek gösterilebilir.

Elektrik makinaları, endüstriyel sistemlerin en önemli sürücü elemanıdır. Elektrik makinaları genel olarak elektrik enerjisini, mekanik enerjiye dönüştüren elemanlardır. Doğru akım ve alternatif akımla çalışabilen ve tahrik ettiği yükün gerekleri de dikkate alınarak çok farklı yapılarda elektrik makinaları geliştirilmiştir. Örneğin, doğru akım motoru, asenkron motor, anahtarlamalı relüktans motor, fırçasız doğru akım motoru vs. gibi. Burada, denetim sistemlerinde önemli bir yeri olan doğru akım motorlarının dinamik modelleri incelenmiştir.

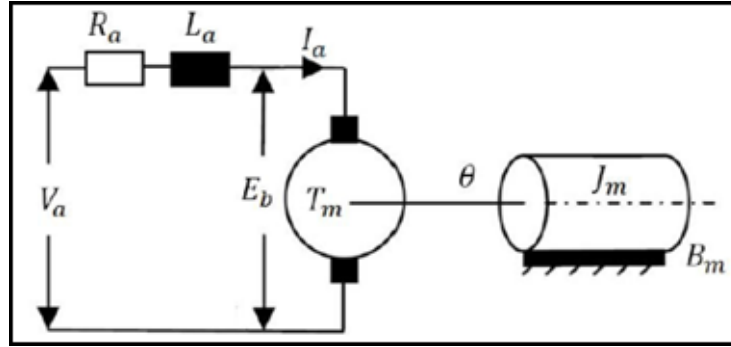
Doğru akım motorlarının ve jeneratörlerinin çalışma prensibi iki temel manyetik yasaya dayanır.

- Manyetik alan içerisinde bulunan ve içerisinde akım geçen iletkenlerde bir itme/döndürme kuvveti oluşur.
- Değişken bir manyetik alanın etkisinde bulunan iletkende gerilim indüklenir.

Buna göre doğru akım motorları, manyetik alanı oluşturan endüktör (gövde-kutup) ile gövde arasında dönebilecek şekilde yataklanan ve sargıları taşıyan endüvi (armatür) olmak üzere iki temel bileşenden meydana gelir. Manyetik alan, küçük güçlü motorlarda kalıcı (doğal) mıknatıslardan, büyük güçlü motorlarda ise elektromıknatıslardan (ikaz devresi) elde edilebilir. Dolayısıyla, manyetik kutupların arasındaki endüvi üzerinde bir motor döndürme torku üretilir ve endüvi dönmeye başlar.

Diğer taraftan, endüvi dönmeye başladığında endüvi sargılarında bir gerilim ( $E_b$ ) indüklenmeye başlar. Bu gerilime zıt elektromotor kuvvet (EMK) denir ve işareti endüviye uygulanan gerilimin işaretine ters yöndedir [3,4].

Buna göre, elektriksel endüvi ve dönel bir mekanik sistemden oluşan doğru akım motorunun prensip şeması aşağıdaki gibi çizilebilir.



Şekil 2.1 DA motorunun prensip şeması [22].

Yukarıda verilen iki manyetik yasaya göre doğru akım motorlarında üretilen elektriksel döndürme torku (motor torku)  $T_m$ , endüvi sargılarından geçen akıma ( $I_a$ ) ve endüvi sargılarında indüklenen zıt elektromotor kuvvetin değeri ( $E_b$ ) ise motor hızına ( $\omega$ ) bağlıdır. Buna göre, doğru akım motorunda üretilen motor döndürme torku,

$$T_m = K_t \cdot I_a \quad [2.1]$$

ve endüvi sargılarında indüklenen zıt elektromotor kuvvetin değeri ise,

$$E_b = K_b \cdot \omega \quad [2.2]$$

olarak yazılabilir. Motorun elektriksel endüvi devresi için çevre denklemi yazılırsa,

$$V_a = R_a \cdot I_a + L_a \cdot \frac{dI_a}{dt} + E_b \quad [2.3]$$

eşitliği elde edilir. Motorun endüvisini taşıyan dönel mekanik sistemin dinamiği de dikkate alınarak  $T_{yük}$  motorun yük torkunu göstermek üzere,

$$T_m = J_m \cdot \frac{d\omega}{dt} + B_m \cdot \omega + T_{yük} \quad [2.4]$$

eşitliği yazılabilir. Bu denklemde yük torku, motor için bir bozucu giriş durumundadır. Son olarak konumun türevi motor hızını verir.

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad [2.5]$$

## 2.2.Doğru Akım Motorunun Matematiksel Modeli

[2.1] ve [2.4] numaralı denklemleri yeniden düzenlediğimizde;

$$V_a = R_a \cdot I_a + L_a \cdot \frac{dI_a}{dt} + K_b \cdot \omega \quad [2.6]$$

$$K_t \cdot I_a = J_m \cdot \frac{d\omega}{dt} + B_m \cdot \omega + T_{y\ddot{u}k} \quad [2.7]$$

Şekline gelir. Elde edilen [2.6] ve [2.7] numaralı denklemlere g\ddot{ö}re doğru akım motorunun Matlab/Simulink blok diyagramı Şekil 2.2'deki gibidir.

Bu tez çalışmasında Şekil 2.2'de blok diyagramı verilen doğru akım motorunun etiket değerleri, g\ddot{u}  $P=5$  hp, anma gerilimi  $V_N=240$  V, nominal devir sayısı  $n=1750$  devir/dk (rpm) olup, parametreleri aşağıdaki gibidir:

$$R_a=11,2 \Omega$$

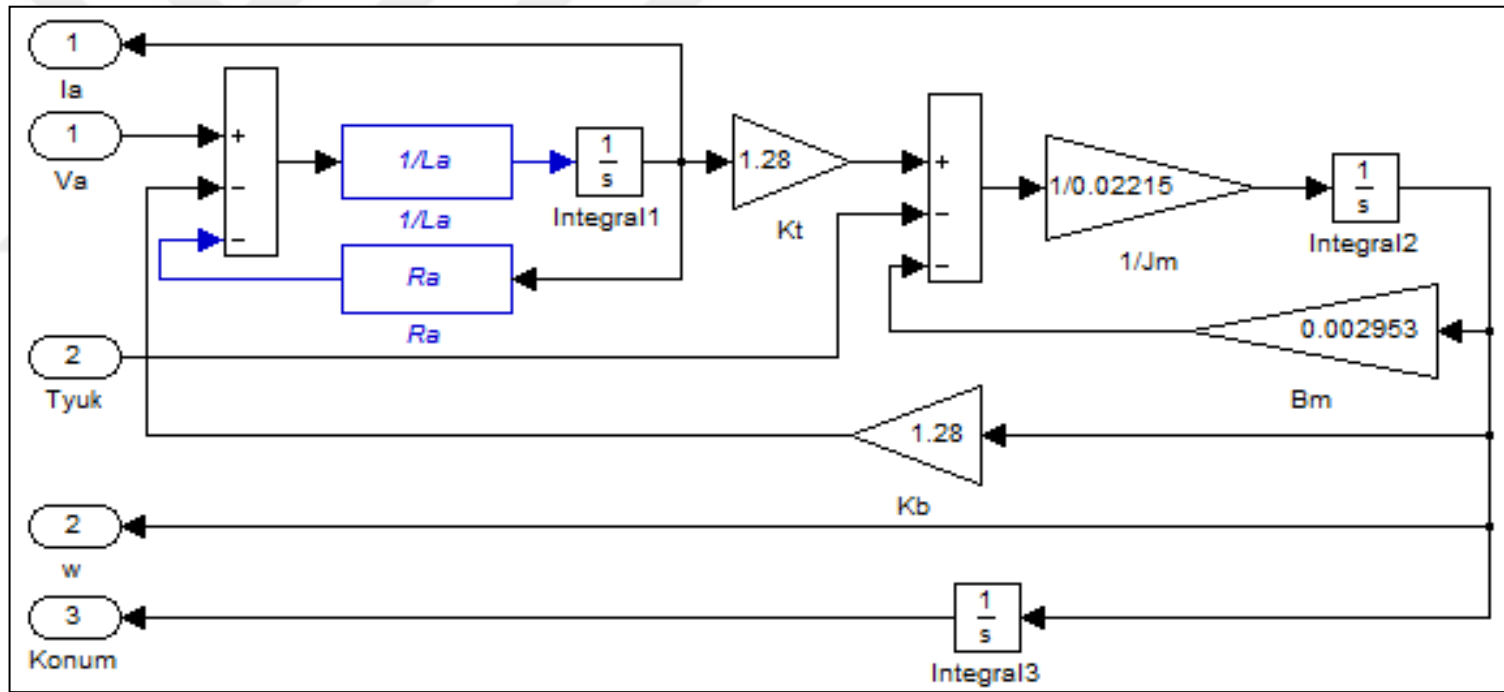
$$L_a=0,1215 \text{ H}$$

$$J_m=0,02215 \text{ kgm}^2$$

$$B_m=0,002953 \text{ Nms/rad}$$

$$K_t=1,28 \text{ Nm/A}$$

$$K_b=1,28 \text{ Vs/rad}$$



Şekil 2.2 DA motoru blok diyagramı.



### 3.BULANIK KONTROL

Belirsizlik hemen hemen tüm gerçek hayat problemlerinde vardır. Genellikle belirsizlik ölçüm işleminden ayrılamaz. Belirsizlik, araçlarla ölçmenin getirdiği sınırlamaların ve ölçme sırasında gerçekleşebilecek kaçınılmaz hataların birleşiminden ortaya çıkar. Kavramsal problemlerde, dilin doğasında bulunan muğlaklık ve kavram karmaşası belirsizliği doğurur. Sosyal etkileşimde belirsizlik, etkileşimde bulunan insanların paylaştığı farklı anlamlardan kaynaklanır.

Bu nedenle belirsizlik, insanların gerçek dünyayla etkileşimde bulunduğu her düzeyde, insanlar için kaçınılmaz bir kavramdır. Zadeh, bulanık kümeler teorisini tanımlayarak, belirsizlik kavramının modern tanımının gelişiminde bir dönüm noktası oluşturmuştur [5]. Bulanık kümeler sınırları kesin olmayan kümelere dir. Bulanık kümelerin özelliği, kümedeki üyeliğin var olma ya da olmama durumunu göstermek yerine bu iki kavram arasındaki dereceleri göstermesidir.

Klasik matematiksel modellerin tatmin edici sonuçlar üretmediği, karmaşık, net olarak açıklanmayan ve belirsiz sistemlerle uğraşabilmek için bulanık sistem modellemesi ve bulanık denetim üzerinde çalışılmaktadır. Bulanık sistemler bulanık kümeler ve bulanık mantık üzerine dayalıdır [23].

#### 3.1.Bulanık Kümeler ve Bulanık Mantık

Bir küme, farklı nesnelerin bir derlemesidir. Klasik bir küme, bir bakıma verilen bir evrensel kümedeki nesnelere, üyeler (belli bir kümeye ait olanlar) ve üye olmayanlar (belli bir kümeye ait olmayanlar) olmak üzere iki gruba ayırmada kullanmak için tanımlanır. Geleneksel küme teorisinde, bir kümeye üye olanlar ve üye olmayanlar arasında kesin bir fark bulunmaktadır ve biri diğerinin tümleyenidir. Klasik kümelere elemanların üyelik değerleri “ $\{0,1\}$ ” şeklinde yalnızca iki değer alabilir.

Klasik kümelerin aksine, bulanık küme her bir nesneye “ $[0,1]$ ” aralığında bir üyelik değeri atayarak oluşturulabilir. Üyelik değerleri, bir nesnenin bir bulanık kümeye aitlik derecesini ifade eder.

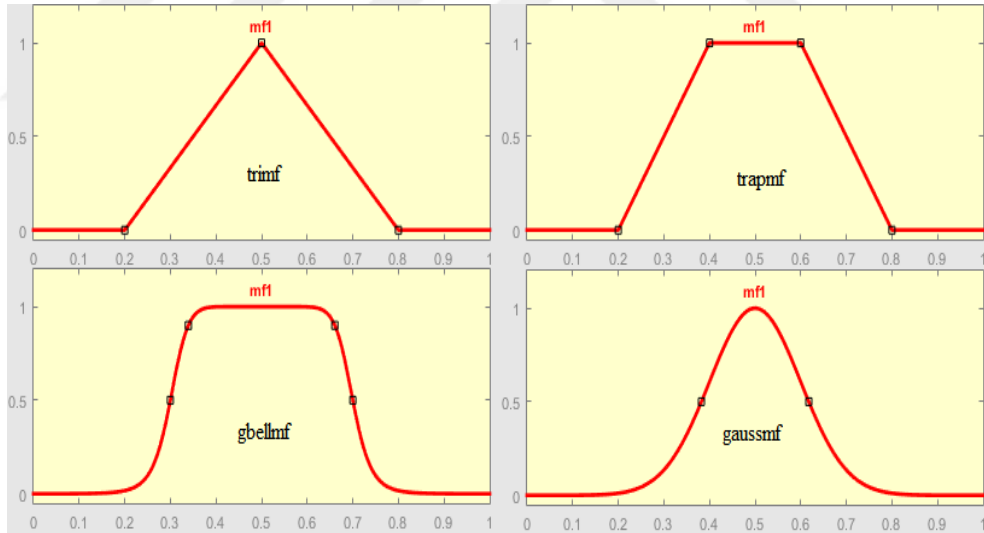
X evrensel küme ve x bu kümeye ait bir eleman olsun. A bulanık kümeyi ifade etmek üzere, üyelik fonksiyonu  $\mu_A(x)$  ile karakterize edilen bir bulanık küme,

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1] \quad [3.1]$$

biçiminde ifade edilir. Denklem [3.1]'de tanımlandığı gibi; üyelik fonksiyonu, X evrensel kümesinin öğelerine atanan değerlerin belirli bir aralığa düştüğünü ifade eder. Aynı zamanda bu fonksiyon, bulanık A kümesinin elemanlarının üyelik derecelerini de göstermektedir. X evrensel kümesi üzerinde tanımlı bir A bulanık kümesi, "[0,1]" aralığında x'ler ile  $\mu_A(x)$  üyeliklerini düzenli ve dereceli olarak belirten bir kümeyi aşağıda gösterilen denklem ile tanımlar.

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\} \quad [3.2]$$

Üyelik fonksiyonları, en basit durumda düz çizgiler ile formüle edilir. Gerçek yaşam uygulamalarında üyelik değerleri, en sık kullanılan ve Şekil 3.1'de görülen üçgensel, yamuksal, Gbell ya da Gauss üyelik fonksiyonları gibi şekillerle sunulan saçılım bulutları oluşturur [23].



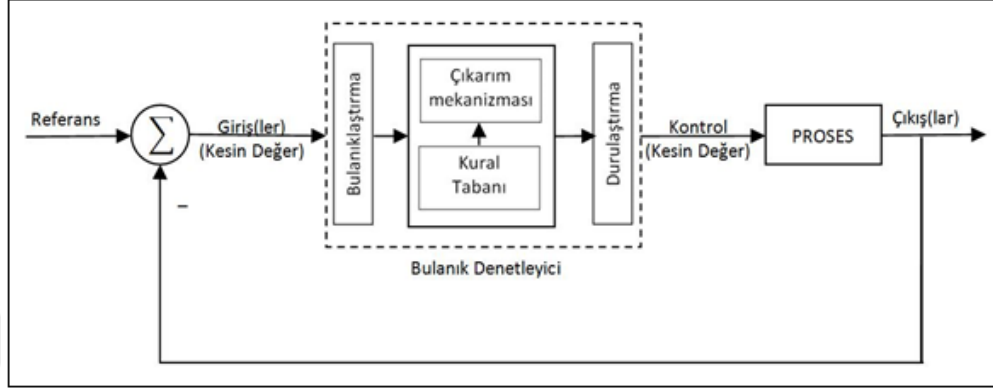
Şekil 3.1 En sık kullanılan üyelik fonksiyonları.

### 3.2. Bulanık Denetim Sistemi

Bulanık denetim sistemlerinin çalışma prensibi insanların düşünme ve karar verme yapısına benzemektedir. Bulanık denetleyici üç ana bölümden oluşur [24]. Bunlar;

- Bulanıklaştırma
- Kural tabanı ve bulanık çıkarım mekanizması
- Durulaştırma

olarak adlandırılır. Şekil 3.2’de bulanık denetim sisteminin genel yapısı verilmiştir.



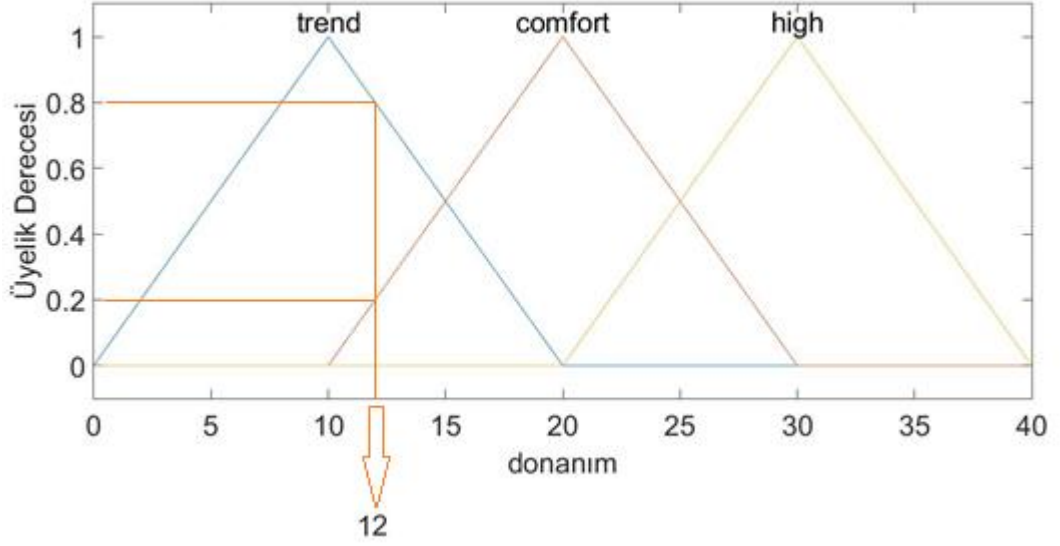
Şekil 3.2 Bulanık denetim sisteminin genel yapısı [25].

Şekil 3.2’ye göre, önce çıkış(lar) ölçülür. Sonra, referans ile çıkış(lar)ın farkı alınır ve bulanık denetleyicinin giriş(ler)i elde edilir. Bu giriş(ler) bulanıklaştırma katında bulanık sonuçlandırma işleminin yapılacağı bulanık çıkarım mekanizmasına hazır hale getirilir. Bulanık çıkarım mekanizmasında bulanıklaştırma katının çıkışları (üyelik dereceleri) ve kural tabanı kullanılarak bulanık bir küme oluşturulur. Son olarak durulaştırma katında uygun bir durulaştırma yöntemiyle kontrol değeri veya sinyali elde edilir.

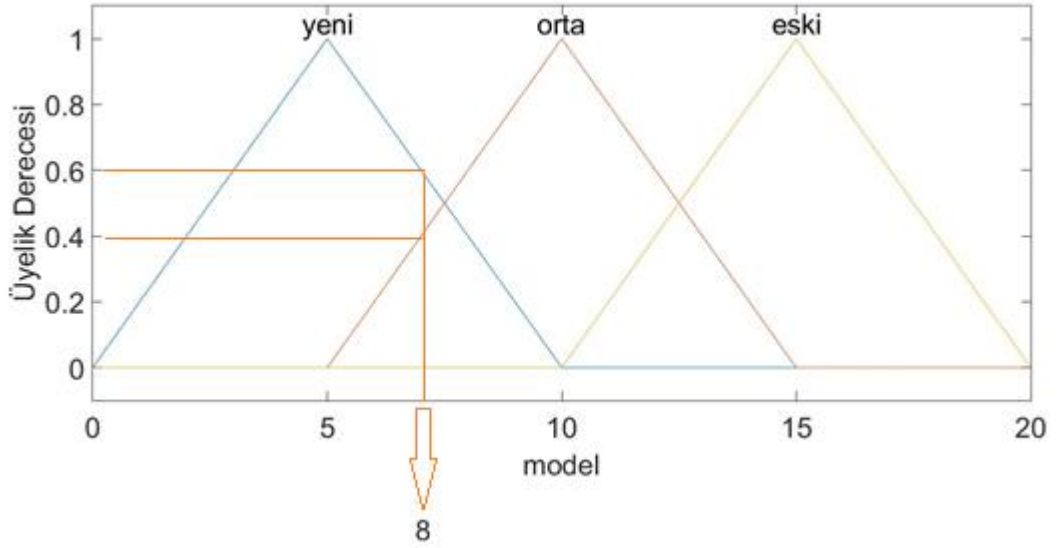
### 3.2.1. Bulanıklaştırma

Bulanık denetleme sistemlerinde, bulanıklaştırma katında, giriş değişkenlerinin değerleri, bulanık çıkarım mekanizmasında kullanılacak şekilde üyelik derecelerine dönüştürülür. Giriş değişkenlerinin aldığı her değere, ilgili giriş değişkeni için tüm bulanık kümelerde bir üyelik derecesi hesaplanır [26].

Konunun daha iyi anlaşılabilmesi için; örneğin, ikinci el bir otomobile fiyat belirlemek isteyelim. Daha fazla etken olmakla birlikte, otomobilin fiyatı, donanım seviyesine (sayısına) ve aracın modeline (yaşına) bağlı olsun. Bu girişler için Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’de görülen üyelik fonksiyonları ile karakterize edilen bulanık kümeleri tanımlayalım. donanım=12 ve model=8 giriş değerleri için örneğe devam edelim.



**Şekil 3.3** Giriş değişkeni olan donanım için üyelik fonksiyonları ve donanım=12 giriş değeri için üyelik dereceleri.



**Şekil 3.4** Giriş değişkeni olan model için üyelik fonksiyonları ve model=8 giriş değeri için üyelik dereceleri.

donanım=12 ve model=8 giriş değerleri için üyelik dereceleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

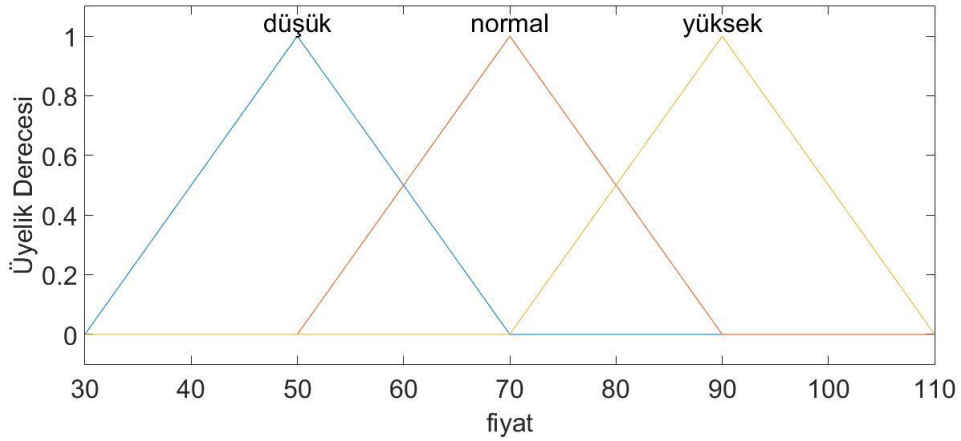
**Çizelge 3.1** Üyelik dereceleri

donanım=12		model=8	
Üyelik derecesi	Bulanık Küme	Üyelik derecesi	Bulanık Küme
0,8	trend	0,6	yeni
0,2	comfort	0,4	orta
0	high	0	eski

### 3.2.2.Kural tabanı ve bulanık çıkarım mekanizması

Dilsel ve sözel yargı cümlelerinden oluşan, konu veya sistem hakkında uzman kişilerce belirlenen, bulanık çıkarım işlemlerinin yapılabilmesi için gerekli olan kuralların genellikle çizelge yardımıyla gösterildiği, “IF-THEN” komutlarından oluşan kurallar bütününe kural tabanı denir [26].

