

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**KESİR DERECELİ KAOTİK SİSTEMLERİN FPGA
PLATFORMU İLE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

Muhammet Taha ATAŞ

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Elektronik Bilim Dalı

OCAK 2022

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

KESİR DERECELİ KAOTİK SİSTEMLERİN FPGA PLATFORMU İLE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Tez Yazarı

Muhammet Taha ATAŞ

Danışman

Doç. Dr. Hasan GÜLER

OCAK 2022

ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı: Kesir Dereceli Kaotik Sistemlerin FPGA Platformu ile Gerçekleştirilmesi
Yazarı: Muhammet Taha ATAŞ
İlk Teslim Tarihi: 29.11.2021
Savunma Tarihi: 11.01.2022

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Doç. Dr. Hasan GÜLER Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Doç. Dr. Vedat ÇELİK Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÜSTÜNDAĞ Turgut Özal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza
Prof. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Kesir Dereceli Kaotik Sistemlerin FPGA Platformu ile Gerçekleştirilmesi” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

11.01.2022

Muhammet Taha ATAŞ



ÖNSÖZ

Kesir dereceli sistemlerin, tam sayılı dereceli sistemlere göre birçok araştırmacılar tarafından yapılan birçok çalışmada daha etkili ve daha tutarlı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bundan dolayı kesir dereceli hesaplamalar uzun yıllardır matematik ile ilgili çalışmalar yapan araştırmacıların konusu olmuştur. Kesirli dereceli hesaplamaların uygulanabilirliği zor olduğundan uzun yıllar bu hesaplama yönteminin kullanımı pek yaygınlaşmamıştır. Fakat son yıllarda bilgisayarlardaki yazılımların gelişmesi ve ileri teknoloji cihazların üretilmesi ile kontrol sistemlerinde kesir dereceli hesaplamaların uygulanabilirliği eskiye nazaran çok daha kolaylaşmıştır. Bu gelişme sayesinde son yıllarda kesir dereceli sistemler ile ilgili çalışmalar giderek artmaktadır. Kesir derece ile yapılan bu uygulamalar ve sistemler çok farklı alanlarda kullanıma olanağı sağlayarak teknolojinin daha verimli kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bu bilgiler ışığında bu proje hazırlanmıştır.

Bilgi ve deneyimlerini benim ile paylaşan değerli danışman hocam Doç. Dr. Hasan GÜLER' e teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Bu tez çalışması, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (FÜBAP) tarafından **MF.21.37** protokol numaralı proje ile desteklenmiştir.

Muhammet Taha ATAŞ

ELAĞIĞ, 2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ	1
2. KESİR DERECELİ HESAPLAMA	4
2.1. Kesir Dereceli Denklemlerin Gösterimi	4
2.1.1. Grunwald-Letnikov Tanımı.....	4
2.1.2. Riemann-Liouville Tanımı.....	5
2.1.3. Cauchy Tanımı	5
2.1.4. Caputo Tanımı.....	5
2.2. Kesir Dereceli Türev Operatörünün Tam Sayılı Yaklaşım Yöntemleri.....	6
2.2.1. SBL Eşleştirme Yöntemi İle Yaklaşım Yöntemi	6
2.2.2. Ninteger Uygulaması.....	6
3. MATERYAL VE METOT	9
3.1. Kesir dereceli Kaotik Sistemler	9
3.1.1. Kesir Dereceli Lorenz Kaotik Sistemi.....	9
3.1.2. Kesir Dereceli Chen Kaotik Sistemi.....	15
3.1.3. Kesir Dereceli Lü Kaotik Sistemi	19
3.1.4. Kesir Dereceli Rössler Kaotik Sistemi	24
3.1.5. Kesir Dereceli Arneodo Kaotik Sistemi	29
3.1.6. Kesir Dereceli Genesio-Tesi Kaotik Sistemi.....	34
3.2. Kesir Dereceli Kaotik Sistemler ile Görüntü Şifreleme Uygulaması	39
3.2.1. Görüntü Şifreleme Uygulaması	44
3.3. Kesir Dereceli Kaotik Sistemlerin Gerçek Zamanlı Benzetimi	47
3.3.1. Gerçek Zamanlı Kesir Dereceli Lorenz Kaotik Sistem Uygulaması	47
3.3.2. Gerçek Zamanlı Kesir Dereceli Chen Kaotik Sistem Uygulaması	49
3.3.3. Gerçek Zamanlı Kesir Dereceli Lü Kaotik Sistem Uygulaması	51
3.3.4. Gerçek Zamanlı Kesir Dereceli Rössler Kaotik Sistem Uygulaması	53
3.3.5. Gerçek Zamanlı Kesir Dereceli Arneodo Kaotik Sistem Uygulaması	55
3.3.6. Gerçek Zamanlı Kesir Dereceli Genesio-Tesi Kaotik Sistem Uygulaması	57
3.4. Kullanılan Cihazlar.....	59
3.4.1. FPGA Cihazı	59
3.4.2. Osiloskop Cihazı	61
3.5. Benzetim İçin Kullanılan Program	62
3.5.1. LabVIEW FPGA Arayüzü	62
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	66

4.1. Gerçek Zamanlı Kesir Dereceli Lorenz Kaotik Sistem Uygulaması	66
4.2. Gerçek Zamanlı Kesir Dereceli Chen Kaotik Sistem Uygulaması	68
4.3. Gerçek Zamanlı Kesir Dereceli Lü Kaotik Sistem Uygulaması	70
4.4. Gerçek Zamanlı Kesir Dereceli Rössler Kaotik Sistem Uygulaması.....	72
4.5. Gerçek Zamanlı Kesir Dereceli Arneodo Kaotik Sistem Uygulaması.....	74
4.6. Gerçek Zamanlı Kesir Dereceli Genesio-Tesi Kaotik Sistem Uygulaması	76
5. SONUÇLAR.....	78
KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ	



ÖZET

Kesir Dereceli Kaotik Sistemlerin FPGA Platformu ile Gerçekleştirilmesi

Muhammet Taha ATAŞ

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak 2022, Sayfa: xv + 82

Günümüzde, birçok bilimsel çalışmada kaotik sistemlerin kullanılmasının sağladığı avantajlar görüldükçe kaotik sistemlerin geliştirilmesi ve daha da kaotik hale getirilmesi amacıyla yapılan çalışmalar artmıştır. Bu çalışmada öncelikle kesirli hesaplamanın tanımı yapıp, kaotik sistemleri kesir dereceli hale getirmek için Matlab programında yapılan kesirli hesaplama yöntemine değinildi. Kaotik sistemlerin geliştirilmesi amacıyla, kaotik sistemlerin kesirli halinin matematiksel modelinin blok diyagramı, LabVIEW platformu kullanılarak görsel programlama yöntemi ile oluşturulmuştur. Kesir dereceli sistemlerin matematiksel modellerinden yararlanılarak LabVIEW platformunda oluşturulan kesir dereceli sistemlerin uygulamaları çalıştırılarak LabVIEW platformu üzerinde gerçek zamanlı benzetimleri elde edilmiştir. Kesir dereceli olarak oluşturulan bu sistem ile bir görüntü şifreleme uygulaması yapılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmanın asıl amacı olan kesir dereceli sistemlerin FPGA cihazına uygulanmasıdır. Kesir dereceli sistemlerin LabVIEW programı ile tasarlandığından dolayı LabVIEW platformu ile uyumlu bir FPGA cihazı gereklidir. Bu çalışmada LabVIEW programı ile uyumlu myRIO 1900 FPGA cihazı kullanılmıştır. FPGA uygulamasını gerçekleştirmek için öncelikle LabVIEW ortamı içerisinde myRIO 1900 cihazının çalışması için gerekli olan ayrı bir platformda, daha önce oluşturulan kesir dereceli sistemler yeniden düzenlemeler yapılarak FPGA cihazına kesir dereceli sistemler uygulanarak osiloskop cihazı üzerinde sonuçlar elde edilmiştir. Kesir dereceli bu sistemlerin FPGA cihazına uygulanıp osiloskop üzerinde sonuçlar elde edilmesinin asıl amacı kesir dereceli sistemler ile yapılacak uygulamalarda FPGA cihazının kullanıma hazır olduğunu göstermektir.

Anahtar Kelimeler: Kesir Dereceli Hesaplama, FPGA, Kaotik Sistemler, LabVIEW FPGA

ABSTRACT

Implementation of Fractional Order Systems Based on FPGA

Muhammet Taha ATAŞ

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering

January 2022, Pages: xv + 82

Nowadays, as the advantages of using chaotic systems in many scientific projects have been experienced, studies have increased to develop chaotic systems and make them more chaotic. In this study, firstly, the definition of fractional computation is made and then the fractional computation method made in the Matlab program to make chaotic systems fractional order has been mentioned. To develop chaotic systems, the block diagram of the mathematical model of the fractional chaotic system was created using the LabVIEW platform with a visual programming method. Real-time simulations were obtained on the LabVIEW platform by running the applications of the fractional order systems created on the LabVIEW platform by using the mathematical models of the fractional order systems. An image encryption application was made with this system, which was created in fractional order, and successful results were obtained.

The main purpose of this study is the application of fractional order systems to the FPGA device. An FPGA device compatible with the LabVIEW platform is required to complete this application because fractional order systems are created with the LabVIEW program. In this study, myRIO 1900 FPGA device compatible with the LabVIEW program was used. To realize the FPGA application, first of all, on a separate platform required for the operation of the myRIO 1900 device within the LabVIEW environment, the previously created fractional order systems were rearranged and the results were obtained on the oscilloscope device by applying the fractional order systems to the FPGA device. The main purpose of applying these fractional order systems to the FPGA device and obtaining results on the oscilloscope is to show that the FPGA device is ready for use in applications to be made with fractional order systems.

Keywords: Fractional Order Calculus, FPGA, Chaotic Systems, LabVIEW FPGA

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Crone yaklaşım yönteminin Matlab ekran görüntüsü.....	7
Şekil 2.2. Crone yaklaşım yönteminin sonuçlarının Matlab ekran görüntüsü	7
Şekil 2.3. Carlson yaklaşım yönteminin Matlab ekran görüntüsü	7
Şekil 2.4. Carlson yaklaşım yönteminin sonuçlarının Matlab ekran görüntüsü	8
Şekil 2.5. Matsuda yaklaşım yönteminin Matlab ekran görüntüsü.....	8
Şekil 2.6. Matsuda yaklaşım yönteminin sonuçlarının Matlab ekran görüntüsü	8
Şekil 3.1. Lorenz sisteminin üç boyutlu benzetim sonuçları	10
Şekil 3.2. Kesir dereceli Lorenz sisteminin LabVIEW ortamındaki blok diyagramı	11
Şekil 3.3. Kesir dereceli Lorenz sisteminin x-y-z değişkenleri benzetim sonuçları	12
Şekil 3.4. Kesir dereceli Lorenz sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.995$ ile (x-y)benzetim sonuçları	12
Şekil 3.5. Kesir dereceli Lorenz sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.995$ ile (x-z)benzetim sonuçları	12
Şekil 3.6. Kesir dereceli Lorenz sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.995$ ile (y-z)benzetim sonuçları	13
Şekil 3.7. Kesir dereceli Lorenz sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.995$ üç boyutlu benzetim sonucu.	13
Şekil 3.8. Kesir dereceli Lorenz sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.99$ ile (x-y)benzetim sonuçları.	13
Şekil 3.9. Kesir dereceli Lorenz sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.98$ ile (x-y)benzetim sonuçları	14
Şekil 3.10. Kesir dereceli Lorenz sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.95$ ile (x-y) benzetim sonuçları	14
Şekil 3.11. Chen sisteminin üç boyutlu benzetim sonuçları.	15
Şekil 3.12. Kesir dereceli Chen sisteminin LabVIEW ortamındaki blok diyagramı	16
Şekil 3.13. Kesir dereceli Chen sisteminin x-y-z değişkenleri benzetim sonuçları.....	16
Şekil 3.14. Kesir dereceli Chen sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.9$ ile (x-y) benzetim sonuçları.	17
Şekil 3.15. Kesir dereceli Chen sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.9$ ile (x-z) benzetim sonuçları.....	17
Şekil 3.16. Kesir dereceli Chen sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.995$ ile (y-z) benzetim sonuçları	17
Şekil 3.17. Kesir dereceli Chen sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.9$ üç boyutlu benzetim sonucu.....	18
Şekil 3.18. Kesir dereceli Chen sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.8$ ile (x-z) benzetim sonuçları.....	18
Şekil 3.19. Kesir dereceli Chen sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.75$ ile (x-z) benzetim sonuçları	18
Şekil 3.20. Kesir dereceli Chen sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.73$ ile (x-z) benzetim sonuçları.	19
Şekil 3.21. Lü sisteminin üç boyutlu benzetim sonuçları	20
Şekil 3.22. Kesir dereceli Lü sisteminin LabVIEW ortamındaki blok diyagramı	21
Şekil 3.23. Kesir dereceli Lü sisteminin x-y-z değişkenleri benzetim sonuçları	21
Şekil 3.24. Kesir dereceli Lü sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.95$ ile (x-y) benzetim sonuçları	22
Şekil 3.25. Kesir dereceli Lü sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.95$ ile (x-z) benzetim sonuçları.....	22

Şekil 3.26. Kesir dereceli Lü sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.95$ ile (y-z) benzetim sonuçları.....	22
Şekil 3.27. Kesir dereceli Lü sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.95$ üç boyutlu benzetim sonucu.....	23
Şekil 3.28. Kesir dereceli Lü sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.90$ ile (x-z) benzetim sonuçları	23
Şekil 3.29. Kesir dereceli Lü sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.85$ ile (x-z) benzetim sonuçları	23
Şekil 3.30. Kesir dereceli Lü sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.80$ ile (x-y) benzetim sonuçları	24
Şekil 3.31. Rössler sisteminin üç boyutlu benzetim sonuçları	25
Şekil 3.32. Kesir dereceli Rössler sisteminin LabVIEW ortamındaki blok diyagramı	26
Şekil 3.33. Kesir dereceli Rössler sisteminin x-y-z değişkenleri benzetim sonuçları.	26
Şekil 3.34. Kesir dereceli Rössler sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.9$ ile (x-y) benzetim sonuçları.....	27
Şekil 3.35. Kesir dereceli Rössler sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.9$ ile (x-z) benzetim sonuçları	27
Şekil 3.36. Kesir dereceli Rössler sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.9$ ile (y-z) benzetim sonuçları	27
Şekil 3.37. Kesir dereceli Rössler sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.9$ üç boyutlu benzetim sonucu	28
Şekil 3.38. Kesir dereceli Lorenz sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.85$ ile (x-y) benzetim sonuçları	28
Şekil 3.39. Kesir dereceli Lorenz sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.80$ ile (x-y) benzetim sonuçları.	28
Şekil 3.40. Kesir dereceli Lorenz sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.70$ ile (x-y) benzetim sonuçları.....	29
Şekil 3.41. Arneodo sisteminin üç boyutlu benzetim sonuçları.....	30
Şekil 3.42. Kesir dereceli Arneodo sistemi LabVIEW ortamındaki blok diyagramı.....	31
Şekil 3.43. Kesir dereceli Arneodo sisteminin x-y-z değişkenleri benzetim sonuçları	31
Şekil 3.44. Kesir dereceli Arneodo sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.97$ ile (x-y) benzetim sonuçları.....	32
Şekil 3.45. Kesir dereceli Arneodo sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.97$ ile (x-z) benzetim sonuçları	32
Şekil 3.46. Kesir dereceli Arneodo sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.97$ ile (x-y) benzetim sonuçları.....	32
Şekil 3.47. Kesir dereceli Arneodo sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.97$ üç boyutlu benzetim sonucu	33
Şekil 3.48. Kesir dereceli Arneodo sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.95$ ile (x-y) benzetim sonuçları.....	33
Şekil 3.49. Kesir dereceli Arneodo sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.93$ ile (x-y) benzetim sonuçları.....	33
Şekil 3.50. Kesir dereceli Arneodo sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.90$ ile (x-y) benzetim sonuçları.....	34
Şekil 3.51. Genesio-Tesi sisteminin üç boyutlu benzetim sonuçları	35
Şekil 3.52. Kesir dereceli Genesio-Tesi sistemin LabVIEW ortamındaki blok diyagramı.	36
Şekil 3.53. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin x-y-z değişkenleri benzetim sonuçları.	36
Şekil 3.54. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin $q_1 = q_2 = 1, q_3 = 0.95$ ile (x-y) benzetim sonuçları. 37	
Şekil 3.55. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin $q_1 = q_2 = 1, q_3 = 0.95$ ile (x-z) benzetim sonuçları. 37	
Şekil 3.56. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin $q_1 = q_2 = 1, q_3 = 0.95$ ile (y-z) benzetim sonuçları.	37
Şekil 3.57. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin $q_1 = q_2 = 1, q_3 = 0.95$ üç boyutlu benzetim sonucu 38	
Şekil 3.58. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin $q_1 = q_2 = 1, q_3 = 0.93$ ile (x-y) benzetim sonuçları 38	

Şekil 3.59. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin $q_1 = q_2 = 1, q_3 = 0.90$ ile (x-y) benzetim sonuçları	38
Şekil 3.60. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin $q_1 = q_2 = 1, q_3 = 0.85$ ile (x-y) benzetim sonuçları	39
Şekil 3.61 Kesir dereceli Chen sisteminin LabVIEW platformundaki Master-Slave senkronizasyonu blok diyagramı	41
Şekil 3.62. Kesir dereceli Chen sisteminin x-y-z değişkenleri master kısmı benzetim sonuçları	42
Şekil 3.63. Kesir dereceli Chen sisteminin x-y-z değişkenleri slave kısmı benzetim sonuçları	42
Şekil 3.64. Master-Slave sisteminin x değişkenlerinin eşitlenmesi sonuçları	42
Şekil 3.65. Master-Slave sisteminin y değişkenlerinin arasındaki hata sonuçları	43
Şekil 3.66. Master-Slave sisteminin z değişkenlerinin arasındaki hata sonuçları	43
Şekil 3.67. Master-Slave sisteminin x değişkenlerinin zamana göre genliği	43
Şekil 3.68. Master-Slave sisteminin y değişkenlerinin zamana göre genliği	44
Şekil 3.69. Master-Slave sisteminin z değişkenlerinin zamana göre genliği	44
Şekil 3.70. LabVIEW ortamında oluşturulan görüntü şifreleme uygulaması blok diyagramı	45
Şekil 3.71. (a) orijinal görüntü, (b) şifrelenmiş görüntü (c) deşifre edilen görüntü	45
Şekil 3.72. Histogram analizi (a) orijinal görüntü, (b) şifrelenmiş görüntü (c) deşifre edilen görüntü	46
Şekil 3.73. (a) orijinal görüntü, (b) şifrelenmiş görüntü (c) deşifre edilen görüntü	46
Şekil 3.74 Histogram analizi (a) orijinal görüntü, (b) şifrelenmiş görüntü (c) deşifre edilen görüntü	46
Şekil 3.75. Kesir dereceli Lorenz sisteminin LabVIEW ortamındaki analog çıkışlı blok diyagramı	47
Şekil 3.76. Kesir dereceli Lorenz sisteminin x-y durum değişkenleri benzetim sonuçları genel görünümü	48
Şekil 3.77. Kesir dereceli Lorenz sisteminin sırasıyla x-y, x-z ve y-z durum değişkenlerine göre osiloskop	48
Şekil 3.78. Kesir dereceli Chen sisteminin LabVIEW ortamındaki analog çıkışlı blok diyagramı	49
Şekil 3.79. Kesir dereceli Chen sisteminin x-y durum değişkenleri benzetim sonuçları genel görünümü	50
Şekil 3.80. Kesir dereceli Chen sisteminin sırasıyla (a)x-y, (b)x-z ve (c)y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları	50
Şekil 3.81. Kesir dereceli Lü sisteminin LabVIEW ortamındaki analog çıkışlı blok diyagramı	51
Şekil 3.82. Kesir dereceli Lü sisteminin x-y durum değişkenleri benzetim sonuçları genel görünümü	52
Şekil 3.83. Kesir dereceli Lü sisteminin sırasıyla (a)x-y, (b)x-z ve (c)y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları	52
Şekil 3.84 Kesir dereceli Rössler sisteminin LabVIEW ortamındaki analog çıkışlı blok diyagramı	53
Şekil 3.85. Kesir dereceli Rössler sisteminin x-y durum değişkenleri benzetim sonuçları genel görünümü	54
Şekil 3.86. Kesir dereceli Rössler sisteminin sırasıyla (a)x-y, (b)x-z ve (c)y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları	54
Şekil 3.87. Kesir dereceli Arneodo sisteminin LabVIEW ortamındaki analog çıkışlı blok diyagramı	55

Şekil 3.88. Kesir dereceli Arneodo sisteminin x-y durum değişkenleri benzetim sonuçları genel görünümü	56
Şekil 3.89. Kesir dereceli Arneodo sisteminin sırasıyla x-y, x-z ve y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları	56
Şekil 3.90. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin LabVIEW ortamındaki analog çıkışlı blok diyagramı .	57
Şekil 3.91. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin x-y durum değişkenleri benzetim sonuçları genel görünümü.....	58
Şekil 3.92. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin sırasıyla x-y, x-z ve y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları	58
Şekil 3.93. MyRIO-1900 FPGA Cihazı.....	59
Şekil 3.94. MyRIO-1900 FPGA cihazı ve üzerindeki kısımlar	60
Şekil 3.95. MyRIO-1900 FPGA cihazının yandan A ve B konektörlerinin bulunduğu kısmın görünümü.	60
Şekil 3.96. MyRIO-1900 FPGA cihazının yandan C konektörlerinin bulunduğu kısmın görünümü.....	61
Şekil 3.97. TDS 2024C model osiloskop genel görünümü.....	61
Şekil 3.98. LabVIEW programı giriş bölümü	62
Şekil 3.99. LabVIEW FPGA proje oluşturma arayüzü	63
Şekil 3.100. MyRIO FPGA cihazına bağlantı arayüzü.....	63
Şekil 3.101. MyRIO FPGA cihazına bağlantı arayüzü.....	64
Şekil 3.102. Projede bulunan RT Main dosyası içinde oluşturulan blok diyagramı.....	64
Şekil 3.103. Projede bulunan FPGA Main dosyası içinde oluşturulan analog çıkışların blok diyagramı	65
Şekil 4.1. Kesir dereceli Lorenz sisteminin LabVIEW RT Main kısmındaki analog çıkışlı blok diyagramı	66
Şekil 4.2. Kesir dereceli Lorenz sisteminin LabVIEW FPGA Main kısmındaki analog çıkışlı blok diyagramı	66
Şekil 4.3. Kesir dereceli Lorenz sisteminin x-y durum değişkenleri benzetim sonuçları genel görünümü ..	67
Şekil 4.4 Kesir dereceli Lorenz sisteminin sırasıyla (a)x-y, (b)x-z ve (c) y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları	67
Şekil 4.5. Kesir dereceli Chen sisteminin LabVIEW RT Main ortamındaki analog çıkışlı blok diyagramı	68
Şekil 4.6. dereceli Lorenz sisteminin LabVIEW FPGA Main kısmındaki analog çıkışlı blok diyagramı...	68
Şekil 4.7. Kesir dereceli Chen sisteminin x-y durum değişkenleri benzetim sonuçları genel görünümü....	69
Şekil 4.8. Kesir dereceli Chen sisteminin sırasıyla (a)x-y, (b)x-z ve (c) y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları	69
Şekil 4.9. Kesir dereceli Lü sisteminin LabVIEW ortamındaki analog çıkışlı blok diyagramı.....	70
Şekil 4.10. Kesir dereceli Lorenz sisteminin LabVIEW FPGA Main kısmındaki analog çıkışlı blok	70
Şekil 4.11. Kesir dereceli Lü sisteminin x-y durum değişkenleri benzetim sonuçları genel görünümü.....	71

Şekil 4.12 Kesir dereceli Lü sisteminin sırasıyla (a)x-y, (b)x-z ve (c) y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları	71
Şekil 4.13. Kesir dereceli Rössler sisteminin LabVIEW ortamındaki analog çıkışlı blok diyagramı.	72
Şekil 4.14 Kesir dereceli Lorenz sisteminin LabVIEW FPGA Main kısmındaki analog çıkışlı blok diyagramı.	72
Şekil 4.15. Kesir dereceli Rössler sisteminin x-y durum değişkenleri benzetim sonuçları genel.....	73
Şekil 4.16. Kesir dereceli Rössler sisteminin sırasıyla (a)x-y, (b)x-z ve (c) y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları	73
Şekil 4.17. Kesir dereceli Arneodo sisteminin LabVIEW ortamındaki analog çıkışlı blok diyagramı	74
Şekil 4.18. Kesir dereceli Lorenz sisteminin FPGA Main kısmındaki analog çıkışlı blok diyagramı	74
Şekil 4.19. Kesir dereceli Arneodo sisteminin x-y durum değişkenleri benzetim sonuçları genel görünümü.	75
Şekil 4.20. Kesir dereceli Arneodo sisteminin sırasıyla (a)x-y, (b)x-z ve (c) y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları	75
Şekil 4.21. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin LabVIEW ortamındaki analog çıkışlı blok diyagramı .	76
Şekil 4.22. Kesir dereceli Lorenz sisteminin FPGA Main kısmındaki analog çıkışlı blok diyagramı	76
Şekil 4.23. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin x-y durum değişkenleri benzetim sonuçları genel görünümü.....	77
Şekil 4.24. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin sırasıyla (a)x-y, (b)x-z ve (c) y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları verilmiştir	77

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Kesir dereceli Lorenz sisteminin farklı kesirli dereceler ile Lyapunov üstelleri.....	14
Tablo 3.2. Kesir dereceli Chen sisteminin farklı kesirli dereceler ile Lyapunov üstelleri	19
Tablo 3.3. Kesir dereceli Lü sisteminin farklı kesirli dereceler ile Lyapunov üstelleri	24
Tablo 3.4. Kesir dereceli Rössler sisteminin farklı kesirli dereceler ile Lyapunov üstelleri	29
Tablo 3.5. Kesir dereceli Arneodo sisteminin farklı kesirli dereceler ile Lyapunov üstelleri	34
Tablo 3.6. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin farklı kesirli dereceler ile Lyapunov üstelleri.....	39

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

q	: Kesirli derece
$\Gamma(.)$	: Euler'in gama fonksiyonu

Kısaltmalar

FPGA	: Alanda programlanabilir kapı dizileri.
GS/s	: Saniyede 1 milyar örnekleme (1 Giga sample per second)
RT	: Gerçek Zamanlı (Real-Time)
RL	: Riemann-Liouville
Xor	: Özelveya Kapısı
Lye	: Lyapunov Üsteli

1. GİRİŞ

Kesirli hesaplama içinde türev veya integral bulunduran sistemlerin derecelerinin tam sayı yerine kesirli olarak alınarak hesaplama yapılan yöntemdir. Kesir dereceli hesaplama son yıllarda bulunan bir yöntem değildir, yaklaşık olarak matematiğin 300 yıllık konusudur. Kesir dereceli hesaplama, tam sayılı hesaplama yönteminin sahip olduğu eski bir geçmişi vardır fakat uzun bir süre bu hesaplama yöntemi üzerinde çalışmalar yapılmamıştır. Kesir dereceli hesaplamalar ilk olarak Leibniz ve L'Hopital'ın yarı kesirli hesaplamalardan bahsetmeleri ile başlanıldığı düşünülmektedir[1-2]. 1695 yılında Johann Bernoulli ve Leibniz arasındaki bir yazışmada derecenin türevinden bahsedilmiştir. 1700-1900 yılları arasında J.L. Lagrange, P.S. Laplace, S.F. Lacroix, J.B.J Fourier, N.H. Liouville, A.K. Grünwald, G.F.B. Riemann, A.V. Letnikov, O. Heaviside gibi araştırmacılar kesirli hesaplamalar ile ilgi çalışmalar yapmıştır. 1900-1970 döneminde, kesirli analiz konusuna başlıca katkıda bulunanlar; H.H. Hardy, S. Samko, H. Weyl, M. Riesz, S. Blair, vs'dir. 1970'den günümüze ise; J. Spanier, KB Oldham, B. Ross, K. Nishimoto, O. Marichev, A. Kilbas, HM Srivastava, R. Bagley, K.S. Miller, M. Caputo, I. Podlubny gibi birçok kişi bulunmaktadır[3-4].

Uzun zamandan beri bilinen bu hesaplama yöntemi son yirmi yıl öncesine kadar mühendislik hesaplamalarında uygulanabilirliği zor olduğundan çok fazla kullanılmadı. Ancak son yıllarda gelişen teknoloji ile beraber geliştirilen yüksek performanslı bilgisayarlar ve elektronik cihazlar ile kesir dereceli hesaplamaların kolayca yapılmasıyla kesir dereceli sistemler bilim adamlarının ilgisini çekmiş ve bu konuda yapılan çalışmalar son yıllarda daha da artmıştır[5-6]. Kesir dereceli hesaplama; botanik[7], biyoloji[8-9], ekonomi[10-11], dijital devreler[12], kontrol teorisi [13], elektromanyetik dalgalar[14], robotik uygulamaları[15], filtre tasarımları[16-17], biyomühendislik, fizik, kontrol sistemi, sinyal işleme, kimya, kaos teorisi, biyoloji ve fizyoloji[18] gibi birçok farklı bilim dallarındaki daha tutarlı sonuçlar verdiği için bu alanlarda çalışan araştırmacılar için çalışma konusu olmuştur.

Kaos teorisi, ilk olarak 1960'larda Lorenz tarafından oluşturulan bir sistem ile tanıtılan bir matematik dalıdır. Kaos kelimesi temel manada bir düzensizlik halini ifade etmekte kullanılır. Doğrusal olmayan sistemler mühendisler, fizikçiler ve matematikçiler için çok ilgi çekicidir çünkü çoğu gerçek fiziksel sistem doğası gereği doğrusal değildir. Doğrusal olmayan denklemlerin analitik yöntemlerle çözülmesi zordur ve çatlama ve kaos gibi ilginç olaylara yol açar. Basit doğrusal olmayan (veya parçalı doğrusal) dinamik sistemler bile, deterministik kaos denen, tamamen öngörülemeyen bir davranış sergileyebilir. Kaos teorisi çok şaşırtıcıdır çünkü kaos çok basit sistemler içinde de bulunabilir[19]. Kaos temel olarak birbirine çok yakın iki farklı başlangıç şartı için, iki yörüngenin zamanla üssel olarak ayrılmasıdır[20]. Kaos teorisi başlangıç koşullarına karşı çok yüksek hassaslık içeren dinamik sistemleri kapsar [21]. Bu başlangıç

koşullarındaki çok ufak değişikliklerin çok farklı sonuçlar doğurmasına kelebek etkisi denmektedir. Kaos teorisi son yıllarda giderek artan bir araştırma alanı olmuştur. Son zamanlarda, kesir dereceli kaotik sistemleri ile ilgili birçok araştırma yapılmaktadır. Kesir dereceli kaotik sistemler, kaotik davranışın kestiremezliğini arttırmakta ve parametrelerin uzayını genişletmektedir. Kaotik sistemler de ayrıca bilgi işlem, hesaplama, telekomünikasyon, mühendislik gibi birçok alanda kullanılmaktadır [22-25].

Kesir dereceli sistemler son zamanlarda aktif bir araştırma alanı haline gelmiştir. Bunun nedeni, aynı sistem yapısı için daha geniş çeşitlilikte cevaplar yaratan orantılı veya orantısız sistemlerin derecesine ekstra bir özellik katmasından kaynaklanmaktadır. Tamsayı ve kesir dereceli kaotik sistemlerin uygulamaları, iletişim ve şifreleme de dahil olmak üzere birçok alanda başarı ile kullanılmaktadır. Bu alanların başında kaotik sistemlerin kesir dereceli sistemler haline getirilerek oluşturulan yeni kaotik sistemler gelmektedir. Bu kesir dereceli sistemlerden bazıları; Lü [26], Chen [27], Chua [28], Liu [29] ve Rössler [30-32] sistemleridir. Bu araştırmalar sonucunda senkronize edilen kesir dereceli kaotik sistemler, güvenli iletişim ve kontrol sistemlerinde sahip olduğu potansiyel sayesinde çeşitli uygulamalarda kullanılmaya başlanıldı[33].

FPGA, iletken yollar ve programlanabilir anahtarlarla birbirine bağlanan çok sayıda programlanabilir mantık hücresine sahip genel amaçlı bir entegre devredir. Kapsamlı yapısı nedeniyle mikroişlemciler ve dijital sinyal işlemciler için uygulanabilir bir alternatif çözüm sunmaktadır. FPGA; gerçek zamanlı uygulama, uzun süreli kullanım, kısa sürede prototip tasarlama imkanı, sistemleri hızlı ve verimli bir şekilde geliştirme, düşük maliyetli test gibi birçok olanak sağlamaktadır. Bu yapının farklı türdeki sistemlere uygulanabilirlik imkânı çok fazla olduğu için mühendislik projelerinde sıkça kullanılmaktadır. FPGA'yı programlamak için geliştirilen uygulamalar içerisinde farklı projeler için kaynaklarda bulunmaktadır. Her bir projenin özel gereksinimleri için genel amaçlı bir platform sağlayan FPGA'ların farklı mühendislik projelerinde kullanılması büyük fayda sağlamaktadır. Ayrıca, FPGA'da bulunan kaynaklar tasarımcılara sistemlerin hata ayıklama ve kontrolünde yardımcı olmakta, herhangi bir mantık sinyalinin görüntüleme olanağı sağlamakta ve diğer farklı özelliklerin sistemlere eklenmesine imkân sağlamaktadır [34]. Kesirli dereceli sistemlerin donanımını yapmak yüksek hafıza gerektirdiği için zordur. FPGA teknolojisini böyle yüksek hafıza gerektiren karmaşık sistemlere uygulamak ise oldukça kolaydır. FPGA teknolojisi kullanılarak kesir dereceli sistemler için pratik ve verimli yöntemler geliştirebilir.

Bu çalışmada LabVIEW grafik programlama dili kullanılarak kesir dereceli sistemler oluşturulmuştur. Kesir dereli olarak oluşturulan bu sistemler ile görüntü şifreleme uygulaması yapılmıştır. Ayrıca kesir dereceli olarak oluşturulan kaotik sistemlerin gerçek zamanlı sonuçları osiloskop üzerinde elde edilmiştir. LabVIEW grafik programlama dili bazı yazı dizileri ile

oluşturulan programlamanın aksine semboller ile uygulama yapılan bir programlama dilidir. Kod ve fonksiyonlar görsel nesnelere ve veri akışına bağlı olarak düğümler ile blok diyagramlar oluşturularak yapılır. Buradaki birbirine bağlı düğümler uygulanacak kodların ve fonksiyonların sıralarını belirler. Burada bir düğüm noktasının girişine uygulanacak tüm fonksiyonlar gerçekleştikten sonra sırasıyla diğer düğüm noktalarına doğru programlama devam eder ve böylece programlama ile yapılan uygulamanın sonucu elde edilir.

Kesir dereceli sistemlerin sonuçlarını elde etmek için oluşturulan analog uygulamalar; devre elemanlarının sıcaklığa karşı duyarlı olması ve bu elemanların çabuk yıpranması gibi özelliklerinden dolayı analog olarak uygulanması zordur[35]. Kesir dereceli sistemler bilgisayar üzerindeki dijital programlama uygulamaları ile gerçek zamanlı sonuçları elde edilebilmektedir ve dijital platformlarda sıkça kullanılmaktadır. Bu platformlar ile elde edilen sonuçların aynı gerçek zamanlı sonuçları FPGA gibi gömülü sistem cihazları ile elde edilebilmektedir. Bu dijital uygulama belirtilen sorunların üstesinden gelmektedir. Ayrıca bu sistemler dijital uygulamalarda doğruluk ve entegrasyon imkanı gibi birçok avantaja sahiptir [36]. Kesir dereceli kaotik sistemlerin FPGA gibi gömülü sistem platformuna uygulanmasının nedeni, gömülü sistemler arasında veri şifreleme ve güvenli iletişim gibi uygulamalarda bir köprü işlevi görerek çeşitli projelerin gerçekleşmesine olanak sağlamasıdır. Kesir dereceli bazı kaotik sistemlerin FPGA platformu ile gerçek zamanlı sonuçları elde edilmiştir[37-49].

