İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAYAN KİPLİ KONTROLÖRLERDE DOĞRUSAL OLMAYAN YÜZEYLERİN BULANIK MANTIK İLE TASARIMI VE UYGULANMASI

Y. LİSANS TEZİ
Elektronik ve Haberleşme Müh. Aslı SAĞGÖZ
(504031101)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Mayıs 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 7 Haziran 2006

Tez Danışmanı :	**Doç.Dr. Hakan TEMELTAŞ**
Diğer Jüri Üyeleri	**Prof.Dr. Müjde GÜZELKAYA**
	Doç.Dr. Ata MUĞAN

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında bana her konuda destek olan çalışmalarımda yön veren sayın hocam Doç. Dr. Hakan TEMELTAŞ'a, tezimi bitirene kadar manevi destekleriyle her zaman yanımda olan arkadaşlarıma ve bu güne kadar sabırla her zaman beni destekleyen aileme sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 2006 Aslı SAGĞÖZ

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ **v**
ŞEKİL LİSTESİ **vi**
SEMBOL LİSTESİ **xii**
ÖZET **xiii**
SUMMARY **xiv**

1. GİRİŞ **1**
1.1. Tanım ve Çalışmanın Amacı 1
1.2. Literatür Özeti 1
1.3. Organizasyon 4

2. DOĞRUSAL KAYAN KİPLİ KONTROL **5**
2.1. Sistem Dinamikleri 5
2.2. Doğrusal Kayan Yüzeyler 6
2.3. Doğrusal Kayan Kipli Kontrol Kuralı 8
2.4. Yakınsama Hızı 10
2.5. Çatırdama 12
2.6. Simülasyon Çalışmaları 13
2.6.1. Simülasyon 1 15
2.6.2. Simülasyon 2 20
2.7. Doğrusal Kayan Kipli Kontrolde Oluşan Bazı Problemler 26

3. DOĞRUSAL OLMAYAN KAYAN KİPLİ KONTROL **29**
3.1. Bölge 29
3.2. Doğrusal Olmayan Kayan Yüzeyler 30
3.3. Doğrusal Olmayan Kayan Kipli Kontrol Kuralı 32
3.4. Yakınsama Hızı 33
3.5. Çatırdama 34
3.6. Doğrusal Olmayan Kayan Dinamiklerin Kararlılığı 35

4. DOĞRUSAL OLMAYAN KAYAN YÜZEYLERİN TASARIMI **36**
4.1. Statik Doğrusal Olmayan Fonksiyonlu Yüzey Kullanan Kontrol Yöntemi 36
4.1.1. Simülasyon Çalışmaları 37
4.1.1.1. Simülasyon 1 38
4.1.1.2. Simülasyon 2 56
4.2. Bulanık Mantık ile Oluşturulan Kayan Yüzey Kontrol Yöntemleri 77
4.2.1. Yöntem 1 77
4.2.1.1. Doğrusal Olmayan Kayan Yüzey İçin Kullanılacak Bulanık Kontrolör 78
4.2.1.2. Bulanık Doğrusal Olmayan Kayan Yüzey

Algoritmasının Formülasyonu 78
4.2.1.3. Simülasyon Çalışmaları 83
4.2.1.3.1. Simülasyon 1 83
4.2.1.3.2. Simülasyon 2 87
4.2.2. Yöntem 2 91
4.2.2.1. Hareketli Kayan Yüzeyler 91
4.2.2.2. İkinci Dereceden Kayan Kipli Kontrol Sistemi İçin Tasarlanan Hareketli Kayan Yüzey 92
4.2.2.3. Yüksek Dereceli Hareketli Kayan Kipli Sistem İçin Tasarlanan Kayan Yüzeyler 94
4.2.2.4. Öteleme ve Kaydırma Koşulları 95
4.2.2.5. Bulanık Mantık ile Hareketli Yüzey Algoritmasının Formülasyonu 98
4.2.2.6. Simülasyon Çalışmaları 105
4.2.2.6.1. Simülasyon 1 105
4.2.2.6.2. Simülasyon 2 109

5. BULANIK MANTIKLA OLUŞTURULMUŞ YÜZEYLERİN SİSTEM CEVAPLARI 114
5.1. Yöntem 1 115
5.2. Yöntem 2 118

6. SONUÇ 122

KAYNAKLAR 124
EK 127
ÖZGEÇMİŞ 129

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 4.1.	Yöntem 1 için hazırlanmış, λ değerini veren bulanık mantık kural tabanı……	79
Tablo 4.2.	Yöntem 1 için hazırlanmış, η değerini veren bulanık mantık kural tabanı……	81
Tablo 4.3.	Yöntem 2 için hazırlanmış, λ değerini veren bulanık mantık kural tabanı……..…….	100
Tablo 4.4.	Yöntem 2 için hazırlanmış Δs değerlerini veren bulanık mantık kural tabanı……	103

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 2.1 :	İkinci dereceden denklemler için doğrusal kayan yüzey……..	7
Şekil 2.2 :	Doğrusal yüzey üzerinde kayan durum.....	9
Şekil 2.3 :	Ulaşma fazı ve doğrusal kayan kip.....	10
Şekil 2.4 :	Doğrusal kayan yüzey boyunca çatırdama.....	12
Şekil 2.5 :	Saturasyon fonksiyonu.....	13
Şekil 2.6:	Doğrusal olmayan sisteminin kayan kipli kontrolü için simulinkte kullanılan genel yapı.....	13
Şekil 2.7:	Simulinkte kullanılan izlenecek girişler (yol, hız, ivme).....	14
Şekil 2.8:	Simulinkte kullanılan doğrusal olmayan sistem.....	14
Şekil 2.9:	Doğrusal kayan yüzey ile simulinkte kullanılan kayan kipli kontrolör.....	15
Şekil 2.10:	Doğrusal yüzeyde kayan kipli kontrolör için faz düzlemi davranışı için a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm.....	16
Şekil 2.11:	Doğrusal yüzeyde kayan kipli kontrolör için zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı.....	16
Şekil 2.12:	Doğrusal yüzeyde kayan kipli kontrolör için zamanla değişen a) hız hatası b) konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası.....	17
Şekil 2.13 :	Doğrusal yüzeyde yaklaşma açısı ($\eta = 60$) sabit iken faz yüzeyindeki eğimin (λ) değişimi.....	18
Şekil 2.14 :	Doğrusal yüzeyde yaklaşma açısı ($\eta = 60$) sabit iken faz yüzeyindeki eğimin (λ) değişiminin ayrıntılı görünümü.....	19
Şekil 2.15:	Doğrusal yüzeyde faz yüzeyindeki eğim (λ=20) sabit iken yaklaşma açısı (η) değişimi.....	19
Şekil 2.16 :	Doğrusal yüzeyde faz yüzeyindeki eğim (λ=20) sabit iken yaklaşma açısının (η) değişiminin ayrıntılı görünümü.....	20
Şekil 2.17:	Doğrusal kayan yüzeyde saturasyon fonksiyonu ile simulinkte kullanılan kayan kipli kontrolör.....	21
Şekil 2.18:	Saturasyonlu doğrusal yüzeyde kayan kipli kontrolör için faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm.....	22
Şekil 2.19:	Saturasyonlu doğrusal yüzeyde kayan kipli kontrolör için zamanla değişen a) kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı.....	22
Şekil 2.20:	Saturasyonlu doğrusal yüzeyde kayan kipli kontrolör için zamanla değişen a) hız hatası b) konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası.....	23
Şekil 2.21:	Saturasyonlu doğrusal yüzeyde yaklaşma açısı ($\eta = 60$) sabit iken faz yüzeyindeki eğimin (λ) değişimi.....	24

Şekil 2.22: Saturasyonlu doğrusal yüzeyde yaklaşma açısı ($\eta = 60$) sabit iken faz yüzeyindeki eğimin (λ) değişiminin ayrıntılı görünümü..... 25
Şekil 2.23: Saturasyonlu doğrusal yüzeyde faz yüzeyindeki eğim (λ=20) sabit iken yaklaşma açısının (η) değişimi..... 25
Şekil 2.24: Saturasyonlu doğrusal yüzeyde faz yüzeyindeki eğim (λ=20) sabit iken yaklaşma açısının (η) değişiminin ayrıntılı görünümü..... 26
Şekil 3.1: Bölge [α, β] ya bağlı olan fonksiyon..... 29
Şekil 3.2: İkinci dereceden denklemler için doğrusal olmayan kayan yüzey..... 31
Şekil 3.3 : Doğrusal olmayan yüzey üzerinde kayan durum..... 32
Şekil 4.1 : Doğrusal olamayan kayan yüzey ile simulinkte kullanılan kayan kipli kontrolör..... 38
Şekil 4.2: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=20\tanh(e)$ iken faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm..... 39
Şekil 4.3: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=20\tanh(e)$ iken zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı..... 39
Şekil 4.4: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=20\tanh(e)$ iken zamanla değişen a) hız hatası b) konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası..... 40
Şekil 4.5: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=20\tanh(e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişimi..... 41
Şekil 4.6: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=20\tanh(e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişiminin ayrıntılı görünümü..... 41
Şekil 4.7: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=10\tanh(e)$ iken faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm..... 42
Şekil 4.8: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=10\tanh(e)$ iken zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı..... 43
Şekil 4.9: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=10\tanh(e)$ iken zamanla değişen a) hız hatası b)konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası..... 43
Şekil 4.10: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=10\tanh(e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişimi..... 44
Şekil 4.11: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=10\tanh(e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişiminin ayrıntılı görünümü..... 45
Şekil 4.12: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(e)$ iken faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm..... 46
Şekil 4.13: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(e)$ iken zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı..... 46
Şekil 4.14: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(e)$ iken zamanla değişen a) hız hatası b) konum hatası..... 47
Şekil 4.15: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişimi..... 48
Şekil 4.16: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişiminin ayrıntılı görünümü..... 48

Şekil 4.17: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(20e)$ iken faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm..... 49
Şekil 4.18: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(20e)$ iken zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı..... 50
Şekil 4.19: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(20e)$ iken zamanla değişen a) hız hatası b)konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası..... 51
Şekil 4.20: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(20e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişimi..... 51
Şekil 4.21: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(20e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişiminin ayrıntılı görünümü..... 52
Şekil 4.22 Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(10e)$ iken faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm..... 53
Şekil 4.23: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(10e)$ iken zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı..... 54
Şekil 4.24: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(10e)$ iken zamanla değişen a) hız hatası b)konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası..... 54
Şekil 4.25: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(10e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişimi..... 55
Şekil 4.26: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(10e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişiminin ayrıntılı görünümü..... 56
Şekil 2.27: Saturasyonlu doğrusal olmayan kayan yüzey ile simulinkte kullanılan kayan kipli kontrolör..... 57
Şekil 4.28: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=20\tanh(e)$ iken faz düzlemi davranışı, a)genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm..... 58
Şekil 4.29: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=20\tanh(e)$ iken zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı..... 58
Şekil 4.30: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=20\tanh(e)$ iken zamanla değişen a) hız hatası b) konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası..... 59
Şekil 4.31: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=20\tanh(e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişimi..... 60
Şekil 4.32: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=20\tanh(e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişiminin ayrıntılı görünümü..... 61
Şekil 4.33: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=10\tanh(e)$ iken faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm..... 62
Şekil 4.34: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=10\tanh(e)$ iken zamanla değişen a)sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı..... 62
Şekil 4.35: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=10\tanh(e)$ iken zamanla değişen a) hız hatası b) konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası..... 63
Şekil 4.36: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=10\tanh(e)$ iken aklaşma açısının (η) değişimi..... 64

Şekil 4.37: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=10\tanh(e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişiminin ayrıntılı görünümü.... 65
Şekil 4.38: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(e)$ iken faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm..... 66
Şekil 4.39: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(e)$ iken zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı..... 66
Şekil 4.40: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(e)$ iken zamanla değişen a) hız hatası b) konum hatası..... 67
Şekil 4.41: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişimi..... 68
Şekil 4.42: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişiminin ayrıntılı görünümü..... 69
Şekil 4.43: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(20e)$ iken faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm..... 70
Şekil 4.44: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(20e)$ iken zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı..... 70
Şekil 4.45: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(20e)$ iken zamanla değişen a) hız hatası b) konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası..... 71
Şekil 4.46: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(20e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişimi..... 72
Şekil 4.47: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(20e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişiminin ayrıntılı görünümü.... 73
Şekil 4.48: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(10e)$ iken faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm..... 74
Şekil 4.49: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(10e)$ iken zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı..... 74
Şekil 4.50: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(10e)$ iken zamanla değişen a) hız hatası b) konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası..... 75
Şekil 4.51: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(10e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişimi..... 76
Şekil 4.52: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(10e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişiminin ayrıntılı görünümü..... 76
Şekil 4.53: Bulanık mantığın kayan yüzey kontrolüne adaptasyonu..... 78
Şekil 4.54.a: Yöntem 1 de kayan yüzeyin eğimi, λ için giriş ve çıkış değerleri..... 80
Şekil 4.54.b: Giriş değeri olarak kullanılan hız hatası üyelik fonksiyonu..... 80
Şekil 4.54.c: Giriş değeri olarak kullanılan yol hatası üyelik fonksiyonu..... 81
Şekil 4.54.d: Çıkış değeri olarak kullanılan λ katsayısının üyelik fonksiyonu 81
Şekil 4.55: Yöntem 1 de kayan yüzeyin yaklaşma açısı, η için giriş ve çıkış değerleri..... 82
Şekil 4.55.a: Giriş değeri olarak kullanılan s üyelik fonksiyonu..... 82
Şekil 4.55.b: Çıkış değeri olarak kullanılan η katsayısının üyelik fonksiyonu 83

Şekil 4.56 : Yöntem 1 ile simulinkte kullanılan kayan kipli kontrolör..... 84
Şekil 4.57: Yöntem 1 için faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm..... 85
Şekil 4.58: Yöntem 1 için zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı..... 86
Şekil 4.59: Yöntem 1 için zamanla değişen a) hız hatası b) konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası..... 86
Şekil 4.60: Yöntem 1 de a) λ değişimleri b) η değişimleri..... 87
Şekil 4.61: Yöntem 1 de saturasyon fonksiyonu ile simulinkte kullanılan kayan kipli kontrolör..... 88
Şekil 4.62: Yöntem 1 de saturasyon fonksiyonu için faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm..... 89
Şekil 4.63: Yöntem 1 de saturasyon fonksiyonu ile zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan b) kontrol kuralı..... 89
Şekil 4.64: Yöntem 1 de saturasyon fonksiyonu için zamanla değişen a) hız hatası b) konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası..... 90
Şekil 4.65: Yöntem 1 de saturasyon fonksiyonu için a) λ değişimleri b) η değişimleri..... 91
Şekil 4.66: Hareketli kayan kipli kontrolör de incelenecek a) döndürülen kayan yüzey b) ötelenen kayan yüzey..... 94
Şekil 4.67: Dilsel kuralın gösterimi..... 99
Şekil 4.68.a: Yöntem 2 de kayan yüzeyin eğimi, λ için giriş ve çıkış değerleri..... 101
Şekil 4.68.b: Giriş değeri olarak kullanılan hız hatası üyelik fonksiyonu..... 101
Şekil 4.68.c: Giriş değeri olarak kullanılan yol hatası üyelik fonksiyonu..... 102
Şekil 4.68.d: Çıkış değeri olarak kullanılan λ katsayısının üyelik fonksiyonu 102
Şekil 4.69.a: Yöntem 2 de kayan yüzeyi ötelemek için gerekli $\alpha(t)$ fonksiyonu için gerekli Δs için giriş ve çıkış değerleri..... 103
Şekil 4.69.b: Giriş değeri olarak kullanılan γ için üyelik fonksiyonu..... 104
Şekil 4.69.c: Giriş değeri olarak kullanılan *s* için üyelik fonksiyonu..... 104
Şekil 4.69.d: Çıkış değeri olarak kullanılan Δs katsayısının üyelik fonksiyonu 105
Şekil 4.70 : Yöntem 2 ile simulinkte kullanılan kayan kipli kontrolör..... 106
Şekil 4.71: Yöntem 2 ile faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm..... 107
Şekil 4.72: Yöntem 2 ile zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı..... 107
Şekil 4.73: Yöntem 2 için zamanla değişen a) hız hatası b) konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası..... 108
Şekil 4.74: Yönrem 2 için a) λ değişimleri b) α değişimleri..... 109
Şekil 4.75: Yöntem 2 de saturasyon fonksiyonu ile simulinkte kullanılan kayan kipli kontrolör..... 110
Şekil 4.76: Yöntem 2 de saturasyon fonksiyonu için faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm..... 111
Şekil 4.77: Yöntem 2 de saturasyon fonksiyonu için zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan b) kontrol kuralı..... 111
Şekil 4.78: Yöntem 2 de saturasyon fonksiyonu için zamanla değişen a) hız hatası b) konum hatası c) hızın sürekli hal hatası

d) konumun sürekli hal hatası..... 112
Şekil 4.79: Yöntem 2 de saturasyon fonksiyonu için a) λ değişimleri b) α değişimleri..... 113
Şekil 5.1: Sistem başlangıç durumu üçüncü bölgede olan kayan kipli kontrolör yapısı..... 114
Şekil 5.2: Sistem başlangıç durumu 3. bölgede iken yöntem 1 ile faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm..... 115
Şekil 5.3: Sistem başlangıç durumu 3. bölgede iken yöntem 1 ile zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı..... 116
Şekil 5.4: Sistem başlangıç durumu 3. bölgede iken yöntem 1 ile zamanla değişen a) hız hatası b)konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası..... 117
Şekil 5.5: Sistem başlangıç durumu 3. bölgede iken yöntem 1 ile a) λ değişimleri b) η değişimleri..... 117
Şekil 5.6: Sistem başlangıç durumu 3. bölgede iken yöntem 2 ile faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm..... 118
Şekil 5.7: Sistem başlangıç durumu 3. bölgede iken yöntem 2 ile zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı..... 119
Şekil 5.8: Sistem başlangıç durumu 3. bölgede iken yöntem 2 ile zamanla değişen a) hız hatası b)konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası..... 120
Şekil 5.9: Sistem başlangıç durumu 3. bölgede iken yöntem 2 ile a) λ değişimleri b) α değişimleri..... 120

SEMBOL LİSTESİ

e	**:** İzleme hatası,
s	**:** Kayan yüzey
λ	**:** Kayan yüzey eğimi
Λ_1	**:** Kayan yüzey eğimlerini oluşturan fonksiyon
η	**:** Kayan yüzeye yaklaşma açısı
Δs	**:** Kayan yüzeyi döndürme katsayısı

ÖZET

Bu tez içinde önce kayan kipli kontrol tasarımının nasıl yapılacağı anlatılmıştır. Kayan kipli kontrol tasarımı iki adımdan oluşur: 1) kayan yüzey tasarımı, ve 2) kontrol kuralı tasarımı. Kontrol edilecek sistem ikinci dereceden seçilmiştir. Kayan yüzey olarak önce doğrusal bir kayan yüzey seçilmiştir. Tasarlanan kayan yüzey ile doğrusal olmayan bir sistem kontrol edilmiştir. Ancak buradaki sonuçlar kararsız geldiği için, doğrusal yüzey yerine doğrusal olmayan yüzey tasarlanmıştır. Tasarlanan doğrusal olmayan kayan yüzey ile yapılan kontrolör sonuçları incelenmiş ve bunları daha da iyi hale getirebilmek için günümüzde tercih edilen bulanık mantık ile kayan kipli kontrolör oluşturulmuştur. Oluşturulan kayan kipli kontrolörde ki bazı parametreler değiştirilerek, iki farklı çeşit bulanık kayan yüzey tasarlanmıştır. Tasarlanan kayan yüzeyler arasında farklı başlangıç noktaları alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu sayede kayan yüzey de oluşturulabilecek farklı kontrolör yapıları incelenmiştir.

SUMMARY

In this study sliding mode control design is inspected. The design of sliding mode controllers involves that the following two steps: 1) design of sliding surface, and 2)design of control law. The system which will be controlled with sliding mode, is chosen as second order system. At the beginning sliding surface is chosen as linear and non-linear system is controlled with this linear surface. Linear surface system results are not enough for stability so non-linear surface design is made for this system. New system results which are taken from non-linear surface, are investigated and new fuzzy adaptation techniques are used for design of sliding mode controller. Changing some parameters in fuzzy method, generates different sliding surfaces. The comparison of the results with different surfaces and different initiation conditions are inspected.

1 GİRİŞ

1.1 TANIM VE ÇALIŞMANIN AMACI

Kayan kipli kontrol, doğrusal olmayan sistemlerin kontrolü için kullanılabilecek en popüler kontrol metodudur. Kayan kipli kontrolör tasarımı iki adımdan oluşur. İlk adım da kayan yüzey tasarımı, ikinci adımda ise kontrol kuralının tasarımı yapılır. Kayan yüzey, istenilen kararlı sistem dinamiklerini temsil eder. Kontrol kuralı ise kayan yüzeyi sistem durumu haline getirir. Kullanılan sistemlerde, kayan kipli kontrolör tasarımı, sistematik bir yaklaşımla kesin olmayan modellemede, sistemin kararlılığının ve performansının tutarlı bir şekilde olmasını sağlar. Diğer taraftan, modelleme ve performans arasında bazı tavizler verilerek sisteme daha basit bir şekil verilebilir. Kayan kipli kontrol, robot manipülatörlerinde, su altı araçlarında, yüksek performanslı elektrik motorlarında ve güç sistemlerine başarılı bir şekilde uygulanabilir.

1.2 LİTERATÜR ÖZETİ

Bu tezin asıl içeriği kayan kipli yöntembilimi, aslında basit bir yaklaşımla dayanıklı kontrolördür. Günümüzdeki görüşlere göre; modelleme hatalarının sisteme oldukça kötü etkileri olmaktadır. Model belirsizliği ile ilgili en önemli yaklaşımlardan biride dayanıklı kontroldür. Tipik bir dayanıklı kontrolörünün nominal kısmı, geri beslemeli kontrol kuralı gibidir, ayrıca buna ek olarak model belirsizliği ile ilgili terimlerde gelmektedir. Uyarlanabilir kontrol yapısı ise aynıdır. Ama buna ek olarak, model ölçülen performansa göre, yapılan işlem esnasında güncelleştirilir. Kayan kipli kontrolör için farklı modifikasyonlar yapılmıştır. Bunların arasında en çok bilinen yöntem sınır tabakaları yaklaşımıdır [1].

Kayan hiper düzlemlerin tasarımı, kontrolör tasarımı kadar önemlidir.

Kayan yüzey doğrusal dinamikleri temsil ettiğinde, sistem durumunu kayan yüzey üzerinde tutmayı gerektiren kontrol girişinin önemi yani izleme hatasının önemi artmaktadır [2]. Kontrol gücü sınırlandırıldığı zaman kayan yüzeyin yalnızca belli bir bölümüne kayan sistem adı verilir ve bu kısımla ilgilenilir. Kayan sistem dışında ise karalılık ve performans için bir garanti verilemez.

Doğrusal kayan yüzey sistem yapısı için doğal olmadığından dolayı, geniş yaklaşma açısının oluşmasına neden olabilir. Yaklaşma açıları sistem durumu kayan yüzeye yaklaşırken oluşan açılardır. Geniş yaklaşma açıları, kayan yüzey üzerinde geniş oranda çatırdamaya neden olur. Bu durum daha büyük hızlarda daha da kötüleşir. O yüzden, örnekleme periyodunun üstünde sistem durumunun doğrusal kayan yüzeyden ayrılması beklenir, bu durumda bir örnekleme esnasında yüzeye yakın olunsa bile hata büyüktür. Jabbari, dijital kontrol altındaki bir örnekleme zamanında sürekli zaman sistemindeki davranışların analizini yaparak, durumun örnekleme esnasında, bir örnekleme periyodunda sırayla kayan değişkenlerin önemini azaltarak oluşturulan doğrusal kayan yüzeyin etrafındaki koninin dışında kalması gerektiğini gösterir. İlgilenilmeyen koninin alanı, doğrusal kayan yüzeyin eğimi ile arttırılır. Bu analiz doğrusal kayan yüzeyin kullanımıyla elde edilen performans sonucunun tek olamayacağını gösterir. Yukarıda söz edilen problemlerin bir kısmı kayan kipli kontrolde doğrusal olmayan kayan yüzey kullanılarak çözülebilir. Doğrusal olmayan kayan yüzeyler uygun şekilde tasarlandığında, kayan sistem geniş ve en uygun duruma gelebilir, yani minimum enerji tüketimi veya minimum zaman kullanımı gibi. Sira-Ramirez, doğrusal olmayan kayan yüzey fikrini önerdi ama bir tasarım algoritması öneremedi [3]. Jabbari, güçle sınırlandırılmış doğrusal ikinci dereceden sistemler için yakın minimum zamanlı kontrol tasarımında parabolik kayan yüzeyler kullandı [4]. Lee ise kayan yüzeyler için kübik polinomlar kullanılmasını önererek daha kısa süreli cevap elde etmiştir [5]. Daha sonra doğrusal olmayan kayan yüzeyler üzerinde yapılan kayan kipli kontrol tasarımı asimptotik kararlılığı sağladığı görülmüştür [6–7].

Bundan başka, kayan hiper düzlemlerin tasarımı araştırmacılar tarafından farklı yollarla incelenmiştir [8–16].

Kararlı başlıca kayan kipli kontrol sistemi kayan kipe ulaşma zamanın kısaltılmasıyla ya da kontrol hareketinin mesafesi boyunca ulaşma fazının elimine edilmesi ile sağlanmıştır. Ulaşma fazını minimuma indirme yollarından en basiti geniş kontrol girişi kullanmaktır. Buna rağmen, yüksek çatırdamaya neden olur, bu fiziksel sistemde istenilmeyen bir durumdur. Ayrıca modellenmemiş dinamiklerinde hassasiyetini arttırır. Çoğu kayan yüzey, başlangıç koşulları düşünülmeden ya da başlangıç koşulları keyfi olarak verilerek tasarlanmıştır. Bu şartlarda bu başlıca kayan kipli kontrol sisteminin ulaşma fazı boyunca çok hassas olmasına ya da yüksek kararsızlık ve parametre belirsizliğine neden olur.

Zamanla değişen kayan yüzeylerde durum uzayında yörünge kontrolü esasıyla tanımlanır [8]. Durum uzayı içindeki zamanla değişen kayan yüzey, kayan kipi izleme kontrolü esnasında sürdürmek için tanımlanır [8]. Son zamanlarda, bazı araştırmacılar hata uzayında zamanla değişen kayan yüzeylerin çeşitlerini incelemeye başladılar, ama çoğu kayan yüzey bu zamanla değişen kayan yüzeylerin kesişimini kullanıyor [12, 13, 15, 16]. Buna ek olarak, bu yöntemlerin kontrol kuralının iyileştirmeye ve geleneksel kayan yüzeyli başlıca kayan kipli kontrol sisteminin daha geniş kontrol girişine ihtiyacı vardır. Harashima kararlığı iyileştirmek için zamanla değişen kayan yüzeyleri önermiştir, burada farklı eğimler ile çeşitli kayan çizgiler gerçekleştirilmiştir [11]. Kararlılığın iyileştirilmesi her kayan çizgideki çatırdama hareketi ile sağlanmıştır. Tüm bunlara rağmen kayan yüzey üzerindeki gerekli rotasyonu elde edebilmek için hızlı kontrol cevabı üzerinde çalışmamışlardır. Choi'nin önerisi ise ikinci derece başlıca kayan kipli kontrol sistemin de bulunan hareketli kayan yüzey ile performansı ve kararlılığı geliştirmektir [14]. Hareketli kayan yüzey ilk olarak başlangıç koşullarını geçmek için tasarlanmıştır. Önceden tanımlanmış kayan yüzey döndürülerek veya ötelenerek oluşturulur. Hareketli kayan yüzeyde çalışılarak, kontrol sinyalindeki artan öngörülemeyen çatırdama olmadan kısalan ulaşma fazı ile sistemdeki kararsızlıkların ve hassasiyetin azaltılması mümkündür. Ayrıca ulaşma fazı yüzeye oturma zamanının arttırılması ile elimine edilebilir ve kontrol hareketi aralıklarla sistemin kararlılığını garanti altına alır. Hareketli kayan yüzey için hem tek girişli hem de çok girişli sistemler kullanılabilir. Hareketli kayan yüzeyli başlıca değişken yapılı kontrol sisteminin hızlı izleme performansı, kısa ulaşma fazı gibi birçok üstünlüğü vardır. Buna rağmen, Choi

tarafından önerilen hareketli kayan yüzeyin hareketi, yüzey fonksiyonunun kesin değer aralıklarında olmasını sağlayan yüzey eşitliklerinin hesaplanmasına bağlıdır.

İlerleyen zamanda, daha iyi sonuçlar elde etmek için kayan kipli kontrolde bulanık mantık kullanılmaya başlanmıştır [17–29]. Bu sayede çeşitli bulanık fonksiyonları kullanılarak oldukça iyi sonuçlar elde ediliştir.

1.3 ORGANİZASYON

Kayan kipli kontrolörlerde doğrusal olmayan yüzeylerin tasarımı ve uygulanması 6 ayrı bölümde anlatılmaktadır. İkinci bölümde doğrusal kayan yüzey ile tasarlanmış doğrusal kayan kipli kontrol incelenmiştir. Doğrusal kayan yüzey ile tasarlanan sistemin simülasyonu yapılmıştır. Üçüncü bölümde asimptotik kararlılığı garanti altına almak için formüluze edilmiş doğrusal olmayan kayan yüzeyler üzerinde kayan kipli kontrol incelenmiştir. Doğrusal olmayan kayan yüzey ile tasarlanan sistemin simülasyonu yapılmıştır. Dördüncü bölümde ise doğrusal olamayan kayan yüzeylerin tasarımı için farklı yöntemler önerilmiştir. Bunlar doğrusal kayan yüzeylerde oluşan kontrol doyması ve kayan kipli performans problemlerini çözebilir. Birinci olarak verilen sistemde dinamik sistemler hakkındaki bilgiler kullanılır. İkinci sistem de ise bulanık mantık ile tanımlama yapılarak kullanılır. Burada iki farklı çeşit bulanık sistem geliştirilmiştir. Beşinci bölümde geliştirilen iki farklı çeşit bulanık mantık simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Son olarak da altıncı bölümde sonuçlar ve gelecekte bu tezin geliştirilebilmesi için gerekenler yer almaktadır.

2 DOĞRUSAL KAYAN KİPLİ KONTROL

Bu bölümde, doğrusal kayan yüzeyde kayan kipli kontrol anlatılacaktır. Günümüzde kullanılan doğrusal olmayan kayan kipli kontrolün anlaşılması için gerekli altyapı bu bölümde açıklanacaktır.

Doğrusal kayan kipli kontrol kuralı genelde iki adımda tasarlanır:

(1) istenilen (n– 1). dereceden kararlı doğrusal dinamikleri gösteren doğrusal kayan yüzey tanımı.

(2) doğrusal kayan yüzeyi sistem durumuna yaklaştıran kontrol kuralı tanımı.

2.1 SİSTEM DİNAMİKLERİ

Kayan kipli kontrol için, bu tezin içinde kullanılacak sistem dinamikleri, aşağıdaki (2.1) denklemindeki gibi gösterilebilir.

$$x^{(n)} = f(x) + b(x)u \tag{2.1}$$

Burada x = $\left\{ x, \dot{x}, ..., x^{n-1} \right\}^T$ sistem durum vektörü, $x^{(n)}$, n. dereceden x'in türevi, u kontrol girişidir. f(x) ve b(x)'in tam değerleri kesin olarak bilinmez, ancak b(x)'in işareti ve eşitsizliklerle sınırlandırılmış f(x) ve b(x) aşağıdaki (2.2) ve (2.3) denklemlerdeki gibi gösterilebilir.

$$\left| f(x) - \hat{f}(x) \right| \le F(x) \tag{2.2}$$

$$\frac{1}{\beta(x)} \le \frac{b(x)}{\hat{b}(x)} \le \beta(x) \tag{2.3}$$

Burada $\hat{f}$ (x) ve $\hat{b}$ (x), f(x) ve b(x)'ye yakınsaktır. F(x) ve β(x) bilinen sınır koşulları veya sabitleridir. F(x) ve β(x), f(x) ve b(x) maksimum ve minimum değerlerinden türetilir. $f_{max}(x)$ ve $f_{min}(x)$, f(x)'in üst sınır fonksiyonu ve alt sınır fonksiyonu olarak bilinir. f(x)'in sınırları aşağıdaki (2.4) denklemindeki gibi tanımlanır:

$$F(x) = \max\left\{f_{\max}(x) - \hat{f}(x), \hat{f}(x) - f_{\min}(x)\right\} \quad \textbf{(2.4)}$$

Benzer şekilde, $b_{max}(x)$ ve $b_{min}(x)$, b(x)'in üst sınır fonksiyonu ve alt sınır fonksiyonu olarak bilinir. b(x)'in sınırları aşağıdaki (2.5) denklemindeki gibi tanımlanır:

$$\beta(x) = \max\left\{\frac{b_{\max}(x)}{\hat{b}(x)}, \frac{\hat{b}(x)}{b_{\min}(x)}\right\} \quad \textbf{(2.5)}$$

β(x)'in değeri her zaman birden büyük veya bire eşittir.

2.2 DOĞRUSAL KAYAN YÜZEYLER

Kullanılacak sistemde x_d istenilen çıkış olarak tanımlansın ve $e = (x_d - x)$ izleme hatası olsun. Bir n. dereceden dinamik sistem için doğrusal kayan yüzey, $(n - 1)$. dereceli kararlı dinamik sistem tanımlar ve aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$s = \left(\frac{d}{dt} + \lambda_{n-1}\right)\left(\frac{d}{dt} + \lambda_{n-2}\right)\ldots\left(\frac{d}{dt} + \lambda_1\right)e = 0 \quad \textbf{(2.6)}$$

Burada λ_i, $i = 1, \ldots, n - 1$, pozitif sabitlerdir. Yukarıdaki doğrusal kayan dinamiklerin karakteristik kökleri $-\lambda_i$ olarak tanımlanır. Ayrıca, denklem (2.6) de verilen doğrusal dinamiklerin global asimptotik kararlı olması garantilenmiştir.

İkinci dereceden dinamik sistemler (n = 2) için, e - $\dot{e}$ faz düzleminin ikinci ve dördüncü çeyreği içinde uzanan düz çizgi doğrusal kayan yüzeyi oluşturur.

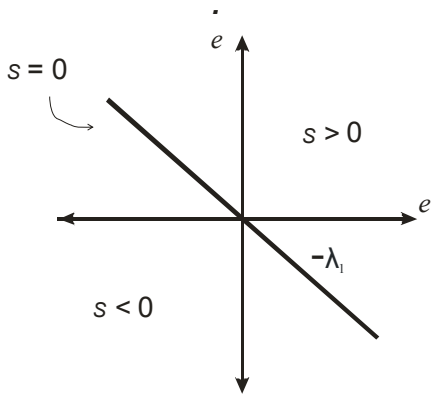
$$s = \left(\frac{d}{dt} + \lambda_1 \right) e$$

$$= \frac{d}{dt} e + \lambda_1 e$$

$$= \dot{e} + \lambda_1 e$$

$$= 0$$

Yukarıdaki kayan yüzeyin grafiği aşağıdaki Şekil 2.1 de gösterilmiştir. Faz düzlemi üzerindeki doğrusal kayan yüzeyin eğimi $-\lambda_1$ olarak verilmiştir.



Şekil 2.1 : İkinci dereceden denklemler için doğrusal kayan yüzey

Üçüncü dereceden dinamik sistemlerde, doğrusal kayan yüzey üç boyutlu faz düzleminde (veya durum uzayında) doğrusal uzaydır.

$$s = \left(\frac{d}{dt} + \lambda_2 \right) \left(\frac{d}{dt} + \lambda_1 \right) e$$

$$= \left(\frac{d}{dt} + \lambda_2 \right) \left(\dot{e} + \lambda_1 e \right)$$

$$= \frac{d}{dt} \left(\dot{e} + \lambda_1 e \right) + \lambda_2 \left(\dot{e} + \lambda_1 e \right)$$

$$= \ddot{e} + \left(\lambda_2 + \lambda_1 \right) \dot{e} + \lambda_2 \lambda_1 e$$

$$= 0$$

Dört veya daha yüksek dereceli sistemler için, doğrusal kayan yüzey doğrusal hiper düzlem haline dönüşür.

Kayan yüzey fonksiyonunda her zaman e terimi vardır. Bu nedenle denklem (2.1), e^{n-1} ile diğer terimlerin toplamı olan $\bar{s}$ kullanılarak aşağıdaki denklem (2.7) gibi yazılabilir:

$$s = e^{(n-1)} + \bar{s} \qquad \textbf{(2.7)}$$

İkinci dereceden sistemler için $\bar{s}$, ($\lambda_1 e$)'dir, üçüncü dereceden sistemler için ise,

$$\bar{s} = (\lambda_2 + \lambda_1)\dot{e} + \lambda_2 \lambda_1 e$$

Bu yeni tanımlanan $\bar{s}$, kayan kipli kontrol kuralını formulüze ederken kullanılır.

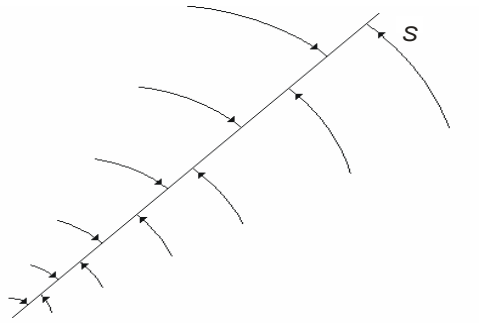
2.3 DOĞRUSAL KAYAN KİPLİ KONTROL KURALI

Doğrusal kayan yüzey tanımlandıktan sonra ikinci adım ise doğrusal kayan yüzeyi sistem durumuna yaklaştıran kontrol kuralının tasarımıdır. Kontrol kuralı sistem durumunu doğrusal kayan yüzeye doğru iter. Eğer sistem durumu doğrusal kayan yüzey üzerinde tutulursa, asimptotik kararlı doğrusal kayan dinamikler izleme hatasının sıfıra yakınsamasını temin eder. Böyle istikrarlı kontrol kuralı, Lyapunov doğrudan yöntemi kullanılarak tasarlanabilir [1].

Kullanılabilecek Lyapunov fonksiyonu V = ½ $s^2 > 0$ olarak verilir. Aşağıdaki denklem (2.8) de verilen V'nin türevi, aynı zamanda kayan durum olarak bilinir.

$$\dot{V} = s\dot{s} \le -h(s)|s| \qquad \textbf{(2.8)}$$

Bu denklemde s^2 olarak ölçülen, yüzeye olan mesafenin karesi, sistemin yörüngelerinde azalmaktadır. Bu da Şekil 2.2 de görüldüğü gibi yörüngeleri *S(t)* yüzeyine gitmeye zorlamaktadır. Yani istenilen durum veya kayan durum, yüzeyi sabit bir set haline dönüştürmektedir. Şekil 2.2 de oluşan yörüngelerin, oluşturulan kayan yüzeye doğru hareket ettikleri işaretlenmiştir. Böylece *S(t)*, denklem (2.8) ile kayan yüzey olarak tanımlanır ve yüzey üzerindeki sistem davranışı kayan kip olarak adlandırılır.



Şekil 2.2 : Doğrusal yüzey üzerinde kayan durum.

Denklem (2.8) de h(s) olarak tanımlanmış pozitif fonksiyon, aşağıda denklem (2.9) de verilmiştir.

$$h(s) = \eta + \left(\frac{s}{\psi} \right)^2 \qquad \textbf{(2.9)}$$

Denklem (2.9) da verilmiş olan η ve Ψ iki pozitif sabittir. Fonksiyon h(s), sistem durumunun ne kadar çabuk kayan yüzeye ulaşabileceğini tanımlar. Denklem (2.9) kullanılarak, sistem durumunun kayan yüzeyden uzaklaşırken yaklaşma oranının hızlandığı, sistem durumunun kayan yüzeye yaklaştıkça yaklaşma oranının yavaşladığı gözükür. Eğer Ψ değeri ∞ olarak seçilirse, denklem (2.9) pozitif sabit (η)'ye dönüşür ve sistem durumu aşağı yukarı sabit bir oranla kayan yüzeye yaklaşır [1].

Kayan durumu gerçekleştiren denklem (2.8)'deki kontrol kuralı, sistem durumunu kayan yüzeye doğru iter ve buna kayan kipli kontrol kuralı denir. Kontrol kuralı aşağıdaki denklem (2.10)'deki gibi tanımlanır:

$$u = \hat{b}^{-1} \left[-\hat{f} + x_d^{(n)} + \dot{\bar{s}} + k \operatorname{sgn}(s) \right] \qquad \textbf{(2.10)}$$

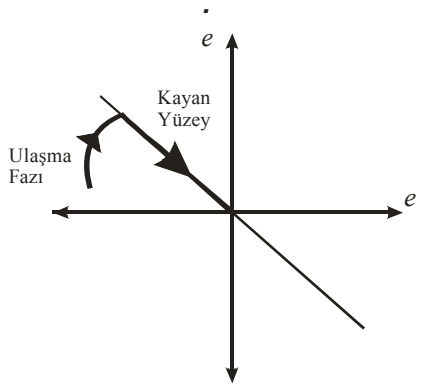
Denklen (2.10) da kullanılan k terimi aşağıdaki denklem (2.11)'deki gibi ifade edilebilir,

$$k = (\beta - 1)|\hat{u}| + \beta(F + h(s)) \qquad \textbf{(2.11)}$$

Denklem (2.10)'da tanımlanan kayan kipli kontrol kuralı üç parçaya ayrılabilir. İlk parça, - $\hat{f}$, nominal doğrusal olmayan sistem dinamiklerinin iptal edilmesini sağlar. İkinci

parça, $\left(x_d^{(n)} + \dot{\bar{s}} \right)$, istenilen doğrusal dinamikleri tanımlar. Son parça ise k sgn(s), sistem parametrelerinin kararsızlığını örter ve dayanıklılığı sağlar.

Kayan kipli kontrol kuralı dinamik sisteme uygulandığı zaman, sistem durumunun kayan yüzeye ilk yaklaştığı zamandır. Kayan yüzey üzerinde, idealde sistem durumu izleme hatası sıfır olana kadar, yüzey üzerinde kayma gerçekleşir. Bu iki aşama da Şekil 2.3 de gösterilmiştir. Sistem durumu kayan yüzey üzerinde olduğu zaman sistemin kayan kipli olduğu söylenebilir [1]. Kayan yüzeyin sistem durumunu etkileyen parçasına kayan sistem denir.



Şekil 2.3 : Ulaşma fazı ve doğrusal kayan kip

2.4 YAKINSAMA HIZI

Sistem durumunun başlangıç durumundan kayan yüzeye ulaşmak için gereken maksimum zaman denklem (2.8) de verilmiştir. Burada s_0 kayan yüzey fonksiyonunun başlangıç değerini tanımlıyor olsun.

Eğer s_0 pozitif ise, denklem (2.8) de verilen kayan durum şöyle yazılabilir,

$$\dot{s} \le -h(s)$$

Ve ya, buna eş olan aşağıda verilen denklem (2.12) yazılabilir,

$$dt \le \frac{-ds}{h(s)} \qquad \textbf{(2.12)}$$

Yukarıdaki eşitsizliğin her iki tarafını da s = s_0'dan s = 0'a (veya t = 0'dan t = $t_{ulaşma}$'a) integre edersek, aşağıdaki denklem (2.13) elde edilir,

$$t_{ulasma} - 0 \le \int_{So}^{0} \frac{-ds}{h(s)} \qquad \textbf{(2.13)}$$

Denklem (2.13) de, $t_{ulaşma}$ zamanı sistem durumunun kayan yüzeye ulaşana kadar geçen zamandır. Fonksiyon h(s)'in değerinin η'den büyük olduğundan beri, $t_{ulaşma}$ değerinin $|s_0| / \eta$'dan az olduğu görülebilir ve maksimum ulaşma zamanı olarak adlandırılır. Aynı maksimum ulaşma zamanı eğer s_0 negatifse de elde edilebilir.

Doğrusal kayan yüzey üzerinde, izleme açısının yakınlaşma hızı kayan dinamikler ile tanımlanır. Denklem (2.6)'nın çözülmesi ile aşağıdaki denklem (2.14) de verilmiştir,

$$e\left(t - t_{ulasma}\right) = \sum_{i=1}^{n-1} C_i \mathrm{e}^{-\lambda_i (t - tulasma)} \qquad \textbf{(2.14)}$$

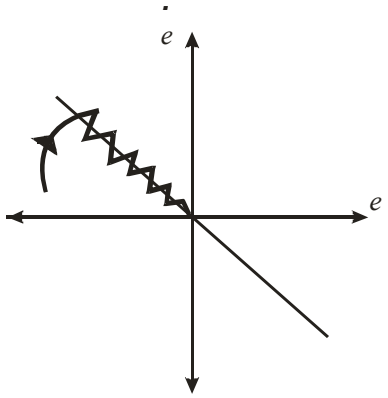
Denklem (2.14) de C_i sabitleri, $e(t_{ulaşma})$'e bağlıdır ve $t_{ulaşma}$ zamanındaki sistem hata durumudur. $\underline{\lambda}$ Baskın kök (tüm λ_i'lerin en küçüğü) olduğunu varsayalım; elde edilen denklem,

$$\begin{aligned}
\left|e\left(t - t_{ulasma}\right)\right| &\le \sum_{i=1}^{n-1} \left|C_i\right| \mathrm{e}^{-\lambda_i (t - tulasma)} \\
&\le \sum_{i=1}^{n-1} \left|C_i\right| \mathrm{e}^{-\underline{\lambda} (t - tulasma)} \\
&= \left(\sum_{i=1}^{n-1} \left|C_i\right| \right) \mathrm{e}^{-\underline{\lambda} (t - tulasma)} \\
&= M e^{-\underline{\lambda} (t - tulasma)}
\end{aligned}$$

Burada $M = \sum_{i=1}^{n-1} \left|C_i\right|$ sonlu pozitif sabittir. Bu nedenle, doğrusal kayan yüzeyde, izleme hatası eksponansiyel olarak sıfıra yaklaşır.

2.5 ÇATIRDAMA

Pratikte, kullanılan sonlu örnekleme zamanına bağlı olarak, sistem durumu, kayan yüzey üzerinde doğrudan kaymaz. Bunun yerine, Şekil 2.4 de verildiği gibi kayan yüzey üzerinde örnekleme frekansı ile aynı frekansta çatırdar. Modellenmemiş yüksek dereceli dinamiklerde ortaya çıkan, çatırdama istenilen bir durum değildir.



Şekil 2.4 : Doğrusal kayan yüzey boyunca çatırdama

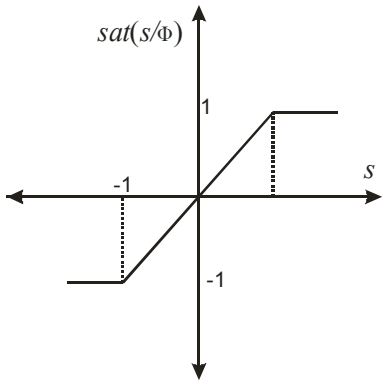
Çatırdamayı engellemek için denklem (2.10) da verilen signum fonksiyonu, saturasyon fonksiyonu ile sat(s/Φ) değiştirilir. Sonuç olarak, kayan kipli kontrol kuralı aşağıda verilen denklem (2.15) e dönüşür.

$$u = \hat{b}^{-1}\left[-\hat{f} + x_d^{(n)} + \dot{\bar{s}} + k\,\mathrm{sat}(s/\Phi)\right] \qquad \textbf{(2.15)}$$

Yukarıda verilmiş olan denklem (2.15) de kullanılan sat(s/Φ) fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\mathrm{sat}(s/\Phi) = \begin{cases} 1 & \text{eger} \quad s > \Phi, \\ -1 & \text{eger} \quad s > -\Phi, \\ s/\Phi & \text{diger durumlarda.} \end{cases}$$

Şekil 2.5 de, sat(s/Φ) kullanılarak çizilmiş grafik vardır. Saturasyon fonksiyonu etkisi, kayan yüzeyin etrafına sınır tabakası eklemektedir. Denklem (2.15)'teki kontrol kuralı, sistemi sınır tabakası içine iter. Sınır tabakası içinde, kontrol hareketinde şiddetli bir anahtarlama gerçekleşmez ve çatırdama olmaz.



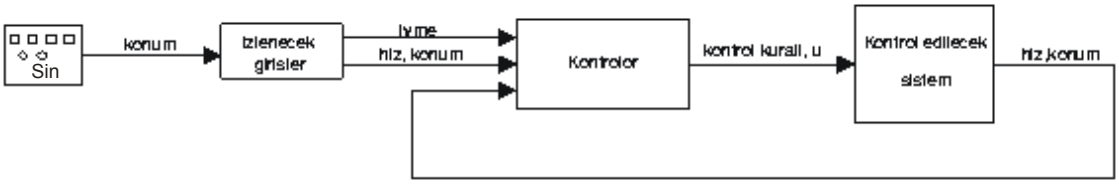
Şekil 2.5 : Saturasyon fonksiyonu

Fakat bu yinede, denklem (2.8) de Lyapunov fonksiyonu ile tanımlanan kayan durumun gerçekleştirilmesini garantileyemez.

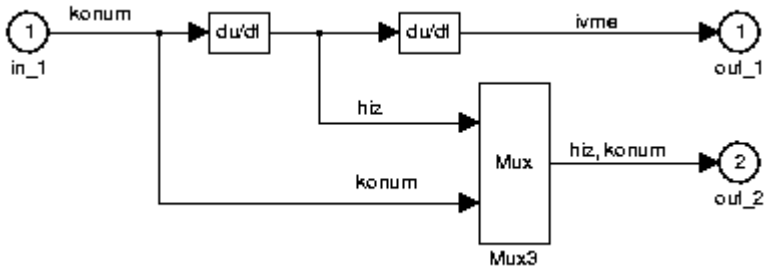
2.6 SİMULASYON ÇALIŞMALARI

Bu bölümde, kayan kipli kontrolör kullanılarak Matlab 7.0 ile yapılan matematiksel örnekler verilmiştir.

Kayan kipli kontrol yöntemi ile oluşturulan lineer olmayan sistem simulinkte aşağıdaki Şekil 2.6 da verildiği gibi ifade edilir. Burada giriş sinus fonksiyonu olarak verilmiştir. Şekil 2.6 da verilen girişi yol olarak düşünürsek, girişin 1. dereceden türevi ile hızı, 2. dereceden türevi ile de ivme değerlerini elde ederiz. Şekil 2.7 ile izlenecek girişler bloğunun içyapısı gösterilmiştir. Oluşan hata değerlerine bakılarak kontrolör bloğu kullanılan sistemi kontrol eder.