Yukarıda verilen örnek için “fiyat” çıkış değişkenini ifade etmekte olup, üyelik fonksiyonları Şekil 3.5’de görüldüğü gibi olup, kural çizelgesi ise Çizelge 3.2’deki gibi oluşturulabilir.



**Şekil 3.5** Çıkış değişkeni olan fiyat için üyelik fonksiyonları.

\*Şekildeki fiyat değerleri x1000 TL olacaktır.

**Çizelge 3.2** Kural çizelgesi

model	eski	orta	yeni
donanım			
trend	düşük	düşük	normal
comfort	düşük	normal	yüksek
high	normal	yüksek	yüksek

Çizelge şeklinde verilen kurallar örneğin;

IF (donanım is trend AND model is eski) THEN (fiyat is düşük)

şeklinde yazılır. Böylece Çizelge 3.2’de toplam 9 kural bulunmaktadır. Burada, diğer uygulamalarda da çoğunlukla kullanılan AND operatörü yerine, başka örneklerde, OR veya NOT operatörleri de kullanılabilir. Bu durum konu veya sistem hakkında uzman kişilerce belirlenebilir.

Örneğimizde donanım=12 ve model=8 giriş değerleri için; Çizelge 3.2’de verilen kural çizelgesinde 4 kural etkin olmaktadır. Bu etkin kurallar Çizelge 3.2’de kalın tip yazı tipinde verilmiş olup bunlar;

- donanım trend ve model orta ise 1. satır 2. sütundaki kuralın (2. kuralın) uygulanması gerekir. Bu durumda fiyat düşük olacaktır.
- donanım trend ve model yeni ise 1. satır 3. sütundaki kuralın (3. kuralın) uygulanması gerekir. Bu durumda fiyat normal olacaktır.
- donanım comfort ve model orta ise 2. satır 2. sütundaki kuralın (5. kuralın) uygulanması gerekir. Bu durumda fiyat normal olacaktır.
- donanım comfort ve model yeni ise 2. satır 3. sütundaki kuralın (6. kuralın) uygulanması gerekir. Bu durumda fiyat yüksek olacaktır.

Bulanık çıkarım mekanizmasında üç ana işlem gerçekleştirilir [26]. Bunlar;

- AND, OR veya NOT operatörleri ile yukarıda verilen örnekte olduğu gibi terimler arasında yapılan işlemler.
- Kuralın kesinlik derecesi ile ilgili kuralın bulanık çıkış kümesi arasındaki İMA işlemi (minimum veya çarpma işlemi)
- İma edilen bulanık çıkış kümelerini TOPARLAMA işlemi (maksimum veya toplama işlemi)

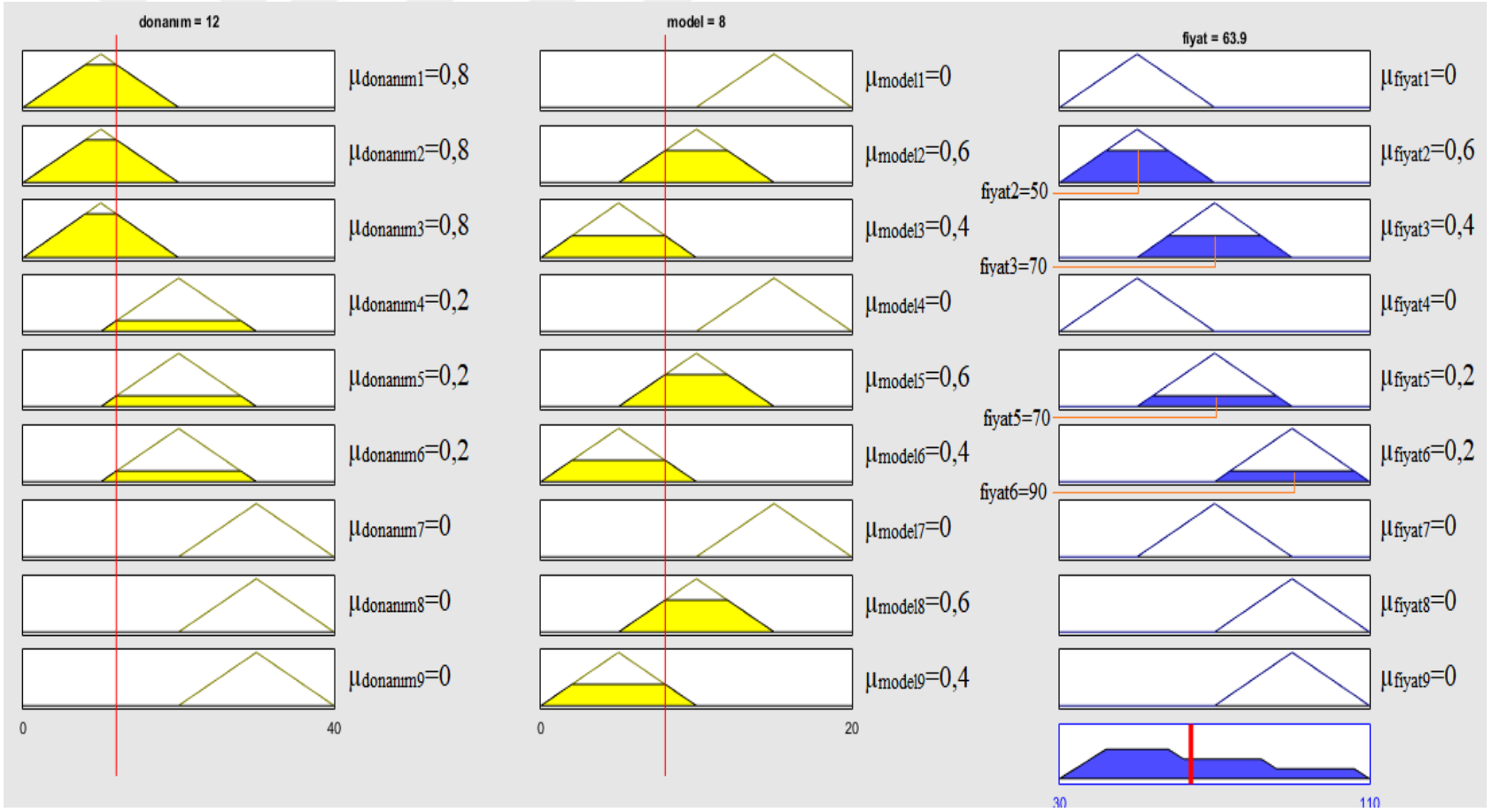
Örneğimizde Çizelge 3.2’de verilen 4 etkin kural için kuralların kesinlik dereceleri minimum operatörü kullanılarak Çizelge 3.3’de görüldüğü gibi ima işlemi ile hesaplanabilir.

**Çizelge 3.3 İma işlemi**

$\mu_{\text{donanım2}}=0,8$	$\mu_{\text{model2}}=0,6$	$\mu_{\text{fiyat2}}=\min(0.8,0.6)=0,6$
$\mu_{\text{donanım3}}=0,8$	$\mu_{\text{model3}}=0,4$	$\mu_{\text{fiyat3}}=\min(0.8,0.4)=0,4$
$\mu_{\text{donanım5}}=0,2$	$\mu_{\text{model5}}=0,6$	$\mu_{\text{fiyat5}}=\min(0.2,0.6)=0,2$
$\mu_{\text{donanım6}}=0,2$	$\mu_{\text{model6}}=0,4$	$\mu_{\text{fiyat6}}=\min(0.2,0.4)=0,2$

donanım=12 ve model=8 giriş değerleri için kuralların kesinlik derecelerinin bulunması ve ima ile toplama işlemlerine ilişkin bir görsel Şekil 3.6'da verilmiştir. İma işlemi için minimum operatörü, toplama işlemi için maksimum operatörü kullanılmıştır.





Şekil 3.6 donanım=12 ve model=8 giriş değerleri için ima ve toparlama işlem görseli.

\*Şekildeki fiyat değerleri x1000 TL olacaktır.

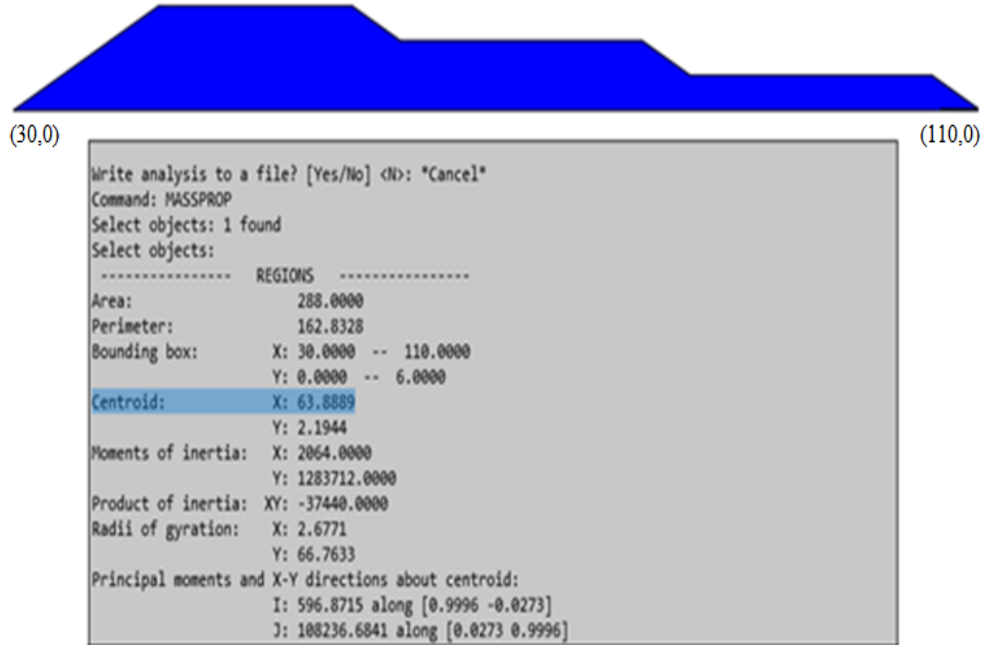


### 3.2.3.Durulaştırma

Bulanık denetleme sistemlerinde, durulaştırma katında, bulanık nicelik kesin bir değere dönüştürülür [26]. Bisector, mom, lom, som gibi farklı durulaştırma yöntemleri bulunmakla birlikte, en çok kullanılan yöntem centroid (ağırlık merkezi) yöntemidir. Bu yöntemde toplama işlemi sonucunda elde edilen kümenin ağırlık merkezi, u çıkış değişkenini ifade etmek üzere aşağıdaki denklemle bulunur.

$$u^* = \frac{\int u\mu_{out}(u)du}{\int \mu_{out}(u)du} \quad [3.3]$$

$\mu_{out}(u)$  fonksiyonunun integralini hesaplamak zor ve zaman alıcı olabilir. Bunun için bilgisayar programları kullanılabilir. Örneğimiz için Matlab programı tarafından hesaplanan fiyat\* değeri Şekil 3.6'dan görüldüğü gibi 63,9 (x1000 TL=63900 TL) olmaktadır. AutoCAD programında ‘massprop’ komutu yardımıyla elde edilen fiyat\* değeri Şekil 3.7'den görülebileceği gibi 63,8889 (x1000 TL=63888,9 TL) olmaktadır.



Şekil 3.7 AutoCAD programında ‘massprop’ komutu yardımıyla elde edilen fiyat\* değeri.

Ağırlık merkezi yöntemi yerine merkezlerin ağırlıklı ortalaması yöntemiyle hesaplama yapmak daha kolaydır. Bu yöntemde bulanık denetleyici çıkışının normalize

edilmiş kesin değeri, u, çıkış değişkenini ve n, kural sayısını ifade etmek üzere aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{ui} u_i}{\sum_{i=1}^n \mu_{ui}} \quad [3.4]$$

Örneğimiz için [3.4] nolu denklemi uyarlırsak;

$$\text{fiyat}^* = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{\text{fiyati}} \text{fiyat}_i}{\sum_{i=1}^n \mu_{\text{fiyati}}} \quad [3.5]$$

şeklinde elde edilir. Bu durumda Şekil 3.6'da görülen değerler ile;

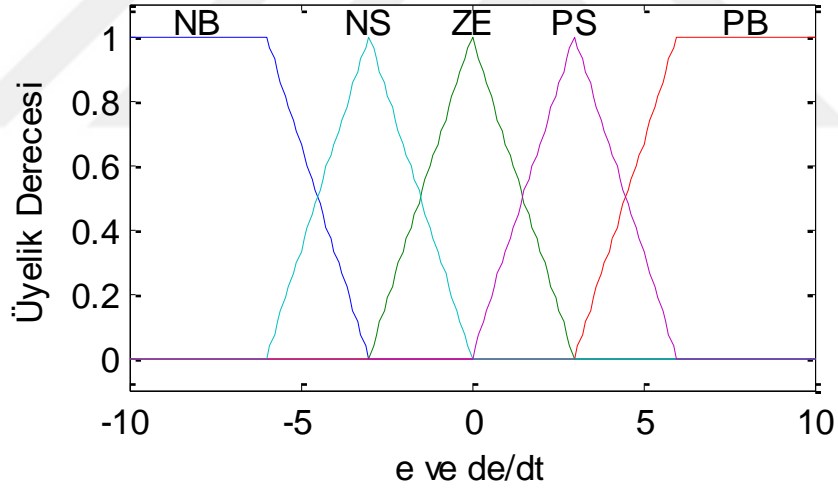
$$\text{fiyat}^* = \frac{0,6.50 + 0,4.70 + 0,2.70 + 0,2.90}{0,6 + 0,4 + 0,2 + 0,2} = 64,2857$$

sonucu bulunur. Bu durumda fiyatını belirlemek istediğimiz ikinci el otomobilin fiyatı  $64,2857 \times 1000 \text{ TL} = 64285,7 \text{ TL}$  olacaktır.

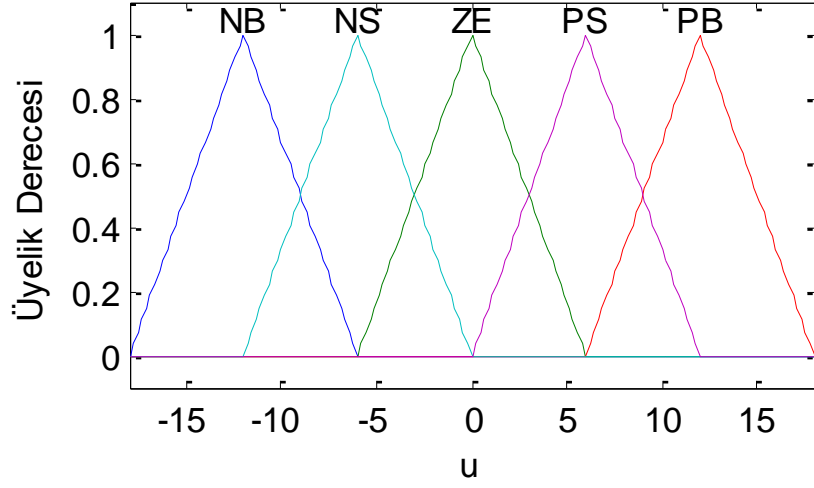
#### 4.DOĞRU AKIM MOTORUNUN BULANIK KONTROLÜ

Fiziksel sistemlerin matematiksel modeli oluşturulurken, genellikle sistemlerin doğrusal ve zamanla değişmeyen sistemler olduğu kabul edilir. Fakat pek çok sistem doğrusal olmayıp, parametreleri de zamanla değişir. Örneğin, bu tez çalışmasında tolerans eklenerek simüle edilen DA motoruna ait armatür direnci ve endüktans parametrelerinin sıcaklıkla değişmesi beklenen bir durumdur [27]. Bu sebeplerden dolayı, doğrusal olmayan, parametreleri zamanla değişen sistemlerin denetiminde bulanık denetim uygulamaları giderek artmaktadır.

Bu tez çalışmasında, diğer çalışmalarda olduğu gibi BD'nin giriş değişkenleri hata ( $e$ ) ve hatanın türevi ( $de/dt$ ), çıkış değişkeni ise kontrol sinyalidir ( $u$ ) [22,25]. Giriş ve çıkış değişkenleri ve bu değişkenlere ait üyelik fonksiyonları sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de görüldüğü gibidir.

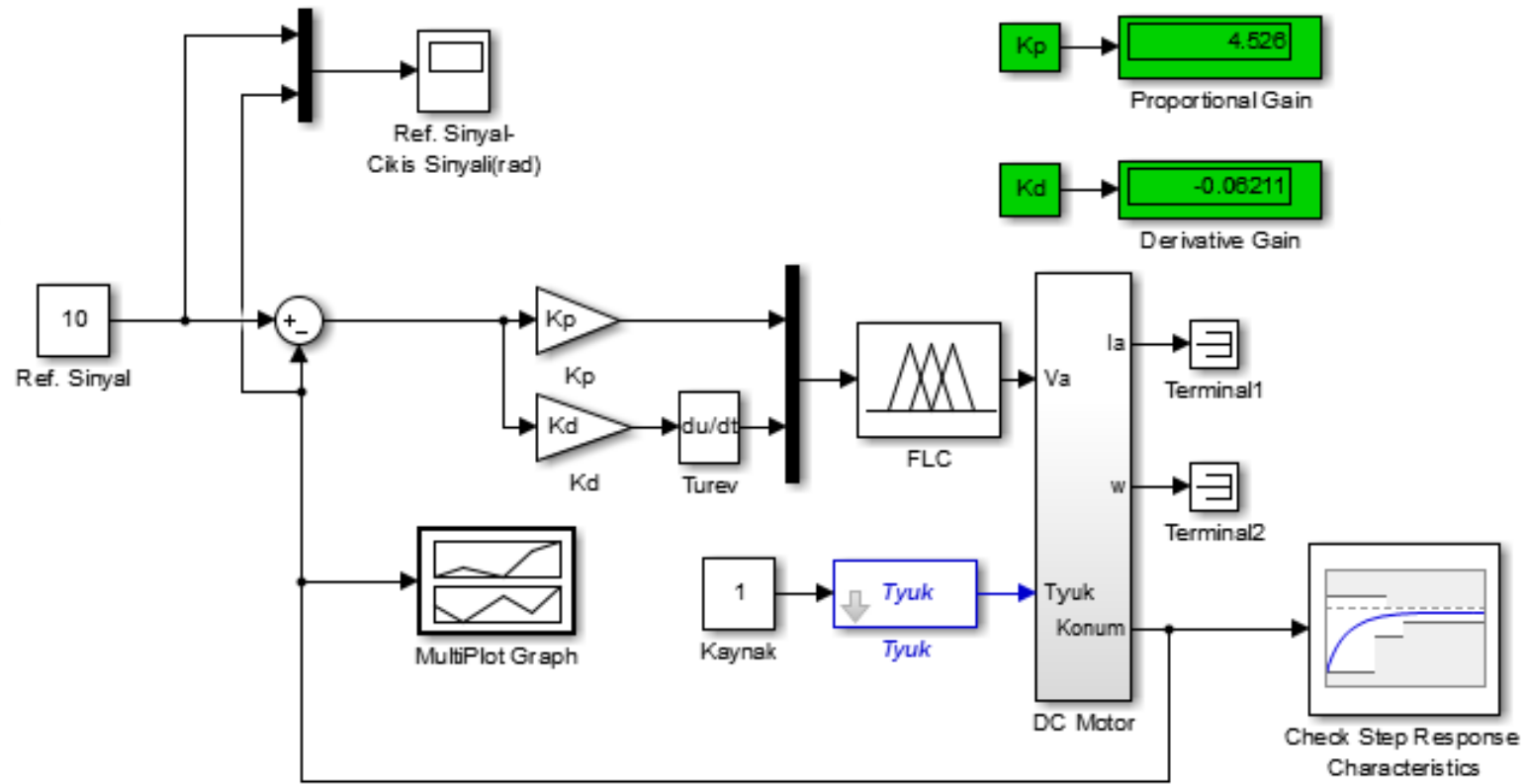


**Şekil 4.1** Giriş değişkenleri olan hata ( $e$ ) ve hatanın türevi ( $de/dt$ ) için üyelik fonksiyonları [28,29].



**Şekil 4.2** Çıkış değişkeni olan kontrol sinyali ( $u$ ) için üyelik fonksiyonları [28,29].

DA motorunun bulanık denetimine ait Matlab/Simulink blok diyagramı Şekil 4.3'de görüldüğü gibidir.



Şekil 4.3 DA motoru BD blok diyagramı.

Burada kullanılan bloklar ve işlevleri aşağıdaki gibi tanımlanır:

**$K_p$** : BD için oransal kazanç katsayısı.

**$K_d$** : BD için türevsel kazanç katsayısı.

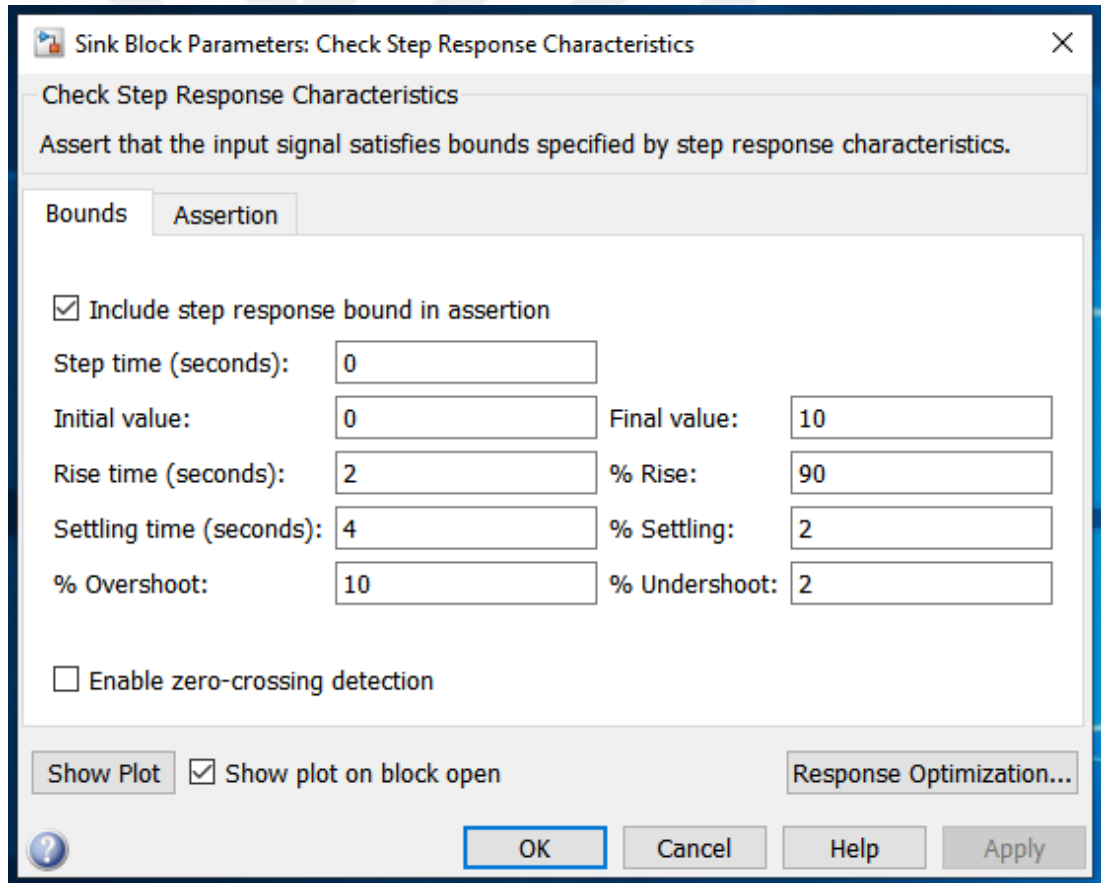
**FLC (Fuzzy Logic Controller)**: BD için kullanılan bulanık mantık kontrolörü.

**$T_{yük}$** : DA motorunun miline bağlanan yük.

**DC Motor**: Şekil 2.2’de blok diyagramı verilen alt sistem bloğu.

**Check Step Response Characteristics**: BD’de, en uygun, optimum  $K_p$  ve  $K_d$  kazanç katsayılarını bulmak için kullanılan Matlab/Simulink optimizasyon bloğu.