FPGA ile gerçek zamanlı yapılan kesir dereceli bu kaotik sistemler temel alınarak dijital filtreleme, güvenli haberleşme, ses şifreleme, görüntü şifreleme ve rastgele sayı üretme gibi bazı uygulamalar yapılmıştır. Yukarıda literatür taramasında bahsedilen çalışmalar çoğunlukla LabVIEW platformu dışında yapılmıştır. Bu tez çalışmasında çeşitli kaotik sistemlerin kesir dereceli kaotik bir yapıya dönüştürülmesi ve bunların FPGA üzerinden gerçek zamanlı sonuçlarının elde edilmesi işleminin tamamı grafik kodlama tabanlı bir algoritmaya sahip platformda gerçekleştirilmiştir [50].

2. KESİR DERECELİ HESAPLAMA

Kontrol sistemlerinde bulunan türev ve integralinin derecesinin tam sayı yerine kesirli olarak hesaplamaların yapılması kesirli hesaplamalar ile yapılır. Bu hesaplama yöntemi kullanılarak yapılan teori ve uygulamalar kesir dereceli kontrol olarak adlandırılır. Sürekli türev ve integral içeren temel gösterimi (2.1)'deki denklemde ifade edilmiştir. Burada a ve t uygulamanın limitini belirtmektedir.

$${}_aD_t^\alpha \triangleq \begin{cases} \frac{d^\alpha}{dt^\alpha} & R(\alpha) > 0, \\ 1 & R(\alpha) = 0, \\ \int_a^t (dt)^{-\alpha} & R(\alpha) < 0, \end{cases} \quad \alpha = \text{gerçek sayı} \quad (2.1)$$

2.1. Kesir Dereceli Denklemlerin Gösterimi

Kesir dereceli integral ve türev operatörü içeren denklemlerin genel olarak kullanılan 4 farklı gösterimi vardır.

2.1.1. Grunwald-Letnikov Tanımı

İlk denklem (2.2)'de belirtilmiş olan Grunwald- Letnikov denklemidir. Köşeli parantez ([]) ile yazılan kısım, $n-1 < \alpha < n$ şartını sağlayan bir tamsayı kısmıdır. Binom katsayısı (2.3)'teki denklemde belirtilmiştir. Euler'in gama fonksiyonu $\Gamma(\cdot)$ (2.4)'de belirtilmiştir.

$${}_aD_t^\alpha f(t) = \lim_{n \rightarrow 0} (h)^{-\alpha} \sum_{r=0}^{\frac{t-a}{h}} (-1)^r \begin{bmatrix} n \\ r \end{bmatrix} f(t - rh) \quad (2.2)$$

$$\begin{bmatrix} n \\ r \end{bmatrix} = \frac{\Gamma(n+1)}{\Gamma(r+1)\Gamma(n-r+1)} \quad (2.3)$$

$$\Gamma(x) = \int_0^\infty t^{x-1} e^{-t} dt \quad (2.4)$$

2.1.2. Riemann-Liouville Tanımı

İkinci olarak ise $n-1 < \alpha < n$ şartını sağlayan RL denklemi (2.5)'de belirtilmiştir.

$${}_a D_t^\alpha f(t) = \frac{1}{\Gamma(n-\alpha)} \left(\frac{d}{dt}\right)^n \int_a^t \frac{f(\tau)}{(t-\tau)^{\alpha-n+1}} d\tau \quad (2.5)$$

2.1.3. Cauchy Tanımı

Üçüncü olarak ise $n-1 < \alpha < n$ şartını sağlayan Cauchy denklemi denklem (2.6)'da belirtilmiştir.

$${}_a D_t^\alpha f(t) = \int_a^t f(\tau) \frac{(t-\tau)^{-\alpha-1}}{\Gamma(-\alpha)} d\tau \quad (2.6)$$

2.1.4. Caputo Tanımı

Dördüncü olan denklem ise Caputo tanımıdır ve denklem (2.7) de gösterilmiştir. Kesirli analiz literatüründe, kesirli türevin Caputo tanımı yaygın olarak kabul edilmektedir. Bunun nedeni, tam sayılı türevin bazı ortak özelliklerine uymasıdır. Denklem $n-1 < \alpha < n$ şartını sağlar ve n bir tamsayıdır.

$${}_a^C D_t^\alpha f(t) = \frac{1}{\Gamma(n-\alpha)} \int_a^t (t-\tau)^{n-\alpha-1} f^{(n)}(\tau) d\tau \quad (2.7)$$

Caputo tanımının Laplace denklemi denklem (2.8)'de gösterilmiştir.

$$\mathcal{L}\{{}_a^C D_t^\alpha f(t)\} = s^\alpha F(s) - \sum_{r=0}^{n-1} (s)^{\alpha-r-1} D^r f(0) \quad (2.8)$$

Eğer başlangıç koşullarını sıfır olarak kabul edersek bu formül denklem (2.9)'da gösterildiği şekilde sadeleşir.

$$\mathcal{L} [D^\alpha f(t)] = s^\alpha F(s) \quad (2.9)$$

Bundan dolayı kesirli integral operatörünün derecesi olan “ α ” frekans domeninde transfer fonksiyonu olarak $F(s) = \frac{1}{s^\alpha}$ şeklinde tanımlanır.

Kesirli türev ve kesirli integralin fiziksel geometrik yorumlanmasını Podlubny'nin çalışmasında yapılmıştır [51].

2.2. Kesir Dereceli Türev Operatörünün Tam Sayılı Yaklaşım Yöntemleri

Bu çalışmada kesir dereceli integralin derecesini hesaplamak için tam sayılı yaklaşım yöntemi kullanılmıştır. Tam sayılı yaklaşım yöntemi, kesirli derecenin yaklaşık olarak tam sayılı transfer fonksiyonu elde edilerek oluşturulan bir yöntemdir. Bu konuda birçok farklı hesaplama yöntemi vardır.

2.2.1. SBL Eşleştirme Yöntemi İle Yaklaşım Yöntemi

F.N. Deniz ve arkadaşları [52] Matlab ortamında hazırlamış oldukları M_SBL fonksiyonu ile kesir dereceli türev operatörünün tam sayılı karşılığı olan transfer fonksiyonunu üreten bir program geliştirilmiştir. Bu program içerisinde α kesirli türev operatörünün derecesini belirtmektedir ve bu α değerini istenilen şekilde değiştirerek kesirli hesaplamanın tam sayılı karşılığı elde edilebilir. Örnek olarak bu yöntem ile türev derecesi $\alpha=0.9$ kesirli olarak alınan tam sayılı yaklaşım transferi denklem (2.10)' de verilmiştir.

$$s^a = \frac{235.6s^3 + 1132 s^2 + 305.5 s + 1}{s^3 + 305.5 s^2 + 1132 s + 235.6} \quad (2.10)$$

2.2.2. Ninteger Uygulaması

D. Valério Matlab programı ortamında geliştirdiği uygulama [53] ile Crone, Carlson, Matsuda yaklaşım yöntemleri gibi en çok kullanılan yöntemler ile kesir dereceli türev operatörünün tam sayılı transfer fonksiyonu karşılığını vermektedir.

CRONE Yaklaşım Yöntemi

Crone yaklaşım yöntemi ile Matlab'da Ninteger araç kutusu tarafından $k * s^v$ kesir dereceli türev operatörünün tam sayılı transfer fonksiyonunun karşılığını elde etmek için kullanılan Matlab kodu Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Şekil 2.2'de Crone yönteminden elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

```

1 -   clc
2 -   clear all
3 -   k=1;
4 -   v=0.9;
5 -   Ts=1;
6 -   n=5;
7 -   bandwidth=[0.01:0.01:100];
8 -   formula = 'crone';
9 -   expansion='cfe';
10 -  decomposition='frac'
11 -  C = nid(k, v, bandwidth, n, formula, expansion, decomposition)

```

Şekil 2.1. Crone yaklaşım yönteminin Matlab ekran görüntüsü.

```

Command Window

s^5 + 0.06772 s^4 + 0.001817 s^3 + 2.414e-05 s^2 + 1.588e-07 s + 4.141e-10
-----
s^5 + 0.07671 s^4 + 0.002331 s^3 + 3.509e-05 s^2 + 2.616e-07 s + 7.726e-10

Continuous-time transfer function.

```

Şekil 2.2. Crone yaklaşım yönteminin sonuçlarının Matlab ekran görüntüsü

Carlson Yaklaşım Yöntemi

Carlson yaklaşım yöntemi ile Matlab'da Ninteger araç kutusu tarafından $k * s^v$ kesir dereceli türev operatörünün tam sayılı transfer fonksiyonunun karşılığını elde etmek için kullanılan Matlab kodu Şekil 2.3'de gösterilmiştir. Şekil 2.4'de Carlson yönteminden elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

```

1 -   clc
2 -   clear all
3 -   k=1;
4 -   v=0.9;
5 -   Ts=1;
6 -   n=5;
7 -   bandwidth=[0.01:0.01:100];
8 -   formula = 'carlson';
9 -   expansion='cfe';
10 -  decomposition='frac'
11 -  C = nid(k, v, bandwidth, n, formula, expansion, decomposition)

```

Şekil 2.3. Carlson yaklaşım yönteminin Matlab ekran görüntüsü

```

Command Window

      9 s^6 + 1.952 s^5 + 0.1422 s^4 + 0.004378 s^3 + 5.404e-05 s^2 + 1.867e-07 s + 7.2e-11
-----
      8.233 s^6 + 4.89 s^5 + 0.5779 s^4 + 0.0271 s^3 + 0.0005424 s^2 + 3.772e-06 s + 5.335e-09

Continuous-time transfer function.

```

Şekil 2.4. Carlson yaklaşım yönteminin sonuçlarının Matlab ekran görüntüsü

Matsuda Yaklaşım Yöntemi

Matsuda yaklaşım yöntemi ile Matlab'da Ninteger araç kutusu tarafından $k * s^v$ kesir dereceli türev operatörünün tam sayılı transfer fonksiyonunun karşılığını elde etmek için kullanılan Matlab kodu Şekil 2.5'de gösterilmiştir. Şekil 2.6'da Matsuda yönteminden elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

```

1 - clc
2 - clear all
3 - k=1;
4 - v=0.9;
5 - Ts=1;
6 - n=4;
7 - bandwidth=[0.01:0.01:100];
8 - formula = 'matsuda';
9 - expansion='cfe';
10 - decomposition='frac'
11 - C = nid(k, v, bandwidth, n, formula, expansion, decomposition)

```

Şekil 2.5. Matsuda yaklaşım yönteminin Matlab ekran görüntüsü

```

Command Window

      1.099 s^2 + 0.01801 s + 4.33e-06
-----
      s^2 + 0.832 s + 0.01015

Continuous-time transfer function.

```

Şekil 2.6. Matsuda yaklaşım yönteminin sonuçlarının Matlab ekran görüntüsü

3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde 6 tane birbirinden farklı kaotik sistemlerin kesir dereceli denklemleri oluşturulmuştur. Kesir dereceli olarak oluşturulan bu denklemlerden benzetim sonuçları elde edilmiştir. Daha sonra kesir dereceli sistemlerden yararlanılarak bir görüntü şifreleme uygulaması yapılmıştır. Son olarak kesir dereceli sistemlerin gerçek zamanlı uygulamaları yapılmıştır. Bu bölümde ayrıca kesir dereceli sistemlerin gerçek zamanlı uygulamaları FPGA platformu ile gerçekleştirilip, osiloskop üzerinden çıkış sonuçları oluşturmak için kullanılan program, araç ve yöntemlerden bahsedilmiştir.

3.1. Kesir dereceli Kaotik Sistemler

20.Yüzyılın ikinci yarısının ortalarında bilime yeni bir terim olan kaos kelimesi eklenmiştir. Kaos terimi bilim dünyasında düzensiz ve rastgele davranış sergileyen sistemler için kullanılmaya başlanmıştır. Başlangıçta birbirine çok yakın olan sistemin iki yörüngesinin zamanla birbirinden farklılaşması bir kaotik sistemin en temel özelliğidir. Kaotik sistemler olasılıksal yöntemlere başvurulmadan sistemlerin kararsızlıklarını tanımlamada yeni bir yöntem olarak araştırmacılara kolaylık sağlamaktadır. Kaotik sistemler belli bir zaman aralığı içinde kararsızlık durumu göstermesinden dolayı kaotik modeller sadece belli zaman araklılarında iyi bir tanımlama yapılması için kullanılmaktadır.

Kaotik sistemler doğrusal olmayan sistemler olduğundan dolayı doğrusal olmayan matematik modelleri ile ifade edilir. Bu kaotik sistemlerin modelleri sayesinde kaotik sistemin benzetimi yapılarak görsel olarak da bu kaotik sistemin gözlemlenmesi sağlanır. Kaotik sistem modellerinin parametreleri sayesinde karmaşık olan bir davranış çok küçük sayılar ile tanımlanabilir ve bu özelliğinden dolayı birçok mühendislik araştırmalarında kaotik sistem modellerinden faydalanılır. Bu bölümde araştırmalarda en çok kullanılan kaotik sistem modelleri oluşturularak benzetimi yapılmıştır. Birçok çalışmada kaotik sistemlerin tam sayı dereceli modelleri kullanılmaktadır. Yapılan birçok çalışmada kesir dereceli modeli kullanılan kaotik sistemlerin, tam sayı dereceli kaotik sistemlere göre daha etkili ve daha kullanışlı olduğu gözlemlenmiştir. Aşağıdaki başlıklar tam sayı dereceli kaotik sistemlerin, kesirli modelleri tanımlanmıştır. Oluşturulan modellerin kesir derecesi küçültülerek sistemi sağlayan en küçük kesirli derece benzetimler ile gösterilmiştir

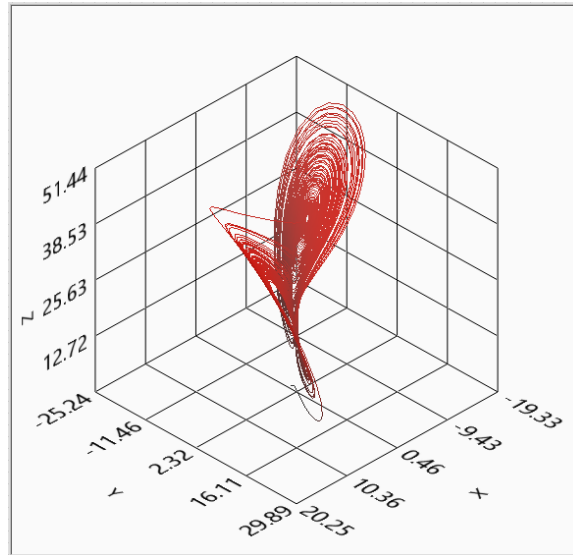
3.1.1. Kesir Dereceli Lorenz Kaotik Sistemi

Lorenz kaotik sistemine ait durum uzay denklemleri (3.1)'de gösterilmiştir [54]. Lorenz ,kaotik sistemlerde başlangıç koşullarının hassas bir etkiye sahip olduğunu ifade eden kelebek

etkisi terimini kullanan ilk kişidir. Lorenz 1979 yılında ‘Öngörülebilirlik’ adında bir çalışma yayınlamıştır ve bu çalışmasında şu soruyu sormuştur: Brezilya’daki bir kelebeğin kanat çırpması Texas’da bir hortuma sebep olabilir mi? Dinamik sistemlerin başlangıç koşullarındaki küçük değişimlerin uzun bir süre sonra sistemin sonuçlarına etkisi çok büyük olur mu? Bu soruyu sorarak; bir kelebeğin kanat çırpmasının atmosferde oluşturduğu değişiklik başka bir bölgede hortum oluşturur veya oluşacak bu hortumu durdurur, ifadesine atıfta bulunmuştur. Buradaki kelebeğin kanat çırpması sistemdeki çok küçük değişikliklerin uzun süren olaylar zincirinden sonra çok büyük sonuçlara yol açmasını ifade etmektedir [18].

$$\begin{aligned}\frac{dx(t)}{dt} &= \sigma(y(t) - x(t)), \\ \frac{dy(t)}{dt} &= x(t)(\rho - z(t)) - (y(t)), \\ \frac{dz(t)}{dt} &= x(t)y(t) - \beta z(t)\end{aligned}\tag{3.1}$$

Verilen (3.1) denkleminde x, y, z, t reel değerler alan değişkenlerdir ve σ, ρ, β ise pozitif reel katsayılardır. Genel olarak bu sistemdeki bu katsayıların değerleri $\sigma=10, \rho>25, \beta=8/3$ olarak alınır. Başlangıç koşulları $(x(0), y(0), z(0)) = (0.5, -0.5, 0.5)$ ve katsayı değerleri $\sigma=10, \rho>25, \beta=8/3$ alınarak oluşturulan kaotik sistemin 100 saniye sonucunda oluşan 3D benzetimi şekil 3.1’de gösterilmiştir



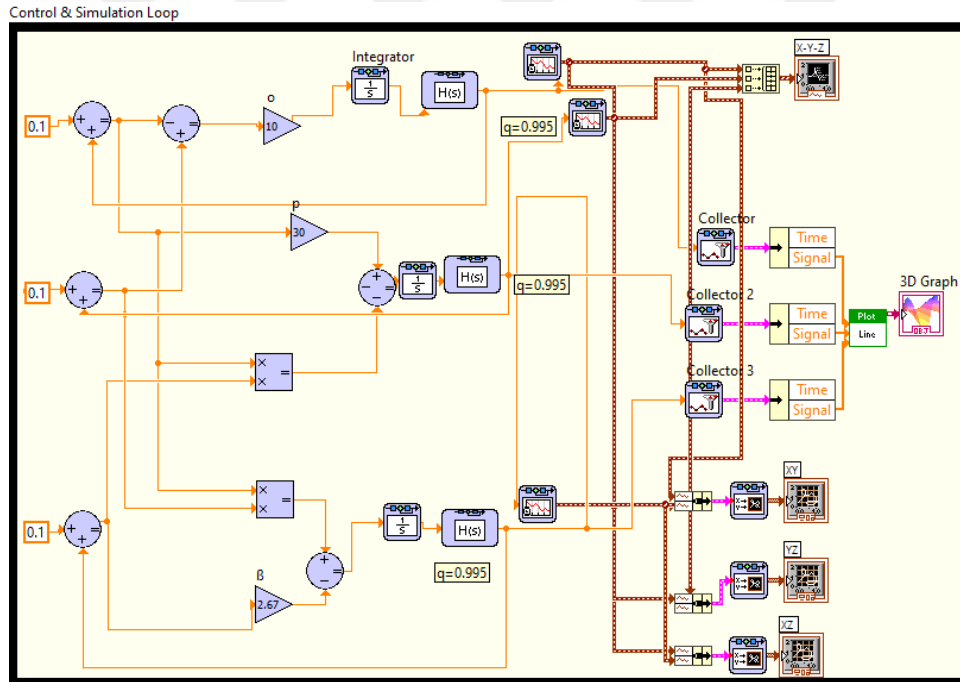
Şekil 3.1. Lorenz sisteminin üç boyutlu benzetim sonuçları

Kesir dereceli Lorenz sistemi [55] denklem (3.2)’de gösterilmiştir

$$\begin{aligned}
{}_0D_t^{q_1}x(t) &= \sigma(y(t) - x(t)), \\
{}_0D_t^{q_2}y(t) &= x(t)(\rho - z(t)) - (y(t)), \\
{}_0D_t^{q_3}z(t) &= x(t)y(t) - \beta z(t)
\end{aligned} \tag{3.2}$$

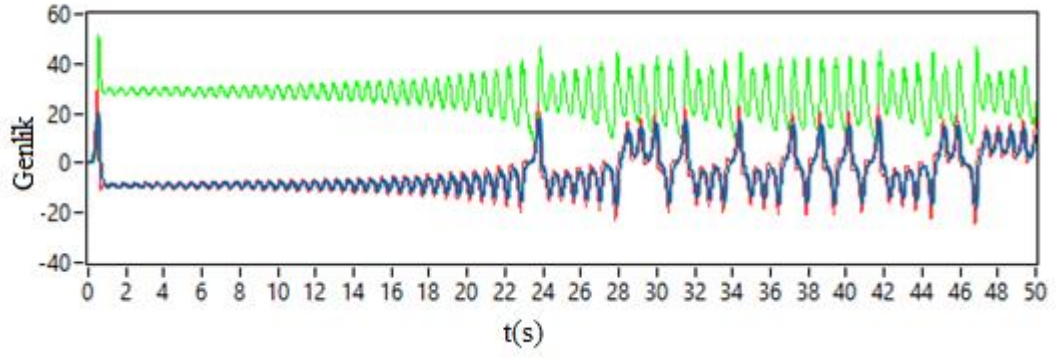
Bu denklemde q_1, q_2, q_3 türevin kesirli derecesini ifade etmektedir ve $(0 < q_1 < 1)$, $(0 < q_2 < 1)$, $(0 < q_3 < 1)$ şartlarını sağlamaktadır.

Şekil 3.2’de LabVIEW ortamında oluşturulan kesir dereceli Lorenz sisteminin blok diyagramı gösterilmektedir. Kesir dereceli bu sistem tam sayılı sisteme kesirli türevin yaklaşık olarak tam sayılı karşılığı olan transfer fonksiyonu eklenerek oluşturulmuştur. Başlangıç koşulları $(x(0), y(0), z(0)) = (0.1, 0.1, 0.1)$, katsayı değerleri $\sigma=10$, $\rho=30$, $\beta=2.67$ ve kesir dereceli türevin dereceleri $q_1 = 0.995$, $q_2 = 0.995$, $q_3 = 0.995$ değerleri alınarak oluşturulan kaotik sistemin 100 saniye sonucunda oluşan benzetim sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Şekil 3.3’de x, y, z durum değişkenlerinin zamana göre sonuçları verilmiştir. Şekil 3.4’de x-y, Şekil 3.5’de x-z, Şekil 3.6’da y-z durum değişkenlerine göre çekiciler çizdirilmiştir.

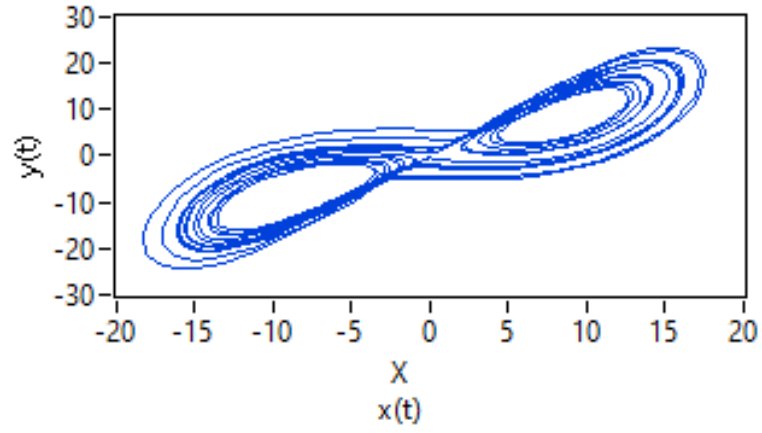


Şekil 3.2. Kesir dereceli Lorenz sisteminin LabVIEW ortamındaki blok diyagramı

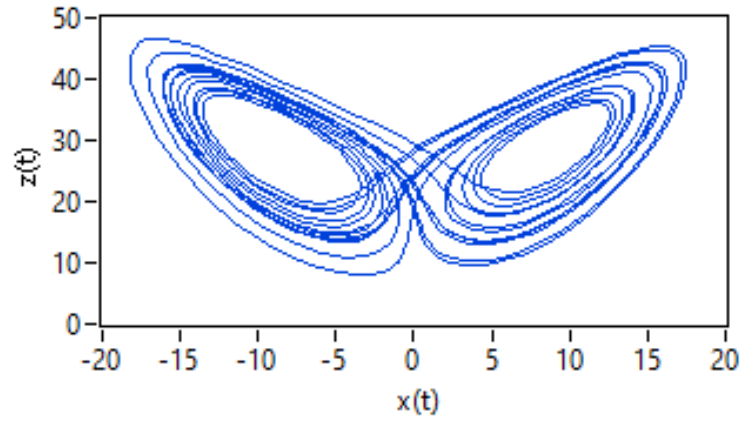
X-Y-Z



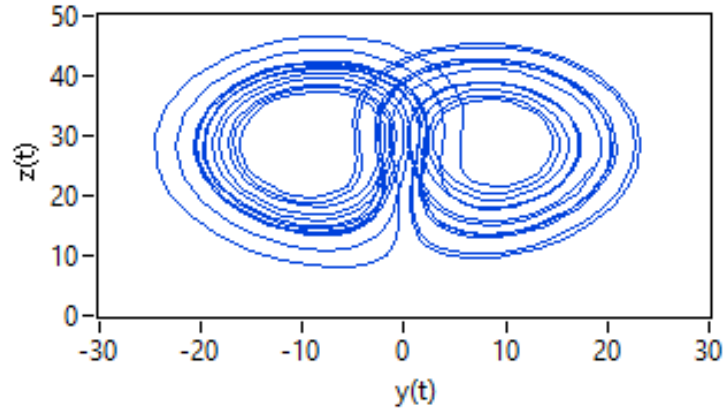
Şekil 3.3. Kesir dereceli Lorenz sisteminin x-y-z değişkenleri benzetim sonuçları



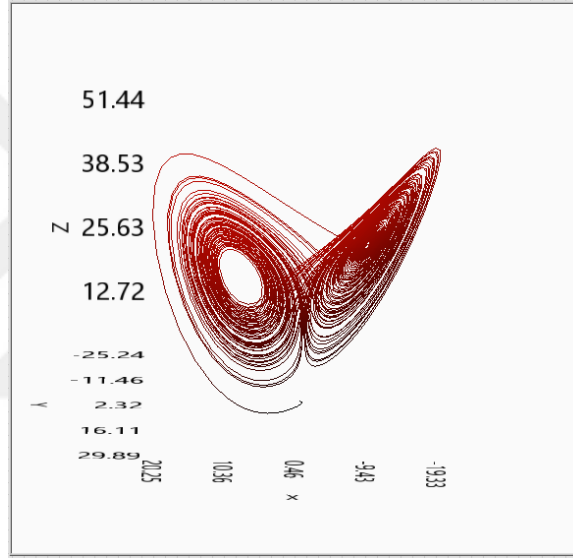
Şekil 3.4. Kesir dereceli Lorenz sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.995$ ile (x-y)benzetim sonuçları



Şekil 3.5. Kesir dereceli Lorenz sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.995$ ile (x-z)benzetim sonuçları

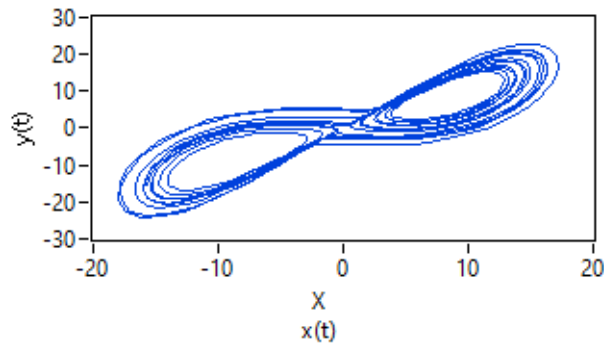


Şekil 3.6. Kesir dereceli Lorenz sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.995$ ile (y-z)benzetim sonuçları

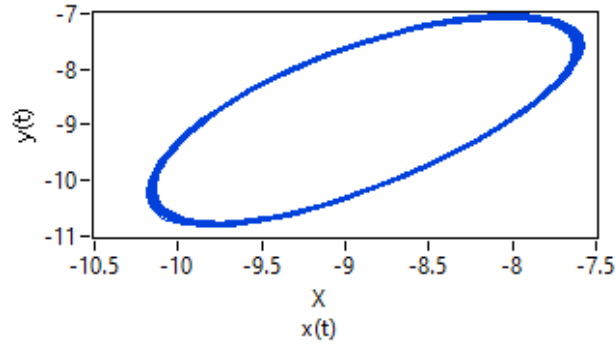


Şekil 3.7. Kesir dereceli Lorenz sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.995$ üç boyutlu benzetim sonucu.

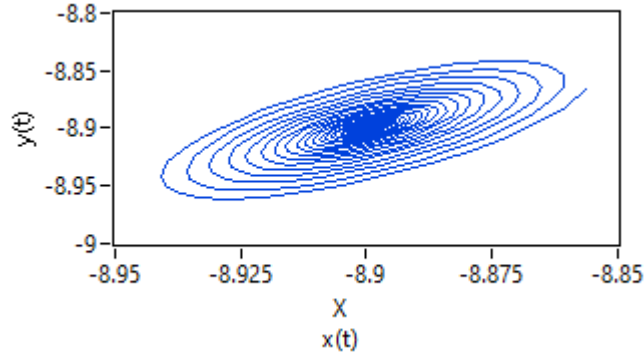
Şekil 3.8, 3.9 ve 3.10'da sırasıyla kesirli derece azaltılarak elde edilen benzetim sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Kesir dereceli Lorenz sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.99$ ile (x-y)benzetim sonuçları.



Şekil 3.9. Kesir dereceli Lorenz sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.98$ ile (x-y)benzetim sonuçları



Şekil 3.10. Kesir dereceli Lorenz sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.95$ ile (x-y) benzetim sonuçları

Tablo 3.1’de kesir dereceli Lorenz sisteminin farklı kesirli dereceler ile elde edilen Lyapunov üstelleri gösterilmektedir. Sistemin farklı kesirli derece değerleri ile kaotik davranış özelliği sergileyip sergilemediğini denetlemek için Lyapunov üstelleri kullanılmıştır. Kesir dereceli kaotik sistemlerin Lyapunov üstellerini bulmak için Matlab ortamında N.V. Kuznetsov ve M. Danca tarafından geliştirilen uygulama kullanılmıştır [73].

Tablo 3.1. Kesir dereceli Lorenz sisteminin farklı kesirli dereceler ile Lyapunov üstelleri

q	Ly1	Ly2	Ly3
0.99	0.0182	-1.2592	-1.6391
0.98	1.5303	-0.0004	-1.5895
0.95	-0.2409	-0.2666	-1.4525
0.94	-0.7560	-0.7816	-1.4128

Örnek olarak 0.99 kesir dereceli Lorenz sisteminin Lyapunov üstelleri; $LE=FO_Lyapunov(3,@LE_FO_RF,0,5,300,[0.1;0.1;0.1],0.001,0.99,10);$ Matlab kodu kullanılarak elde edilmiştir. Sistem içerisinde pozitif Lyapunov değeri bulunması sistemin kaotik özellikte olduğunu gösterir. Tablo 3.1’de kesirli derecenin $q=0.95$ alındığında sistemin tüm

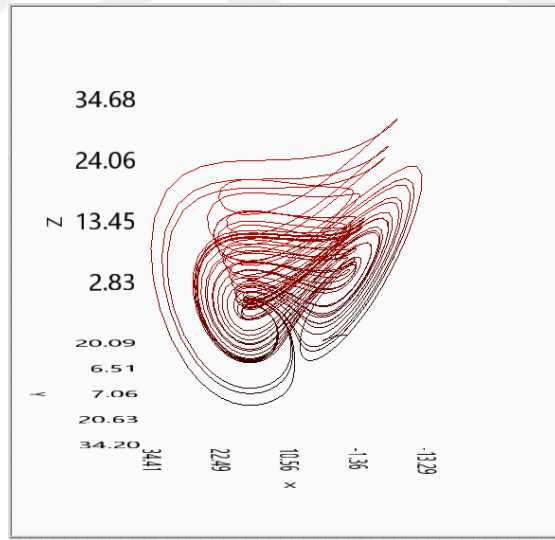
Lypunov değerleri negatiftir. Bu da gösteriyor ki sistemin türev operatörünün kesirli derecesi 0.95 ve 0.95'den aşağı olması durumunda sistem kaotik davranış sergilememektedir.

3.1.2. Kesir Dereceli Chen Kaotik Sistemi

Kaotik özellik gösteren başka bir sistem olan Chen sistemi durum uzay denklemleri [56] denklem (3.3)'de tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned}\frac{dx(t)}{dt} &= \alpha(y(t) - x(t)), \\ \frac{dy(t)}{dt} &= (c - a)x(t) - x(t)z(t) + cy(t), \\ \frac{dz(t)}{dt} &= x(t)y(t) - bz(t)\end{aligned}\tag{3.3}$$

Verilen (3.3) denkleminde x, y, z, t reel değerler alan değişkenlerdir ve α, b, c ise pozitif reel katsayılardır. Bu sistemdeki bu katsayıların değerleri $\alpha=35, c=3, b=28$ olarak alındığında sistem kaotik özellik gösterir. Başlangıç koşulları $(x(0), y(0), z(0)) = (0.1, 0.1, 0.1)$ ve katsayı $\alpha=35, c=3, b=28$ olarak oluşturulan kaotik sistemin 25 saniye sonucunda oluşan 3D benzetimi şekil 3.11'de gösterilmiştir.



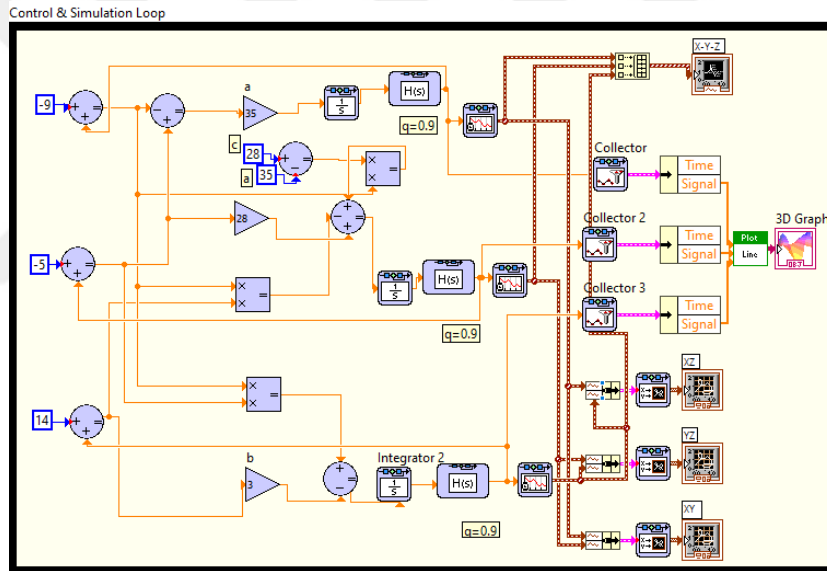
Şekil 3.11. Chen sisteminin üç boyutlu benzetim sonuçları.

Kesir dereceli Chen sistemi [57] denklen (3.4)'de gösterilmiştir.

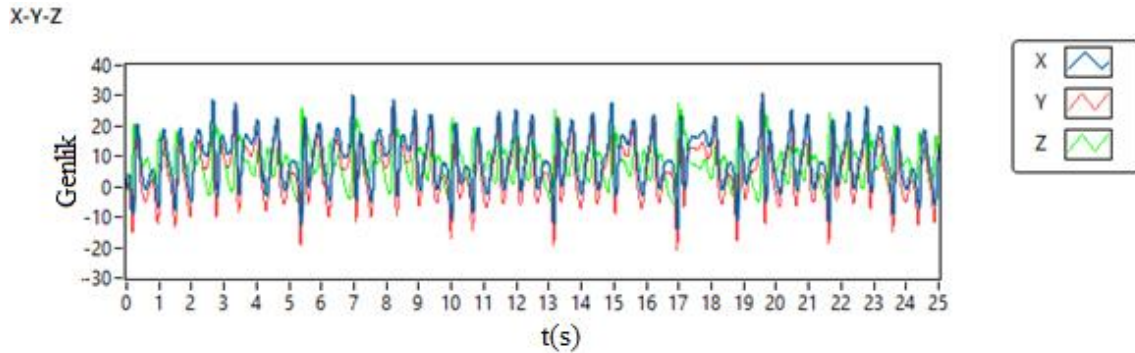
$$\begin{aligned}_0D_t^{q1}x(t) &= \alpha(y(t) - x(t)), \\ _0D_t^{q1}y(t) &= (c - a)x(t) - x(t)z(t) + cy(t), \\ _0D_t^{q1}z(t) &= x(t)y(t) - bz(t)\end{aligned}\tag{3.4}$$

Bu denklemde q_1, q_2, q_3 türevin kesirli derecesini ifade etmektedir ve $(0 < q_1 > 1)$, $(0 < q_2 > 1)$, $(0 < q_3 > 1)$ şartlarını sağlamaktadır.