Şekil 2.6: Doğrusal olmayan sisteminin kayan kipli kontrolü için simulinkte kullanılan genel yapı

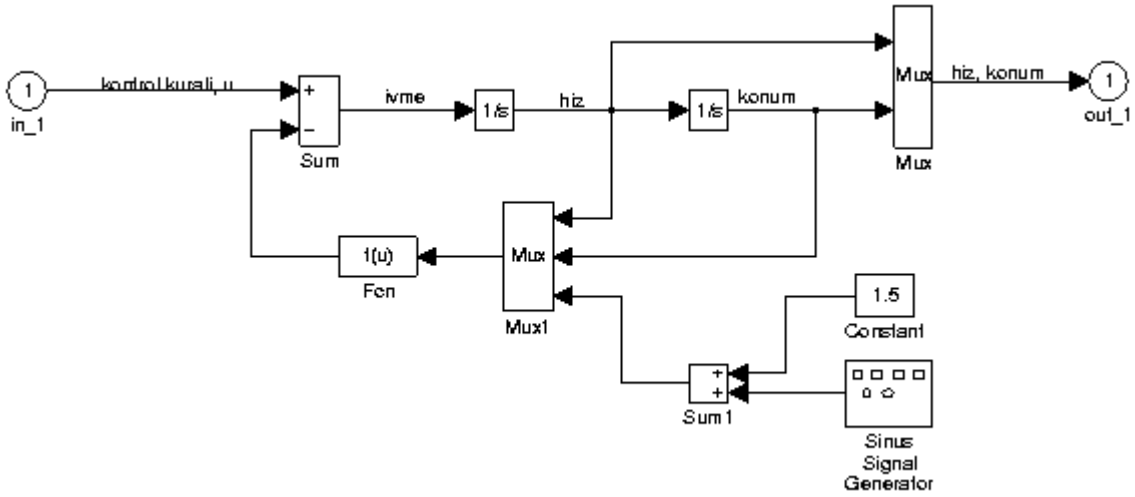


Şekil 2.7: Simulinkte kullanılan izlenecek girişler (yol, hız, ivme)

Kontrol edilecek sistemi, denklem (2.16) da verilen ikinci dereceden doğrusal olmayan bir Benchmark sistemi olarak ele alalım.

$$\ddot{x} + y(t)\dot{x}^2 \cos 3x = u \qquad \textbf{(2.16)}$$

Burada x incelenecek olan sistem çıkışı, u sistem kontrol girişidir. Sistemde kullanılan *y(t)* ise tam olarak değeri bilinmeyen fakat belli sınırlar içinde verilmiş bir fonksiyondur. Şekil 2.8 de Sum1 bloğu *y(t)* = 1,5 + 0.5*sin*(10t) fonksiyonunun, Fcn bloğu ise $y(t)\dot{x}^2 \cos 3x$ fonksiyonun elde edilmesini sağlar. Simulinkte bu ikinci dereceden sistem Şekil 2.8 deki gibi ifade edilir.



Şekil 2.8: Simulinkte kullanılan doğrusal olmayan sistem

2.6.1 SİMULASYON 1:

Yukarıdaki doğrusal olmayan sisteme uygulanacak olan kayan kipli kontrolörün amacı, istenilen yörüngeye ulaşabilmek için gerekli kontrol kuralını elde etmektir.

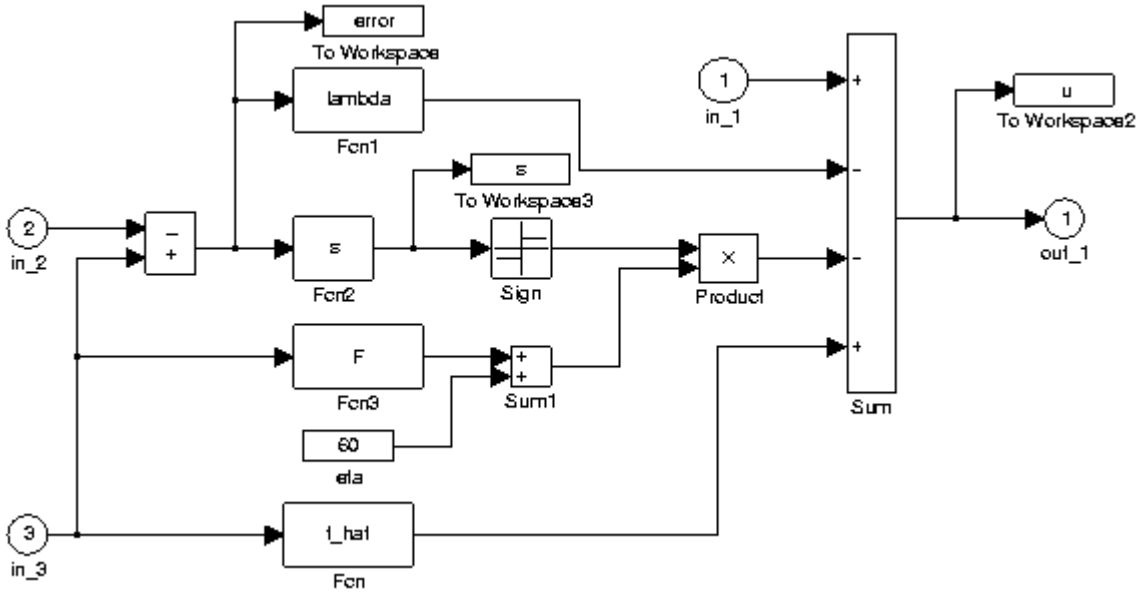
Denklem (2.6) da s olarak tanımlanan doğrusal kayan yüzey simülasyonlar da aşağıdaki gibi ifade edilmiştir. Burada $e_1 = \dot{e}$ ve $e_2 = e$ olarak yazılırsa;

$s = e_1 + \lambda * e_2$

Denklem (2.10) eşitliğinde u olarak tanımlanan kontrol kuralı simülasyonlarda aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

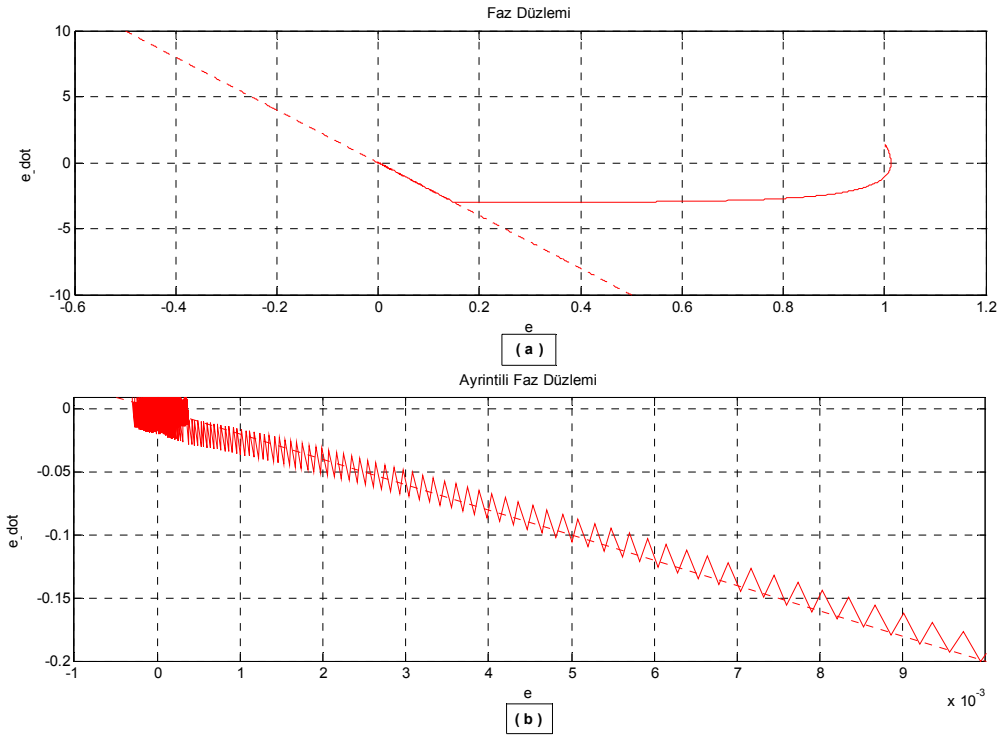
$u = \ddot{x} - \lambda e_2 + \text{sgn}(s)\,[\,0.5\dot{x}^2|\cos 3x| + 60\,] + 1.5\dot{x}^2 \cos 3x$

Aşağıda verilen Şekil 2.9 da simulinkte kullanılan doğrusal kayan yüzey, s ve elde edilen kontrol kuralı, u kullanılarak doğrusal olmayan sisteme uygulanan kayan kipli kontrolör çizilmiştir. Şekil 2.9 da Fcn3 bloğu $0.5\dot{x}^2|\cos 3x|$ fonksiyonunu, Fcn bloğu ise $1.5\dot{x}^2 \cos 3x$ fonksiyonunun elde edilmesini sağlar.



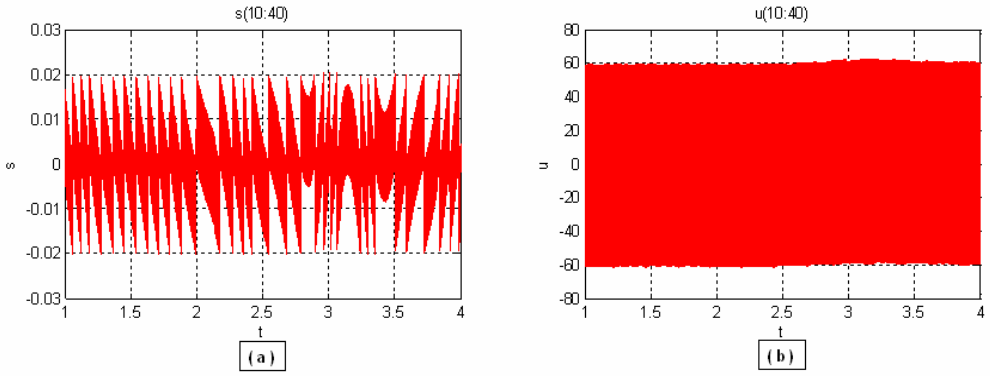
Şekil 2.9: Doğrusal kayan yüzey ile simulinkte kullanılan kayan kipli kontrolör

Verilen değerlerle simulinkte elde edilen sonuçlar;



Şekil 2.10: Doğrusal yüzeyde kayan kipli kontrolör için faz düzlemi davranışı için a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm

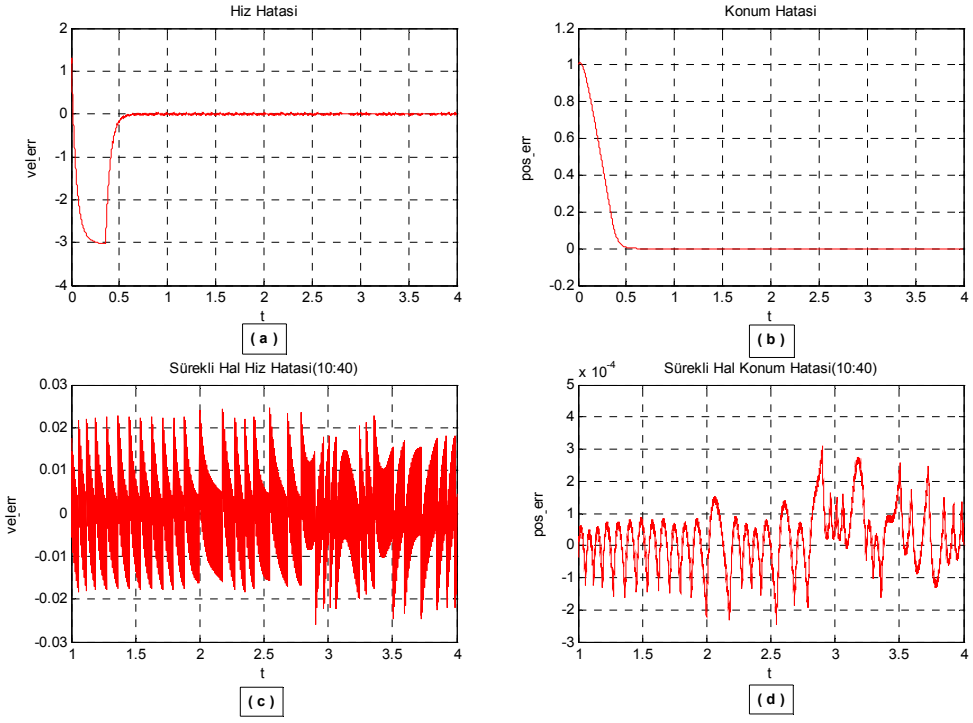
Şekil 2.10 da verilmiş olan (a) grafiğinde birinci bölgede bulunan başlangıç noktasından, faz düzleminin merkezinde ulaşana kadar izlediği yol gösterilmektedir. Şekil 2.10 da verilen (b) grafiğinde ise faz düzlemi daha ayrıntılı çizdirilmiştir. Burada sistem durumunun faz düzleminin merkezine gelene kadar meydana gelen çatırdama açıkça gösterilmiştir.



Şekil 2.11: Doğrusal yüzeyde kayan kipli kontrolör için zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı

Şekil 2.11 de verilmiş olan (a) grafiğinde sürekli halde olan s değerinin -0.02 ile +0.02 arasında değişimi gösterilmiştir. Şekil 2.11 de verilen (b) grafiğinde ise sürekli halde olan u değerinin -60 ile +60 arasındaki değişimi gösterilmiştir.

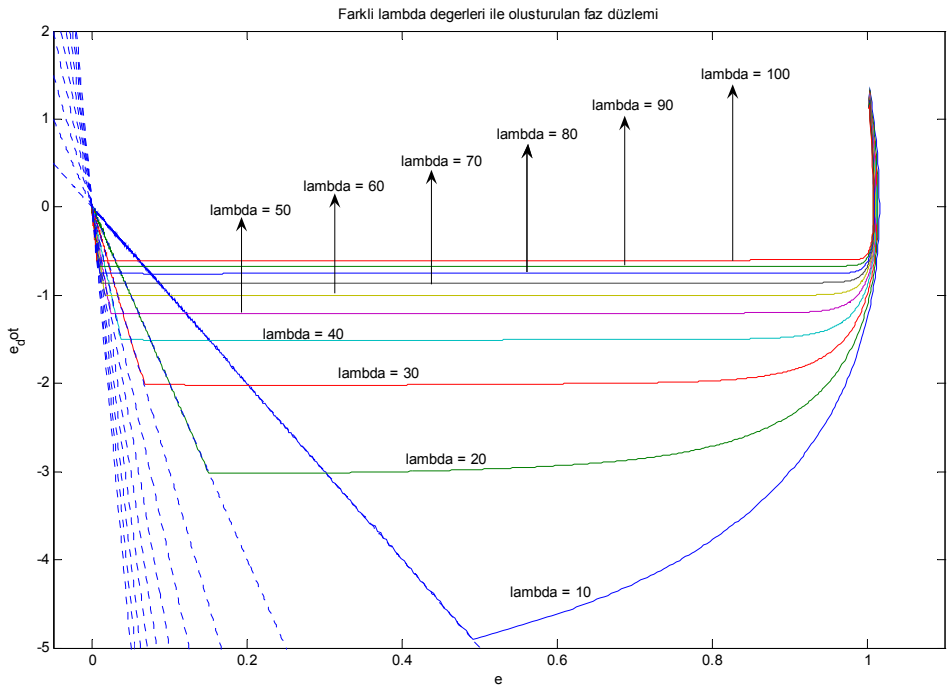
Şekil 2.12 de verilmiş olan (a) grafiğinde hız hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak hız hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 0.5 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 2.12 de verilmiş olan (b) grafiğinde konum hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak konum hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 0.5 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 2.12 de (c) grafiğinde sürekli haldeki hız hatasının -0.017 ile +0.022 arasındaki değişimi gösterilmiştir. Şekil 2.12 de (d) grafiğinde sürekli haldeki konum hatasının -0.00025 ile +0.00035 arasındaki değişimi gösterilmiştir.



Şekil 2.12: Doğrusal yüzeyde kayan kipli kontrolör için zamanla değişen a) hız hatası b) konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası

Sistemin faz yüzeyindeki eğimini veren değeri λ , yaklaşma açısı parametresini de η ile gösterilir. Doğrusal kayan yüzeyde λ ve η katsayıları sabittir. Bu katsayılar zamana

bağlı kayan yüzeyde kullanıldığında λ sabit değeri, λ(t) fonksiyonu haline gelir. Aynı şekilde η sabit değeri, η(t) fonksiyonu haline gelir.

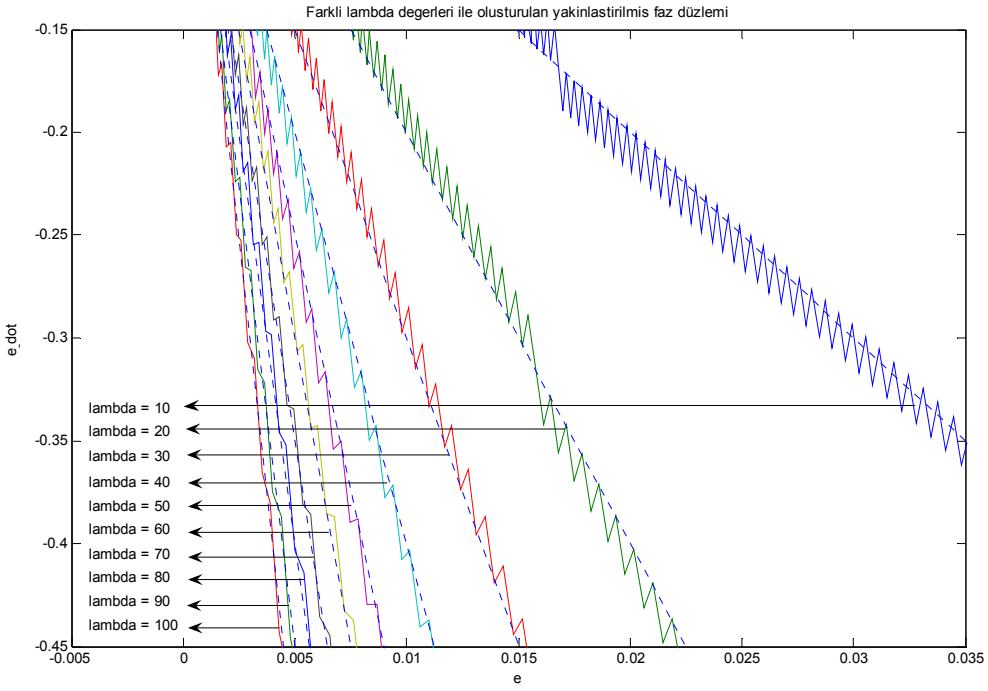


Şekil 2.13 : Doğrusal yüzeyde yaklaşma açısı (η = 60) sabit iken faz yüzeyindeki eğimin (λ) değişimi

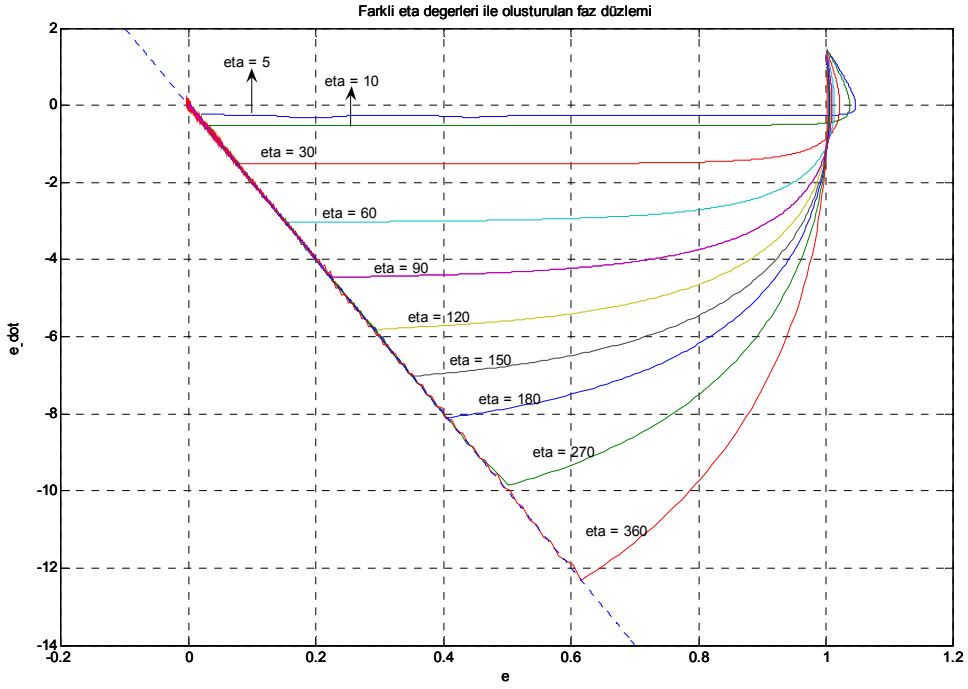
Şekil 2.13 ikinci dereceden sistem üzerinde, sabit yaklaşma açısı η = 60, değişik λ değerleri ile faz düzlemi merkezi etrafında oluşan kayan yüzeyin nasıl döndüğünü gösterir. Burada kayan yüzeyin eğimi arttırıldıkça kayan yüzeyin faz düzlemindeki değişimi incelenmiştir.

Şekil 2.14 ikinci dereceden sistem üzerinde, sabit yaklaşma açısı varken değişen yüzey eğimleri ile faz düzlemi merkezi etrafında oluşan kayan yüzeyin ayrıntılı görünümü verilmiştir. Şekil 2.14 de sistemin üzerindeki çatırdama etkisi açıkça gözükmektedir.

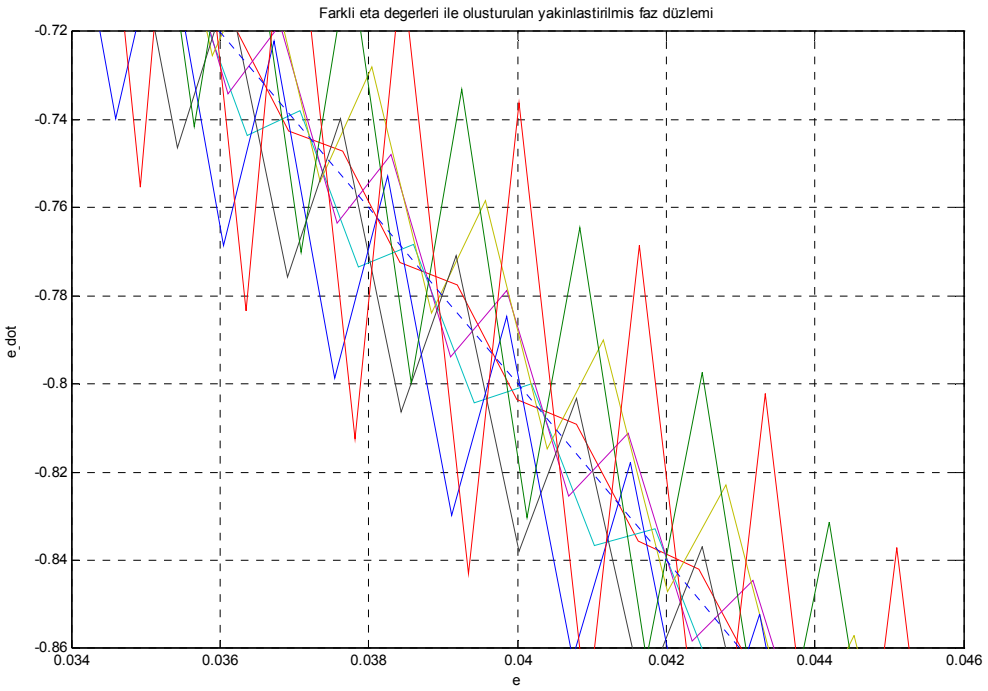
Şekil 2.15 ikinci dereceden sistem üzerinde, sabit yüzey eğimi λ = 20, değişik yaklaşma açısı η değerleri ile faz yüzeyinde sistem durumunun kayan yüzeye ulaşma şeklini gösterir. Burada yaklaşma açısı arttırıldıkça sistem durumunun kayan yüzeye erişme şeklinin faz düzlemindeki değişimi incelenmiştir.



Şekil 2.14 : Doğrusal yüzeyde yaklaşma açısı (η = 60) sabit iken faz yüzeyindeki eğimin (λ) değişiminin ayrıntılı görünümü



Şekil 2.15: Doğrusal yüzeyde faz yüzeyindeki eğim (λ=20) sabit iken yaklaşma açısı (η) değişimi



Şekil 2.16 : Doğrusal yüzeyde faz yüzeyindeki eğim (λ=20) sabit iken yaklaşma açısının (η) değişiminin ayrıntılı görünümü

Şekil 2.16 ikinci dereceden sistem üzerinde, sabit bir yüzey eğimi varken değişen yaklaşma açıları ile kayan yüzey üzerinde sistem durumunun ayrıntılı görünümü verilmiştir. Şekil 2.16 da sistemin üzerindeki çatırdama etkisi açıkça gözükmektedir.

2.6.2 SİMULASYON 2:

Yukarıdaki doğrusal olmayan sisteme uygulanacak olan kayan kipli kontrolörün amacı, istenilen yörüngeye ulaşabilmek için çatırdama etkisini azaltacak gerekli kontrol kuralını elde etmektir. Bu yüzden signum fonksiyonu yerine saturasyon fonksiyonunu yerleştirerek yukarıdaki simülasyonlar tekrar gerçekleştirilir.

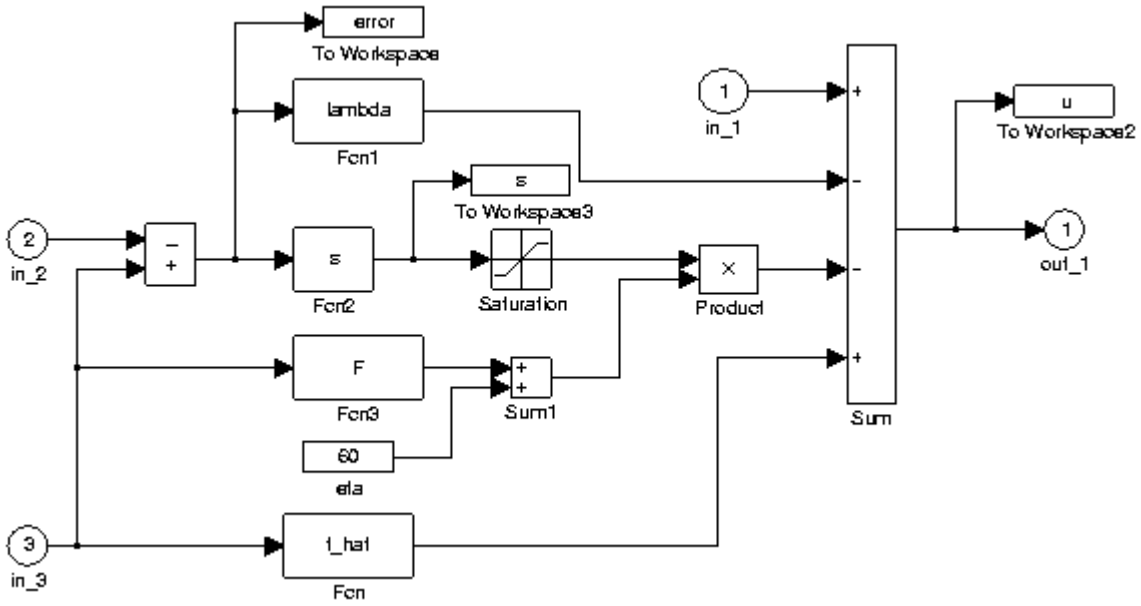
Denklem (2.6) da s olarak tanımlanan doğrusal kayan yüzey simülasyonlar da aşağıdaki gibi ifade edilmiştir. Burada $e_1 = \dot{e}$ ve $e_2 = e$ olarak yazılırsa;

$s = e_1 + \lambda * e_2$

Denklem (2.10) eşitliğinde u olarak tanımlanan kontrol kuralı simülasyonlarda aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$u(t) = \ddot{x} - \lambda e_2 + sat(s)\,[\,0.5\dot{x}^2|\cos 3x| + 60\,] + 1.5\dot{x}^2 \cos 3x$

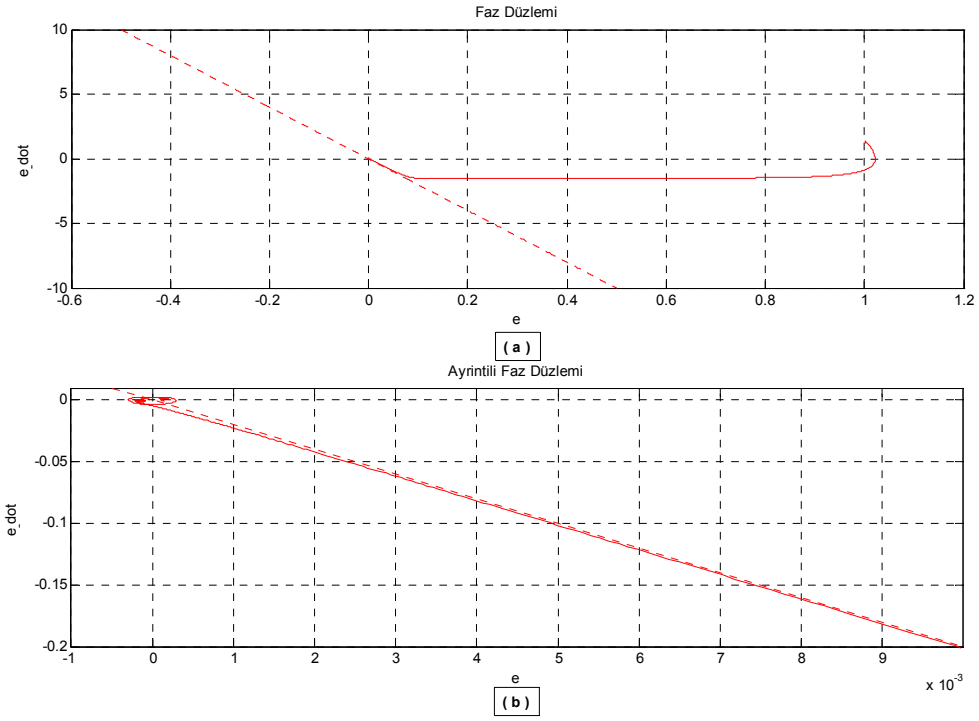
Aşağıda verilen Şekil 2.17 de simulinkte kullanılan doğrusal kayan yüzey, s ve elde edilen kontrol kuralı, u kullanılarak doğrusal olmayan sisteme uygulanan kayan kipli kontrolör çizilmiştir. Şekil 2.17 da Fcn3 bloğu $0.5\dot{x}^2|\cos 3x|$ fonksiyonunu, Fcn bloğu ise $1.5\dot{x}^2 \cos 3x$ fonksiyonunun elde edilmesini sağlar. Burada dikkat edilmesi gereken Şekil 2.17 da verilen signum fonksiyonu yerine saturasyon fonksiyonu konulmuş olmasıdır. Bu sayede çatırdama etkisinin açıkça azaldığı aşağıda verilecek şekillerde gözükmektedir.



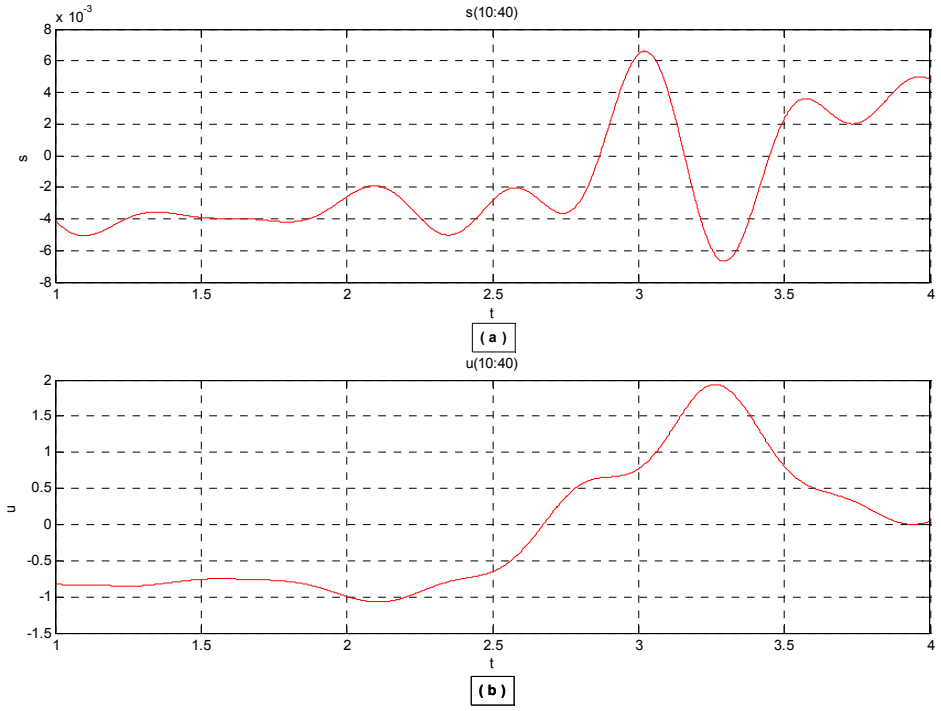
Şekil 2.17: Doğrusal kayan yüzeyde saturasyon fonksiyonu ile simulinkte kullanılan kayan kipli kontrolör

Verilen değerlerle simulinkte elde edilen sonuçlar;

Şekil 2.18 de verilmiş olan (a) grafiği ile Şekil 2.10 de verilmiş olan (a) grafiği karşılaştırıldığında pek bir fark gözükmese de, verilen kayan kipli kontrolör için faz düzleminde oluşan çatırdamanın azaldığı Şekil 2.18 de verilmiş olan (b) grafiği ile Şekil 2.10 de verilmiş olan (b) grafiği karşılaştırıldığında açıkça gözükmektedir.

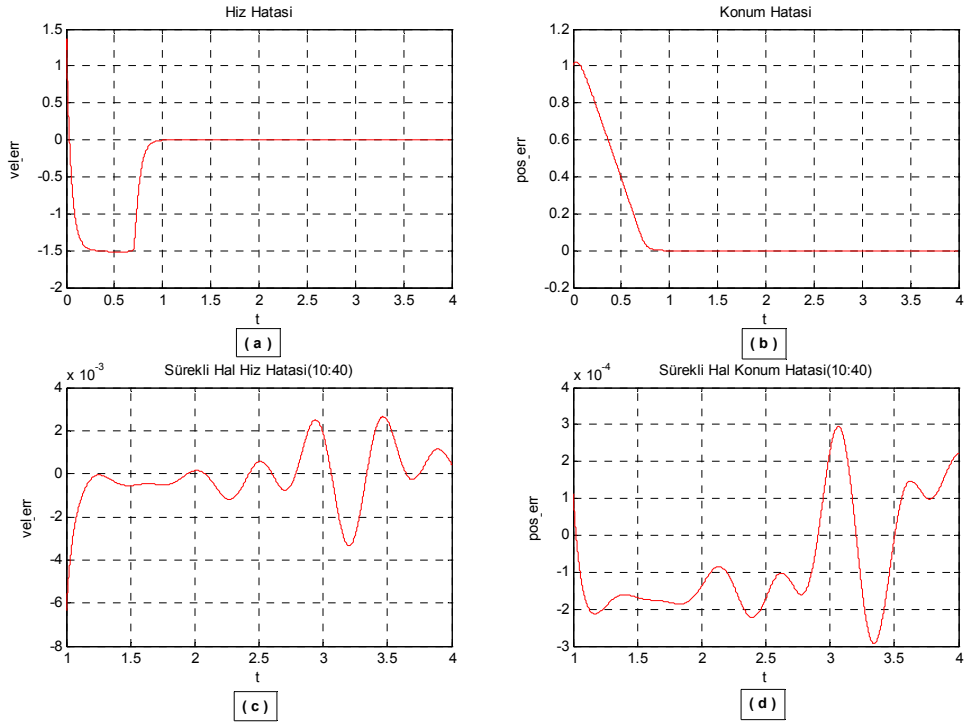


Şekil 2.18: Saturasyonlu doğrusal yüzeyde kayan kipli kontrolör için faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm



Şekil 2.19: Saturasyonlu doğrusal yüzeyde kayan kipli kontrolör için zamanla değişen a) kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı

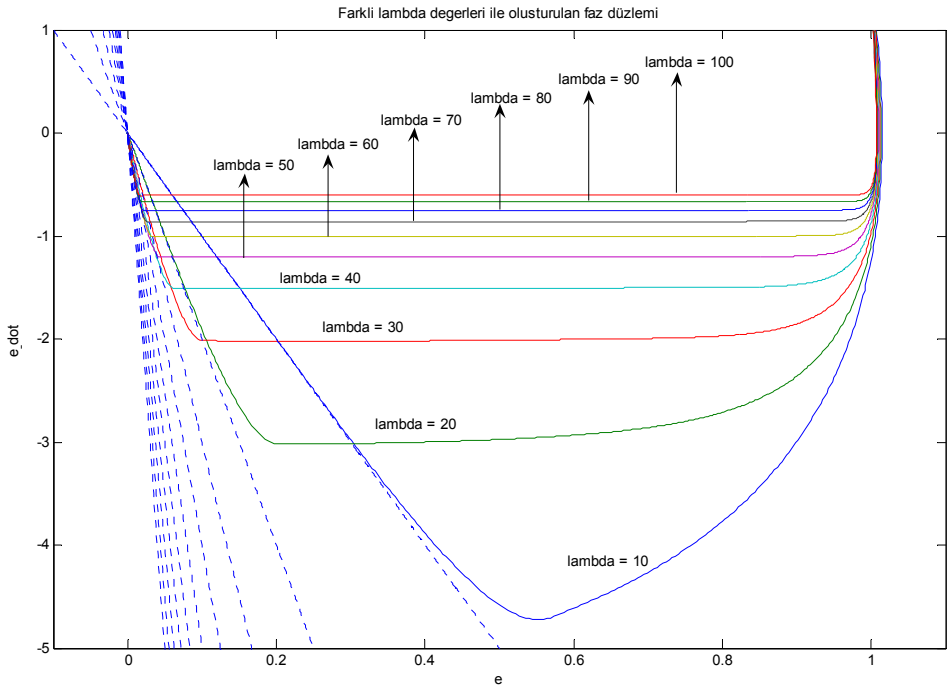
Şekil 2.19 da verilmiş olan (a) grafiğinde sürekli haldeki s değeri -0.00065 ile +0.00065 arasında değişmiştir. Şekil 2.19 de verilen (b) grafiğinde ise sürekli halde olan u değerinin -1 ile +2 arasındaki değişimi gösterilmiştir.



Şekil 2.20: Saturasyonlu doğrusal yüzeyde kayan kipli kontrolör için zamanla değişen a) hız hatası b) konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası

Yukarıdaki Şekil 2.20 de verilmiş olan (a) grafiğinde hız hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak hız hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 1 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 2.20 de verilmiş olan (b) grafiğinde konum hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak konum hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 0.8 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 2.20 de (c) grafiğinde sürekli haldeki hız hatasının -0.004 ile +0.003 arasındaki değişimi gösterilmiştir. Şekil 2.20 de (d) grafiğinde sürekli haldeki konum hatasının -0.0003 ile +0.0003 arasındaki değişimi gösterilmiştir.

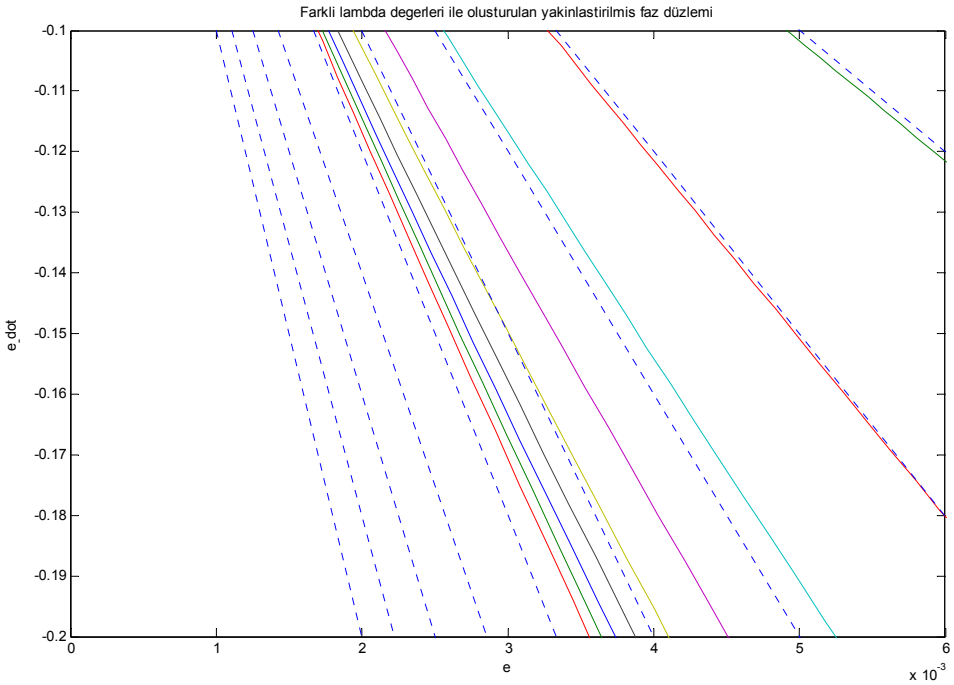
Doğrusal kayan yüzeyde sistemin faz yüzeyindeki eğimi (λ) ve yaklaşma açısı (η) değişimi bir önceki simülasyonda verildiği gibidir. Ancak burada çatırdama etkisinin oldukça azaldığı rahatlıkla görülebilir.



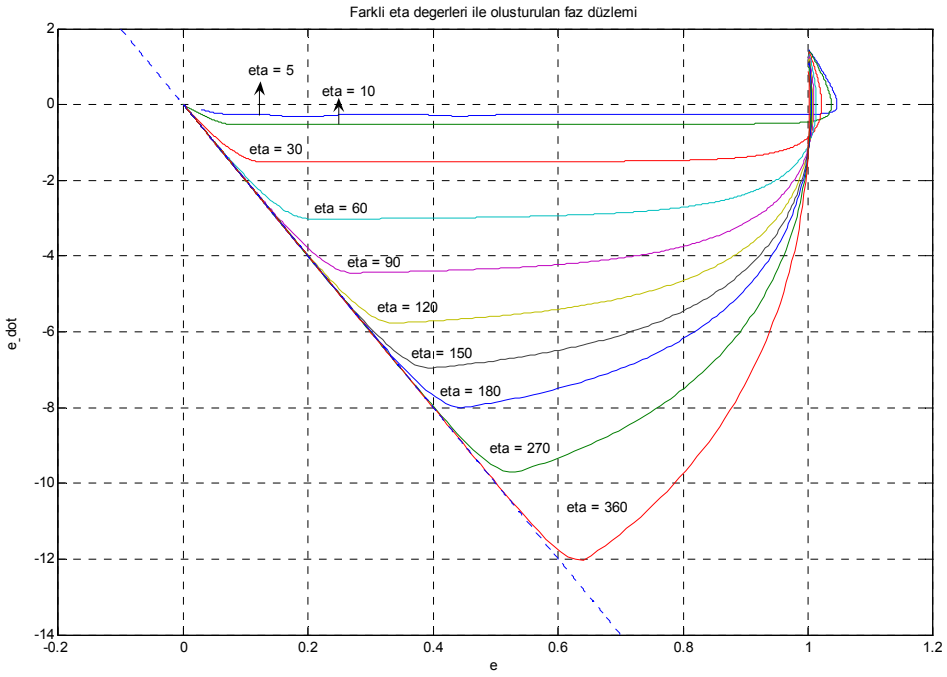
Şekil 2.21: Saturasyonlu doğrusal yüzeyde yaklaşma açısı ($\eta = 60$) sabit iken faz yüzeyindeki eğimin (λ) değişimi

Yukarıdaki Şekil 2.21 ikinci dereceden sistem üzerinde, sabit yaklaşma açısı $\eta = 60$, değişik λ değerleri ile faz düzlemi merkezi etrafında oluşan kayan yüzeyin nasıl döndüğünü gösterir. Burada kayan yüzeyin eğimi arttırıldıkça kayan yüzeyin faz düzlemindeki değişimi incelenmiştir.

Şekil 2.22 ikinci dereceden sistem üzerinde, sabit yaklaşma açısı varken değişen yüzey eğimleri ile faz düzlemi merkezi etrafında oluşan kayan yüzeyin ayrıntılı görünümü verilmiştir. Şekil 2.22 ile Şekil 2.14 karşılaştırıldığında verilen kayan kipli kontrolör için faz düzleminde oluşan çatırdamanın azaldığı açıkça gözükmektedir.

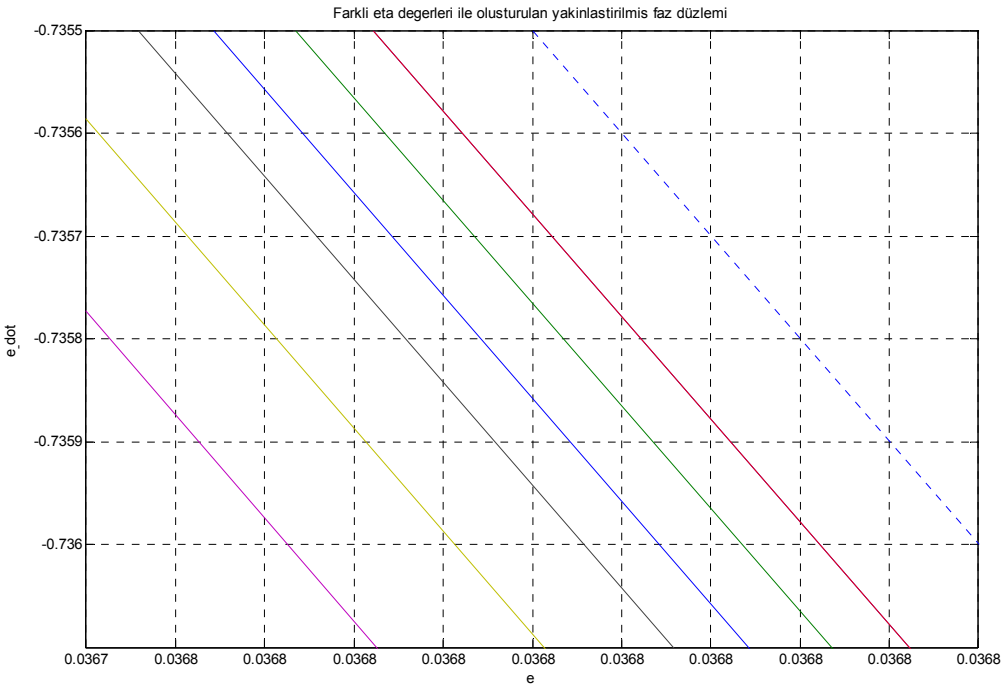


Şekil 2.22: Saturasyonlu doğrusal yüzeyde yaklaşma açısı ($\eta = 60$) sabit iken faz yüzeyindeki eğimin (λ) değişiminin ayrıntılı görünümü



Şekil 2.23: Saturasyonlu doğrusal yüzeyde faz yüzeyindeki eğim (λ=20) sabit iken yaklaşma açısının (η) değişimi

Yukarıdaki Şekil 2.23 ikinci dereceden sistem üzerinde, sabit yüzey eğimi λ = 20, değişik yaklaşma açısı η değerleri ile faz yüzeyinde sistem durumunun kayan yüzeye ulaşma şeklini gösterir. Burada yaklaşma açısı arttırıldıkça sistem durumunun kayan yüzeye erişme şeklinin faz düzlemindeki değişimi incelenmiştir.



Şekil 2.24: Saturasyonlu doğrusal yüzeyde faz yüzeyindeki eğim (λ=20) sabit iken yaklaşma açısının (η) değişiminin ayrıntılı görünümü

Yukarıdaki Şekil 2.24 ikinci dereceden sistem üzerinde, sabit bir yüzey eğimi varken değişen yaklaşma açıları ile kayan yüzey üzerinde sistem durumunun ayrıntılı görünümü verilmiştir. Şekil 2.24 ile Şekil 2.16 karşılaştırıldığında verilen kayan kipli kontrolör için faz düzleminde oluşan çatırdamanın azaldığı açıkça gözükmektedir.

2.7 DOĞRUSAL KAYAN KİPLİ KONTROL DE OLUŞAN BAZI PROBLEMLER

Doğrusal kayan kipli kontrol kuralı tasarımında, kontrol giriş saturasyonu ve kayan durumdaki performans optimizasyonu iyi oluşturulamaz. Bunlar kullanılan kayan yüzeyin tipine göre sorun yaratırlar.

Geri besleme kontrolü ile doğrusal kayan dinamiklerini muhafaza etmek için, kontrol girişinin önemi, sistem durumu ile hedef durumunun arasındaki uzaklıkla orantılıdır. Örneğin, ikinci dereceden sistemde doğrusal kayan kipli kontrolör aşağıdaki denklem (2.17) de verildiği gibi gösterilebilir.

$$u = \hat{b}^{-1}\left[-\hat{f} + \ddot{x}_d + \lambda_1 \dot{e} + k\,\mathrm{sat}(s/\Phi)\right] \qquad \textbf{(2.17)}$$

Sistem durumu doğrusal kayan yüzey üzerinde olduğunda, sat (s / Φ) = 0 ve $\dot{e} = \lambda_1 e$, iken kontrol kuralı aşağıdaki denklem (2.18) haline dönüşür.

$$u = \hat{b}^{-1}\left[-\hat{f} + \ddot{x}_d + \lambda_1^2 \dot{e}\right] \qquad \textbf{(2.18)}$$

Kontrolün oransal teriminin $-\lambda_1^2 / \hat{b}$ katsayılı olduğu açıkça gözükür. Benzer sonuçlar yüksek dereceli sistemlerde de elde edilir.

Burada, eğer sistem durumu hedef durumundan uzak ise, kontrol girişi doymaya ulaşabilir ve kontrolör sistem durumunu kayan yüzeyine yaklaştıramayabilir [3]. Doyma gerçekleştiği zaman, kayan yüzeyin işlevsel olması uzun süre garanti edilemez. Bazı sistemlerde, doyma durumunun performansa sert bir etkisi olabilir. Başka sistemler için doyma durumu kararsızlıklara neden olabilir.

Bu doyma probleminin kısmen çözülebilmesi için doğrusal kayan yüzey, buna uygun olarak tasarlanmış doğrusal olmayan kayan yüzeyle değiştirilebilir. Kayan yüzeyde kontrol girişini asla doymaya götürmeyecek sistem için, doğrusal olmayan kayan yüzey tasarlamak mümkündür. Sonuç olarak kayan yüzey durumuna ve izleme hatasına etki eder.

Diğer bir problem ise doğrusal kayan kipli kontrolün performansı kayan kip ile adreslenemez. Kontrol kuralı sistemin doğrusal olmamasını engeller ve bunu doğrusal dinamiklerle yer değiştirir. Doğrusal dinamikleri sisteme böyle eklemek doğal değildir. Burada, sistem durumu doğrusal kayan yüzeye doğru hareket ederken, performans gerekli kadar iyi olmaz. Sistem doğrusal olmayan dinamikleri sistemin kararlılığı ve/veya performansı için daha uygundur.

Yine, bu performans problemi doğrusal olmayan kayan yüzeylerden faydalanılarak çözülebilir. Kayan yüzeyler, kayan dinamiklerini tanımlarlar. Burada, doğal sistem dinamiklerini elde etmek mümkündür veya en uygun dinamikleri, tasarım aşamasındaki doğrusal olmayan kayan yüzeye eklenebilir. Sonuçta kayan kipli kontrolör kesin en uygun performansı kayan kip esnasında gerçekleştirilir.

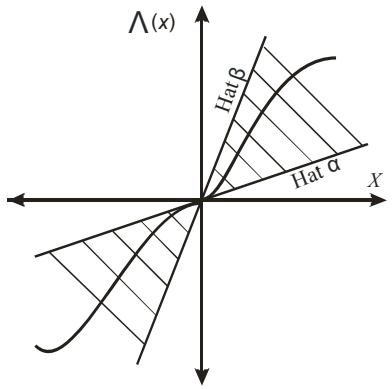
3 DOĞRUSAL OLMAYAN KAYAN KİPLİ KONTROL

Doğrusal olmayan kayan kipli kontrolör, doğrusal olmayan kayan yüzeyleri kullanan kayan kipli kontrolördür. Doğrusal olmayan kayan yüzey kullanılarak, kontrolör doğrusal kayan kipli kontrolör ile oluşan belli problemleri çözebilir.

Bu bölümde doğrusal olmayan kayan kipli kontrole giriş yapılacaktır. Ayrıca bir evvelki bölümlere paralel ilerlenecektir. Bu sayede doğrusal ve doğrusal olmayan kayan yüzeyli kayan kipli kontrolörün formül ve tanımları karşılaştırılacaktır.

3.1 BÖLGE

Doğrusal olmayan kayan dinamiklerin kararlılığını sağlamak için, doğrusal olmayan kayan yüzeyler belli sınırlar içinde tutulurlar. Bu sınırların oluşturduğu özel alana bölge (sector) diyebiliriz. Bölge tanımı aşağıda verilmiştir [30].