Bu çalışmada, Şekil 4.4’de verilen koşullar altında optimizasyon yapılmıştır.



**Şekil 4.4** BD optimizasyon koşulları.

\*Optimizasyon koşulları daha fazla iyileştirilememiştir.

Burada;

Yükselme zamanı (rise time)  $\leq 2$  s

Yerleşme zamanı (settling time)  $\leq 4$  s

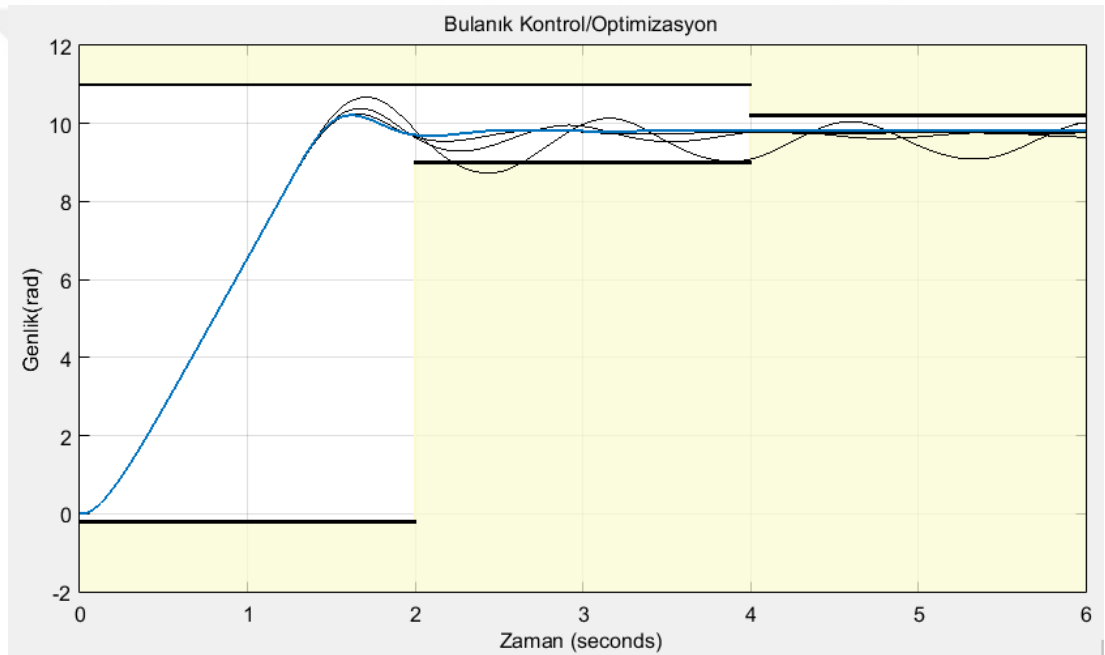
% Maksimum aşma (% overshoot)  $\leq 10$

Yükselme yüzdesi (% rise)  $\leq 90$

Kalıcı durumda yukarı yönlü aşma toleransı (% settling)  $\leq 2$

Kalıcı durumda aşağı yönlü aşma toleransı (% undershoot)  $\leq 2$

olacak şekilde optimizasyon yapılarak optimum  $K_p=4,526$  ve optimum  $K_d=-0,06211$  değerleri elde edilmiştir. ( $R_a=11,2 \Omega$ ,  $L_a=0.1215$  H ve  $T_{yük}=10J_m$ ) Şekil 4.5’de ise optimizasyon süreci verilmiştir.



Şekil 4.5 BD optimizasyon süreci.

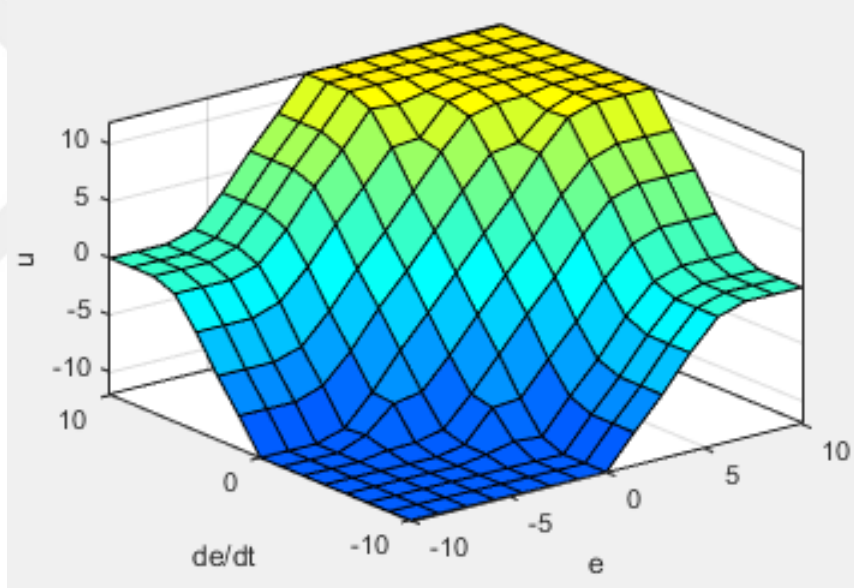
BD kural tabanında, dilsel ve sözel yargı cümlelerinden oluşan bulanık kurallar kümesi bulunur. Bu kurallar çizelge yardımıyla gösterilir. Kural çizelgesi oluşturulurken amaç, zamanla  $e=0$  ve  $de/dt=0$  olmasını sağlayacak şekilde bulanık kuralları belirlemektir. Bu nedenle, hatanın ve hatanın türevinin mutlak değeri küçüldükçe çıkış sinyalinin mutlak değerinin de küçülmesi gerekir. Çizelge 4.1’den görüldüğü gibi çıkış sinyali, çizelgenin sağ üst-sol alt köşegenine göre mutlak değerce simetriktir.

Çizelge 4.1 BD kuralları

e	NB	NS	ZE	PS	PB
de/dt	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	ZE
NS	NB	NB	NS	ZE	PS
ZE	NB	NS	ZE	PS	PB
PS	NS	ZE	PS	PB	PB
PB	ZE	PS	PB	PB	PB

Burada; **NB**: Negatif Büyük, **NS**: Negatif Küçük, **ZE**: Sıfır, **PS**: Pozitif Küçük, **PB**: Pozitif Büyük anlamlarına gelmektedir. Örneğin  $e=PB$  ve  $de/dt=ZE$  olduğunda kontrol sinyali  $u=PB$  olacaktır.

BD'nin giriş ve çıkış değişkenlerini gösteren yüzey diyagramı Şekil 4.6'daki gibidir.



Şekil 4.6 BD yüzey diyagramı [28,29].



## 5.KAYMA KIPLİ KONTROL

Kayma kipli denetim yöntemi, doğrusal olmayan, kompleks yapılı, değişken parametrelere sahip, parametrik veya parametrik olmayan belirsizlikler içeren, harici bozucu girişlerin etkisinde bulunan sistemlerin denetiminde kullanılan etkili bir denetim yöntemidir [8-11,30-32].

Kayma kipli denetimde amaç, sistem kaçınıcı dereceden olursa olsun, sistemi birinci derece gibi davranmaya zorlayacak kontrol girişini belirlemektir. Böylece bozucu girişler ve modellenmemiş parametrelerin etkisinin olduğu durumlarda bile dayanıklı bir denetim elde edilmesi sağlanır [26].

Kayma kipli denetimde önemli olan belirsizliklerin ve bozucu girişlerin altında dahi sistem çıkış sinyalinin, istenen referans sinyali takip edebilmesini sağlayacak kontrol sinyalini üretebilmektir.

$\theta_{ref}$ , referans konumu ve  $\theta$ , konumu ifade etmek üzere; hata sinyali ( $e$ ),

$$e = \theta_{ref} - \theta \quad [5.1]$$

şeklinde tanımlanır. Kayma kipli denetimde en önemli parametre, anahtarlama fonksiyonu veya diğer adıyla kayma fonksiyonudur. Kayma fonksiyonu ( $S$ ) bu çalışmada PD denetleyici ile üretilmiş olup,

$$S = K_p \cdot e + K_D \cdot \frac{de}{dt} \quad [5.2]$$

şeklinde tanımlanmıştır. İzleme hatasının veya hata sinyalinin  $S=0$  doğrusu üzerinden kayarak orijine ulaşması ile referans sinyaline ulaşılmış olur. Bu durumu sağlayacak kontrol sinyalini bulmak için Lyapunov fonksiyonu kullanılır.

$$V = \frac{1}{2} S^2 \quad (V(0) = 0) \quad [5.3]$$

İstenen denetimin sağlanması için gerek ve yeter şart;

$$\frac{dV}{dt} = \frac{1}{2} \frac{dS^2}{dt} \leq -\eta |S| \quad (\eta \geq 0) \quad [5.4]$$

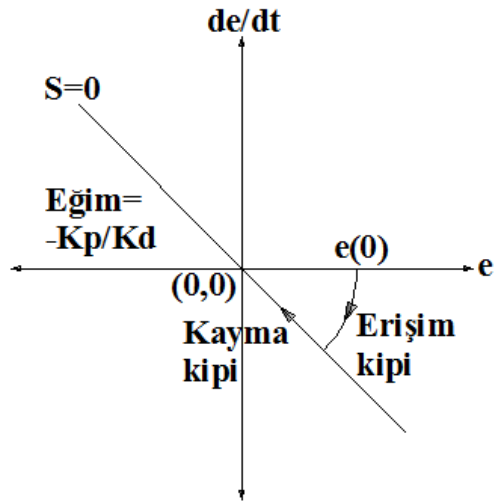
şeklindedir. Bu durumda;

$$\frac{dS}{dt} \cdot \text{sgn}(S) \leq -\eta \quad [5.5]$$

olur. Burada;

$$\text{sgn}(S) = \begin{cases} +1, & S > 0 \\ -1, & S < 0 \end{cases} \quad [5.6]$$

[5.5] nolu denklem erişim koşulu olarak tanımlanır. Bu denklem sağlanacak şekilde bir kontrol sinyali seçilebilirse sistem kayma kipine ulaşır. İzleme hatası veya hata sinyali olan  $e$ 'nin,  $S=0$  doğrusuna erişimi gerçekleştikten sonra; sistem, belirsizlikler ve bozucu girişlerden etkilenmeksizin  $S=0$  doğrusu üzerinden kayarak orijine ulaşır. Bu olaya kayma kipi,  $S=0$  doğrusuna erişim durumuna ise erişim kipi adı verilir [9,31]. Şekil 5.1'de erişim ve kayma kipleri gösterilmektedir.



Şekil 5.1 Erişim ve kayma kipleri [28,29].

Şekil 5.2 ve Şekil 5.3 bu tez çalışmasında gerçekleştirilen KKBD uygulamasında, erişim ve kayma kipinin daha iyi anlaşılması amacıyla DA motoruna  $\theta(0)=10$  rad başlangıç konumu,  $\theta_{ref}=0$  rad referans sinyali verilerek, alınan sonuçları göstermektedir.

$t=0$  anında Denklem [5.1]'e göre;

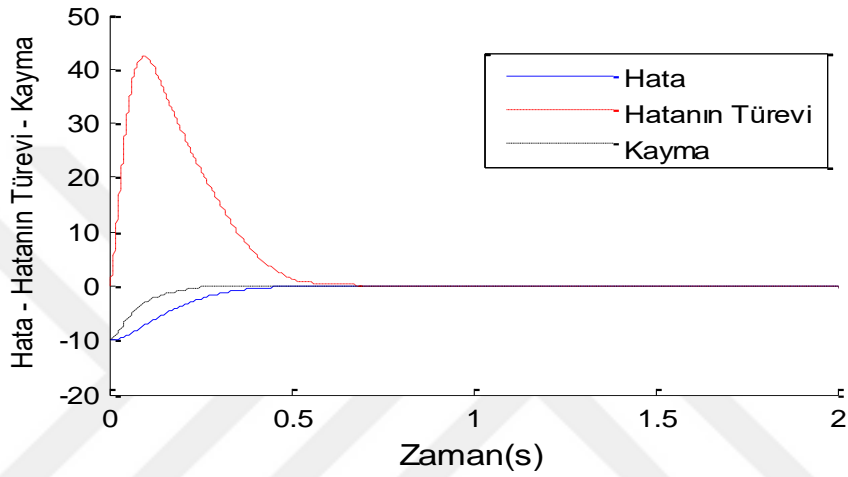
$$e(0)=0-10=-10 \text{ rad}$$

$$de/dt(0)=0 \text{ rad/s}$$

$K_p=1$  ve  $K_d=1$  alınırsa Denklem [5.2]'ye göre;

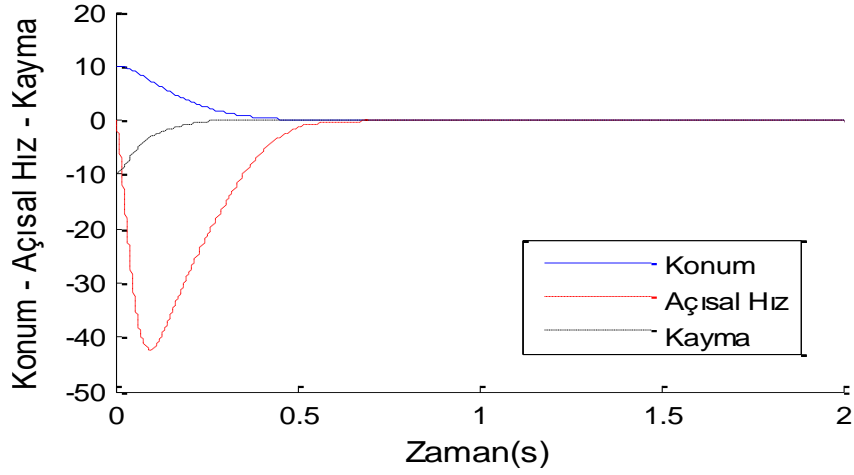
$$S(0)=1.(-10)+1.0=-10$$

olur.



**Şekil 5.2**  $e(0)=-10$  rad için hata ( $e$ ), hatanın türevi ( $de/dt$ ) ve kaymanın ( $S$ ) zamanla değişimi [28,29].

Şekil 5.2'de, kayma sinyali ( $S$ ) sıfır olunca; hata sinyali ( $e$ ), kayma sinyaline erişip, kayma sinyali üzerinden ( $S=0$  doğrusu üzerinden) kaymaktadır. Bu durumda hatanın türevi ( $de/dt$ ) de sıfır olmaktadır.



**Şekil 5.3**  $\theta(0)=10$  rad için konum ( $\theta$ ), açısal hız ( $\omega$ ) ve kaymanın ( $S$ ) zamanla değişimi [28,29].

Şekil 5.3'te ise konum, açısal hız ve kaymanın zamanla değişimi görülmektedir. Benzer şekilde kayma sinyali ( $S$ ) sıfır olunca; konum ( $\theta$ ), kayma sinyaline erişip, kayma sinyali üzerinden ( $S=0$  doğrusu üzerinden) kaymaktadır. Bu durumda konumun türevi olan açısal hız ( $\omega$ ) da sıfır olmaktadır. Böylece sistem, belirsizlikler ve bozucu girişlerden etkilenmeden referans sinyaline ulaşmış ve tutunmuş olur.

Kayma kipinde eşdeğer kontrol yaklaşımı, kaymanın türevi  $dS/dt=0$  olmaktadır. Bu eşitlikten elde edilen,  $u_{eq}$  şeklinde gösterilen kontrol sinyali, eşdeğer kontrol sinyali olarak adlandırılır.

Kayma kipli denetimde kontrol sinyali, eşdeğer kontrol sinyaline ilaveten parametre değişiklikleri ve bozucu girişlerin etkisini bastırarak,  $u_s$  şeklinde gösterilen kayma sinyalinden oluşur. Bu durumda kontrol sinyali,

$$u = u_{eq} - u_s \quad [5.7]$$

olarak tanımlanabilir [9].

## 6.DOĞRU AKIM MOTORUNUN KAYMA KIPLİ BULANIK KONTROLÜ

### 6.1.Giriş

Kayma kipli denetim iki sinyalden oluşur:

1. Eşdeğer kontrol sinyali

2. Kayma sinyali

Eşdeğer kontrol sinyali, ulaşılmak istenen referans sinyale erişmede, kayma sinyali ise referans sinyale dayanıklı bir şekilde tutunmada etkili olmalıdır. Bu iki sinyali oluştururken BD kullanılabilir. Sinyal bileşenlerinin BD yardımıyla oluşturulduğu, kayma kipli denetim yöntemine kayma kipli bulanık denetim denilir [18-21].

Eşdeğer kontrol sinyali ( $u_{eq}$ ) ve kayma sinyali ( $u_s$ ),

$$u_{eq} = K_1 \cdot S \quad [6.1]$$

$$u_s = -K_2 \cdot \text{sgn}(S) \quad [6.2]$$

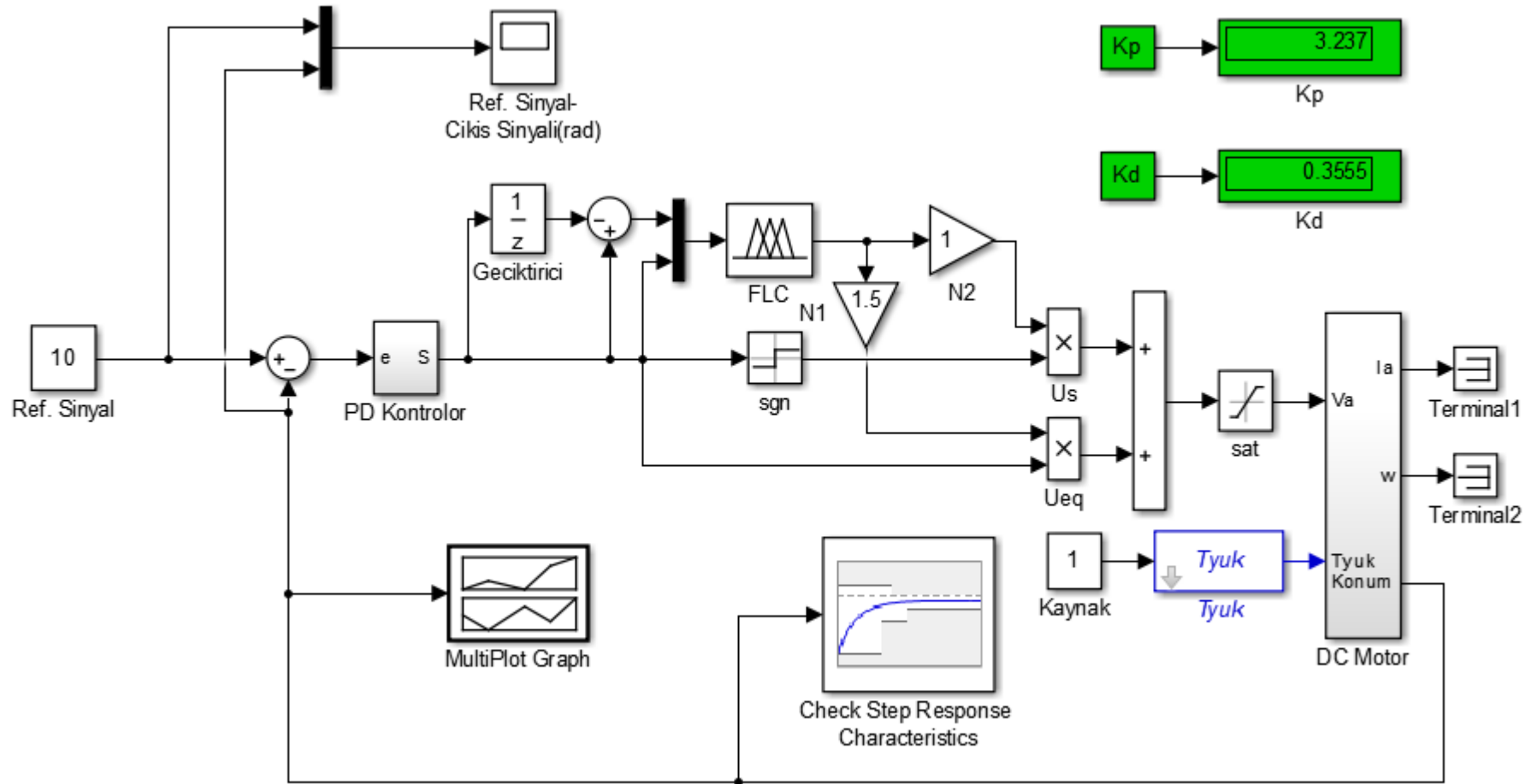
şeklinde tanımlanabilir [21]. Bu tez çalışmasında,  $K_1$  ve  $K_2$  değişkenlerini belirleyebilmek için bir BD tasarlanmıştır. Denetleyicinin çıkışına ise eşdeğer kontrol ve kayma sinyallerinin etkilerini ayarlayabilmek için  $N_1$  ve  $N_2$  kazanç blokları eklenmiştir. Buna göre  $K_1$  ve  $K_2$ ,

$$K_1 = N_1 \cdot K_{\text{bulanık}} \quad [6.3]$$

$$K_2 = N_2 \cdot K_{\text{bulanık}} \quad [6.4]$$

şeklinde ifade edilir. Kontrol sinyalinin matematiksel denklemi aşağıdaki gibi olup, bu denklemle elde edilen DA motorunun kayma kipli bulanık denetimine ait Matlab/Simulink modeli Şekil 6.1'deki gibidir.

$$u = N_1 \cdot K_{\text{bulanık}} \cdot S + N_2 \cdot K_{\text{bulanık}} \cdot \text{sgn}(S) \quad [6.5]$$



Şekil 6.1 DA motoru KKBD blok diyagramı.

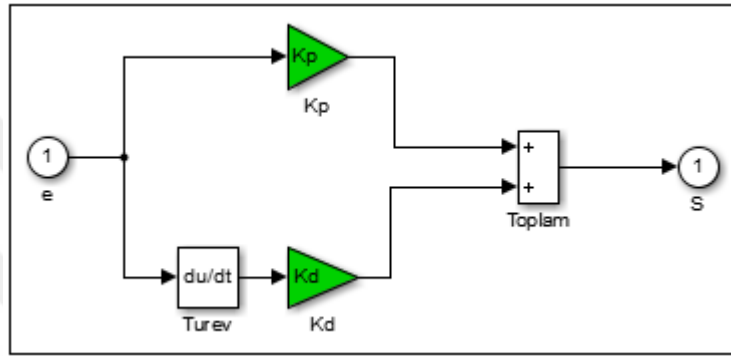
Burada kullanılan bloklar ve işlevleri aşağıdaki gibi tanımlanır:

**FLC (Fuzzy Logic Controller):** KKBD için kullanılan bulanık mantık kontrolörü.

**T<sub>yük</sub>:** DA motorunun miline bağlanan yük.

**DC Motor:** Şekil 2.2’de blok diyagramı verilen alt sistem bloğu.

**PD Kontrolör:** Kayma fonksiyonunu üretmek için kullanılan, oransal ve türevsel kazançtan oluşan alt sistem bloğu (Şekil 6.2).



Şekil 6.2 PD denetleyici bloğu.

