T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRONİK DEVRE ANALİZİNE BULANIK MANTIK TABANLI YAKLAŞIM

Kanan BABANLI

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Rana ORTAÇ KABAOĞLU

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2020

Bu çalışma, 12.06.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Dr. Öğr. Üyesi Rana ORTAÇ KABAOĞLU(Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Aysel ERSOY YILMAZ
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Dr. Öğr. Üyesi İnci ZAİM GÖKBAY
İstanbul Üniversitesi
Rektörlük

Doç. Dr. Atilla ÖZMEN
Kadir Has Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Dr. Öğr. Üyesi Tarık Veli MUMCU
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Öncelikle tez konusunu seçerken isteklerimi göz önünde bulundurup bu çalışmanın her aşamasında bana yardımcı olan ve beni destekleyip motive eden Sayın Dr. Öğr. Üyesi Rana ORTAÇ KABAOĞLU'na ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım. Tüm eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Haziran 2020 **Kanan BABANLI**

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vi**
TABLO LİSTESİ ..... **ıx**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **x**
ÖZET ..... **xii**
SUMMARY ..... **xıv**
1. GİRİŞ **1**
1.1. Lorens sistemi 3
1.2. Tanımlar 4
1.3. Kaos teorisi 6
2. KAOTİK SİSTEMLERİN MODELLENMESİ **16**
2.1. Elektronik devre analizi için bulanık diferansiyel denklemler kullanarak Chen-Lee sisteminin modellenmesi 16
2.2. Kaotik Lorenz sisteminin bulanık modellemesi 16
3. KAOTİK SİNYALLERİN BİLGİSAYARLAR SİMÜLASYONU **18**
3.1. Chen Lee sistemi ile kaotik sinyallerin üretilmesi 18
3.2. Lorenzsistemi ile kaotik sinyallerin üretilmesi 28
3.3. Duyarlılık analizi 38
4. KAOTİK ELEKTRONİK DEVRENİN UYGULANMASI **48**
4.1. Elektronik devre elemanları 48
4.2. Kaotik sinyal üretimi için elektronik sistem 51
4.3. Sistemlerın deneysel incelenmesi 53
5. TARTIŞMA VE SONUÇ **56**
KAYNAKLAR **58**
EKLER **611**
ÖZGEÇMİŞ **622**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: Düğüm tipinin özel bir noktası.....9
Şekil 1.2: Sele tipinin sabit bir noktası.....9
Şekil 1.3: Bir odak noktası türü.....10
Şekil 1.4: Bir merkez tipi noktası.....10
Şekil 1.5: Düğüm-eyer tipi.....10
Şekil 1.6: Bir nokta eyer-odak tipi……11
Şekil 1.7: Sınır döngüleri.....11
Şekil 1.8: Sınır döngüsü ve Poincare'nin eşlemesi.....11
Şekil 1.9: Sistemin hareket modları…….....12
Şekil 3.1: Kural 1'i kullanarak çözüm.....20
Şekil. 3.2: Kural 2'yi kullanarak çözüm.....20
Şekil 3.3: Kural 3'ü kullanarak çözüm.....21
Şekil 3.4: Kural 4'ü kullanarak çözüm.....22
Şekil 3.5: Bulanık diferansiyel denklemin Hukuhara türevi kullanılarak çözümü.....23
Şekil 3.6: Bulanık diferansiyel denklemin genelleştirilmiş türev kullanılarak çözülmesi.....24
Şekil 3.7: Ele alınan bulanık kaotik Chen-Lee sistemi için faz şekilleri…….....25
Şekil 3.8: Lyapunov üslerinin dinamikleri.....29
Şekil 3.9: x1R (t) - sağ genişlemenin yörüngesi.....30
Şekil 3.10: x1 (t) yörünge.....30
Şekil 3.11: x1L (t) - sol genişlemenin yörüngesi.....30
Şekil 3.12: x2R (t) - sağ genişlemenin yörüngesi.....31
Şekil 3. 13: x2 (t) yörünge.....31
Şekil 3.14: x2L (t) - sol genişlemenin yörüngesi.....31
Şekil. 3.15: x3R (t) - sağ genişlemenin yörüngesi.....32
Şekil.3.16: x3 (t) – yörünge.....32
Şekil 3.17: x3L (t) - sol genişlemenin yörüngesi..... ...32
Şekil 3.18: Bulanık x1 – yörünge.....33
Şekil 3.19: Bulanık x2 – yörünge.....33
Şekil 3.20: Bulanık x3 – yörünge.....33
Şekil 3.21: Sağ genişlemenin faz şekli x1R (t) ve x2R (t).....34