Şekil 3.1: Bölge [α, β] ya bağlı olan fonksiyon

Tanım: Bir sürekli fonksiyon $\phi : \mathrm{R} \to \mathrm{R}$, bölge [α, β] ye bağlıdır, $\alpha \le \beta$, eğer,

$$ax^2 \le x\phi(x) \le \beta x^2, \forall x \in \mathrm{R}$$

Ve ya, eşitlik, eğer

1) $\phi(0) = 0$

Ve

2) $a \le \dfrac{\phi(x)}{x} \le \beta, \forall x \ne 0$

bölge[α, β]'ye bağlı olan fonksiyonun örneği Şekil 3.1 de gösterilmiştir.

3.2 DOĞRUSAL OLMAYAN KAYAN YÜZEYLER

Kullanılacak sistemde x_d istenilen çıkış olarak tanımlansın ve $e = (x_d - x)$ izleme hatası olsun. Denklem (2.6) de verilen n. dereceden dinamik sistem, doğrusal olmayan kayan yüzey için denklem (3.1) de verildiği gibidir.

$$s = \left(\frac{d}{dt} + \Lambda_{n-1}(\cdot)\right)\left(\frac{d}{dt} + \Lambda_{n-2}(\cdot)\right)...\left(\frac{d}{dt} + \Lambda_1(\cdot)\right)e = 0 \qquad \textbf{(3.1)}$$

Burada s kayan yüzey fonksiyonu; Λ_i, i = , ..., n – 1, sector $[\alpha_i, \beta_i]$'ye bağlı olan statik doğrusal olmayan fonksiyondur. Burada α_i ve β_i değerleri $0 < \alpha_i \le \beta_i \le \infty$ olarak verilmiştir.

İkinci dereceden sistemler, denklem (3.1) deki doğrusal olmayan kayan yüzey aşağıdaki gibi örneklenebilir.

$$s = \left[\frac{d}{dt} + \Lambda_1(\cdot)\right]e$$

$$= \frac{d}{dt}(e) + \Lambda_1(e)$$

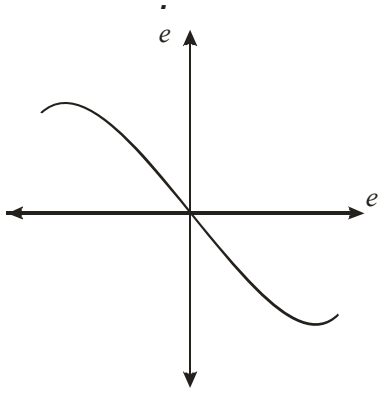
$$= \dot{e} + \Lambda_1(e)$$

$$= 0$$

Burada iki boyutlu faz düzleminde doğrusal olmayan eğri tanımlanır. Şekil 3.2 de ikinci dereceden sistem için doğrusal olmayan kayan yüzey için bir örnek verilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken sector konumunu uygun hale getirmek için, Λ_1, faz düzleminin

birinci ve üçüncü çeyreğine oturtulmalıdır. Buna rağmen, doğrusal olmayan kayan yüzey sonuçları ikinci ve dördüncü çeyreğine girer.

Şekil 3.2 de sabit dinamiklerle oluşturulan doğrusal olmayan kayan yüzey gösterilir. Sistem durumu doğrusal olmayan sistem yüzeyi kısıtlandığında, pozitif e negatif $\dot{e}$'nü ima eder ve benzer olarak negatif e pozitif $\dot{e}$'nü ima eder. Sonuç olarak e ve $\dot{e}$ çarpımı (e = 0 hariç) her zaman negatiftir ve hata azalır.



Şekil 3.2: İkinci dereceden denklemler için doğrusal olmayan kayan yüzey

Kararlılığın daha kesin ve genelleştirilmiş ispatı bölüm 3.5 de verilecektir.

Üçüncü dereceden sistemler için denklem 3.1 de tanımlanan doğrusal olmayan yüzey üç boyutlu faz düzleminde aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$s = \left[\frac{d}{dt} + \Lambda_2(\cdot)\right]\left[\frac{d}{dt} + \Lambda_1(\cdot)\right]e$$

$$= \left[\frac{d}{dt} + \Lambda_2(\cdot)\right]\left(\dot{e} + \Lambda_1(e)\right)$$

$$= \frac{d}{dt}\left(\dot{e} + \Lambda_1(e)\right) + \Lambda_2\left(\dot{e} + \Lambda_1(e)\right)$$

$$= \ddot{e} + \Lambda_1(e)\dot{e} + \Lambda_2\left(\dot{e} + \Lambda_1(e)\right)$$

$$= 0$$

Dikkat edilmesi gereken $\Lambda_2\left(\dot{e}+\Lambda_1(e)\right)$ genel olarak $\Lambda_2(\dot{e})+\Lambda_2(\Lambda_1(e))$ olarak yazılamaz artık çünkü Λ_2 doğrusal olmayan fonksiyondur. Dört ve daha yüksek dereceden sistemlerde, doğrusal olmayan kayan yüzeyler n. boyutlu faz düzleminde doğrusal olmayan hiper-düzlemler haline dönüşürler.

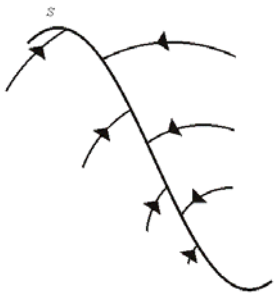
Benzer doğrusal kayan yüzey fonksiyonlarında olduğu gibi, doğrusal olmayan kayan yüzey fonksiyonu $\tilde{x}^{n-1}$'in toplamı olarak yazılabilir ve tüm diğer terimler $\bar{s}$ ile belirtir.

$$s = e^{(n-1)} + \bar{s} \qquad \textbf{(3.2)}$$

Bu tanımlama, doğrusal olmayan kayan kontrol kuralını oluşturmak için kullanılır.

3.3 DOĞRUSAL OLMAYAN KAYAN KİPLİ KONTROL KURALI

Doğrusal olmayan kayan kipli kontrol kuralı, bölüm 2.3 de doğrusal kayan kipli kontrolör kuralını çıkartırken kullanılan mekanizma ile aynı şekilde çıkartılabilir. Aynı Lyapunov fonksiyonu ($V = ½\ s^2 > 0$) kullanarak başlarsak ve denklem (2.8) deki aynı kayan durum kullanılarak aşağıdaki Şekil 3.3 ve denklem (3.3) ile aynı kontrol kuralı elde edilir.



Şekil 3.3 : Doğrusal olmayan yüzey üzerinde kayan durum.

Şekil 3.3 de görüldüğü gibi yine sistem durumu, yörüngeleri *S(t)* yüzeyine gitmeye zorlamaktadır.

$$u = \hat{b}^{-1}\left[-\hat{f} + x_d^{(n)} + \dot{\bar{s}} + k\,\mathrm{sgn}(s)\right] \qquad \textbf{(3.3)}$$

Denklen (3.3) de kullanılan k terimi aşağıdaki denklem (3.4)'deki gibi ifade edilebilir,

$$k = (\beta - 1)|\hat{u}| + \beta(F + h(s)) \quad \textbf{(3.4)}$$

Buradaki doğrusal olmayan kayan yüzeydeki kontrol kuralı, denklem (3.3) ile doğrusal kayan yüzeydeki kontrol kuralı, denklem (2.10) arasındaki tek fark, doğrusal olmayan fonksiyon içindeki $\bar{s}$ 'dür.

Dikkat edilmesi gereken, eğer denklem (3.1) in içindeki her Λ_i bir negatif eğimli bir çizgi fonksiyonu olursa, denklem (3.1) de bildiğimiz doğrusal kayan yüzey haline gelir. Burada doğrusal kayan kipli kontrolör, doğrusal olmayan kayan kipli kontrolörün özel bir durumudur diyebiliriz. Ayrıca izleme hatası küçükse, doğrusal olmayan kayan yüzey doğrusal kayan yüzeye yaklaşır. Bu sonuç için, doğrusal kayan kipli kontrolör ve doğrusal olmayan kayan kipli kontrolörde izleme hatası küçük ise ikisinden de benzer performans elde edilir. Doğrusal olmayan kayan yüzeyler izleme hatası değeri büyük olduğu zaman kayan yüzey kontrolü için önemi ortaya çıkar.

3.4 YAKINSAMA HIZI

Sistem durumunun doğrusal olmayan kayan yüzeye ulaşması için gerekli maksimum zaman pozitif fonksiyon h(s) ile tanımlanmıştır, denklem (2.9) da tanımlanmış denklem (2.8) de kullanılmıştır. Burada maksimum ulaşma zamanı aşağıdaki denklem (3.5) ile sınırlandırılmıştır, bu doğrusal kayan yüzey için tanımlanan denklem (2.13) ile aynıdır.

$$t_{reach} - 0 \le \int_{s_0}^{0} \frac{-ds}{h(s)} \quad \textbf{(3.5)}$$

Eğer kontrol girişi ulaşma fazı sırasında doymaya ulaşmamış ise, h(s), pozitif sabit η'den daha büyük olduğu sürece, $t_{ulaşma}$ zamanı $|s_0|/\eta$ ile üstten sınırlandırılmıştır. h(s)'in yanı sıra, s_0'da ulaşma zamanının tanımlanmasındaki bir diğer faktördür. Aynı başlangıç durumu ve aynı hedef durumu için, ulaşma zamanı farklı kayan yüzeyler için oldukça değişik değerler alabilir.

Sistem durumu, doğrusal olmayan kayan yüzeye ulaştığı anda, yaklaşma zamanı aşağıda verilmiş denklem (3.6) ve denklem (3.7) gibi iki doğrusal kayan yüzey ile sınırlandırılır.

$$s_a = \left(\frac{d}{dt} + a_{n-1}\right)\left(\frac{d}{dt} + a_{n-2}\right)...\left(\frac{d}{dt} + a_1\right)\tilde{x} = 0 \qquad \textbf{(3.6)}$$

Ve

$$s_\beta = \left(\frac{d}{dt} + \beta_{n-1}\right)\left(\frac{d}{dt} + \beta_{n-2}\right)...\left(\frac{d}{dt} + \beta_1\right)\tilde{x} = 0 \qquad \textbf{(3.7)}$$

Burada α_i ve β_i sector [α_i , β_i] 'yı tanımlamak için kullanılan sabitlerdir ve burada doğrusal olmayan fonksiyon Λ_i ile sınırlandırılır. Bölüm (2.3)'deki sonuçlar kullanılarak, yakınsama hızı aşağıdaki eşitsizlikle sınırlandırılabilir.

$$\left|\tilde{x}\left(t - t_{reach}\right)\right| \leq Me^{-\underline{\alpha}(t - t_{reach})}$$

Burada M pozitif sınır sabiti ve $\underline{\alpha}$ da α_i'lerin en küçük olanıdır. Burada doğrusal olmayan kayan yüzeyde sistem hata durumu exponansiyel olarak sıfıra yaklaşmaktadır.

3.5 ÇATIRDAMA

Doğrusal olmayan kayan kipli kontrol kuralının tasarımında çatırdama problemi tam olarak çözülemez. Yani doğrusal yüzeyi doğrusal olmayan yüzeye çevirmek çatırdama olayının iyileşmesini sağlayamaz. Çatırdama olayını azaltmak için, denklem (3.3) deki signum fonksiyonu, saturasyon fonksiyonu ile değiştirilir. Çatırdama olayını doğrusal olmayan kayan yüzey kullanarak azaltmak için kullanılan dinamikler doğal yüzey dinamiklerine yakın olmalıdır.

Çatırdama, kayan dinamikler ve doğal yüzey dinamikleri arasındaki farktan kaynaklanabilir. Doğal yüzey dinamikleri sistem durumunun yönünü tanımlar. Bu fiziksel kural kayan yüzey tanımlandırılması ile değiştirilemez. Burada eğer kayan dinamikleri yüzey için doğal değilse, sistem durumu, kayan yüzeyden sapmaya çalışır. Örnekleme zamanı küçük olmalı böylece kontrolör sistem durumunu, kayan yüzeyden uzaklaşmadan, yaklaştırmaya çalışır.

Diğer bir değişle, tasarlanan kayan dinamikleri doğal sistem dinamiklerine yakındır, kayan yüzey, sistem durumunun doğal yörüngesini kapsar. Eğer burada örnekleme

zamanı büyükse, kayan yüzeye doğru veya etrafındaki, sistem durumu kabul edilebilir. Yani çatırdama doğal olarak azaltılır veya yok edilir.

Doğrusal olmayan kayan yüzey tasarımları dördüncü bölüm içinde genel olarak incelenecektir. Bundan sonraki bölümde ise kararlılık ispatı yapılacaktır.

3.6 DOĞRUSAL OLMAYAN KAYAN DİNAMİKLERİN KARARLILIĞI

Kayan dinamikleri, kayan yüzeye uygulanan dinamiklerdir. Bunlar istenilen sistem oluşturulmasını belirtirler, kayan yüzeyin kararlılığı kayan dinamiklerini tanımlar. Diğer bir değişle, kayan kipli kontrol kuralı sistemi kararsızlığa götürebilir. Bu bölümde, kayan dinamiklerinin kararlılığını, amaçlanan doğrusal olmayan kayan yüzey ile tanımlanması ile göstereceğiz. İspatlama ikinci dereceden sistemler ile başlar, bunun sonuçları daha yüksek dereceli sistemlerin ispatına yarar.

İspatlama ikinci dereceden sistemler için, kayan dinamikleri aşağıdaki denklem (3.8) de tanımlanabilir:

$$\dot{e} = -\Lambda(e) + s \qquad \textbf{(3.8)}$$

Burada $-\Lambda(e)$'li birinci derecede sistem doğrusal olmayan geri beslemelidir. Kayan yüzey fonksiyonu, s, kayan dinamiklerin girişi olarak denklem (3.8) de tanımlanmıştır.

Teorem 1 $\Lambda : \mathrm{R} \to \mathrm{R}$ iken sector [α, β] da, $0 < \alpha \le \beta \le \infty$, olsun. Denklem (3.8) de tanımlanan sistemde, L_2 sabit ve denge noktası $\tilde{x} = 0$ asimptotik olarak sabittir.

Teorem 2 Ek-A denklem (i.3) de tanımlanan sistemde L_2 kararlıdır ve denge noktası y = 0 genel asimptotik kararlıdır.

(Bak. Ek)

4 DOĞRUSAL OLMAYAN KAYAN YÜZEYLERİN TASARIMI

Amaçlanan doğrusal olmayan kayan yüzeylerin kararlı dinamikleri gösterdiğini biliyoruz, bir sonraki soru ise amaçlanan kesin performans ihtiyaçlarının nasıl tasarlanacağıdır. Bu genelde kolay olmayan bir durumdur, özelliklede dinamik sistemin derecesi yüksek ise daha da zorlaşan bir işlemdir. Bu bölümde 2 tasarım modeli ele alınacaktır; statik doğrusal olmayan yüzey fonksiyonlu kontrol yöntemi ve bulanık mantık yaklaşım kontrol yöntemi.

Bu yöntemlerden bir tanesi simülasyon verileri deneysel veriler vs. ile üretilir Ancak bu veriler doğrudan bir kontrol tanımı için yeterli değildir. Bu yöntemler veri noktaları veya sabitlerinin cinsinden doğrusal olmayan kayan yüzeyleri oluşturur. Bunun yerine doğrusal olmayan kayan yüzeyleri kayan kipli kontrol için tanımlarken, doğrusal olmayan kayan yüzeylerin matematiksel tanımı gereklidir. Bu nedenden dolayı bulanık mantık tanımlama ile kayan yüzey tercih edilebilir.

4.1 STATİK DOĞRUSAL OLMAYAN FONKSİYONLU YÜZEY KULLANILAN KONTROL YÖNTEMİ

Yüksek dereceli sistemler için, doğrusal olmayan kayan yüzey statik doğrusal olmayan fonksiyonlu yüzey kullanılan kontrol yöntemi ile tasarlanabilir. Gerekli bilgiler analiz, simülasyon, deneyler ve çeşitli deneme yolları ile elde edilir.

İleri yönlü ve geri yönlü yörüngelerin birleştirilmesi yerine, doğrusal olmayan kayan yüzey bu yöntemle belli sınırlar kullanılarak tasarlanır. Özel olarak, iki sınırlama eşitliği her Λ fonksiyonu üzerinde kullanılır, bunlardan birinin eğimi merkezde diğeri ise maksimum mutluk değerdedir.

Eğer bir doğrusal olmayan kayan yüzey orijinde çizilir, bu merkezdeki orijinal doğrusal olmayan kayan tanjantı olan doğrusal kayan yüzeye dönüşür. Sistemin hata durumu

orijine yakınsa, doğrusal ve doğrusal olmayan yüzeyler arasındaki fark küçüktür. Bu nedenle var olan herhangi bir teknik kullanılarak doğrusal kayan yüzey tasarlanır, tıpkı kutup yer değiştirme metodu gibi, doğrusal kayan yüzey sonuçları kullanılarak merkezdeki doğrusal olmayan kayan yüzeyin eğimi tanımlanır.

Örneğin, eğer λ_i sabitleri, i = 1, . . . , n – 1 iken, doğrusal kayan yüzey tanımlamak için kullanırsa, doğrusal olmayan kayan yüzey aşağıdaki denklem (4.1) de verilen sınırlara sahiptir.

$$\Lambda_i^{'}(0) = \lambda_i, i = 1,...,n-1 \qquad \textbf{(4.1)}$$

Burada $\Lambda_i^{'}(.)$ denklem (3.1) de doğrusal olmayan kayan yüzeyi tanımlamakta kullanılır.

Yukarıdaki sınırların yanı sıra, aşağıdaki sınırlarda giriş doyma problemini ele almak için gereklidir:

$$\left|\Lambda_i(x)\right| \le L_i, \forall x \in \mathrm{R} \qquad \textbf{(4.2)}$$

Burada $L_i \in \mathrm{R}_+$, $\Lambda_i(.)$ için bir sınırdır. Denklem (4.2) de sezgisel algılar için, denklem (3.1) deki kayan yüzey fonksiyonu s, $[\Lambda_{n-1}(.)]..[\Lambda_1(.)]e$'in bir parçasını içermektedir. L_i olası seçimi analiz, bilgisayar simülasyonu, deneyler ve / veya sistem üzerinde tecrübe gerektirir. Ayrıca mümkünse Λ_i'ye başka sınırlar eklenebilir.

4.1.1 SİMULASYON ÇALIŞMALARI:

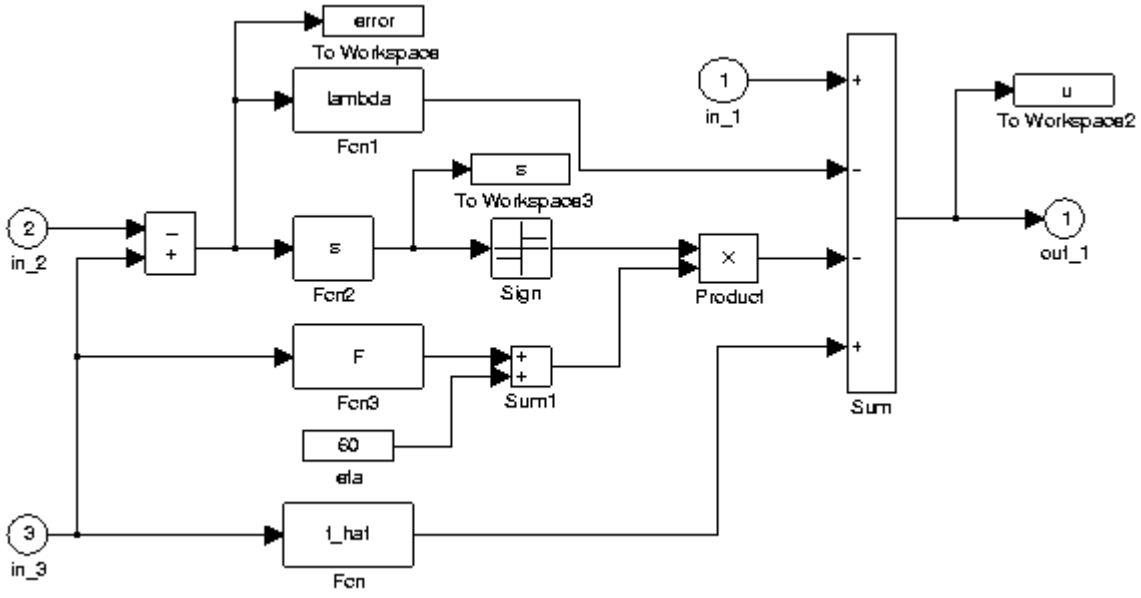
Bu bölümde, kayan kipli kontrolör kullanılarak Matlab 7.0 ile yapılan matematiksel örnekler verilmiştir.

Kayan kipli kontrol yöntemi ile oluşturulan doğrusal olmayan sistem, Şekil 2.6 da verildiği gibi ifade edilir. Aşağıda yapılacak simülasyonlarda sadece Şekil 2.6 da verilen sistemdeki kontrolör yapısı değiştirilmiştir. Kontrol edilecek sistemi de bir önceki bölümde verilen denklem (2.16) da verilen ikinci dereceden doğrusal olmayan bir Benchmark sistemi olarak ele alınmıştır.

4.1.1.1 SİMULASYON 1

Yukarıdaki doğrusal olmayan sisteme uygulanacak olan kayan kipli kontrolörün amacı, istenilen yörüngeye ulaşabilmek için gerekli kontrol kuralını elde etmektir.

Aşağıda verilen Şekil 4.1 de simulinkte kullanılan doğrusal olmayan kayan yüzey, s ve elde edilen kontrol kuralı, u kullanılarak doğrusal olmayan sisteme uygulanan kayan kipli kontrolör çizilmiştir. Şekil 4.1 da Fcn3 bloğu $0.5\dot{x}^2|\cos 3x|$ fonksiyonunu, Fcn bloğu ise $1.5\dot{x}^2\cos 3x$ fonksiyonunun elde edilmesini sağlar.



Şekil 4.1 : Doğrusal olamayan kayan yüzey ile simulinkte kullanılan kayan kipli kontrolör

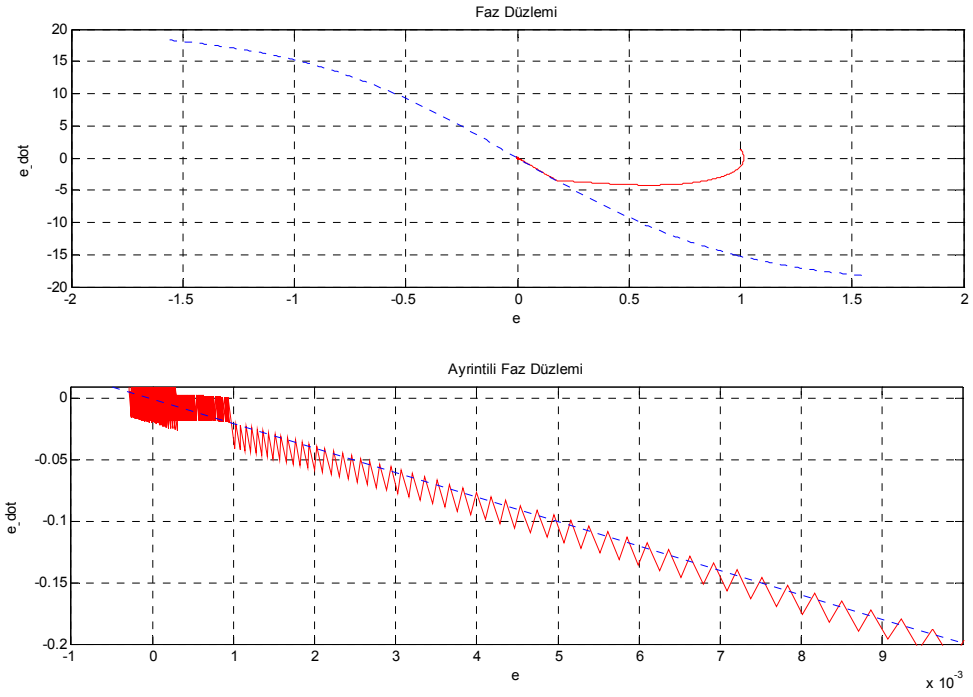
Denklem (3.1) de s olarak tanımlanan doğrusal olmayan kayan yüzey simülasyonlar da aşağıdaki gibi ifade edilmiştir. Burada $e_1 = \dot{e}$ ve $e_2 = e$ olarak yazılır. Ayrıca denklem (3.3) de u olarak tanımlanan kontrol kuralı simülasyonlarda aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

1.

$s = e_1 + 20 \tanh(e_2)$

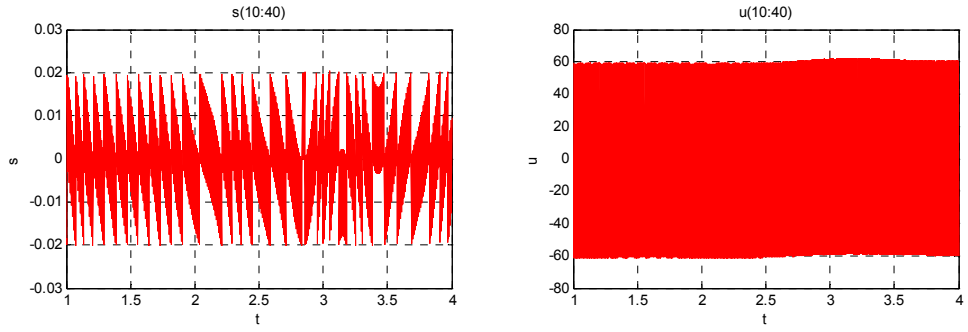
$u = \ddot{x} - 20\, e_1 (1-\tanh^2(e_2)) + \text{sgn}(s) [\, 0.5\dot{x}^2|\cos 3x| + 60\,] + 1.5\dot{x}^2 \cos 3x$

Verilen değerlerle simulinkte elde edilen sonuçlar;



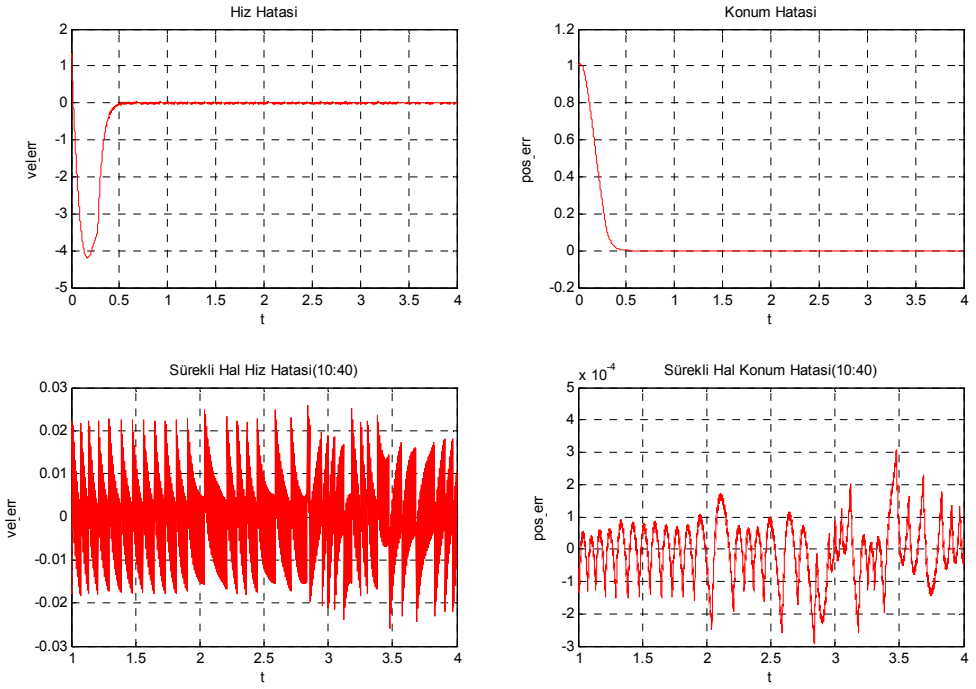
Şekil 4.2: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=20\tanh(e)$ iken faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm

Yukarıdaki Şekil 4.2 de verilmiş olan (a) grafiğinde birinci bölgede bulunan başlangıç noktasından, faz düzleminin merkezinde ulaşana kadar izlediği yol gösterilmektedir. Şekil 4.2 de verilen (b) grafiğinde ise faz düzlemi daha ayrıntılı çizdirilmiştir. Burada sistem durumunun faz düzleminin merkezine gelene kadar meydana gelen çatırdama açıkça gösterilmiştir.



Şekil 4.3: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=20\tanh(e)$ iken zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı

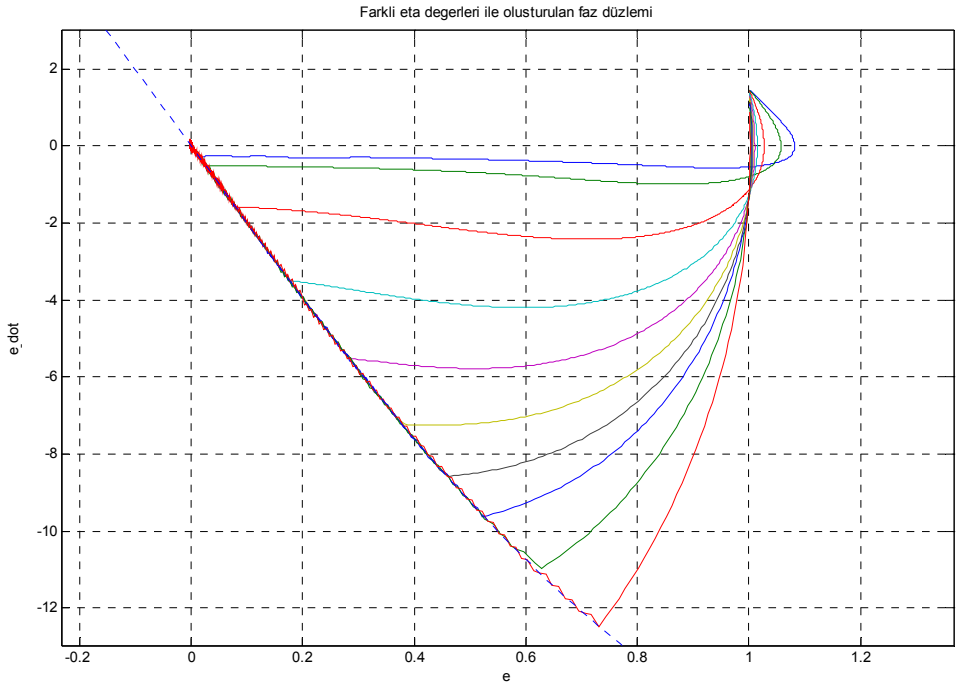
Şekil 4.3 de verilmiş olan (a) grafiğinde sürekli halde olan s değerinin -0.02 ile +0.02 arasında değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.3 de verilen (b) grafiğinde ise sürekli halde olan u değerinin -60 ile +60 arasındaki değişimi gösterilmiştir.



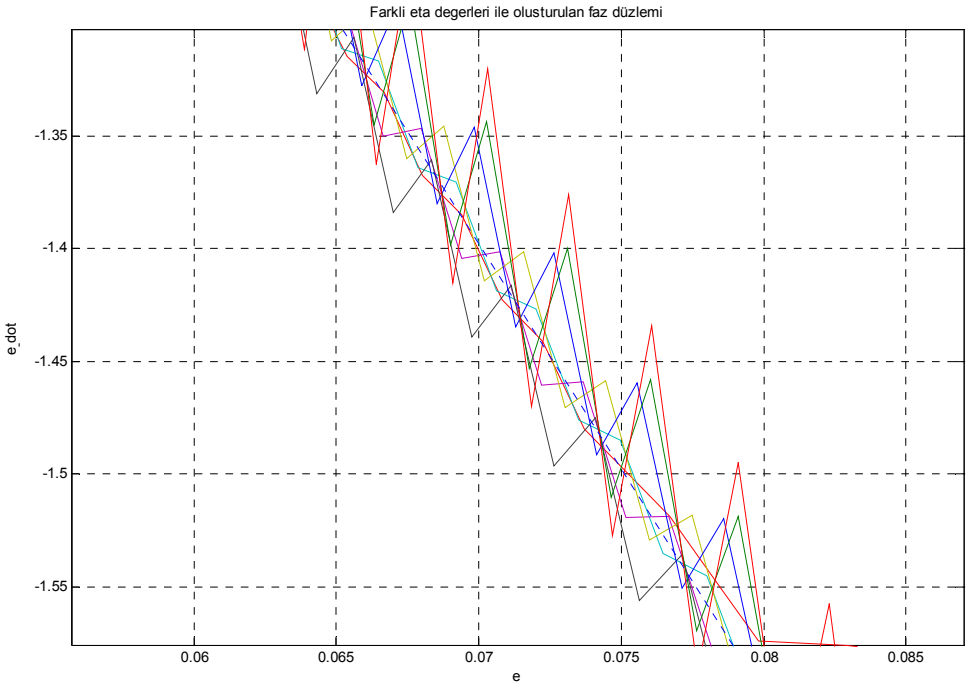
Şekil 4.4: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=20\tanh(e)$ iken zamanla değişen a) hız hatası b) konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası

Yukarıdaki Şekil 4.4 de verilmiş olan (a) grafiğinde hız hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak hız hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 0.5 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 4.4 de verilmiş olan (b) grafiğinde konum hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak konum hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 0.5 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 4.4 de (c) grafiğinde sürekli haldeki hız hatasının -0.03 ile +0.025 arasındaki değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.4 de (d) grafiğinde sürekli haldeki konum hatasının -0.0003 ile +0.0003 arasındaki değişimi gösterilmiştir.

Doğrusal olmayan kayan yüzeyde sistemin yaklaşma açısı, η değişiminin sisteme etkisi aşağıdaki Şekil 4.5 de verildiği gibidir.



Şekil 4.5: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=20\tanh(e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişimi



Şekil 4.6: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=20\tanh(e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişiminin ayrıntılı görünümü

Şekil 4.5 ikinci dereceden sistem üzerinde, doğrusal olmayan yüzeyden kaynaklanan değişken yüzey eğimi üzerindeki değişik yaklaşama açıları, η değerleri ile faz yüzeyinde sistem durumunun kayan yüzeye ulaşma şeklini gösterir. Burada yaklaşma açısı arttırıldıkça sistem durumunun kayan yüzeye erişme şeklinin faz düzlemindeki değişimi incelenmiştir.

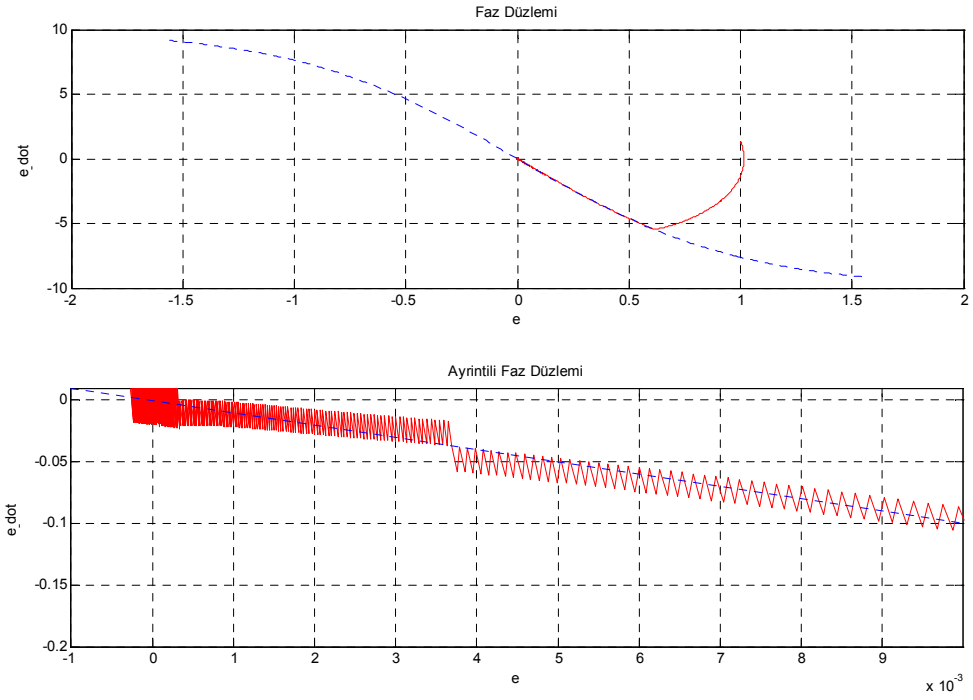
Şekil 4.6 ikinci dereceden sistem üzerinde, doğrusal olmayan yüzeyden kaynaklanan değişken yüzey eğimi varken değişen yaklaşma açıları ile kayan yüzey üzerinde sistem durumunun ayrıntılı görünümü verilmiştir. Şekil 4.6 da sistemin üzerindeki çatırdama etkisi açıkça gözükmektedir.

2.

$s(t) = e_1 + 10 \tanh(e_2)$

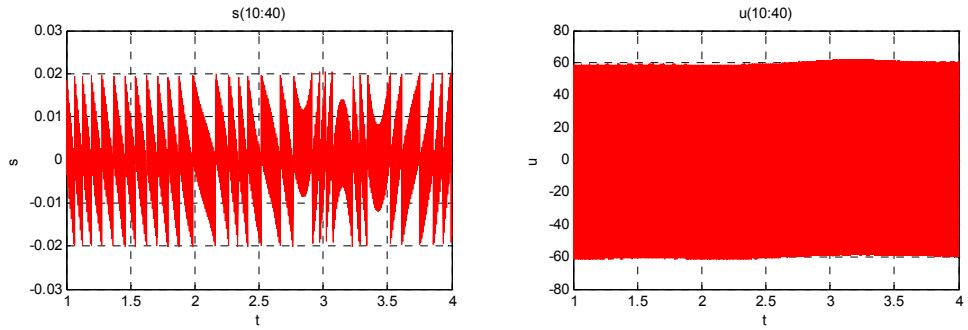
$u(t) = \ddot{x} - 10\, e_1 (1-\tanh^2(e_2)) + \text{sgn}(s) [0.5\dot{x}^2 |\cos 3x| + 60] + 1.5\dot{x}^2 \cos 3x$

Verilen değerlerle simulinkte elde edilen sonuçlar;

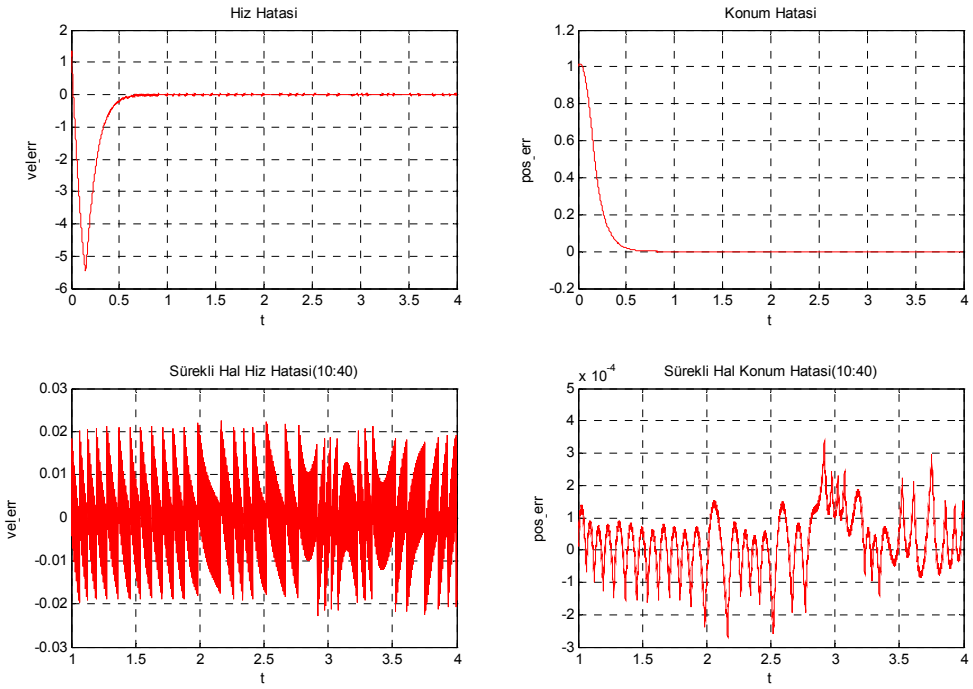


Şekil 4.7: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=10\tanh(e)$ iken faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm

Şekil 4.7 de verilmiş olan (a) grafiğinde birinci bölgede bulunan başlangıç noktasından, faz düzleminin merkezinde ulaşana kadar izlediği yol gösterilmektedir. Şekil 4.7 de verilen (b) grafiğinde ise faz düzlemi daha ayrıntılı çizdirilmiştir. Burada sistem durumunun faz düzleminin merkezine gelene kadar meydana gelen çatırdama açıkça gösterilmiştir.



Şekil 4.8: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=10\tanh(e)$ iken zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı

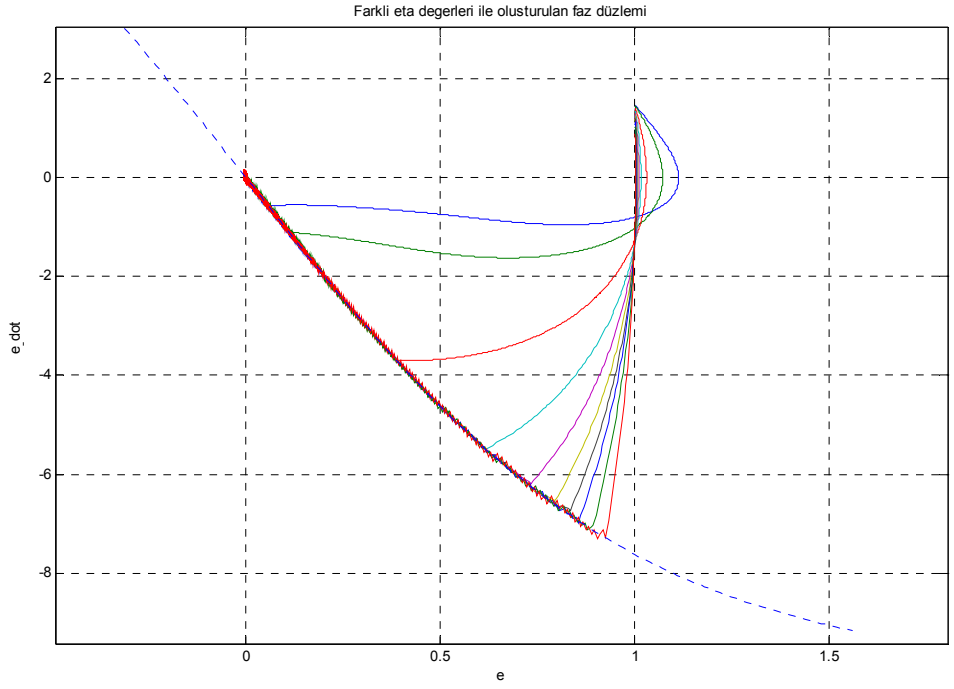


Şekil 4.9: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=10\tanh(e)$ iken zamanla değişen a) hız hatası b)konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası

Şekil 4.8 de verilmiş olan (a) grafiğinde sürekli halde olan s değerinin -0.02 ile +0.02 arasında değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.8 de verilen (b) grafiğinde ise sürekli halde olan u değerinin -60 ile +60 arasındaki değişimi gösterilmiştir.

Şekil 4.9 de verilmiş olan (a) grafiğinde hız hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak hız hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 0.8 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 4.9 de verilmiş olan (b) grafiğinde konum hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak konum hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 0.8 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 4.9 de (c) grafiğinde sürekli haldeki hız hatasının -0.02 ile +0.022 arasındaki değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.9 de (d) grafiğinde sürekli haldeki konum hatasının -0.0003 ile +0.00035 arasındaki değişimi gösterilmiştir.

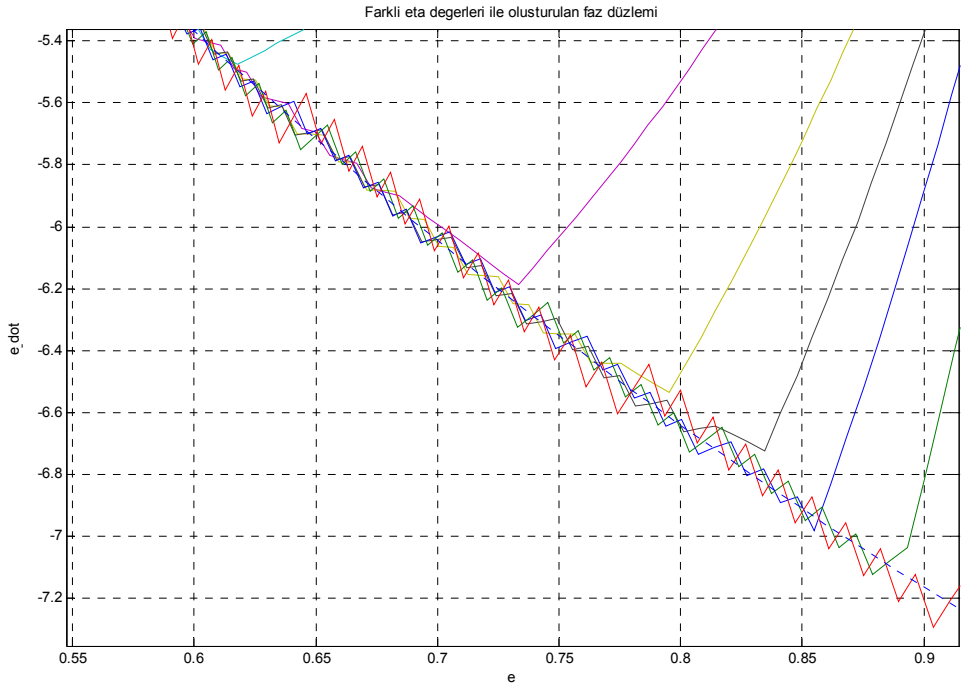
Doğrusal olmayan kayan yüzeyde sistemin yaklaşma açısı, η değişiminin sisteme etkisi aşağıdaki Şekil 4.10 de verildiği gibidir.



Şekil 4.10: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=10\tanh(e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişimi

Yukarıdaki Şekil 4.10 ikinci dereceden sistem üzerinde, doğrusal olmayan yüzeyden kaynaklanan değişken yüzey eğimi üzerindeki değişik yaklaşama açıları, η değerleri ile faz yüzeyinde sistem durumunun kayan yüzeye ulaşma şeklini gösterir. Burada

yaklaşma açısı arttırıldıkça sistem durumunun kayan yüzeye erişme şeklinin faz düzlemindeki değişimi incelenmiştir.



Şekil 4.11: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=10\tanh(e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişiminin ayrıntılı görünümü

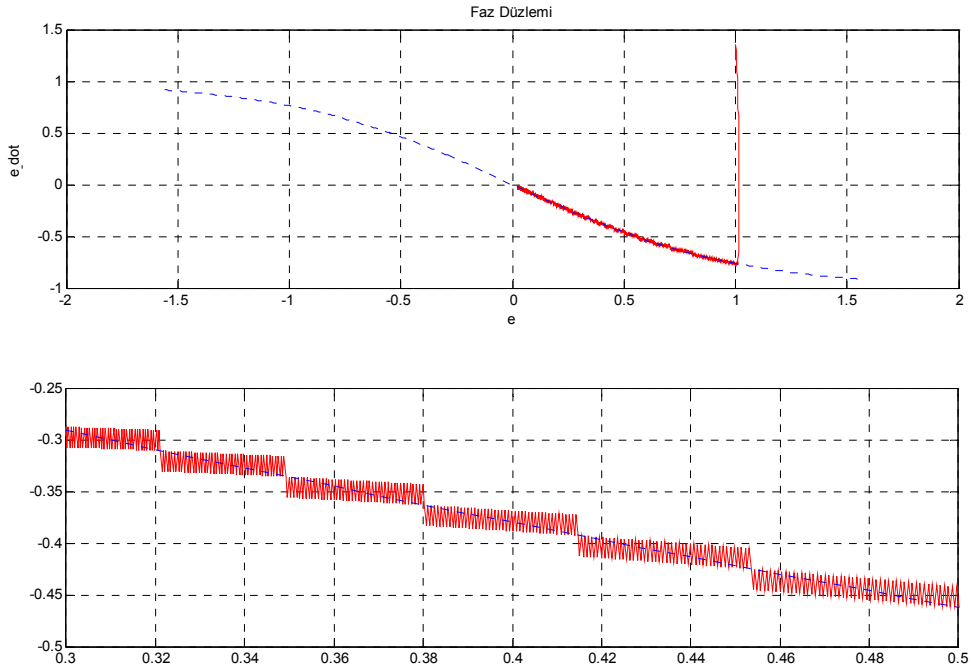
Yukarıdaki Şekil 4.11 ikinci dereceden sistem üzerinde, doğrusal olmayan yüzeyden kaynaklanan değişken yüzey eğimi varken değişen yaklaşma açıları ile kayan yüzey üzerinde sistem durumunun ayrıntılı görünümü verilmiştir. Şekil 4.11 de sistemin üzerindeki çatırdama etkisi açıkça gözükmektedir.

3.

$s(t) = e_1 + \tanh(e_2)$

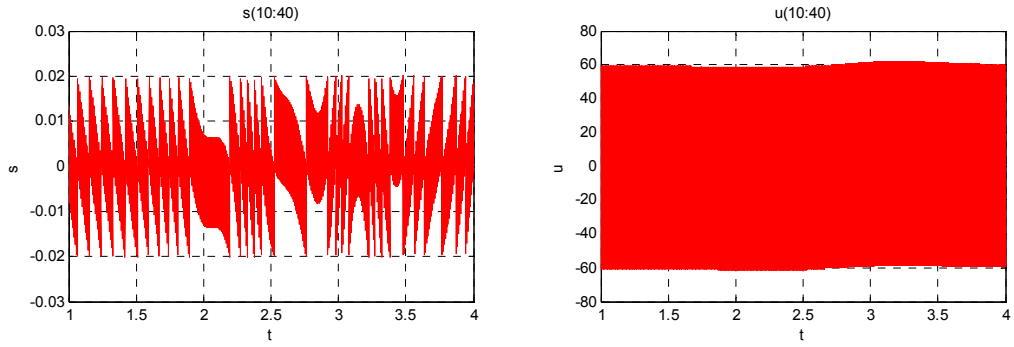
$u(t) = \ddot{x} - e_1 (1-\tanh^2(e_2)) + \text{sgn}(s) [0.5\dot{x}^2 |\cos 3x| + 60] + 1.5\dot{x}^2 \cos 3x$

Verilen değerlerle simulinkte elde edilen sonuçlar;



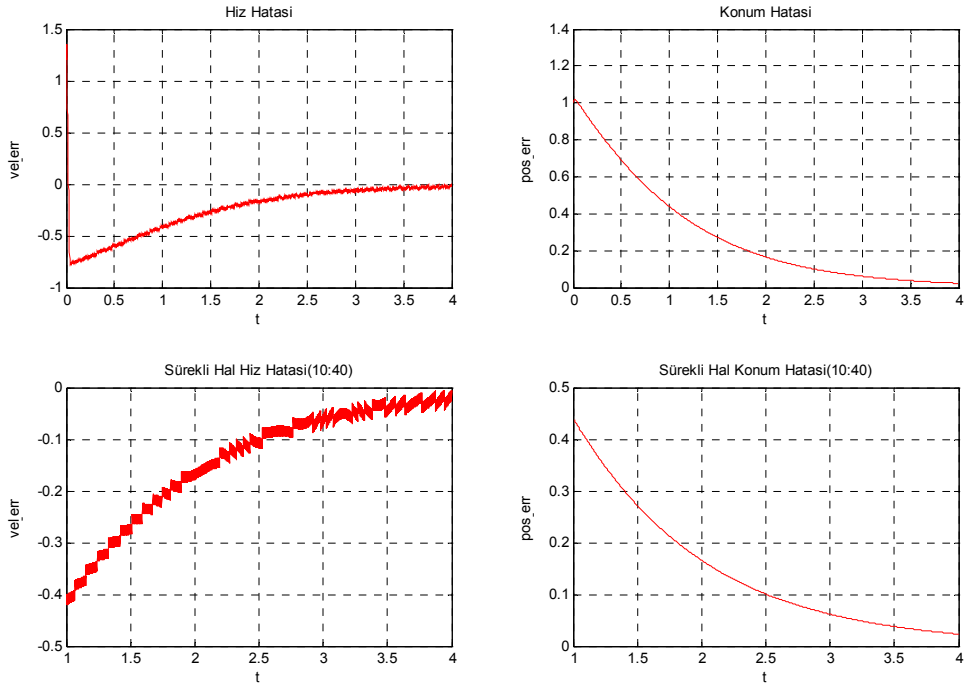
Şekil 4.12: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(e)$ iken faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm

Yukarıdaki Şekil 4.12 de verilmiş olan (a) grafiğinde birinci bölgede bulunan başlangıç noktasından, faz düzleminin merkezinde ulaşana kadar izlediği yol gösterilmektedir. Şekil 4.12 de verilen (b) grafiğinde ise faz düzlemi daha ayrıntılı çizdirilmiştir. Burada sistem durumunun faz düzleminin merkezine gelene kadar meydana gelen çatırdama açıkça gösterilmiştir.