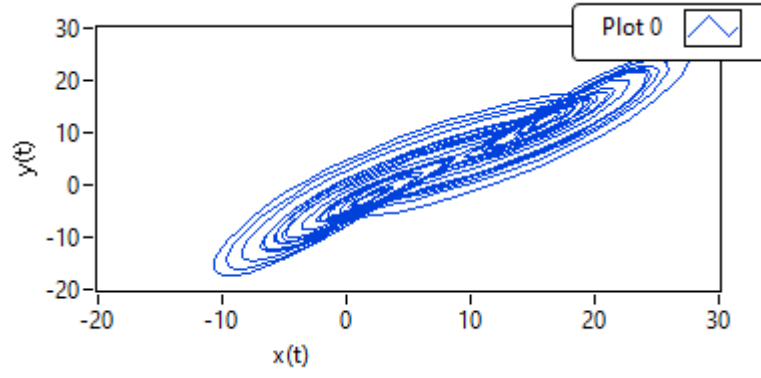
Şekil 3.12’de LabVIEW ortamda oluşturulan kesir dereceli Chen sisteminin blok diyagramının programı gösterilmektedir. Kesir dereceli bu sistem tam sayılı sisteme kesirli türevin yaklaşık olarak tam sayılı karşılığı olan transfer fonksiyonu eklenerek oluşturulmuştur. Başlangıç koşulları $(x(0), y(0), z(0)) = (-9, -5, 14)$, katsayı değerleri $\alpha = 35, c = 3, b = 28$ ve kesir dereceli türevin dereceleri $q_1 = 0.9, q_2 = 0.9, q_3 = 0.9$ değerleri alınarak oluşturulan kaotik sistemin 25 saniye sonucunda oluşan benzetim sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Şekil 3.13’de x, y, z durum değişkenlerinin zaman göre sonuçları verilmiştir. Şekil 3.14’de $x-y$, Şekil 3.15’de $x-z$, Şekil 3.16’da $y-z$ durum değişkenlerine göre çekiciler çizdirilmiştir. Kaotik sistemin 25 saniye sonucunda oluşan 3D benzetimi şekil 3.17’de gösterilmiştir.



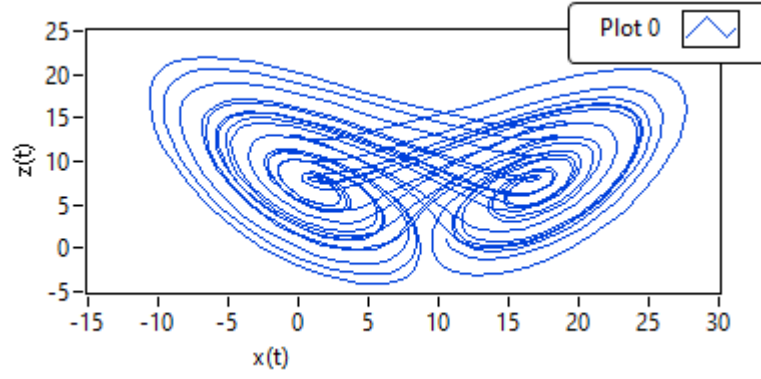
Şekil 3.12. Kesir dereceli Chen sisteminin LabVIEW ortamındaki blok diyagramı



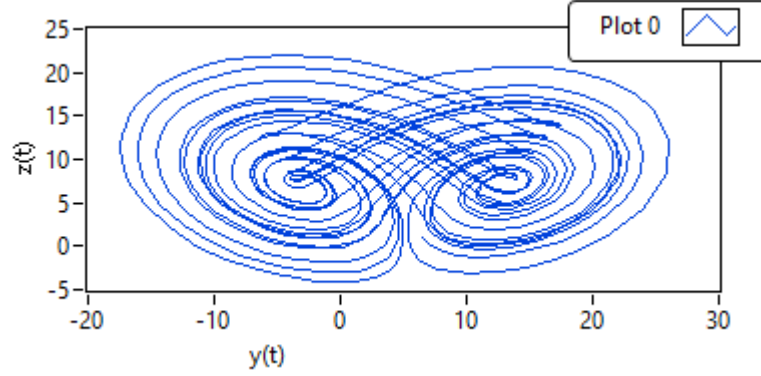
Şekil 3.13. Kesir dereceli Chen sisteminin $x-y-z$ değişkenleri benzetim sonuçları



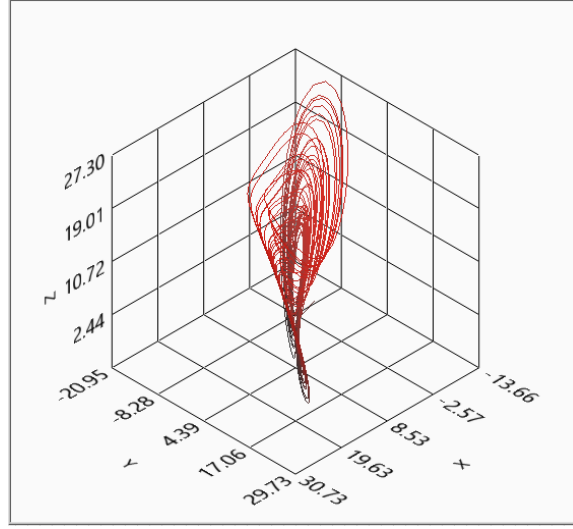
Şekil 3.14. Kesir dereceli Chen sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.9$ ile (x-y) benzetim sonuçları.



Şekil 3.15. Kesir dereceli Chen sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.9$ ile (x-z) benzetim sonuçları

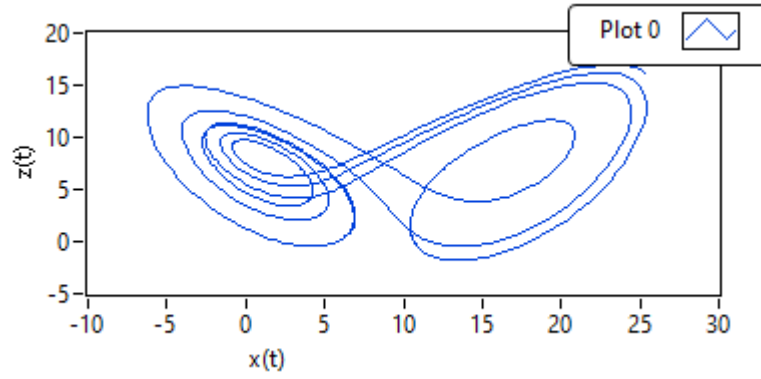


Şekil 3.16. Kesir dereceli Chen sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.995$ ile (y-z) benzetim sonuçları

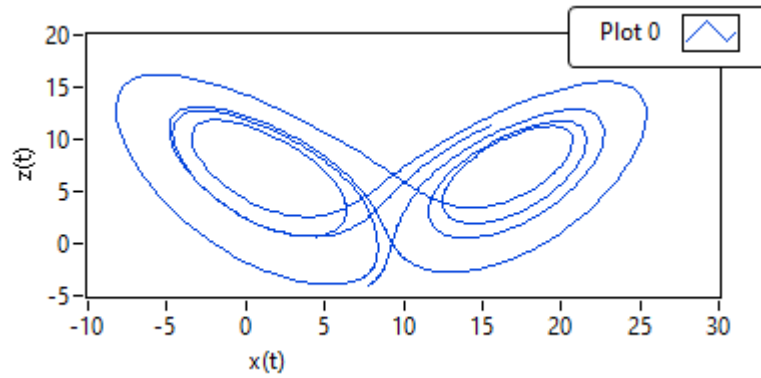


Şekil 3.17. Kesir dereceli Chen sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.9$ üç boyutlu benzetim sonucu.

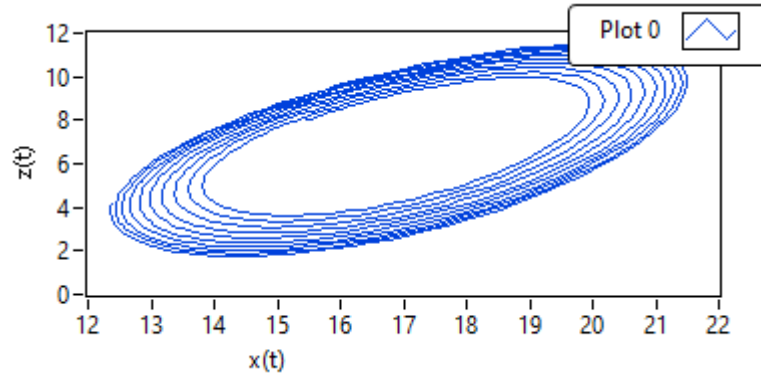
Şekil 3.18, 3.19 ve 3.20’de sırasıyla kesirli derece azaltılarak elde edilen benzetim sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 3.18. Kesir dereceli Chen sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.8$ ile (x-z) benzetim sonuçları



Şekil 3.19. Kesir dereceli Chen sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.75$ ile (x-z) benzetim sonuçları



Şekil 3.20. Kesir dereceli Chen sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.73$ ile (x-z) benzetim sonuçları.

Tablo 3.2’de kesir dereceli Chen sisteminin farklı kesirli dereceler ile elde edilen Lyapunov üstelleri gösterilmektedir. Sistemin farklı kesirli derece değerleri ile kaotik davranış özelliği sergileyip sergilemediğini denetlemek için Lyapunov üstelleri kullanılmıştır. Kesir dereceli kaotik sistemlerin Lyapunov üstellerini bulmak için Matlab ortamında N.V. Kuznetsov ve M. Danca tarafından geliştirilen uygulama kullanılmıştır [73].

Tablo 3.2. Kesir dereceli Chen sisteminin farklı kesirli dereceler ile Lyapunov üstelleri

q	Ly1	Ly2	Ly3
0.9	2.2787	-0.0253	-1.2952
0.85	2.4135	0.0160	-1.2026
0.8	-1.0772	-1.0739	-1.1412
0.75	-1.0466	-1.0480	-1.0791
0.73	-1.0238	-1.0255	-1.0566

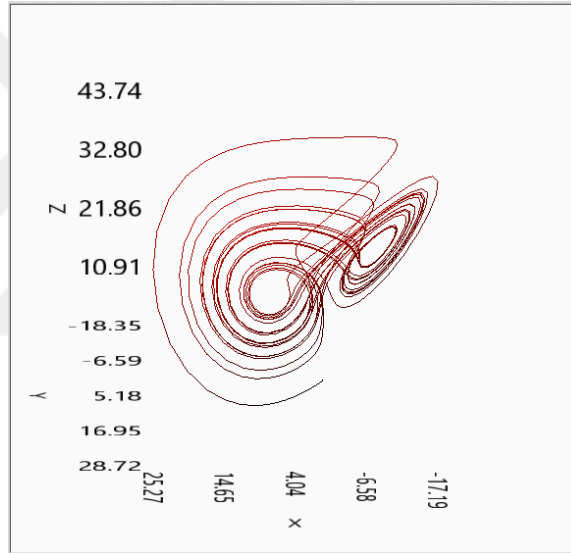
Örnek olarak 0.9 kesir dereceli Lorenz sisteminin Lyapunov üstelleri; `LE=FO_Lyapunov(3,@LE_FO_RF,0,5,300,[0.1;0.1;0.1],0.001,0.9,10);` Matlab kodu kullanılarak elde edilmiştir. Sistem içerisinde pozitif Lyapunov değeri bulunması sistemin kaotik özellikte olduğunu gösterir. Tablo 3.2’de kesirli derecenin $q=0.8$ alındığında sistemin tüm Lyapunov değerleri negatiftir. Bu da gösteriyor ki sistemin türev operatörünün kesirli derecesi 0.8 ve 0.8’den aşağı olması durumunda sistem kaotik davranış sergilememektedir.

3.1.3. Kesir Dereceli Lü Kaotik Sistemi

Kaotik özellik gösteren başka bir sistem olan Lü sistemi durum uzay denklemleri [58] denklem (3.5)’de tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned}
\frac{dx(t)}{dt} &= \alpha(y(t) - x(t)), \\
\frac{dy(t)}{dt} &= -x(t)z(t) + cy(t), \\
\frac{dz(t)}{dt} &= x(t)y(t) - bz(t)
\end{aligned} \tag{3.5}$$

Verilen (3.5) denkleminde x, y, z, t reel değerler alan değişkenlerdir ve α, c, b ise pozitif reel katsayılardır. Bu sistemdeki bu katsayıların değerleri $\alpha = 36, c = 3, b = 20$, olarak alındığında sistem kaotik özellik gösterir. Başlangıç koşulları $(x(0), y(0), z(0)) = (0.2, 0.2, 0.2)$ ve katsayı değerleri $\alpha = 35, c = 3, b = 28$ olarak oluşturulan kaotik sistemin 25 saniye sonucunda oluşan 3D benzetimi şekil 3.21’de gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Lü sisteminin üç boyutlu benzetim sonuçları

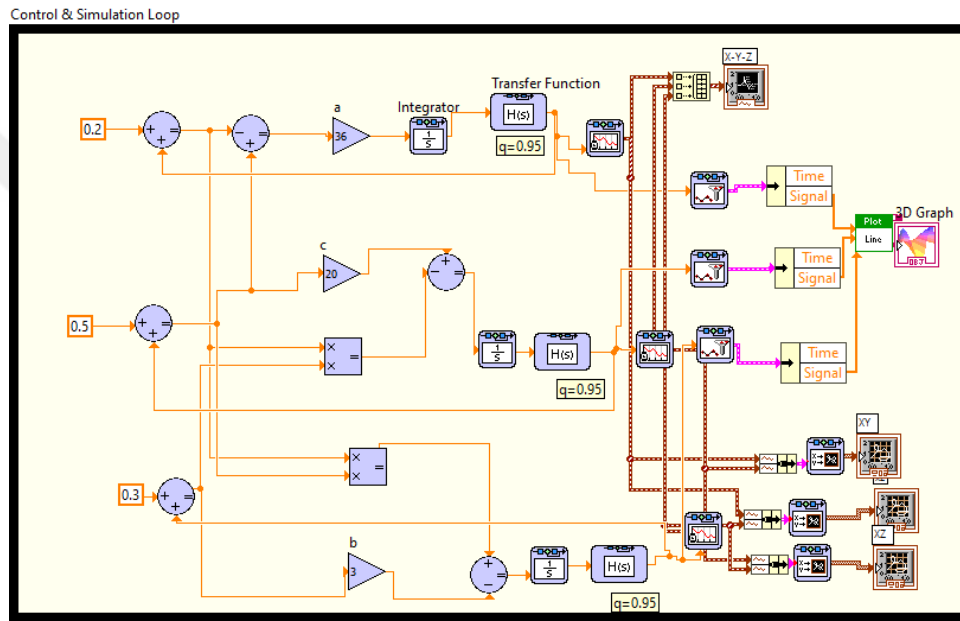
Kesir dereceli Lü sistemi [59] denklen (3.6)’de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}
{}_0D_t^{q_1}x(t) &= \alpha(y(t) - x(t)), \\
{}_0D_t^{q_1}y(t) &= -x(t)z(t) + cy(t), \\
{}_0D_t^{q_1}z(t) &= x(t)y(t) - bz(t)
\end{aligned} \tag{3.6}$$

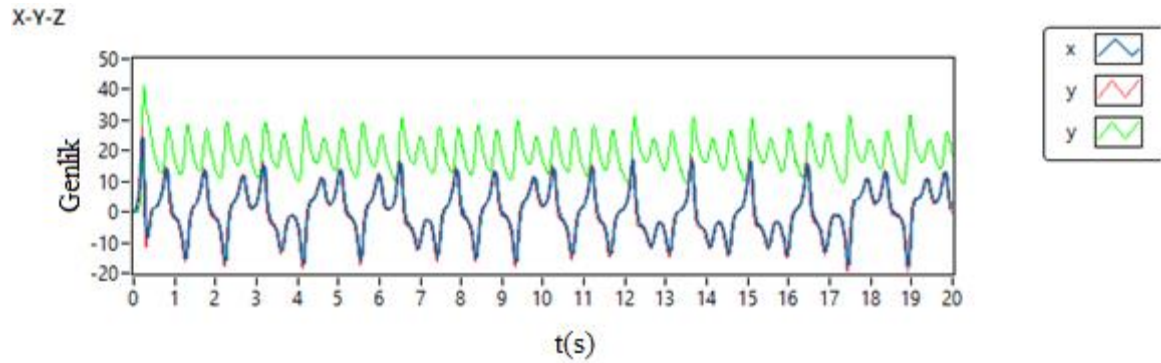
Bu denklemde q_1, q_2, q_3 türevin kesirli derecesini ifade etmektedir ve $(0 < q_1 < 1)$, $(0 < q_2 < 1)$, $(0 < q_3 < 1)$ şartlarını sağlamaktadır.

Şekil 3.22’de LabVIEW ortamında oluşturulan kesir dereceli Lü sisteminin blok diyagram programı gösterilmektedir. Kesir dereceli bu sistem tam sayılı sisteme kesirli türevin

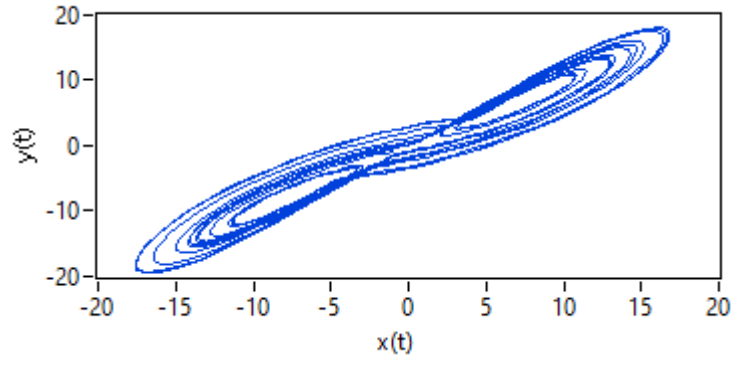
yaklaşık olarak tam sayılı karşılığı olan transfer fonksiyonu eklenerek oluşturulmuştur. Başlangıç koşulları $(x(0), y(0), z(0)) = (0.2, 0.5, 0.3)$, katsayı değerleri, $\alpha=36$, $c=3$, $b=20$ ve kesir dereceli türevin dereceleri $q_1 = 0.95$, $q_2 = 0.95$, $q_3 = 0.95$ değerleri alınarak oluşturulan kaotik sistemin 20 saniye sonucunda oluşan benzetim sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Şekil 3.23'de x , y , z durum değişkenlerinin zamana göre sonuçları verilmiştir. Şekil 3.24'de x - y durum değişkenlerine göre sonuçları verilmiştir. Şekil 3.25'de x - z durum değişkenlerine göre sonuçları verilmiştir. Şekil 3.26'da y - z durum değişkenlerine göre sonuçları verilmiştir. Kaotik sistemin 20 saniye sonucunda oluşan 3D benzetimi şekil 3.27'de gösterilmiştir.



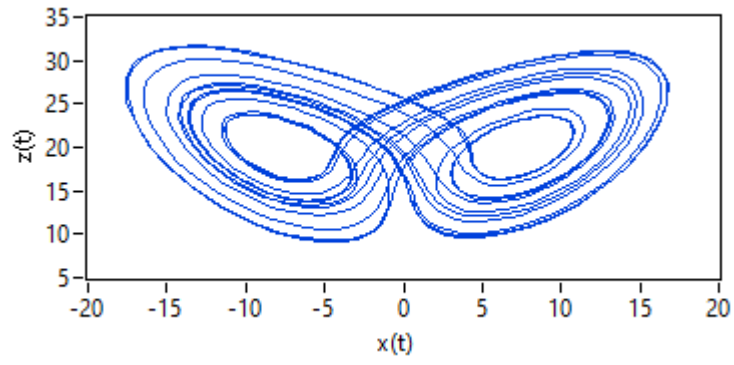
Şekil 3.22. Kesir dereceli Lü sisteminin LabVIEW ortamındaki blok diyagramı



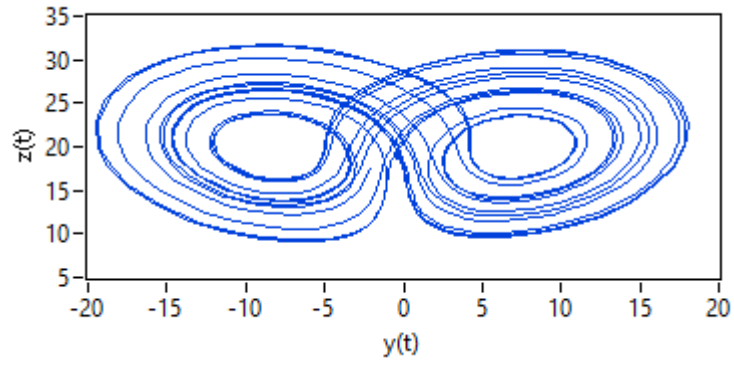
Şekil 3.23. Kesir dereceli Lü sisteminin x-y-z değişkenleri benzetim sonuçları



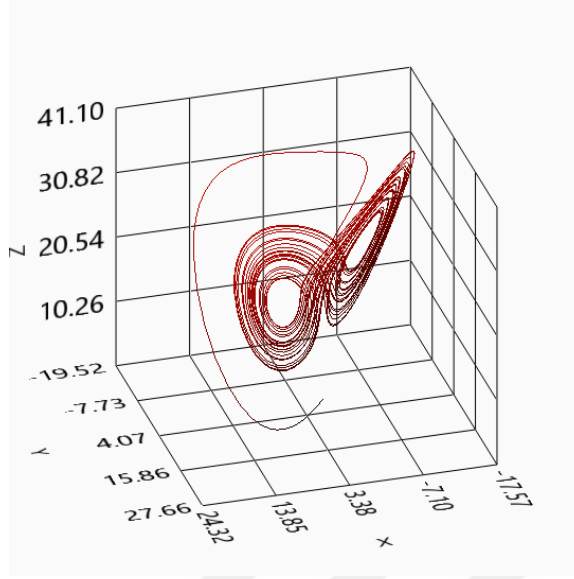
Şekil 3.24. Kesir dereceli Lü sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.95$ ile (x-y) benzetim sonuçları



Şekil 3.25. Kesir dereceli Lü sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.95$ ile (x-z) benzetim sonuçları

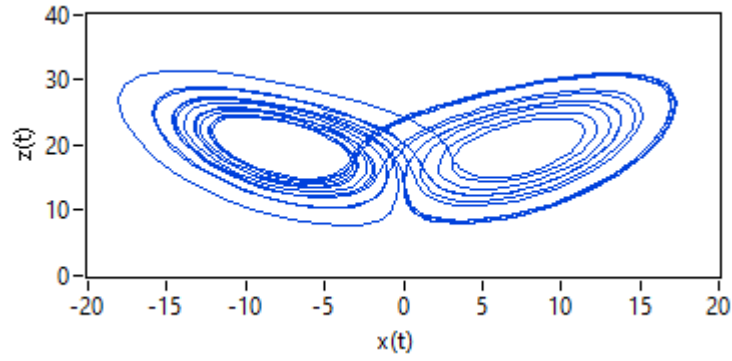


Şekil 3.26. Kesir dereceli Lü sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.95$ ile (y-z) benzetim sonuçları

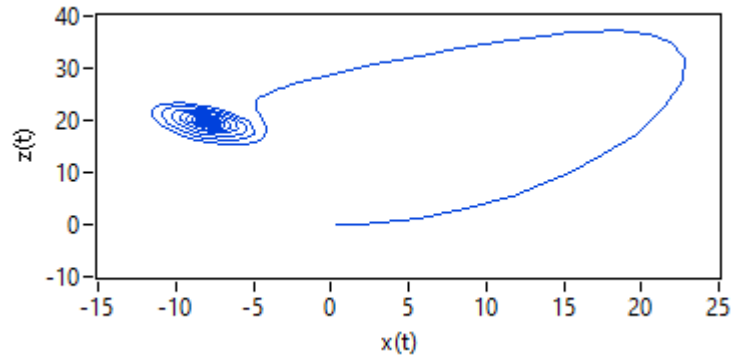


Şekil 3.27. Kesir dereceli Lü sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.95$ üç boyutlu benzetim sonucu.

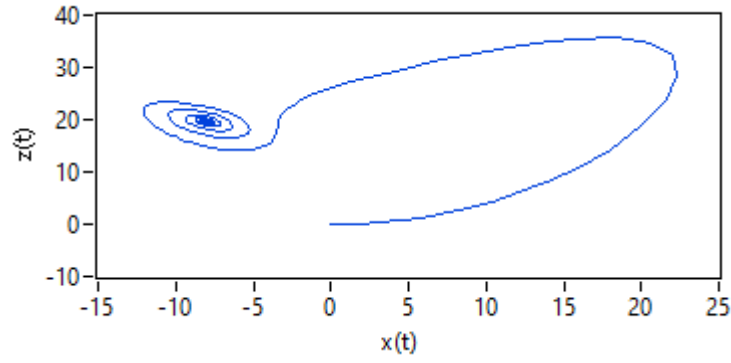
Şekil 3.28, 3.29 ve 3.30'da sırasıyla kesirli derece azaltılarak elde edilen benzetim sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 3.28. Kesir dereceli Lü sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.90$ ile (x-z) benzetim sonuçları



Şekil 3.29. Kesir dereceli Lü sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.85$ ile (x-z) benzetim sonuçları



Şekil 3.30. Kesir dereceli Lü sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.80$ ile (x-y) benzetim sonuçları

Tablo 3.3’de kesir dereceli Lü sisteminin farklı kesirli dereceler ile elde edilen Lyapunov üstelleri gösterilmektedir. Sistemin farklı kesirli derece değerleri ile kaotik davranış özelliği sergileyip sergilemediğini denetlemek için Lyapunov üstelleri kullanılmıştır. Kesir dereceli kaotik sistemlerin Lyapunov üstellerini bulmak için Matlab ortamında N.V. Kuznetsov ve M. Danca tarafından geliştirilen uygulama kullanılmıştır [73].

Tablo 3.3. Kesir dereceli Lü sisteminin farklı kesirli dereceler ile Lyapunov üstelleri

q	Ly1	Ly2	Ly3
0.90	0.0082	-0.9492 -	-1.2463
0.85	0.0037	-1.0145	-1.2357
0.80	0.0003	-0.9727	-1.2083

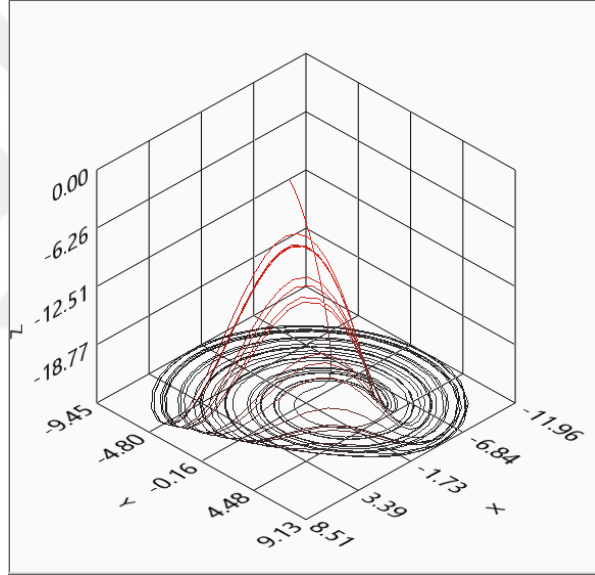
Örnek olarak 0.99 kesir dereceli Lü sisteminin Lyapunov üstelleri; `LE=FO_Lyapunov(3,@LE_FO_RF,0,5,200,[0.1;0.1;0.1],0.001,0.95,10);` Matlab kodu kullanılarak elde edilmiştir. Sistem içerisinde pozitif Lyapunov değeri bulunması sistemin kaotik özellikte olduğunu gösterir. Tablo 3.3’de kesirli derecenin $q=0.75$ alındığında sistemin tüm Lyapunov değerleri negatiftir. Bu da gösteriyor ki sistemin türev operatörünün kesirli derecesi 0.75 ve 0.75’den aşağı olması durumunda sistem kaotik davranış sergilememektedir.

3.1.4. Kesir Dereceli Rössler Kaotik Sistemi

Kaotik özellik gösteren başka bir sistem olan Rössler sistemi durum uzay denklemleri [60] denklem (3.7)’de tanımlanmıştır. Rössler sistemi kaotik sistemler arasında hakkında en çok araştırma yapılan ve yapılmaya devam edilen sistemlerden bir tanesidir[61].

$$\begin{aligned}
\frac{dx(t)}{dt} &= -(y(t) + z(t)), \\
\frac{dy(t)}{dt} &= x(t) + ay(t), \\
\frac{dz(t)}{dt} &= b + z(t)(x(t) - c)
\end{aligned}
\tag{3.7}$$

Verilen (3.7) denkleminde x, y, z, t reel değerler alan değişkenlerdir ve σ, ρ, β ise pozitif reel katsayılarıdır. Genel olarak bu sistemdeki bu katsayıların değerleri $\alpha = 0.2, b = 0.2, c = 5.7$, olarak alınır. Başlangıç koşulları $(x(0), y(0), z(0)) = (2.9, -1.3, 25)$ ve katsayı değerleri $\alpha = 0.2, b = 0.2, c = 5.7$ olarak oluşturulan kaotik sistemin 200 saniye sonucunda oluşan 3D benzetimi Şekil 3.31'de gösterilmiştir.



Şekil 3.31. Rössler sisteminin üç boyutlu benzetim sonuçları

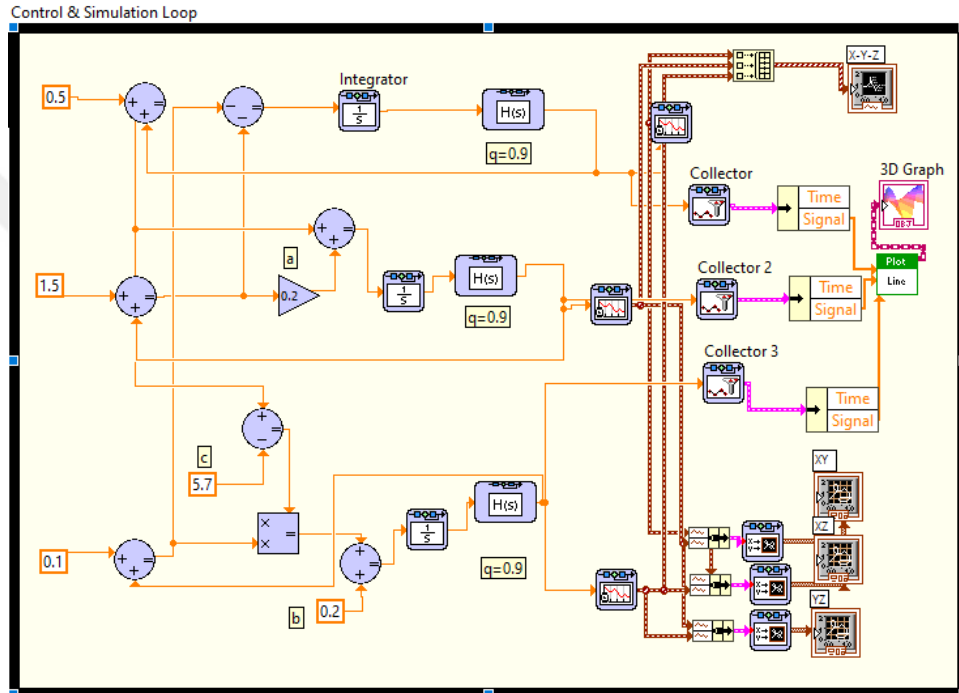
Kesir dereceli Rössler sistemi [62] denklen (3.8)'de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}
{}_0D_t^{q_1}x(t) &= -(y(t) + z(t)), \\
{}_0D_t^{q_1}y(t) &= x(t) + ay(t), \\
{}_0D_t^{q_1}z(t) &= -b + z(t)(x(t) - c)
\end{aligned}
\tag{3.8}$$

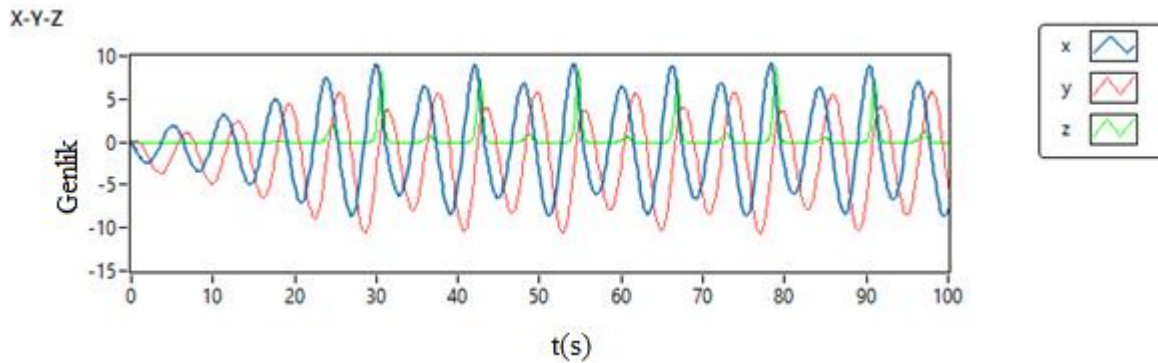
Bu denklemde q_1, q_2, q_3 türevin kesirli derecesini ifade etmektedir ve $(0 < q_1 < 1), (0 < q_2 < 1), (0 < q_3 < 1)$ şartlarını sağlamaktadır.

Şekil 3.32'de LabVIEW ortamında oluşturulan kesir dereceli Rössler sisteminin blok diyagram programı gösterilmektedir. Kesir dereceli bu sistem tam sayılı sisteme kesirli türevin

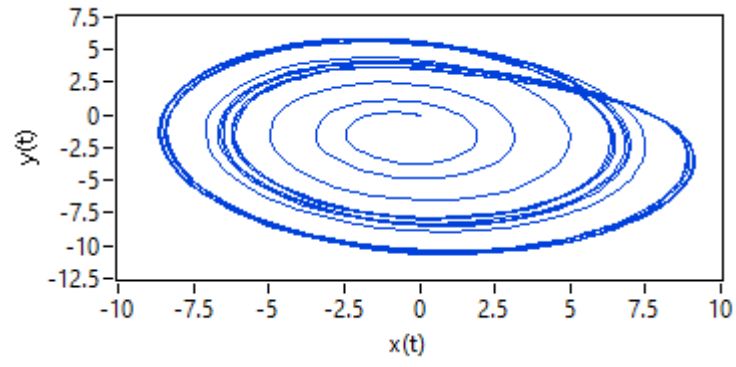
yaklaşık olarak tam sayılı karşılığı olan transfer fonksiyonu eklenerek oluşturulmuştur. Şekil 3.33'de x, y, z durum değişkenlerinin zamana göre sonuçları verilmiştir. Başlangıç koşulları $(x(0), y(0), z(0)) = (0.5, 1.5, 0.1)$, katsayı değerleri $\alpha=0.2$, $b=0.2$, $c=5.7$, ve kesir dereceli türevin dereceleri $q_1 = 0.9$, $q_2 = 0.9$, $q_3 = 0.9$ değerleri alınarak oluşturulan kaotik sistemin 100 saniye sonucunda oluşan benzetim sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Şekil 3.34'de x-y, Şekil 3.35'de x-z, Şekil 3.36'da y-z durum değişkenlerine göre çekiciler çizdirilmiştir. Kaotik sistemin 100 saniye sonucunda oluşan 3D benzetimi şekil 3.37'de gösterilmiştir.



