

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

FARKLI KESİRLİ DERECEDEN DOĞRUSAL OLMAYAN BİR
SİSTEMİN ELEKTRONİK DEVRE GERÇEKLEMELERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yusuf ADIYAMAN

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK – ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Akif AKGÜL

Ocak 2021

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

FARKLI KESİRLİ DERECEDEDEN DOĞRUSAL OLMAYAN BİR
SİSTEMİN ELEKTRONİK DEVRE GERÇEKLEMELERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yusuf ADIYAMAN

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK – ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 08/01/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Doç. Dr. Akif AKGÜL	Başarılı
Üye: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Çağrı KUTLU	Başarılı
Üye: Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Kürşad UÇAR	Başarılı

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Yusuf ADIYAMAN

04/01/2021

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Akif AKGÜL'e teşekkürlerimi sunarım.

Bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Dr. Öğr. Üyesi Burak ARICIOĞLU'na, Arş. Gör. Muhammed Ali PALA'ya, Arş. Gör. Dr. Abdulkadir KIZILASLAN'a ve Arş. Gör. Murat Erhan ÇİMEN'e ve meslektaşım Emre DORUK'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalışmamı hazırlarken manevi desteklerini hep hissettiğim Anne ve Babama, bugünlere gelmemde çok büyük katkıları olan eşim ve çocuklarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	x
SUMMARY	xi

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı.....	2
1.2. Literatür Araştırması.....	2
1.3. Hipotez.....	3

BÖLÜM 2.

KAOS VE KAOTİK SİSTEMLER.....	5
2.1. Kaos Kuramı	5
2.1.1. Ayrık zamanlı kaotik sistemler (haritalar).....	7
2.1.2. Sürekli zamanlı kaotik sistemler	8
2.2. Kaotik sistem analiz yöntemleri	9
2.2.1. Denge nokta analizi	9
2.2.2. Faz portreleri.....	10
2.2.3. Lyapunov üstelleri	11
2.2.4. Başlangıç değerlerine hassasiyet analizi.....	12
2.2.5. Çatallaşma diyagramı	13
2.3. Referans Kaotik Sistemler	14
2.3.1. Lorenz kaotik sistemi	14
2.3.2. Rössler kaotik sistemi.....	15
2.3.3. Van Der Pol kaotik sistemi.....	16
2.4. Kaotik Sistemlerin Modellenmesi ve Elektronik Devre Gerçeklemeleri ..	17
2.4.1. Devre Gerçeklemede Kullanılan İşlemsel Elemanlar.....	19
2.4.1.1. Analog çarpma entegreleri	19
2.4.1.2. Opamplar	20
2.4.1.3. Gerilim takipçi devresi.....	20
2.4.1.4. Eviren ve Evirmeyen yükselteç devresi	21

2.4.1.5. Toplama devresi	21
2.4.1.6. İntegral alma devresi	22
2.5. Kaotik Sistemlerin Devre Gerçeklemesi	22
BÖLÜM 3.	
KESİR DERECELİ KAOTİK SİSTEMLER.....	25
3.1. Kesirli Dereceli Sistemlerin Çözüm Yöntemleri.....	25
3.2. Kesir Dereceli Sistemler için Elektronik Devre Modelleri.....	29
3.2.1. Xiang-Rong Modeli.....	29
3.2.2. Dorčák Modeli.....	30
3.2.3. Diyi Chen Modeli	30
BÖLÜM 4.	
KESİR DERECELER İÇİN ELEKTRONİK DEVRE MODELLERİNİN	
ELDE EDİLMESİ ve ARAYÜZ TASARIMI	32
4.1. Farklı kesir derecelerinin yaklaşımı ve devre modellerinin elde edilmesi ...	32
4.2. Arayüz Tasarımı	43
BÖLÜM 5.	
FARKLI KESİR DERECEDEDEN ELEKTRONİK DEVRE	
GERÇEKLEMELERİ.....	48
BÖLÜM 6.	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	66
KAYNAKLAR	68
ÖZGEÇMİŞ.....	74

SİMGELER VE KISALTMALAR

ADM	: Adomain Decomposition metodu
ABM	: Adams-Bashforth-Moulton metodu
a	: Sistem parametresi
b	: Sistem parametresi
C	: Kondansatör
d	: Sistem parametresi
dB	: Desibel
DIV	: Bölmek
Det	: Determinant
dx	: Türev operatörü
e	: Euler sabiti
\in	: Elemanıdır
F	: Farat
F(s)	: Laplace dönüşümü
G(s)	: Transfer Fonksiyonu
g(t)	: Kesir dereceli sistemin sabiti
H(s)	: Transfer Fonksiyonu
Hz	: Hertz
I	: Akım
\dot{I}_p	: Pozitif Akım
\dot{I}_n	: Negatif Akım
J	: Jacobiyen Matراسی
K	: Sistem Katsayısı
k_f	: Frekans ölçeklendirme faktörü
L	: Sistem Katsayısı
Lf	: Lineer terimler
n	: Tekrarlama Adedi
Nf	: Lineer olmayan terim

N	: Frekans Bandı
P_t	: Kenar frekansı
P_i	: Yakınsak transfer fonksiyonunun kutup değeri
r	: Sistem parametresi
R	: Direnç
$R_{giriş}$: Giriş Direnci
$R_{çıkış}$: Çıkış Direnci
t	: Time(Zaman)
t_0	: İlk durum
V_i	: Giriş Gerilmi
$V_ç$: Çıkış gerilimi
V_p	: Pozitif gerilim
V_n	: Negatif gerilim
y	: Sistem değişkeni
y_0	: Değişkenin başlangıç değeri
z	: Sistem değişkeni
z_0	: Değişkenin başlangıç değeri
Z_i	: Yakınsak transfer fonksiyonunun sıfır değeri
Z	: Empedans
x	: Sistem değişkeni
x_0	: Değişkenin başlangıç değeri
Γ	: Gama
q	: Türev değer emirleri (kesir derecesi)
∇	: Nabla Operatörü
Σ	: Toplam
Ω	: Ohm

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2. 1. Üç Boyutlu bir sistemin Lyapunov üstelinin işaretlerine göre değişimi .	12
Tablo 4. 1. Transfer fonksiyonu	32
Tablo 4. 2. Diyi Chen devre modeline ait direnç değerleri	33
Tablo 4. 3. Diyi Chen devre modeline ait kondansatör değerleri	33
Tablo 4. 4. Kesir dereceler için hesaplanmış kapasitör ve direnç değerleri.....	37
Tablo 4.5. 0.9 ve 0.99 için eleman değerleri.....	38

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1. Kaosun sınıflandırılması	7
Şekil 2. 2. Logistic Harita için çatallaşma diyagramı	8
Şekil 2. 3. Sürekli zamanlı kaotik bir sistemin zaman x,y,z serisi	9
Şekil 2. 4. Örnek Matlab faz portre görünümü	11
Şekil 2. 5. Örnek Lyapunov üstel grafiği	12
Şekil 2. 6. Kaotik sistemlerin başlangıç şartlarına hassas bağıllığına bir örnek	13
Şekil 2. 7. Çatallaşma diyagram örneği	13
Şekil 2. 8. Lorenz sistemi için x, y, z durum değişkenlerinin zamana göre kaotik değişimi	14
Şekil 2. 9. Lorenz sistemine ait 2-3 boyutlu faz potreleri	15
Şekil 2. 10. Rössler sisteminin x, y, z durum değişkenlerinin zamana göre kaotik değişimi	16
Şekil 2. 11. Rössler sistemine ait 2-3 boyutlu faz potreleri	16
Şekil 2. 12. Van Der Pol sistemine ait 2-3 boyutlu faz potreleri	17
Şekil 2. 13. Blok diyagramı ile modelleme için gereken işlemler (a) Toplama (b) Sabit ile çarpma (c) İntegral alma (d) İşaret Tersleme (e) Analog çarpma	18
Şekil 2. 14. Denklem 2.8'i modelleyen blok diyagram.....	19
Şekil 2. 15. AD633 Fonksiyon Blok diyagramı.....	19
Şekil 2. 16. Opamp'ın a) devre sembolü b) eşdeğer devresi.....	20
Şekil 2. 17. Opamplı gerilim takipçisi devresi.....	20
Şekil 2. 18. (a) Opamplı eviren yükselteç devresi, (b) Opamplı evirmeyen yükselteç devresi.....	21
Şekil 2. 19. Opamplı toplama devresi	21
Şekil 2. 20. Opamplı integral alma devresi	22
Şekil 2. 21. Rucklidge kaotik sisteminin tasarlanan elektronik devre şeması	23
Şekil 2. 22. Rucklidge kaotik sisteminin nümerik Matlab simülasyon sonuçları	24
Şekil 2. 23. Rucklidge kaotik osilatörünün PSpice simülasyon sonuçları	24
Şekil 2. 24. Gerçekleştirilen Rucklidgekaotik osilatörünün osiloskop çıkışları	24
Şekil 3. 1. Chen Xiang – Rong v.d. devre modeli.....	29
Şekil 3. 2. Dorčák modeline ait devre şekil	30
Şekil 3. 3. Diyi Chen devre modeli	30
Şekil 4. 1 İntegral alıcı devre	36
Şekil 4. 2. Empedans devre modeli.....	37
Şekil 4. 3. Diyi Chen modeli ile Rucklidge kaotik sistemi 0.90 kesirli kondansatör ve direnç değer gösterimi	39
Şekil 4. 4. Diyi Chen modeli ile Rucklidge kaotik sistemi 0.99 kesirli kondansatör ve direnç değer gösterimi	39
Şekil 4. 5. Diyi Chen modeli ile Rucklidge kaotik sistemi 0.89 kesirli kondansatör ve direnç değer gösterimi	39

Şekil 4. 6. Diyi Chen modeli ile Rucklidge kaotik sistemi 0.91 kesirli kondansatör ve direnç değeri gösterimi	40
Şekil 4. 7. Diyi Chen modeli ile Rucklidge kaotik sistemi 0.92 kesirli kondansatör ve direnç değeri gösterimi	40
Şekil 4. 8. Diyi Chen modeli ile Rucklidge kaotik sistemi 0.93 kesirli kondansatör ve direnç değeri gösterimi	40
Şekil 4. 9. Diyi Chen modeli ile Rucklidge kaotik sistemi 0.94 kesirli kondansatör ve direnç değeri gösterimi	41
Şekil 4. 10. Diyi Chen modeli ile Rucklidge kaotik sistemi 0.95 kesirli kondansatör ve direnç değeri gösterimi	41
Şekil 4. 11. Diyi Chen modeli ile Rucklidge kaotik sistemi 0.96 kesirli kondansatör ve direnç değeri gösterimi	41
Şekil 4. 12. Diyi Chen modeli ile Rucklidge kaotik sistemi 0.97 kesirli kondansatör ve direnç değeri gösterimi	42
Şekil 4. 13. Diyi Chen modeli ile Rucklidge kaotik sistemi 0.98 kesirli kondansatör ve direnç değeri gösterimi	42
Şekil 4. 14. Arayüz genel görünümü.....	44
Şekil 4. 15. Arayüz genel görünümü.....	45
Şekil 4. 16. Akış Diyagramı.....	46
Şekil 4. 17. Arayüz örnek çıktı	46
Şekil 4. 18. 0.90-0.95-0.99 kesir durumunun direnç ve kondansatör değerleri	47
Şekil 5. 1. Rucklidge kaotik sistemin tam sayı orcad devre görünümü	49
Şekil 5. 2. Rucklidge kaotik sistemin 1 tam sayı x-y-z zaman seri grafiği	50
Şekil 5. 3. Rucklidge kaotik sistemin 1 tam sayı x-y, x-z, ve y-z faz portre çıkışları	50
Şekil 5. 4. Rucklidge kaotik sistemin 1 tamsayı x-y, x-z, ve y-z osiloskop çıkışları	50
Şekil 5. 5. Rucklidge Kaotik Sistemin 1-1-0,99 kesir dereceli orcad devre görünümü.....	51
Şekil 5. 6. Rucklidge Kaotik Sistemin elektronik devre görünümü.....	52
Şekil 5. 7. Rucklidge kaotik sistemin 1-1-0,99 kesir dereceli x-y-z zaman seri grafiği	52
Şekil 5. 8. Rucklidge kaotik sistemin 1-1-0,99 kesir dereceli x-y, x-z, ve y-z faz portre çıkışları.....	53
Şekil 5. 9. Rucklidge kaotik sistemin 1-1-0,99 kesir dereceli x-y, x-z, ve y-z osiloskop çıkışları.....	53
Şekil 5. 10. Rucklidge kaotik sistemin 1-0,99-0,99 kesir dereceli orcad devre görüntüsü	54
Şekil 5. 11. Rucklidge kaotik sistemin 1-0,99-0,99 kesir dereceli zaman seri grafiği.....	55
Şekil 5. 12. Rucklidge kaotik sistemin 1-0,99-0,99 kesir dereceli faz portre çıkışları	55
Şekil 5. 13. Rucklidge kaotik sistemin 1-0,99-0,99 kesir dereceli osiloskop çıkışları	55
Şekil 5. 14. Rucklidge kaotik sistemin 0,99-0,99-0,99 kesir dereceli orcad devre görüntüsü	56
Şekil 5. 15. Rucklidge kaotik sistemin 0,99-0,99-0,99 kesir dereceli zaman seri grafiği	57
Şekil 5. 16. Rucklidge kaotik sistemin 0,99-0,99-0,99 kesir dereceli faz portre çıkışları	57
Şekil 5. 17. Rucklidge kaotik sistemin 0,99-0,99-0,99 kesir dereceli osiloskop çıkışları	57
Şekil 5. 18. Rucklidge kaotik sistemin 1-1-0,9 kesir dereceli orcad devre görüntüsü	58

Şekil 5. 19. Rucklidge kaotik sistemin 1-1-0,9 kesir dereceli zaman seri grafiği.....	59
Şekil 5. 20. Rucklidge kaotik sistemin 1-1-0,9 kesir dereceli faz portre çıkışları	59
Şekil 5. 21. Rucklidge kaotik sistemin 1-1-0,9 kesir dereceli osiloskop çıkışları	59
Şekil 5. 22. Rucklidge kaotik sistemin 1-0,99-0,9 kesir dereceli orcad devre görüntüsü	60
Şekil 5. 23. Rucklidge kaotik sistemin 1-0,99-0,9 kesir dereceli zaman seri grafiği..	61
Şekil 5. 24. Rucklidge kaotik sistemin 1-0,99-0,9 kesir dereceli faz portre çıkışları	61
Şekil 5. 25. Rucklidge kaotik sistemin 1-0,99-0,9 kesir dereceli osiloskop çıkışları	61
Şekil 5. 26. Rucklidge Kaotik Sistemin 1-0,9-0,9 kesir dereceli orcad devre görüntüsü	62
Şekil 5. 27. Rucklidge kaotik sistemin 1-0,9-0,9 kesir dereceli zaman seri grafiği....	63
Şekil 5. 28. Rucklidge kaotik sistemin 1-0,9-0,9 kesir dereceli faz portre çıkışları ..	63
Şekil 5. 29. Rucklidge kaotik sistemin 0,9-0,9-0,9 kesir dereceli orcad devre görüntüsü	64
Şekil 5. 30. Rucklidge kaotik sistemin 0,9-0,9-0,9 kesir dereceli zaman seri grafiği	65
Şekil 5. 31. Rucklidge kaotik sistemin 0,9-0,9-0,9 kesir dereceli faz portre çıkışları	65

FARKLI KESİRLİ DERECE DEN DOĞRUSAL OLMAYAN BİR SİSTEMİN ELEKTRONİK DEVRE GERÇEKLEMELERİ

ÖZET

Kesirli dereceden doğrusal olmayan bir sistem, tamsayı dereceli doğrusal olmayan bir sistemden daha geniş, değişken bir düzene ve daha karmaşık dinamik davranışlara sahip olabilir. Kesirli dereceli doğrusal olmayan sistemler; karmaşık sistemlerin daha doğal ve gerçek özelliklerini ortaya çıkarır. Farklı kesir derecesine göre doğrusal olmayan sistemler farklı davranışlar sergileyebilir. Bu tez kapsamında yıllardır tamsayı dereceden çalışılan doğrusal olmayan sistemlerin aksine farklı kesirli dereceden doğrusal olmayan bir sistemin elektronik devre tasarımları gerçekleştirilmiştir. Bu amaç kapsamında öncelikle kesir derece için temel bir yöntem belirlenerek gerekli hesaplamalar sonucu elektronik devre tasarımları yapılmıştır. Kesir derecesine göre elektronik devre tasarımlarının kolaylıkla yapılabilmesi için Matlab ortamında bir arayüz tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu arayüz sayesinde kesir derecesine göre istenen devre tasarımı hızlı bir şekilde elde edilebilmektedir. Elde edilen devre tasarımları; simülasyon programı ve gerçek ortam elektronik devre çıkışları gözlemlenerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Tez sonucunda kesir derecelerinin, doğrusal olmayan bir sistem çıkışında (zaman seri, faz portre) önemli değişikliklere sebep oldukları ve kesir derecesi azaldıkça doğrusal olmayan bir sistemin kaostan çıktığı, simülasyon ve gerçek ortam uygulamaları olarak gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaos, kaotik sistemler, kesirli dereceden sistemler, elektronik devre tasarımları.

ELECTRONIC CIRCUIT IMPLEMENTATIONS OF A FRACTIONAL-ORDER NONLINEAR SYSTEM

SUMMARY

Fractional-order chaotic systems can have wider, variable order and more complex dynamic behavior than integer number ordersystems. Fractional-order non-linear systems display the natural and real properties of the complex systems. Non-linear systems may display different properties depending on different fractional-orders. Within the scope of this thesis, contrary to integer ordered chaotic sytems, electronic circuit design of different fractional-order chaotic systems are realized. With this purpose, initially, electronic circuit desings were carried out by defining a basic method for fractional orders. A MATLAB interface was designed to enable the construction of electronic circuits depending on the fractional-orders. Depending on the fractional-order, desired circuit design is obtained through this interface. Obtained circuit designs were compared through real electronic circuits and simulation programs. The results obtained from this thesis reveal that fractional-orders result in significant changes in non-linear system output (time series, phase portraits) and the system deviates from the chaos as the fractional-order of the non-linear system decrease which were shown through real environment applications and simulation results.

Keywords: Chaos, chaotic systems, fractional order systems, electronic circuit design.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Kesirli kaotik sistemler son zamanlarda çalışılan popüler konulardan birisidir ve kapsamlı bir şekilde incelenmektedir. İnsanlar kaotik olaylara ve kaotik sistem dinamiklerine büyük ilgi göstermiş, karmaşık doğrusal olmayan davranışlar olarak tanımlanmakta ve kısaca düzensizlik olarak adlandırılmaktadır. Bu teori ve simülasyona dayalı araştırmalar da deneysel platforma aktarılmıştır. Kaotik olayları ve kaotik sistemleri incelemek için önemli ulusal ve uluslararası çalışmalar yapılmıştır. Sistem tanımlama, algoritmaları optimize etme, beyin fonksiyonlarını ayırt etme, güvenli iletişim mekanizmaları oluşturma, şifreleme bilimi, gerçek ve sanal rasgele sayı üreteçleri, kaos'un uygulama alanlarından bazılarıdır.

Son yıllarda bilinçli olarak kaotik sinyaller üretme ve bunları mühendislik uygulamalarına uygulama sorunu kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Devre tasarımı, mühendislik ve uygulamalı bilimlerde kaos araştırmaları için son derece önemlidir. Kaotik sinyali üreten devre modeli, kaos tabanlı uygulamaların en önemli bölümünü oluşturur. Çünkü bu uygulamalarda kaotik dinamiklerin özelliklerinden yararlanmak ve bu özellikleri fiziksel hayata uygulamak için öncelikle bu dinamiklerin gerçekten oluşturulması gerekmektedir. Özellikleri literatürde iyi bilinmektedir ve mühendislik uygulamalarında avantajlı bir şekilde kullanılan kaotik sinyal oluşturucuların sayısı azdır.

Kaos terimi kısaca düzensiz içerisindeki bir düzen olarak tanımlanabilir. Kaosun temel özellikleri ve kaos belirtileri; zaman boyutunda düzensizlik, başlangıç koşullarına duyarlı bağımlılık, sonsuz sayıda farklı periyodik salınımlar, gürültü gibi geniş bir güç spektrumu, bir limit kümesi (fraktal) boyutlar, genliği ve frekansı belirlenemeyen ancak sınırlı bir alan içinde değişen işaretler içerir. Doğrusal olmayan sistem teorisindeki gelişmeler, yeni deneysel teknikler, pahalı ve hesaplama kabiliyetine sahip bilgisayarların ucuz ve yaygın kullanımı, karmaşık ve doğrusal olmayan

davranışların daha iyi analiz edilmesini ve anlaşılmasını sağlamıştır ve bu nedenle kaos bilimi geliştirilmiştir. Son yıllarda, kaos ve karmaşıklığı gözlemlemeye paralel olarak, araştırmalar bu olayın mekanizmasını anlama, kaotik davranışı karakterize etme, özelliklerini belirleme ve deneysel verileri ölçme ve analiz etme konularında hızlı ilerleme kaydetmiştir.

1.1. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında, birçok farklı kesirli dereceden sürekli zamanlı doğrusal olmayan sistemlerin elektronik devre olarak gerçeklemeleri amaçlanmıştır. Günümüzde, karmaşık ve farklı dinamik davranışlar sergileyen yeni kesirli mertebeli kaotik sistemleri incelemek için çok fazla çalışmalar vardır. Birçok araştırmacı, kesirli dereceden kaotik denklemlerin modellenmesi için farklı alanlarda çaba sarfetedirler. Bu kişiler kesirli dereceden kaotik devre gerçeklemede büyük problemler yaşamaktadırlar. Bu nedenle, tez kapsamında bu problemi gidermek amacıyla kesirli dereceli sistemlerin tasarımları ve gerçeklemeleri yapılmıştır.

Tez kapsamında kesirli dereceli sistemlerin gerçeklemeleri için, farklı kesir dereceli sistemler için farklı blok yapıların, elektronik devrelerin tasarlanması ve kolaylıkla gerçekleştirilmesi hedefler arasındadır. Bu sayede kesirli dereceli kaotik sistemlerin somut olarak uygulanması, tasarlanan konsepti teoriden uygulamaya aktarmayı mümkün kılmaktadır. Tez kapsamında elde edilen çıktılar uluslararası dergilerde yayına dönüştürülmesi planlanmaktadır.

1.2. Literatür Araştırması

Edward Lorenz'in öncülüğünde 1963 yılında gelişmeye başlayan [1] "Kaos Bilimi", Rössler [2], Chua [3] gibi bilim adamları ile gelişimine devam etmektedir. Chua ilk basit kaos tabanlı elektronik uygulamayı açıklayan model devreyi gerçekleştirmiştir [4]. Geliştirilen bu devre, birçok yerde kaos üretici olarak kullanılmıştır. Daha sonraları basit RLC, RC devreleri [5- 9], osilatörler [10, 11], güç devreleri [12-14], sayısal filtreler [15-18] ve kapasitör devreleri gibi kaos tabanlı davranış gösteren farklı elektronik devreler geliştirilmiştir.

Son yıllarda pratik uygulama potansiyeline sahip, yeni ve farklı, kaos ve hiperkaos tabanlı sistemler literature sunulmuştur [19-24]. Chen ve Ueta, Lorenz sistemi tabanlı Chen sistemini geliştirmişlerdir [25]. Sprott 19 farklı yeni kaotik sistem bulmuştur [26,27]. Farklı kaotik sistemlere Rabinovich [28], Rikitake [29], Burke-Shaw [30] ve Sundarapandian-Pehlivan [19] sistemleri de örnek verilebilir. Uygulama alanına bağlı olarak farklı dinamik özelliklere sahip kaotik sistemlerin kullanılması avantajlı olabilir. Denge noktasız kaotik sistemler şifreleme uygulamaları için bunun en güzel örneklerinden birisidir [31,34].

Tamsayılı dereceli bir kaotik sistem aşağıda verilen denklemde $q=1$ iken, Kesirli-dereceli sistem ise $q<1$ durumudur. Tamsayılı dereceleri sistemler kaotik sistemin gerçekçi kaotik sisteme ideal bir yaklaşımıdır. Kesirli dereceden kaotik sistem, tamsayılı dereceli kaotik sistemden daha geniş ve değiştirilebilir düzene ve daha karmaşık dinamik davranışa sahiptir. Böylece, kesirli-dereceden diferansiyel denklem gerçek kaotik sistemin doğrusal olmayan özelliklerini tam olarak tanımlayabilir ve daha doğrusu araştırma anlamları ve uygulama değeri vardır [35].

$$\left\{ \frac{d^q x}{dt^q} = f(t, x(t), 0 \leq t \leq T) \right\} \quad (1.1)$$

Kesirli-dereceli sistemler kullanılarak, gerçek dünyadaki neredeyse her türlü dinamik olaylar ve özellikleri tam olarak tanımlayabiliriz [36]. Analog devreler ise kesirli mertebeli kaotik sistemin somut olarak uygulanması tasarlanan konsepti teoriden uygulamaya aktarmayı mümkün kılar. Devre çıkış özellikleri, sistemin her türlü dinamik olguyu daha objektif olarak yansıtmasını sağlamaktadır.

1.3. Hipotez

Kaotik bir sistemi elektronik devre olarak gerçeklemek oldukça karmaşık ve zordur. Kesirli dereceli sistemlerde ise bu işlemler çok daha fazla zorlaşmakta ve karmaşa artmaktadır. Tam sayılı dereceli sistemde bir elektronik eleman ile yapılabilen bir işlem, kesirli derecede kesir derecesine göre 20-30 eleman ile yapılabilmektedir. Bunun için gerekli olan devre modelleri ve ihtiyaç duyulan yöntemler bu tez çalışmasında pratik olarak gerçekleştirilmiştir.

Kesir derecesi azaldıkça doğrusal olmayan sistemde bozulmalar olduğu yani sistemin kaotik özellik göstermediği ileri sürülmektedir. Ayrıca farklı kesir dereceleri ile bazı sistemlerin farklı çıkışlar gözlemledikleri bilinmektedir. Bu tez çalışmasında kesir derecesi değişimine göre kaotik bir sistemin çıkışları, elektronik devre olarak simülasyon ve gerçek ortamda gözlemlenerek sonuçlar incelenmiştir. Tez çıktı sonuçları ele alındığında, matematiksel olarak öne sürülen varsayımlar ile benzer sonuçlar elde edilmiştir.



BÖLÜM 2. KAOS VE KAOTİK SİSTEMLER

2.1. Kaos Kuramı

Gerçek şu ki, Biz her şeyi şaşmaz bir düzen içinde yarattık ve her şey zamanı gelince gerçekleşir (Kamer suresi, 49. ayet) [37].

Yedi kat gökleri uyum içinde yaratan O'dur. Sen Rahman olan Allah'ın yaratmasında bir uyumsuzluk, bir dengesizlik göremezsin. Tekrar bak, onda bir çatlak, bir düzensizlik görebilecek misin? (Mülk suresi, 3. ayet) [38].

Güneş'i ışıklı, Ayı da parlak kılan, yılların sayısını ve hesabını bilmemiz için aya evreler koyan Allah'tır. Allah, bunları boş yere yaratmamıştır. O, ayetlerini düşünen bir toplum için ayrıntılı olarak açıklıyor (Yunus suresi, 5. ayet) [39].