Şekil 4.13: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(e)$ iken zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı

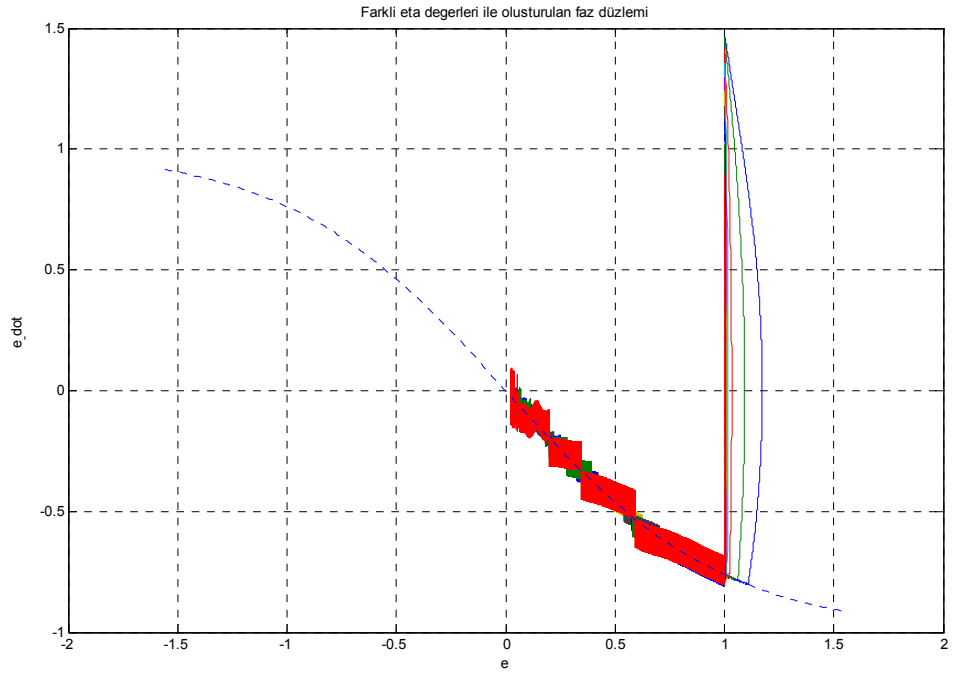
Şekil 4.13 de verilmiş olan (a) grafiğinde sürekli halde olan s değerinin -0.02 ile +0.02 arasında değişimi gösterilmiştir. Şekil 2.11 de verilen (b) grafiğinde ise sürekli halde olan u değerinin -60 ile +60 arasındaki değişimi gösterilmiştir.



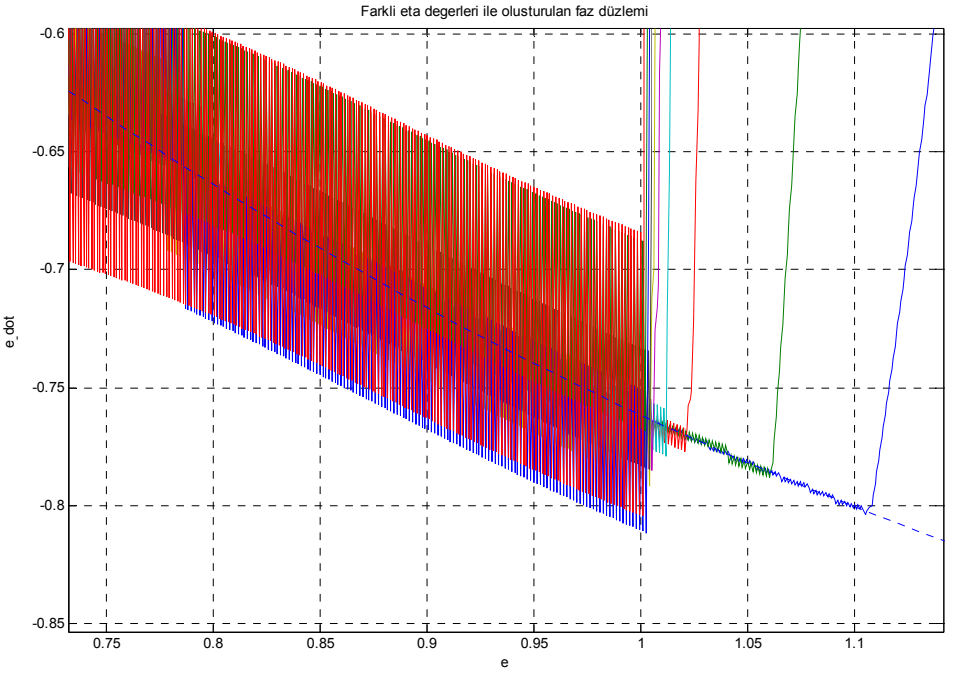
Şekil 4.14: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(e)$ iken zamanla değişen a) hız hatası b) konum hatası

Yukarıdaki Şekil 4.14 de verilmiş olan (a) grafiğinde hız hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak hız hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 4 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 4.14 de verilmiş olan (b) grafiğinde konum hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak konum hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 4 saniye sürdüğü görülmektedir.

Doğrusal olmayan kayan yüzeyde sistemin yaklaşma açısı, η değişiminin sisteme etkisi aşağıdaki Şekil 4.15 de verildiği gibidir.



Şekil 4.15: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişimi



Şekil 4.16: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişiminin ayrıntılı görünümü

Şekil 4.15 ikinci dereceden sistem üzerinde, doğrusal olmayan yüzeyden kaynaklanan değişken yüzey eğimi üzerindeki değişik yaklaşama açıları, η değerleri ile faz yüzeyinde sistem durumunun kayan yüzeye ulaşma şeklini gösterir. Burada yaklaşma açısı arttırıldıkça sistem durumunun kayan yüzeye erişme şeklinin faz düzlemindeki değişimi incelenmiştir.

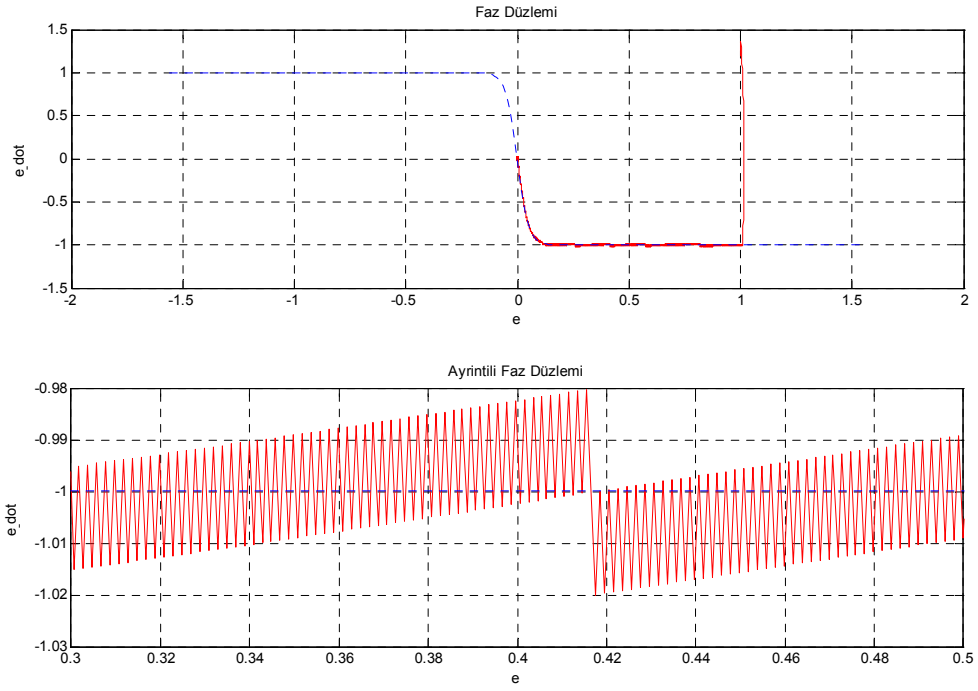
Şekil 4.16 ikinci dereceden sistem üzerinde, doğrusal olmayan yüzeyden kaynaklanan değişken yüzey eğimi varken değişen yaklaşma açıları ile kayan yüzey üzerinde sistem durumunun ayrıntılı görünümü verilmiştir. Şekil 4.16 da sistemin üzerindeki çatırdama etkisi açıkça gözükmektedir.

4.

$s(t) = e_1 + \tanh(20\, e_2)$

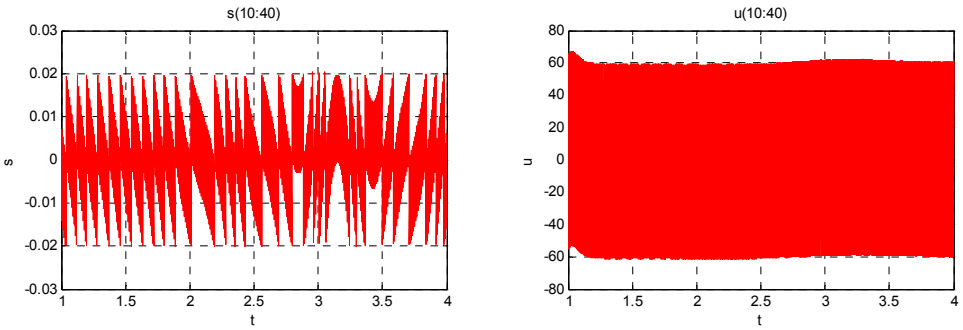
$u(t) = \ddot{x} - 20\, e_1 (1 - \tanh^2(20\, e_2)) + \mathrm{sgn}(s)\,[0.5\dot{x}^2 |\cos 3x| + 60] + 1.5\dot{x}^2 \cos 3x$

Verilen değerlerle simulinkte elde edilen sonuçlar;



Şekil 4.17: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(20e)$ iken faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm

Şekil 4.17 de verilmiş olan (a) grafiğinde birinci bölgede bulunan başlangıç noktasından, faz düzleminin merkezinde ulaşana kadar izlediği yol gösterilmektedir. Şekil 4.17 de verilen (b) grafiğinde ise faz düzlemi daha ayrıntılı çizdirilmiştir. Burada sistem durumunun faz düzleminin merkezine gelene kadar meydana gelen çatırdama açıkça gösterilmiştir.

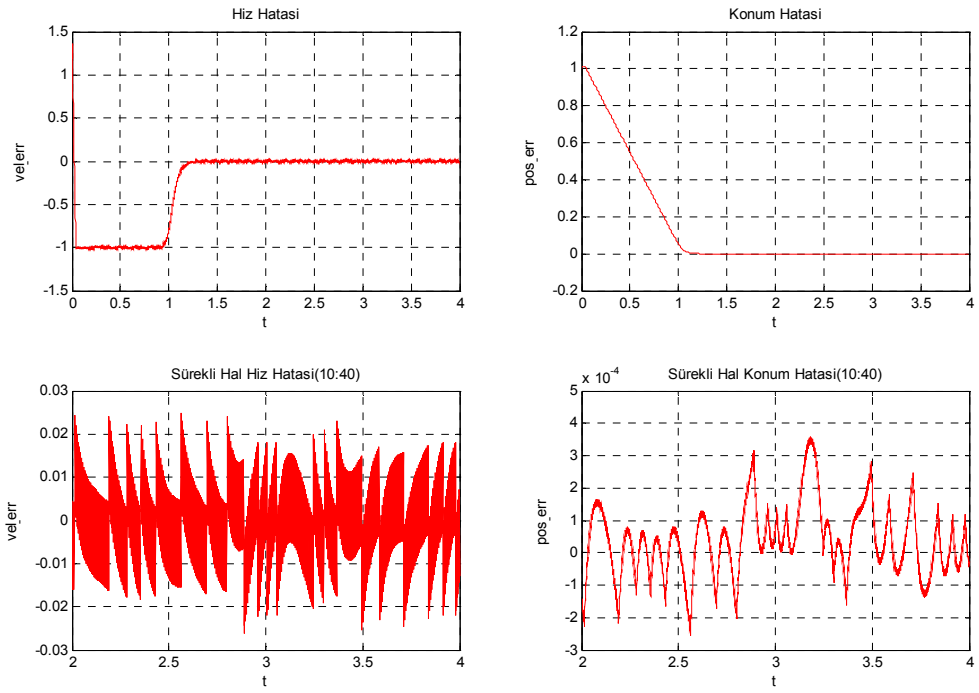


Şekil 4.18: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(20e)$ iken zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı

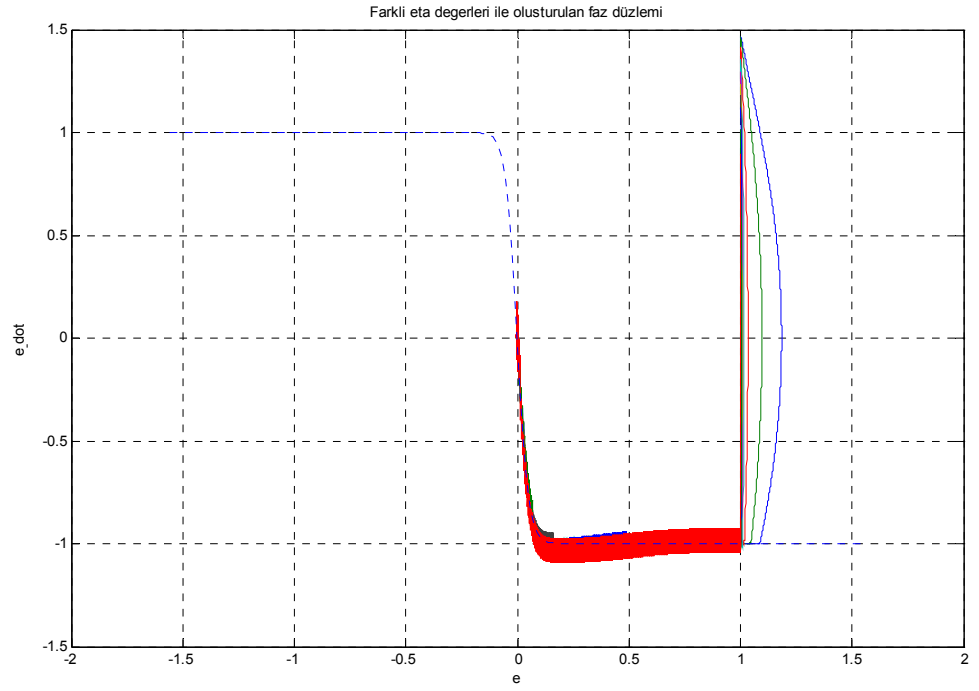
Şekil 4.18 de verilmiş olan (a) grafiğinde sürekli halde olan s değerinin -0.02 ile +0.02 arasında değişimi gösterilmiştir. Şekil 2.18 de verilen (b) grafiğinde ise sürekli halde olan u değerinin -60 ile +60 arasındaki değişimi gösterilmiştir.

Şekil 4.19 de verilmiş olan (a) grafiğinde hız hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak hız hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 1.3 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 4.19 de verilmiş olan (b) grafiğinde konum hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak konum hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 1.1 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 4.19 de (c) grafiğinde sürekli haldeki hız hatasının -0.025 ile +0.025 arasındaki değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.19 de (d) grafiğinde sürekli haldeki konum hatasının -0.00025 ile +0.0003 arasındaki değişimi gösterilmiştir.

Doğrusal olmayan kayan yüzeyde sistemin yaklaşma açısı, η değişiminin sisteme etkisi aşağıdaki Şekil 4.20 de verildiği gibidir.

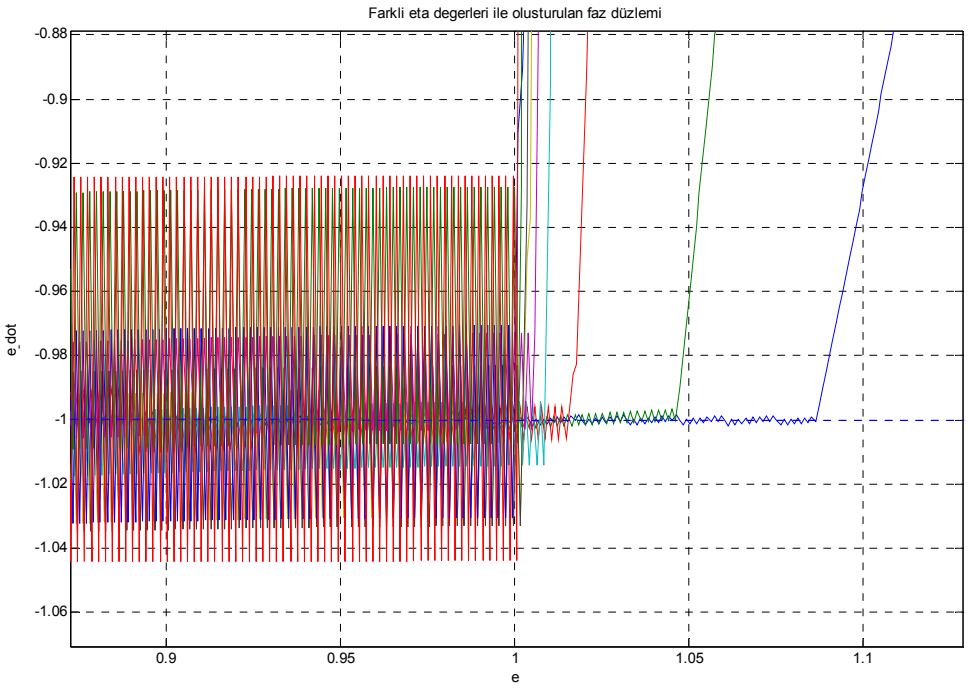


Şekil 4.19: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(20e)$ iken zamanla değişen a) hız hatası b)konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası



Şekil 4.20: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(20e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişimi

Şekil 4.20 ikinci dereceden sistem üzerinde, doğrusal olmayan yüzeyden kaynaklanan değişken yüzey eğimi üzerindeki değişik yaklaşama açıları, η değerleri ile faz yüzeyinde sistem durumunun kayan yüzeye ulaşma şeklini gösterir. Burada yaklaşma açısı arttırıldıkça sistem durumunun kayan yüzeye erişme şeklinin faz düzlemindeki değişimi incelenmiştir.



Şekil 4.21: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(20e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişiminin ayrıntılı görünümü

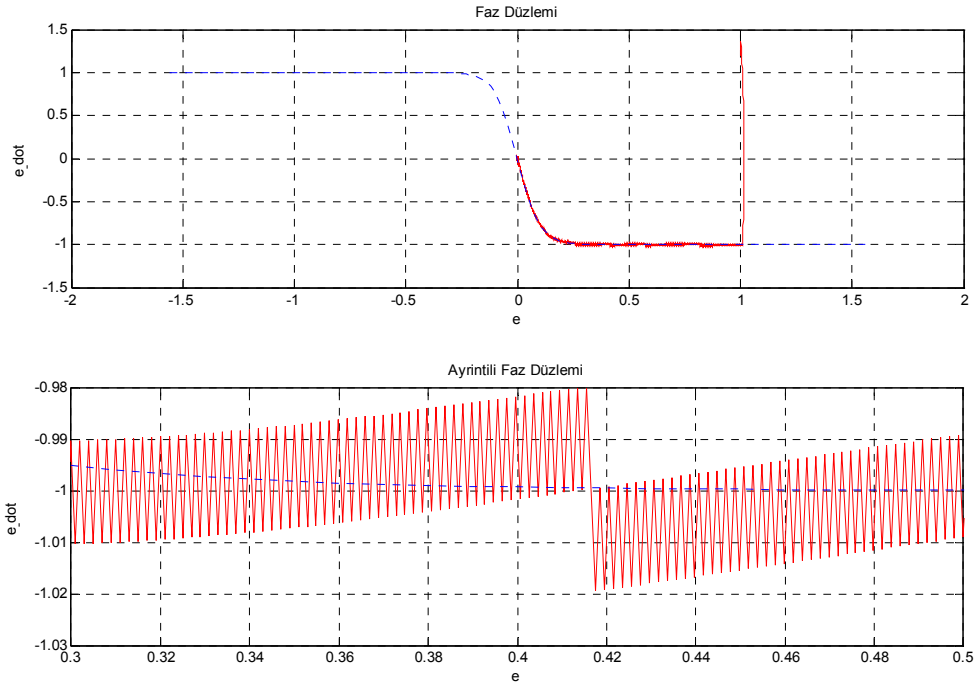
Yukarıdaki Şekil 4.21 ikinci dereceden sistem üzerinde, doğrusal olmayan yüzeyden kaynaklanan değişken yüzey eğimi varken değişen yaklaşma açıları ile kayan yüzey üzerinde sistem durumunun ayrıntılı görünümü verilmiştir. Şekil 4.21 da sistemin üzerindeki çatırdama etkisi açıkça gözükmektedir.

5.

$s(t) = e_1 + \tanh(10e_2)$

$u(t) = \ddot{x} - 10\, e_1 (1-\tanh^2(10\, e_2)) + \mathrm{sgn}(s) [0.5\dot{x}^2 |\cos 3x| + 60] + 1.5\dot{x}^2 \cos 3x$

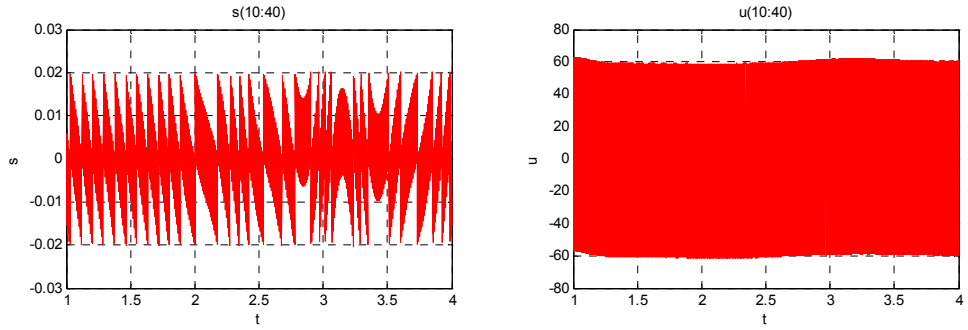
Verilen değerlerle simulinkte elde edilen sonuçlar;



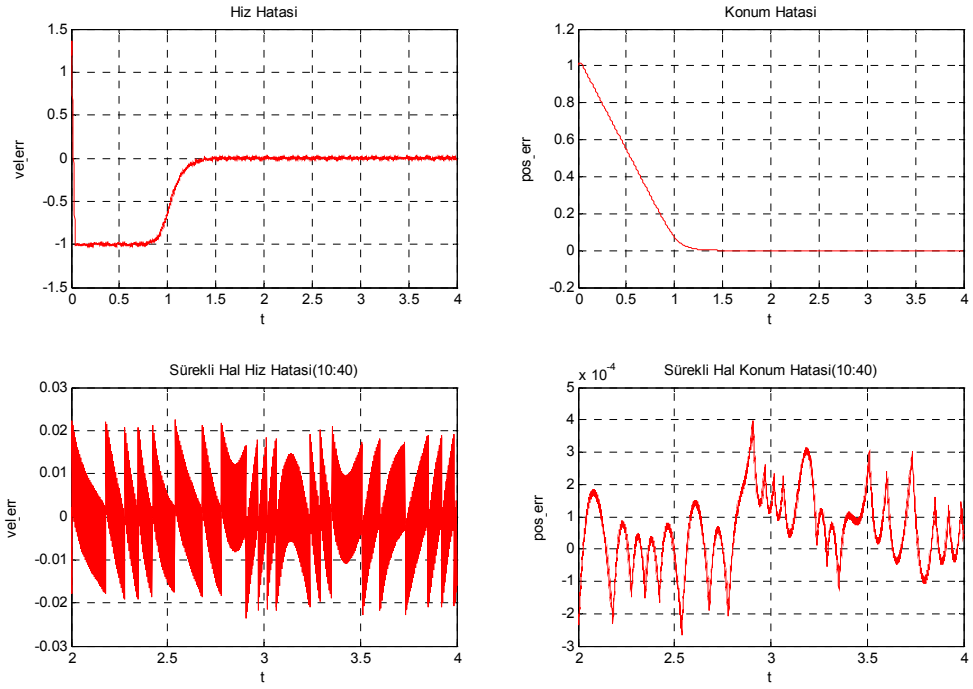
Şekil 4.22 Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(10e)$ iken faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm

Yukarıdaki Şekil 4.22 de verilmiş olan (a) grafiğinde birinci bölgede bulunan başlangıç noktasından, faz düzleminin merkezinde ulaşana kadar izlediği yol gösterilmektedir. Şekil 4.22 de verilen (b) grafiğinde ise faz düzlemi daha ayrıntılı çizdirilmiştir. Burada sistem durumunun faz düzleminin merkezine gelene kadar meydana gelen çatırdama açıkça gösterilmiştir.

Şekil 4.23 de verilmiş olan (a) grafiğinde sürekli halde olan s değerinin -0.02 ile +0.02 arasında değişimi gösterilmiştir. Şekil 2.11 de verilen (b) grafiğinde ise sürekli halde olan u değerinin -60 ile +60 arasındaki değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.23: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(10e)$ iken zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı

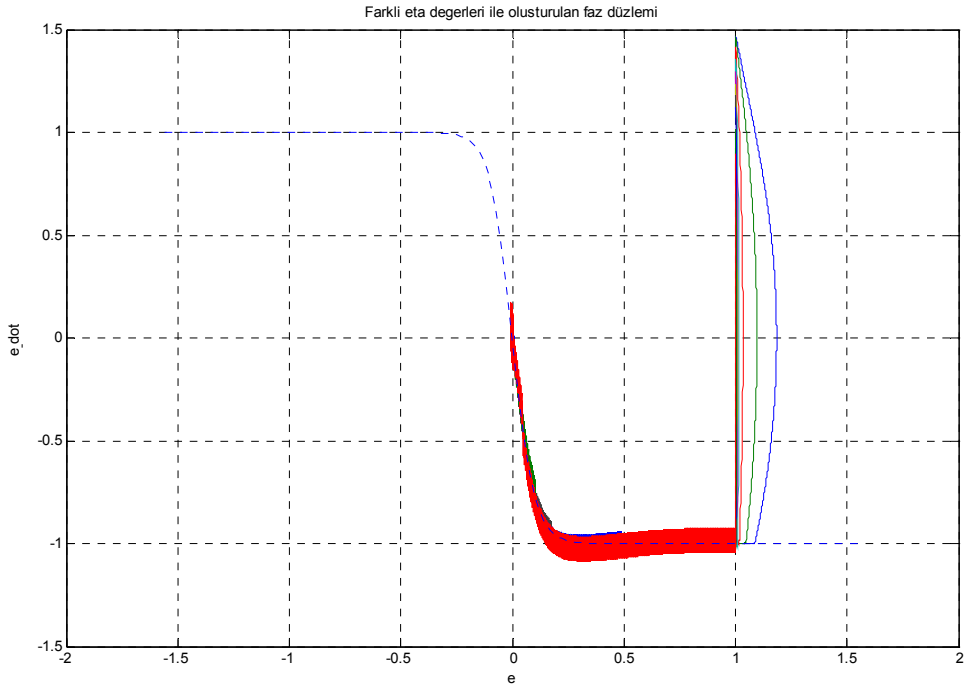


Şekil 4.24: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(10e)$ iken zamanla değişen a) hız hatası b)konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası

Yukarıdaki Şekil 4.24 de verilmiş olan (a) grafiğinde hız hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak hız hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 1.3 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 4.24 de verilmiş olan (b) grafiğinde konum hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak konum hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 1.3 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 4.24 de (c) grafiğinde sürekli haldeki

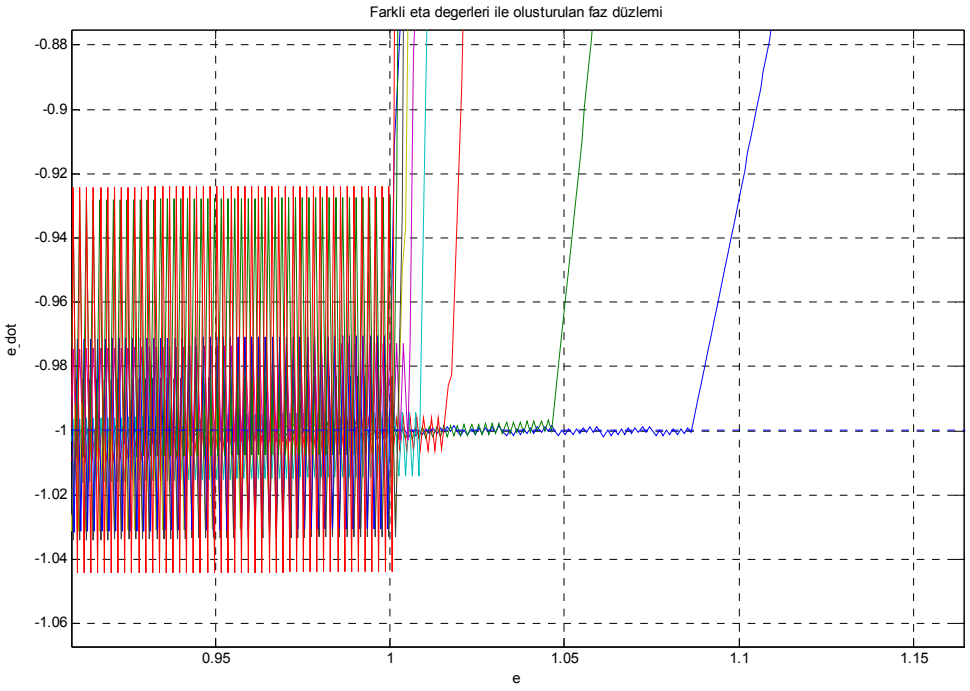
hız hatasının -0.025 ile +0.022 arasındaki değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.24 de (d) grafiğinde sürekli haldeki konum hatasının -0.0003 ile +0.0004 arasındaki değişimi gösterilmiştir.

Doğrusal olmayan kayan yüzeyde sistemin yaklaşma açısı, η değişiminin sisteme etkisi aşağıdaki Şekil 4.25 de verildiği gibidir.



Şekil 4.25: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(10e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişimi

Yukarıdaki Şekil 4.25 ikinci dereceden sistem üzerinde, doğrusal olmayan yüzeyden kaynaklanan değişken yüzey eğimi üzerindeki değişik yaklaşama açıları, η değerleri ile faz yüzeyinde sistem durumunun kayan yüzeye ulaşma şeklini gösterir. Burada yaklaşma açısı arttırıldıkça sistem durumunun kayan yüzeye erişme şeklinin faz düzlemindeki değişimi incelenmiştir.



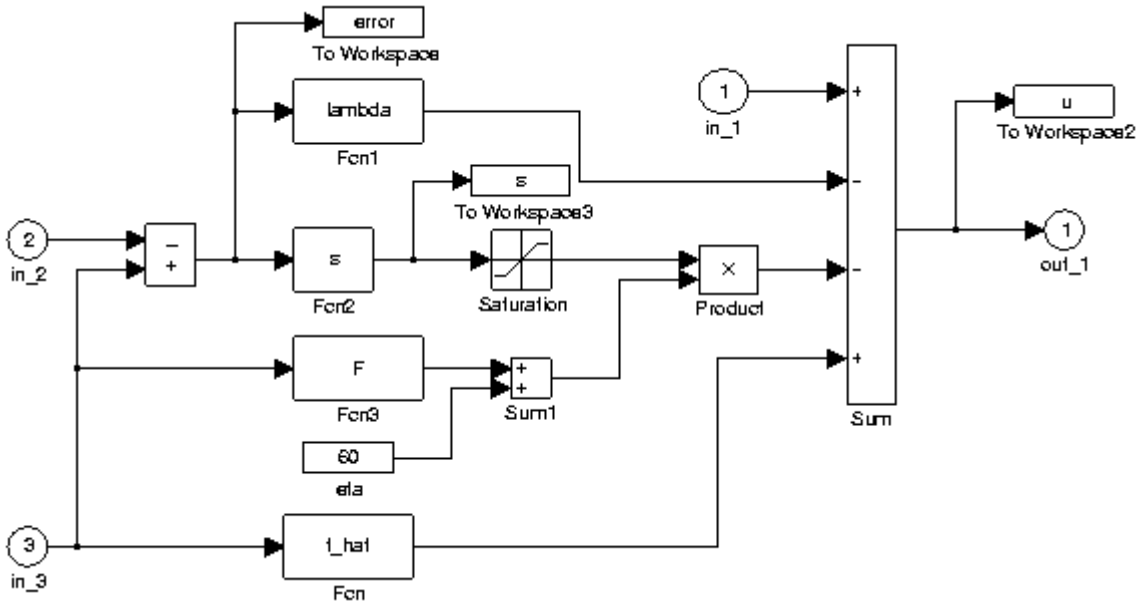
Şekil 4.26: Doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(10e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişiminin ayrıntılı görünümü

Yukarıdaki Şekil 4.26 ikinci dereceden sistem üzerinde, doğrusal olmayan yüzeyden kaynaklanan değişken yüzey eğimi varken değişen yaklaşma açıları ile kayan yüzey üzerinde sistem durumunun ayrıntılı görünümü verilmiştir. Şekil 4.26 da sistemin üzerindeki çatırdama etkisi açıkça gözükmektedir.

4.1.1.2 SİMULASYON 2

Yukarıdaki doğrusal olmayan sisteme uygulanacak olan kayan kipli kontrolörün amacı, istenilen yörüngeye ulaşabilmek için çatırdama etkisini azaltacak gerekli kontrol kuralını elde etmektir. Bu yüzden signum fonksiyonu yerine saturasyon fonksiyonunu yerleştirerek yukarıdaki simülasyonlar tekrar gerçekleştirilir.

Aşağıda verilen Şekil 4.27 de simulinkte kullanılan doğrusal olmayan kayan yüzey, s ve elde edilen kontrol kuralı, u kullanılarak doğrusal olmayan sisteme uygulanan kayan kipli kontrolör çizilmiştir. Şekil 4.27 de Fcn3 bloğu $0.5\dot{x}^2|\cos 3x|$ fonksiyonunu, Fcn bloğu ise $1.5\dot{x}^2\cos 3x$ fonksiyonunun elde edilmesini sağlar.



Şekil 2.27: Saturasyonlu doğrusal olmayan kayan yüzey ile simulinkte kullanılan kayan kipli kontrolör

Denklem (3.1) de s olarak tanımlanan doğrusal olmayan kayan yüzey simülasyonlar da aşağıdaki gibi ifade edilmiştir. Burada $e_1 = e$ ve $e_2 = \dot{e}$ olarak yazılır. Ayrıca denklem (3.3) de u olarak tanımlanan kontrol kuralı simülasyonlarda aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

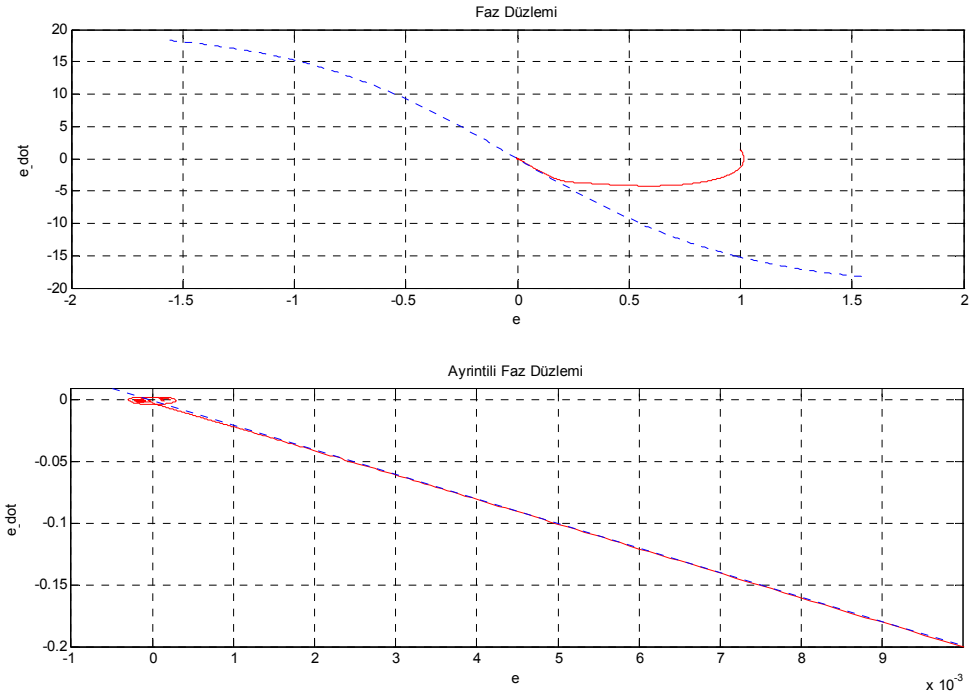
1.

$s(t) = e_1 + 20 \tanh(e_2)$

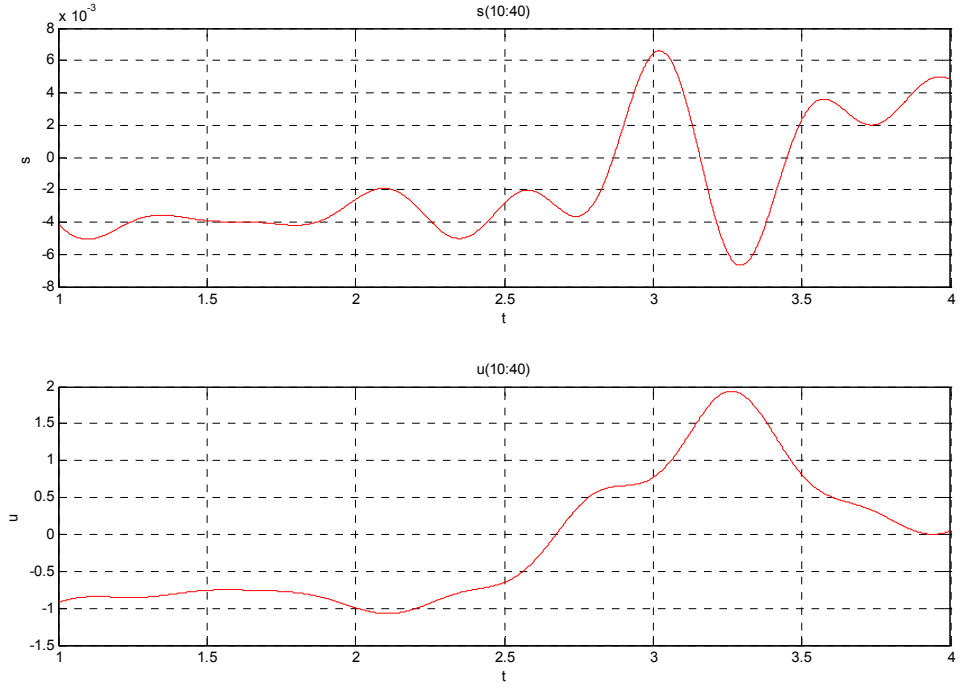
$u(t) = \ddot{x} - 20\, e_1 (1-\tanh^2(e_2)) + \text{sat}(s) [0.5\dot{x}^2 |\cos 3x| + 60] + 1.5\dot{x}^2 \cos 3x$

Verilen değerlerle simulinkte elde edilen sonuçlar;

Şekil 4.28 de verilmiş olan (a) grafiği ile Şekil 4.2 de verilmiş olan (a) grafiği karşılaştırıldığında pek bir fark gözükmese de, verilen kayan kipli kontrolör için faz düzleminde oluşan çatırdamanın azaldığı Şekil 4.28 de verilmiş olan (b) grafiği ile Şekil 4.2 de verilmiş olan (b) grafiği karşılaştırıldığında açıkça gözükmektedir.

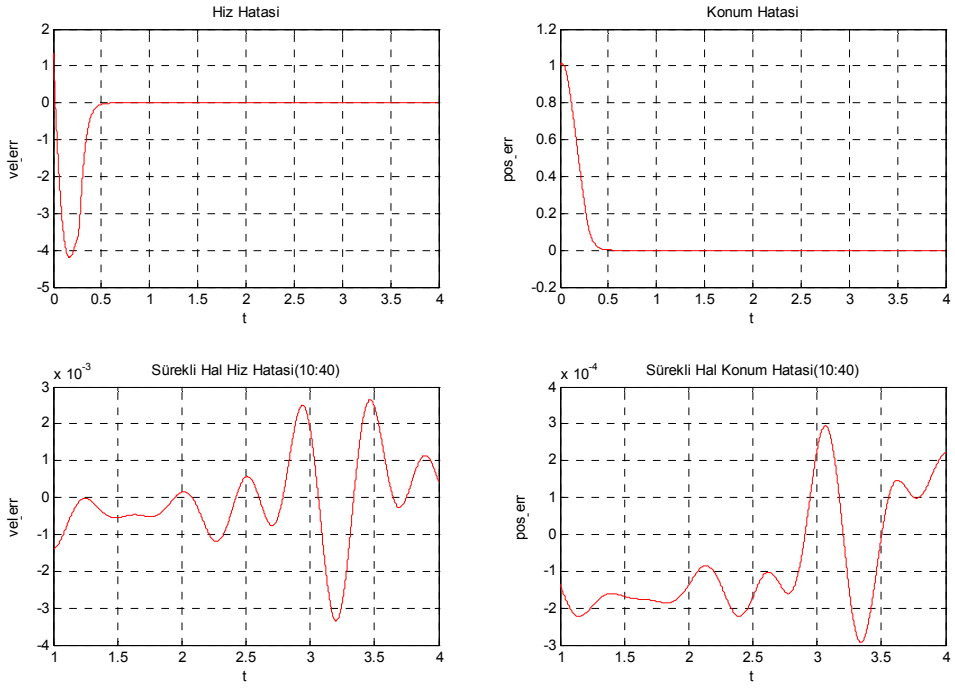


Şekil 4.28: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=20\tanh(e)$ iken faz düzlemi davranışı, a)genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm



Şekil 4.29: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=20\tanh(e)$ iken zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı

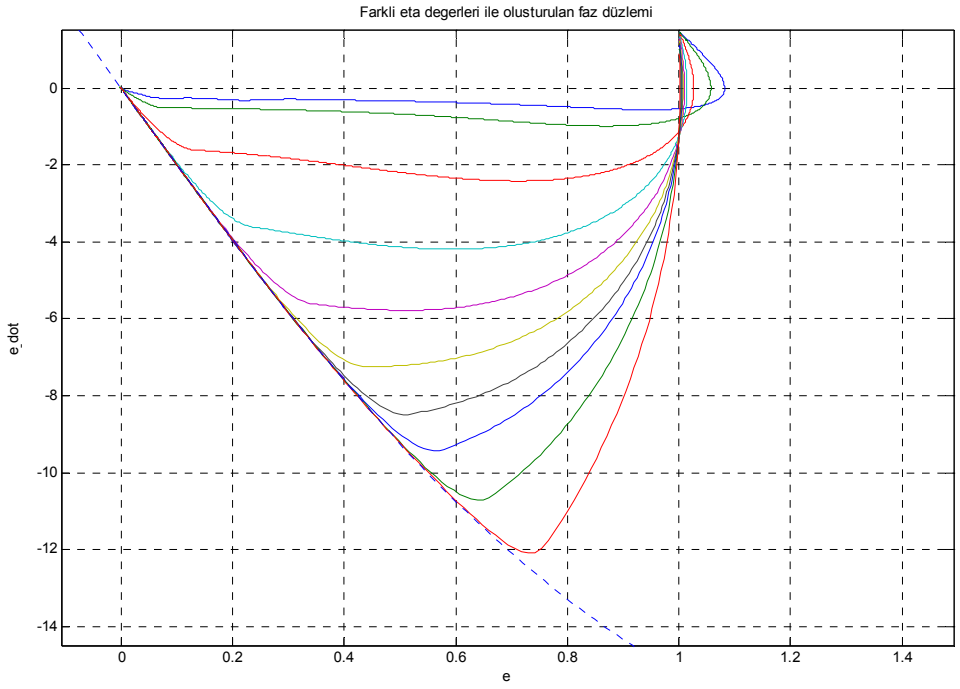
Şekil 4.29 de verilmiş olan (a) grafiğinde sürekli halde olan s değerinin -0.007 ile +0.007 arasında değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.29 de verilen (b) grafiğinde ise sürekli halde olan u değerinin –1.5 ile +2 arasındaki değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.30: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=20\tanh(e)$ iken zamanla değişen a) hız hatası b) konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası

Yukarıdaki Şekil 4.30 da verilmiş olan (a) grafiğinde hız hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak hız hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 0.5 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 4.30 da verilmiş olan (b) grafiğinde konum hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak konum hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 0.5 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 4.30 da (c) grafiğinde sürekli haldeki hız hatasının -0.0035 ile +0.003 arasındaki değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.30 da (d) grafiğinde sürekli haldeki konum hatasının -0.0003 ile +0.0003 arasındaki değişimi gösterilmiştir.

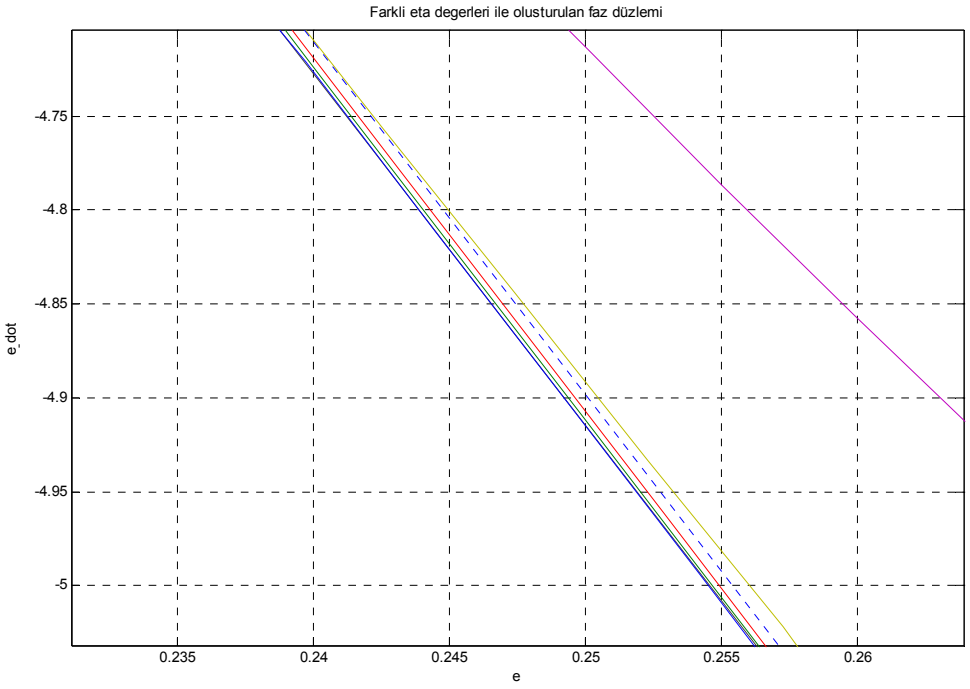
Doğrusal olmayan kayan yüzeyde sistemin yaklaşma açısı, η değişiminin sisteme etkisi aşağıdaki Şekil 4.31 de verildiği gibidir.



Şekil 4.31: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=20\tanh(e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişimi

Yukarıdaki Şekil 4.31 ikinci dereceden sistem üzerinde, doğrusal olmayan yüzeyden kaynaklanan değişken yüzey eğimi üzerindeki değişik yaklaşama açıları, η değerleri ile faz yüzeyinde sistem durumunun kayan yüzeye ulaşma şeklini gösterir. Burada yaklaşma açısı arttırıldıkça sistem durumunun kayan yüzeye erişme şeklinin faz düzlemindeki değişimi incelenmiştir.

Şekil 4.32 ikinci dereceden sistem üzerinde, doğrusal olmayan yüzeyden kaynaklanan değişken yüzey eğimi varken değişen yaklaşma açıları ile kayan yüzey üzerinde sistem durumunun ayrıntılı görünümü verilmiştir. Şekil 4.32 ile Şekil 4.6 karşılaştırıldığında verilen kayan kipli kontrolör için faz düzleminde oluşan çatırdamanın azaldığı açıkça gözükmektedir.



Şekil 4.32: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=20\tanh(e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişiminin ayrıntılı görünümü

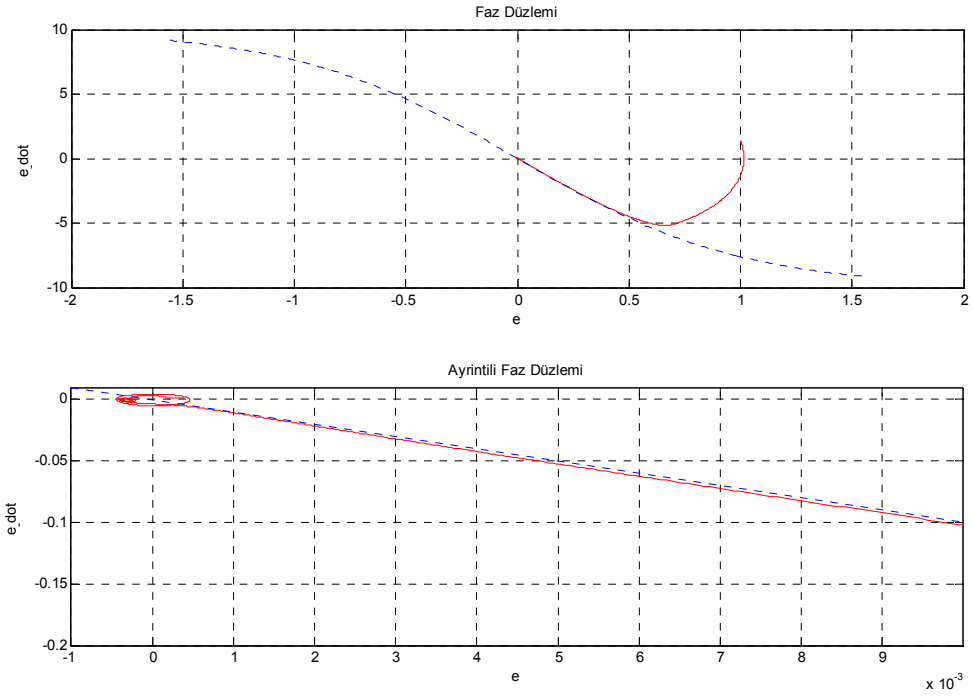
2.