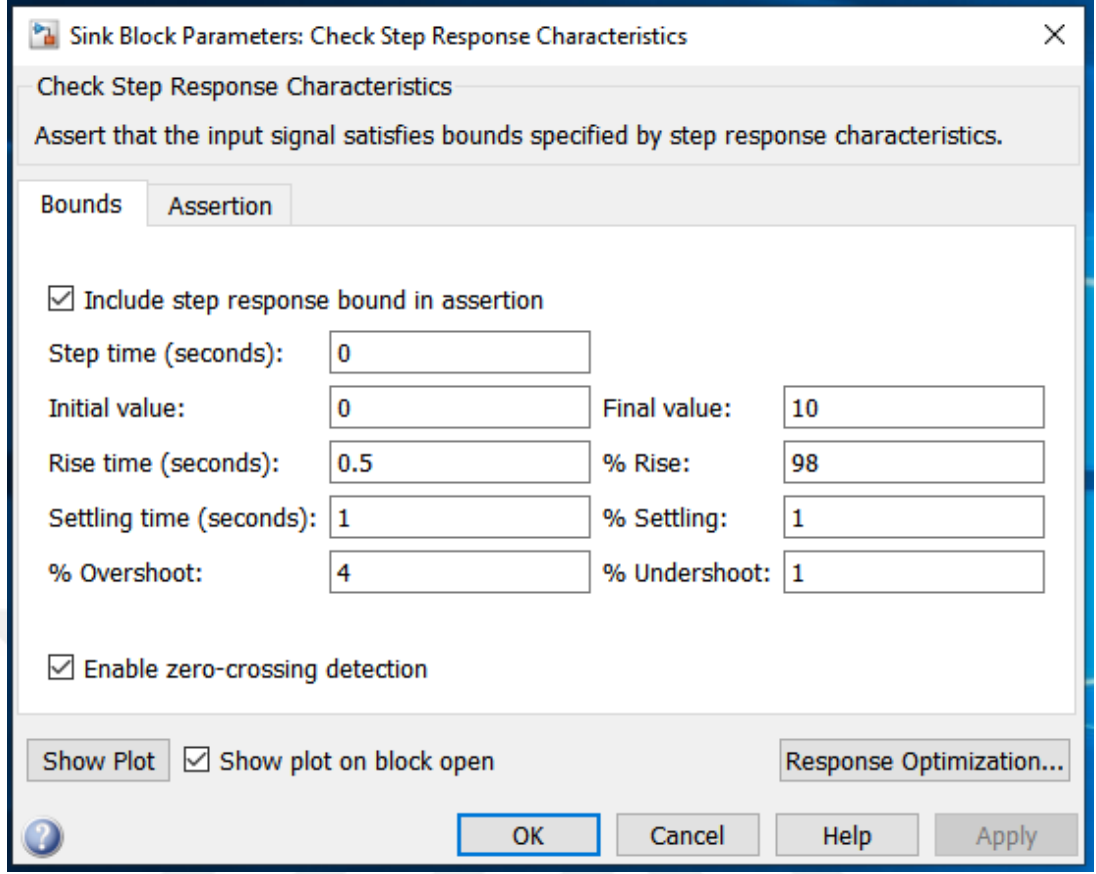
**Geciktirici:** Kaymanın (S) değerini bir simülasyon süresi kadar geciktirip, yanındaki fark alıcı ile birlikte kayma farkının (dS) elde edilebilmesini sağlayan blok. Matlab/Simulink’de unit delay (birim gecikme).

**Sgn (signum):** sgn(S) fonksiyonunun elde edilebilmesini sağlayan blok (röle etkisi).

**Saturation (sat):** Matlab/Simulink satürasyon bloğu (sınırlayıcı).

**Check Step Response Characteristics:** KKBD’de, en uygun, optimum K<sub>p</sub> ve K<sub>d</sub> kazanç katsayılarını bulmak için kullanılan Matlab/Simulink optimizasyon bloğu.

Bu çalışmada, KKBD için Şekil 6.3’de verilen koşullar altında optimizasyon yapılmıştır.



Şekil 6.3 KKBD optimizasyon koşulları.

Burada;

Yükselme zamanı (rise time)  $\leq 0,5$  s

Yerleşme zamanı (settling time)  $\leq 1$  s

% Maksimum aşma (% overshoot)  $\leq \%4$

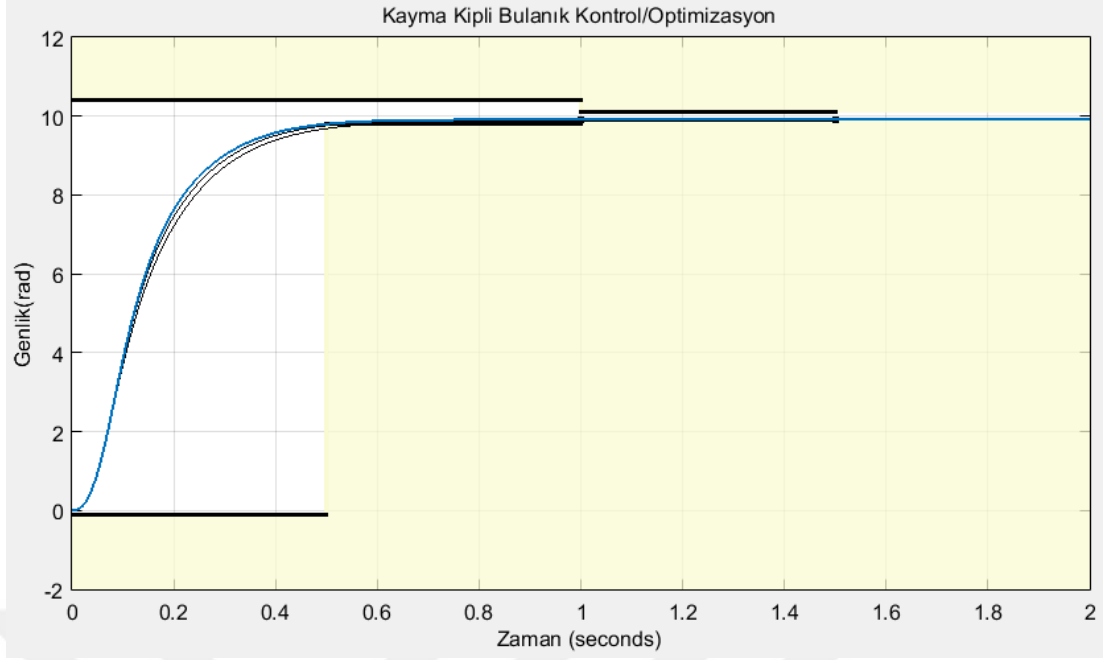
Yükselme yüzdesi (% rise)  $\leq \%98$

Kalıcı durumda yukarı yönlü aşma toleransı (% settling)  $\leq \%1$

Kalıcı durumda aşağı yönlü aşma toleransı (% undershoot)  $\leq \%1$

olacak şekilde optimizasyon yapılarak optimum  $K_p=3,237$  ve optimum  $K_d=0,3555$  değerleri elde edilmiştir. Şekil 6.4'de ise KKBD optimizasyon süreci verilmiştir.





Şekil 6.4 KKBD optimizasyon süreci.

$N_1$ : Eşdeğer kontrol sinyalinin etkisini belirlemek için kullanılan kazanç bloğudur. DA motoruna uygulanacak kontrol sinyalinin, motorun anma veya nominal gerilimini ( $V_N=240$  V) geçmeyecek şekilde aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$u(0)=V_N$$

$$-V_N \leq u(t) \leq +V_N$$

Motorun ilk kalkınma anında hata (e) [5.1] nolu denklemden;

$$e(0)=10-0=10 \text{ rad}$$

$K_p=1$  ve  $K_d=1$  için kayma (S) [5.2] nolu denklemden;

$$S=1.10+1.0=10$$

$K_{\text{bulanık}}$  maksimum (XL) değerinde olup;

$$K_{\text{bulanık}}=15$$

$S > 0$  olduğundan;

$$\text{sgn}(S)=+1$$

olacaktır.

$N_2$  kazanç katsayısı belirlendikten sonra  $N_1$ , [6.5] nolu denklemden hesaplanmıştır.

$K_p=1$ ,  $K_d=1$  ve  $N_2=1$  için;

$$N_1 \cdot 15 \cdot 10 + 1 \cdot 15 \cdot 1 = 240$$

$$N_1 = 1,5$$

$K_p=1$ ,  $K_d=1$  ve  $N_2=10$  için;

$$N_1 \cdot 15 \cdot 10 + 10 \cdot 15 \cdot 1 = 240$$

$$N_1 = 0,6$$

**$N_2$ :** Kayma sinyalinin etkisini belirlemek için kullanılan kazanç bloğudur. Kalıcı durumda, ulaşılmak istenen konumda, DA motoruna zarar verebilecek salınımlara neden olmayacak kadar küçük, yük altında dahi çıkış sinyalinin referans sinyaline tutunabilmesini sağlayacak kadar büyük seçilmiştir.

Kalıcı durumda  $S=0$  olduğundan (Şekil 6.5), Denklem [6.1]'e göre eşdeğer kontrol sinyali;

$$u_{eq} = 0 \text{ V}$$

olur.

$K_{bulanık}$  değeri minimum ( $XS$ ) değerini almaktadır.

$$K_{bulanık} = 3$$

Şekil 6.6'dan da görülebileceği gibi kalıcı durumda kayma ve kontrol sinyali;

$N_2=1$  için [6.2] ve [6.4] nolu denklemlerden kayma sinyali;

$$u_s = 1.3 \cdot \text{sgn}(S) = \pm 3 \text{ V}$$

[5.7] nolu denklemden kontrol sinyali;

$$u = 0 - (\pm 3) = \pm 3 \text{ V}$$

$N_2=10$  için [6.2] ve [6.4] nolu denklemlerden kayma sinyali;

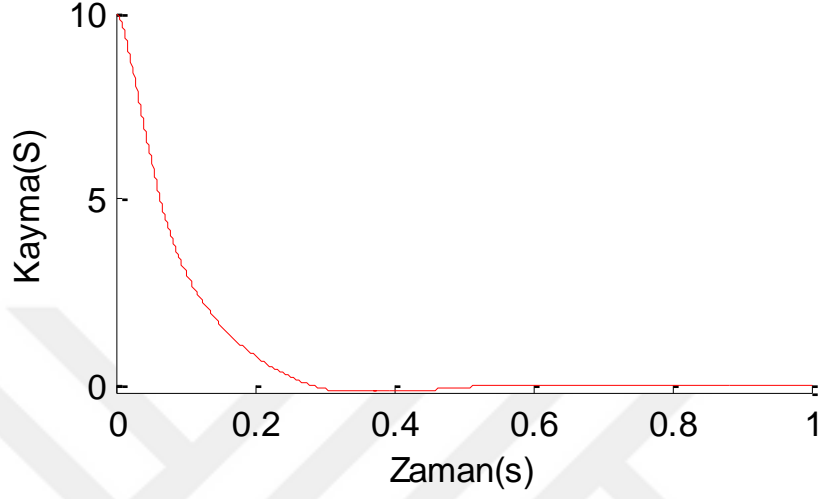
$$u_s = 10.3 \cdot \text{sgn}(S) = \pm 30 \text{ V}$$

[5.7] nolu denklemden kontrol sinyali;

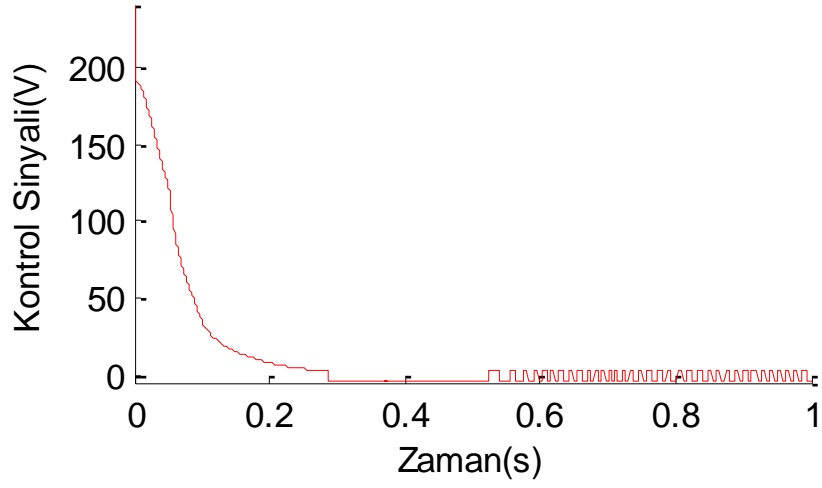
$$u = 0 - (\pm 30) = \pm 30 \text{ V}$$

olmaktadır.

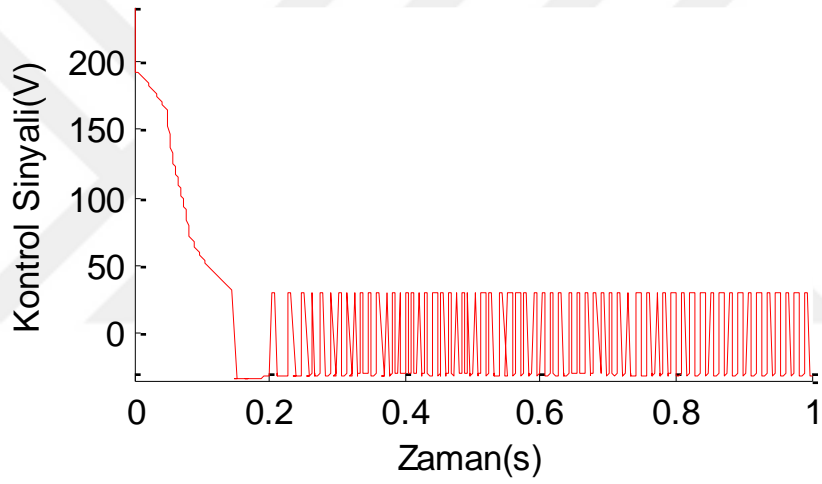
Bulanık denetimde kontrol sinyali, yalnızca BD'nin çıkış değişkeninin önceden belirlenen aralığı kadar olabilir. KKBD'de ise kontrol sinyalini, iki sinyal bileşeni olan eşdeğer kontrol sinyali ve kayma sinyali oluşturmaktadır. Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da sırasıyla kayma fonksiyonu ve kontrol sinyalinin bileşenleri görülmektedir.



Şekil 6.5 KKBD'de kayma fonksiyonu [28,29].



(a)



(b)

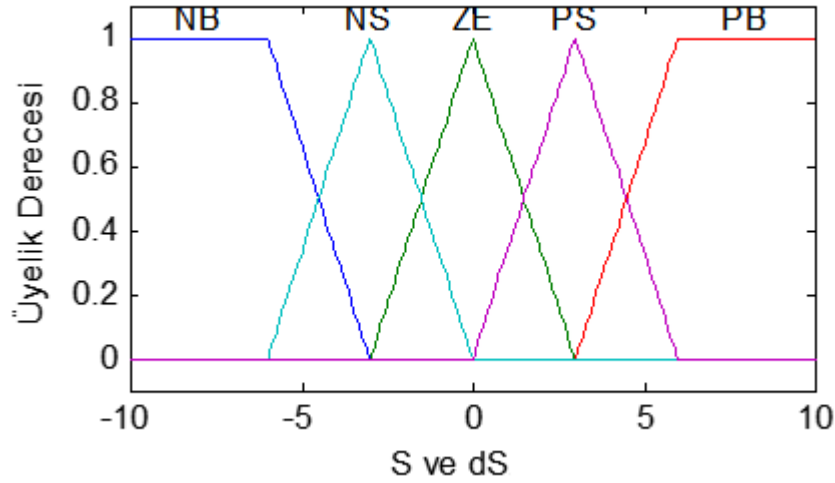
**Şekil 6.6** KKBD'de kontrol sinyali [28,29].

(a)  $N_1=1,5$  ve  $N_2=1$  için  $u_s=\pm 3$  V

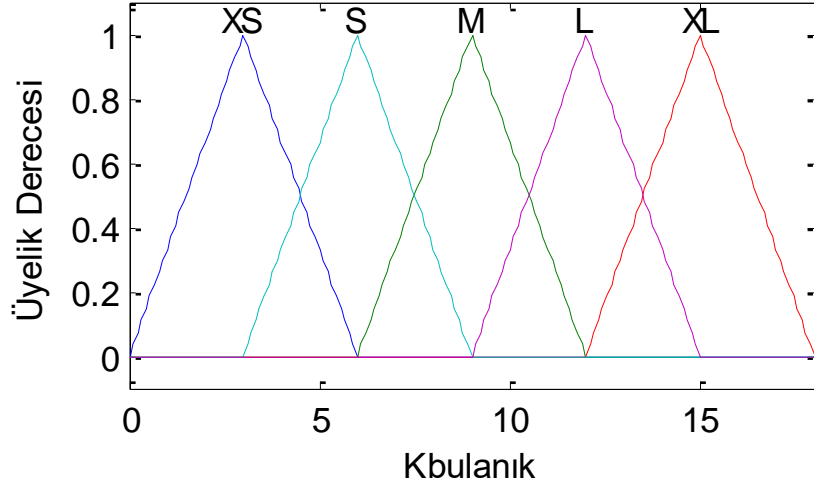
(b)  $N_1=0,6$  ve  $N_2=10$  için  $u_s=\pm 30$  V

Eşdeğer kontrol sinyali, Denklem [6.1], Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'dan görülebileceği gibi kayma fonksiyonuyla (S) doğru orantılı olup, özellikle geçici durumda referans sinyale erişimde etkilidir. Kayma fonksiyonu, hata (e) ve hatanın türeviyle (de/dt) orantılı olduğundan özellikle yükteki artış veya azalışlarda ve farklı referans sinyallerde eşdeğer kontrol sinyalinin değerini belirlemektedir. Böylece KKBD, ulaşılmak istenen referans sinyaline hızlı erişip, yük değişimlerine karşı da dayanıklı olmaktadır. Kayma sinyali ise özellikle kalıcı durumda, yani referans sinyale erişim gerçekleştikten sonra etkilidir. Kayma sinyali, Denklem [6.2]'den görülebileceği gibi  $\text{sgn}(S)$  fonksiyonuyla doğru orantılıdır.  $\text{sgn}(S)$ , belirsiz yüklere ve harici bozucu girişlere bağlı olarak farklı zaman aralıklarında, röle etkisiyle anahtarlama yaparak kayma sinyalinin işaretini belirler. Böylece KKBD'de kalıcı durumda, çıkış sinyalinin referans sinyale dayanıklı bir şekilde tutunması sağlanır.

Bu tez çalışmasında, KKBD'de bulunan BD'nin giriş değişkenleri kayma (S) ve kayma farkı (dS), çıkış değişkeni ise  $K_{\text{bulanık}}$  olarak belirlenmiştir. Giriş ve çıkış değişkenleri ve bu değişkenlere ait üyelik fonksiyonları sırasıyla Şekil 6.7 ve Şekil 6.8'de görüldüğü gibidir.



**Şekil 6.7** Giriş değişkenleri olan kayma (S) ve kayma farkı (dS) için üyelik fonksiyonları [28,29].



Şekil 6.8 Çıkış değişkeni olan  $K_{\text{bulanık}}$  için üyelik fonksiyonları [28,29].

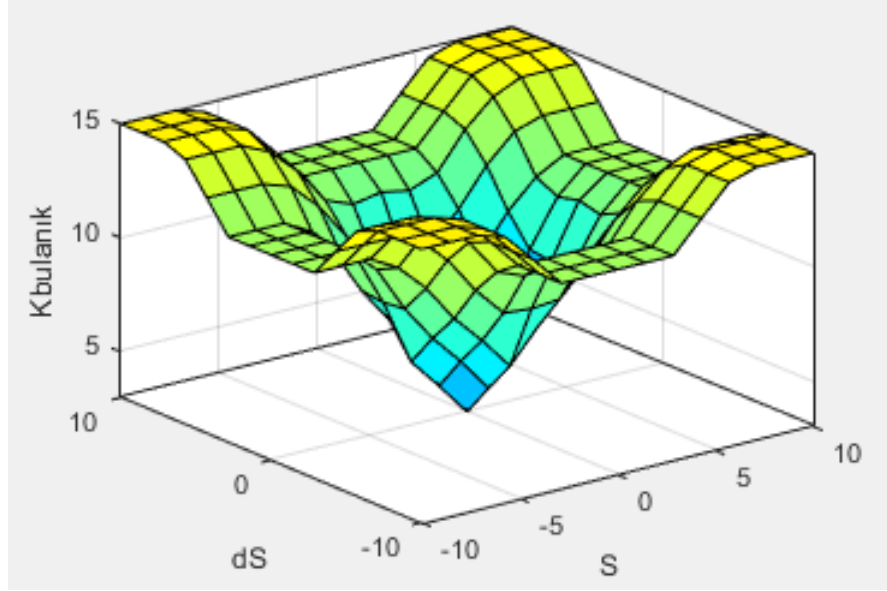
KKBD için belirlenen bulanık kurallar Çizelge 6.1’de verilmiştir. Kural çizelgesi oluşturulurken amaç, zamanla  $S=0$  ve  $dS=0$  olmasını sağlayacak şekilde bulanık kuralları belirlemektir. Bu nedenle, kaymanın ve kayma farkının mutlak değeri küçüldükçe  $K_{\text{bulanık}}$  çıkış değişkeninin değerinin küçülmesi gerekir. Çizelge 6.1’den görüldüğü gibi çıkış değişkeni, çizelgenin orta dikey ve yatay eksenine göre simetriktr.

Çizelge 6.1 KKBD kuralları

S	NB	NS	ZE	PS	PB
dS					
NB	XL	L	M	L	XL
NS	L	M	S	M	L
ZE	M	S	XS	S	M
PS	L	M	S	M	L
PB	XL	L	M	L	XL

Burada; **XL**: Çok Büyük, **L**: Büyük, **M**: Orta, **S**: Küçük, **XS**: Çok Küçük anlamlarına gelmektedir. Örneğin  $S=PB$  ve  $dS=ZE$  olduğunda  $K_{\text{bulanık}}=M$  olacaktır.

KKBD’nin giriş ve çıkış değişkenlerini gösteren yüzey diyagramı Şekil 6.9’daki gibidir.



**Şekil 6.9** KKBD yüzey diyagramı [28,29].

BD yüzey diyagramı ile KKBD yüzey diyagramı karşılaştırıldığında; KKBD’de yüzey diyagramı, ters duran bir koniye benzemektedir. Kayma ve kayma farkı, yüzey diyagramı üzerinde akarak koninin tepe noktasında sıfıra ulaşır. (Bkz. Şekil 4.6 ve Şekil 6.9)

## 6.2.Satürasyon Bloğunun Önemi

Şekil 6.10’da verilen DA motoru KKBD blok diyagramında satürasyon bloğunun öneminden ayrıca bahsetmek gerekir. Referans sinyal aniden artırıldığında kaymanın (S) değeri, Denklem [5.2]’den görülebileceği gibi özellikle hatanın türeviyle ( $de/dt$ ) orantılı olduğundan artmaktadır. Bu durumda, eşdeğer kontrol sinyali de Denklem [6.1]’den görülebileceği gibi kayma fonksiyonu ile doğru orantılı olduğundan artar. Bu durum kontrol sinyalinin ani artışına neden olup, DA motorunun zarar görmesine neden olabilir. Kontrol sinyalinin belirli değerler arasında;

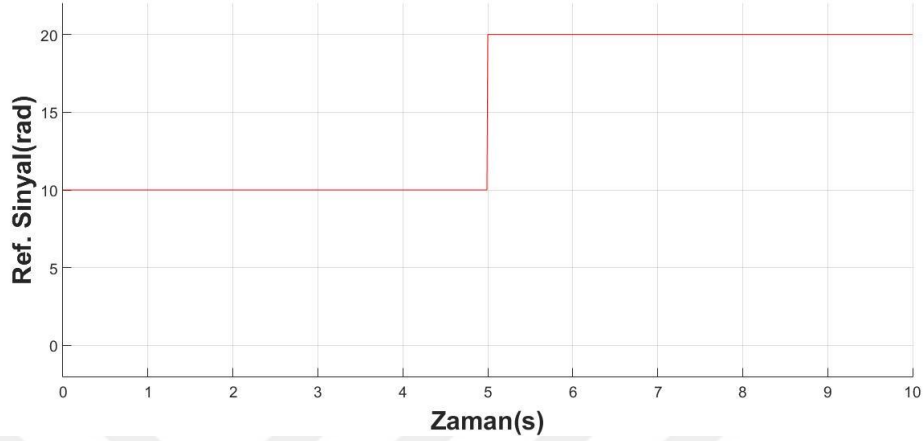
$$-V_N \leq u(t) \leq +V_N$$

kalmasını sağlayan satürasyon bloğu (sınırlayıcı) gerilimin ani değişmesini engellemektedir. Şekil 6.11’de bu durumu gösterebilmek için referans sinyal merdiven şeklinde basamak sinyal olarak seçilmiştir.





Şekil 6.10’da blok olarak verilen referans sinyal girişi 0-5 s aralığında 10 radyan iken, 5-10 s aralığında 20 radyana çıkartılmıştır. Referans sinyal girişi Şekil 6.11’deki gibidir.