O'na mülkünde ortak yoktur, her şeyi yaratmış, ona bir düzen vermiş, onu belli bir ölçüyle takdir etmiştir (Furkan Suresi, 2) [40].

Evren, Big Bang'in sonucudur. Big Bang'in bir sonucu olarak düzen, düzensizlikten çok evrenin her noktasında ortaya çıkar. Evren o kadar mükemmel özelliklere sahiptir ki, sebepsiz yere ortaya çıkması imkansızdır. Bilimin ortaya koyduğu ve ayetlerde belirtildiği gibi evrende bir düzen ve ölçü vardır. İşte halk arasında 'Düzensizlik-Kargaşa' olarak bilinen kaos; karmaşık, ama kendi iç düzenine ve sınırlarına sahip bir süreçtir. Dikkat edilmesi gereken bir nokta, kaosun rastgele olmamasıdır. Kaos, karmaşık davranışlar sergileyen özel bir 'düzen' dir. Dinamik sistemlerde bilinen en karmaşık kararlı durum davranışı 'kaos' tur [41].

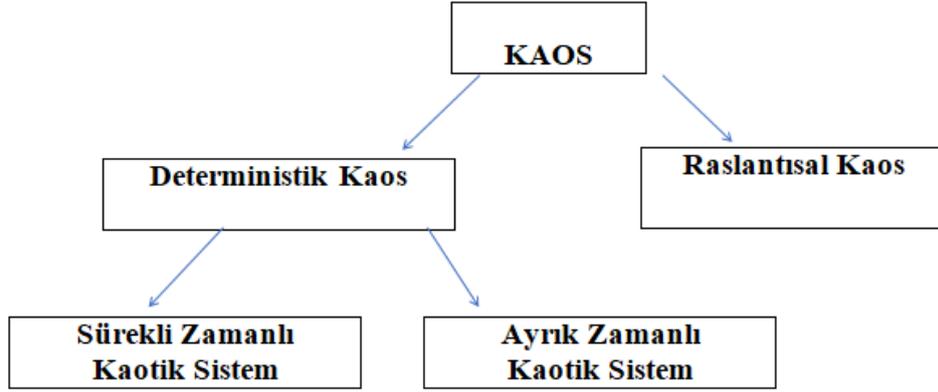
1963 yılında hava durumu tahminleri üzerine çalışan Edward Lorenz bir çalışmasında, hesaplamasında sisteme 0,506127 sayısını başlangıç verisi olarak girmiştir. Sonraki aşamada Lorenz 0,506127 sayısını 0,506 olarak girmesinin sisteme etkisinin olmayacağını düşünüyordu. Ancak sonuçlar çok farklı elde edilmişti.

Gerçekten de Lorenz'in bilgisayarında bir hava olayında kelebeğin kanat çırpması kadar önemsiz gibi gözükken küçük değişiklik sistemin tamamen farklılaşmasına yol açmıştır. Lorenz keşfettiği bu fenomeni 1963 yılının Mart ayında, Atmosferik Bilimler Dergisi'nde yayınladı ve ilk kez burada 'Kelebek Etkisi' terimini kullandı. 'Kelebek Etkisi' böylece halk ve bilim dilinde yerini almış oldu.

Kelebek etkisi, 'Dünyanın herhangi bir noktasındaki küçük bir kelebeğin bir kanat çırpışının dünyanın öbür ucunda bir yerde fırtınaya sebep olabilmesi' olarak bilinmektedir [41,42].

Lorenz'in elde ettiği sonuçlar kaotik davranışları tanımlamak için ilk örnek olarak kabul edilmiştir. 1975 yılında M. J. Feigenbaum'un periyot çoğullamayı kaosu bir belirtisi olarak verdiği çalışma [43] ve 1975 yılında, Li ve Yorke [44] bu çeşit davranışı belirtmek için 'kaos' terimini kullanmayı önerdiler.

Şekil 2.1' de belirtildiği gibi kaos, deterministik kaos ve aynı zamanda nedeni ve seyri bilinmeyen, hesaplanamaz olan rastlantısal(stokastik) kaos olarak iki durumu bulunmaktadır.



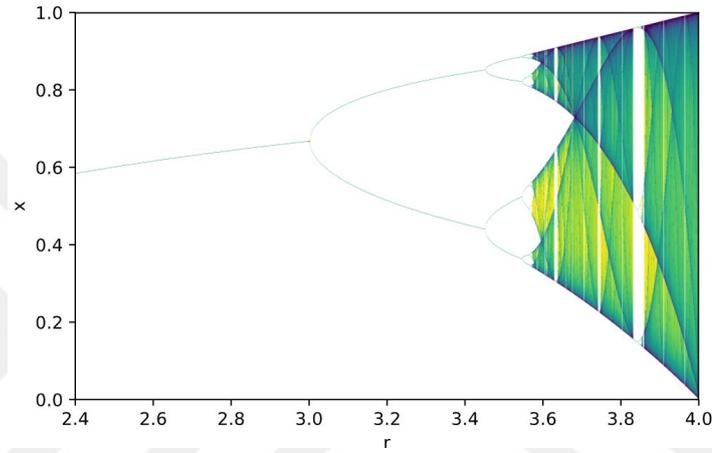
Şekil 2. 1. Kaosun sınıflandırılması

Kaotik sistemler genel olarak sürekli veya ayrık zamanlı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Zamana bağlı olarak yapılan ölçümler sürekli zamanlı sistemler adını alır. Ayrık zamanlı değişimler ile ifade edilen sistemler ise ayrık zamanlı sistemler olarak ifade edilir [45].

2.1.1. Ayrık zamanlı kaotik sistemler (haritalar)

Ayrık zamanlı kaotik bir sistem tek denklemden oluşabilir. Bununla birlikte, literatürde, ayrık zamanlı kaotik sistemler genellikle tek boyutlu ve iki boyutludur, ancak üç boyutlu ayrık zamanlı kaotik sistemler de keşfedilmiştir. Ayrık zamanlı kaotik sistemler, dijital ortamlarda sürekli zamanlı kaotik sistemler gibi ayrıklaştırma algoritmalarına ihtiyaç duyulmadan doğrudan gerekli uygulamalarda kullanılabilir [46]. Ayrık zaman devamlı olmayan, farklı zamanlardaki verilerin kullanım durumudur. Ancak sistemin şimdiki durumu bir önceki durumundan faydalanılarak elde edilir. Ayrık zamanlı sistemlerin doğrusal olmaları halinde sistem kaotik davranış göstermez. Her doğrusal olmayan ayrık sistem kaotik olduğu durumlar olabilir ve literatürde ayrık zamanlı olan birçok kaotik haritalar bulunmaktadır [47].

Tek boyutlu ayırık zamanlı kaotik bir sistemi inceleyecek olursak, nonlinear olan Logistic Map en sık kullanılan ayırık zamanlı kaotik sistemler içerisinde olup; memeliler gibi biyolojik nüfus modelinin en yalın modeline sahip logistic denklemin ayırık halidir [41]. Şekil 2.2'deki çatallaşma diyagramına bakıldığında Logistic Map'ın kaotik durumu irdelenmiştir. Denklem 1'de verilen r parametresi, 0-4 değerleri arası incelenmiştir. 3.5 den daha büyük değerler için ise sistemin kaotik bir durum sergilediği görülmektedir. Lyapunov üstelinin en az bir değerinin pozitif olması gerektiğinden, bu şartı sağlamadığı için sistem kaotik davranış sergileyemez [49].



Şekil 2. 2. Logistic Harita için çatallaşma diyagramı

$$x_{n+1} = rx_n(1 - x_n) \quad (2.1)$$

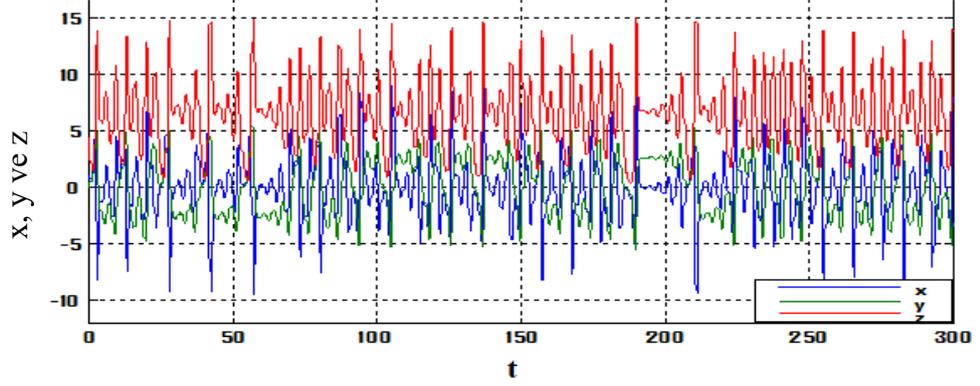
Denklem (2.1)'deki x değeri sistem değişkeni, n tekrarlama adedi, $x(0)$ başlangıç değeri, r değeri ise sistem değişkeni olarak kabul edilmektedir [48].

2.1.2. Sürekli zamanlı kaotik sistemler

Sürekli zamanlı kaotik sistemler başlangıç $x(t_0) = x_0$ diferansiyel denklem vektörel formda aşağıda Denklem (2.2)'deki gibi tanımlanabilir.

$$\frac{dx(t)}{dt} = F[x(t)] \quad (2.2)$$

Literatürde Lorenz, Rössler, Chua, Chen, Rikikate, Rucklidge gibi yeni ve farklı birçok sürekli zamanlı kaotik ve hiperkaotik sistemler bulunmaktadır [46]. Sürekli zamanlı kaotik sistemlerden Rucklidge Şekil 2.3’ de gösterildiği gibidir.



Şekil 2. 3. Sürekli zamanlı kaotik bir sistemin zaman x,y,z serisi

2.2. Kaotik sistem analiz yöntemleri

Sistemlerin kaotik olup olmadığını anlamak için bazı dinamik analiz yöntemlerine ihtiyaç vardır. Bunlardan bazıları denge nokta analizi, zaman serileri, faz portreleri, Lyapunov Üstelleri, Çatallaşma Diyagramları gibi analizler bize sistemin kaotikliği hakkında bilgi verilebilir.

2.2.1. Denge nokta analizi

Kaotik sistemler karmaşık fonksiyon ile ifade edildiğinden, bu sistemler hakkında direk çıkarım yapmak mümkün değildir. Bundan dolayı doğrusal olmayan dinamik sistem olan kaotik sistemlerin davranışını incelemek için sistemin denge noktalarını, $F[x(t)] = 0$ durumundaki denge noktaları bulunup analiz yapılması gerekmektedir [46].

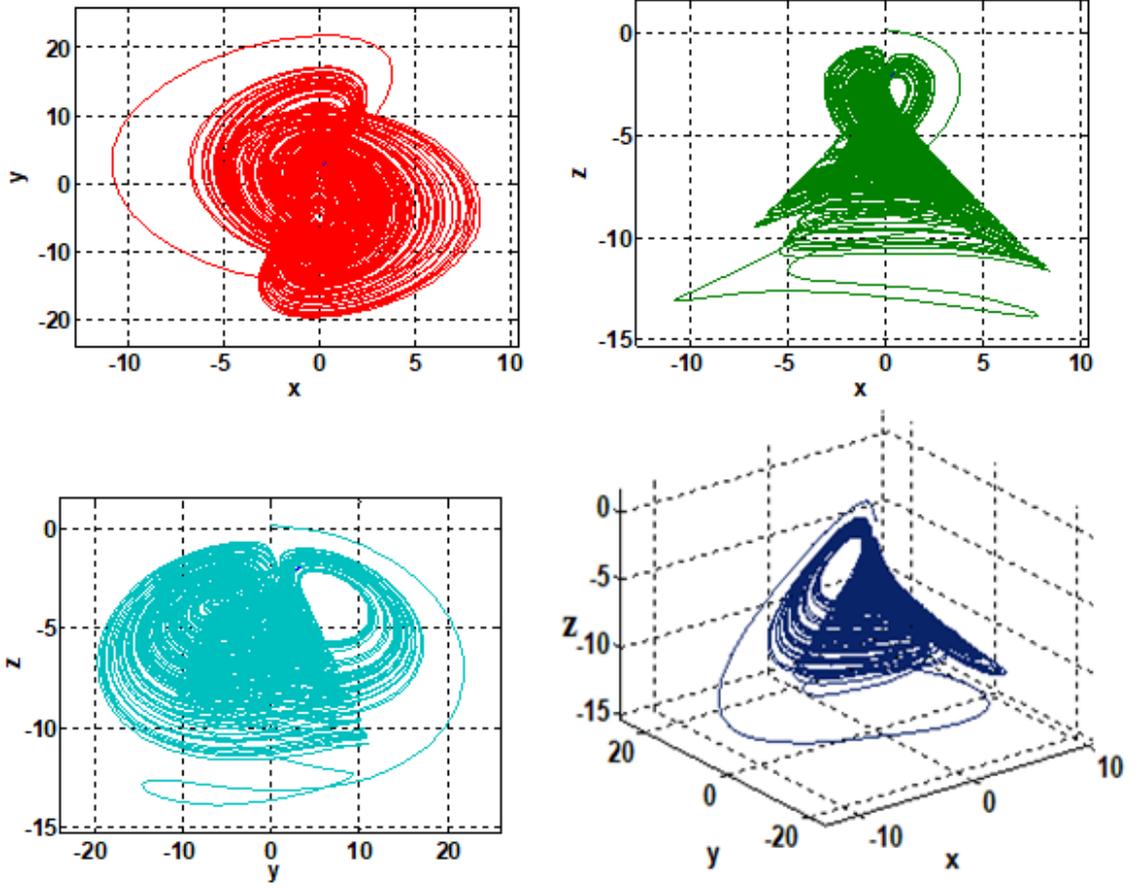
Bir sistemin denge noktalarını bulmak için öncelikle denklemler sıfıra eşitlenir ve çözümlenir. Daha sonra sistemin Jacobian matrisine denge noktalarında bulunan değerler yazılır. Denklem 2.3’ de Jacobiye matrisi ifade edilmiştir.

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial x_1} & \frac{\partial F_1}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial F_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial F_2}{\partial x_1} & \frac{\partial F_2}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial F_2}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial F_n}{\partial x_1} & \frac{\partial F_n}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial F_n}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Jacobiyen matrisi $|J - \lambda I| = 0$ karakteristik denge çözümünden özdeğerler elde edilir. Sistemin kaotik olup olmadığı denge noktadaki kararsızlık durumunu özdeğerlerden anlaşılabilir. Bulunan özdeğerlerden en az birinin reel kısmının pozitif olması, sistemin kaotik olduğuna işaret eder. Ancak sistemin kaotik olup olmadığı hakkında kesinlik kazanması için diğer analizlerinde yapılması gerekmektedir.

2.2.2. Faz portreleri

Faz portrelerindeki davranışın belli sınırlar içerisinde periyodik olmayan davranış göstermesi ve karmaşık bir dağılımda olması gerekmektedir. Bu işlemler farklı programlar yardımı ile kaotik sistem verileri girilerek program çıktısında istenen faz portreleri kolaylıkla elde edilebilir. Şekil 2.4'te, Matlab odesolve, örnek faz portre çıktıları görülmektedir [51].



Şekil 2. 4. Örnek Matlab faz portre görünümü

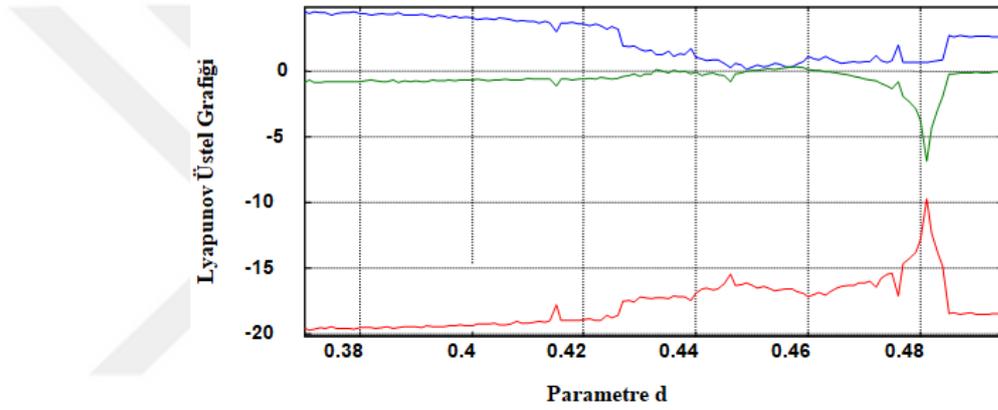
2.2.3. Lyapunov üstelleri

Lyapunov üstelleri yöntemi dinamik bir sistemin kaotik olup olmadığı hususunda önemli bir ölçüttür. Lyapunov üsteli, doğrusal olmayan sistemlerdeki başlangıç şartlarına hassas bağımlılık özelliğinin sayısal olarak ifadesidir [46,52]. Bir sistem kaotik olarak tanımlamak için mutlaka en az bir pozitif Lyapunov üsteli içeriyor olması gerekmektedir. Lyapunov üstellerine göre sistem durumları Tablo 2.1’de gösterildiği gibidir.

Tablo 2. 1. Üç Boyutlu bir sistemin Lyapunov üstelinin işaretlerine göre değişimi

Lyapunov Üstelleri	Sistem Durumu
(0,0,0)	İki-Torus
(-,,-,-)	Sabit Nokta
(0,-,-)	Limit Döngü
(0,0,-)	Torus
(+,-,0)	Kaotik

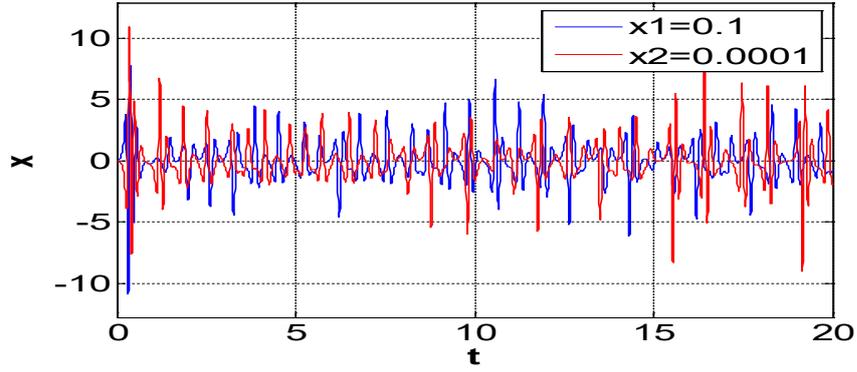
Şekil 2.5'te örnek bir Lyapunov üstel grafiği verilmektedir. Lyapunov üstellerinin(+,0,-) olduğu yerlerde sistem kaotik şeklinde yorumlanabilir.



Şekil 2. 5. Örnek Lyapunov üstel grafiği

2.2.4. Başlangıç değerlerine hassasiyet analizi

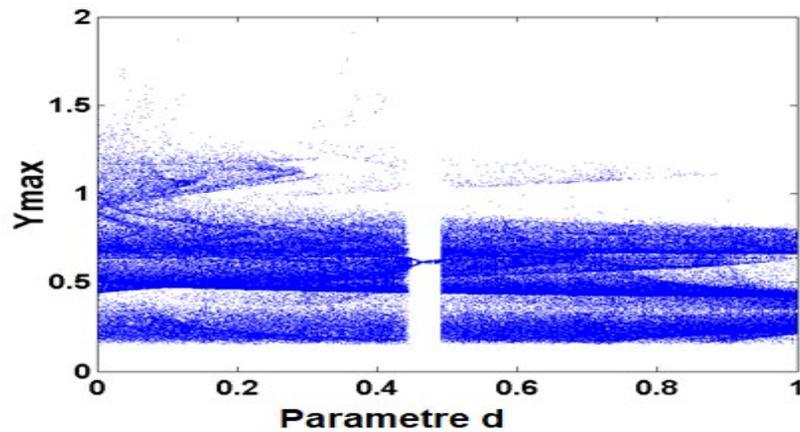
Başlangıç şartlarına hassasiyet kaotik sistemlerin önemli özelliklerinden birisidir. Şekil 2.6'da görüldüğü üzere sistemin sadece bir parametresinde 1/1000 orandaki ufak bir değişim çok farklı çıktılar elde edilmesine neden olmaktadır. Farklı başlangıç değerleri ile sistemin başlangıç şartlarına olan hassas duyarlılığı gözlemlenebilir.



Şekil 2. 6. Kaotik sistemlerin başlangıç şartlarına hassas bağlılığına bir örnek

2.2.5. Çatallaşma diyagramı

Kaotik bir sistemi oluşturan denklemlerdeki parametreler değiştiği zaman çatallaşmalar meydana gelmektedir. Çatallaşma diyagramı ile sistemin başlangıç şartlarına duyarlılığı ve hangi aralıklarda kaotik özellik gösterdiği anlaşılabilir [46]. Şekil 2.7’de sistem parametresi olan d değerine göre çatallaşma diyagramı incelenmiştir. İlk olarak d parametresi yaklaşık 0,42’ e kadar üretilen değerler artmakta ve sistemin kaosta olduğu görülmektedir. Ancak 0,42-0,5 arası sistem tek bir değer ürettiği için kaotik özellik göstermemektedir. Yine yaklaşık 0,5 değerinden sonra üretilen değer artığından sistem tekrar kaos girmektedir.



Şekil 2. 7. Çatallaşma diyagram örneği

2.3. Referans Kaotik Sistemler

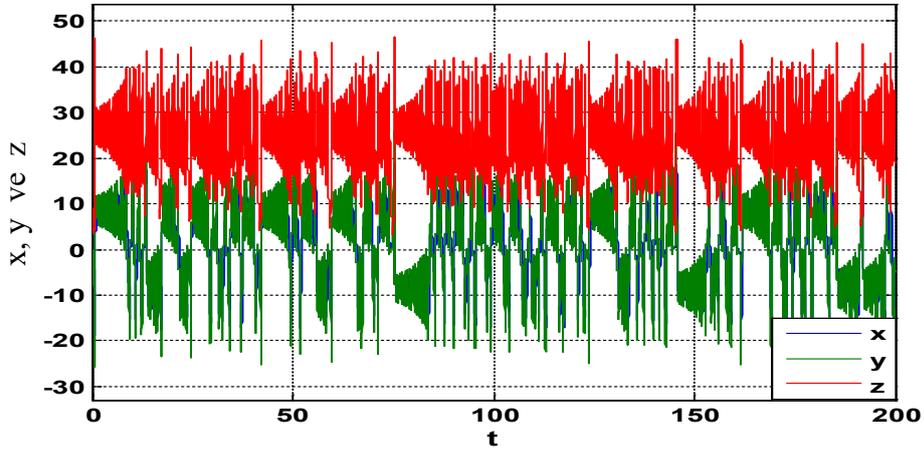
Literatürde çok sık kullanılan bazı kaotik sistemler ve onların zaman serileri ile faz portreleri aşağıda verildiği gibidir.

2.3.1. Lorenz kaotik sistemi

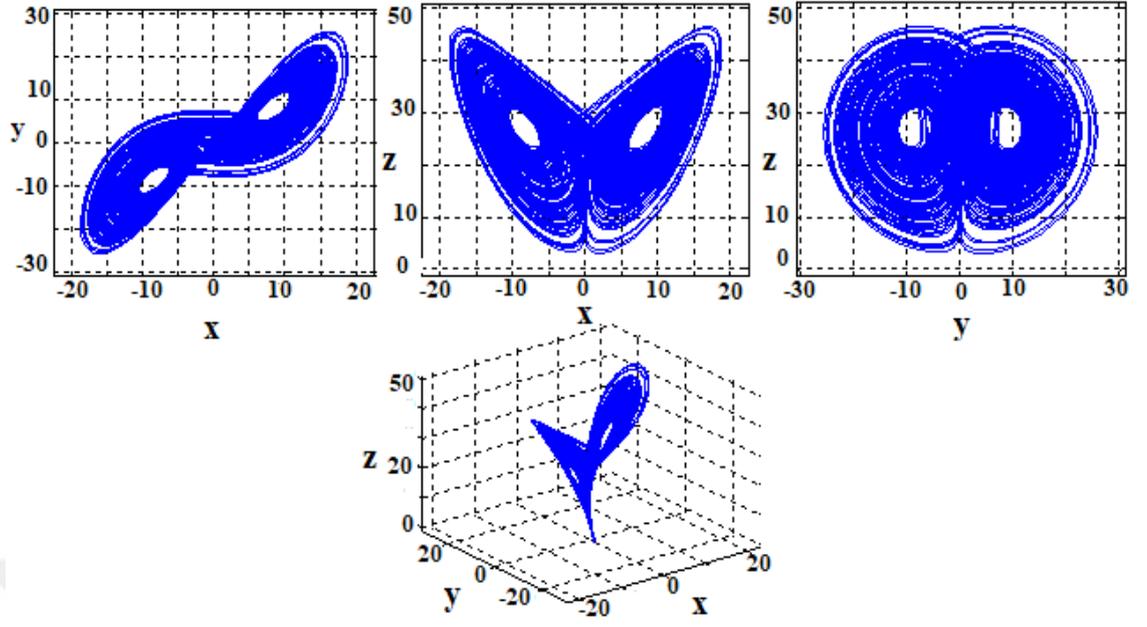
Meteoroloji uzmanı olan Lorenz 1963 yılında atmosferdeki akışkan ısı-yayınımını benzetim yaparken oluşturduğu denklem 2.4 doğrusal olmayan kaotik sistemlerin ilkidir denilebilir [1].

$$\begin{aligned}\dot{x} &= ay - ax \\ \dot{y} &= rx - y - xz \\ \dot{z} &= xy - bz\end{aligned}\tag{2.4}$$

Denklemlerdeki; a, r ve b denklem parametrelerini ve x, y, z ise durum değişkenleridir. Sistemin çalışma parametreleri $a=10$, $r=28$ ve $b=8/3$ ve başlangıç şartları $x_0=0$, $y_0=-0.1$, $z_0=9$ olup; matlab odesolve ile simülasyon sonucu oluşan zaman grafiği ve faz portreleri sırası ile Şekil 2.8'de ve Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2. 8. Lorenz sistemi için x, y, z durum değişkenlerinin zamana göre kaotik değişimi



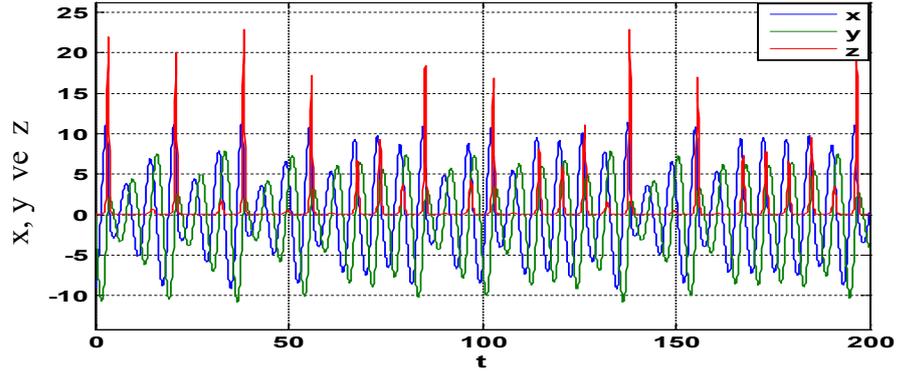
Şekil 2. 9. Lorenz sistemine ait 2-3 boyutlu faz potreleri