Şekil 3. 22: X1 (t) ve x2 (t) faz şekli.....34
Şekil 3.23: Sol genişlemenin faz şekli x1L (t) ve x2L (t).....34
Şekil 3.24: Bulanık x1 (t) ve x2 (t) faz şekli.....35
Şekil.3.25: Sağ genişlemenin faz şekli x1R (t) ve x3R (t).....35
Şekil 3.26: X1 (t) ve x3 (t) faz şekli.....35
Şekil 3.27: Sol genişlemenin faz şekli x1L (t) ve x3L (t) 36
Şekil 3.28: Bulanık x1 (t) ve x3 (t) faz şekli.....36
Şekil 3.29: Sağ genişlemenin faz şekli x2R (t) ve x3R (t) 36
Şekil.3.30: X2 (t) ve x3 (t) faz şekli.....37
Şekil 3.31: Sol genişlemenin faz şekli x2L (t) ve x3L (t) 37
Şekil 3.32: Bulanık x2 (t) ve x3 (t) faz şekli.....37
Şekil 3.33: Lyapunov üslerinin dinamikleri.....38
Şekil 3.34: x1 Bulanık yörünge (x1l, x1R) = (- 8.4945, 8.4930).....39
Şekil 3.35: x2 Bulanık yörünge (x2L, x2R) = (- 8.4976, 8.5028).....39
Şekil 3.36: x3 Bulanık yörünge x3 (x3L,x3R)=(27.0089, 27.0166).....39
Şekil 3.37: Bulanık x1 (t) ve x2 (t) faz şekli..... 40
Şekil.3.38: Bulanık x1 (t) ve x3 (t) faz şekli.....40
Şekil 3.39: Bulanık faz x2 (t) ve x3 (t) faz şekli.....40
Şekil 3.40: Lyapunov üslerinin dinamikleri.....41
Şekil 3.41: x1 Bulanık yörünge (x1L, x1R) = (- 10.3921, 10.39).....41
Şekil 3.42: x2 Bulanık yörünge (x2L, x2R) = (- 10.3935, 10.3919)..... 42
Şekil 3.43: x3 Bulanık yörünge (x3L, x3R) = (26.9948, 26.9963).....42
Şekil.3.44: Bulanık şekil x1 (t) ve x2 (t).....42
Şekil.3.45: Bulanık şekil x1 (t) ve x3 (t).....43
Şekil 3.46: Bulanık şekil x2 (t) ve x3 (t) 43
Şekil 3.47: Lyapunov üslerinin dinamikleri.....44
Şekil 3.48: x1 (x1L, x1R) = (- 7.39631, 7.4053) bulanık yörüngesi.....44
Şekil 3.49: x2'nin bulanık yörüngesi (x2L, xR) = (- 7.49846, 7.31011).....44
Şekil 3.50: x3 (x3L, x3R) = (21.5552, 21.8512) bulanık yörüngesi.....45
Şekil 3.51: x1 (t) ve x2 (t) bulanık faz şekilleri.....45
Şekil 3.52: x1 (t) ve x3 (t) bulanık faz şekilleri.....45
Şekil 3.53: x2 (t) ve x3 (t) 'in bulanık faz şekilleri.....46
Şekil 4.1: İletim Özellikleri.....49
Şekil 4.2: İletim Özellikleri.....49

Şekil 4.3: Entegre ve diferansiyel devrelerin şemaları.....50
Şekil 4.4: Elektronik devre şeması.....51
Şekil 4.5. Elektronik devrenin yapısı.....52

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4.1: Modelleme ve gerçek sinyaller.....57

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
x	: konveksiyon oran
y	:yatay sıcaklık değişimi
z	:dikey sıcaklık değişimi
b	:sistem parametre
a	:Prandtl sayısı
c	:Rayleigh sayısı
$\tilde{A}$	:Üçgen bulanık sayı
f	:sürek
$\frac{\partial f}{\partial x}$	:sürekli kısmi türev
V	:vektör fonksiyon
λ_1 , λ_2	:sistemin karakteristik denkleminin çözümleri
γ	:dinamik bir sistemin sınırlı döngüsü
x^*	:sabit bir noktası
d(t)	:en yakın iki faz noktası arasındaki mesafe
X	:k yörüngesinin üstel sızıntısının ortalama hızı
h	:ortaya çıkan kaotik hareket durumu değeri
N	:boyutlu küpler
A	:küme
M	:uzay fazı
N	:A'yı kapsayan bu tür küplerin minimum sayısı
$d(A) \equiv dF$	:fraktal boyut dL Lyapunov'un boyutu
M_1, M_2	:Lorenz sisteminin bulanık kümeleri
X(t)	:Lorenz sisteminin nihai
y_1, y_2, y_3	:devre çıkışındaki voltaj
x1R (t)	:sağ genişlemenin yörüngesi
x1 (t)	:yörünge
x1L (t)	:sol genişlemenin yörüngesi