Şekil 6.11 Referans sinyal ( $\theta_{ref}$ ).

Şekil 6.11’de verilen referans sinyaline göre  $t=5$ . s’de kontrol sinyali aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$t=5$ . s’de;

$$e(5)=10 \text{ rad}$$

$$K_p=3,237$$

$$K_d=0,3555$$

Matlab/Simulink’de örneklem süresi 0,01 s olarak seçildiğinde denklem [5.2]’ye göre kaymanın değeri;

$$S=3,237.10 + 0,3555.(10/0,01)=387,87$$

Bu durumda  $K_{bulanık}=10$  değerini almaktadır.

Kazanç katsayıları;

$$N_1=1,5$$

$$N_2=1$$

$S > 0$  olduğundan;

$$\text{sgn}(S)=+1$$

Kontrol sinyali denklem [6.5]'e göre;

$$u=1,5.10.387,87 + 1.10.1=5825,5 \text{ V}$$

Böyle yüksek bir değerdeki kontrol sinyali DA motoruna zarar verir. Frekans artırılıp, örneklem süresi kısaltıldığında durum daha da kötüleşir. Örneklem süresi 0,001 s olduğunda denklem [5.2]'ye göre kaymanın değeri;

$$S=3,237.10 + 0,3555.(10/0,001)=3587,37$$

Kontrol sinyali denklem [6.5]'e göre;

$$u=1,5.10.3587,37 + 1.10.1=53820,55 \text{ V}$$

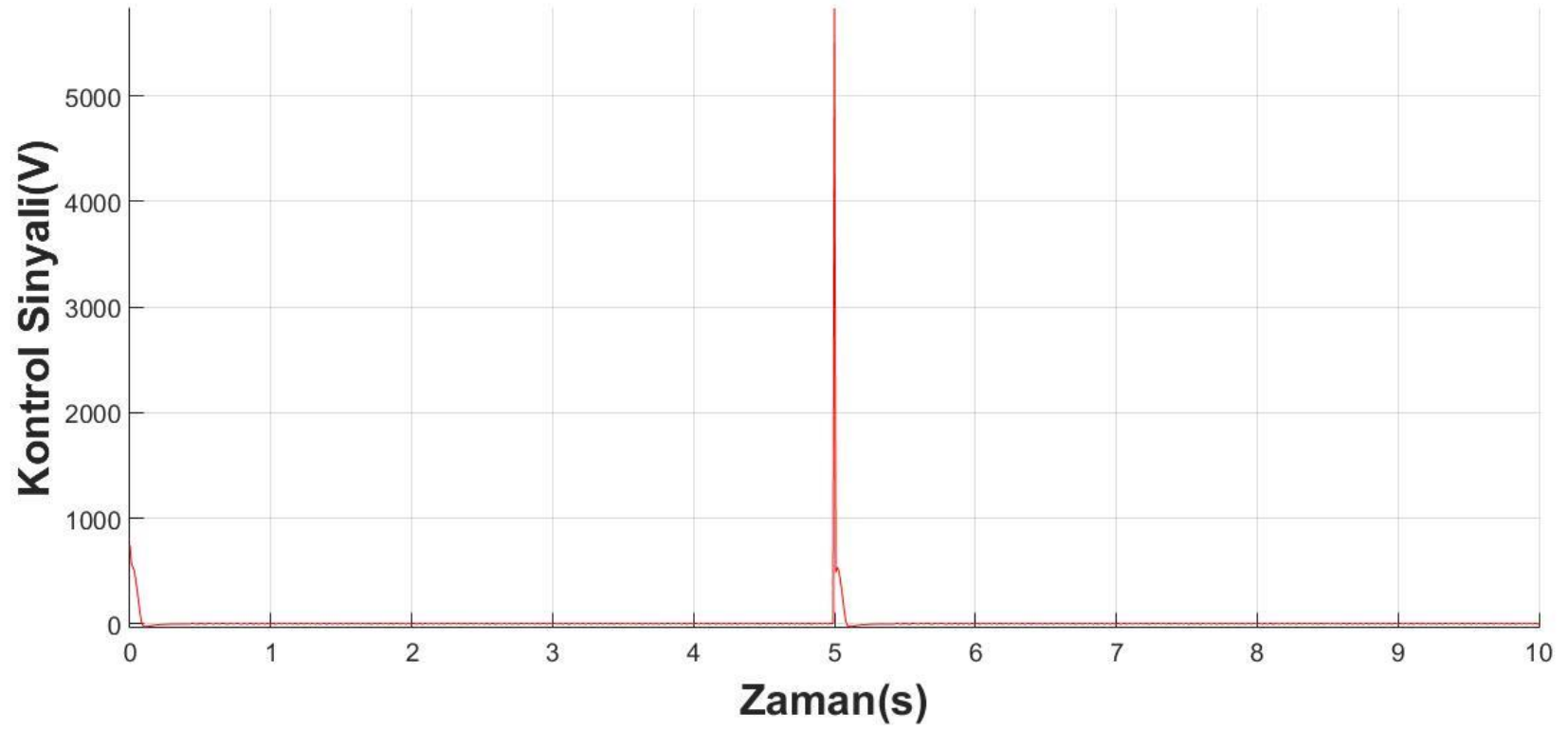
$t=5$ . s'de gerilim pik yapmaktadır. Şekil 6.12'de bu durum görülmektedir. Bunun nedeni eşdeğer kontrol sinyalinin kaymayla, kaymanın da hatanın türeviyle orantılı olmasından kaynaklanmaktadır. Bulunan kontrol sinyallerine bakıldığında satürasyon (sınırlayıcı) bloğunu kullanmak zorunlu hale gelmektedir. Böylece DA motorunun zarar görmemesi için, satürasyon bloğu sayesinde kontrol sinyali, belirli nominal değerler arasında;

$$-V_N \leq u(t) \leq +V_N$$

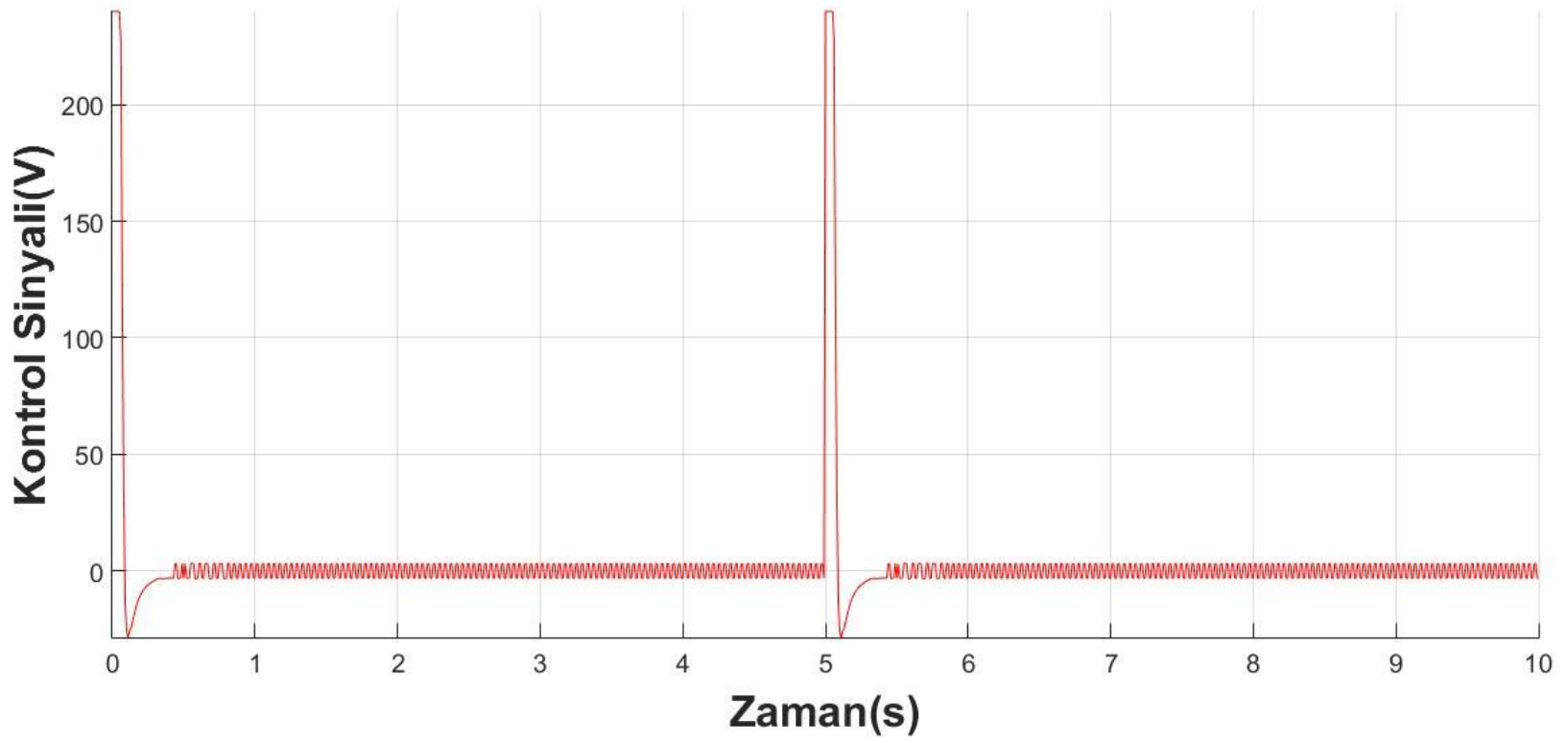
kalabilir. Şekil 6.13'de satürasyon sonrası kontrol sinyali;

$$-240 \text{ V} \leq u(t) \leq +240 \text{ V}$$

arasında kalmaktadır.



Şekil 6.12 KKBD’de satürasyon öncesi kontrol sinyali.



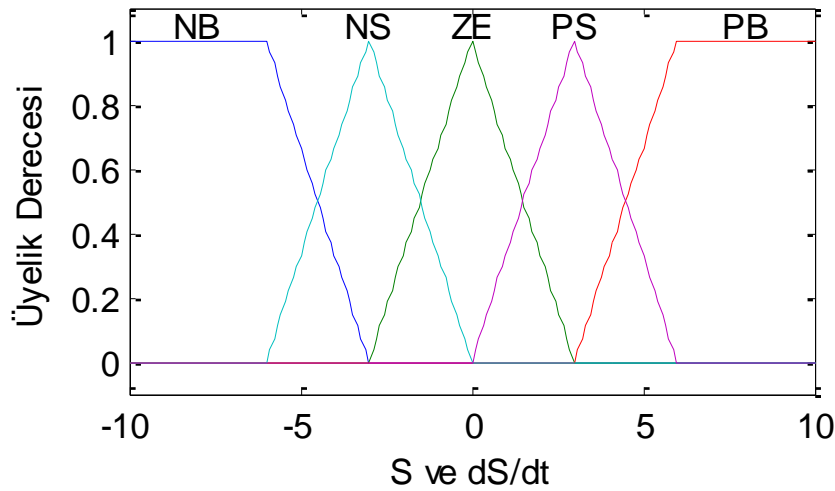
Şekil 6.13 KKBD’de satürasyon sonrası kontrol sinyali.

### 6.3.Çatırdama Problemi ve Geciktiricinin Önemi

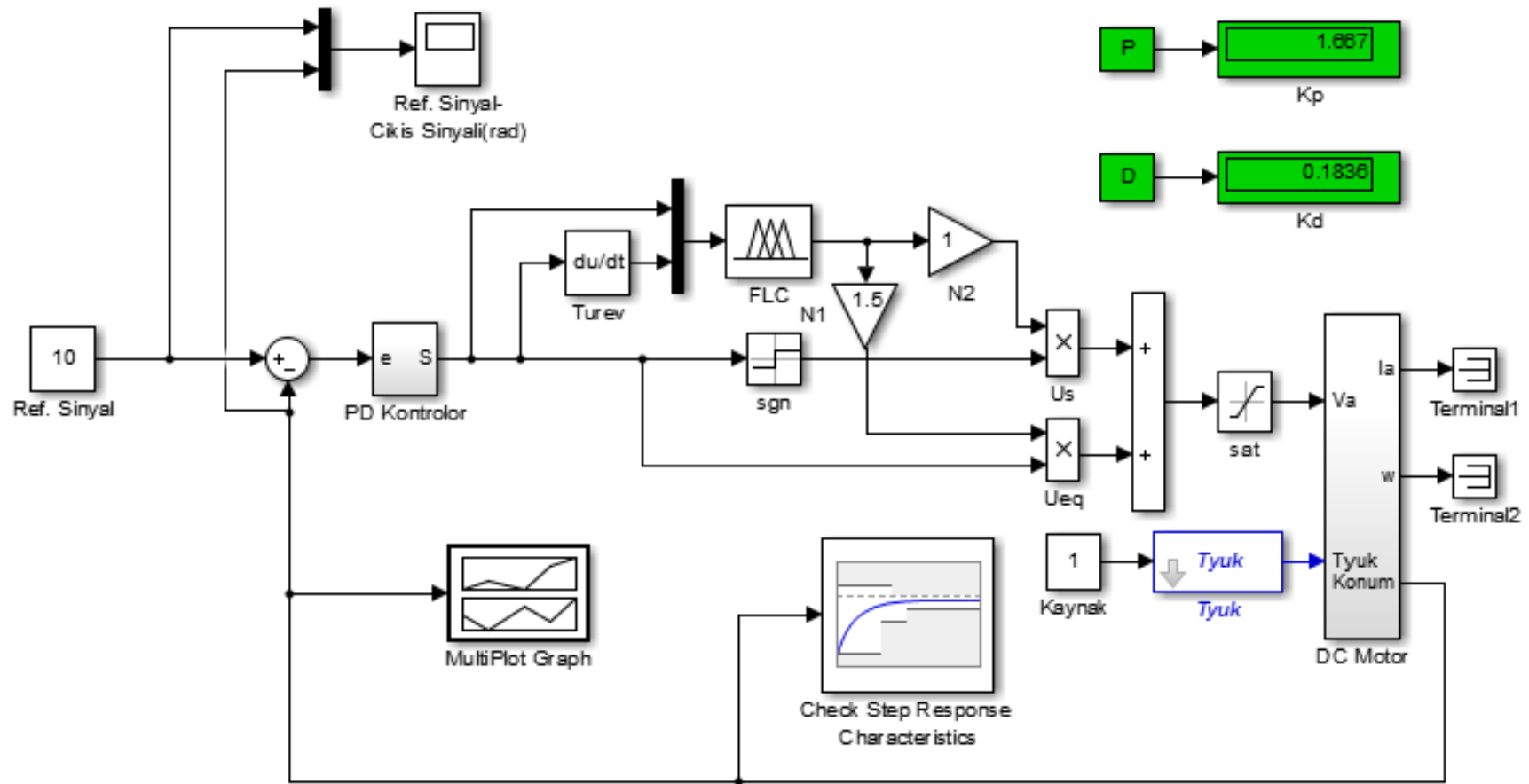
Kayma kipli denetim metodunda en büyük dezavantaj, kontrol sinyalinin teoride bir değerden başka bir değere sonsuz hızda anahtarlanması gerekliliğidir. Sonsuz hızda anahtarlama, pratik işlemlerde, mikroişlemciler sonlu örnekleme zamanına sahip olduğundan mümkün değildir. Pratik kayma kipli denetim uygulamalarında, sınırlı örnekleme periyodundan dolayı, kayma ve kalıcı durumda çatırdama problemi oluşur. Çatırdama problemi, kalıcı durum modunda, referans sinyal etrafında yüksek frekans osilasyonlarına neden olarak, sistemin modellenmemiş yüksek frekans dinamiklerinin ortaya çıkmasına neden olur. ‘‘Chattering’’ olarak da isimlendirilen bu istenmeyen salınımları gidermeye veya azaltmaya yönelik çalışmalar bulunmaktadır [18-21,30].

Bu çalışmada, çatırdama problemini gösterebilmek için; Şekil 6.1’deki DA motoru KKBD blok diyagramında bulunan BD’nin (FLC) girişlerinden kayma (S) aynen bırakılıp, kayma farkı (dS), **zamana bağımlı** kaymanın türevi (dS/dt) olarak değiştirildi. (Şekil 6.15) dS/dt zamana bağımlı olduğundan örnekleme hızı düşük tutulursa, kalıcı durumda çatırdama problemi oluşabilir.

Bulanık çıkış üyelik fonksiyonları değiştirilmeyen KKBD’ye ait BD’nin giriş değişkenleri ve üyelik fonksiyonları Şekil 6.14’de görüldüğü gibidir.

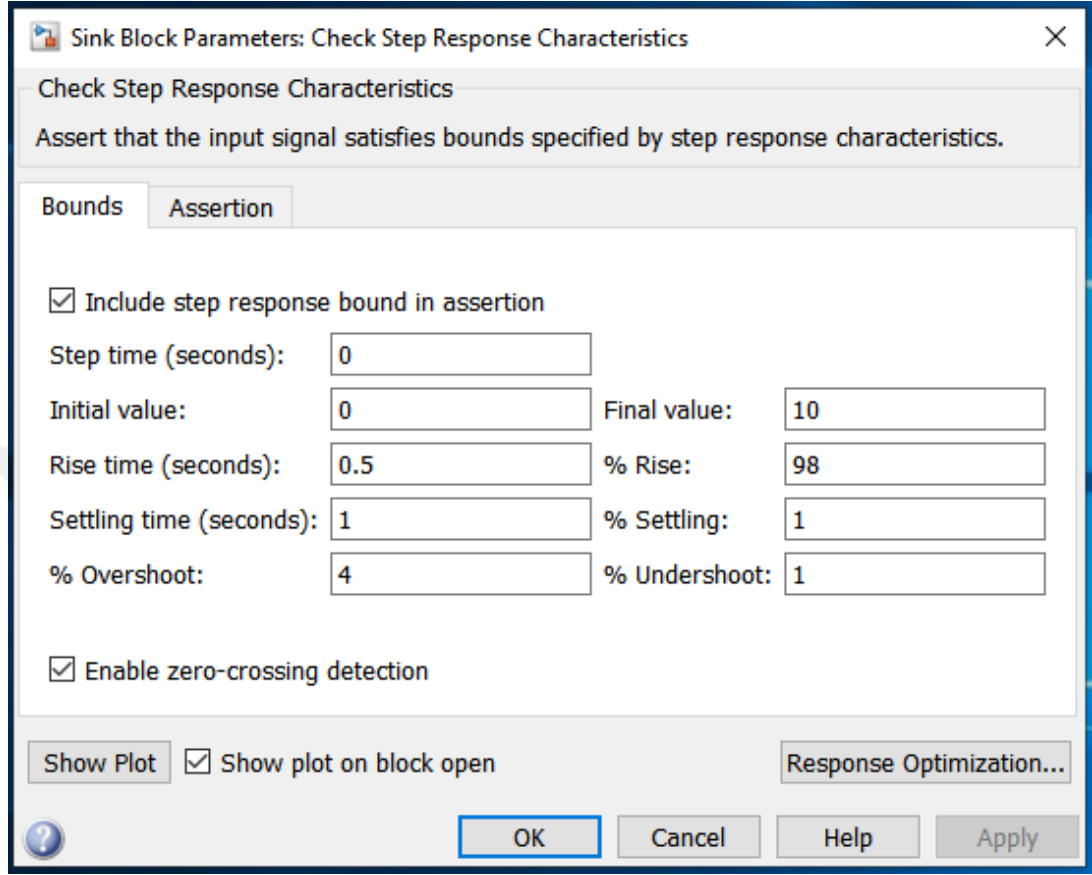


Şekil 6.14 Giriş değişkenleri olan kayma (S) ve kaymanın türevi (dS/dt) için üyelik fonksiyonları [28,29].



Şekil 6.15 ds/dt bulanık giriqli DA motoru KKBD blok diyagramı.

Şekil 6.15’de verilen dS/dt bulanık girişli çalışmada, Şekil 6.16’da verilen koşullar altında optimizasyon yapılmıştır.



Şekil 6.16 dS/dt bulanık girişli KKBD optimizasyon koşulları.

Burada;

Yükselme zamanı (rise time)  $\leq 0,5$  s

Yerleşme zamanı (settling time)  $\leq 1$  s

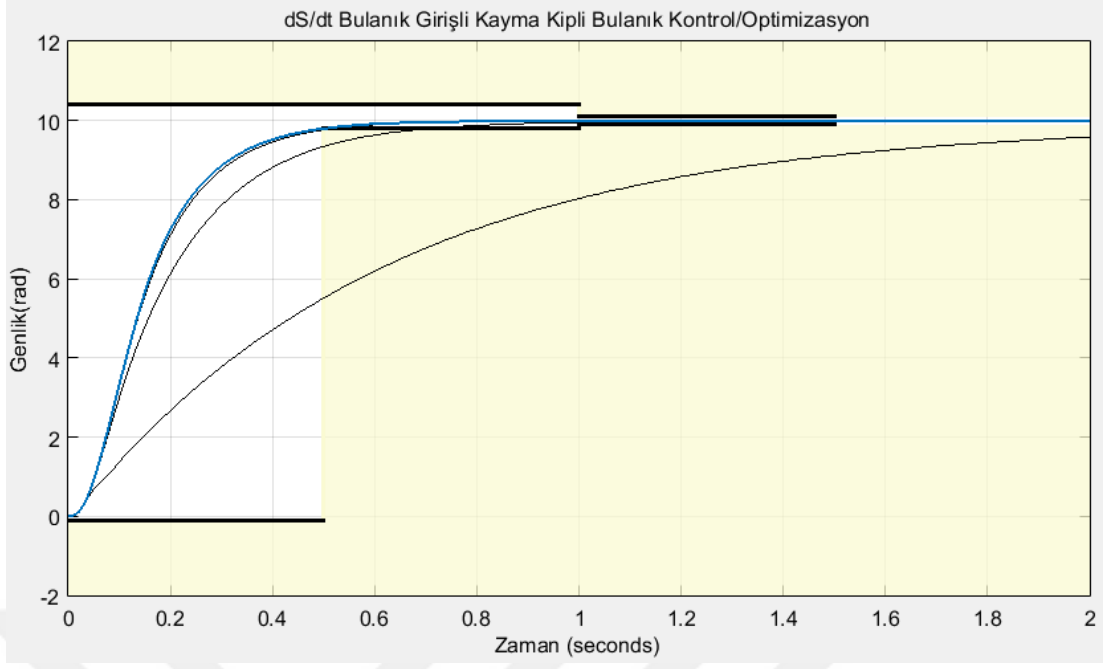
% Maksimum aşma (% overshoot)  $\leq \%4$

Yükselme yüzdesi (% rise)  $\leq \%98$

Kalıcı durumda yukarı yönlü aşma toleransı (% settling)  $\leq \%1$

Kalıcı durumda aşağı yönlü aşma toleransı (% undershoot)  $\leq \%1$

olacak şekilde optimizasyon yapılarak optimum  $K_p=1,667$  ve optimum  $K_d=0,1836$  değerleri elde edilmiştir. Şekil 6.17’de ise dS/dt bulanık girişli KKBD optimizasyon süreci verilmiştir.



Şekil 6.17 dS/dt bulanık girişli KKBD optimizasyon süreci.