2.3.2. Rössler kaotik sistemi

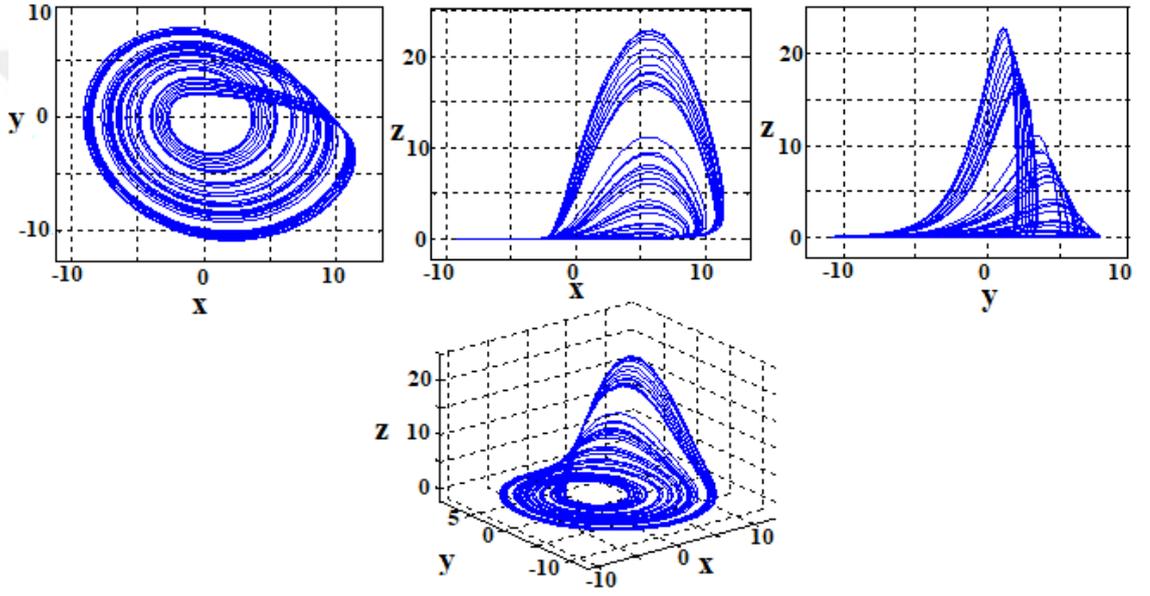
Rössler çekicisi olarak bilinen, Otto Rössler'in kimyasal reaksiyonları incelemesiyle 1976 yılında literatüre girmiştir [53]. Sistemin denklemleri 2.5'te gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}
 \dot{x} &= -(y + z) \\
 \dot{y} &= x + ay \\
 \dot{z} &= b + z(x - c)
 \end{aligned}
 \tag{2.5}$$

Rössler sistemine ait $a = 0,2$, $b = 0,2$, $c = 5,7$ parametrelerin değerleri olup; $x = -9$, $y = 0$, $z = 0$ başlangıç şartları için kaotik çözümler elde edilmiştir. Rössler sistemine ait zaman serileri Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2. 10. Rössler sisteminin x, y, z durum değişkenlerinin zamana göre kaotik değişimi



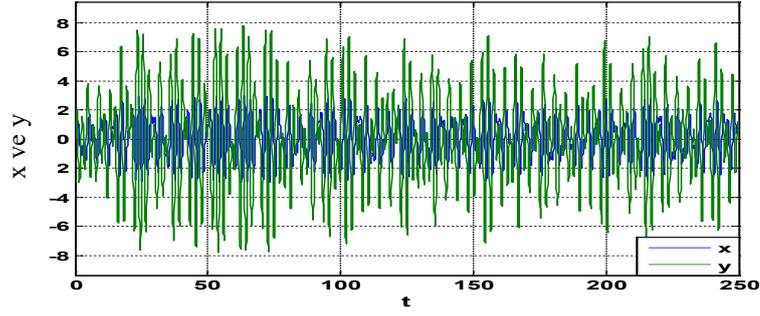
Şekil 2. 11. Rössler sistemine ait 2-3 boyutlu faz potreleri

2.3.3. Van Der Pol kaotik sistemi

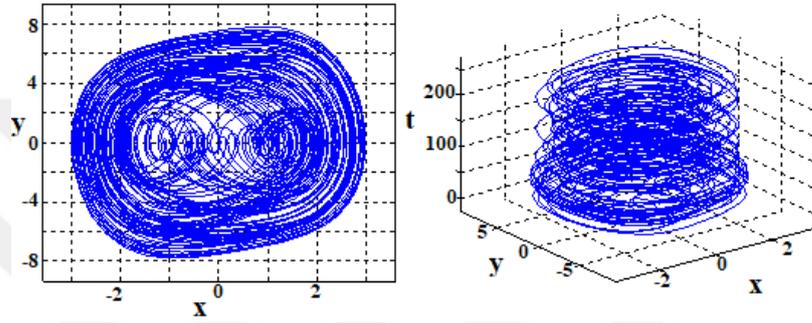
Denklem 2.6'da verilen Van Der Pol iki boyutlu kaotik sistemlerden birisidir [54].

$$\begin{aligned} \dot{x} &= y \\ \dot{y} &= a(1-x^2)y - x^3 + b \cos(ct) \end{aligned} \quad (2.6.)$$

Başlangıç şartları $x(0)=0$, $y(0)=0$ ve $a = 0.2$, $b = 5.8$ ve $c = 3$ parametreleri içinde elde edilen kaotik zaman ve faz potreleri verilmiştir.



Şekil 2.12. Van Der Pol sistemi için x, y, durum değişkenlerinin zamana göre kaotik değişimi

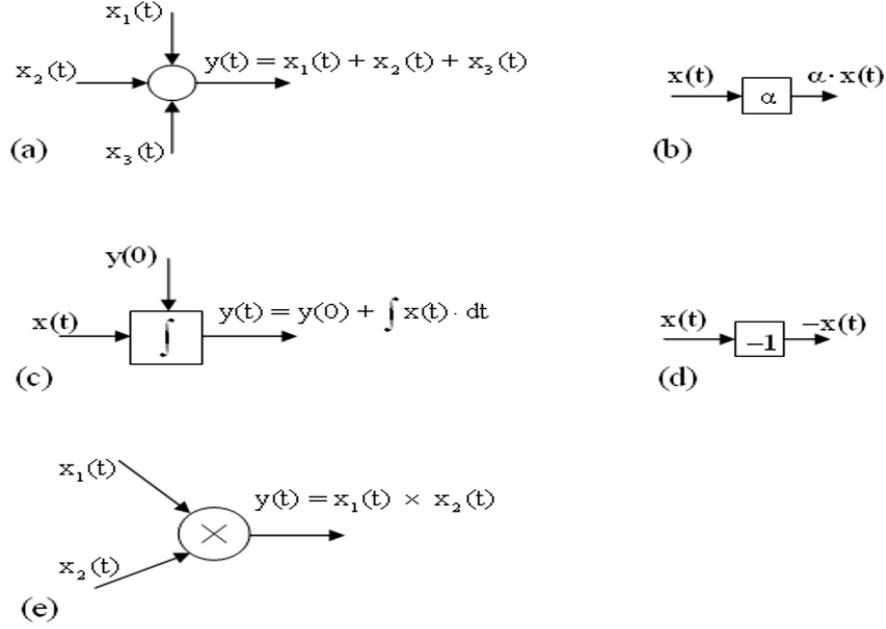


Şekil 2. 12. Van Der Pol sistemine ait 2-3 boyutlu faz potreleri

2.4. Kaotik Sistemlerin Modellenmesi ve Elektronik Devre Gerçeklemeleri

Sürekli zaman kaotik sistemleri modellemek için toplama, çarpma, ters çevirme ve entegrasyon gibi işlemler kullanılabilir. Tüm bu işlemler, dijital ortamda blok diyagramlar ve elektronik uygulamalar için kullanılabilir. Benzer şekilde, elektronik çarpma ve entegrasyon gibi temel işlemler, işlemsel kuvvetlendiriciler, entegrasyon devreleri, toplama devreleri, ters çeviren ve ters çevirmeyen yükselteç devreleri elektronik devre uygulamaları için kullanılır. Aynı denklemin modellenmesi sonucunda elde edilen analog çıktı, elektronik devrede osiloskobun çıktısı ile aynıdır [41-46].

Blok diyagramları ile modellemek için gerekli temel yapılar Şekil 2.14'te verilmiştir [41].



Şekil 2. 13. Blok diyagramı ile modelleme için gereken işlemler (a) Toplama (b) Sabit ile çarpma (c) İntegral alma (d) İşaret Tersleme (e) Analog çarpma

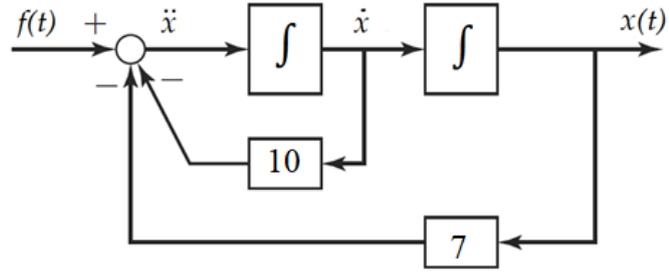
Blok diyagram denklemi oluşturmak için örnek denklem (2.7)'deki gibi verilen bir diferansiyel denklemin yüksek mertebeli terimin (x 'in ikinci türevi) yalnız bırakılması gerekmektedir.

$$\ddot{x} + 10\dot{x} + 7x = f(t) \quad (2.7)$$

x terimi yalnız bırakmak için diğer terimler karşı tarafa atılırsa aşağıdaki Denklem (2.8) elde edilmiş olur.

$$\ddot{x} = f(t) - 10\dot{x} - 7x \quad (2.8)$$

Denklem 2.8'deki ifadeyi gösteren blok diyagram Şekil 2.15'te verilmiştir. Blok diyagramı elde edilen denklemler, istenilen programlarda kullanılmaya olanak sağlamaktadır.

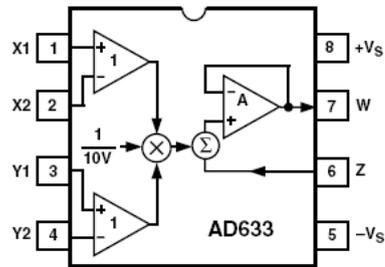


Şekil 2. 14. Denklem 2.8'i modelleyen blok diyagram

2.4.1. Devre Gerçeklemede Kullanılan İşlemsel Elemanlar

2.4.1.1. Analog çarpma entegreleri

Devrede kullanılan AD633 entegresi -18V ile +18V arasında kabul edilebilir fark giriş gerilimine sahiptir. Bu entegre ile çıkış 10 kat küçülmektedir. Entegrenin fonksiyonel blok diyagramı Şekil 2.16'da verildiği gibidir. Denklem 2.9 da ise çıkış denklemi verilmiştir.

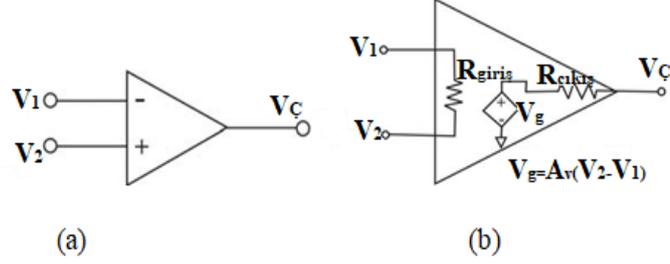


Şekil 2. 15. AD633 Fonksiyon Blok diyagramı

$$w = (x_1 - x_2) \cdot \frac{(y_1 - y_2)}{10} + z \quad (2.9)$$

2.4.1.2. Opamplar

Doğrusal ve doğrusal olmayan işaret işlemede opamplar, yüksek kazanç sağlayan yükselticidir.



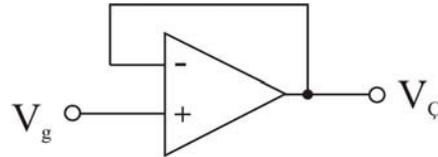
Şekil 2. 16. Opamp'ın a) devre sembolü b) eşdeğer devresi

Denklem 2.10' da opamp'ın ideal durumdaki tanım denklemleri aşağıdadır:

$$\begin{aligned} i_p &= 0 \\ i_n &= 0 \\ V_p - V_n &= 0 \end{aligned} \quad (2.10)$$

2.4.1.3. Gerilim takipçi devresi

Gerilim takipçisi devresinde çıkıştaki sinyal girişindeki sinyal ile aynıdır. Çıkış gerilimi, $V_C = V_G$ şeklindedir.

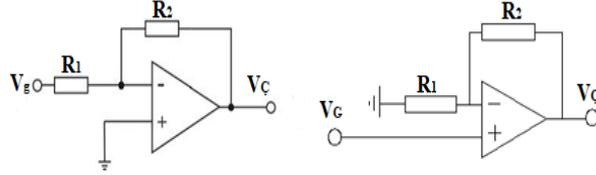


Şekil 2. 17. Opampli gerilim takipçisi devresi

2.4.1.4. Eviren ve Evirmeyen yükselteç devresi

Eviren yükselteç kazancı denklem 2.11.formülü ile hesaplanabilir.

$$V_{\text{ç}} = \left(-\frac{R_2}{R_1}\right) \cdot V_G \quad (2.11)$$



Şekil 2. 18. (a) Opampli eviren yükselteç devresi, (b) Opampli evirmeyen yükselteç devresi

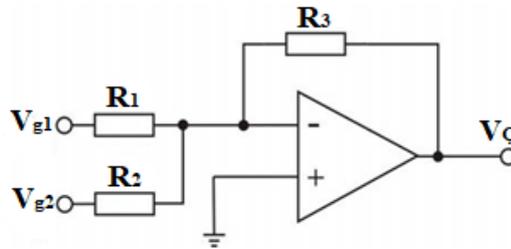
Evirmeyen yükselteç ise denklem 2.12 şeklinde yükseltme işlemi yapar.

$$V_{\text{ç}} = \left(1 + \left(\frac{R_2}{R_1}\right)\right) \cdot V_G \quad (2.12)$$

2.4.1.5. Toplama devresi

Girişlerine uygulanan sinyalleri toplar ve çıkışa tersleyerek verir. Çıkış gerilimi, ifadesi ile bulunur.

$$V_{\text{ç}} = - \left[\left(\frac{R_3}{R_1}\right) \cdot V_{g1} + \left(\frac{R_3}{R_2}\right) \cdot V_{g2} \right] \quad (2.13)$$

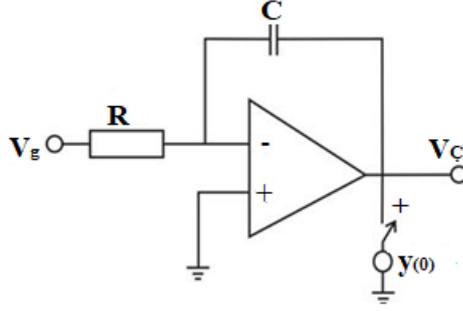


Şekil 2. 19. Opampli toplama devresi

2.4.1.6. İntegral alma devresi

İntegral alma devresinin matematiksel ifadesi denklem 2.14'teki gibi ifade edilir.

$$V_{\zeta}(t) = V_{\zeta}(0) - \frac{1}{R.C} \int_0^t V_g(t).dt \quad (2.14)$$



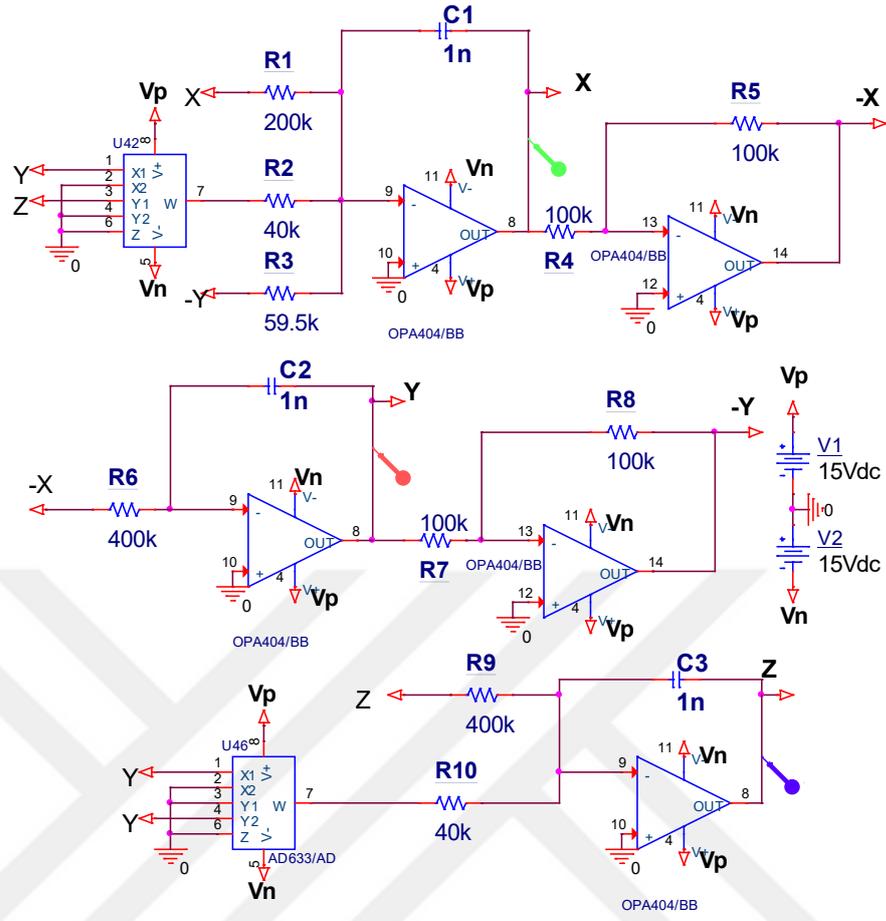
Şekil 2. 20. Opampli integral alma devresi

2.5. Kaotik Sistemlerin Devre Gerçeklemesi

Rucklidge kaotik sisteminin Matlab, PSpice ve gerçek ortamda çıkış grafiklerinin, sonuçlarının örnek olarak ele alınmıştır. Rucklidge kaotik sisteminin denklemleri Denklem (2.15)'de verilmiştir.

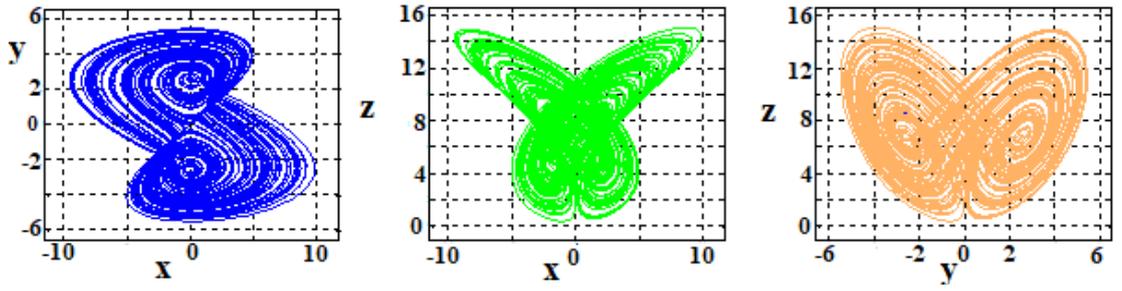
$$\begin{aligned} \dot{x} &= -Kx + Ly - yz \\ \dot{y} &= x \\ \dot{z} &= -z + y^2 \end{aligned} \quad (2.15)$$

Rucklidge kaotik sisteminin elektronik devre tasarımı Şekil 2.22'te verilmiştir.

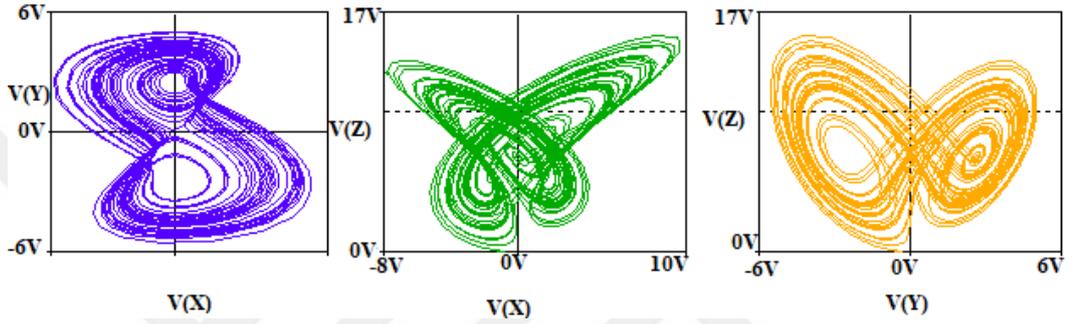


Şekil 2. 21. Rucklidge kaotik sisteminin tasarlanan elektronik devre şeması

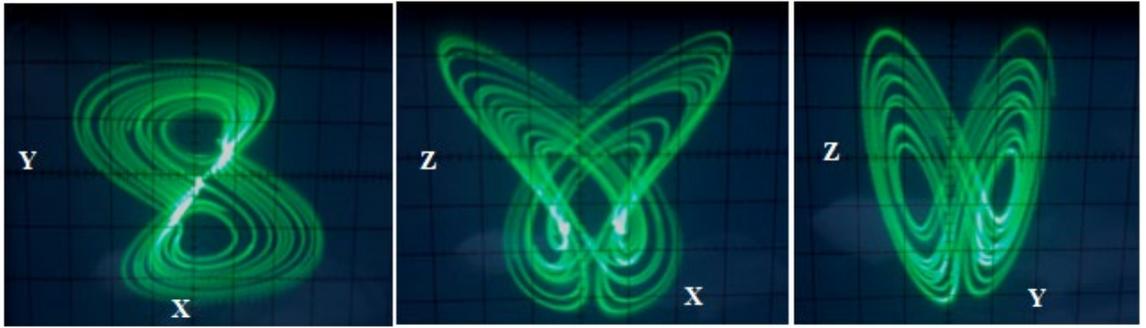
Rucklidge kaotik sistemlerindeki denklemler modellenerek Şekil 2.23, 2.24 ve 2.25'te sırasıyla Matlab, simülasyon programı ve gerçek ortam osiloskop çıktıları verilmiştir. Şekillerden tüm analiz sonuçlarında benzer çıktığı görülmektedir [55]. Aynı şekilde diğer tüm sistemlerde benzer şekilde modellenerek sistemlerin sonuçları farklı ortamlarda gözlemlenebilir.



Şekil 2. 22. Rucklidge kaotik sisteminin nümerik Matlab simülasyon sonuçları



Şekil 2. 23. Rucklidge kaotik osilatörünün PSpice simülasyon sonuçları



Şekil 2. 24. Gerçekleştirilen Rucklidgekaotik osilatörünün osiloskop çıkışları

BÖLÜM 3. KESİR DERECELİ KAOTİK SİSTEMLER

3.1. Kesirli Dereceli Sistemlerin Çözüm Yöntemleri

Kesirli mertebeden kaotik sistemleri açıklamak amacıyla, kesirli mertebeden diferansiyel denklemlerin çözülmesi gerekmektedir. Kesirli diferansiyel denklemleri tanımlanması amacıyla Grunwald–Letnikov [56], Riemann–Liouville [57] ve Caputo [58] diferansiyel operatörleri sıklıkla kullanılmaktadır. Riemann–Liouville operatörü fiziksel süreçlerini kesirli mertebeden diferansiyel denklemlerle modellemeye çalışırken bazı dezavantajlara sahiptir. Bu problem ortadan kaldırmak amacıyla Caputo tanımını Riemann–Liouville tanımı ile modifikasyon ederek başlangıç koşulunun verildiği durumlarda ortaya çıkan problemleri ortadan kaldırılması çeşitli çalışmalara temel teşkil etmiştir [59]. Bu nedenlerden dolayı, Riemann-Liouville integral operatörü, Caputo türevi tanımı ile birlikte sıklıkla kullanılmaktadır.

$f(t)$ fonksiyonunun Caputo tanımı ile türetilme ifadesi;

$${}_a D_t^\alpha f(t) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \left(\int_0^t \frac{x'(\tau)}{(t-\tau)^\alpha} d\tau \right), \quad 0 < \alpha < 1 \quad (3.1)$$

Yukarıdaki denklemde, ${}_a D_t^\alpha$ ifadesi α derecesi ve t_0 başlangıç zamanını ifade etmektedir. Riemann-Liouville kesirli dereceli kısmi integrasyon ifadesi $x(t)$ şeklinde gösterilir ve aşağıdaki şekilde tanımlanır;

$$J_{t_0}^\alpha = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_{t_0}^t (t-\tau)^{\alpha-1} x(\tau) d\tau \quad (3.2)$$

Denklemde $J_{t_0}^\alpha$ ifadesi α derecesi ile ifade edilen Riemann-Liouville operatörüdür. Literatürde sıklıkla bilinen Euler'in gama fonksiyonu ise;

$$\Gamma(s) = \int_0^\infty t^{s-1} e^{-t} dt \quad (3.3)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

$J_{t_0}^\alpha$ olarak gösterilen Riemann-Louville operatörünün tanımlanması için üç adet önemli parametre bulunmaktadır [60], [61]. Bu parametreler;

$$\begin{cases} J_{t_0}^\alpha (t-t_0)^\sigma = \frac{\Gamma(\sigma+1)}{\Gamma(\sigma+1+\alpha)} (t-t_0)^{\alpha+\sigma} \\ J_{t_0}^\alpha = \frac{C}{\Gamma(1+\alpha)} (t-t_0)^\alpha \\ J_{t_0}^\alpha J_{t_0}^r x(t) = J_{t_0}^{\alpha+r} x(t) \end{cases} \quad (3.4)$$

Şeklinde gösterilmekte olup, C bir sabit ve $t \in [t_0, t_1], \alpha > 0, r > 0, \sigma > -1$ şartları sağlanmalıdır. Doğrusal olmayan, ${}_a D_t^\alpha x(t) = f(x(t)) + g(t)$ şeklinde tanımlanan bir kesirli-dereceli diferansiyel denklemde $x(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]^T$ durum değişkenleri, $g(t) = [g_1(t), g_2(t), \dots, g_n(t)]^T$ sabit değerler ve ${}_a D_t^\alpha$ ise Caputo diferansiyel operatörünü temsil etmektedir. $f(x(t))$ şeklinde verilen bir lineer olmayan bir diferansiyel denklem temel olarak aşağıda verilen eşitlik ile üç temel kısımda ifade edilebilmektedir.

$${}_a D_t^\alpha f(t) = Lf(t) + Nf(t) + g(t) \quad (3.5)$$

Denklemde, $Lf(t)$ lineer terimleri, $Nf(t)$ lineer olmayan terimleri ve $g(t)$ ifadesi ise kesir-dereceli kaotik sistemlerin sabitlerini ifade etmektedir. Çalışmada başlangıç şartları, $x^{(k)}(t_0^+ = b_k), k = 0, 1, \dots, m-1$ şeklinde seçilmiş olup, Riemann-Louville operatörünü denklemin her iki tarafına uygulanmasından sonra lineer olmayan denklemin ifadesi;

$$x = J_{t_0}^\alpha Lf(t) + J_{t_0}^\alpha Nf(t) + J_{t_0}^\alpha g(t) + \sum_{k=0}^{m-1} b_k \frac{(t-t_0)^k}{k!} \quad (3.6)$$

şeklini almaktadır.