x2R (t) :sağ genişlemenin yörünges

x2 (t) :yörünge

x2L (t) :sol genişlemenin yörüngesi

x3R (t) :sağ genişlemenin yörüngesi

x3 (t) : yörünge

x3L (t) :sol genişlemenin yörüngesi

x1 :bulanık- yörünge

x2 :bulanık- yörünge

x3 :bulanık - yörünge

x1R (t) ve x2R (t) :sağ genişlemenin faz şekli

X1 (t) ve x2 (t) :faz şekli

x2 (t) ve x3 (t) :bulanık faz şekilleri

k :yükseltme katsayısı

LM741 : işlemsel yükselteçler

AD633 :analog çarpanlar

Kısaltmalar **Açıklama**

BDD : Bulanık diferansiyel denklem

LE1 : Lorenz sistemi için Lyapunov üs değerleri

LE2 : Lorenz sistemi için Lyapunov üs değerleri

LE3 : Lorenz sistemi için Lyapunov üs değerleri

yL0 : alt sınır

yU0 : üst sınır

xiL : bulanık xi değişkeninin sol genişlemesi

xiR :bulanık xi değişkeninin sağ genişlemesi

xi :bulanık xi değişkeninin merkezi

ÖZET

ELEKTRONİK DEVRE ANALİZİNE BULANIK MANTIK TABANLI YAKLAŞIM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kanan BABANLI

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Rana ORTAÇ KABAOĞLU

Elektronik devre analizi, iletişimde anahtar uygulama alanlarından biridir. İletişim alanındaki önemli bir sorun, belirsizlik altında kaotik sinyallerin kullanımı ile ilgilidir.

Uygulama perspektifleri güvenlik, geniş bant, düşük maliyet ve küçük boyutlu elektronik devrelerin kullanımı gibi kriterlere dayanmaktadır. Geleneksel yöntem uygulamalarının aksine, kaos uygulamaları kaynak kodlama, kanal kodlama ve gürültü sağlamlığını entegre etmeye izin verir. Çeşitli iletişim problemleri farklı diferansiyel denklem tipleri ile modellenebilir.

Belirsizlik altında bir elektronik devrenin kaotik dinamiklerini modellemek için bulanık diferansiyel denklemler kullanılabilir. Haberleşme için devrenin analizini yapmak gereklidir. Burada, belirsizlik ile karakterize edilen birçok faktörün dikkate alınması güçtür. Bu sebepten kullanılan bulanık diferansiyel denklemler, belirsizlik altında bir elektronik devrenin kaotik dinamiklerini modellemek için kullanılır. Bu yöntemde sinyallerin davranışı eğer-öyleyse (if-then) kuralları kullanılarak analiz edilir. Bu çalışma, uygulayıcılara bulanık belirsizlik altında kaotik sinyaller üreten bir elektronik çip tasarlama imkanı verme motivasyonu ile yapılmıştır.

Bu yüksek lisans tezinin amacı, kaotik bulanık sinyallerin üretilmesi için bir elektronik devre tasarlamaktır. Bu amaçla, diferansiyel denklemlerin bulanık modelleri kullanılır.

Amaç diferansiyel denklem sisteminin çözümünü bulanık bir kaotik sinyali temsil edecek şekilde, sistemin parametrelerini ve başlangıç koşullarını bulmaktır. Çözüm için Matlab ortamında Runge-Kutta yöntemi kullanılır. Hukuhara türevine dayalı elektronik devre modelinin bilgisayar simülasyonu yapılıp, sonrasında gerçek devre tasarımı yapılacaktır.

Haziran 2020, 77 sayfa.

Anahtar kelimeler: elektronik devre, bulanık mantık, bulanık diferansiyel denklem, kaotik sistemler, bulanık diferansiyel denklem, RL tipi devre, RLC tipi devre, kaotik sistemlerin bulanık şekilde modellenmesi

SUMMARY

FUZZY LOGIC-BASED APPROACH TO ELECTRONIC CIRCUIT ANALYSIS

M.Sc. THESIS

Kanan BABANLI

Istanbul University-Cerrahpasha

Institute of Graduate Studies

Department of Electrical and Electronic Engineering

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Rana ORTAC KABAOGLU

Electronic circuit analysis is one of the key application fields in communication. An important problem in the field of the communication is related to the use of chaotic signals under uncertainty.