$s(t) = e_1 + 10 \tanh(e_2)$

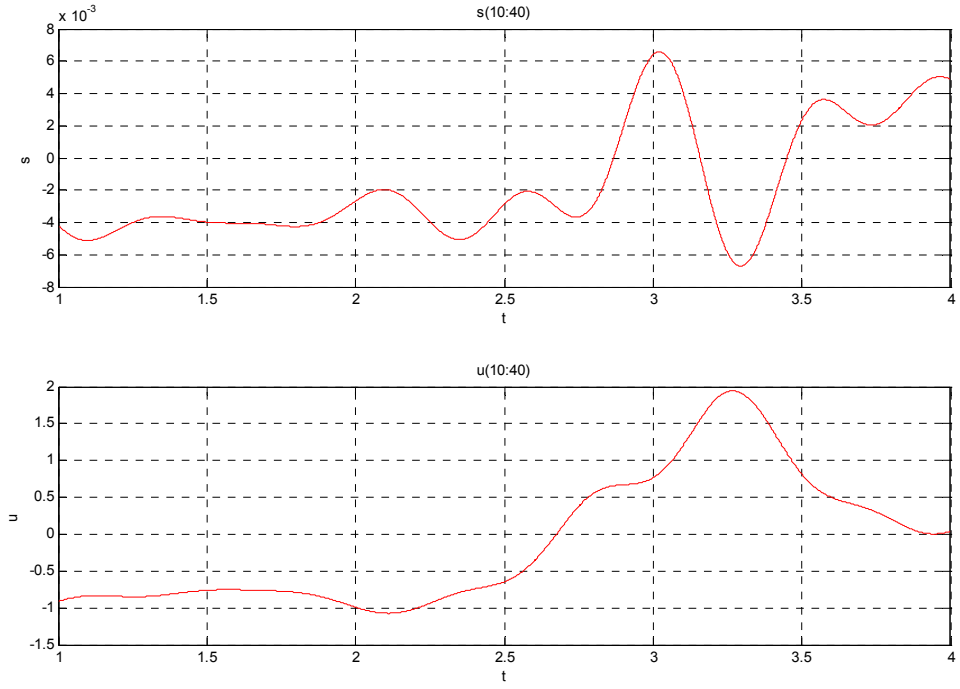
$u(t) = \ddot{x} - 10\, e_1 (1-\tanh^2(e_2)) + \text{sat}(s) [0.5\dot{x}^2 |\cos 3x| + 60] + 1.5\dot{x}^2 \cos 3x$

Verilen değerlerle simulinkte elde edilen sonuçlar;

Şekil 4.33 de verilmiş olan (a) grafiği ile Şekil 4.7 de verilmiş olan (a) grafiği karşılaştırıldığında pek bir fark gözükmese de, verilen kayan kipli kontrolör için faz düzleminde oluşan çatırdamanın azaldığı Şekil 4.33 de verilmiş olan (b) grafiği ile Şekil 4.7 de verilmiş olan (b) grafiği karşılaştırıldığında açıkça gözükmektedir.

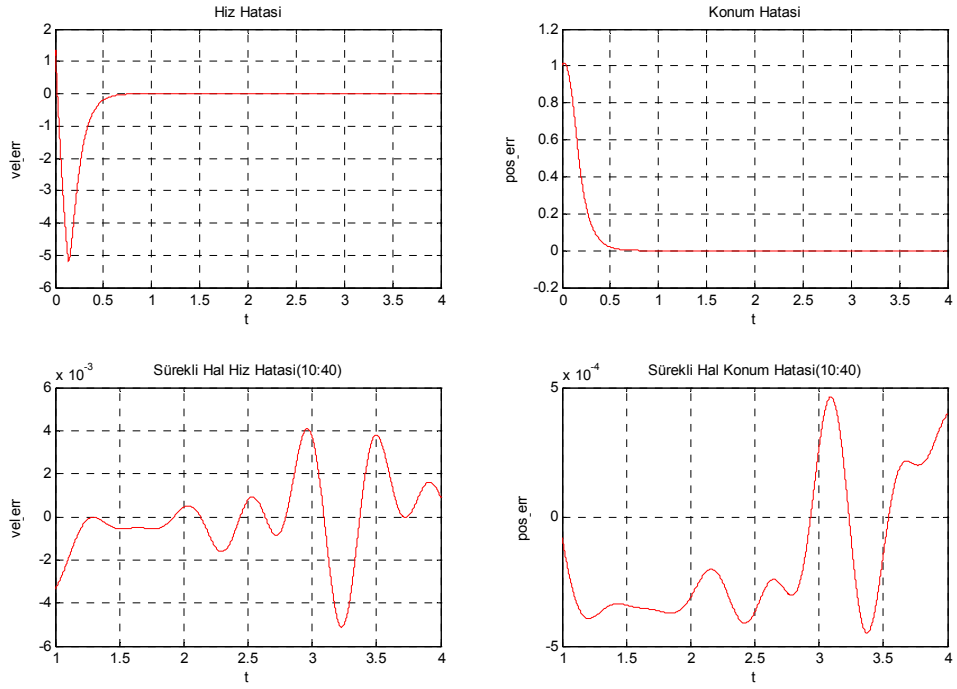


Şekil 4.33: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=10\tanh(e)$ iken faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm



Şekil 4.34: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=10\tanh(e)$ iken zamanla değişen a)sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı

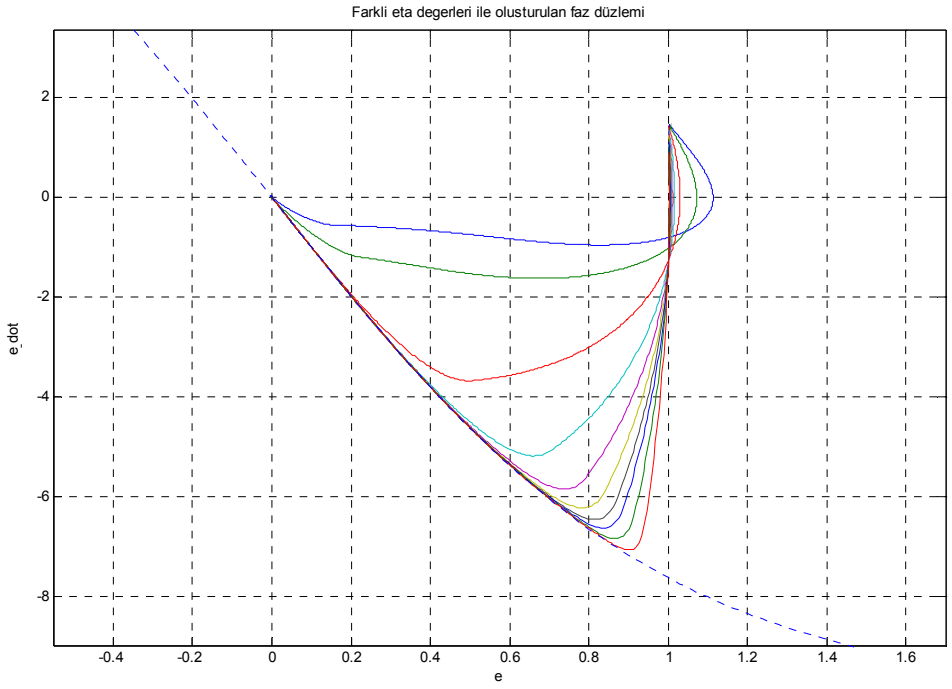
Yukarıdaki Şekil 4.34 de verilmiş olan (a) grafiğinde sürekli halde olan s değerinin -0.007 ile +0.007 arasında değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.34 de verilen (b) grafiğinde ise sürekli halde olan u değerinin -1.1 ile +2 arasındaki değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.35: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=10\tanh(e)$ iken zamanla değişen a) hız hatası b) konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası

Yukarıdaki Şekil 4.35 de verilmiş olan (a) grafiğinde hız hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak hız hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 0.7 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 4.35 de verilmiş olan (b) grafiğinde konum hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak konum hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 0.7 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 4.35 de (c) grafiğinde sürekli haldeki hız hatasının -0.005 ile +0.004 arasındaki değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.35 de (d) grafiğinde sürekli haldeki konum hatasının -0.0005 ile +0.0005 arasındaki değişimi gösterilmiştir.

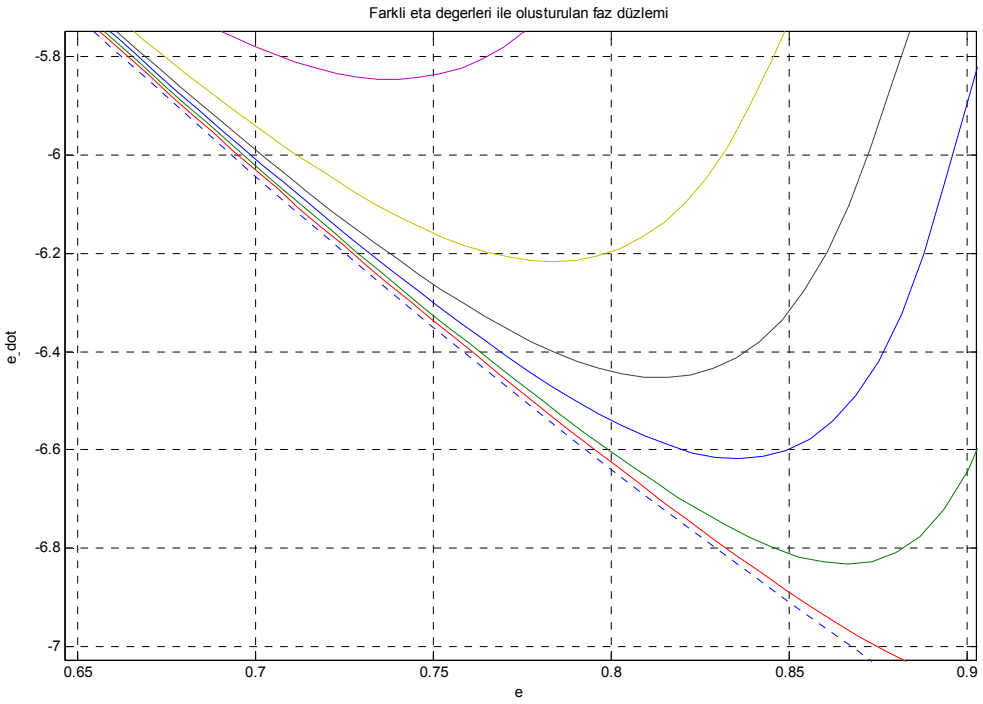
Doğrusal olmayan kayan yüzeyde sistemin yaklaşma açısı, η değişiminin sisteme etkisi aşağıdaki Şekil 4.36 de verildiği gibidir.



Şekil 4.36: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=10\tanh(e)$ iken aklaşma açısının (η) değişimi

Yukarıdaki Şekil 4.36 ikinci dereceden sistem üzerinde, doğrusal olmayan yüzeyden kaynaklanan değişken yüzey eğimi üzerindeki değişik yaklaşama açıları, η değerleri ile faz yüzeyinde sistem durumunun kayan yüzeye ulaşma şeklini gösterir. Burada yaklaşma açısı arttırıldıkça sistem durumunun kayan yüzeye erişme şeklinin faz düzlemindeki değişimi incelenmiştir.

Şekil 4.37 ikinci dereceden sistem üzerinde, doğrusal olmayan yüzeyden kaynaklanan değişken yüzey eğimi varken değişen yaklaşma açıları ile kayan yüzey üzerinde sistem durumunun ayrıntılı görünümü verilmiştir. Şekil 4.37 ile Şekil 4.11 karşılaştırıldığında verilen kayan kipli kontrolör için faz düzleminde oluşan çatırdamanın azaldığı açıkça gözükmektedir.



Şekil 4.37: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=10\tanh(e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişiminin ayrıntılı görünümü

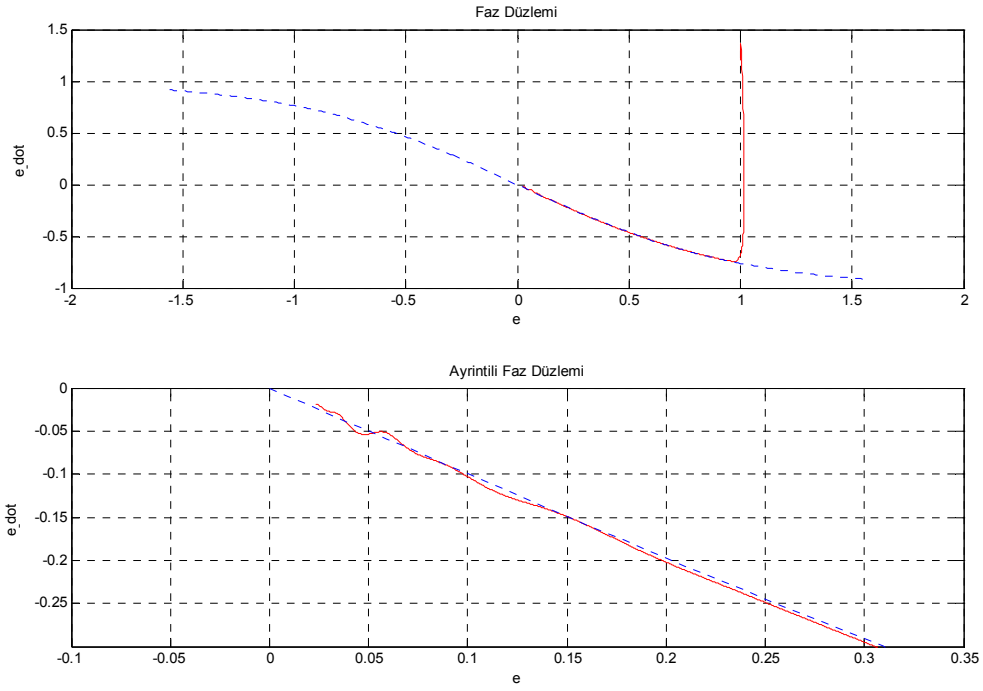
3.

$s(t) = e_1 + \tanh(e_2)$

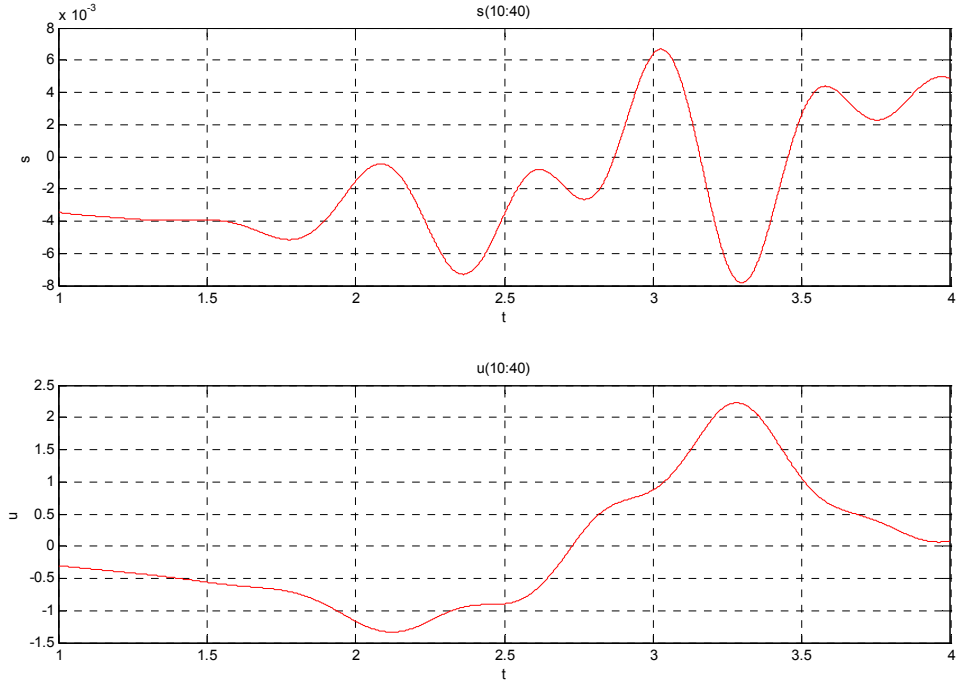
$u(t) = \ddot{x} - e_1 (1-\tanh^2(e_2)) + sat(s) [0.5\dot{x}^2 |\cos 3x| + 60] + 1.5\dot{x}^2 \cos 3x$

Verilen değerlerle simulinkte elde edilen sonuçlar;

Şekil 4.38 de verilmiş olan (a) grafiği ile Şekil 4.12 de verilmiş olan (a) grafiği karşılaştırıldığında pek bir fark gözükmese de, verilen kayan kipli kontrolör için faz düzleminde oluşan çatırdamanın azaldığı Şekil 4.38 de verilmiş olan (b) grafiği ile Şekil 4.12 de verilmiş olan (b) grafiği karşılaştırıldığında açıkça gözükmektedir.

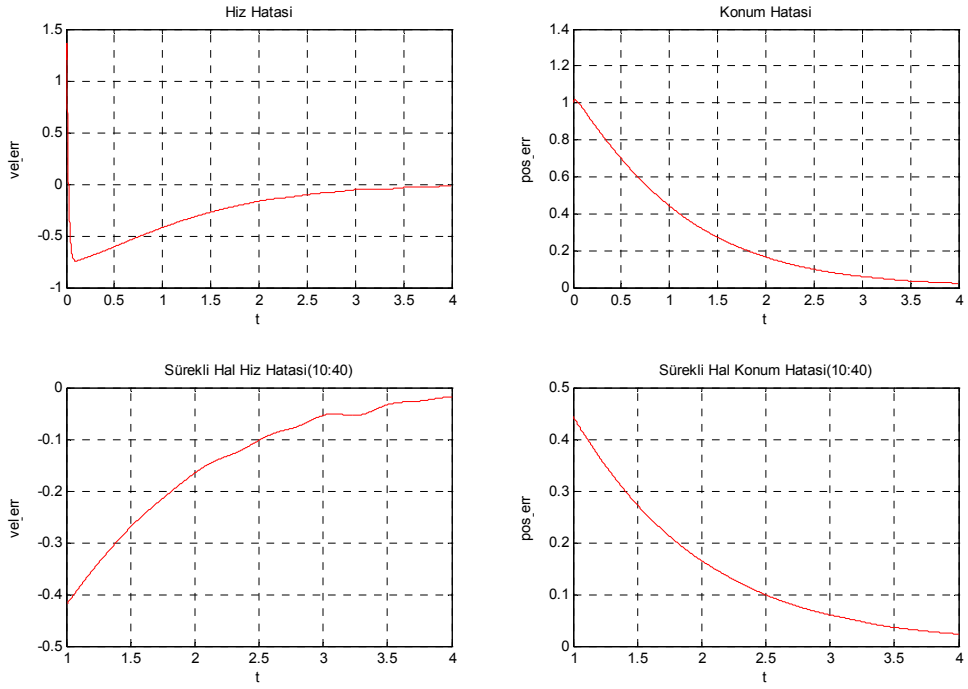


Şekil 4.38: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(e)$ iken faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm



Şekil 4.39: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(e)$ iken zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı

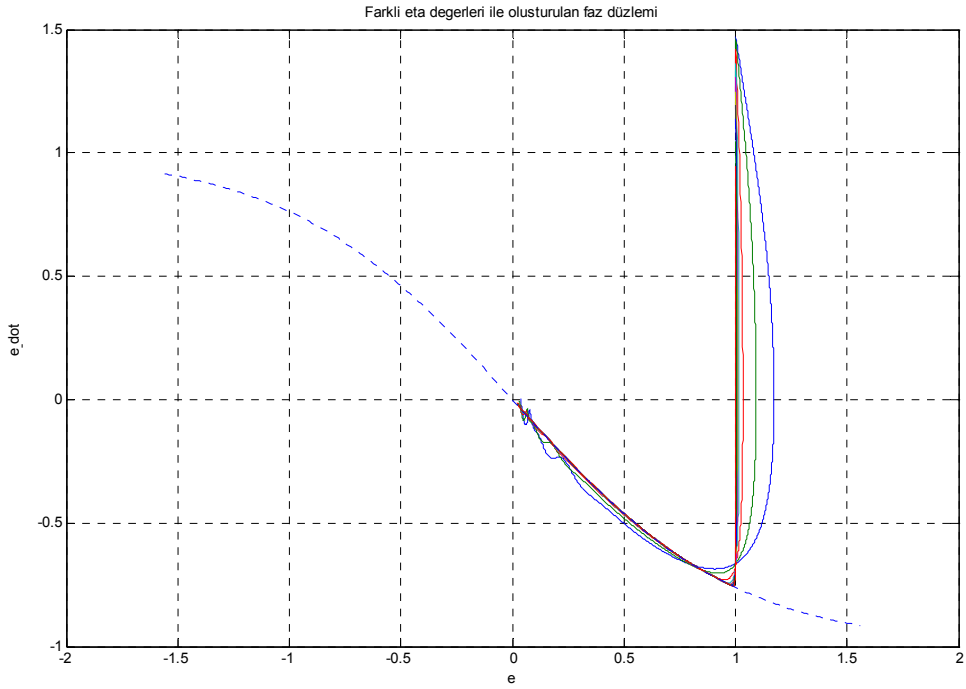
Şekil 4.39 da verilmiş olan (a) grafiğinde sürekli halde olan s değerinin -0.008 ile +0.007 arasında değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.39 de verilen (b) grafiğinde ise sürekli halde olan u değerinin –1.4 ile +2.3 arasındaki değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.40: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(e)$ iken zamanla değişen a) hız hatası b) konum hatası

Şekil 4.40 da verilmiş olan (a) grafiğinde hız hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak hız hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 4 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 4.40 da verilmiş olan (b) grafiğinde konum hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak konum hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 4 saniye sürdüğü görülmektedir.

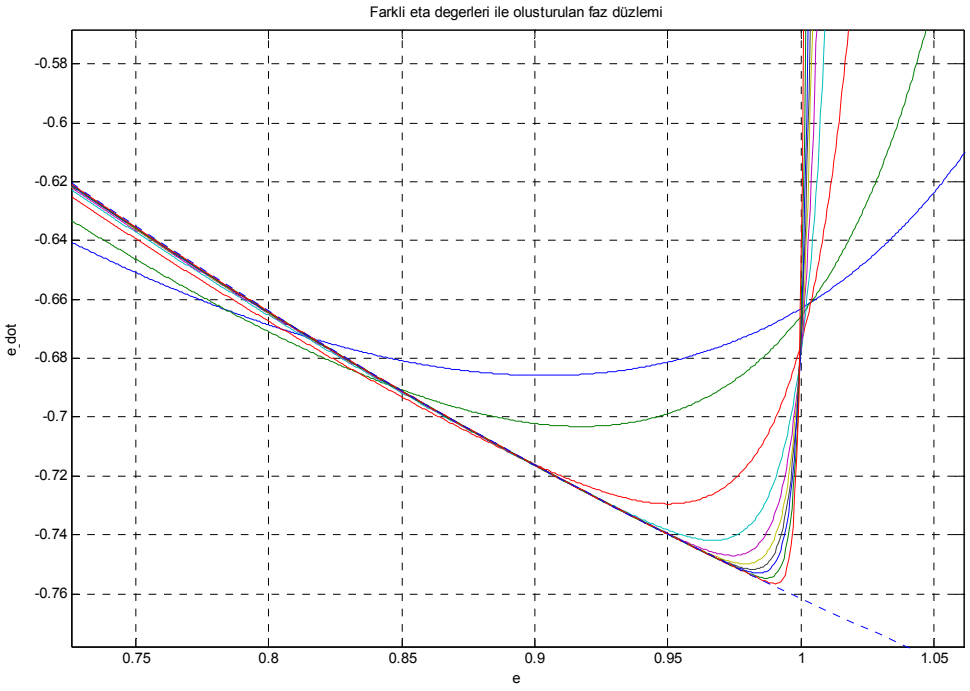
Doğrusal olmayan kayan yüzeyde sistemin yaklaşma açısı, η değişiminin sisteme etkisi aşağıdaki Şekil 4.41 de verildiği gibidir.



Şekil 4.41: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişimi

Şekil 4.41 ikinci dereceden sistem üzerinde, doğrusal olmayan yüzeyden kaynaklanan değişken yüzey eğimi üzerindeki değişik yaklaşama açıları, η değerleri ile faz yüzeyinde sistem durumunun kayan yüzeye ulaşma şeklini gösterir. Burada yaklaşma açısı arttırıldıkça sistem durumunun kayan yüzeye erişme şeklinin faz düzlemindeki değişimi incelenmiştir.

Şekil 4.42 ikinci dereceden sistem üzerinde, doğrusal olmayan yüzeyden kaynaklanan değişken yüzey eğimi varken değişen yaklaşma açıları ile kayan yüzey üzerinde sistem durumunun ayrıntılı görünümü verilmiştir. Şekil 4.42 ile Şekil 4.16 karşılaştırıldığında verilen kayan kipli kontrolör için faz düzleminde oluşan çatırdamanın azaldığı açıkça gözükmektedir.



Şekil 4.42: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişiminin ayrıntılı görünümü

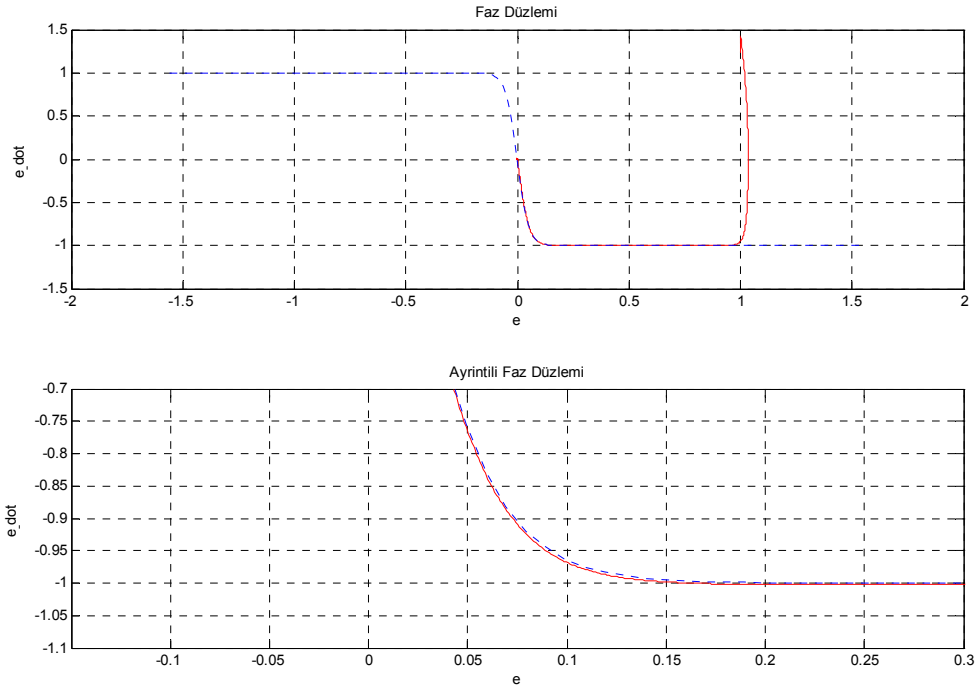
4.

$s(t) = e_1 + \tanh(20\, e_2)$

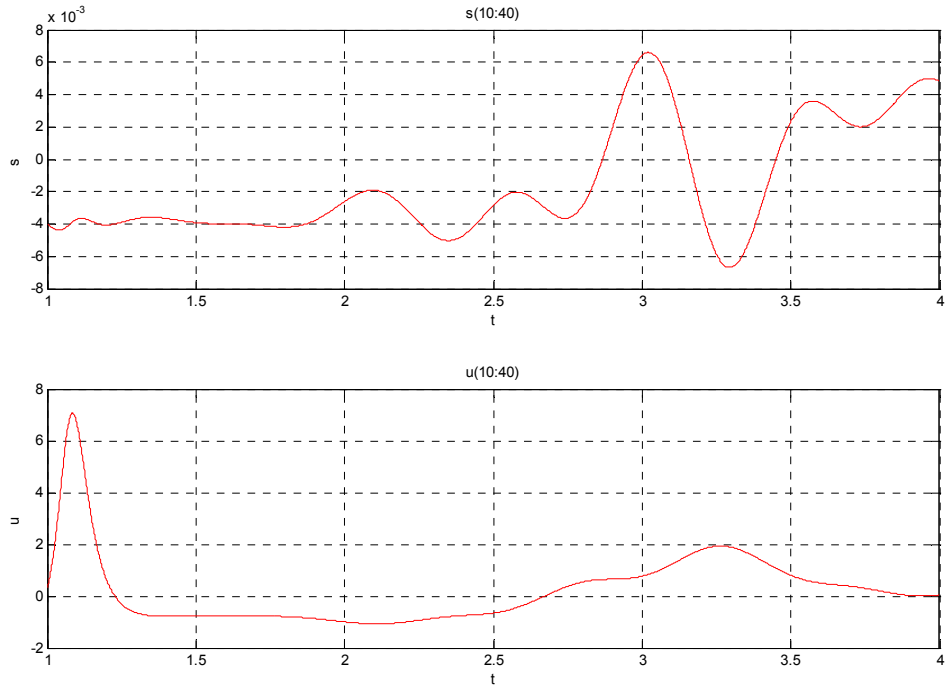
$u(t) = \ddot{x} - 20\, e_1 (1-\tanh^2(20\, e_2)) + sat(s)\,[0.5\dot{x}^2|\cos 3x| + 60] + 1.5\dot{x}^2 \cos 3x$

Verilen değerlerle simulinkte elde edilen sonuçlar;

Şekil 4.43 de verilmiş olan (a) grafiği ile Şekil 4.17 de verilmiş olan (a) grafiği karşılaştırıldığında pek bir fark gözükmese de, verilen kayan kipli kontrolör için faz düzleminde oluşan çatırdamanın azaldığı Şekil 4.43 de verilmiş olan (b) grafiği ile Şekil 4.17 de verilmiş olan (b) grafiği karşılaştırıldığında açıkça gözükmektedir.

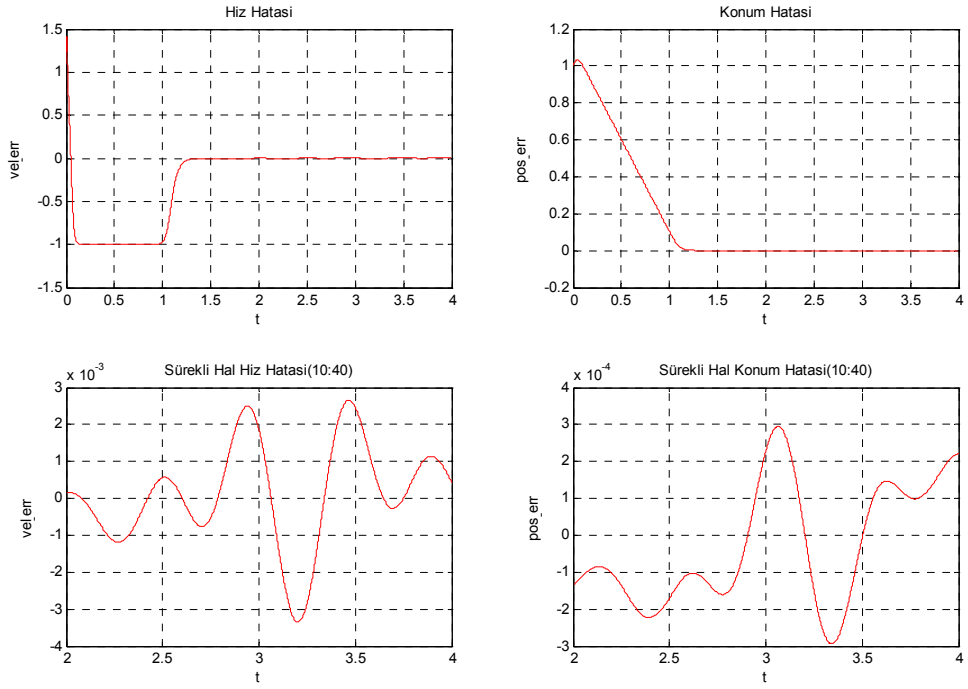


Şekil 4.43: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(20e)$ iken faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm



Şekil 4.44: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(20e)$ iken zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı

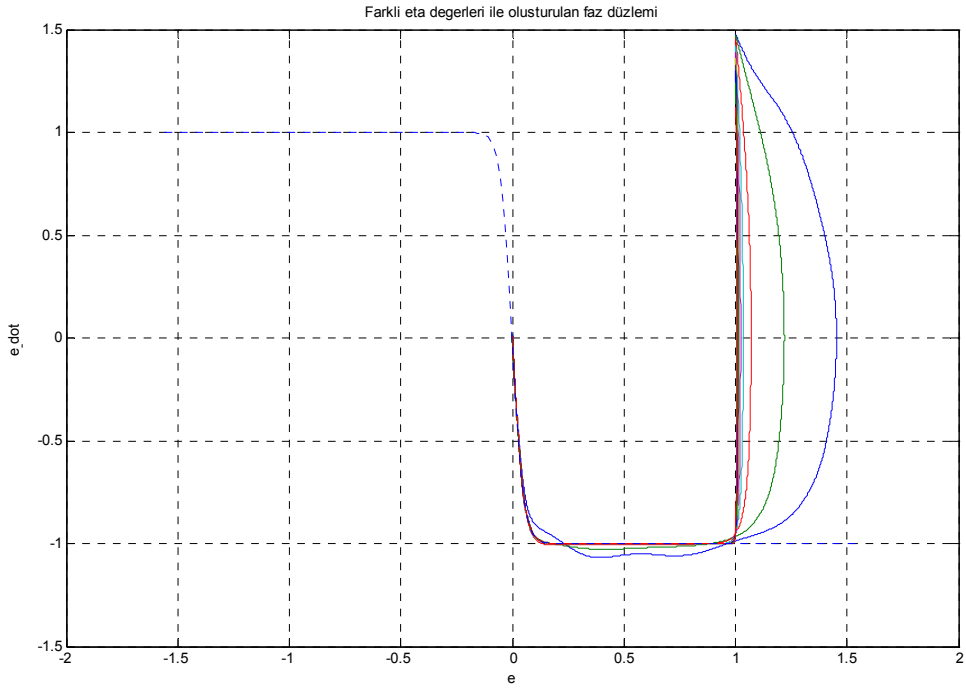
Şekil 4.44 de verilmiş olan (a) grafiğinde sürekli halde olan s değerinin -0.007 ile +0.007 arasında değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.44 de verilen (b) grafiğinde ise sürekli halde olan u değerinin -1 ile +7 arasındaki değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.45: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(20e)$ iken zamanla değişen a) hız hatası b) konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası

Yukarıdaki Şekil 4.45 de verilmiş olan (a) grafiğinde hız hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak hız hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 1.2 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 4.45 de verilmiş olan (b) grafiğinde konum hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak konum hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 1.2 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 4.45 de (c) grafiğinde sürekli haldeki hız hatasının -0.0035 ile +0.0025 arasındaki değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.45 de (d) grafiğinde sürekli haldeki konum hatasının -0.0003 ile +0.0003 arasındaki değişimi gösterilmiştir.

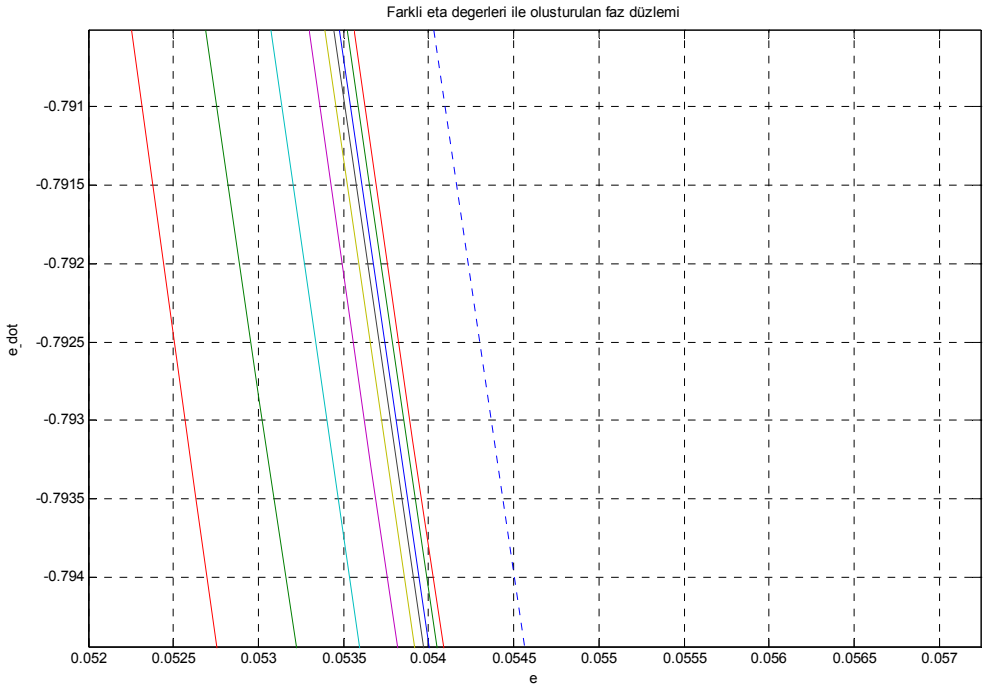
Doğrusal olmayan kayan yüzeyde sistemin yaklaşma açısı, η değişiminin sisteme etkisi aşağıdaki Şekil 4.46 de verildiği gibidir.



Şekil 4.46: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(20e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişimi

Yukarıdaki Şekil 4.46 ikinci dereceden sistem üzerinde, doğrusal olmayan yüzeyden kaynaklanan değişken yüzey eğimi üzerindeki değişik yaklaşama açıları, η değerleri ile faz yüzeyinde sistem durumunun kayan yüzeye ulaşma şeklini gösterir. Burada yaklaşma açısı arttırıldıkça sistem durumunun kayan yüzeye erişme şeklinin faz düzlemindeki değişimi incelenmiştir.

Şekil 4.47 ikinci dereceden sistem üzerinde, doğrusal olmayan yüzeyden kaynaklanan değişken yüzey eğimi varken değişen yaklaşma açıları ile kayan yüzey üzerinde sistem durumunun ayrıntılı görünümü verilmiştir. Şekil 4.47 ile Şekil 4.21 karşılaştırıldığında verilen kayan kipli kontrolör için faz düzleminde oluşan çatırdamanın azaldığı açıkça gözükmektedir.



Şekil 4.47: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(20e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişiminin ayrıntılı görünümü

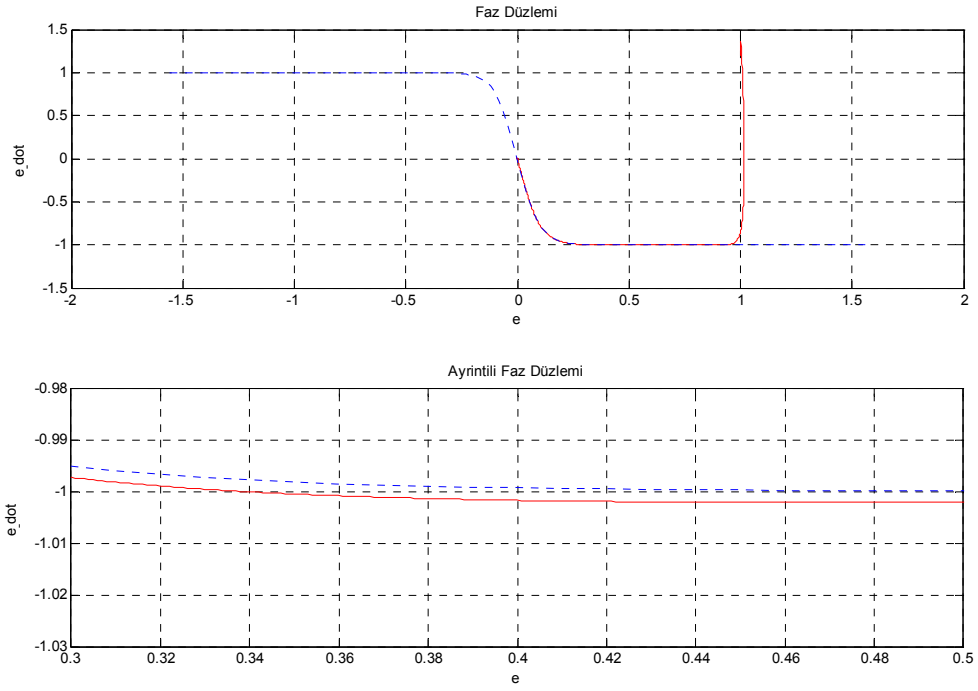
5.

$s(t) = e_1 + \tanh(10\ e_2)$

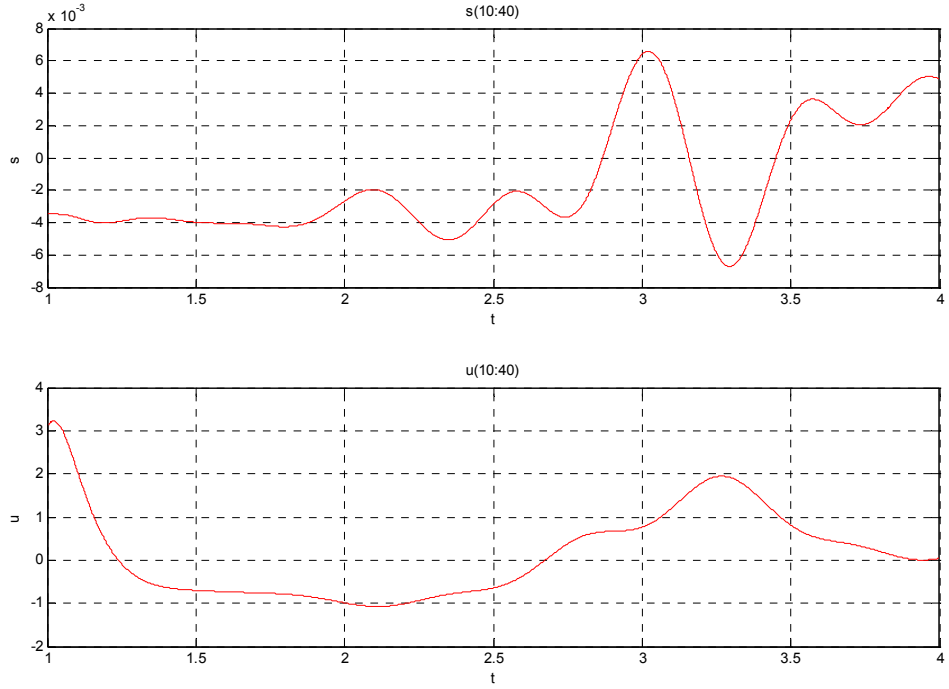
$u(t) = \ddot{x}\ - 10\ e_1 (1-\tanh^2(10\ e_2)) + sat(s)\ [\ 0.5\dot{x}^2 \left|\cos 3x\right| + 60\ ] + 1.5\dot{x}^2 \cos 3x$

Verilen değerlerle simulinkte elde edilen sonuçlar;

Şekil 4.48 de verilmiş olan (a) grafiği ile Şekil 4.22 de verilmiş olan (a) grafiği karşılaştırıldığında pek bir fark gözükmese de, verilen kayan kipli kontrolör için faz düzleminde oluşan çatırdamanın azaldığı Şekil 4.48 de verilmiş olan (b) grafiği ile Şekil 4.22 de verilmiş olan (b) grafiği karşılaştırıldığında açıkça gözükmektedir.

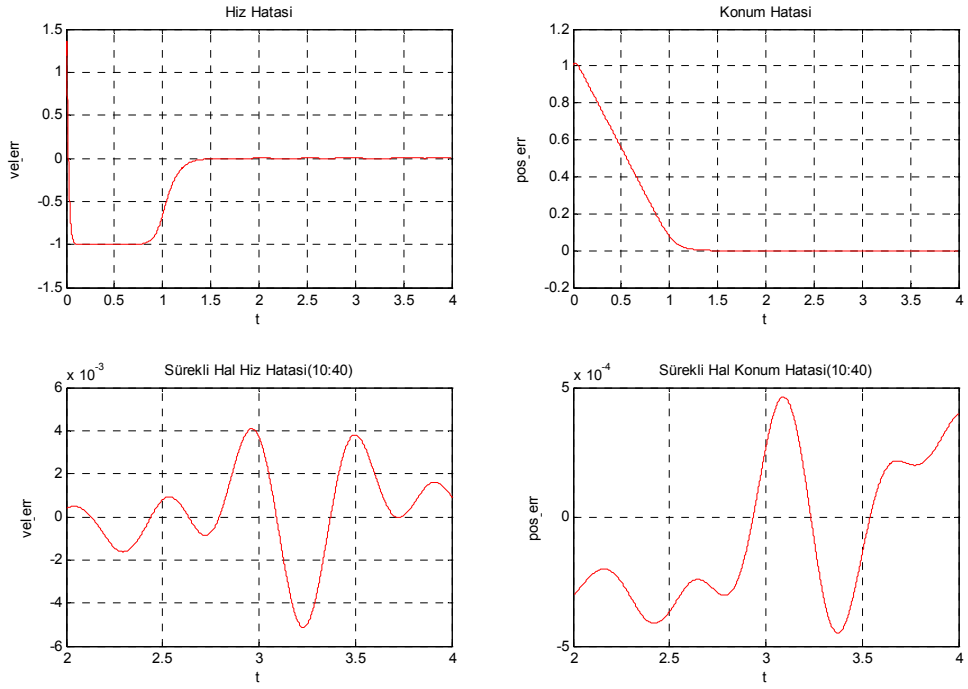


Şekil 4.48: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(10e)$ iken faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm



Şekil 4.49: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(10e)$ iken zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı

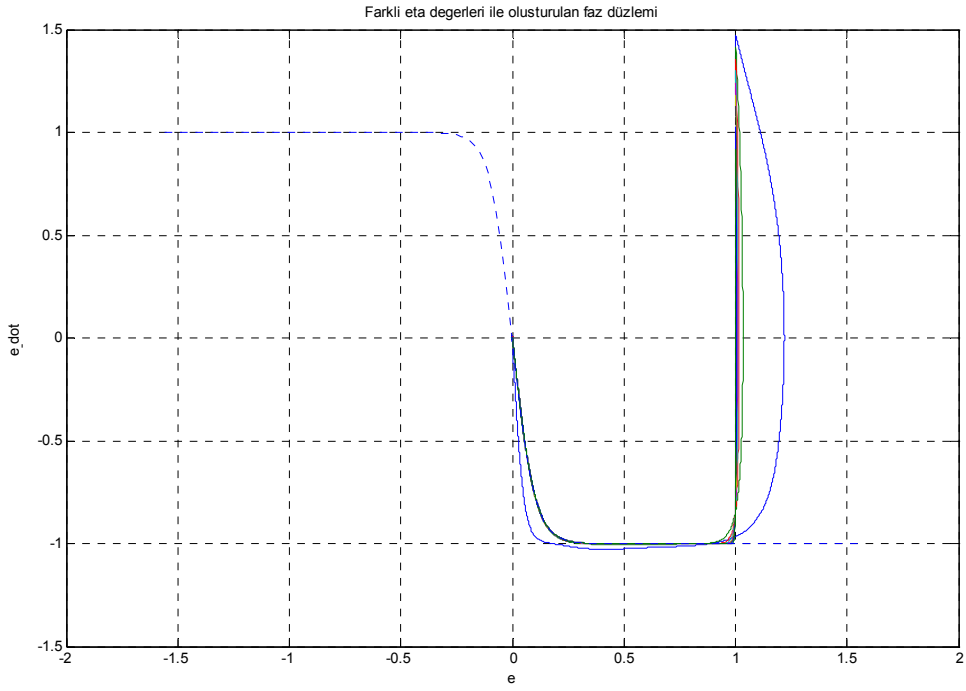
Şekil 4.49 de verilmiş olan (a) grafiğinde sürekli halde olan s değerinin -0.007 ile +0.007 arasında değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.49 de verilen (b) grafiğinde ise sürekli halde olan u değerinin -1.1 ile +3.2 arasındaki değişimi gösterilmiştir.



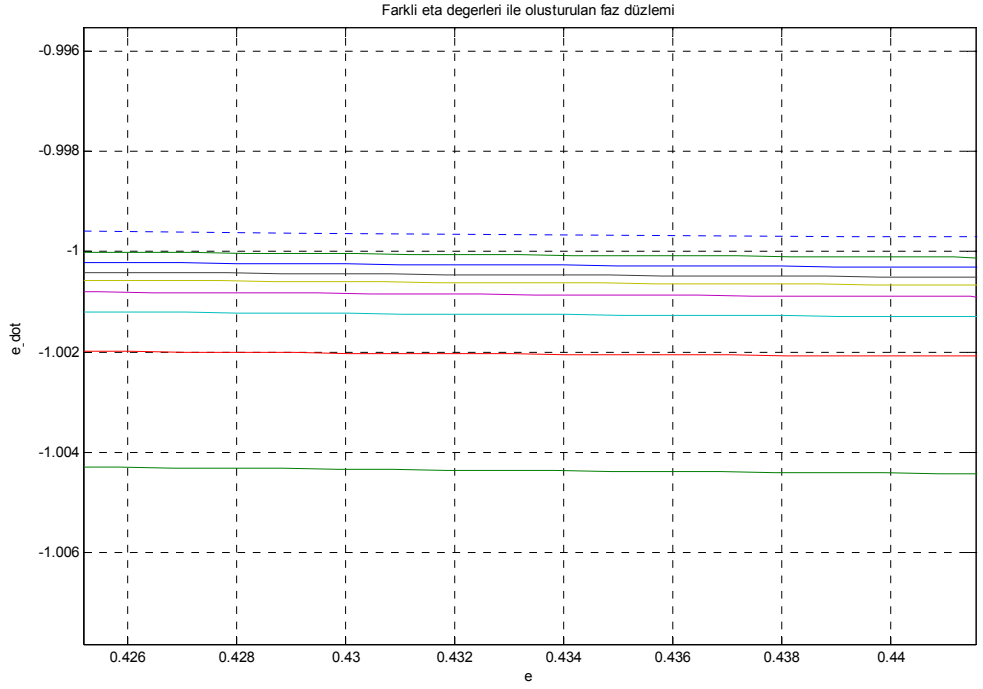
Şekil 4.50: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(10e)$ iken zamanla değişen a) hız hatası b) konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası

Yukarıdaki Şekil 4.50 de verilmiş olan (a) grafiğinde hız hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak hız hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 0.8 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 4.50 de verilmiş olan (b) grafiğinde konum hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak konum hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 0.8 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 4.50 de (c) grafiğinde sürekli haldeki hız hatasının -0.005 ile +0.004 arasındaki değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.50 de (d) grafiğinde sürekli haldeki konum hatasının -0.0005 ile +0.0005 arasındaki değişimi gösterilmiştir.

Doğrusal olmayan kayan yüzeyde sistemin yaklaşma açısı, η değişiminin sisteme etkisi aşağıdaki Şekil 4.51 de verildiği gibidir.



Şekil 4.51: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(10e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişimi



Şekil 4.52: Saturasyonlu doğrusal olmayan yüzeyde $\Lambda_1(e)=\tanh(10e)$ iken yaklaşma açısının (η) değişiminin ayrıntılı görünümü

Yukarıdaki Şekil 4.51 ikinci dereceden sistem üzerinde, doğrusal olmayan yüzeyden kaynaklanan değişken yüzey eğimi üzerindeki değişik yaklaşama açıları, η değerleri ile faz yüzeyinde sistem durumunun kayan yüzeye ulaşma şeklini gösterir. Burada yaklaşma açısı arttırıldıkça sistem durumunun kayan yüzeye erişme şeklinin faz düzlemindeki değişimi incelenmiştir.

Şekil 4.52 ikinci dereceden sistem üzerinde, doğrusal olmayan yüzeyden kaynaklanan değişken yüzey eğimi varken değişen yaklaşma açıları ile kayan yüzey üzerinde sistem durumunun ayrıntılı görünümü verilmiştir. Şekil 4.52 ile Şekil 4.26 karşılaştırıldığında verilen kayan kipli kontrolör için faz düzleminde oluşan çatırdamanın azaldığı açıkça gözükmektedir.