Birçok kesirli mertebeden diferansiyel denklem sisteminin kesin analitik çözümü yoktur. Bu nedenle yaklaşımlı sayısal teknikler kullanılmaktadır. Bu amaç için Frequency-

Decompositon metodu, Adomain Decomposition metodu (ADM)[61], [63] ve Adams-Bashforth-Moulton metodu (ABM) [64] sıklıkla kullanılmaktadır. Diğer yöntemlerle kıyaslandığında ADM daha yaklaşık sonuçları daha az hafıza kullanarak ve daha hızlı bir şekilde ortaya çıkarmaktadır [65] ve ADM kullanılarak daha düşük derecelerde kaotik davranış elde edilebilmektedir [66]. Ayrıca ADM algoritmasını, kesirli mertebeden kaotik sistemlerin devre uygulamalarında yenilemeli bir yaklaşım sağlamaktadır [67].

ADM göz önüne alındığında, lineer olmayan fonksiyonların analitik çözümü;

$$x = \sum_{i=0}^{\infty} x^i = J_{t_0}^{\alpha} \sum_{i=0}^{\infty} Lf(x^i) + J_{t_0}^{\alpha} \sum_{i=0}^{\infty} A^i + J_{t_0}^{\alpha} g + \sum_{k=0}^{m-1} b_k \frac{(t-t_0)^k}{k!} \quad (3.7)$$

şeklini almaktadır. Denklemden $i = 0, 1, \dots, \infty$, ve $j = 1, 2, \dots, n$ değerlerini almaktadır. Denklemden A^i ifadesi ADM polinomlarını ifade etmekte olup, lineer olmayan ifadeler aşağıda verildiği gibi değerlendirilebilir;

$$Nf(x) = \sum_{i=0}^{\infty} A^i(x^0, x^1, \dots, x^i) \quad (3.8)$$

Denklemden, i ayrışma serilerini sembolize etmekte olup, iterasyonlar aşağıda gösterilen özyinelemeli yapısal ilişkiyle belirlenir [68].

$$\begin{cases} x^0 = J_{t_0}^{\alpha} g + \sum_{k=0}^{m-1} b_k \frac{(t-t_0)^k}{k!}, \\ x^1 = J_{t_0}^{\alpha} Lf(x^0) + J_{t_0}^{\alpha} A^0(x^0) \\ x^2 = J_{t_0}^{\alpha} Lf(x^1) + J_{t_0}^{\alpha} A^1(x^0, x^1) \\ \vdots \\ x^i = J_{t_0}^{\alpha} Lf(x^{i-1}) + J_{t_0}^{\alpha} A^{i-1}(x^0, x^1, \dots, x^{i-1}) \end{cases} \quad (3.9)$$

Polinom ifadelerinin genel formülü ise [69];

$$A^i = \frac{1}{i!} \left[\frac{d^i}{d\lambda^i} N \left(\sum_{k=0}^i \lambda^k x_k \right) \right]_{\lambda=0} \quad (3.10)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Çalışma içerisinde polinom sayısı yani altı yani $i = 6$ olarak seçilmiştir. Ayrık zaman ifadeleri olan $[t_0, t]$ ise $h = t_{n+1} - t_n$ adım büyüklüğü olmak üzere $[t_n, t_{n+1}]$ ayrılmış aralıklarda seçilmiştir.

ADM kullanarak, 4 boyutlu bir kesir-dereceli kaotik bir sistemin matematiksel modeli temel olarak,

$$\begin{aligned}
 x_{n+1} &= \sum_{j=0}^6 A_1^j \frac{h^{j\alpha}}{\Gamma(j\alpha + 1)} \\
 y_{n+1} &= \sum_{j=0}^6 A_2^j \frac{h^{j\alpha}}{\Gamma(j\alpha + 1)} \\
 z_{n+1} &= \sum_{j=0}^6 A_3^j \frac{h^{j\alpha}}{\Gamma(j\alpha + 1)} \\
 u_{n+1} &= \sum_{j=0}^6 A_4^j \frac{h^{j\alpha}}{\Gamma(j\alpha + 1)}
 \end{aligned} \tag{3.11}$$

şeklinde verilmektedir.

Daha genel bir ifadeyle ise, ayrık zamanlı 4 boyutlu bir denklemin matematiksel ifadesi;

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} x_{n+1} \\ y_{n+1} \\ z_{n+1} \\ u_{n+1} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} A_1^0 & A_1^1 & A_1^2 & A_1^3 & A_1^4 & A_1^5 & A_1^6 \\ A_2^0 & A_2^1 & A_2^2 & A_2^3 & A_2^4 & A_2^5 & A_2^6 \\ A_3^0 & A_3^1 & A_3^2 & A_3^3 & A_3^4 & A_3^5 & A_3^6 \\ A_4^0 & A_4^1 & A_4^2 & A_4^3 & A_4^4 & A_4^5 & A_4^6 \end{bmatrix} \\
 &\times \begin{bmatrix} 1 & \frac{h^\alpha}{\Gamma(\alpha + 1)} & \frac{h^{2\alpha}}{\Gamma(2\alpha + 1)} & \frac{h^{3\alpha}}{\Gamma(3\alpha + 1)} & \frac{h^{4\alpha}}{\Gamma(4\alpha + 1)} & \frac{h^{5\alpha}}{\Gamma(5\alpha + 1)} & \frac{h^{6\alpha}}{\Gamma(6\alpha + 1)} \end{bmatrix}^T
 \end{aligned} \tag{3.12}$$

haline gelmektedir.

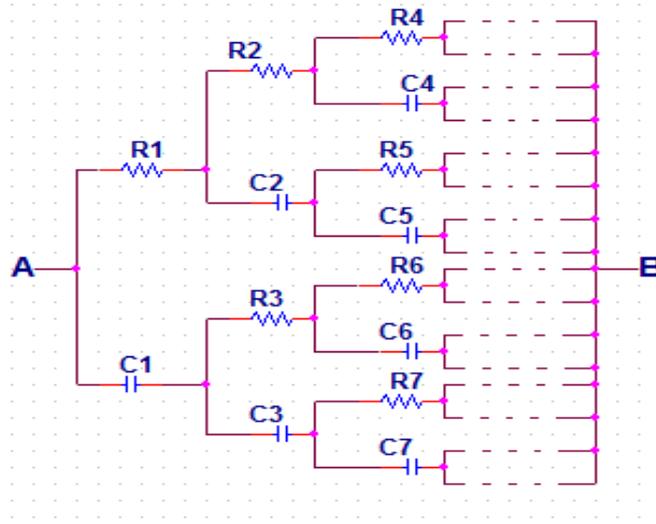
3.2. Kesir Dereceli Sistemler için Elektronik Devre Modelleri

Literatürde kesir dereceli devre modeli için çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Bunlar arasında en çok kullanılanlar;

- Xiang-Rong'ın modeli
- Dorčák v.d. modeli
- Diyi Chen v.d.modeli

3.2.1. Xiang-Rong Modeli

Ağaç modeli olarak adlandırılan Xiang-Rong modeli kondansatör ve dirençler birbirlerine Şekil 3.1 de olduğu gibi paralel bağlanması ile oluşturulmaktadır [70]. Xiang-Rong modelinin denklemi 3.13' te ifade edilmiştir.

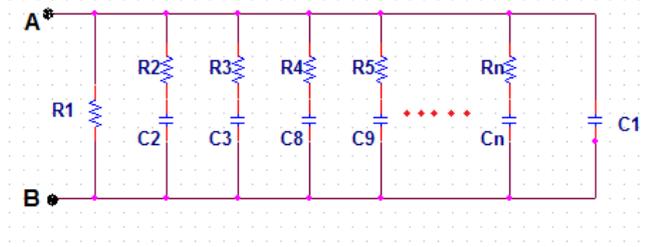


Şekil 3. 1. Chen Xiang – Rong v.d. devre modeli

$$G(s) = \frac{s(R_1 Z_1 C_1 + Z_1 Z_2 C_1) + R_1 + Z_1}{sC_1(R_1 + Z_1 + Z_2) + 1}$$
$$Z_1 = \frac{s(R_2 Z_3 C_2 + Z_3 Z_4 C_2) + R_2 + Z_3}{sC_2(R_2 + Z_3 + Z_4) + 1}$$
$$Z_2 = \frac{s(R_3 Z_5 C_3 + Z_5 Z_6 C_3) + R_3 + Z_5}{sC_3(R_3 + Z_5 + Z_6) + 1} \dots\dots$$
(3.13)

3.2.2. Dorćák Modeli

Dorćák devre modelinde direnç ve kondansatör birbirine seri olarak bağlanır. Oluşturulan bu yapılar paralel bağlandıktan sonra ilave olarak tüm devreye paralel bir direnç ve bir kondansatör eklenip devre tamamlanır [71]. Dorćák modeline ait devre modeli Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Dorćák modelinin denklemleri eşitlik 3.14'tedir

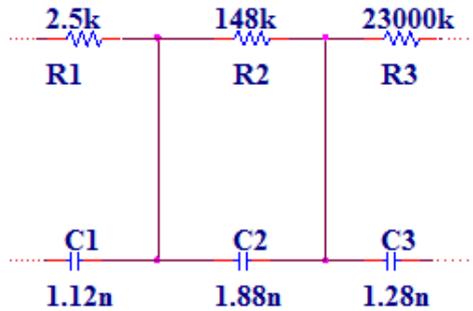


Şekil 3. 2. Dorćák modeline ait devre şekil

$$G(s) = \frac{1}{\frac{1 + sR_a C_a}{R_a} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{sC_n}{1 + sR_n C_n}} \quad (3.14)$$

3.2.3. Diyi Chen Modeli

Diyi Chen devre modelinde birbirlerine paralel bağlanan direnç ve kondansatör grubu daha sonra seri şeklinde bağlanarak devre tamamlanmaktadır [72]. Devreye ait model Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3. 3. Diyi Chen devre modeli

Diyi Chen modeline ait matematiksel ifade denklem 3.15'te verilmiştir.

$$G(s) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{R_n}{1 + sR_n C_n} \quad (3.15)$$

Kesir derecesine göre devreye ait direnç ve kondansatör değerleri değişmektedir. Tez çalışmasında daha pratik olmasından dolayı Diyi-Chen modeline göre tasarımlar yapılmıştır.



BÖLÜM 4. KESİR DERECELER İÇİN ELEKTRONİK DEVRE MODELLERİNİN ELDE EDİLMESİ ve ARAYÜZ TASARIMI

4.1. Farklı kesir derecelerinin yaklaşımı ve devre modellerinin elde edilmesi

Ahmed Wajidi doğrusal olmayan sistemlerin kesir dereceli davranışlarını incelemek amacıyla bir çalışma gerçekleştirmiştir. Tablo 4.1’ de Ahmed Wajidi tarafından elde edilen 0,1 - 0,9 arasında değişen kesir derecelere sahip durumların transfer fonksiyonu modelleri yer almaktadır [18].

Tablo 4. 1. Transfer fonksiyonu

q	G(s)
0.1	$\frac{1584.8932(s+0.1668)(s+27.83)}{(s+0.1)(s+16.68)(s+2783)}$
0.2	$\frac{79.4328(s+0.05623)(s+1)(s+17.78)}{(s+0.03162)(s+0.5623)(s+10)(s+177.8)}$
0.3	$\frac{39.8107(s+0.0416)(s+0.3728)(s+3.34)(s+29.94)}{(s+0.02154)(s+0.1931)(s+1.73)(s+15.51)(s+138.9)}$
0.4	$\frac{35.4813(s+0.03831)(s+0.261)(s+1.778)(s+12.12)(s+82.54)}{(s+0.01778)(s+0.1212)(s+0.8254)(s+5.623)(s+3831)(s+261)}$
0.5	$\frac{15.8489(s+0.03981)(s+0.2512)(s+1.585)(s+10)(s+63.1)}{(s+0.01585)(s+0.1)(s+0.631)(s+3.981)(s+25.12)(s+158.5)}$
0.6	$\frac{10.7978(s+0.04642)(s+0.3162)(s+2.154)(s+14.68)(s+100)}{(s+0.01468)(s+0.1)(s+0.6813)(s+4.642)(s+31.62)(s+215.4)}$
0.7	$\frac{9.3633(s+0.06449)(s+0.578)(s+5.179)(s+46.42)(s+416)}{(s+0.01389)(s+0.1245)(s+1.116)(s+10)(s+89.62)(s+803.1)}$
0.8	$\frac{5.3088(s+0.1334)(s+2.371)(s+42.17)(s+749.9)}{(s+0.01334)(s+0.2371)(s+4.217)(s+74.99)(s+1334)}$
0.9	$\frac{2.2675(s+1.292)(s+215.4)}{(s+0.01292)(s+2.154)(s+359.4)}$

Tablo 4.2 ve Tablo 4.3’de ise, yukarıda elde edilen yaklaşımlar dikkate alınarak Diyi-Chen modeline göre devre tasarımı sonucu elde edilen elemanların değerleri verilmiştir.

Tablo 4. 2. Diyi Chen devre modeline ait direnç değerleri

q	R1	R2	R3	R4	R5	R6
0.1	226.90k	152.51k	254.53k			
0.2	169.94k	140.16k	242.73k	451.91k		
0.3	99.8k	104.64k	193.01k	375.15k	819.73k	
0.4	42.28k	57.21k	117.46k	252.26k	557.11k	1497.5k
0.5	27.29k	49.05k	118.53k	297.73k	777.45k	2729.9k
0.6	11.89k	30.14k	93k	295.06k	979.21k	4930k
0.7	2.40k	9.84k	45.16k	210.43k	1023k	8756k
0.75	3.83k	22.27k	140.11k	919.79k	11563k	
0.8	716.17k	6.83k	68.24k	702.38k	15146k	
0.9	1.01k	101.28k	25.13k			
0.93	21.85ohm	15.72k	28961k			
0.95	1.22k	31771k				
0.97	2.83ohm	34838k				
0.99	142.09ohm	38199k				

Tablo 4. 3. Diyi Chen devre modeline ait kondansatör değerleri

q	C1	C2	C3	C4	C5	C6
0.1	633.52p	157.22n	15.71n			
0.2	13.23p	285.38p	2.93n	27.99n		
0.3	28.8p	246.52p	1.19n	5.52n	22.64n	
0.4	36.24p	182.46p	605.5p	1.92n	5.92n	15.02n
0.5	92.45p	324.62p	847.66p	2.12n	5.14n	9.24n
0.6	156.08p	419.55p	926.54p	1.98n	4.08n	5.52n
0.7	207.48p	453.58p	885.63p	1.70n	3.13n	3.28n
0.75	415.35p	833.6p	1.544n	2.74n	2.54n	
0.8	418.83p	780.95p	1.39n	2.40n	1.98n	
0.9	1.09n	1.83n	1.23n			
0.93	1.02n	1.68n	1.07n			
0.95	1.58n	987.99p				
0.97	1.49n	905.53p				
0.99	1.40n	829.83p				

Aşağıdaki işlem adımlarında örnek olarak 0.9 ve 0.99 kesir derecelerine göre tasarımlar yapılmıştır. Bunun için öncelikle Riemann–Liouville kesir dereceli integral operatörünün tanımı aşağıdaki Denklem 4.1 ile verilmiştir.

$$Z^q f(t) \square \frac{1}{\Gamma(q)} \int_0^t (t-\tau)^{q-1} f(\tau) d\tau, \quad t > 0, q \in \mathbb{R}^+ \quad (4.1)$$

Denklemde q kesir derecesi, Z^q ise q .dereceden kesir dereceli Riemann–Liouville integrali ve $\Gamma_{(q)}$ ise gama fonksiyonudur. Eğer $f(t)$ fonksiyonunun başlangıç şartları sıfıra eşit olursa, denklem 4.1’de verilen kesir dereceli integral ifadesi, frekans domeninde denklem 4.2’de verildiği gibi yazılabilir.

$$L\{Z^q f(t)\} = \frac{1}{s^q} F(s), \quad (4.2)$$

Denklem 4.2’de $F(s)$ ifadesi $f(t)$ fonksiyonunun Laplace dönüşümüdür. Dolayısıyla, kesir dereceli integral ifadesinin transfer fonksiyonu denklem 4.3’te verildiği gibi yazılabilir.

$$H(s) = \frac{1}{s^q} \quad (4.3)$$

Fakat denklem 4.3’te verilen transfer fonksiyonu ifadesi devre elemanları yardımıyla doğrudan gerçekleştirilemez. Bu durumun üstesinden gelebilmek amacıyla, Charef ve ark. (50), RC basamaklı ağlar yardımıyla denklem 4.3’te verilen transfer fonksiyonunu yakınsamayı amaçlamışlardır.

Denklem 4.3’te verilen transfer fonksiyonu $-20q$ dB/decade eğime sahip ve zig-zag çizgileri yardımıyla yakınsak olarak 0 dB/decade ve 20 dB/decade değerlerine yakınlştırılabilir. Kesir dereceli transfer fonksiyonu aşağıda verilen şekilde yakınlştırılabilir.

$$H(s) = \frac{1}{s^q} \approx \frac{1}{(1 + \frac{s}{P_t})^q} \approx \frac{\prod_{i=0}^{N-1} (1 + \frac{s}{Z_i})}{\prod_{i=0}^N (1 + \frac{s}{P_i})} \quad (4.4)$$

Denklem 4.4’te P_t kenar frekansı (veya $1/P_t$ oturma zamanı), Z_i ve P_i değerleri sırasıyla yakınsak transfer fonksiyonunun sıfır ve kutuplarıdır. Bu değerler aşağıda verildiği gibi hesaplanabilir.

$$\begin{aligned}
P_0 &= p_i 10^{y/20q}, \\
Z_i &= (ab)^i a p_o, \\
P_i &= (ab)^i P_o
\end{aligned}
\tag{4.5}$$

Denklemlerde verilen a ve b ifadeleri aşağıda verilen şekilde hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned}
a &= \frac{Z_{n-1}}{P_{n-1}} = 10^{y/10(1-q)}, \\
b &= \frac{P_n}{Z_{n-1}} = 10^{y/10q},
\end{aligned}
\tag{4.6}$$

Denklem 4.5 ve denklem 4.6'da bulunan y ifadesi gerçek değer ile zig-zag ifadenin arasında olan hatanın maksimum değerinin dB cinsinden ifadesini temsil etmektedir.

Denklem 4.7 de bulunan N ifadesi aşağıda verilen şekilde hesaplanmaktadır.

$$N = \text{Integer} \left(\frac{\log\left(\frac{\omega_{\max}}{P_0}\right)}{\log(ab)} \right) + 1
\tag{4.7}$$

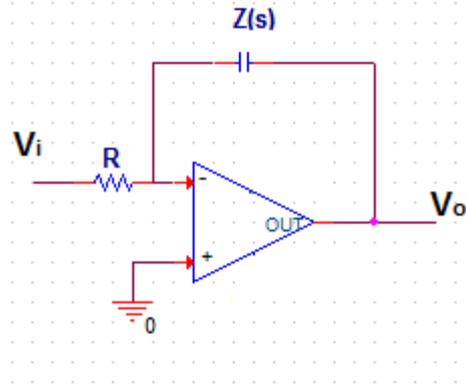
Denklem 4.7'de açık şekilde görüleceği üzere N ifadesi frekans bandında, gerçek değer ile yaklaşık değer arasındaki kesir dereceden maksimum hatayı ifade etmektedir.

Ahmad ve Sprott yaptıkları çalışmada (40), kesir dereceli yaklaşık transfer fonksiyonunu [0.1 0.9] aralığında 2dB ve 3dB maksimum hata değerinde 0.1 adım büyüklüğüyle referans 4.7 de verilen algoritmayla ulaşılmıştır.

Bu çalışmada, FMC tabanlı kaotik sistem, $q=0.9$ ve $q=0.99$ olan iki farklı kesir derecesiyle incelenmiştir. Kesir derecesinin 0.9 olması durumunda, referans 4.7 kullanılarak yakınsanmış transfer fonksiyonu maksimum hata ifadesi $y = 2\text{dB}$ olarak elde edilmiştir. $1/s^{0.9}$ değerinde yakınsanmış transfer fonksiyonu aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$\frac{1}{s^{0.99}} \approx \frac{1.073(s+1.0235)(s+107.2)}{(s+0.0102)(s+1.072)(s+112.3)}
\tag{4.8}$$

Kesir dereceli integral alıcı devresi için Şekil 4.1' de elde edilmiştir.



Şekil 4. 1 İntegral alıcı devre

Şekil 4.1'da verilen integral alıcı devre için transfer fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{Z(s)}{R} \quad (4.9)$$

Eğer denklem 4.1'de negatif işaret bırakılır ve R değeri 1 olarak seçilirse, Z(s) empedans değeri yakınsanmış transfer fonksiyonuna eşit olmaktadır. Bu eşitlik aşağıdaki denklemde verilmiştir.

$$Z(s) \approx \frac{1}{s^q} \quad (4.10)$$

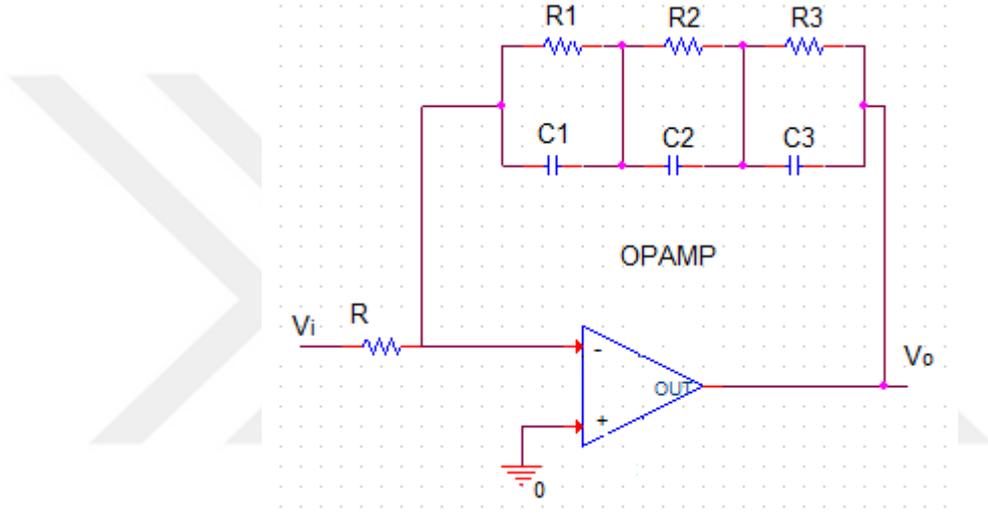
Eğer Denklem 4.7 ve Denklem 4.8'de verilen yakınsanmış transfer fonksiyonunun pay ve payda değerleri incelenirse, pay ve payda fonksiyonlarının pozitif reel bir fonksiyon oldukları görülmektedir. Transfer fonksiyonunun pay ve paydasındaki polinom ifadelerin derecelerinin farklarının birden büyük olmadıkları ayrıca Denklem 4.7 ve Denklem 4.8'de verilen yakınsanmış transfer fonksiyonlarının reel pozitif fonksiyonlar oldukları açık bir şekilde görülebilir. Sonuç olarak, verilen her iki transfer fonksiyonun Z(s) empedansları pasif devre elemanları olan R_L ve R_C ile gerçekleştirilebilir.

Bu çalışmada, R_C bağlantı temelli Z(s) empedans değerini elde edebilmek amacıyla Foster I metodunu kullanıldı. Bu yöntemde, empedans, empedans fonksiyonunun kısmi kesir genişlemesi ile sentezlenir. Payda polinomlarının ikisinde dereceleri 3 olduğundan ve

pay fonksiyonlarının ikisinde 2 olmasından dolayı, kısmı kesir genişleme ifadesi iki fonksiyonda $Z(s)$ empedansları aşağıda verilen şekilde olacaktır.

$$Z(s) \approx \frac{k_1}{s + \sigma_1} + \frac{k_2}{s + \sigma_2} + \frac{k_3}{s + \sigma_3} \quad (4.11)$$

Denklem 4.11'de verilen $Z(s)$ empedansının devre modeli şekil 4.5'de verilmiştir. Şekil 4.5' de kapasitenin değeri $C_i = \frac{1}{k_i}$ ve direncin değeri $R_i = \frac{k_i}{\sigma_i}$ eşitlikleri yardımıyla hesaplanmıştır.



Şekil 4. 2. Empedans devre modeli

Tablo 4.4'de her iki kesir derece için hesaplanmış kapasitör ve direnç değerleri verilmiştir. Tabloda verilen a değeri entegrasyon katsayısıdır.

Tablo 4. 4. Kesir dereceler için hesaplanmış kapasitör ve direnç değerleri

	q=0.9	q=0.99
R	1/a	1/a
R₁	0.00253	4.37e ⁻⁴
C₁	1.098	20.367
R₂	0.253	0.0439
C₂	1.833	21.23
R₃	62.922	95.76
C₃	1.232	1.0238

Tablo 4.4 incelendiğinde hem dirençlerin hem de kapasitörlerin değerleri pratik uygulamalar için pek uygun olmadığı görülmektedir. Bununla birlikte, bu değerler, büyüklük ölçeklendirmesiyle daha makul bir aralığa kaydırılabilir. Büyüklük ölçeklendirme, bir ağdaki tüm empedansları, ağın frekans yanıtının değişmeden kaldığı aynı faktörle ölçeklendirme işlemidir. Bu çalışmada ölçeklendirme katsayısı $k_m = 4.10^5$ olarak seçilmiştir.

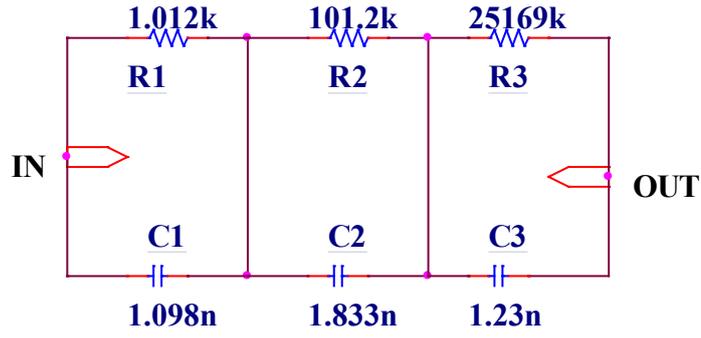
Büyüklük ölçeklendirme işleminden sonra, analog osiloskop ile kesirli dereceden kaotik sistemin faz portrelerini elde etmek için frekans ölçeklendirmesi gereklidir. Frekans ölçeklendirme faktörü $k_f = 2500$ olarak seçilmiştir. Bir RC devresinin frekans ölçeklendirme sürecinde, kapasitörlerin değeri ölçeklendirme faktörü ile azalırken dirençlerindeki değişmeden kalmaktadır.

Direnç ve kapasitörlerin değerleri hem büyüklük hem de frekans ölçeklendirme işlemlerinden sonra Tablo 4.5'te gösterilmektedir. Tablo 4.3'teki a değeri entegrasyon katsayısıdır.