The perspectives of applications are based on such criteria as security, broadband, low cost, and the use of small size electronic circuits. In contrast to applications of conventional methods, chaos applications allow to integrate source encoding, channel encoding, and noise robustness. Several problems of communication can be modeled by different types of differential equations.

We use fuzzy differential equations to model chaotic dynamics of an electronic circuit under uncertainty. Circuit analysis is needed for telecommunication purposes. In this realm, consideration of numerous factors characterized by uncertainty is challenge.

Fuzzy differential equations are used to model chaotic dynamics of an electronic circuit under uncertainty. Signals' behavior is analyzed by using If-Then rules. This study gives ability to practitioners to design an electronic chip that generates chaotic signals under fuzzy uncertainty.

Our aim of this master thesis is to design an electronic circuit for generation of chaotic fuzzy signals. For this purpose fuzzy system of differential equations is used.

The problem is to find parameters and initial conditions of this system such that the solution of system of differential equation will be represented as a fuzzy chaotic signal. For solution Runge-Kutta method in Matlab environment is used Computer simulation of the model of electronic circuit based on Hukuhara derivative is carried out and then design of real circuit will be performed.

June 2020, 77 pages.

Keywords: electronic circuit, fuzzy, Fuzzy logic, Fuzzy differential equation, Chaotic systems, Fuzzy differential equation, RL type circuit, RLC type circuit, Fuzzy modelling of chaotic systems

1. GİRİŞ

Haberleşme uygulamalarında, güvenlik, geniş bant, düşük maliyet ve küçük boyutlu elektronik devrelerin kullanımı gibi önemli özellikler öne çıkmaktadır. Geleneksel yöntem uygulamalarının aksine kaos uygulamaları, kaynak kodlama, kanal kodlama ve gürültü sağlamlığını entegre etmeye imkan verir. Tüm bu uygulamalar için devre analizlerinin doğru yapılması gereklidir. Çeşitli iletişim problemleri farklı diferansiyel denklem tipleri ile modellenebilir. Haberleşme, belirsizlik ile karakterize edilen birçok faktörün dikkate alınması gereken, güç bir alandır. Bu sebeple, belirsizlik altında bir elektronik devrenin kaotik dinamiklerini modellemek için geleneksel diferansiyel denklemler yerine bulanık diferansiyel denklemler kullanmak daha güvenilir olmaktadır.

Kaos, günlük yaşamda düzensizlik durumunu ifade etmek için kullanılır. Bu şekilde düşünülmesine rağmen ayırıcı özellikleri nedeniyle haberleşmede temel ve yararlı bir olgu olarak kabul edilir. Örneğin ergodisite, periyodik olmama ve başlangıç koşullarına duyarlı bağımlılık, kontrol ve senkronizasyonda kullanılan kaotik dinamiklerin temel kavramlarıdır. Aslında kaos kuramı, uzay aracı hedefleme, füzyon, yüksek çözünürlüklü radar görüntüleme, kaotik yol silindirleri, analog-dijital dönüştürücüler, zayıf periyodik sinyal algılama, şifreleme ve iletişim gibi birçok mühendislik alanında kullanılmaktadır. Bu uygulamalarda, güvenlik, geniş bant, dikeylik, kaotik sinyallerin düşük gücü, düşük maliyet ve küçük boyutlu elektronik devreler tarafından üretilebilmesi gibi özellikleri nedeniyle kaos iletişimi en ilgi çekici kavramlardan olmuştur.

Başlangıçta kaos, iletişim araştırması, fizibilite, güvenlik ve saldırgana karşı ideal iletişim kanalındaki zayıflıklarda kullanılmışken günümüzde bazı iletişim şemalarında rastgele sayı üreteçleri olarak bile kullanılır. Kaos tabanlı iletişim şeması, geleneksel olanlara kıyasla daha yüksek verimlilik elde etmek için kaynak kodlaması, kanal kodlaması ve gürültü sağlamlığını bir araya getirmeyi mümkün kılar. Kaos iletişim çalışmaları kabaca dört alana bölünebilir: kaos maskeleme, kaotik modülasyon, kaos kaydırma tuşu ve sembolik mesaj taşıma yöntemi.

