

**T. C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAOTİK SİSTEMLERİN LABVIEW ORTAMINDA GERÇEK ZAMANLI
SENKRONİZASYONU VE GÜVENLİ HABERLEŞME UYGULAMALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Güliden Günay BULUT

161113102

Anabilim Dalı: Elektrik Elektronik Mühendisliği

Programı: Elektronik

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Hasan GÜLER

TEMMUZ-2018

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmam boyunca bana yardımcı olan ve akademik çalışmalarına yön veren tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hasan GÜLER'e ve bu süreç boyunca bana olan desteklerini esirgemeyen Sayın Akgün BULUT, Sayın Murat BULUT ve Lütfiye BULUT'a teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Gülden Günay BULUT

ELAĞIĞ-2018

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAOTİK SİSTEMLER.....	4
2.1.Lorenz Kaotik Sistemi.....	5
2.2.Sprot Kaotik Sistemi.....	7
2.3.Rucklidge Kaotik Sistemi.....	13
2.4.Arneodo Kaotik Sistemi.....	15
2.5.Moore-Spiegel Kaotik Sistemi.....	17
2.6.Chen Kaotik Sistemi.....	19
2.7.Rössler Kaotik Sistemi.....	21
2.8.Van Der Pol Kaotik Sistemi.....	23
3. KAOTİK KONTROL.....	23
3.1.Kaos Kontrolü ve Kaos Kontrol yöntemleri.....	24
3.1.1.Açık Çevrim Kontrol.....	25
3.1.2.Kapalı Çevrim Kontrol.....	25
3.1.3. Bulanık Kontrol.....	26

	<u>Sayfa No</u>
3.1.4. YSA Kontrol.....	26
3.1.5. OGY Kontrol.....	27
3.1.6. Pyragas Kontrol.....	27
3.2.Kaotik Senkronizasyon ve Kaotik Senkronizasyon Yöntemleri.....	28
3.2.1. Tam Senkronizasyon.....	30
3.2.2. Faz Senkronizasyon.....	30
3.2.3 Master-Slave Senkronizasyon.....	31
3.2.4. Lag Senkronizasyon.....	31
4. KAOTİK SİSTEM BENZETİMLERİ.....	32
4.1.Lorenz Kaotik Sistemi Benzetimi.....	33
4.2.Sprot Kaotik Sistemi Benzetimi.....	34
4.3. Rucklidge Kaotik Sistemi Benzetimi.....	38
4.4 Arneodo Kaotik Sistemi Benzetimi.....	39
4.5 Moore-Spiegel Kaotik Sistemi Benzetimi.....	40
4.6 Chen Kaotik Sistemi Benzetimi.....	41
4.7 Rössler Kaotik Sistemi Benzetimi.....	42
5.KAOTİK SİSTEM SENKRONİZASYONU.....	43
5.1.Master-Slave Aktif Kontrolör Yardımı ile Senkronizasyon.....	43
5.1.1 Master-Slave Aktif Kontrolör Senkronizasyon Gerçek Zamanlı Çıktıları.....	54
5.2.Master-Slave Bulanık Mantık Kontrolör Yardımı ile Senkronizasyon.....	70
5.2.1 Master-Slave Bulanık Mantık Kontrolör Senkronizasyon Gerçek Zamanlı Çıktıları.....	82
6.KAOTİK OSİLATÖRLER YARDIMI İLE GÖRÜNTÜ ŞİFRELEME.....	95
7.SONUÇLAR.....	101
KAYNAKLAR.....	103

Sayfa No

EKLER.....	109
ÖZGEÇMİŞ.....	127



ÖZET

Günlük yaşamda düzensizliği ifade etmede kullanılan kaos kelimesi, akademik çalışmalarda doğrusal olmayan sistemlerin içerisinde bulundukları karmaşık durumu ifade etmek için kullanılır. Kaos durumu genel olarak kararsızlık ve bir düzensizlik olarak düşünülse de kaotik davranışa sahip sistemler kendi içerisinde bizim belirleyemediğimiz bir düzene sahiptir. Kaotik sistemler, başlangıç şartlarına hassas duyarlılık gösteren periyodik olmayan davranışlar sergileyen ve ölçülemeyecek karmaşıklıkta olan sistemler olarak tanımlanabilir. Kaotik sistemler gürültü benzeri geniş ve dağınık bir spektruma sahiptirler. Mühendislikte kullanılan bu kaotik sistemlerin istenilmeyen kaotik davranışlarını engelleyen çeşitli mekanizmalar ve algoritmalar geliştirilmiştir. Kaotik sinyaller güvenli haberleşmede, internet bankacılığında, veri şifrelemede, lazer gücünün artırılmasında, elektronik devre çıkışlarının senkronize edilmesinde, görüntü sıkıştırma işleme ve iletmeye, güç elektroniği devrelerinde ve daha birçok alanda kullanılmaktadır.

Mühendislik alanında sıkça kullanılan bu kaotik sistemlerin efektif bir şekilde kullanılması için kaotik davranış sergileyen sistemlerin kaos kontrolünün ve kaotik senkronizasyonunun gerçekleştirilmesine ihtiyaç duyulur. Güvenli haberleşmede ve daha birçok uygulamada literatürde bulunan Lorenz, Chen, Sprott vb. kaotik sistemler kullanılır ve bu kaotik sistemlerin eş zamanlı bir şekilde çalışmaları açısından senkronize edilmeleri gerekir. Birçok haberleşme uygulamasında kullanılan bu kaotik sistemlerin senkronizasyonu birçok farklı senkronizasyon yöntemi kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bu tez çalışmasında literatürde mevcut olan kaotik sistemler incelenmiş ve bu sistemlerin kaotik benzetimleri yapılmıştır. Kaotik benzetimler vasıtasıyla sistemlerin master-slave senkronizasyonları gerçekleştirilmiştir. Senkronizasyon çıktıları hem benzetim bazında hem de gerçek zamanlı uygulama bazında elde edilmiştir. Bunlara ek olarak senkronizasyonu gerçekleştirilen kaotik sistemler arasında güvenli haberleşme uygulamaları gerçekleştirilmiştir ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kaos, Kaotik Sistemler, Kaos Kontrolü, Kaos Senkronizasyonu, Benzetim

ABSTRACT

REAL-TIME SYNCHRONIZATION AND SECURE COMMUNICATION APPLICATIONS OF CHAOTIC SYSTEMS IN LABVIEW ENVIRONMENT

The chaos word used in expressing irregularity in everyday life is used to express the complex situation of nonlinear systems in academic studies. While the chaos situation is generally considered to be indecision and irregularity, systems with chaotic behavior have a harmony in itself that we can not determine. Chaotic systems can be described as systems that exhibit non-periodic behaviors that are sensitive to initial conditions and that are complex enough to not be measured. Chaotic systems have a wide and scattered spectrum like noise. Various mechanisms and algorithms have been developed to prevent undesired chaotic behavior of these chaotic systems which is used in engineering. Chaotic signals are used in secure communication, internet banking, data encryption, increasing laser power, synchronizing electronic circuit outputs, image compression processing and transmission, power electronics circuits and many other fields.

In order to use these chaotic systems which are frequently used in the engineering field, chaotic control and chaotic synchronization of the systems are needed. Lorenz, Chen, Sprott etc. chaotic systems which are used in secure communication and in many other applications have to be synchronized in terms of their simultaneous operation. Synchronization of these chaotic systems used in many communication applications can be achieved by using many different synchronization methods. In this thesis study, the chaotic systems existing in the literature were examined and chaotic simulations of these systems were realized. Master-slave synchronization of the systems were performed via chaotic simulations. Synchronization outputs have been obtained on the basis of both simulated and real time applications. In addition, secure communication applications were realized between synchronized chaotic systems and the results obtained have been interpreted.

Keywords: Chaos, Chaotic Systems, The Control of Chaos, Chaos Synchronization, Chaotic Simulation

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Lorenz kaotik sistemi durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	6
Şekil 2.2. Lorenz kaotik sistemi 2D (x-y,x-z,y-z) kaotik çekicileri.....	6
Şekil 2.3. Lorenz kaotik sistemi 3D (x-y-z) kaotik çekicisi.....	7
Şekil 2.4. Sprott durum A kaotik sistemi durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	8
Şekil 2.5. Sprott durum A kaotik sisteminin 2D (x-y,x-z,y-z) kaotik çekicileri.....	9
Şekil 2.6. Sprott durum A kaotik sisteminin 3D (x-y-z) kaotik çekicisi.....	9
Şekil 2.7. Sprott durum B kaotik sistemi durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	10
Şekil 2.8. Sprott durum B kaotik sisteminin 2D (x-y,x-z,y-z) kaotik çekicileri.....	10
Şekil 2.9. Sprott durum B kaotik sisteminin 3D (x-y-z) kaotik çekicisi.....	11
Şekil 2.10. Sprott durum C kaotik sistemi durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	11
Şekil 2.11. Sprott durum C kaotik sisteminin 2D (x-y,x-z,y-z) kaotik çekicileri.....	12
Şekil 2.12. Sprott durum C kaotik sisteminin 3D (x-y-z) kaotik çekicisi.....	12
Şekil 2.13. Rucklidge kaotik sistemi durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	13
Şekil 2.14. Rucklidge kaotik sisteminin 2D (x-y,x-z,y-z) kaotik çekicileri.....	14
Şekil 2.15. Rucklidge kaotik sisteminin 3D (x-y-z) kaotik çekicisi.....	14
Şekil 2.16. Arneodo kaotik sistemi durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	15
Şekil 2.17. Arneodo kaotik sisteminin 2D (x-y,x-z,y-z) kaotik çekicileri.....	16
Şekil 2.18. Arneodo kaotik sisteminin 3D (x-y-z) kaotik çekicisi.....	16
Şekil 2.19. Moore-Spiegel kaotik sistemi durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	17
Şekil 2.20. Moore-Spiegel kaotik sisteminin 2D (x-y,x-z,y-z) kaotik çekicileri.....	18
Şekil 2.21. Moore-Spiegel kaotik sisteminin 3D (x-y-z) kaotik çekicisi.....	18
Şekil 2.22. Chen kaotik sistemi durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	19
Şekil 2.23. Chen kaotik sisteminin 2D (x-y,x-z,y-z) kaotik çekicileri.....	20

Sayfa No

Şekil 2.24.Chen kaotik sisteminin 3D (x-y-z) kaotik çekicisi.....	20
Şekil 2.25.Rössler kaotik sistemi durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	21
Şekil 2.26.Rössler kaotik sisteminin 2D (x-y,x-z,y-z) kaotik çekicileri.....	22
Şekil 2.27.Rössler kaotik sisteminin 3D (x-y-z) kaotik çekicisi.....	22
Şekil 3.1.Haberleşmede kullanılan sinyaller.....	24
Şekil 3.2.Açık çevrim kontrol.....	25
Şekil 3.3.Kapalı çevrim kontrol.....	25
Şekil 3.4.Bulanık kontrol.....	26
Şekil 3.5.YSA kontrol.....	26
Şekil 3.6.Rössler sürücü sistemi ve cevap sistemi kaotik çekerleri.....	29
Şekil 3.7.Kevin M. Cuomo ve V. Oppenheim kaotik haberleşme devresi.....	29
Şekil 3.8.Rössler kaotik sisteminin stroboskopik çizimi.....	30
Şekil 3.9.Master-slave çalışma durumu.....	31
Şekil 3.10.Lag senkronizasyon.....	31
Şekil 4.1.Lorenz kaotik sistemi blok diyagramı.....	33
Şekil 4.2.Lorenz kaotik sistemi 2D çekerleri ve durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	34
Şekil 4.3.Sprott durum A kaotik sistemi blok diyagramı.....	35
Şekil 4.4.Sprott durum A kaotik sistemi 2D çekerleri ve durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	35
Şekil 4.5.Sprott durum B kaotik sistemi blok diyagramı.....	36
Şekil 4.6.Sprott durum B kaotik sistemi 2D çekerleri ve durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	36
Şekil 4.7.Sprott durum C kaotik sistemi blok diyagramı.....	37
Şekil 4.8.Sprott durum C kaotik sistemi 2D çekerleri ve durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	37

Sayfa No

Şekil 4.9. Rucklidge kaotik sistemi blok diyagramı.....	38
Şekil 4.10. Rucklidge kaotik sistemi 2D çekerleri ve durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	38
Şekil 4.11. Arneodo kaotik sistemi blok diyagramı.....	39
Şekil 4.12. Arneodo kaotik sistemi 2D çekerleri ve durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	39
Şekil 4.13. Moore-Spiegel kaotik sistemi blok diyagramı.....	40
Şekil 4.14. Moore-Spiegel kaotik sistemi 2D çekerleri ve durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	40
Şekil 4.15. Chen kaotik sistemi blok diyagramı.....	41
Şekil 4.16. Chen kaotik sistemi 2D çekerleri ve durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	41
Şekil 4.17. Rössler kaotik sistemi blok diyagramı.....	42
Şekil 4.18. Rössler kaotik sistemi 2D çekerleri ve durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	42
Şekil 5.1. Master-slave senkronizasyon blok şeması.....	43
Şekil 5.2 Kaotik sistemler için oluşturulan kullanıcı ara yüzü.....	46
Şekil 5.3. Lorenz master-slave kaotik sisteminin senkronizasyon çıktıları.....	47
Şekil 5.4. Sprott durum A master-slave kaotik sisteminin senkronizasyon çıktıları.....	48
Şekil 5.5. Rucklidge master-slave kaotik sisteminin senkronizasyon çıktıları.....	49
Şekil 5.6. Arneodo master-slave kaotik sisteminin senkronizasyon çıktıları.....	50
Şekil 5.7. Moore-Spiegel master-slave kaotik sisteminin senkronizasyon çıktıları.....	51
Şekil 5.8. Chen master-slave kaotik sisteminin senkronizasyon çıktıları.....	52
Şekil 5.9. Rössler master-slave kaotik sisteminin senkronizasyon çıktıları.....	53
Şekil 5.10. NI-6009 DAQ card.....	54
Şekil 5.11. Gerçek zamanlı uygulama düzeneği.....	54
Şekil 5.12. Lorenz kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı 2D faz portreleri.....	55

Şekil 5.13. Lorenz kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı X_m - X_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	55
Şekil 5.14. Lorenz kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Y_m - Y_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	56
Şekil 5.15. Lorenz kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Z_m - Z_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	56
Şekil 5.16. Sprott durum A kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı 2D faz portreleri.....	57
Şekil 5.17. Sprott durum A kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı X_m - X_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	57
Şekil 5.18. Sprott durum A kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Y_m - Y_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	58
Şekil 5.19. Sprott durum A kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Z_m - Z_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	58
Şekil 5.20. Rucklidge kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı 2D faz portreleri.....	59
Şekil 5.21. Rucklidge kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı X_m - X_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	59
Şekil 5.22. Rucklidge kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Y_m - Y_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	60
Şekil 5.23. Rucklidge kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Z_m - Z_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	60
Şekil 5.24. Moore-Spiegel kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı 2D faz portreleri.....	61
Şekil 5.25. Moore-Spiegel kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı X_m - X_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	61
Şekil 5.26. Moore-Spiegel kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Y_m - Y_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	62
Şekil 5.27. Moore-Spiegel kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Z_m - Z_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	62
Şekil 5.28. Rössler kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı 2D faz portreleri.....	63
Şekil 5.29. Rössler kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı X_m - X_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	63

Şekil 5.30. Rössler kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Y_m - Y_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	64
Şekil 5.31. Rössler kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Z_m - Z_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	64
Şekil 5.32. Chen kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı 2D faz portreleri.....	65
Şekil 5.33. Chen kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı X_m - X_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	65
Şekil 5.34. Chen kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Y_m - Y_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	66
Şekil 5.35. Chen kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Z_m - Z_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	66
Şekil 5.36. Arneodo kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı 2D faz portreleri.....	67
Şekil 5.37. Arneodo kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı X_m - X_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	67
Şekil 5.38. Arneodo kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Y_m - Y_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	68
Şekil 5.39. Arneodo kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Z_m - Z_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	68
Şekil 5.40. Veri sinyali, modüleli sinyal ve demodüleli sinyale ait simülasyon görüntüleri.....	69
Şekil 5.41. Bulanık mantık sisteminin yapısı.....	71
Şekil 5.42. Chen kaotik sistemi hata sinyali üyelik fonksiyonları.....	73
Şekil 5.43. Chen kaotik sistemi nonlinear bileşen üyelik fonksiyonları.....	74
Şekil 5.44. Chen kaotik sistemi çıkış üyelik fonksiyonları.....	74
Şekil 5.45. Lorenz kaotik sistemi master-slave bulanık mantık kontrolör senkronizasyon çıktıları.....	76
Şekil 5.46. Sprott durum A kaotik sistemi master-slave bulanık mantık kontrolör senkronizasyon çıktıları.....	77
Şekil 5.47. Rucklidge kaotik sistemi master-slave bulanık mantık kontrolör senkronizasyon çıktıları.....	78

Şekil 5.48. Arneodo kaotik sistemi master-slave bulanık mantık kontrolör senkronizasyon çıktıları.....	79
Şekil 5.49. Moore-Spiegel kaotik sistemi master-slave bulanık mantık kontrolör senkronizasyon çıktıları.....	80
Şekil 5.50. Chen kaotik sistemi master-slave bulanık mantık kontrolör senkronizasyon çıktıları.....	81
Şekil 5.51. Lorenz kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı 2D faz portreleri.....	82
Şekil 5.52. Lorenz kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı X_m - X_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	82
Şekil 5.53. Lorenz kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Y_m - Y_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	83
Şekil 5.54. Lorenz kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Z_m - Z_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	83
Şekil 5.55. Arneodo kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı 2D faz portreleri.....	84
Şekil 5.56. Arneodo kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı X_m - X_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	84
Şekil 5.57. Arneodo kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Y_m - Y_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	85
Şekil 5.58. Arneodo kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Z_m - Z_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	85
Şekil 5.59. Chen kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı 2D faz portreleri.....	86
Şekil 5.60. Chen kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı X_m - X_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	86
Şekil 5.61. Chen kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Y_m - Y_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	87
Şekil 5.62. Chen kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Z_m - Z_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	87
Şekil 5.63. Rucklidge kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı 2D faz portreleri.....	88
Şekil 5.64. Rucklidge kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı X_m - X_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	88

Şekil 5.65. Rucklidge kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Ym-Ys durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	89
Şekil 5.66. Rucklidge kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Zm-Zs durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	89
Şekil 5.67. Sprott durum A kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı 2D faz portreleri.....	90
Şekil 5.68. Sprott durum A kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Xm-Xs durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	90
Şekil 5.69. Sprott durum A kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Ym-Ys durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	91
Şekil 5.70. Sprott durum A kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Zm-Zs durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	91
Şekil 5.71. Moore-Spiegel kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı 2D faz portreleri.....	92
Şekil 5.72. Moore-Spiegel kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Xm-Xs durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	92
Şekil 5.73. Moore-Spiegel kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Ym-Ys durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	93
Şekil 5.74. Moore-Spiegel kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Zm-Zs durum değişkenlerinin zamana göre değişimi.....	93
Şekil 5.75. Veri sinyali, modüleli sinyal ve demodüleli sinyale ait simülasyon görüntüleri.....	94
Şekil 6.1. Görüntü İletimi blok Şeması.....	95
Şekil 6.2. Chirp Sinyali.....	96
Şekil 6.3. Görüntü şifreleme ve çözümleme aşamaları Lena tek kanal.....	96
Şekil 6.4. Görüntü şifreleme ve çözümleme aşamaları Lena binary.....	97
Şekil 6.5. Görüntü şifreleme ve çözümleme aşamaları Lena grayscale.....	97
Şekil 6.6. Görüntü şifreleme ve çözümleme aşamaları Lena color image.....	97
Şekil 6.7. Görüntü şifreleme ve çözümleme aşamaları peppers tek kanal.....	98
Şekil 6.8. Görüntü şifreleme ve çözümleme aşamaları peppers binary.....	98
Şekil 6.9. Görüntü şifreleme ve çözümleme aşamaları peppers grayscale.....	98

Sayfa No

Şekil 6.10. Görüntü şifreleme ve çözümleme aşamaları peppers color image.....	99
Şekil 6.11. Görüntü şifreleme ve çözümleme aşamaları baboon tek kanal.....	99
Şekil 6.12. Görüntü şifreleme ve çözümleme aşamaları baboon binary.....	99
Şekil 6.13. Görüntü şifreleme ve çözümleme aşamaları baboon grayscale.....	100
Şekil 6.14. Görüntü şifreleme ve çözümleme aşamaları baboon color image.....	100



TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Sprott kaotik sistemi diferansiyel denklem takımları.....	8
Tablo 5.1. Chen kaotik sistemi bulanık mantık kontrolör için oluşturulan kural tablosu.....	75
Tablo 7.1. Aktif kontrolör ile Bulanık mantık kontrolörün verimlilik yönünden karşılaştırılması.....	102



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler		Açıklamalar
DA	:	Doğru Akım
DAQ	:	Data Acquisition
YSA	:	Yapay Sinir Ağı
2D	:	İki Boyutlu (Two Dimensional)
3D	:	Üç Boyutlu (Three Dimensional)

1.GİRİŞ

Akademik çalışmalara konu olan kaos kavramı doğrusal olmayan sistemlerin düzensizlik içerisindeki düzeni olarak açıklanabilir. Kaotik davranış sergileyen yapılar dışarıdan bakıldıklarında karmaşık ve bir o kadar düzensiz davranışlar sergilemelerinin aksine kendi içlerinde bir düzene sahiptirler. Kaotik sistemler, başlangıç şartlarına hassas duyarlılık gösteren, periyodik olmayan davranışlar sergileyen ve ölçülemeyecek karmaşıklıkta olan sistemler olarak tanımlanabilir. Başlangıç şartlarına olan aşırı hassasiyetlerinin yanı sıra kaotik sistemler, geniş bantlı gürültü benzeri bir yapıya sahiptirler. Kaotik davranış karmaşık sistemlerde görülebildiği gibi, çok basit sistemlerde de küçük boyutlu olacak biçimde gözlemlenebilir. Başlangıç şartlarında meydana gelen en ufak bir değişiklik kaotik sistemin davranışını büyük ölçüde etkiler. Kaotik sistemler sanılan rastgeleliğin aksine kendi içlerinde bir düzen barındırmaktadırlar.

Newton "Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica"[1] adlı eserinde doğayı doğrusal, determinist ve neden-sonuç ilişkilerini baz alınarak inceler. Bu eser ile klasik mekaniğin temellerini atan Newton'un oluşturduğu kesin formüller sayesinde teoride beyindeki her bir sinir ve atomun bilgisine eksiksiz sahip olunduğunda, beynin 50 yıl sonra ne düşüneceğini bilgisine ulaşabileceğimiz savunuluyordu. Bu esere göre eğer evrende sadece Ay ve Dünya olsaydı, bu cisimlerin hareketlerini sonsuza dek öngörebilirdik. Günümüzde hala bu formüller sayesinde belli bir uzaklıktan fırlatılan cismin yeterli bilgilere sahip olduğunda büyük bir doğrulukla nereye düşebileceğini hesaplayabiliyoruz ve aynı şekilde bir gezegenin 50 yıl sonra gökyüzünde hangi noktada olabileceğini öngörebiliyoruz. Bu zamana kadar dünya üzerinde var olan bütün sistemlerin kararlı bir yapıya sahip oldukları ve kararlı davranışlar sergilediğine inanılıyordu ve yine bu sistemlerin analizinin mevcut olan kararlı formüller vasıtası ile gerçekleştirilebileceği düşünülüyordu.

Astronomide "Üç cisim problemi" ortaya atıldıktan sonra, Fransız matematikçi Henri Poincaré, güneş sisteminin başlangıç koşullarına hassas bağlı olduğunu ve evrenin başlangıç koşullarını bilemediğimiz takdirde güneş sisteminin kararlı olup olmadığını asla öngöremeyeceğimizi ispatladı ve teknik anlamda ilk defa "Kaos" terimini kullanmış oldu. Poincaré probleme bir çözüm getiremedi fakat problemin çözülemeyecek karmaşıklıkta

olduğunu göstermesi Norveç Kralı tarafından bu problemin çözümü için verilecek olan ödülü almasını sağladı[2].

Amerikalı bir matematikçi ve meteorolojist olan Edward Lorenz meteoroloji üzerinde hava tahminleri yapabilmek için bilgisayarıyla hava olaylarını modelleyen bir algoritma yazmıştı. Bilgisayarında biriktirdiği verileri incelerken, sıcaklık değerlerinde çok küçük değişiklik yapıldığında sistemi etkileyen hiçbir değişiklik olmamasını beklerken, çok küçük değişikliklerin çıktılar üzerinde çok büyük değişikliklere sebep olduğunu tespit etmiştir. Yani Lorenz'in oluşturduğu algoritma modeli başlangıç koşullarına aşırı hassasiyet gösteriyordu. Öyle ki binde birlik farktan büyük hava değişimleri ortaya çıkabiliyordu. Lorenz'in bilgisayarında bir kelebeğin kanat çırpması kadar önemsiz olan bu küçük değişiklikler sistemin tamamen farklı çıktılar vermesine sebep oluyordu. Lorenz' in keşfettiği bu olgu 1963 yılının Mart ayında 'Atmosferik Bilimler Dergisi'nde yayınlanmıştır ve ilk kez "Kelebek Etkisi" terimi kullanılmıştır. Kelebek etkisi, Edward Lorenz' in keşfettiği fenomen olarak "Dünyanın herhangi bir yerindeki kelebeğin kanat çırpışının, dünyanın öbür ucunda başka bir yerde fırtınaya sebep olabilmesi." olarak açıklanır. Bu kelebek örneği çok küçük değişkenlerin hareketlerinin bile sistemde çok büyük farklılıklara yol açabileceğini anlatmak için oluşturulmuş bir örnektir.

Kaotik sistemlerin birçok uygulama alanı vardır. Bunlara örnek olarak; kimyasal reaksiyonların osilasyon kontrolü, kalp ritim ölçümü, beyin dalgalarının incelenmesi, biyomedikal ve tıbbi uygulamalar, kaotik sinyaller kullanılarak güvenli haberleşme, internet bankacılığı, lazer gücünün artırılması, güç elektroniği, görüntü sıkıştırma ve iletme, tahmini kontrol sistemleri, türbülans kontrolü, kaotik maskeleyme, hava durumları tahminleri, kaotik modülasyon, desen tanıma, rastgele sayı üreticiler, nüfus projeksiyon çalışmaları, bakteri kolonilerinin protein üretimlerinin düzenlenmesi, kaotik kaydırmalı anahtarlama, kaotik maskeleyme ve modülasyon, vb'leri örnek gösterilebilir[3-10].

Kaotik yapıların güvenli haberleşmede kullanılabilmesi için aynı ya da farklı karakteristiğe sahip en az iki veya daha fazla kaotik yapının eşzamanlı olarak aynı kaotik davranışı göstermeleri gerekir. Bu durumda devreye kaotik kontrol ve kaotik senkronizasyon girer. Literatürde bu yapıların kaotik yapıları gereği farklı davranışlar sergilemeleri, teknolojik uyumsuzluklar ve oluşturdukları gürültü vb. etkenlerden dolayı senkronizasyon ilk başlarda gerçekleştirilememiştir. Pecora ve Carroll tarafından

yayınlanan makalede ilk defa iki kaotik sistemin senkronize olarak çalışmasının mümkün olduğu ispatlanmıştır. Makalede iki eş kaotik sistemin sürücü ve cevaplayıcı olarak master-slave çalışma durumu için senkronize edilmiş olduğu matematiksel olarak ve elektronik devre yardımı ile ispatlanmıştır[33].

Bu tezde öncelikli olarak kaotik sistem literatüründe mevcut olan Lorenz, Sprott, Rucklidge, Arneodo, Chen, Moore-Spiegel, Rössler kaotik sistemlerinin durum denklemleri baz alınarak LabVIEW programı bünyesinde blok diyagramları oluşturularak ayrı ayrı benzetimleri gerçekleştirilmiştir ve teorideki çıktıları elde edilmiştir. Yine her bir kaotik sistemin aktif kontrolör yardımı ile master-slave senkronizasyonu benzetim bazında her bir kaotik sistem için sağlanmış daha sonra oluşturulan gömülü program sayesinde tek bir program haline getirilmiştir. Oluşturulan bu program sayesinde söz konusu sistemlerin çıktıları tek bir panel üzerinden interaktif bir şekilde gözlemlenmiştir. Daha sonra elde edilen sistem çıktıları Data Acquisition (DAQ) card yardımı ile gerçek zamanlı olarak bir osiloskop üzerinde de gözlemlenmiştir. Benzer şekilde aynı aşamalar bulanık mantık kontrolör master-slave senkronizasyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bütün bunlara ek olarak Lorenz kaotik sistemi üzerinde benzetim bazında bir güvenli haberleşme uygulaması gerçekleştirilmiştir ve Chen master-slave kaotik sistemleri arasında kullanıcı tarafından belirlenen bir görüntünün şifrelenmesi ve çözülmesi sağlanmıştır.

2. KAOTİK SİSTEMLER

Dinamik sistemler, deterministik ve skolastik olmak üzere iki farklı şekilde sınıflandırılırlar. Bir sistemin içinde bulunduğu durum, gelecekteki durumlarını belirliyorsu bu sistem deterministik sistem olarak adlandırılır. Kaotik işaretler, geniş bantlı spektruma sahip, gürültüye benzer ve önceden tahmin edilmesi zor işaretlerdir ve deterministik yapıya sahiptirler. Kaotik devreler diferansiyel ve fark denklemleri ile ifade edilen doğrusal olmayan sistemlerdir. Doğrusal olmayan dinamik bir sistemin kaotik davranış sergilediğini söyleyebilmek için; başlangıç şartlarına olan hassasiyeti, frekans spektrumu, faz resmi görünümü, ve Lyapunov üstelleri gibi özelliklerine bakılması gerekir[11].

Kaotik sistemler için iki temel kural söz konusudur: 1) Başlangıç şartlarına hassas bir şekilde bağlı olma durumu. 2) Rastgele olmama durumu. Kaotik sistemler düzensizlik içerisinde bir düzene sahiptirler[12]. Literatürde çok sayıda kaotik sistem geliştirilmiştir fakat üzerinde en çok çalışma yapılan ve dinamikleri en iyi bilinen kaotik sistemler Lorenz, Rössler ve Chen sistemleridir[13,23,25]. Chen ve Lorenz devre modelleri hem analog hem de dijital işaretlerin iletiminde kullanılan devre modelleridir. Literatürde genellikle kaos üretici olarak kaotik otonom devreleri kullanılmaktadır. Otonom devreler kaotik sistemlerin elektriksel devre elemanları ile gerçekleşmesi ile oluşturulur.

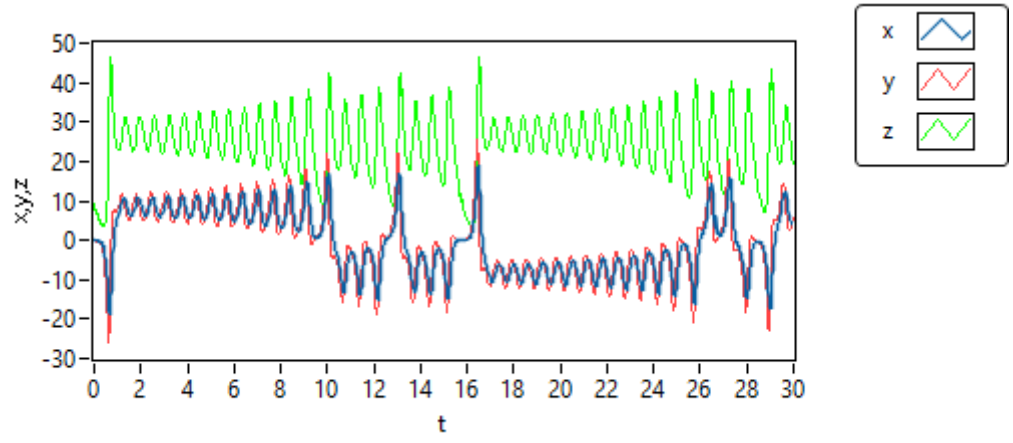
Kaotik sistemler diferansiyel ve fark denklemleri ile ifade edildiklerinden ilk bakışta sıradan sistemler olduğu izlenimi verseler de benzerlerinden farklı olarak çıkışlarında tahmini zor sinyaller üretirler. Kaotik sistemin çıkışı bir kez izlediği yörüngeyi ikinci kez izlemez. İşte bu özelliklerinden dolayı tahmini zor sinyaller ürettikleri için, kaotik sistemler güvenli haberleşmede önemli bir rol oynarlar. Çalışmanın bu bölümünde literatürde bulunan Lorenz, Sprott, Rucklidge, Chen, Moore-Spiegel, Rössler, Arneodo kaotik sistemleri ve devre çıktıları incelenmiştir. Sistemlerin LabVIEW ortamında iki boyutlu ve üç boyutlu faz portreleri elde edilmiştir.

2.1.Lorenz Kaotik Sistemi

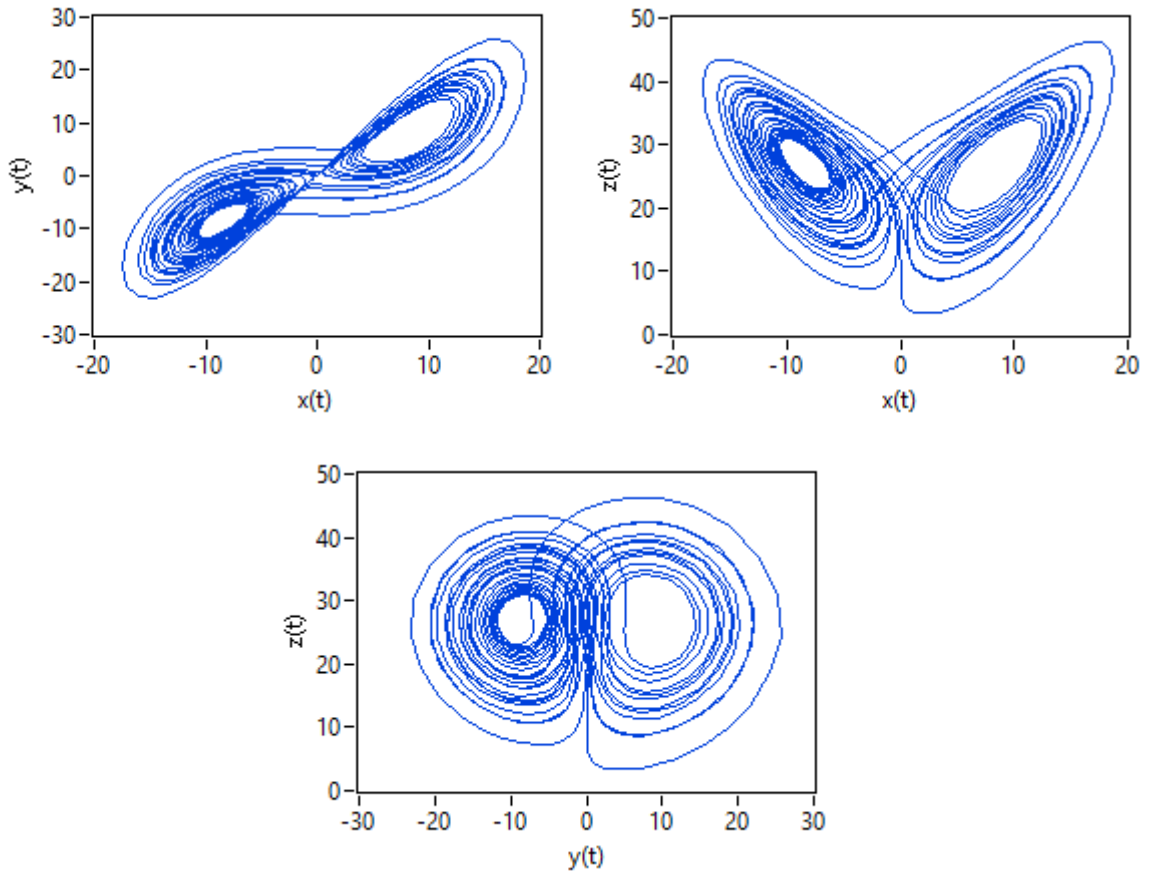
Lorenz kaotik sistemi, Amerikalı bir matematikçi ve meteorolojist olan Ed Lorenz tarafından iki boyutlu bir akışkanın davranışı için ortaya atılan bilinen en meşhur kaotik sistemdir[13]. Lorenz havanın da bir sistem olduğunu ve dolayısıyla uygun bir model sayesinde birkaç günde istatistiksel olarak yapılan hava tahminlerin yerine tek seferde uzun vadede kesin hava tahminleri yapılabilceğini düşündü. Bu sebeple hava olaylarını bilgisayarında bir algoritma yardımı ile modelledi. Modellediği bu sistem Denklem 2.1'deki diferansiyel denklem takımları ile ifade edilmektedir:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= \sigma(y - x) \\ \dot{y} &= rx - y - xz \\ \dot{z} &= xy - bz\end{aligned}\tag{2.1}$$

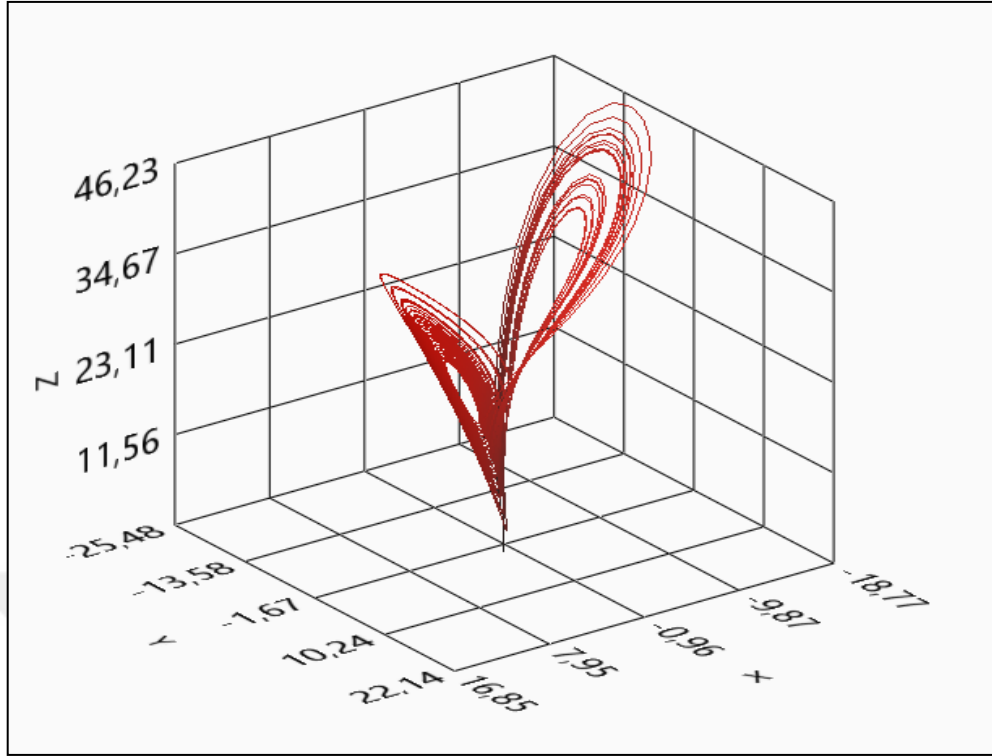
Yukarıdaki denklem takımı incelendiğinde sıradan bir durum denklemi olarak görülse de bu durum denklemini sıra dışı yapan özelliği, belirli parametreler için literatürde daha önce görülmemiş bir kaotik davranış sergilemesidir. Lorenz yayınladığı "Deterministic Nonperiodic Flow" isimli makalesinde[13], atmosferdeki ısı aktarımı yapısının sadeleştirilmiş bir matematiksel modelini oluşturmuştur. Bu modelin üç durumu ve üç parametresi bulunmaktadır. Denklemdeki σ , r ve b sistem parametreleridir ve $\sigma=10$, $r=28$ ve $b=8/3$ tür. Denklemde bulunan x , y , z kaotik durum değişkenleridir ve başlangıç değerleri $x_0=0$, $y_0=-0.1$, $z_0=9$ alındığında kaotik sonuçlar ortaya çıkmıştır. Denklem başlangıç şartlarında meydana gelen çok küçük değişimlerde bile sistem cevabı büyük ölçüde değişmektedir. Bu denklem takımının fiziksel karşılığı olarak kapalı bir kap içerisinde bulunan ve alt kısımdan ısıtılırken üst tarafından soğutulan bir akışkanın hareketi örnek verilebilir. Kaotik durum yakalandığında sistem herhangi bir denge noktasında kalmadığı gibi yaptığı salınımlar da periyodik özellik göstermez. Yani sistem bir kere izlediği bir yörüngeyi ikinci kez izlemez.



Şekil 2.1 Lorenz kaotik sistemi durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



Şekil 2.2 Lorenz sisteminin 2D (x - y , x - z , y - z) kaotik çekicileri



Şekil 2.3 Lorenz sisteminin 3D (x-y-z) kaotik çekicisi

Şekil 2.1'de durum değişkenlerinin zamana göre değişimi, Şekil 2.2 de sistemin iki boyutlu (2D) faz portresi Şekil 2.3'de ise üç boyutlu (3D) faz portresi görülmektedir. Durum değişkenlerinin zamana göre değişimi, iki boyutlu faz portresi ve üç boyutlu faz portresi LabVIEW ortamında çizdirilmiştir.

2.2.Sprott Kaotik Sistemi

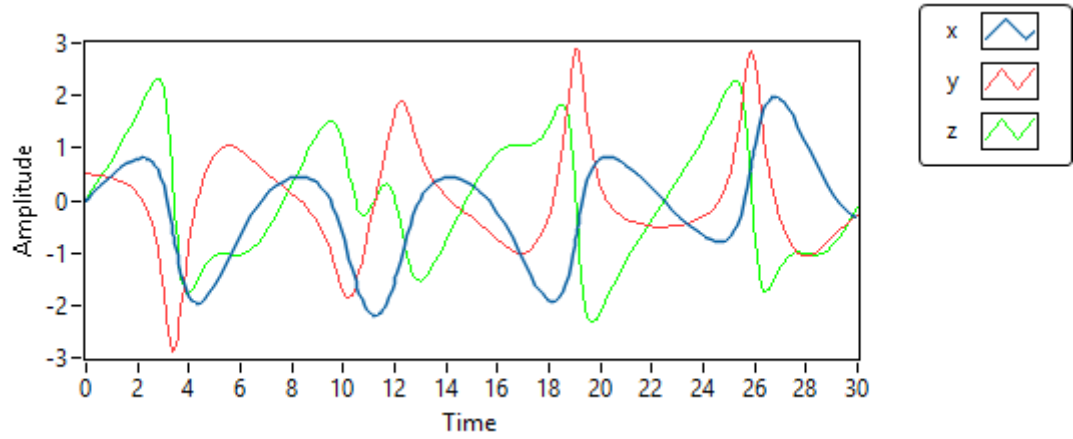
J.C Sprott 1994 yılında oluşturduğu kaotik sistemleri A-S arası isimlendirmiştir.[14] A'dan E'ye kadar olan denklemler iki adet ikinci dereceden doğrusal olmayan terim olmak üzere toplam beş terimli iken, F'den S'ye kadar olan denklemler ise bir adet ikinci dereceden doğrusal olmayan terim olmak üzere toplam altı terimli denklemlerdir[15].

A denklemi dışındaki denklemler hariç diğer denklemler için başlangıç şartı olarak $x_0=0.05$, $y_0=0.05$, $z_0=0.05$ olarak alındığında kaotik sonuçlar elde edilmiştir. A durumu için ilk şartlar $x_0=0$, $y_0=0.5$, $z_0=0$ alınmıştır. Sprott kaotik sistemi incelendiğinde her bir denklem durumu için ayrı ayrı kaotik çekicilerin ortaya çıktığı görülür. Tablo 2.1'de Sprott kaotik sistemine ait durum denklemleri, Şekil 2.4'de Sprott Durum A kaotik sistemi için

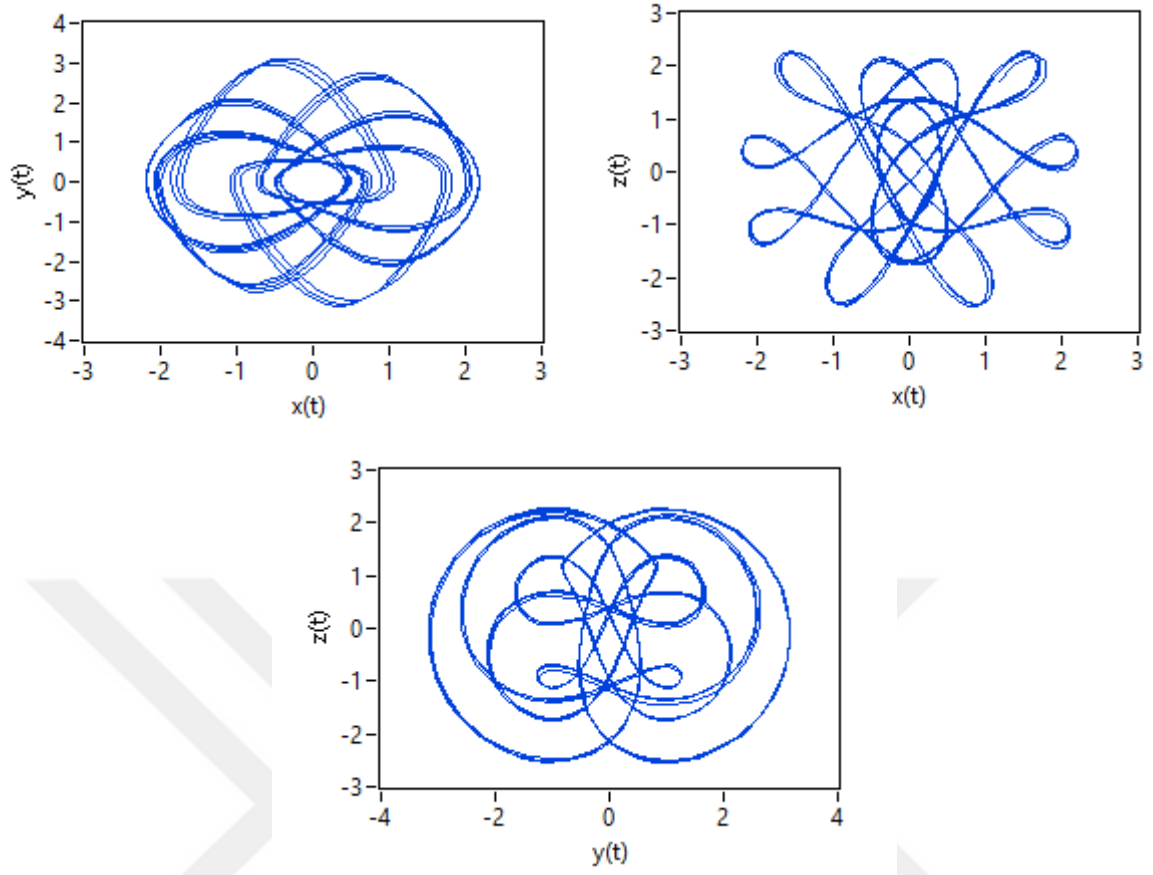
durum değişkenlerinin zamana göre değişimi ve 2.5'de sisteme ait iki boyutlu faz portreleri verilmiştir. Şekil 2.6'da sistemin üç boyutlu faz portresi yer almaktadır.

Tablo 2.1 Sprot kaotik sistemi diferansiyel denklem takımları

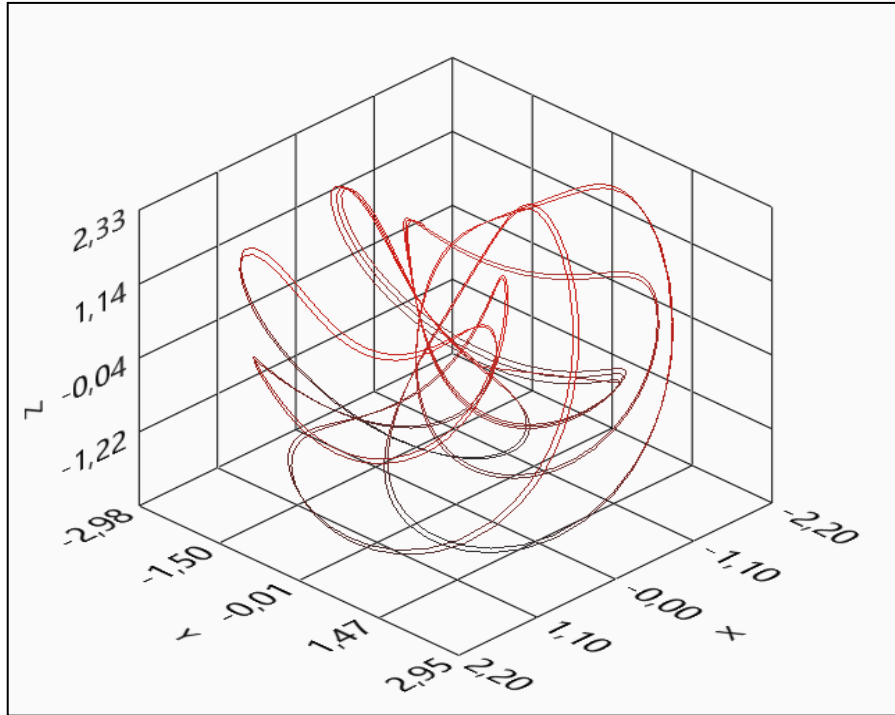
A	B	C	D	E	F
$\dot{x} = y$	$\dot{x} = yz$	$\dot{x} = yz$	$\dot{x} = -y$	$\dot{x} = yz$	$\dot{x} = y + z$
$\dot{y} = -x + yz$	$\dot{y} = x - y$	$\dot{y} = x - y$	$\dot{y} = x + z$	$\dot{y} = x^2 - y$	$\dot{y} = -x + 0.5y$
$\dot{z} = 1 - y^2$	$\dot{z} = 1 - xy$	$\dot{z} = 1 - x^2$	$\dot{z} = xz + 3y^2$	$\dot{z} = 1 - 4x$	$\dot{z} = x^2 - z$
G	H	I	J	K	L
$\dot{x} = 0.4x + z$	$\dot{x} = -y + z^2$	$\dot{x} = -0.2y$	$\dot{x} = 2z$	$\dot{x} = xy - z$	$\dot{x} = y + 3.9z$
$\dot{y} = xz - y$	$\dot{y} = x + 0.5y$	$\dot{y} = x + z$	$\dot{y} = -2y + z$	$\dot{y} = x - y$	$\dot{y} = 0.9x^2 - y$
$\dot{z} = -x + y$	$\dot{z} = x - z$	$\dot{z} = x + y^2 - z$	$\dot{z} = -x + y + y^2$	$\dot{z} = x + 0.3z$	$\dot{z} = 1 - x$
M	N	O	P	Q	
$\dot{x} = -z$	$\dot{x} = -2y$	$\dot{x} = y$	$\dot{x} = 2.7y + z$	$\dot{x} = -z$	
$\dot{y} = -x^2 - y$	$\dot{y} = x + z^2$	$\dot{y} = x - z$	$\dot{y} = -x + y^2$	$\dot{y} = x - y$	
$\dot{z} = 1.7 + 1.7x + y$	$\dot{z} = 1 + y - 2z$	$\dot{z} = x + xz + 2.7y$	$\dot{z} = x + y$	$\dot{z} = 3.1x + y^2 + 0.5z$	
R	S				
$\dot{x} = 0.9 - y$	$\dot{x} = -x - 4y$				
$\dot{y} = 0.4 + z$	$\dot{y} = x + z^2$				
$\dot{z} = xy - z$	$\dot{z} = 1 + x$				



Şekil 2.4 Sprott durum A kaotik sistemi durum değişkenlerinin zamana göre değişimi

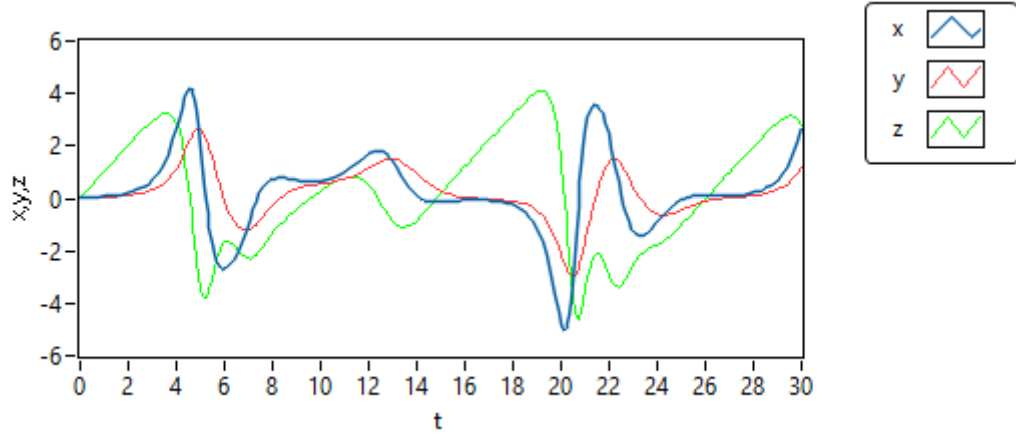


Şekil 2.5 Sprott durum A kaotik sisteminin 2D (x-y,x-z,y-z) kaotik çekicileri

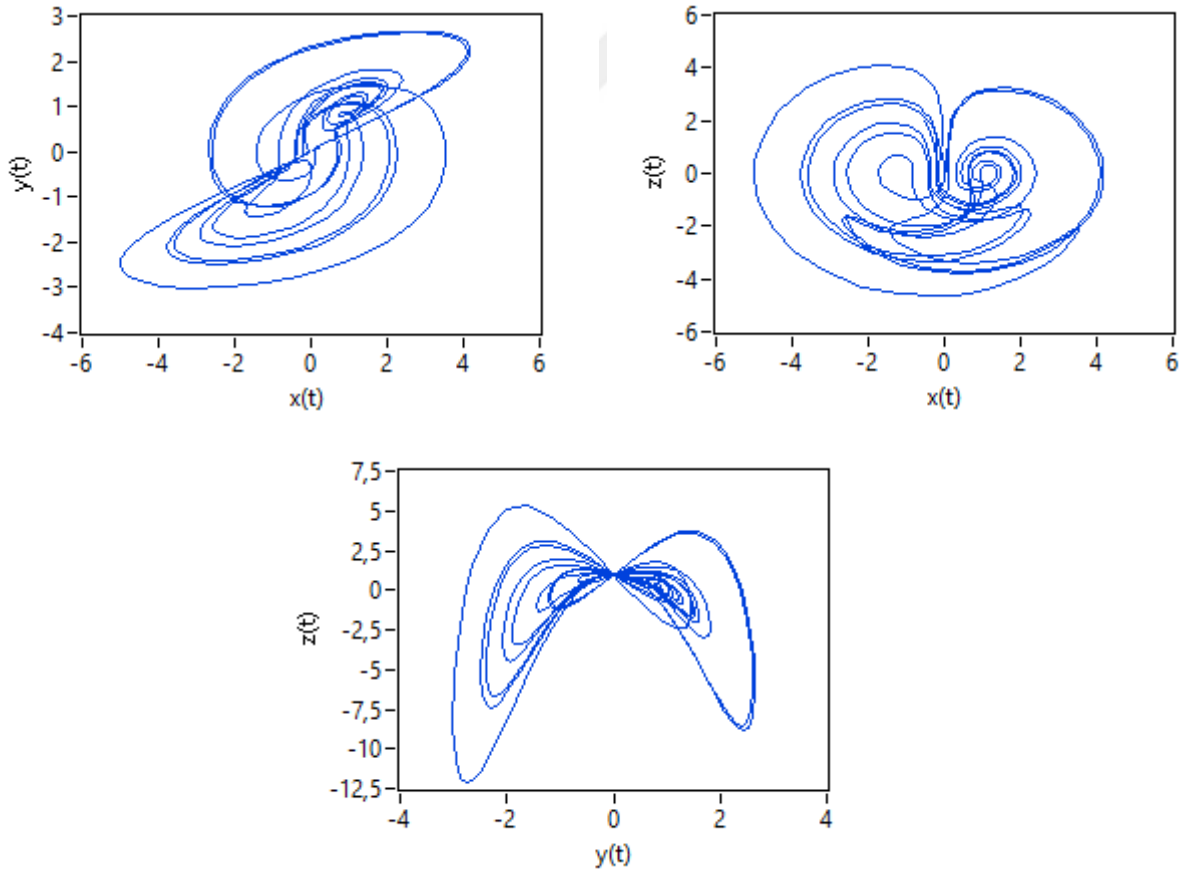


Şekil 2.6 Sprott durum A kaotik sisteminin 3D (x-y-z) kaotik çekicisi

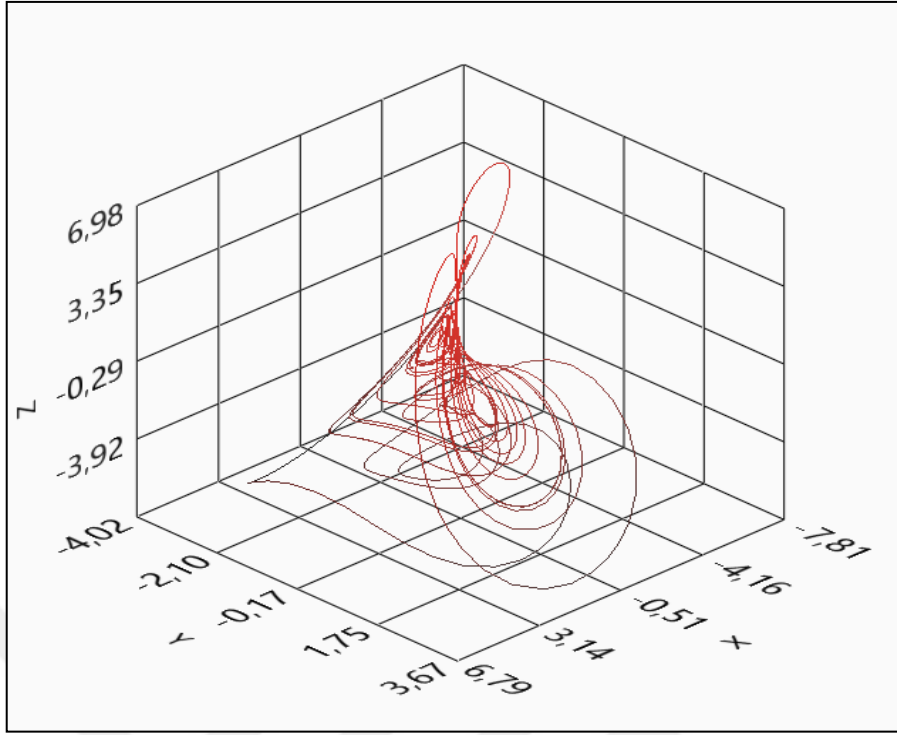
Sprott kaotik sistemi Durum B'ya ait durum değişkenlerinin zamana göre değişimi Şekil 2.7'de, iki boyutlu faz portreleri Şekil 2.8'de ve üç boyutlu faz portresi Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.7 Sprott durum B kaotik sistemi durum değişkenlerinin zamana göre değişimi

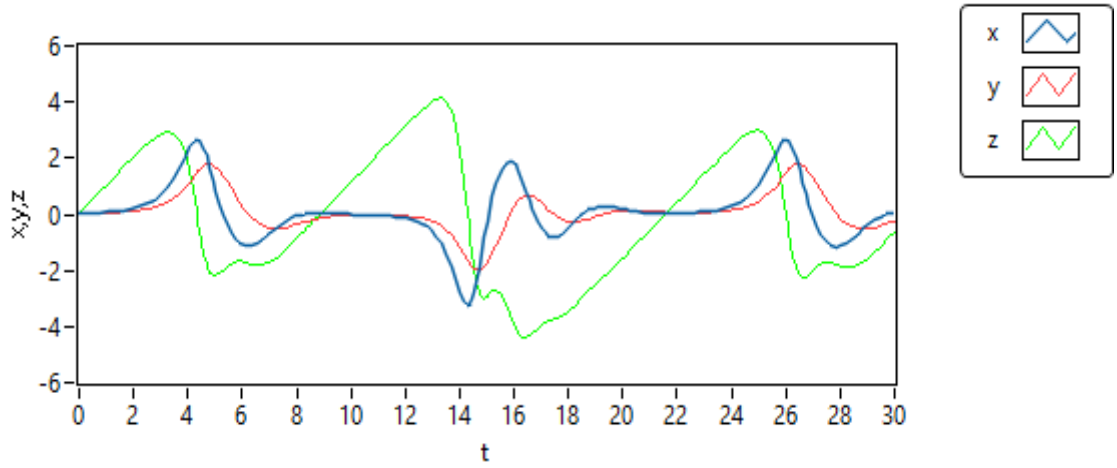


Şekil 2.8 Sprott durum B kaotik sisteminin 2D (x-y,x-z,y-z) kaotik çekicileri

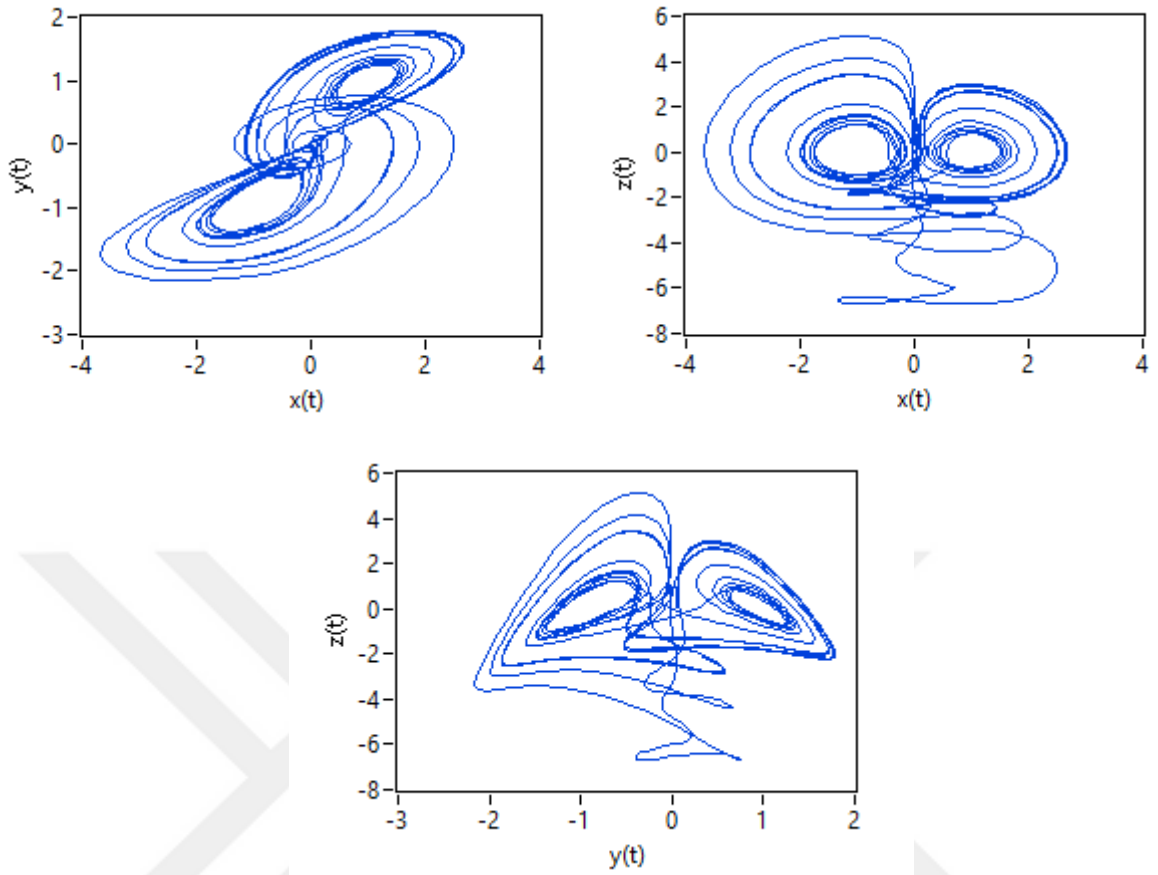


Şekil 2.9 Sprott durum B kaotik sisteminin 3D (x-y-z) kaotik çekicisi

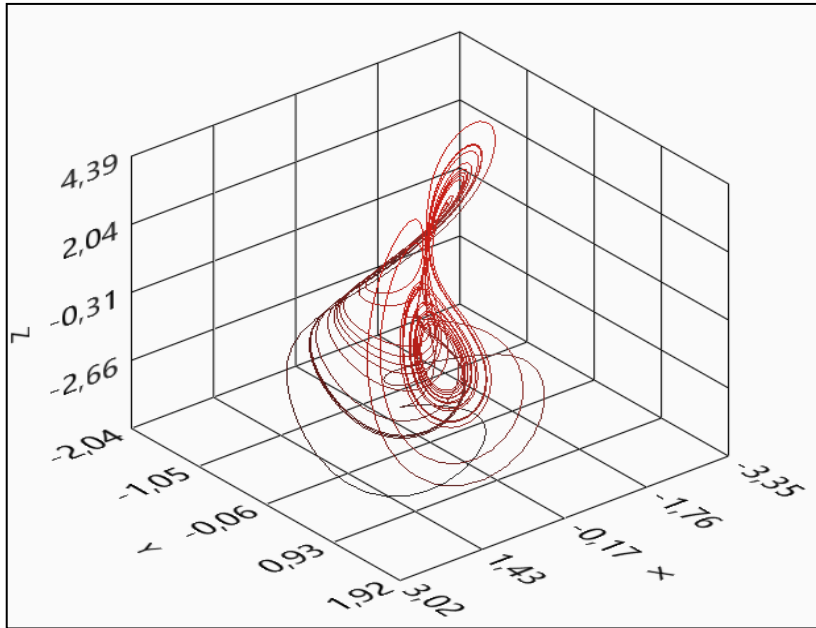
Sprott kaotik sistemi Durum C'ye ait durum değişkenlerinin zamana göre değişimi Şekil 2.10'da, iki boyutlu faz portreleri Şekil 2.11'de ve üç boyutlu faz portresi Şekil 2.12'de verilmiştir.