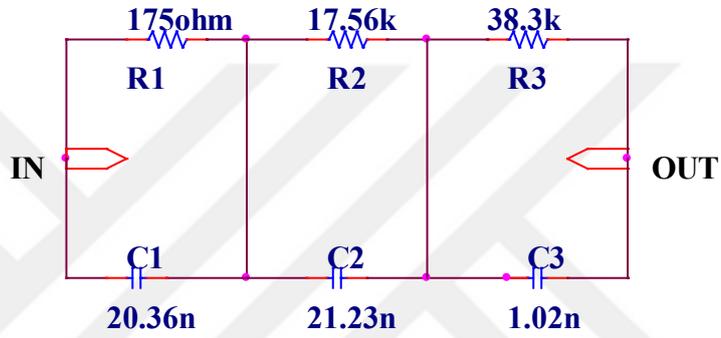
Tablo 4.5. 0.9 ve 0.99 için eleman değerleri

	q=0.9	q=0.99
R	400/a	400/a
R₁	1.012	0.1748
C₁	1.098	20.367
R₂	101.2	17.56
C₂	1.833	21.23
R₃	25.169	38.304
C₃	1.232	1.0238

Kesirli derece olarak kaotik bir sistemin sırasıyla $q = 0.9$ ve $q = 0.99$ devre modeli şekil 4.7 ve şekil 4.8'de verildiği gibidir. Ayrıca dirençlerin ve kondansatörlerin değerleri, $q = 0.9$ ve $q = 0.99$ kesir dereceleri için sırasıyla Tablo 4.5'de verilmiştir.

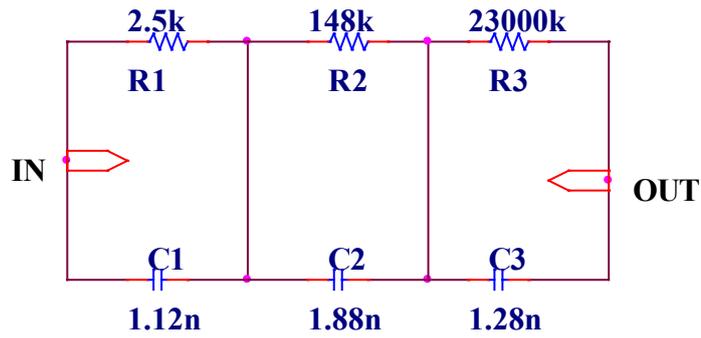


Şekil 4. 3. Diyi Chen modeli ile Rucklidge kaotik sistemi 0.90 kesirli kondansatör ve direnç değer gösterimi

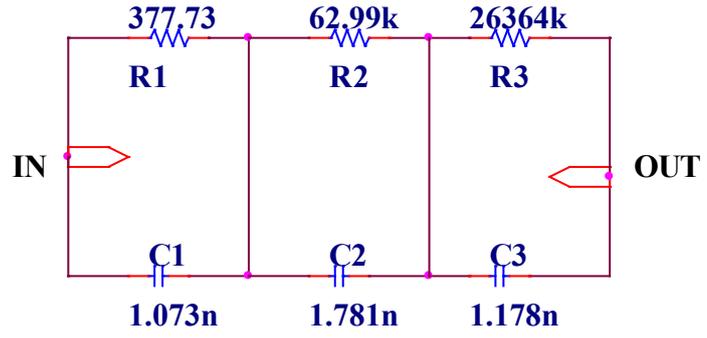


Şekil 4. 4. Diyi Chen modeli ile Rucklidge kaotik sistemi 0.99 kesirli kondansatör ve direnç değer gösterimi

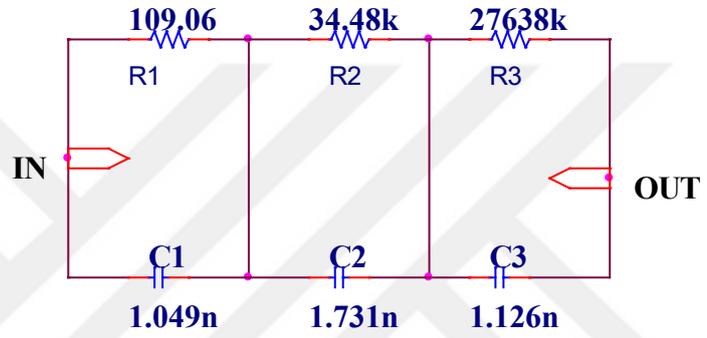
Farklı kesir dereceler için ise devre modelleri şekil 4.5 – şekil 4.13’de verildiği gibidir.



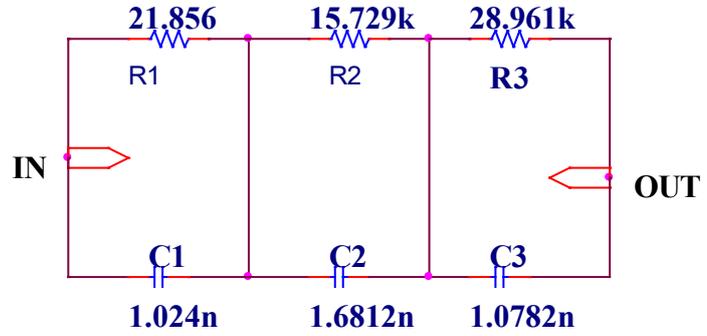
Şekil 4. 5. Diyi Chen modeli ile Rucklidge kaotik sistemi 0.89 kesirli kondansatör ve direnç değer gösterimi



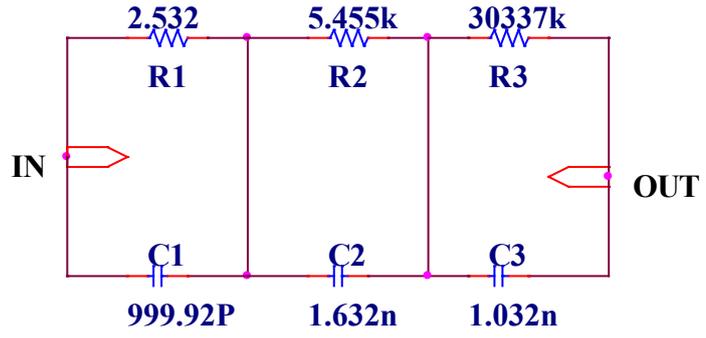
Şekil 4. 6. Diyi Chen modeli ile Rucklidge kaotik sistemi 0.91 kesirli kondansatör ve direnç değer gösterimi



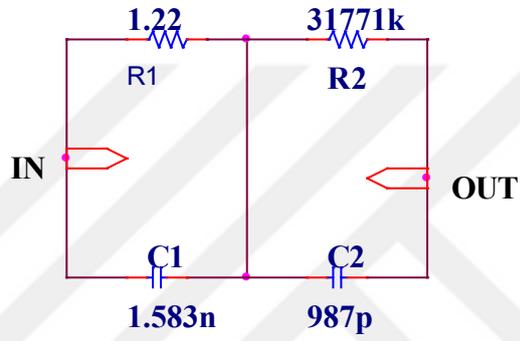
Şekil 4. 7. Diyi Chen modeli ile Rucklidge kaotik sistemi 0.92 kesirli kondansatör ve direnç değer gösterimi



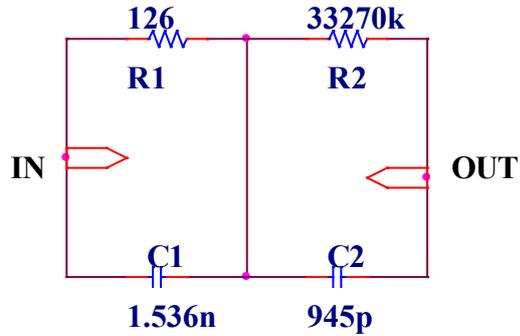
Şekil 4. 8. Diyi Chen modeli ile Rucklidge kaotik sistemi 0.93 kesirli kondansatör ve direnç değer gösterimi



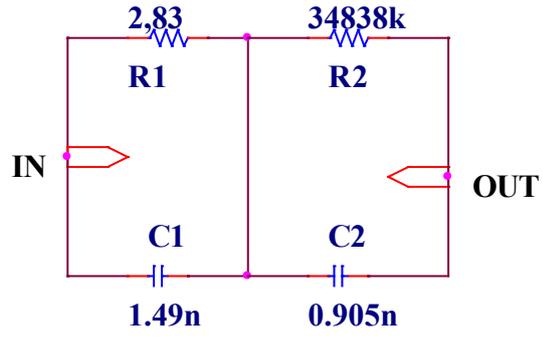
Şekil 4. 9. Diyi Chen modeli ile Rucklidge kaotik sistemi 0.94 kesirli kondansatör ve direnç değer gösterimi



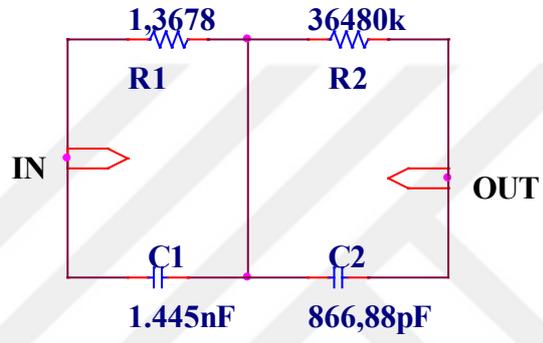
Şekil 4. 10. Diyi Chen modeli ile Rucklidge kaotik sistemi 0.95 kesirli kondansatör ve direnç değer gösterimi



Şekil 4. 11. Diyi Chen modeli ile Rucklidge kaotik sistemi 0.96 kesirli kondansatör ve direnç değer gösterimi



Şekil 4. 12. Diyi Chen modeli ile Rucklidge kaotik sistemi 0.97 kesirli kondansatör ve direnç değer gösterimi



Şekil 4. 13. Diyi Chen modeli ile Rucklidge kaotik sistemi 0.98 kesirli kondansatör ve direnç değer gösterimi

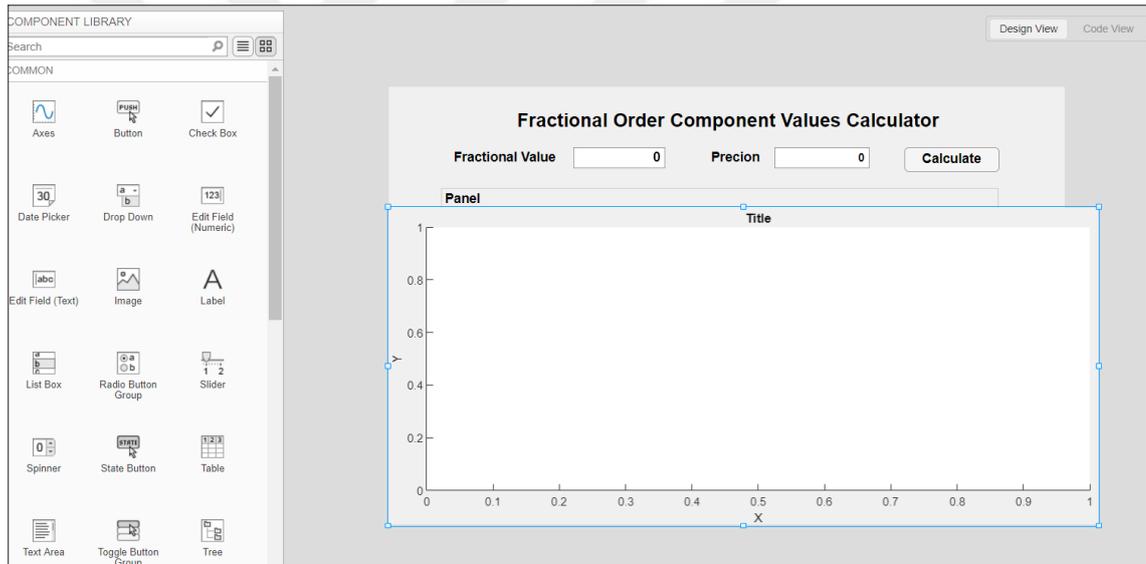
4.2. Arayüz Tasarımı

Bir önceki bölümde bahsedilen tüm işlemleri farklı kesir dereceli için daha kolay bir şekilde yapabilmek amacıyla bir arayüz tasarımı yapılmıştır. Bu arayüz yardımıyla tüm işlemler hızlı ve kolay bir şekilde elde edilebilmektedir.

Son yıllarda arayüz programları işlemleri hızlandırmak, kolaylaştırmak amacıyla eğitimde, araştırma ve geliştirmede veya araç kutusu (toolbox) hazırlamada çok yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Literatürde, arayüz oluşturmada kullanılan MATLAB Guide User Interface (GUI) veya Matlab App Designer ile hazırlanan çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar incelendiğinde arayüz tasarlamada MATLAB programının temel araçlardan biri olduğu görülmektedir. MATLAB GUI veya App Designer programı, MATLAB'ın gelişmiş analiz ve grafik özelliklerini kullanabildiği için çok esnek ve kullanışlı bir yapıya sahiptir. MATLAB programı farklı programlar ile haberleşebildiği gibi kendi içerisinde de birçok araç kutusunu arkaplan da kullanmaya izin vermektedir. Herhangi bir amaç doğrultusunda MATLAB App Designer ile tasarlanan arayüz programının kullanılabilmesi için tasarlanan program farklı araç paketleri kullanılarak *.exe dosyasına dönüştürülebilmektedir. Dolayısıyla oluşturulan *.exe dosyasını kullanıcı bilgisayarına kurduğunda ücretsiz olarak kullanabilecektir. Ayrıca arayüz tasarlamada .NET, Flash, vd. platformlar da tercih edilebilmektedir. Bu tip platformlarda oluşturulan arayüzler bilgisayarda herhangi bir farklı bir yazılıma ihtiyaç duymadan çalıştırılabilir. Böylece hem taşınabilirlik hem de maliyet açısından avantajlı olabilmektedir.

Matlab GUI ve App Designer, işlemleri kolaylaştırarak, anlaşılabilirliği arttırmak, verileri görselleştirmek gibi amaçlar ile kullanıcıların rahatlıkla kullanabileceği arayüzü hazırlama imkânı sunmaktadır. Hazırlanan arayüzler kullanıcı ile interaktif bir şekilde verilerin işlenmesini, görselleştirilmesini sağladığı için birçok işlemin hızlı bir şekilde gerçekleşmesini sağlamaktadır. Bu nedenle hazırlanan arayüzler bilgisayar destekli eğitimlerde, uzaktan eğitimlerde, araştırma ve geliştirme alanlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Matlab App Designer ortamı kullanılarak hazırlanan bu arayüzler iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda kullanıcının herhangi bir programlama ihtiyacı hissetmeden direk kullanacağı arayüzün hazırlandığı Design View kısmıdır. İkinci kısım ise Code view olarak isimlendirilen kullanıcı tarafından yapılması istenen işlemlerin

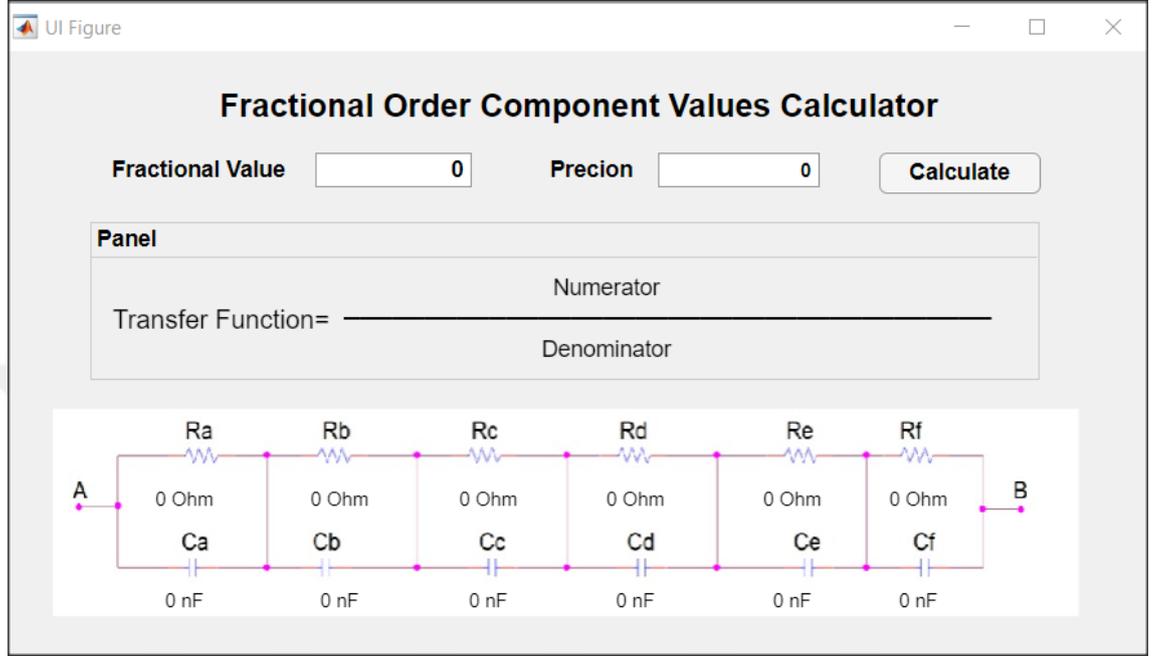
gerçekleştirildiği kullanıcı olay (event) fonksiyonlarının oluşturulduğu kısımdır. Bu fonksiyonlar “.m” dosyası olmakla birlikte, arayüz üzerindeki her bir olaya karşılık yapılması ya da hesaplanması istenen işlemlerin gerçekleştirildiği kullanıcı tarafından görünmeyen kısımlardır. Matlab App Designer ile arayüz hazırlamak için ilk olarak app store içerisinde App Designer butonu tıklanır. Boş bir arayüz açılır. Matlab App Designer ekranına arayüzde kullanılmak istenen itemler ekrana taşınır. Component Library içerisinde bulunan bu itemler arzu edilen tasarıma göre şekil 4.17’deki gibi Design View üzerinde taşınır. Kullanılan bu itemler; basılıp çekilen butonlar, sayısal veya karakterlerin veri girişi olarak programa verilmesini sağlayan ‘Edit text’, verilerin görselleştirilmesini sağlayan ‘axes’, bu tip her bir ‘item’ i birbiri içinde gruplanmasını sağlayan ‘Panel’ araçları Code View ekranına taşınarak arayüze eklenmiş ve yerleri düzenlenmiştir.



Şekil 4. 14. Arayüz genel görünüm

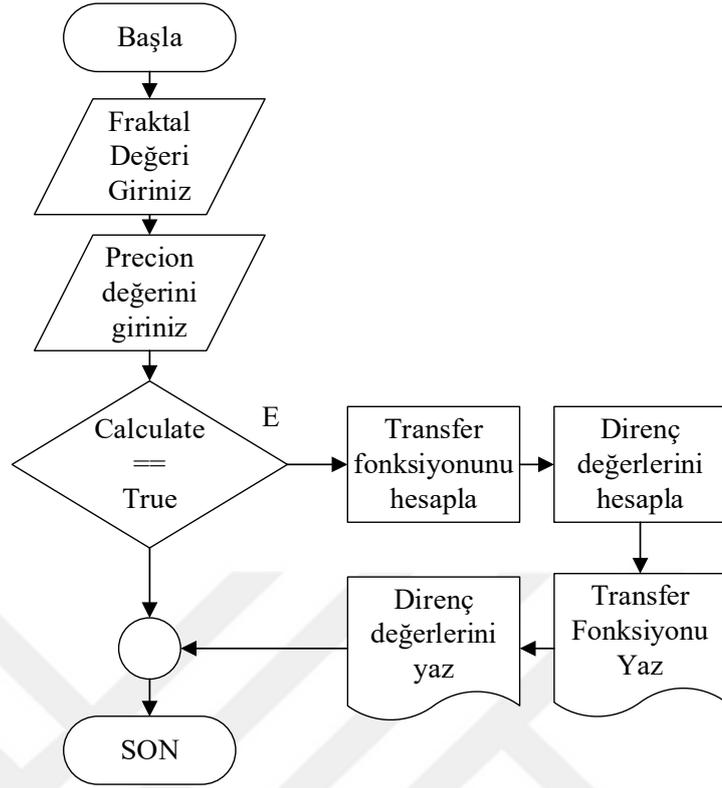
Arayüze taşınan her bir ‘item’in kendisine ait olduğu ‘tag’ları bulunmaktadır ve bu ‘tag’ları ile arka planda kullanıcının direk görmediği ve asıl işlemlerin yapıldığı ‘callback’ dosyalarının düzenlenmesi gerekmektedir. Bu dosyada arayüz üzerinde olan bir olayda (tıklama, değer girme) ‘callback’ dosyası içerisine yapılmak istenen MATLAB kodları ile yazılır. Her bir olay ayrı bir ‘callback’ olduğu için tüm ‘item’ ler birbirine ‘app’ nesnesi ile bağlidir. ‘app’ ile arayüzde tanımlanan ‘item’lere verilen ‘tag’lar ile

veri alış verişi gerçekleştirilir. Hazırlanan arayüzdeki komponentler düzenlediğinde şekil 4.18'deki gibi bir tasarım oluşturulmuştur.

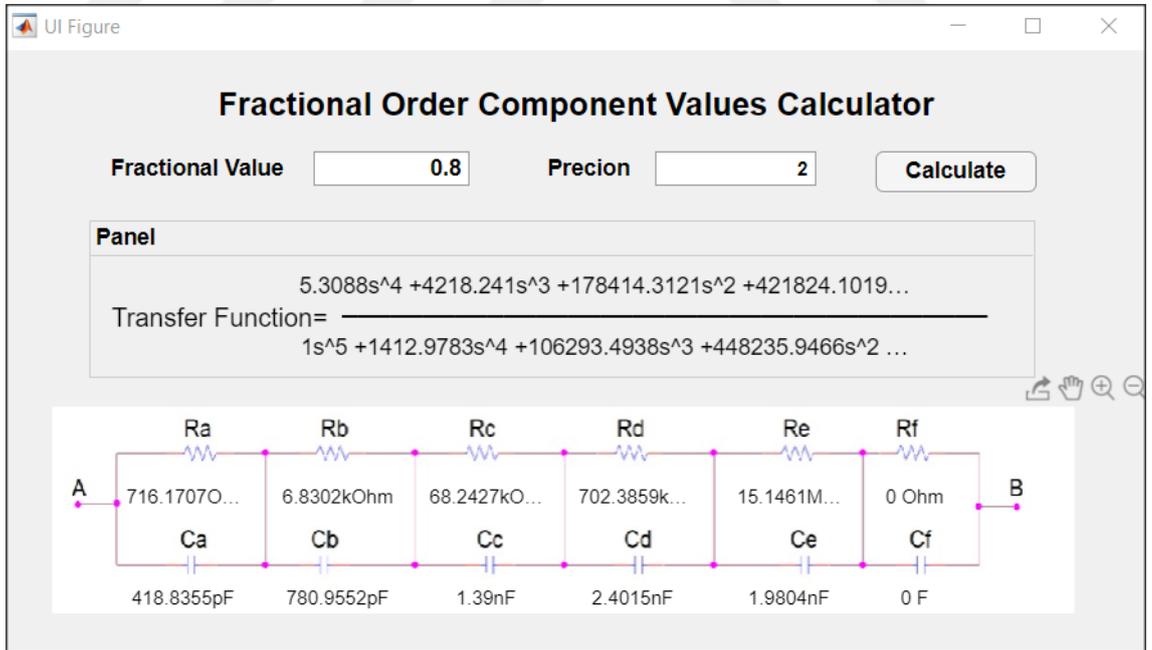


Şekil 4. 15. Arayüz genel görünüm

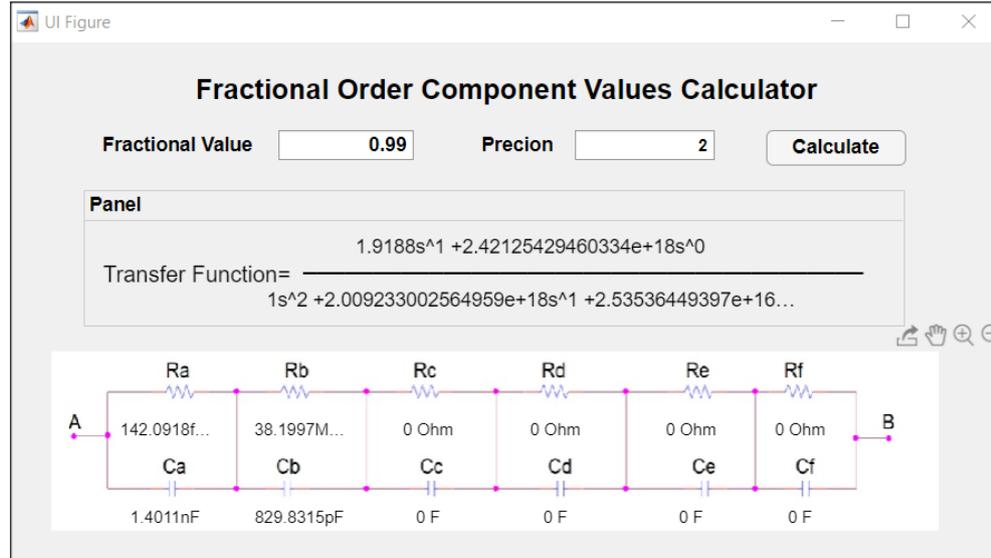
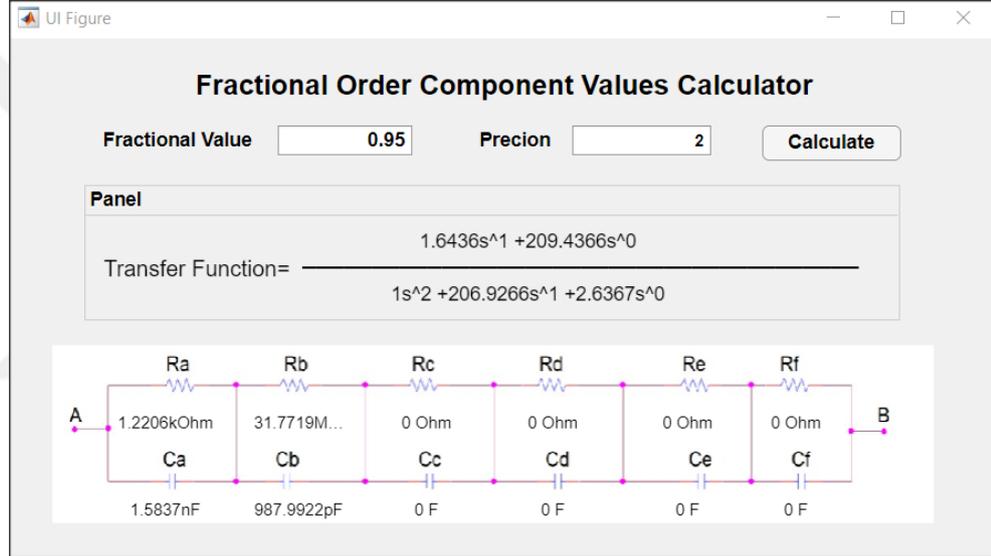
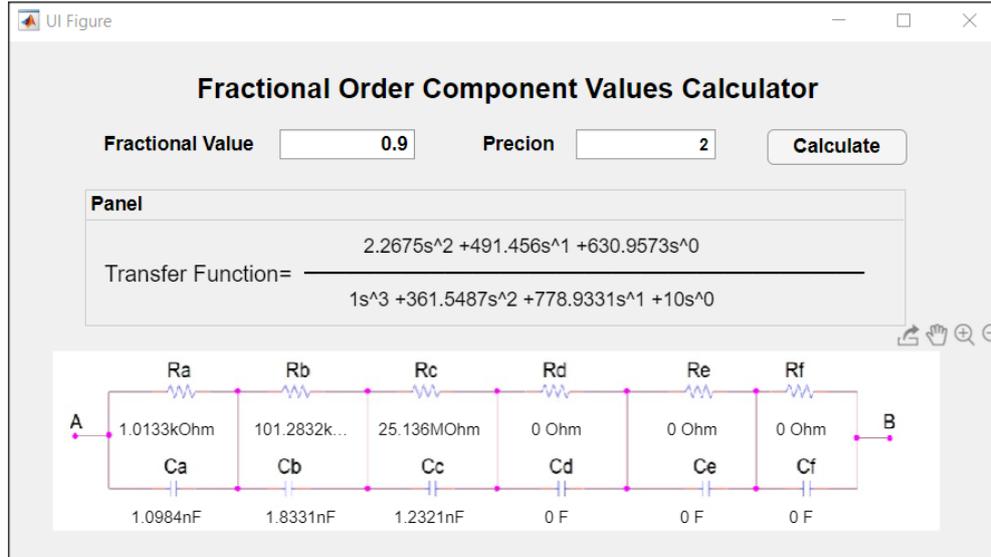
Oluşturulan arayüzün çalışma adımlarının daha iyi anlaşılabilmesi için Şekil 4.19'daki akış diyagramı verilmiştir. Bu diyagramda ilk olarak kesir değeri ve hassas değerleri arayüze girilmekte ardından da calculate tuşuna basıldığında transfer fonksiyonu ve direnç değerleri hesaplanarak arayüzde görüntülenmektedir. Bunun için farklı örnek uygulamalar için kesir derecesi 0.8, 0.9, 0.95, 0.99 ve precision değeri 2 olan kesirli derecelerin direnç ve kondansatör değerleri şekil 4.20 – şekil 4.24'de örnek çıktılar olarak verilmiştir.