4.2 BULANIK MANTIK KULLANILARAK OLUSTURULAN KAYAN YÜZEY KONTROL YÖNTEMLERİ

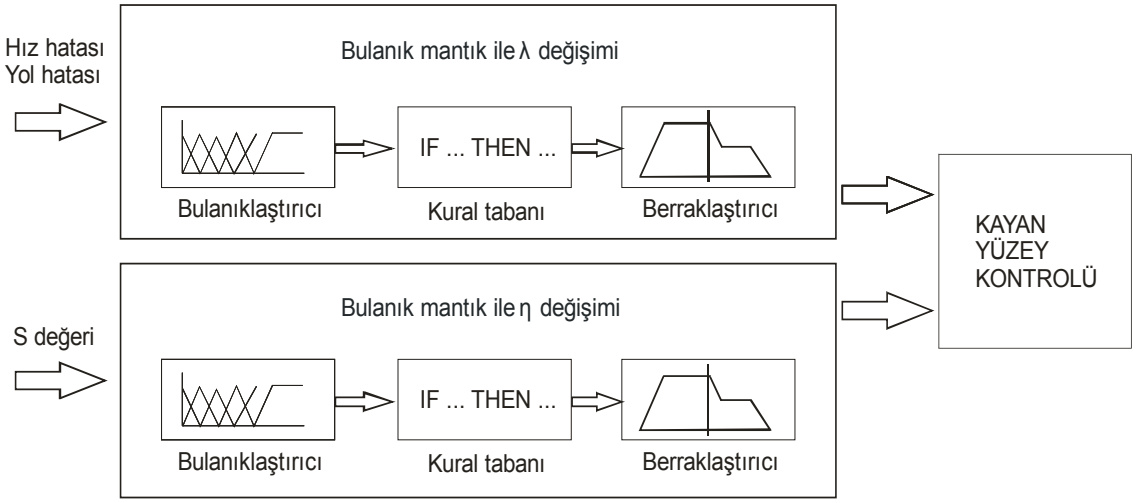
Bu bölüme kadar statik doğrusal olmayan kayan yüzey tasarımı aşama aşama incelenmiştir. Elde edilen veriler sonucunda daha iyi kararlılık ve kısa kayan yüzeye ulaşma zamanı elde edebilmek için bulanık mantık kullanılacaktır. Bulanık mantık kullanılarak kayan yüzey oluşturmak için iki farklı yöntem tasarlanmıştır. Yöntem 1 olarak verilen doğrusal olmayan kayan yüzeyler için kullanılacak kontrolörün gelişim aşaması bu tezin ikinci ve üçüncü bölümlerinde detaylı olarak incelenmiştir. Ayrıca Yöntem 2 olarak verilen, hareketli yüzey olarak da tanımlanabilecek kayan yüzey tasarımı da bir sonraki kısımda verilecektir.

4.2.1 YÖNTEM 1

4.2.1.1 DOĞRUSAL OLMAYAN KAYAN YÜZEY İÇİN KULLANILACAK BULANIK KONTROLÖR

Bulanık tabanlı kayan kipli kontrolör dayanıklı izleme ve yönetmeyi birbirinden ayırmayan zamanla kayan yüzeyleri oluşturmayı amaçlar. Aşağıdaki Şekil 4.53 de bulanık adapte edilmiş sistemin diyagramını gösterir. Adapte edilmiş şema da dikkat edilmesi gereken, yaklaşma fazı sırasında kayan yüzeye yaklaşma açısının ayarlanması ve kayan bölge üzerindeki kayan yüzeyin eğimidir. Yaklaşma fazında, eğer durum

yüzeye dik olarak ulaşıyorsa, yaklaşma zamanını büyük ölçüde azaltır. Fakat bu sistem cevabında sıçramalara neden olur. Kayan bölge, kayan yüzeyin artan eğimi yörünge yakınsama zamanını azaltır. Ama eğim açılarının büyük değerleri erişim düzeneği doyuma neden olur. Yani bu sistemin yüzeyi üzerinde sistem durumunu tutmayı garantilemiş oluruz. Ayarlanabilir bulanık mekanizması ile amaçlanan eğim açısı yörüngelerde bir miktar hataya neden olabilir.



Şekil 4.53: Bulanık mantığın kayan yüzey kontrolüne adaptasyonu.

4.2.1.2 BULANIK DOĞRUSAL OLMAYAN KAYAN YÜZEY ALGORİTMASININ FORMÜLASYONU

Buradaki *s, e* ve $\dot{e}$'yi tanımlamak için dilsel giriş parametreleri aşağıda denklem (4.3) deki gibi verilir;

s = {G_CK, G_KC, G_OR, G_BY, G_CB, G_M }

e = { G_CK, G_KC, G_OR, G_BY }

$\dot{e}$ = { G_CK, G_KC, G_OR, G_BY } **(4.3)**

Burada G_CK = çok küçük giriş, G_KC = küçük giriş, G_OR = orta giriş, G_BY = büyük giriş, G_CB = çok büyük giriş, G_M = maximum giriş anlamına gelir.

Ayrıca buradaki λ ve η'yı tanımlamak için dilsel çıkış parametreleri aşağıda denklem (4.4) deki gibi verilir;

λ = {C_CK, C_KC, C_OR, C_BY }

η = { C_CK, C_KC, C_OR, C_BY, C_CB, C_M } **(4.4)**

Burada C_CK = çok küçük çıkış, C_KC = küçük çıkış, C_OR = orta çıkış, C_BY = büyük çıkış, C_CB = çok büyük çıkış, C_M maximum çıkış anlamına gelir.

Tüm giriş ve çıkış bulanık değişkenleri pozitif olarak seçilir. Çünkü bulanık değişkenlerin işaretleri, döndürme ve öteleme yönüyle belirlenir. Ayrıca hesaplama zamanı ve gerekli hafıza için kullanışlıdır. Bulanık değişken örneği simulasyonlarda ayrıca gösterilmiştir. Bulanık algoritmasının giriş – çıkış ilişkisi (4.3) ve (4.4) de bulanık değişkenlerle aşağıdaki gibi verilmiştir.

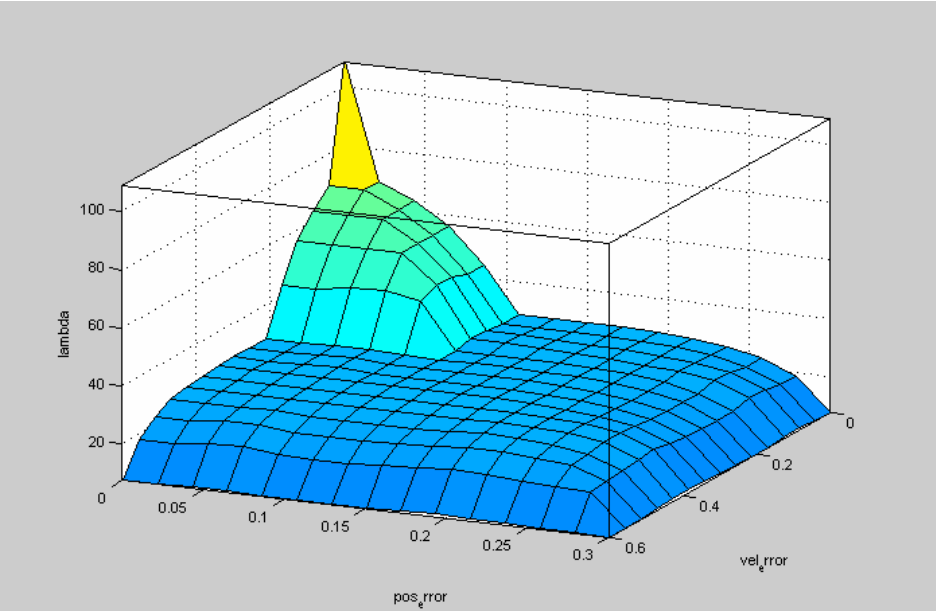
$e,\ \dot{e} \rightarrow \lambda$

$s \rightarrow \eta$

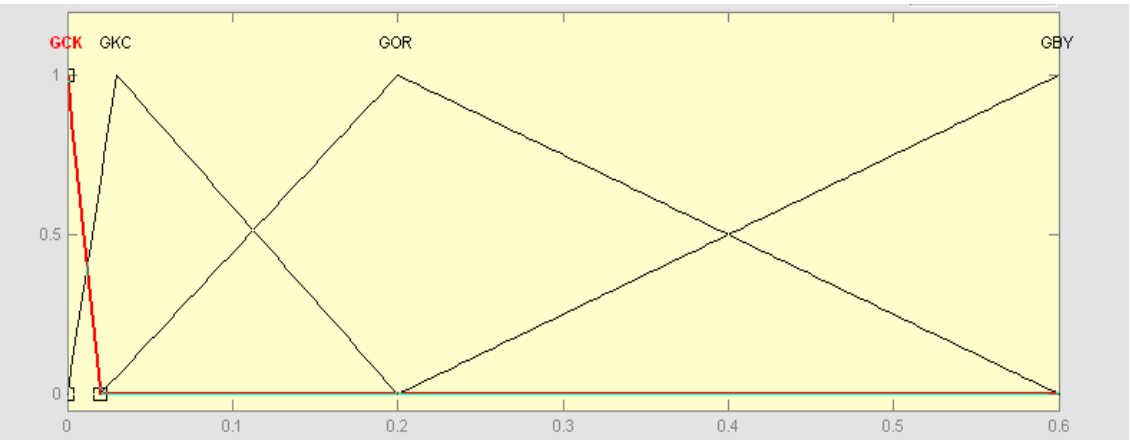
Kayan yüzeyi eğimi, λ için Tablo 4.1 de verilen giriş çıkış sembollerinin matematiksel değerleri Şekil 4.54.a da verilmiştir.

Tablo 4.1: Yöntem 1 için hazırlanmış, λ değerini veren bulanık mantık kural tabanı

Λ	***e***			
$\dot{e}$	**G_CK**	**G_KC**	**G_OR**	**G_BY**
G_CK	C_BY	C_OR	C_KC	C_CK
G_KC	C_OR	C_OR	C_KC	C_CK
G_OR	C_KC	C_KC	C_KC	C_CK
G_BY	C_CK	C_CK	C_CK	C_CK

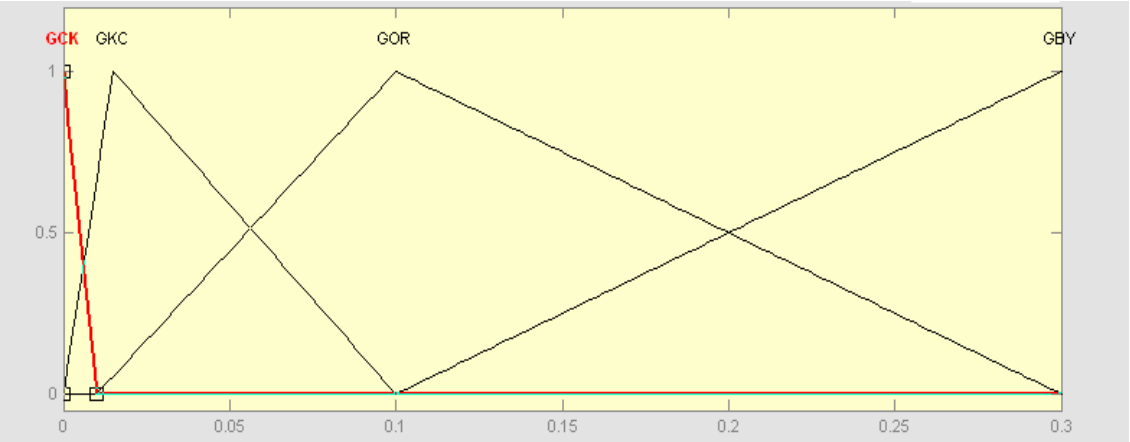


Şekil 4.54.a: Yöntem 1 de kayan yüzeyin eğimi, λ için giriş ve çıkış değerleri

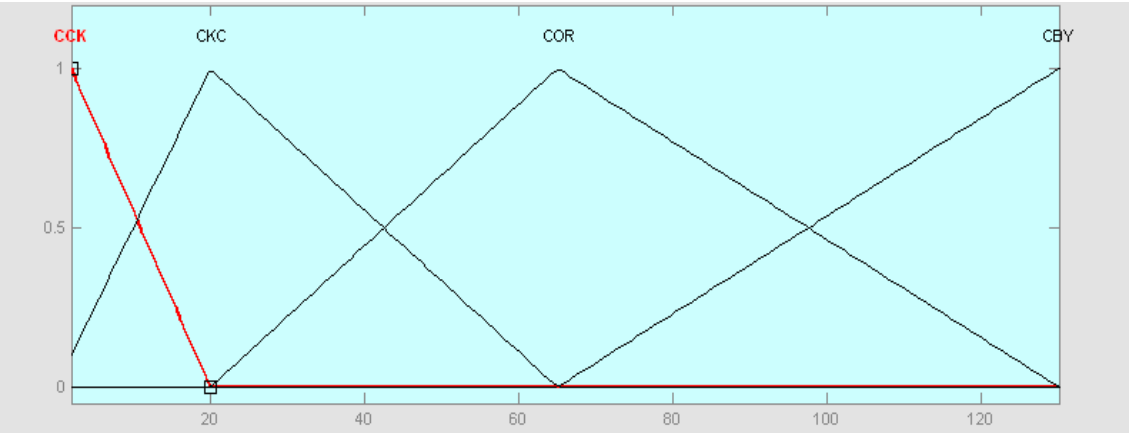


Şekil 4.54.b: Giriş değeri olarak kullanılan hız hatası üyelik fonksiyonu

Tablo 4.1 de verilen kural tablosu deneyimler sonucu elde edilen veriler ile doldurulmuştur. Şekil 4.54.b de verilen hız hatasının üyelik fonksiyonları ile şekil 4.54.c de verilen yol hatasının üyelik fonksiyonları sonucunda elde edilen λ'nın üyelik fonksiyonları ise şekil 4.54.d de verilmiştir.



Şekil 4.54.c: Giriş değeri olarak kullanılan yol hatası üyelik fonksiyonu

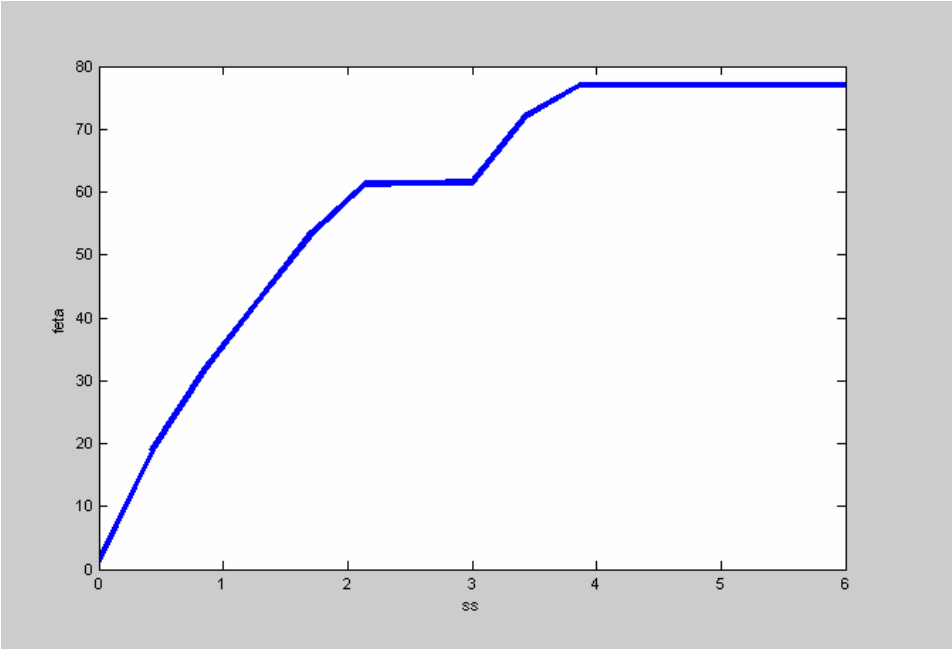


Şekil 4.54.d: Çıkış değeri olarak kullanılan λ katsayısının üyelik fonksiyonu

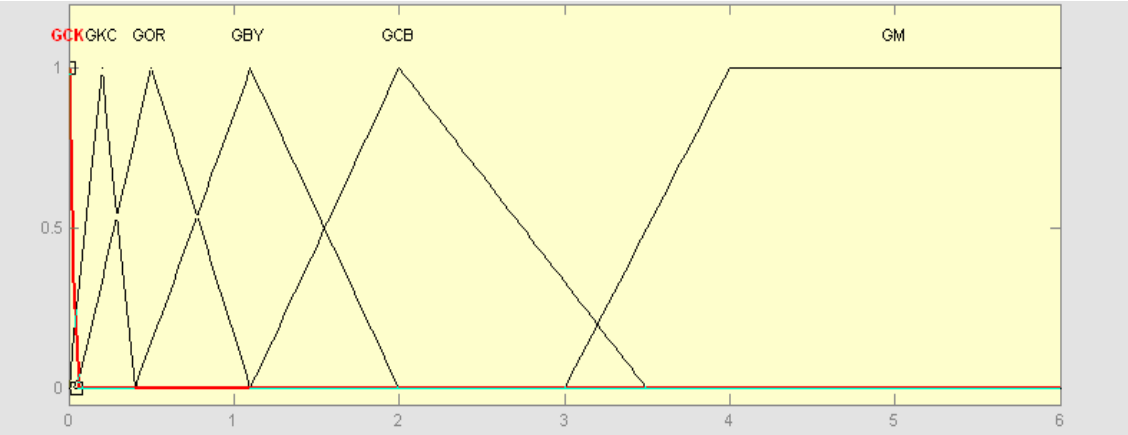
Kayan yüzeyi yaklaşma açısı, η için Tablo 4.2 de verilen giriş çıkış sembollerinin matematiksel değerleri Şekil 4.55.a da verilmiştir.

Tablo 4.2: Yöntem 1 için hazırlanmış, η değerini veren bulanık mantık kural tabanı

s	**G_CK**	**G_KC**	**G_OR**	**G_BY**	**G_CB**	**G_M**
η	C_CK	C_KC	C_OR	C_BY	C_CB	C_M

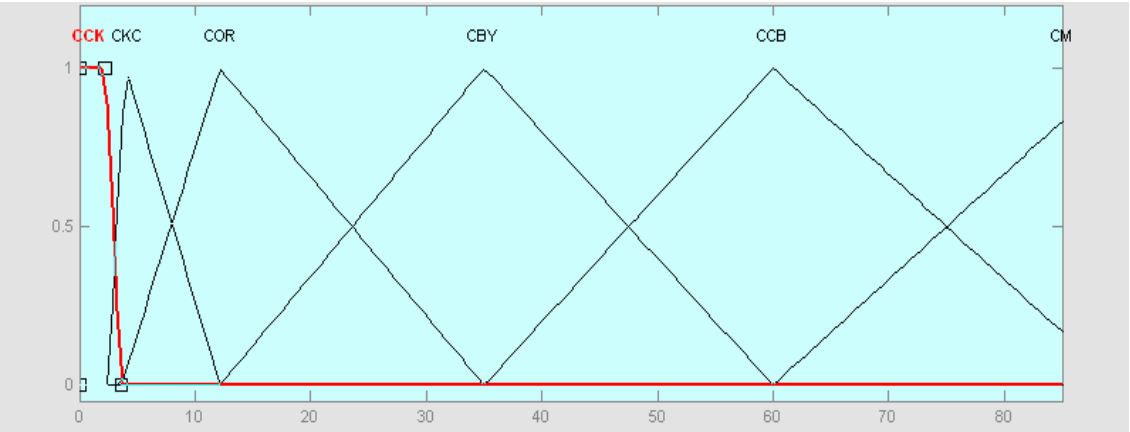


Şekil 4.55.a: Yöntem 1 de kayan yüzeyin yaklaşma açısı, η için giriş ve çıkış değerleri



Şekil 4.55.b: Giriş değeri olarak kullanılan s üyelik fonksiyonu

Tablo 4.2 de verilen kural tablosu deneyimler sonucu elde edilen veriler ile doldurulmuştur. Şekil 4.55.b de verilen kayan yüzeyin üyelik fonksiyonları sonucunda elde edilen η'nın üyelik fonksiyonları ise şekil 4.55.c de verilmiştir.



Şekil 4.55.c: Çıkış değeri olarak kullanılan η katsayısının üyelik fonksiyonu

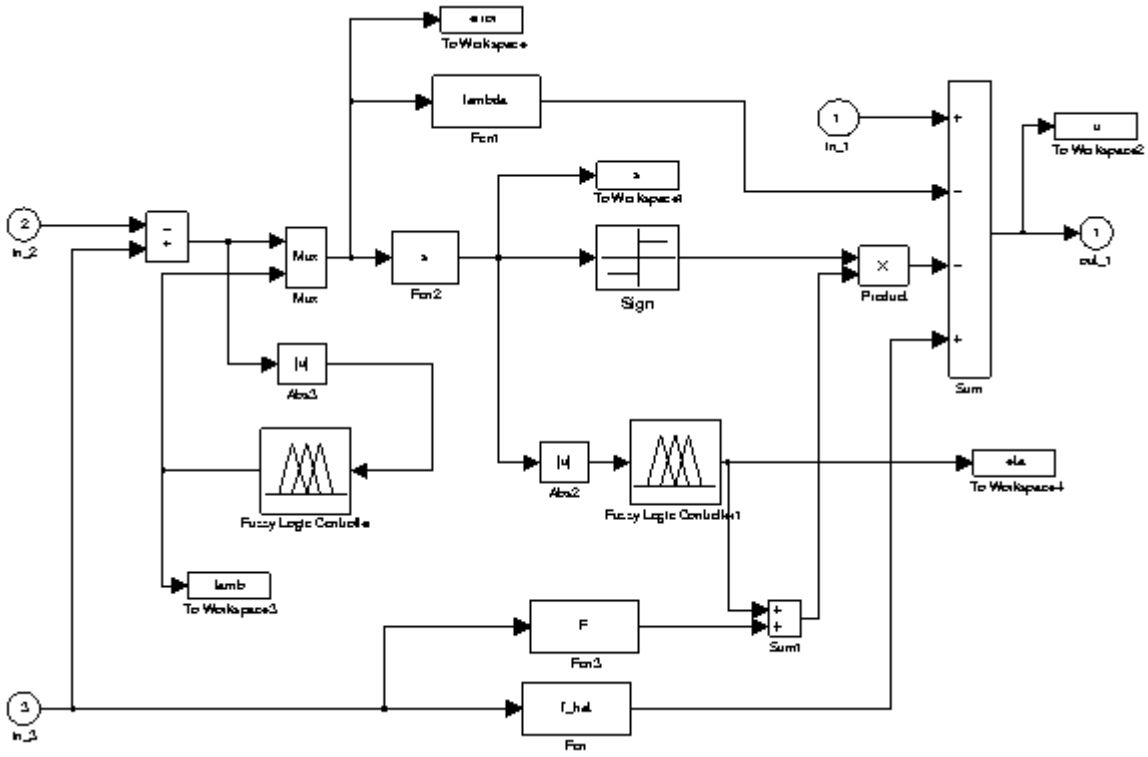
4.2.1.3 SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

Bir önceki bölümde verilmiş örnek olan örnekteki kontrolör yerine bulanık mantık ile tanımlanmış kayan kipli kontrolör kullanılarak Matlab 7.0 ile yapılan simülasyon sonuçları verilmiştir.

4.2.1.3.1 SİMÜLASYON 1:

Yukarıdaki doğrusal olmayan sisteme uygulanacak olan kayan kipli kontrolörün amacı, istenilen yörüngeye ulaşabilmek için gerekli kontrol kuralını elde etmektir.

Aşağıda verilen Şekil 4.56 da simulinkte kullanılan doğrusal olmayan kayan yüzey, s ve elde edilen kontrol kuralı, u kullanılarak doğrusal olmayan sisteme uygulanan kayan kipli kontrolör çizilmiştir. Şekil 4.56 da Fcn3 bloğu $0.5\dot{x}^2|\cos 3x|$ fonksiyonunu, Fcn bloğu ise $1.5\dot{x}^2\cos 3x$ fonksiyonunun elde edilmesini sağlar.



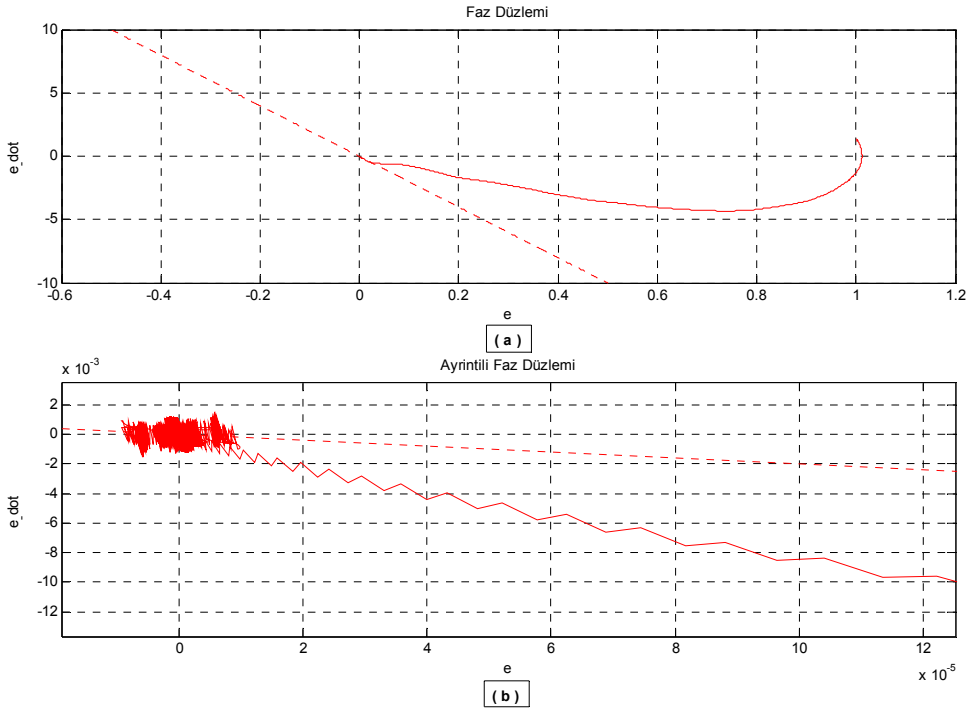
Şekil 4.56 : Yöntem 1 ile simulinkte kullanılan kayan kipli kontrolör

Denklem (3.1) de s olarak tanımlanan doğrusal olmayan kayan yüzey simülasyonlar da aşağıdaki gibi ifade edilmiştir. Burada $e_1 = \dot{e}$ ve $e_2 = e$ olarak yazılır. Ayrıca denklem (3.3) de u olarak tanımlanan kontrol kuralı simülasyonlarda aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$s = \text{bulanık } (\lambda)\ e_1 + e_2$

$u = \ddot{x} - 20e_2\ \text{sign}\ [\ 0.5 * \dot{x}^2 * |\cos 3x| + \text{bulanık } (\eta)\ ] + 1.5 * \dot{x}^2 * \cos 3x$

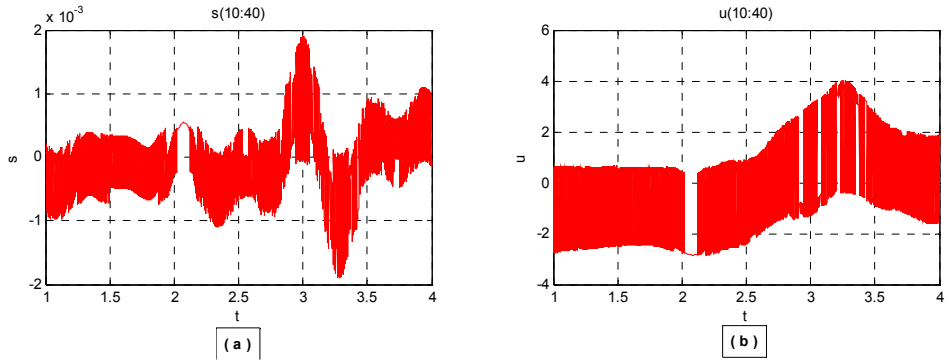
Verilen değerlerle simulinkte elde edilen sonuçlar;



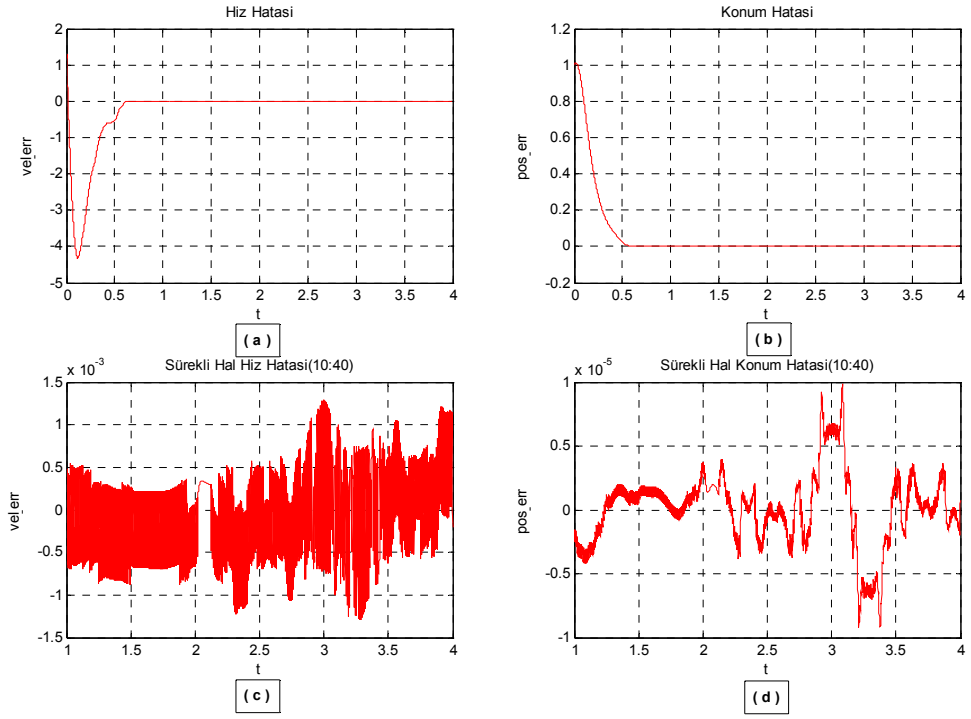
Şekil 4.57: Yöntem 1 için faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm

Yukarıdaki Şekil 4.57 de verilmiş olan (a) grafiğinde birinci bölgede bulunan başlangıç noktasından, faz düzleminin merkezinde ulaşana kadar izlediği yol gösterilmektedir. Şekil 4.57 de verilen (b) grafiğinde ise faz düzlemi daha ayrıntılı çizdirilmiştir. Burada sistem durumunun faz düzleminin merkezine gelene kadar meydana gelen çatırdama açıkça gösterilmiştir.

Şekil 4.58 de verilmiş olan (a) grafiğinde sürekli halde olan s değerinin -0.002 ile +0.002 arasında değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.58 de verilen (b) grafiğinde ise sürekli halde olan u değerinin -3 ile +4 arasındaki değişimi gösterilmiştir.



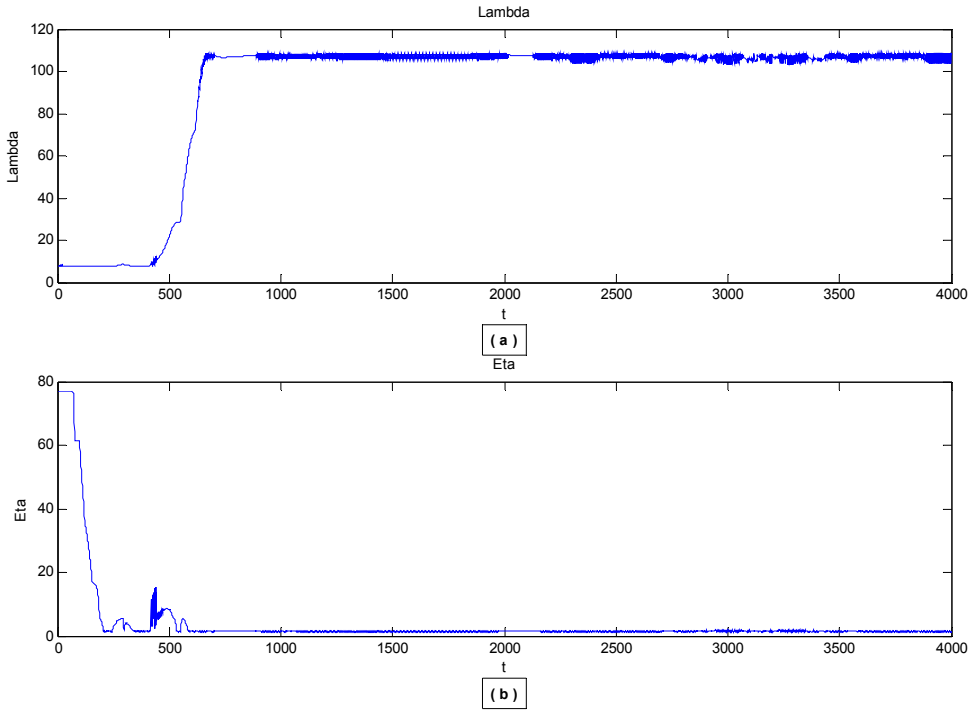
Şekil 4.58: Yöntem 1 için zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı



Şekil 4.59: Yöntem 1 için zamanla değişen a) hız hatası b) konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası

Yukarıdaki Şekil 4.59 da verilmiş olan (a) grafiğinde hız hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak hız hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 0.6 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 4.59 da verilmiş olan (b) grafiğinde konum hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak konum hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 0.6 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 4.59 da (c) grafiğinde sürekli haldeki

hız hatasının -0.0015 ile +0.0015 arasındaki değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.59 da (d) grafiğinde sürekli haldeki konum hatasının -0.00001 ile +0.00001 arasındaki değişimi gösterilmiştir.



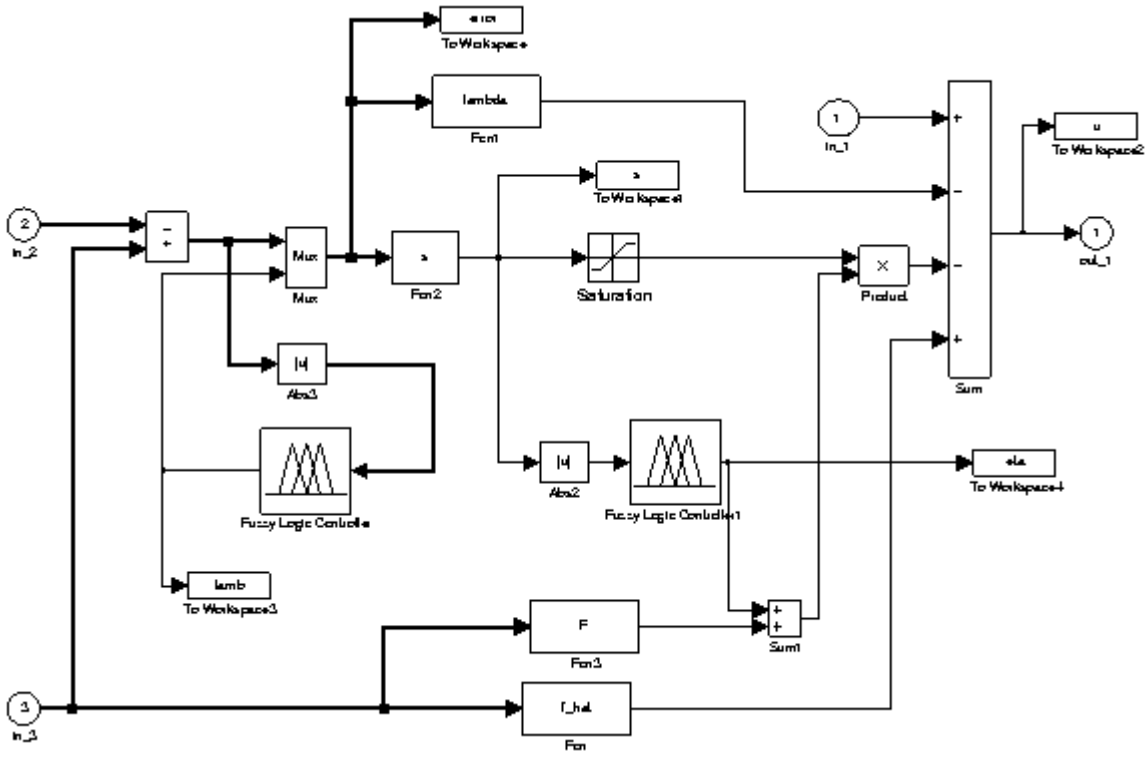
Şekil 4.60: Yöntem 1 de a) λ değişimleri b) η değişimleri

Bulanık mantıkla oluşturulmuş kayan yüzeydeki yaklaşma açısı ve yüzey eğimi değişimi Şekil 4.60 da verilmiştir.

4.2.1.3.2 SİMULASYON 2:

Yukarıdaki bulanık mantık ile tanımlanmış doğrusal olmayan sisteme uygulanacak olan kayan kipli kontrolörün amacı, istenilen yörüngeye ulaşabilmek için çatırdama etkisini azaltacak gerekli kontrol kuralını elde etmektir. Bu yüzden signum fonksiyonu yerine saturasyon fonksiyonunu yerleştirerek yukarıdaki simulasyonlar tekrar gerçekleştirilir.

Aşağıda verilen Şekil 4.61 de simulinkte kullanılan doğrusal olmayan kayan yüzey, s ve elde edilen kontrol kuralı, u kullanılarak doğrusal olmayan sisteme uygulanan kayan kipli kontrolör çizilmiştir. Şekil 4.61 de Fcn3 bloğu $0.5\dot{x}^2|\cos 3x|$ fonksiyonunu, Fcn bloğu ise $1.5\dot{x}^2\cos 3x$ fonksiyonunun elde edilmesini sağlar.



Şekil 4.61: Yöntem 1 de saturasyon fonksiyonu ile simulinkte kullanılan kayan kipli kontrolör

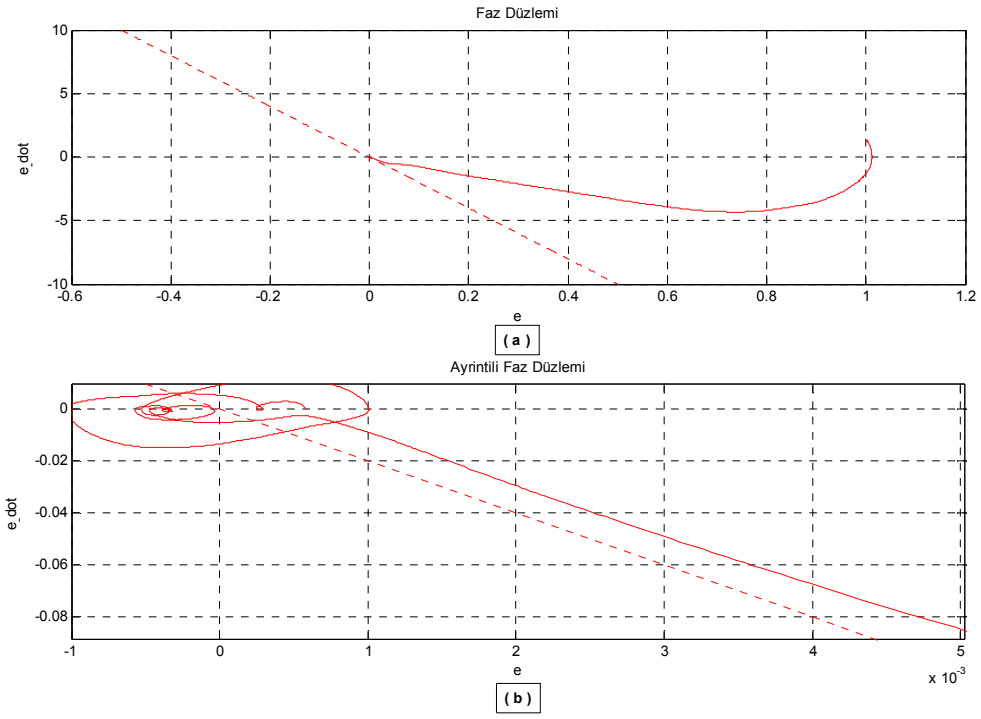
Denklem (3.1) de s olarak tanımlanan doğrusal olmayan kayan yüzey simülasyonlar da aşağıdaki gibi ifade edilmiştir. Burada $e_1 = \dot{e}$ ve $e_2 = e$ olarak yazılır. Ayrıca denklem (3.3) de u olarak tanımlanan kontrol kuralı simülasyonlarda aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$s = \text{bulanık } (\lambda)\ e_1 + e_2$

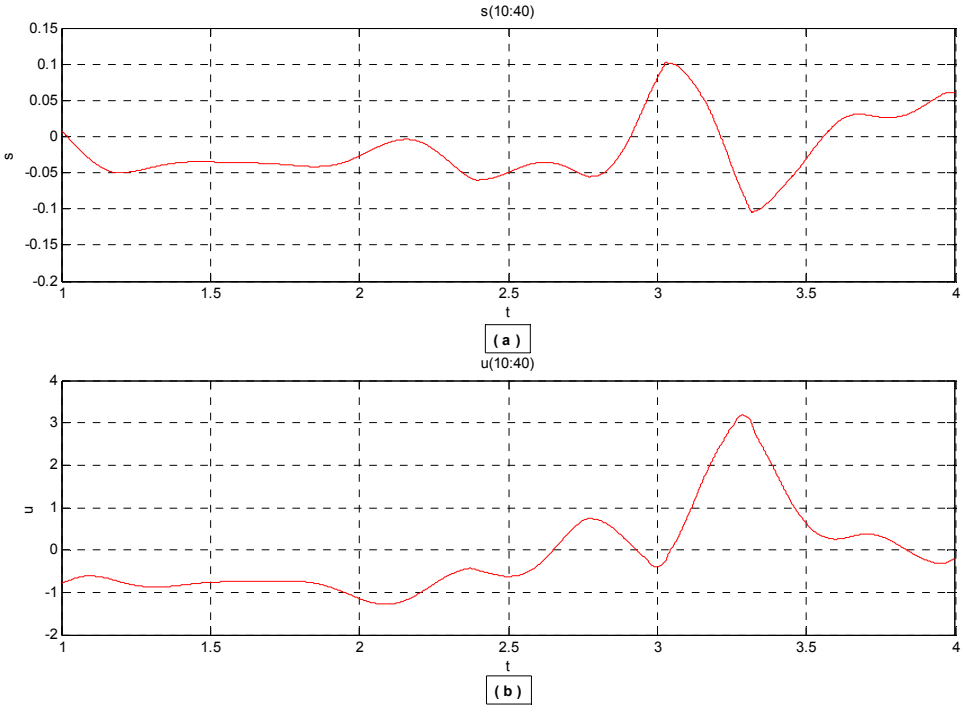
$u = \ddot{x} - 20e_2\ \text{sat}\ [\ 0.5 * \dot{x}^2 * |\cos 3x| + \text{bulanık } (\eta)\ ] + 1.5 * \dot{x}^2 * \cos 3x$

Verilen değerlerle simulinkte elde edilen sonuçlar;

Şekil 4.62 de verilmiş olan (a) grafiği ile Şekil 4.57 de verilmiş olan (a) grafiği karşılaştırıldığında pek bir fark gözükmese de, verilen kayan kipli kontrolör için faz düzleminde oluşan çatırdamanın azaldığı Şekil 4.62 de verilmiş olan (b) grafiği ile Şekil 4.57 de verilmiş olan (b) grafiği karşılaştırıldığında açıkça gözükmektedir.

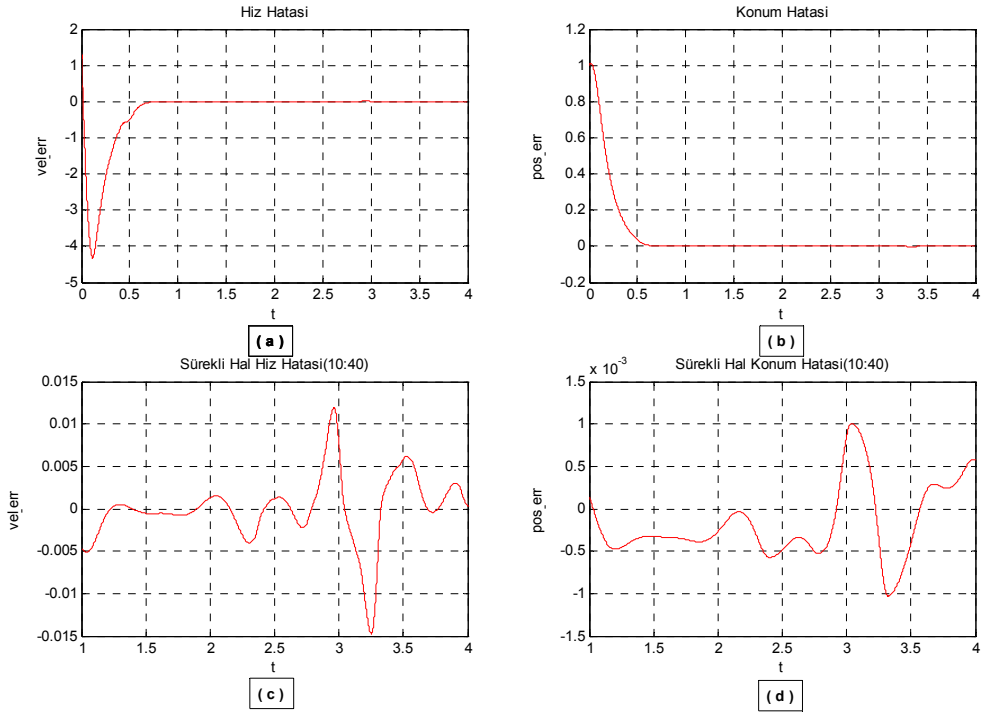


Şekil 4.62: Yöntem 1 de saturasyon fonksiyonu için faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm



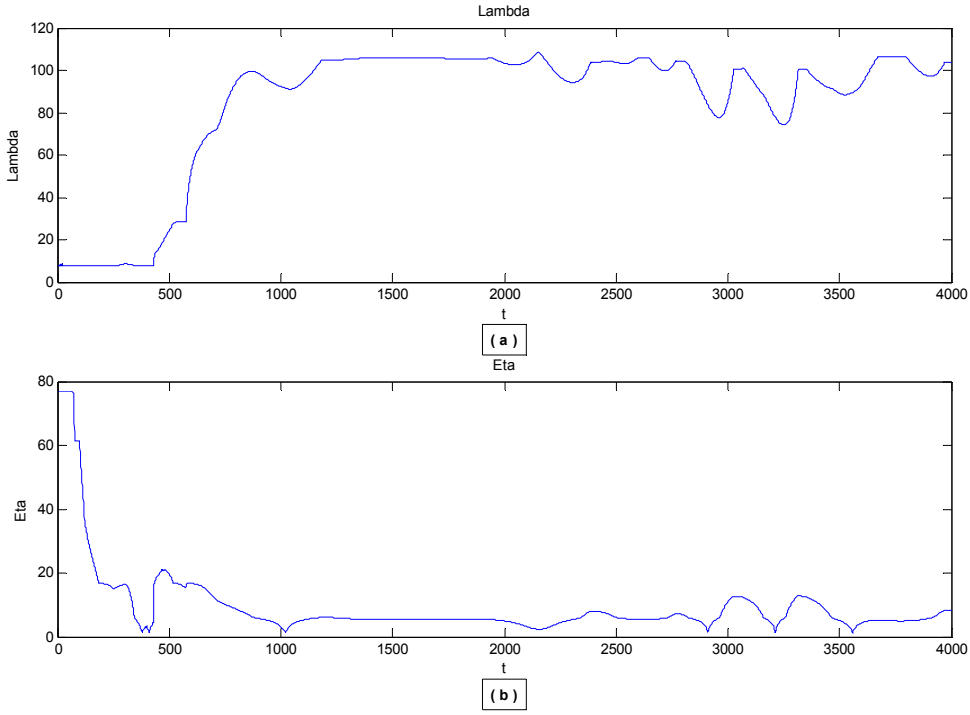
Şekil 4.63: Yöntem 1 de saturasyon fonksiyonu ile zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı

Şekil 4.63 de verilmiş olan (a) grafiğinde sürekli halde olan s değerinin -0.1 ile +0.1 arasında değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.63 de verilen (b) grafiğinde ise sürekli halde olan u değerinin –1.3 ile +3.2 arasındaki değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.64: Yöntem 1 de saturasyon fonksiyonu için zamanla değişen a) hız hatası b) konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası

Yukarıdaki Şekil 4.64 de verilmiş olan (a) grafiğinde hız hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak hız hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 0.75 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 4.64 de verilmiş olan (b) grafiğinde konum hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak konum hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 0.75 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 4.64 de (c) grafiğinde sürekli haldeki hız hatasının -0.015 ile +0.013 arasındaki değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.64 da (d) grafiğinde sürekli haldeki konum hatasının -0.001 ile +0.001 arasındaki değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.65: Yöntem 1 de saturasyon fonksiyonu için a) λ değişimleri b) η değişimleri

Bulanık mantıkla oluşturulmuş kayan yüzeydeki yaklaşma açısı ve yüzey eğimi değişimi Şekil 4.65 da verilmiştir.

4.2.2 YÖNTEM 2:

4.2.2.1 HAREKETLİ KAYAN YÜZEYLER:

Hareketli kayan yüzey ilk olarak başlangıç koşullarını geçmek için tasarlanmıştır. Önceden tanımlanmış kayan yüzey döndürülerek veya ötelenerek oluşturulur. Hareketli kayan yüzeyde çalışılarak, kontrol sinyalindeki artan öngörülemeyen çatırdama olmadan kısalan ulaşma fazı ile sistemdeki kararsızlıkların ve hassasiyetin azaltılması mümkündür. Ayrıca ulaşma fazı yüzeye oturma zamanının arttırılması ile elimine edilebilir ve kontrol hareketi aralıklarla sistemin kararlılığını garanti altına alır. Hareketli kayan yüzey için hem tek girişli hem de çok girişli sistemler kullanılabilir. Hareketli kayan yüzeyli başlıca değişken yapılı kontrol sisteminin hızlı izleme performansı, kısa ulaşma fazı gibi birçok üstünlüğü vardır. Buna rağmen, Choi tarafından önerilen hareketli kayan yüzeyin hareketi, yüzey fonksiyonunun kesin değer aralıklarında

olmasını sağlayan yüzey eşitliklerinin hesaplanmasına bağlıdır. Burada yüksek dereceli sistemlerin eşitlikleri oldukça karışık hale gelmektedir. Bu problemi çözmek için, bulanık teorisine dayanan basitleştirilmiş hareket algoritması kullanılabilir. Diğer bir değişle bu bölümde kullanılan ikinci dereceden sistem, yüksek dereceli sistemleri kontrol etmek için geliştirilen belli bir algoritma yardımıyla kullanılır. Bu algoritma, yüzey fonksiyonlarını ve süreksizlik kazancını kullanarak bulanık giriş değişkenleri ve bulanık çıkış değişkenleri yardımıyla kullanılır. İkinci derece sistemde, sistem durumunun başlangıç noktası yani sembolik olarak seçilen nokta birinci ve üçüncü çeyrekte ise kayan yüzey ötelenir veya duruma göre döndürülür.

4.2.2.2 İKİNCİ DERECEDEN KAYAN KİPLİ KONTROL SİSTEMİ İÇİN TASARLANAN HAREKETLİ KAYAN YÜZEY:

Başlangıçta da belirtildiği gibi, başlıca kayan kipli kontrol sisteminin performansı tasarlanan hareketli yüzey ile orantılıdır.

Kullanılacak sistemde x_d istenilen çıkış olarak tanımlansın ve $e = (x_d - x)$ izleme hatası olsun. Bu bölümde kullanılacak olan hareketli kayan yüzey denklem (4.5) deki gibi tanımlanabilir, bu yeni tanımlanan denklem aslında denklem (3.1) e eşdeğer bir denklemdir.

$$s(e) = ce = \sum_{i=1}^{n} c_i e_i, \qquad c_n = 1 \tag{4.5}$$

Yüksek dereceden sistemler için hareketli kayan yüzey katsayıları istenilen özdeğerler $\{ \lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_{n-1} \}$ yardımıyla tanımlanabilir [31]. Bununla denklem (4.6) de verilen $p(\lambda)$ ile istenilen karakteristik polinom verilmiş olsun.

$$p(\lambda) = \prod_{i=1}^{n-1} (\lambda - \lambda_i) = \lambda^{n-1} + d_{n-2}\lambda^{n-2} + \ldots + d_1\lambda + d_0 \tag{4.6}$$

Daha sonra kayan kipli kontrol sistemini oluşturmak için kayan durumdaki istenilen özdeğerleri, denklem (4.7) de verildiği gibi seçebiliriz,

$$c = [\, d_0 \;\; d_1 \;\; \ldots \;\; d_{n-2} \;\; 1 \,] \tag{4.7}$$

Burada görüldüğü üzere hareketli yüzey, yüzey katsayısı c_i, süreksizlik kazancı k, ve başlangıç koşullarına karşı oldukça duyarlıdır. Sonuçta izleme problemi aşağıdaki eşitsizliği üretir.