Şekil 2.10 Sprott durum C kaotik sistemi durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



Şekil 2.11 Sprott durum C kaotik sisteminin 2D (x-y,x-z,y-z) kaotik çekicileri



Şekil 2.12 Sprott durum C kaotik sisteminin 3D (x-y-z) kaotik çekicisi

2.3.Rucklidge Kaotik Sistemi

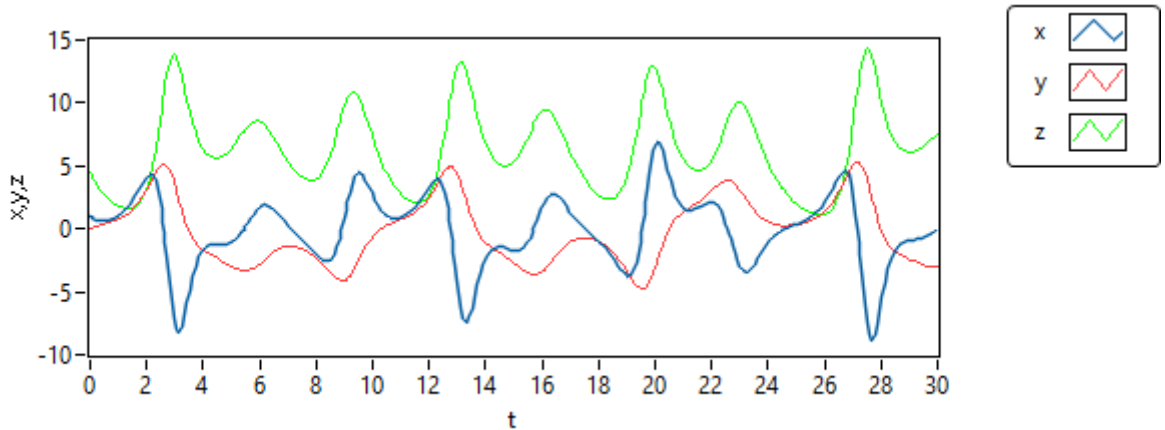
Rucklidge tarafından oluşturulan bu kaotik sistem, kaotik davranış sergileyen üçüncü dereceden lineer olmayan diferansiyel denklem takımı içerir. Rucklidge kaotik sisteminin çıktıları Lorenz kaotik sisteminin çıktılarına benzer ve bu kaotik sistem akışkan mekaniği modellemesinde sıklıkla kullanılır[16]. Dönen bir akışkan tabakanın ve uygulanan dikey manyetik alanın konveksiyonunun açıklanmasında Rucklidge kaotik sisteminin Lorenz kaotik sistemine göre daha doğru olduğu iddia edilir[17-18]. Sisteme ait denklem takımı Denklem 2.2'de gösterilmiştir.

$$\dot{x} = -Mx + Ly - yz$$

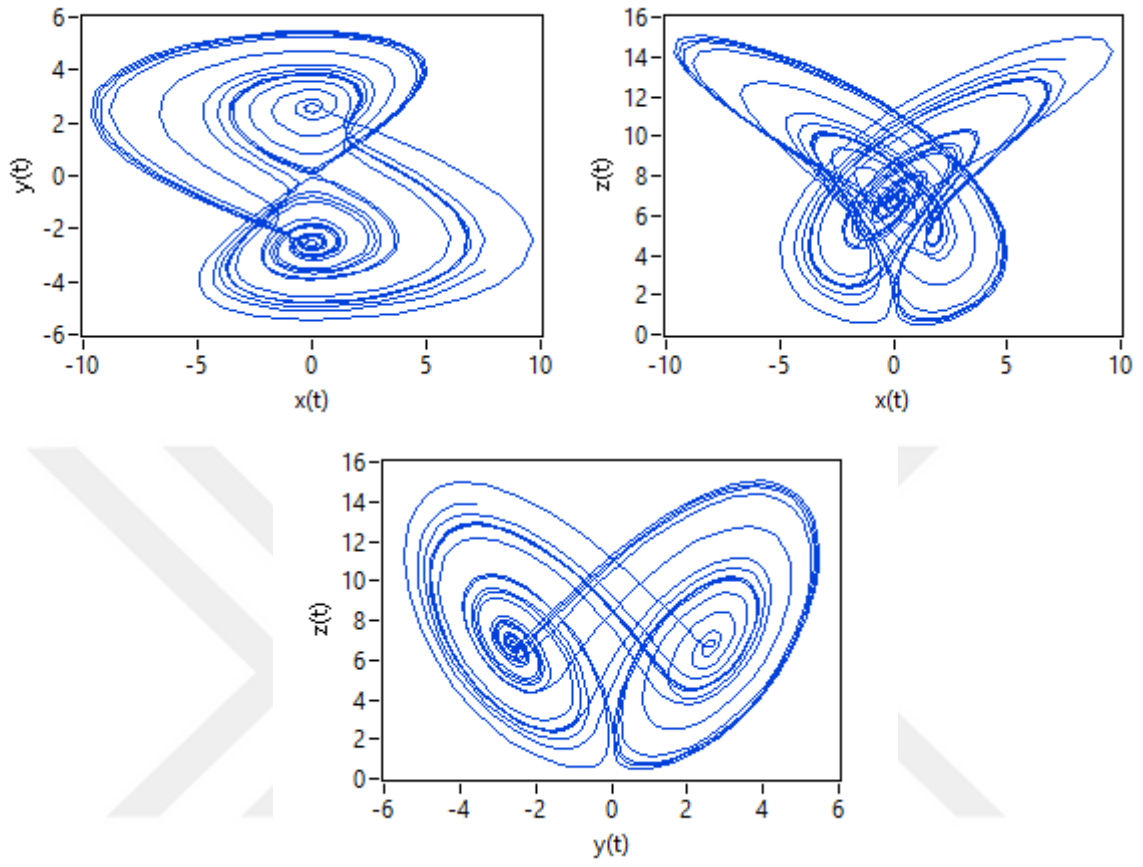
$$\dot{y} = \dot{x} \quad (2.2)$$

$$\dot{z} = -z + y^2$$

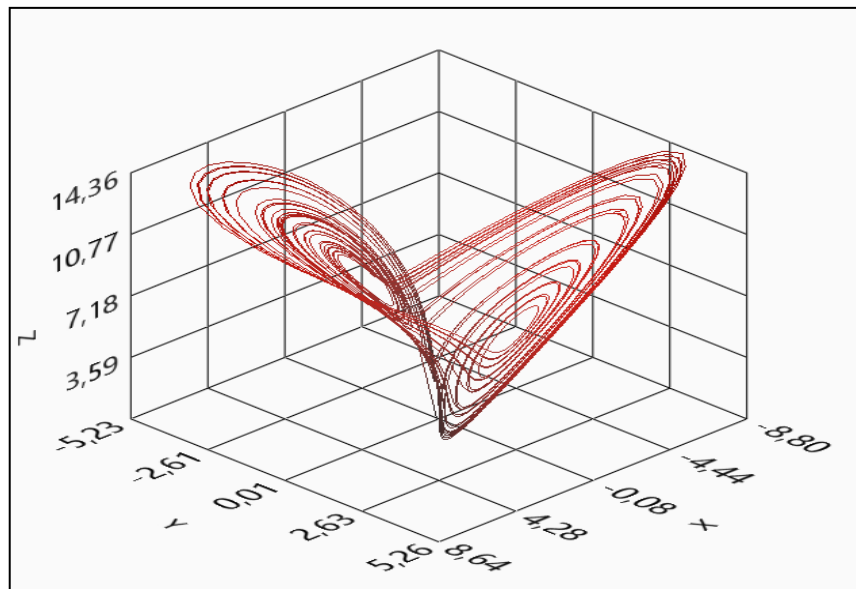
M ve L sistem parametreleridir ve değerleri M=2, L=6.7 dir. x, y, z durum değişkenleridir. Başlangıç şartları olarak $x_0=-1$, $y_0=0$, $z_0=4.5$ alındığında Şekil 2.15'deki sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 2.13'de durum değişkenlerinin zamana göre değişimi verilmiştir. Şekil 2.14'de sistemin iki boyutlu faz çıktıları gözlenirken, Şekil 2.15'de kaotik sistemin üç boyutlu faz portresi verilmiştir.



Şekil 2.13 Rucklidge kaotik sistemi durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



Şekil 2.14 Rucklidge kaotik sisteminin 2D (x-y,x-z,y-z) kaotik çekicileri



Şekil 2.15 Rucklidge kaotik sisteminin 3D (x-y-z) kaotik çekicisi

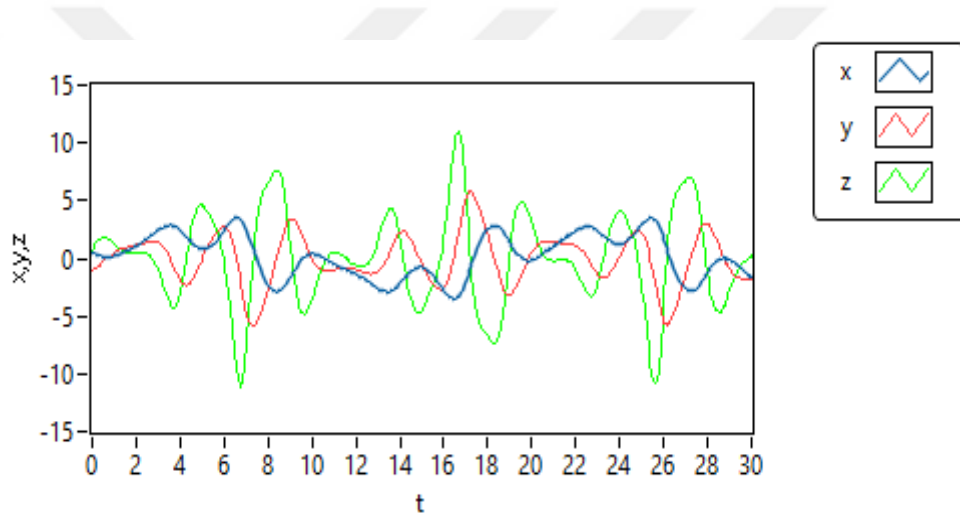
2.4.Arneodo Kaotik Sistemi

Arneodo kaotik sistemi literatürde mevcut olan ve A. Arneodo, P.Coullet, E. Spiegel ve C.Tresser'in 1981 yılında oluşturduğu doğrusal özellik göstermeyen diferansiyel denklem takımlarından meydana gelen üç boyutlu kaotik sistemlerden biridir[19]. Arneodo kaotik sistemine ait denklem takımları Denklem 2.3'de verilmiştir.

$$\dot{x} = y$$

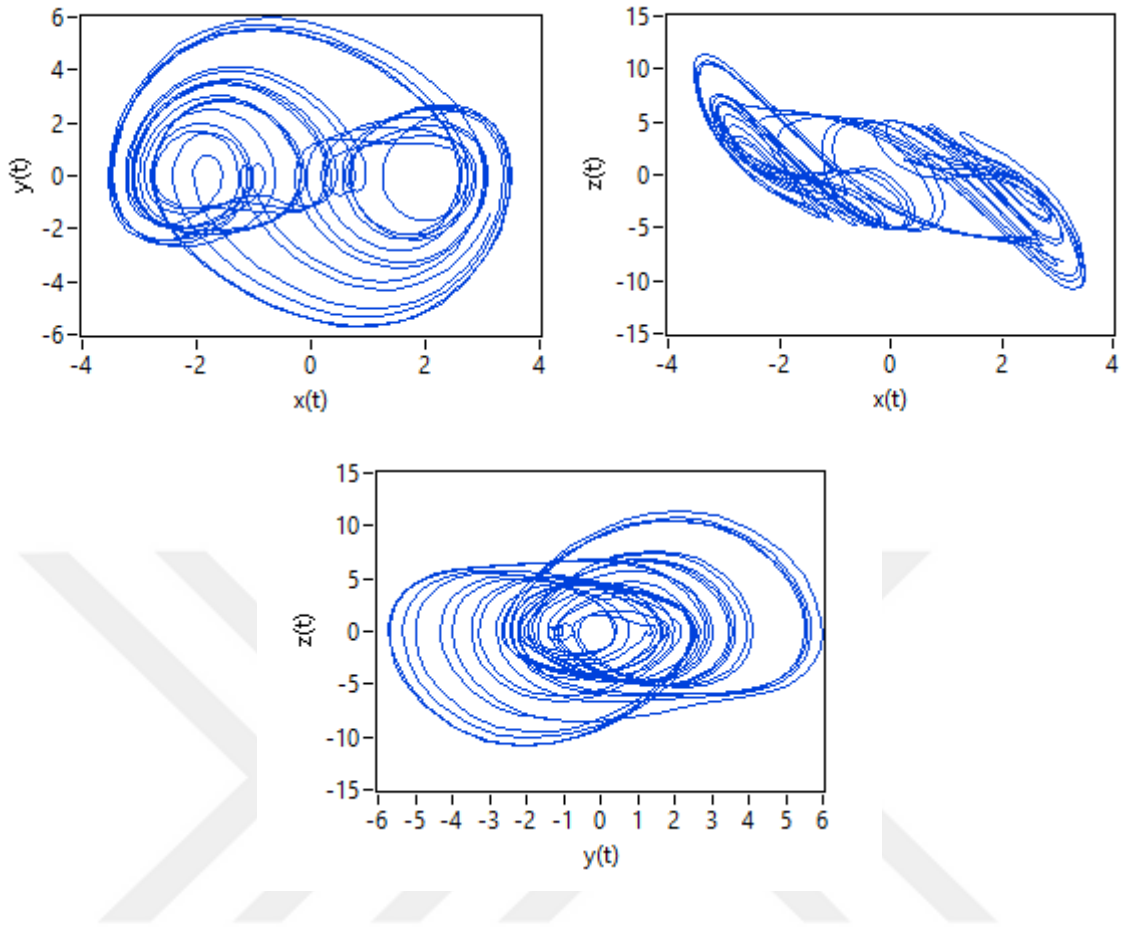
$$\dot{y} = z \quad (2.3)$$

$$\dot{z} = -b_1x - b_2y - b_3z + b_4x^3$$

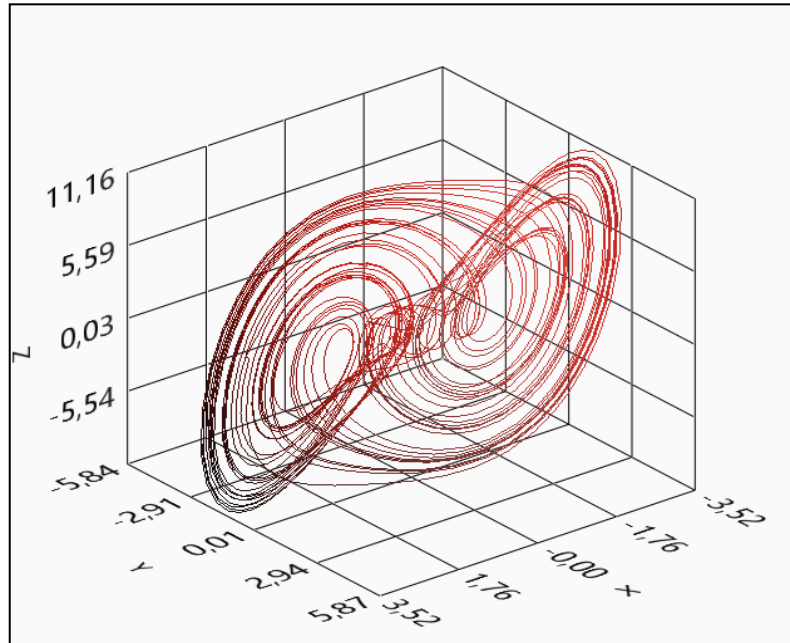


Şekil 2.16 Arneodo kaotik sistemi durum değişkenlerinin zamana göre değişimi

Diferansiyel denklem takımında bulunan parametrelerin değerleri $b_1 = -5.5$, $b_2 = 3.5$, $b_3 = 1$ ve $b_4 = -1$ dir. Sistemde bulunan x, y, z durum değişkenleridir ve başlangıç değerleri olarak $x_0 = 0.5$, $y_0 = -1$, $z_0 = 0.5$ alındığında kaotik çıktılar elde edilmiştir. Sistemin durum değişkenlerinin zaman eksenine göre değişimi Şekil 2.16'da kaotik çekici çıktıları Şekil 2.17'de ve üç boyutlu x-y-z faz portresi Şekil 2.18'de gösterilmiştir. Kaotik sistemin çıktıları LabVIEW benzetim programı kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 2.17 Arneodo kaotik sisteminin 2D (x-y,x-z,y-z) kaotik çekicileri



Şekil 2.18 Arneodo kaotik sisteminin 3D (x-y-z) kaotik çekicisi

2.5. Moore-Spiegel Kaotik Sistemi

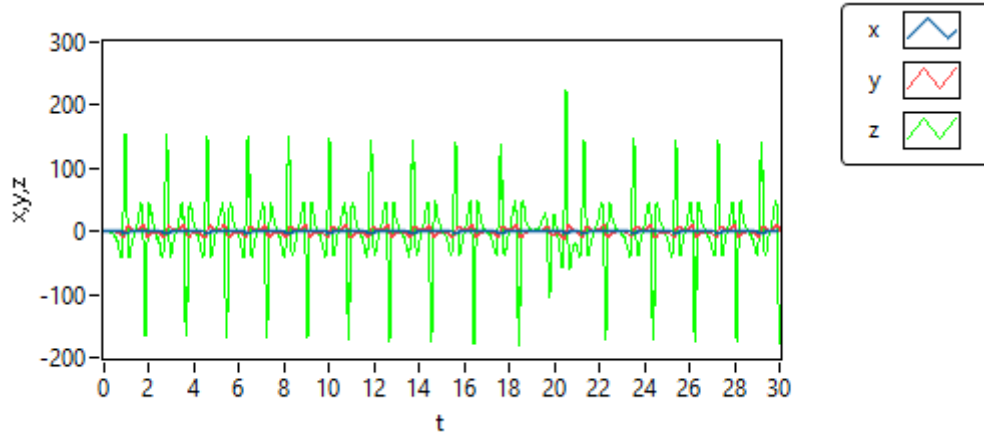
Moore-Spiegel kaotik sistemi, Moore ve Spiegel tarafından ortaya atılan termo-mekanik bir osilatör sistemini modeller[20]. Sistemde bulunan R parametresi Prandtl sayısı ile Rayleigh sayısının çarpımına benzerlik gösterirken T parametresi Prandtl sayısının Taylor sayısı ile çarpımına benzerlik gösterir[21-22]. Sistem, doğrusal bir geri yükleme kuvveti ile bir sıcaklık gradyanında dikey olarak salınan bir akışkan elemanı tanımlamaktadır. Sisteme ilişkin diferansiyel denklem tamını Denklem 2.4'de gösterilmiştir.

$$\dot{x} = y$$

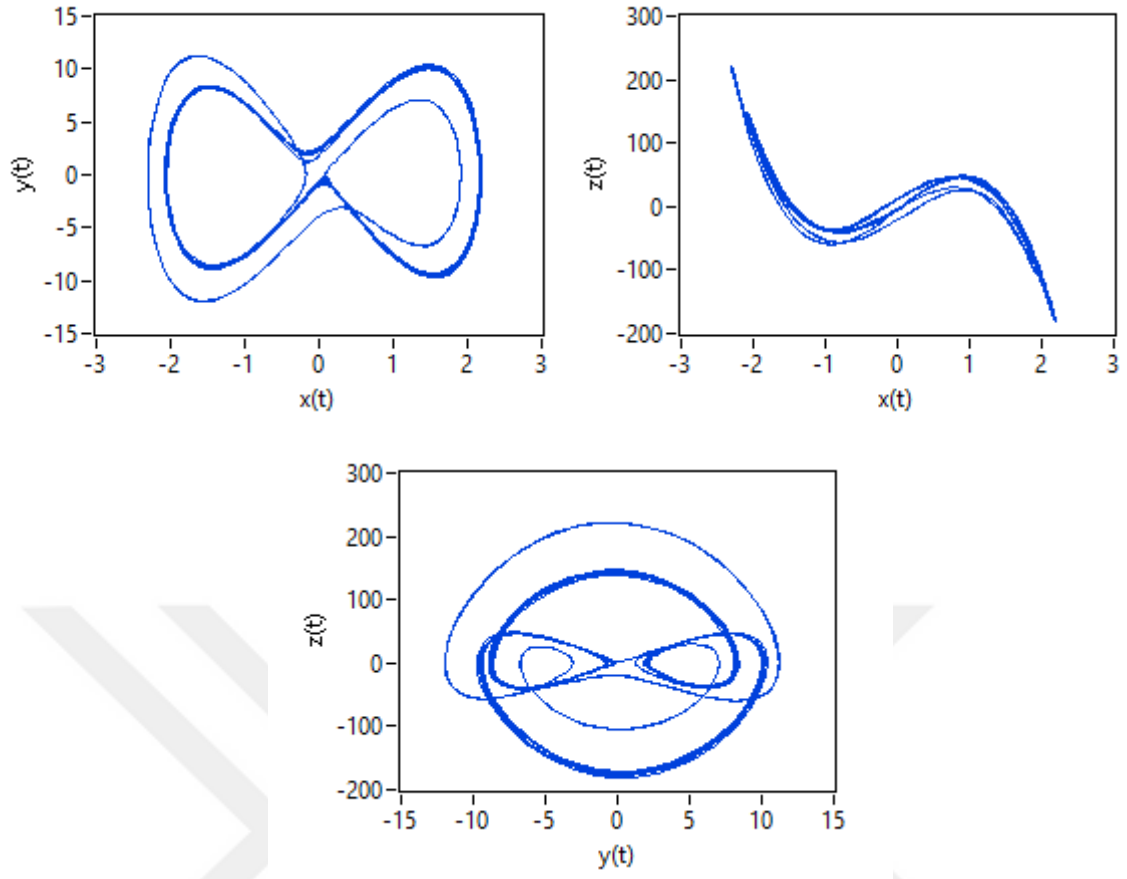
$$\dot{y} = z \quad (2.4)$$

$$\dot{z} = -z - (T - R + Rx^2)y - Tx$$

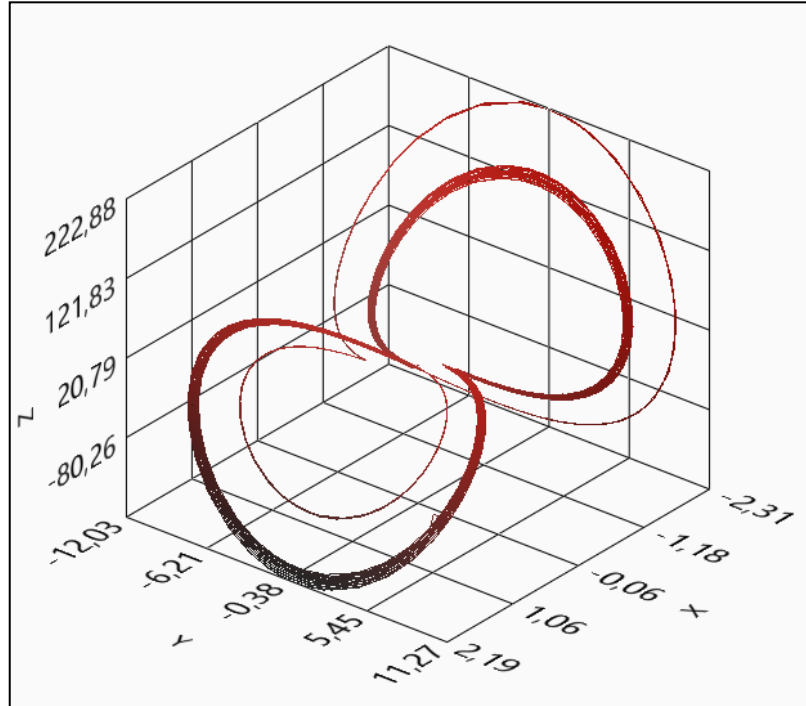
Denklemin durum parametreleri olan $T = 6$ ve $R = 20$ alındığında periyodik olmayan durum gözlenir. Sistemin zamana göre kaotik değişimi Şekil 2.19'da gösterilmiştir. İki boyutlu kaotik yörüngeleri ise Şekil 2.20'de yer almaktadır. Üç boyutlu faz portresi Şekil 2.21'de gösterilmektedir.



Şekil 2.19 Moore-Spiegel kaotik sistemi durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



Şekil 2.20 Moore-Spiegel kaotik sisteminin 2D (x-y,x-z,y-z) kaotik çekicileri



Şekil 2.21 Moore-Spiegel kaotik sisteminin 3D (x-y-z) kaotik çekicisi

2.6.Chen Kaotik Sistemi

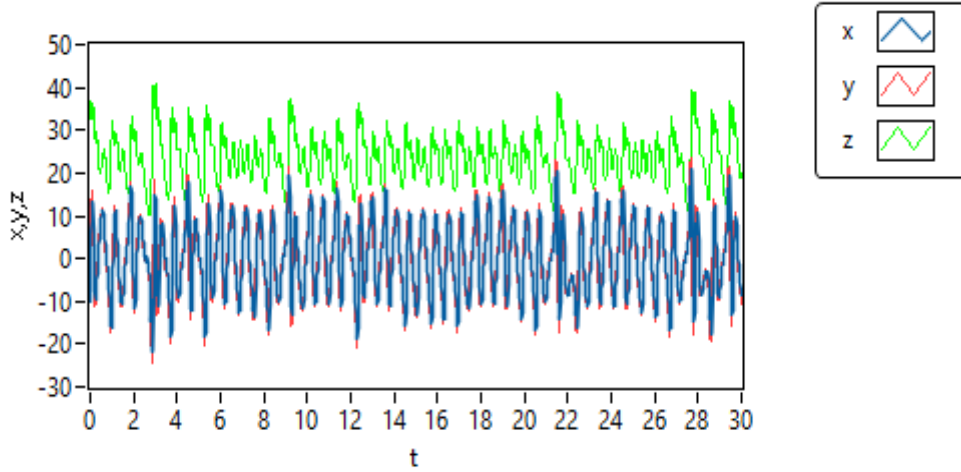
Chen ve Ueta'nın oluşturdukları bu kaotik sistem, topolojik bakımdan Lorenz kaotik sistemine eşdeğer olmayan ve kaotik bir çekiciye sahip daha basit üç boyutlu özerk bir kaotik sistem geliştirdiler[23-24]. Chen sistemi üçüncü dereceden lineer olmayan otonom bir sistemdir. Sisteme ait durum denklemleri Denklem 2.5'de verilmiştir.

$$\dot{x} = a(y - x)$$

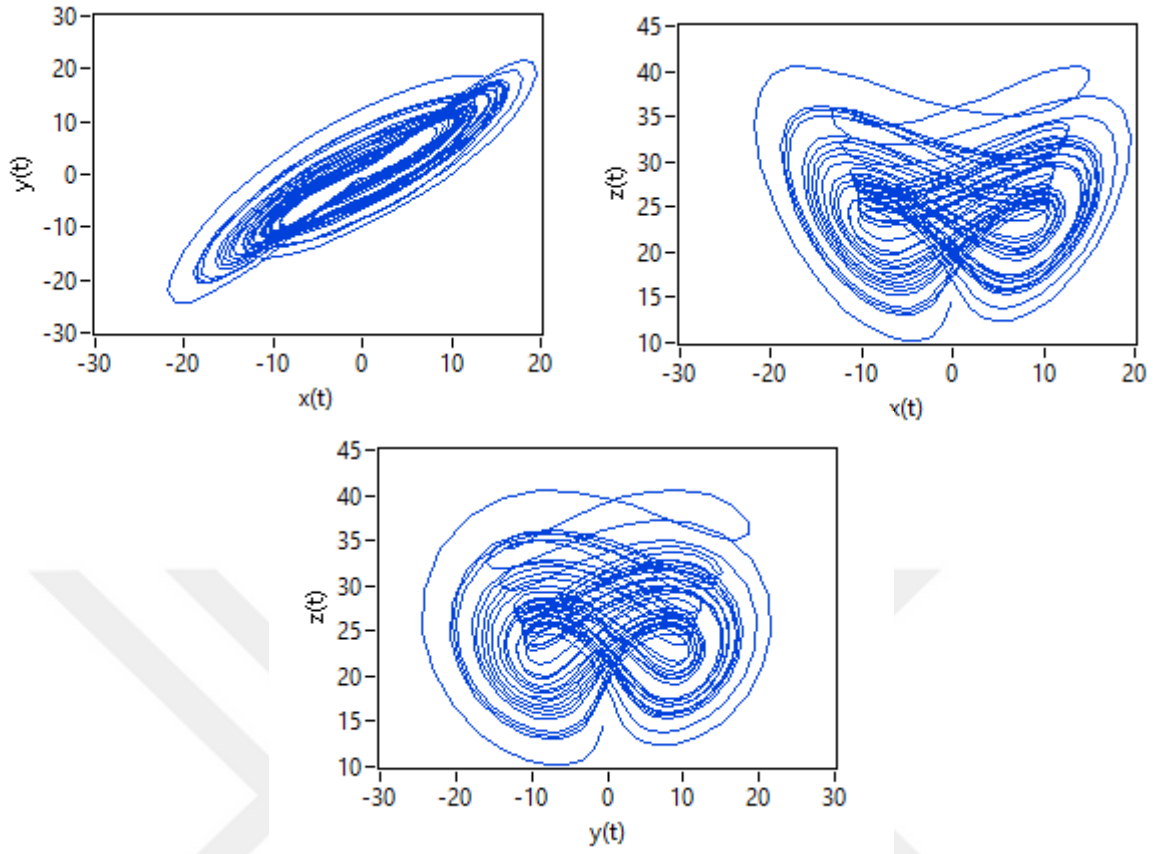
$$\dot{y} = (c - a)x - xz + cy \quad (2.5)$$

$$\dot{z} = xy - bz$$

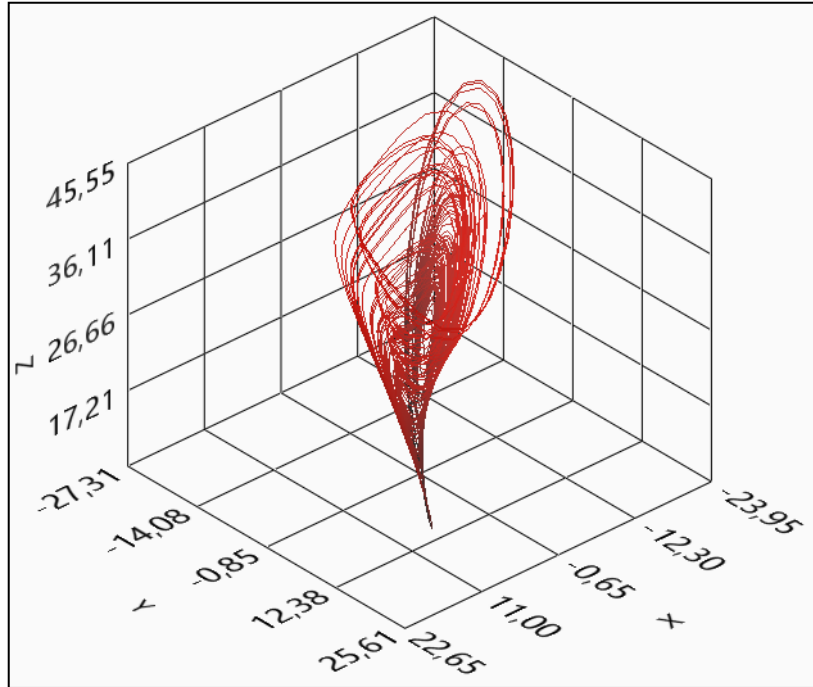
Chen kaotik sisteminin sistem parametreleri sırası ile $a = -35$, $b = 3$, $c = 28$ dir. Durum değişkenlerinin başlangıç şartları olarak $x_0=-10$, $y_0=0$, $z_0=37$ alındığında sistem kaotik davranış sergilemektedir. Kaotik sistemin durum değişkenlerinin zamana göre değişimi şekil 2.22'de gösterilmiştir. İki boyutlu kaotik yörüngeleri şekil 2.23'de yer almaktadır. Üç boyutlu faz portresi şekil 2.24'de gösterilmektedir.



şekil 2.22 Chen kaotik sistemi durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



Şekil 2.23 Chen kaotik sisteminin 2D (x-y,x-z,y-z) kaotik çekicileri



Şekil 2.24 Chen kaotik sisteminin 3D (x-y-z) kaotik çekicisi

2.7.Rössler Kaotik Sistemi

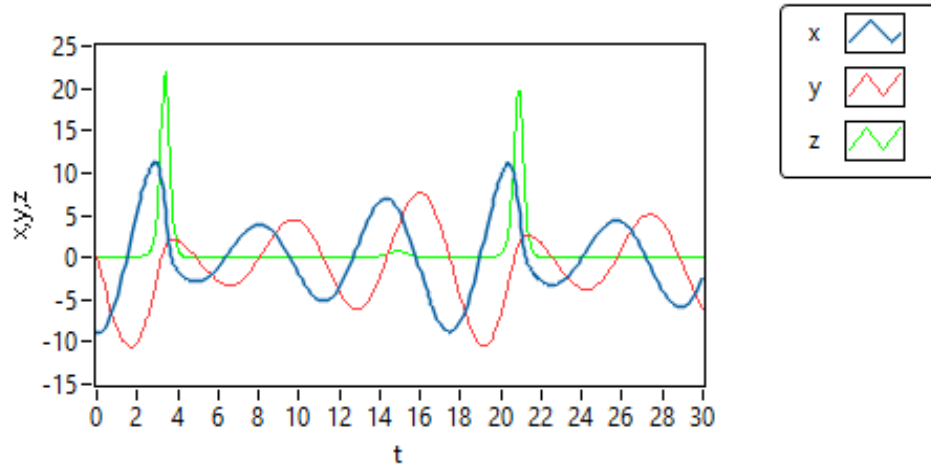
Rössler kaotik sistemi üç adet doğrusal olmayan diferansiyel denklem takımından oluşur ve Otto Rössler tarafından literatüre kazandırılmıştır[25-26]. Rössler kaotik sistemini oluşturan bu diferansiyel denklemler çekicisinin fraktal özellikleriyle ilişkili kaotik dinamikler sergileyen sürekli-zamanlı dinamik bir sistemi modeller. Rössler kaotik sistemine ait diferansiyel denklemler Denklem 2.6'da verilmiştir.

$$\dot{x} = -y - z$$

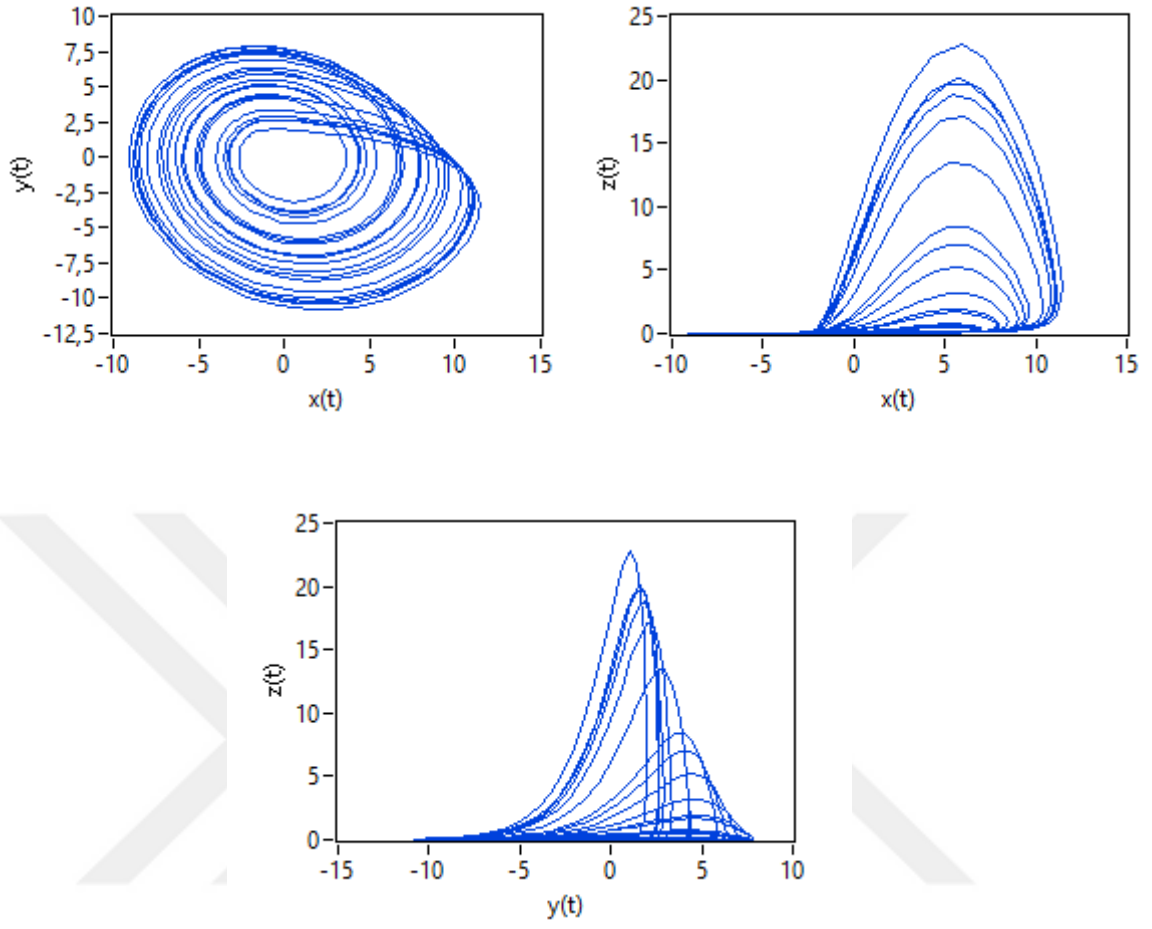
$$\dot{y} = x + ay \quad (2.6)$$

$$\dot{z} = b + z(x - c)$$

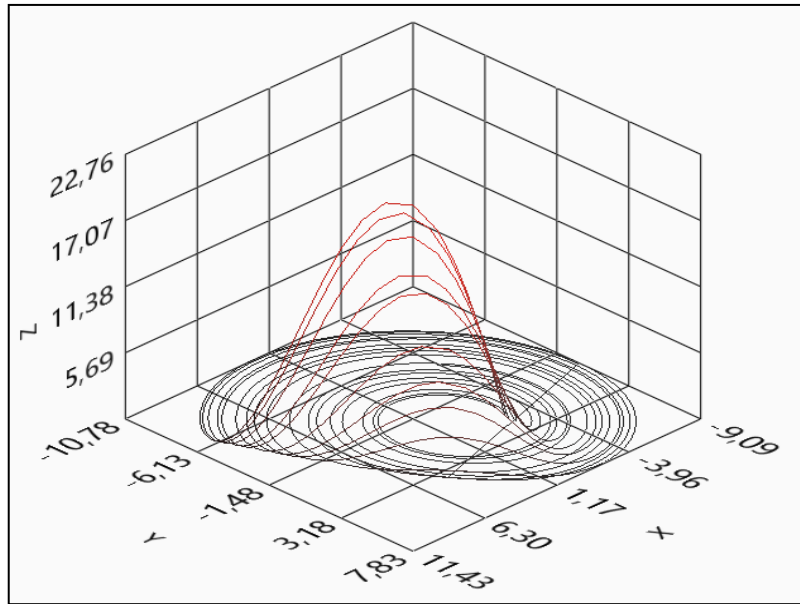
Sistemin durağan parametreleri olarak $a=0.2$, $b=0.2$, $c=5.7$ dir. x , y , z durum değişkenleridir ve başlangıç koşulları olarak $x_0=-9$, $y_0=0$, $z_0=0$ alındığında kaotik sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 2.25'de durum değişkenlerinin zamana göre değişimi, Şekil 2.26'da (x - y , x - z , y - z) iki boyutlu faz çıktıları, Şekil 2.28'de ise üç boyutlu kaotik çekicisi verilmiştir.



Şekil 2.25 Rössler kaotik sistemi durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



Şekil 2.26 Rössler kaotik sisteminin 2D (x-y,x-z,y-z) kaotik çekicileri

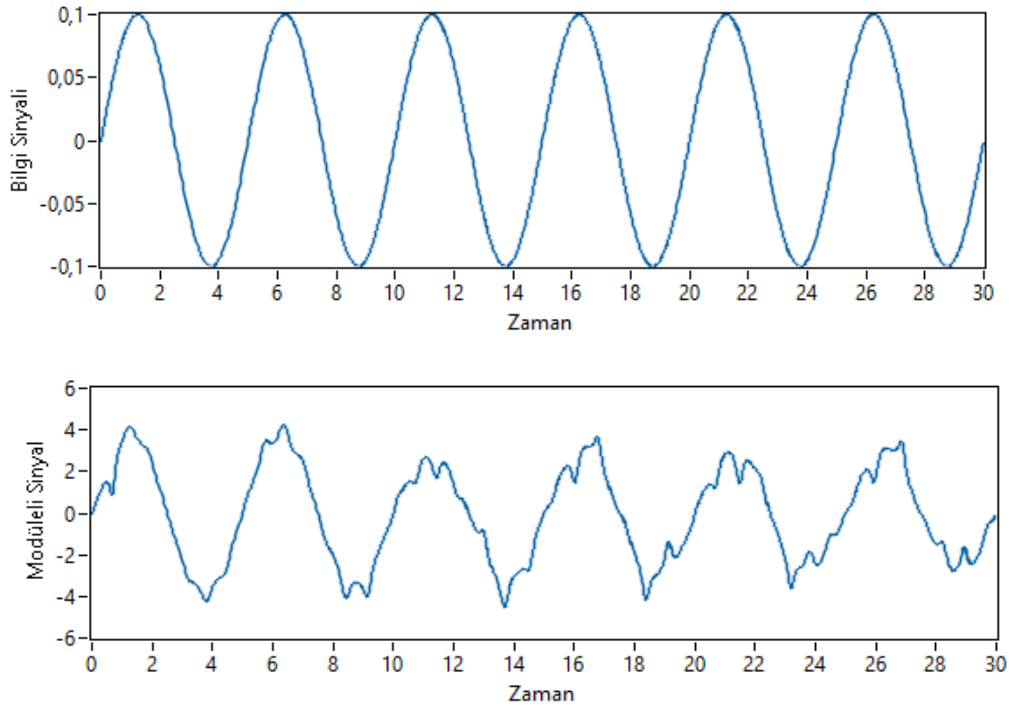


Şekil 2.27 Rössler kaotik sisteminin 3D (x-y-z) kaotik çekicisi

3.KAOTİK KONTROL

Haberleşmeye verilen önemin artması ve haberleşmenin yaygınlaşmasıyla birlikte güvenilirliği de sorgulanır hale gelmiştir. Kaotik haberleşme, haberleşmede iletilen bilginin güvenliğinin sağlanmak istenmesi sonucu ortaya çıkmış olan kaos teorisinin bir uygulama alanıdır. Bu uygulama alanı sayesinde iletilmek istenen veri, sadece alıcı ve verici tarafından algılanabilmektedir. Dışarıdan bu iletişime dahil olmak isteyen başka bir kullanıcı tarafından iletilecek olan verinin içeriği anlaşılamamaktadır. Kaotik haberleşme, dinamik sistemlerin düzensiz kaotik davranışları sayesinde meydana gelir. Bu davranışlar sayesinde iletilmek istenen veri verici tarafından kodlanır ve alıcı tarafından çözümlenir böylece verinin güvenli bir şekilde iletimi sağlanmış olur.

Haberleşmede iletilmek istenen ses sinyalleri genel olarak AM ve FM modülasyon teknikleri vasıtası ile iletilmek istenen ses sinyali güçlendirilerek gönderilir. Çünkü iletilmek istenen ses sinyali iletmeye uygun büyüklükte değildir. Ses sinyalinin güçlendirilmesi taşıyıcı adı verilen sinyaller (sinüsoidal sinyaller) aracılığı ile yapılır. Şekil 3.1'de haberleşmede kullanılan sinyaller verilmiştir.



Şekil 3.1. Haberleşmede kullanılan sinyaller

İletilmek istenen verinin gizli bir şekilde iletimi söz konusu olduğunda kaotik haberleşme devreye girer. İletimi sağlanacak olan verinin değiştirilmesi söz konusu olamayacağından, taşıyıcı üzerinde bir değişiklik yapılması gerekir. İletilmek istenen sinyale kaotik osilatörler yardımı ile üretilen kaotik sinyaller eklenilerek, sinyalin dışarıdan bir kullanıcı tarafından anlaşılamayacak şekilde bir nevi kaotik maskelenmesi sağlanmış olur. Vericide bulunan başka bir kaotik osilatör sayesinde, üzerine kaotik sinyal eklenmiş olan veri deşifre edilir ve böylece tarafların haberleşmesi güvenli bir şekilde sağlanmış olur. Bu kaotik maskeleyme olayı, kaotik osilatörün kendi içerisinde ürettiği parametrelerin veri sinyaline eklenmesi ile gerçekleşir. Kaotik osilatör tarafından üretilen bu sinyal kaotik sinyal taşıyıcı olarak adlandırılır.

Kaotik osilatör tarafından üretilen parametreler kaotik davranıştan dolayı hiçbir zaman aynı olmaz, her iletimde farklı parametreler üretilerek sinyale eklenir. Bu nedenle iletilmek istenen verinin alıcı tarafından çözümlenebilmesi için vericinin de kendine ait bir kaotik osilatöre sahip olması gerekir.

Alıcı ve vericinin kendilerine özel iki ayrı kaotik osilatöre sahip olmalarının yanı sıra, bu kaotik sinyal üreticilerinin eş zamanlı olarak çalışmaları yani senkronize olmaları gerekmektedir. Kaotik haberleşmede bilgi verici tarafından modüle edilirken alıcı tarafından demodüle edilir.

3.1.Kaos Kontrolü ve Kaos Kontrol Yöntemleri

Güvenli haberleşme ve daha birçok uygulamanın temelini oluşturan kaotik sistemlerin sahip oldukları periyodik olmayan davranış yani kararsız davranış iki veya daha fazla kaotik sistemin bir arada çalışması durumunda sorun teşkil etmektedir. Birbirinden bağımsız iki kaotik sistemin uyum içerisinde çalışmasını sağlamak için sistemlerin istenilen kararlı bir duruma geçirilmesi, kaotik sistemin bu kararlı duruma geçmeye zorlanması gerekir. Kaotik bir sistemin istenilen bir kararlı duruma geçmesi, kaos kontrol yöntemleri sayesinde mümkün kılınmıştır. Kaotik sistemlerde kontrolün sağlanması demek, sistemin kaotik davranışının belirli bir yörüngede sınırlandırılıp sistemin o yörüngede kararlı bir salınım sergilemesinin sağlanmasıdır. Kaos kontrolü birçok şekilde gerçekleştirilebilir.

3.1.1.Açık Çevrim Kontrol

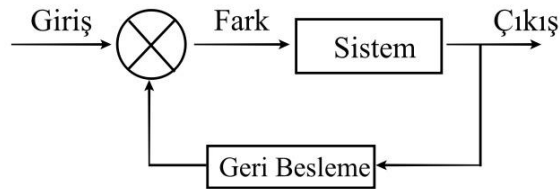
Kontrol düzeneğinin, sistemin çıkışından etkilenmediği sadece giriş referans değerlerine göre kontrolün yapıldığı kontrol sistemidir. Hassas olmayan sistemlerde kullanılan bir kontrolör çeşididir. Bozucu faktörler insan faktörü tarafından algılanabilmektedir. Giriş referans sinyali kontrolör tarafından alınır ve oransal bir kontrol sinyali üretilerek sürücüye verilir. Açık çevrim kontrole ait blok diyagramı Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Açık Çevrim Kontrol

3.1.2.Kapalı Çevrim Kontrol

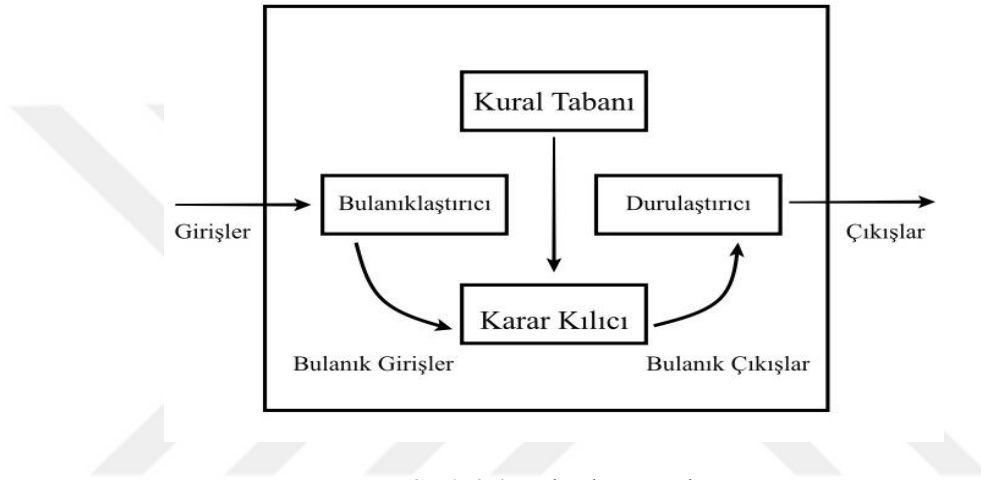
Kapalı çevrim kontrolde, sistemin çıkışı bir ölçme elemanı ile ölçülür ve ölçülen büyüklük girişe geri beslenir. Sistemin girişine bir geri besleme yapıldığından bu kontrol yöntemine geri beslemeli kontrol yöntemi de denilmektedir. Çıkıştan bu değer referans değerle karşılaştırılır yapılan karşılaştırma sonucunda bir hata sinyali elde edilir. Elde edilen bu hata sinyaline ve çıkış değişkenine göre uygun bir denetleme sinyali üretilir. Kapalı çevrim kontrolde üç işlem meydana gelir: 1) Sistemin çıkış büyüklüğü ölçülür. 2) Ölçülen değer ile referans değer arasındaki hata ölçülerek hata sinyali üretilir. Ölçülen bu sinyal denetim amaçlı kullanılır. 3) Sistem değişkenleri üzerinde hatayı azaltacak düzenlemeler yapmak için bir denetim sinyali uygulanır. Kapalı çevrim kontrole ait blok diyagram Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Kapalı Çevrim Kontrol

3.1.3.Bulanık Kontrol

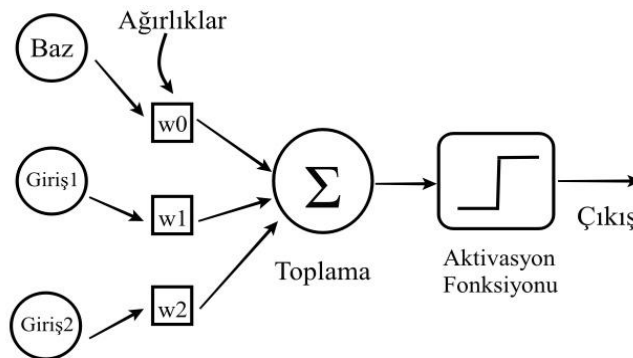
Kontrolü sağlanılacak sistemin matematiksel modelini kullanmak yerine, bulanık kümeler üzerinden kontrolü gerçekleştiren kontrol çeşididir. Bulanık mantık kontrolünde temel nokta, alanında uzman bir kişinin kendi bilgi, deneyim ve kontrol stratejisini kontrolör tasarımında bilgi tabanı olarak kullanmasıdır. Bulanık kontrol sisteminde kontrol işi, uzman kişinin bilgisine ve deneyimine dayanan sözel kurallar vasıtası ile gerçekleştirilir[27]. Bulanık kontrolör yapısına ait blok diyagram Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Bulanık Kontrol

3.1.4.Yapay Sinir Ağları ile Kontrol (YSA Kontrol)

İnsan beynindeki nöronların modellenmesiyle oluşturulan bir kontrol yöntemidir. Yapay sinir ağları ile kontrol de (YSA kontrol) bulanık kontrol yöntemi gibi uygulanabilirlik açısından kaotik sistemlere uygun olduğundan bu kontrol yöntemi ile de kaos kontrolü yapmak mümkündür. YSA kontrolör blok diyagramı Şekil3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.5. YSA Kontrol

3.1.5. OGY Kontrol

E. Ott, C. Grebogi ve JA Yorke, tipik olarak bir kaotik çekerde gömülü olan sonlu sayıda kararsız olan yörüngelerin, sadece küçük pertürbasyonlar şeklinde uygulanmak şartıyla kaotik sistem kontrolünde kullanılabileceğini gözlemlediler. OGY kontrol yönteminde, küçük, akıllıca seçilen vuruşlar, istenen kararsız periyodik yörünge yakınında tutulması için döngü başına bir kez sisteme uygulanır[28]. Başlangıçta kaotik çekirdeğin bir dilimi analiz edilerek kaotik sistem hakkında bilgi edinilebilir. Bu dilime "Poincaré Kesiti" denir. Kesit hakkındaki bilgiler toplandıktan sonra, sistemin çalışmasına izin verilir ve kaotik sistem kesitteki arzu edilen periyodik yörüngeye ulaşana kadar beklenir. Ardından sistem, uygun parametreyi bulana kadar o yörüngede kalmaya zorlanır. OGY kontrol doğru bir şekilde uygulandığında, ortaya çıkan yeni çekici sistemin arzu edilen yörüngede kalması sağlanır. Bu yöntemin bir artısı, kaotik sistem hakkında detaylı bilgiye ihtiyaç duymamasıdır. Poincaré Kesiti' nin bilinmesi yeterlidir. Bu nedenle, yöntemin çok çeşitli kaotik sistemlerin kontrolünde çok başarılı olduğu düşünülmektedir[29].

3.1.6. Pyragas Kontrol

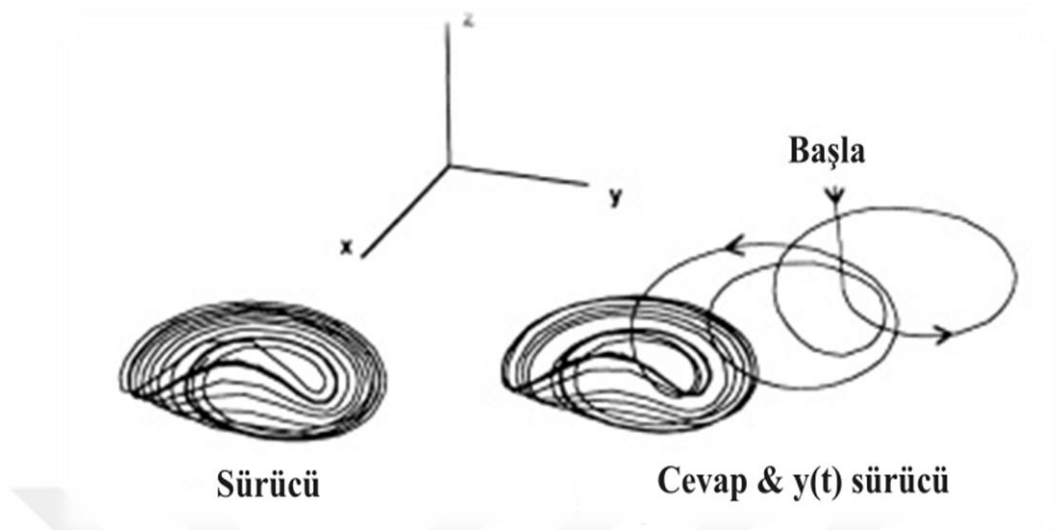
Bu yöntemde sistemin seçilen bir kararsız yörüngesi, zaman gecikmeli bir geri besleme ile kararlı hale getirilmeye çalışılır. Pyragas Kontrol metodunda, periyodik bir yörüngeyi stabilize etmek için uygun bir sürekli kontrol sinyali sisteme uygulanır. Uygulanan sinyalin yoğunluğu pratik olarak neredeyse sıfır olmalıdır ki kaotik sistem arzulanan periyodik yörüngeye evrilebilsin. Hem Pyragas hem de OGY kontrol yöntemleri kaotik sistemin sadece uygun bir kesiti boyunca davranışını gözlemleyerek elde edilen sistem bilgisine dayanılarak uygulanabilen kapalı çevrim(closed loop) veya geri besleme (feedback) yöntemleri olarak adlandırılan yöntemlerin genel bir sınıfının bir parçasıdır[30].

3.2.Kaotik Senkronizasyon ve Kaotik Senkronizasyon Yöntemleri

Senkronizasyon kelime anlamıyla iki ya da daha çok olay arasında mevcut olan zaman birlikteliği, eş zamanlamadır. Senkronizasyon, en temel şekilde salınım yapan en az iki sistem arasındaki etkileşim ve ritimlerin ayarlanması olarak tanımlanabilir. İlk defa 17. yüzyılda sarkaçlı saatin mucidi olan Hollandalı bilim insanı Huygens tarafından keşfedilmiştir. Günlük hayattaki senkronizasyona ateş böceklerinin uyum içerisinde yanıp sönmesini, stadyumlarda yapılan meksika dalgasını, gösteri sonrası seyircilerin belli bir süre sonunda alkış ritmini tutturmasını örnek verebiliriz[31-32].

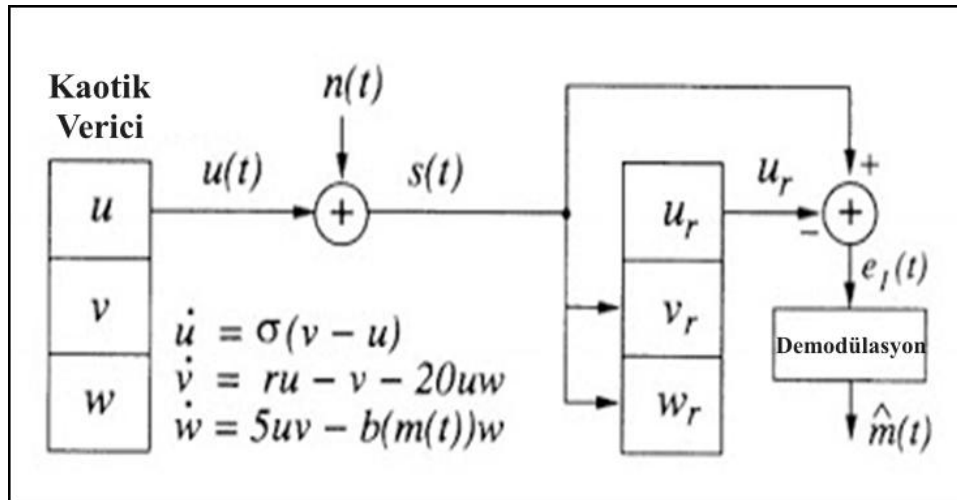
Kaotik senkronizasyon ise en az iki veya daha fazla kaotik sistemin belirlenen ölçütlere göre eş zamanlı olarak çalışmasıdır. Kaotik sistemlerde modüle-demodüle çalışma açısından alıcı ve verici devresi kaotik osilatörlerinin senkron bir şekilde çalışmaları gerekir. Bu senkronize olma durumu da senkronizasyon metotları ile gerçekleştirilir.

Kaosa dair ilk çalışmalar tanımlayıcı niteliktedir. 1990'lara kadar kaosun yapısına, davranışına ve örneklerine ilişkin çalışmalar yapılmıştır. 1990 yılında Pecora ve Carroll tarafından yayınlanan makalede iki kaotik sistemin senkronize çalışmasının mümkün olduğu ispatlanmıştır. Yayında iki eş kaotik Rössler ve Lorenz sisteminin master-slave çalışma durumu için senkronize hale getirildiği matematiksel denklemler yardımı ile ispatlanmıştır ve oluşturulan bir elektronik devre ile de sonuç desteklenmiştir[33]. Normalde bağımsız iki kaotik sistemin kaotik davranışlarından dolayı birbirlerinden tamamen farklı davranışları sergilemeleri beklenir. Ancak çalışmada anlatılan master-slave durumu söz konusu olduğunda, iki kaotik sistem arasında bir etkileşim meydana gelir ve bu iki kaotik devreden birisi diğerinin sürücüsü konumunda çalışır ve takip eder. Pecora ve Carroll'un oluşturdukları sürücü sistem ve cevap sistemine ait kaotik çekerler Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Rössler sürücü sistemi ve cevap sisteminin kaotik çekerleri[33]

Kevin M. Cuomo ve V. Oppenheim' in yayınladıkları çalışmada kaos senkronizasyonu için gerekli devre tasarımları sunulmuştur[34]. Cuomo ve Oppenheim'in oluşturdukları kaotik haberleşme devresi Şekil 3.7'de verilmiştir.



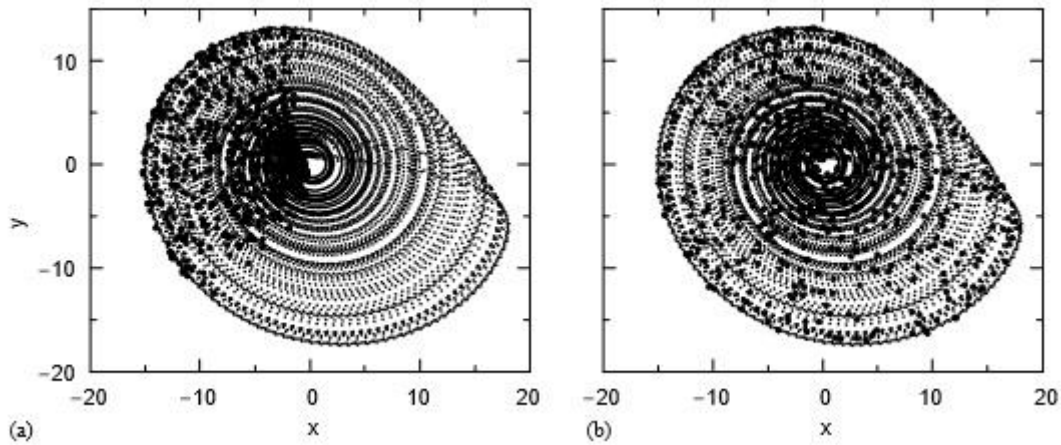
Şekil 3.7. Kevin M. Cuomo ve V. Oppenheim Kaotik Haberleşme Devresi[34]

3.2.1.Tam Senkronizasyon

Kaotik sistemler, başlangıç şartlarına olan aşırı hassasiyetlerinden dolayı senkronize olmaya karşı gelen sistemlerdir. Bu sebepten dolayı iki eş kaotik sistem faz düzleminde neredeyse aynı başlangıç koşullarında olmalarına rağmen zaman içerisinde birbiriyle ilişkisiz olan yörüngeler oluştururlar. Tam senkronizasyon yöntemiyle bu tip sistemler aynı kaotik yörüngede ilerlenmeye zorlanarak senkronize edilir. Birbiri ile benzer sistemler ile uğraştığında, senkronizasyon, zaman içinde gelişirken durum değişkenlerinin eşitliği olarak görünür. Bu tip senkronizasyon Tam senkronizasyon olarak adlandırılır. Yani tam senkronizasyonda sistemlerin belli yörüngelere itilmesi sebebi ile senkronizasyon belirli bir süre sonra gerçekleşmiş olur[35].