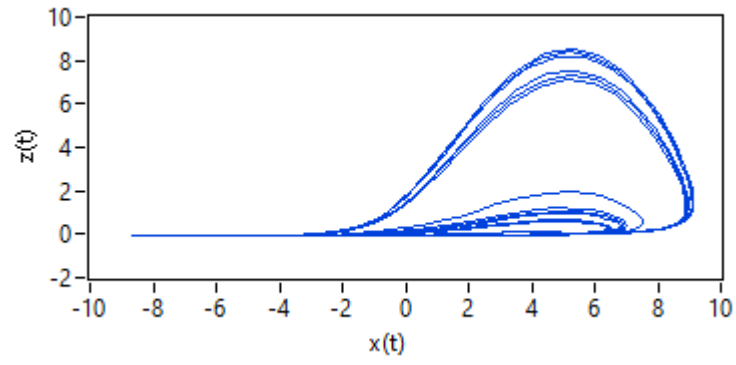
Şekil 3.32. Kesir dereceli Rössler sisteminin LabVIEW ortamındaki blok diyagramı



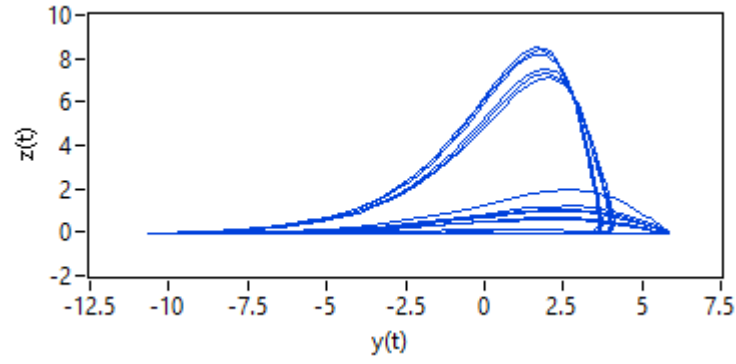
Şekil 3.33. Kesir dereceli Rössler sisteminin x-y-z değişkenleri benzetim sonuçları.



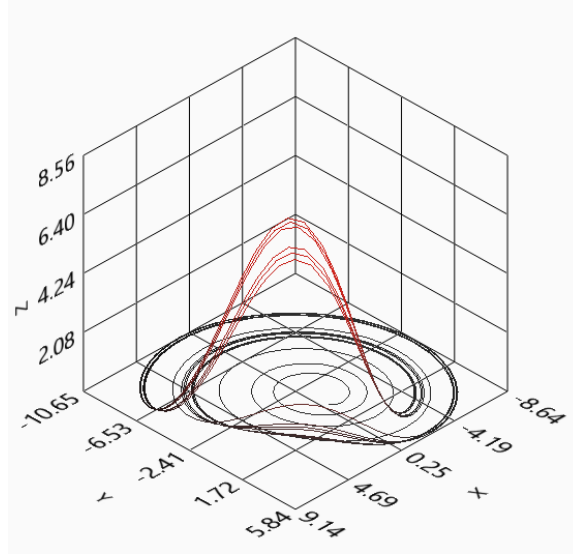
Şekil 3.34. Kesir dereceli Rössler sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.9$ ile (x-y) benzetim sonuçları



Şekil 3.35. Kesir dereceli Rössler sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.9$ ile (x-z) benzetim sonuçları

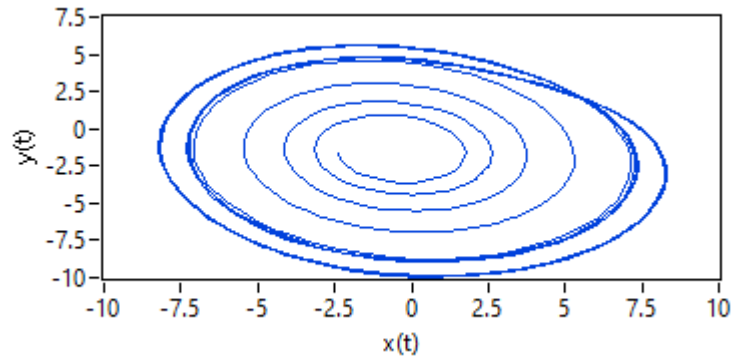


Şekil 3.36. Kesir dereceli Rössler sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.9$ ile (y-z) benzetim sonuçları

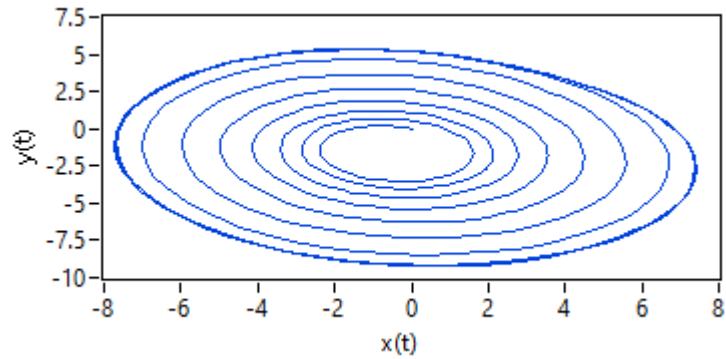


Şekil 3.37. Kesir dereceli Rössler sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.9$ üç boyutlu benzetim sonucu

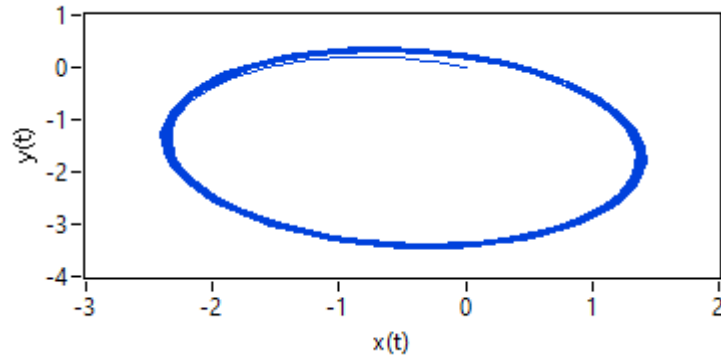
Şekil 3.38, 3.39 ve 3.40'da sırasıyla kesirli derece azaltılarak elde edilen benzetim sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 3.38. Kesir dereceli Lorenz sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.85$ ile (x-y) benzetim sonuçları



Şekil 3.39. Kesir dereceli Lorenz sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.80$ ile (x-y) benzetim sonuçları.



Şekil 3.40. Kesir dereceli Lorenz sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.70$ ile (x-y) benzetim sonuçları

Tablo 3.4’de kesir dereceli Rössler sisteminin farklı kesirli dereceler ile elde edilen Lyapunov üstelleri gösterilmektedir. Sistemin farklı kesirli derece değerleri ile kaotik davranış özelliği sergileyip sergilemediğini denetlemek için Lyapunov üstelleri kullanılmıştır. Kesir dereceli kaotik sistemlerin Lyapunov üstellerini bulmak için Matlab ortamında N.V. Kuznetsov ve M. Danca tarafından geliştirilen uygulama kullanılmıştır [73].

Tablo 3.4. Kesir dereceli Rössler sisteminin farklı kesirli dereceler ile Lyapunov üstelleri

q	Ly1	Ly2	Ly3
0.90	0.0061	0.0056	-2.2141
0.85	-0.0450	-0.0447	-1.9975
0.80	-0.0972	-0.0968	-1.8408
0.70	-0.1946	-0.1941	-1.6171

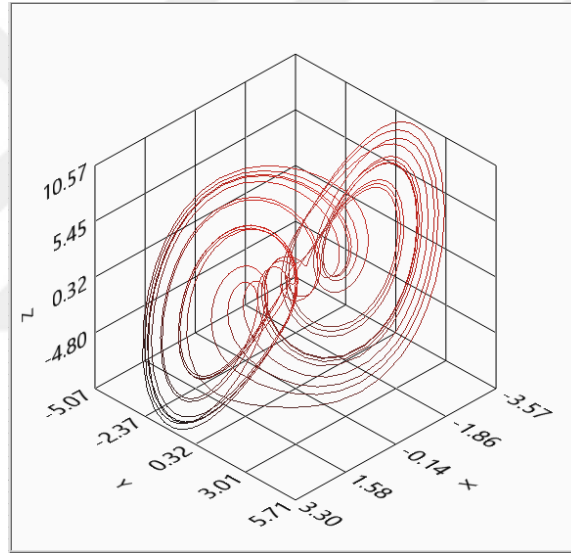
Örnek olarak 0.90 kesir dereceli Rössler sisteminin Lyapunov üstelleri; $LE=FO_Lyapunov(3,@LE_FO_RF,0,2,300,[0.1;0.1;0.1],0.001,0.90,10);$ Matlab kodu kullanılarak elde edilmiştir. Sistem içerisinde pozitif Lyapunov değeri bulunması sistemin kaotik özellikte olduğunu gösterir. Tablo 3.4’de kesirli derecenin $q=0.80$ alındığında sistemin tüm Lyapunov değerleri negatiftir. Bu da gösteriyor ki sistemin türev operatörünün kesirli derecesi 0.80 ve 0.80’den aşağı olması durumunda sistem kaotik davranış sergilememektedir.

3.1.5. Kesir Dereceli Arneodo Kaotik Sistemi

Kaotik özellik gösteren başka bir sistem olan Arneodo sistemi durum uzay denklemleri [63] denklem (3.9)’da tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned}
\frac{dx(t)}{dt} &= y(t), \\
\frac{dy(t)}{dt} &= z(t), \\
\frac{dz(t)}{dt} &= -\beta_1 x(t) - \beta_2 y(t) - \beta_3 z(t) + \beta_4 x^3(t)
\end{aligned} \tag{3.9}$$

Verilen (3.9) denkleminde x, y, z, t reel değerler alan değişkenlerdir ve $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ ise pozitif reel katsayılarıdır. Genel olarak bu sistemdeki bu katsayıların değerleri $\beta_1 = -5.5, \beta_2 = 3.5, \beta_3 = 1, \beta_4 = -1$ olarak alınır. Başlangıç koşulları $(x(0), y(0), z(0)) = (0.1, -0.1, 0.1)$ ve katsayı değerleri $\beta_1 = -5.5, \beta_2 = 3.5, \beta_3 = 1, \beta_4 = -1$ olarak oluşturulan kaotik sistemin 100 saniye sonucunda oluşan 3D benzetimi şekil 3.41’de gösterilmiştir.



Şekil 3.41. Arneodo sisteminin üç boyutlu benzetim sonuçları

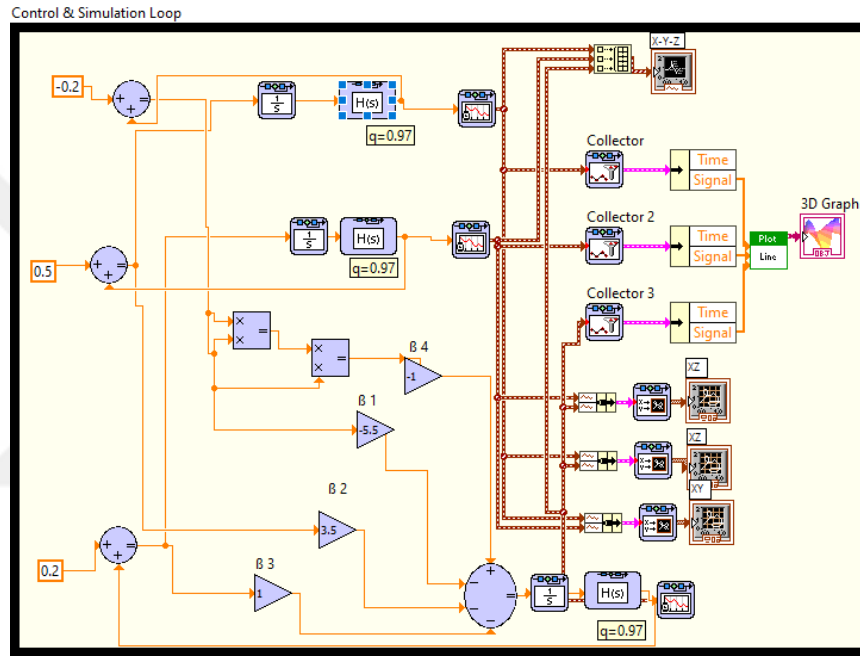
Kesir dereceli Arneodo sistemi [64] denklen (3.10)’de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}
{}_0D_t^{q_1} x(t) &= y(t), \\
{}_0D_t^{q_1} y(t) &= z(t), \\
{}_0D_t^{q_1} z(t) &= -\beta_1 x(t) - \beta_2 y(t) - \beta_3 z(t) + \beta_4 x^3(t)
\end{aligned} \tag{3.10}$$

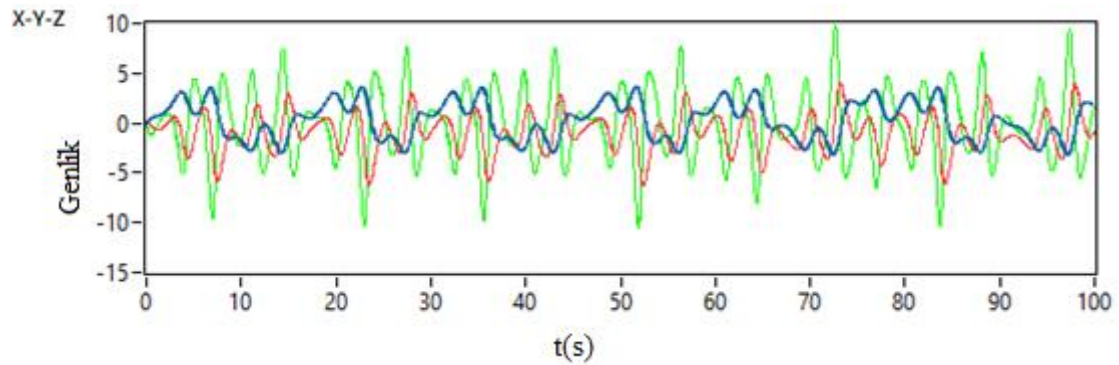
Bu denklemde q_1, q_2, q_3 türevin kesirli derecesini ifade etmektedir ve $(0 < q_1 > 1), (0 < q_2 > 1), (0 < q_3 > 1)$ şartlarını sağlamaktadır.

Şekil 3.42’de LabVIEW ortamında oluşturulan kesir dereceli Arneodo sisteminin blok diyagram programı gösterilmektedir. Kesir dereceli bu sistem tam sayılı sisteme kesirli türevin

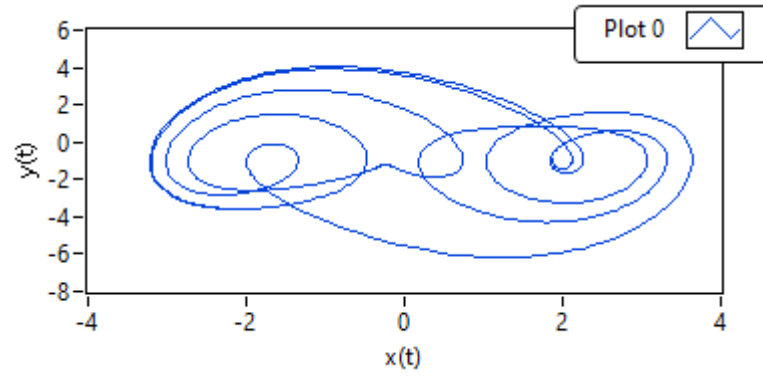
yaklaşık olarak tam sayılı karşılığı olan transfer fonksiyonu eklenerek oluşturulmuştur. Başlangıç koşulları $(x(0), y(0), z(0)) = (-0.2, 0.5, 0.2)$, katsayı değerleri $\beta_1 = -5.5, \beta_2 = 3.5, \beta_3 = 1, \beta_4 = -1$, ve kesir dereceli türevin dereceleri $q_1 = 0.97, q_2 = 0.97, q_3 = 0.97$ değerleri alınarak oluşturulan kaotik sistemin 100 saniye sonucunda oluşan benzetim sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Şekil 3.43’de x, y, z durum değişkenlerinin zamana göre sonuçları verilmiştir. Şekil 3.44’de x-y, Şekil 3.45’de x-z, Şekil 3.46’da y-z durum değişkenlerine göre çekiciler çizdirilmiştir. Kaotik sistemin 100 saniye sonucunda oluşan 3D benzetimi şekil 3.47’de gösterilmiştir.



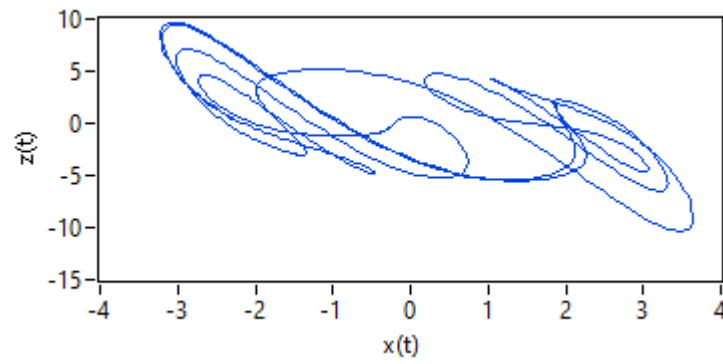
Şekil 3.42. Kesir dereceli Arneodo sistemi LabVIEW ortamındaki blok diyagramı



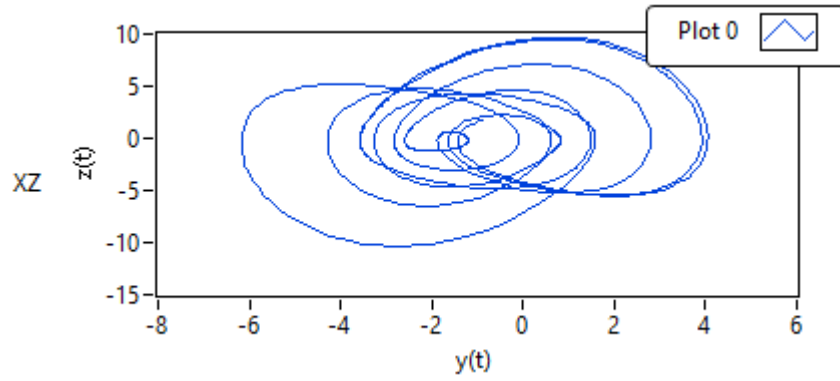
Şekil 3.43. Kesir dereceli Arneodo sisteminin x-y-z değişkenleri benzetim sonuçları



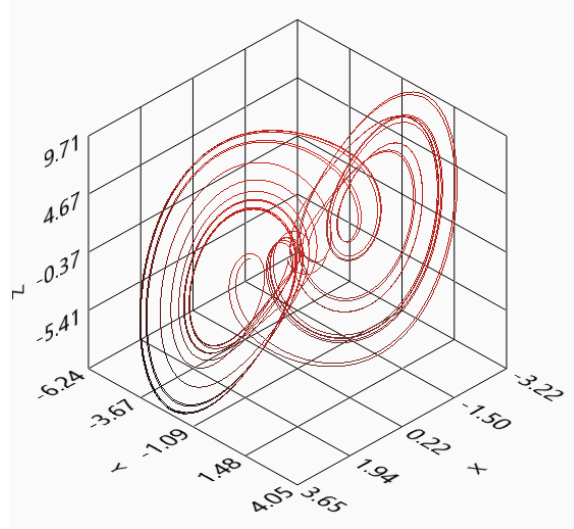
Şekil 3.44. Kesir dereceli Arneodo sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.97$ ile (x-y) benzetim sonuçları



Şekil 3.45. Kesir dereceli Arneodo sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.97$ ile (x-z) benzetim sonuçları

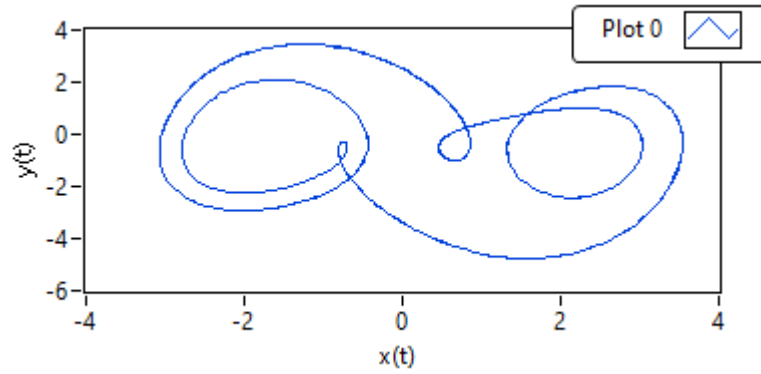


Şekil 3.46. Kesir dereceli Arneodo sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.97$ ile (x-y) benzetim sonuçları

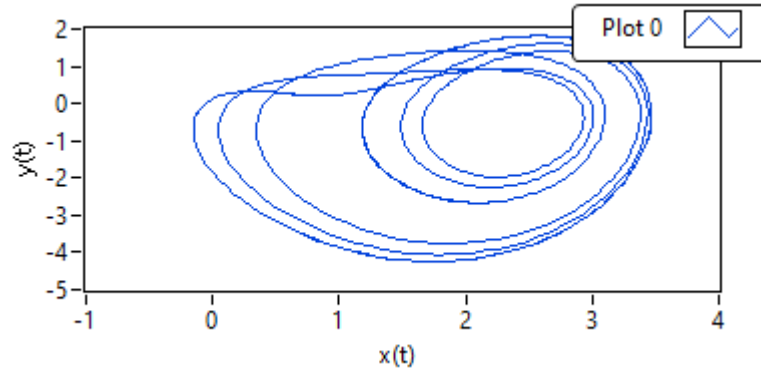


Şekil 3.47. Kesir dereceli Arneodo sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.97$ üç boyutlu benzetim sonucu

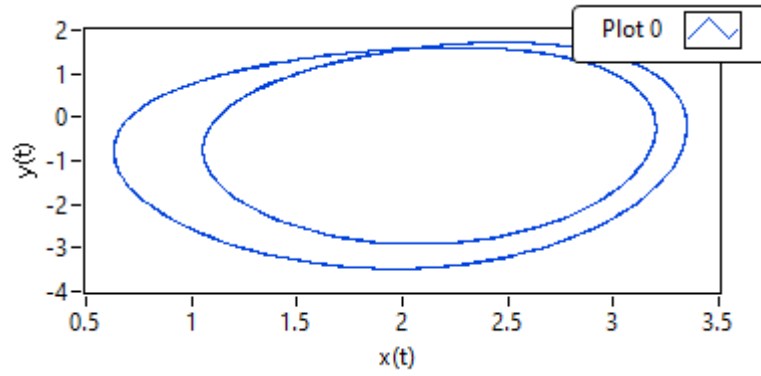
Şekil 3.48, 3.49 ve 3.50’de sırasıyla kesirli derece azaltılarak elde edilen benzetim sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 3.48. Kesir dereceli Arneodo sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.95$ ile (x-y) benzetim sonuçları.



Şekil 3.49. Kesir dereceli Arneodo sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.93$ ile (x-y) benzetim sonuçları



Şekil 3.50. Kesir dereceli Arneodo sisteminin $q_1 = q_2 = q_3 = 0.90$ ile (x-y) benzetim sonuçları

Tablo 3.5’de kesir dereceli Arneodo sisteminin farklı kesirli dereceler ile elde edilen Lyapunov üstelleri gösterilmektedir. Sistemin farklı kesirli derece değerleri ile kaotik davranış özelliği sergileyip sergilemediğini denetlemek için Lyapunov üstelleri kullanılmıştır. Kesir dereceli kaotik sistemlerin Lyapunov üstellerini bulmak için Matlab ortamında N.V. Kuznetsov ve M. Danca tarafından geliştirilen uygulama kullanılmıştır [73].

Tablo 3.5. Kesir dereceli Arneodo sisteminin farklı kesirli dereceler ile Lyapunov üstelleri

q	Ly1	Ly2	Ly3
0.95	0.0900	-0.0580	-0.9940
0.93	0.0243	-0.0426	-0.9265
0.90	0.0213	0.4303	-0.7687
0.85	-0.0179	-0.0511	-0.7439

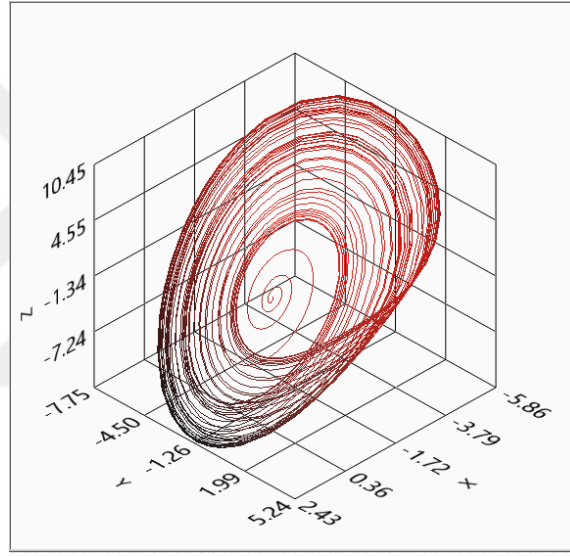
Örnek olarak 0.95 kesir dereceli Arneodo sisteminin Lyapunov üstelleri; `LE=FO_Lyapunov(3,@LE_FO_RF,0,5,200,[0.1;0.1;0.1],0.001,0.95,10);` Matlab kodu kullanılarak elde edilmiştir. Sistem içerisinde pozitif Lyapunov değeri bulunması sistemin kaotik özellikte olduğunu gösterir. Tablo 3.5’de kesirli derecenin $q=0.85$ alındığında sistemin tüm Lyapunov değerleri negatiftir. Bu da gösteriyor ki sistemin türev operatörünün kesirli derecesi 0.85 ve 0.85’den aşağı olması durumunda sistem kaotik davranış sergilememektedir.

3.1.6. Kesir Dereceli Genesio-Tesi Kaotik Sistemi

Kaotik özellik gösteren başka bir sistem olan Genesio-Tesi sistemi durum uzay denklemleri [65] denklem (3.11)’de tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned}
\frac{dx(t)}{dt} &= y(t), \\
\frac{dy(t)}{dt} &= z(t), \\
\frac{dz(t)}{dt} &= -\beta_1 x(t) - \beta_2 y(t) - \beta_3 z(t) + \beta_4 x^2(t)
\end{aligned} \tag{3.11}$$

Verilen (3.11) denkleminde x, y, z, t reel değerler alan değişkenlerdir ve $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ ise pozitif reel katsayılardır. Başlangıç koşulları $(x(0), y(0), z(0)) = (0.1, -0.5, 0.1)$ ve katsayı değerleri $\beta_1 = 5.55, \beta_2 = 3.03, \beta_3 = 1, \beta_4 = 1$ olarak oluşturulan kaotik sistemin 200 saniye sonucunda oluşan 3D benzetimi şekil 3.51’de gösterilmiştir.



Şekil 3.51. Genesio-Tesi sisteminin üç boyutlu benzetim sonuçları

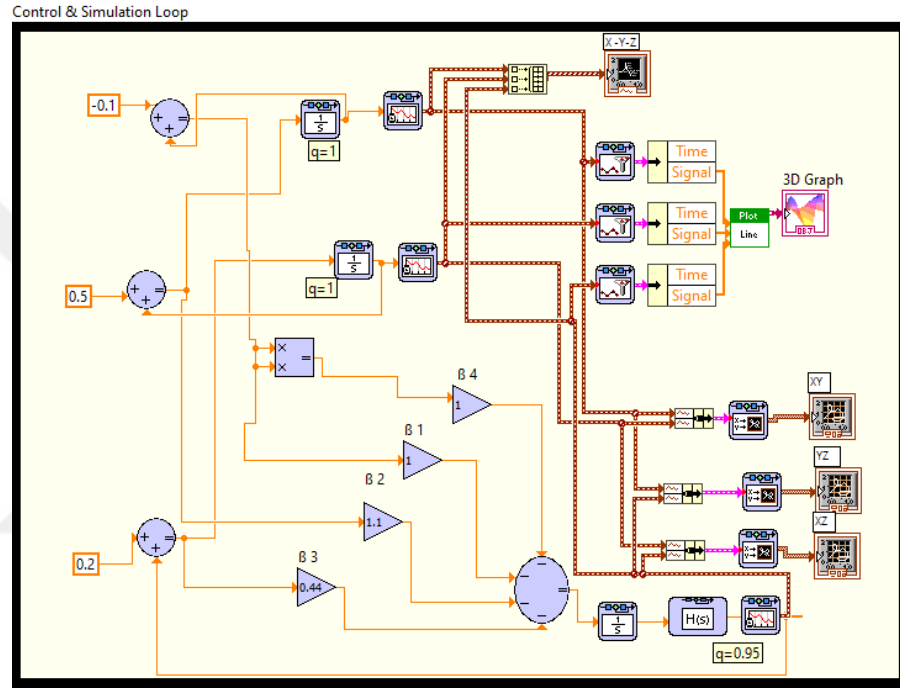
Kesir dereceli Genesio-Tesi sistemi [66] denklen (3.12)’de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}
{}_0D_t^{q_1} x(t) &= y(t), \\
{}_0D_t^{q_1} y(t) &= z(t), \\
{}_0D_t^{q_1} z(t) &= -\beta_1 x(t) - \beta_2 y(t) - \beta_3 z(t) + \beta_4 x^2(t)
\end{aligned} \tag{3.12}$$

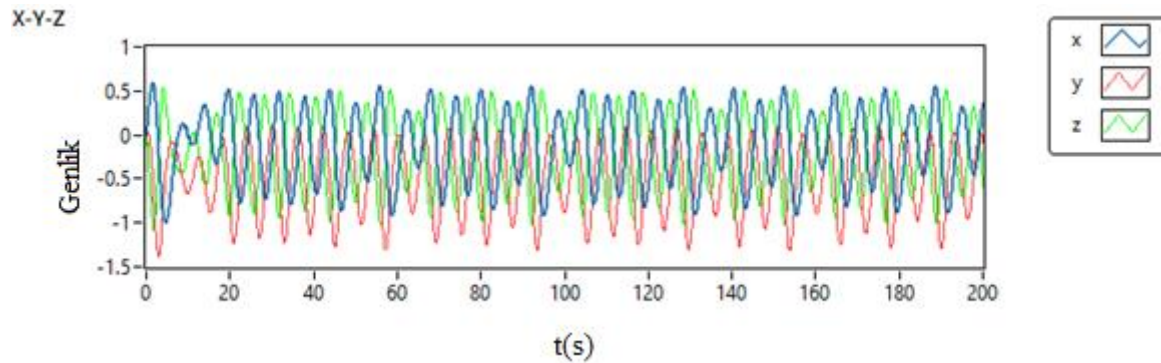
Bu denklemde q_1, q_2, q_3 türevin kesirli derecesini ifade etmektedir ve $(0 < q_1 < 1)$, $(0 < q_2 < 1)$, $(0 < q_3 < 1)$ şartlarını sağlamaktadır.

Şekil 3.52’de LabVIEW ortamında oluşturulan kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin blok diyagramının programı gösterilmektedir. Kesir dereceli bu sistem tam sayılı sisteme kesirli türevin yaklaşık olarak tam sayılı karşılığı olan transfer fonksiyonu eklenerek oluşturulmuştur.

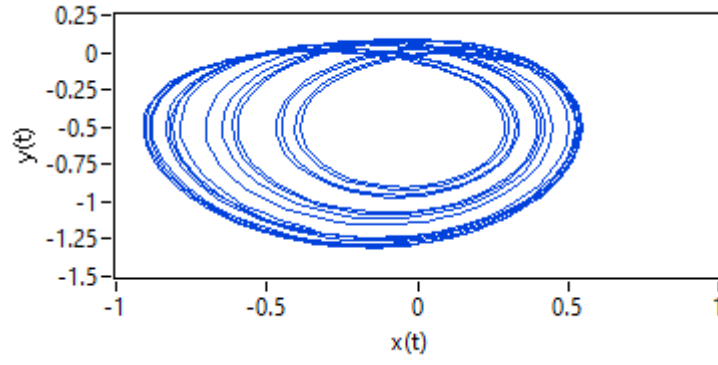
Başlangıç koşulları $(x(0), y(0), z(0)) = (-0.1, 0.5, 0.2)$, katsayı değerleri $\beta_1 = 1, \beta_2 = 1.1, \beta_3 = 0.44, \beta_4 = 1$, ve kesir dereceli türevin dereceleri $q_1 = 1, q_2 = 1, q_3 = 0.95$ değerleri alınarak oluşturulan kaotik sistemin 200 saniye sonucunda oluşan benzetim sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Şekil 3.53'de x, y, z durum değişkenlerinin zamana göre sonuçları verilmiştir. Şekil 3.54'de x-y, Şekil 3.55'de x-z, Şekil 3.56'da y-z durum değişkenlerine göre çekiciler çizdirilmiştir. Kaotik sistemin 200 saniye sonucunda oluşan 3D benzetimi şekil 3.57'de gösterilmiştir.



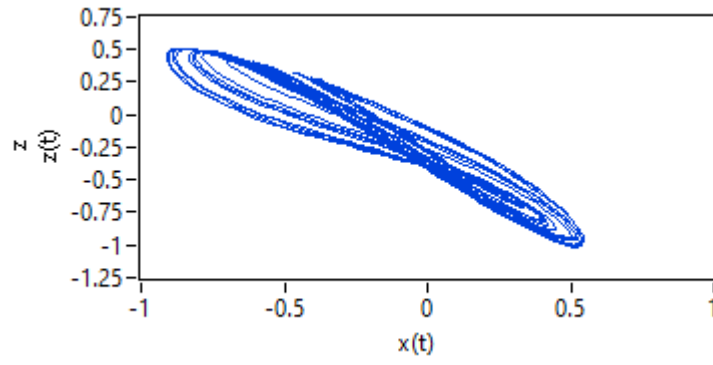
Şekil 3.52. Kesir dereceli Genesio-Tesi sistemin LabVIEW ortamındaki blok diyagramı.



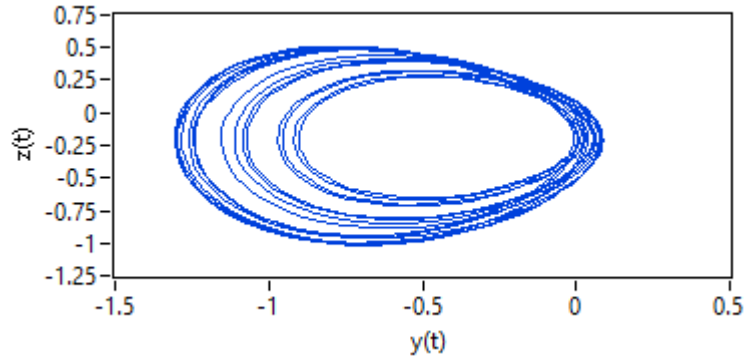
Şekil 3.53. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin x-y-z değişkenleri benzetim sonuçları.



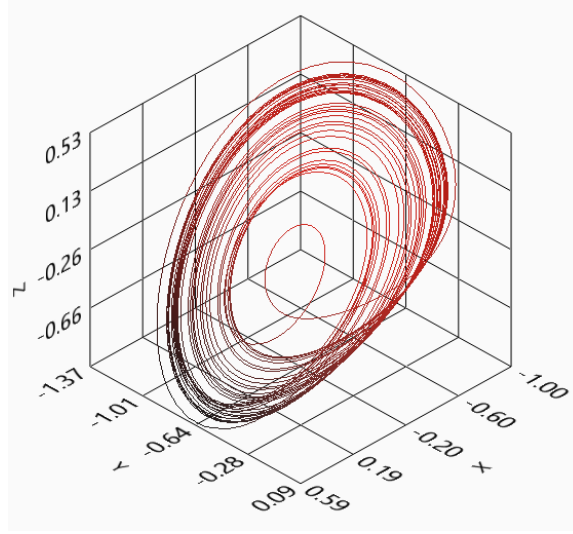
Şekil 3.54. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin $q_1 = q_2 = 1, q_3 = 0.95$ ile (x-y) benzetim sonuçları.