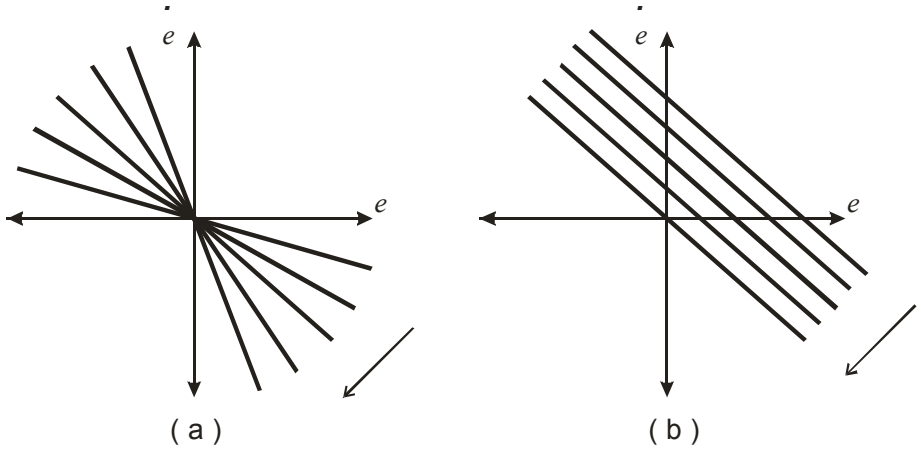
$$\dot{e}_1 = e_2$$

$$\dot{e}_2 = - \lambda e_2 - k \, \mathrm{sgn}(s(t)) \qquad \textbf{(4.8)}$$

Denklem (4.8) daki ikinci eşitlikten, seçilen noktanın kararlı bölgede bulunması (ikinci ve dördüncü çeyrekler), e_2'nin mutlak değerinin c için seçtiğimiz büyük değerden, sabit k kazancı için küçük olmasına neden olur. Burada *c*'nin büyük değeri seçilen noktanın yüzeye geç ulaşma zamanı ile gelmesine neden olur. Diğer taraftan, eğer c için küçük bir değer seçilirse, izleme zamanı uzar ve yüzeyle birleşme zamanı yavaşlar. Bu yüzden başlangıç koşullarına uygun optimal kayan yüzey kullanmalıdır [32]. Ayrıca uygun zamanla değişen eğim seçilen noktanın yörüngesine göre seçilirse diğer optimal sabit kayan yüzeylere göre daha hızlı ve kararlı kontrol cevabı elde edilir. Bu nedenlerden dolayı kayan kipli hareketli sistem için aşağıdaki denklem (4.9) da verilmiş olan ikinci derece hareketli kayan yüzey tasarlanmıştır [32].

$$s(e,t) = c(t)e_1(t) + e_2(t) - \alpha(t) \qquad \textbf{(4.9)}$$

Hareketli kayan yüzey keyfi başlangıç noktalarını ortadan kaldırmak için tasarlanmıştır ve akabilin de önceden belirtilen kayan yüzeye doğru hareket eder. Hareket ötelenerek veya döndürülerek sağlanır. Döndürme zamanla kayan yüzey eğimi ile (c(t)) sağlanır ve c(t) için basamak fonksiyonu kullanılabilir. Öteleme ise zamanla kayan yüzey kesişimleri ile (α (t)) sağlanır ve α (t) için basamak fonksiyonu kullanılabilir. Döndürme ve öteleme sonucu oluşan kayan yüzeyler aşağıdaki verilen Şekil 4.66 daki gibidir.



Şekil 4.66: Hareketli kayan kipli kontrolör de incelenecek a) döndürülen kayan yüzey b) ötelenen kayan yüzey

İkinci dereceden sistemlerde döndürme ve öteleme sezgisel olarak tanımlanabilir. Eğer başlangıç koşulları kararsız bir bölgede bulunuyor ise, yüzey seçilen noktayı kararlı bölgedeki sıfıra gelene kadar ötelenir veya duruma göre döndürülür. Eğer başlangıçta seçilen nokta kararsız bölgede ise, kararlı bölgeye girilmeden seçilen nokta merkezle birleşmez. Bu hareket algoritması yüzey denklemlerinin tam olarak hesaplanmasına bağlıdır, burada hareketli kayan yüzeyin istenilen yüzeye ulaşana kadar, yüzey fonksiyonun belli bir aralıkta kalmasını sağlar. Buna rağmen yüksek dereceden sistem denklemlerin çözülmesi döndürme ve öteleme periyodu sırasında oldukça karmaşıktır. Bu nedenle kullanılan algoritma hareketli kayan yüzey genelleştirilmesinde de kullanılır.

4.2.2.3 YÜKSEK DERECELİ HAREKETLİ KAYAN KİPLİ SİSTEM İÇİN TASARLANAN KAYAN YÜZEYLER

Hareketli kayan yüzey, yüksek dereceli hareketli kayan kipli kontrol sistemi için aşağıdaki denklem (4.10) deki gibi tanımlanabilir.

$$s(e,t) = \sum_{i=1}^{n} c_i(t) e_i(t) - \alpha(t), \qquad c_n=1 \tag{4.10}$$

Burada kullanılan α(t) ve c_i(t) basamak fonksiyonlarıdır. Döndürme işlemini basitleştirmek için, denklem (4.11) da verildiği gibi, kayan yüzey eşit zamana-değişen istenilen özdeğerlere sahiptir.

$$c_i(t) = \binom{n-1}{i-1}\left(-\lambda_a(t)\right)^{n-i} = \frac{(n-1)!\left(-\lambda_d(t)\right)^{n-i}}{(i-1)!(n-i)!} \qquad i=1, \ldots, n\text{-}1 \qquad \textbf{(4.11)}$$

Denklem (4.10) de verilen kayan yüzey, istenilen özdeğer $\lambda_d(t)$'yi değiştirerek döndürülebilir ve $\alpha(t)$ ile ötelenebilir. İkinci dereceden sistemlerde, seçilen nokta ikinci veya dördüncü çeyrekte ise kayan yüzeyi döndürürüz. Yüksek dereceden sistemlerde ise, döndürmek mi yoksa ötelemek mi daha gerekli diye belirlemek zordur. Bu yüzden döndürme ve öteleme koşulları ayrıca incelenecektir. Daha sonra $\lambda_d(t)$ veya $\alpha(t)$ kullanılarak farklı bir bulanık algoritması gerçekleştirilebilir. Bu amaçlanan algoritma ile kayan yüzey başlangıç yüzeyinden istenilen yüzeye ulaşabilmek için gerekli öteleme ve döndürme işlemi yapılabilir.

4.2.2.4 ÖTELEME VE KAYDIRMA KOŞULLARI:

Kayan durumda, sistemin dinamikleri kayan hiper düzlemler ile tanımlanır. Buradan kayan kip de hata durumunu gösteren eşitlikler,

$$\dot{e}_1 = e_2$$
$$\dot{e}_2 = e_3$$
$$\vdots$$
$$\dot{e}_n = -c_1 e_2 - c_2 e_3 \ldots - c_{n-1} e_n \qquad \textbf{(4.12)}$$

Yukarıda denklem (4.12) da verilen sistemdeki sıfır-özdeğerleri, kayan durumda gözükmez. Buradaki karakteristik denklemin boyutları n-1'dir [10]. Bu nedenle kayan kipli sistemlerin karakteristik yapısı denklem (4.13) verildiği gibidir.

$$p(\lambda) = \prod_{i=!}^{n-1}(\lambda - \lambda_{di}) = \lambda^{n-1} + c_{n-1}\lambda^{n-2} + \ldots + c_2\lambda + c_1 \qquad \textbf{(4.13)}$$

Kayan yüzeyde istenilen özdeğerlerin aynı olduğunu varsayarsak, $\lambda_{di} = \lambda_d$, i = 1 … n-1 olsun. Bu sayede kayan kipteki sistem karakteristiği istenilen özdeğer λ_d ile tanımlanabilir. Buna rağmen, daha iyi kontrol cevabı vermek için λ_d'yi değiştirebiliriz. Buda kayan hiper düzlemin döndürülmesi ile yapılabilir. Seçilen noktanın kayan

düzlemlere olan kesin yakınlık durumunu sürdürmek için döndürme sırasında hızlı ve kararlı kontrol cevabı elde etmeliyiz. Buradaki λ_d'nin t zamanında ideal değerini bulabilmek için n. dereceden sistemin karakteristik denklemini (4.14) de tekrar yazarsak,

$$f(\lambda_d, t) \equiv q_{n-1}\lambda_d^{n-1} + \ldots + q_1\lambda_d + q_0 \qquad \textbf{(4.14)}$$

burada

$$q_{n-i} = \frac{(-1)^{i-1}(n-1)!}{(i-1)!(n-i)!} e_i(t) \qquad \textbf{(4.15)}$$

Yukarıdaki denklem (4.14) de sistem durum değişkeni negatif reel köke sahip ise, başlıca kayan kipli kontrol sisteminin kararlılığını garantiler ve bu seçilen noktayı çakıştırır. Kayan hiper düzlemi başlangıç seçilen noktasından istenilen kayan hiper düzleme döndürülürken, seçilen noktanın da kayan hiper düzleme belli bir yakınlıkta kalması sağlanır. Eğer denklem (4.14) herhangi bir negatif reel köke sahip değilse, kayan yüzey denklem (4.14) de istenilen reel köke sahip olana kadar istenilen kayan yüzeye doğru ötelenir. Bu sayede sistemin istenilen faza gelene kadar kararlılığına engel olunmaz.

Eğer kayan kipli kontrolör, kayan kipli durumu mutlak olarak sağlamak için tasarlanıyorsa, kayan hiper düzlemler ters yöne doğru döndürülmemeli veya ötelenmemelidir. Başlangıç koşulundaki kayan hiper düzlemin hareketinin istenilen kayan hiper düzleme ulaşması esnasına geçen zamana sonlu zaman denir. Bu süre kayan kipli kontrol sisteminin kararlılığını etkilemez [32, 33]. Diğer bir değişle, λ_d'ın adım adım değişimi, eğer λ_d negatif ise, kayan kipli kontrol sisteminin kararlılığını garanti altına alır.

Eğer $f(\lambda_d)$ polinomu tek katlı ise, en yüksek dereceli reel kökün işareti ve kesişimi aynı ise burada negatif gerçek kök vardır. Diğer taraftan, $f(\lambda_d)$ polinomu çift katlı ise en yüksek terimin katsayısı ve kesişimi farklı ise burada da negatif reel kök vardır. Denklem (4.14) deki q_0 işaretinin artan sıra ile yazılması ile aşağıdaki denklem (4.16) de verilen durum elde edilir.

$$e_1 e_n < 0 \qquad \textbf{(4.16)}$$

Burada negatif reel kökün varolması için alternatif bir durum görebiliriz. Verilen $f(\lambda_d)$ polinomu tek katlı olduğunda, burada eşitliğin en az bir negatif reel kökü bulunması için, $f(\lambda_d)$ polinomunun λ_d^* denilen negatif kritik noktası olmalıdır. Polinomun kritik noktasının işareti, $f(\lambda_d)$'nin en yüksek dereceli teriminin katsayısı ile aynıdır. Eğer denklem (4.14) eşitliğindeki polinom çift katlı olduğunda, burada negatif reel kök bulması için, polinomun negatif kritik noktası olmalı ve λ_d^*'nin işareti, $f(\lambda_d)$ polinomunun en yüksek dereceli teriminin katsayısının işaretinden değişik olmalıdır. Bu durum matematiksel olarak denklem (4.17) de gösterilmiştir.

$$\exists \lambda_d^* < 0 \text{ öyledir ki } f'(\lambda_d^*) = 0 \text{ ve } (-1)^n e_1 f(\lambda_d^*) > 0 \qquad \textbf{(4.17)}$$

Üçüncü dereceden kayan yüzey aşağıdaki denklem (4.18) verildiği gibi gösterilebilir,

$$e_1 \lambda_d^2 - 2e_2 \lambda_d + e_3 = 0 \qquad \textbf{(4.18)}$$

Buradan aşağıdaki denklem (4.19) elde edilebilir,

$$e_1 e_3 < 0 \qquad \textbf{(4.19)}$$

Kritik nokta λ_d^*, e_2/e_1 olarak yazılır ve denklem (4.17) aşağıdaki denklem (4.20) haline dönüşür.

$$\left.\begin{array}{l} (i)\ e_2^2 - e_1 e_3 \geq 0 \\ (ii)\ e_1 e_2 < 0 \ veya\ e_1 e_3 < 0 \end{array}\right\} \qquad \textbf{(4.20)}$$

Denklem (4.20)'in ilk durumu negatif kritik noktanın varolduğunu gösterir ve ikinci durumu ise denklem (4.27) deki durumun son kısmındaki kritik noktanın λ_d^* yerine konulması ile türetilmiştir.

Dördüncü dereceden kayan yüzeyde aşağıdaki denklem (4.21) verildiği gibi gösterilebilir,

$$e_1 \lambda_d^3 - 3e_2 \lambda_d^2 + 3e_3 \lambda_d - e_4 = 0 \qquad \textbf{(4.21)}$$

Üçüncü dereceden sistemdeki aynı koşullar sayesinde aşağıdaki denklem (4.22) ile elde edilir.

$$e_1 e_4 < 0 \qquad \textbf{(4.22)}$$

Denklem (4.17) de verilmiş durumdan ve negatif reel kökün varolması için alternatif yol olan denklem (4.21) ile aşağıdaki denklem (4.23) de verilen durumlar elde edilir.

$$\left.\begin{array}{ll} (i) & e_2^2 - e_1 e_3 \geq 0 \\ (ii) & e_1 e_2 < 0 \; veya \; e_1 e_3 < 0 \\ (iii) & \begin{cases} eger \;\; e_1 > 0 : -2e_2^3 + 3e_1 e_2 e_3 + 2(e_2^2 - e_1 e_3)^{3/2} - e_1^2 e_4 > 0 \\ eger \;\; e_1 < 0 : -2e_2^3 + 3e_1 e_2 e_3 - 2(e_2^2 - e_1 e_3)^{3/2} - e_1^2 e_4 < 0 \end{cases} \end{array}\right\} \qquad \textbf{(4.23)}$$

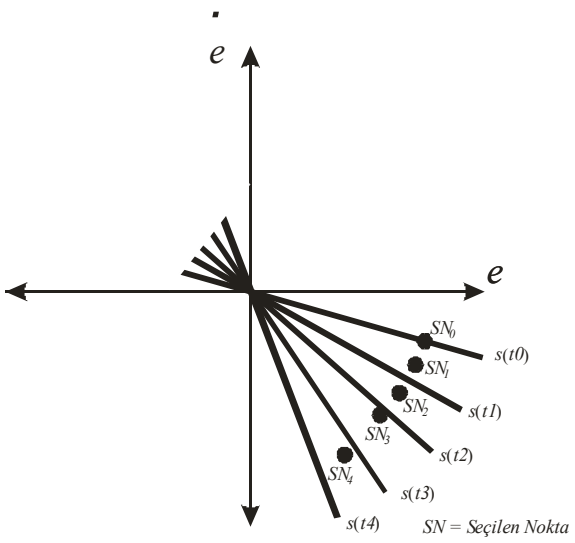
Bunlarla, dördüncü dereceden istenilen kayan yüzeyi elde etmek için, verilen kayan yüzey, denklem (4.22) veya denklem (4.23) de verilen durumları sağlanıyor ise istenilen kayan yüzeye doğru döndürülür, eğer durumları sağlamıyor ise istenilen kayan yüzeye doğru ötelenir.

4.2.2.5 BULANIK MANTIK İLE HAREKETLİ YÜZEY ALGORİTMASININ FORMÜLASYONU:

Seçilen noktayı hareketli kayan yüzeyde sabit bir uzaklıkta tutmak için aşağıdaki (4.24) de verilen gibi bir dilsel kural kullanılır.

Küçük $|s|$ ve büyük süreksizlik kazancı, yüksek $|\Delta s|$ **(4.24)**

Burada $|s|$, hareketli kayan yüzey fonksiyonu $s(e,t)$'nin mutlak değeridir ve $|\Delta s|$'de, $|s|$ değerinin yapması gereken değişiminin değeridir. Şekil 4.67 de ikinci dereceden sistem için döndürülen kayan yüzeyin dilsel kuralının gösterimi vardır.



Şekil 4.67: Dilsel kuralın gösterimi

Yukarıdaki Şekil 4.67 den, seçilen nokta kayan yüzeye yakın ise geniş bir rotasyona (bir eksen üzerinde dönmede diyebiliriz) ihtiyaç duyulduğu görülür. Seçilen nokta eğer yüzeyden uzak ise sadece küçük bir rotasyon yeterlidir.

Denklem (4.24) de verilen dilsel kuralı gerçekleştirmek için $|s|$ ve toplam süreksizlik kazancı $\gamma(x,t)$ olduğunda kullanılabilecek kontrolör aşağıda denklem (4.25) deki gibi tanımlanmıştır.

$$\gamma(x,t) = k + \sum_{i=1}^{q} \left| \tilde{g}_i(x,t) \right| \qquad \textbf{(4.25)}$$

Buradaki e, $\dot{e}$, $|s|$ ve $\gamma(x,t)$'yi tanımlamak için dilsel giriş parametreleri aşağıda denklem (4.26) deki gibi verilir;

e = { G_CK, G_KC, G_OR, G_BY }

$\dot{e}$ = { G_CK, G_KC, G_OR, G_BY }

s = {G_CK, G_KC, G_OR, G_BY, G_CB }

γ = { G_CK, G_KC, G_OR, G_BY, G_CB } **(4.26)**

Burada C_CK = çok küçük çıkış, C_KC = küçük çıkış, C_OR = orta çıkış, C_BY = büyük çıkış, C_CB = çok büyük çıkış anlamına gelir.

Ayrıca buradaki λ ve Δs 'yı tanımlamak için dilsel çıkış parametreleri aşağıda denklem (4.27) deki gibi verilir;

Ayrıca dilsel çıkış değişkeni, döndürme veya öteleme için söyle tanımlanmıştır;

λ = {C_CK, C_KC, C_OR, C_BY }

Δs = { C_CK, C_KC, C_OR, C_BY, C_CB } **(4.27)**

Tüm giriş ve çıkış bulanık değişkenleri pozitif olarak seçilir. Çünkü bulanık değişkenlerin işaretleri, döndürme ve öteleme yönüyle belirlenir. Ayrıca hesaplama zamanı ve gerekli hafıza için kullanışlıdır. Bulanık değişken örneği simulasyonlarda ayrıca gösterilmiştir. Bulanık algoritmasının giriş – çıkış ilişkisi (4.64) ve (4.27) de bulanık değişkenlerle aşağıdaki gibi verilmiştir.

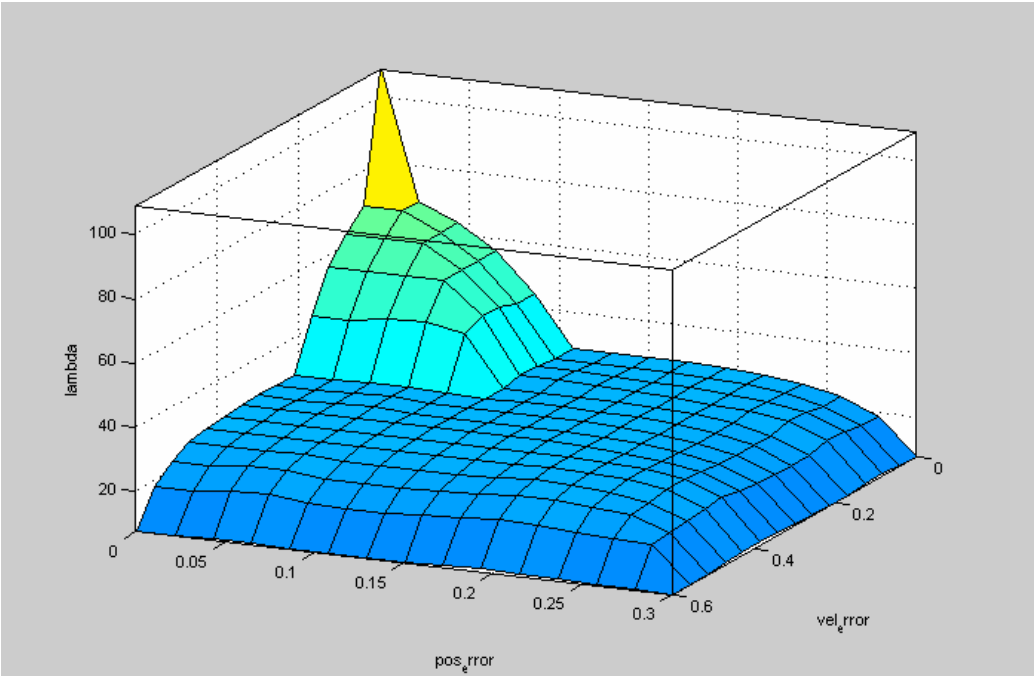
$e,\ \dot{e} \rightarrow \lambda$

$s, \gamma \rightarrow \Delta s$

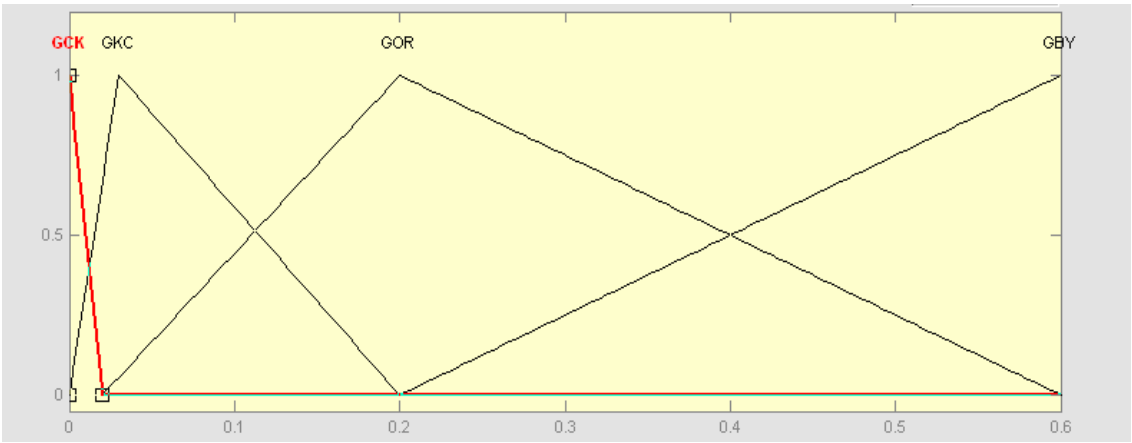
Kayan yüzeyi döndürmek için değişen eğim, λ için Tablo 4.3 de verilen giriş çıkış sembollerinin matematiksel değerleri Şekil 4.68.a da verilmiştir.

Tablo 4.3: Yöntem 2 için hazırlanmış, λ değerini veren bulanık mantık kural tabanı

Λ	***E***			
$\dot{e}$	**G_CK**	**G_KC**	**G_OR**	**G_BY**
G_CK	C_BY	C_OR	C_KC	C_CK
G_KC	C_OR	C_OR	C_KC	C_CK
G_OR	C_KC	C_KC	C_KC	C_CK
G_BY	C_CK	C_CK	C_CK	C_CK

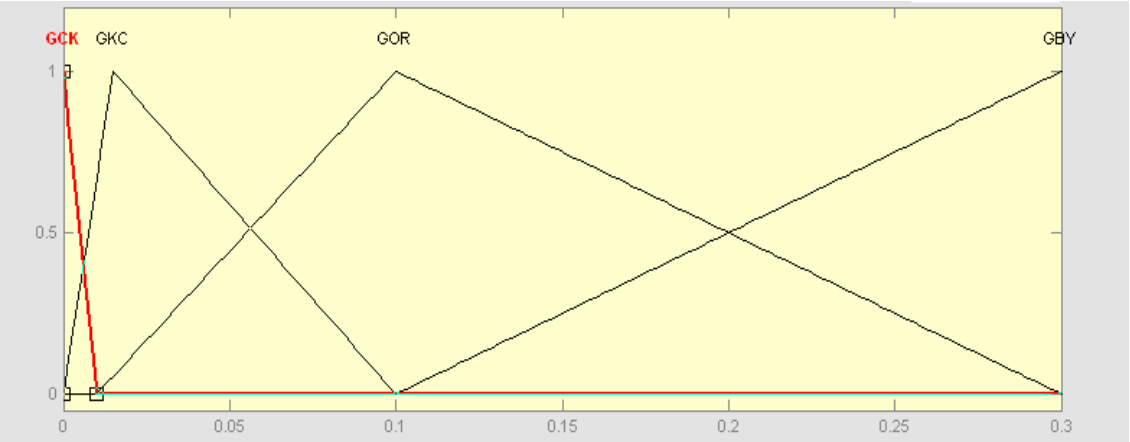


Şekil 4.68.a: Yöntem 2 de kayan yüzeyin eğimi, λ için giriş ve çıkış değerleri

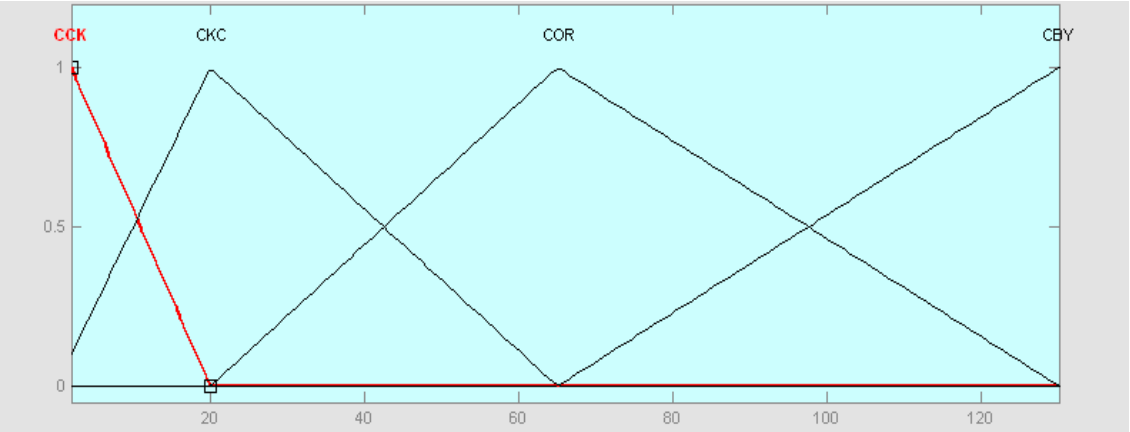


Şekil 4.68.b: Giriş değeri olarak kullanılan hız hatası üyelik fonksiyonu

Tablo 4.3 de verilen kural tablosu deneyimler sonucu elde edilen veriler ile doldurulmuştur. Şekil 4.68.b de verilen hız hatasının üyelik fonksiyonları ile şekil 4.68.c de verilen yol hatasının üyelik fonksiyonları sonucunda elde edilen λ'nın üyelik fonksiyonları ise şekil 4.68.d de verilmiştir



Şekil 4.68.c: Giriş değeri olarak kullanılan yol hatası üyelik fonksiyonu

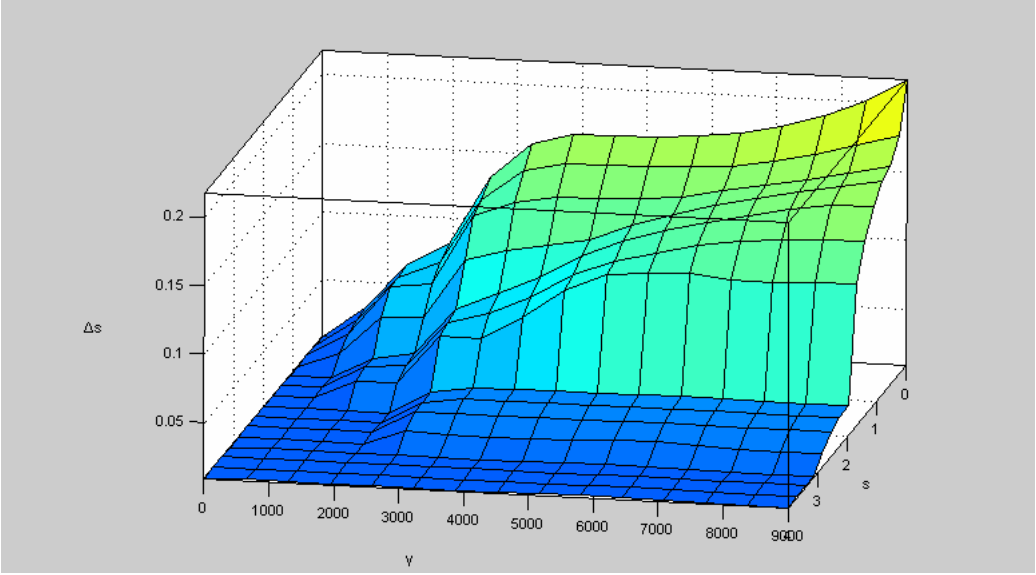


Şekil 4.68.d: Çıkış değeri olarak kullanılan λ katsayısının üyelik fonksiyonu

Kayan yüzeyi ötelemek için gerekli α(t) fonksiyonu için gerekli Δs için Tablo 4.4 de verilen giriş çıkış sembollerinin matematiksel değerleri Şekil 4.69.a da verilmiştir.

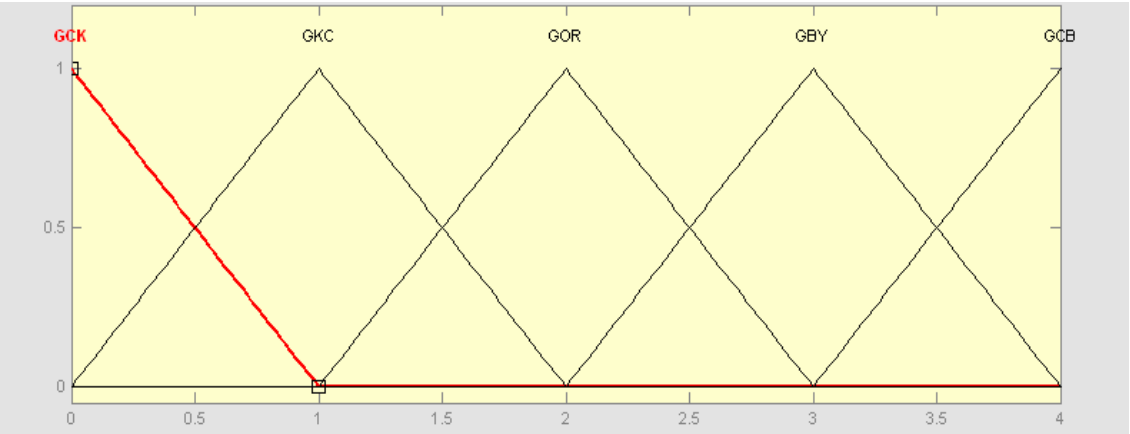
Tablo 4.4: Yöntem 2 için hazırlanmış Δs değerlerini veren bulanık mantık kural tabanı

Δs	**Γ**				
S	**G_CK**	**G_KC**	**G_OR**	**G_BY**	**G_CB**
G_CK	C_CK	C_KC	C_OR	C_BY	C_CB
G_KC	C_CK	C_CK	C_KC	C_OR	C_BY
G_OR	C_CK	C_CK	C_CK	C_KC	C_KC
G_BY	C_CK	C_CK	C_CK	C_CK	C_CK
G_CB	C_CK	C_CK	C_CK	C_CK	C_CK

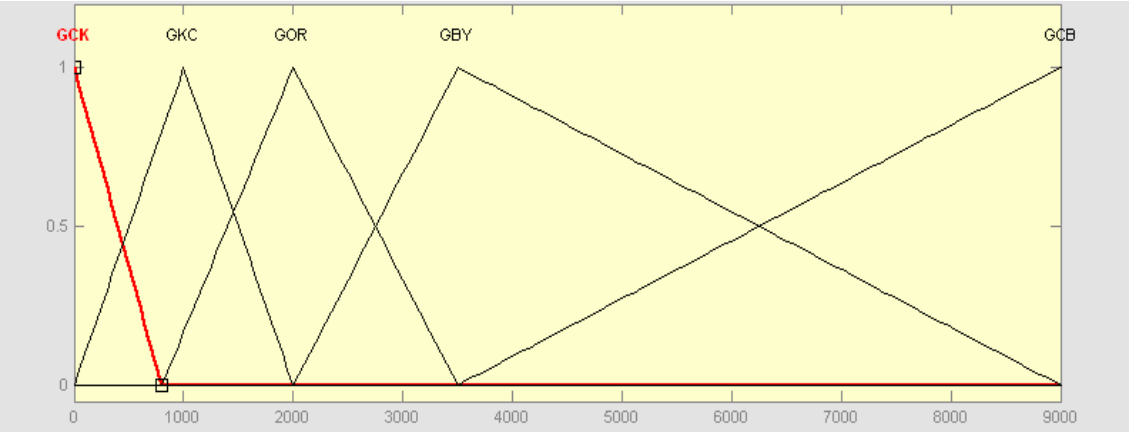


Şekil 4.69.a: Yöntem 2 de kayan yüzeyi ötelemek için gerekli α(t) fonksiyonu için gerekli Δs için giriş ve çıkış değerleri

Tablo 4.4 de verilen kural tablosu deneyimler sonucu elde edilen veriler ile doldurulmuştur.

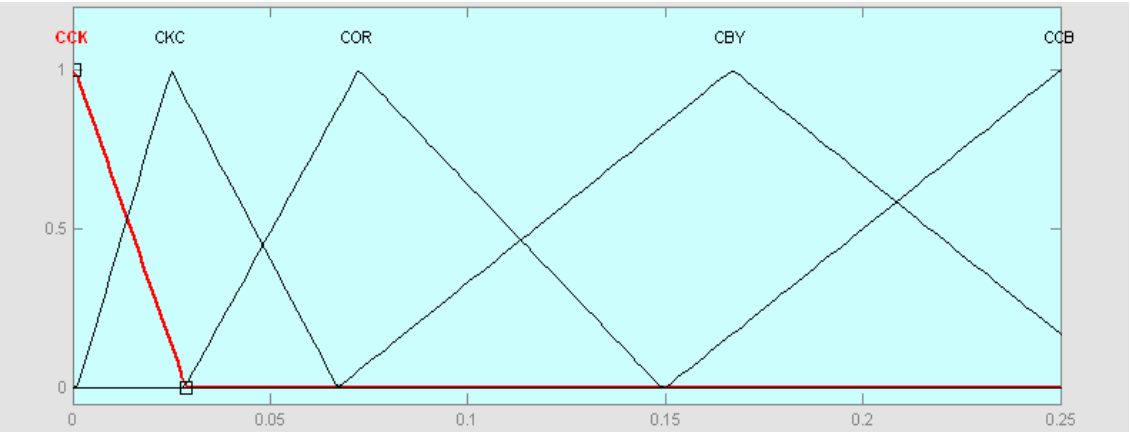


Şekil 4.69.b: Giriş değeri olarak kullanılan γ için üyelik fonksiyonu



Şekil 4.69.c: Giriş değeri olarak kullanılan *s* için üyelik fonksiyonu

Şekil 4.69.b de verilen γ üyelik fonksiyonları ile şekil 4.69.c de verilen *s* üyelik fonksiyonları sonucunda elde edilen Δs'in üyelik fonksiyonları ise şekil 4.69.d de verilmiştir.



Şekil 4.69.d: Çıkış değeri olarak kullanılan Δs katsayısının üyelik fonksiyonu

Denklem (4.10) de verilen hareketli kayan yüzey için bu algoritmanın kullanılabilmesi için, elde edilen Δs değerinin kayan yüzeyi öteleyebilmek için Δα dönüştürülmesi gereklidir. Δs ile Δα arasındaki ilişkiyi kurmak için, Δs'in Δα'ye göre denklem (4.28) de olduğu gibi kısmi türevleri alınır.

$$\frac{\partial s}{\partial \alpha} = -1 \qquad \textbf{(4.28)}$$

Yukarıdaki denklemlerden aşağıdaki denklem (4.29) elde edilir.

$$\Delta\alpha = w_s \Delta s \qquad \textbf{(4.29)}$$

Burada kullanılan w_s sistem karakteristiklerine ve basamak zamanına bağlı olan sayısal bir değerdir.

4.2.2.6 SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI:

Bir önceki bölümde verilmiş örnek olan örnekteki kontrolör yerine bulanık mantık ile tanımlanmış kayan kipli kontrolör kullanılarak Matlab 7.0 ile yapılan simülasyon sonuçları verilmiştir.

4.2.2.6.1 SİMÜLASYON 1:

Yukarıdaki doğrusal olmayan sisteme uygulanacak olan kayan kipli kontrolörün amacı, istenilen yörüngeye ulaşabilmek için gerekli kontrol kuralını elde etmektir.

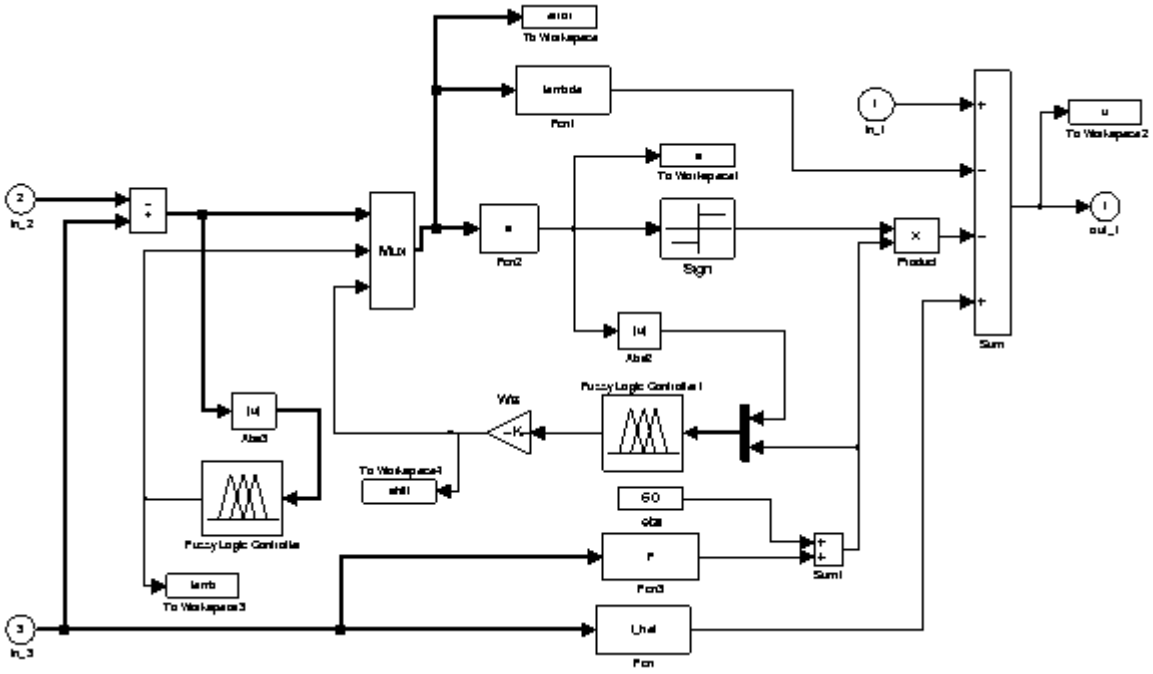
Aşağıda verilen Şekil 4.70 da simulinkte kullanılan doğrusal olmayan kayan yüzey, s ve elde edilen kontrol kuralı, u kullanılarak doğrusal olmayan sisteme uygulanan kayan kipli kontrolör çizilmiştir. Şekil 4.70 da Fcn3 bloğu $0.5\dot{x}^2|\cos 3x|$ fonksiyonunu, Fcn bloğu ise $1.5\dot{x}^2\cos 3x$ fonksiyonunun elde edilmesini sağlar.

Denklem (3.1) de s olarak tanımlanan doğrusal olmayan kayan yüzey simülasyonlar da aşağıdaki gibi ifade edilmiştir. Burada $e_1 = \dot{e}$ ve $e_2 = e$ olarak yazılır. Ayrıca denklem (3.3) de u olarak tanımlanan kontrol kuralı simülasyonlarda aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

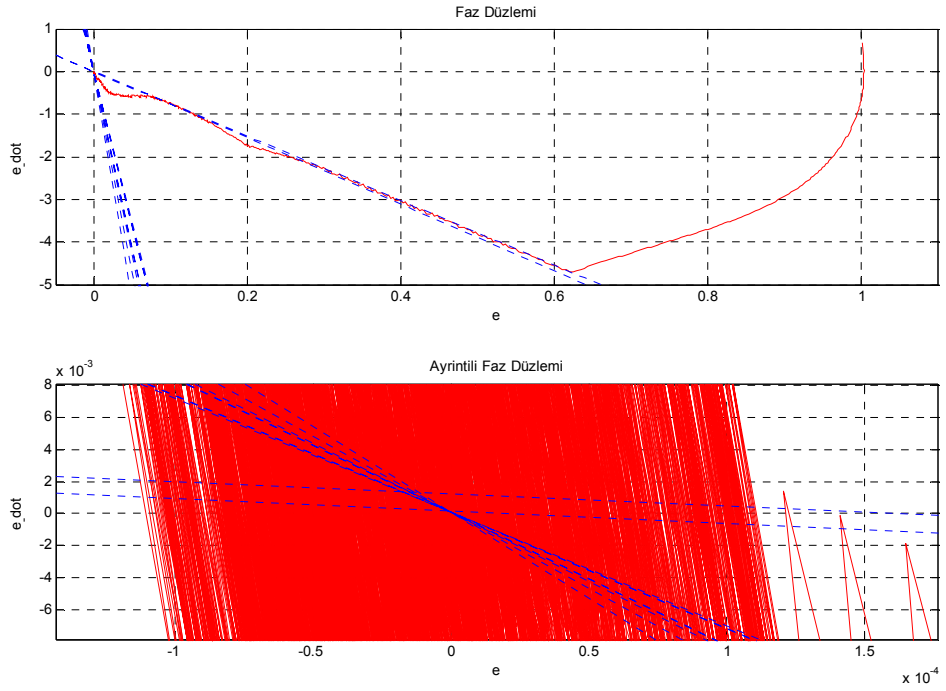
s = bulanık (λ) e_1 + e_2 + bulanık(α)

u = $\ddot{x}$ - 20e_2 sign [0.5* $\dot{x}^2$*|cos3x| + 60] + 1.5* $\dot{x}^2$*cos3x

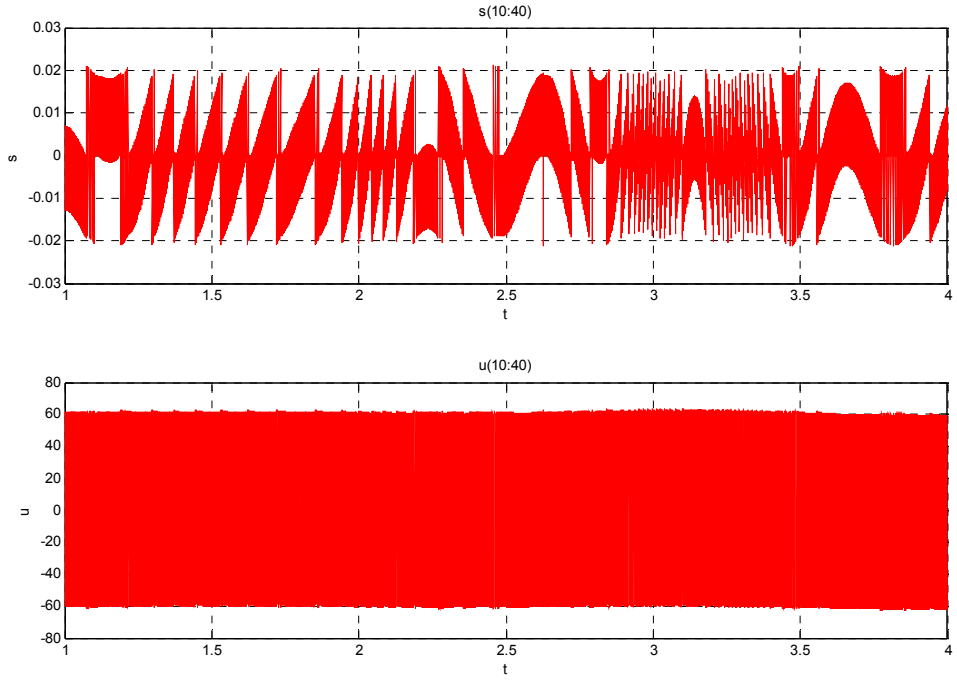
Verilen değerlerle simulinkte elde edilen sonuçlar;



Şekil 4.70 : Yöntem 2 ile simulinkte kullanılan kayan kipli kontrolör



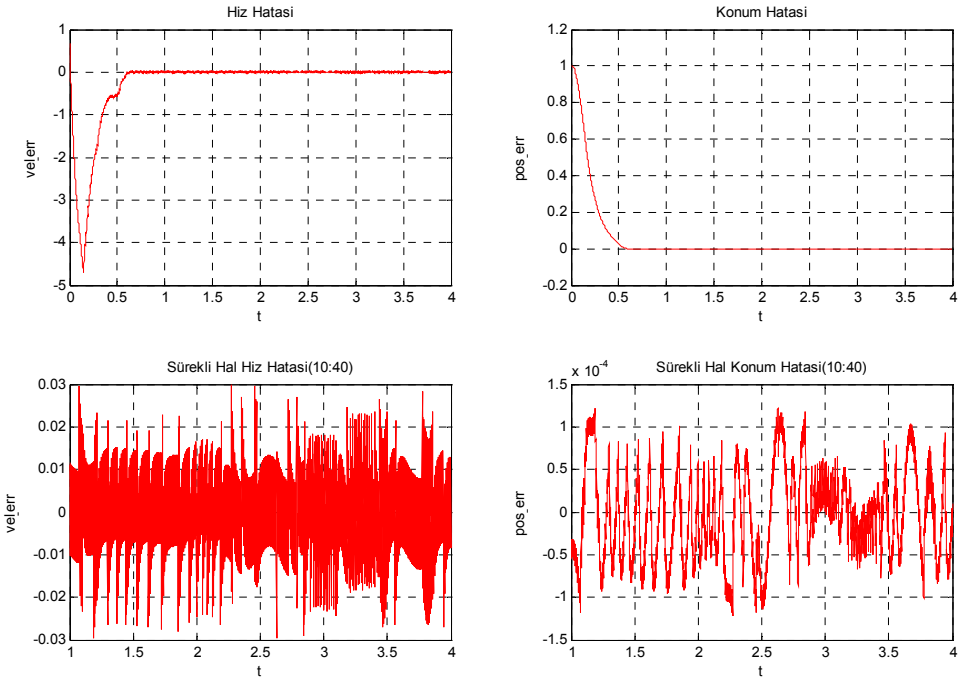
Şekil 4.71: Yöntem 2 ile faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm



Şekil 4.72: Yöntem 2 ile zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı

Yukarıdaki Şekil 4.71 de verilmiş olan (a) grafiğinde birinci bölgede bulunan başlangıç noktasından, faz düzleminin merkezinde ulaşana kadar izlediği yol gösterilmektedir. Şekil 4.71 de verilen (b) grafiğinde ise faz düzlemi daha ayrıntılı çizdirilmiştir. Burada sistem durumunun faz düzleminin merkezine gelene kadar meydana gelen çatırdama açıkça gösterilmiştir.

Yukarıdaki Şekil 4.72 de verilmiş olan (a) grafiğinde sürekli halde olan s değerinin -0.002 ile +0.002 arasında değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.72 de verilen (b) grafiğinde ise sürekli halde olan u değerinin -60 ile +60 arasındaki değişimi gösterilmiştir.

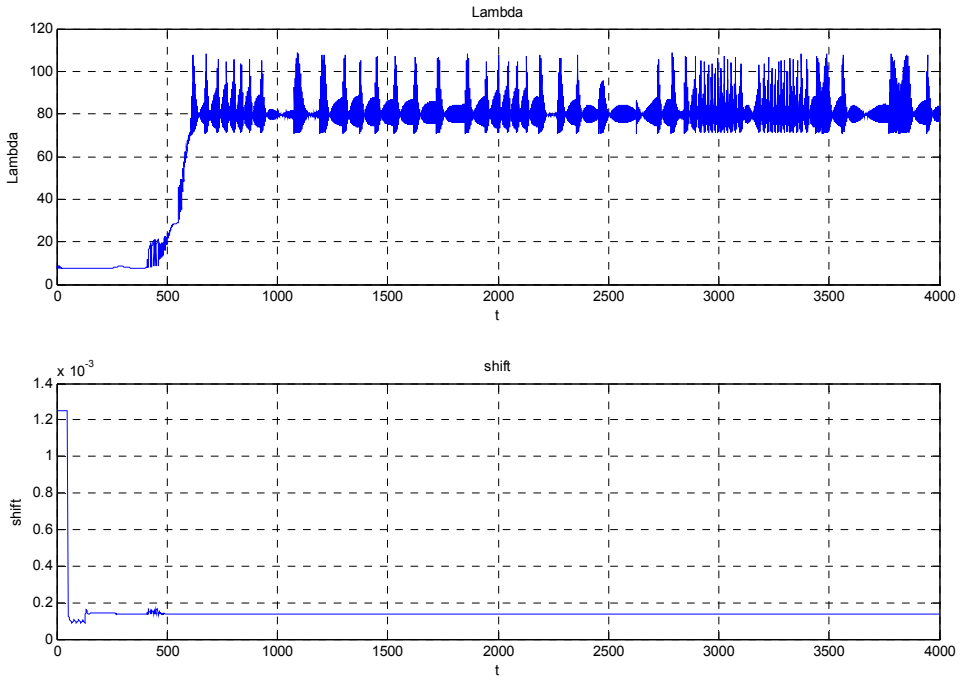


Şekil 4.73: Yöntem 2 için zamanla değişen a) hız hatası b) konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası

Yukarıdaki Şekil 4.73 da verilmiş olan (a) grafiğinde hız hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak hız hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 0.6 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 4.73 da verilmiş olan (b) grafiğinde konum hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak konum hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 0.6 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 4.73 da (c) grafiğinde sürekli haldeki hız hatasının -0.03 ile +0.03 arasındaki değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.73 da (d)

grafiğinde sürekli haldeki konum hatasının -0.00012 ile +0.00012 arasındaki değişimi gösterilmiştir.

Bulanık mantıkla oluşturulmuş kayan yüzeydeki ötelenme değeri ve yüzey eğimi değişimi Şekil 4.74 da verilmiştir.

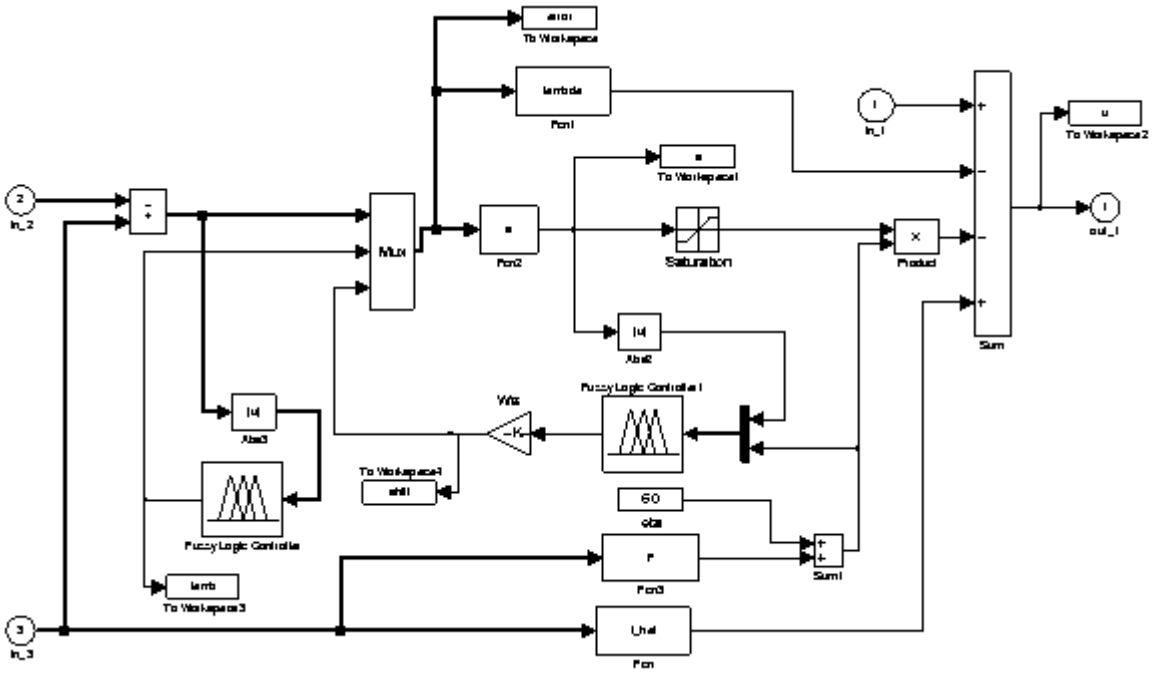


Şekil 4.74: Yönrem 2 için a) λ değişimleri b) α değişimleri

4.2.2.6.2 SİMULASYON 2:

Yukarıdaki bulanık mantık ile tanımlanmış doğrusal olmayan sisteme uygulanacak olan kayan kipli kontrolörün amacı, istenilen yörüngeye ulaşabilmek için çatırdama etkisini azaltacak gerekli kontrol kuralını elde etmektir. Bu yüzden signum fonksiyonu yerine saturasyon fonksiyonunu yerleştirerek yukarıdaki simulasyonlar tekrar gerçekleştirilir.