3.2.2.Faz Senkronizasyon

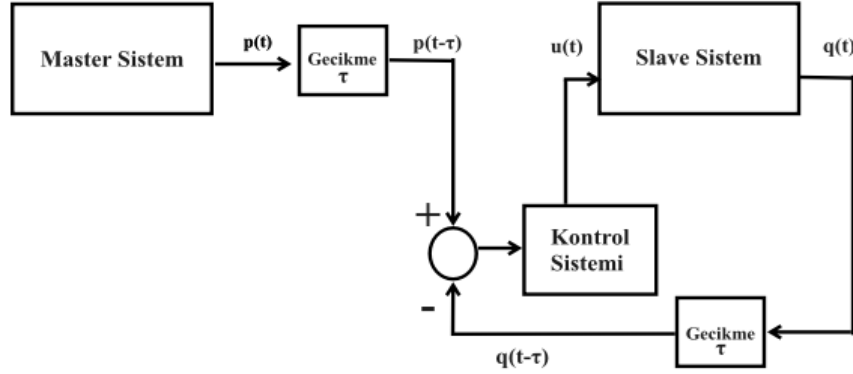
Zayıf etkileşim halindeki osilatörlerin senkronizasyonu incelendiğinde bu osilatörlerin faz değişkenlerinin dinamiği göz önüne alınabilir. Çok karmaşık bir şekilde gerçekleşse de bir osilatörün dinamiği tek değişkene bağlı bir şekilde diferansiyel bir denklemle ifade edilebilir. Yalnızca faz değişkenlerinin dinamiği göz önüne alınarak gerçekleştirilen senkronizasyon yöntemine faz senkronizasyon yöntemi denir[35]. Rössler kaotik sisteminin Faz senkronizasyon sonucu stroboskopik çizimleri Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Rossler kaotik sisteminin stroboskopik çizimi. (a) Faz senkronize edilmiş, (b) Faz senkronize edilmemiş[35]

3.2.3.Master-Slave Senkronizasyon

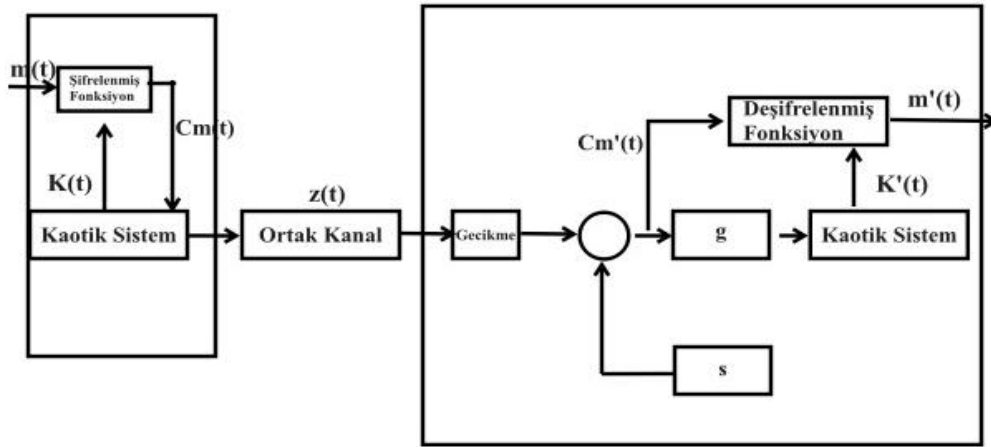
Kaotik sistemlerden birinin diğerinin sürücüsü şeklinde çalışması ile gerçekleştirilen senkronizasyon türüdür. Verici master, alıcı slave konumunda çalışır ve alıcı sürekli vericiyi takip eder. Master-slave senkronizasyona ait blok diyagramı Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9. Master-Slave çalışma durumu [36]

3.2.4.Lag Senkronizasyon

Eşdeğer veya farklı iki kaotik sistemin belirli bir gecikme sonrasında birbirini ile senkronize edilmesidir. Alıcı sistem verici sistemi belirli bir bekleme süresinden sonra takip eder. Bu süre sonunda iki kaotik sistemin senkronize edilmiş çıktıları gözlenir. Lag senkronizasyona ait blok diyagramı Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Lag senkronizasyon [37]

4.KAOTİK SİSTEM BENZETİMLERİ

Çalışmanın bu bölümünde kaotik devre gerçeklemelerinde LabVIEW programı kullanılmıştır. Kaotik sistemlerin gerçeklemelerinde kaotik sistemler durum denklemlerinden meydana geldikleri için, bu sistemleri modellemek için gerekli integrasyon, çarpma, toplama, işaret tersleme, türev alma vb. işlemler LabVIEW ortamında gerçekleştirilmiştir.

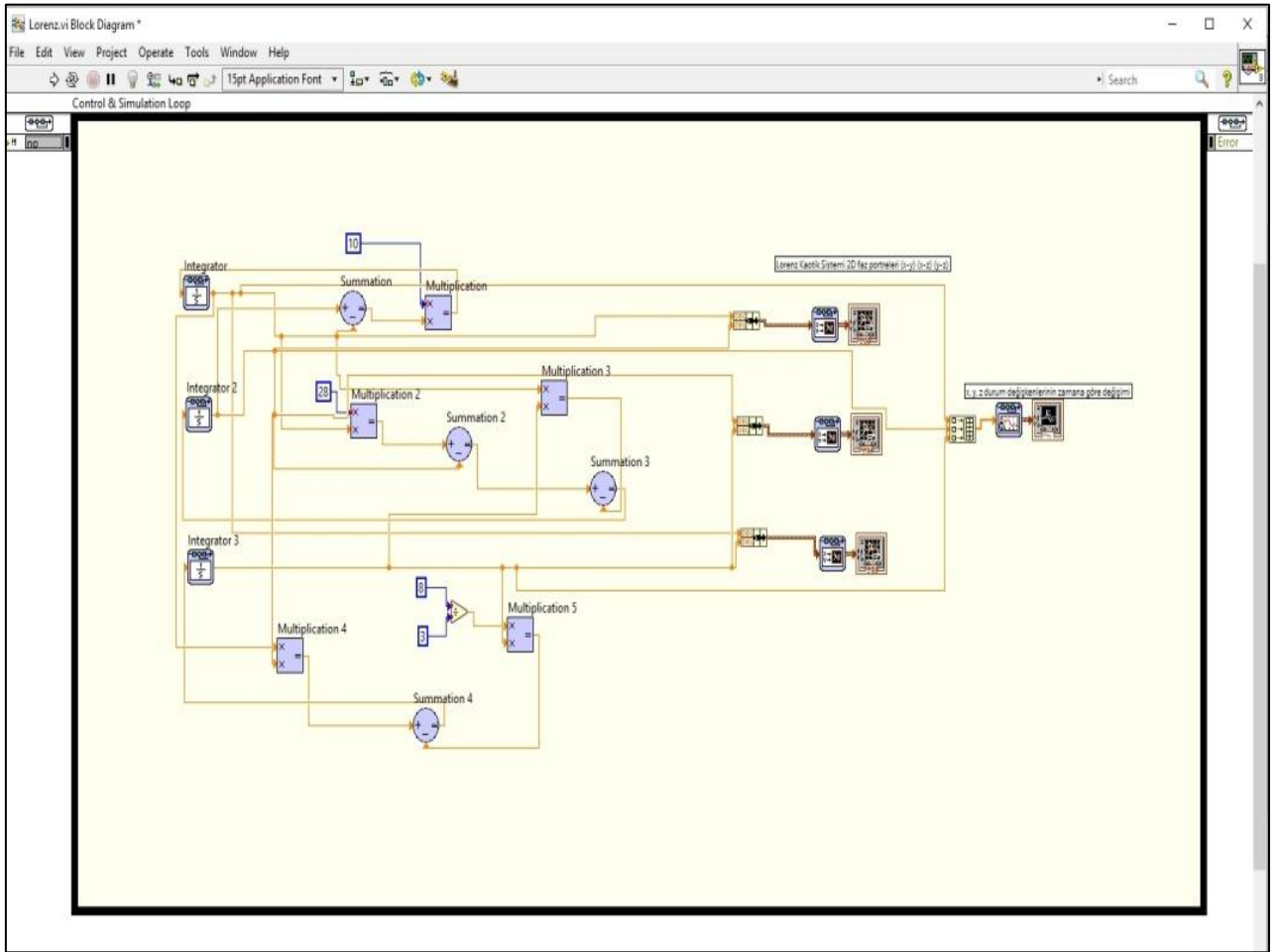
LabVIEW, Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench kelimelerinin kısaltılmasıyla oluşturulmuş, grafik tabanlı görsel programlama imkanı sunan bir bilgisayar programıdır. Bu programda fonksiyonel noktalar birbirine bağlanarak bir grafik gösterim üzerinden programlama yapılır. LabVIEW Java, C, C++ gibi geleneksel programlama dillerinden farklı olarak benzetimin ötesinde gerçek zamanlı interaktif uygulama imkanı da sağlayarak geniş bir çalışma ortamı sunmaktadır. LabVIEW programı mevcut olan tüm işletim sistemleri üzerinde çalışabildiği gibi Field Programmable Gate Array (FPGA), Digital Signal Processor (DSP) ve mikroişlemciler gibi değişik sistemler üzerinde de çalışma yapabilme imkanı sunar.

LabVIEW birçok kişi tarafından G (Graphical) programlama dili olarak isimlendirilmiştir. Mevcut programlama dilleri ile uzun bir süreçte yazılabilen bilgisayar programları LabVIEW ortamında kısa sürede yazılabilir. Diğer programlama dillerinden farklı olarak geliştirilmiş interaktif grafiksel bir kullanıcı ara yüzüne sahiptir. LabVIEW gerçek zamanlı çıkışlar üretebilmek adına Data Acquisition (DAQ) ve General Purpose Interface Bus (GPIB) için kod kütüphaneleri gibi spesifik kütüphane uygulamalarını ve seri aygıt kontrolü, veri analizi, veri kontrolü, veri depolama gibi farklı uygulamaları da içerir. LabVIEW kütüphanesinde lineer cebir, dizi aritmetiği, sinyal üretme-işleme modülleri, kontrol-benzetim modülü vb. çok yönlü ve kullanışlı alt yapıları bünyesinde bulundurmaktadır.

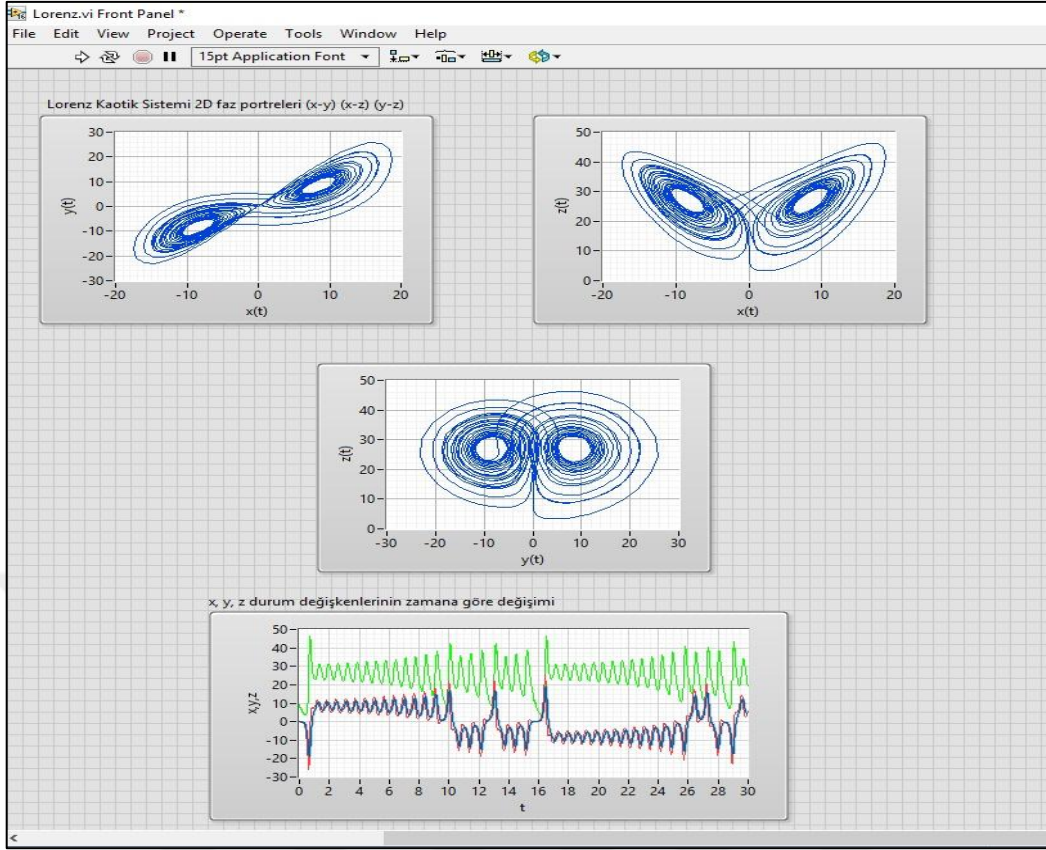
LabVIEW'in grafiksel tabanlı bir program olmasından dolayı bir veri sunum programı olarak düşünülebilir. Üzerinde çalışılan veri istenilen formda görüntülenebilir. Çalışmada benzetimi gerçekleştiren kaotik sistemlerin modellemeleri LabVIEW programının Block Diagram arayüzünde oluşturulmuştur. Sistemlerin çıktıları ise yine aynı programın Front Panel arayüzünde elde edilmiştir.

4.1.Lorenz Kaotik Sistemi Benzetimi

Lorenz kaotik sistemine ait diferansiyel denklem takımı Denklem 2.1'de verilmiştir. Bu kaotik sisteme ait diferansiyel denklemlerin LabVIEW programı bünyesinde bulunan Control&Simulation modülünde benzetimi yapılmıştır. Sisteme ait blok diyagramı aşağıda gösterilmiştir. Kaotik sisteme ait 2D faz portreleri ve durum değişkenlerinin zamana göre değişimi front panel ara yüzünde elde edilmiştir. Lorenz kaotik sistemi için oluşturulan programa ait blok diyagram Şekil 4.1'de, front panel üzerinden okunan program çıktısı ise Şekil 4.2'de verilmiştir.



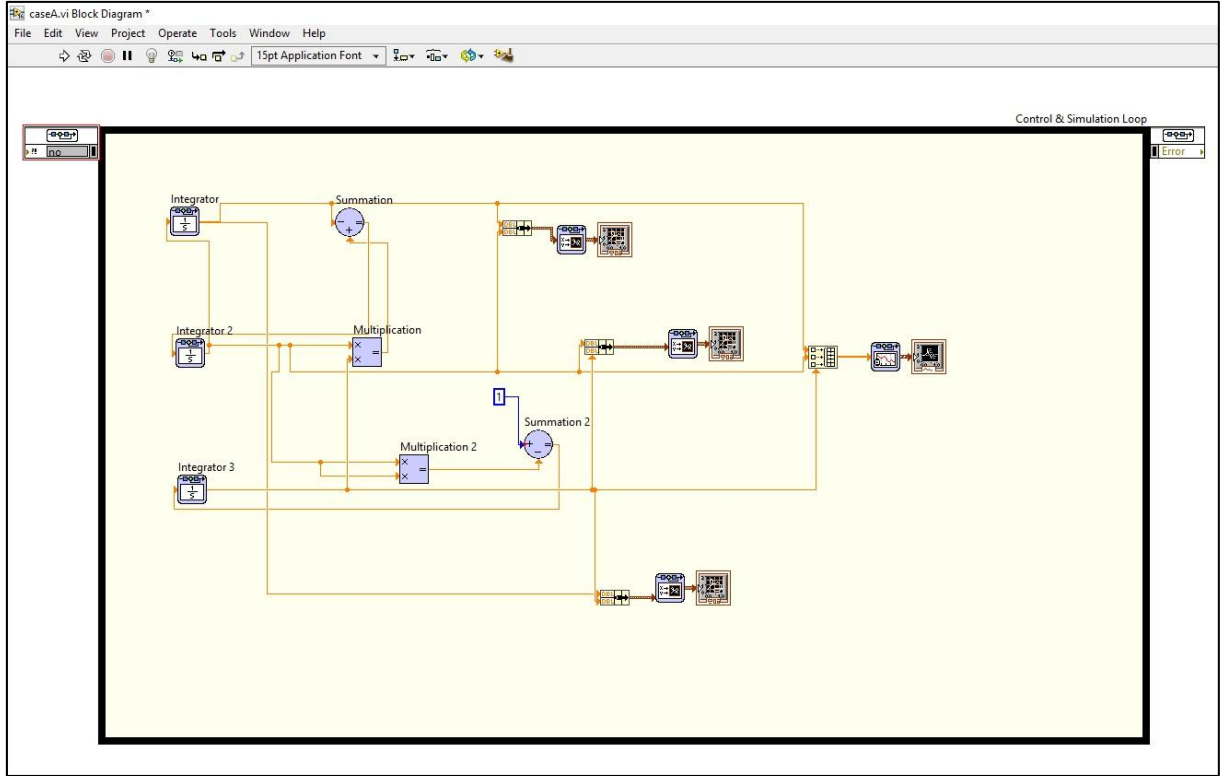
Şekil 4.1 Lorenz kaotik sistemi blok diyagramı



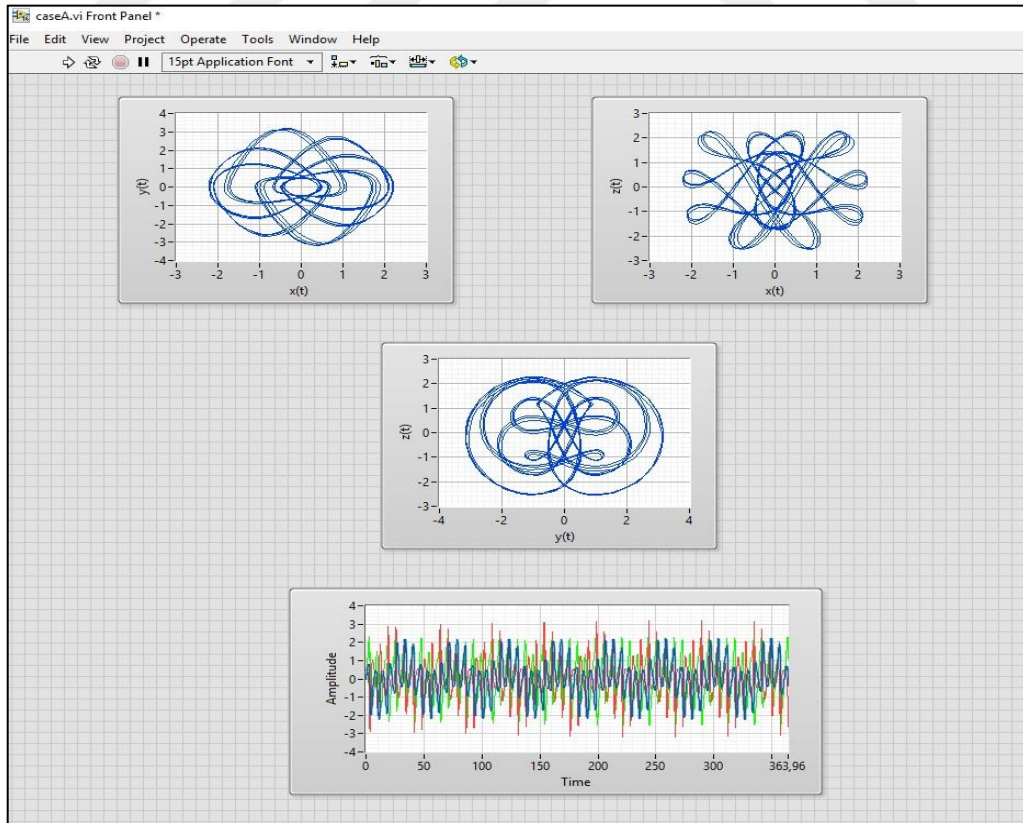
Şekil 4.2 Lorenz kaotik sistemi 2D faz portreleri ve durum değişkenlerinin zamana göre değişimi

4.2.Sprott Kaotik Sistemi Benzetimi

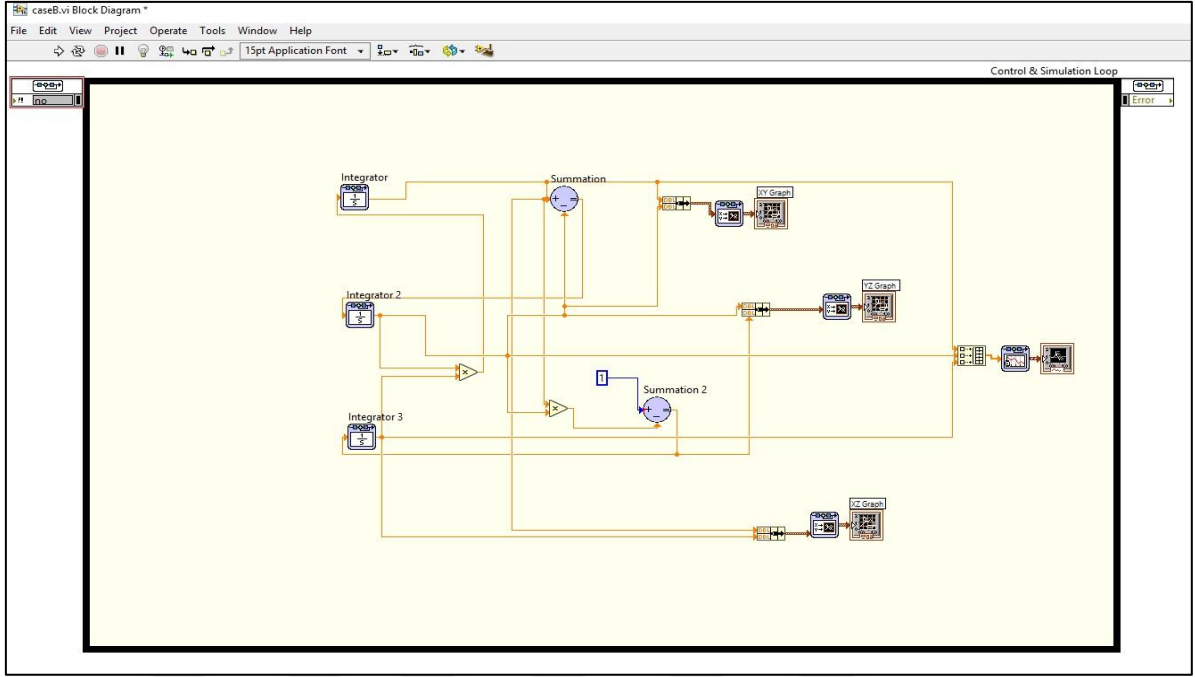
Sprott kaotik sistemine ait diferansiyel denklem sistemleri Şekil 2.4'de verilmiştir. Durum A, B ve C kaotik sistemlerinin benzetimi LabVIEW programı bünyesinde bulunan Control&Simulation modülünde gerçekleştirilmiştir. Sistemlere ait blok diyagramı şekil Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Kaotik sistemlere ait 2D faz portreleri ve durum değişkenlerinin zamana göre değişimi ise Front Panel ara yüzünde elde edilmiştir ve Şekil 4.4, Şekil 4.6 ve Şekil 4.8'de verilmiştir.



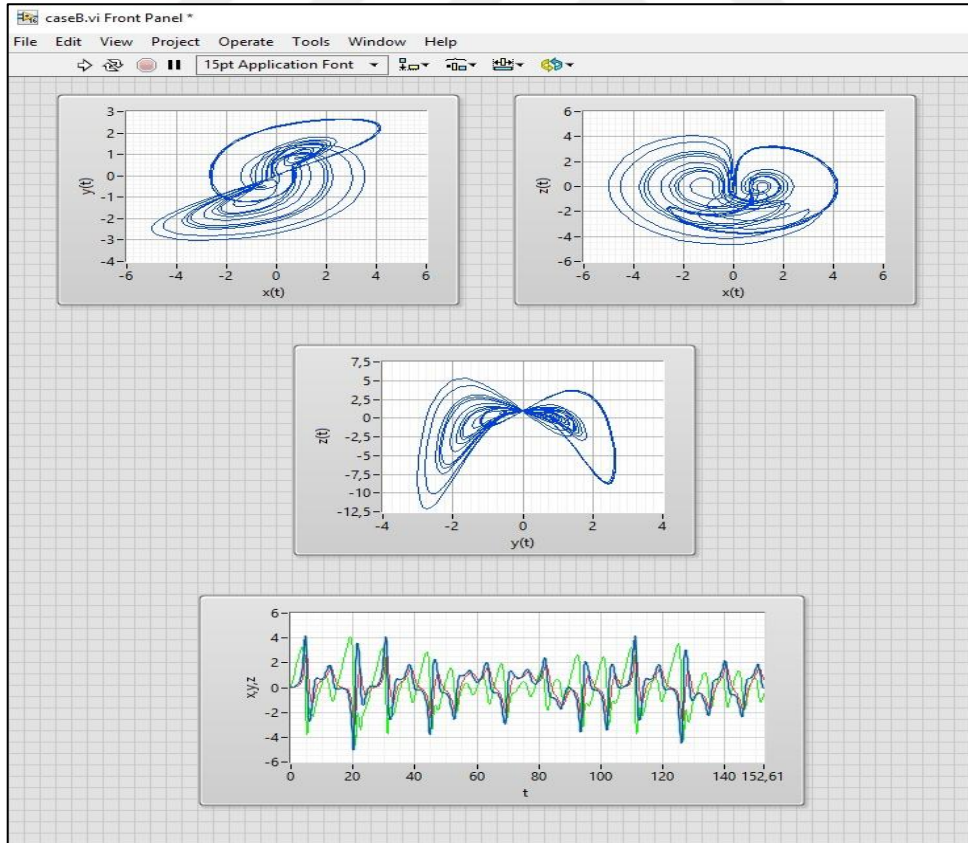
Şekil 4.3 Sprott durum A kaotik sistemi blok diyagramı



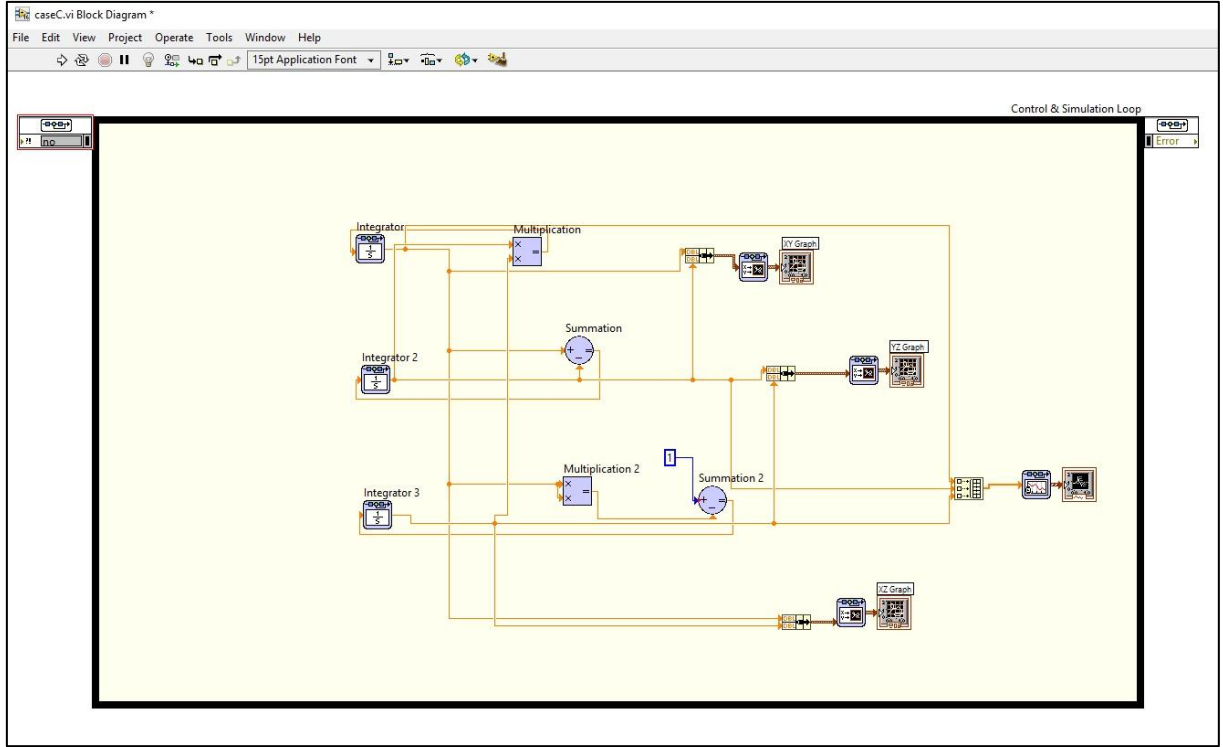
Şekil 4.4 Sprott durum A kaotik sistemi 2D faz portreleri ve durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



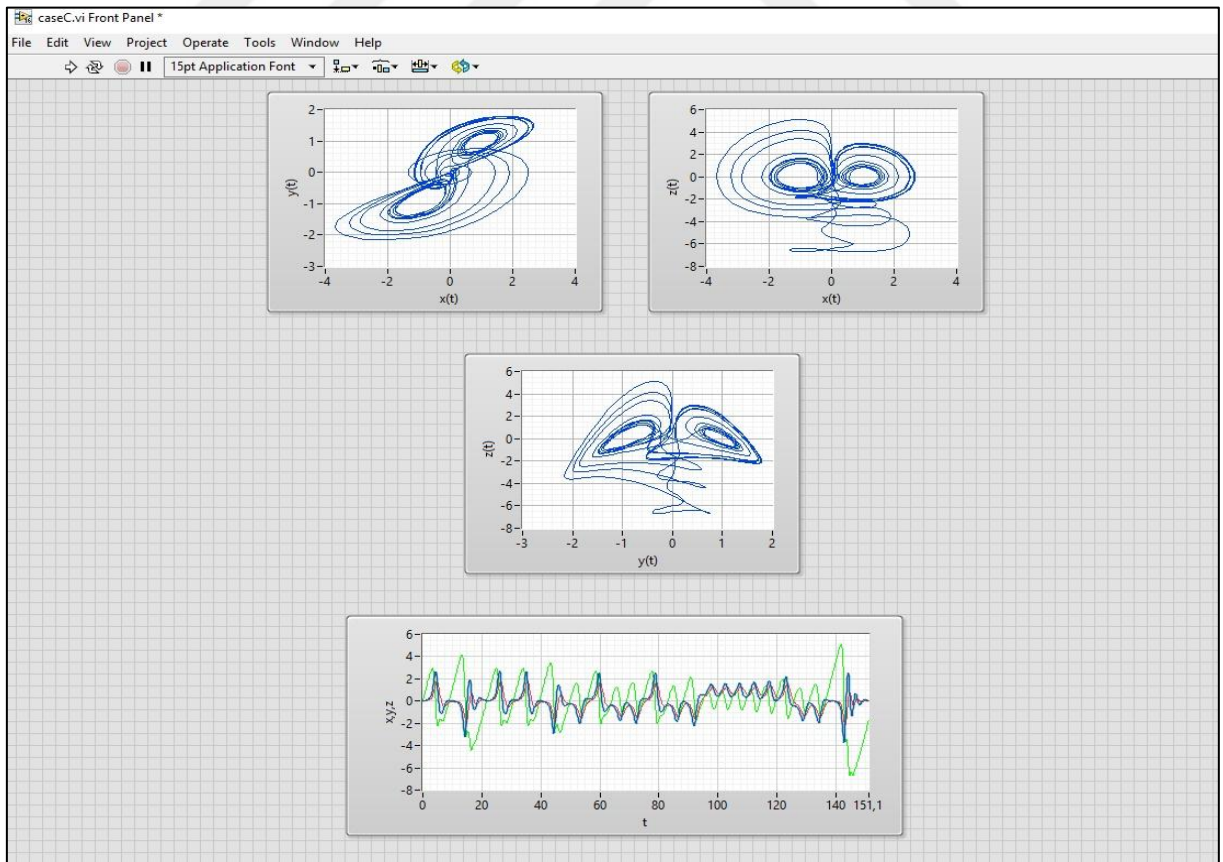
Şekil 4.5 Sprott durum B kaotik sistemi blok diyagramı



Şekil 4.6 Sprott durum B kaotik sistemi 2D faz portreleri ve durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



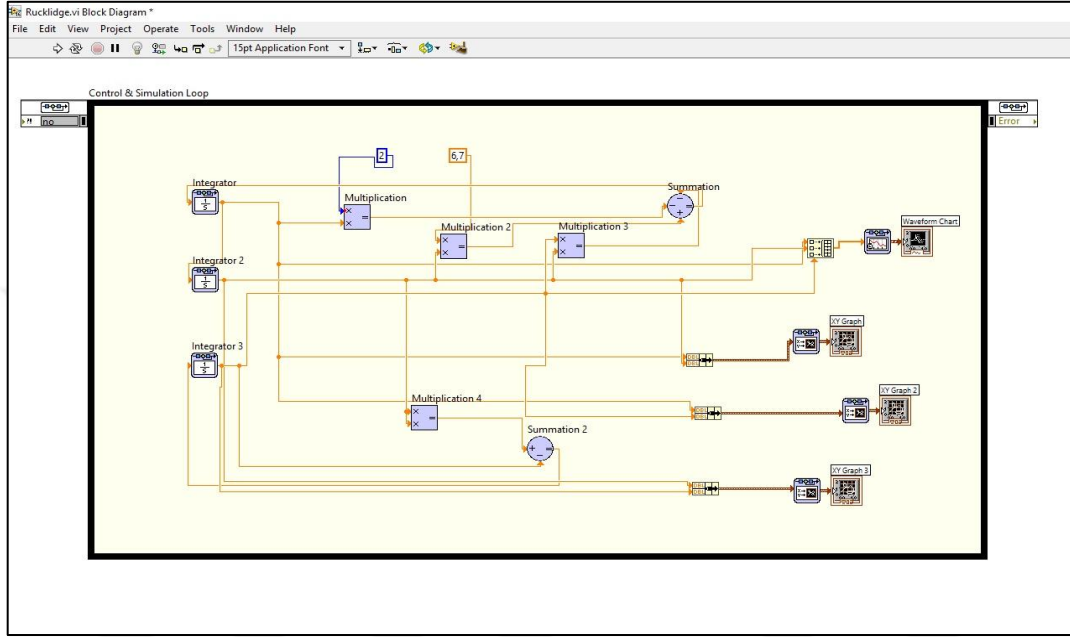
Şekil 4.7 Sprott durum C kaotik sistemi blok diyagramı



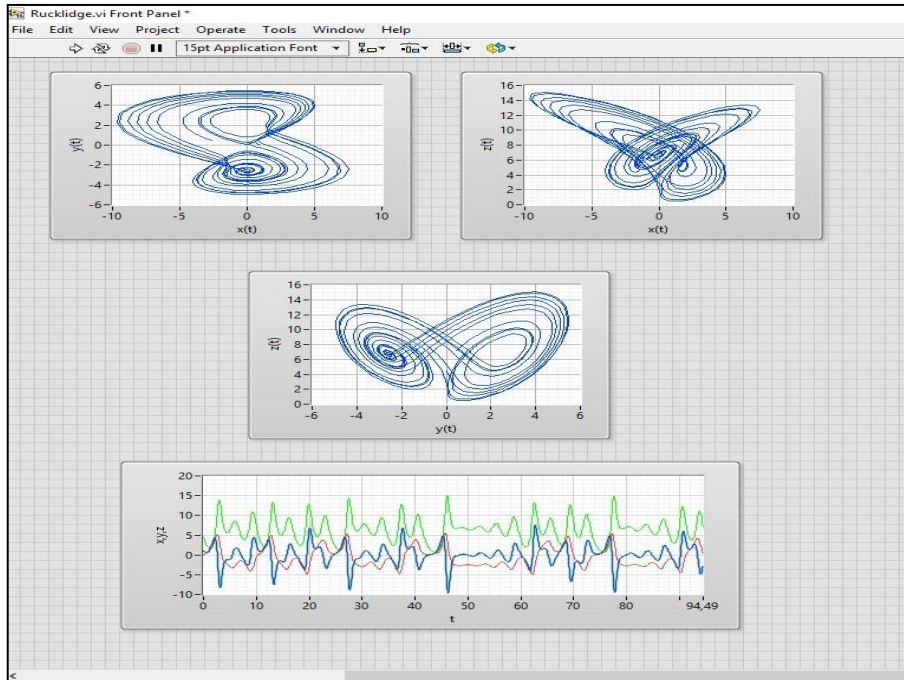
Şekil 4.8 Sprott durum C kaotik sistemi 2D faz portreleri ve durum değişkenlerinin zamana göre değişimi

4.3.Rucklidge Kaotik Sistemi Benzetimi

Rucklidge kaotik sistemine ait diferansiyel denklem takımı Denklem 2.2'de verilmiştir. Kaotik sistem için oluşturulan programa ait blok diyagramı Şekil 4.9'da program çıktısı ise Şekil 4.10'da verilmiştir.



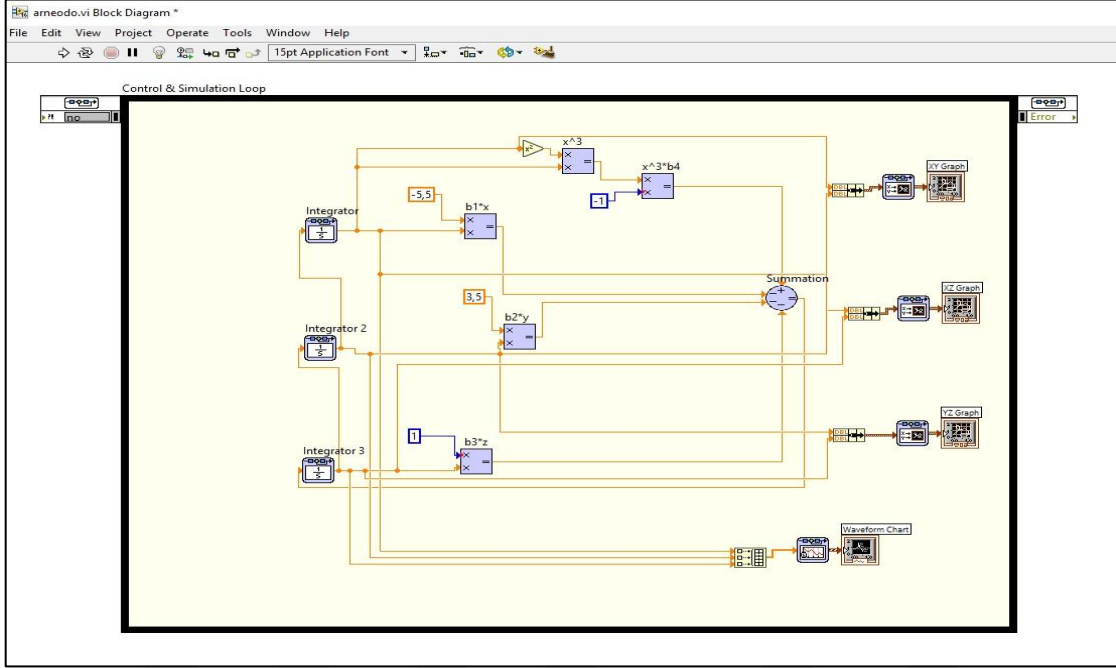
Şekil 4.9 Rucklidge kaotik sistemi blok diyagramı



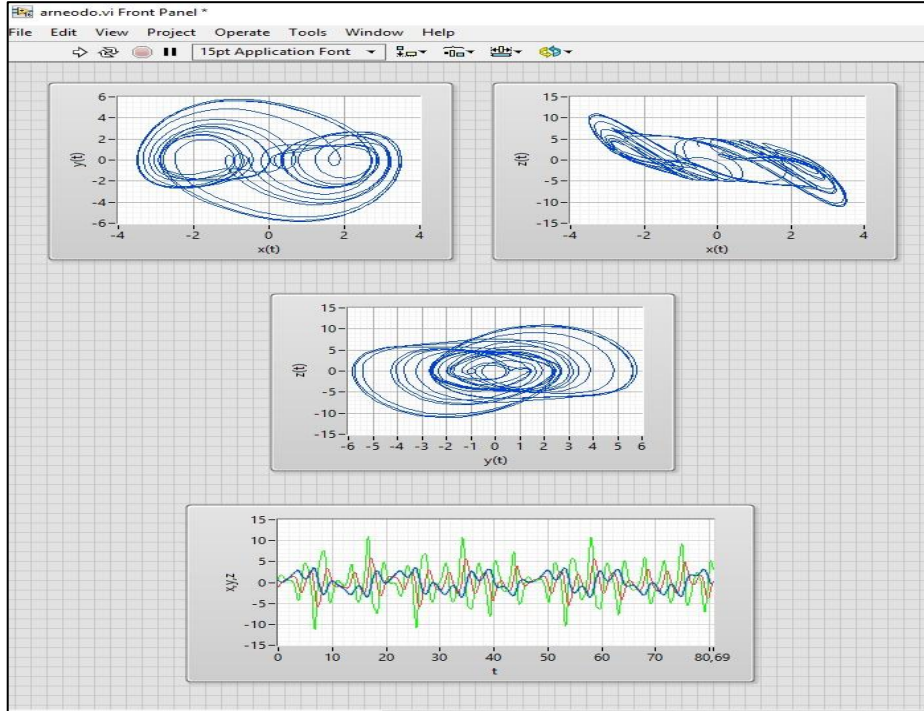
Şekil 4.10 Rucklidge kaotik sistemi 2D faz portreleri ve durum değişkenlerinin zamana göre değişimi

4.4.Arneodo Kaotik Sistemi Benzetimi

Arneodo kaotik sistemi için oluşturulan programın blok diyagramı Şekil 4.11'de yer almaktadır. Program çıktısı Şekil 4.12'de verilmiştir.



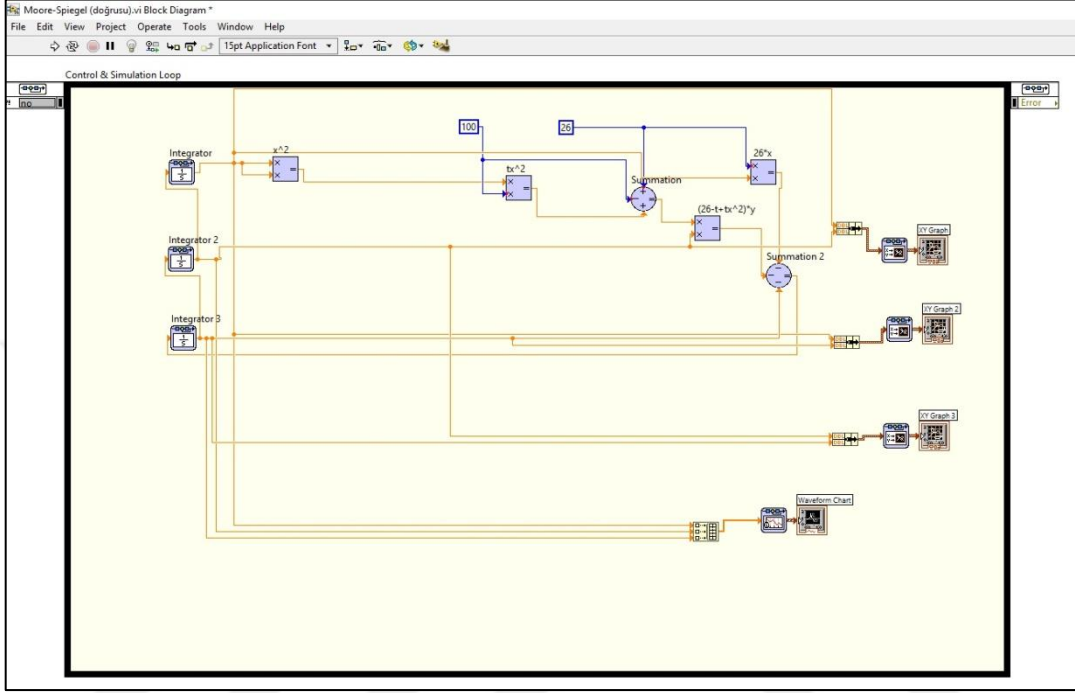
Şekil 4.11 Arneodo kaotik sistemi blok diyagramı



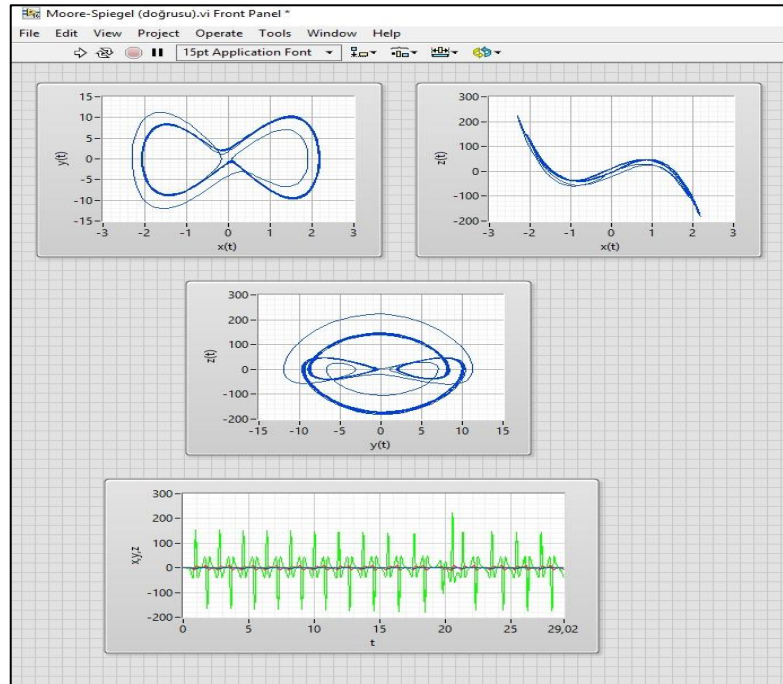
Şekil 4.12 Arneodo kaotik sistemi 2D faz portreleri ve durum değişkenlerinin zamana göre değişimi

4.5. Moore-Spiegel Kaotik Sistemi Benzetimi

Durum denklemlerim Denklem 2.4'de yer alan Moore-Spiegel kaotik sisteminin blok diyagramı Şekil 4.13'de gösterilmiştir. Sisteme ait çıktılar Şekil 4.14'de bulunmaktadır.



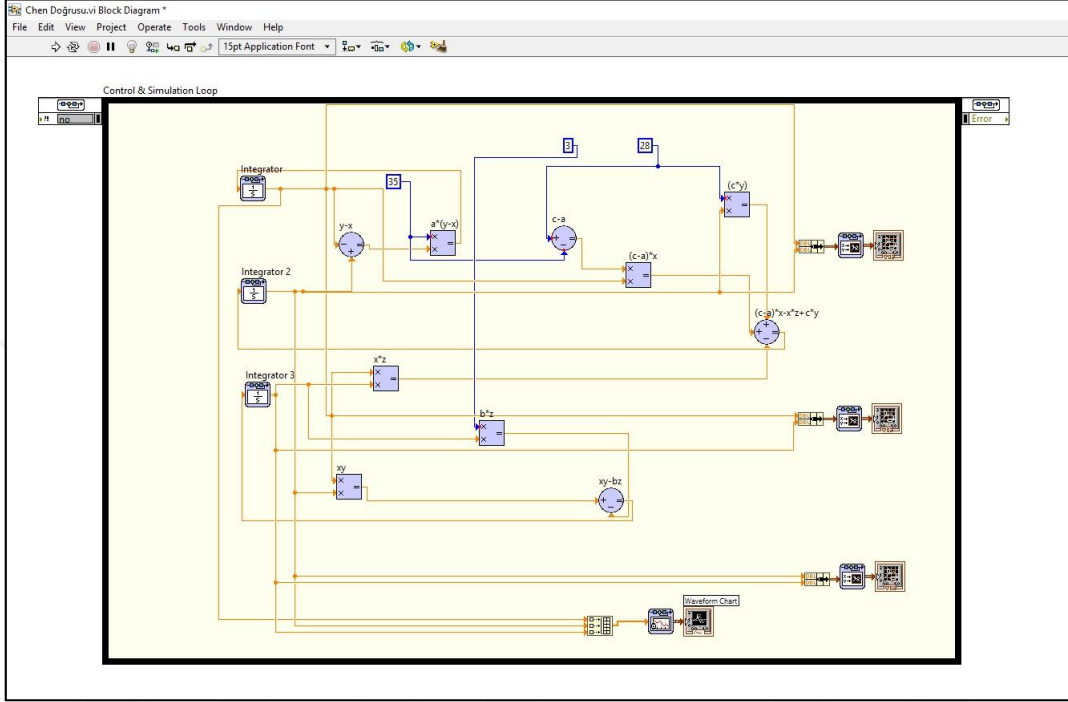
Şekil 4.13 Moore-Spiegel kaotik sistemi blok diyagramı



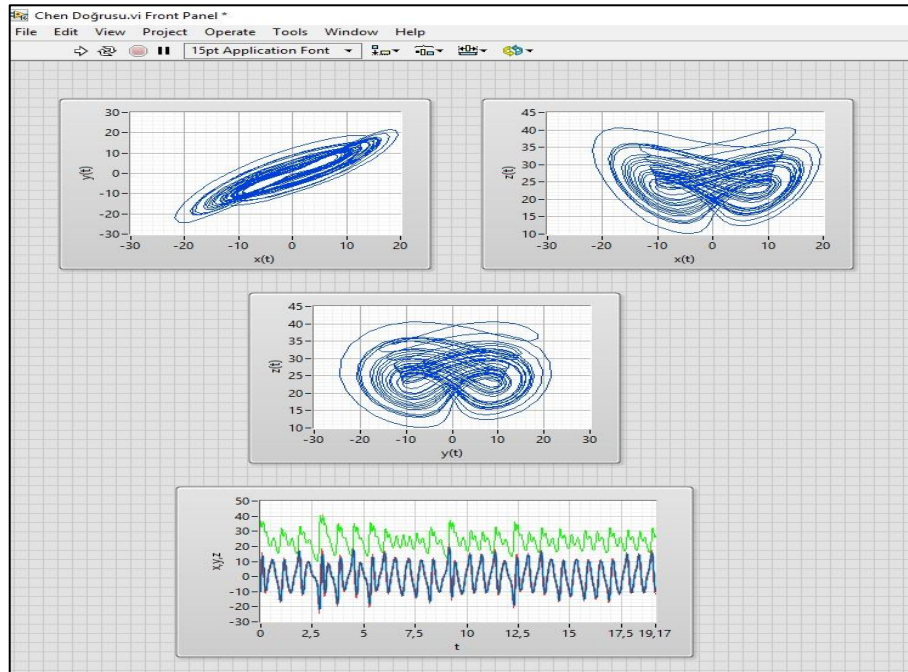
Şekil 4.14 Moore-Spiegel kaotik sistemi 2D faz portreleri ve durum değişkenlerinin zamana göre değişimi

4.6.Chen Kaotik Sistemi Benzetimi

Chen kaotik sisteminin blok diyagramı Şekil 4.15'de yer alırken programa ait çıktılar Şekil 4.16'da verilmiştir.



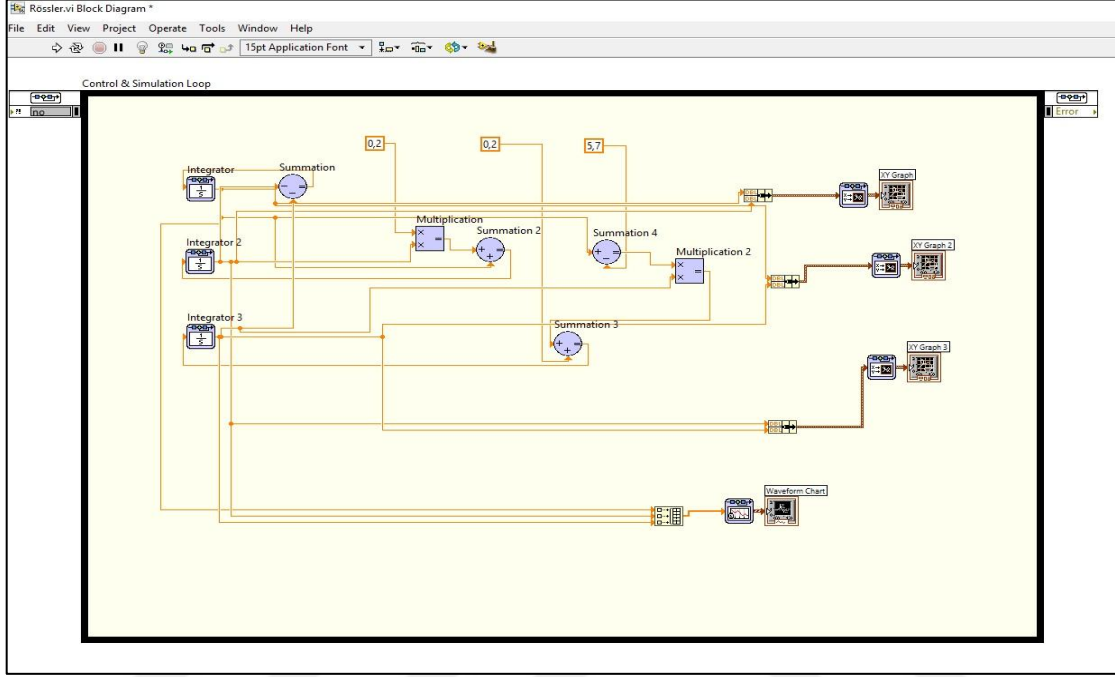
Şekil 4.15 Chen kaotik sistemi blok diyagramı



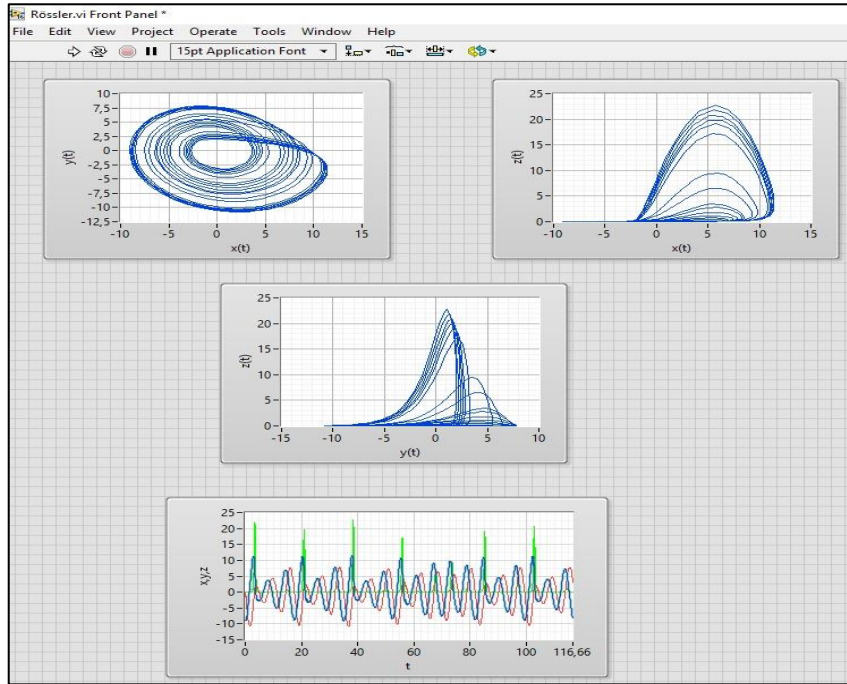
Şekil 4.16 Chen kaotik sistemi 2D faz portreleri ve durum değişkenlerinin zamana göre değişimi

4.7.Rössler Kaotik Sistemi Benzetimi

Sistem için oluşturulan blok diyagram Şekil 4.17'de yer almaktadır. Programın çıktıları Şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.17 Rössler kaotik sistemi blok diyagramı



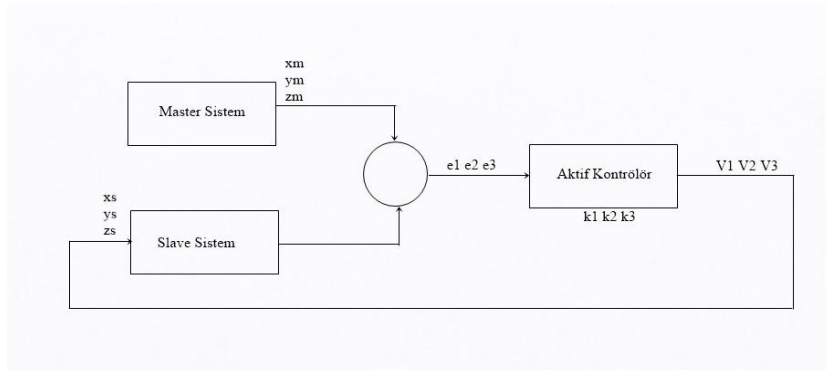
Şekil 4.18 Rössler kaotik sistemi 2D faz portreleri ve durum değişkenlerinin zamana göre değişimi

5.KAOTİK SİSTEM SENKRONİZASYONU

5.1.Master-Slave Aktif Kontrolör Yardımı ile Senkronizasyon

Kaotik senkronizasyon yöntemlerinden biri olan Master-Slave senkronizasyon yönteminin temelinde birbirine eş veya farklı, iki kaotik sistemin bir noktada eş zamanlı çalışmaya zorlanarak birlikte çalıştırılması yatar. Bu kaotik sistemler belirli bir yörüngede çalıştırılmaya zorlanılarak sergiledikleri kaotik davranış sınırlandırılmış olur. Sürücü sistem(slave system) ana sistemi(master system) bir uydu misali takip etmeye başlar. Bu çalışmada literatürde bulunan ve birbirinden farklı başlangıç şartlarına sahip Lorenz, Sprott, Rucklidge, Moore-Spiegel, Rössler, Chen kaotik osilatörlerinin Master-Slave aktif kontrolör yardımı ile senkronizasyonu gerçekleştirilmiş olup, sistemlerin çıktıları gerçek zamanlı olarak elde edilmiştir. Senkronizasyon çıktılarını gözlemlemek için LabVIEW programının front panel ara yüzünde Tab Screen yapısı kullanılarak sistemlerin çıktıları tek bir panel üzerinden eş zamanlı olarak gözlemlenmiştir. Sistemin gerçek zamanlı çıktılarını elde etmek için yine LabVIEW bünyesinde bulunan DAQ Assistant yapısı kullanılmıştır.

Aktif Kontrolör yönteminde master kaotik sistem ve slave kaotik sistemleri arasındaki hata hesaplanır ve bir hata sinyali oluşturulur. Oluşturulan bu hata sinyalinin durum matrisinden yola çıkılarak bu sinyal bir kazanç sabiti ile çarpılır. Sonrasında master sistemde mevcut olan lineer olmayan yapıların giderilmesini sağlayan sinyal daha önceden oluşturulan hata sinyaline eklenerek sistemin geri beslemesi yapılır. Böylece sistemlerin belirlenen süre sonrasında senkronizasyonu gerçekleştirilmiş olur. Bu bölümde senkronizasyonun nasıl gerçekleştirildiğini anlatmak üzere, senkronizasyonun gerçekleştirilme aşamaları Rucklidge kaotik osilatörü üzerinden anlatılacaktır. Master-slave senkronizasyona ait blok diyagramı Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1 Master-Slave senkronizasyon blok diyagramı

Rucklidge kaotik sistemlerin durum değişkenlerine ait farklı başlangıç koşullarındaki hata değişkenleri, aktif kontrol yöntemi ile sistemlerin kaotik senkronizasyonunu gerçekleştirebilmek için öncelikli olarak elde edilir[38]. Hata dinamikleri master kaotik sistemin slave kaotik sistemden çıkarılmasıyla elde edilir. Denklem 5.1'de Master Rucklidge sisteminin diferansiyel denklemleri, Denklem 5.2'de Slave Rucklidge sistemi verilmiştir. Kontrol fonksiyonları $\mu_1(t)$, $\mu_2(t)$ ve $\mu_3(t)$ olarak tanımlanmıştır.

$$\dot{x}_m = -Mx_m + Ly_m - y_m z_m$$

$$\dot{y}_m = x_m \quad (5.1)$$

$$\dot{z}_m = -z_m + y_m^2$$

$$\dot{x}_s = -Mx_s + Ly_s - y_s z_s + \mu_1(t)$$

$$\dot{y}_s = x_s + \mu_2(t) \quad (5.2)$$

$$\dot{z}_s = -z_s + y_s^2 + \mu_3(t)$$

Master sistemin başlangıç koşulları olarak $x_{0m} = 1$, $y_{0m} = 0$, $z_{0m} = 4.5$ ve slave sistemin başlangıç koşulları olarak $x_{0s} = 1.101$, $y_{0s} = 0.12$, $z_{0s} = 4.512$ alınmıştır. Farklı başlangıç koşullarına sahip bu iki kaotik sistemin hata fonksiyonları Denklem 5.3'de verilmiştir.

$$\dot{e}_1 = -Mx_s + Mx_m + Ly_s - Ly_m - y_s z_s + y_m z_m + \mu_1(t)$$

$$\dot{e}_2 = x_s - x_m + \mu_2(t) \quad (5.3)$$

$$\dot{e}_3 = -z_s + z_m + y_s^2 - y_m^2 + \mu_3(t)$$

Hata fonksiyonu master sistem durum değişkenlerinin slave sistem durum değişkenlerinden çıkarılması ile elde edilir. Bu durumda $e_1 = x_s - x_m$, $e_2 = y_s - y_m$, $e_3 = z_s - z_m$ olur.

Aktif kontrolör ile senkronizasyon yönteminde kaotik sistemlerde mevcut olan doğrusal olmayan bileşenleri ortadan kaldırmak için kontrol fonksiyonları seçilmelidir. Kontrol fonksiyonuna ait güçlendirilmiş hata sinyalleri $V_1(t) = -k_1 e_1$, $V_2(t) = -k_2 e_2$, $V_3(t) = -k_3 e_3$ olarak elde edilir. Slave sistemine ait kontrol fonksiyonları Denklem 5.4'de verilmiştir:

$$\mu_1(t) = y_s z_s - y_m z_m + V_1(t)$$

$$\mu_2(t) = V_2(t) \quad (5.4)$$

$$\mu_3(t) = y_m^2 - y_s^2$$

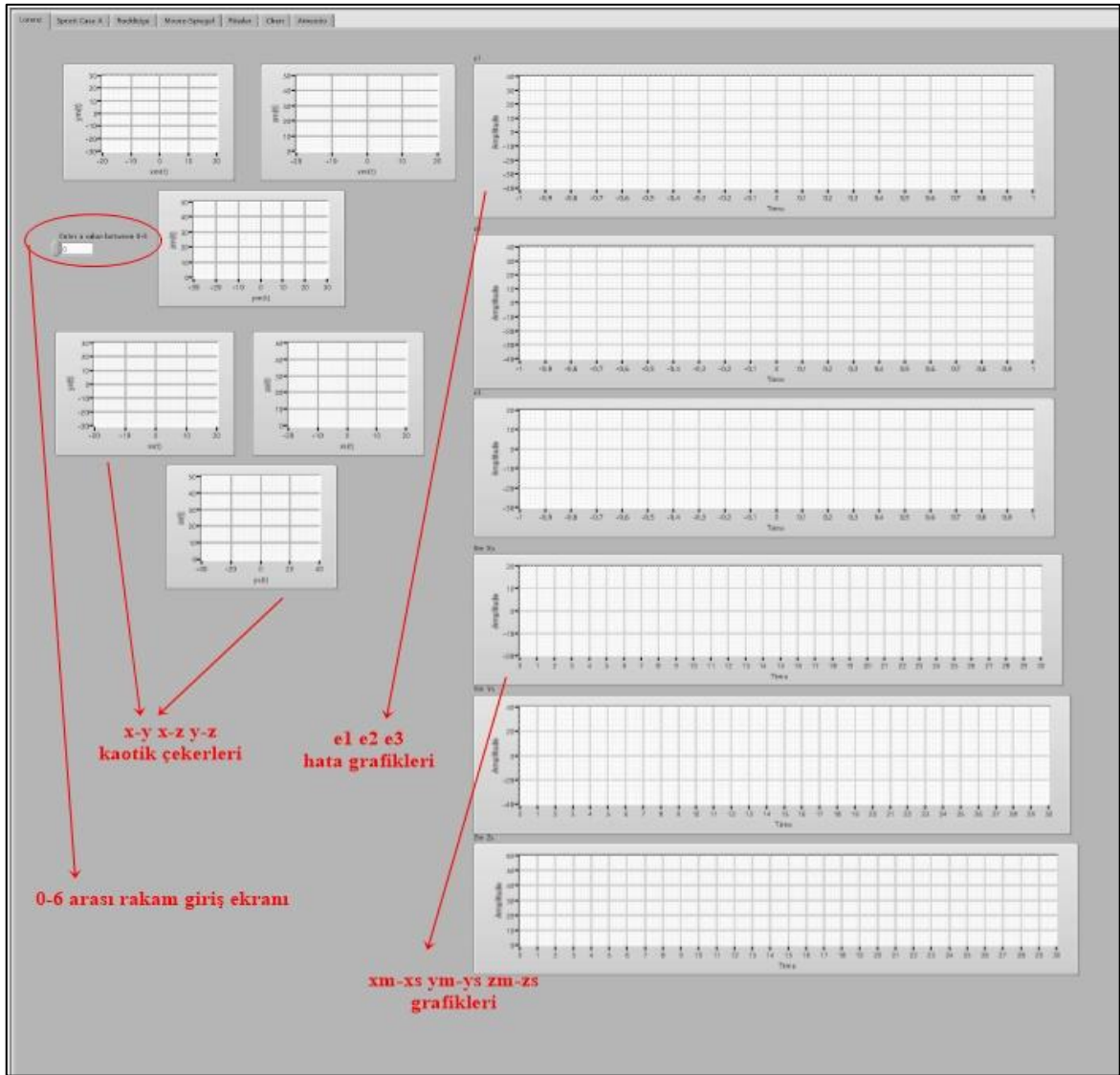
Hata dinamiklerine ait durum matrisi denklem 5.5 de verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} \dot{e}_1 \\ \dot{e}_2 \\ \dot{e}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(M + k_1) & 1 & 0 \\ L & -k_2 & 0 \\ 0 & 0 & -(1 + k_3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

Rucklidge kaotik sisteminin senkronizasyonu için gerekli özdeğerler olarak birçok aktif denetleyici kazanç parametresi seçilebilir. Bu çalışmada Rucklidge sisteminin hata değerlerine bağlı olarak $k_1 = 20$, $k_2 = 30$, $k_3 = 10$ seçilmiştir ve bu seçim sonucunda senkronizasyon sağlanmıştır.