Şekil 3.55. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin $q_1 = q_2 = 1, q_3 = 0.95$ ile (x-z) benzetim sonuçları.

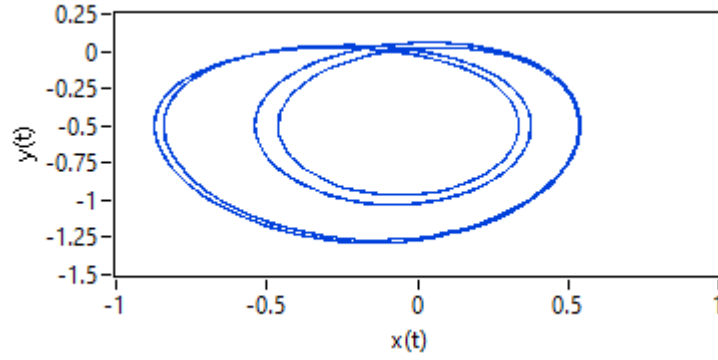


Şekil 3.56. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin $q_1 = q_2 = 1, q_3 = 0.95$ ile (y-z) benzetim sonuçları.

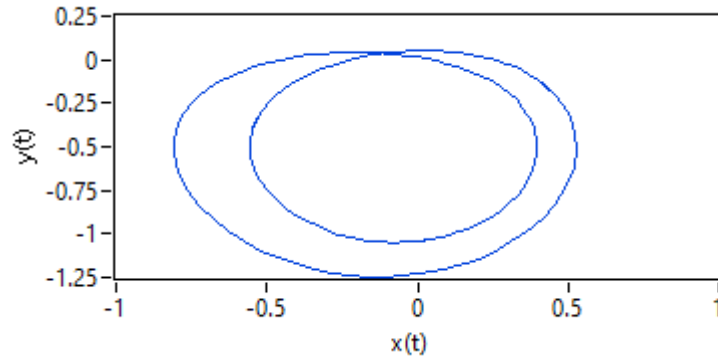


Şekil 3.57. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin $q_1 = q_2 = 1, q_3 = 0.95$ üç boyutlu benzetim sonucu

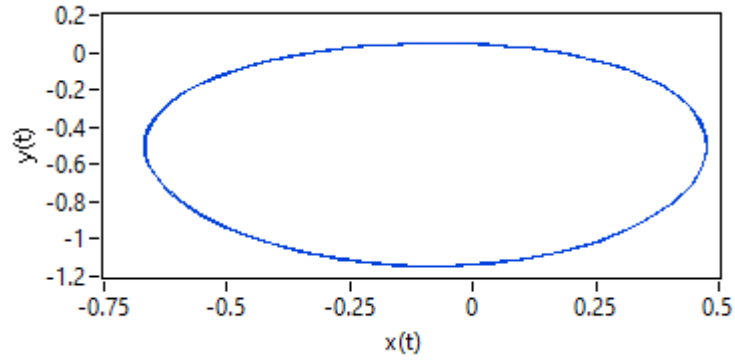
Şekil 3.58, 3.59 ve 3.60'da sırasıyla kesirli derece azaltılarak elde edilen benzetim sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 3.58. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin $q_1 = q_2 = 1, q_3 = 0.93$ ile (x-y) benzetim sonuçları



Şekil 3.59. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin $q_1 = q_2 = 1, q_3 = 0.90$ ile (x-y) benzetim sonuçları



Şekil 3.60. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin $q_1 = q_2 = 1, q_3 = 0.85$ ile (x-y) benzetim sonuçları.

Tablo 3.6’da kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin farklı kesirli dereceler ile elde edilen Lyapunov üstelleri gösterilmektedir. Sistemin farklı kesirli derece değerleri ile kaotik davranış özelliği sergileyip sergilemediğini denetlemek için Lyapunov üstelleri kullanılmıştır. Kesir dereceli kaotik sistemlerin Lyapunov üstellerini bulmak için Matlab ortamında N.V. Kuznetsov ve M. Danca tarafından geliştirilen uygulama kullanılmıştır [73].

Tablo 3.6. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin farklı kesirli dereceler ile Lyapunov üstelleri

q	Ly1	Ly2	Ly3
0.95	0.1007	0.0036	-0.6148
0.90	0.1022	-0.0006	-0.6952
0.85	0.0775	0.0032	-0.7733
0.80	-0.0069	-0.0081	-0.7957

Örnek olarak 0.95 kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin Lyapunov üstelleri; $LE=FO_Lyapunov(3,@LE_FO_RF,0,0.1,200,[0.1;0.1;0.1],0.001,0.95,10);$ Matlab kodu kullanılarak elde edilmiştir. Sistem içerisinde pozitif Lyapunov değeri bulunması sistemin kaotik özellikte olduğunu gösterir. Tablo 3.6’da kesirli derecenin $q=0.80$ alındığında sistemin tüm Lyapunov değerleri negatiftir. Bu da gösteriyor ki sistemin türev operatörünün kesirli derecesi 0.85 ve 0.80’den aşağı olması durumunda sistem kaotik davranış sergilememektedir.

3.2. Kesir Dereceli Kaotik Sistemler ile Görüntü Şifreleme Uygulaması

Literatürde, son yıllarda farklı tekniklerle oluşturulan birçok şifreleme yöntemi sunulmaktadır. Kaotik sistemlerin senkronize edilmesi ile oluşturulan şifreleme yöntemi bunlardan bir tanesidir. Kesir dereceli kaotik sistemlerin normal olan kaotik sistemlere göre daha

karmaşık ve daha hassas bir yapıda olması nedeniyle, kesir dereceli sistem ile yapılan şifreleme uygulamaları daha güvenli olduğu kabul edilmektedir [67]. Kaotik sistemlerinin senkronize edilmesi oluşturulabilecek birçok farklı uygulama alanı olması nedeniyle kaotik sistemlerin senkronizasyonu son zamanlarda üzerinde çalışılmaya yoğunluk verilen konulardan biridir. Özellikle iletişim güvenliği uygulamalarında kaotik sistemlerin senkronizasyonu ile yapılan sistemlere ağırlık verilmektedir [68].

Bu bölümde kesir dereceli bir sistemden, verici ve alıcı olarak adlandırılan iki farklı sinyal oluşturulmuştur. Daha sonra bu sistemde oluşturulan bu sinyaller belli bir saniyeden sonra eşitlenerek yani alıcı ve verici diye adlandırılan bu sistemlerin aynı sinyal üretmesi sağlanmıştır. Literatürde, iki kaotik sinyalin senkronize edilmesi ile oluşturulan bu kaotik sistemde verici olarak adlandırılan kısım master olarak, alıcı olarak adlandırılan kısım ise slave olarak tanımlanmaktadır[69]. Chen master sistemi denklemi (3.13)'de verilmiştir. Chen slave sistemi denklemi (3.14)'de verilmiştir. Kontrol fonksiyonları $\mu_1(t)$, $\mu_2(t)$, ve $\mu_3(t)$ olarak tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned} {}_0D_t^{q1}x(t)_m &= (\alpha)y(t)_m - (\alpha)x(t)_m, \\ {}_0D_t^{q1}y(t)_m &= (c - a)x(t)_m - x(t)_m z(t)_m + cy(t)_m, \\ {}_0D_t^{q1}z(t)_m &= x(t)_m y(t)_m - bz(t)_m \end{aligned} \quad (3.13)$$

$$\begin{aligned} {}_0D_t^{q1}x(t)_s &= (\alpha)y(t)_s - (\alpha)x(t)_s + \mu_1(t), \\ {}_0D_t^{q1}y(t)_s &= (c - a)x(t)_s - x(t)_s z(t)_s + cy(t)_s + \mu_2(t), \\ {}_0D_t^{q1}z(t)_s &= x(t)_s y(t)_s - bz(t)_s + \mu_3(t) \end{aligned} \quad (3.14)$$

Master ve Slave sistemleri arasındaki hata fonksiyonları (3.15)'de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} e_1(t) &= (\alpha)y(t)_s - (\alpha)y(t)_m - (\alpha)x(t)_s + (\alpha)x(t)_m + \mu_1(t), \\ e_3(t) &= (c - a)(x(t)_s - x(t)_m) - x(t)_s z(t)_s + x(t)_m z(t)_m + \\ &\quad + cy(t)_s - cy(t)_m + \mu_2(t), \\ e_3(t) &= x(t)_s y(t)_s - x(t)_m y(t)_m - bz(t)_s + bz(t)_m + \mu_3(t) \end{aligned} \quad (3.15)$$

Kontrol metodundan dolayı doğrusal olmayan elemanlar çıkartılarak oluşturulan kontrol fonksiyonları (3.16)'de gösterilmiştir. Denklemden $V_1(t) = -k_1 e_1(t)$, $V_2(t) = -k_2 e_2(t)$, ve $V_3(t) = -k_3 e_3(t)$ olarak alınmıştır.

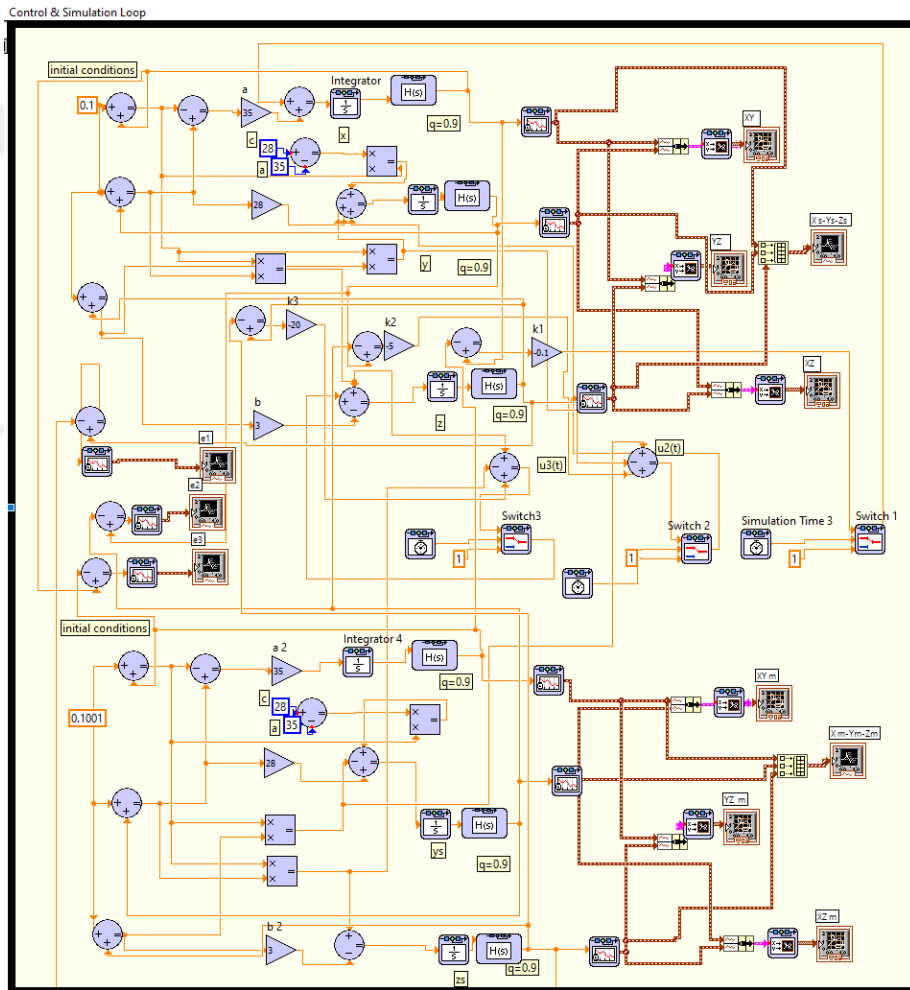
$$\mu_1(t) = x(t)_s z(t)_s - x(t)_m z(t)_m + V_1(t)$$

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

$$(3.16)$$

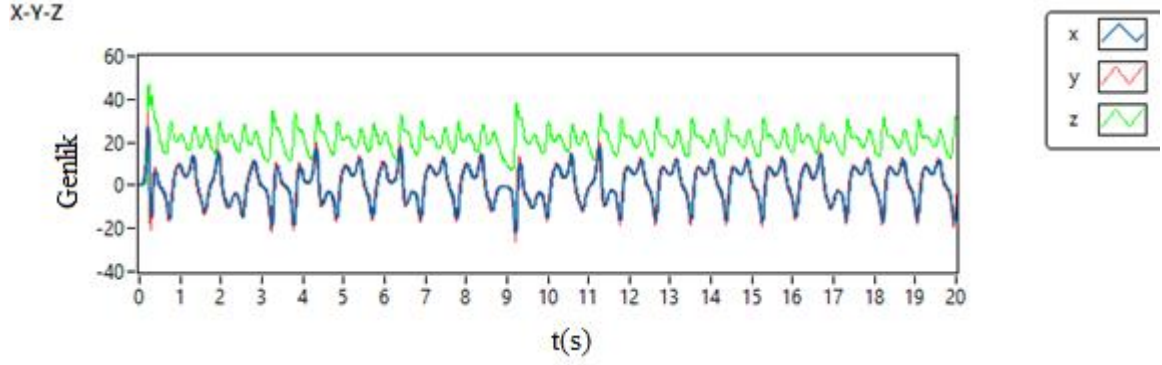
$$\mu_3(t) = x(t)_m y(t)_m - x(t)_s y(t)_s + V_3(t)$$

Şekil 3.61 kesir dereceli Chen sistemi ile LabVIEW platformunda master-slave sistemi yöntemi ile oluşturulan sistemin blok diyagramı gösterilmektedir. Bu sistem çalıştırılarak aşağıdaki şekillerde gösterilen sonuçlar elde edilmiştir. Chen master sistemi başlangıç koşulları 0.1 alınmıştır. Chen slave sistemi başlangıç koşulları 0.1001 alınmıştır.

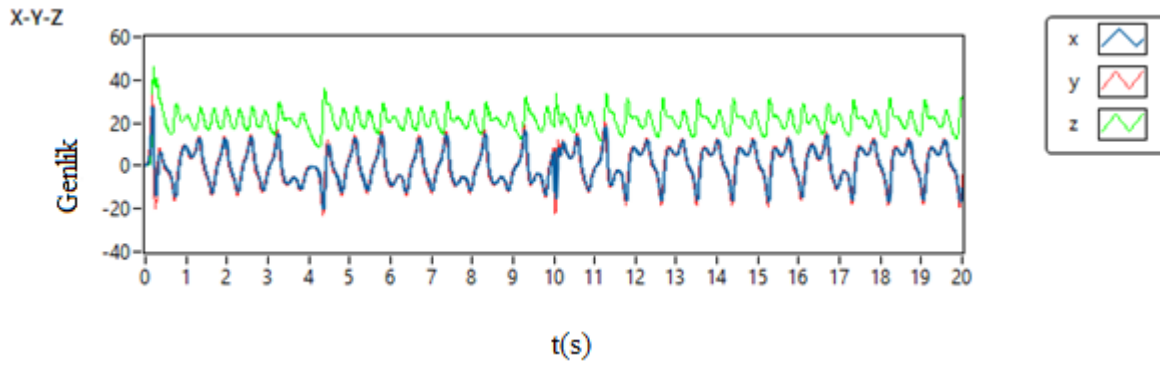


Şekil 3.61 Kesir dereceli Chen sisteminin LabVIEW platformundaki Master-Slave senkronizasyonu blok diyagramı

Şekil 3.62 ve Şekil 3.63’de master ve slave sistemlerinin ayrı olarak x-y-z değişkenleri senkronizasyon sonuçları gösterilmiştir.

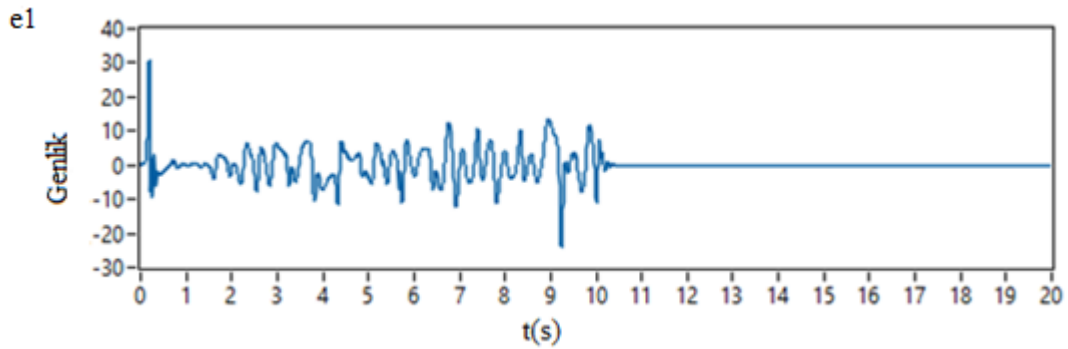


Şekil 3.62. Kesir dereceli Chen sisteminin x-y-z değişkenleri master kısmı benzetim sonuçları

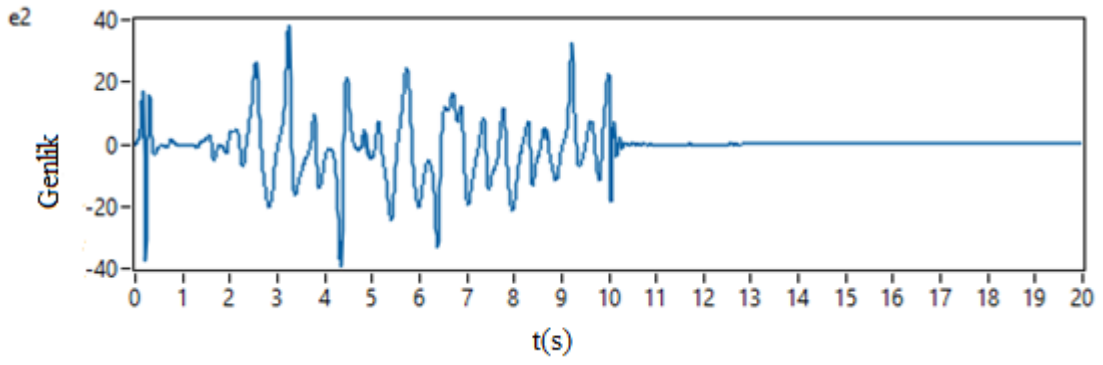


Şekil 3.63. Kesir dereceli Chen sisteminin x-y-z değişkenleri slave kısmı benzetim sonuçları

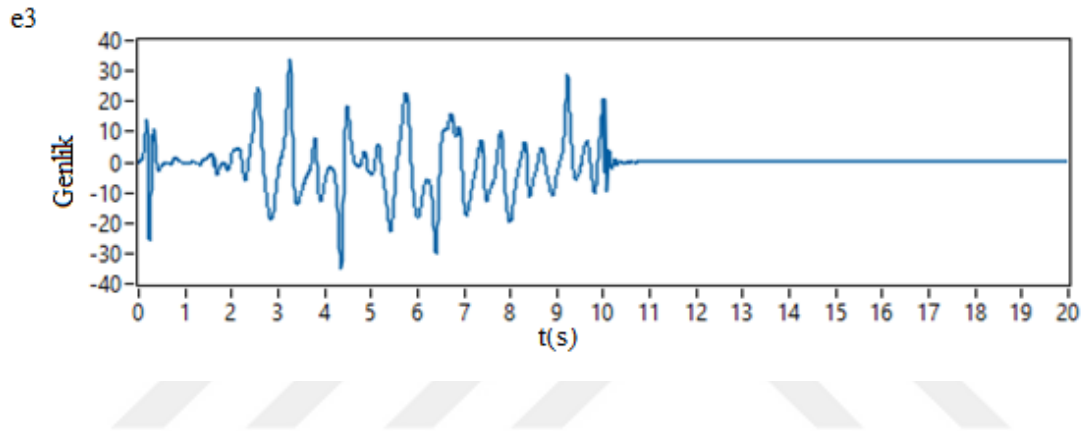
Kesir dereceli Chen sisteminin master ve slave kısmında ayrı ayrı bulunan x değişkeninden gelen sinyallerin 10. saniyeden sonra kontrolörün devreye girmesiyle iki sinyal arasındaki hatanın sıfıra indirildiğinin benzetim sonucu Şekil 3.64’de verilmiştir. Daha sonra y değişkenlerinden gelen sinyallerin benzetim sonucu Şekil 3.65’de, z değişkenlerinden gelen sinyallerin benzetim sonucu Şekil 3.66’da verilmiştir.



Şekil 3.64. Master-Slave sisteminin x değişkenlerinin eşitlenmesi sonuçları

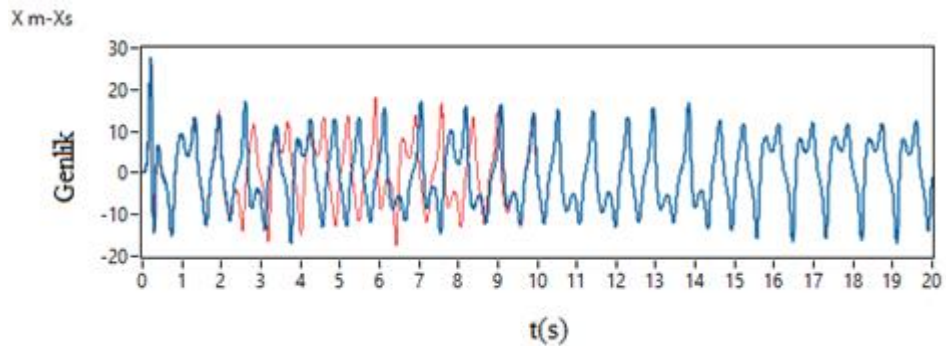


Şekil 3.65. Master-Slave sisteminin y değişkenlerinin arasındaki hata sonuçları

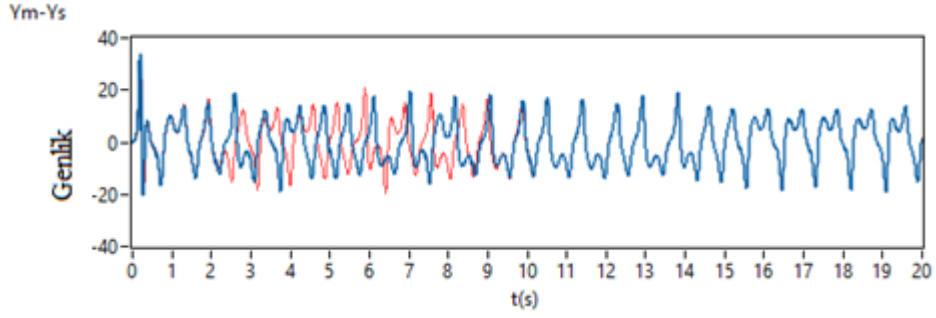


Şekil 3.66. Master-Slave sisteminin z değişkenlerinin arasındaki hata sonuçları

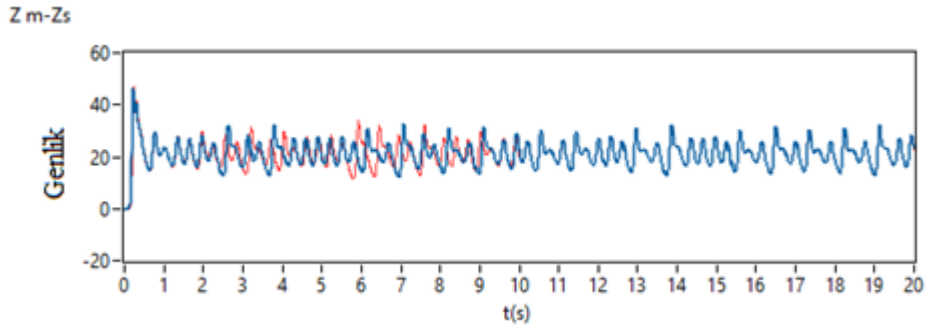
Kesir dereceli Chen sisteminin master ve slave kısmında ayrı ayrı bulunan x değişkeninden gelen sinyallerin 10. saniyeye kadar ve 10. saniyeden sonra kontrolörün devreye girerek sinyallerin eşitlenmesi ile elde edilen benzetim sonucu Şekil 3.67’de ,y değişkenlerinden gelen sinyallerin benzetim sonucu şekil 3.68’de, y değişkenlerinden gelen sinyallerin benzetim sonucu şekil 3.69’da verilmiştir.



Şekil 3.67. Master-Slave sisteminin x değişkenlerinin zamana göre genliği



Şekil 3.68. Master-Slave sisteminin y değişkenlerinin zamana göre genliği

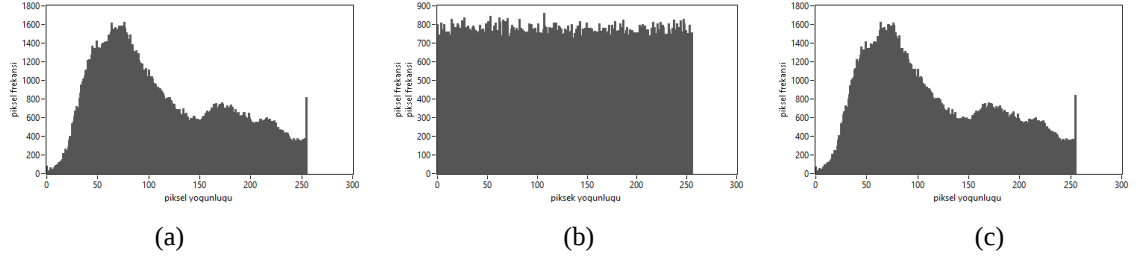


Şekil 3.69. Master-Slave sisteminin z değişkenlerinin zamana göre genliği

3.2.1. Görüntü Şifreleme Uygulaması

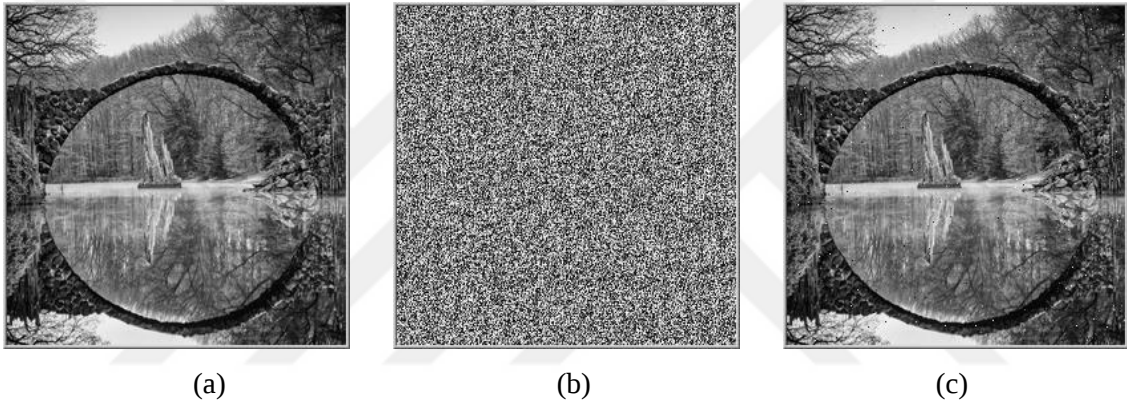
LabVIEW platformundaki kesir dereceli Chen sisteminin ile oluşturulan Master-Slave senkronizasyonu kullanılarak bir görüntünün şifrlenmesi uygulaması yapılmıştır [70-72]. Bu görüntü şifreleme uygulaması aşağıdaki şekillerde gösterilen görüntüler ile bir fotoğrafın orijinal halinin şifrenin nasıl bir şekilde görüldüğü gösterilmiştir.

Şekil 3.70’da görüntü şifreleme uygulamasının master-slave senkronizasyonu, görüntü histogram analizi, kontrolör devresi ve görüntü şifreleme gibi bölümlerinin programlama kısmı bütünüyle gösterilmektedir. İlk olarak orijinal görüntünün piksel verileri xor mantık kapısının bir girişine, uygulamanın master kısmındaki x değişkeniyle anlık üretilen sayısal veriler ise xor mantık kapısının diğer girişine uygulandıktan sonra şifrenmiş görüntü elde edildi. Daha sonra şifrenmiş görüntünün piksel verileri xor mantık kapısının bir girişine, uygulamanın slave kısmındaki x değişkeniyle anlık üretilen xor mantık kapısının diğer girişine uygulandıktan sonra uygulamanın çalışmasındaki 10. Saniyede kontrolörün devreye girmesiyle deşifre edilmiş görüntü elde edildi. Kontrolör devreye girmeden önce görüntü deşifre edilmiş halde görünmektedir.



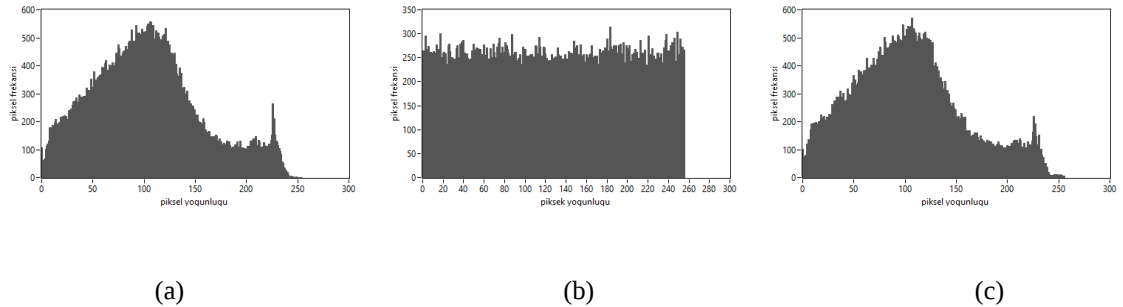
Şekil 3.72. Histogram analizi (a) orijinal görüntü, (b) şifrelenmiş görüntü (c) deşifre edilen görüntü.

Şekil 3.73’de gri tondaki bir görüntünün şifreleme ve deşifre edilmesinden elde edilen resimler gösterilmektedir. Renkli görüntüye uygulanan yöntemler aynı şekilde gri tondaki resimde de uygulanarak şekil 3.73’deki veriler elde edilmiştir.



Şekil 3.73. (a) orijinal görüntü, (b) şifrelenmiş görüntü (c) deşifre edilen görüntü

Şekil 3.74’de gri tondaki resmin histogram analizleri gösterilmektedir. Gri tondaki ~~bu~~ bir resimde renkli fotoğraftan farklı olarak şifrelenmiş görüntünün pikselleri siyah-beyaz’a dönüşmüştür

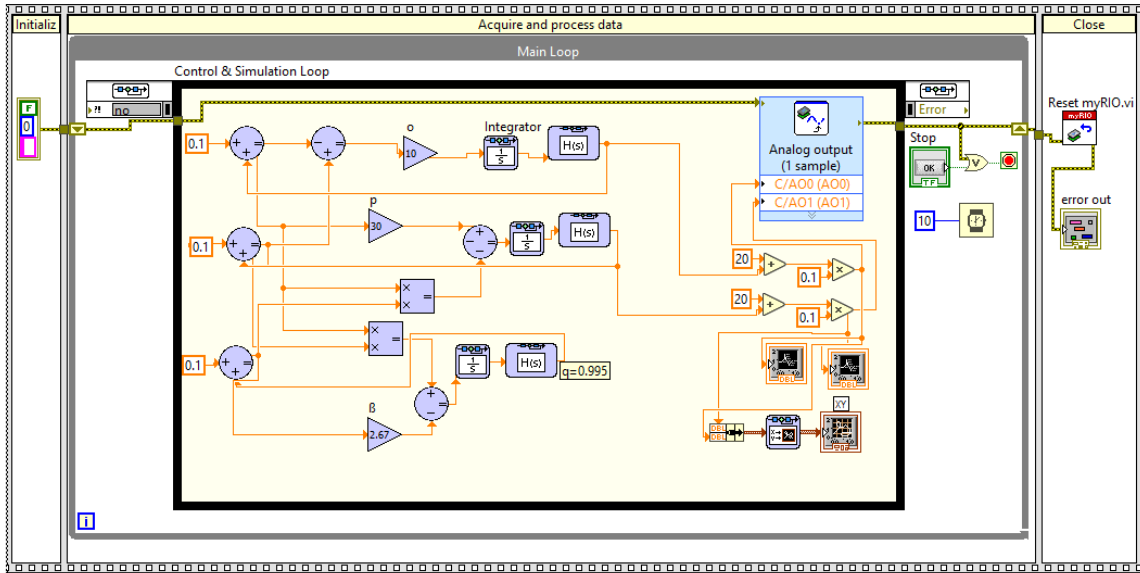


Şekil 3.74 Histogram analizi (a) orijinal görüntü, (b) şifrelenmiş görüntü (c) deşifre edilen görüntü

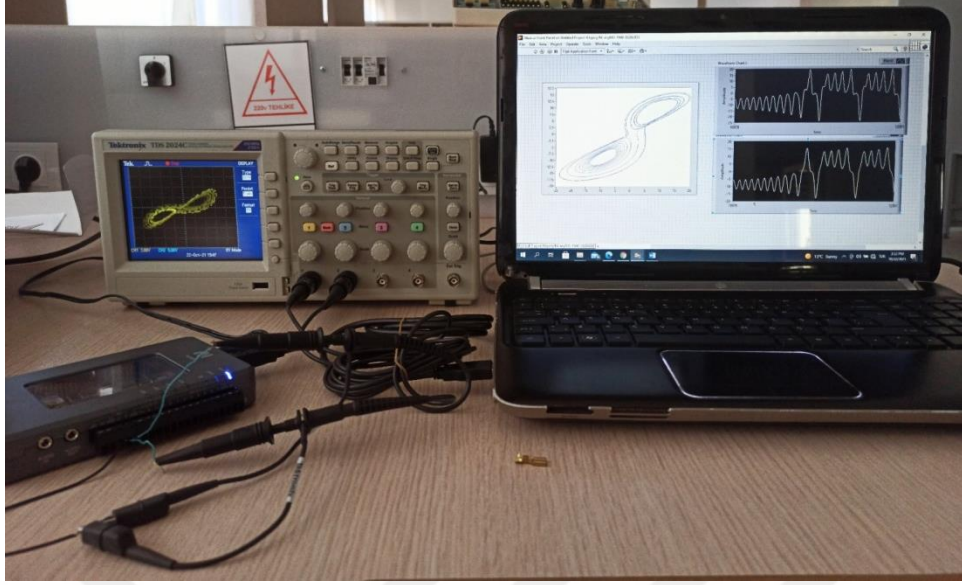
3.3. Kesir Dereceli Kaotik Sistemlerin Gerçek Zamanlı Benzetimi

3.3.1. Gerçek Zamanlı Kesir Dereceli Lorenz Kaotik Sistem Uygulaması

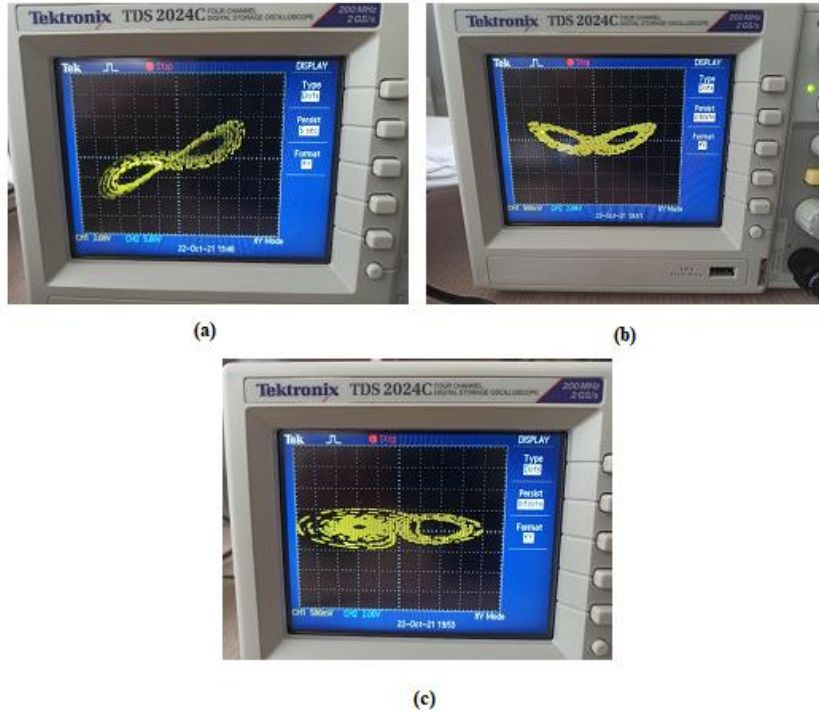
Kesir dereceli Lorenz sisteminin 3 boyutlu x-y-z denklemleri [55] denklem(3.1)'de gösterilmiştir. Şekil 3.75'de LabVIEW ortamında oluşturulan kesir dereceli Lorenz sisteminin blok diyagramının programı gösterilmektedir. Başlangıç koşulları $(x(0), y(0), z(0)) = (0.1, 0.1, 0.1)$. Katsayı değerleri $\sigma=10$, $\rho=30$, $\beta=2.67$ ve kesir dereceli türevin dereceleri $q_1 = 0.995$, $q_2 = 0.995$, $q_3 = 0.995$ değerleri alınarak oluşturulan kaotik sistemin 100 saniye sonucunda oluşan osiloskop çıkışı benzetim sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Şekil 3.76'de x-y durum değişkenlerine göre sonuçları osiloskop çıkış sonuçlarının genel görünümü gösterilmektedir. Şekil 3.77'de sırasıyla x-y, x-z ve y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları verilmiştir.