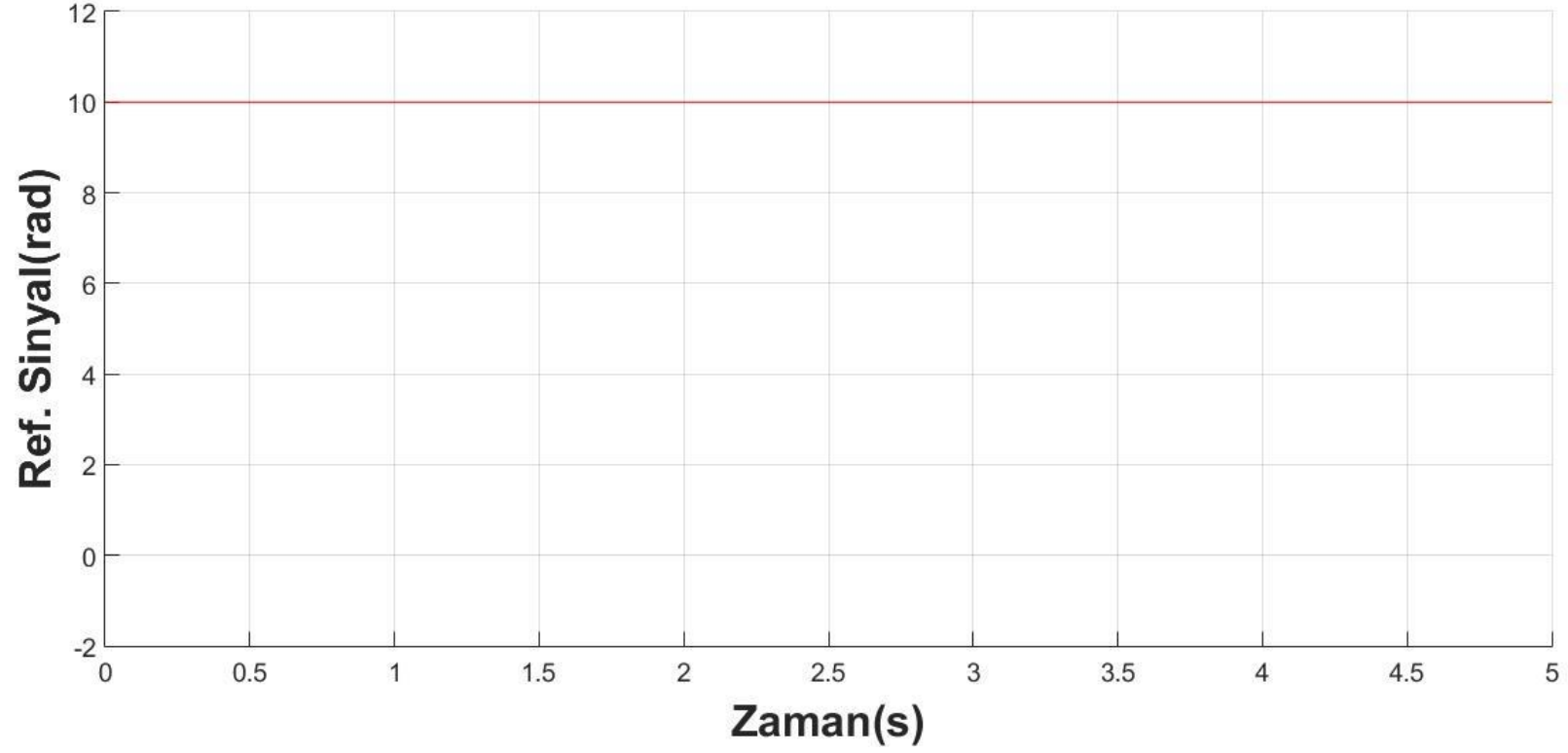


## 7.BULGULAR VE BENZETİM SONUÇLARI

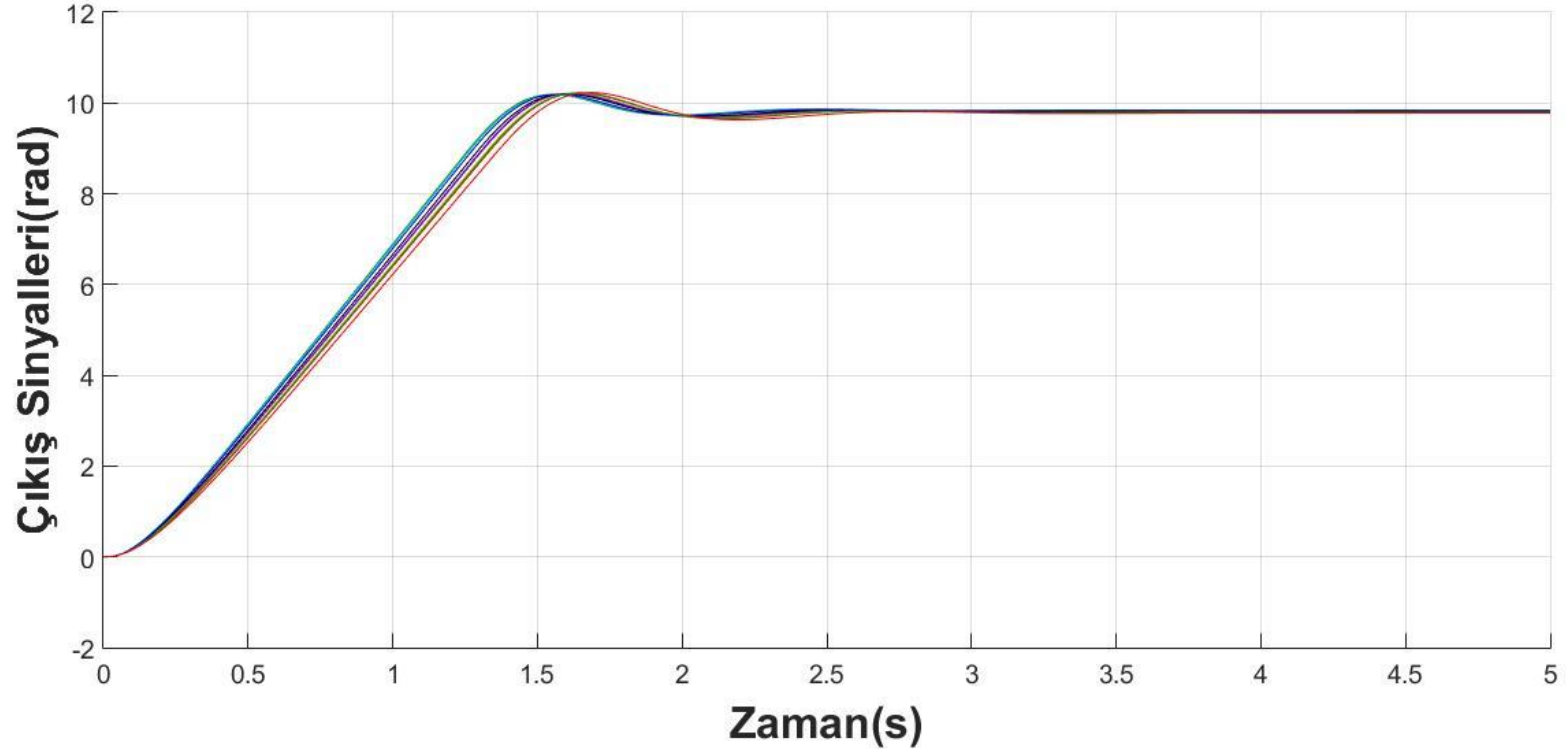
### 7.1.Toleranslı Direnç ve Endüktans

BD, KKBD ve  $dS/dt$  bulanık girişli KKBD'ye Şekil 7.1'de görüldüğü gibi referans sinyal  $\theta_{ref}=10$  rad olarak uygulanmıştır. KKBD ve  $dS/dt$  bulanık girişli KKBD'de kazanç katsayıları  $N_1=1,5$  ve  $N_2=1$  olarak alınmıştır. Şekil 7.2, Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'de Matlab/Simulink/Robust Control Toolbox/MultiPlot Graph ve 'ureal' komutu ile alınabilen onar adet benzetim sonucu bulunmakta olup, sonuçlar direnç ve endüktansa  $\pm \%20$  tolerans verilerek elde edilmiştir.

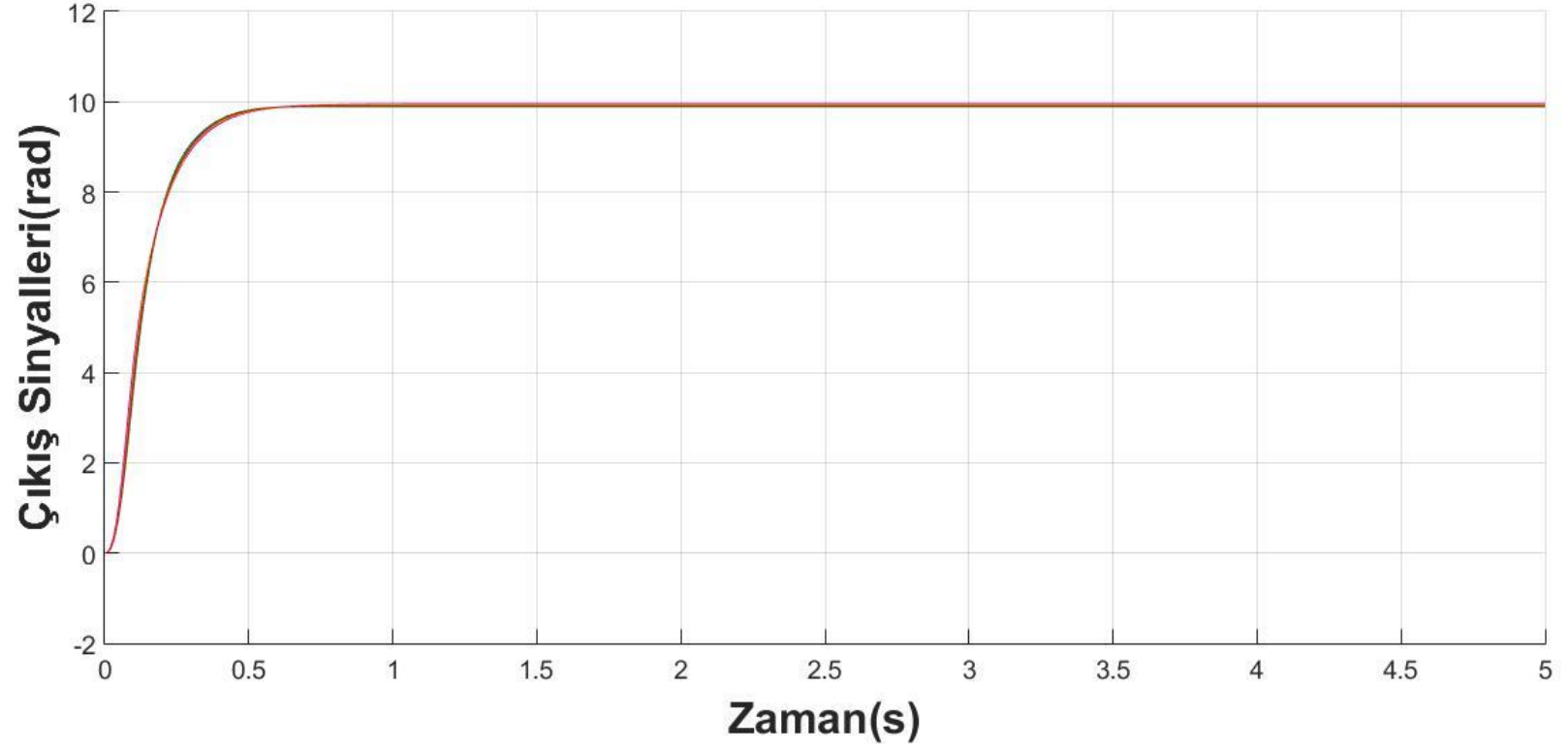




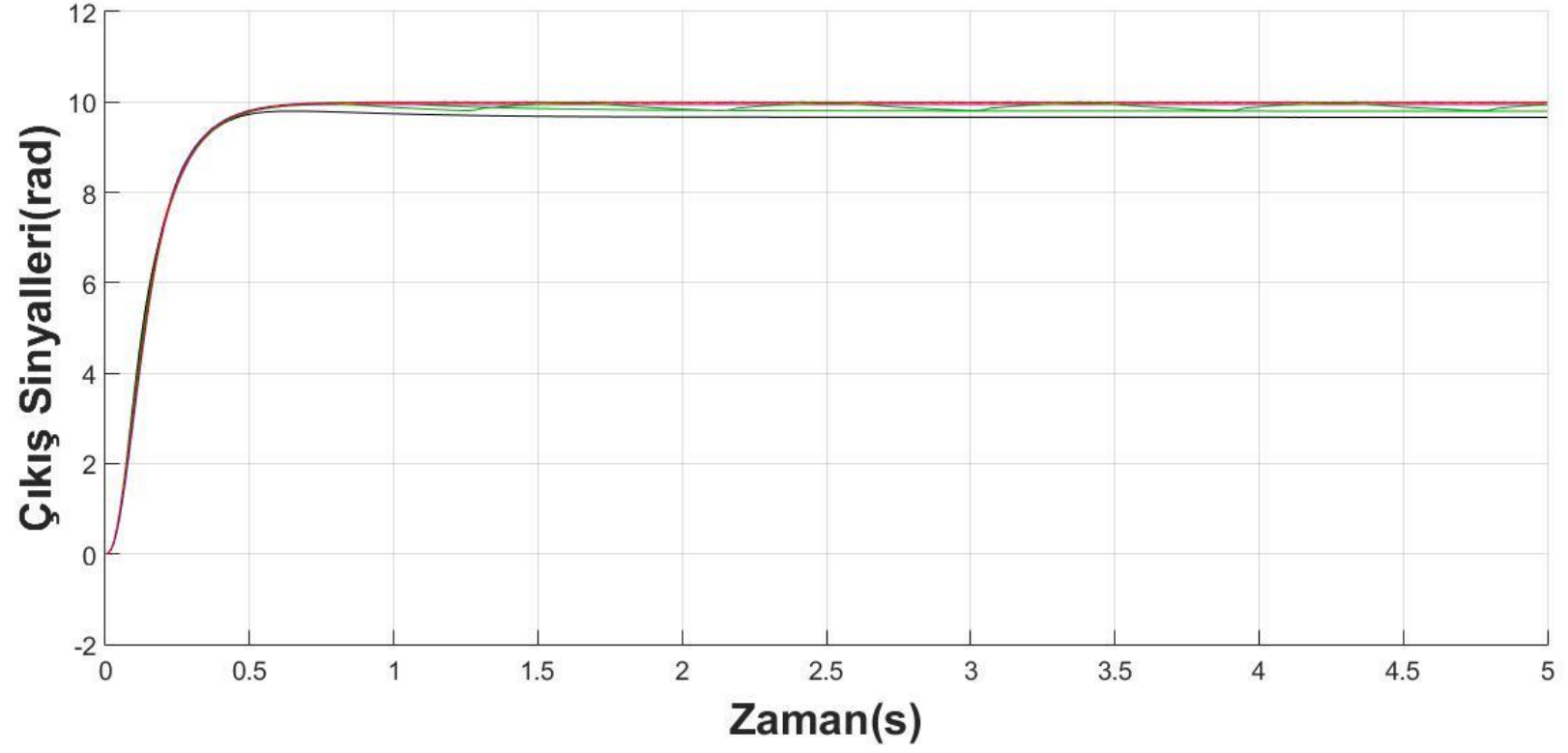
Şekil 7.1 Referans sinyal ( $\theta_{ref}$ ).



Şekil 7.2  $R_a=11,2 \Omega \pm \%20$  ve  $L_a=0,1215 \text{ H} \pm \%20$  belirsizlik sınırları içerisinde BD çıkış sinyalleri.



Şekil 7.3  $R_a=11,2 \Omega \pm \%20$  ve  $L_a=0,1215 \text{ H} \pm \%20$  belirsizlik sınırları içerisinde dS bulanık girişli KKBD çıkış sinyalleri.



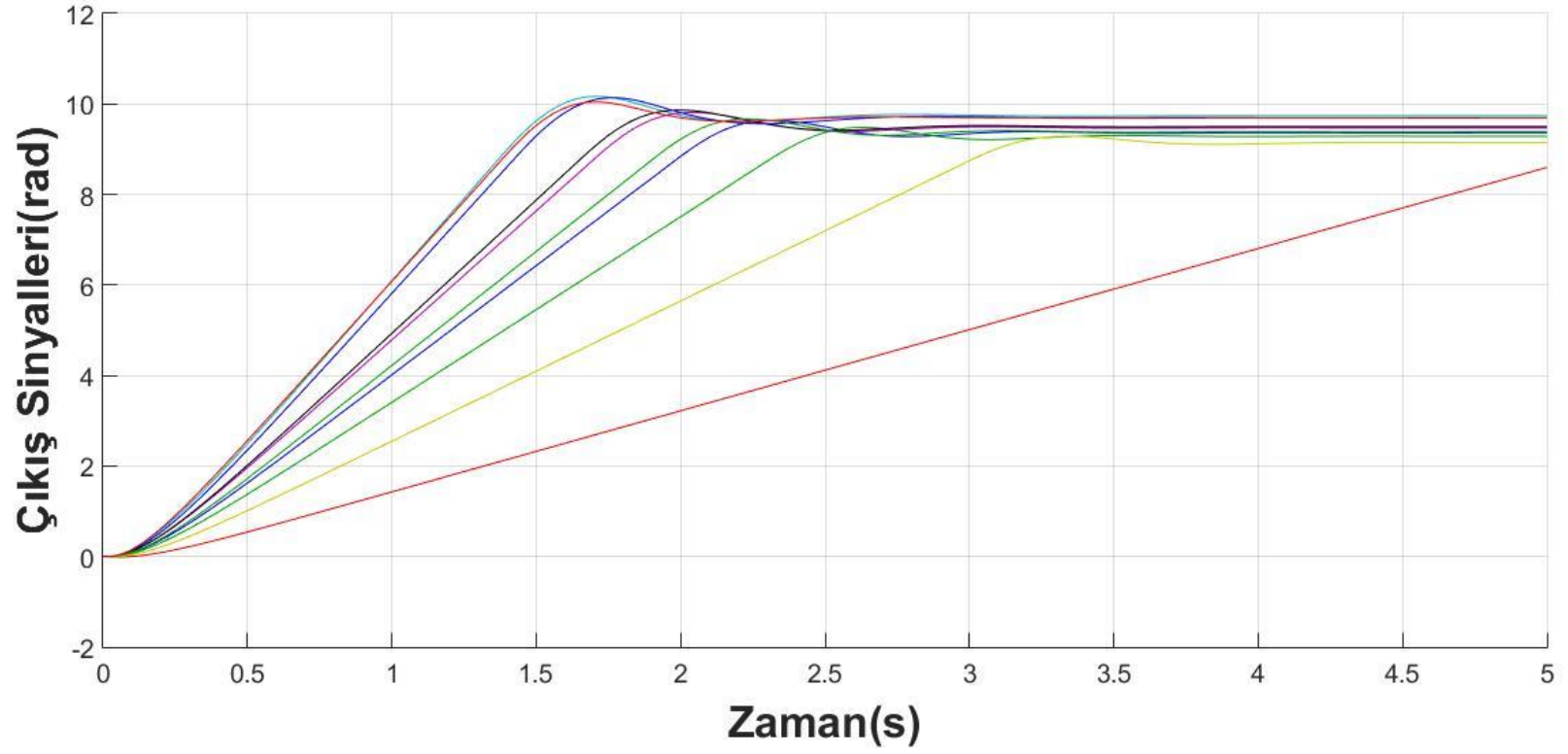
Şekil 7.4  $R_a=11,2 \Omega \pm \%20$  ve  $L_a=0,1215 H \pm \%20$  belirsizlik sınırları içerisinde dS/dt bulanık girişli KKBD çıkış sinyalleri.

Bütün yöntemler için optimizasyon yapılmasına rağmen Şekil 7.2, Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'den görüldüğü gibi KKBD ve dS/dt bulanık girişli KKBD'de, BD'ye göre yerleşme zamanı daha kısa olup, sistem daha hızlı referans sinyaline ulaşır. Bu durum, KKBD yöntemlerinin önemli bir üstünlüğüdür. Direnç ve endüktans parametrelerinin değişimi ise yöntemlerin sonuçlarını çok fazla etkilememektedir.

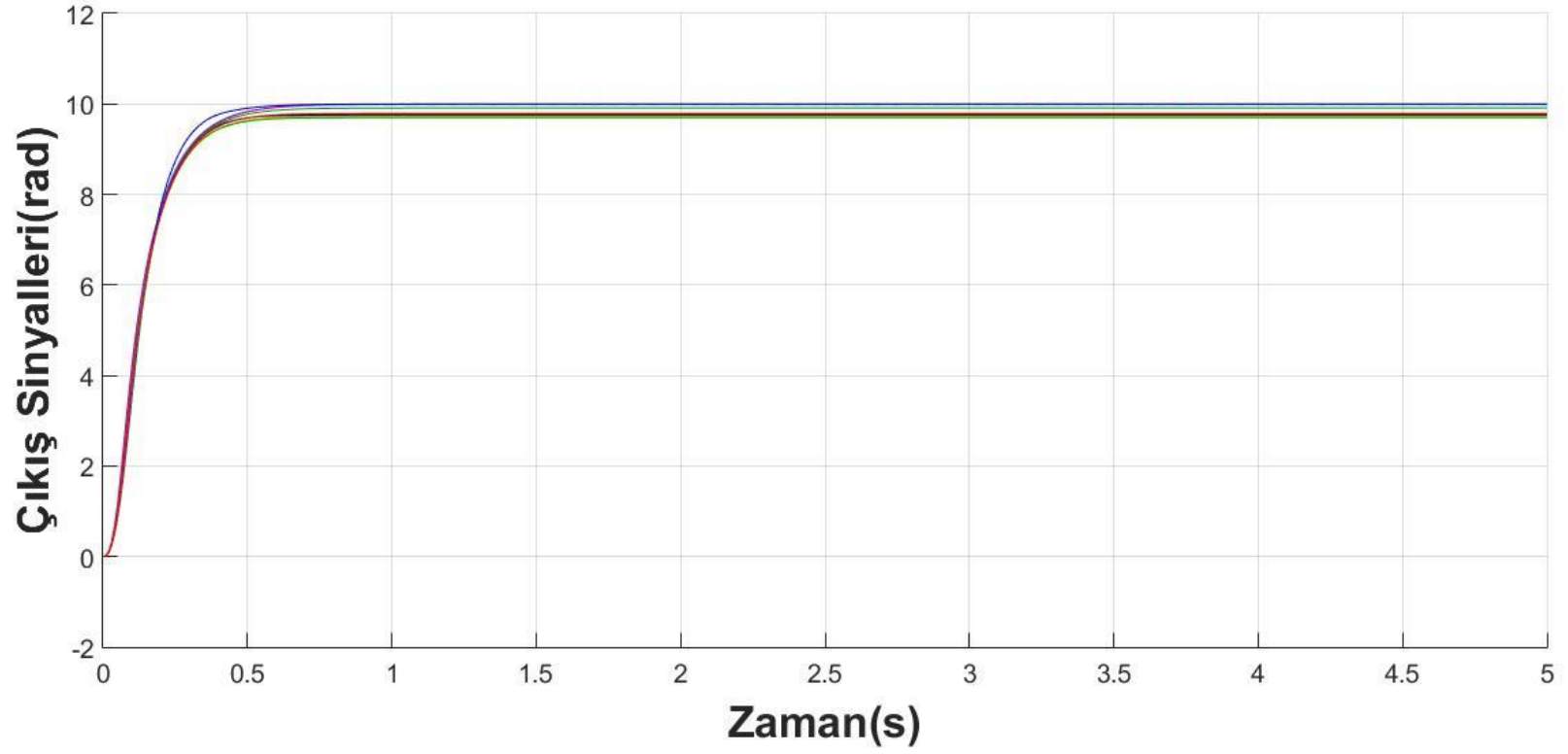
## **7.2.Yükteki Belirsizlik**

Şekil 7.5 ve Şekil 7.6 ise direnç ve endüktanstaki toleransa ek olarak yüke  $0-50J_m$  aralığında sınırlı belirsizlik eklenerek yapılan onar adet benzetim sonucunu göstermektedir. KKBD'de kazanç katsayıları  $N_1=1,5$  ve  $N_2=1$  olarak alınmıştır.





Şekil 7.5  $R_a=11,2 \Omega \pm \%20$ ,  $L_a=0,1215 \text{ H} \pm \%20$  ve  $T_{yük}=0-50J_m$  belirsizlik sınırları içerisinde BD çıkış sinyalleri.



Şekil 7.6  $R_a=11,2 \Omega \pm \%20$ ,  $L_a=0,1215 H \pm \%20$  ve  $T_{yük}=0-50J_m$  belirsizlik sınırları içerisinde KKBD çıkış sinyalleri.