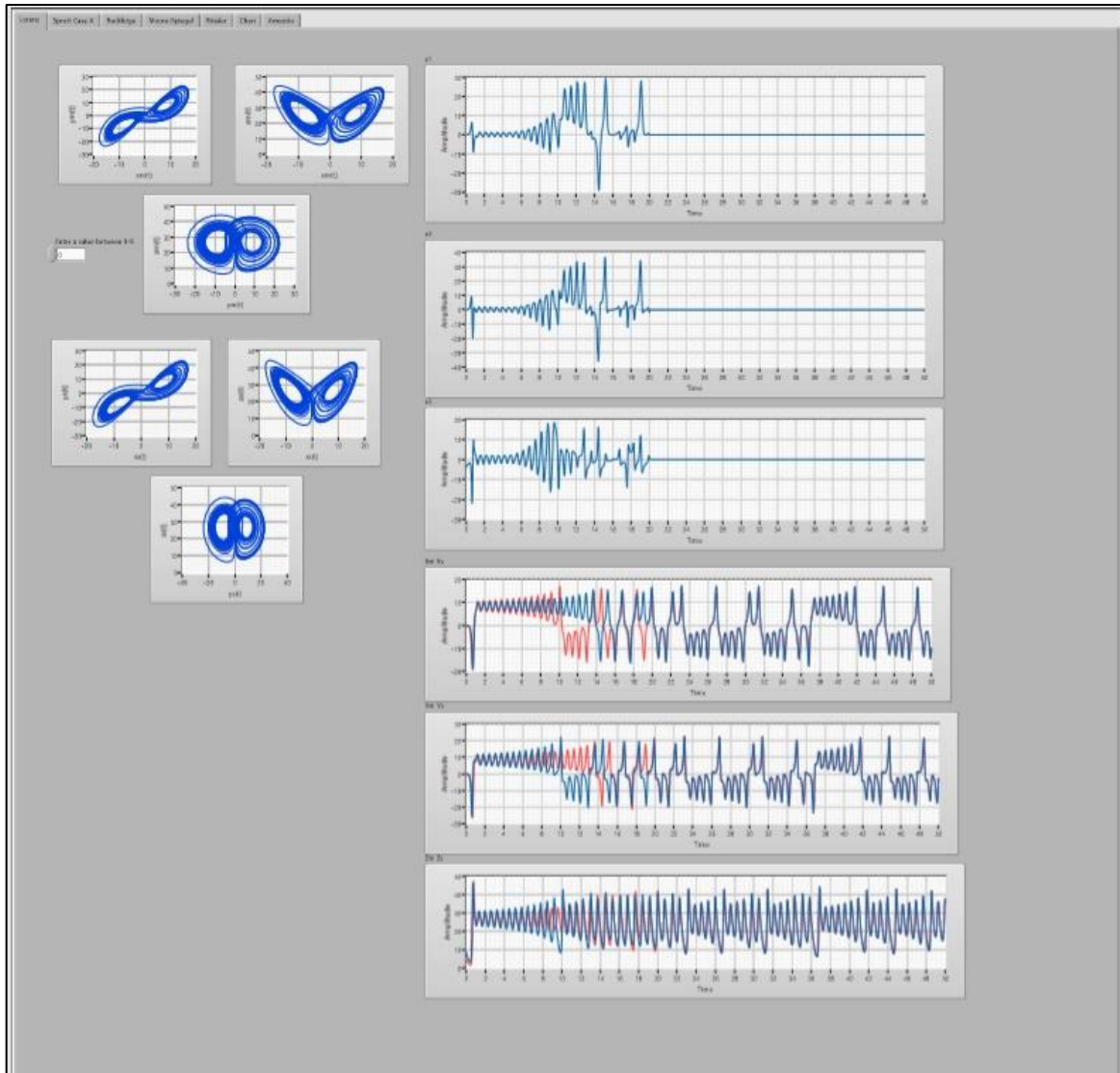
Bu yüksek lisans çalışmasının bu bölümünde yedi farklı kaotik sistemin master-slave aktif kontrolör ile senkronizasyonu ayrı ayrı gerçekleştirildikten sonra LabVIEW programında blok diyagramda bulunan Case Structure yapısı ile tek bir program içerisine entegre edilmiştir. Sistemlerin modellenmesi diferansiyel denklem takımlarından yola çıkılarak gerekli integrator blokları, işaret terslemeler, kazanç blokları, çarpım ve toplam blokları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Literatürde mevcut olan Lorenz, Sprott, Rucklidge, Arneodo, Moore-Spiegel, Chen, Rössler kaotik osilatörlerinin senkronizasyonuna oluşturulmuş programın çıktıları aşağıda gösterilmiştir, programlara ait blok diyagramlar ise eklerde verilmiştir.

Senkronizasyon sonuçlarını gözlemlemek için oluşturulan programda tek bir panel üzerinde (Tab Screen yapısı kullanılarak) gözlemlenmiştir. Sistemler 50 saniye boyunca çalıştırılmıştır ve 20. saniyede aktif kontrolör devreye alınmıştır. Sistem çıktıları incelendiğinde farklı başlangıç değerlerine sahip kaotik sistemlerin, ilk 20 saniyeye kadar bağımsız çalışmaları gözlenirken 20. saniyeden sonra eş zamanlı olarak çalışmaya başladıkları görülür yani 20.saniyeden sonra master ve slave sistemleri arasındaki hata sıfıra iner, slave sistem master sistemi takip etmeye başlar ve senkronizasyon gerçekleştirilmiş olur. Kaotik sistemler için oluşturulan programa ait interaktif kullanıcı arayüzü Şekil 5.2'de gösterilmiştir.

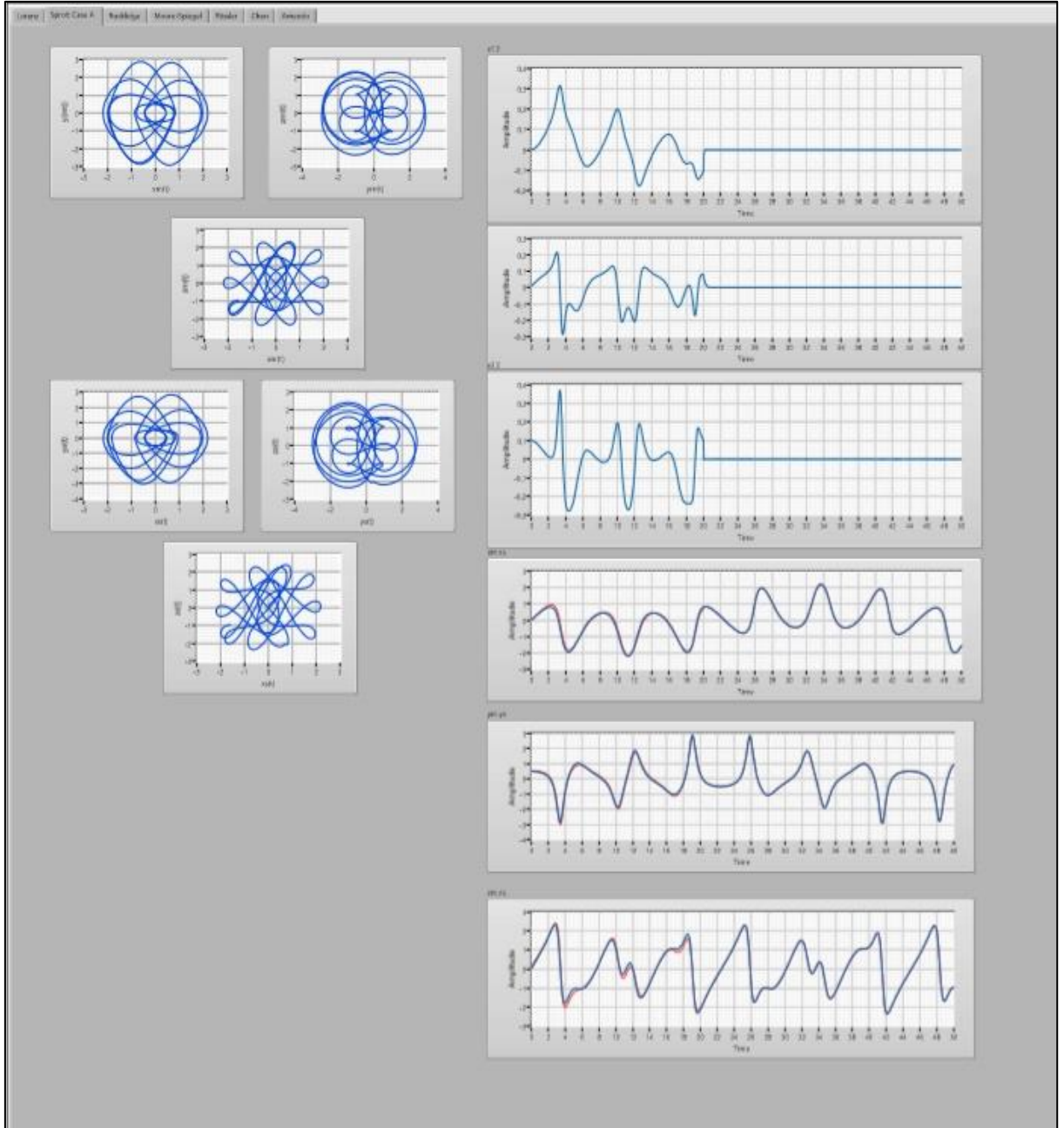


Şekil 5.2 Kaotik sistemler için oluşturulan kullanıcı arayüzü

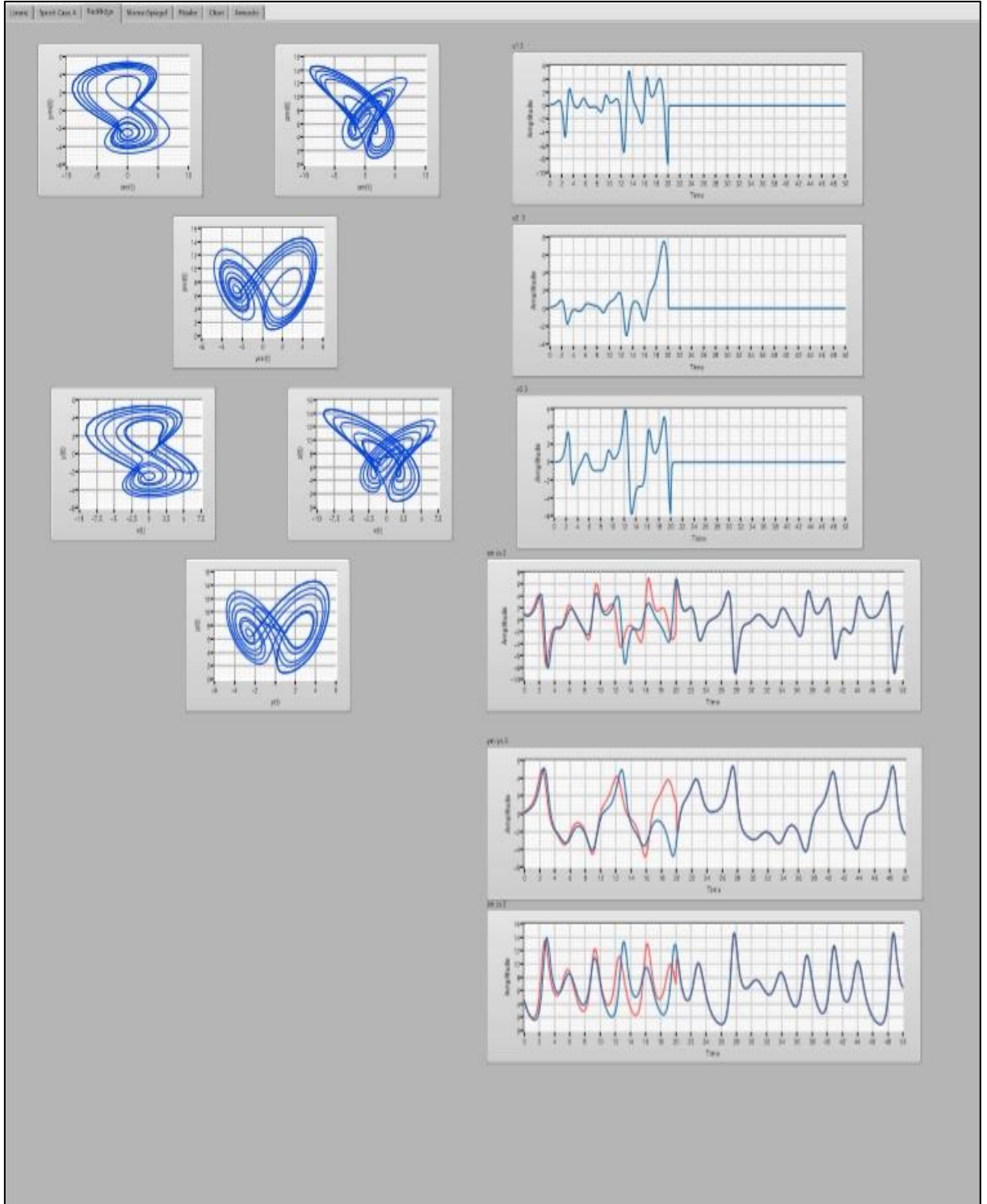
Oluşturulan bu kullanıcı ara yüzünde her bir kaotik sistem 0 ile 6 arasında bir rakam ile isimlendirilmiştir. Kullanıcı gözlemlemek istediği sistem için o sisteme ait rakamı ekrana girdiğinde o sisteme ait master sistem 2D faz portrelerini, slave sistem 2D faz portrelerini, hata grafiklerini (e_1, e_2, e_3) ve master-slave sistemi durum değişkenlerinin birbirine göre çizdirildiği grafikleri gözlemleyebilmektedir. Program 50 saniye boyunca çalıştırıldığında sistemlerin 20. saniyede senkronize oldukları, sistemlere ait hata grafiklerinin 20. saniyeden sonra sıfıra düştüğünden ve $x_m - x_s$, $y_m - y_s$, $z_m - z_s$ grafiklerinin 20. saniyeden itibaren birbirini takip etmesinden anlaşılabılır. Kaotik sistemlere ait senkronizasyon çıktıları aşağıdaki şekillerde sırasıyla verilmiştir (Şekil 5.3-Şekil 5.9).



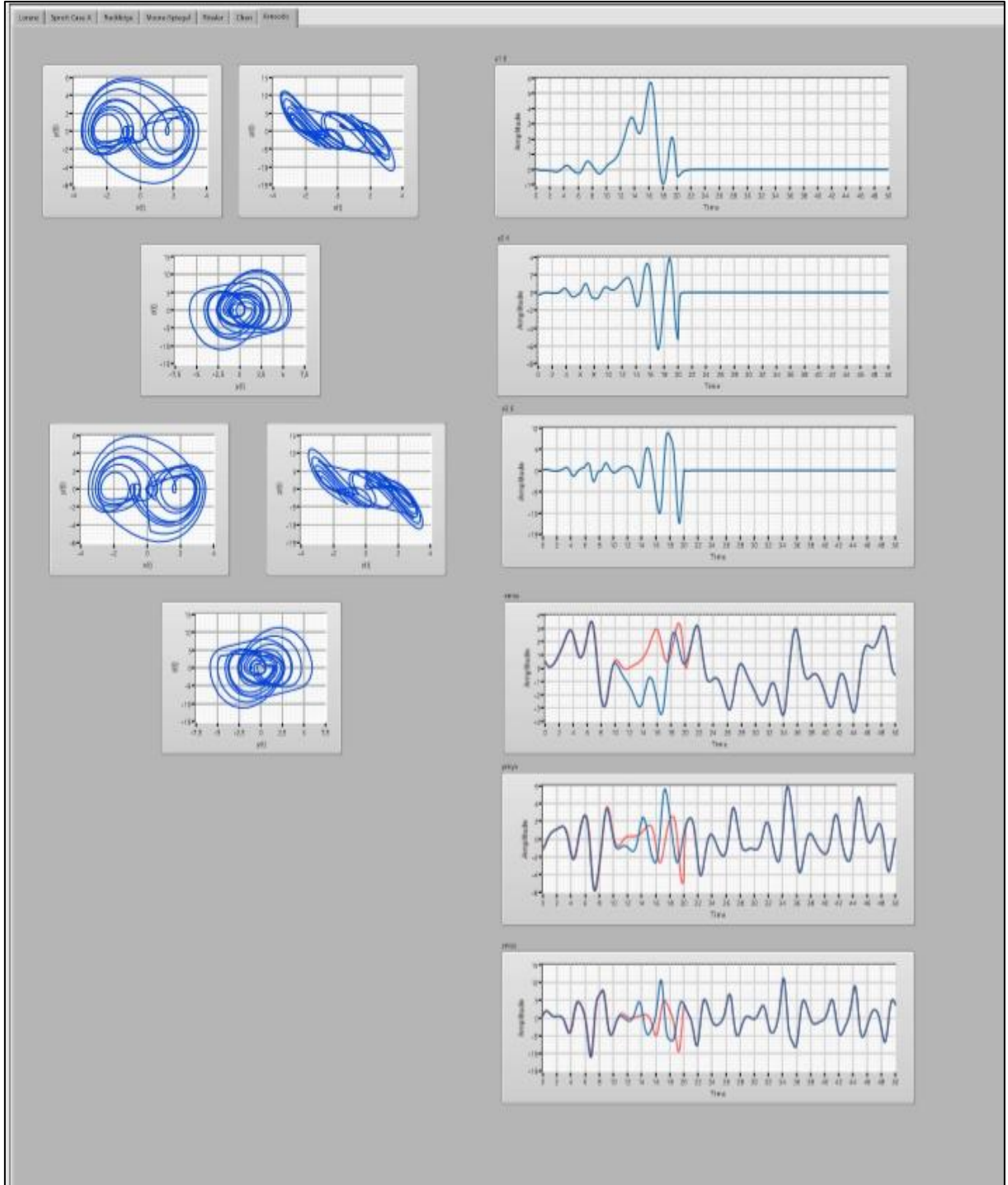
Şekil 5.3 Lorenz master-slave kaotik sisteminin senkronizasyon çıktıları



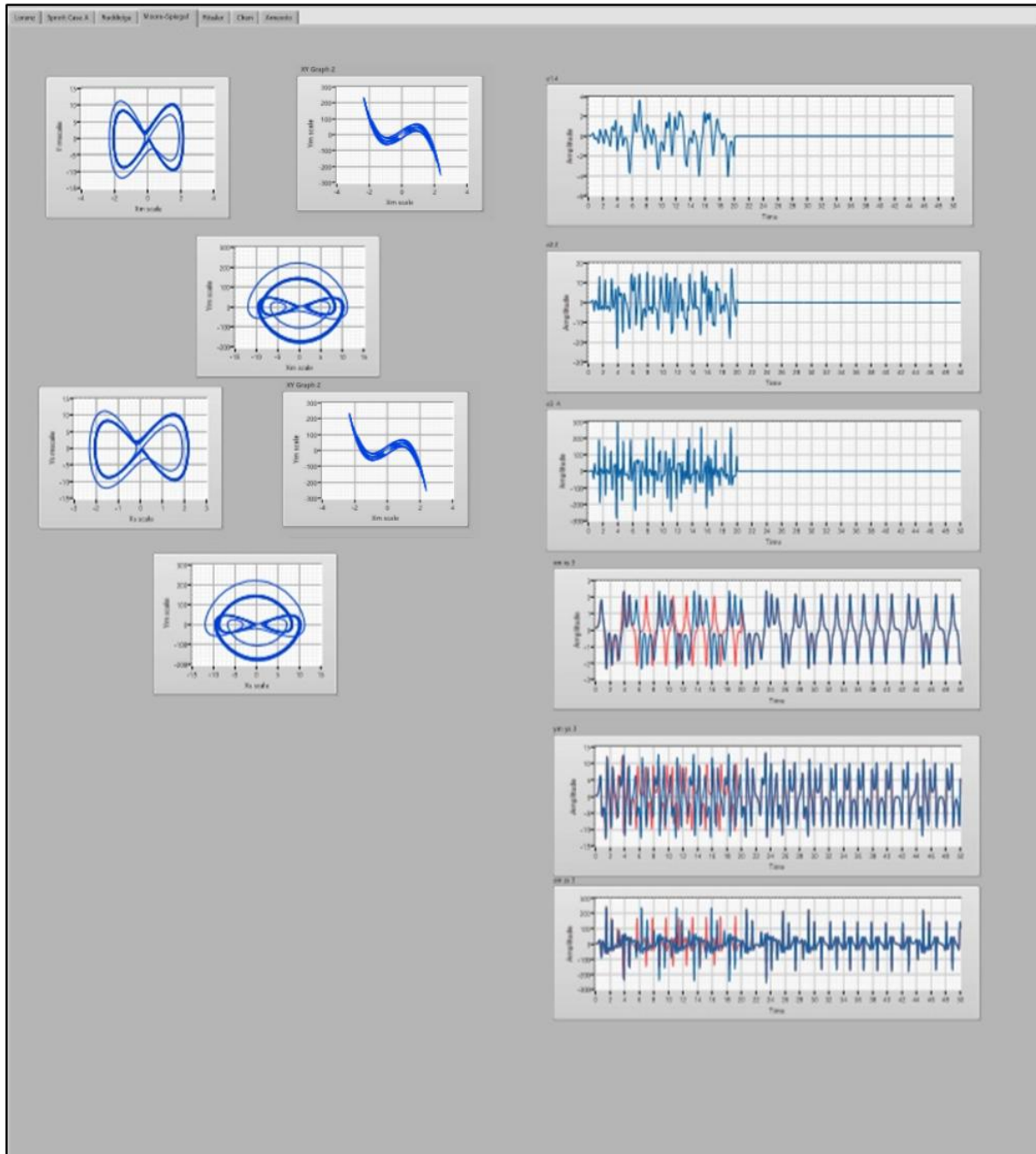
Şekil 5.4 Sprot durum A master-slave kaotik sisteminin senkronizasyon çıktıları



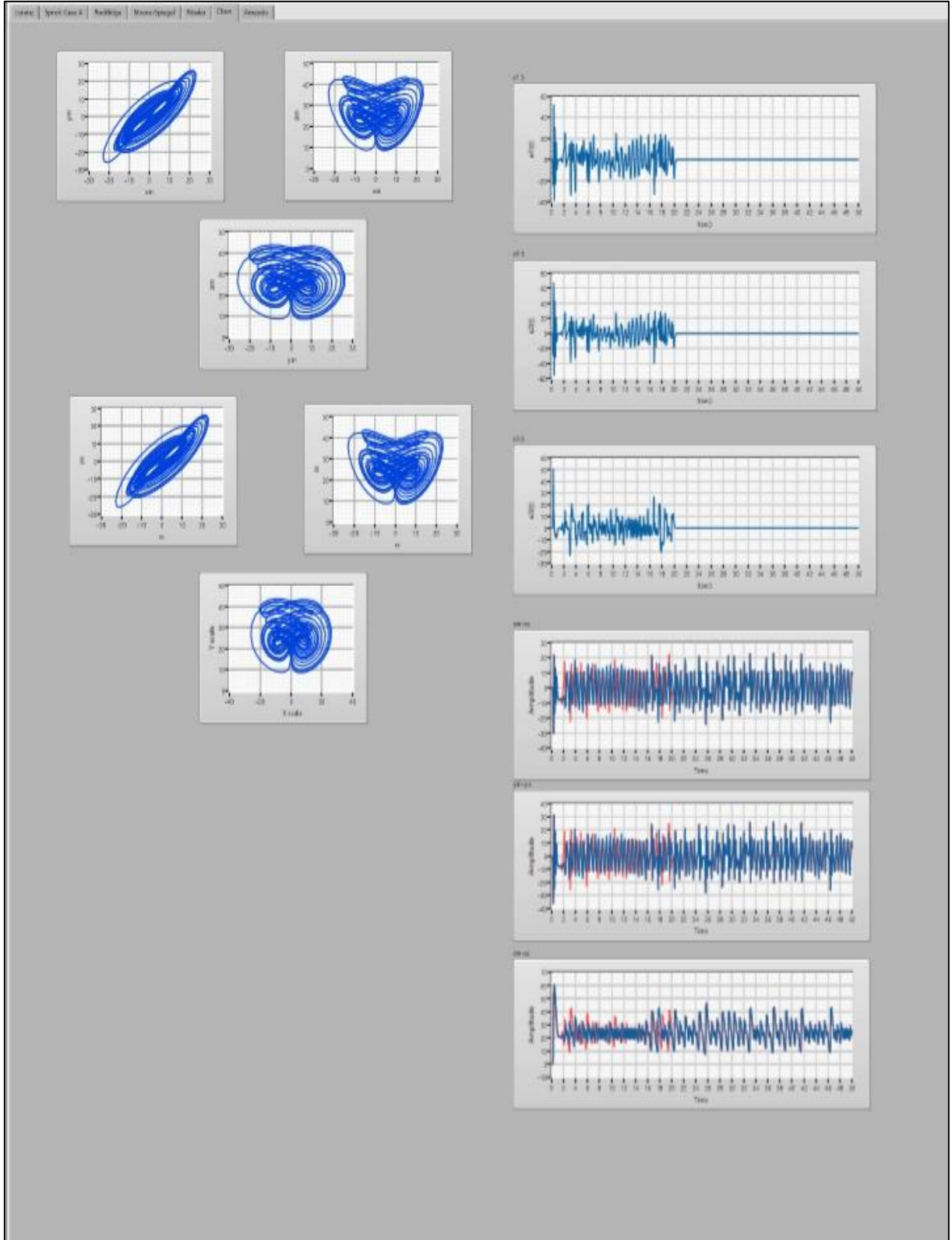
Şekil 5.5 Rucklidge master-slave kaotik sisteminin senkronizasyon çıktıları



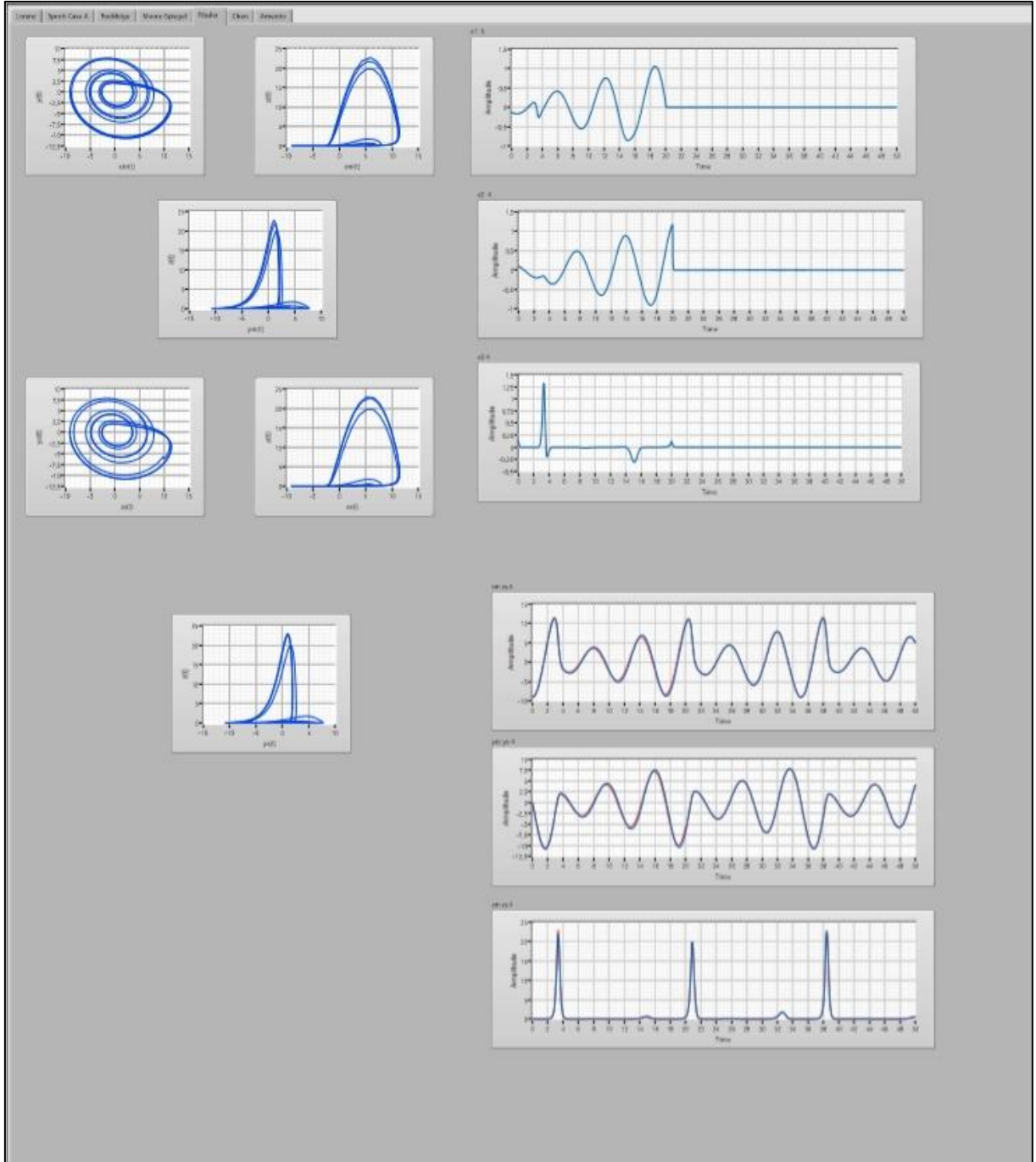
Şekil 5.6 Arneodo master-slave kaotik sisteminin senkronizasyon çıktıları



Şekil 5.7 Moore-Spiegel master-slave kaotik sisteminin senkronizasyon çıktıları



Şekil 5.8 Chen master-slave kaotik sisteminin senkronizasyon çıktıları



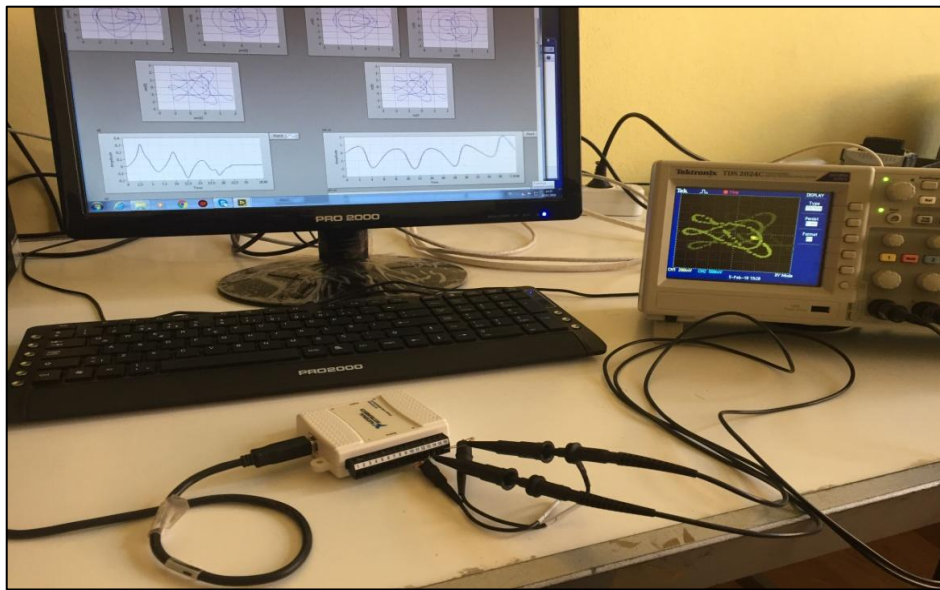
Şekil 5.9 Rössler master-slave kaotik sisteminin senkronizasyon çıktıları

5.1.1. Master-Slave Aktif Kontrolör Senkronizasyon Gerçek Zamanlı Uygulamaları

Kaotik sistemlerin gerçek zamanlı uygulamasını yapmak için LabVIEW bünyesinde bulunan DAQ Assistant modülü kullanılmıştır. DAQ assistant bloğunun kullanılan DAQ card serisi sebebi ile analog0 ve analog1 olmak üzere iki çıkışı mevcuttur. DAQ card olarak NI-6009 DAQ card çıkışların osiloskopta gözlemlenmesi için kullanılmıştır. DAQ kartının analog çıkışı sadece 0 ila 5 volt arasında bir voltaj üretebildiğinden bu uygulamada, durum değişkenlerinin çıktıları ihtiyaca göre zayıflatılmış ve sinyalin negatif çıkmasını önlemek amacıyla Doğru Akım (DA) sinyal bileşeni eklenmiştir. DAQ card'a ait görüntü Şekil 5.10'da yer almaktadır. Gerçek zamanlı uygulamaları gerçekleştirmek adına kurulan düzenek ise Şekil 5.11'de verilmiştir.

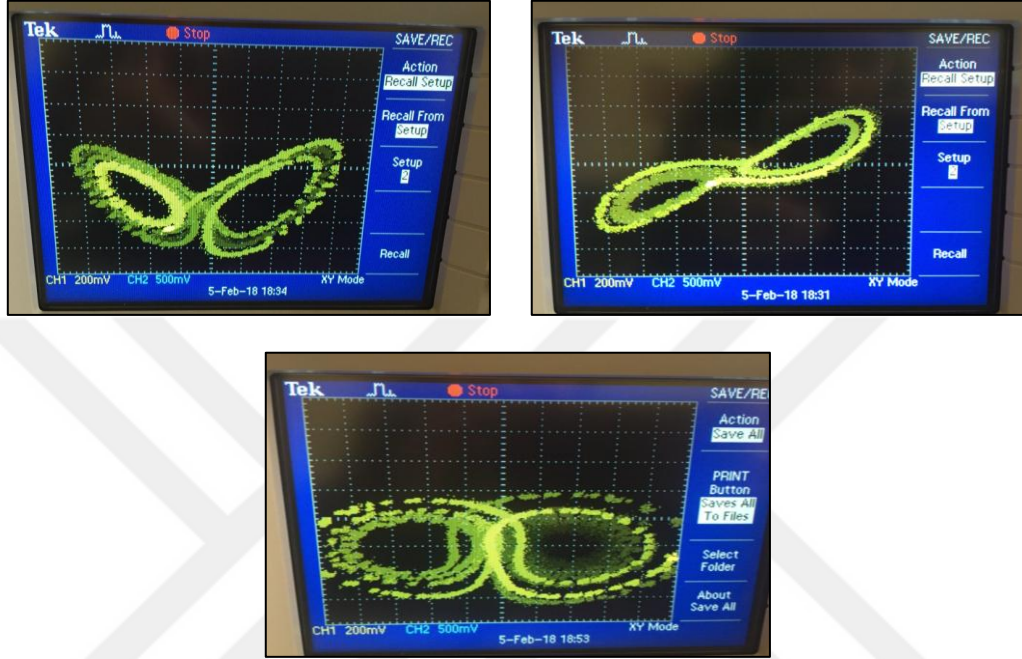


Şekil 5.10 NI-6009 DAQ card

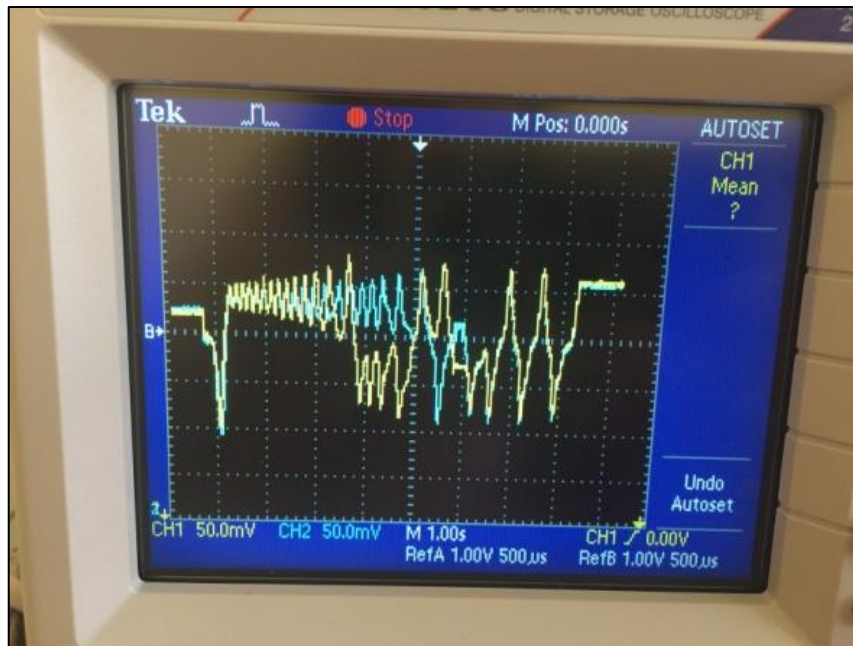


Şekil 5.11 Gerçek zamanlı uygulama devresi

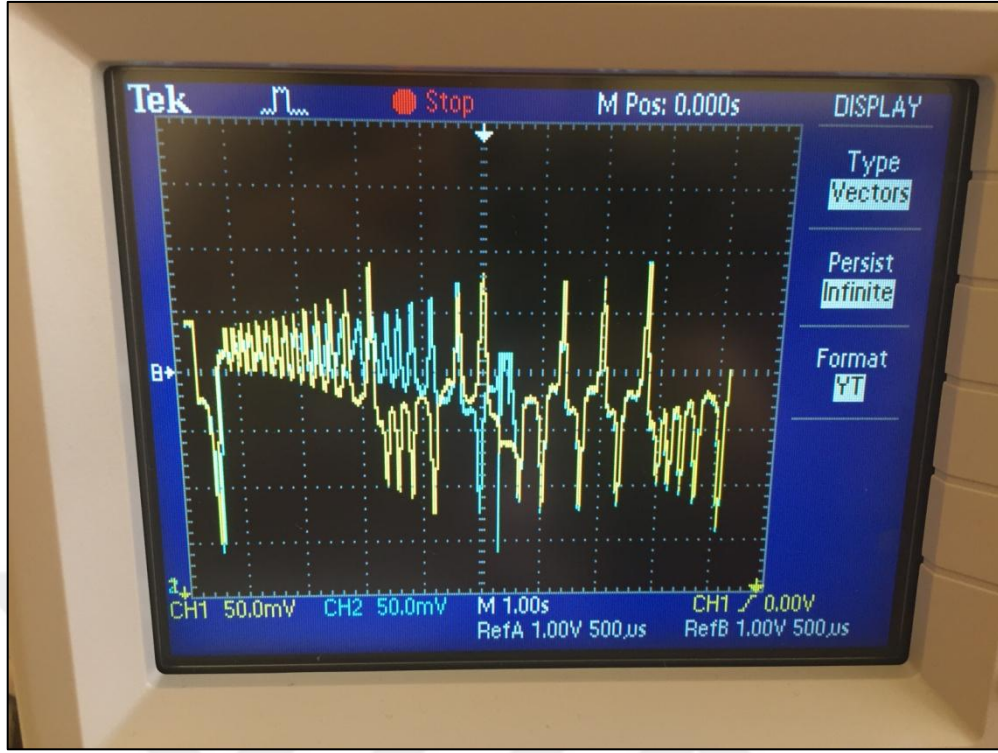
Gerçek zamanlı uygulama sonucu elde edilen kaotik sistemlere ait 2D faz portreleri ve X_m-X_s , Y_m-Y_s , Z_m-Z_s durum değişkenlerinin senkronizasyon süresince değişimleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir (Şekil 5.12- Şekil 5.39). Sistemlerin senkronizasyonlarını gerçekleştirmek için oluşturulan programların blok diyagramları eklerde verilmiştir.



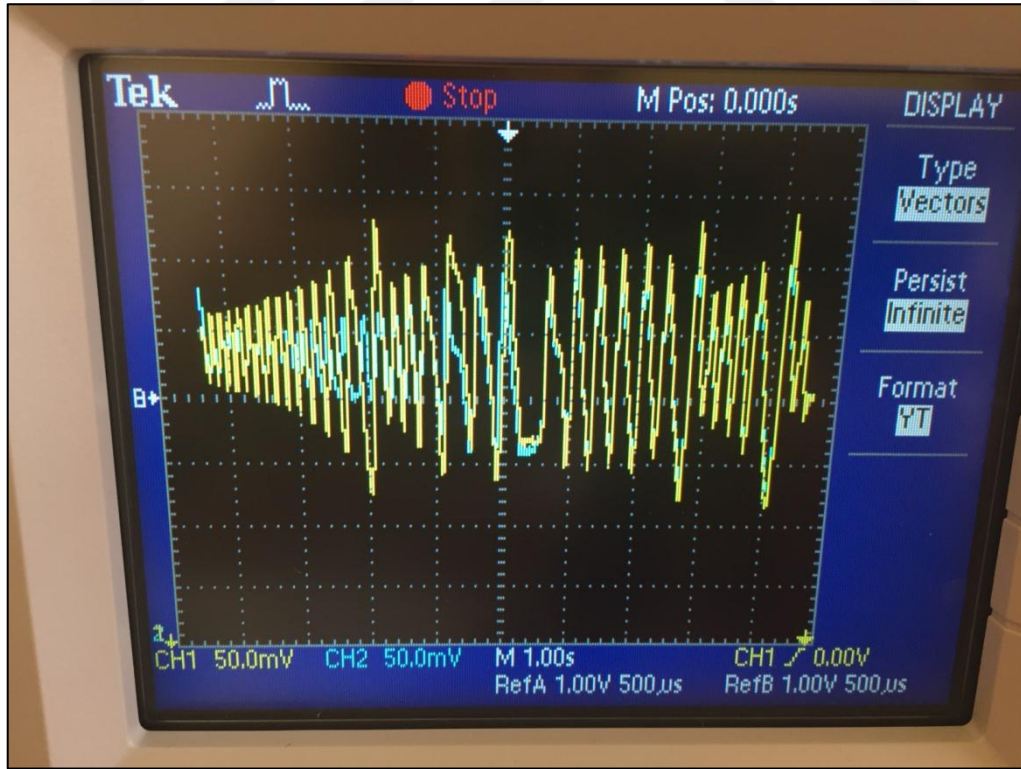
Şekil 5.12 Lorenz kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı 2D faz portreleri



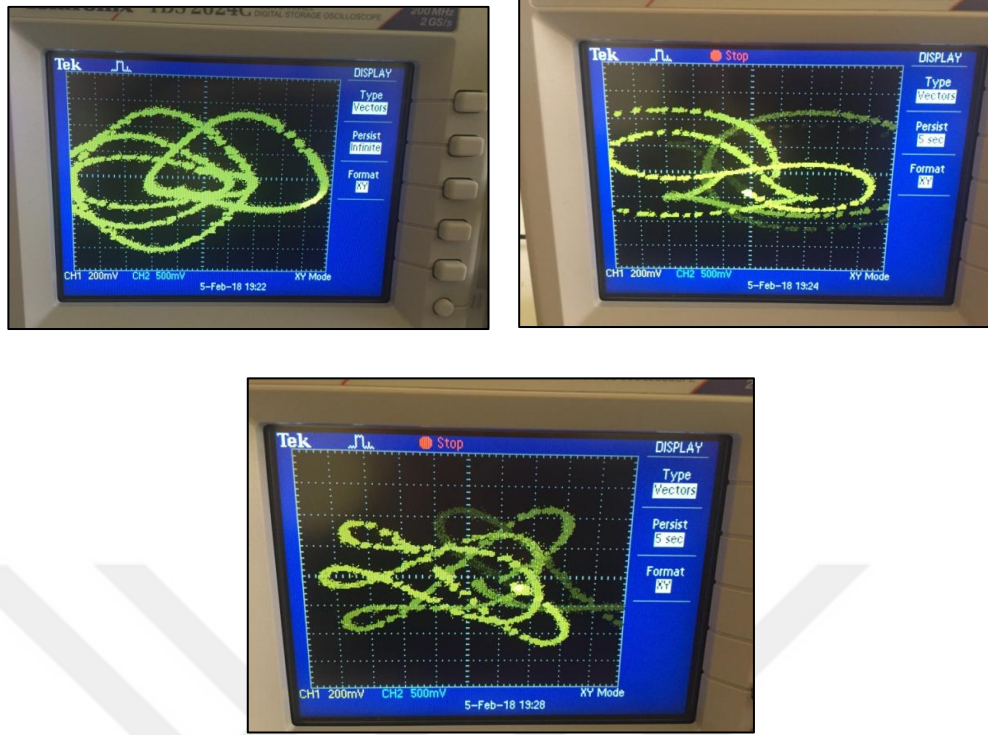
Şekil 5.13 Lorenz kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı X_m-X_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



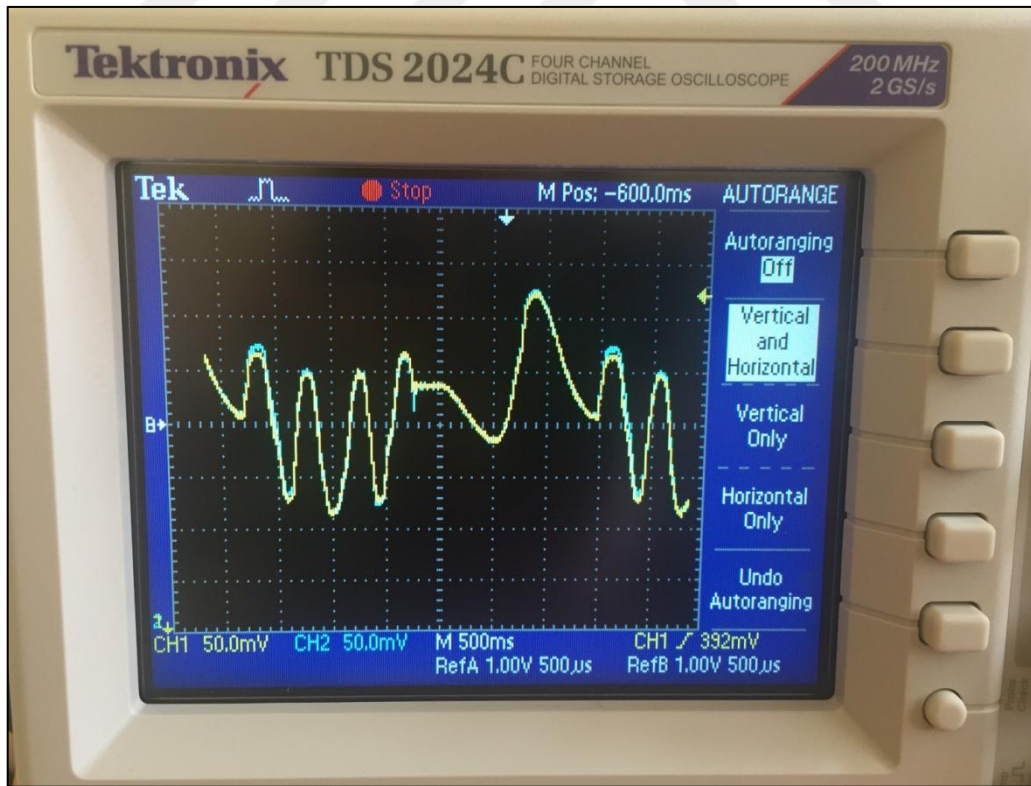
Şekil 5.14 Lorenz kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Y_m - Y_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



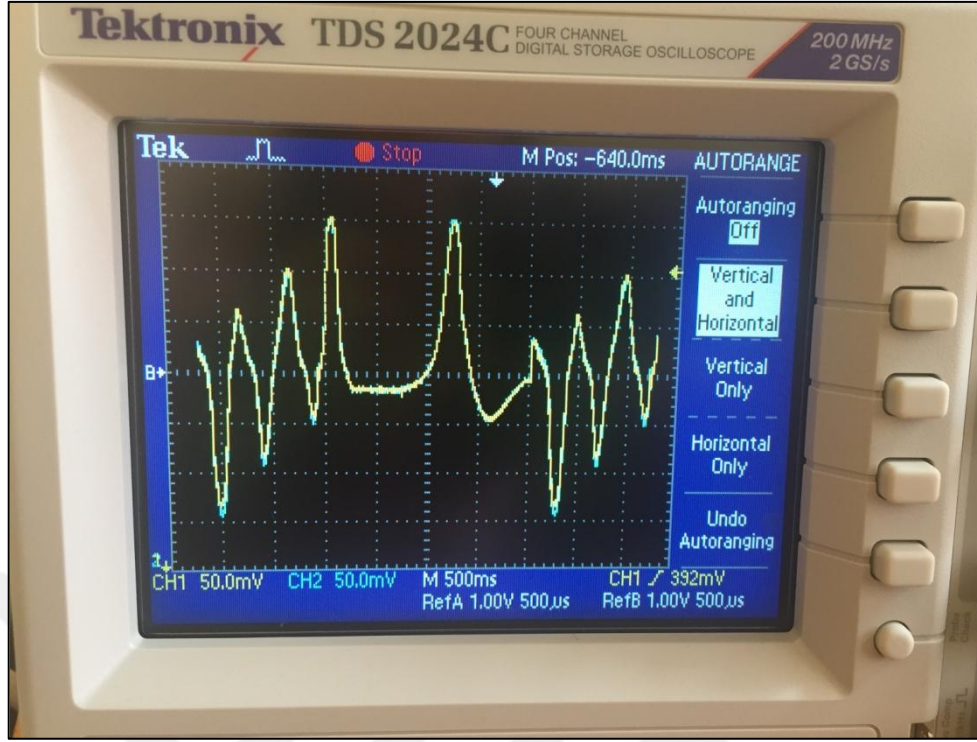
Şekil 5.15 Lorenz kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Z_m - Z_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



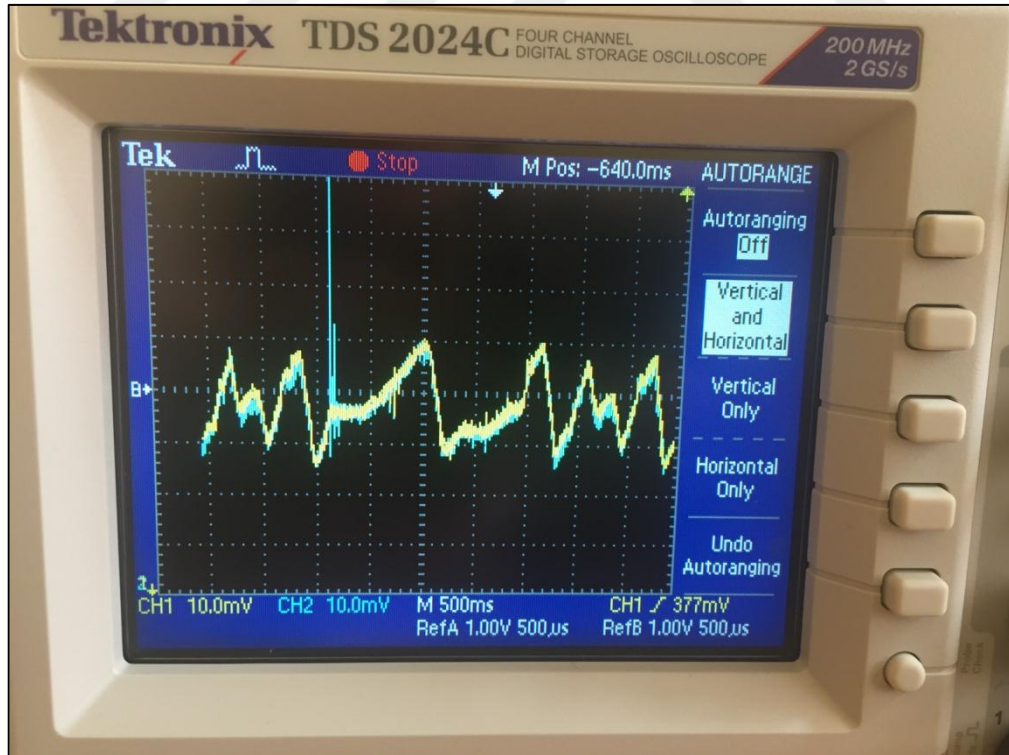
Şekil 5.16 Sprott durum A kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı 2D faz portreleri



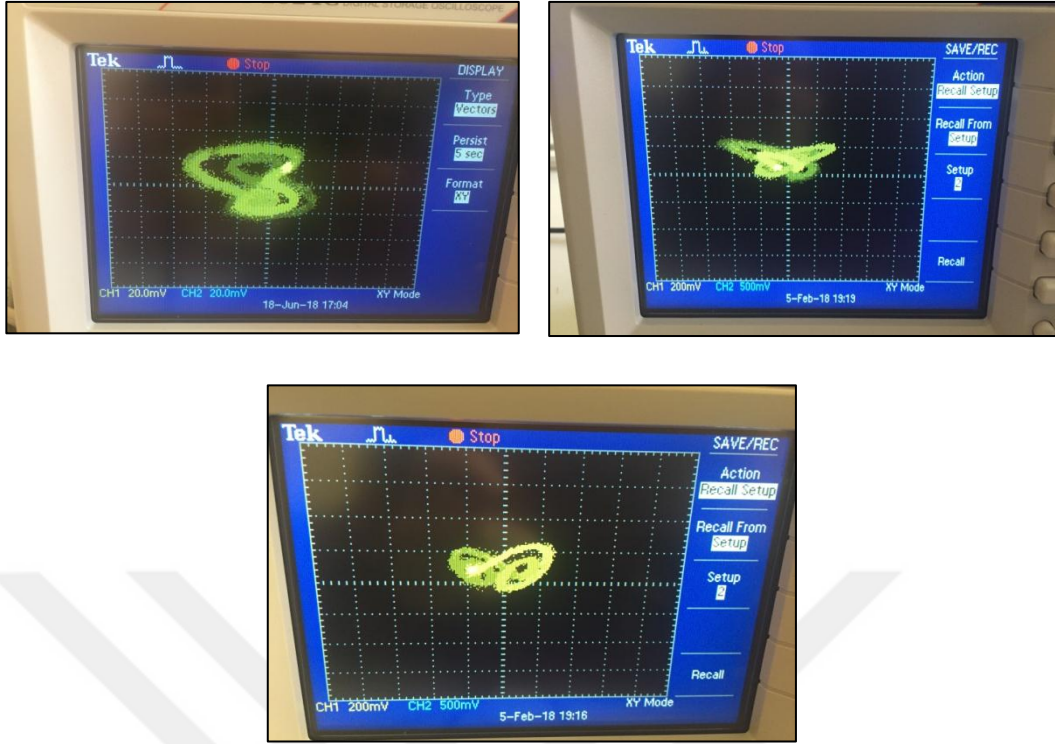
Şekil 5.17 Sprott Durum-A kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı X_m - X_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



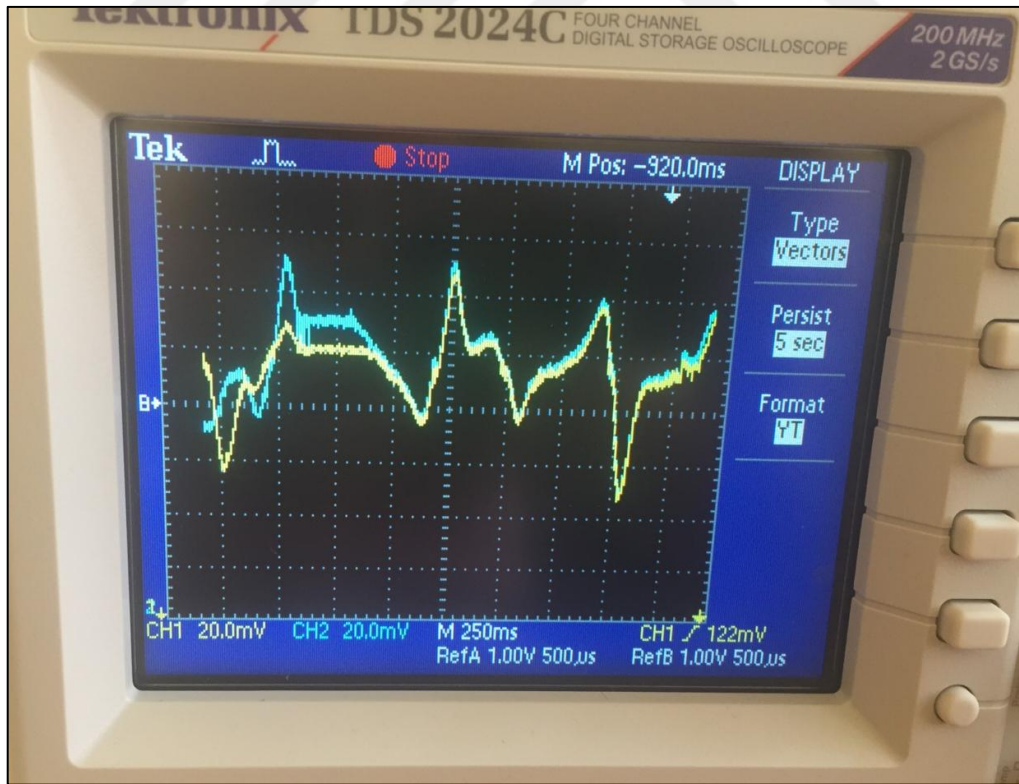
Şekil 5.18 Sprott kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Ym-Ys durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



Şekil 5.19 Sprott kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Zm-Zs durum değişkenlerinin zamana göre değişimi

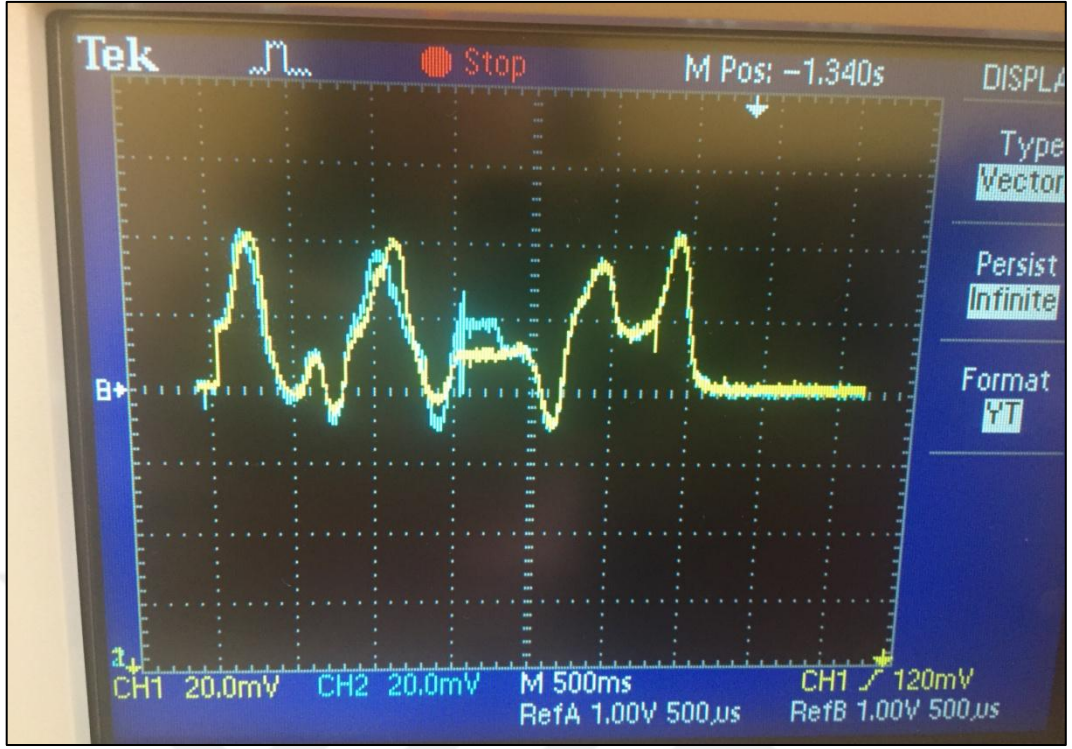


Şekil 5.20 Rucklidge kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı 2D faz portreleri

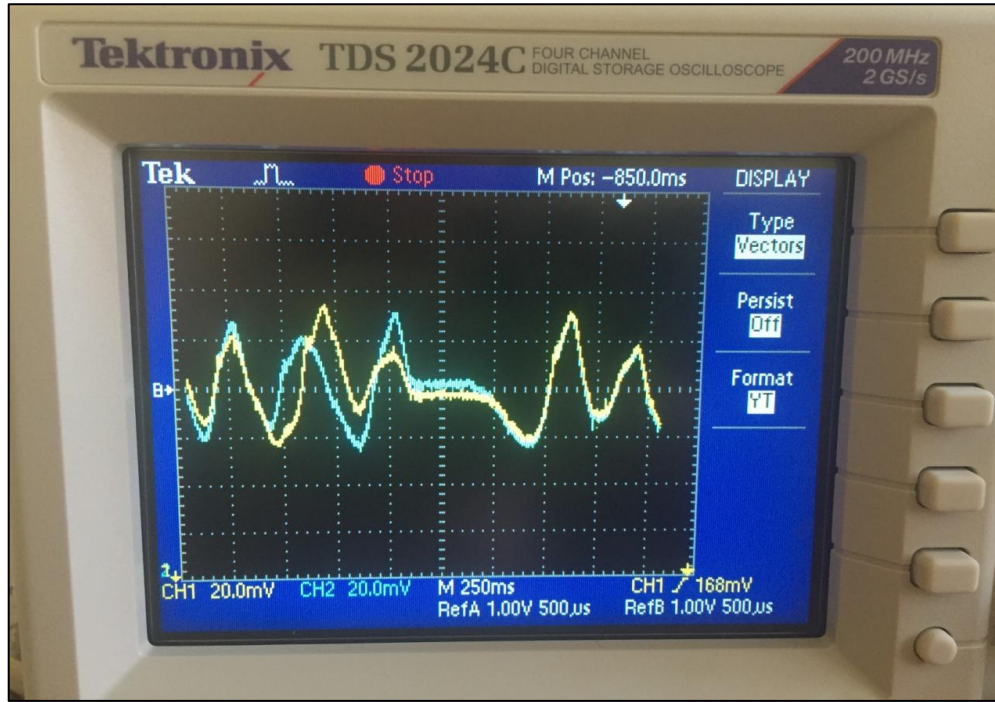


Şekil 5.21 Rucklidge kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı X_m - X_s durum değişkenlerinin zamana göre