Şekil 3.75. Kesir dereceli Lorenz sisteminin LabVIEW ortamındaki analog çıkışlı blok diyagramı



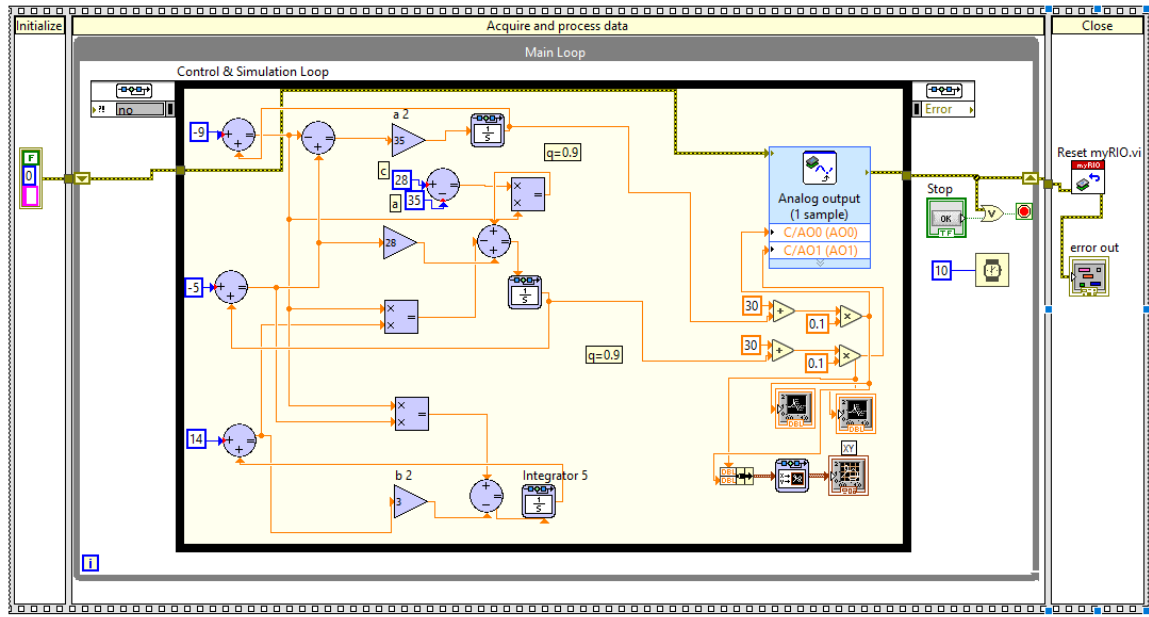
Şekil 3.76. Kesir dereceli Lorenz sisteminin x-y durum değişkenleri benzetim sonuçları genel görünümü



Şekil 3.77. Kesir dereceli Lorenz sisteminin sırasıyla x-y, x-z ve y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları

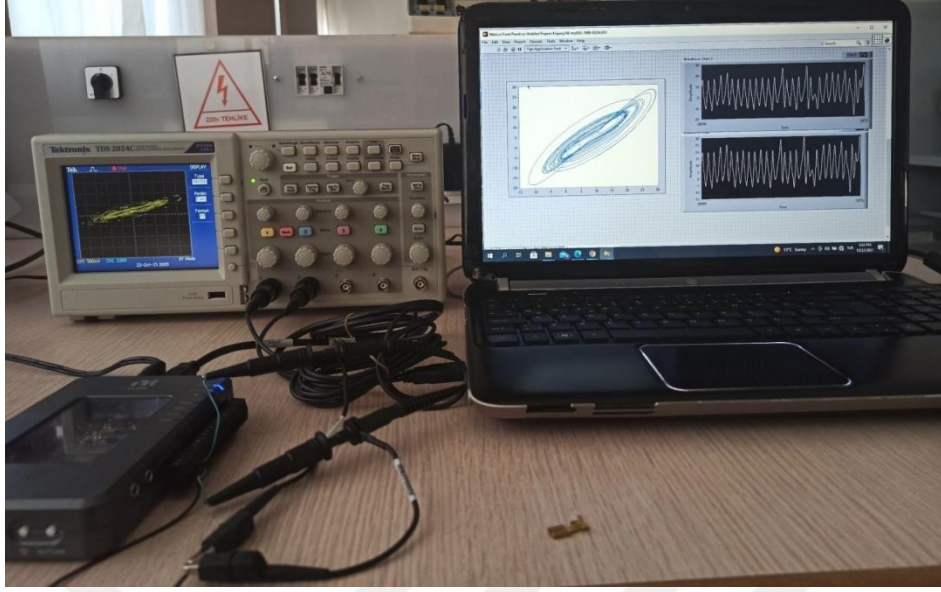
3.3.2. Gerçek Zamanlı Kesir Dereceli Chen Kaotik Sistem Uygulaması

Kesir dereceli Chen sisteminin 3 boyutlu x-y-z denklemleri [57] denklem(3.3)'de gösterilmiştir. Şekil 3.78'de LabVIEW ortamında oluşturulan kesir dereceli Chen sisteminin blok diyagramının programı gösterilmektedir. Kesir dereceli bu sistem tam sayılı sisteme kesirli türevin yaklaşık olarak tam sayılı karşılığı olan transfer fonksiyonu eklenerek oluşturulmuştur. Başlangıç koşulları $(x(0), y(0), z(0)) = (-9, -5, 14)$, katsayı değerleri $\alpha = 35, c = 3, b = 28$, ve kesir dereceli türevin dereceleri $q_1 = 0.9, q_2 = 0.9, q_3 = 0.9$ değerleri alınarak oluşturulan kaotik sistemin 25 saniye sonucunda oluşan osiloskop çıkışı benzetim sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

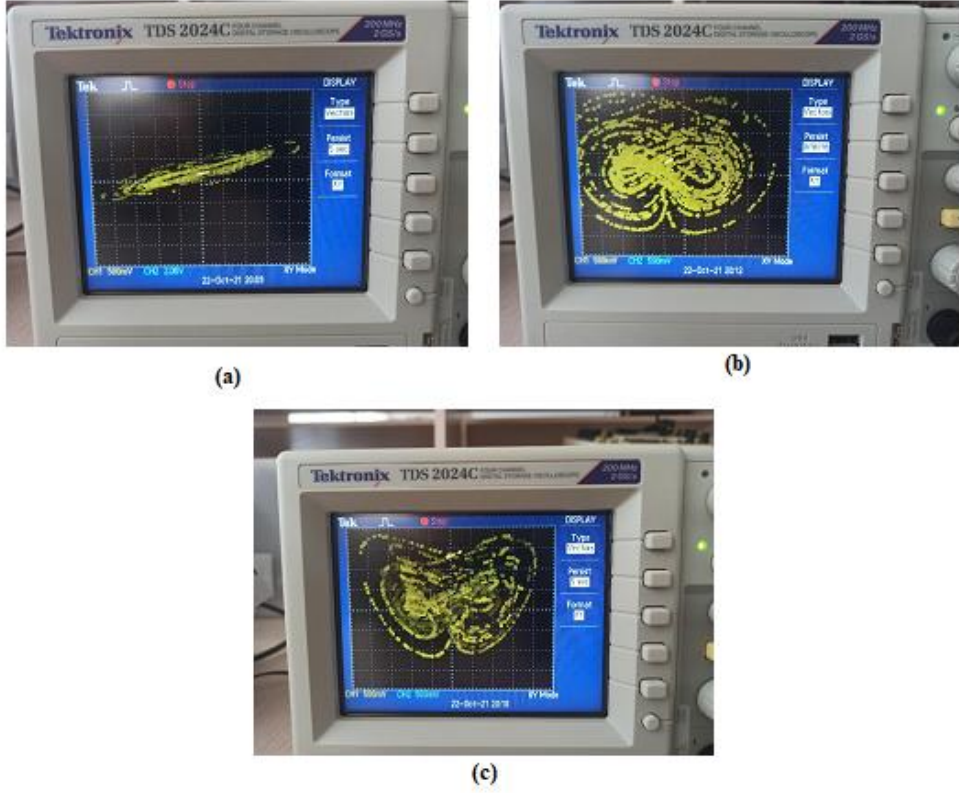


Şekil 3.78. Kesir dereceli Chen sisteminin LabVIEW ortamındaki analog çıkışlı blok diyagramı

Şekil 3.79'de x-y durum değişkenlerine göre sonuçları osiloskop çıkış sonuçlarının genel görünümü gösterilmektedir. Şekil 3.80'de sırasıyla x-y, x-z ve y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları verilmiştir.



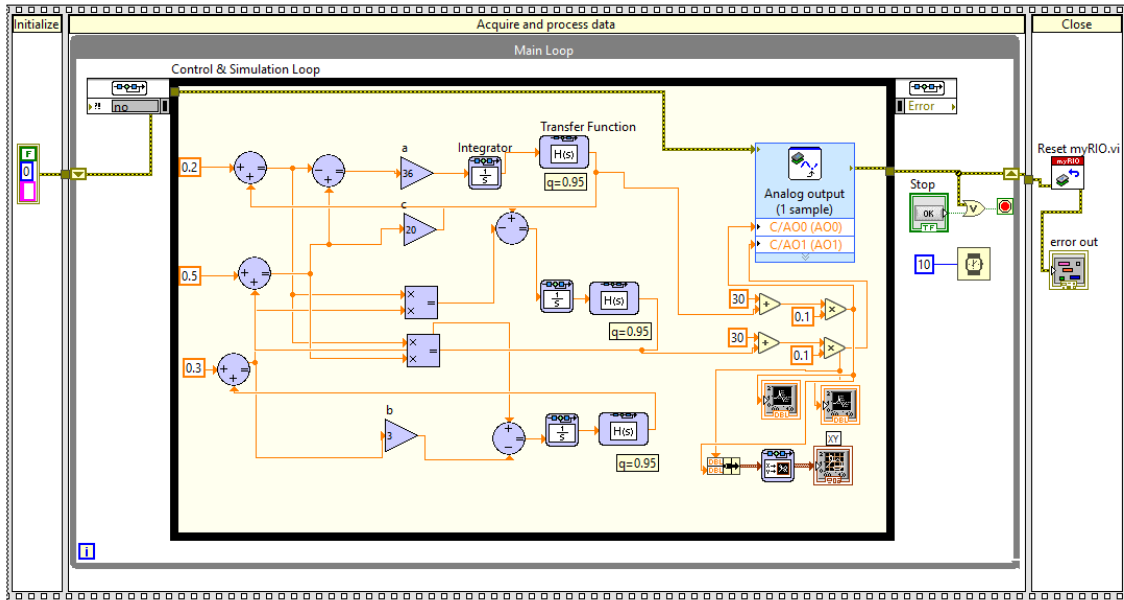
Şekil 3.79. Kesir dereceli Chen sisteminin x-y durum değişkenleri benzetim sonuçları genel görünümü.



Şekil 3.80. Kesir dereceli Chen sisteminin sırasıyla (a)x-y, (b)x-z ve (c)y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları

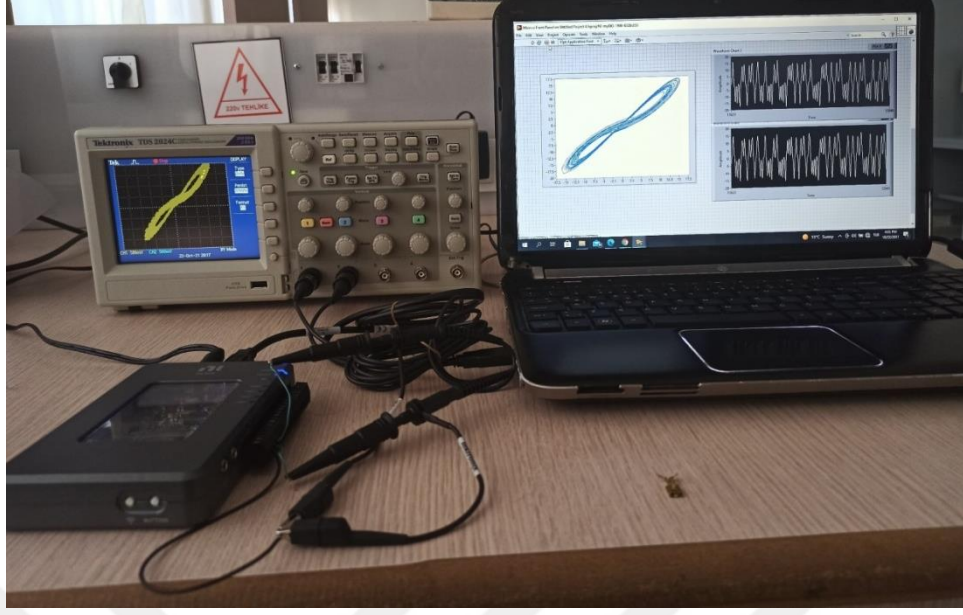
3.3.3. Gerçek Zamanlı Kesir Dereceli Lü Kaotik Sistem Uygulaması

Kesir dereceli Lü sisteminin 3 boyutlu x-y-z denklemleri [59] denklem(3.5)'de gösterilmiştir. Şekil 3.81'de LabVIEW ortamında oluşturulan kesir dereceli Lü sisteminin blok diyagramının programı gösterilmektedir. Kesir dereceli bu sistem tam sayılı sisteme kesirli türevin yaklaşık olarak tam sayılı karşılığı olan transfer fonksiyonu eklenerek oluşturulmuştur. Başlangıç koşulları $(x(0), y(0), z(0)) = (0.2, 0.5, 0.3)$, katsayı değerleri $\alpha = 36, c = 3, b = 20$, ve kesir dereceli türevin dereceleri $q_1 = 0.95, q_2 = 0.95, q_3 = 0.95$ değerleri alınarak oluşturulan kaotik sistemin 20 saniye sonucunda oluşan osiloskop çıkışı benzetim sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

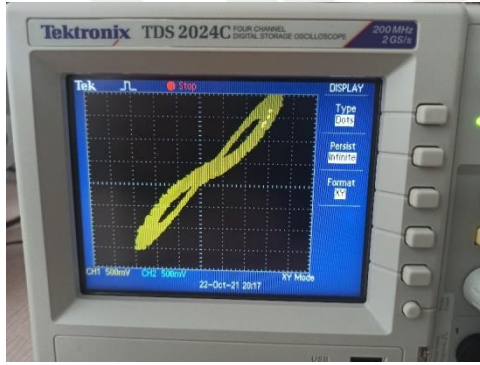


Şekil 3.81. Kesir dereceli Lü sisteminin LabVIEW ortamındaki analog çıkışlı blok diyagramı

Şekil 3.82'de x-y durum değişkenlerine göre sonuçları osiloskop çıkış sonuçlarının genel görünümü gösterilmektedir. Şekil 3.83'de sırasıyla x-y, x-z ve y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları verilmiştir.



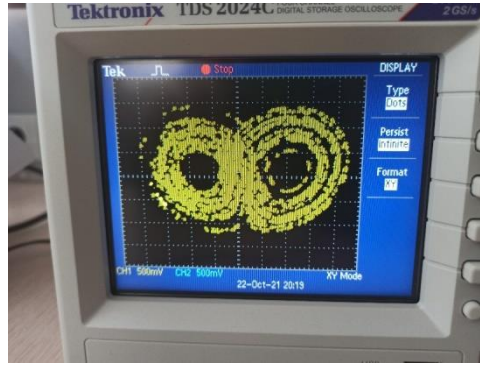
Şekil 3.82. Kesir dereceli Lü sisteminin x-y durum değişkenleri benzetim sonuçları genel görünümü



(a)



(b)

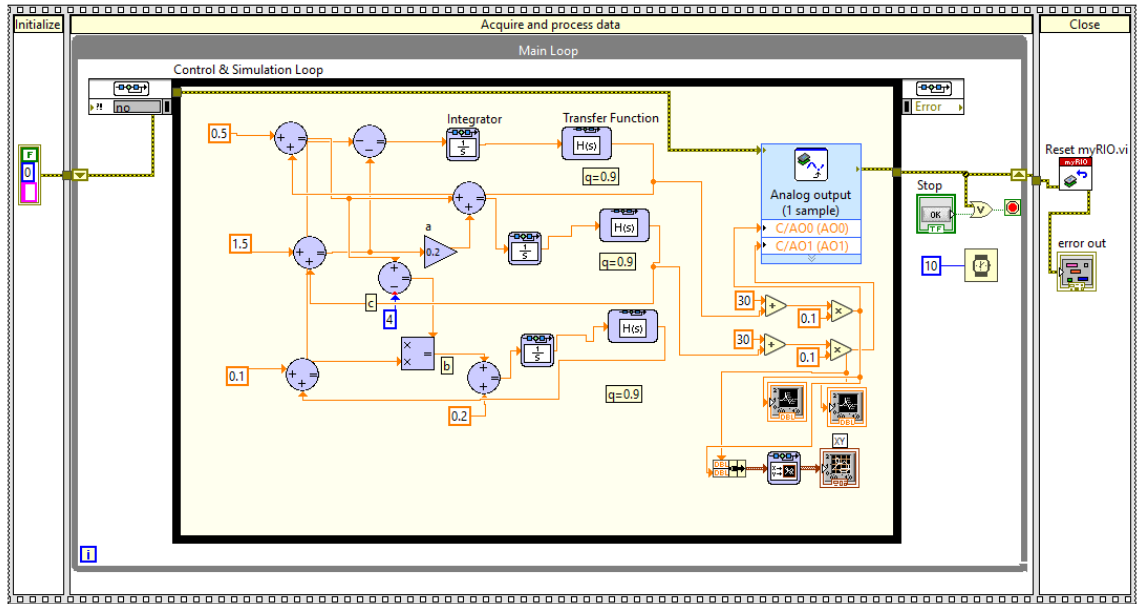


(c)

Şekil 3.83. Kesir dereceli Lü sisteminin sırasıyla (a)x-y, (b)x-z ve (c)y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları

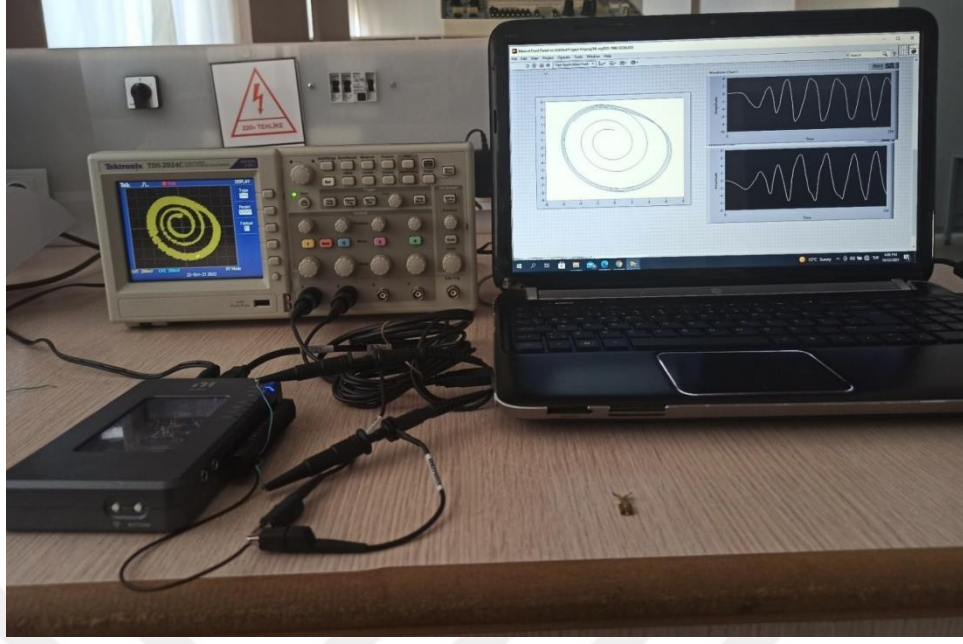
3.3.4. Gerçek Zamanlı Kesir Dereceli Rössler Kaotik Sistem Uygulaması

Kesir dereceli Rössler sisteminin 3 boyutlu x-y-z denklemleri [62] denklem(3.7)'de gösterilmiştir. Şekil 3.84'da LabVIEW ortamında oluşturulan kesir dereceli Arneodo sisteminin blok diyagramının programı gösterilmektedir. Kesir dereceli bu sistem tam sayılı sisteme kesirli türevin yaklaşık olarak tam sayılı karşılığı olan transfer fonksiyonu eklenerek oluşturulmuştur. Başlangıç koşulları $(x(0), y(0), z(0)) = (0.5, 1.5, 0.1)$, katsayı değerleri $\alpha = 0.2, b = 0.2, c = 5.7$, ve kesir dereceli türevin dereceleri $q_1 = 0.9, q_2 = 0.9, q_3 = 0.9$ değerleri alınarak oluşturulan kaotik sistemin 100 saniye sonucunda oluşan osiloskop çıkışı benzetim sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 3.84 Kesir dereceli Rössler sisteminin LabVIEW ortamındaki analog çıkışlı blok diyagramı

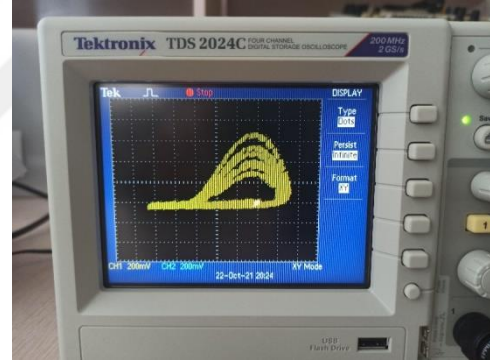
Şekil 3.85'de x-y durum değişkenlerine göre sonuçları osiloskop çıkış sonuçlarının genel görünümü gösterilmektedir. Şekil 3.86'da sırasıyla x-y, x-z ve y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları verilmiştir.



Şekil 3.85. Kesir dereceli Rössler sisteminin x-y durum değişkenleri benzetim sonuçları genel görünümü



(a)



(b)

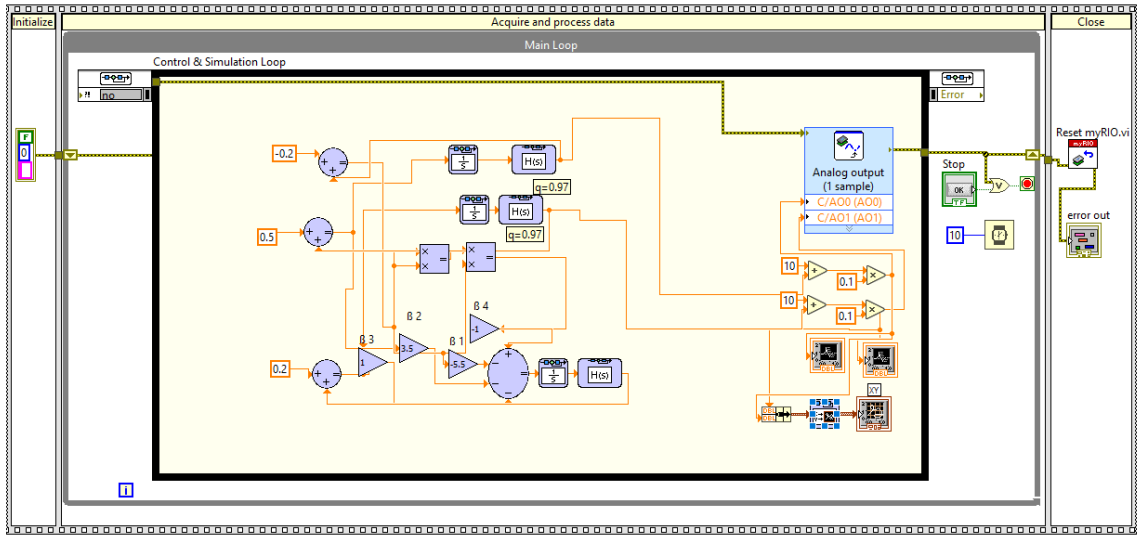


(c)

Şekil 3.86. Kesir dereceli Rössler sisteminin sırasıyla (a)x-y, (b)x-z ve (c)y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları

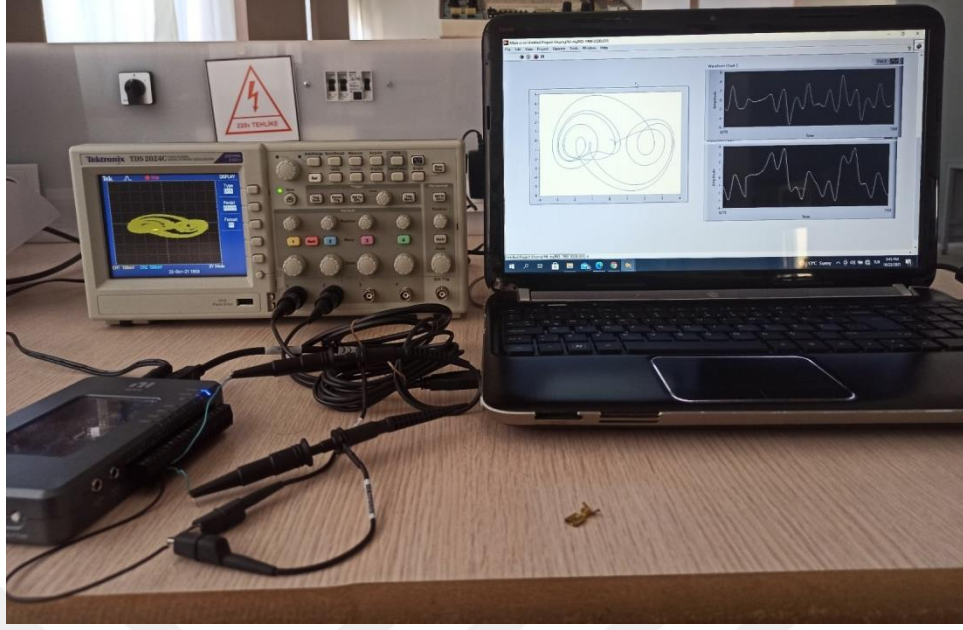
3.3.5. Gerçek Zamanlı Kesir Dereceli Arneodo Kaotik Sistem Uygulaması

Kesir dereceli Arneodo sisteminin 3 boyutlu x-y-z denklemleri [64] denklem(3.9)'de gösterilmiştir. Şekil 3.87'de LabVIEW ortamında oluşturulan kesir dereceli Arneodo sisteminin blok diyagramının programı gösterilmektedir. Kesir dereceli bu sistem tam sayılı sisteme kesirli türevin yaklaşık olarak tam sayılı karşılığı olan transfer fonksiyonu eklenerek oluşturulmuştur. Başlangıç koşulları $(x(0), y(0), z(0)) = (-0.2, 0.5, 0.2)$, katsayı değerleri $\beta_1 = -5.5, \beta_2 = 3.5, \beta_3 = 1, \beta_4 = -1$, ve kesir dereceli türevin dereceleri $q_1 = 0.97, q_2 = 0.97, q_3 = 0.97$ değerleri alınarak oluşturulan kaotik sistemin 100 saniye sonucunda oluşan osiloskop çıkışı benzetim sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

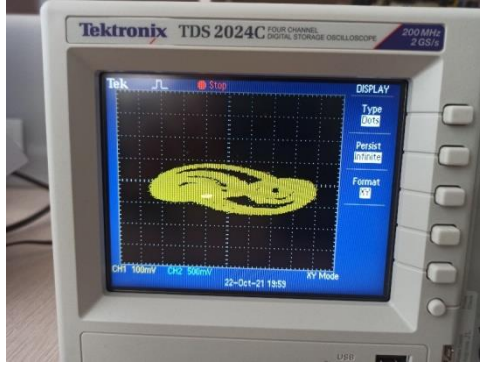


Şekil 3.87. Kesir dereceli Arneodo sisteminin LabVIEW ortamındaki analog çıkışlı blok diyagramı

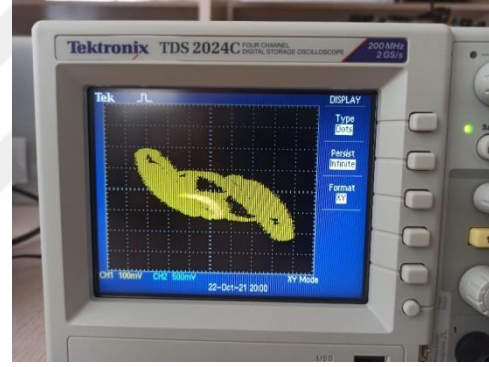
Şekil 3.88'de x-y durum değişkenlerine göre sonuçları osiloskop çıkış sonuçlarının genel görünümü gösterilmektedir. Şekil 3.89'da sırasıyla x-y, x-z ve y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları verilmiştir



Şekil 3.88. Kesir dereceli Arneodo sisteminin x-y durum değişkenleri benzetim sonuçları genel görünümü



(a)



(b)

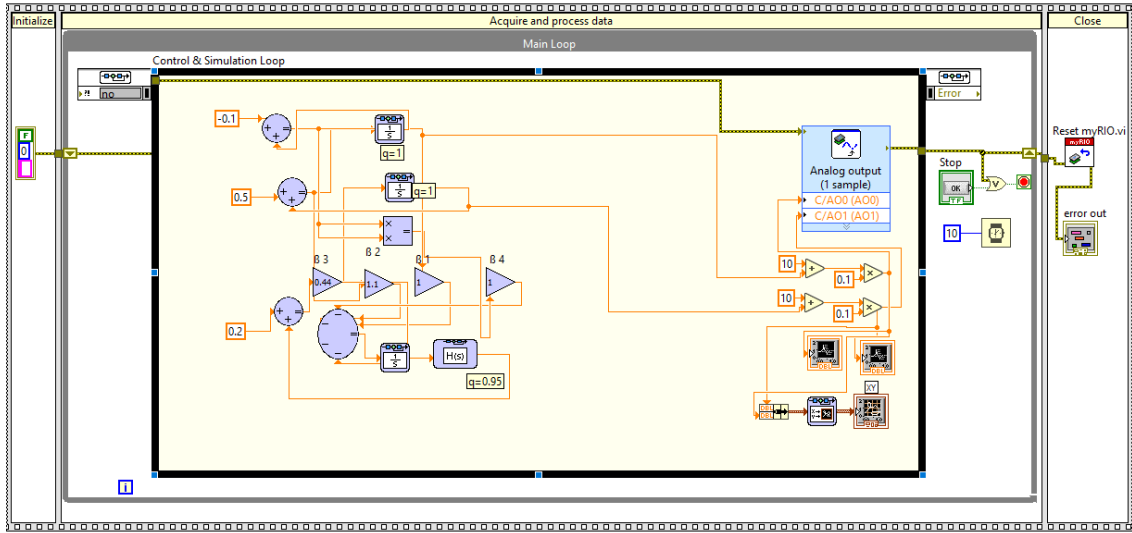


(c)

Şekil 3.89. Kesir dereceli Arneodo sisteminin sırasıyla x-y, x-z ve y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları

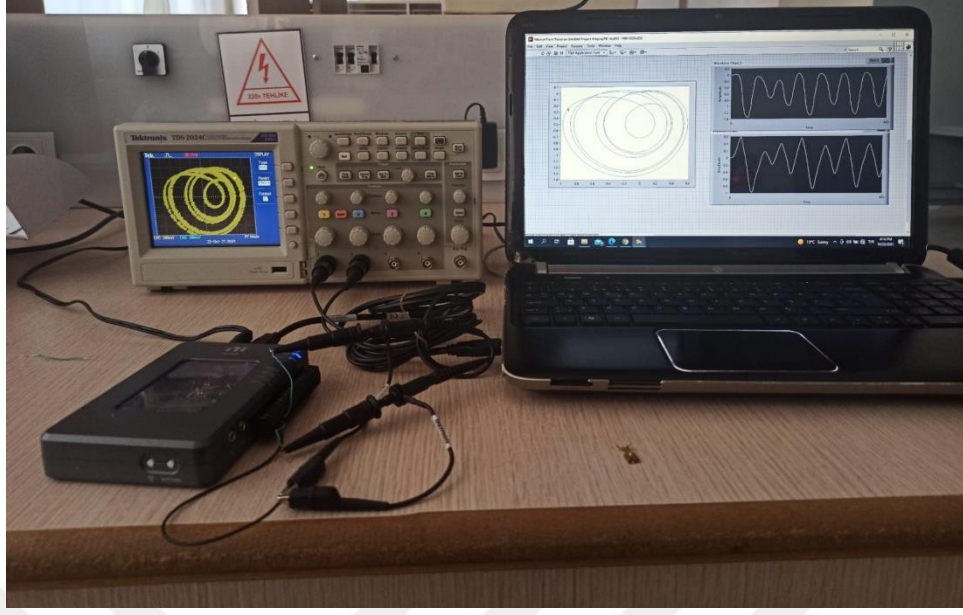
3.3.6. Gerçek Zamanlı Kesir Dereceli Genesio-Tesi Kaotik Sistem Uygulaması

Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin 3 boyutlu x-y-z denklemleri [66] denklem(3.11)'da gösterilmiştir. Şekil 3.90'da LabVIEW ortamında oluşturulan kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin blok diyagramının programı gösterilmektedir. Kesir dereceli bu sistem tam sayılı sisteme kesirli türevin yaklaşık olarak tam sayılı karşılığı olan transfer fonksiyonu eklenerek oluşturulmuştur. Başlangıç koşulları $(x(0), y(0), z(0)) = (-0.1, 0.5, 0.2)$, katsayı değerleri $\beta_1 = 1, \beta_2 = 1.1, \beta_3 = 0.44, \beta_4 = 1$, ve kesir dereceli türevin dereceleri $q_1 = 1, q_2 = 1, q_3 = 0.95$ değerleri alınarak oluşturulan kaotik sistemin 200 saniye sonucunda oluşan osiloskop çıkışı benzetim sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 3.90. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin LabVIEW ortamındaki analog çıkışlı blok diyagramı

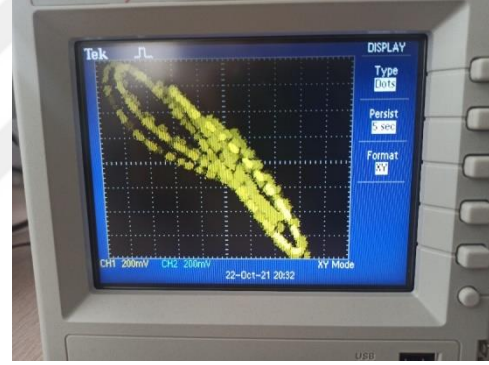
Şekil 3.91'de x-y durum değişkenlerine göre sonuçları osiloskop çıkış sonuçlarının genel görünümü gösterilmektedir. Şekil 3.92'de sırasıyla x-y, x-z ve y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları verilmiştir.