Şekil 4. 16. Akış Diyagramı



Şekil 4. 17. Arayüz örnek çıktı



Şekil 4. 18. 0.90-0.95-0.99 kesir durumunun direnç ve kondansatör değerleri

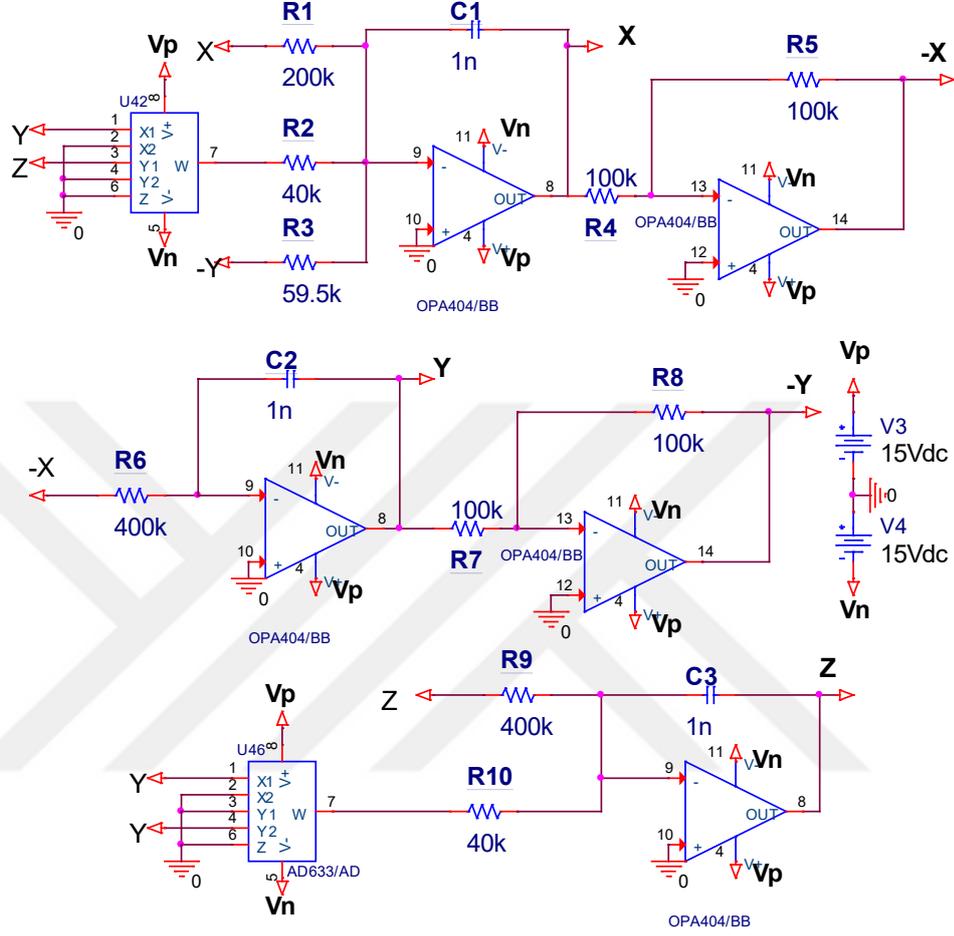
BÖLÜM 5. FARKLI KESİR DERECEDEDEN ELEKTRONİK DEVRE GERÇEKLEMELERİ

Yıllardır tamsayılı dereceden çalışılan kaotik sistemlerin aksine farklı dereceden kesirli kaotik sistemlerin elektronik devre tasarımları gerçekleştirilmiştir. Bu amaç kapsamında Diyi-Chen yaklaşımı ile gerekli hesaplamalar yapılarak elektronik devre tasarımları gerçekleştirilmiştir. Doğrusal olmayan bir sistem kullanılarak elde edilen devre tasarımları simülasyon programı ve gerçek ortamda gözlemlenerek sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bu bölümde farklı kesir dereceler olarak, 0.9 ve 0.99 arası kesir derecelerinin farklı kombinasyonları incelenerek faz portre çıkışları incelenmiştir. Çalışılan kaotik sistem 3 boyutlu olduğu için ele alınan kombinasyonlar şu şekildedir;

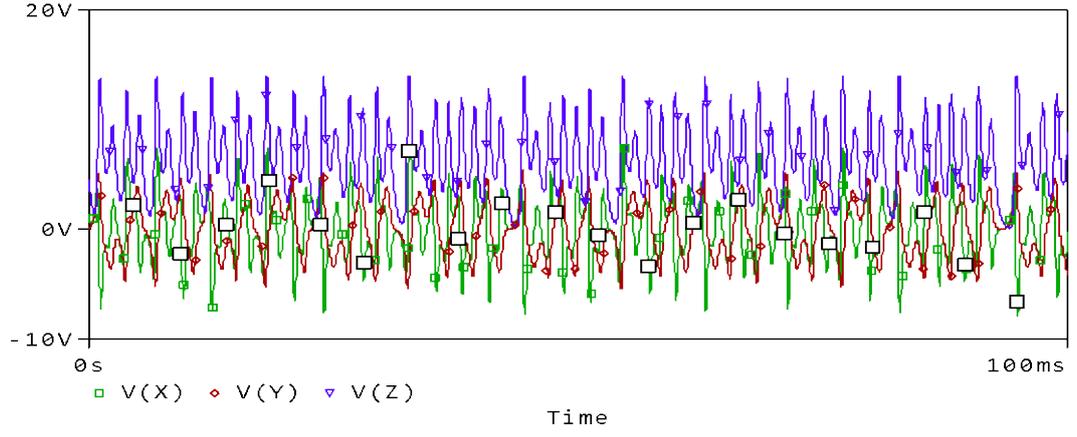
- $1(x) - 1(y) - 1(z)$
- $0.99(x) - 1(y) - 1(z)$
- $0.99(x) - 0.99(y) - 1(z)$
- $0.99(x) - 0.99(y) - 0.99(z)$
- $0.9(x) - 1(y) - 1(z)$
- $0.9(x) - 0.99(y) - 1(z)$
- $0.9(x) - 0.9(y) - 1(z)$
- $0.9(x) - 0.9(y) - 0.9(z)$

Öncelikle tamsayılı dereceden kaotik sistemin elektronik devre tasarımı yapılarak çıkışları incelenmiştir. Tamsayılı derece için devre tasarımı Şekil 5.1’de verildiği gibidir.

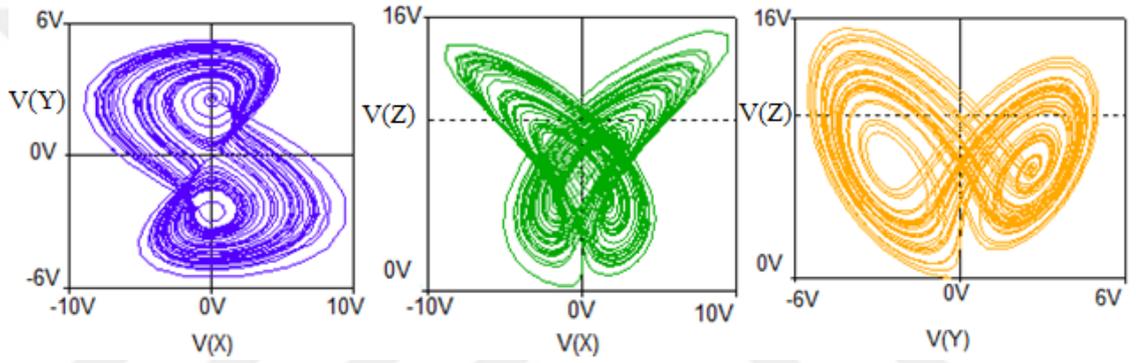


Şekil 5. 1. Rucklidge kaotik sistemin tam sayı orcad devre görünümü

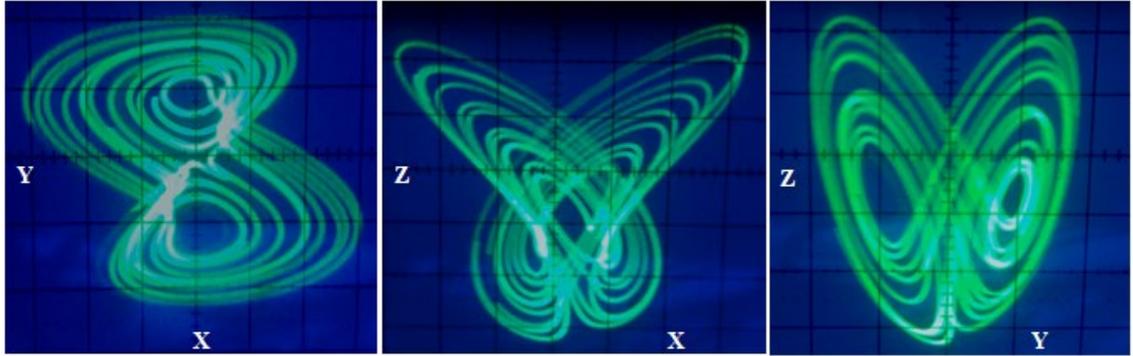
Tasarlanan devrenin çıkışlarındaki sinyaller simülasyon programında zaman seri ve faz portre çıkışları Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’da verilmiştir. Şekil 5.4’de ise gerçek ortam osiloskop çıkışları görülmektedir.



Şekil 5. 2. Rucklidge kaotik sistemin 1 tam sayı x-y-z zaman seri grafiği

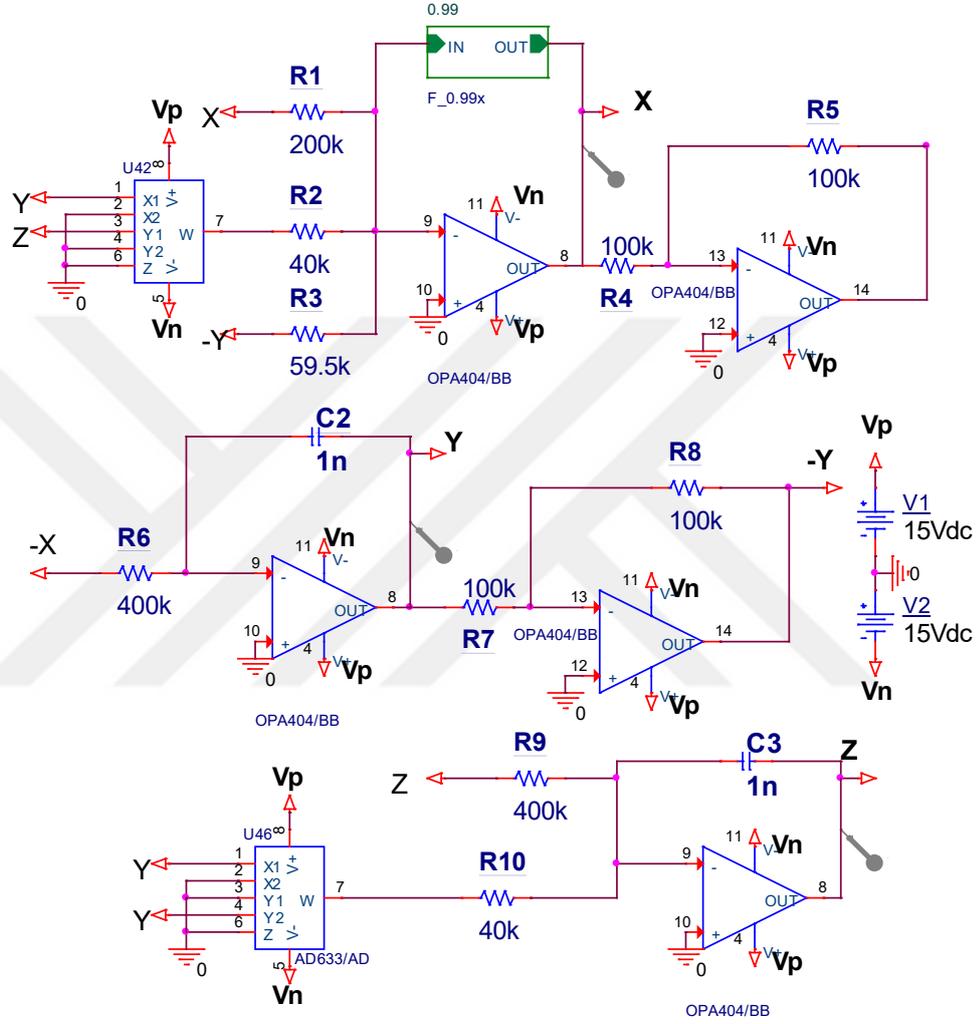


Şekil 5. 3. Rucklidge kaotik sistemin 1 tam sayı x-y, x-z, ve y-z faz portre çıkışları



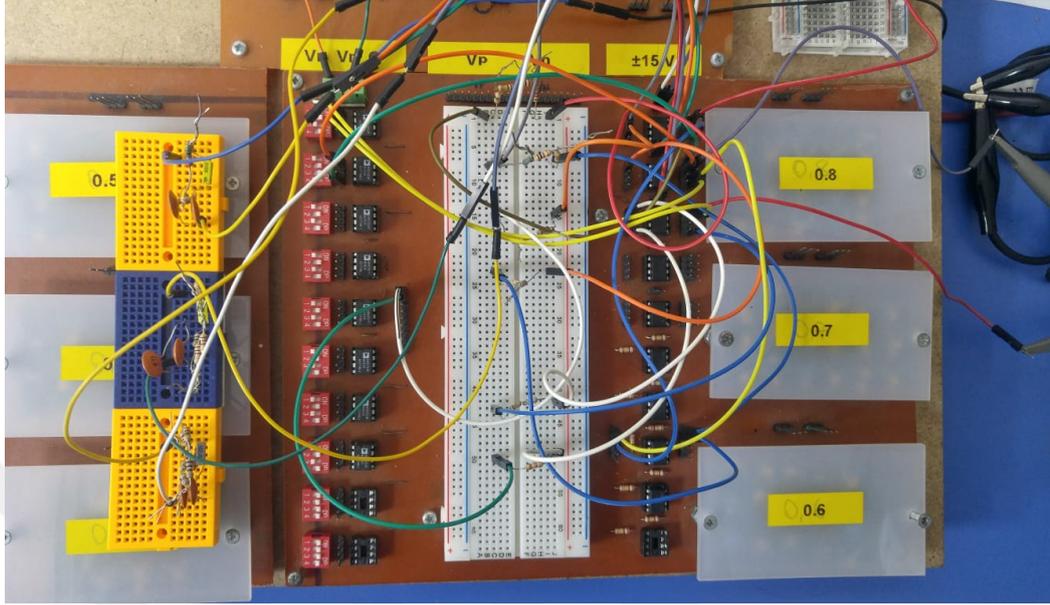
Şekil 5. 4. Rucklidge kaotik sistemin 1 tamsayı x-y, x-z, ve y-z osiloskop çıkışları

Tamsayılı dereceden kaotik sistemin elektronik devre tasarımı sonrasında kesir dereceli sistemlere geçilmiştir. Öncelikle sadece bir tamsayı derecesi 0.99 kesir derecesi haline getirilmiştir. 0.99 kesir derece için devre tasarımı Şekil 5.5’de verildiği gibidir.



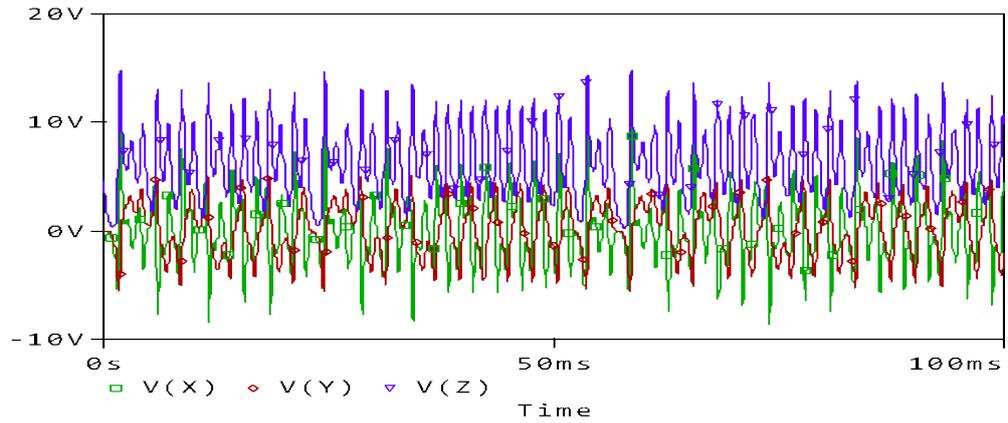
Şekil 5. 5. Rucklidge Kaotik Sistemin 1-1-0,99 kesir dereceli orcad devre görünümü

Şekil 5.5’de verilen elektronik devrenin gerçek ortam uygulaması Şekil 5.6’da verildiği gibidir.

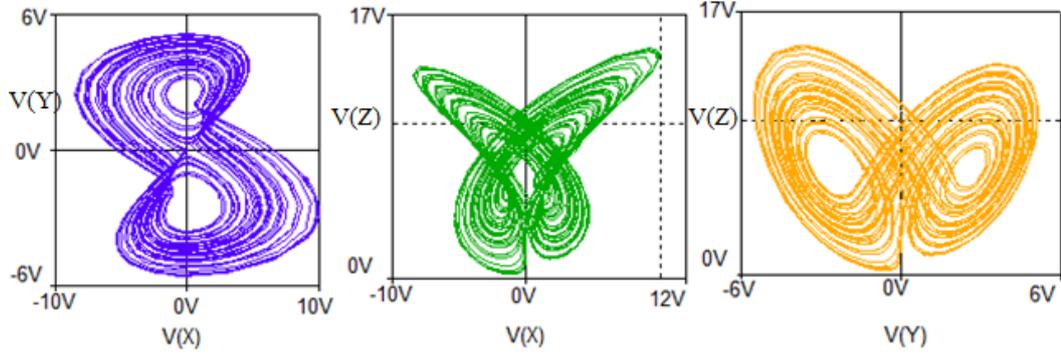


Şekil 5. 6. Rucklidge Kaotik Sistemin elektronik devre görünümü

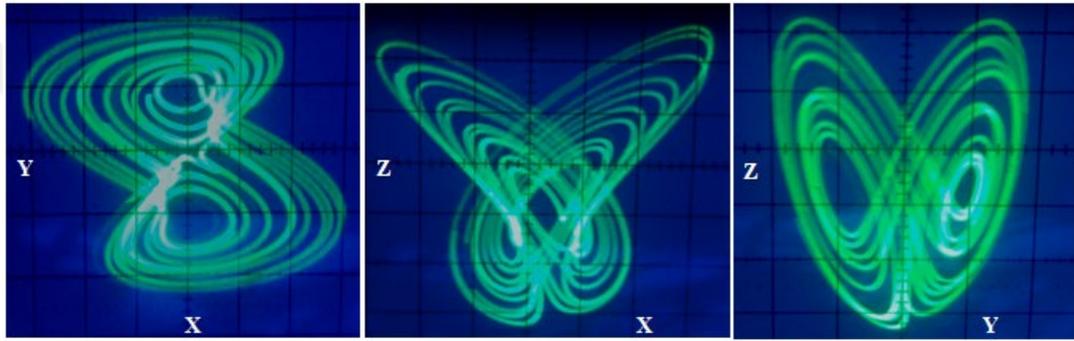
Tasarlanan devrenin çıkışlarındaki sinyaller simülasyon programında zaman seri ve faz portre çıkışları Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de verilmiştir. Şekil 5.9’de ise gerçek ortam osiloskop çıkışları görülmektedir.



Şekil 5. 7. Rucklidge kaotik sistemin 1-1-0,99 kesir dereceli x-y-z zaman seri grafiği

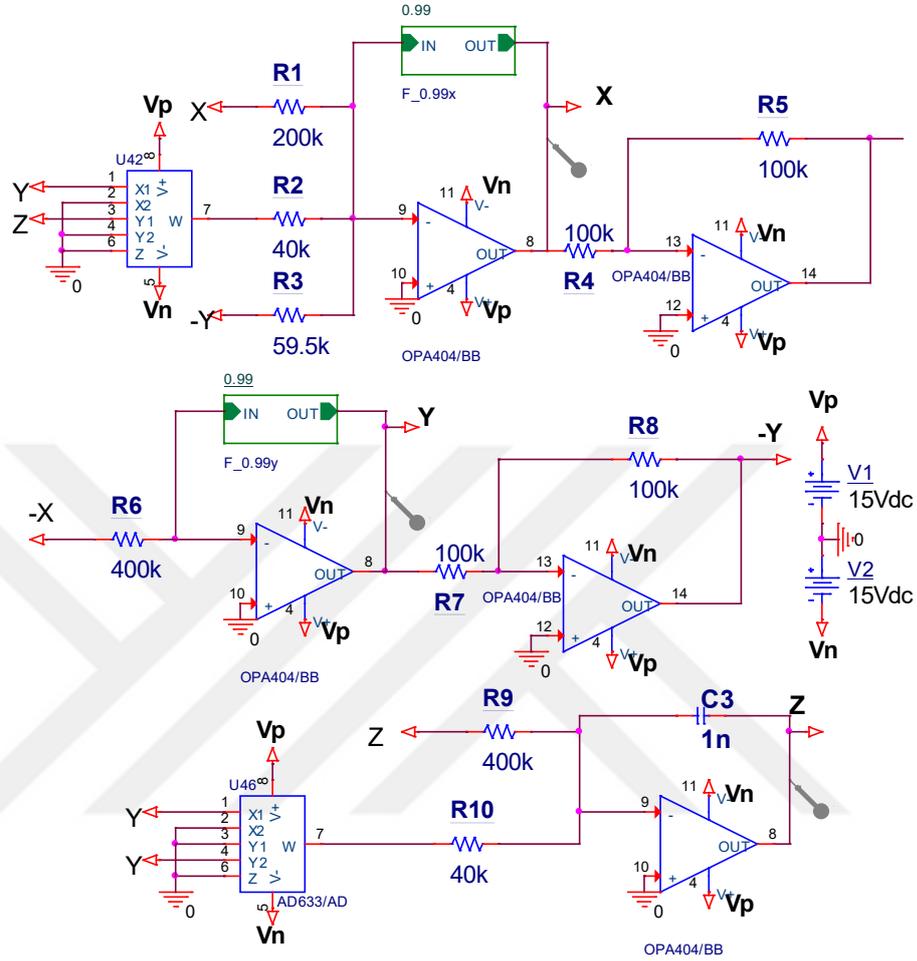


Şekil 5. 8. Rucklidge kaotik sistemin 1-1-0,99 kesir dereceli x-y, x-z, ve y-z faz portre çıkışları



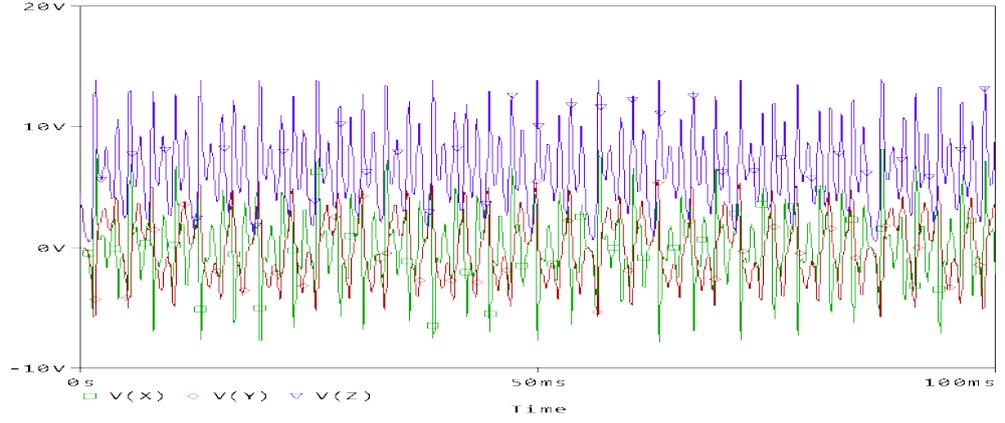
Şekil 5. 9. Rucklidge kaotik sistemin 1-1-0,99 kesir dereceli x-y, x-z, ve y-z osiloskop çıkışları

Daha sonra iki tamsayı derecesi 0.99 kesir derecesi haline getirilmiştir. İki 0.99 kesir derece için devre tasarımı Şekil 5.10'da verildiği gibidir.

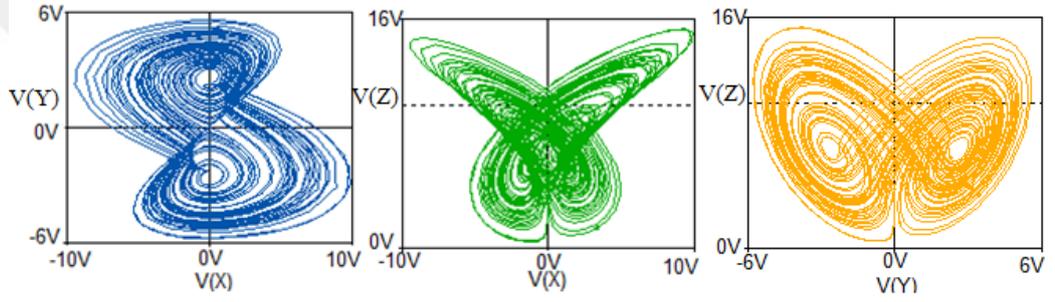


Şekil 5. 10. Rucklidge kaotik sistemin 1-0,99-0,99 kesir dereceli orcad devre görüntüsü

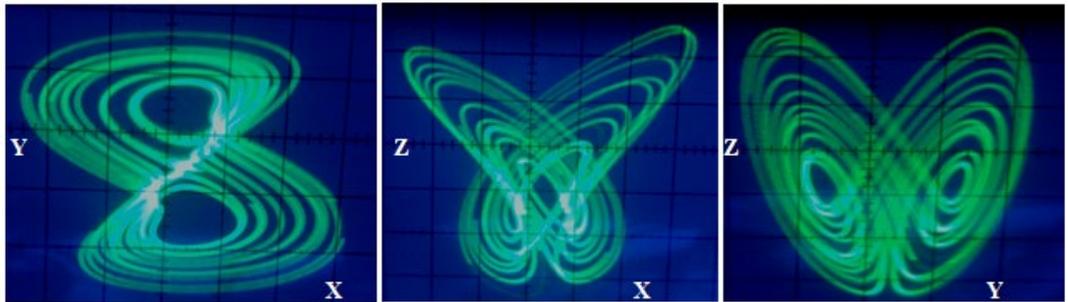
Tasarlanan devrenin çıkışlarındaki sinyaller simülasyon programında zaman seri ve faz portre çıkışları Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de verilmiştir. Şekil 5.13'de ise gerçek ortam osiloskop çıkışları görülmektedir.