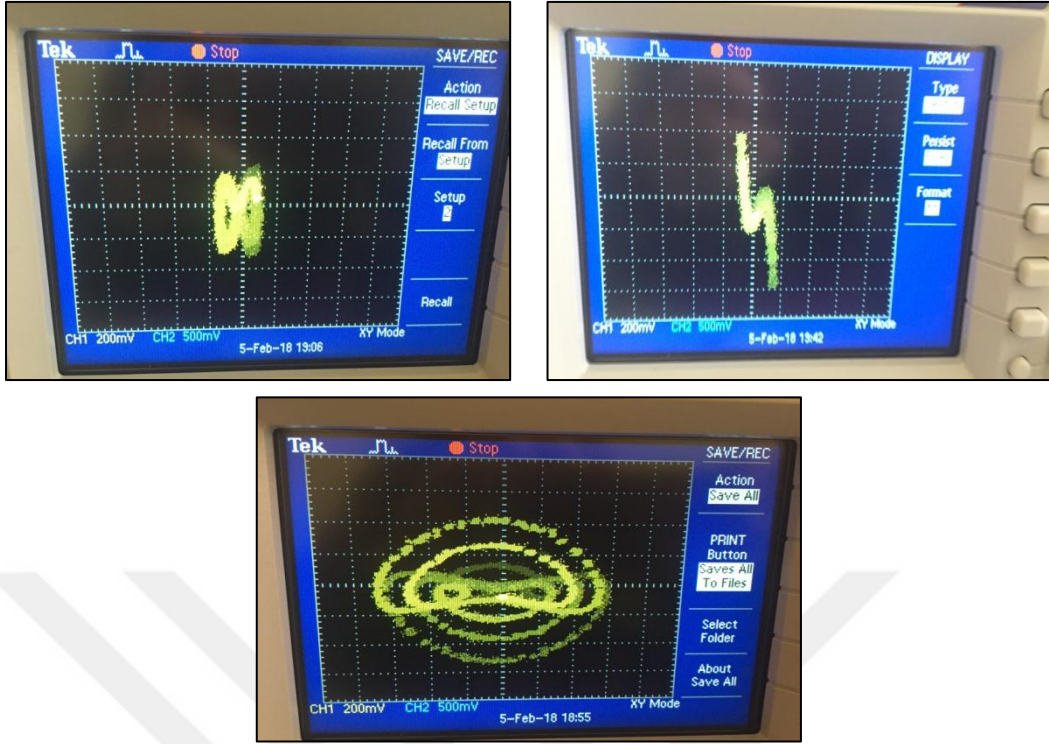
değişimi



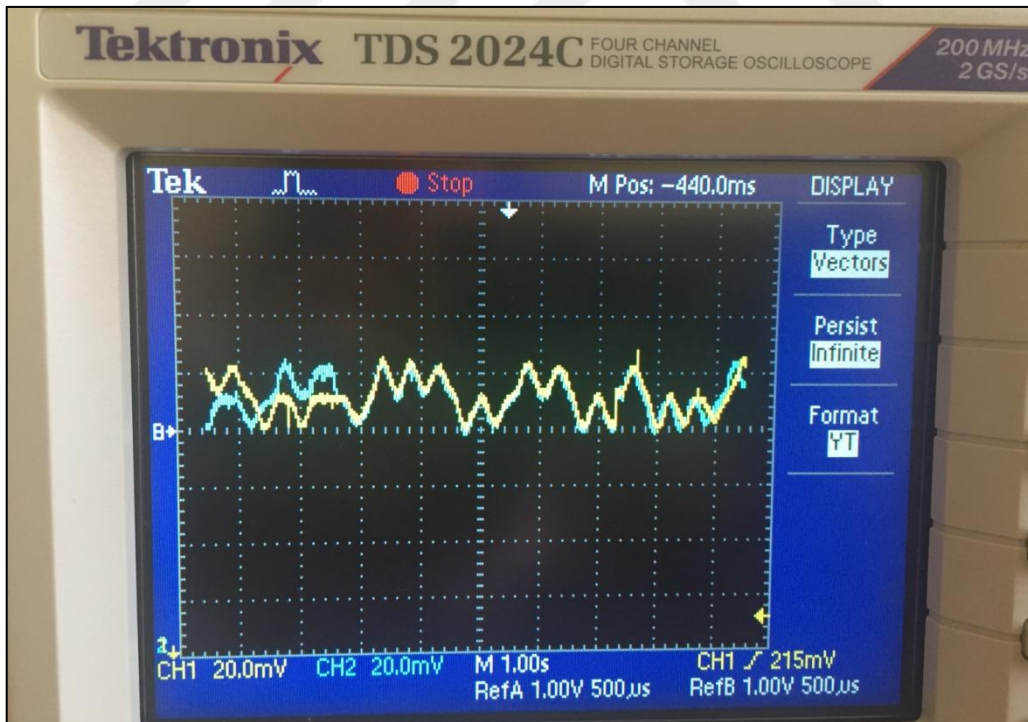
Şekil 5.22 Rucklidge kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Y_m - Y_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



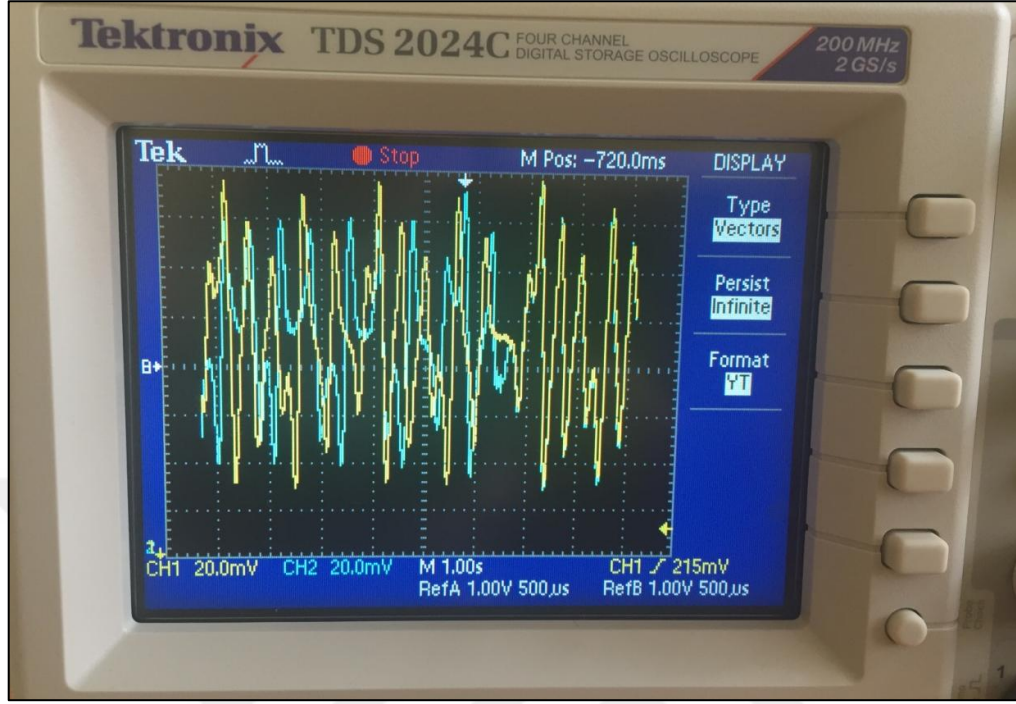
Şekil 5.23 Rucklidge kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Z_m - Z_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



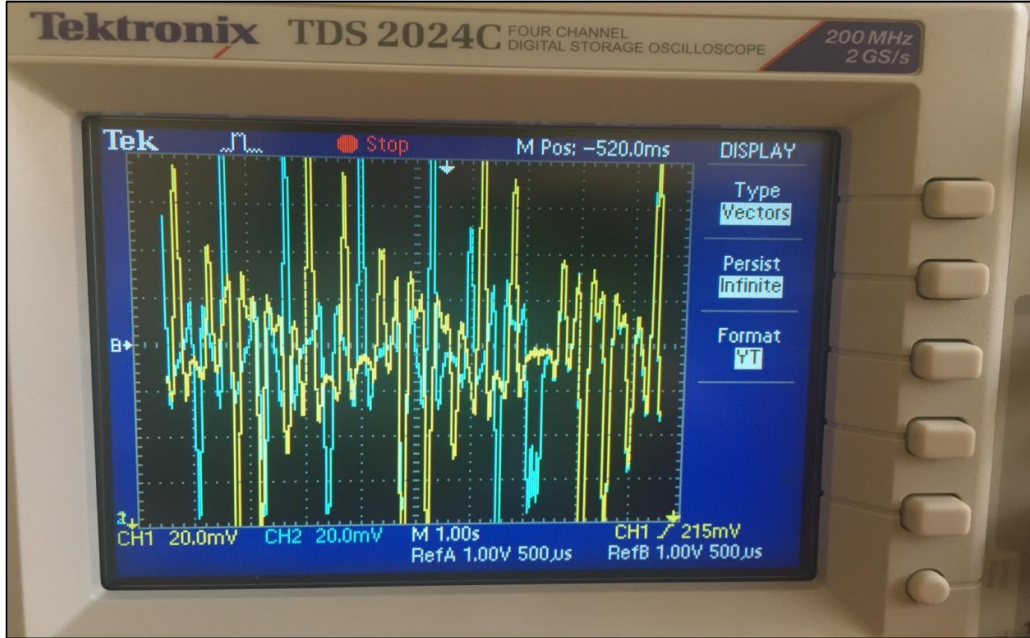
Şekil 5.24 Moore-Spiegel kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı 2D faz portreleri



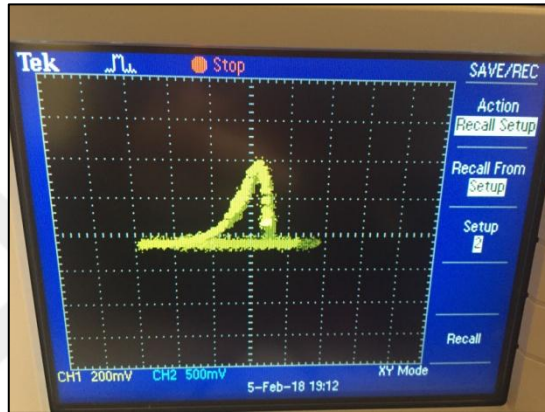
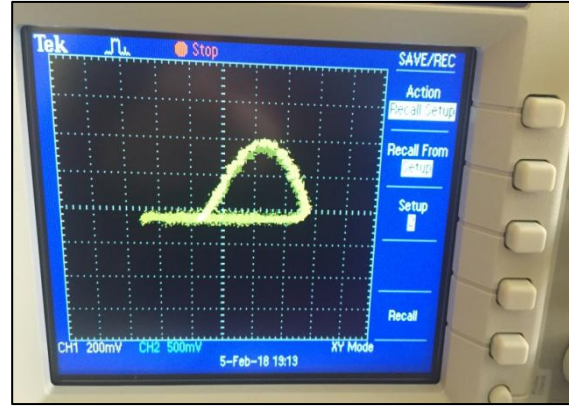
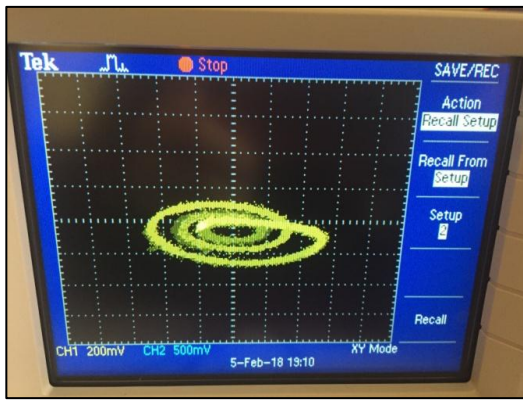
Şekil 5.25 Moore-Spiegel kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı X_m - X_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



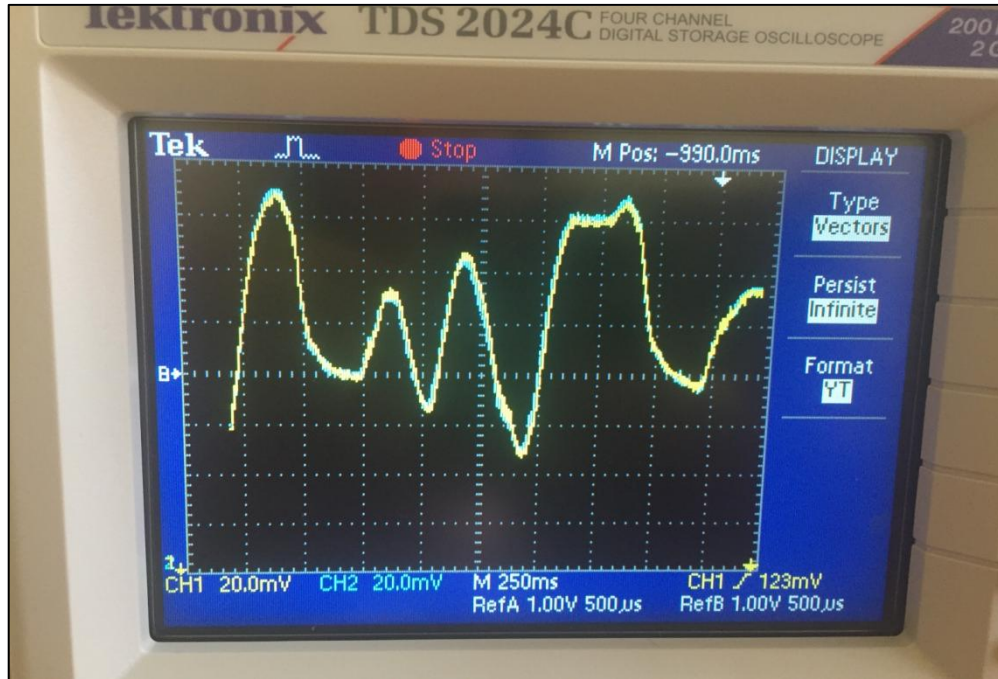
Şekil 5.26 Moore-Spiegel kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Ym-Ys durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



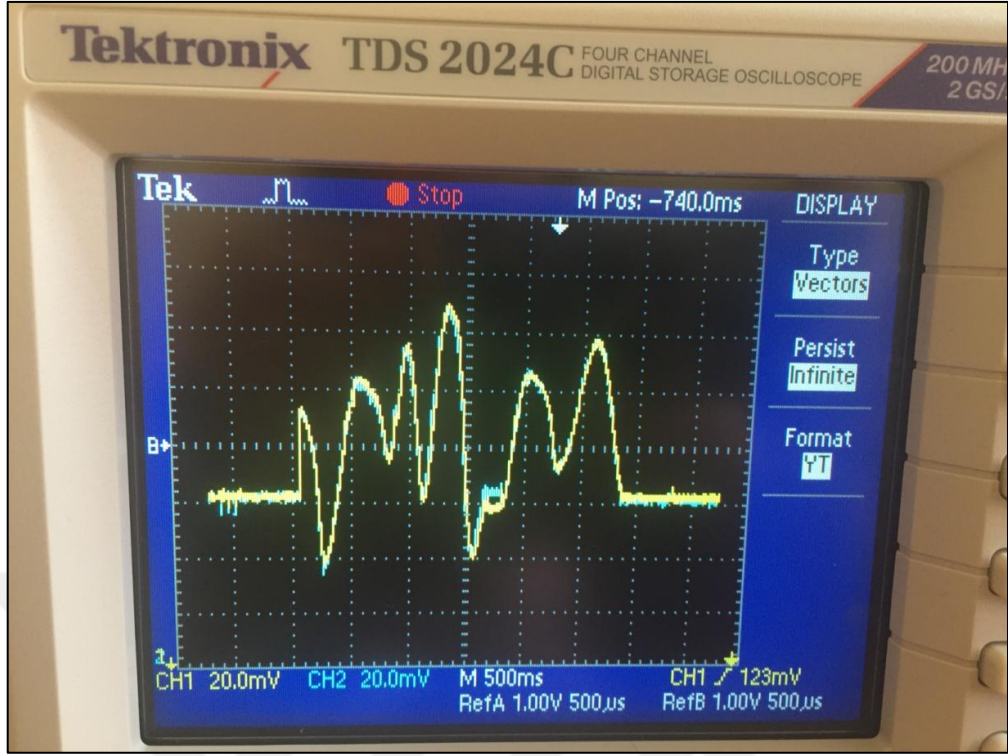
Şekil 5.27 Moore-Spiegel kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Ym-Ys durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



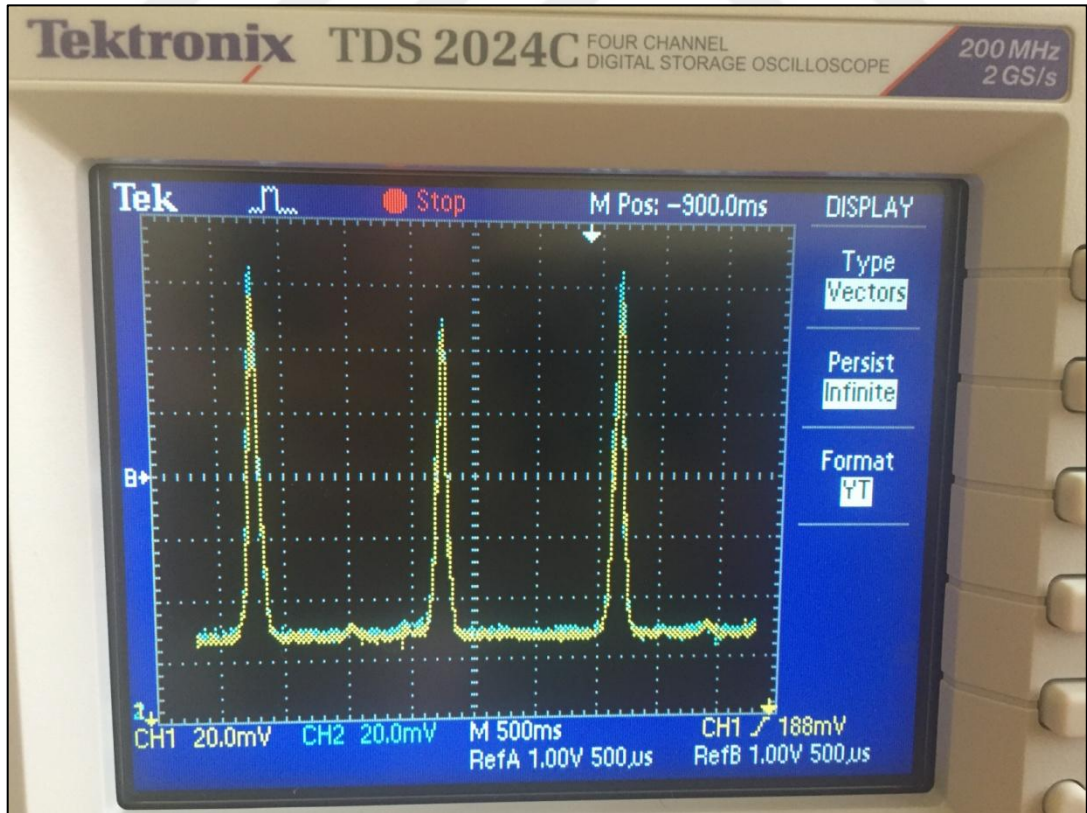
Şekil 5.28 Rössler kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı 2D faz portreleri



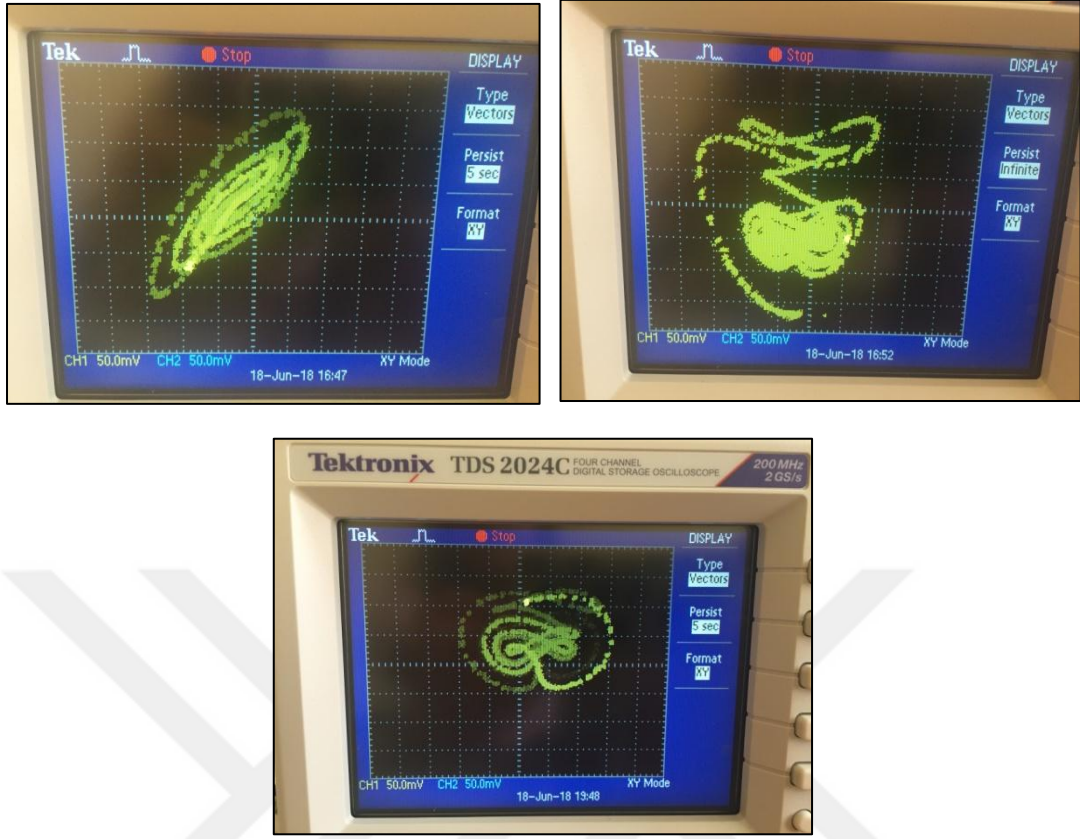
Şekil 5.29 Rössler kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı X_m - X_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



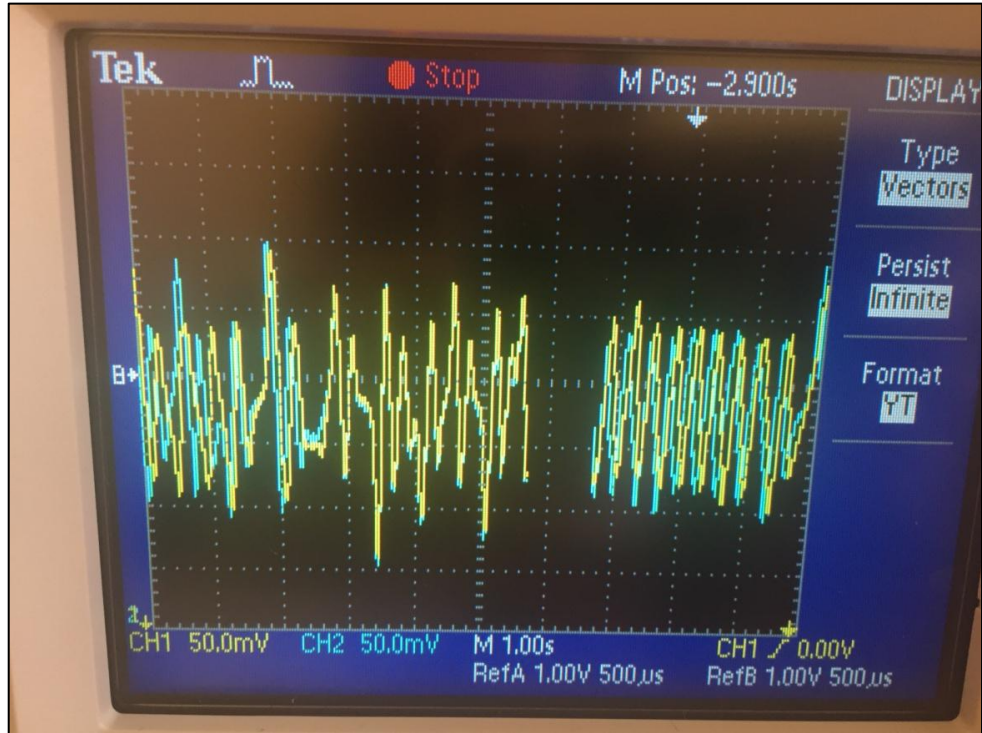
Şekil 5.30 Rössler kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Y_m - Y_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



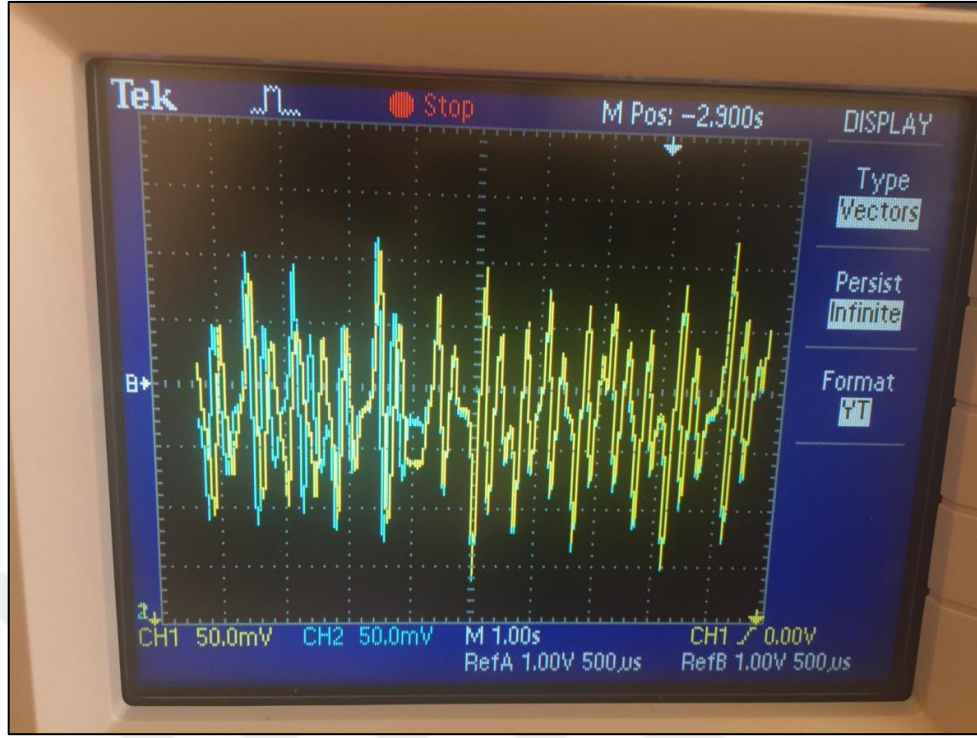
Şekil 5.31 Rössler kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Z_m - Z_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



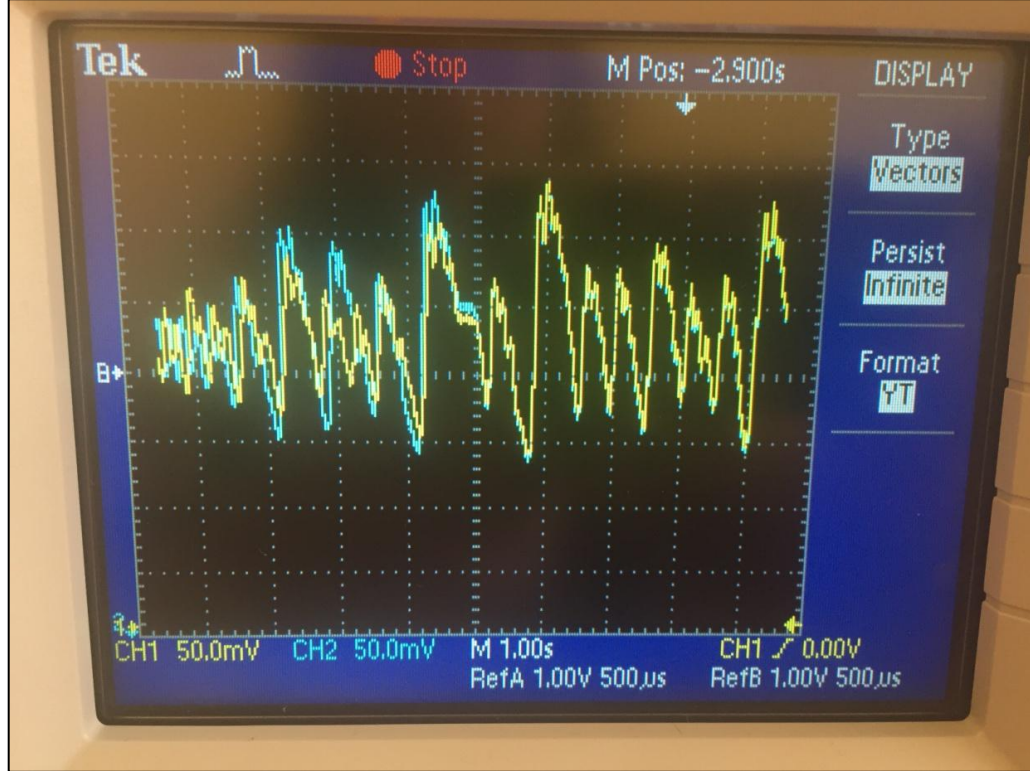
Şekil 5.32 Chen kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı 2D faz portreleri



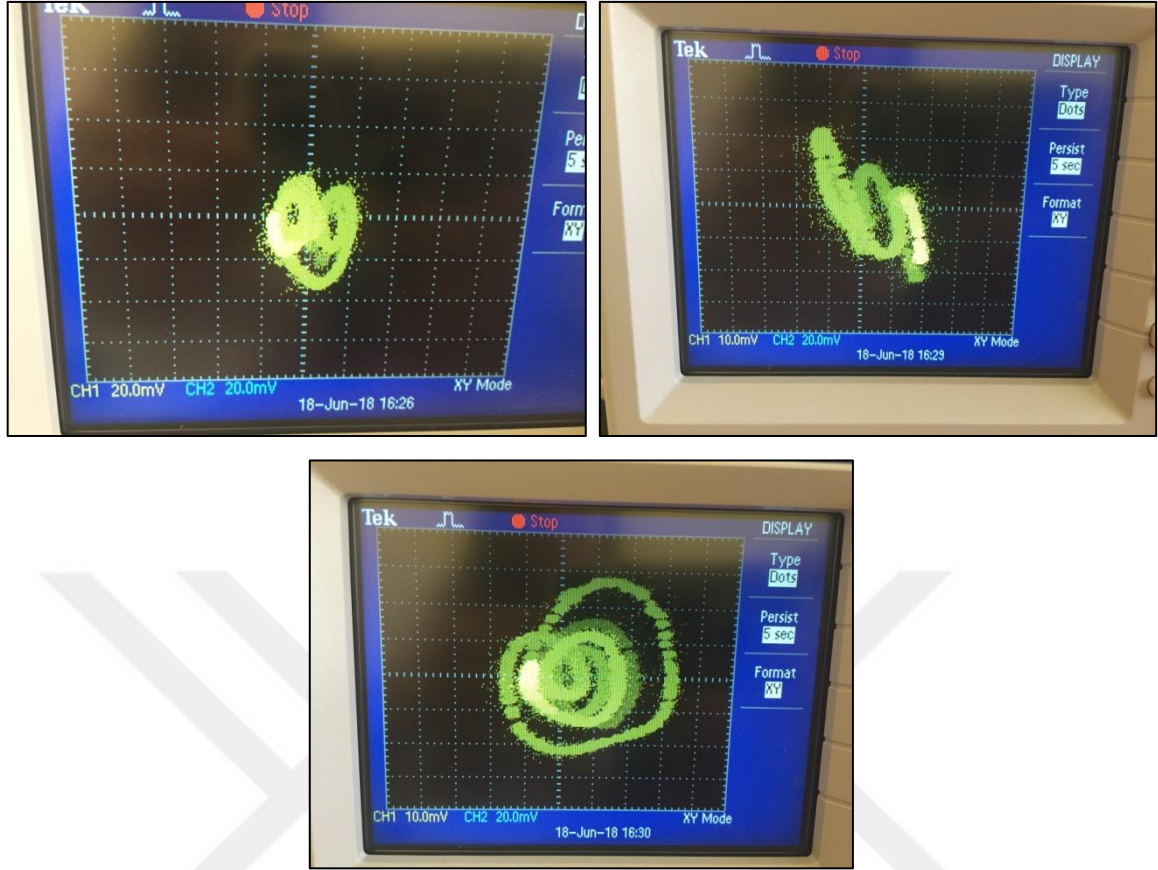
Şekil 5.33 Chen kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı X_m - X_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



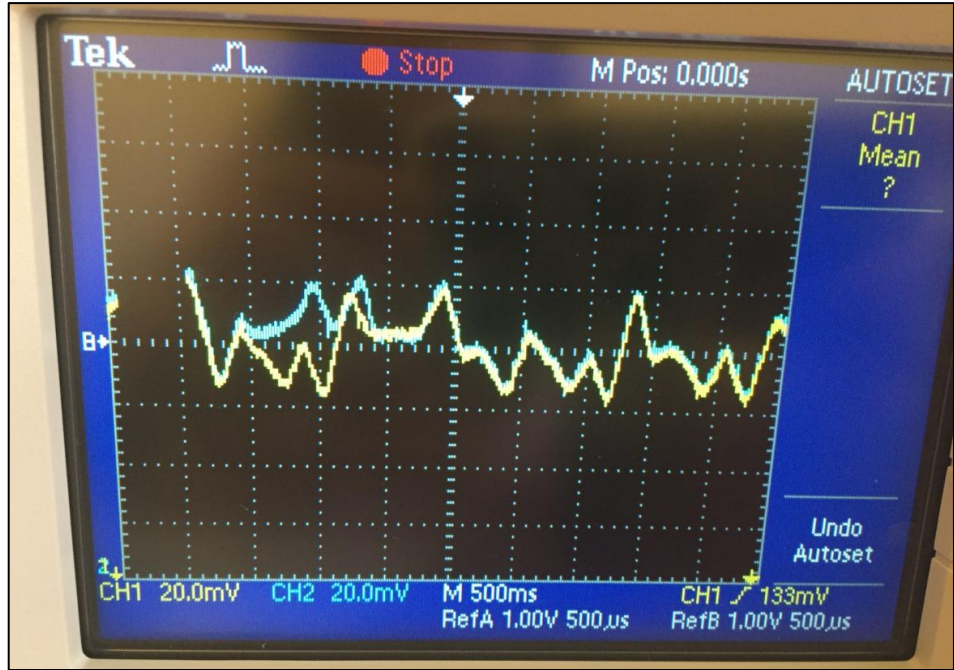
Şekil 5.34 Chen kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Y_m - Y_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



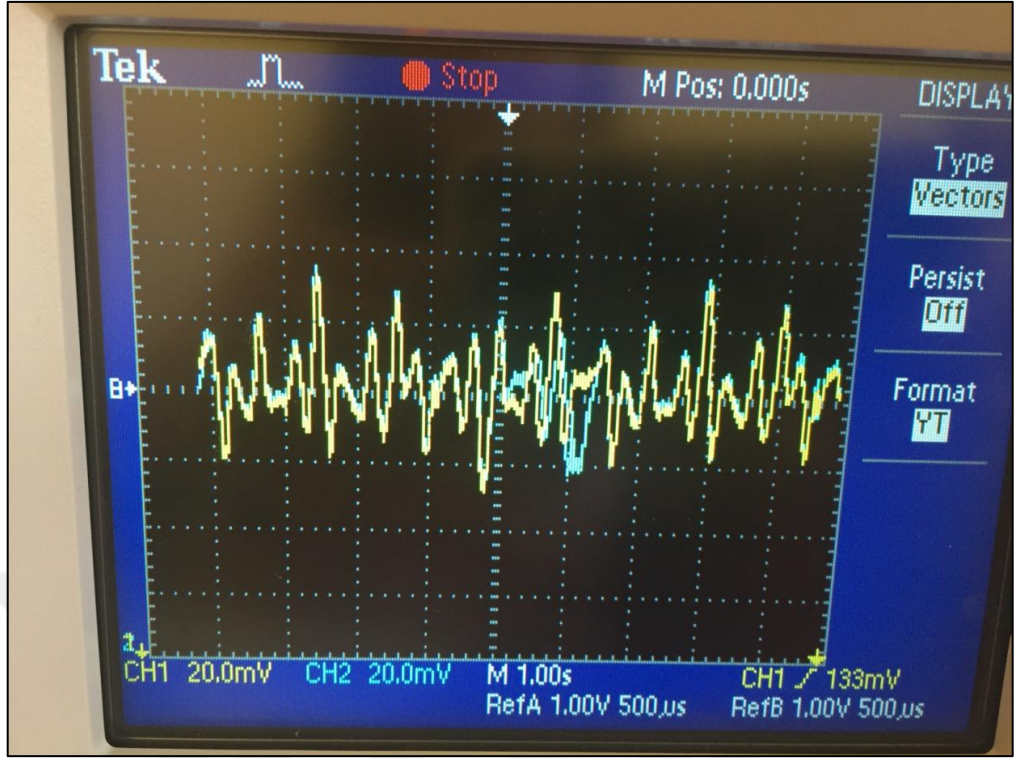
Şekil 5.35 Chen kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Z_m - Z_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



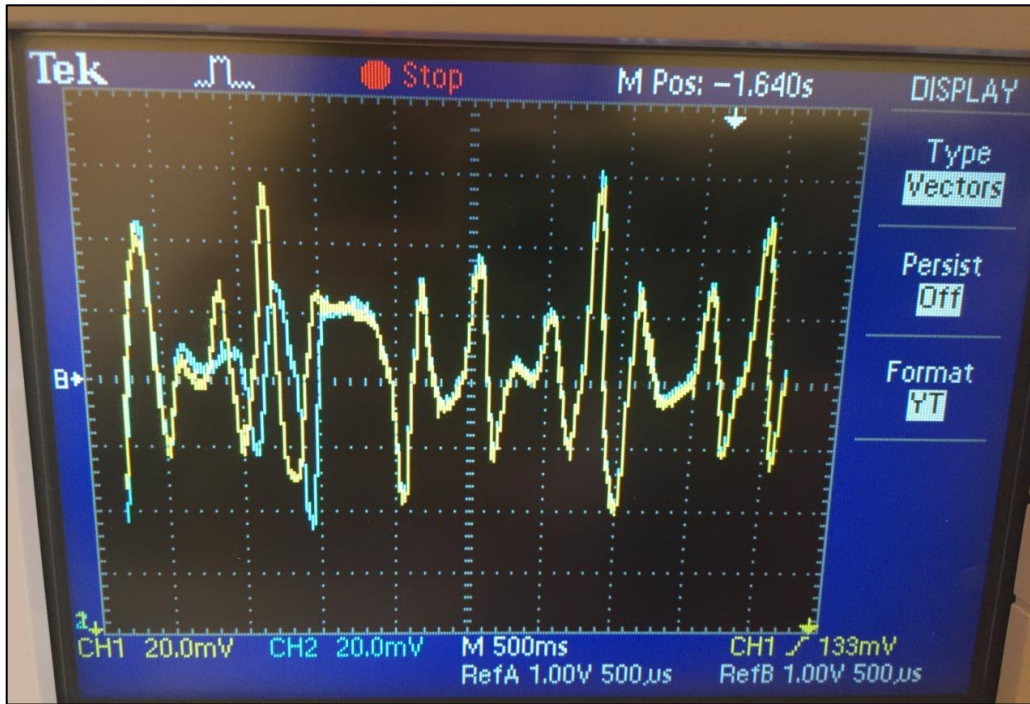
Şekil 5.36 Arneodo kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı 2D faz portreleri



Şekil 5.37 Arneodo kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı X_m - X_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi

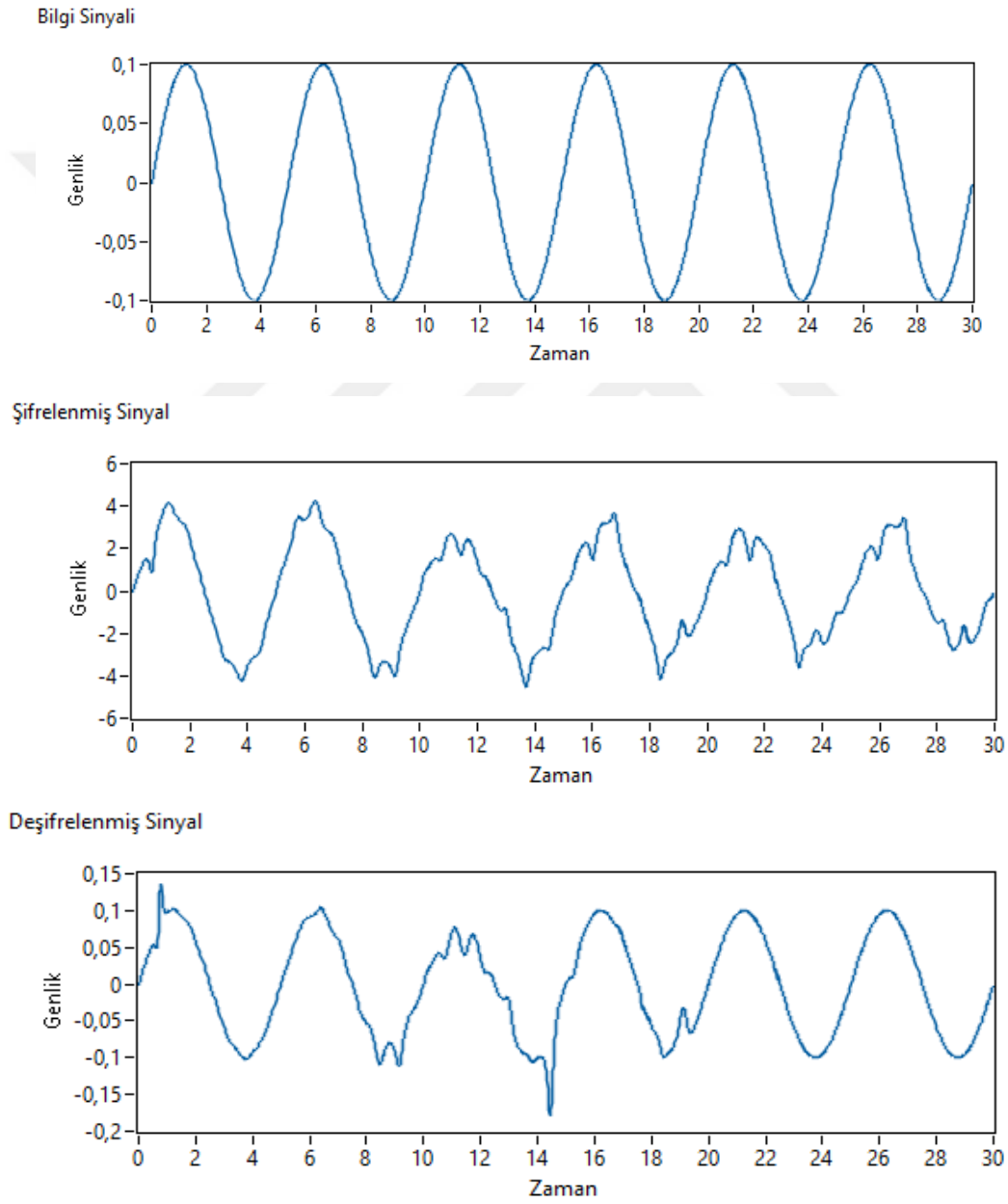


Şekil 5.38 Arneodo kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Y_m - Y_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



Şekil 5.39 Arneodo kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Z_m - Z_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi

Tüm bu çalışmalara ek olarak, master-slave Lorenz kaotik sistemi üzerinde güvenli iletişim benzetimi gerçekleştirildi. Veri sinyali olarak 0.2 Hz frekansında ve 0.1V genliğinde sinüsoidal bir sinyal kullanıldı. Veri sinyali, master kaotik sistemi tarafından modüle edildi daha sonra slave kaotik sistemi tarafından demodüle edilerek haberleşme sağlanmış oldu. 20. saniyede aktif kontrolör devreye alındığında çıkışın girişi bu saniyeden itibaren takip ettiği görüldü. Veri sinyali, şifrelenmiş sinyal ve deşifrelenmiş sinyale ait görüntüler Şekil 5.40'da verilmiştir.



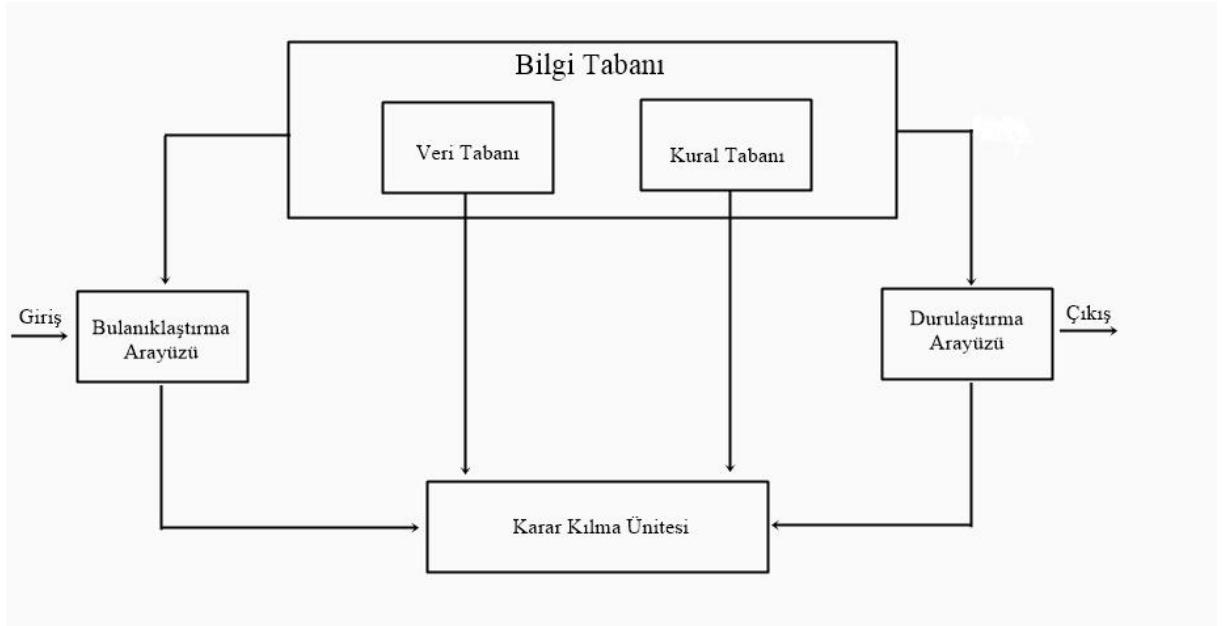
Şekil 5.40 Veri sinyali, modüleli sinyal ve demodüleli sinyale ait simülasyon görüntüleri

5.2.Master-Slave Bulanık Mantık Kontrolör Yardımı ile Senkronizasyon

Bulanık mantık 1961 yılında L tf  Aliasker Zade tarafından ortaya atılmış bir mantık yapısıdır[39]. Bulanık mantığın temelinde, bulanık küme ve alt kümeler yatar. Klasik matematik yaklaşımlarında bir varlık bir kümeye ait veya ait değil iken bulanık mantık kümesinde her bir varlığın kümelere üyelik fonksiyonları vardır. Varlıkların  yelik fonksiyonları $[0-1]$ aralığında herhangi bir değer olabilir ve üyelik fonksiyonu $M(x)$ ile gösterilir. Klasik matematiksel yaklaşımın aksine elemanların üyelik dereceleri $[0-1]$ arasında sonsuz sayıda değişebilir. Bulanık mantık yaklaşımında kesin kümelerde mevcut olan siyah-beyaz, hızlı-yavaş, soğuk-sıcak gibi kesin ikili değişkenler gri, ılık, çok soğuk, çok hızlı, çok yavaş şeklindeki esnek niteleyiciler sayesinde gerçek dünyaya benzetilir.

Bulanık mantık mühendislikte sistem kontrolü, yapay zeka oluşturma prensibi, güvenli haberleşme uygulamalarında kontrolör vb. amaçlarla kullanılır. Mühendislikte normal bir program akışı: *Girişler*→*Program*→* ıkış* şeklinde iken, bulanık mantık uygulamalarındaki akış *Belirsiz Sayıda Veri Girişi*→*Program*→*Girişlere ve Varsayıma Yönelik Birden Fazla  ıkış* şeklinde dir. Bulanık mantık uygulamalarında  ıkışlar öbek veri şeklinde dir[40-44].

Bulanık mantık kontrolde, kontrolü sağlanılacak sistemin matematiksel modelini kullanmak yerine, bulanık kümeler üzerinden kontrol gerçekleştirilir. Bulanık mantık kontrolünde temel nokta, alanında uzman bir kişinin kendi bilgi, deneyim ve kontrol stratejisini kontrolör tasarımımda bilgi tabanı olarak kullanmasıdır. Bulanık kontrol sisteminde kontrol işi, uzman kişinin bilgisine ve deneyimine dayanan sözel kurallar vasıtası ile gerçekleştirilir. Bulanık bir sistem iki temel öğeden meydana gelir: Bulanık küme ve kurallar. Bulanık kümelerle belirlenen kurallarla sistemin girişleri, istenilen çıkışlara dönüştürülür. Girişler sırayla, bulanıklaştırma, kontrol-veritabanı ve durulaştırma aşamalarından geçer [45-57]. Bulanık mantık sisteminin yapısı şekil 5.41'de verilmiştir.



Şekil 5.41 Bulanık Mantık Sisteminin Yapısı

Master-slave kaotik sisteminin bulanık mantık kontrolör yardımı ile senkronizasyon yönteminde master ve slave kaotik sistemleri arasındaki hata hesaplanır ve bir hata sinyali oluşturulur. Bulanık mantık kontrolörün girişleri olarak oluşturulan bu hata sinyali (e) ve slave kaotik sisteminin nonlinear bileşeni (e1) alınır. Bu iki giriş sırasıyla bulanıklaştırma, veritabanı-kural tablosu ve durulaştırma aşamalarından geçirilerek slave sistemine bir anahtardan üzerinden uygulanır. Kullanıcının isteği doğrultusunda anahtar devreye sokularak nonlinear bileşen kaldırılmış olur ve senkronizasyon bu şekilde sağlanır. Bu çalışmada literatürde bulunan ve birbirinden farklı başlangıç şartlarına sahip Lorenz, Sprott, Rucklidge, Moore-Spiegel ve Chen kaotik osilatörlerinin Master-Slave Bulanık mantık kontrolör yardımı ile senkronizasyonu gerçekleştirilmiş olup, sistemlerin çıktıları elde edilmiştir. Senkronizasyon çıktılarını gözlemlemek için LabVIEW programının front panel ara yüzü kullanılmıştır.

Çalışmanın bu bölümde master-slave kaotik senkronizasyonun bulanık mantık kontrolör yardımı ile nasıl gerçekleştirildiğini anlatmak üzere, senkronizasyonun gerçekleştirilme aşamaları Chen kaotik osilatörü üzerinden anlatılacaktır.

Chen kaotik sistemlerin durum değişkenlerine ait farklı başlangıç koşullarındaki hata değişkenleri, bulanık mantık kontrolör yardımı ile sistemlerin kaotik senkronizasyonunu gerçekleştirebilmek için öncelikli olarak elde edilir. Hata dinamikleri master kaotik sistemin slave kaotik sistemden çıkarılmasıyla elde edilir. Denklem 5.6'da master Chen kaotik sisteminin diferansiyel denklemleri, Denklem 5.7' de slave Chen kaotik sistemi verilmiştir.

$$\begin{aligned} \dot{x}_m &= a(y_m - x_m) \\ \dot{y}_m &= (c - a)x_m - x_m z_m + c y_m \end{aligned} \quad (5.6)$$

$$\begin{aligned} \dot{z}_m &= x_m y_m - b z_m \\ \dot{x}_s &= a(y_s - x_s) \\ \dot{y}_s &= (c - a)x_s - x_s z_s + c y_s \\ \dot{z}_s &= x_s y_s - b z_s \end{aligned} \quad (5.7)$$

Master sistemin başlangıç koşulları olarak $x_{0m} = 0,1$, $y_{0m} = 0$, $z_{0m} = 0$ ve slave sistemin başlangıç koşulları olarak $x_{0s} = 0,3$, $y_{0s} = 0,1$, $z_{0s} = 0,02$ alınmıştır. Farklı başlangıç koşullarına sahip bu iki kaotik sistemin hata fonksiyonları Denklem 5.8'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \dot{e}_1 &= a(y_s - y_m - x_s + x_m) \\ \dot{e}_2 &= (c - a)(x_s - x_m) - x_s z_s + x_m z_m + c(y_s - y_m) \\ \dot{e}_3 &= x_s y_s - x_m y_m - b(z_s - z_m) \end{aligned} \quad (5.8)$$

Hata fonksiyonu master sistem durum değişkenlerinin slave sistem durum değişkenlerinden çıkarılması ile elde edilir. Bu durumda $e_1 = x_s - x_m$, $e_2 = y_s - y_m$, $e_3 = z_s - z_m$ olur.

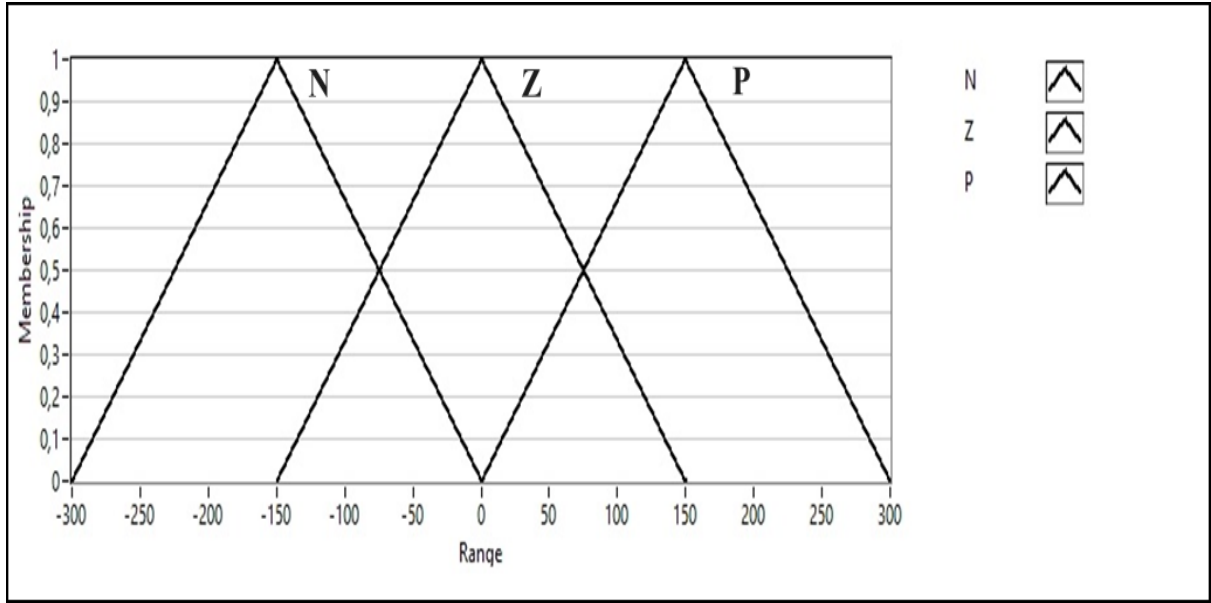
Bulanık mantık kontrolör yardımı ile senkronizasyon yönteminde bulanık mantık kontrolörün girişine hata (e) sinyali ve slave kaotik sistemi meydana getiren nonlinear bileşen sinyali (e_1) uygulanır. Daha önce de belirtildiği gibi $V(t)$ kazanç fonksiyonudur. Slave sistemine ait nonlinear bileşene ait fonksiyonlar Denklem 5.9'da verilmiştir:

$$e_{1x} = V_1(t)$$

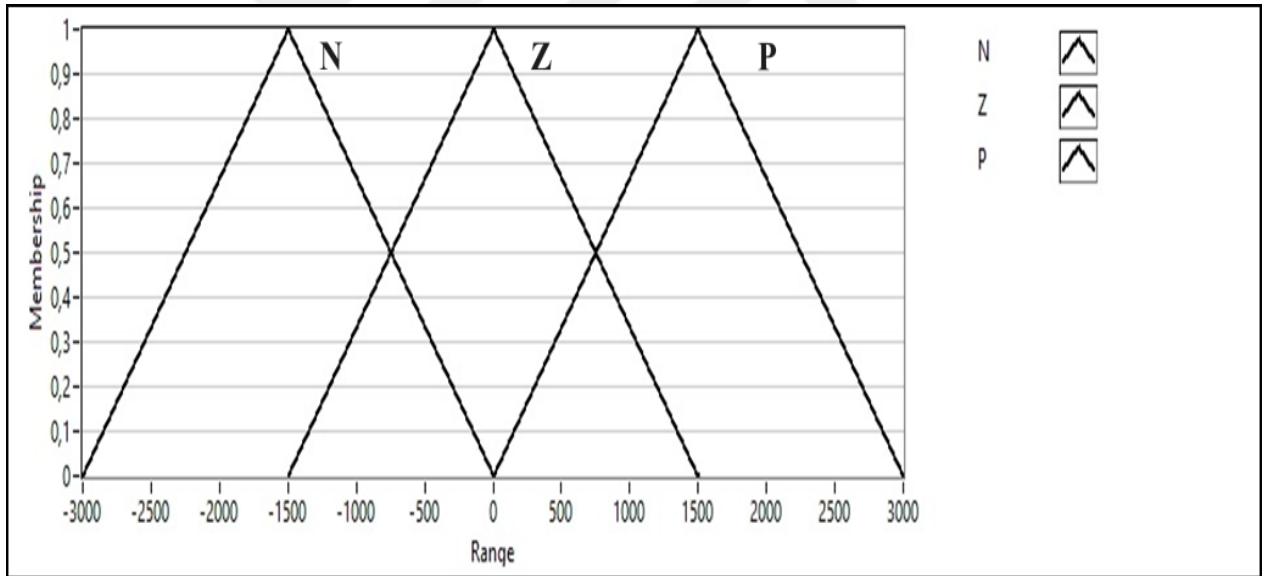
$$e_{1y} = x_s z_s - x_m z_m + V_2(t) \quad (5.9)$$

$$e_{1z} = x_m y_m - x_s y_s + V_3(t)$$

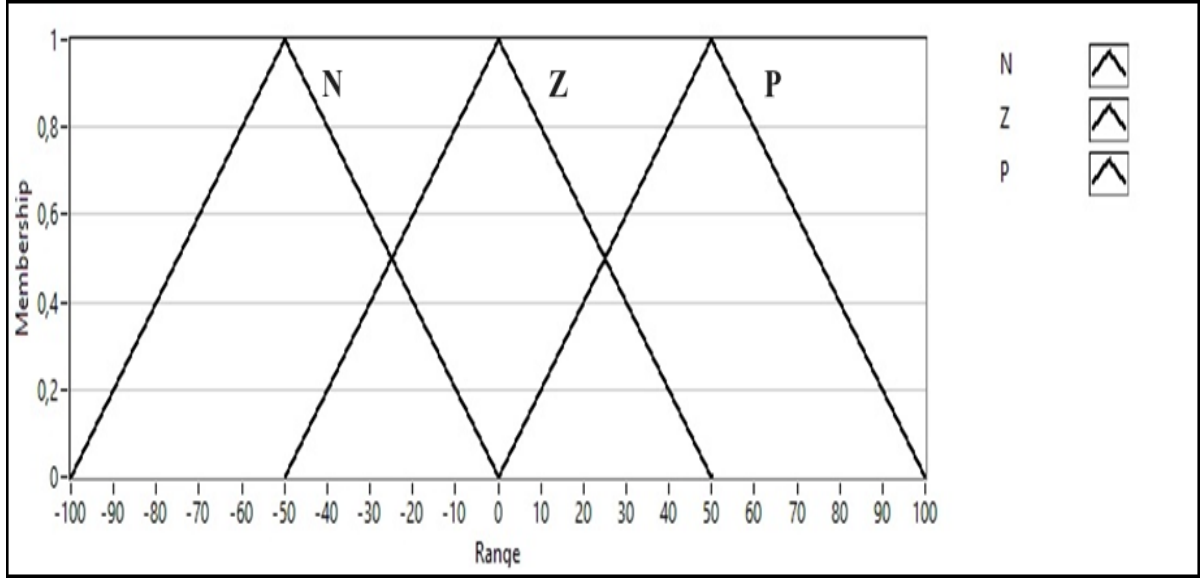
Bulanık mantık kontrolör tasarımı LabVIEW programının Control&Simulation Toolkit bünyesinde bulunan Fuzzy System Designer yapısı ile gerçekleştirilmiştir. Bulanık mantık kontrolör yardımı ile senkronizasyonu gerçekleştirebilmek için hata (e) ve nonlinear bileşen sinyalinin (e_1) öncelikle üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Üyelik fonksiyonları sistemlerin senkronizasyon öncesi durumlarına bakılarak Negatif, Pozitif ve Sıfır (N, Z, P) şeklinde aralıklandırılmıştır. Aynı şekilde senkronizasyon öncesi sistemlerin çalışma durumları göz önünde bulundurularak çıkışın pozitif yönde mi yoksa negatif yönde mi bir çalışma gerçekleştirmesi gerekeceği veya sıfır düzeyinde kalacağına ilişkin bir kural tablosu oluşturulmuştur. Master-slave kaotik sistemlerinin senkronizasyonunu gerçekleştirebilmek için her bir durum değişkeni (x_s, y_s, z_s) için ayrı ayrı bulanık mantık kontrolör tasarımı yapılmıştır. Aşağıda Chen kaotik sisteminin x_s durum değişkenine ait bulanık mantık kontrolör yapısı açıklanmaktadır. Chen kaotik sistemi hata sinyali için oluşturulan üyelik fonksiyonları Şekil 5.42'de, nonlinner bileşen için oluşturulan üyelik fonksiyonları Şekil 5.43'de ve çıkış için oluşturulan üyelik fonksiyonları Şekil 5.44'de verilmiştir. Chen kaotik sistemi için oluşturulan kural tablosu Tablo 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.42 Chen kaotik sistemi hata sinyali üyelik fonksiyonları



Şekil 5.43 Chen kaotik sistemi nonlineer bileşen üyelik fonksiyonları

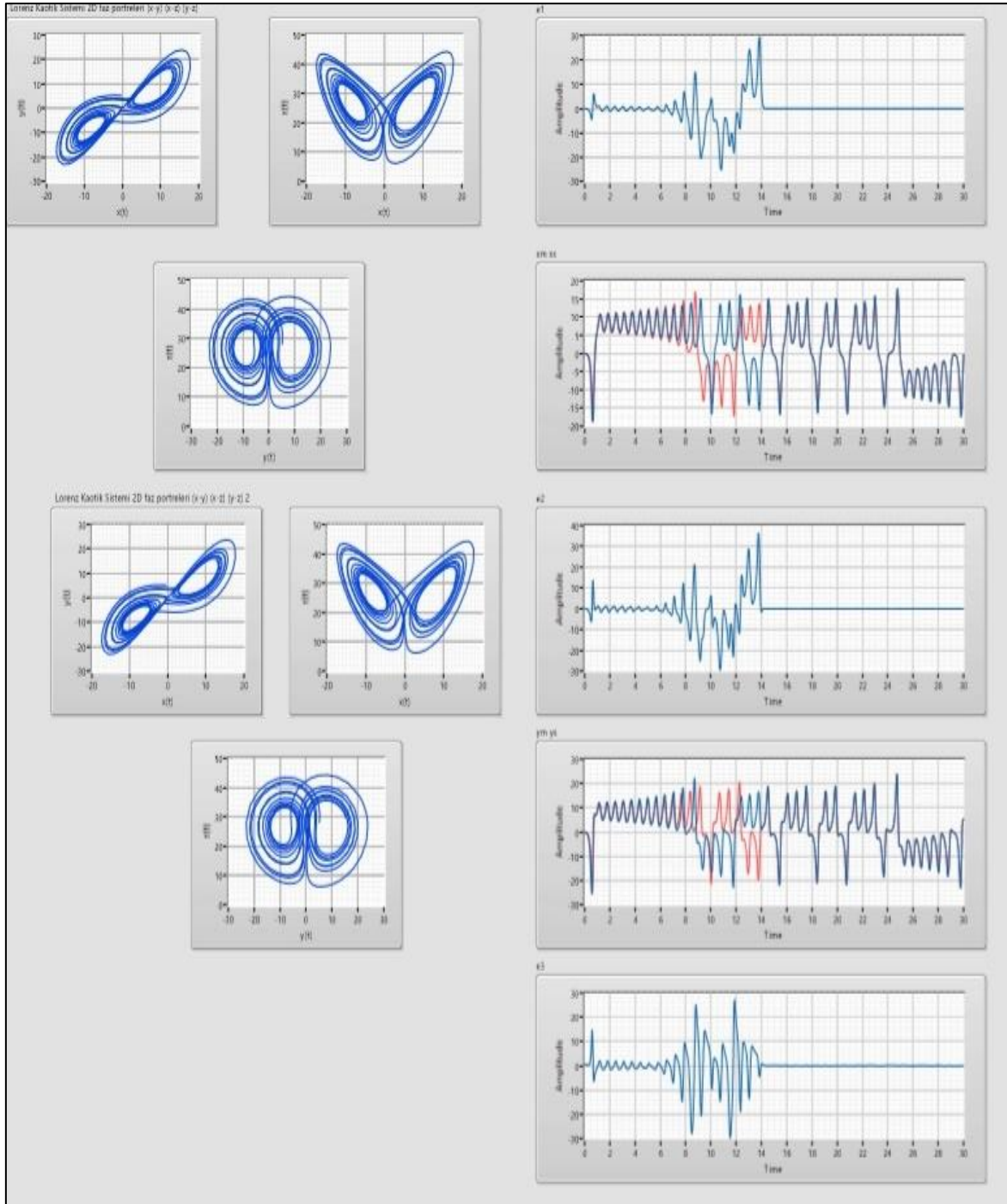


Şekil 5.44 Chen kaotik sistemi çıkış üyelik fonksiyonları

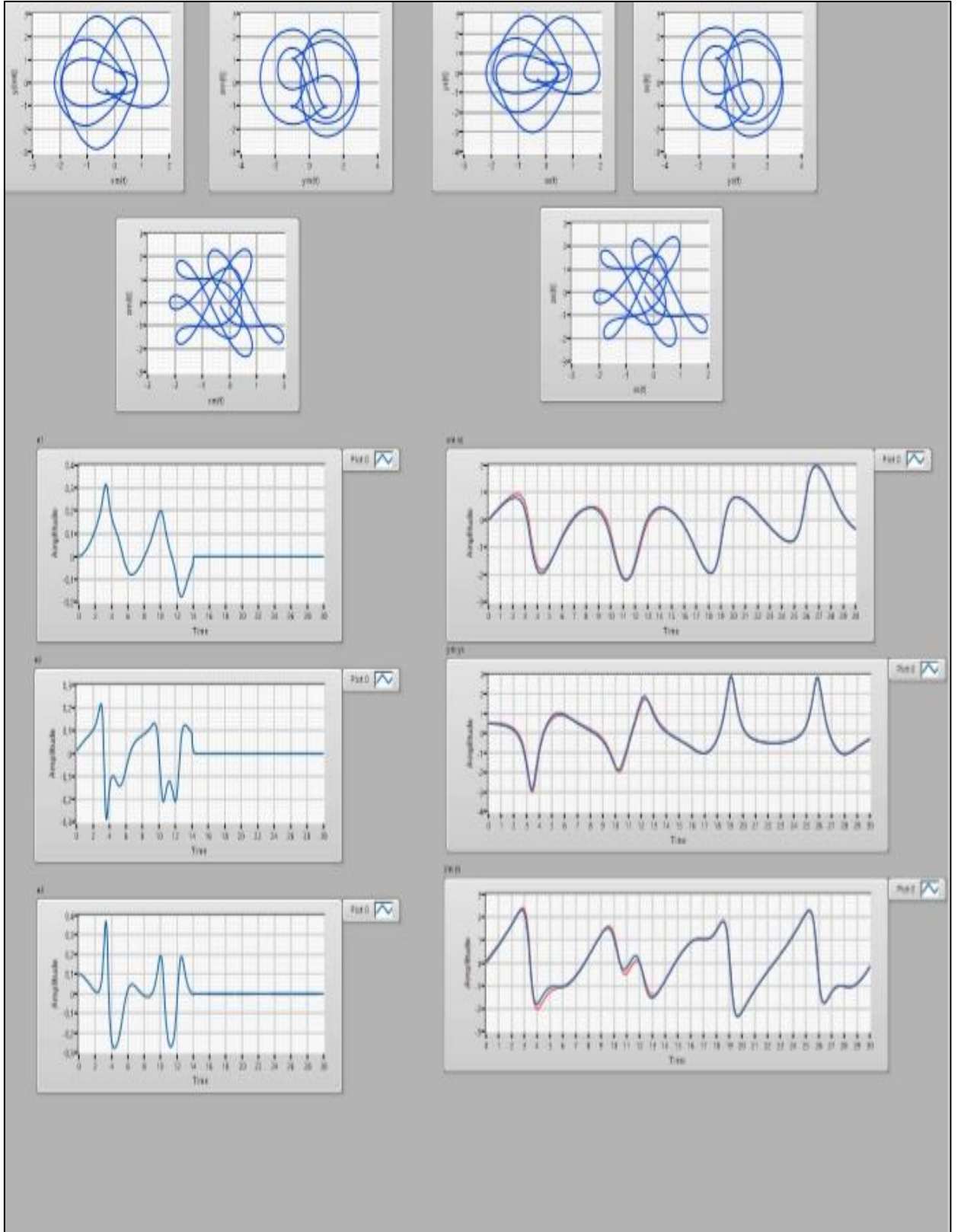
Tablo 5.1.Chen kaotik sistemi bulanık mantık kontrolör için oluşturulan kural tablosu

1.	Eğer 'e' 'N' ise VE 'e1' 'P' ise 'xs' 'N' dir.
2.	Eğer 'e' 'N' ise VE 'e1' 'N' ise 'xs' 'N' dir.
3.	Eğer 'e' 'N' ise VE 'e1' 'Z' ise 'xs' 'N' dir.
4.	Eğer 'e' 'P' ise VE 'e1' 'N' ise 'xs' 'N' dir.
5.	Eğer 'e' 'P' ise VE 'e1' 'P' ise 'xs' 'P' dir.
6.	Eğer 'e' 'P' ise VE 'e1' 'Z' ise 'xs' 'P' dir.
7.	Eğer 'e' 'Z' ise VE 'e1' 'N' ise 'xs' 'P' dir.
8.	Eğer 'e' 'Z' ise VE 'e1' 'Z' ise 'xs' 'Z' dir.
9.	Eğer 'e' 'Z' ise VE 'e1' 'P' ise 'xs' 'N' dir

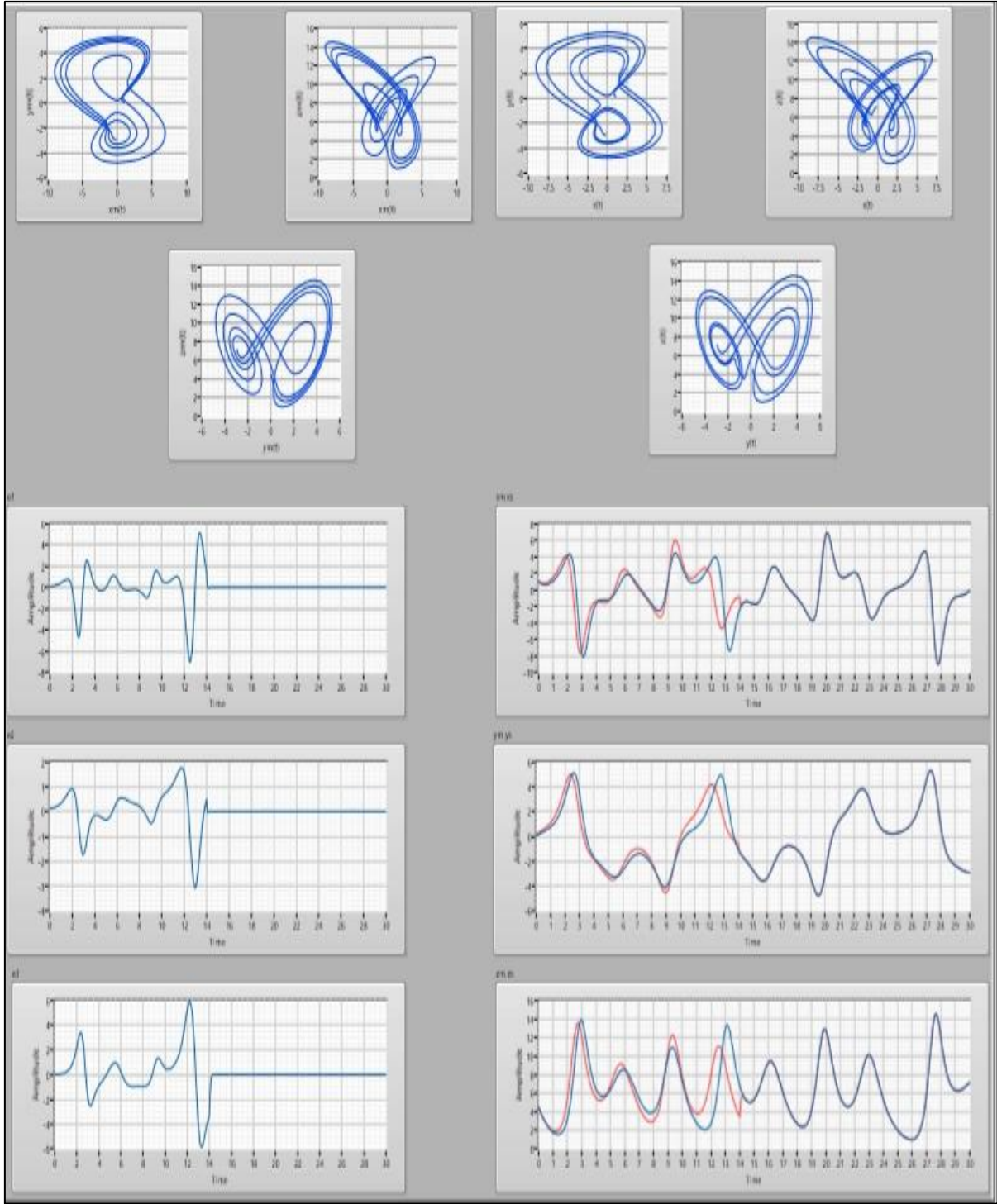
Çalışmanın devamında altı farklı kaotik sistemin master-slave bulanık mantık kontrolör yardımı ile senkronizasyonu gerçekleştirilmiştir. Sistemlerin modellenmesi diferansiyel denklem takımlarından yola çıkılarak gerekli integrator blokları, işaret terslemeler, kazanç blokları, çarpım ve toplam blokları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 14. saniyede anahtar yardımı ile bulanık mantık kontrolör devreye alınmıştır ve 14. saniyeden sonra senkronizasyon gerçekleştirilmiştir. Literatürde mevcut olan Lorenz, Sprott, Rucklidge, Arneodo, Moore-Spiegel, Chen kaotik sistemlerinin senkronizasyonlarına ait programların çıktıları Şekil 5.45'den başlamak üzere sırasıyla gösterilmiştir (Şekil 5.45-Şekil 5.50), sistemlerin senkronizasyonları için oluşturulan programların blok diyagramları ise eklerde verilmiştir.