Şekil 3.91. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin x-y durum değişkenleri benzetim sonuçları genel görünümü



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.92. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin sırasıyla x-y, x-z ve y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları

3.4. Kullanılan Cihazlar

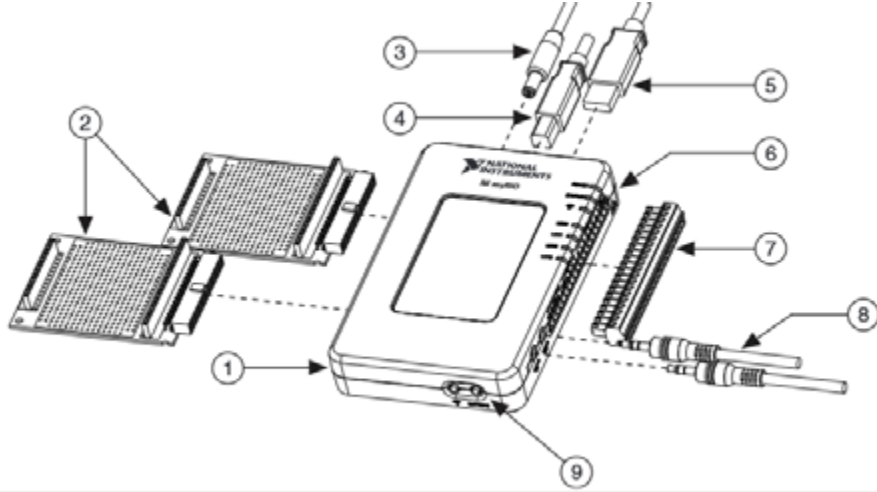
Bu bölümde kullanılan cihazlardan ve özelliklerinden bahsedilmiştir.

3.4.1. FPGA Cihazı

Birçok çeşitli mühendislik projelerinde kullanılan FPGA cihazları aktif bir şekilde kullanabilmek için tıpkı mikro denetleyiciler gibi programlanması gereklidir. FPGA cihazlarının programlamak için başta Verilog ve VHDL gibi programlama dillerinin kullanılmasının yanında gibi bazı platformlar da FPGA cihazının komutlandırılması için gerekli olan programlama ortamını sağlamaktadır. Bu projedeki kaotik sistemler platformunda oluşturulmuştur. Bu kaotik sistemin FPGA cihazına uygulanabilmesi için platformu ile uyumlu myRIO-1900 modeli kullanılmıştır. Bu cihaz içerisinde Xilinx Z-7010 model işlemci kullanılmaktadır. Bu cihazın üzerinde 10 tane AI (analog giriş) , 6 tane AO (analog çıkış), 40 tane DIO (dijital giriş çıkış) kanalları bulunmaktadır. Şekil 3.93 ve 3.94 sırasıyla myRIO cihazının genel görünümü ve üzerindeki kısımlar gösterilmektedir.

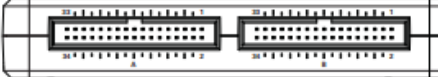


Şekil 3.94. MyRIO-1900 FPGA Cihazı



Şekil 3.95. MyRIO-1900 FPGA cihazı ve üzerindeki kısımlar.

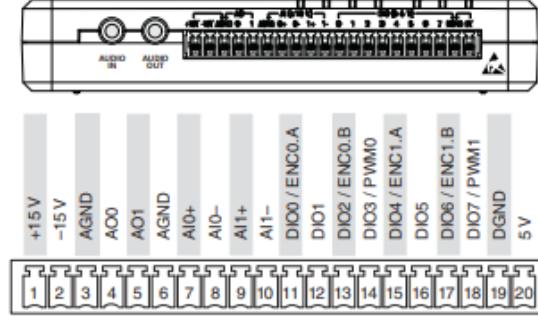
- (1) Numaralı kısımda cihazın kendisi belirtilmektedir
- (2) Numaralı kısımda cihazın A ve B konektörlerinin olduğu bölüm uyumlu kit.
- (3) Numaralı kısımda cihazın güç girişi kablosudur.
- (4) Numaralı kısımda USB cihaz kablosu.
- (5) Numaralı kısımda USB OTG kablosu.
- (6) Numaralı kısımda LEDler
- (7) Numaralı kısımda C konektörünün bulunduğu kısma uyumlu vidalı kit.
- (8) Numaralı kısımda ses giriş/çıkış kablolarıdır.
- (9) Numaralı kısımda bir Buton0 ve Wifi açma/kapama butonu bulunmaktadır.

																
DIO15 / I2C.SDA	DIO14 / I2C.SCL	DGND	DGND	DIO13	DGND	DIO12 / ENC.B	DGND	DIO11 / ENC.A	DGND	UART.TX	DGND	UART.RX	DGND	AGND	AO1	AO0
+3.3V	DIO10 / PWM2	DIO9 / PWM1	DIO8 / PWM0	DIO7 / SPI.MOSI	DIO6 / SPI.MISO	DIO5 / SPI.CLK	DIO4	DIO3	DIO2	DIO1	DIO0	A3	A2	A1	A0	+5V
33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9	7	5	3	1
34	32	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2

Şekil 3.96. MyRIO-1900 FPGA cihazının yandan A ve B konektörlerinin bulunduğu kısmın görünümü.

Şekil 3.95’de A ve B konektörlerinin bulunduğu kısım gösterilmektedir. Bu kısımda analog giriş/çıkış, dijital giriş/çıkış, topraklama ve +5V güç çıkışı bulunmaktadır. Bu A ve B

konektörlerinin bulunduğu kısımda analog giriş ve çıkışlar 0-5 V aralığında sinyal çıkışı vermekte kabul etmektedir. Dijital sinyaller ise 3.3V ve 5V gerilimler ile uyumludur.

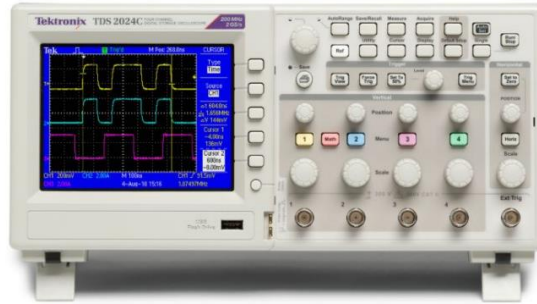


Şekil 3.97. MyRIO-1900 FPGA cihazının yandan C konektörlerinin bulunduğu kısmın görünümü.

Şekil 3.96’da C konektörünün bulunduğu kısım gösterilmektedir. Bu kısımda analog giriş/çıkış, dijital giriş/çıkış, topraklama ve -15V/+15V aralığında güç çıkışı bulunmaktadır. Bu C konektörünün bulunduğu kısımda analog giriş ve çıkışlar -10V/+10 V aralığında sinyal çıkışı vermektedir. Dijital sinyaller ise 3.3V ve 5V gerilimler ile uyumludur.

3.4.2. Osiloskop Cihazı

FPGA cihazı ile üretilen sinyalin edilmesi için Tektronix marka TDS 2024C model osiloskop kullanılmıştır.



Şekil 3.98. TDS 2024C model osiloskop genel görünümü.

Şekil 3.97’de TDS 2024C model osiloskop genel görünümü gösterilmektedir. Bu osiloskop üzerinde 4 giriş kanalı bulunmaktadır. 200MHz’ye kadar bant genişliği sağlamaktadır. 2 GS/s ye kadar örnekleme oranı tüm kanallarında bulunmaktadır. Otomatik olarak sinyal aralığı ayarlama özelliği bulunmaktadır. 5.7 inç ekran genişliği bulunmaktadır. Bu özelliklerle birlikte, bir osiloskopta bulunması gereken temel özellikleri barındırmaktadır.

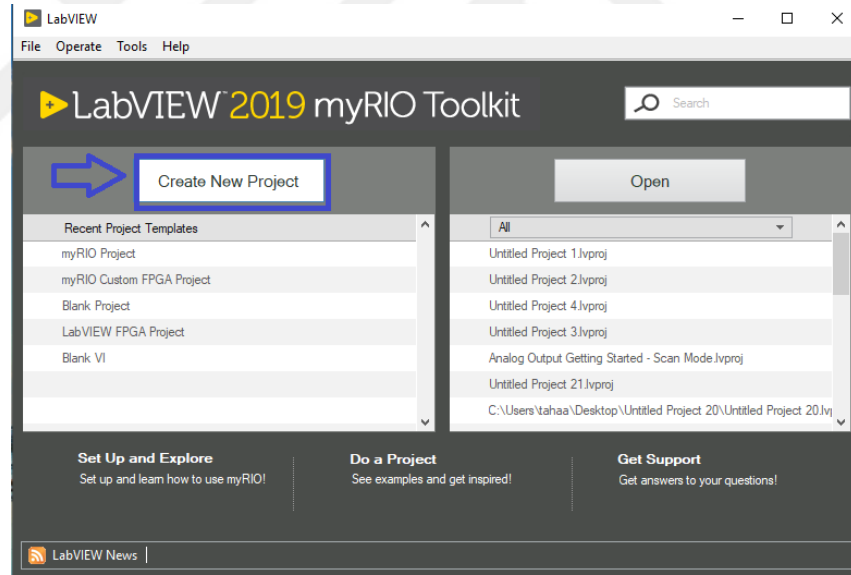
3.5. Benzetim İçin Kullanılan Program

Bu bölümde kesir dereceli sistemin oluşturulmasında için kullanılan programdan bahsedilmiştir.

3.5.1. LabVIEW FPGA Arayüzü

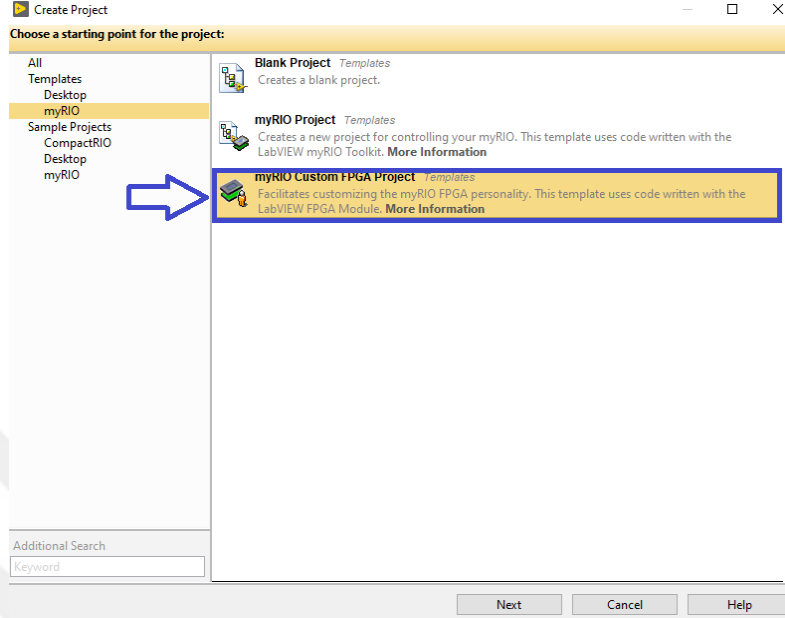
LabVIEW bir grafiksel programlama platformudur. LabVIEW bilimsel uygulamalarda en çok kullanılan programlama dillerinden biridir. LabVIEW platformu hızlı ve verimli bir uygulama geliştirme alanı sağlamaktadır. Her bir grafiksel ikon belirli bir fonksiyonu ifade etmektedir. Bu grafiksel ikonların kablolar kullanılarak birbirleriyle mantıksal bir biçimde bağlanarak yapılan bir programlama yöntemidir. Bu platform ile sinyal işleme, FPGA programlama, görüntü işleme, kontrol ve otomasyon gibi birçok alanda uygulama geliştirmek için kullanılmaktadır. Bu projede LabVIEW platformunun sağladığı FPGA programlama özelliği kullanılarak uygulamalar yapılmıştır. Aşağıdaki şekillerde LabVIEW ile FPGA programlamanın adımlarını şekiller ile gösterilmiştir.

Şekil 3.98'da gösterildiği gibi *Create New Project* kısmına tıklayarak ilerlenir.



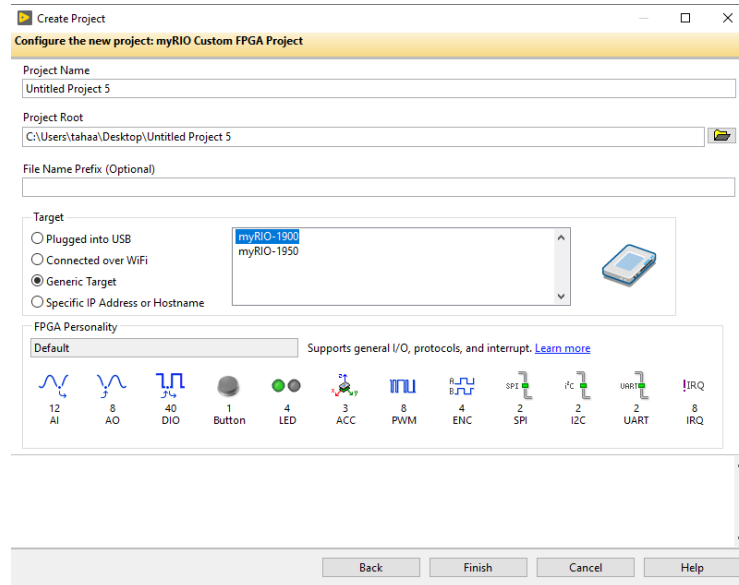
Şekil 3.99. LabVIEW programı giriş bölümü

Şekil 3.99’da gösterildiği gibi *MyRIO Custom FPGA Project* kısmına tıklayarak bir sonraki aşamaya geçilmektedir.



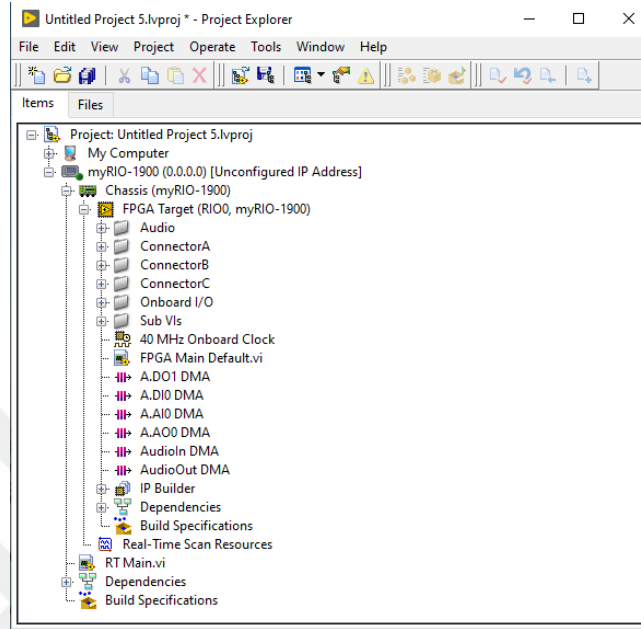
Şekil 3.100. LabVIEW FPGA proje oluşturma arayüzü

Şekil 3.100’de MyRIO FPGA bağlanma arayüzünü göstermektedir. Bu bölümde myRIO cihazına kablolu veya wifi ile bağlanma imkânı bulunmaktadır. Eğer cihaz aktif olarak bulunmuyorsa *Generic Target* kısmını seçip ilerlenebilir.



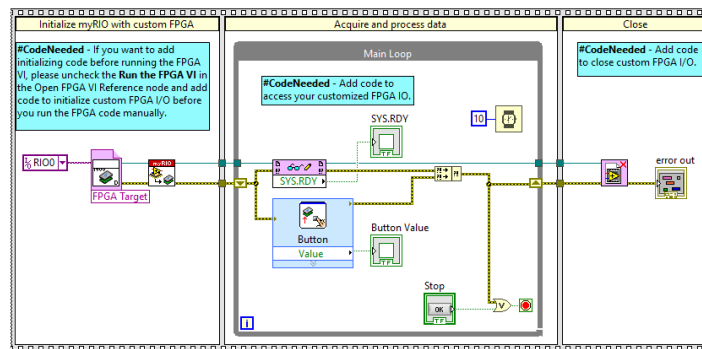
Şekil 3.101. MyRIO FPGA cihazına bağlantı arayüzü

Şekil 3.101’de Oluşturulan MyRIO FPGA projesi gösterilmektedir. Şekil 6.9’da proje içerisinde bulunan *RT Main* ve *FPGA Main* olarak proje içerisinde bulunan bu dosyalar FPGA programlama için oluşturulan kısımlardır.



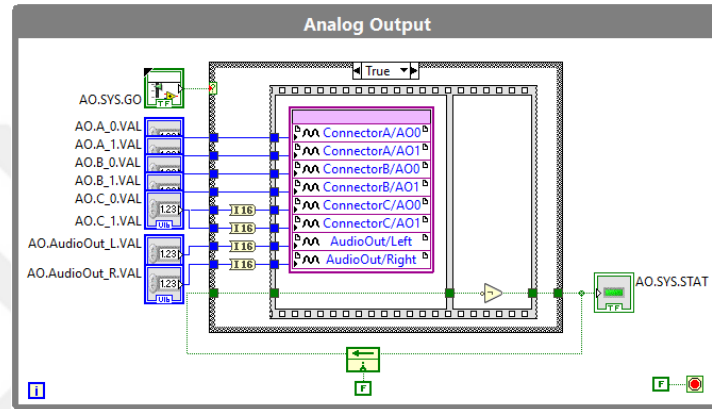
Şekil 3.102. MyRIO FPGA cihazına bağlantı arayüzü

Şekil 3.102’da oluşturulan RT Main kısmında asıl programlama yapıldığı bölümdür. Bu bölümde bulunan *Read/Write Control* fonksiyonu ile FPGA Main dosyası ile iletişim sağlanmaktadır.



Şekil 3.103. Projede bulunan RT Main dosyası içinde oluşturulan blok diyagramı

Şekil 3.103’de FPGA Main dosyası içinde oluşturulan analog çıkışların blok diyagramı gösterilmektedir. LabVIEW platformunda FPGA cihazının programlanabilmesi için öncelikle FPGA Main olarak gösterilen bu kısmın çalıştırılıp aktif hale getirilmesi gerekmektedir. FPGA Main kısmı Şekil 3.103’de görüldüğü gibi çalıştırıldığında FPGA cihazının tüm analog giriş ve çıkışları aktif edilmiş olur. Daha sonra RT Main kısmında oluşturulan programlama çalıştırılarak FPGA cihazı kontrol edilmiş olur. Unutulmaması gerekir ki LabVIEW platformunda FPGA cihazını programlamak için öncelikle FPGA Main kısmının derlenip aktif bir şekilde çalışmasını sağlanması gerekir.



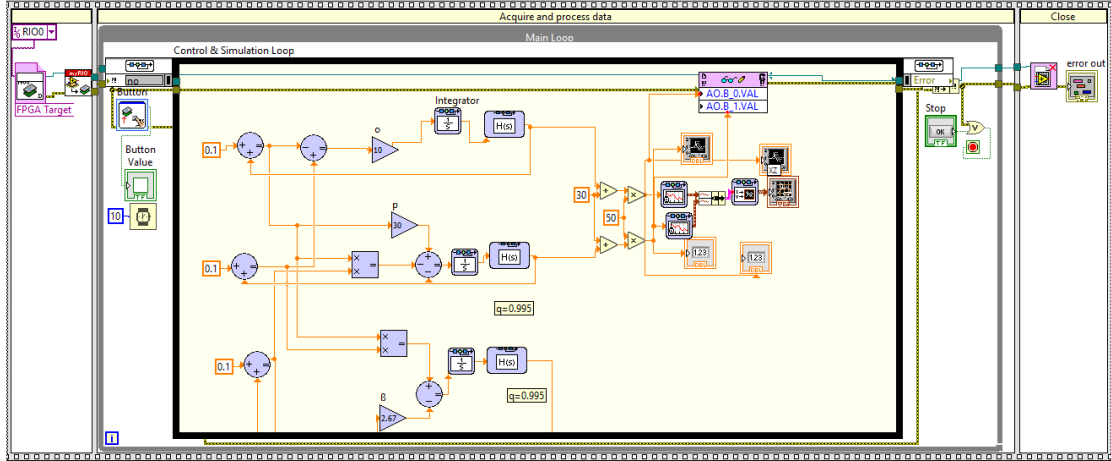
Şekil 3.104. Projede bulunan FPGA Main dosyası içinde oluşturulan analog çıkışların blok diyagramı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

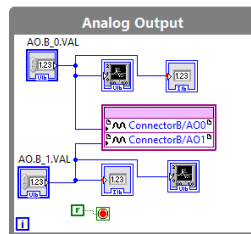
Bu bölümde kesir dereceli sistemlerin myRIO-1900 cihazının FPGA özelliğini kullanarak oluşturulan benzetim sonuçlarının osiloskop üzerindeki çıkışları gösterilmiştir.

4.1. Gerçek Zamanlı Kesir Dereceli Lorenz Kaotik Sistem Uygulaması

Kesir dereceli Lorenz sisteminin 3 boyutlu x-y-z denklemleri [55] denklem (3.1)'de gösterilmiştir. Şekil 4.1'de LabVIEW RT TARGET ortamında oluşturulan kesir dereceli Lorenz sisteminin blok diyagramının programı gösterilmektedir. Şekil 4.2'de ise RT TARGET kısmında oluşturulan programlamanın FPGA cihazına yüklenmesi için oluşturulan LabVIEW FPGA TARGET ortamı gösterilmektedir. Başlangıç koşulları $(x(0), y(0), z(0)) = (0.1, 0.1, 0.1)$. Katsayı değerleri $\sigma = 10, \rho = 30, \beta = 2.67$ ve kesir dereceli türevin dereceleri $q_1 = 0.995, q_2 = 0.995, q_3 = 0.995$ değerleri alınarak oluşturulan kaotik sistemin 100 saniye sonucunda oluşan osiloskop çıkışı benzetim sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir



Şekil 4.1. Kesir dereceli Lorenz sisteminin LabVIEW RT Main kısmındaki analog çıkışlı blok diyagramı



Şekil 4.2. Kesir dereceli Lorenz sisteminin LabVIEW FPGA Main kısmındaki analog çıkışlı blok diyagramı

Şekil 4.3’de x-y durum değişkenlerine göre sonuçları osiloskop çıkış sonuçlarının genel görünümü gösterilmektedir. Şekil 4.4’de sırasıyla x-y, x-z ve y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları verilmiştir. Bu çıkışları elde etmek için myRIO-1900 cihazının B konektörünün analog output 0 ve 1 adlı pinleri kullanılarak 0-5V aralığında gerilim üretilmesi ile oluşturulmuştur.



Şekil 4.3. Kesir dereceli Lorenz sisteminin x-y durum değişkenleri benzetim sonuçları genel görünümü



(a)



(b)

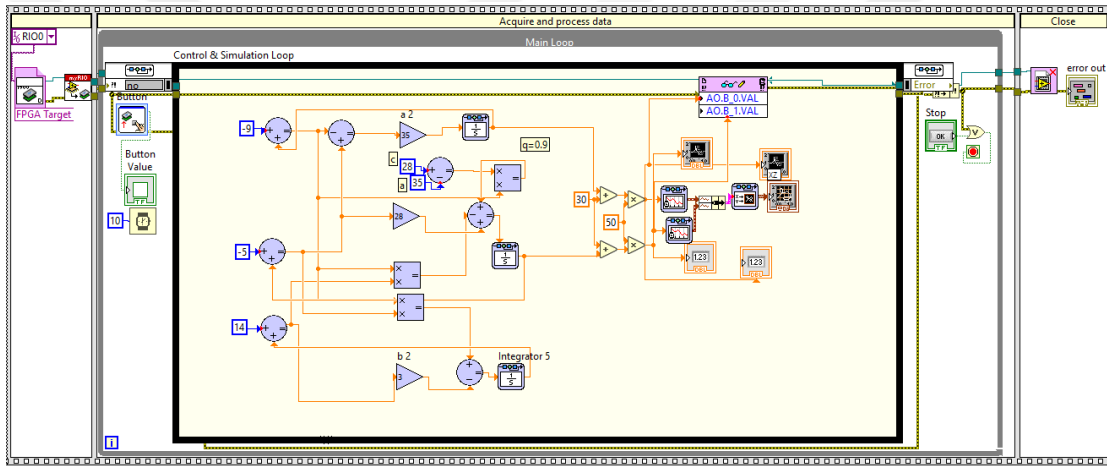


(c)

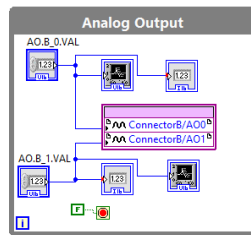
Şekil 4.4 Kesir dereceli Lorenz sisteminin sırasıyla (a)x-y, (b)x-z ve (c) y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları

4.2. Gerçek Zamanlı Kesir Dereceli Chen Kaotik Sistem Uygulaması

Kesir dereceli Chen sisteminin 3 boyutlu x-y-z denklemleri [57] denklem(3.3)'de gösterilmiştir. Şekil 4.5'de LabVIEW RT Main ortamında oluşturulan kesir dereceli Chen sisteminin blok diyagramının programı gösterilmektedir. Şekil 4.6'de ise RT Main kısmında oluşturulan programlamanın FPGA cihazına yüklenmesi için oluşturulan LabVIEW FPGA Main ortamı gösterilmektedir. Kesir dereceli bu sistem tam sayılı sisteme kesirli türevin yaklaşık olarak tam sayılı karşılığı olan transfer fonksiyonu eklenerek oluşturulmuştur. Başlangıç koşulları $(x(0), y(0), z(0)) = (-9, -5, 14)$, katsayı değerleri $\alpha = 35, c = 3, b = 28$, ve kesir dereceli türevin dereceleri $q_1 = 0.9, q_2 = 0.9, q_3 = 0.9$ değerleri alınarak oluşturulan kaotik sistemin 25 saniye sonucunda oluşan osiloskop çıkışı benzetim sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

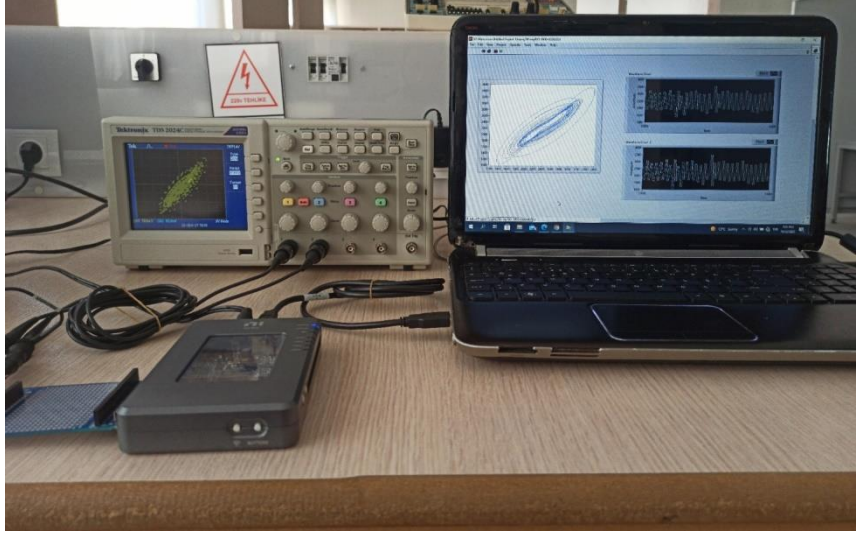


Şekil 4.5. Kesir dereceli Chen sisteminin LabVIEW RT Main ortamındaki analog çıkışlı blok diyagramı

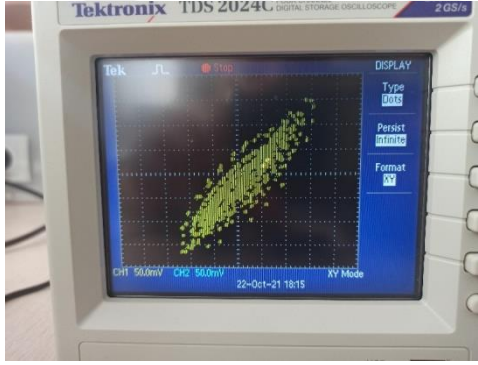


Şekil 4.6. dereceli Lorenz sisteminin LabVIEW FPGA Main kısmındaki analog çıkışlı blok diyagramı

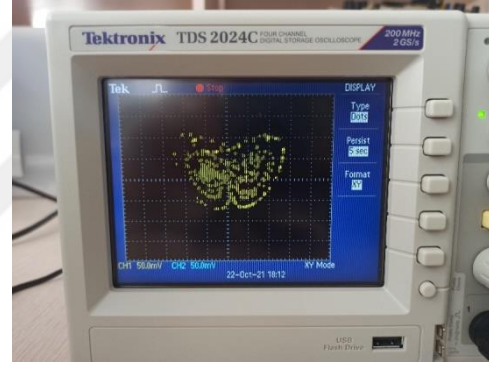
Şekil 4.7'de x-y durum değişkenlerine göre sonuçları osiloskop çıkış sonuçlarının genel görünümü gösterilmektedir. Şekil 4.8'de sırasıyla x-y, x-z ve y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları verilmiştir. Bu çıkışları elde etmek için myRIO-1900 cihazının B konektörünün analog output 0 ve 1 adlı pinleri kullanılarak 0-5V aralığında gerilim üretilmesi ile oluşturulmuştur.



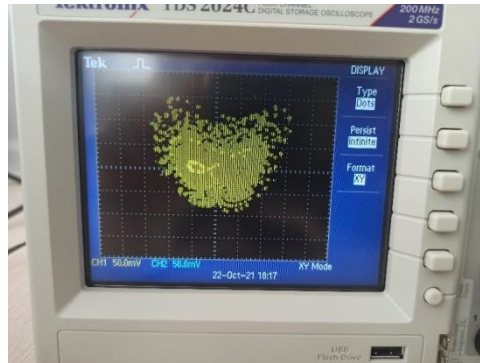
Şekil 4.7. Kesir dereceli Chen sisteminin x-y durum değişkenleri benzetim sonuçları genel görünümü



(a)



(b)

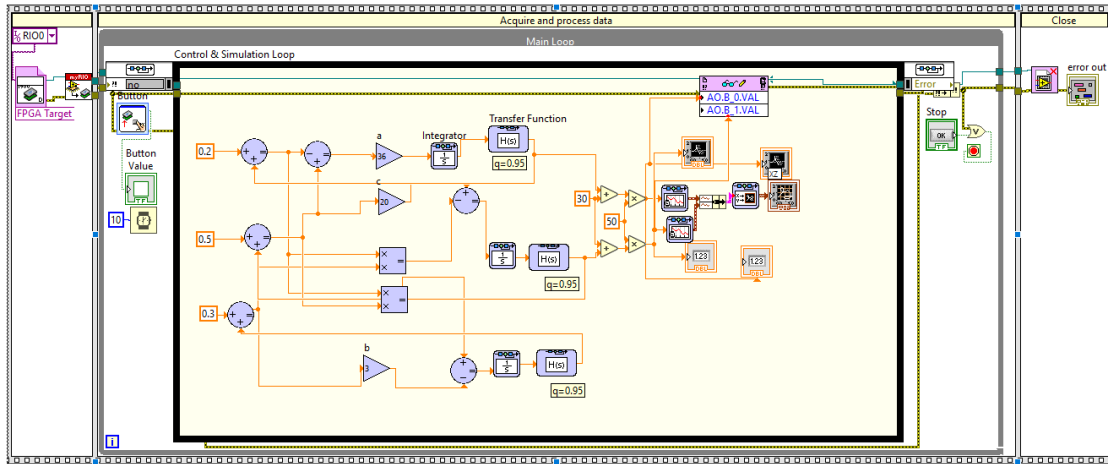


(c)

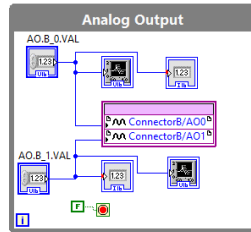
Şekil 4.8. Kesir dereceli Chen sisteminin sırasıyla (a)x-y, (b)x-z ve (c) y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları

4.3. Gerçek Zamanlı Kesir Dereceli Lü Kaotik Sistem Uygulaması

Kesir dereceli Lü sisteminin 3 boyutlu x-y-z denklemleri [59] denklem(3.5)'de gösterilmiştir. Şekil 4.9'da LabVIEW RT Main ortamında oluşturulan kesir dereceli Lü sisteminin blok diyagramının programı gösterilmektedir. Şekil 4.10'da ise RT Main kısmında oluşturulan programlamanın FPGA cihazına yüklenmesi için oluşturulan LabVIEW FPGA Main ortamı gösterilmektedir. Kesir dereceli bu sistem tam sayılı sisteme kesirli türevin yaklaşık olarak tam sayılı karşılığı olan transfer fonksiyonu eklenerek oluşturulmuştur. Başlangıç koşulları $(x(0), y(0), z(0)) = (0.2, 0.5, 0.3)$, katsayı değerleri $\alpha = 36, c = 3, b = 20$, ve kesir dereceli türevin dereceleri $q_1 = 0.95, q_2 = 0.95, q_3 = 0.95$ değerleri alınarak oluşturulan kaotik sistemin 20 saniye sonucunda oluşan osiloskop çıkışı benzetim sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Kesir dereceli Lü sisteminin LabVIEW ortamındaki analog çıkışlı blok diyagramı

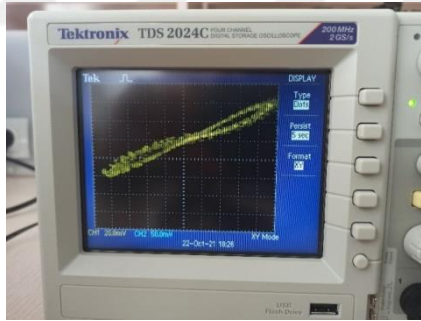


Şekil 4.10. Kesir dereceli Lorenz sisteminin LabVIEW FPGA Main kısmındaki analog çıkışlı blok diyagramı

Şekil 4.11’de x-y durum değişkenlerine göre sonuçları osiloskop çıkış sonuçlarının genel görünümü gösterilmektedir. Şekil 4.12’de sırasıyla x-y, x-z ve y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları verilmiştir. Bu çıkışları elde etmek için myRIO-1900 cihazının B konektörünün analog output 0 ve 1 adlı pinleri kullanılarak 0-5V aralığında gerilim üretilmesi ile oluşturulmuştur.