Şekil 5. 11. Rucklidge kaotik sistemin 1-0,99-0,99 kesir dereceli zaman seri grafiği

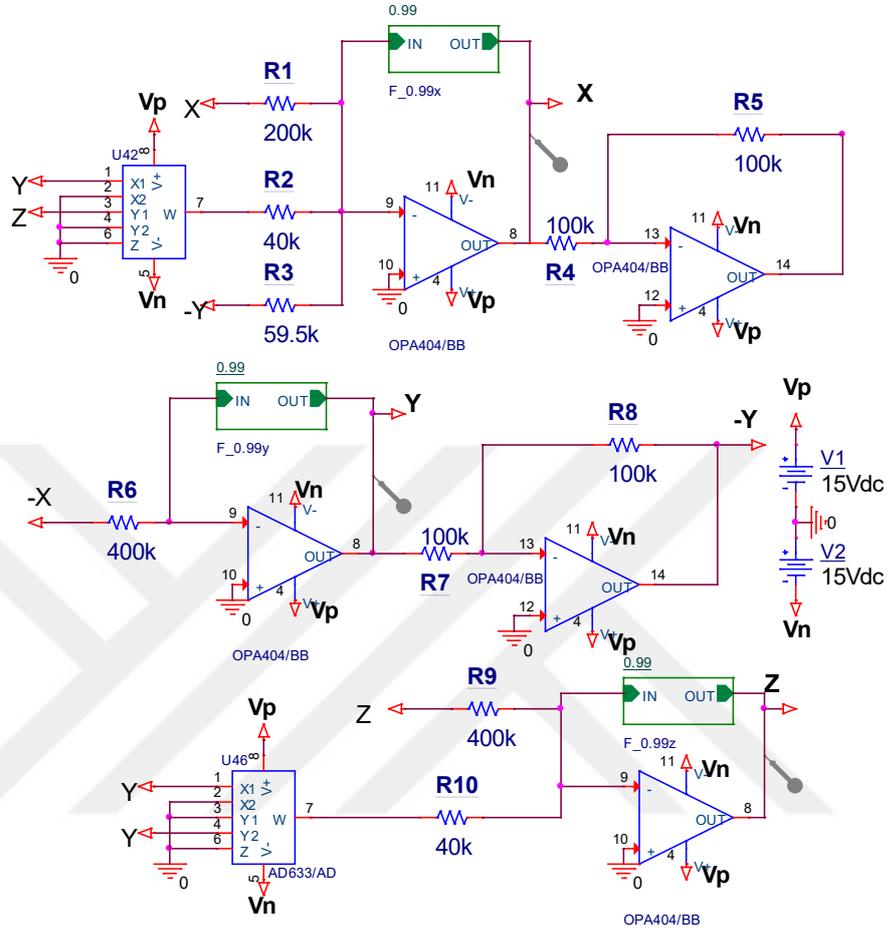


Şekil 5. 12. Rucklidge kaotik sistemin 1-0,99-0,99 kesir dereceli faz portre çıkışları



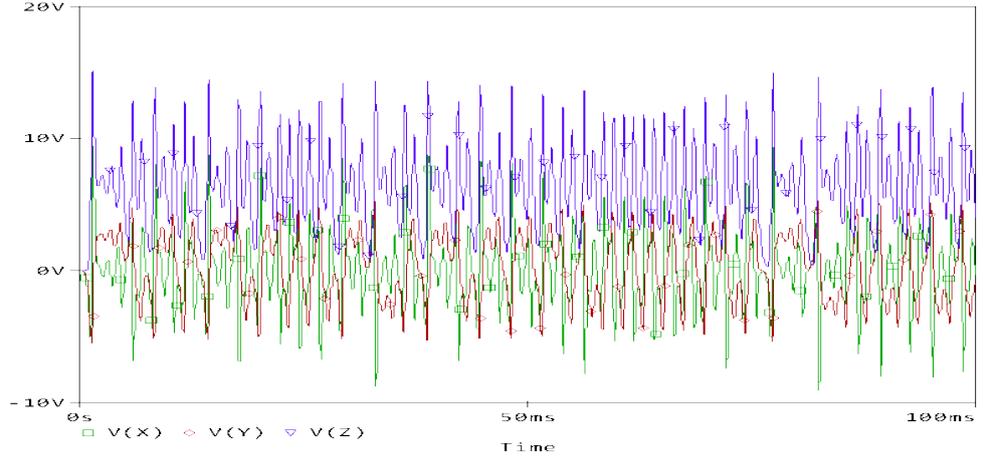
Şekil 5. 13. Rucklidge kaotik sistemin 1-0,99-0,99 kesir dereceli osiloskop çıkışları

Dördüncü devre tasarımı olarak 3 kesir derecesi 0.99 olarak ele alınmıştır. Üç 0.99 kesir derece için devre tasarımı Şekil 5.14'te verildiği gibidir.

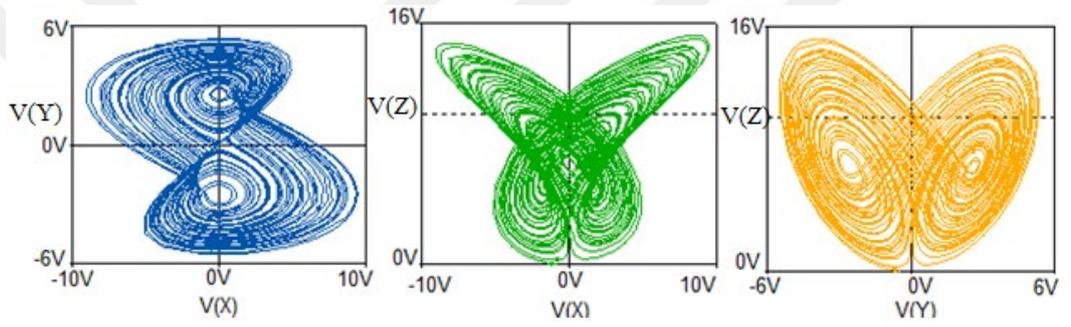


Şekil 5. 14. Rucklidge kaotik sistemin 0,99-0,99-0,99 kesir dereceli orcad devre görüntüsü

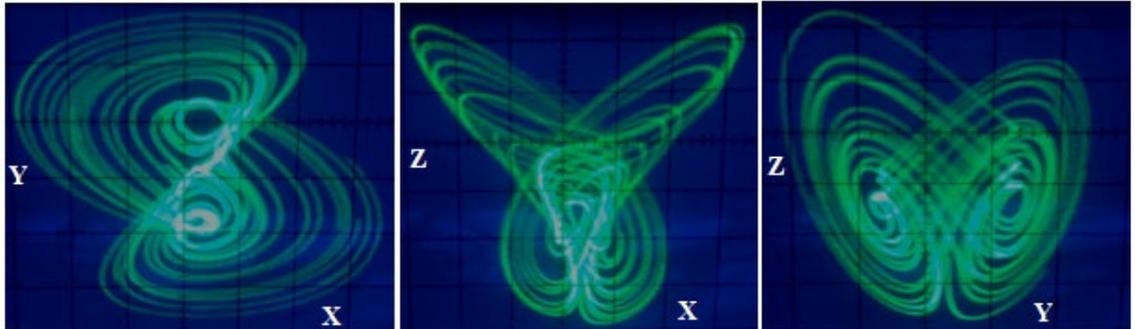
Tasarlanan devrenin çıkışlarındaki sinyaller simülasyon programında zaman seri ve faz portre çıkışları Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'te verilmiştir. Şekil 5.17'da ise gerçek ortam osiloskop çıkışları görülmektedir.



Şekil 5. 15. Rucklidge kaotik sistemin 0,99-0,99-0,99 kesir dereceli zaman seri grafiği

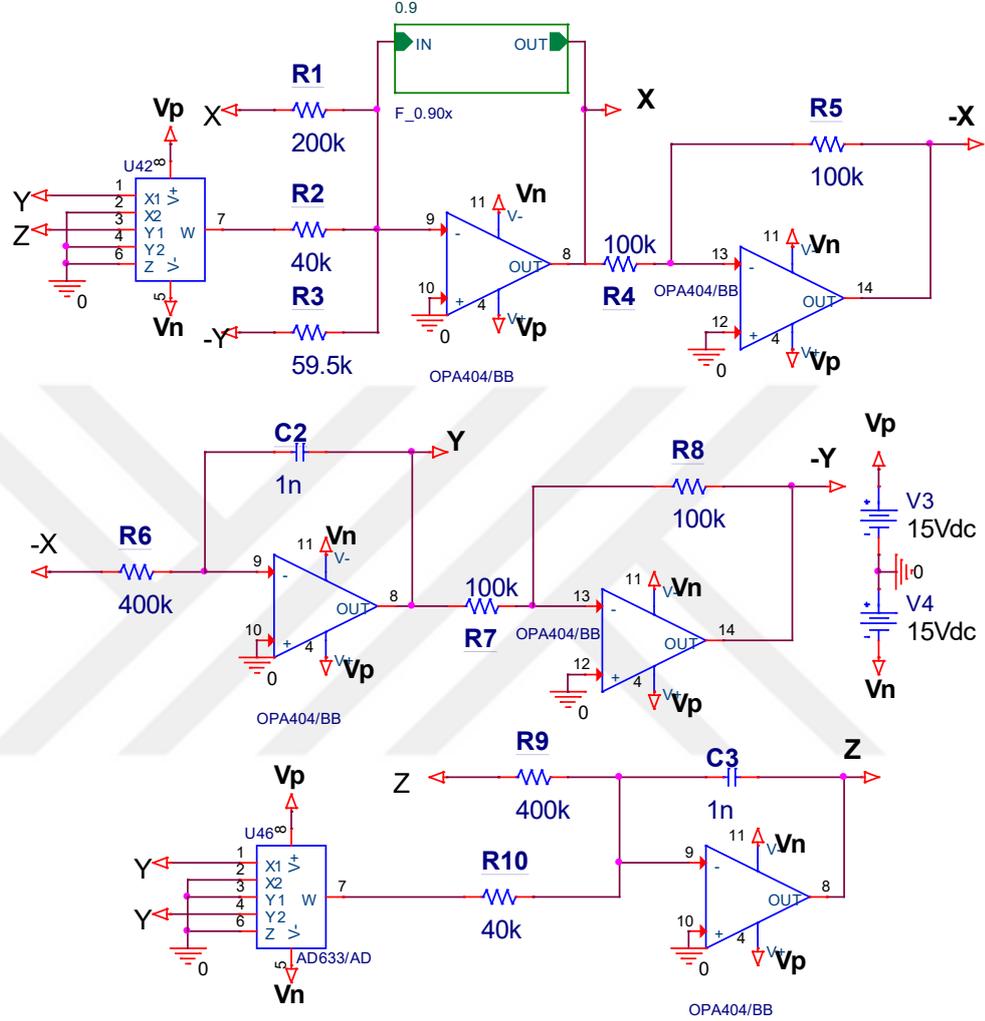


Şekil 5. 16. Rucklidge kaotik sistemin 0,99-0,99-0,99 kesir dereceli faz portre çıkışları



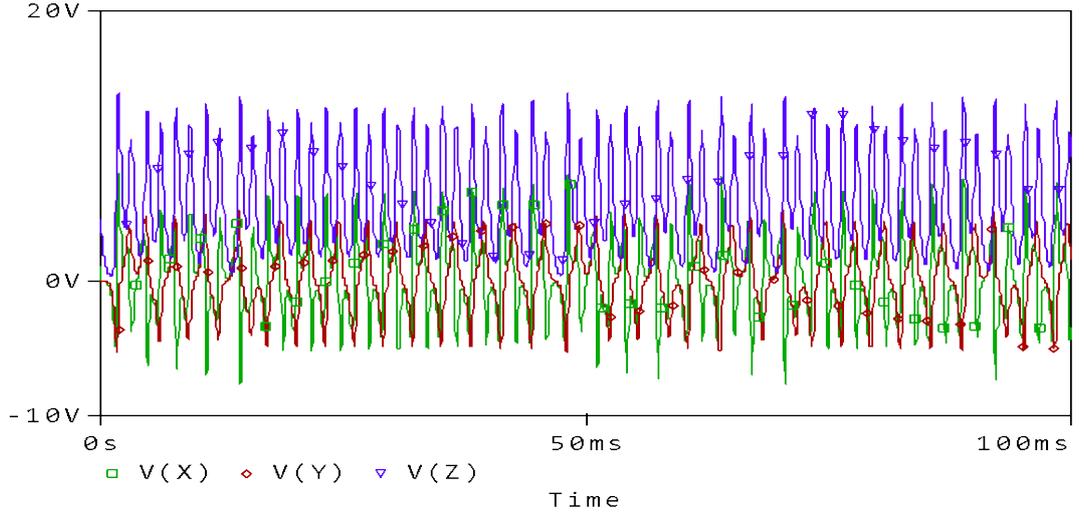
Şekil 5. 17. Rucklidge kaotik sistemin 0,99-0,99-0,99 kesir dereceli osiloskop çıkışları

Beşinci devre tasarımı olarak 1 kesir derecesi 0.90 olarak ele alınmıştır. Tamsayı dereceden oldukça farklı alınan bu derecenin sisteme etkisi açık bir şekilde görülmektedir. 0.90 kesir derece için devre tasarımı Şekil 5.18’ de verildiği gibidir.

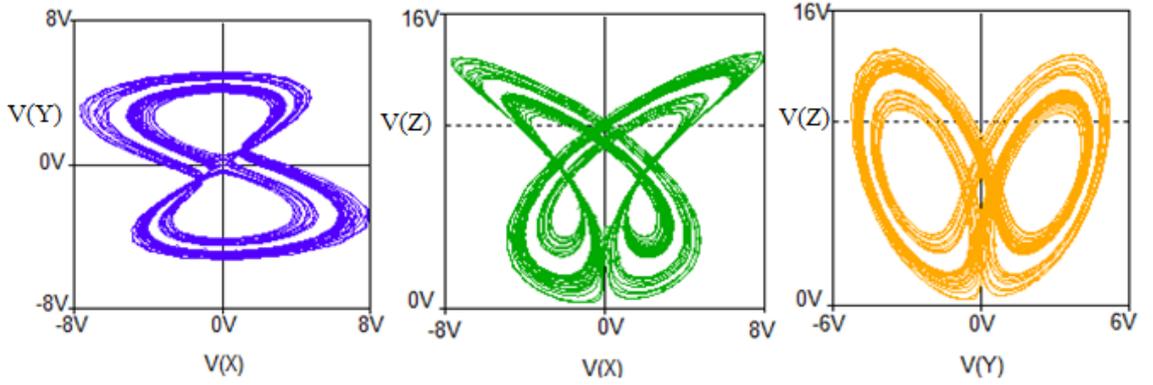


Şekil 5. 18. Rucklidge kaotik sistemin 1-1-0,9 kesir dereceli orcad devre görüntüsü

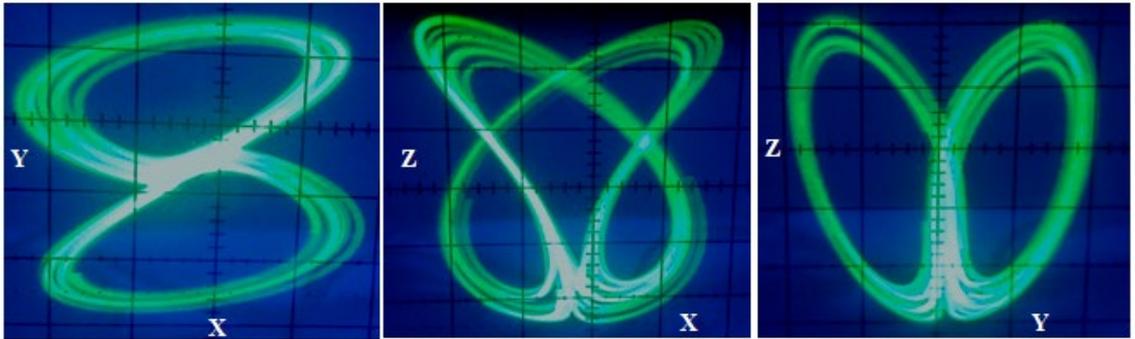
Tasarlanan devrenin çıkışlarındaki sinyaller simülasyon programında zaman seri ve faz portre çıkışları Şekil 5.19 ve Şekil 5.20’da verilmiştir. Şekil 5.21’de ise gerçek ortam osiloskop çıkışları görülmektedir.



Şekil 5. 19. Rucklidge kaotik sisteminin 1-1-0,9 kesir dereceli zaman seri grafiği

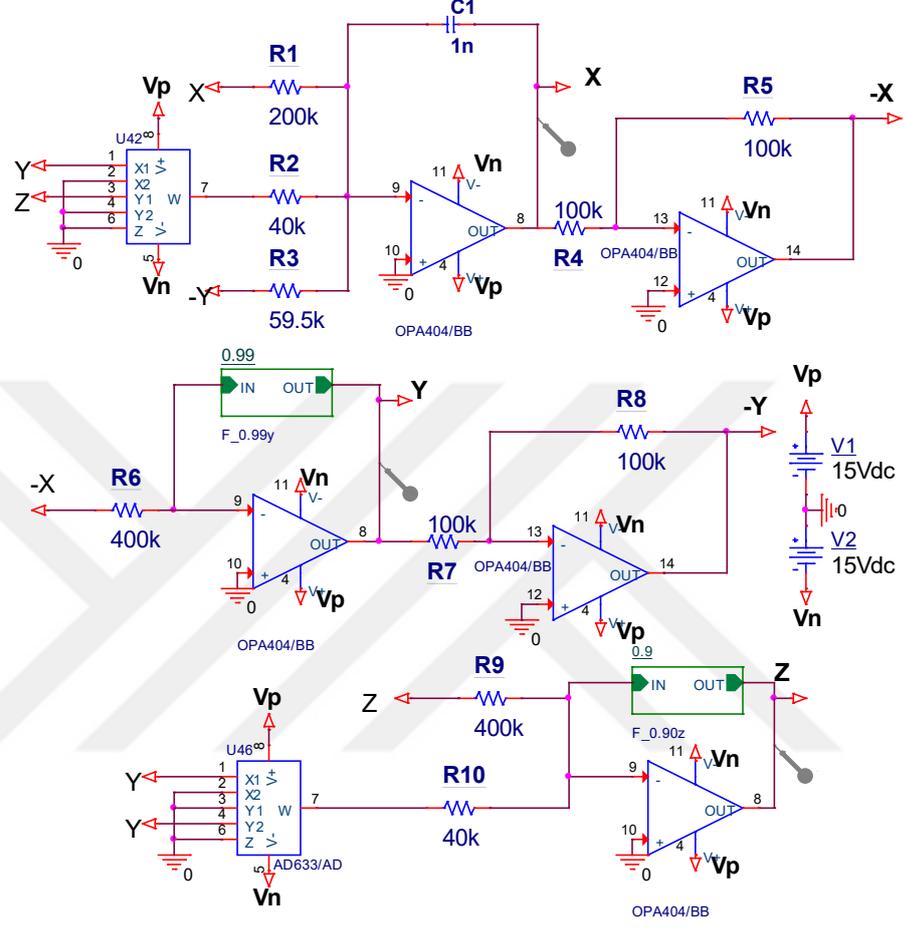


Şekil 5. 20. Rucklidge kaotik sisteminin 1-1-0,9 kesir dereceli faz portre çıkışları



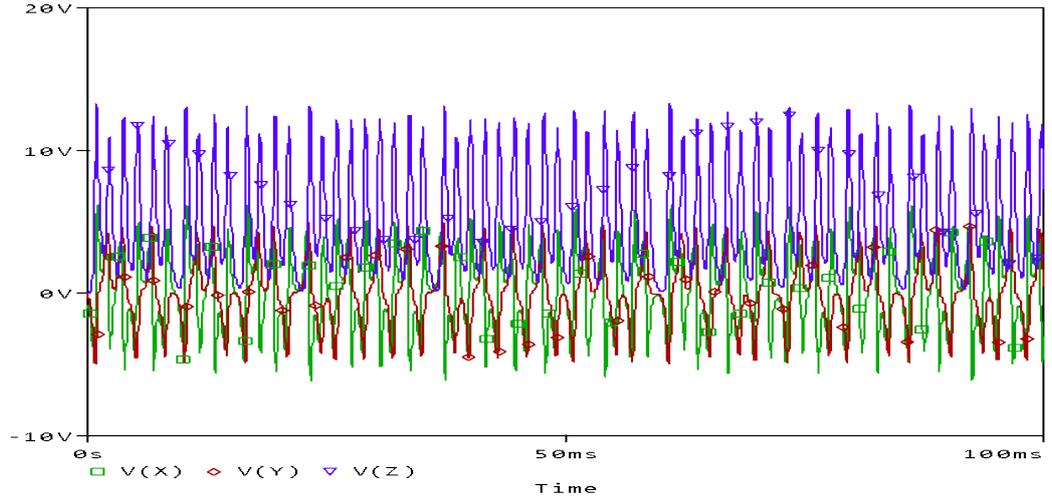
Şekil 5. 21. Rucklidge kaotik sisteminin 1-1-0,9 kesir dereceli osiloskop çıkışları

Altıncı devre tasarımı olarak 0.9 ve 0.99 iki farklı kesir derecesi ele alınmıştır. 0.9 kesir derecesinin etkisi bu devrede de ayrıca görülmektedir. 1, 0.99, 0.90 kesir derece için devre tasarımı Şekil 5.22’de verildiği gibidir.

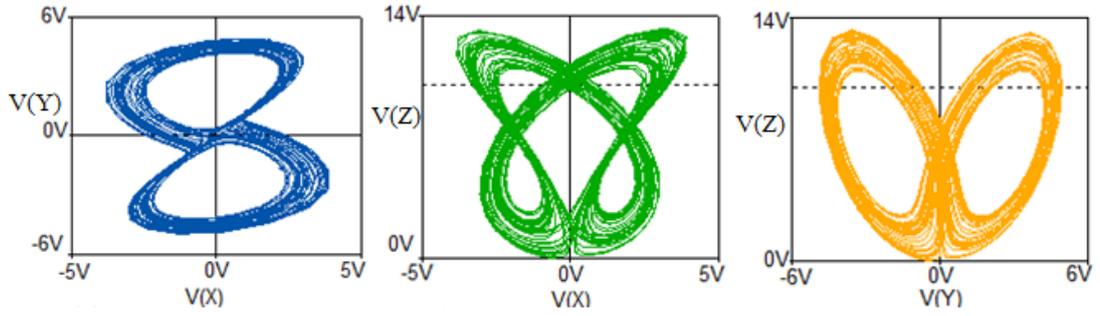


Şekil 5. 22. Rucklidge kaotik sistemin 1-0,99-0,9 kesir dereceli orcad devre görüntüsü

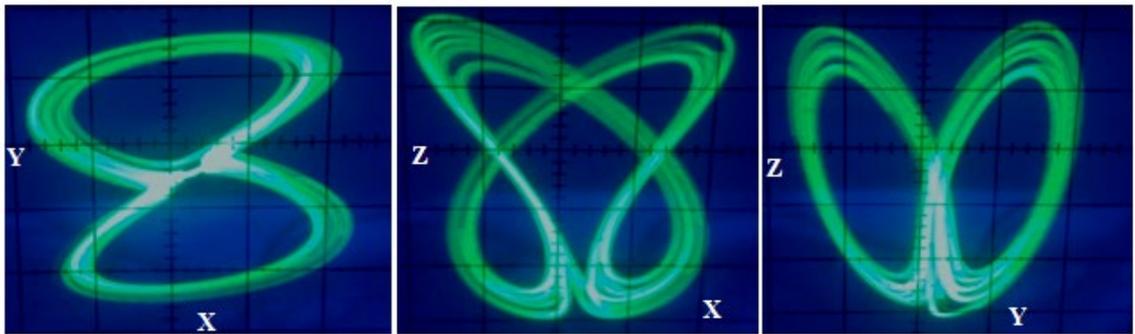
Tasarlanan devrenin çıkışlarındaki sinyaller simülasyon programında zaman seri ve faz portre çıkışları Şekil 5.23 ve Şekil 5.24’te verilmiştir. Şekil 5.25’de ise gerçek ortam osiloskop çıkışları görülmektedir.