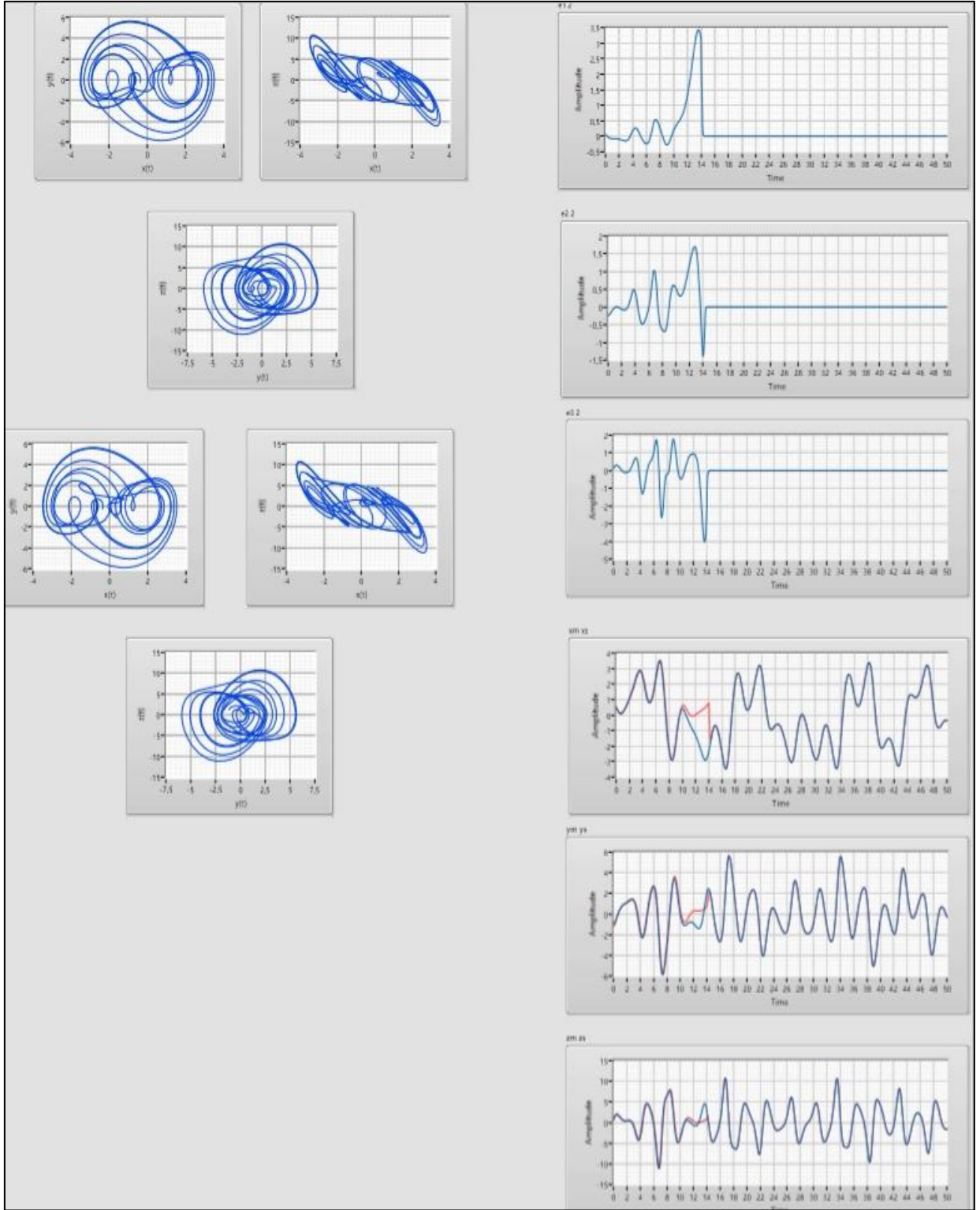
Şekil 5.45 Lorenz kaotik sistemi master-slave bulanık mantık kontrolör senkronizasyon çıktıları



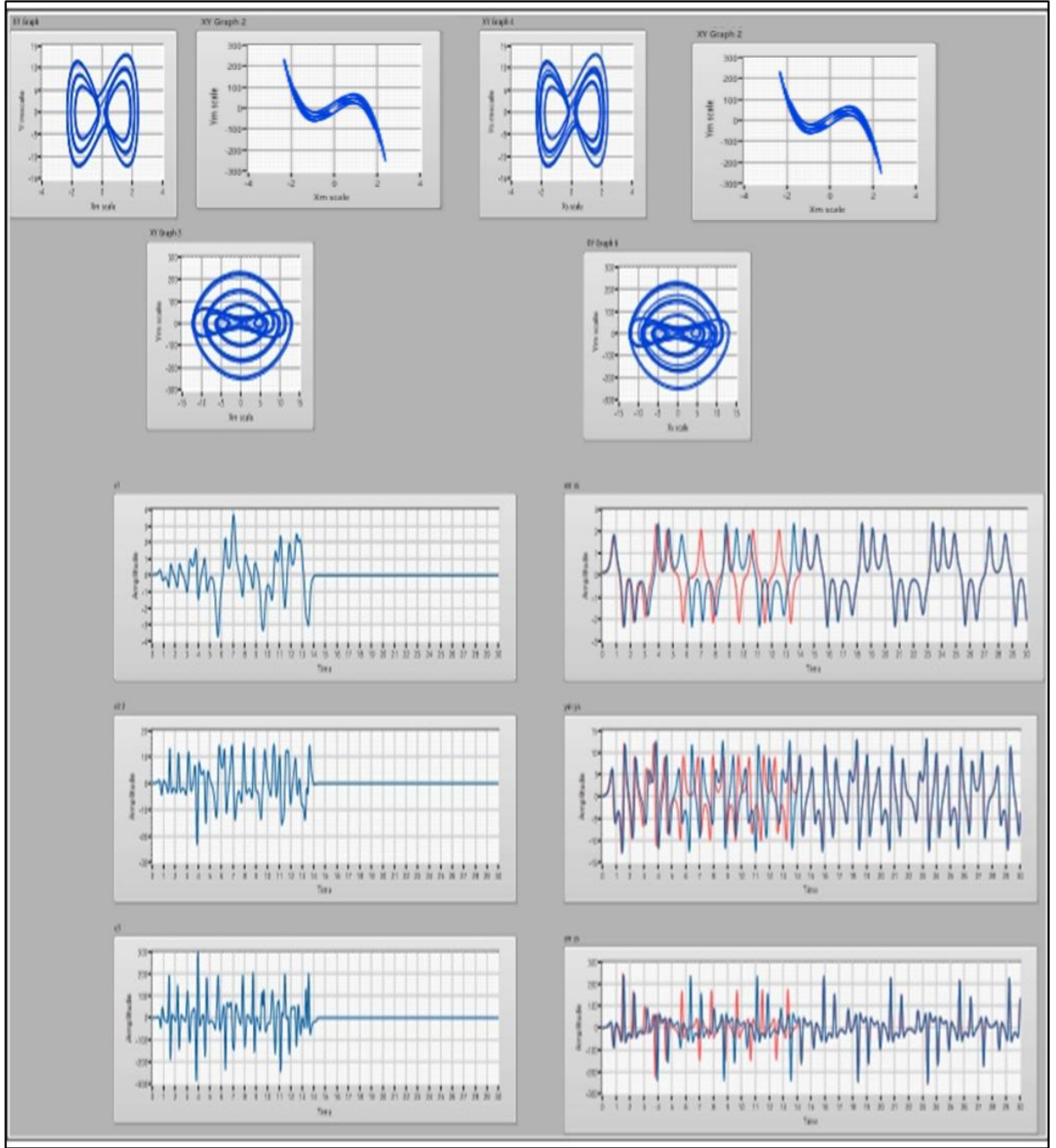
Şekil 5.46 Sprott durum A kaotik sistemi master-slave bulanık mantık kontrolör senkronizasyon çıktıları



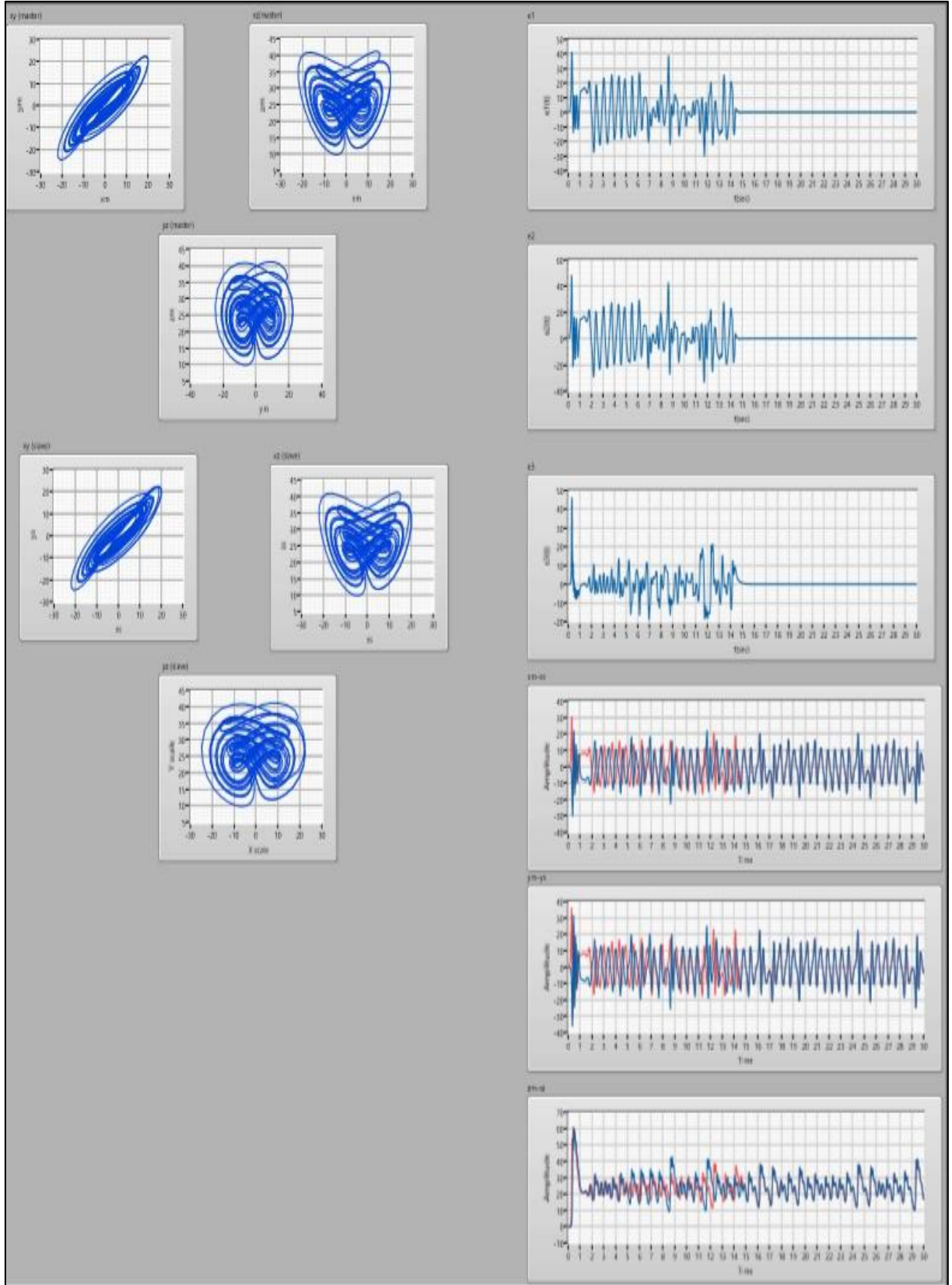
Şekil 5.47 Rucklidge kaotik sistemi master-slave bulanık mantık kontrolör senkronizasyon çıktıları



Şekil 5.48 Arneodo kaotik sistemi master-slave bulanık mantık kontrolör senkronizasyon çıktıları



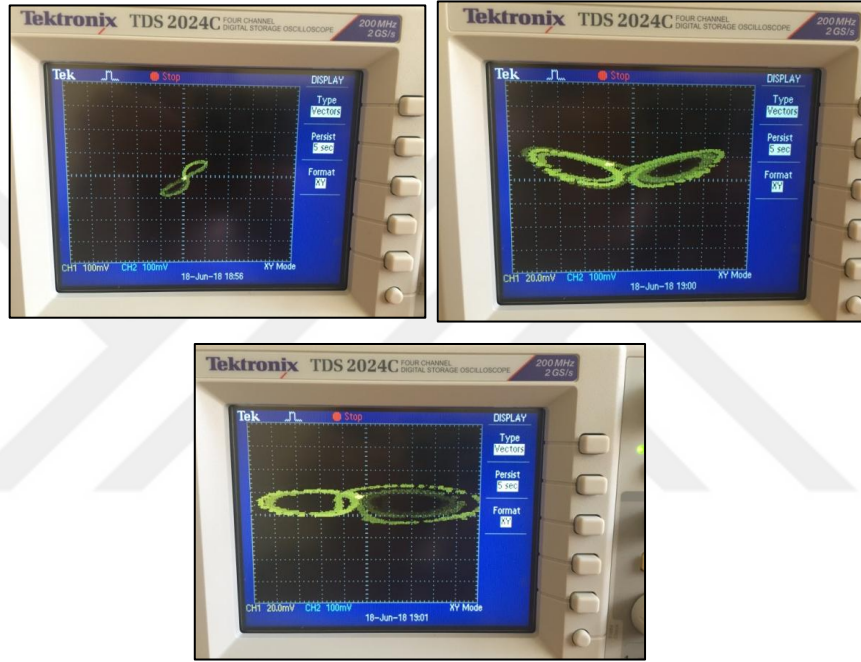
Şekil 5.49 Moore-Spiegel kaotik sistemi master-slave bulanık mantık kontrolör senkronizasyon çıktıları



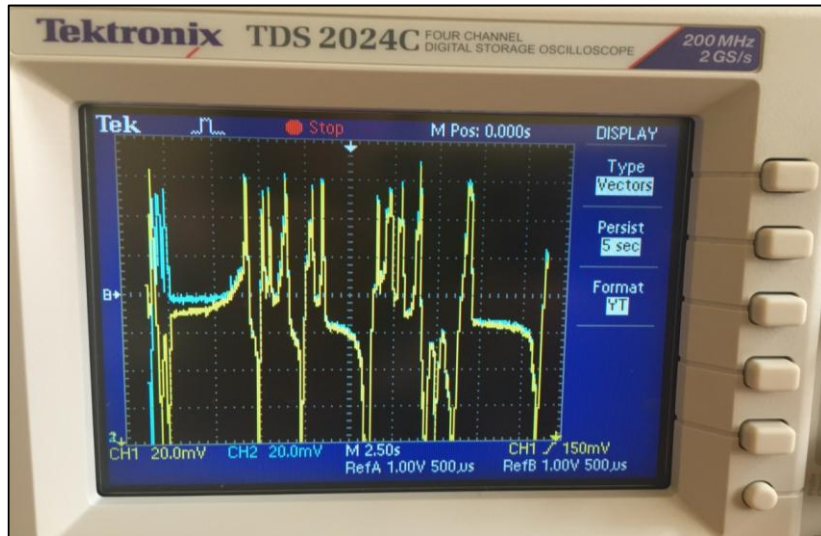
Şekil 5.50 Chen kaotik sistemi master-slave bulanık mantık kontrolör senkronizasyon çıktıları

5.2.1. Master-Slave Bulanık Mantık Kontrolör Gerçek Zamanlı Senkronizasyon Uygulamaları

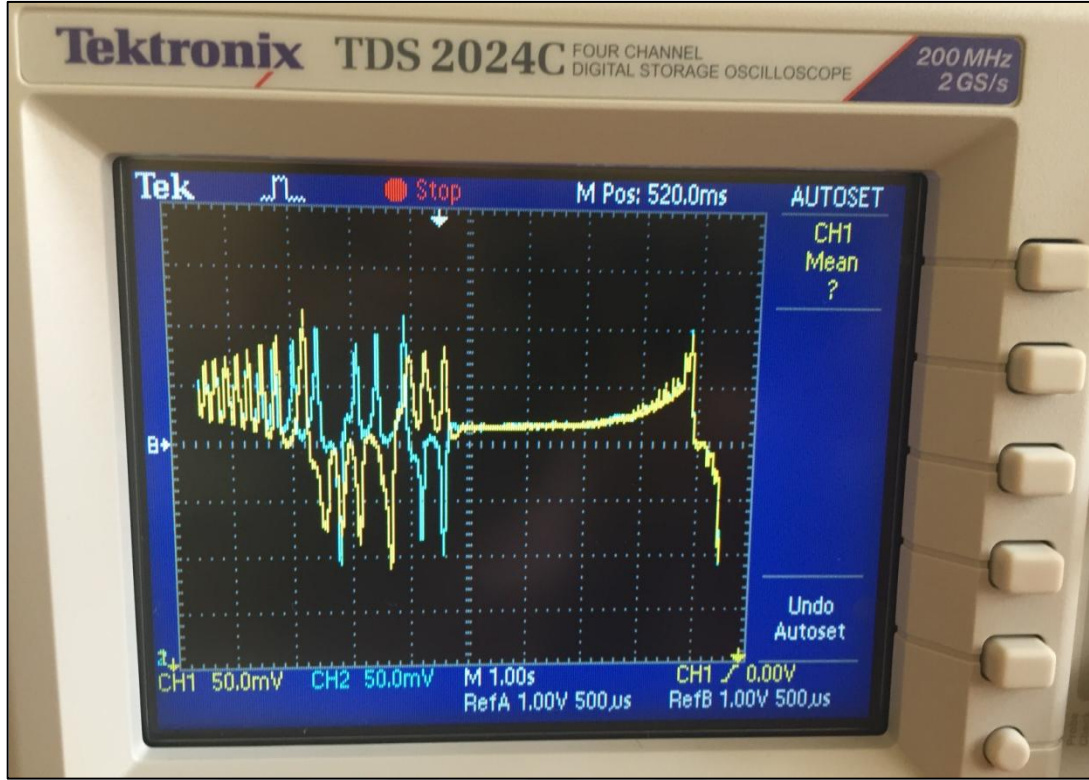
Master-slave bulanık mantık kontrolör yardımı ile senkronizasyona ait gerçek zamanlı uygulamalar sonucu elde edilen kaotik sistemlerin 2D faz portreleri ve X_m-X_s , Y_m-Y_s , Z_m-Z_s durum değişkenlerinin senkronizasyon süresince değişimleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir (Şekil 5.51-Şekil 5.74). Sistemlerin senkronizasyonlarını gerçekleştirmek için oluşturulan programların blok diyagramları eklerde verilmiştir.



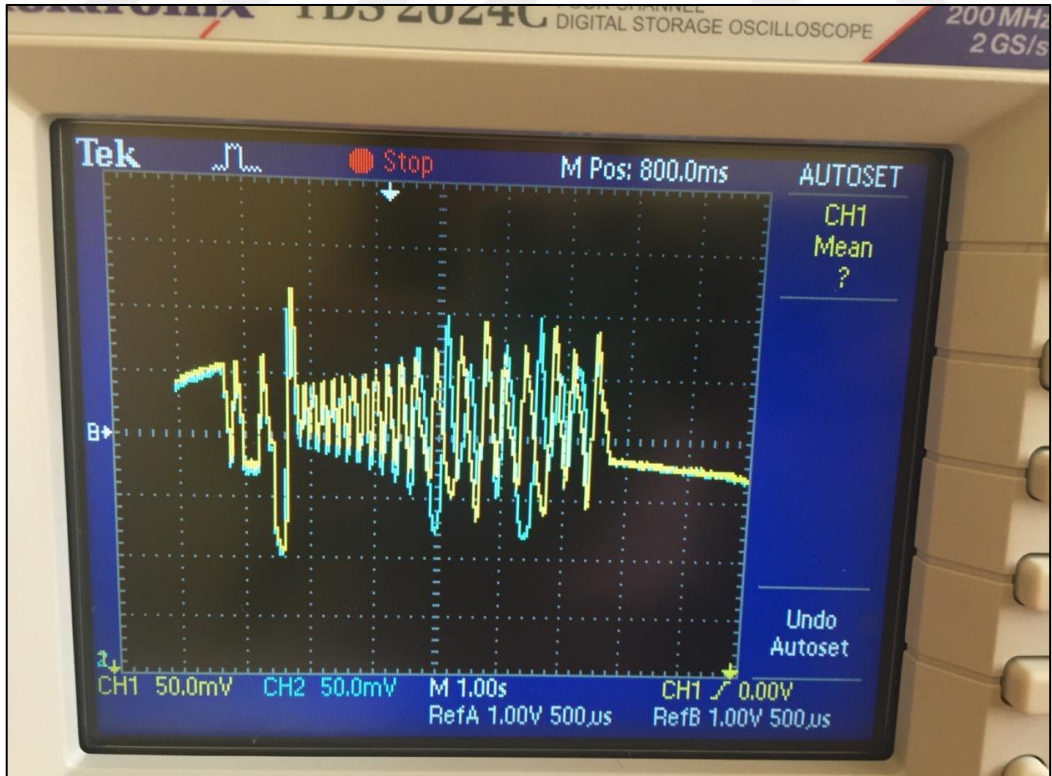
Şekil 5.51 Lorenz kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı 2D faz portreleri



Şekil 5.52 Lorenz kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı X_m-X_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



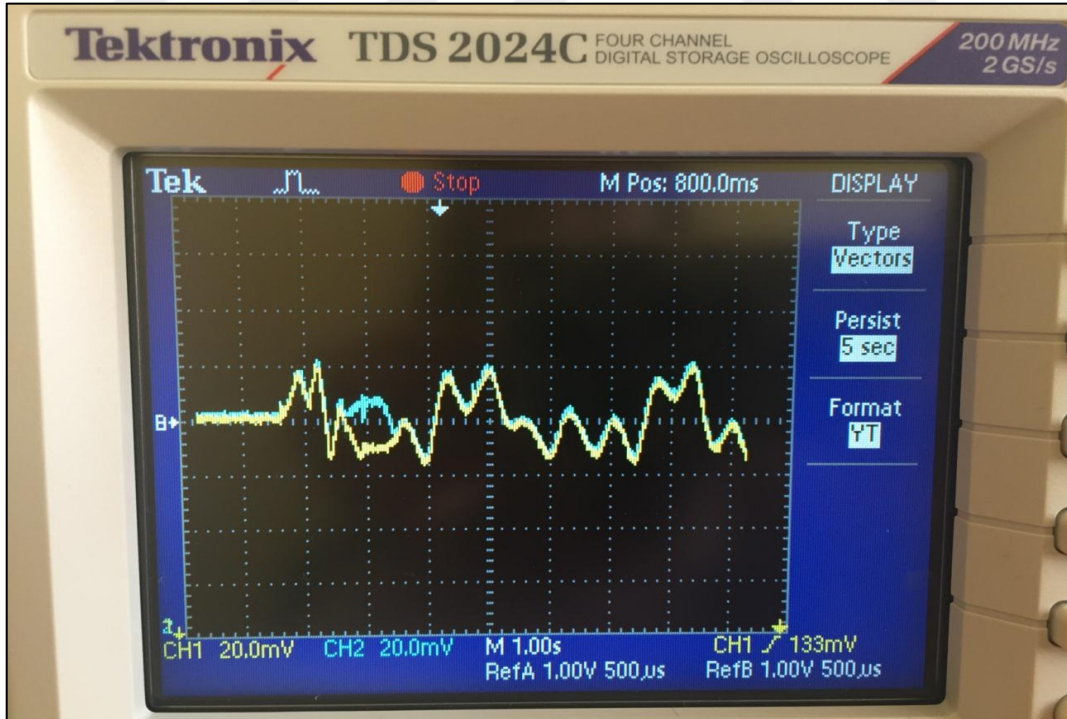
Şekil 5.53 Lorenz kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Y_m - Y_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



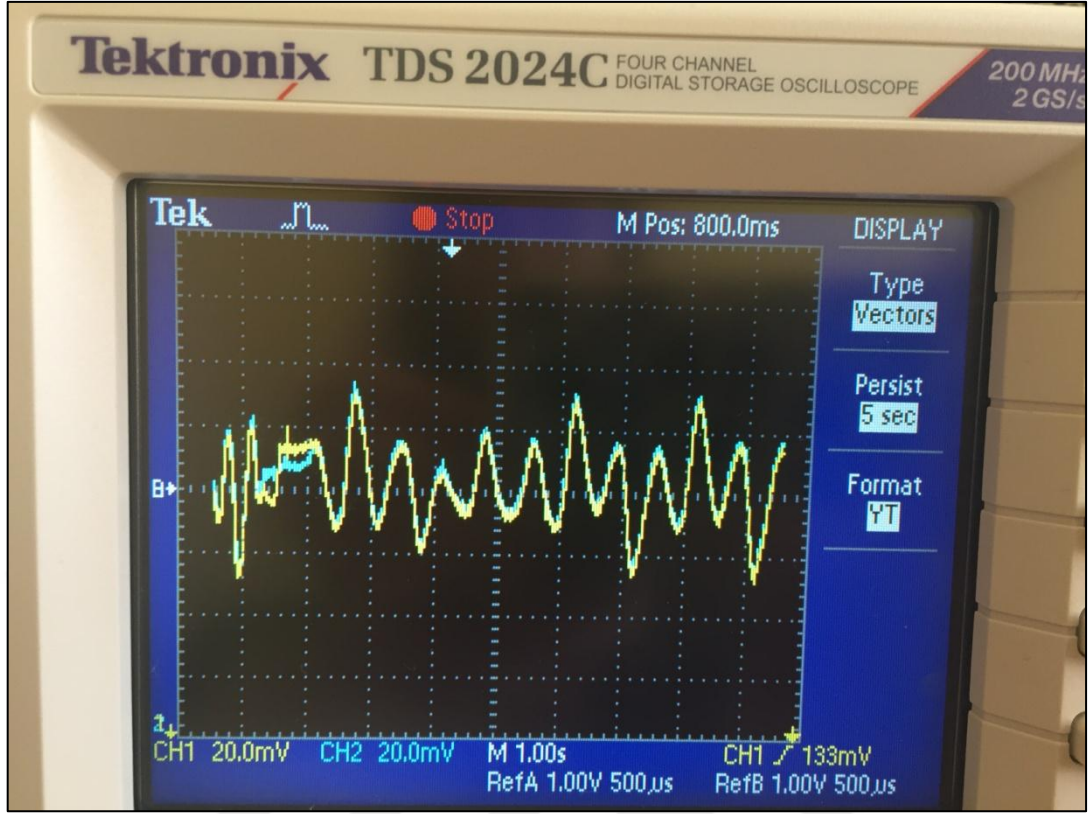
Şekil 5.54 Lorenz kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Z_m - Z_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



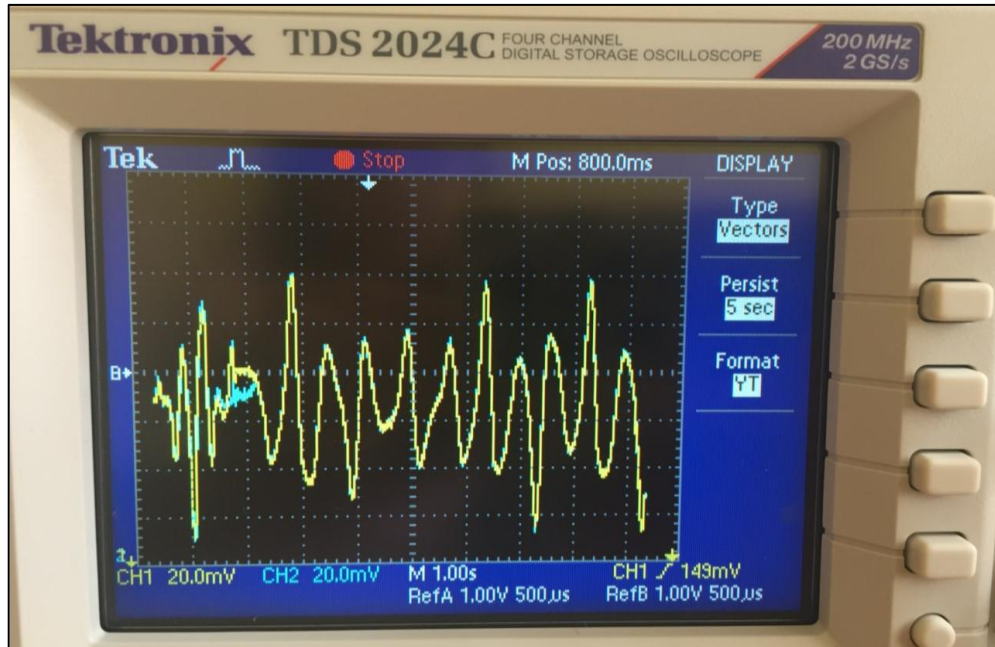
Şekil 5.55 Arneodo kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı 2D faz portreleri



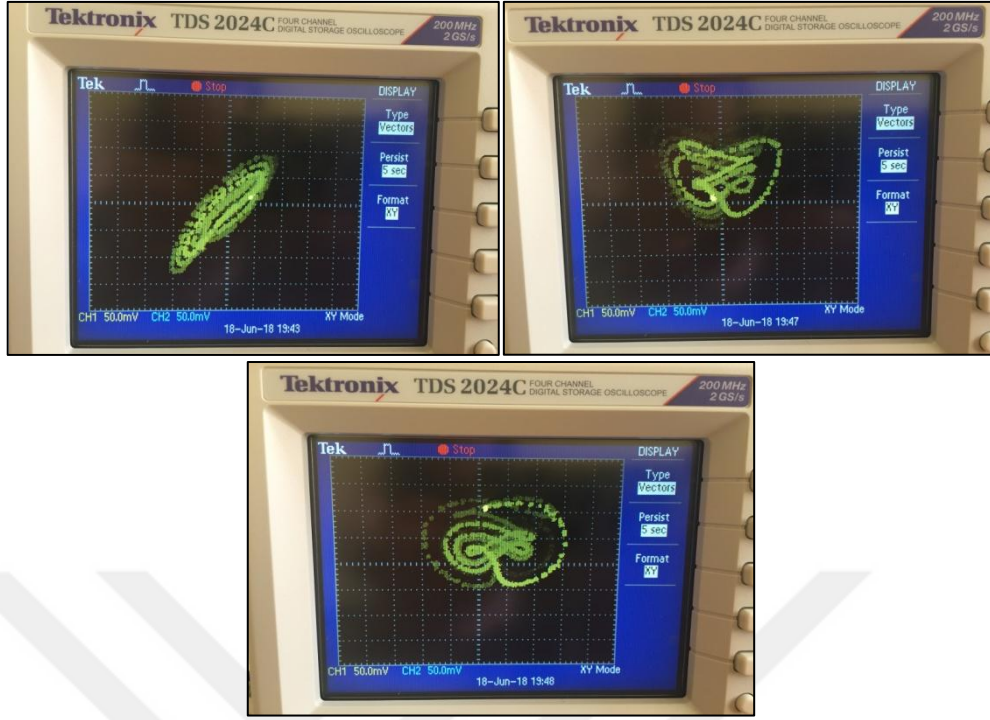
Şekil 5.56 Arneodo kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı X_m - X_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



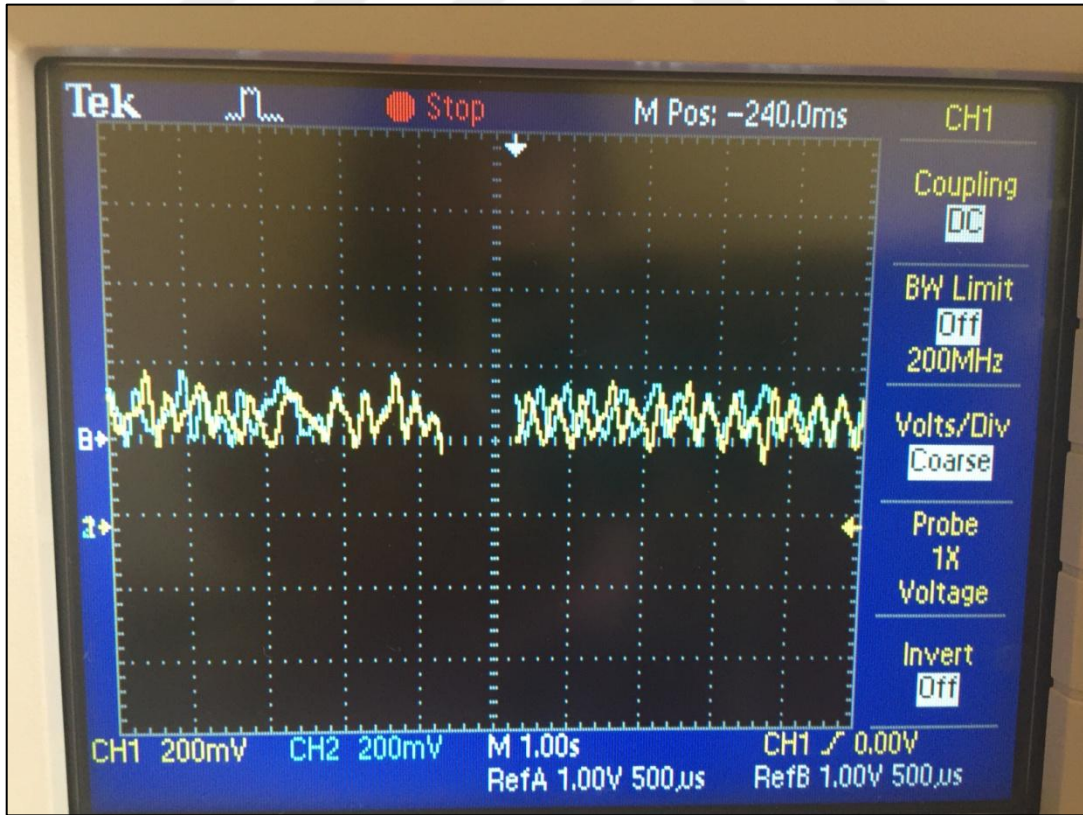
Şekil 5.57 Arneodo kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Y_m - Y_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



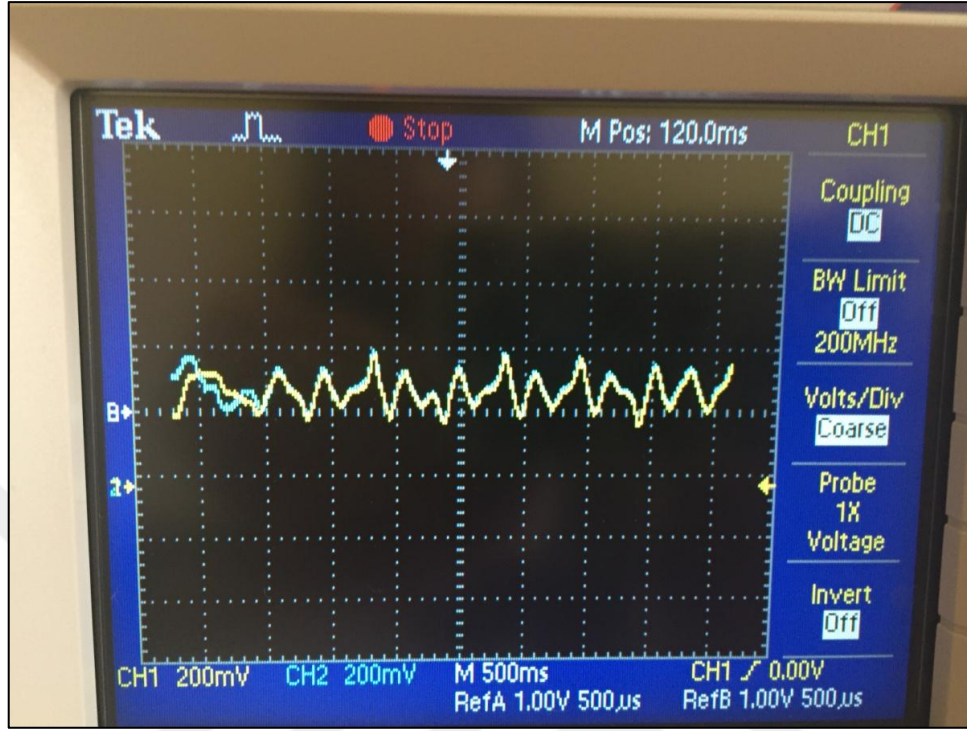
Şekil 5.58 Arneodo kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Z_m - Z_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



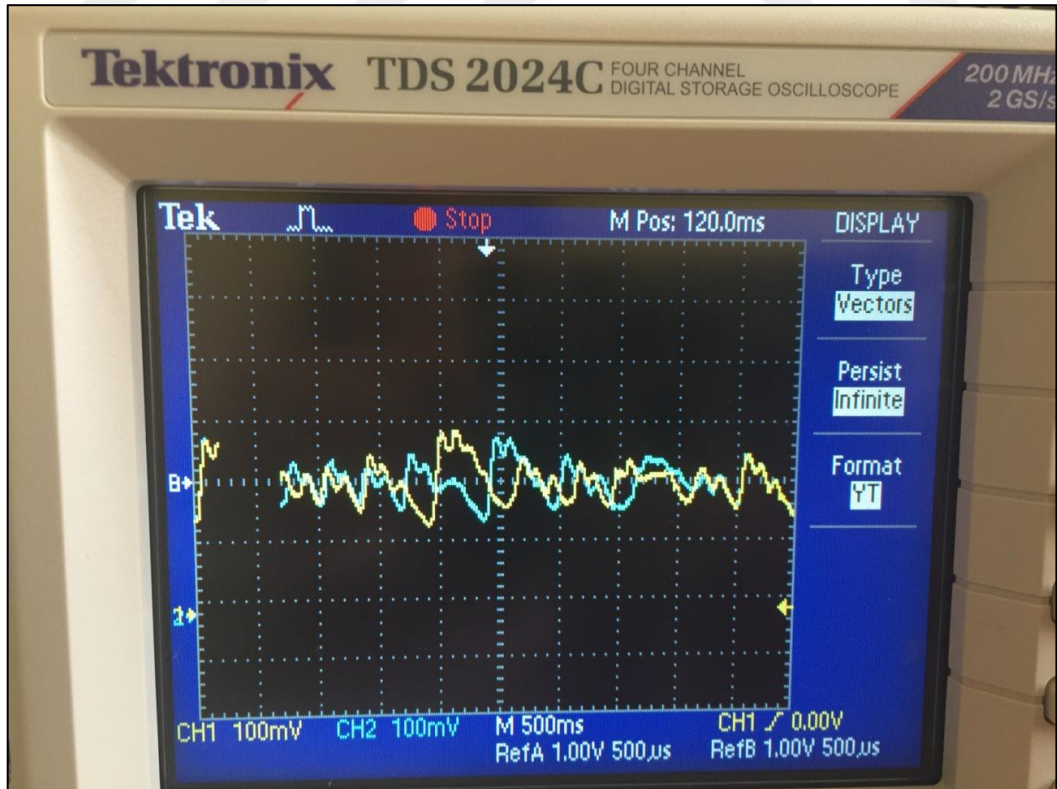
Şekil 5.59 Chen kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı 2D faz portreleri



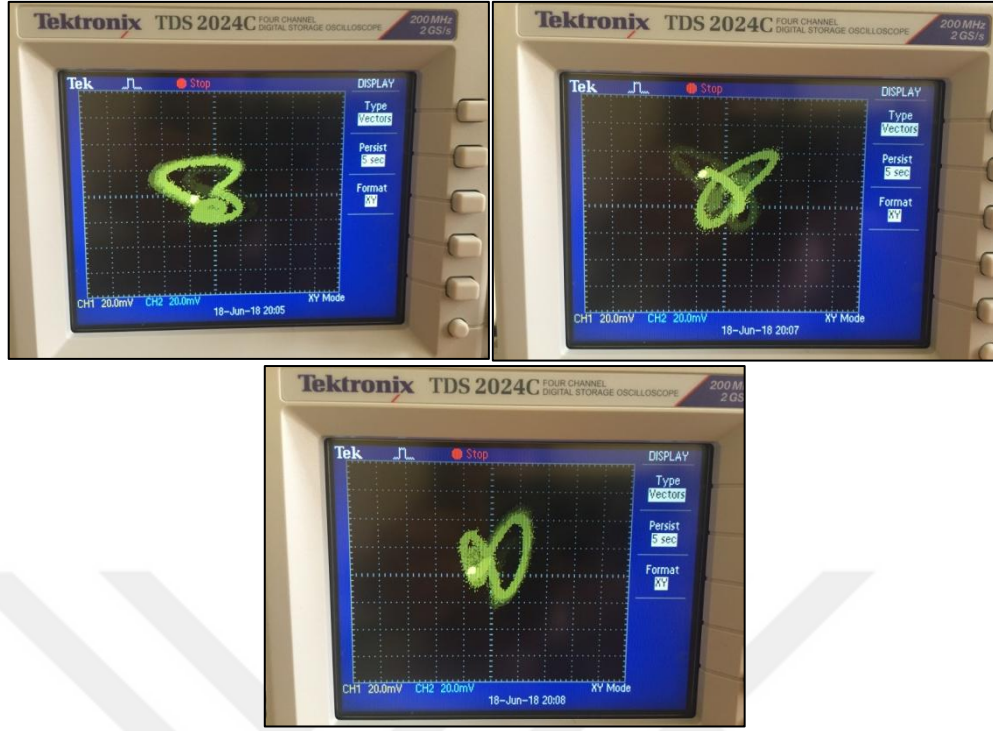
Şekil 5.60 Chen kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı X_m - X_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



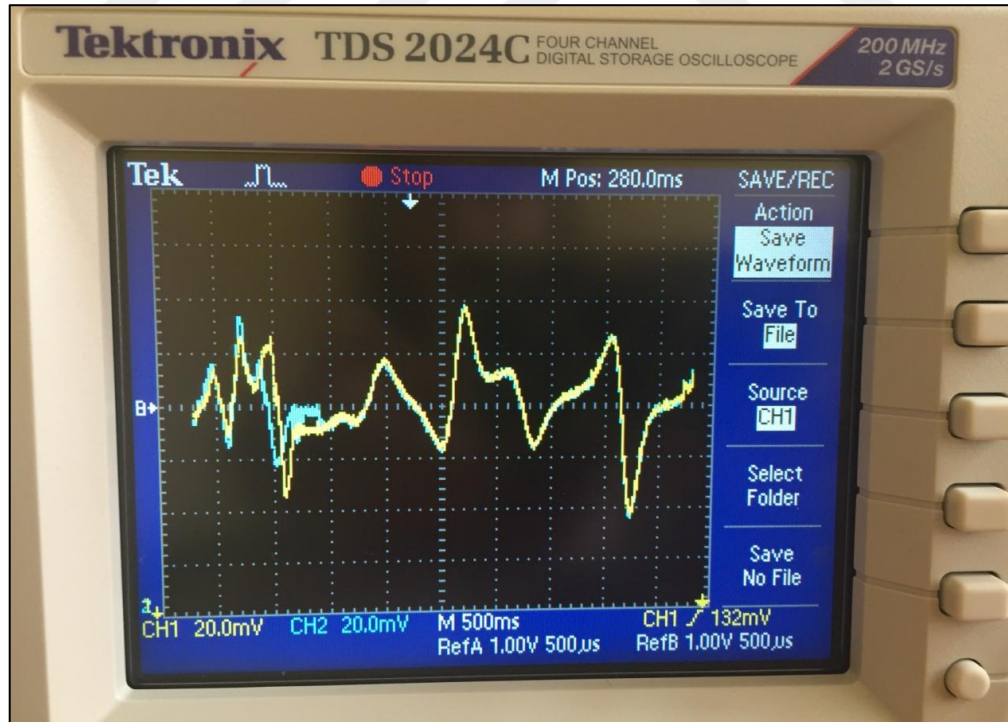
Şekil 5.61 Chen kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Zm-Zs durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



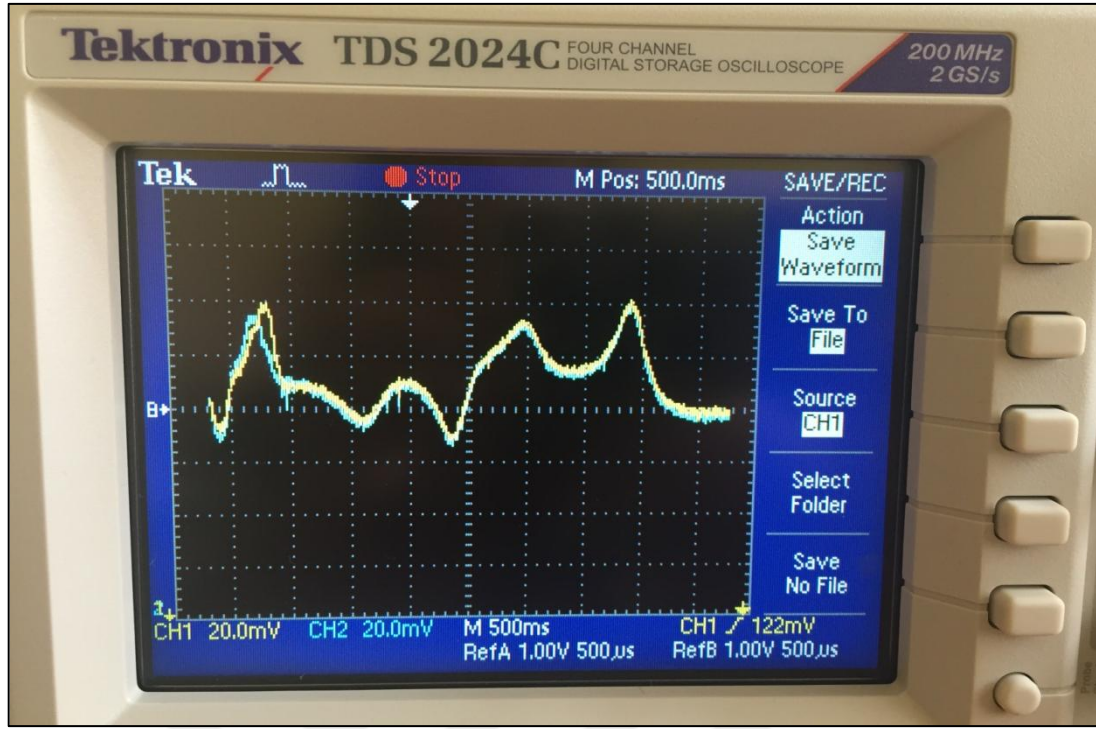
Şekil 5.62 Chen kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Zm-Zs durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



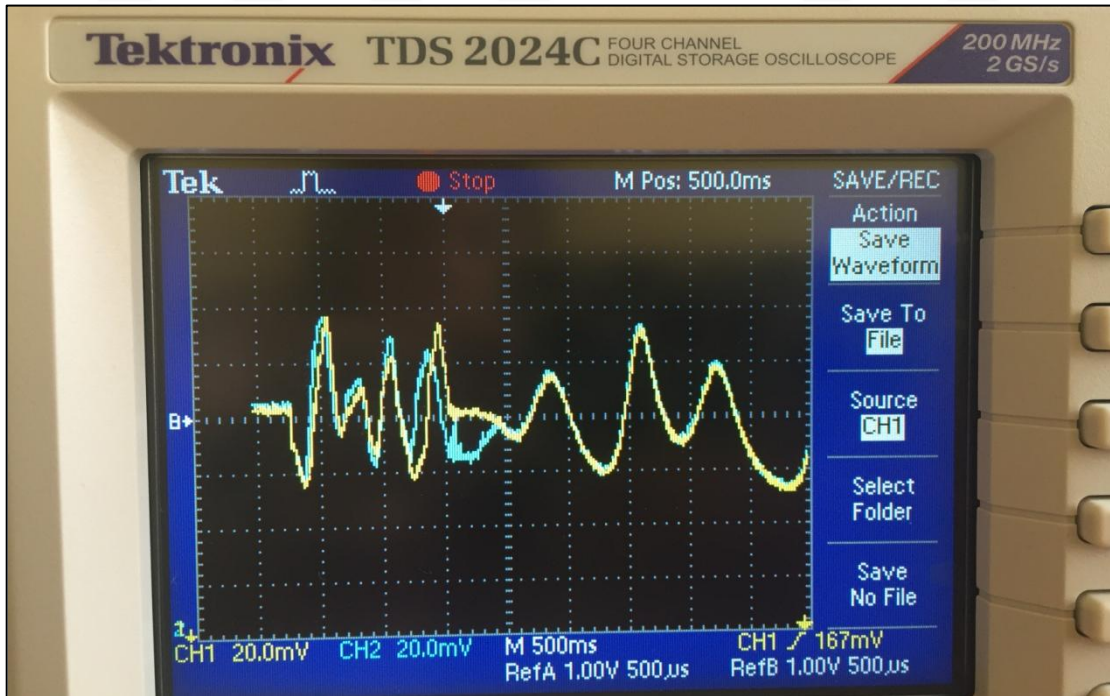
Şekil 5.63 Rucklidge kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı 2D faz portreleri



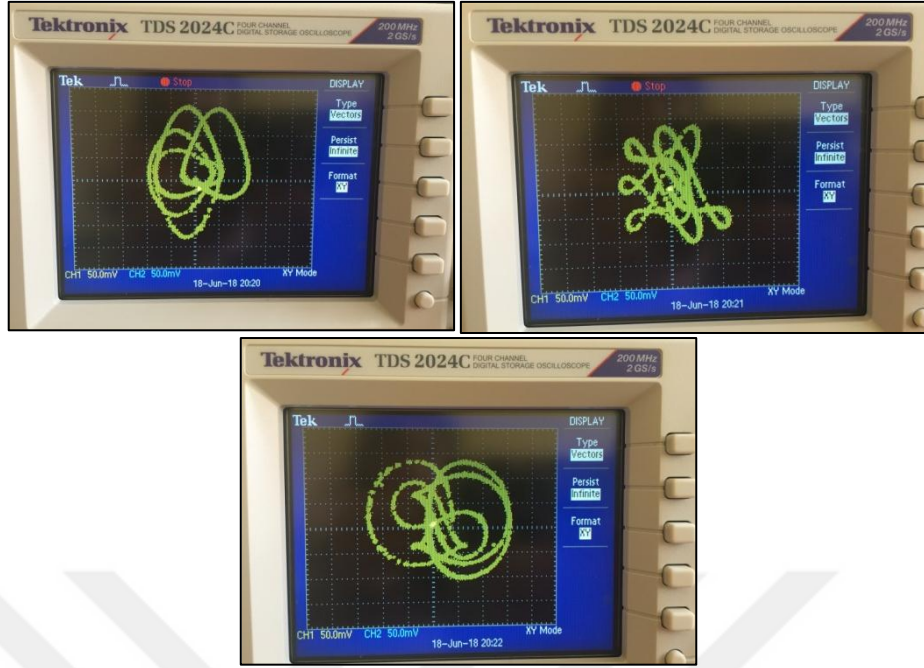
Şekil 5.64 Rucklidge kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı X_m - X_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



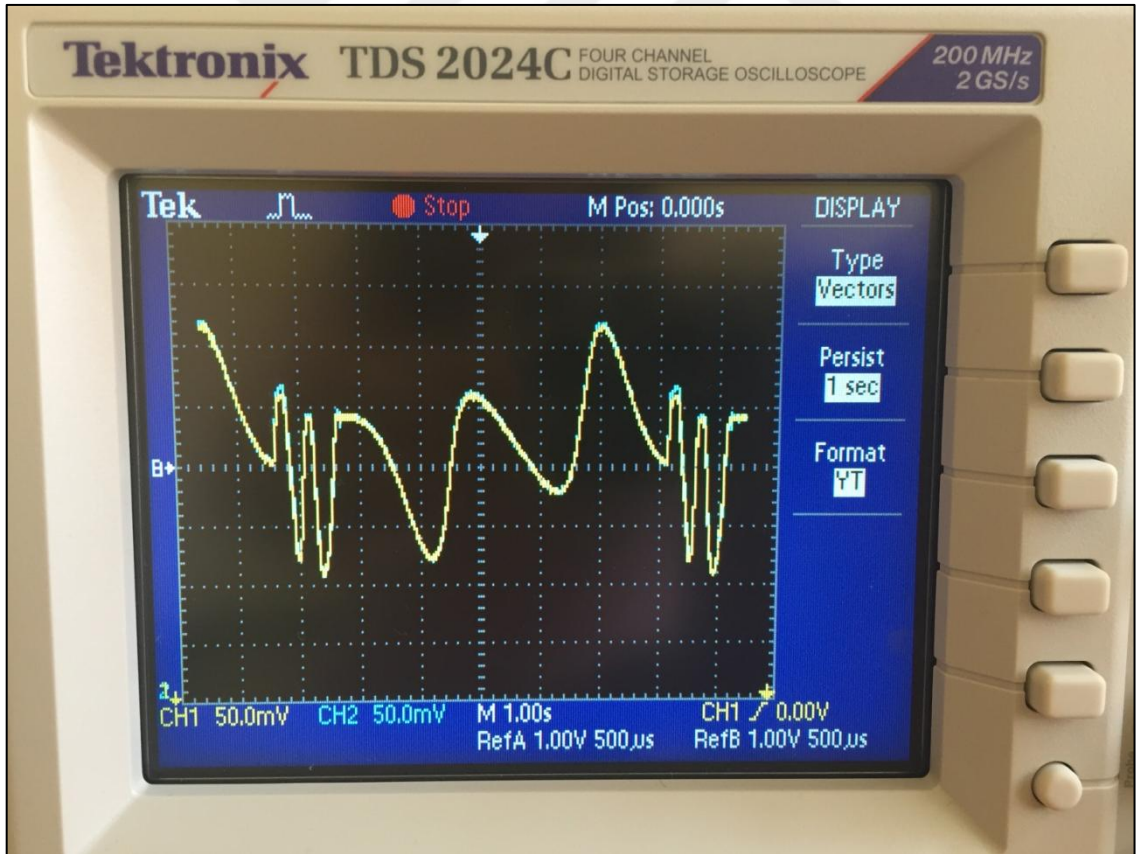
Şekil 5.65 Rucklidge kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Y_m - Y_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



Şekil 5.66 Rucklidge kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Z_m - Z_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi

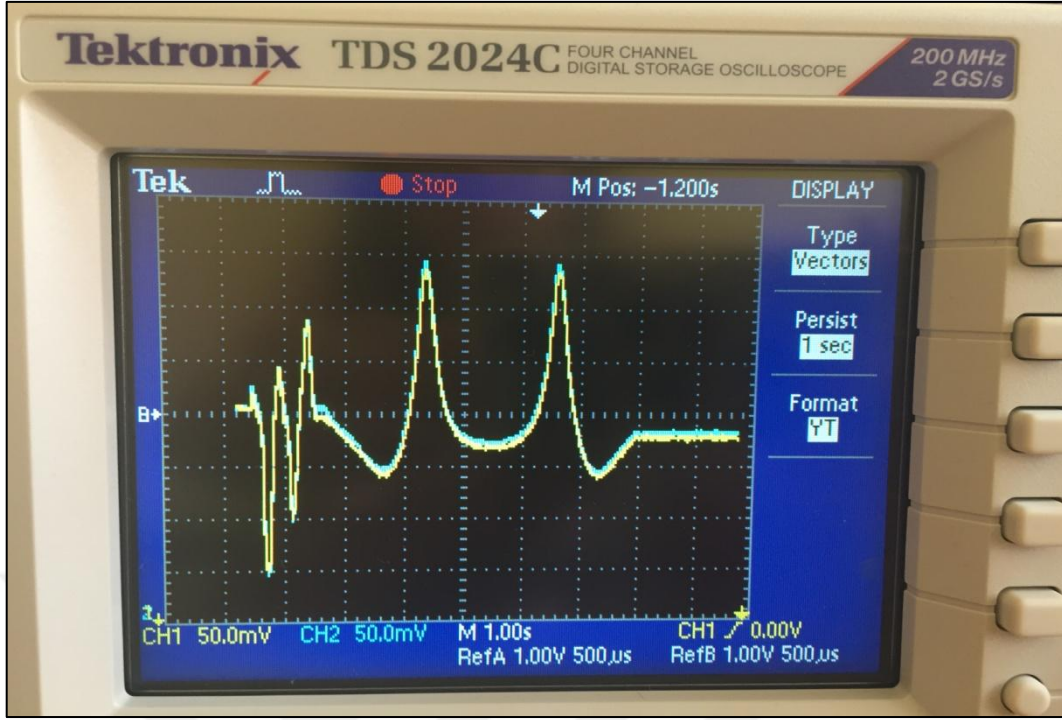


Şekil 6.67 Sprott Durum-A kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı 2D faz portreleri

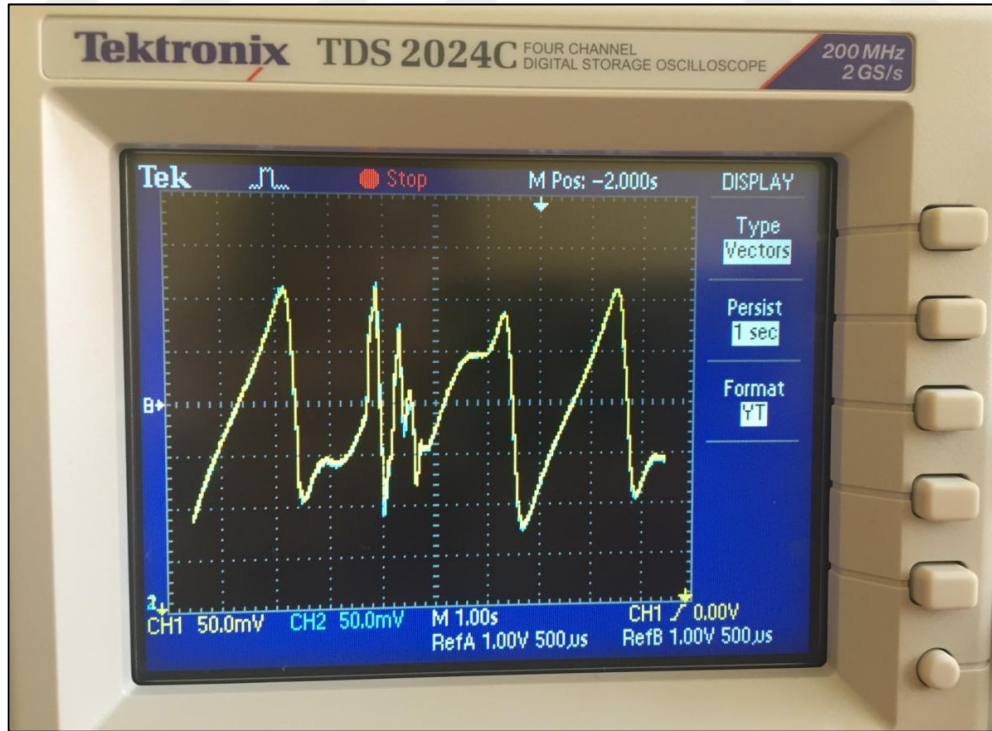


Şekil 6.68 Sprott Durum-A kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı X_m - X_s durum değişkenlerinin zamana göre

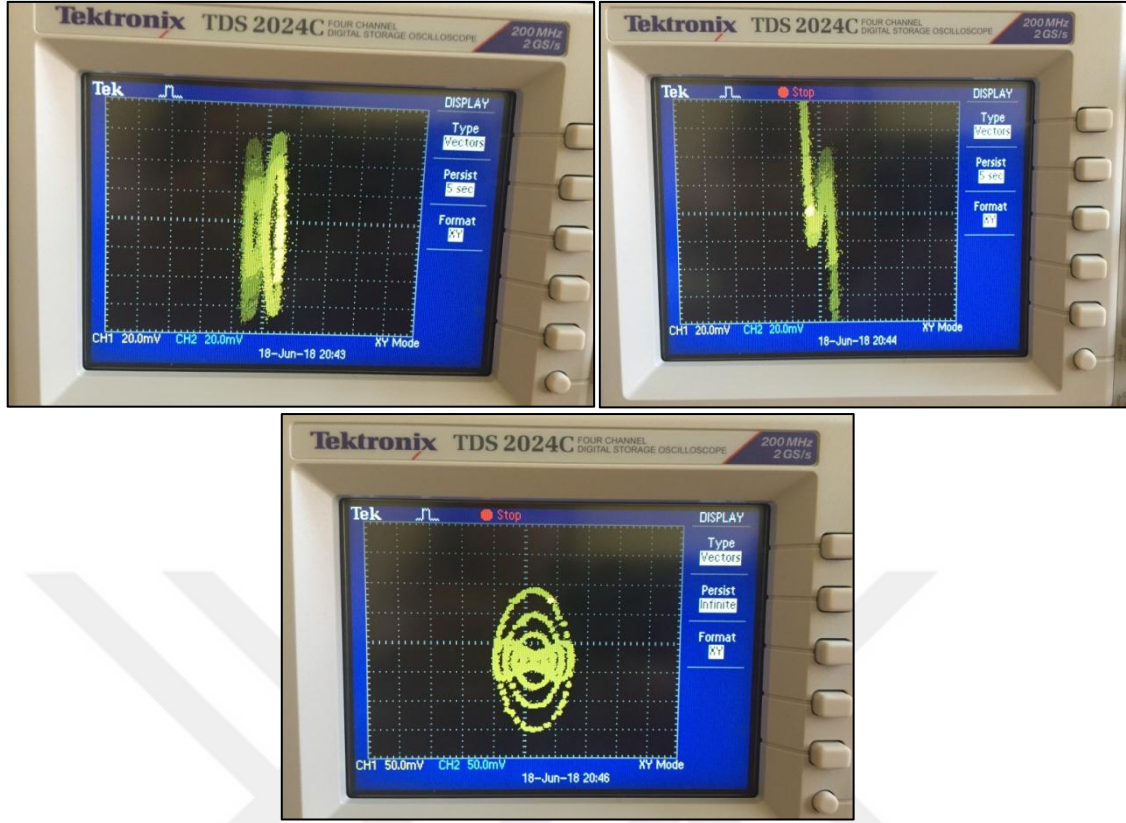
değişimi



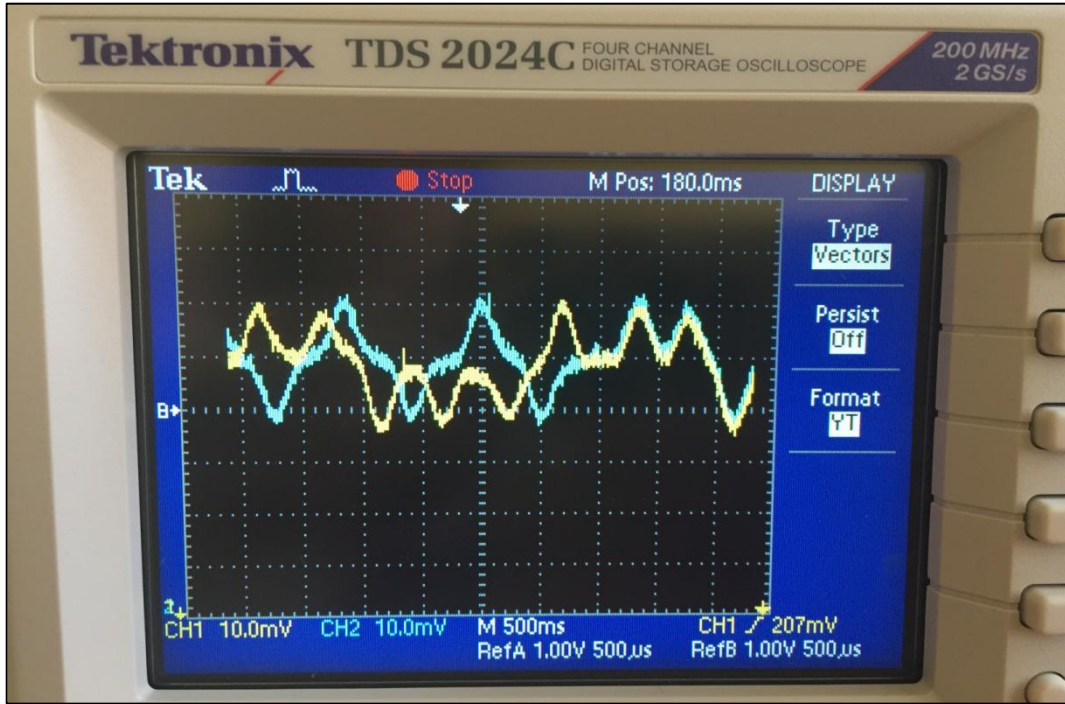
Şekil 5.69 Sprott Durum-A kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Y_m - Y_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



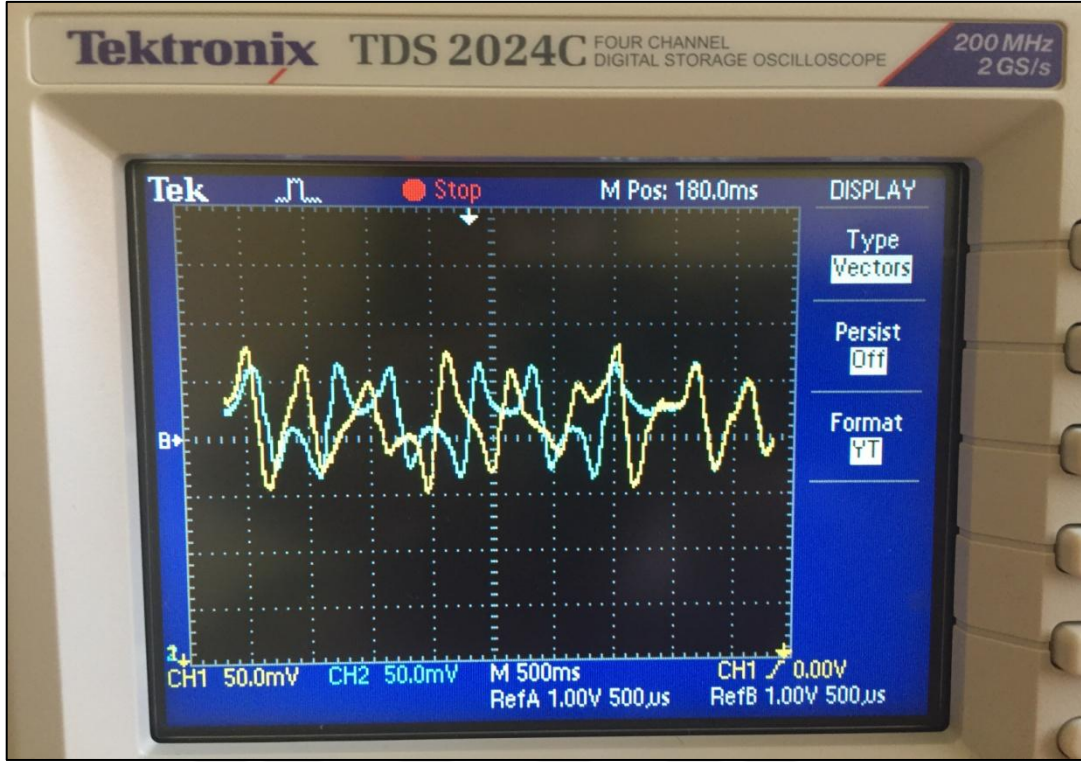
Şekil 5.70 Sprott Durum-A kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Z_m - Z_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



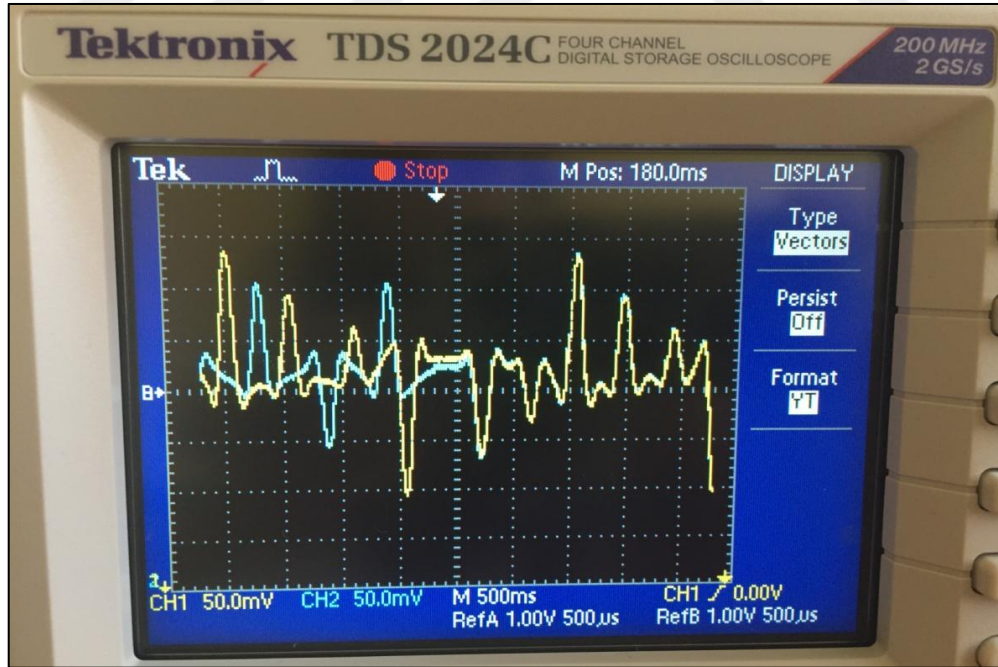
Şekil 5.71 Moore-Spiegel kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı 2D faz portreleri



Şekil 5.72 Moore-Spiegel kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı X_m - X_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



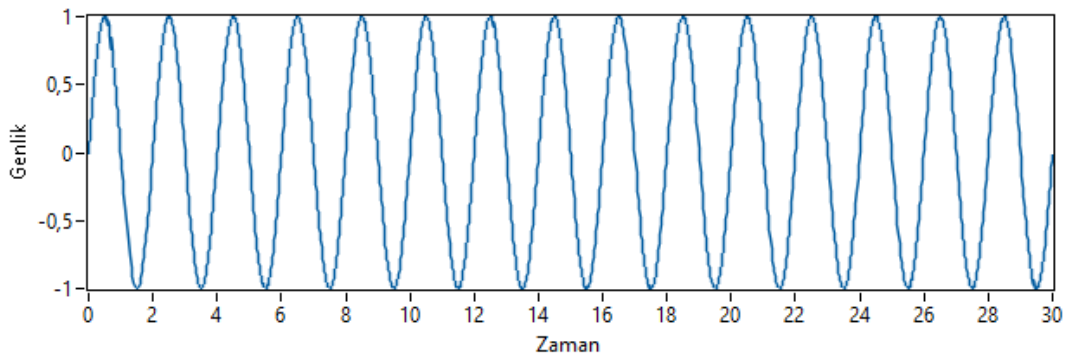
Şekil 5.73 Moore-Spiegel kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Y_m - Y_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi



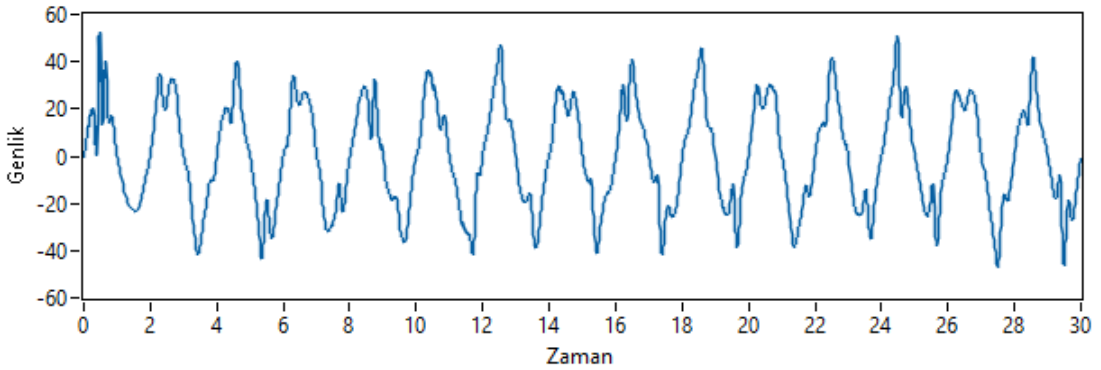
Şekil 5.74 Moore-Spiegel kaotik osilatörüne ait gerçek zamanlı Z_m - Z_s durum değişkenlerinin zamana göre değişimi

Tüm bu çalışmalara ek olarak, master-slave Lorenz kaotik sistemi üzerinde güvenli iletişim benzetimi gerçekleştirildi. Veri sinyali olarak 0.2 Hz frekansında ve 0.1V genliğinde sinüsoidal bir sinyal kullanıldı. Veri sinyali, master kaotik sistemi tarafından modüle edildi daha sonra slave kaotik sistemi tarafından demodüle edilerek haberleşme sağlanmış oldu. 14. saniyede bulanık mantık kontrolör devreye alındığında çıkışın girişi bu saniyeden itibaren takip ettiği görüldü. Veri sinyali, şifrelenmiş sinyal ve deşifrelenmiş sinyale ait görüntüler Şekil 5.75'de verilmiştir.

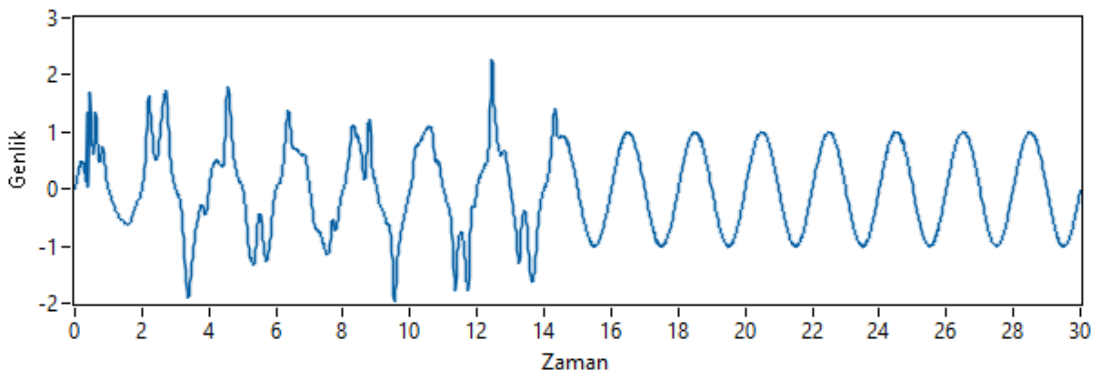
Veri Sinyali



Şifrelenmiş Sinyal



Deşifrelenmiş sinyal

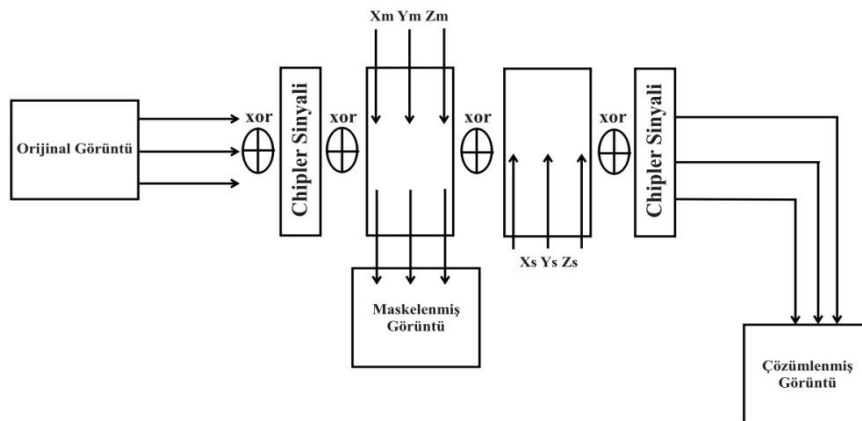


Şekil 5.75 Veri sinyali, modüleli sinyal ve demodüleli sinyale ait simülasyon görüntüleri

6.KAOTİK OSİLATÖRLER YARDIMI İLE GÖRÜNTÜ ŞİFRELEME

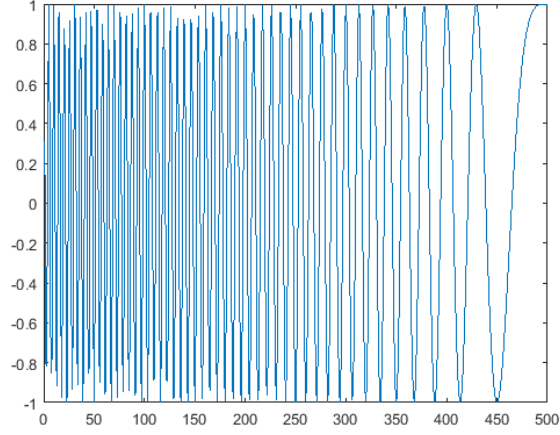
Çalışmanın bu bölümünde Chen master ve slave kaotik sistemleri arasında iletilmek istenilen bir görüntünün önce master sistem durum değişkenleri ile maskelenerek daha sonra slave durum değişkenleri ile çözülünerek iletimi gerçekleştirilmiştir. Master ve slave Chen kaotik sistemlerinin modellemeleri ve aktif kontrolör yardımı ile senkronizasyonu Matlab ortamında gerçekleştirilmiştir. 30 saniye boyunca program çalıştırılmış ve 20. saniyede aktif kontrolör devreye alınmıştır. 30 saniye boyunca X_m , Y_m , Z_m ve X_s , Y_s , Z_s kaotik sinyalleri örneklendikten sonra iletilmek istenilen görüntü bilgisi formatına göre skalalandırılmış ve görüntünün maskeleye daha sonrasında çözülmesi gerçekleştirilmiştir yani slave kaotik sistem üzerinden okunan görüntü bilgisi 20. saniyeye kadar gürültü şeklinde iken 20. saniyeden sonra orijinal halini almıştır.

Maskeleye işlemi iletilmek istenilen görüntünün RGB (Red, Green, Blue) formatına dönüştürüldükten sonra sırasıyla Chipler sinyali ile xor'lanması ve daha sonrasında yine sırasıyla X_m , Y_m , Z_m kaotik sinyalleri ile xor'lanması ile elde edilmiştir. Çözümleme işlemi ise maskelenmiş görüntünün öncelikle X_s , Y_s , Z_s kaotik sinyalleri ile xor fonksiyonuna tabi tutulması ardından maskeleye kullanılan Chipler sinyali ile xor'lanması ile gerçekleştirilmiştir [58-62]. Bütün bu işlemler sonucunda orijinal görüntünün elde edildiği görülmüştür. Yapılan işlemlere ait akış şeması Şekil 6.1'de gösterilmiştir.



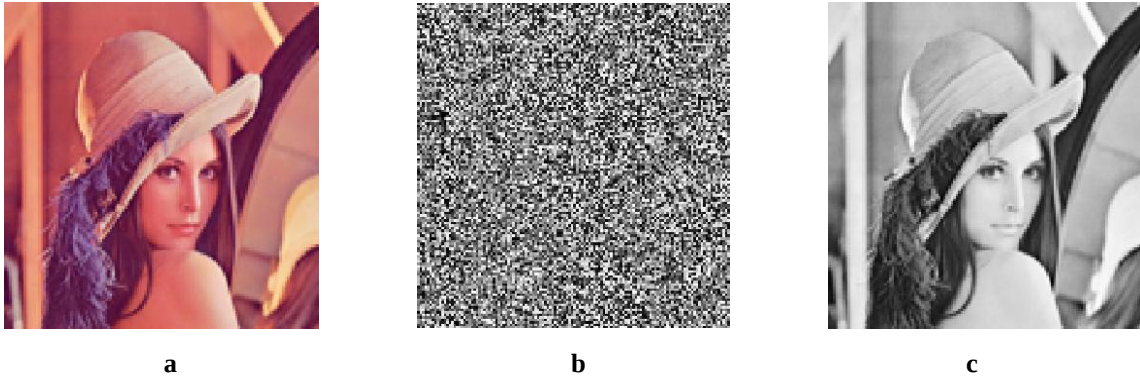
Şekil 6.1 Görüntü iletimi blok şeması

İletilmek istenilen görüntünün maskelenmesinde kullanılan Chirp sinyali, frekansı zamanla artıp azalan bir sinyaldir ve görüntü işleme uygulamalarında sıklıkla kullanılır. Sıradan bir Chirp sinyaline ait dalga şekli Şekil 6.2'de verilmiştir. Programda kullanılan Chirp sinyali ise bu sinyalin kaotik durum değişkenlerine göre kesitlenmiş halidir.



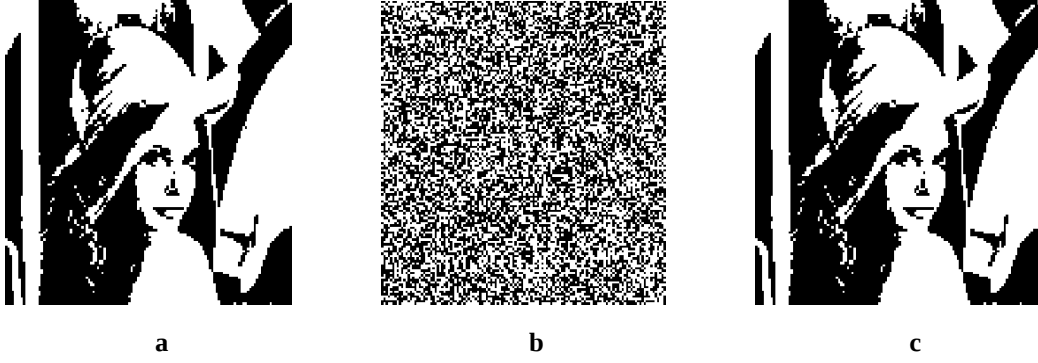
Şekil 6.2 Chirp Sinyali

Chen master-slave kaotik sistemlerine ait senkronizasyon programı blok diyagramı ekte verilmiştir. İletilmek istenen görüntüye ait şifreleme işlemi kırmızı kanal, binary, üç kanal ve siyah beyaz format için ayrı ayrı gerçekleştirilmiş olup program çıktıları Şekil 6.3'den başlamak üzere verilmiştir (Şekil 6.3- Şekil 6.14).

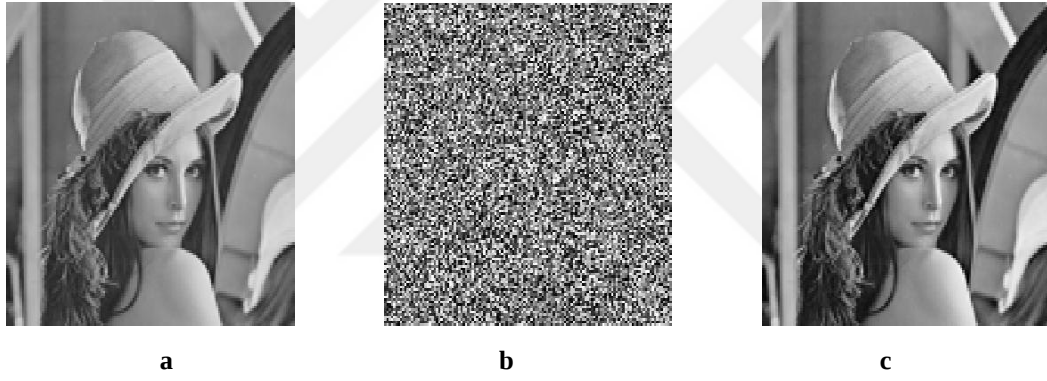


Şekil 6.3 Görüntü şifreleme ve çözümleme aşamaları (a) Orijinal görüntü Lena, (b) şifrelenmiş görüntü, (c)

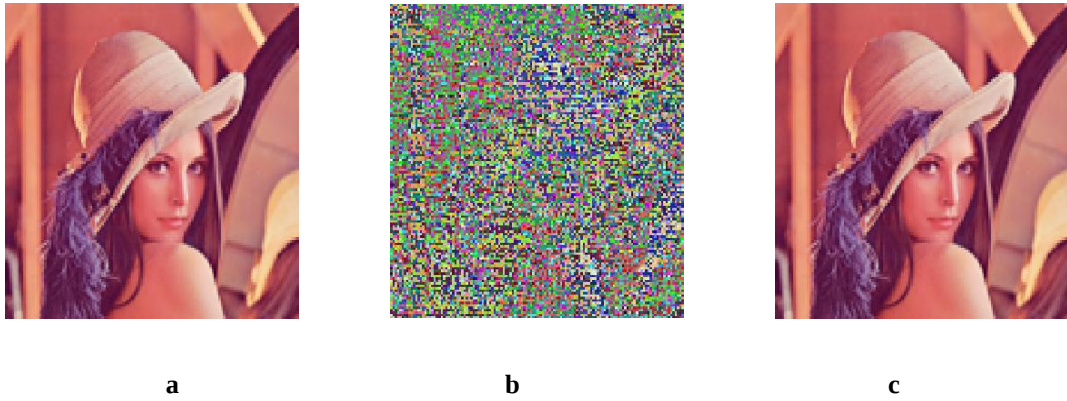
Slave sistem üzerinden okunan çözümlenmiş görüntü (tek kanal)



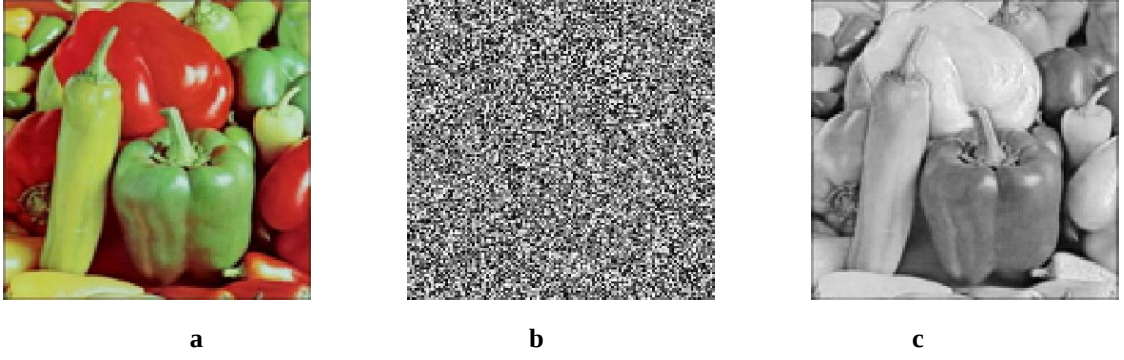
Şekil 6.4Görüntü şifreleme ve çözümleme aşamaları (a) Orijinal görüntü Lena (binary) , (b) şifrelenmiş görüntü, (c) Slave sistem üzerinden okunan çözümlemiş görüntü (binary)



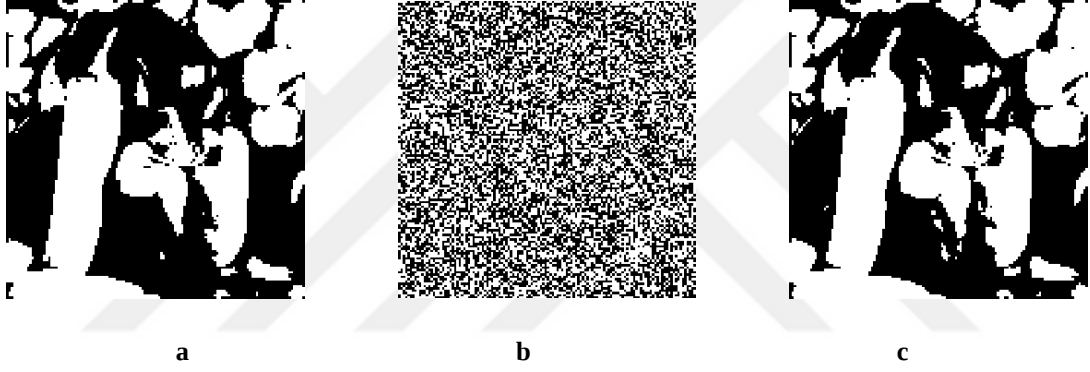
Şekil 6.5Görüntü şifreleme ve çözümleme aşamaları (a) Orijinal görüntü Lena (gray scale) , (b) şifrelenmiş görüntü, (c) Slave sistem üzerinden okunan çözümlemiş görüntü (gray scale)



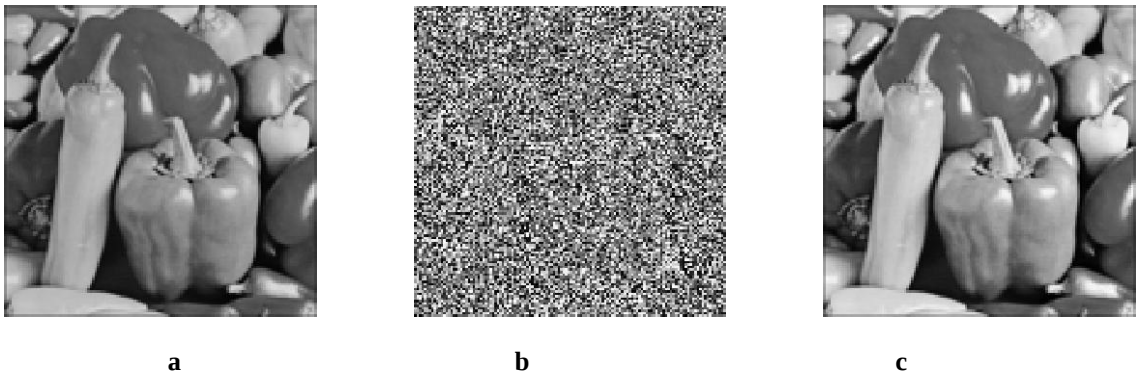
Şekil 6.6 Görüntü şifreleme ve çözümleme aşamaları (a) Orijinal görüntü Lena (color image) , (b) şifrelenmiş görüntü, (c) Slave sistem üzerinden okunan çözümlemiş görüntü (color image)



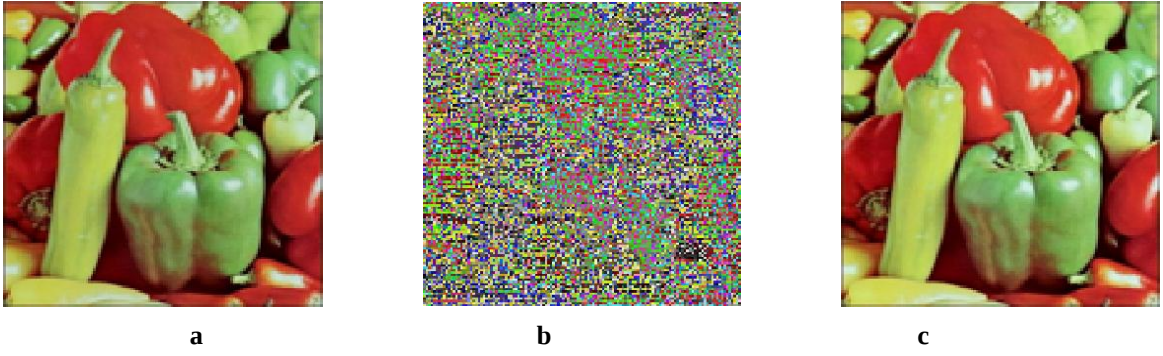
Şekil 6.7 Görüntü şifreleme ve çözümleme aşamaları (a) Orijinal görüntü peppers, (b) şifrelenmiş görüntü, (c) Slave sistem üzerinden okunan çözümlemiş görüntü (tek kanal)



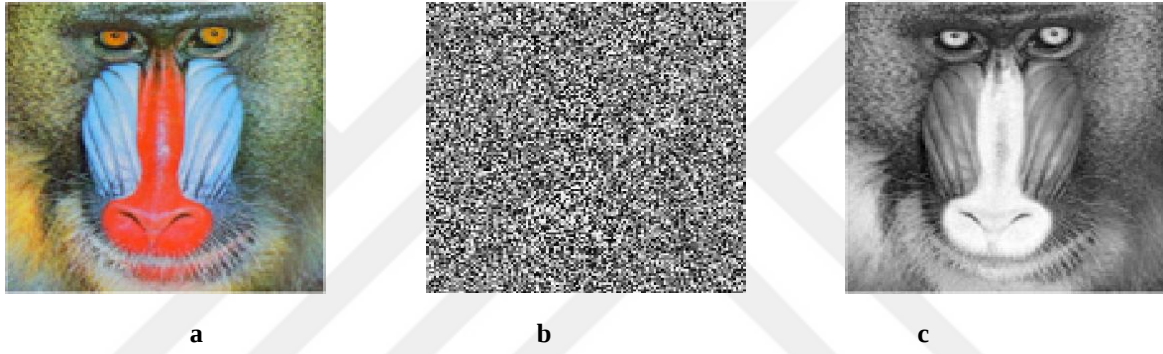
Şekil 6.8 Görüntü şifreleme ve çözümleme aşamaları (a) Orijinal görüntü peppers (binary) , (b) şifrelenmiş görüntü, (c) Slave sistem üzerinden okunan çözümlemiş görüntü (binary)



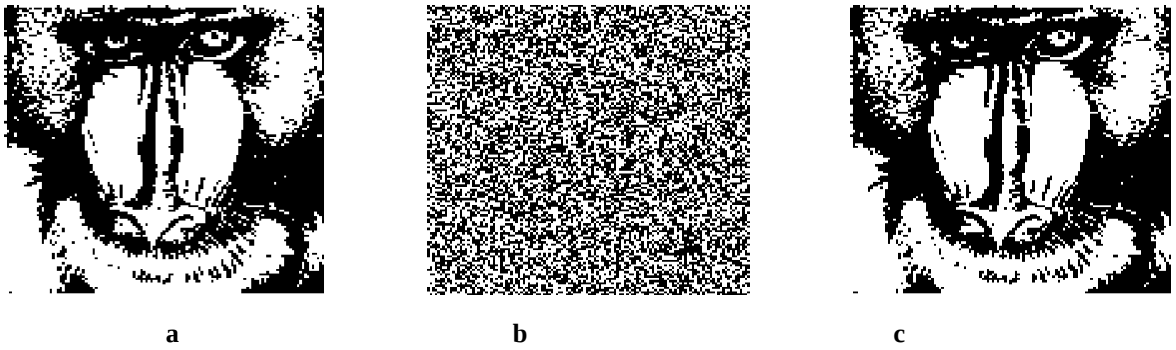
Şekil 6.9 Görüntü şifreleme ve çözümleme aşamaları (a) Orijinal görüntü peppers (gray scale) , (b) şifrelenmiş görüntü, (c) Slave sistem üzerinden okunan çözümlemiş görüntü (gray scale)



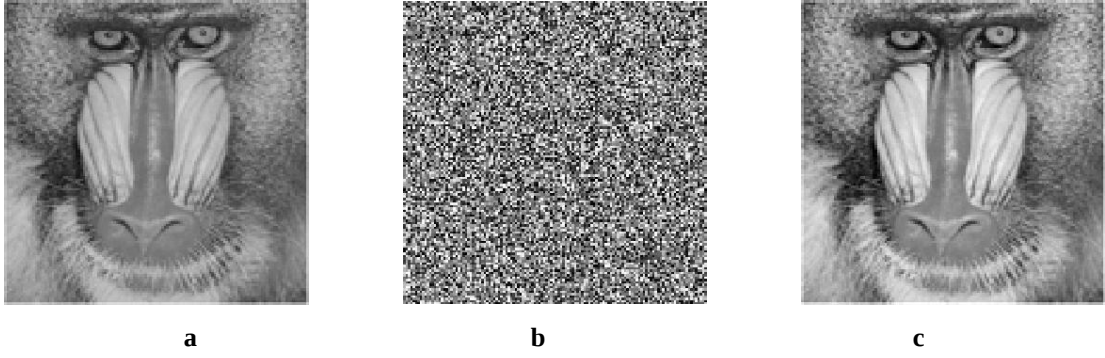
Şekil 6.10 Görüntü şifreleme ve çözümleme aşamaları (a) Orijinal görüntü peppers (color image) , (b) şifrelenmiş görüntü, (c) Slave sistem üzerinden okunan çözümlemiş görüntü (color image)



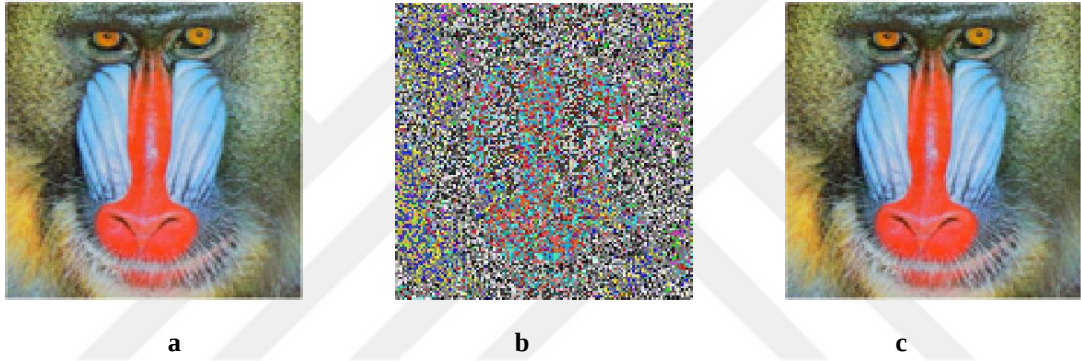
Şekil 6.11 Görüntü şifreleme ve çözümleme aşamaları (a) Orijinal görüntü baboon , (b) şifrelenmiş görüntü, (c) Slave sistem üzerinden okunan çözümlemiş görüntü görüntü (tek kanal)



Şekil 6.12 Görüntü şifreleme ve çözümleme aşamaları (a) Orijinal görüntü baboon (binary) , (b) şifrelenmiş görüntü, (c) Slave sistem üzerinden okunan çözümlemiş görüntü (binary)



Şekil 6.13 Görüntü şifreleme ve çözümleme aşamaları (a) Orijinal görüntü baboon (gray scale) , (b) şifrelenmiş görüntü, (c) Slave sistem üzerinden okunan çözümlemiş görüntü (gray scale)



Şekil 6.14 Görüntü şifreleme ve çözümleme aşamaları (a) Orijinal görüntü baboon (color image) , (b) şifrelenmiş görüntü, (c) Slave sistem üzerinden okunan çözümlemiş görüntü (color image)

7.SONUÇLAR

Literatürde mevcut olan kaotik sistemler ve kaotik sistemler ile ilgili çalışmalar incelendiğinde Chen, Rössler ve Lorenz kaotik sistemlerinin kaotik haberleşme uygulamalarında ve birçok diğer uygulamada daha sık olarak kullanıldığı görülmüştür. Bu yüksek lisans tezinde literatürde mevcut olan Lorenz, Sprott durum A, Rucklidge, Arneodo, Rössler, Moore-Spiegel ve Chen kaotik sistemlerinin LabVIEW ortamında modellenmeleri ve simülasyonları gerçekleştirilmiş olup benzer şekilde LabVIEW ortamında kaotik benzetimleri iki farklı kontrol metodu kullanılarak sağlanmıştır.

Güvenli haberleşme, internet bankacılığı, veri şifreleme, lazer gücünün artırılması, elektronik devre çıkışlarının senkronize edilmesi, görüntü sıkıştırma, işleme ve iletme, güç elektroniği devreleri ve bunun gibi daha birçok alanda kullanılan kaotik sistemlerin modellenmesi, benzetimi ve senkronizasyonu farklı mühendislik programları yardımı ile halihazırda gerçekleştirilmiş bulunmaktadır. Bu çalışmayı diğerlerinden farklı kılan literatürde bulunan kaotik sistemlerin modellenmesi, benzetimi ve senkronizasyonunun LabVIEW programı ile gerçek zamanlı olacak şekilde gerçekleştirilmesidir. Bu tezde kaotik sistem literatüründe bulunan ancak haberleşme uygulamalarında pek sık rastlanılmayan ve alternatif olarak kullanılabilecek kaotik sistemler hakkında da bilgi verilmiş ve bu sistemlerin modellenmesi, benzetimi ve iki farklı kontrol yöntemi ile senkronizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Kaotik sistem literatüründe bulunan Lorenz, Sprott durum A, Rucklidge, Arneodo, Moore-Spiegel, Rössler, Chen kaotik sistemleri hakkında bilgi verilmiş ve bu sistemlerin LabVIEW ortamında x-y, x-z, y-z olmak üzere iki boyutlu kaotik portreleri, durum değişkenlerinin zamana göre değişimi ve üç boyutlu kaotik faz portreleri DAQ Assistant kullanılarak gerçek zamanlı olarak elde edilmiştir. Kaotik sistemlerin teorikteki çıktıları ile benzetim çıktılarının aynı olduğu gözlemlenmiştir böylece devre modellenmelerinin doğru bir şekilde yapıldığı sonucuna ulaşılmıştır.

Aktif kontrol ve bulanık mantık kontrolör yardımı ile gerçekleştirilen master-slave tipi senkronizasyonda her bir kaotik sistem için senkronizasyon öncesi ve sonrası durum değişken sinyalleri incelenmiştir ve senkronizasyon sonucu hata sinyalinin sıfıra indiği, ve durum değişkenlerine ait sinyallerin kontrolör devreye alındığından itibaren birbirini takip ettiği görülmüştür. Bu iki farklı kontrolör yöntemi aynı kaotik sistem üzerinde hata

sinyalinin sıfıra gitme süresi (saniye cinsinden) göz önüne alınarak verimlilik yönünden karşılaştırılmıştır ve aktif kontrolör yönteminin daha verimli olduğu gözlenmiştir. İki kontrolör arasında yapılan karşılaştırma Tablo 7.1'de gösterilmektedir.

Tablo 7.1. Aktif kontrolör ile Bulanık mantık kontrolörün verimlilik yönünden karşılaştırılması

Durum değişkenlerine ait hata sinyalleri	Kontrolör	
	Aktif Kontrolör	Bulanık Mantık Kontrolör
e_1	0,25 sn	0,5 sn
e_2	0,2 sn	0,25 sn
e_3	0,25 sn	0,5 sn

Tablo incelendiği zaman aktif kontrolör yönteminde x, y, z durum değişkenlerine ait e_1, e_2 ve e_3 hata sinyallerinin bulanık mantık kontrolöre kıyasla daha kısa sürede sıfıra ulaştığı görülmüştür ve aktif kontrol yönteminin bulanık mantık kontrol yöntemine göre bu çalışmada daha verimli olduğu çıkarımı yapılmıştır.

Gerçekleştirilen benzetim çalışmalarının yanı sıra iki farklı kontrolör yardımı ile kaotik sistemlerin gerçek zamanlı senkronizasyon uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Kaotik sistemler aracılığı ile bilgi şifreleme uygulaması olarak Lorenz master-slave kaotik sistemleri arasında sinüs dalga sinyalinin güvenli bir biçimde iletim benzetimi ve Chen master-slave kaotik sistemleri arasında kullanıcı tarafından seçilen bir görüntünün güvenli bir biçimde şifrelenmesi ve çözümlenmesi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu yüksek lisans çalışması ilerleyen zamanlarda DAQ karttan alınan gerçek zamanlı sinyallerin başka bir sisteme veri girişi olarak kullanılarak geliştirilmesiyle veri şifreleme, güvenli haberleşme vb birçok kaos tabanlı uygulamada kullanılabilir ve böylece çalışmanın içeriği arttırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Isaac Newton "Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica" (1967).
- [2] Poincaré, Henri. "On the three-body problem and the equations of dynamics." *The Kinetic Theory Of Gases: An Anthology of Classic Papers with Historical Commentary*. (2003): 368-376.
- [3] Aihara, Kazuyuki, and Hideyuki Suzuki. "Theory of hybrid dynamical systems and its applications to biological and medical systems." (2010): 4893-4914.
- [4] Testa, James, José Pérez, and Carson Jeffries. "Evidence for universal chaotic behavior of a driven nonlinear oscillator." *Physical Review Letters* 48.11 (1982): 714.
- [5] Nomura, H. "Analyses on chaotic behavior of a 2-link nozzle in a dishwasher." *Proceedings of Japan-USA symposium on flexible automation*. (1994).
- [6] Aihara, Kazuyuki. "Chaotic oscillations and bifurcations in squid giant axons." *Chaos* (1986): 257-269.
- [7] Horio, Yoshihiko, Tohru Ikeguchi, and Kazuyuki Aihara. "A mixed analog/digital chaotic neuro-computer system for quadratic assignment problems." *Neural Networks* 18.5-6 (2005): 505-513.
- [8] Xu, Hui, Xiaojun Tong, and Xianwen Meng. "An efficient chaos pseudo-random number generator applied to video encryption." *Optik-International Journal for Light and Electron Optics* 127.20 (2016): 9305-9319.
- [9] Morgul, Omer, and Moez Feki. "A chaotic masking scheme by using synchronized chaotic systems." *Physics Letters A* 251.3 (1999): 169-176.
- [10] Zhou, Xuesong, Jin Li, and M. Youjie. "Chaos phenomena in DC-DC converter and chaos control." *Procedia Engineering* 29 (2012): 470-473.
- [11] Serin, T., "Kaotik Yapılarda Lyapunov Üstellerinin Tahmini", Y. Lisans Tezi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 115 (2003).

- [12]Funda Ergün YARDIM , Erkan AFACAN " Simulation of a Communication System Using Lorenz- Based Differential Chaos Shift Keying (DCSK) Model" J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. 25 (2010):101-110.
- [13]Lorenz E.N "Deterministic Nonperiodic Flow" Journal Of Atmospheric Siences, 20 (1963):130-141.
- [14]Sprott, J. Clint. "Some simple chaotic flows." *Physical review E* 50.2 (1994): R647.
- [15]Gözde Kargün "Secure Communication Application with Chaotic Systems" Master Thesis .Bilecik Seyh Edebali University Graduate School of Sience Electrical-Electronics Engineering. (2014):1-156.
- [16]Rucklidge A.M "Chaos in Models of Double Convection" J. Fluid Mech 237.(1992): 209-229
- [17]Ramanathan, C., et al. "A new chaotic attractor from Rucklidge system and its application in secured communication using OFDM." *Intelligent Systems and Control (ISCO), 2017 11th International Conference on*. IEEE, 2017.
- [18]Trebler, Andrey A. "A transition to chaos in rucklidge model of double convection." *Computational Intelligence for Modelling Control & Automation, 2008 International Conference on*. IEEE, 2008.
- [19]Arneodo, A., P. Couillet, and C. Tresser. "Possible new strange attractors with spiral structure." *Communications in Mathematical Physics* 79.4 (1981): 573-579.
- [20]Moore, Derek W., and Edward A. Spiegel. "A thermally excited non-linear oscillator." *The Astrophysical Journal* 143 (1966): 871.
- [21]<http://demonstrations.wolfram.com/MooreSpiegelAttractor/>
- [22]Balmforth, N. J., and R. V. Craster. "Synchronizing moore and spiegel." *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science* 7.4 (1997): 738-752.
- [23]Chen, Guanrong, and Tetsushi Ueta. "Yet another chaotic attractor." *International Journal of Bifurcation and chaos* 9.07 (1999): 1465-1466.

- [24]Aminikhah, H., A. Refahi Sheikhan, and H. Rezazadeh. "Stability analysis of distributed order fractional chen system." *The Scientific World Journal* (2013).
- [25]Rössler, Otto E. "An equation for continuous chaos." *Physics Letters A* 57.5 (1976): 397-398.
- [26]Rossler, O. E. "An equation for hyperchaos." *Physics Letters A* 71.2-3 (1979): 155-157.
- [27]Hacımurtazaoğlu, Murat. "Bulanık mantık ile manyetik kilit uygulaması." (2014).
- [28]Yu, Pogromsky Alexander. "Introduction to control of oscillations and chaos." *World Scientific*, 35 (1998).
- [29]Andrievskii, Boris R., and Alexander L. Fradkov. "Control of chaos: methods and applications. I. Methods." *Automation and remote control* 64.5 (2003): 673-713.
- [30]Boccaletti, Stefanos, et al. "The control of chaos: theory and applications." *Physics reports* 329.3 (2000): 103-197.
- [31]Özkan Karabacak "Senkronizasyon" (2014).
- [32]Karabacak, Ozkan, Rahmi Elibol, and Neslihan Serap Sengor. "The role of synchronization of neural structures on neuron dynamics." *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2014 22nd. IEEE*, 2014.
- [33]Pecora, Louis M., and Thomas L. Carroll. "Synchronization of chaotic systems." *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science* 25.9 (2015): 097611.
- [34]Cuomo, Kevin M., Alan V. Oppenheim, and Steven H. Strogatz. "Synchronization of Lorenz-based chaotic circuits with applications to communications." *IEEE Transactions on circuits and systems II: Analog and digital signal processing* 40.10 (1993): 626-633.
- [35]Boccaletti, Stefano, et al. "The synchronization of chaotic systems." *Physics reports* 366.1-2 (2002): 1-101.
- [36]Guo, Hongmei, Shouming Zhong, and Fengyin Gao. "Design of PD controller for master-slave synchronization of Lur'e systems with time-delay." *Applied Mathematics and Computation* 212.1 (2009): 86-93.

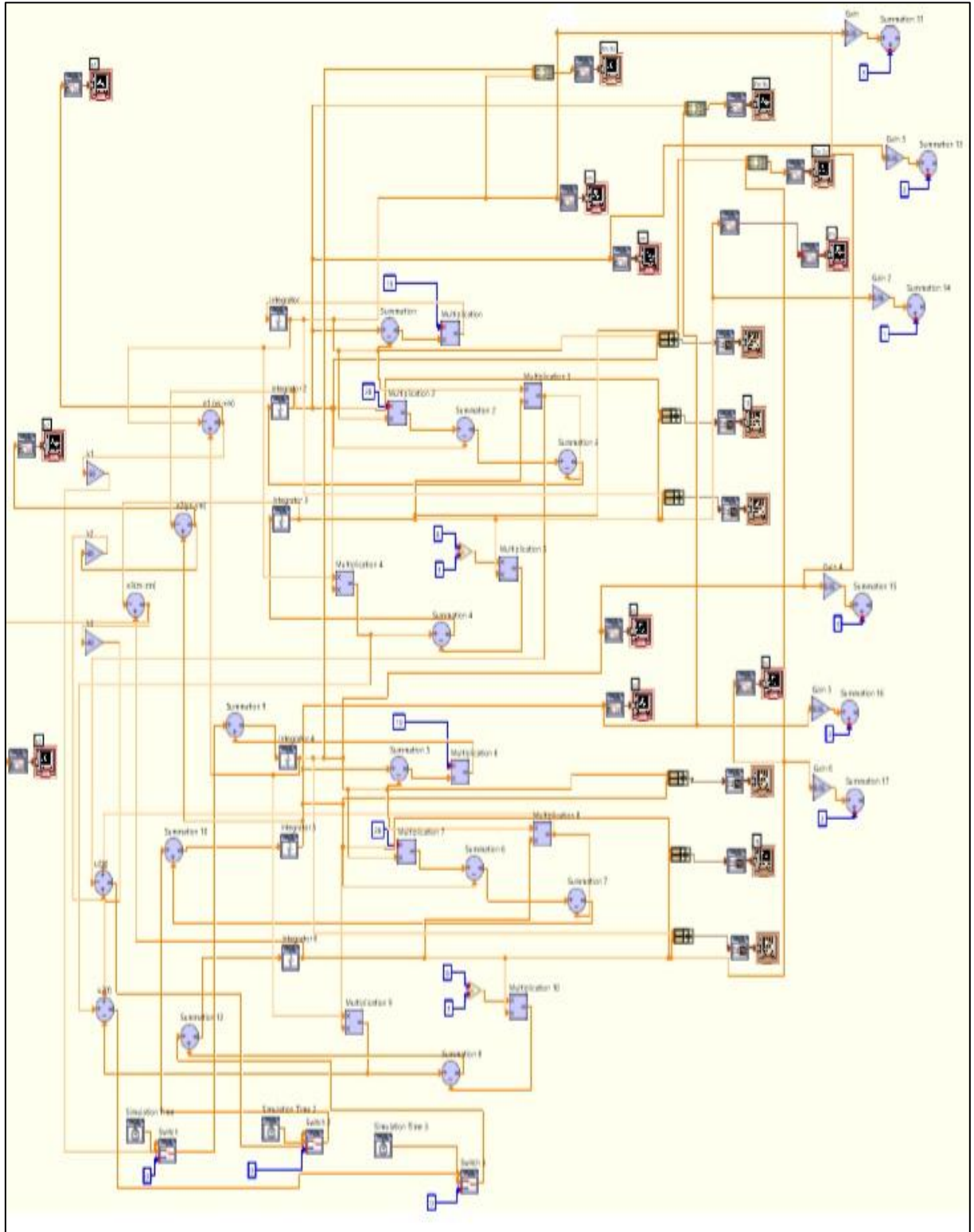
- [37]Li, Chuandong, Xiaofeng Liao, and Kwok-wo Wong. "Lag synchronization of hyperchaos with application to secure communications." *Chaos, Solitons & Fractals* 23.1 (2005): 183-193.
- [38]Bai, Er-Wei, and Karl E. Lonngren. "Synchronization of two Lorenz systems using active control." *Chaos, Solitons & Fractals* 8.1 (1997): 51-58.
- [39]Zadeh, Lotfi A. "Fuzzy sets." *Information and Control* 8.3(1965) 338-353.
- [40]Takagi, Tomohiro, and Michio Sugeno. "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control." *Readings in Fuzzy Sets for Intelligent Systems*. (1993): 387-403.
- [41]Tanaka, Kazuo, Takayuki Ikeda, and Hua O. Wang. "A unified approach to controlling chaos via an LMI-based fuzzy control system design." *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications* 45.10 (1998): 1021-1040.
- [42]Kawamoto, Shunji, et al. "An approach to stability analysis of second order fuzzy systems." *Fuzzy Systems, 1992., IEEE International Conference on*. IEEE, 1992.
- [43]Tanaka, Kazuo, Takayuuki Ikeda, and Hua O. Wang. "Controlling chaos via model-based fuzzy control system design." *Decision and Control, 1997., Proceedings of the 36th IEEE Conference on*. Vol. 2. IEEE, 1997.
- [44]Zheng, Yong-ai, Yi-bei Nian, and Fei Sun. "Synchronization of discrete-time chaotic systems based on Takagi-Sugeno fuzzy model." *Computational Intelligence and Natural Computing, 2009. CINC'09. International Conference on*. Vol. 1. IEEE, 2009.
- [45]Zhang, Xingpeng, Dong Li, and Xiaohong Zhang. "Adaptive fuzzy impulsive synchronization of chaotic systems with random parameters." *Chaos, Solitons & Fractals* 104 (2017): 77-83.
- [46]Wang, Yuangan, and Honglin Yu. "Fuzzy synchronization of chaotic systems via intermittent control." *Chaos, Solitons & Fractals* 106 (2018): 154-160.

- [47]Chou, Hao-Gong, et al. "A fuzzy-model-based chaotic synchronization and its implementation on a secure communication system." *IEEE Transactions on Information Forensics and Security* 8.12 (2013): 2177-2185.
- [48]Shieh, Cheng-Shion, and Rong-Ting Hung. "Hybrid control for synchronizing a chaotic system." *Applied Mathematical Modelling* 35.8 (2011): 3751-3758.
- [49]Yang, Dedong, et al. "Networked synchronization of hyperchaotic Chen system: A fuzzy control approach." *Control Conference (CCC), 2013 32nd Chinese*. IEEE, 2013.
- [50]Meng, Xia, et al. "Chaos synchronization of unified chaotic system using fuzzy logic controller." *Fuzzy Systems, 2008. FUZZ-IEEE 2008.(IEEE World Congress on Computational Intelligence). IEEE International Conference on*. IEEE, 2008.
- [51]Buckley, James J., and Yoichi Hayashi. "Applications of fuzzy chaos to fuzzy simulation." *Fuzzy sets and systems* 99.2 (1998): 151-157.
- [52]Khorashadizadeh, Saeed, and Mohammad-Hassan Majidi. "Chaos synchronization using the Fourier series expansion with application to secure communications." *AEU-International Journal of Electronics and Communications* 82 (2017): 37-44.
- [53]Nazarimehr, Fahimeh, et al. "Fuzzy predictive controller for chaotic flows based on continuous signals." *Chaos, Solitons & Fractals* 106 (2018): 349-354.
- [54]Song, Shuai, and Xiaona Song. "TS fuzzy control for fractional order Liu chaotic system with uncertain parameters." *Information and Automation (ICIA), 2016 IEEE International Conference on*. IEEE, 2016.
- [55]Yu, Gwo-Ruey, and Chih-Heng Chang. "The H_{∞} design of SOS-based fuzzy controller for synchronization of chaotic systems." *Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2017 IEEE International Conference on*. IEEE, 2017.
- [56]Kuo, Chao-Lin, et al. "Image encryption based on fuzzy synchronization of chaos systems." *Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), 2013 IEEE 37th Annual*. IEEE, 2013.

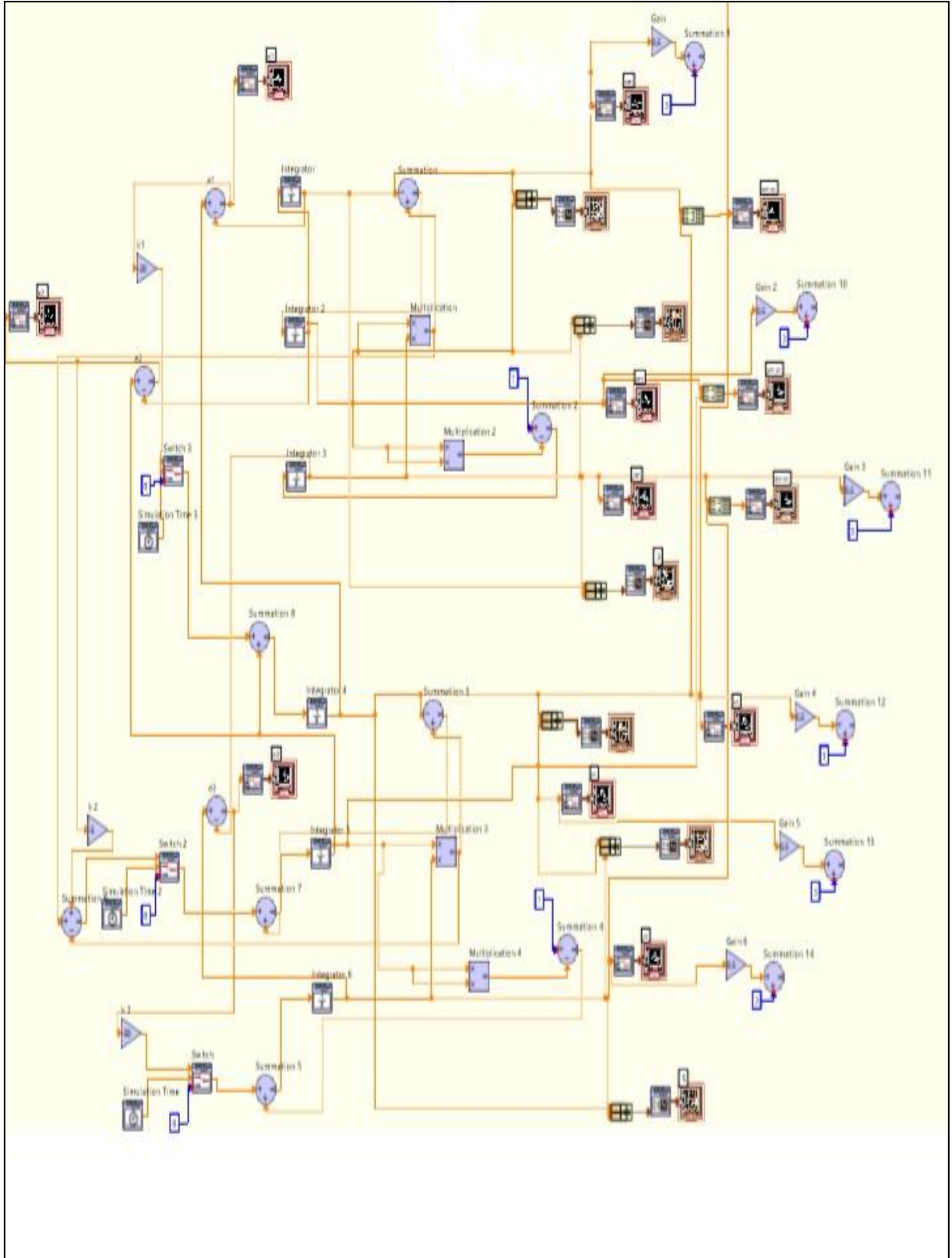
- [57]Farzbod, Negin, et al. "Chaos synchronization of multi time-delayed chaotic Rossler system with uncertainties and external disturbances via sliding adaptive fuzzy controller." *Control, Instrumentation and Automation (ICCIA), 2011 2nd International Conference on*. IEEE, 2011.
- [58]Diaconu, Adrian-Viorel. "Circular inter–intra pixels bit-level permutation and chaos-based image encryption." *Information Sciences* 355 (2016): 314-327.
- [59]Dhall, Sakshi, Saibal K. Pal, and Kapil Sharma. "Cryptanalysis of image encryption scheme based on a new 1D chaotic system." *Signal Processing* (2017).
- [60]Guler, H., Celik, V., Kaya, T., & Erol, Y. "The Real Time Implementation of a Chaotic System's Synchronization for Secure Communication." *Tehnički vjesnik* 25, (2018): 43-48.
- [61]Wang, B., F. C. Zou, and J. Cheng. "A memristor-based chaotic system and its application in image encryption." *Optik-International Journal for Light and Electron Optics* 154 (2018): 538-544.
- [62]Lan, Rushi, et al. "Integrated chaotic systems for image encryption." *Signal Processing* 147 (2018): 133-145.