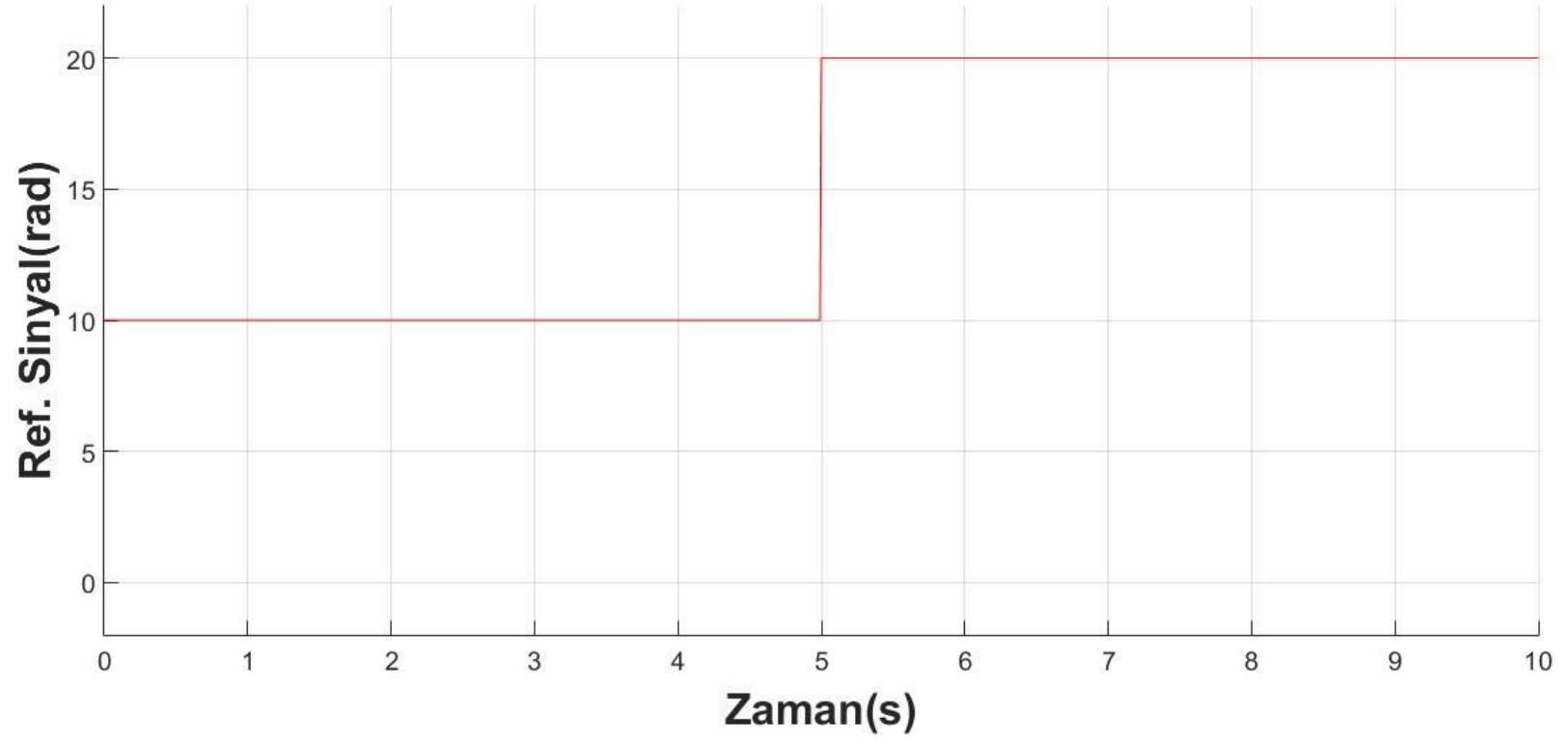


Şekil 7.5 ve Şekil 7.6'daki sonuçlara bakıldığında açıkça görülmektedir ki KKBD, yük değişimlerine ve belirsizliklerine karşı oldukça dayanıklıdır. Bu KKBD'nin en önemli üstünlüğüdür. BD uygulamasında çıkış sinyalleri arasında belirgin farklar olup, çıkış sinyallerinin bir kısmında kalıcı durum hatası gözlenmekte ve yükselme ile yerleşme zamanları değişmektedir.

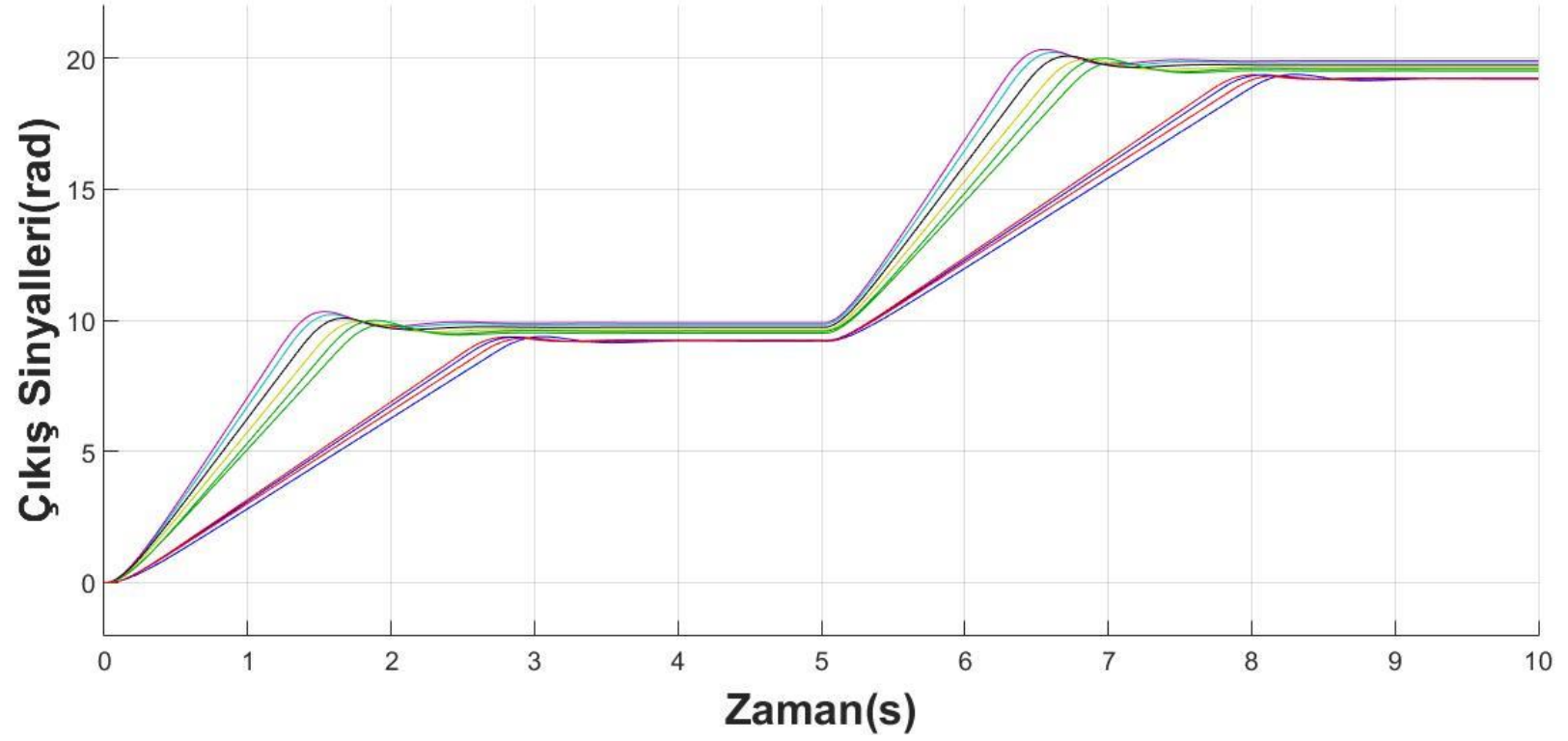
### **7.3.Merdiven Şeklinde Basamak Referans Sinyal**

BD ve KKBD'ye Şekil 7.7'deki merdiven şeklinde basamak referans sinyal uygulanmıştır. KKBD'de kazanç katsayıları  $N_1=1,5$  ve  $N_2=1$  olarak alınmıştır. Şekil 7.8 ve Şekil 7.9'da onar adet benzetim sonucu bulunmakta olup, sonuçlar direnç ve endüktansa  $\pm \%20$  tolerans, yüke ise  $0-50J_m$  aralığında sınırlı belirsizlik eklenerek elde edilmiştir.

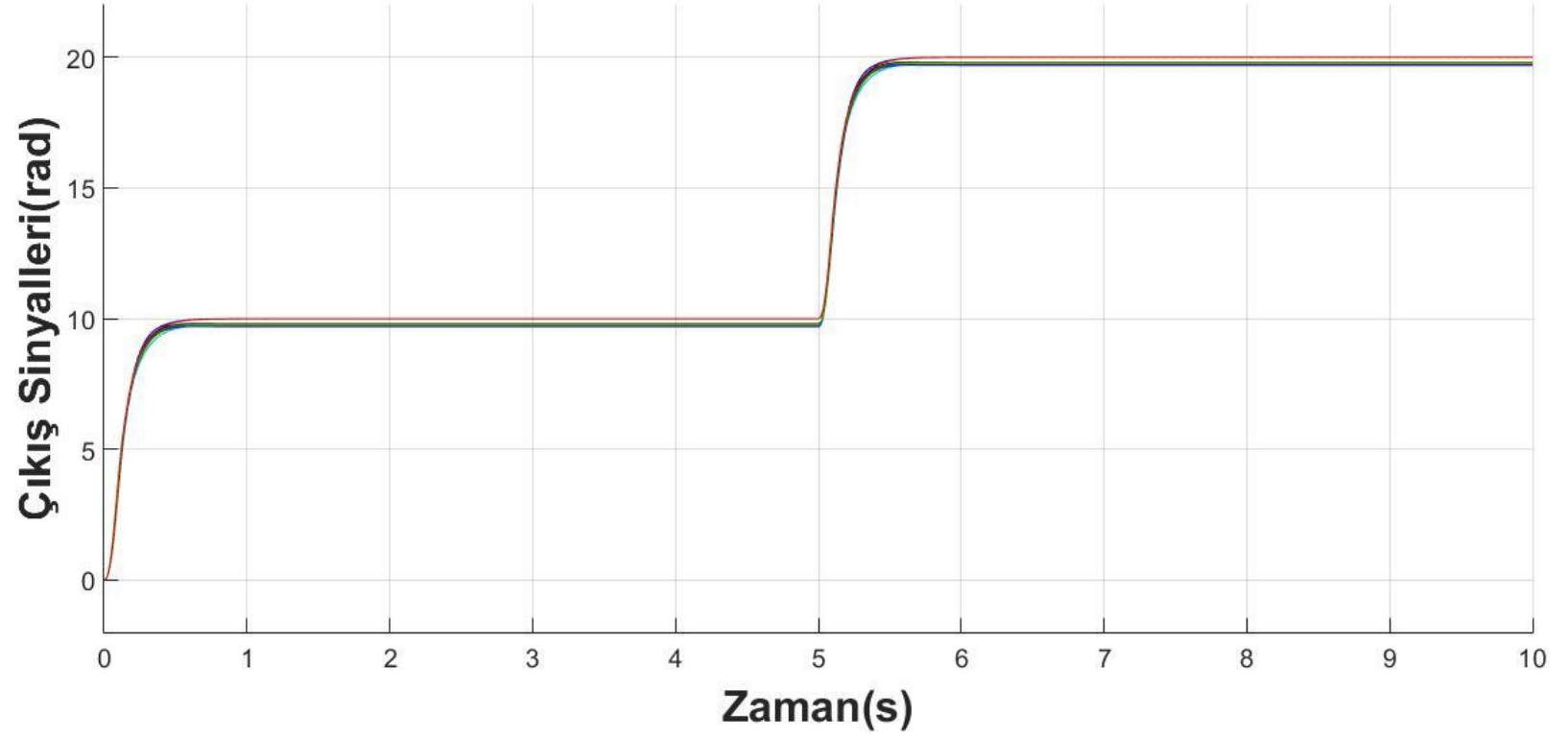




Şekil 7.7 Referans sinyal ( $\theta_{ref}$ ).



Şekil 7.8  $R_a=11,2 \Omega \pm \%20$ ,  $L_a=0,1215 H \pm \%20$  ve  $T_{yük}=0-50J_m$  belirsizlik sınırları içerisinde BD çıkış sinyalleri.

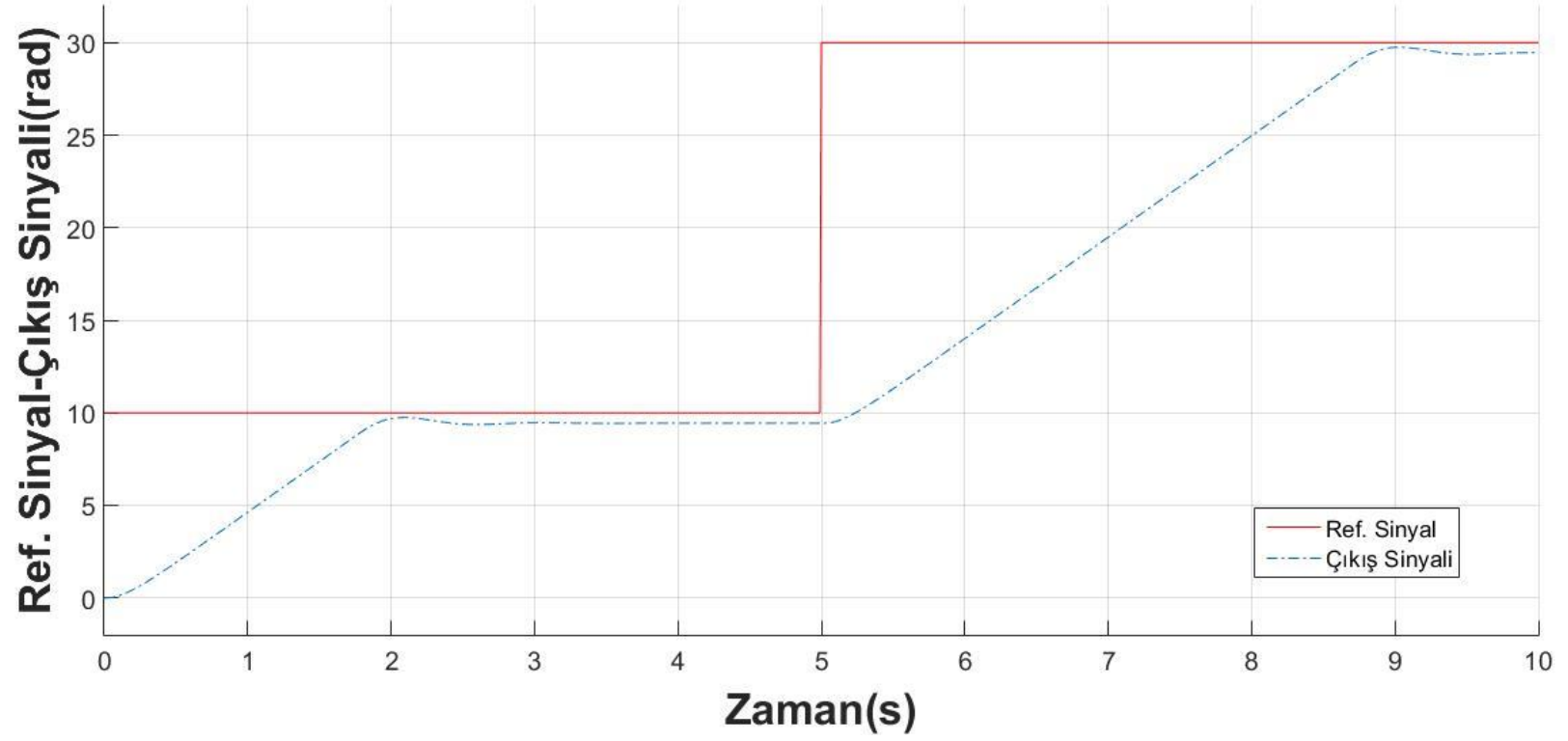


Şekil 7.9  $R_a=11,2 \Omega \pm \%20$ ,  $L_a=0,1215 \text{ H} \pm \%20$  ve  $T_{yük}=0-50J_m$  belirsizlik sınırları içerisinde KKBD çıkış sinyalleri.

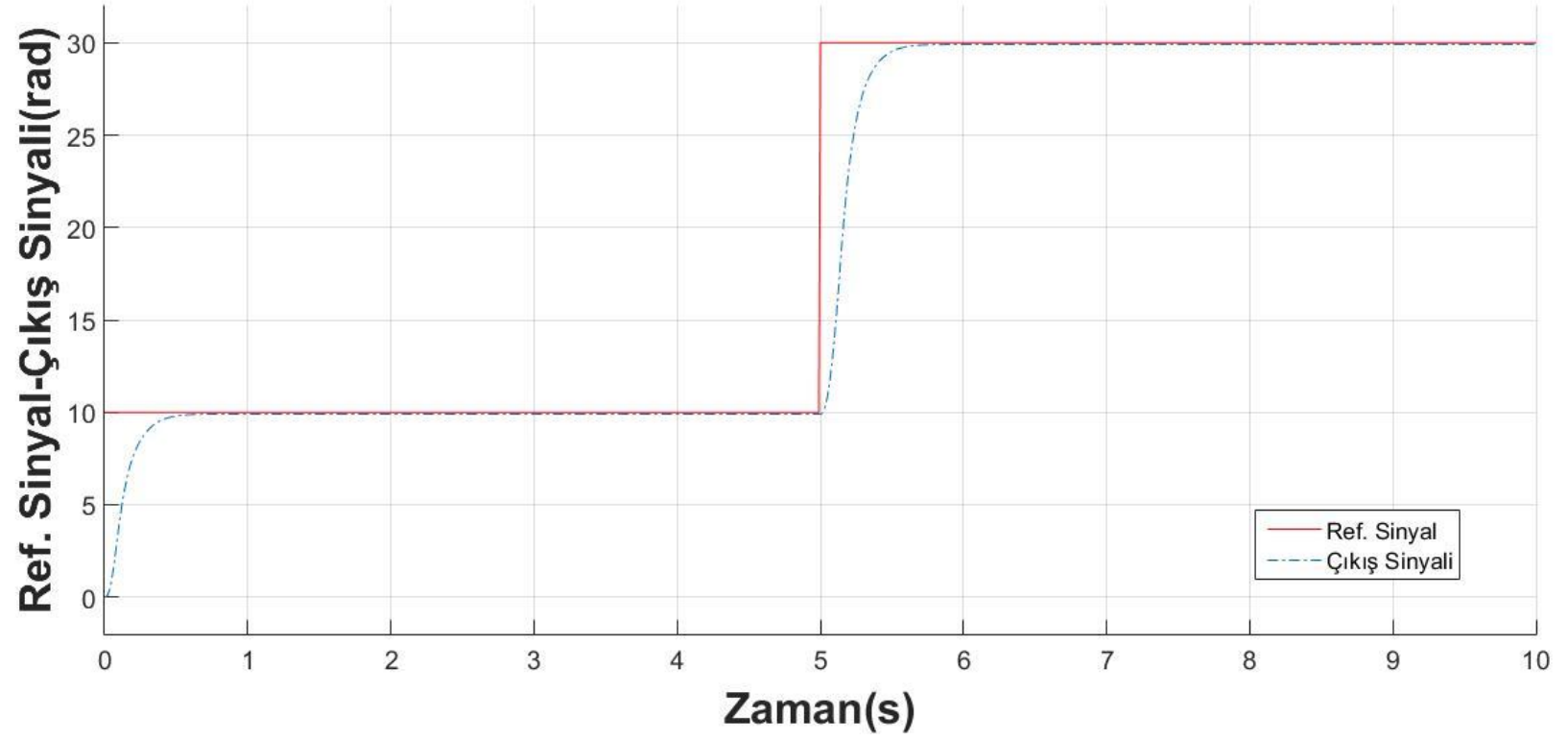
Şekil 7.8 ve Şekil 7.9'daki sonuçlara bakıldığında KKBD, yük değişimlerine ve yükteki belirsizliklere karşı oldukça dayanıklıdır. Merdiven şeklindeki basamak referans sinyali izleyebilmektedir. BD uygulamasında ise çıkış sinyalleri arasında belirgin farklar olup, çıkış sinyallerinin bir kısmında kalıcı durum hatası gözlenmekte ve yükselme ile yerleşme zamanları değişkenlik göstermektedir.

#### **7.4.Değişken Referans Sinyal**

Şekil 7.10 ve Şekil 7.11'de BD ve KKBD'ye değişken değerli referans sinyal uygulanmıştır. Referans sinyal girişi 0-5 s aralığında 10 radyan iken, 5-10 s aralığında 30 radyana çıkartılmıştır.  $t=5$ . s'de hata (e) 20 radyandır.  $R_a=11,2 \Omega$ ,  $L_a=0,1215$  H nominal değerler,  $T_{yük}=25J_m$  ve KKBD'de kazanç katsayıları  $N_1=1,5$  ve  $N_2=1$  olarak alınmıştır.



Şekil 7.10  $R_a=11,2 \Omega$ ,  $L_a=0,1215 \text{ H}$  ve  $T_{yük}=25J_m$  için BD referans ve çıkış sinyali.



Şekil 7.11  $R_a=11,2 \Omega$ ,  $L_a=0,1215 \text{ H}$  ve  $T_{yük}=25J_m$  için KKBD referans ve çıkış sinyali.

Şekil 7.11'deki çıkış sinyaline bakıldığında KKBD, değişken referans sinyali izleyebilmektedir.  $t=5$ . s'den önce ve sonra yükselme ve yerleşme zamanları yaklaşık olarak birbirine eşittir. BD uygulamasında ise Şekil 7.10'daki çıkış sinyali incelendiğinde  $t=5$ . s'den sonra yükselme ve yerleşme zamanlarının yaklaşık 2 kat arttığı görülmektedir. Hatanın 2 katına çıkmasıyla yükselme ve yerleşme zamanları da orantılı bir şekilde artmaktadır.