Şekil 5. 23. Rucklidge kaotik sistemin 1-0,99-0,9 kesir dereceli zaman seri grafiği

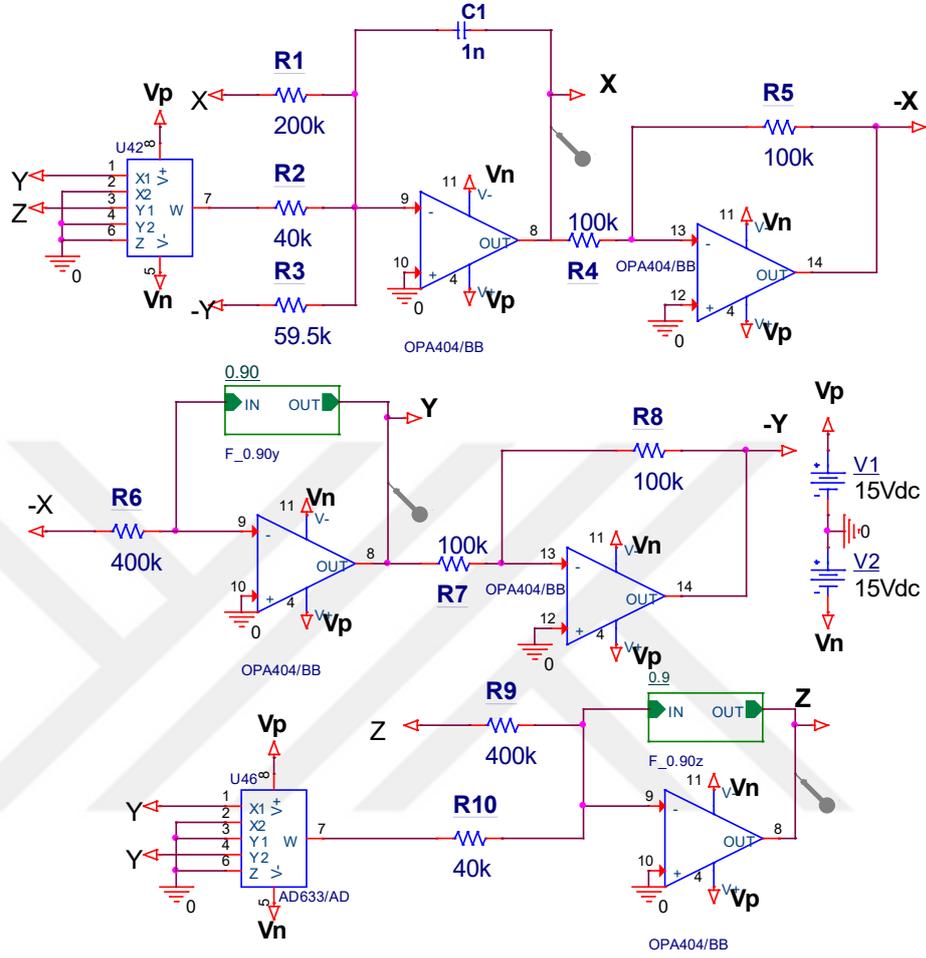


Şekil 5. 24. Rucklidge kaotik sistemin 1-0,99-0,9 kesir dereceli faz portre çıkışları



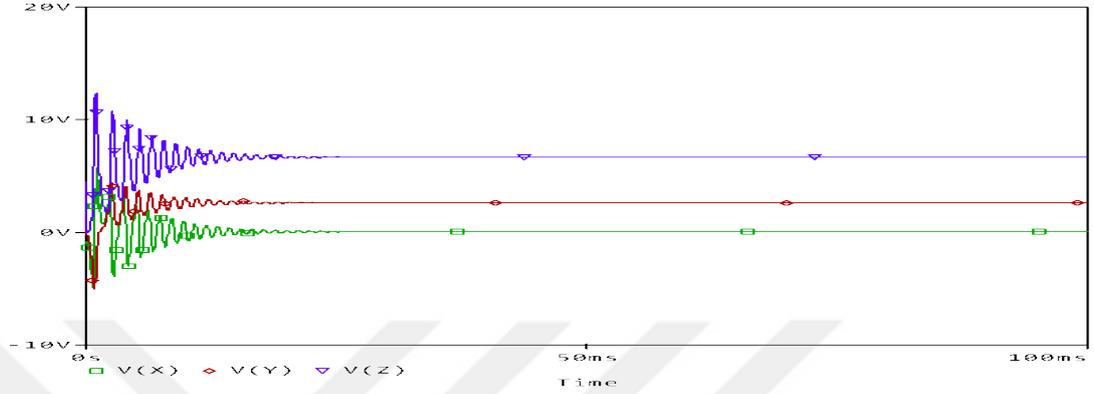
Şekil 5. 25. Rucklidge kaotik sistemin 1-0,99-0,9 kesir dereceli osiloskop çıkışları

Yedinci devre tasarımı olarak 0.90 kesir derecesi ele alınmıştır. 1, 0.90, 0.90 kesir derece için devre tasarımı Şekil 5.26'de verildiği gibidir.

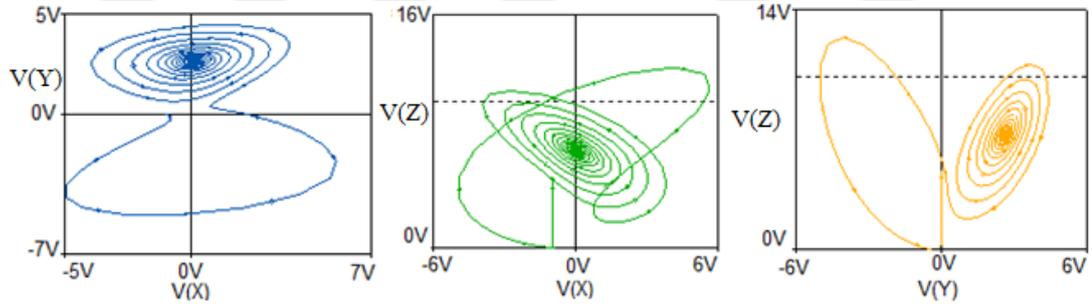


Şekil 5. 26. Rucklidge Kaotik Sistemin 1-0,9-0,9 kesir dereceli orcad devre görüntüsü

Tasarlanan devrenin çıkışlarındaki sinyaller simülasyon programında zaman seri ve faz portre çıkışları Şekil 5.27 ve Şekil 5.28’te verilmiştir. Gerçek ortam osiloskop çıkışları ise bozulma olduğu için görülmemektedir.

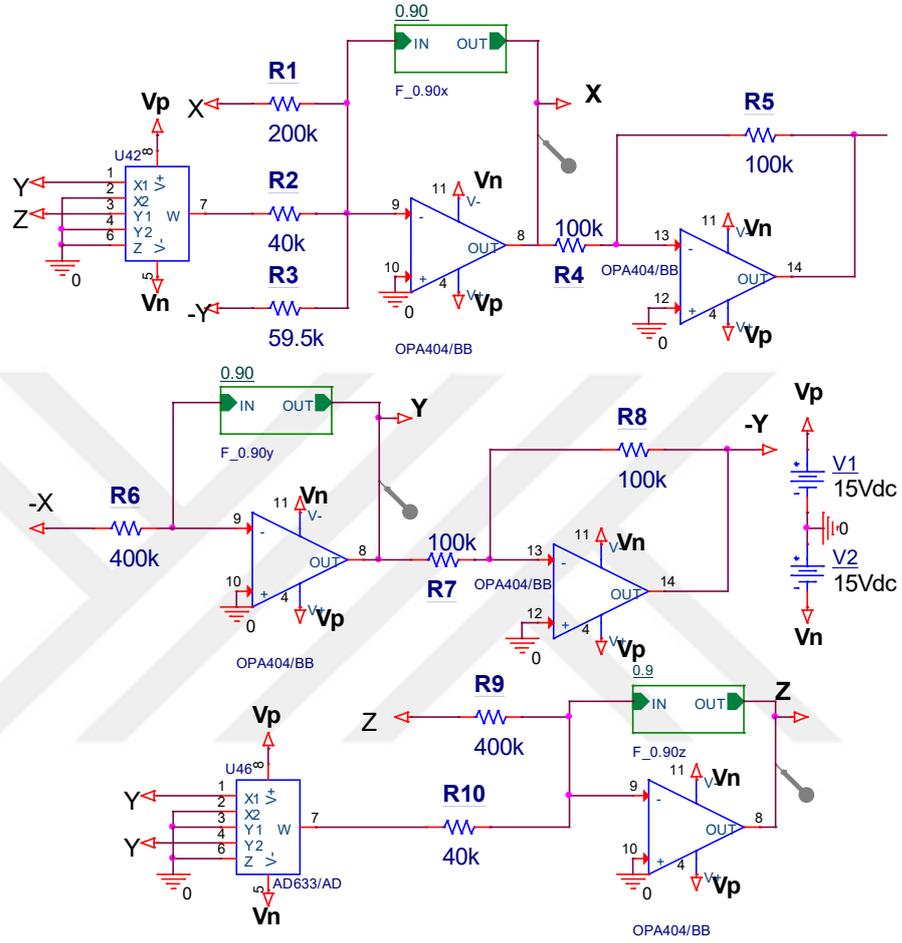


Şekil 5. 27. Rucklidge kaotik sistemin 1-0,9-0,9 kesir dereceli zaman seri grafiği

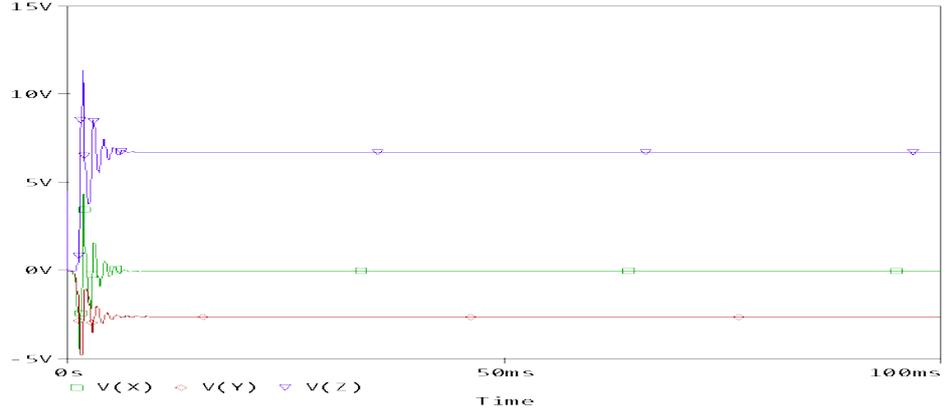


Şekil 5. 28. Rucklidge kaotik sistemin 1-0,9-0,9 kesir dereceli faz portre çıkışları

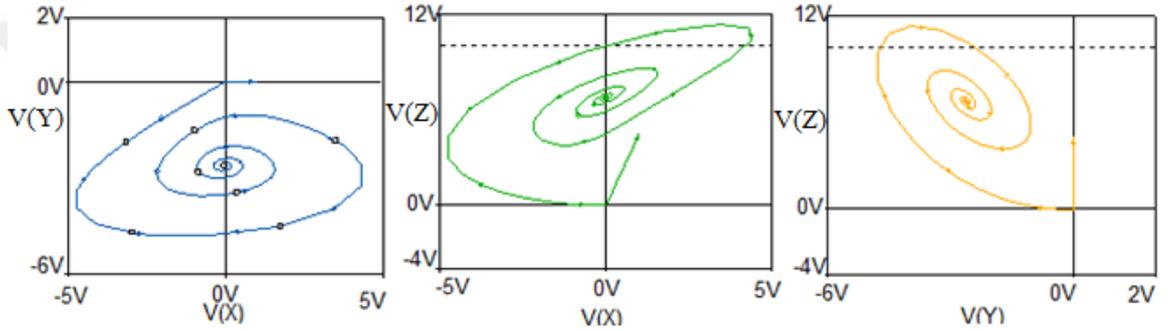
Sekizinci devre tasarımı olarak 0.90 kesir derecesi tamamen ele alınmıştır. 0,90, 0,90, 0,90 kesir derece için devre tasarımı Şekil 5.29’da verildiği gibidir.



Şekil 5. 29. Rucklidge kaotik sistemin 0,9-0,9-0,9 kesir dereceli orcad devre görüntüsü



Şekil 5. 30. Rucklidge kaotik sistemin 0,9-0,9-0,9 kesir dereceli zaman seri grafiği



Şekil 5. 31. Rucklidge kaotik sistemin 0,9-0,9-0,9 kesir dereceli faz portre çıkışları

Tüm devre tasarımları incelendiğinde kesir derecesi azaldıkça kaotik sistemde bozulmalar meydana geldiği görülmektedir. Bu bozulmalar farklı kaotik sistemlerde farklı kesir derecelerde olabilmektedir. Ayrıca farklı kesir derecelerine göre faz portreleri bozulmalar olmasa bile, farklı kaotik sistemler gibi çıkışlar sergileyebilmektedir.

BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında kesirli ve kesirli dereceden olmayan doğrusal olmayan sistemlerin elektronik devre gerçeklemeleri yapılmıştır. Tamsayılı dereceden doğrusal olmayan sistemler kesirli dereceli sistemlerin özel halidir. Tamsayılı dereceden sistemler gerçek sistemin ideal durumuna yakınlştırılarak çözümlenmektedir. Kesirli dereceden bir kaotik sistem, tamsayılı dereceden kaotik sistemden daha geniş, değişken bir düzene ve daha karmaşık dinamik davranışlara sahiptir. Kesirli dereceli doğrusal olmayan sistemler; karmaşık sistemlerin daha doğal ve gerçek özelliklerini ortaya çıkarır. Aynı zamanda kesirli dereceli kaotik sistemler karmaşık sistemlerin gerçek fiziksel ve mühendislik olaylarını tam olarak gösterir. Farklı kesir derecesine göre doğrusal olmayan sistemler farklı davranışlar sergileyebilir.

Bu tez kapsamında yıllardır tamsayılı dereceden çalışılan kaotik sistemlerin aksine farklı dereceden kesirli kaotik sistemlerin elektronik devre tasarımları gerçekleştirilmiştir. Bu amaç kapsamında öncelikle kesir derece için temel bir yöntem belirlenerek gerekli hesaplamalar sonucu elektronik devre tasarımları yapılmıştır. Doğrusal olmayan bir sistem kullanılarak elde edilen devre tasarımları simülasyon programı ve gerçek ortamda gözlemlenerek sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Çalışmada sürekli zamanlı bir kaotik sistemin numerik çözümleri, denge noktaları ve kararlılık analizleri, faz uzayları, zaman serisinde başlangıç şartlarına hassas bağımlılık, Lyapunov üstelleri ve çatallanma diyagramları hakkında kapsamlı araştırma ve bunların gerçekleştirmeleri yapılmıştır. Ayrıca literatürde sunulan, farklı kesir dereceleri ve onların uygulamaları incelenmiştir.

Tez çalışmasında kesir derece hesaplamaları için ayrıca arayüz tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu arayüz yardımı ile kesir dereceli elektronik devreler ve devrelerdeki eleman değerleri kolaylıkla elde edilebilmektedir. Elde edilen eleman değerleri ile kaotik bir sistem üzerinde kesir dereceleri $I(x) - I(y) - I(z)$, $0.99(x) - I(y) - I(z)$, $0.99(x) - 0.99(y) - I(z)$, $0.99(x) - 0.99(y) - 0.99(z)$, $0.9(x) - I(y) - I(z)$, $0.9(x) - 0.99(y) - I(z)$, $0.9(x) - 0.9(y) - I(z)$, $0.9(x) - 0.9(y) - 0.9(z)$ olacak şekilde uygulamalar ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

Tüm devre tasarımları incelendiğinde kesir derecesi azaldıkça kaotik sistemde bozulmalar meydana geldiği görülmektedir. Bu bozulmalar farklı kaotik sistemlerde farklı kesir derecelerde olabilmektedir. Ayrıca farklı kesir derecelerine göre faz portrelerinde bozulmalar olmasa bile, farklı bir tür kaotik sistem gibi çıkışlar elde edilebilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Lorenz, EN., Deterministic nonperiodic flow. *J. Atmos. Sci.*, 20:130–141, 1963.
- [2] Rössler, OE., An equation for continuous chaos. *Phys. Lett. A*, 57:397–398, 1976.
- [3] Lakshmanan, M., Murali, K., Chaos in Nonlinear Oscillators, Controlling and Synchronization. World Scientific, 1996.
- [4] Chua, LO., Wu, C.W., Huang, A., Zhong, G., A Universal Circuit for Studying and Generating Chaos-Part I: Routes to Chaos. *IEEE Trans. Circuits&Systems-I*, 40:732-761, 1993.
- [5] Cascais, J., Dialo, N., Costa, AN., Chaos and Reverse Bifurcation in a RCL Circuit. *Physics Letters*, 93A:213-216, 1983.
- [6] Nakagawa, S., Saito, T., An RC OTA Hysteresis Chaos Generator. *IEEE Trans. Circuits&Systems-I*, 43:1019-1011, 1996.
- [7] Tamasevicius, A., Namajunas, A., Cenys, A., Simple 4D Chaotic Oscillator. *Electronic Letters*, 32:957-958,1996
- [8] Ogorzalek, MJ., Order and Chaos in a Third Order RC Ladder Network with Nonlinear Feedback. *IEEE Trans. Circuits&Systems*, CA5-36:1221-1230, 1989.
- [9] Matsumoto, T.,Chua, LO., Tanama, S., Simplest Chaotic Nonautonomous Circuit, *Physical Rev. A*, 30:1155-1157, 1984.
- [10] Kawakami, H., Bifurcation of Periodic Responses in Forced Dynamic Nonlinear Circuits: Computation of Bifurcation Values of the System Parameters. *IEEE Trans. Circuits&Systems.*, CAS-31:248-260, 1984.
- [11] Saito, T., Chaotic Phenomena in a Coupled Oscillators. *European Conf. on Circuit Theory and Design*, pp:275-280,1987.

- [12] Hamill, DC., Jeffries, DJ., Subharmonics and Chaos in a Controlled Switch-Mode Power Converters. IEEE Trans. Circuits&Systems, CAS-35:1059-1061, 1988.
- [13] Poddar, G., Chakrabarty, K., Banerjee S., Control of Chaos in the Boost Converter. Electronics Letters, 31: 841-842, 1995.
- [14] TSE, CK., Flip Bifurcation and Chaos in Three-State Boost Switching Regulators. IEEE Trans. Circuits&Systems-I, 41:16-23, 1994.
- [15] Deschamps DD., Some Chaotic Consequences of Quantization in Digital Filters and Digital Systems, ISCAS '89 International Conference on Circuits and Systems, Portland, pp:602-605, 1989.
- [16] Chua, LO., Lin, T., Chaos and Fractals from Third-Order Digital Filters. Int. J. of Circuit Theory and Appl, 18:241-256., 1990.
- [17] Chua, LO, Lin, T., Fractal Pattern of Second-Order Nonlinear Digital Filters:A Symbolic Analysis. Int. Journl. of Circuit Theory and Appl., 18:541-550, 1990.
- [18] Wajdi M.A. and Sprott J.C, 2003. Chaos in fractional-order autonomous nonlinear systems
- [19] Sundarapandian, V., Pehlivan, I., Analysis, control, synchronization, and circuit design of a novel chaotic system, Mathematical and Computer Modelling. 55(7-8):1904-1915, 2012.
- [20] Pehlivan, İ., Uyaroglu, Y., Simplified Chaotic Diffusionless Lorenz Attractor and its Application to Secure Communication Systems. IET Communications, 1(5), pp:1015-1022, 2007.
- [21] Pehlivan, İ., Uyaroglu, Y., A New 3D Chaotic System with Golden Proportion Equilibria: Analysis and Electronic Circuit Realization. Computers and Electrical Engineering, 38(6), pp:1777-1784, 2012.
- [22] Çiçek, S., Uyaroglu, Y., Pehlivan, I. Simulation and Circuit Implementation Of Sprott Case H Chaotic System And Its Synchronization Application For Secure Communication Systems. Journal of Circuits, Systems and Computers, 22(4), 2013.

- [23] Uyaroğlu, Y., Pehlivan, İ., Nonlinear sprott94 case a chaotic equation: Synchronization and masking communication applications. *Computers and Electrical Engineering*, 36(6) pp:1093-1100, 2010.
- [24] Quan, SG., Hui, C., Bin, ZY., A new four-dimensional hyperchaotic Lorenz system and its adaptive control. *Chinese Physics B*, 20(1), 2011.
- [25] Chne, G., Ueta, T., Yet another chaotic attractor. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 9(7), pp:1465-1466, 1999.
- [26] Sprott, JC., Some simple chaotic flows. *Physical Review-Section E-Statistical Physics Plasma Fluids Related Interdiscipl Topics*, 50(2), 1994.
- [27] Sprott, JC., Simplest dissipative chaotic flow. *Physics letters A*, 228(4), pp:271-274, 1997.
- [28] Kocamaz, UE., Uyaroğlu, Y., Kizmaz, H., Control of Rabinovich chaotic system using sliding mode control. *Int. J. of Adaptive Control and Signal Proc.*, Wiley, 1-9, 2013.
- [29] Vembarasan, V., Balasubramaniam, P., Chaotic synchronization of Rikitake system based on TS fuzzy control techniques. *Nonlinear Dyn.*, 74(1-2):31-44, 2013.
- [30] Koyuncu, I., Ozcerit, AT., Pehlivan, P., An analog circuit design and FPGA-based implementation of the Burke-Shaw chaotic system. *Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Comm.*, 7(9-10):635-638, 2013.
- [31] Cafagna, D., Grassi, G., Chaos in a new fractional-order system without equilibrium points. *Commun Nonlinear Sci Numer Simulat.*, 19, pp:2919–2927,2014.
- [32] Jafari, S., Sprott, JC., Hashemi GSMR., Elementary quadratic chaotic flows with no equilibria. *Physics Letters A*, 377, pp:699–702,2013.
- [33] Leonov, G., Kuznetsov, N., Vagaitsev, V., Localization of hidden Chua's attractors. *Phys. Lett. A*, 375, pp. 2230-2233, 2011b.
- [34] Wei, Z., Dynamical behaviors of a chaotic system with no equilibria. *Phys Lett A*, 376, pp. 102-108, 2011.
- [35] Wang Xing-yuan, Wang Ming-jun, "Hyper-chaotic Lorenz system", *Acta Physica sinica*, Vol. 56, no. 9, 2007, pp. 5137-5141.

- [36] Aditi Bhattacharya, Dibyendu Basu, Bhaswati Goswami, Ratna Ghosh, “A reliable signal conditioning circuit to acquire human biopotentials”, International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, Vol. 6, no. 3, JUNE, 2013, pp. 1116-1132.
- [37] Türkiye Diyanet Vakfı, Kuran-ı Kerim Meali Kamer Süresi Ayet 49
- [38] Türkiye Diyanet Vakfı, Kuran-ı Kerim Meali Mülk Süresi Ayet 3
- [39] Türkiye Diyanet Vakfı, Kuran-ı Kerim Meali Yunus Süresi Ayet 5
- [40] Türkiye Diyanet Vakfı, Kuran-ı Kerim Meali Furkan Süresi Ayet 2
- [41] Pehlivan, İ., (2007). Yeni kaotik sistemler: Elektronik devre gerçeklemeleri, senkronizasyon ve güvenli haberleşme uygulamaları. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi.
- [42] TOPRAKÇI, K.C.,kaos-ve-kaos-teorisi ErişimTarihi: 25 Aralık 2020 <http://www.kozmikanafor.com/kaos-ve-kaos-teorisi/>
- [43] MOON FC., Chaotic Vibrations: An Introduction for Applied Scientists and Engineers, John Wiley & Sons, New York, 1987.
- [44] LI T., Y JA., Period three implies chaos, Amer. Math. Monthly, 1975;82:985–992.
- [45] Pamuk, N. (2016). Dinamik Sistemlerde Kaotik Zaman Dizilerinin Tespiti. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 15(1), 78-92
- [46] Akgül, A. (2015). Yeni Kaotik Sistemler İle Rasgele Sayı Üretici Tasarımı Ve Çoklu-Ortam Verilerinin Yüksek Güvenlikli Şifrelenmesi (Phd Thesis). Doktora Tezi,Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [47] Hongjun, L., Wang, XB., Triple-image encryption scheme based on one-time key stream generated by chaos and plain images. The Journal of Systems and Software, pp. 826-834, 2013.
- [48]https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Logistic_Map_Bifurcation_Diagram,_Matplotlib.svg erişim tarihi 01.12.2020
- [49] Yavuz, O., Kaotik Ortamlarda Güvenli Veri Transferi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2006.

- [50] Coskun, S., Tuncel, S., Pehlivan, İ., Akgul, A., Microcontroller-Controlled Electronic Circuit for Fast Modelling of Chaotic Equations. *Electronics World*, 121(1947), pp:24-25, 2015.
- [51] Adıyaman, Y., Emiroğlu, S., UÇAR, M.K., Yıldız, M., Dynamical Analysis, Electronic Circuit Design and Control Application of a Different Chaotic System
- [52] Yonemoto, K., & Yanagawa, T. (2007). Estimating the Lyapunov exponent from chaotic time series with dynamic noise. *Statistical Methodology*.
- [53] RÖSSLER OE., An equation for continuous chaos, *Phys. Lett. A*, 1976;57:397–398.
- [54] Cartwright, M. L. (1960). Balthazar van der Pol. *Journal of the London Mathematical Society*, 1(3), 367-376.
- [55] Pehlivan, İ., Uyaroğlu, Y., Gün, AR., Taşkıran, A., Tigan(T) Kaotik Sisteminin Elektronik Devre Gerçekleşmesi ve Senkronizasyon Uygulaması. 6. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'11), Elazığ, pp. 413-418, 2011.
- [56] R. Scherer, S. L. Kalla, Y. Tang, ve J. Huang, “The Grnwald-Letnikov method for fractional differential equations”, *Comput. Math.with Appl.*, c. 62, sayı 3, ss. 902–917, Ağu. 2011.
- [57] N. Heymans ve I. Podlubny, “Physical interpretation of initial conditions for fractional differential equations with Riemann-Liouville fractional derivatives”, *Rheol. Acta*, c. 45, sayı 5, ss. 765–771, Haz. 2006.
- [58] Y. Luchko ve R. Gorenflo, “AN OPERATIONAL METHOD FOR SOLVING FRACTIONAL DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH THE CAPUTO DERIVATIVES”, 1999.
- [59] Z. Odibat ve S. Momani, “Numerical methods for nonlinear partial differential equations of fractional order”, *Appl. Math. Model.*, c. 32, sayı 1, ss. 28–39, 2008.
- [60] Y. Luchko ve R. Gorenflo, “The initial value problem for some fractional differential equations with the Caputo derivatives”, 1998.
- [61] K. Miller ve B. Ross, “An introduction to the fractional calculus and fractional differential equations”, 1993.

- [62] R. Caponetto ve S. Fazzino, “An application of adomian decomposition for analysis of fractional-order chaotic systems”, *Int. J. Bifurc. Chaos*, c. 23, sayı 3, ss. 1–7, 2013.
- [63] A. Wazwaz, S. E.-S.-A. M. and computation, ve undefined 2001, “A new modification of the Adomian decomposition method for linear and nonlinear operators”, Elsevier.
- [64] M. Zayernouri, A. M.-J. of C. Physics, ve undefined 2016, “Fractional Adams–Bashforth/Moulton methods: an application to the fractional Keller–Segel chemotaxis system”, Elsevier.
- [65] K. Rajagopal, F. Nazarimehr, S. Jafari, ve A. Karthikeyan, “Fractional and non-fractional chaotic amphibian attractors with self-excited and hidden properties: numerical dynamics, circuit realization and FPGA-based application”, *Eur. Phys. J. Spec. Top.*, c. 226, sayı 16–18, ss. 3827–3850, 2017.
- [66] D. Cafagna ve G. Grassi, “Bifurcation and chaos in the fractional-order Chen system via a time-domain approach”, *Int. J. Bifurc. Chaos*, c. 18, sayı 7, ss. 1845–1863, 2008.
- [67] H. Wang, K. Sun, ve S. He, “Characteristic analysis and DSP realization of fractional-order simplified lorenz system based on adomian decomposition method”, *Int. J. Bifurc. Chaos*, c. 25, sayı 6, ss. 1–13, 2015.
- [68] G. A.-M. and C. Modelling ve undefined 1990, “A review of the decomposition method and some recent results for nonlinear equations”, Elsevier.
- [69] G. A.-J. of mathematical analysis and applications ve undefined 1988, “A review of the decomposition method in applied mathematics”, Elsevier.
- [70] Xiang-Rong, C., Chong-Xin, L. and Qiang W. F., Circuit realization of the fractional-order unified chaotic system,
- [71] Dorcak, L. Ľubomír Dorčák , Terpák J., Petráš I., Valsa J., Gonzalez E., Comparison of the Electronic Realization of the Fractional-Order System and its Model
- [72] Chen, D., Liu, C., Wu, C., Liu, Y., Ma, X. and You, Y., 2012. A new fractional-order chaotic system and its synchronization with circuit simulation, *Circuits Systems and Signal Processing*, 31, 1599–1613.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad :YUSUF ADIYAMAN

Doğum Tarihi ve Yeri : [REDACTED]

E-posta : [REDACTED]

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Önlisans** : 2001 Fırat Üniversitesi Teknik Bilimler MYO Biyomedikal Cihaz Teknolojileri Bölümü
- **Lisans** :2017 Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

YAYIN:

- **Adıyaman, Y.,Emiroğlu, S.,UÇAR, M.K., Yıldız, M.**, Dynamical Analysis, Electronic Circuit Design and Control Application of a Different Chaotic System