EKLER

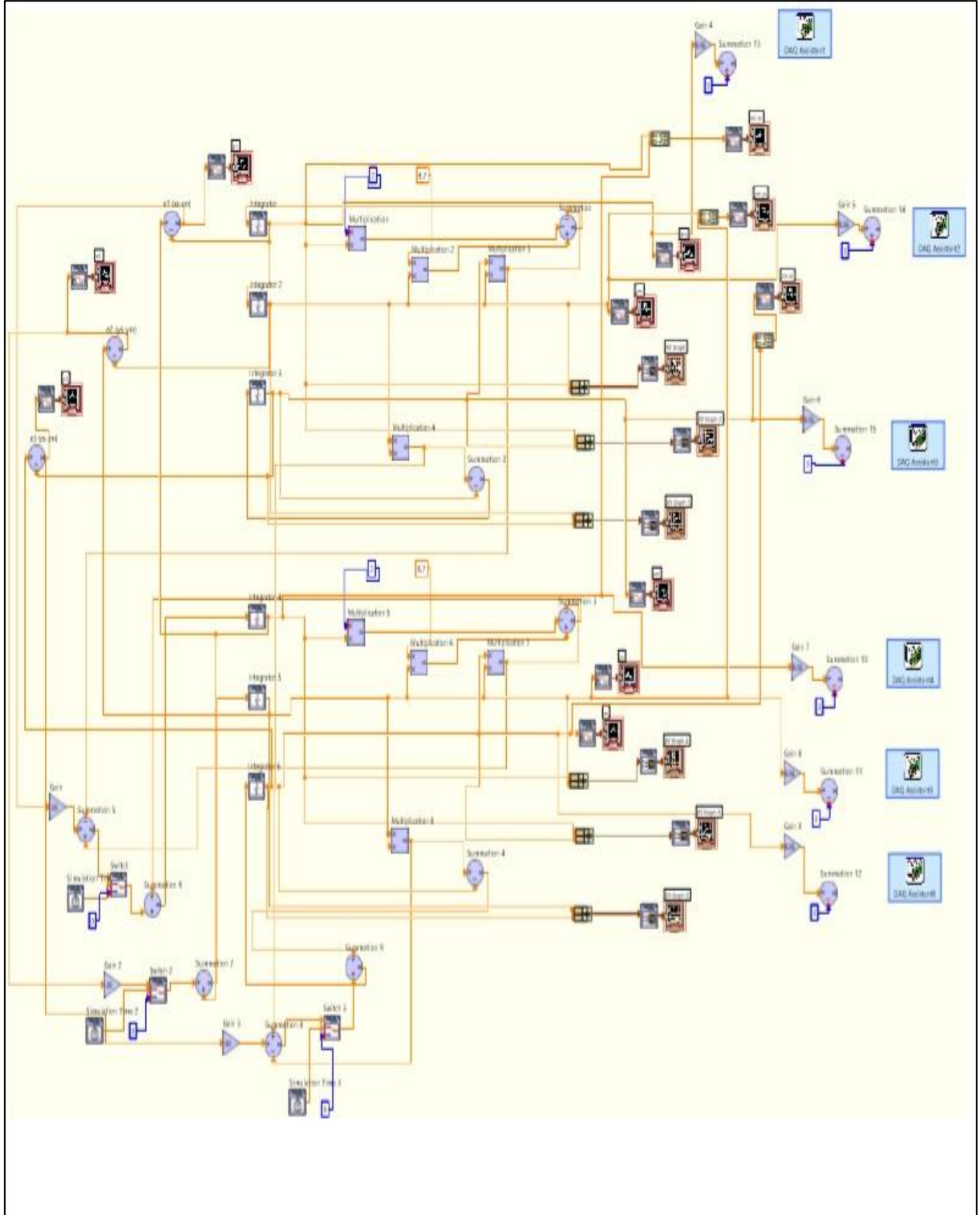
Ek-1.Lorenz Master-Slave Aktif Kontrolör Senkronizasyon Blok diyagramı



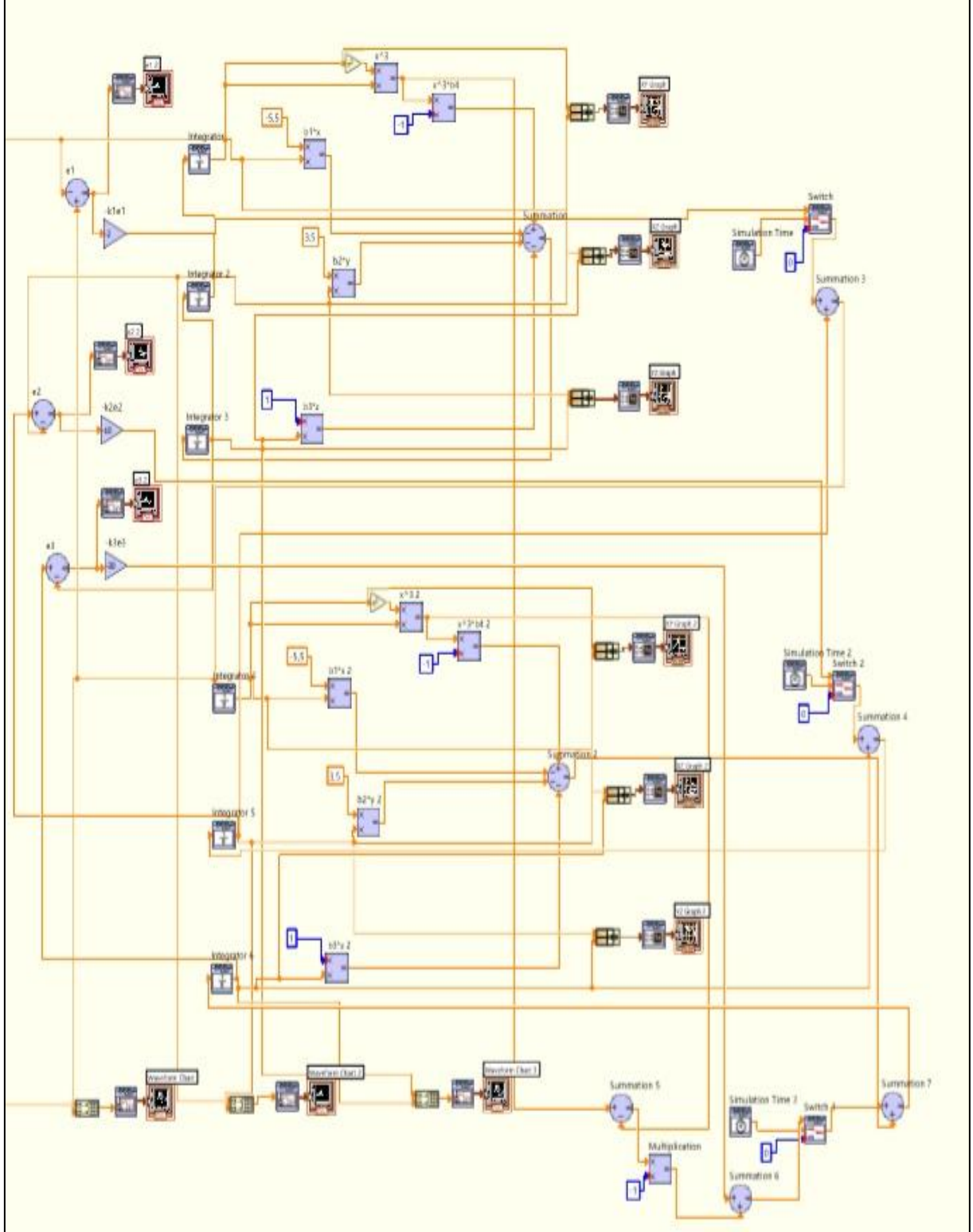
Ek-2.Sprott Master-Slave Aktif Kontrolör Senkronizasyon Blok diyagramı



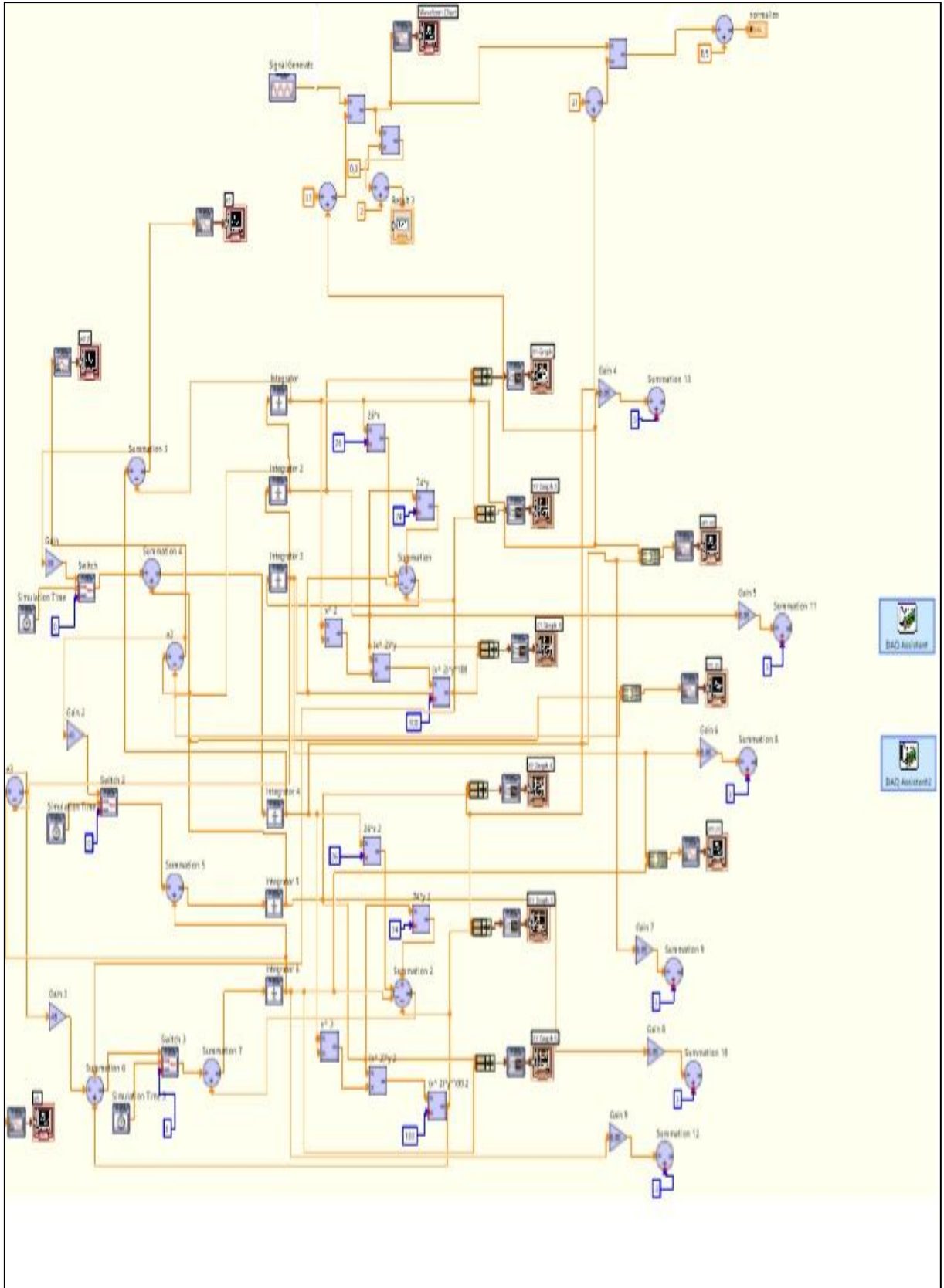
Ek-3.Rucklidge Master-Slave Aktif Kontrolör Senkronizasyon Blok diyagramı



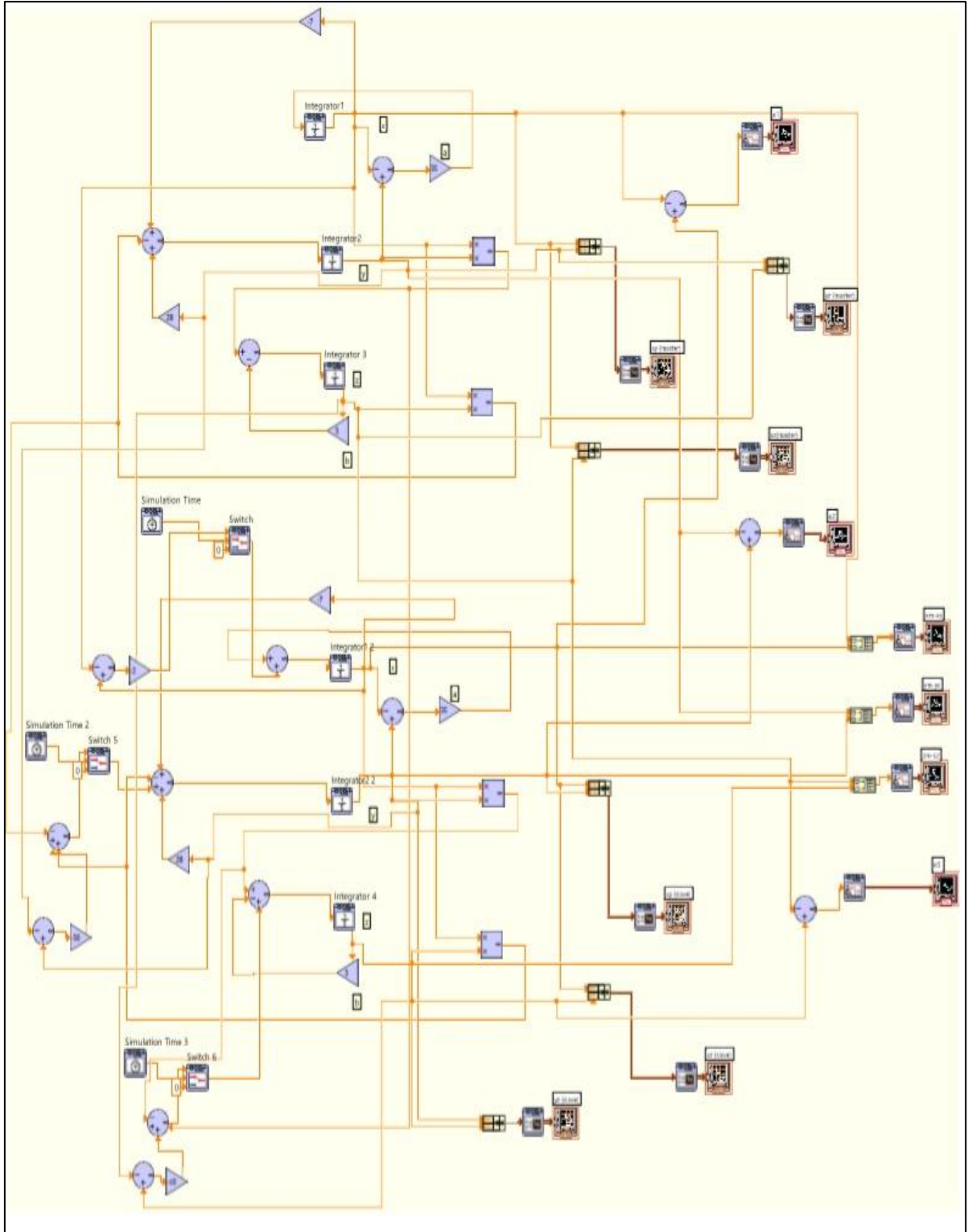
Ek-4.Arneodo Master-Slave Aktif Kontrolör Senkronizasyon Blok diyagramı



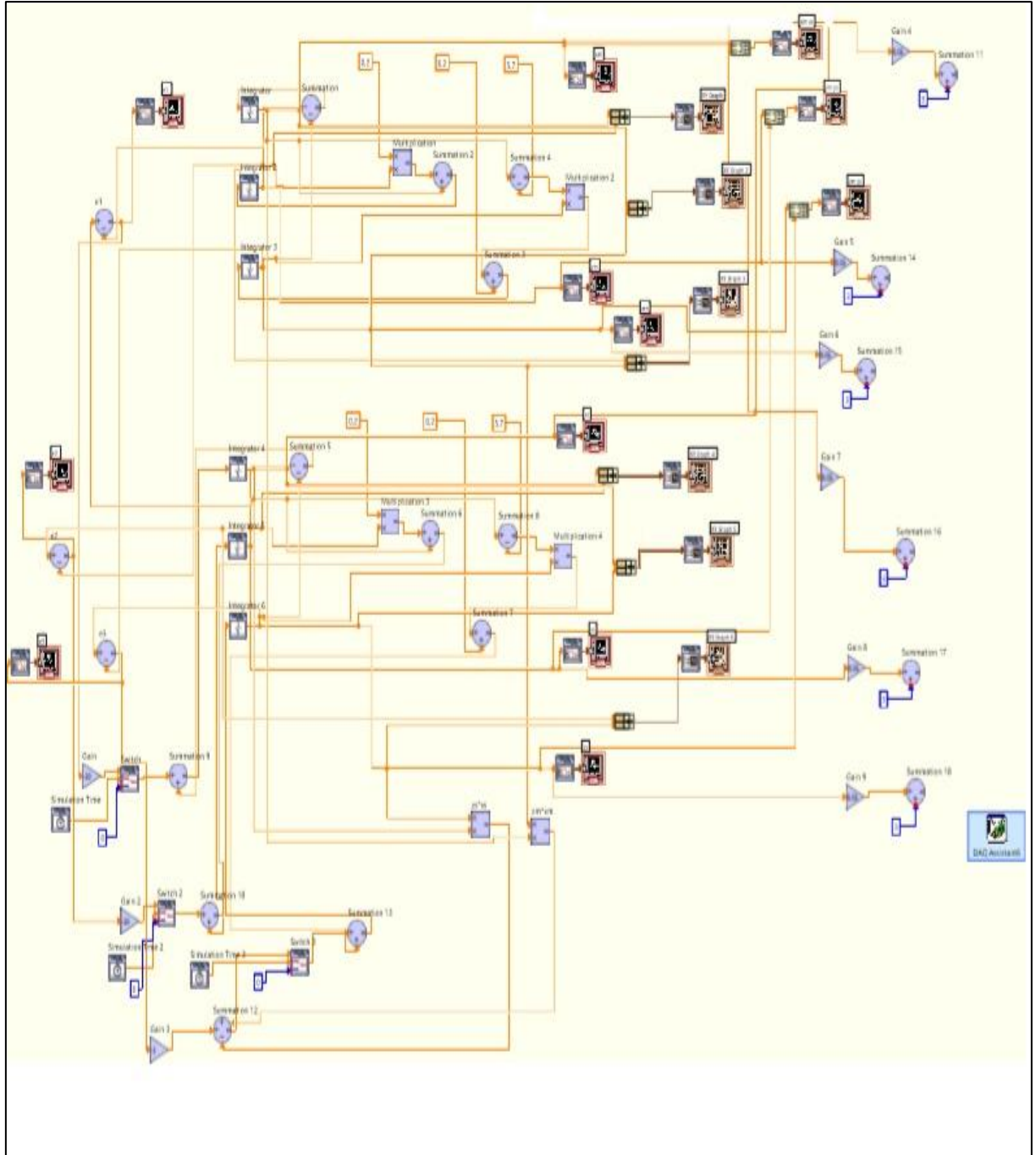
Ek-5. Moore-Spiegel Master-Slave Aktif Kontrolör Senkronizasyon Blok diyagramı



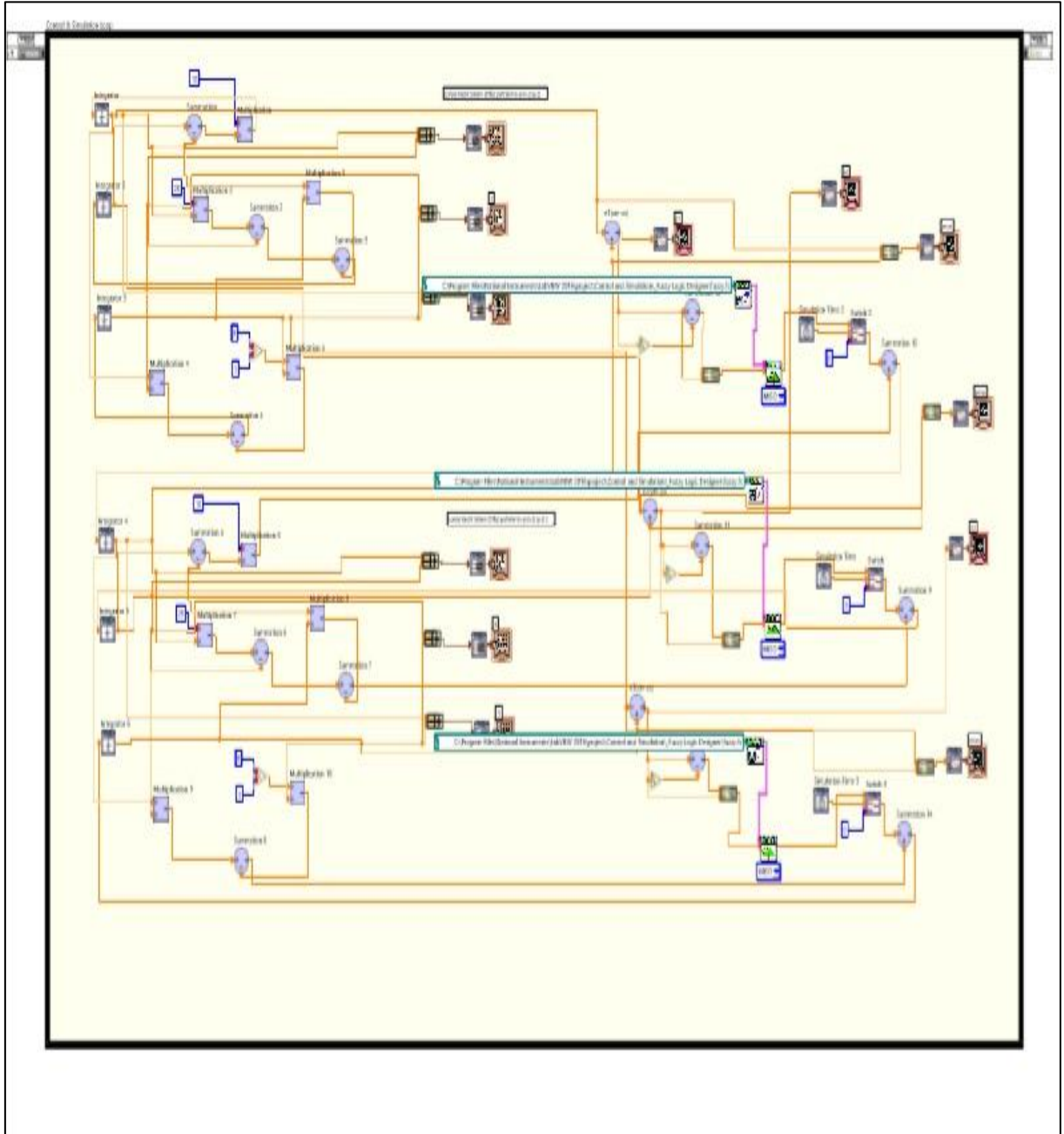
Ek-6.Chen Master-Slave Aktif Kontrolör Senkronizasyon Blok diyagramı



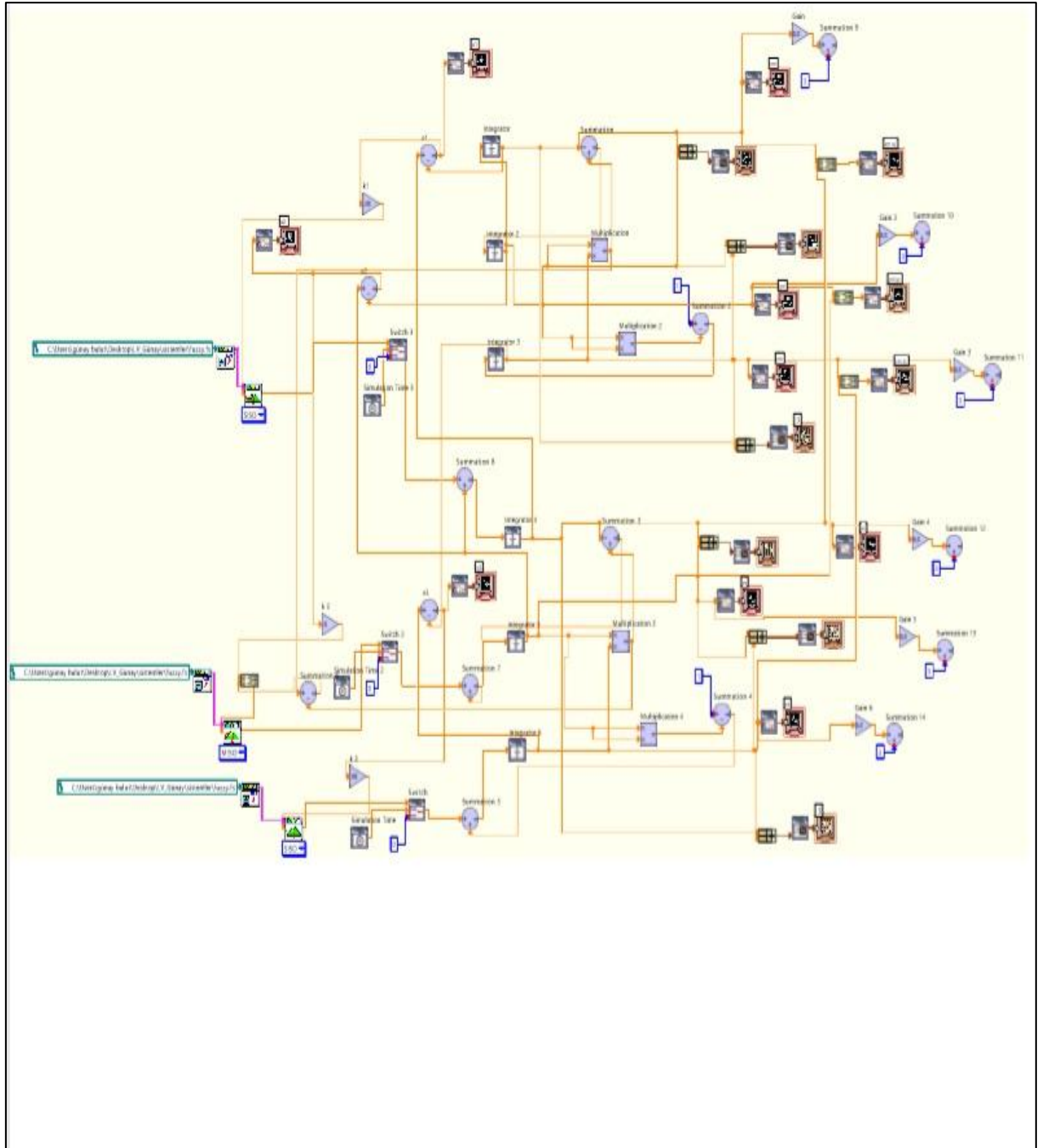
Ek-7.Rössler Master-Slave Aktif Kontrolör Senkronizasyon Blok diyagramı



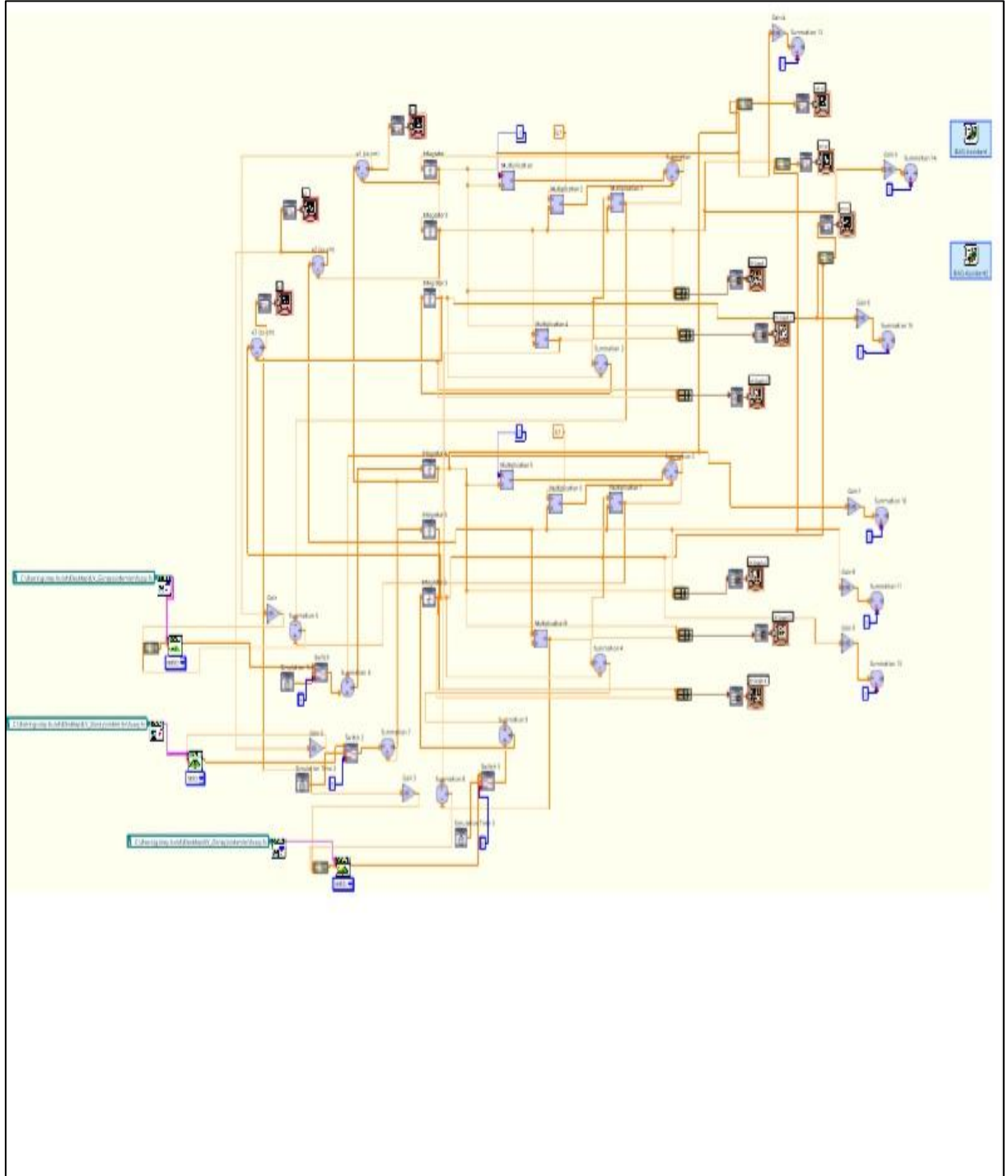
Ek-8.Lorenz Master-Slave Bulanık Mantık Kontrolör Senkronizasyon Blok diagramı



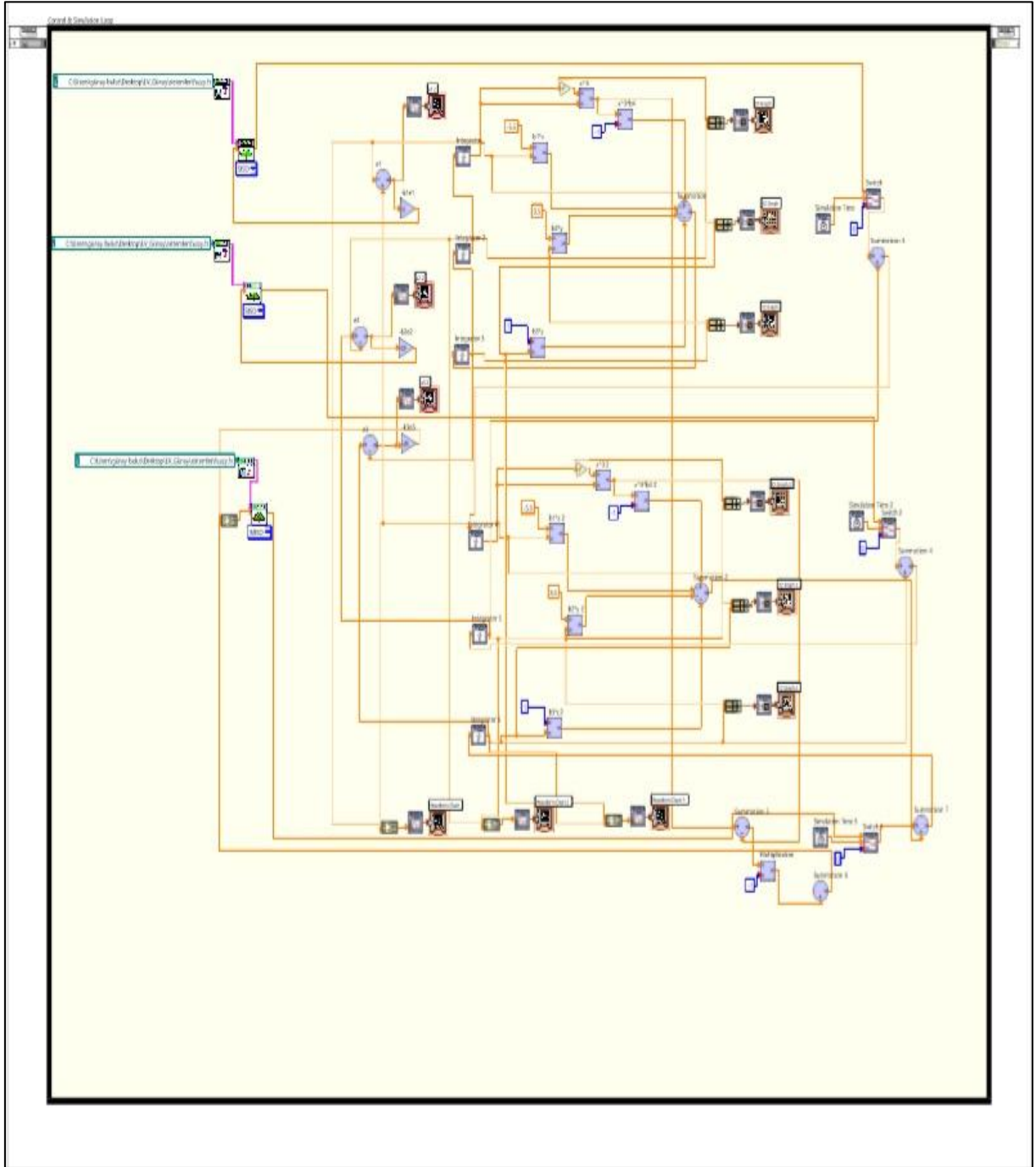
Ek-9.Sprott Master-Slave Bulanık Mantık Kontrolör Senkronizasyon Blok diyagramı



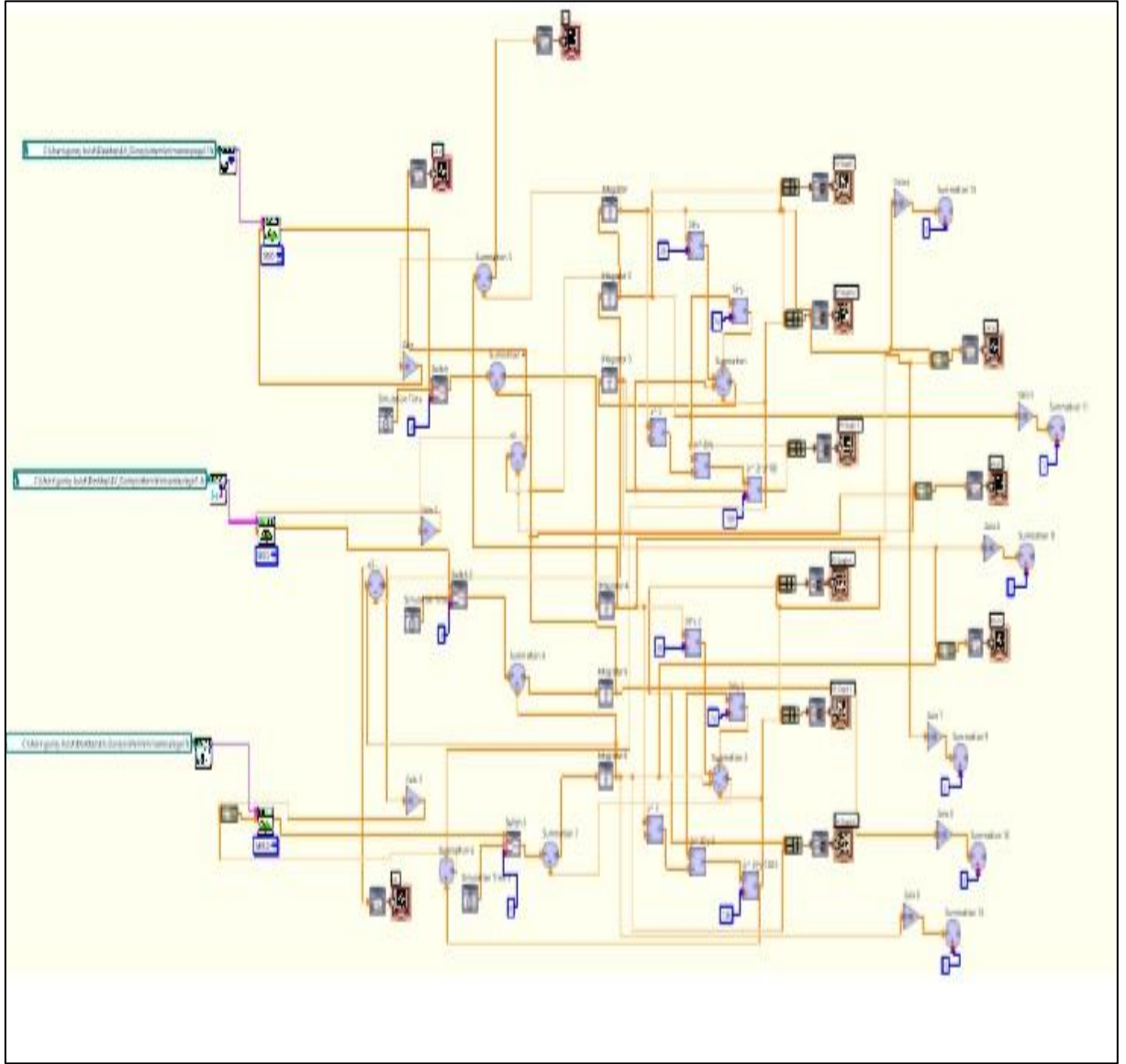
Ek-10.Rucklidge Master-Slave Bulanık Mantık Kontrolör Senkronizasyon Blok diyagramı



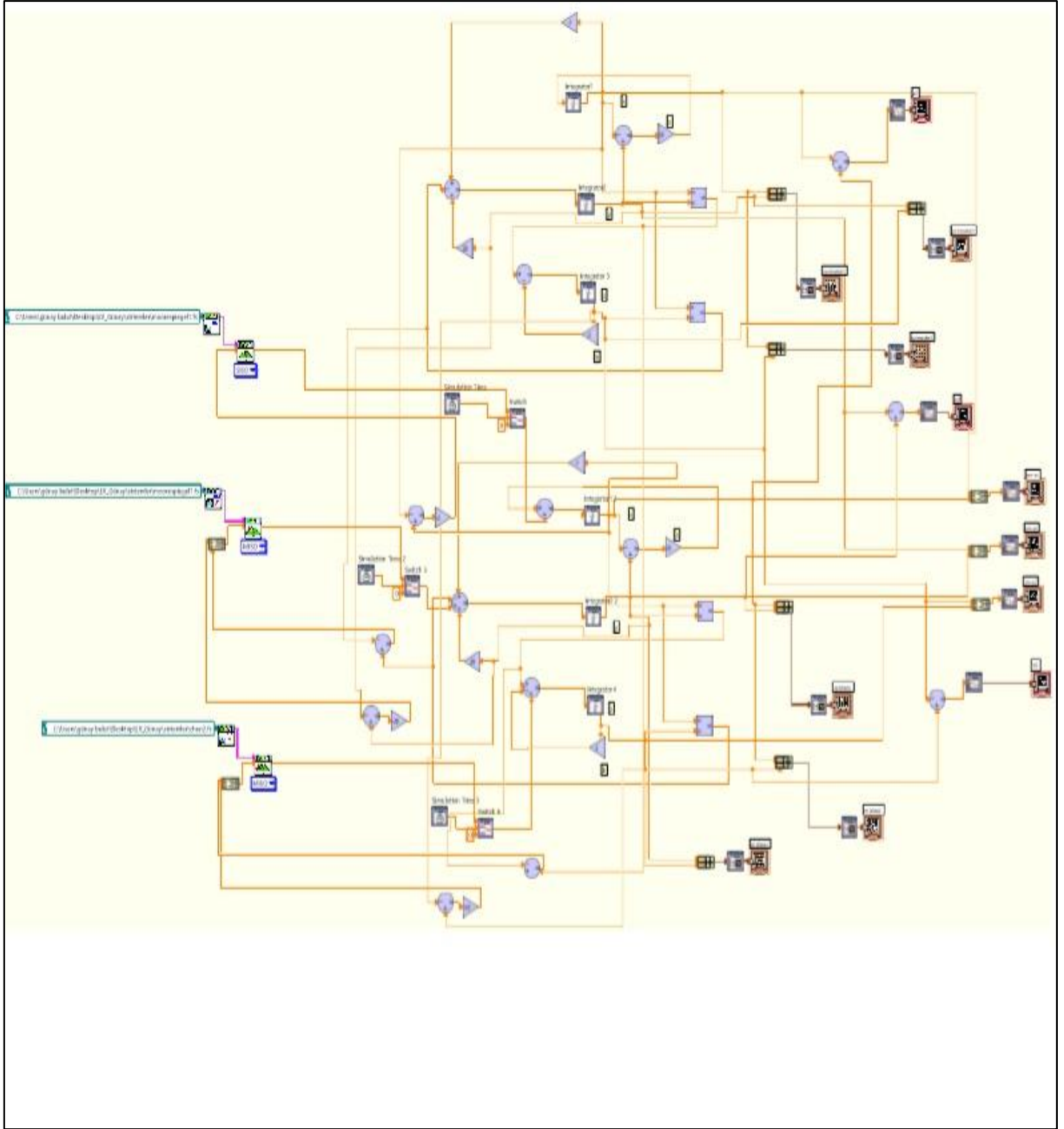
Ek-11.Arneodo Master-Slave Bulanık Mantık Kontrolör Senkronizasyon Blok diyagramı



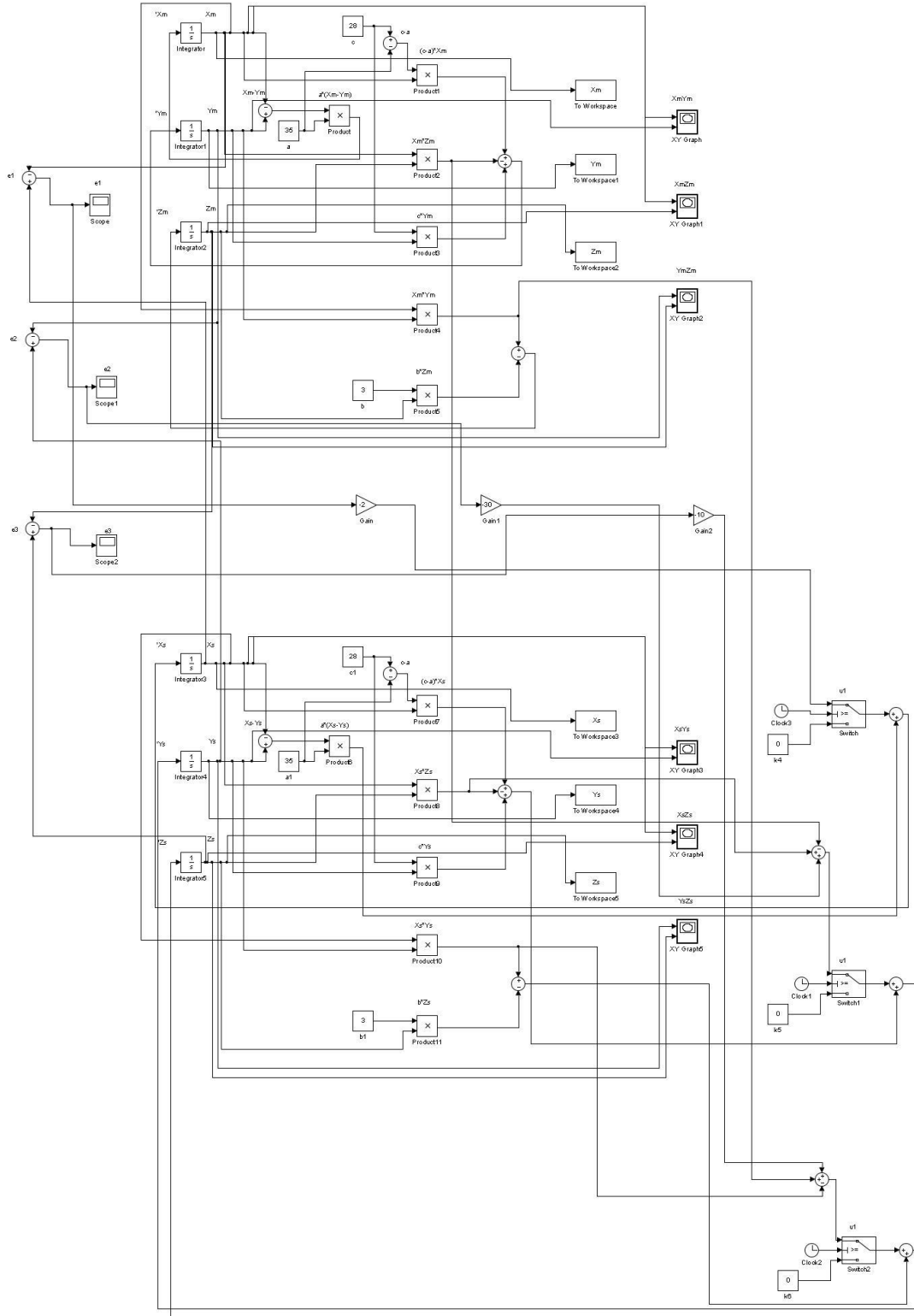
Ek-12.Moore-Spiegel Master-Slave Bulanık Mantık Kontrolör Senkronizasyon Blok diyagramı



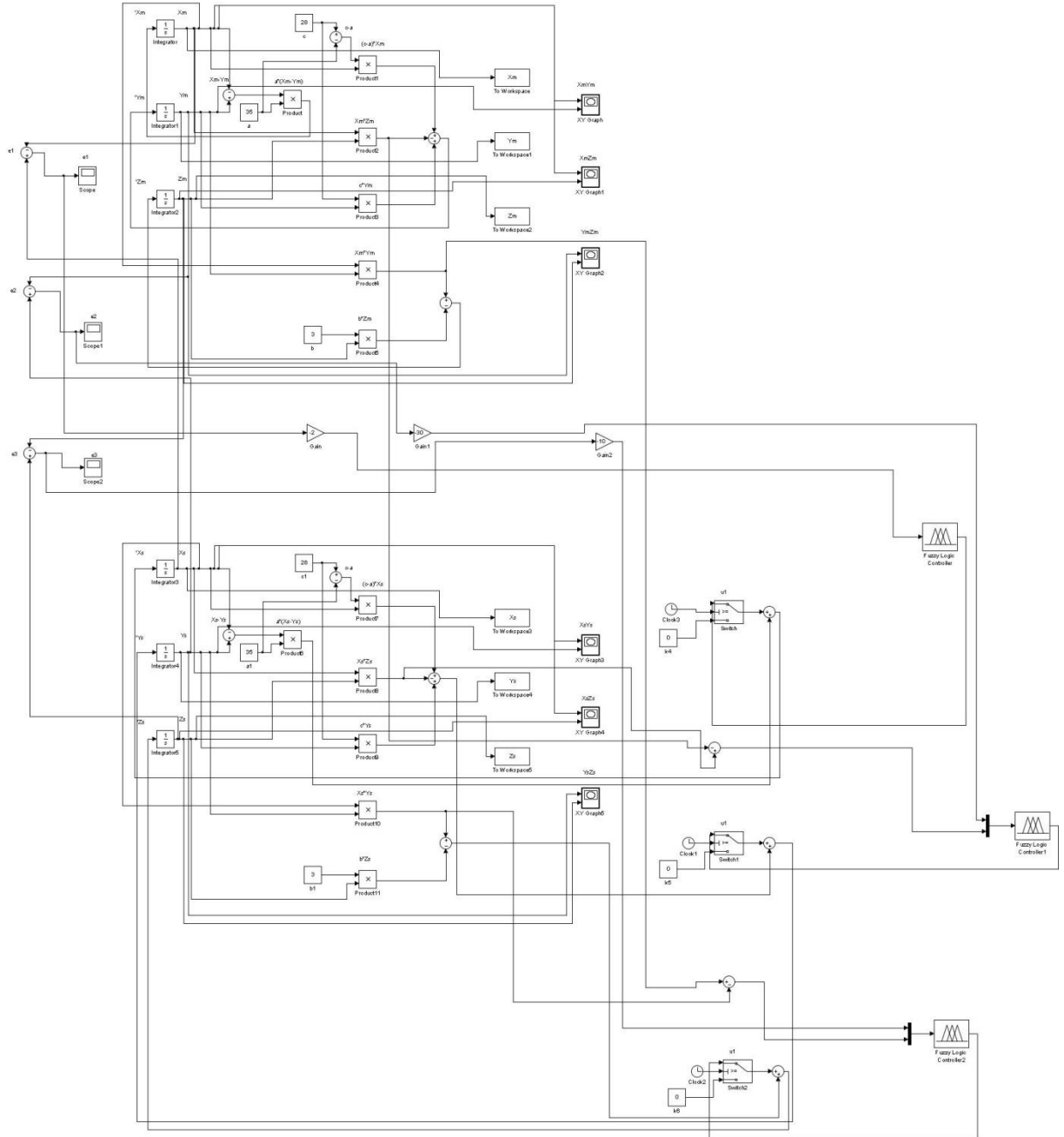
Ek-13.Chen Master-Slave Bulanık Mantık Kontrolör Senkronizasyon Blok diyagramı



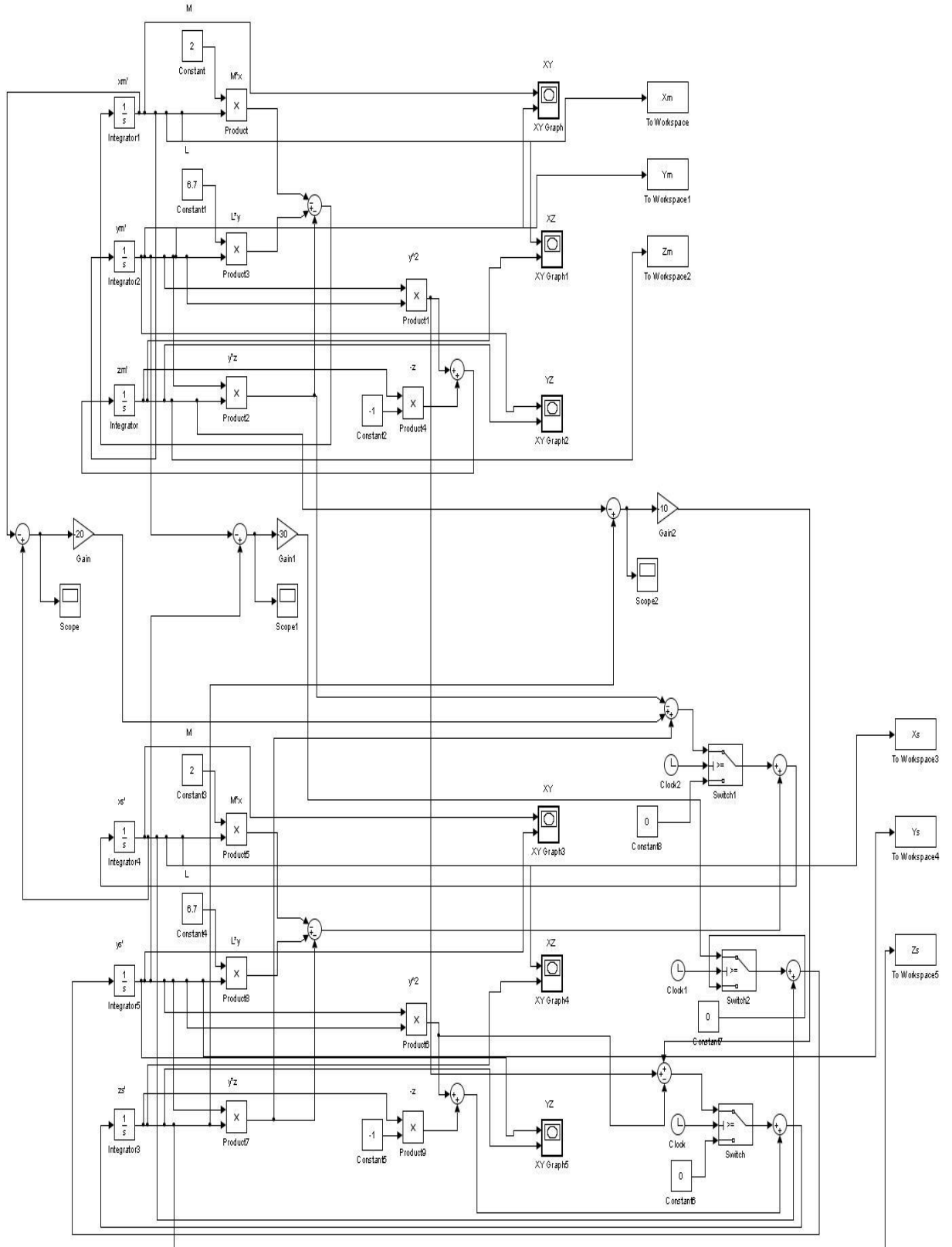
Ek-14.Chen Master-Slave Aktif Kontrolör Senkronizasyon Blok diyagramı



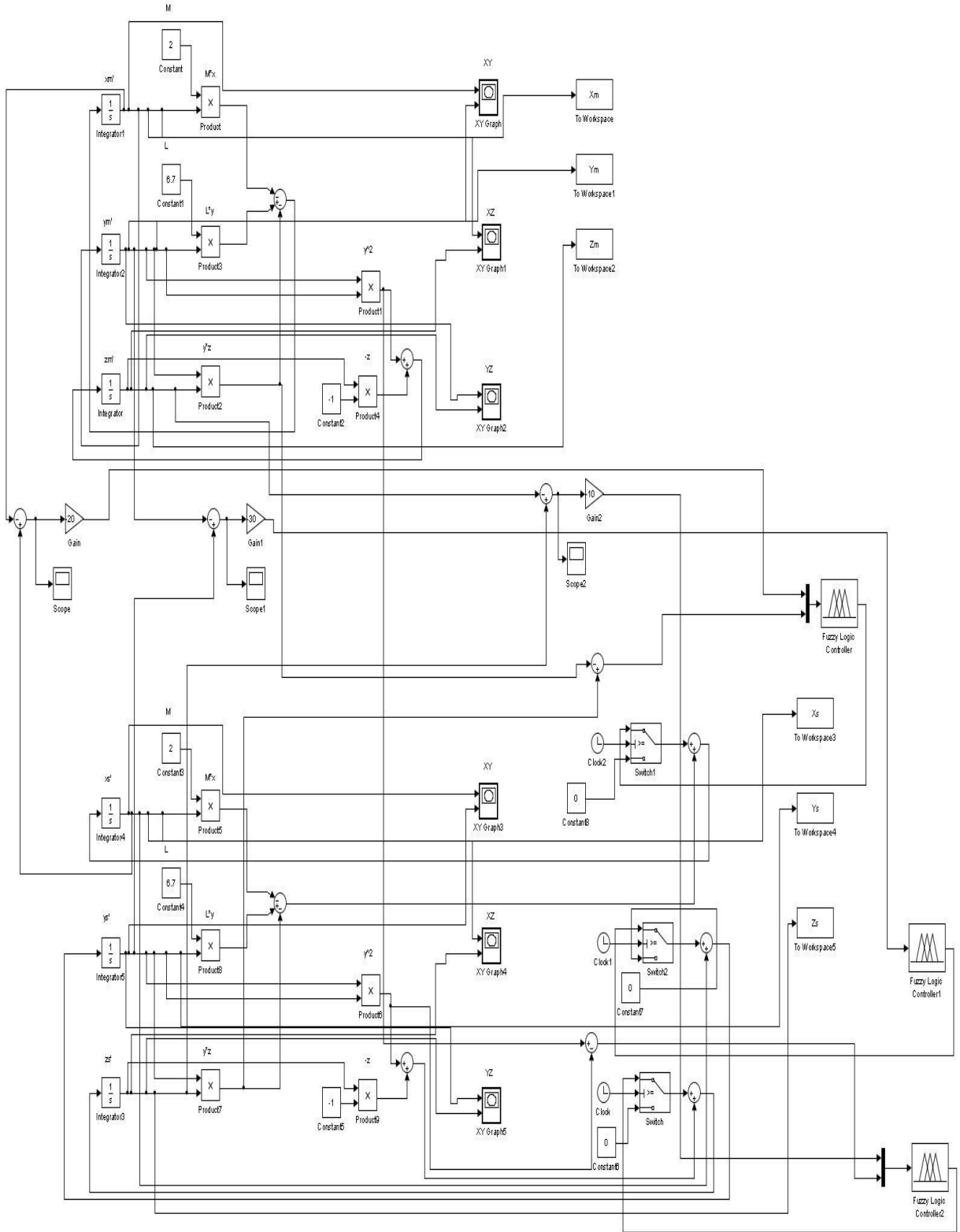
Ek-15.Chen Master-Slave Bulanık Mantık Kontrolör Senkronizasyon Blok diyagramı



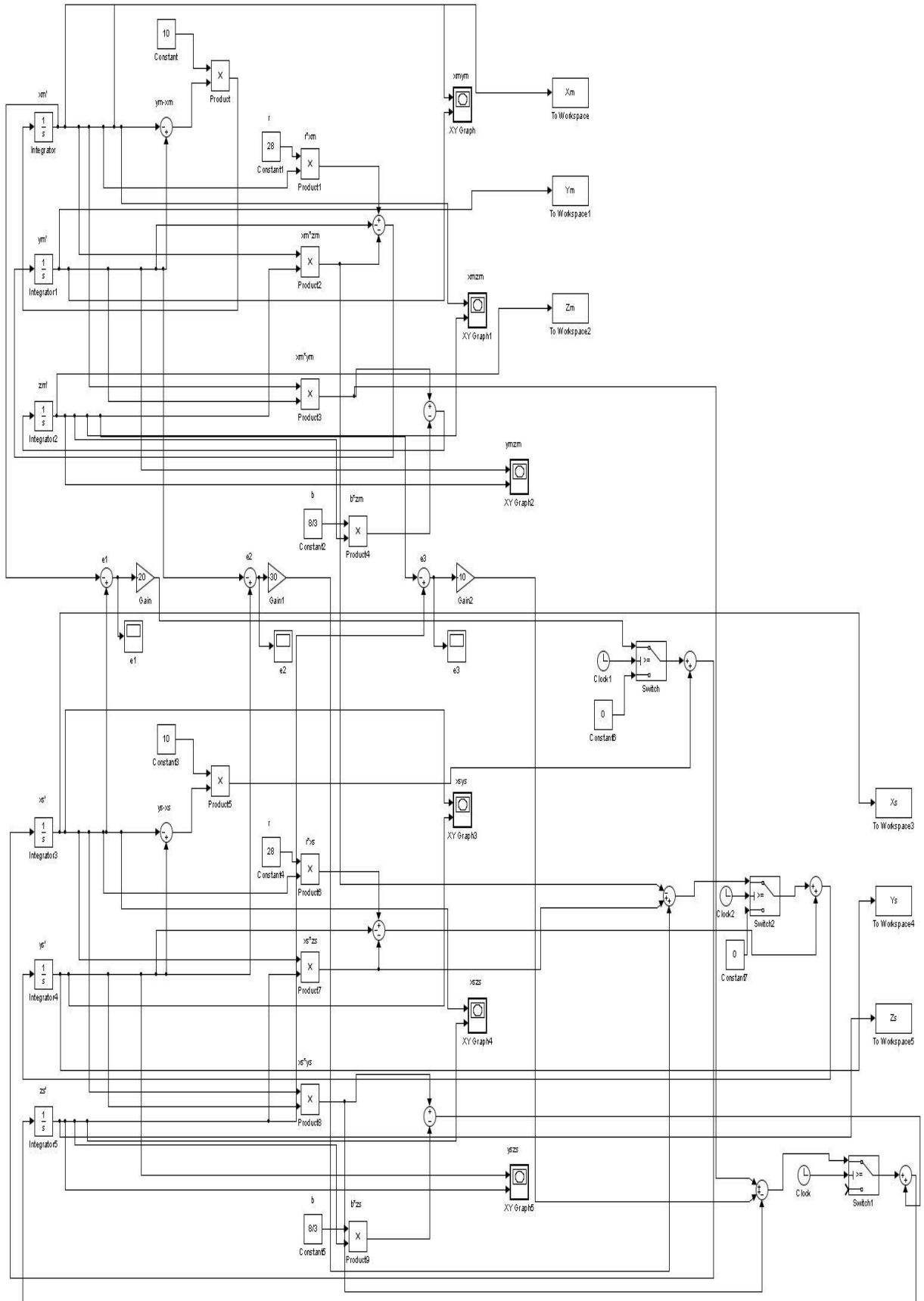
Ek-16.Rucklidge Master-Slave Aktif Kontrolör Senkronizasyon Blok diyagramı



Ek-17.Rucklidge Master-Slave Bulanık Mantık Kontrolör Senkronizasyon Blok diyagramı



Ek-18.Lorenz Master-Slave Bulanık Aktif Kontrolör Senkronizasyon Blok diyagramı



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

İsim Soyisim : Gülden Günay BULUT
Uyruğu : T.C.
Doğum Tarihi : 02.06.1994
Doğum Yeri : Elazığ
Medeni Hali : Bekar
Telefon : 0 384 2281000 Dâhili 15023
0 539 4933795
Email : ggunaybulut@nevsehir.edu.tr
gunaybulut94@gmail.com



Eğitim Bilgileri

Derece	Üniversite/Okul	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Fırat Üniversitesi Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü	2018
Lisans	Fırat Üniversitesi Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü	2016
Lise	Mehmet Koloğlu Anadolu Lisesi	2012

Katıldığı Kurslar ve İş Tecrübesi

<u>Görev Ünvanı</u>	<u>Görev Yeri</u>	<u>Yıl</u>
Stajer	Aselsan	2015
Arş.Gör	Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü	2018-.....

Çalışma Konuları: Elektronik, Kaos, Kaotik Sistemler, Elektronik Devre Tasarımı, Grafik Tabanlı Veri Sistemleri, Optimizasyon.

Yayınlar

- "Optimal Selection of Components in a Sixth-Order Butterworth Low-Pass Filter with Using Grey Wolf Algorithm", Institute of Research Engineers and Scientists International Conference on Innovative Engineering Technologies, 6th-7th August 2017, Stockholm-Sweden.
- "An Implementation of Chaotic Circuits with Multism" International Advanced Research and Engineering Congress, 17th-18th November 2017, Osmaniye-Turkey.

Yabancı Dil: (Yökdil- 96.25 (2017) Yökdil-86.25 (2017) YDS 78.25 (2017) YDS 75.00 (2016))