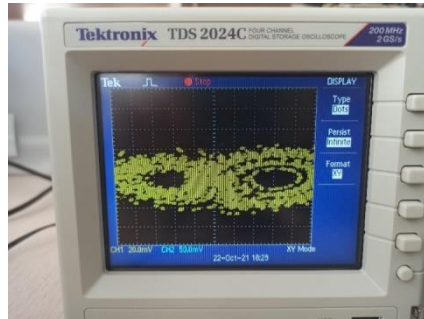
Şekil 4.11. Kesir dereceli Lü sisteminin x-y durum değişkenleri benzetim sonuçları genel görünümü



(a)



(b)

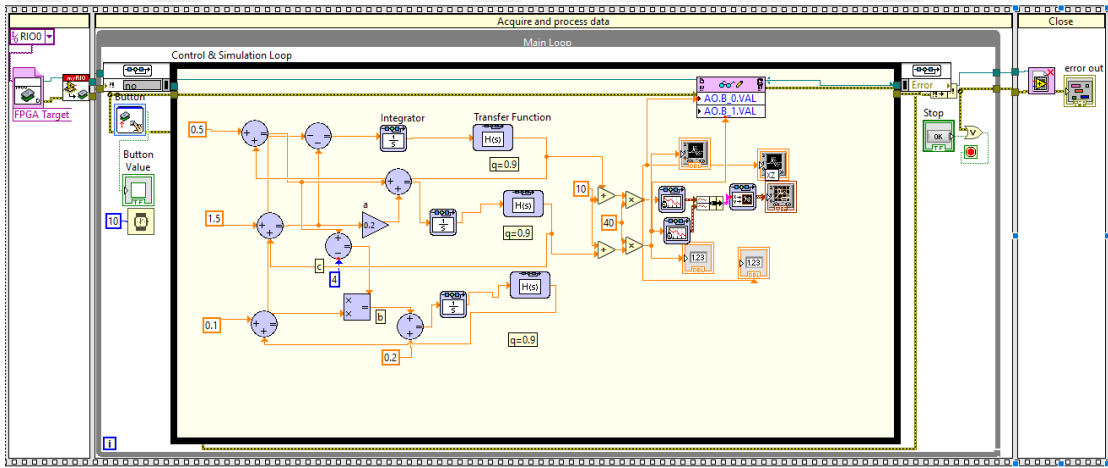


(c)

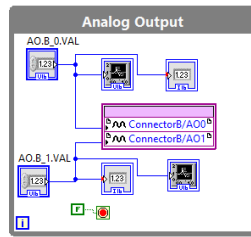
Şekil 4.12 Kesir dereceli Lü sisteminin sırasıyla (a)x-y, (b)x-z ve (c) y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları

4.4. Gerçek Zamanlı Kesir Dereceli Rössler Kaotik Sistem Uygulaması

Kesir dereceli Rössler sisteminin 3 boyutlu x-y-z denklemleri [62] denklem(3.7)'de gösterilmiştir. Şekil 4.13'de LabVIEW RT Main ortamında oluşturulan kesir dereceli Rössler sisteminin blok diyagramının programı gösterilmektedir. Şekil 4.14'de ise RT Main kısmında oluşturulan programlamanın FPGA cihazına yüklenmesi için oluşturulan LabVIEW FPGA Main ortamı gösterilmektedir. Kesir dereceli bu sistem tam sayılı sisteme kesirli türevin yaklaşık olarak tam sayılı karşılığı olan transfer fonksiyonu eklenerek oluşturulmuştur. Başlangıç koşulları $(x(0), y(0), z(0)) = (0.5, 1.5, 0.1)$, katsayı değerleri $\alpha = 0.2, b = 0.2, c = 5.7$, ve kesir dereceli türevin dereceleri $q_1 = 0.9, q_2 = 0.9, q_3 = 0.9$ değerleri alınarak oluşturulan kaotik sistemin 100 saniye sonucunda oluşan osiloskop çıkışı benzetim sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



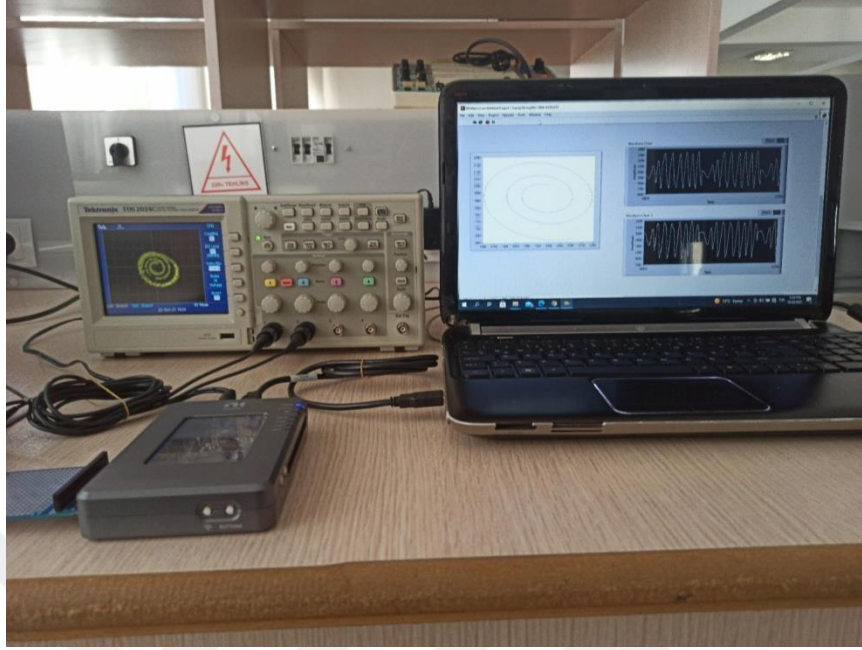
Şekil 4.13. Kesir dereceli Rössler sisteminin LabVIEW ortamındaki analog çıkışlı blok diyagramı.



Şekil 4.14 Kesir dereceli Lorenz sisteminin LabVIEW FPGA Main kısmındaki analog çıkışlı blok diyagramı.

Şekil 4.15'de x-y durum değişkenlerine göre sonuçları osiloskop çıkış sonuçlarının genel görünümü gösterilmektedir. Şekil 4.16'de sırasıyla x-y, x-z ve y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları verilmiştir. Bu çıkışları elde etmek için myRIO-1900 cihazının B

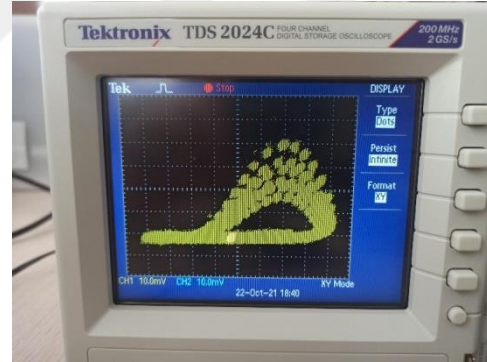
konektörünün analog output 0 ve 1 adlı pinleri kullanılarak 0-5V aralığında gerilim üretilmesi ile oluşturulmuştur.



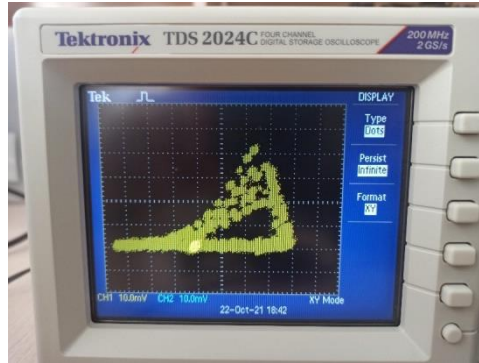
Şekil 4.15. Kesir dereceli Rössler sisteminin x-y durum değişkenleri benzetim sonuçları genel görünümü



(a)



(b)

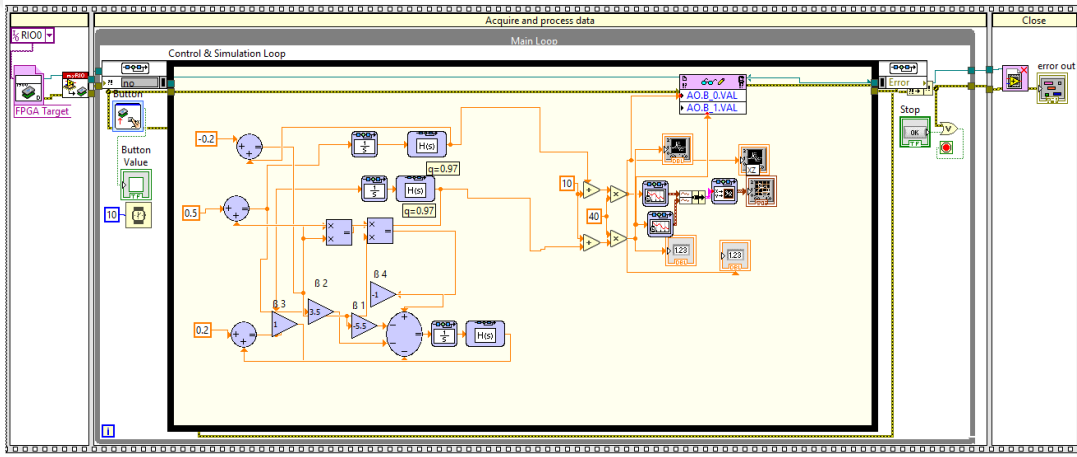


(c)

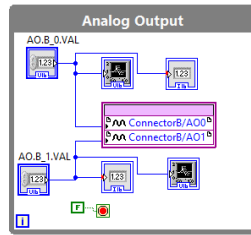
Şekil 4.16. Kesir dereceli Rössler sisteminin sırasıyla (a)x-y, (b)x-z ve (c) y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları

4.5. Gerçek Zamanlı Kesir Dereceli Arneodo Kaotik Sistem Uygulaması

Kesir dereceli Arneodo sisteminin 3 boyutlu x-y-z denklemleri [64] denklem(3.9)'da gösterilmiştir. Şekil 4.17'de LabVIEW RT Main ortamında oluşturulan kesir dereceli Arneodo sisteminin blok diyagramının programı gösterilmektedir. Şekil 4.18'de ise RT Main kısmında oluşturulan programlamanın FPGA cihazına yüklenmesi için oluşturulan LabVIEW FPGA Main ortamı gösterilmektedir. . Kesir dereceli bu sistem tam sayılı sisteme kesirli türevin yaklaşık olarak tam sayılı karşılığı olan transfer fonksiyonu eklenerek oluşturulmuştur. Başlangıç koşulları $(x(0), y(0), z(0)) = (-0.2, 0.5, 0.2)$, katsayı değerleri $\beta_1 = -5.5, \beta_2 = 3.5, \beta_3 = 1, \beta_4 = -1$, ve kesir dereceli türevin dereceleri $q_1 = 0.97, q_2 = 0.97, q_3 = 0.97$ değerleri alınarak oluşturulan kaotik sistemin 100 saniye sonucunda oluşan osiloskop çıkışı benzetim sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

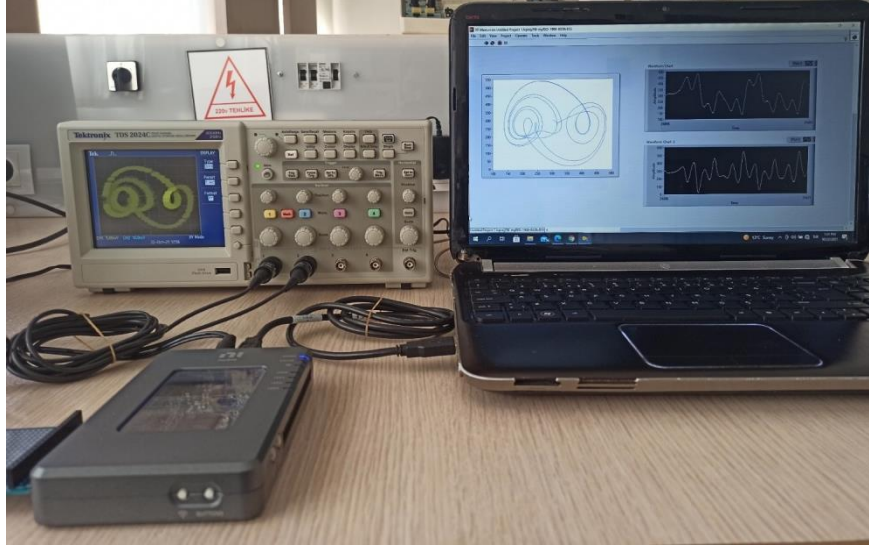


Şekil 4.17. Kesir dereceli Arneodo sisteminin LabVIEW ortamındaki analog çıkışlı blok diyagramı



Şekil 4.18. Kesir dereceli Lorenz sisteminin FPGA Main kısmındaki analog çıkışlı blok diyagramı

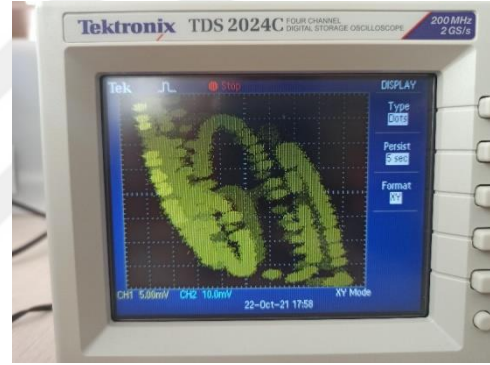
Şekil 4.19'de x-y durum değişkenlerine göre sonuçları osiloskop çıkış sonuçlarının genel görünümü gösterilmektedir. Şekil 4.20'de sırasıyla x-y, x-z ve y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları verilmiştir. Bu çıkışları elde etmek için myRIO-1900 cihazının B konektörünün analog output 0 ve 1 adlı pinleri kullanılarak 0-5V aralığında gerilim üretilmesi ile oluşturulmuştur.



Şekil 4.19. Kesir dereceli Arneodo sisteminin x-y durum değişkenleri benzetim sonuçları genel görünümü.



(a)



(b)

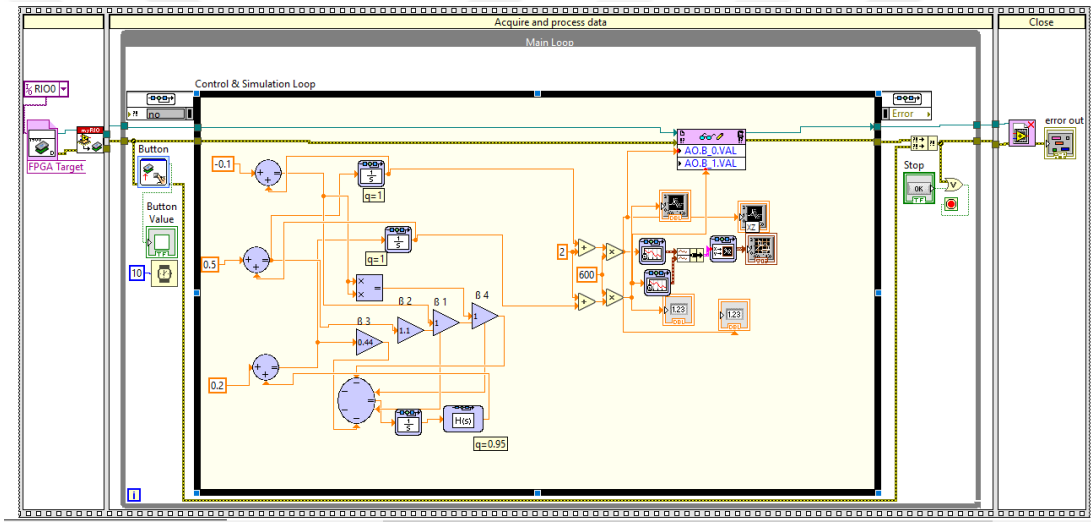


(c)

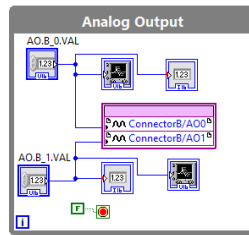
Şekil 4.20. Kesir dereceli Arneodo sisteminin sırasıyla (a)x-y, (b)x-z ve (c) y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları

4.6. Gerçek Zamanlı Kesir Dereceli Genesio-Tesi Kaotik Sistem Uygulaması

Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin 3 boyutlu x-y-z denklemleri [66] denklem(3.11)'de gösterilmiştir. Şekil 4.21'de LabVIEW RT Main ortamında oluşturulan kesir dereceli Lorenz sisteminin blok diyagramının programı gösterilmektedir. Şekil 4.22'de ise RT Main kısmında oluşturulan programlamanın FPGA cihazına yüklenmesi için oluşturulan LabVIEW FPGA Main ortamı gösterilmektedir. . Kesir dereceli bu sistem tam sayılı sisteme kesirli türevin yaklaşık olarak tam sayılı karşılığı olan transfer fonksiyonu eklenerek oluşturulmuştur. Başlangıç koşulları $(x(0), y(0), z(0)) = (-0.1, 0.5, 0.2)$, katsayı değerleri $\beta_1 = 1, \beta_2 = 1.1, \beta_3 = 0.44, \beta_4 = 1$, ve kesir dereceli türevin dereceleri $q_1 = 1, q_2 = 1, q_3 = 0.95$ değerleri alınarak oluşturulan kaotik sistemin 200 saniye sonucunda oluşan osiloskop çıkışı benzetim sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

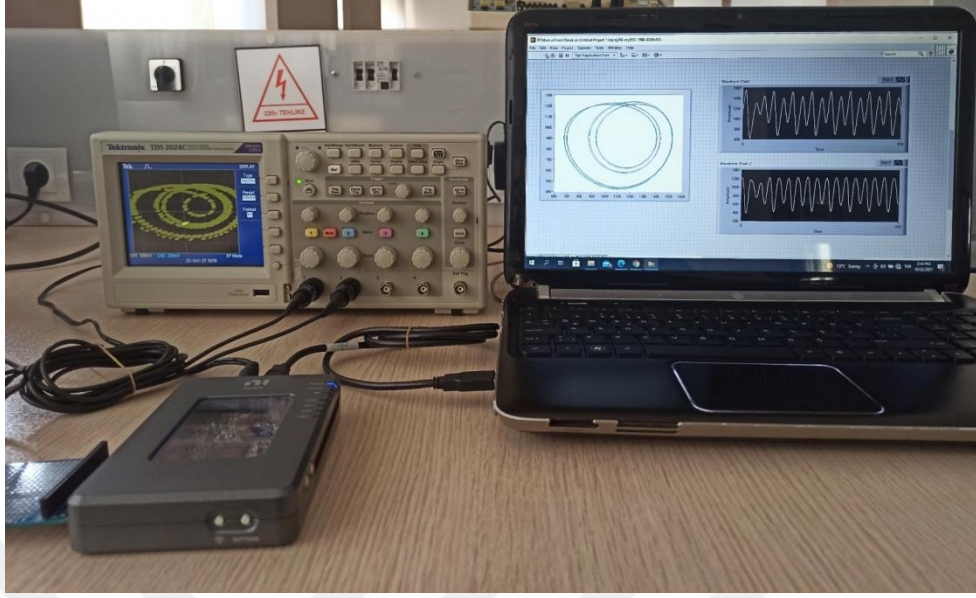


Şekil 4.21. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin LabVIEW ortamındaki analog çıkışlı blok diyagramı



Şekil 4.22. Kesir dereceli Lorenz sisteminin FPGA Main kısmındaki analog çıkışlı blok diyagramı

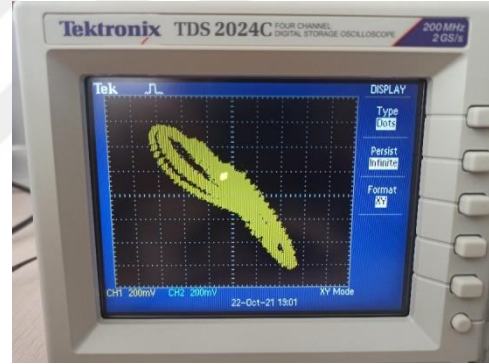
Şekil 4.23'de x-y durum değişkenlerine göre sonuçları osiloskop çıkış sonuçlarının genel görünümü gösterilmektedir. Şekil 4.24'de sırasıyla x-y, x-z ve y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları verilmiştir. Bu çıkışları elde etmek için myRIO-1900 cihazının B konektörünün analog output 0 ve 1 adlı pinleri kullanılarak 0-5V aralığında gerilim üretilmesi ile oluşturulmuştur.



Şekil 4.23. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin x-y durum değişkenleri benzetim sonuçları genel görünümü



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.24. Kesir dereceli Genesio-Tesi sisteminin sırasıyla (a)x-y, (b)x-z ve (c) y-z durum değişkenlerine göre osiloskop çıkış sonuçları verilmiştir

5. SONUÇLAR

Kaotik sistemlerin son yıllarda bilimsel projelerde yaygın olarak kullanılmaya başlanılmasından dolayı birçok programlama platformları kaotik sistemlerin oluşturulup gerçek zamanlı sonuçları elde etme imkânı sunmaya başlamıştır ve bu platformlardan biri de LabVIEW görsel programlama platformudur. LabVIEW görsel programlama platformu içerisinde kaotik sistemlerinin modellerinin tasarlanması için yeterli derecede fonksiyon bulundurması ve kolay bir programlama arayüzüne sahip olmasından dolayı bu tez çalışmasında tercih edilmiştir. Bu çalışmada öncelikle kesirli hesaplamanın tanımı yapılmış ve bir sistemin türev veya integral derecesinin kesirli hale getirilmesin farklı yöntemleri gösterilmiştir. Yaygın olarak çalışmalarda kullanılan kaotik sistemlerden olan altı tanesinin matematiksel modeli kesir dereceli hale getirilmiş ve bu kesir dereceli modellerden grafiksel olarak gerçek zaman sonuçları elde edilmiştir. Ayrıca bu kesir dereceli sistemlerin türev operatörlerinin kesirli dereceleri kademeli olarak düşülerek, kesir dereceli kaotik sistemlerin kaos özelliğini gösterdiği en küçük kesirli derecesinin sonuç çekicileri gösterilmiştir. Kesir dereceli bu altı kaotik sistemlerin kaotik özellik göstermesini sağlayan türev operatörünün en küçük değerleri birbirinden farklı olduğu görülmüştür. Kesir dereceli olarak oluşturulan Chen kaotik sistem modelinden yararlanılarak bir görüntü şifreleme ve deşifre edilmesi uygulaması yapılarak kesir dereceli bir sistemde güvenli haberleşme uygulaması gerçekleştirildi. Bu şifreleme uygulaması sonucunda elde edilen şifrelenmiş ve deşifre edilmiş görüntünün histogram analizleri, orijinal görüntünün histogram analizi ile karşılaştırıldığında başarılı bir şifreleme işlemi yapıldığı görülmüştür.

Bu tez çalışmasının ana motivasyonu olan kesir dereceli sistemlerin FPGA cihazı ile gerçekleştirilmesidir. Bu gerçekleşmenin yapılabilmesi için uygun bir FPGA cihazı seçilmiştir. Kesir dereceli sistemler LabVIEW platformunda oluşturulduğu için LabVIEW platformu ile uyumlu olan MyRIO 1900 cihazı seçilmiştir. MyRIO 1900 cihazının FPGA özelliğinden yararlanılarak osiloskop üzerinde kesir dereceli sistemlerin sonuçları elde edilmiştir. Kesir dereceli sistemlerin osiloskop üzerinden elde edilen bu sonuçları, LabVIEW ortamında gerçek zamanlı olarak elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında sonuçların benzer olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar dâhilinde FPGA cihazı ile kesir dereceli kaotik sistem tasarımlarından gerçek zamanlı sonuçların kolayca elde edilebileceği görülmüştür.

Bu tez çalışmasıyla FPGA cihazından elde edilen sinyaller ile rasgele sayı üreterek, belirli bir bölgenin tamamen taranmasını gerektiren uygulamalar için yapay zeka tekniklerinin uygulamalara eklenmesi ile otonom robot uygulaması yapılabilir. Ayrıca elde edilen bu sinyaller ile anlık olarak güvenli haberleşme ve veri saklama uygulamaları yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Chen, Y. Q., Petras I. ve Xue D., (2009). *Fractional order control – a tutorial*, American Control Conference, pp. 1399–1411
- [2] P. Shah ve Agashe A. (2016). *Review of fractional PID controller*, Mechatronics, pp. 29–41.
- [3] Cafagna D., (2007). Fractional Calculus: A mathematical tool from the past for present engineers, *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 1, 35–40
- [4] Miller K. S. and Ross B., (1993). *An Introduction to the Fractional Calculus and Fractional Differential Equations*, John Wiley & Sons. Inc., New York.
- [5] Podlubny I. (1999). *Fractional Differential Equations*, Academic Press, New York.
- [6] Hifler R. (2001). *Applications of Fractional Calculus in Physic*, World Scientific, New Jersey.
- [7] Jesus, IS., Tenreiro Machado, J., Boaventure Cunha J., *Fractional electrical impedances in botanical elements*. Control pp.1389–402.
- [8] Ahmed, E., El-Sayed, A., El-Saka, H. (2007). *Equilibrium points, stability and numerical solutions of fractional-order predator-prey and rabies models*, J Math Anal Appl.
- [9] Bodo, B., Mvogo, A., Morfu, S., (2017). *Fractional dynamical behavior of electrical activity in a model of pancreatic β -cells*. Chaos, Solitons Fractals.
- [10] Chen, W.C., (2008). *Nonlinear dynamics and chaos in a fractional-order financial system*. Chaos, Solitons Fractals.
- [11] Tacha, O.I., Munoz-Pacheco, J.M., Zambrano-Serrano E., Stouboulos, I.N., Pham V.T., (2018). *Determining the chaotic behavior in a fractional-order finance system with negative parameters*. Nonlinear Dyn.
- [12] Zambrano-Serrano, E., Muñoz-Pacheco, J., Campos-Cantón, E. (2017). *Chaos generation in fractional-order switched systems and its digital implementation*. AEU-Int J Electr Commun 79 pp, 43–52.
- [13] Balasubramaniam, P., Muthukumar, P., Ratnavelu, K. (2015). *Theoretical and practical applications of fuzzy fractional integral sliding mode control for fractional-order dynamical system*. Nonlinear Dyn pp.249–267.
- [14] Shamim, A., Radwan, A.G., Salama, K.N., (2011). *Fractional smith chart theory*, IEEE Microw. Wirel. Compon. Lett. ss 117–119
- [15] Da Graça Marcos, M., Duarte, F.B.M., J.A.T., (2008). *Fractional dynamics in the trajectory control of redundant manipulator*, Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul.
- [16] Said, L.A., Radwan, A.G., Madian, A.H., Soliman, A.M., (2016). *Fractional-order inverting and non-inverting filters based on CFOA*, 39th International Conference on Telecommunications and Signal Processing,
- [17] Said, L.A., Ismail, S.M., Radwan, A.G., Madian, A.H., Abu El-Yazeed, M.F., Solima, A.M., (2016) *On the optimization of fractional order low-pass filters*, Circuits Syst. Signal Process.
- [18] Petras, I., (2011) *Fractional-order Nonlinear Systems: Modeling, Analysis and Simulation*, Higher Education Press, Beijing and Springer-Verlag Berlin Heidelberg,
- [19] Zaslavsky, G. M., 2005, *Hamiltonian Chaos and Fractional Dynamics*, Oxford University Press, Oxford.

- [20] Vaidyanathan, S., Zhu, Q., Azar, A.T., (2017). *Adaptive control of a novel nonlinear double convection chaotic system*. In: *Fractional Order Control and Synchronization of Chaotic Systems*. Springer International Publishing, pp. 357–385.
- [21] Williams, G. P., (1997). *Chaos Theory Tamed*, Joseph Henry Press Washington, D.C.
- [22] Sprott, J.C., (2000) *Simple chaotic systems and circuits*, Am J Phys.
- [23] Xu, R., Gan, Q., Ma, Z., (2009). *Stability and bifurcation analysis on a ratio-dependent predator–prey model with time delay*, J Comput Appl.
- [24] Das, S., Srivastava M, Leung A., (2013). *Hybrid phase synchronization between identical and nonidentical three-dimensional chaotic systems using the active control method*. Nonlinear Dyn.
- [25] Ge, Z.M., Lin G.H., (2007) *The complete, lag and anticipated synchronization of a BLDCM chaotic system*, Chaos Solitons Fractals .
- [26] Lu, J.G., (2006). *Chaotic dynamics of the fractional-order Lü system and its synchronization*, Physics Letters A. ss. 305–311.
- [27] Lu, J.G. ve Chen, G. A., (2005). *note on the fractional-order Chen system*. Chaos, Solitons & Fractals. ss 685–688.
- [28] Zhu, H., Zhou, S., Zhang, Jun (2007). *Chaos and synchronization of the fractional-order Chua's system*. Chaos Solitons & Fractals , ss 595–1603, chaos.
- [29] Gejji, V., Bhalekar, S., (2009) *Chaos in fractional ordered Liu system*. Computers & Mathematics with Applications, ss 1117–1127.
- [30] Zhang W., Zhou S., Li H., Zhu H. (2009). *Chaos in a fractional-order Rössler system*". Chaos Solitons Fractals , ss 1684–1691.
- [31] Shao S., (2009). *Controlling general projective synchronization of fractional order Rossler systems* Chaos Solitons Fractals. ss 1572–1577.
- [32] Zhou T., Li C., (2005). *Synchronization in fractional-order differential systems*. Physica D Nonlinear Phenom, ss 111–125.
- [33] Matignon D., (1996). *Computational engineering in systems and application multiconference*, IMACS, IEEE-SMC , Fransa ,
- [34] Tolba, M F., AbdelAty, A.M., Said, L.A., Maidan, A H., ve Radwan, A.G. (2018). *FPGA implementation of Fractional-Order Chaotic System*, Fractional Order Systems, Elsevier, 2018, pp. 33–62
- [35] Cuomo, K.M., Oppenheim, A.V., (1993). *Circuit implementation of synchronized chaos with applications to communications*. Phys Rev Lett.
- [36] Azzaz, M.S., Tanougast, C., Sadoudi, S., Fellah, R., Dandache, A., (2013). *A new auto-switched chaotic system and its FPGA implementation*. Commun Nonlinear Sci Numer Simul ss 1792–804.
- [37] Sadoudi, S., Azzaz, M.S., Djeddou, M., Benssalah, M., (2009). *An FPGA real-time implementation of the chen's chaotic system for securing chaotic communications*. Int J Nonlinear Sci pp. 467–74.
- [38] Sadoudi, S, Azzaz, M.S., (2009) *Hardware implementation of the Rossler Chaotic System for securing chaotic communication*. In: Fifth international conference: science of electronic, technologies of information and telecommunications
- [39] Ismail, K., Turan, O.A., Ihsan, P., (2014) *Implementation of FPGA-based real time novel chaotic oscillator*. Nonlinear Dyn ss. 49–59.
- [40] Tanougast, C., Dandache, A., (2012) *Hardware design of embedded systems for security applications*. InTech, Croatia; 2012. Ch. 12, pp. 233–260.

- [41] Micco,LD, Larrondo,HA.,(2011).*FPGA implementation of a chaotic oscillator using rk4method*, VII Southern Conference on Programmable Logic (SPL); pp. 185– 90.
- [42] Xue, H., Bing LI W.,(2012) *Implementation of chaos synchronization on FPGA*. 51.Adv Inf Sci Serv Sci
- [43] Mera, L.,Ali-Pacha,A., Said ,N.H., (2013).*Mamat M. Design and FPGA implementation of lorenz chaotic system for information security issues*. Appl Math Sci pp.237–46.
- [44] Shah,D.K., Chaurasiua,R.B., Vyawahare,V.A.,Pichhode,K., Patil, M.D.,(2017). *FPGA implementation of fractional-order chaotic systems*, International Journal of Electronics and Communications pp. 245-257
- [45] Avalos Ruiz, L., Zúñiga-Aguilar, C. , Gómez-Aguilar, J.F., Escobar Jiménez, R., Romero Ugalde, H., (2018). *FPGA implementation and control of chaotic systems involving the variable-order fractional operator with Mittag–Leffler law*. Chaos Solitons & Fractals, pp. 177-189.
- [46] Pano-Azucena, A.,Ovilla-Martinez, B.,Tlelo-Cuautle, E., & Munoz-Pacheco, J.M., de la Fraga, L., (2019). *FPGA-based implementation of different families of fractional-order chaotic oscillators applying Grünwald-Letnikov method*. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. 72.
- [47] Rana, K.,Kumar, V., Mittra, N., Pramanik, N., (2016). *Implementation of fractional order integrator/differentiator on field programmable gate array*. Alexandria Engineering Journal. 55.
- [48] Rajagopal, K., Karthikeyan, A., Duraisamy, P., (2017). *Hyperchaotic Chameleon: Fractional Order FPGA Implementation. Complexity*.
- [49] Tolba, M., Mabrouk, A., Soliman, N.,Said, L., Madian, A.,Azar, A.,Radwan, A.,. (2017). *FPGA Implementation of Two Fractional Order Chaotic Systems*. AEU - International Journal of Electronics and Communications. 78.
- [50] Jamal, A., El-Kader, A.,Hassan, B., Rihan, N., Tolba, M., Said, L., Radwan, A.,Abu-Elyazeed, M.F., (2019). *FPGA implementation of sound encryption system based on fractional-order chaotic systems*. Microelectronics Journal.
- [51] Podlubny I.. 2002. Geometric and Physical Interpretation of Fractional Integration and Fractional Differentiation. *Fractional Calculus and Applied Analysis*, pp. 367-386..
- [52] Deniz ,F.N., Alagoz ,B.B., Tan, N., Atherton D.P., (2016).*Integer Order Approximation Method Based on Stability Boundary Locus for Fractional Order Derivative/Integrator Operators*, ISA Transactions,
- [53] Valério, D., (2021). ninteger (<https://www.mathworks.com/Matlabcentral/fileexchange/8312-ninteger>), MATLAB Central File Exchange.
- [54] Kumar, G., Chandrasekaran, V., (2009). *Fractional Order Lorenz Attractor: Numerical Solution And Its Novel Application to Image Encryption*, pp. 301-307.
- [55] Shrirao, N., Pandey, A.,Gupta, R., (2018). *A review: Analysis of fractional order chaotic systems*. International Journal of Innovative Research in Applied Sciences and Engineering, pp 386-393.
- [56] Chen, G., Ueta,T., (1999). *Yet another chaotic attractor*. Int J Bifurcat Chaos, pp.1465–6
- [57] Lu, J.,Chen, G. ,(2006). *A note on the fractional-order Chen system*. Chaos, Solitons & Fractals. Pp. 685-688.
- [58] Mahmoud, G., Tassosbountis, Mahmoud., Emad. (2011). *Active control and global synchronization of the complex Chen and Lu systems*. International Journal of Bifurcation and Chaos.

- [59] Jiang, C., Liu, S., Luo, C., (2014). *A New Fractional-Order Chaotic Complex System and Its Antisynchronization. Abstract and Applied Analysis.*
- [60] Rössler, O.E., (1976). *An equation for continuous chaos*, Phys. Lett. A , pp. 397–398.
- [61] Barrio, Roberto., Blesa, F., & Serrano, S., (2009). *Qualitative analysis of the Rössler equations: Bifurcations of limit cycles and chaotic attractors*. Physica D Nonlinear Phenomena. pp.1087-1100.
- [62] Adeyemi, V., Tlelo-Cuautle, E., Perez-Pinal, F.J., Téllez, A., & Sandoval-Ibarra, Y., Nunez Perez, J C., (2020). *Chaos Control and Anti-control in Fractional Order Rössler System by Parameter Switching Method*. pp. 166-171.
- [63] Sivaraj, P. ve Gowri. P., (2018). *Stability of Arneodo System*.
- [64] Lu, J., (2005). *Chaotic dynamics and synchronization of fractional-order Arneodo's systems*. Chaos, Solitons & Fractals. 26. pp 1125-1133.
- [65] Faieghi, M., Delavari, H., (2012). *Chaos in fractional-order Genesio-Tesi system and its synchronization. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation - Commun Nonlinear Sci Numer Si*. 17. Pp. 731-741
- [66] Xu, C., Li, P., Liao, M., Liu, Z., Xiao, Q., Yuan, S., (2019). *Control Scheme for a Fractional-Order Chaotic Genesio-Tesi Model. Complexity*. pp. 1-15.
- [67] Xu, Y., Wang, H., Li, Yongge. ve Pei, B., (2014). *Image encryption based on synchronization of fractional chaotic systems*. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. 19. 3735–3744. 10.1016/j.cnsns.
- [68] Feng, G. ve Cao, Ji. (2013). *Master-slave synchronization of chaotic systems with a modified impulsive controller*. Advances in Difference Equations, 10.1186/1687-1847-2013-24.
- [69] Guler, H. Celik, V. ve Kaya, T., (2018). *The Real Time Implementation of a Chaotic System's Synchronization for Secure Communication*, Tehnički vjesnik, 25, ss. 43–48.
- [70] Bulut, G.G., Çatalbaş, C. ve Güler, H., (2020). *Chaotic Systems Based Real-Time Implementation of Visual Cryptography Using* , Traitement du Signal, ss. 639-645.
- [71] Kinzel, W., Englert, A. ve Kanter I., (2010). *On chaos synchronization and secure communication*, Philosophical transactions of the royal society, ss.379-389.
- [72] Henon, M., (1976). *A Two-Dimensional Mapping with a Strange Attractor*, Communication in Mathematical Physics, ss. 69–77,
- [73] Danca, M. ve Kuzbetsov, N., (2018). *Matlab Code for Lyapunov Exponents of Fractional-Order Systems. International Journal of Bifurcation and Chaos*.