Aşağıda verilen Şekil 4.75 de simulinkte kullanılan doğrusal olmayan kayan yüzey, s ve elde edilen kontrol kuralı, u kullanılarak doğrusal olmayan sisteme uygulanan kayan kipli kontrolör çizilmiştir. Şekil 4.75 de Fcn3 bloğu $0.5\dot{x}^2|\cos 3x|$ fonksiyonunu, Fcn bloğu ise $1.5\dot{x}^2\cos 3x$ fonksiyonunun elde edilmesini sağlar.



Şekil 4.75: Yöntem 2 de saturasyon fonksiyonu ile simulinkte kullanılan kayan kipli kontrolör

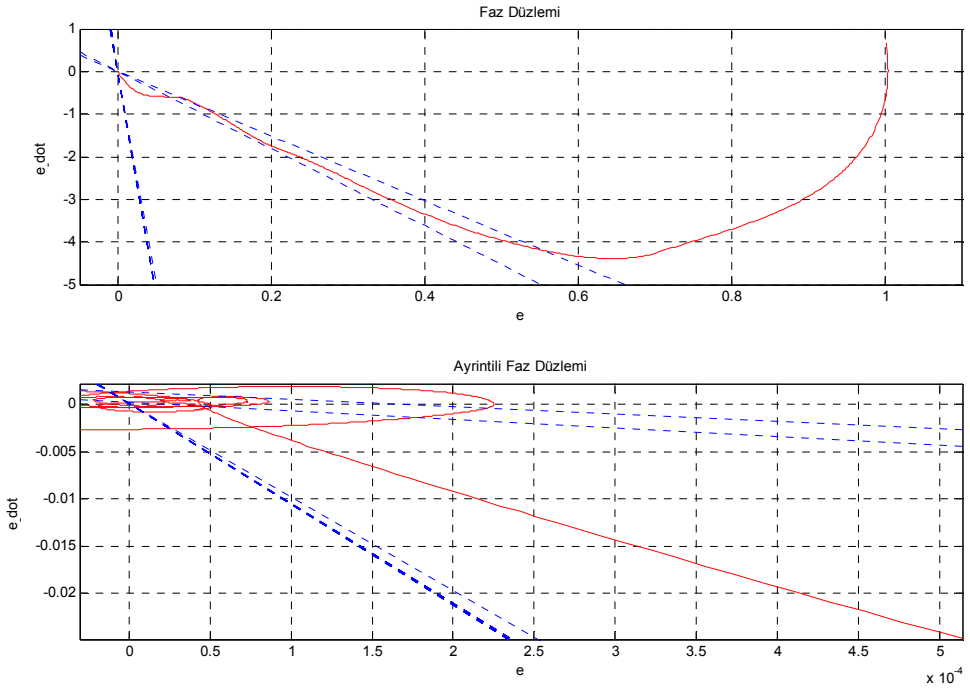
Denklem (3.1) de s olarak tanımlanan doğrusal olmayan kayan yüzey simülasyonlar da aşağıdaki gibi ifade edilmiştir. Burada $e_1 = \dot{e}$ ve $e_2 = e$ olarak yazılır. Ayrıca denklem (3.3) de u olarak tanımlanan kontrol kuralı simülasyonlarda aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

s = bulanık (λ) $e_1 + e_2$ + bulanık(α)

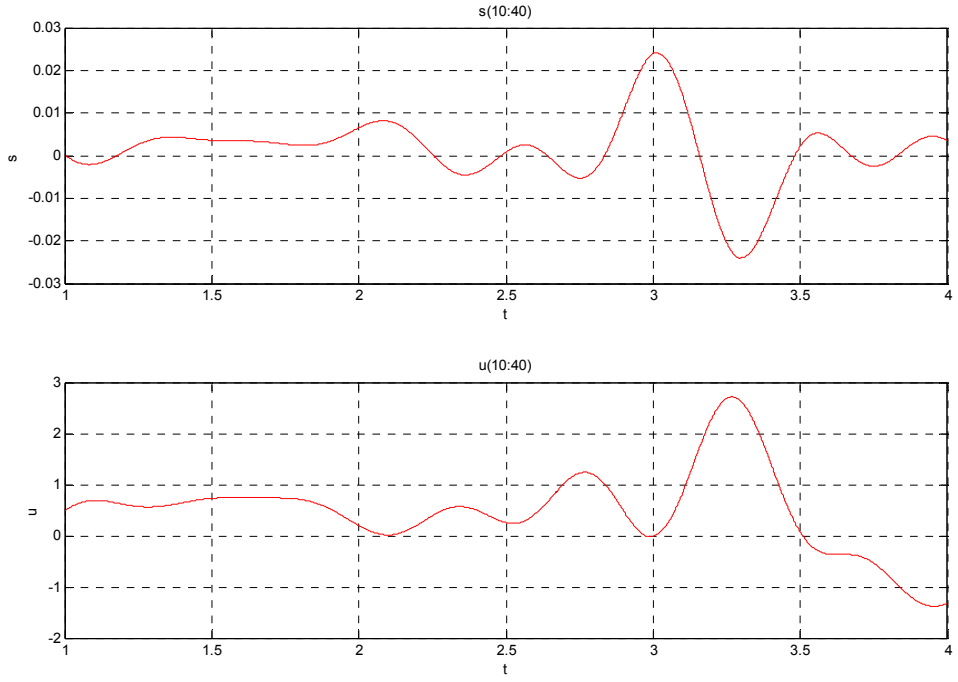
$$u = \ddot{x} - 20e_2 \text{ sat } [\ 0.5 * \dot{x}^2 * |\cos 3x| + 60\ ] + 1.5 * \dot{x}^2 * \cos 3x$$

Verilen değerlerle simulinkte elde edilen sonuçlar;

Yukarıdaki Şekil 4.76 de verilmiş olan (a) grafiği ile Şekil 4.76 de verilmiş olan (a) grafiği karşılaştırıldığında pek bir fark gözükmese de, verilen kayan kipli kontrolör için faz düzleminde oluşan çatırdamanın azaldığı Şekil 4.76 de verilmiş olan (b) grafiği ile Şekil 4.76 de verilmiş olan (b) grafiği karşılaştırıldığında açıkça gözükmektedir.

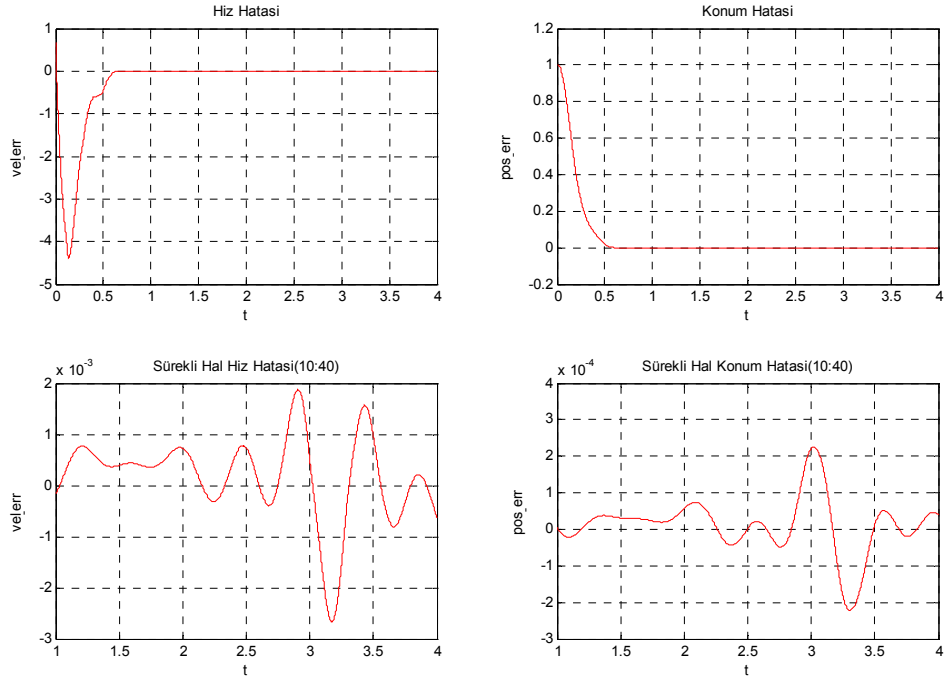


Şekil 4.76: Yöntem 2 de saturasyon fonksiyonu için faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm



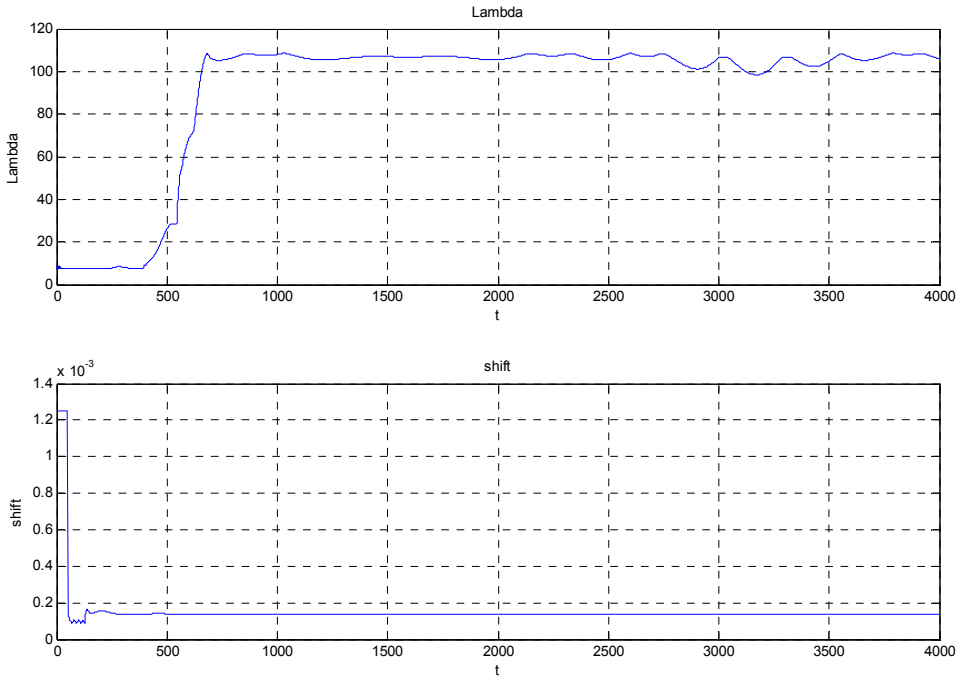
Şekil 4.77: Yöntem 2 de saturasyon fonksiyonu için zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı

Yukarıdaki Şekil 4.77 de verilmiş olan (a) grafiğinde sürekli halde olan s değerinin -0.025 ile +0.025 arasında değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.77 de verilen (b) grafiğinde ise sürekli halde olan u değerinin –1.5 ile +2.7 arasındaki değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.78: Yöntem 2 de saturasyon fonksiyonu için zamanla değişen a) hız hatası b) konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası

Yukarıdaki Şekil 4.78 de verilmiş olan (a) grafiğinde hız hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak hız hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 0.65 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 4.78 de verilmiş olan (b) grafiğinde konum hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak konum hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 0.65 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 4.78 de (c) grafiğinde sürekli haldeki hız hatasının -0.0025 ile +0.0018 arasındaki değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.78 de (d) grafiğinde sürekli haldeki konum hatasının -0.00022 ile +0.00022 arasındaki değişimi gösterilmiştir.

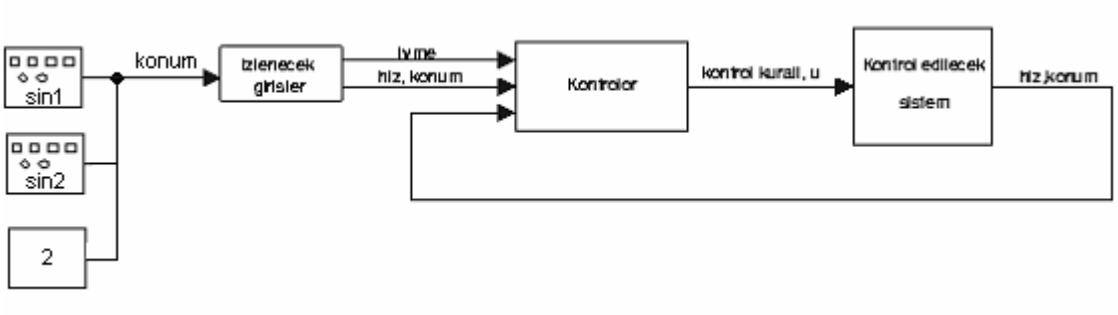


Şekil 4.79: Yöntem 2 de saturasyon fonksiyonu için a) λ değişimleri b) α değişimleri

Bulanık mantıkla oluşturulmuş kayan yüzeydeki ötelenme değeri ve yüzey eğimi değişimi Şekil 4.79 da verilmiştir.

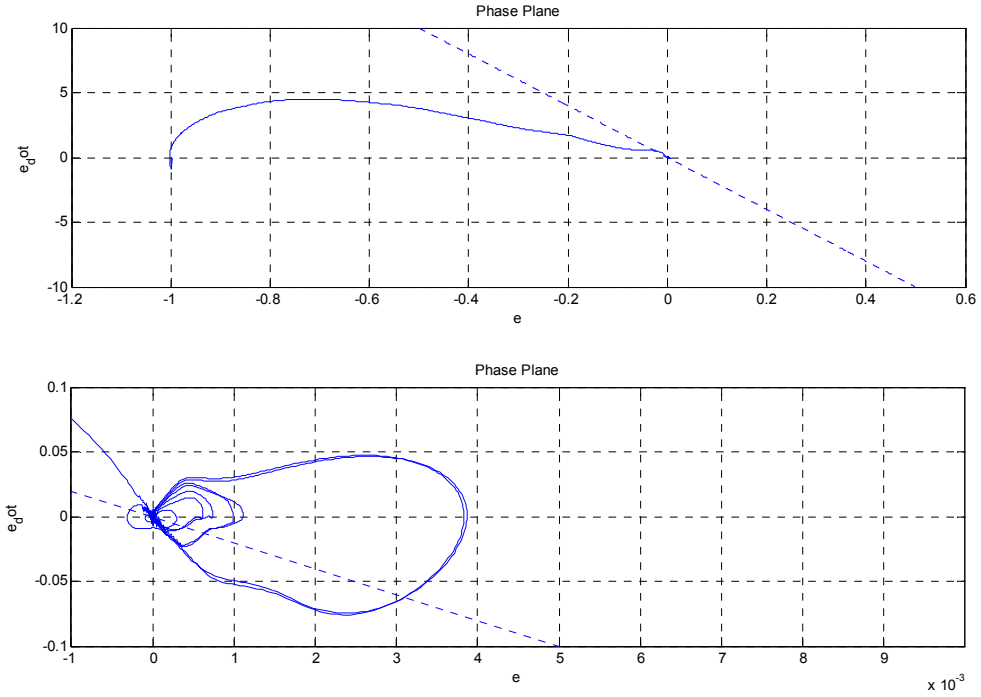
5 BULANIK MANTIKLA OLUŞTURULMUŞ YÜZEYLERİN SİSTEM CEVAPLARI

Bölüm 4 içinde seçilen sistem girişi kayan kipli kontrolörlerimizin sistem durumlarının faz düzleminin birinci bölgesinden kaymaya başlamasını sağlamıştır. Bu bölümde ise Şekil 5.1 de verildiği gibi değiştirilen sistem girişi sayesinde kayan kipli kontrolörlerimizin sistem durumlarının faz düzleminin üçüncü bölgesinden kaymaya başlaması sağlamıştır. Bu bölüm içinde başlangıç durumu üçüncü bölgede olan kayan kipli sistem çıkışları verilmiştir. Bu bölümün sonunda iki farklı bulanık mantık metodu için elde edilen sonuçlar karşılaştırılacaktır.



Şekil 5.1: Sistem başlangıç durumu üçüncü bölgede olan kayan kipli kontrolör yapısı

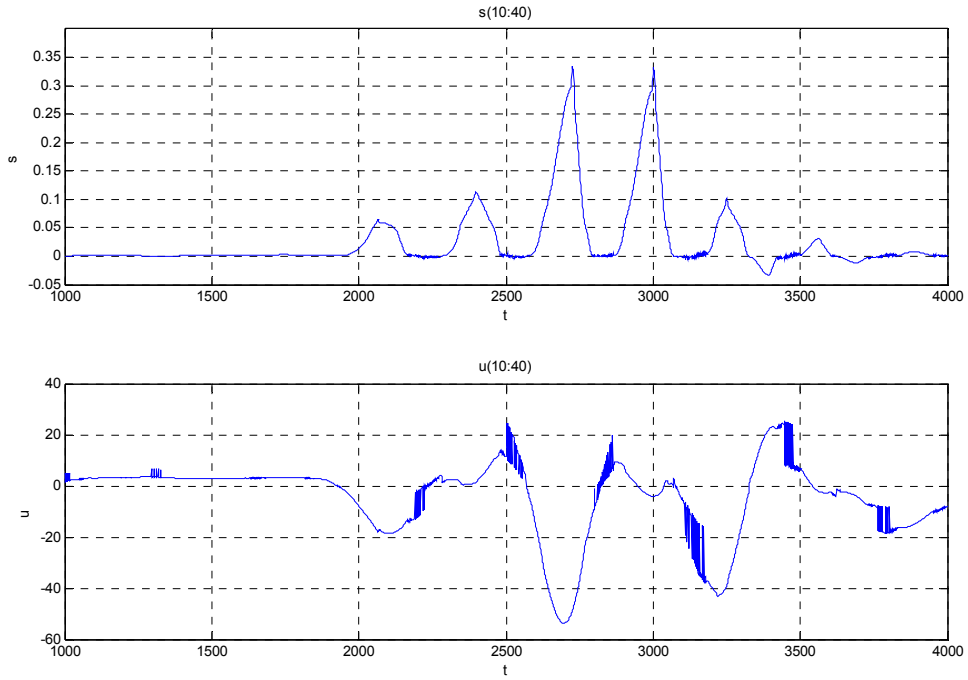
5.1 YÖNTEM 1



Şekil 5.2: Sistem başlangıç durumu 3. bölgede iken yöntem 1 ile faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm

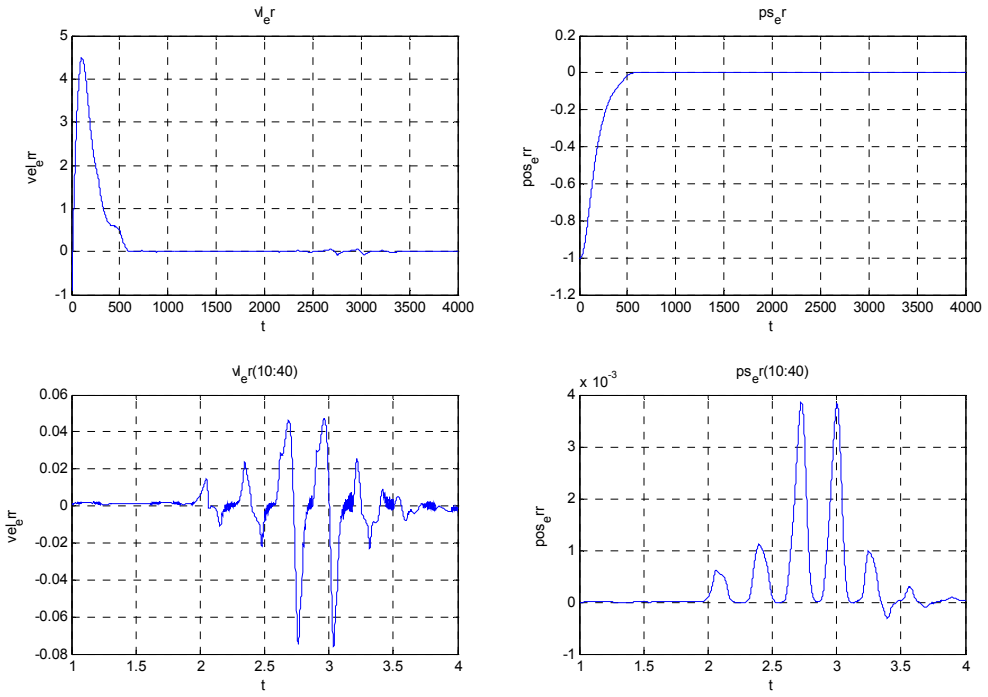
Yukarıdaki Şekil 5.2 de verilmiş olan (a) grafiğinde üçüncü bölgede bulunan başlangıç noktasından, faz düzleminin merkezinde ulaşana kadar izlediği yol gösterilmektedir. Şekil 5.2 de verilen (b) grafiğinde ise faz düzlemi daha ayrıntılı çizdirilmiştir.

Şekil 5.3 de verilmiş olan (a) grafiğinde sürekli halde olan s değerinin -0.04 ile +0.33 arasında değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.3 de verilen (b) grafiğinde ise sürekli halde olan u değerinin -55 ile +25 arasındaki değişimi gösterilmiştir.

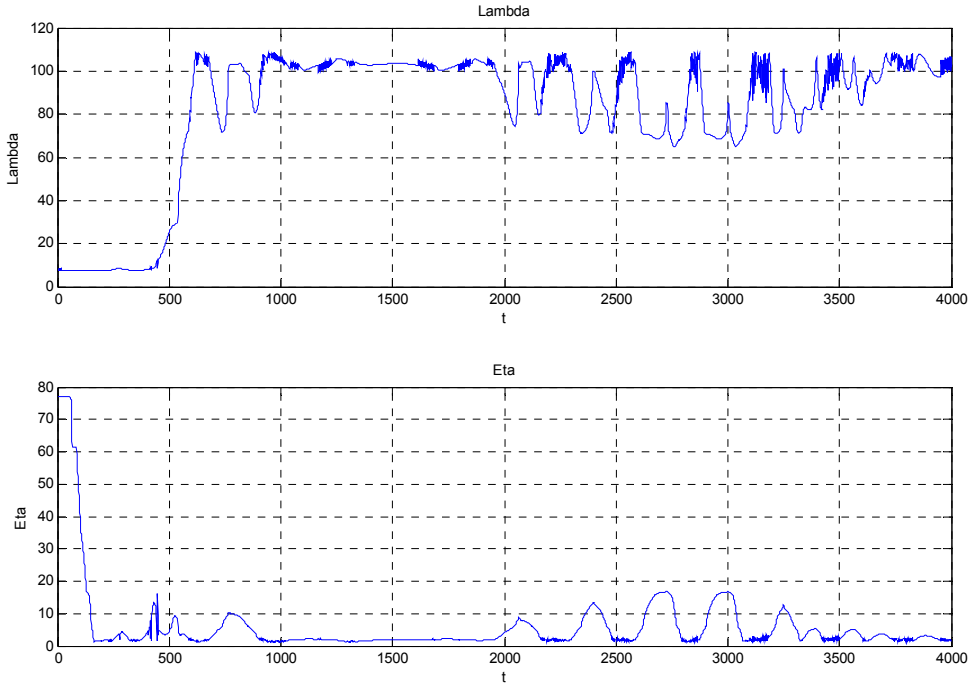


Şekil 5.3: Sistem başlangıç durumu 3. bölgede iken yöntem 1 ile zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı

Şekil 5.4 da verilmiş olan (a) grafiğinde hız hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak hız hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 0.6 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 5.4 da verilmiş olan (b) grafiğinde konum hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak konum hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 0.6 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 5.4 da (c) grafiğinde sürekli haldeki hız hatasının -0.075 ile +0.05 arasındaki değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.4 da (d) grafiğinde sürekli haldeki konum hatasının -0.0003 ile +0.004 arasındaki değişimi gösterilmiştir.



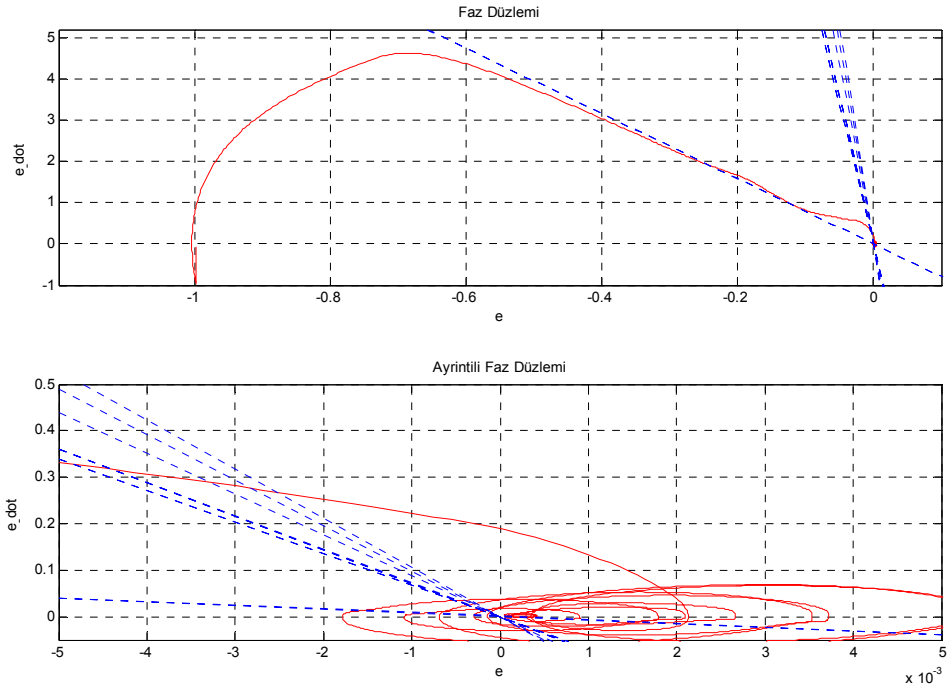
Şekil 5.4: Sistem başlangıç durumu 3. bölgede iken yöntem 1 ile zamanla değişen a) hız hatası b)konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası



Şekil 5.5: Sistem başlangıç durumu 3. bölgede iken yöntem 1 ile a) λ değişimleri b) η değişimleri

Bulanık mantıkla oluşturulmuş kayan yüzeydeki yaklaşma açısı ve yüzey eğimi değişimi Şekil 5.5 de verilmiştir.

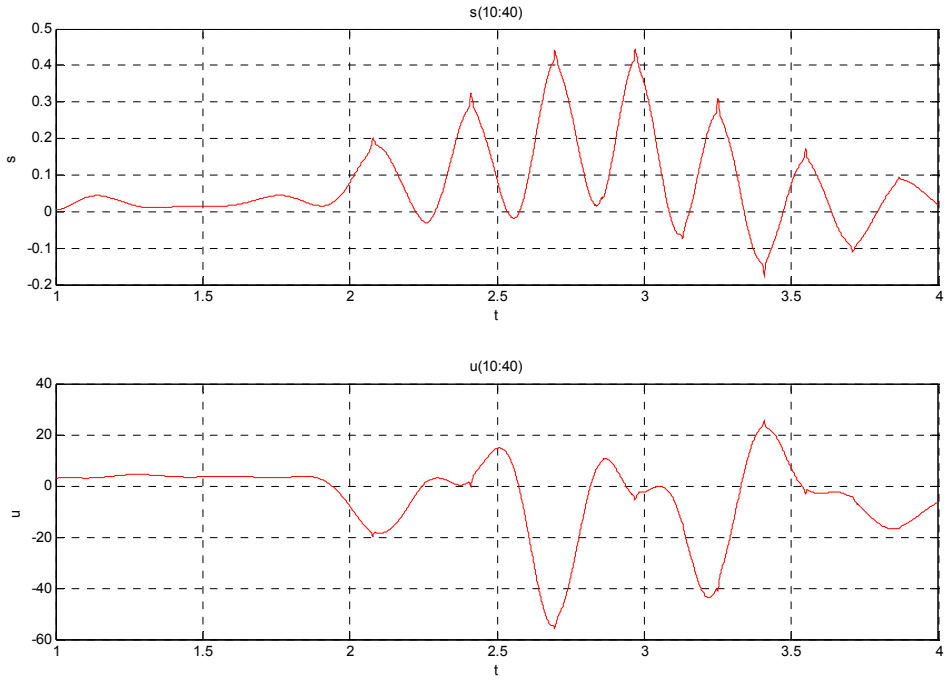
5.2 YÖNTEM 2



Şekil 5.6: Sistem başlangıç durumu 3. bölgede iken yöntem 2 ile faz düzlemi davranışı, a) genel görünüm, b) ayrıntılı görünüm

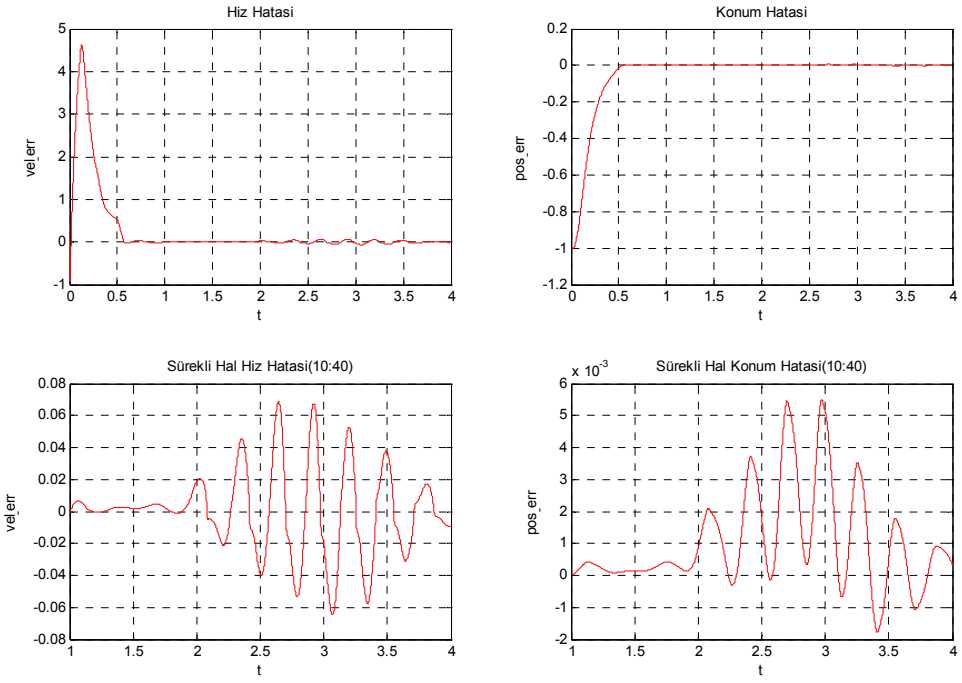
Yukarıdaki Şekil 5.6 de verilmiş olan (a) grafiğinde üçüncü bölgede bulunan başlangıç noktasından, faz düzleminin merkezinde ulaşana kadar izlediği yol gösterilmektedir. Şekil 5.6 de verilen (b) grafiğinde ise faz düzlemi daha ayrıntılı çizdirilmiştir.

Şekil 5.7 de verilmiş olan (a) grafiğinde sürekli halde olan s değerinin -0.002 ile +0.002 arasında değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.7 de verilen (b) grafiğinde ise sürekli halde olan u değerinin -60 ile +60 arasındaki değişimi gösterilmiştir.

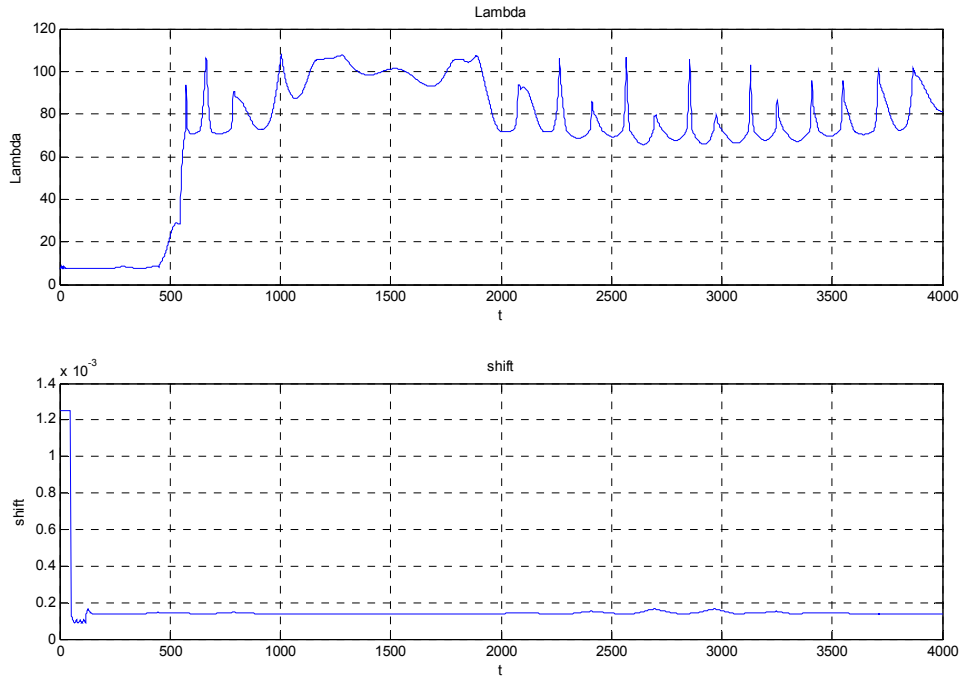


Şekil 5.7: Sistem başlangıç durumu 3. bölgede iken yöntem 2 ile zamanla değişen a) sürekli halde olan kayan yüzey b) sürekli halde olan kontrol kuralı

Şekil 5.8 da verilmiş olan (a) grafiğinde hız hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak hız hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 0.6 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 5.8 da verilmiş olan (b) grafiğinde konum hatasının zamanla değişimi gösterilmiştir. Buradan bakarak konum hatasının yerleşme zamanının yaklaşık 0.6 saniye sürdüğü görülmektedir. Şekil 5.8 da (c) grafiğinde sürekli haldeki hız hatasının -0.065 ile +0.065 arasındaki değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.8 da (d) grafiğinde sürekli haldeki konum hatasının -0.0018 ile +0.0055 arasındaki değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5.8: Sistem başlangıç durumu 3. bölgede iken yöntem 2 ile zamanla değişen a) hız hatası b)konum hatası c) hızın sürekli hal hatası d) konumun sürekli hal hatası



Şekil 5.9: Sistem başlangıç durumu 3. bölgede iken yöntem 2 ile a) λ değişimleri b) α değişimleri

Bulanık mantıkla oluşturulmuş kayan yüzeydeki ötelenme değeri ve yüzey eğimi değişimi Şekil 5.9 da verilmiştir.

Bölüm 4 de kullanılan, farklı statik doğrusal olmayan fonksiyonlu yüzey sonucu oluşturulan kontrolörlerin sistem cevaplarını iyileştirmek için kullanılan bulanık mantık metotların da bu yüzeye göre hız ile konum hatasının azaldığı ve çok daha kısa yerleşme zamanına sahip oldukları görülmüştür.

Bölüm 4 ve bölüm 5 de verilen, bulanık mantık ile oluşturulan doğrusal olmayan kayan yüzeylerle elde edilen kontrolörlerin sistem cevaplarından bakılarak hız hatası, konum hatası ve yerleşme zamanı karşılaştırılabilir.

Bölüm 4 de, verilen sistem durumunun baş1angıç noktası birinci bölgede bulunmaktadır. Burada signum fonksiyonu ile elde edilen bulanık mantık sistem sonuçlarından, yöntem 1 deki hız ve yol hatası, yöntem 2 ye göre daha az çıkmıştır. Buradaki yerleşme zamanı karşılaştırıldığında ise yöntem 1 ile yöntem 2'nin zamanı aynı çıkmıştır. Burada saturasyon fonksiyonu ile elde edilen bulanık mantık sistem sonuçlarından ise, yöntem 2 deki hız ve yol hatası, yöntem 1 ye göre daha az çıkmıştır. Buradaki yerleşme zamanı karşılaştırıldığında ise yöntem 1'in yerleşme zamanının yöntem 2'nin yerleşme zamanından uzun olduğu gözükmüştür. Bölüm 5 de, verilen sistem durumunun baş1angıç noktası üçüncü bölgede bulunmaktadır. Burada bulanık mantık sistem sonuçlarından, yöntem 1 deki hız ve yol hatası, yöntem 2 ye göre daha az çıkmıştır. Buradaki yerleşme zamanı karşılaştırıldığında ise yöntem 1 ile yöntem 2'nin zamanı aynı çıkmıştır.

Signum fonksiyonunun yerleşme zamanları daha kısa çıkmış olmasına rağmen, sistemde oluşan yüksek frekanslı anahtarlama, yani çatırdama aslında sistemin mekanik yapısına zarar verir ve kısa sürede kontrolörün bozulmasına neden olur. Bu nedenden gerçek hayatta sistemlerde çatırdamanın engellenmesi yani saturasyon fonksiyonunun seçilmesi tercih edilir. Bu yüzden saturasyon fonksiyonu kullanıldığında, sistem durumunun baş1angıç noktası birinci ve üçüncü bölgede bulunan sistemlerde hız ile yol hatası ve yerleşme zamanı bakımından yöntem 2 daha iyi sonuç vermiştir.

6 SONUÇ

Bu çalışmada günümüzde doğrusal olmayan sistem kontrolünde oldukça sık kullanılan kayan kipli kontrolör tasarımı yapılmıştır. Bu tez içerisinde ikinci dereceden doğrusal olmayan sistem kontrolünün nasıl yapılacağı incelenmiştir. Kayan kipli kontrolör tasarımı, kontrol kuralı ve kayan yüzey oluşturularak yapılır. Kullanılan sistemlerde, kayan kipli kontrolör tasarımı, sistematik bir yaklaşımla kesin olmayan modellemede, sistemin kararlılığının ve performansının tutarlı bir şekilde olmasını sağlar.

Kontrol tasarımı yaparken, kayan kipte oldukça önemli olan kayan yüzey tasarımı yapılmıştır. Kayan yüzey tasarımı yapılırken önce doğrusal yüzeyler elde edilmiş, sonra bunların kararsızlık ve performans üzerine olan kötü etkilerini elimine etmek için doğrusal olmayan yüzey tasarımı yapılmıştır. Elde edilen doğrusal olmayan yüzeylerden daha iyi sonuçlar elde etmek için de bulanık mantık kullanılmıştır. Bulanık mantık kullanılarak iki farklı kayan yüzey tasarımı yapılmış, daha sonra farklı şartlarda tasarlanan yüzeyler karşılaştırılmıştır. Bulanık mantık kullanılarak tasarlanan yüzeyler de, başlangıç sistem durumu hata faz düzleminin farklı bölgelerinde iken elde edilen sistem kararlılığı, ulaşma zamanı gibi sonuçların farklılık gösterdiği görülmüştür. Yani bu tezin başında da belirtildiği üzere sistem başlangıç koşulları ile kullanılan kontrolör simulasyon sonuçlarını etkiler. Elde edilen simulasyon sonuçları tez içinde ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

Bu tezde incelenen kayan kipli kontrol yöntembilimi, aslında basit bir yaklaşımla dayanıklı kontrolördür. Bu yöntemle 1. dereceden sistemlerin (1.dereceden diferansiyel denklemlerle tanımlanmış olan sistemlerin) kontrolü daha kolaydır. Bunlar doğrusal olmayan ve belirsiz olabilirler, buradan da n. derece sistemlerin (n. dereceden diferansiyel denklemlerle tanımlanmış sistemlerin) kontrolü yapılabilir. Buda simgelerle basitleştirilerek, n. dereceden problemlerin, buna eşdeğerde olan 1. dereceden

problemlerle tanımlanması ile yapılır. Bu çalışma içinde yapılan ikinci dereceden doğrusal olmayan sistem kontrolöründe kullanılan kayan yüzey yaklaşımları yüksek dereceli sistemlerin kontrolünde kullanılabilir. Bu çalışmayı geliştirmek için bulanık mantıkla tasarlanan yüzey yöntemleri, n. dereceden sistemlerde kullanmak için algoritmalar geliştirilebilir. Bu sayede tasarlanan yöntemler pratikte kullanılabilir hale getirilebilir.

KAYNAKLAR

[1] **Slotine, JJ., and Li, W.,** 1991. Applied Nonlinear Control. *Englewood Cliffs, NJ: Pretince Hall.*

[2] **Jabbari, A., Tomizuka, M., Sakaguchi, T.,** 1990. Robust Discrete-Time control of continuous time plant, *Symposium on Flexible Atomation, USA, pp.573-79.*

[3] **Sira-Ramirez, H., and Rios-Bolivar, M.,** 1994. Sliding mode control of dc-to-dc powerconverters viaextended linearization. *IEEE Trans. On Circuits and Systems, vol. 41, no. 10, 652-661.*

[4] **Jabbari, A., Tomizuka, M., and Sakaguchi, T.,** 1990b, Robust nonlinear control of positioning systems with striction. Proc. *American Control conferance, 1097-1102.*

[5] **Lee, J.J.,** 1991, Adaptive tracking controller of DC servomotors. *IEEE Transaction on Circuits and Systems 37(4), pp. 905-12.*

[6] **Chu, V.K.,** 1996, Sliding mode control with nonlinear surfaces – B-spline fuzzy logic approach. *Ph.D.Dissertation*, *UC Berkeley. IFAC I, 481-486.*

[7] **Chu, V.K., and Tomizuka, M.,** 1996, Sliding mode control with nonlinear surfaces. *IFAC I, 481-486.*

[8] **Utkin, V. I.,** 1978, Sliding Modes and their Applications in Variable Structure Systems *(Moscow: Mir)*

[9] **Ashchepkov,L.T.,** 1983, Optimization of sliding motions in a discontinuous systems. *Automation and Remote Control, 44, 1408-1415*

[10] **Dorling,C.M., and Zinober,A.S.I.,**1986, Two approaches to hyperplane design in multivariable variable structure systems. *International Journal of Control, **44**, 65- 82.*

[11] **Harashima, F.,Hashimoto,H., and Maruyama,K.,** 1986, Sliding mode control of manipulator with time-varying switching surfaces, *Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers, **22**, 335- 342*.

[12] **Chang,T.H., and Hurmuzlu,Y.,** 1992, Trajectory tracking in robotic systems using variable structure control without a reaching phase. *Proceedings of the 1992 American Control Conference, Vol. 2, Chicago, Illinois, pp. 1505-1509.*

[13] **Park, K.B., and Lee,J.J.,**1993, Variable structure controller for robotic using time-varying sliding surface. *Proceedings of the 1993 IEEE Conference on Robotics and Automation, Vol. 1, Atlanta, Georgia, pp. 89-93.*

[14] **Choi, S. B., and Park,D.W.,** 1994, Moving sliding surfaces for fast tracking control of second-order dynamical systems. *ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, **116**, 154- 158.*

[15] **Ackermann, J., and Utkin, V. I.,** 1994, Sliding mode control based on Ackermann's formula. *Proceedings of the 33rd IEEEConference onDecision andControl, vol. 4, Kobe, Japan, pp. 3622- 3627.*

[16] **Guldner, J., and Utkin,V.I.,**1996**,** Tracking the gradient of partificial field: sliding mode control for mobile robots. *International Journal of Control, **63**, 417- 432.*

[17] **Temeltaş, H.,** 1998, A fuzzy Adaptation Technique for Sliding Mode Controllers.

[18] **Park, D.W., and Choi S.B.,** 1999, Moving Sliding Surfaces for High-Order Variable Structure Systems. *Int. J. Control 1999, Vol 72, No 11, 960-970.*

[19] **Chun, K. and Sunwoo, M.,** 2004, An Application of Moving Sliding Surface to Robust and Fast Wheel Slip Control.

[20] **Başbuğ, M.,** 1995, Bulanık Adaptif Kayan Kipli Robot Kontrolü. *Doktora Tezi, ITU*

[21] **Tokat, S.,** 2003, Koordinat Dönüşümüne Dayalı Zamanla Değişen Kayma Yüzeyi Tasarım Yöntemleri. *Doktora Tezi, ITU.*

[22] **Ayday A.,** 1998, Asenkron Motorun 'Kayan Kip' Kontrolü, *Yüksek Lisans Tezi, ITU.*

[23] **Tapia, G., and Tapia A.,** 2005, Sliding Mode Control For Linear Permanent-Magnet Motor Position Tracking,

[24] **Mrozek, Z., and Tarasiewicz S.,** 2001, Attempting Sliding Mode controller to Mobile Robot Arc Welding Process. *III Krajova Konf. Metory i Systemy Komputerowe, pp:369-373*

[25] **Liu, J., Zhao, W. And Zhang L.,** 2004, Design of a Sliding Mode Controller Based on Fuzzy Logic. *Third İnternational Conferance on Machine Learning and Cybernetics, Shanghai.*

[26] **Kung, C. And Liao C.,** 1994, Fuzzy-Sliding Mode Controller Design For Tracking Control of Non-Linear System. *American Control Conferance, Baltimore, Maryland.*

[27] **Ho, H.F., Wong Y.K. and Rad A.B.,** 2004 , Adaptive Fuzzy Sliding Mode Control

Design: Lyapunov Approach, *5th Asian Control Conferance*.

[28] **Buckholtz, K., R.,** 2002, Approach Angle-Based Switching Function for Sliding Mode Control Design. *American Control Conferance Anchorage, AK*.

[29**] Qiao, F., Zhu, Q.M, Winfield, A. and Melhuish, C.,** 2003, Design of Takagi-Sugeno fuzzy model based sliding mode controllers for nonlinear systems

[30] **Vidyasagar, M.,** 1978, Nonlinear system Anaysis, *Prentice Hall.*

[31] **Chern,T.L., and Wu,Y.C.,**1991, Design of integral variable structure controller and application to electrohydraulic velocity servomechanism. *IEE Proceedings± D*, **138**, 439-444.

[32] **Choi,S. B.,Cheong,C.C., and Park,D.W.,** 1993, Moving switching surfaces for robust control of second-order variable structure systems. *International Journal of Control*, **58**, 229- 247.

[33] **Filippov,A.F.,** 1964, Di. erential equations with discontinuous right-hand side. *American Mathematical Society Transactions*, **42**, 199-231.

EK

Teorem 1

$\Lambda : \mathrm{R} \to \mathrm{R}$ İken sector [α, β] da, $0 < \alpha \le \beta \le \infty$, olsun. (3.8) de tanımlanan sistemde, L_2 sabit ve denge noktası $\tilde{x} = 0$ asimptotik olarak sabittir.

İspat : Basit ve açık olması için, $\tilde{x}$ 'nü ve y ile s'i u ile değiştirebiliriz. Sonuç olarak (3.8) eşitliği aşağıdaki hale dönüşür.

$$\dot{y} = -\Lambda(y) + u \qquad \text{(i.1)}$$

Ayrıca $\Lambda(y)$ 'yi $ay + \phi(y)$, ile değiştirerek aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$\dot{y} = -ay - \phi(y) + u$$

Burada $\phi(y) = \Lambda(y) - ay$, sector [0, β – α]'ya bağlı, statik doğrusal olmayan fonksiyondur.

Burada dinamik sistem circle criterionu tamamlar [30], ve L_2 sistemi kararlıdır. Diğer bir deyişle, y (veya $\tilde{x}$) çıkışı da L_2'dir.

g(p) kesin kararlı (çünkü α > 0) olduğundan beri, dinamik sistemin L_2 kararlılığı, dolaylı şekilde denge noktası y = 0, genel asimptotik kararlıdır.

Yukarıdaki sonuçlarla, yüksek dereceli kayan dinamikleri kararlılığını ispatlamak için, yüksek dereceden kayan dinamikleri birinci dereceden dinamiklere çevirerek seri bloklara ayrılır.

n. dereceden dinamik sistem için kayan dinamikleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$s = \left(\frac{d}{dt} + \Lambda_{n-1}(\cdot)\right)\left(\frac{d}{dt} + \Lambda_{n-2}(\cdot)\right)\ldots\left(\frac{d}{dt} + \Lambda_1(\cdot)\right)\tilde{x} \qquad \text{(i.2)}$$

Aynı şekilde, s yukarıdaki kayan dinamiklerinin tek girişidir. $\tilde{x}$ 'nü y_1 ile değişimi yukarıdaki (n – 1) dereceli dinamik sistemin aşağıdaki eşitliklere dönüşmesini sağlar.

$$y_2 = \left(\frac{d}{dt} + \Lambda_1(\cdot)\right)y_1$$

....

$$y_n = \left(\frac{d}{dt} + \Lambda_{n-1}(\cdot)\right)y_{n-1}$$

Burada y_n, s ile aynıdır. Alternatif olarak yukarıdaki eşitlikleri n – 1 birinci dereceden diferansiyel denklemler olarak yazabiliriz.

$$\dot{y}_i = -\Lambda_i(y_i) + y_{i+1} \qquad \text{i = 1, . . . , n – 1} \qquad \text{(i.3)}$$

Burada y_i'ye dikkat edilirse, i = 2,…, n – 2 için, birinci derece sistemin çıkışı aynı zamanda diğer birinci dereceden sistemin girişidir. y = $\{y_1, y_2, \ldots, y_{n-1}\}$ sistem durumu olsun, burada yukarıdaki sistem için y = 0'ın denge noktası açıkça gözükmektedir.

Teorem 2

(i.3)'de tanımlanan sistemde L_2 kararlıdır ve denge noktası y = 0 genel asimptotik kararlıdır.

İspat : $\Lambda_i(y_i)$ 'i $\phi(y_i)+\alpha_i y_i$ ile değiştirilirse, (i.3)'yi aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$\dot{y}_i = -\alpha_i y_i - \phi(y_i) + y_{i+1} \qquad i = 1, \ldots, n-1$$

Burada $\phi_i(y_i) = \Lambda_i(y_i) - \alpha_i y_i$, sector [0, $\beta_i - \alpha_i$]'ya bağlı sürekli fonksiyondur.

Her alt sistem için L_2'nin kararlılığı, overall sistemlerinin de L_2 kararlılığına sahip olduğunu gösterir. Diğer bir deyişle eğer s, L_2'nin içinde ise,y_{n-1}'de L_2'nin içindedir ve $y_{n-2}, y_{n-3}, \ldots, y_1$ şeklinde devam eder.

Teorem 1'i her alt sisteme eklediğimizde, $y_i = 0$, ϕ_i içeren alt sistemin denge noktası, genel asimptotik kararlıdır. Bu eşitlik y = 0'ın, overall sisteminin denge durumu olduğu ve genel asimptotik kararlı olduğunu söyler.

ÖZGEÇMİŞ

3 Temmuz 1981 senesinde İstanbul da doğdu. Üsküdar Fen Lisesini 1999 senesinde bitirdikten sonra, Yıldız Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme bölümünde lisans eğitimine başladı. Lisans eğitimini 2003 senesinde bitirdikten sonra aynı sene İstanbul Teknik Üniversitesi Kontrol ve Otomasyon bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı.

2003 ile 2005 seneleri arasında Kaim Aydınlatma Şirketi bünyesinde çalıştıktan sonra Mayıs 2005 den beri Nortel Netaş Firmasında çalışamaya devam etmektedir.