### 7.5.Çatırdama Problemi

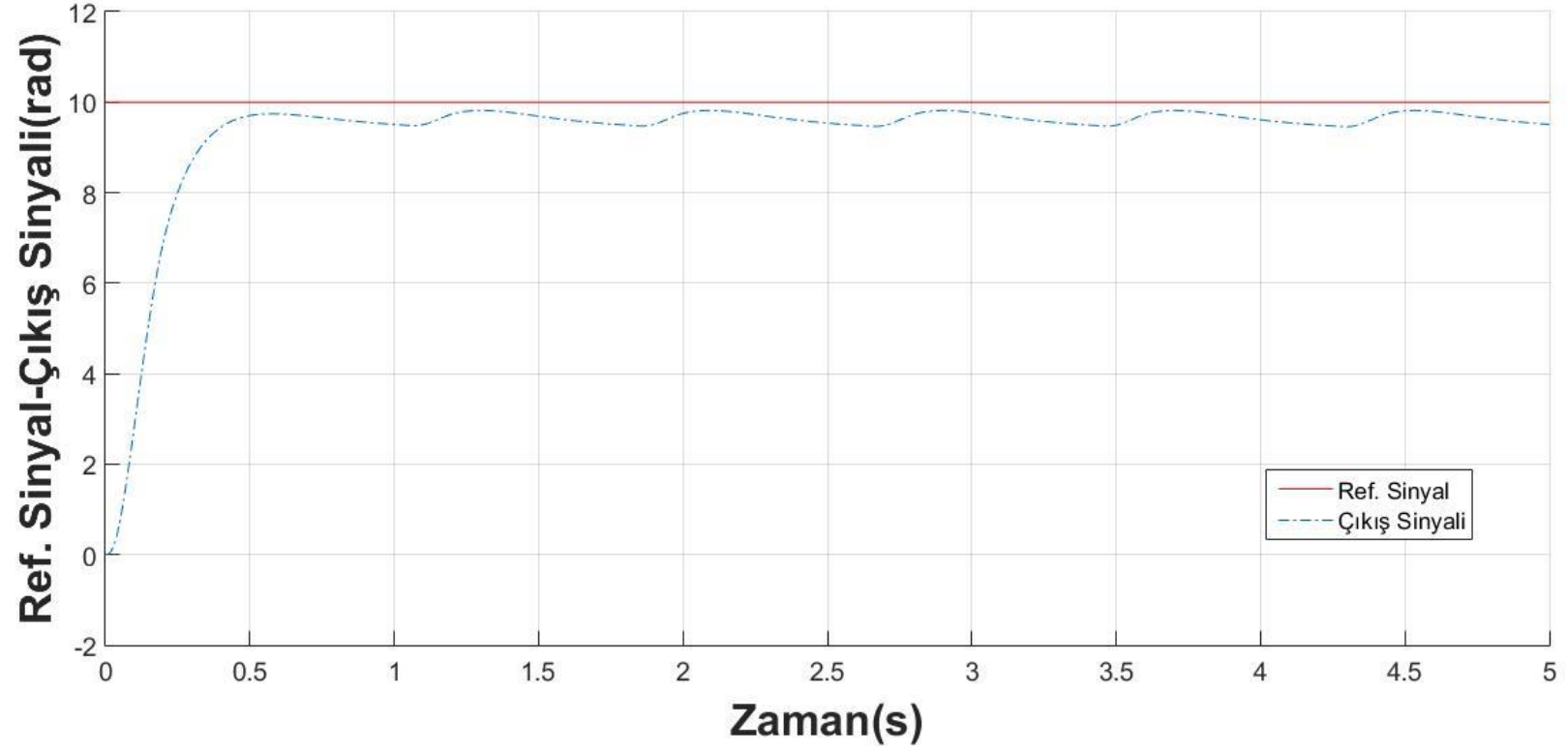
S ve  $dS/dt$  bulanık girişli KKBD'de bulunan BD'nin (FLC),  $dS/dt$  girişi zamana bağımlı olduğundan ve çatırdama problemi sınırlı örnekleme periyodundan kaynaklandığından Matlab/Simulink ortamında örnekleme süresi ( $t_{\text{örnekleme}}$ ) sınırlı seçilirse çatırdama problemi görülebilir.

$$R_a=11,2 \Omega + \%20=13,44 \Omega,$$

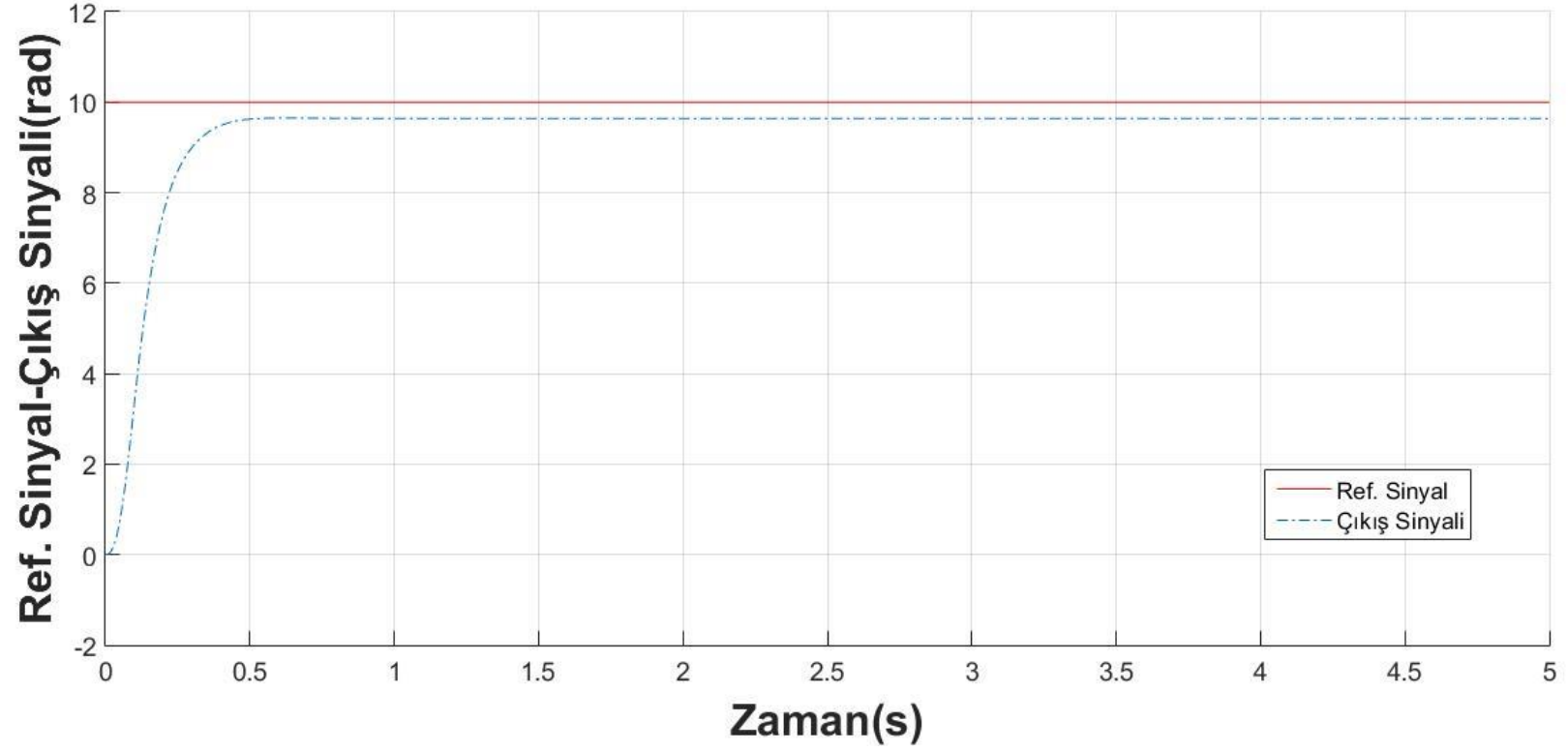
$$L_a=0,1215 \text{ H} + \%20=0,1458 \text{ H},$$

$T_{\text{yük}}=50\text{J}_m$ ,  $N_1=1,5$ ,  $N_2=1$  ve  $t_{\text{örnekleme}}=0,01$  s değerleri için  $dS/dt$  bulanık girişli KKBD ile  $dS$  bulanık girişli KKBD'ye ait benzetim sonuçları Şekil 7.12 ve Şekil 7.13'deki gibidir.





Şekil 7.12  $R_a=13,44 \Omega$ ,  $L_a=0,1458 \text{ H}$ ,  $T_{yük}=50J_m$  ve  $t_{örneklem}=0,01 \text{ s}$  için  $dS/dt$  bulanık girişli KKBD referans ve çıkış sinyali.



Şekil 7.13  $R_a=13,44 \Omega$ ,  $L_a=0,1458 \text{ H}$ ,  $T_{yük}=50J_m$  ve  $t_{ömeklem}=0,01 \text{ s}$  için dS bulanık girişli KKBD referans ve çıkış sinyali.

Şekil 7.12'deki çıkış sinyaline bakıldığında  $dS/dt$  bulanık girişli KKBD'de, sınırlı örnekleme süresinden ve girişin zamana bağımlı olmasından kaynaklanan, çatırdama problemi denilen, kalıcı durumda istenmeyen salınımların meydana geldiği görülmektedir. Matlab/Simulink ortamında alınan sonuçlara göre Şekil 7.13'de ise  $dS$  bulanık girişli KKBD'de kalıcı durumda herhangi bir salınım görülmemektedir.



## 8.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, DA motorunun çalışma prensibinden ve DA motoruna ilişkin denklemlerden yola çıkılarak DA motorunun matematiksel modeli (Bkz. Şekil 2.1) ve Matlab/Simulink blok diyagramı (Bkz. Şekil 2.2) elde edildi. Matlab/Simulink/Robust Control Toolbox kütüphanesi ve eklerde verilen yazılım parçacıkları kullanılarak motora ait parametrelerden direnç ve endüktans tolerans, yüke ise sınırlı belirsizlik eklenerek zorlu ve değişken şartlar altında BD'ler ile KKD ve BD'nin senteziyle gerçekleştirilen KKBD'lerin dayanıklılıkları, yetenekleri ve sonuçları karşılaştırıldı.

Karşılaştırmaların adaletli olabilmesi adına bütün yöntemler için nominal şartlar altında, aynı değerden başlayarak  $K_p$  ve  $K_d$  oransal ve türevsel kazanç katsayılarının optimizasyonu yapıldı. Bulanık giriş ve çıkış üyelik fonksiyonlarının değer aralıkları eşit tutuldu.

Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Denetim sistemlerinde yükselme ve yerleşme zamanlarının mümkün olduğu kadar kısa olması beklenir. KKBD ile yapılan uygulamalarda, BD ile yapılanlara göre yükselme ve yerleşme zamanları daha kısa olup, sistem daha hızlı referans sinyaline ulaşmaktadır. Bunun nedeni, BD'de, kontrol sinyalinin FLC'ün çıkış üyelik fonksiyonuna bağımlı olmasından kaynaklanmaktadır. FLC'ün çıkışı aynı zamanda kontrol sinyalidir. KKBD'de ise kontrol sinyali iki sinyal bileşeninden oluşur.

Eşdeğer kontrol sinyali

Kayma sinyali

Bu sinyallerden eşdeğer kontrol sinyali referans sinyale erişmede oldukça etkilidir. Bu sinyal, FLC'ün çıkış üyelik fonksiyonuyla orantılı olduğu gibi kayma fonksiyonuyla da orantılıdır. Böylece kayma fonksiyonunun etkisiyle KKBD'de yükselme ve yerleşme zamanları kısalmaktadır. (Bkz. Şekil 7.2, Şekil 7.3 ve Şekil 7.4)

- DA motoru ısınınca, motora ait parametrelerden armatür (endüvi) direnci artar [27]. Benzer şekilde endüktans da değişir. Bu çalışmada, direnç ve endüktans parametrelerinin değişiminin ve verilen toleransların karşılaştırılan yöntemleri çok fazla etkilemediği görülmektedir. (Bkz. Şekil 7.2, Şekil 7.3 ve Şekil 7.4)

- Denetim sistemlerinde kalıcı durum hatası istenmeyen bir durumdur. DA motorlarının maruz kaldığı yükün belirsizliği durumlarında, BD ile yapılan uygulamalarda, çıkış sinyalleri arasında belirgin farklar olup, çıkış sinyallerinin bir kısmında kalıcı durum hatası gözlenmektedir. Yükün arttığı durumlarda yükselme ve yerleşme zamanları da artmaktadır. KKBD’de ise kalıcı durum hatası ihmal edilebilir seviyede olup, yüke göre yükselme ve yerleşme zamanları değişmemektedir. KKBD’de, kalıcı durumda, referans sinyale dayanıklı bir şekilde tutunmayı sağlayan, kontrol sinyalini oluşturan iki sinyal bileşeninden biri olan kayma sinyalidir. Kayma fonksiyonunun işaretine bağlı olarak röle görevini üstlenen  $\text{sgn}(S)$ , eşdeğer kontrol sinyalinden daha düşük değerde seçilen kayma sinyalinin pozitif veya negatif değerler almasını sağlar. Böylece kalıcı durumda çıkış sinyalinin referans sinyaline tutunması kolaylaşır ve kalıcı durum hatası oluşmaz. KKBD, BD’ye göre yük değişimlerine ve belirsizliklerine karşı daha dayanıklıdır. (Bkz. Şekil 7.5 ve Şekil 7.6)
- BD’de, özellikle hatanın da değiştiği değişken referans sinyallerde, kontrol sinyalinin yalnızca FLC’ün çıkış üyelik fonksiyonunun değer aralığına bağlı olmasından dolayı, yükselme ve yerleşme zamanları değişmektedir. Referans sinyal artırıldığında, hata da artmakta fakat FLC’ün başlangıçta belirlenen çıkış üyelik fonksiyonunun değer aralığı, yeni durum için yeterli olmayabilmektedir. Böylece yükselme ve yerleşme zamanları da artmaktadır. Bu durumda yapılması gereken FLC’ün çıkış üyelik fonksiyonunun değer aralığının yeniden tanımlanması olacaktır. KKBD ise farklı türden referans sinyalleri daha başarılı bir şekilde izleyebilmektedir. KKBD’de, kontrol sinyalini oluşturan iki sinyal bileşeninden biri olan eşdeğer kontrol sinyali, kayma fonksiyonuyla, kayma fonksiyonu da hata sinyaliyle, hata sinyali ise referans sinyalle orantılı olduğundan; referans sinyal değişimlerinde, eşdeğer kontrol sinyali ve dolayısıyla kontrol sinyali, yeni duruma daha kolay adapte olmaktadır. Böylece referans sinyaline erişim BD’ye göre daha kısa sürede gerçekleşmektedir. (Bkz. Şekil 7.9, Şekil 7.10 ve Şekil 7.11)
- KKD yöntemlerinin dezavantajı çatırdama problemi. Çatırdama problemi, pratik uygulamalarda mikroşlemcilerin sınırlı örnekleme süresinden ve kontrol sinyalini sonsuz hızda anahtarlamamanın mümkün olmayışından kaynaklanan, kalıcı durumda, referans sinyal etrafında oluşan salınım olayıdır. Kayma (S) ve zamana bağımlı kaymanın türevi ( $dS/dt$ ) bulanık girişli KKBD’de örnekleme süresi yüksek,

örneklem hızı düşük seçildiğinde bu durum açıkça görülmektedir. (Bkz. Şekil 7.12) Kalıcı durumda istenmeyen salınımlar meydana gelmektedir. Bu durum DA motoruna zarar verebilir. Bu problemin üstesinden gelebilmek için, bu tez çalışmasında, FLC için, örneklem zamanı ve hızına bağımlılığın azaltılması adına, KKBD’de kullanılan BD’nin girişleri kayma (S) ve kayma farkı (dS) olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Aynı şartlar altında, aynı örneklem süresi ve hızında benzetim yapıldığında dS bulanık girişli KKBD’nin çıkış sinyalinde salınım olmadığı görülmektedir. (Bkz. Şekil 7.13)

- Matlab/Simulink ortamında elde edilen sonuçlara göre, BD’lere kıyasla yükselme ve yerleşme zamanları daha kısa, direnç ve endüktans parametrelerindeki toleransa ve yükteki belirsizliklere karşı daha dayanıklı, kalıcı durum hatası daha az olan, değişken referans sinyalleri daha iyi izleyebilen KKBD’ler, yüksek hassasiyet gerektiren konum kontrolü uygulamalarında tercih nedeni olabilir.
- Bu tez çalışması her ne kadar DA motor modeli üzerinden yapılsa da modeli çıkarılan farklı türden sürücülerin veya sistemlerin denetiminde de kullanılabilir.
- Matlab/Simulink ortamında elde edilen sonuçlara göre, dS bulanık girişli KKBD’nin çıkışında, salınım şeklinde çatırdama problemi görülmemiştir. Çatırdamanın tamamen ortadan kaldırıldığına ifade edilebilmesi için bilgisayar ortamında yapılan bu uygulamanın, pratik ve deneysel bir ortamda da yapılması gerekir. Gelecek çalışmalarda, belki doktora aşamasında çalışmanın deneysel sonuçlarını elde edebilmek dileğiyle...

## KAYNAKLAR

- [1] **Kuo, B.C.** (1999). Otomatik Kontrol Sistemleri, 7. Baskı. *Literatür Yayıncılık* (Çeviri: Bir, A.), 933s, İstanbul.
- [2] **Yüksel, İ.** (2009). Otomatik Kontrol Sistem Dinamiği ve Denetim Sistemleri, Matlab İle Genişletilmiş 6. Baskı. *Nobel Yayın Dağıtım*, 404s, Ankara.
- [3] **Gökbulut, M.** (2014). Kontrol Sistemlerinin Analiz ve Tasarımı, Analiz-Tasarım-Simülasyon ve Uygulama. *Seçkin Yayıncılık*, 544s, Ankara.
- [4] **Gökbulut, M.** (2016). Otomatik Kontrol Sistemleri, Analiz-Tasarım-Simülasyon ve Uygulama, Güncellenmiş 2. Baskı. *Seçkin Yayıncılık*, 320s, Ankara.
- [5] **Zadeh, L.A.** (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8, 338-353.
- [6] **Assilian, S., Mamdani, E.H.** (1974). An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller. *Int. J. Man-Machine Studies*, 7(1), 1-13.
- [7] **Kickert, W.J.M., van Nauta Lemke, H.R.** (1976). Application of a Fuzzy Controller in a Warm Water Plant. *Automatica*, 12(4), 301-308.
- [8] **Akpolat, Z.H.** (1999). Application of Fuzzy Sliding Mode Control and Electronic Load Emulation to the Robust Control of Motor Drives. *University of Nottingham* (PhD Thesis), 173p, Nottingham, United Kingdom.
- [9] **Altınörs, A.** (2007). Tip-II Bulanık Mantık ve Kayma Kipli Kontrol Yöntemleri ile Servo Sistemlerin Dayanıklı Kontrolü. *F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü* (Doktora Tezi), 117s, Elazığ.
- [10] **Franklin G.F., Powell J.D. and Workman M.L.** (1998). Digital Control of Dynamic Systems, 3rd Edition. *Addison-Wesley*, 850p, Menlo Park, CA.
- [11] **Utkin, V., Guldner J. and Shi, J.** (2009). Sliding Mode Control in Electro-Mechanical Systems, 2nd Edition. *Crc Press, Taylor and Francis Group*, 504p, Boca Raton, FL.
- [12] **Zadeh, L.A.** (1973). Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 3(1), 28-44.
- [13] **Zadeh, L.A.** (1974). On the Analysis of Large-Scale Systems. *Systems Approaches and Environment Problems*, Gottinger, H. (Ed.), Vandenhoeck and Ruprecht, Göttingen, 23-27.
- [14] **Østergaard, J.J.** (1977). Fuzzy Logic Control of a Heat Exchanger System. *Fuzzy Automata and Decision Processes*, Gupta, M.M., Saridis, G.N. and Gaines, B.R. (Eds.), North-Holland, Amsterdam, 285-320.
- [15] **Holmblad, L.P., Østergaard, J.J.** (1982). Control of a Cement Kiln by Fuzzy Logic. *Fuzzy Automata and Decision Processes*, Gupta, M.M., Saridis, G.N. and Gaines, B.R. (Eds), North-Holland, Amsterdam, 389-399.
- [16] **Gao, W.B., Hung, J.C.** (1993). Variable Structure Control of Nonlinear Systems: A New Approach. *IEEE Trans. on Ind. Electron.*, 40(1), 45-55.
- [17] **Slotine, J., Sastry, J.E.** (1984). Sliding Controller Design for Non-linear Systems, *Int. J. Control*, 40(2), 421-434.
- [18] **Lu, Y.S., Chen, J.S.** (1994). A self-organizing fuzzy sliding-mode controller design for a class of nonlinear servo systems. *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 41, 492-502.
- [19] **Wang, S.Y., Hong, C.M., Liu, C.C. and Yang, W.T.** (1996). Design of a static reactive power compensator using fuzzy sliding mode control. *Int. J. Control*, 63(2), 393-412.

- [20] **Ha, Q.P., Rye, D.C. and Durrant-Whyte, H.F.** (1999). Fuzzy moving sliding mode control with application to robotic manipulators. *Automatica*, 35(4), 607–616.
- [21] **Fallahi M., Azadi S.** (2009). Fuzzy PID Sliding Mode Controller Design for the Position Control of a DC Motor. *International Conference on Education Technology and Computer*, April, 73-77, Washington, DC, USA.
- [22] **Namazov, M., Baştürk, O.** (2010). DC Motor Position Control Using Fuzzy Proportional-Derivative Controllers with Different Defuzzification Methods. *Turkish J. of Fuzzy Syst.*, 1, 36-54.
- [23] **Türkşen, İ.B.** (2015). Dereceli (Bulanık) Sistem Modelleri. *Abaküs Kitap Yayın Dağıtım Hizmetleri*, 295s, İstanbul.
- [24] **Nabiyev, V.V.** (2016). Yapay Zeka. *Seçkin Yayıncılık*, 792s, Ankara.
- [25] **Baştürk, O.** (2007). Lypunov Fonksiyonu Tabanlı Bulanık Denetleyici Tasarımı. *C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi)*, 104s, Sivas.
- [26] **Özmen Koca, G.** (2005). Kayma Kipli Kontrol ve Bulanık Mantık Kullanarak Elektrikli Araçların Hız Kontrolü. *F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi)*, 83s, Elazığ.
- [27] **Parr, E.A.** (1998). Industrial Control Handbook, Third Edition. *Industrial Press*, 896p, NY.
- [28] **Yaraş, B., Hüseyinov, R., Namazov, M. ve Çelikkale, İ.E.** (2012). DC Motorun Bulanık ve Kayma Kipli Bulanık Kontrolü. *ASYU 2012*, Temmuz, 175-181, Trabzon.
- [29] **Yaraş, B., Hüseyinov, R., Namazov, M., Çelikkale, İ.E. ve Şeker, M.** (2014). DC Motorun Bulanık ve Kayma Kipli Bulanık Kontrolü. *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 32(1), 97-108.
- [30] **Hung, J.Y., Gao, W.B. and Hung, J.C.** (1993). Variable Structure Control: A Survey. *IEEE Trans. on Ind. Electron.*, 40(1), 2-22.
- [31] **Slotine, J.-J.E., Li, W.** (1991). Applied Nonlinear Control. *Prentice-Hall*, 259p, Englewood Cliffs, NJ.
- [32] **Rustamov, G., Namazov, M. and Samet, R.** (2007). Sliding Modes in Finite-Time Control Systems with Variable Structure. *Proc. of 9th WSEAS Int. Conf. on Automatic Control, Modeling and Simulation*, May, 118-122, İstanbul.



**EK-1**  
**BULANIK KONTROLÖRDE DİRENÇ VE ENDÜKTANSA TOLERANS,  
YÜKE BELİRSİZLİK EKLEYEBİLMEK İÇİN YAZILAN MATLAB  
DOSYASI**

```
Ra=ureal('Ra',11.2,'Range',[8.96 13.44]);
La=ureal('La',0.1215,'Range',[0.0972 0.1458]);
Tyuk=ureal('Tyuk',0.55375,'Range',[0 1.1075]);
open_system('motorsim1')
bandwidth=1;
usimfill('motorsim1','data1');
for i=1:10;
data1=usimsamp('motorsim1',bandwidth)
sim('motorsim1',5);
end
```



**EK-2**  
**KAYMA KİPLİ BULANIK KONTROLÖRDE DİRENÇ VE ENDÜKTANSA  
TOLERANS, YÜKE BELİRSİZLİK EKLEYEBİLMEK İÇİN YAZILAN  
MATLAB DOSYASI**

```
Ra=ureal('Ra',11.2,'Range',[8.96 13.44]);  
La=ureal('La',0.1215,'Range',[0.0972 0.1458]);  
Tyuk=ureal('Tyuk',0.55375,'Range',[0 1.1075]);  
open_system('motorsim2')  
bandwidth=1;  
usimfill('motorsim2','data2');  
for i=1:10;  
data2=usimsamp('motorsim2',bandwidth)  
sim('motorsim2',5);  
end
```





## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Basri YARAŞ
Doğum Yeri ve Tarihi	Yıldızeli, 20.10.1982
Medeni Hali	Evli
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Fırat Üniversitesi Keban MYO 23700 Keban/Elazığ
E-posta Adresi	basri.yaras@gmail.com

### Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Sivas Fen Lisesi, 1996-1998 / Hacı Mehmet Sabancı Lisesi 1998-1999
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2005
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2019

### İş Tecrübesi

Cumhuriyet Üniversitesi Divriği Nuri Demirağ MYO	Öğretim Görevlisi, 2010-2014
Fırat Üniversitesi Keban MYO	Öğretim Görevlisi, 2014-

### Yayımlar

Ulusal	Yaraş, B., Hüseyinov, R., Namazov, M., Çelikkale, İ.E. ve Şeker, M. (2014). DC Motorun Bulanık ve Kayma Kipli Bulanık Kontrolü. Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 32(1), 97-108.
--------	--

## **Kongreler ve Bildiriler**

Ulusal

Yaraş, B., Hüseynov, R., Namazov, M. ve  
Çelikkale, İ.E. (2012). DC Motorun Bulanık ve  
Kayma Kipli Bulanık Kontrolü. ASYU 2012,  
Temmuz, 175-181, Trabzon.