Başlangıçta dikkate alınan kanalın fiziksel kısıtlaması, esas olarak ek beyaz gürültü olarak alınıyordu. Son zamanlarda kaos, iletişim araştırmalarına mühendisler tarafından daha fazla araştırma dahil edildiğinden, kaos iletişim şemalarında lazer optik kanal, uydu iletişim kanalı,

radyo frekans kanalı ve sualtı akustik kanalı gibi daha pratik iletişim kanalları üzerinde durulmaktadır.

İletişimin çeşitli problemleri farklı tip diferansiyel denklemlerle modellenebilir. Bunlardan biri, başlangıçtaki sistem dinamiklerinin ve parametrelerin belirsiz olduğu durumlarda kullanılan bulanık diferansiyel denklemdir. Mata-Machuca ve arkadaşları, gerçek hayatta güvenli iletişimde doğrusal olmayan dinamikler söz konusu olduğunu belirtmiş ve bu sebeple kaos teorisini incelemişlerdir [1]. Chen ve Lee yeni bir kaotik sistem modeli geliştirmiştir [2] [3]. Kaotik Chen-Lee sistemi, katı cismin hareketi için Euler denklemine dayanılarak geliştirilmiştir. Çalışmada Chen-Lee sistemini gerçekleştirmek için bir elektronik devre tasarlanmıştır. Sistem, üç ikinci dereceden doğrusal olmayan terime sahip üç sıradan diferansiyel denklemden oluşur.

Bir başka çalışmada, bir RL tipi devrede bulanık diferansiyel denklemi analiz edilmiştir [4]. Araştırmacılar, elektrik akımını RL tipi bir elektronik devresinde modelleyen diferansiyel denklemi incelemiştir. Bu çalışmada, diferansiyel denklem kullanılarak sistemin dinamik davranışı, kaosun kontrolü ve anti-kontrolü öğrenilir. Ayrıca bu çalışmada Takagi-Sugeno yönteminin elektronik devreler üzerindeki bulanık kaotik sistemlere uygulanması önerilmektedir.

Literatürde elektronik devre analizinin yapılabilmesi için doğrusal programlama tabanlı bir yöntem de tartışılmıştır [5]. Makalede mevcut veri tabanlı yöntemlerin alternatif çözümler bulamadığı belirtilmektedir. Bu nedenle, bulanık doğrusal programlama için elektronik devre analizi önerilmektedir.

Bir başka çalışmada, kesirli mertebeden Chen – Lee sistemini gerçekleştirmek için zincir fraksiyonu ve ağaç fraksiyonu devreleri yapılmıştır [6]. Bu çalışma sadece bu sistemin jiroskop hareketi ile ilgili olmadığını, aynı zamanda güvenli iletişim için elektronik devrelere de uygulanabileceğini göstermektedir.

Chen-Lee sistemindeki kaosun ve karmaşıklığın çoklu zaman gecikmeleriyle kontrol edilmesi başka bir çalışmada ele alınmıştır [7]. Çalışmada Chen-Lee sisteminin zaman gecikmesi sabitlerinin etkinliği tartışılmıştır. Önerilen sistem dinamik davranışlar, sabit noktalar, kaotik hareketler göstermektedir.

Analog devrelerde parametrik arıza tanısı için yeni bulanık mantık sisteminin oluşturması [8] 'de sunulmuştur. Mevcut klasik sözlük yapısı bulanık kural sistemi ile gerçekleştirilir [9].

Verilen denge noktalarının kararlılığı ve Chen-Lee sistemi kullanılarak elektronik devrenin uygulanması başka bir çalışmada tartışılmıştır [10]. Bu sistemin şifreleme amacıyla elektronik devreye uygulanabileceği gösterilmiştir. Haberleşmede devre analizine sürekli ihtiyaç vardır. Bu alanda, seçim yapmak belirsizlik ile karakterize edilen birçok faktöre bağlıdır. Bulanık diferansiyel denklemlere dayanan Chen-Lee sistemi elektronik devre analizi için etkili bir araçtır.

Diğer bir çalışmada, Takagi-Sugeno (T-S) modelinin bulanık kaotik sistemlerin elektronik devre uygulamaları üzerinde durulmuştur [11]. Yazar, güçlü bir araç olan Takagi-Sugeno (T-S) bulanık modelini elektronik devre üzerine kurmuş ve MATLAB'daki bilgisayar simülasyon sonuçları ile devrelerinden elde ettiği deneysel sonuçları karşılaştırmıştır. Sonuçlar arasındaki yakınlık, güçlü Takagi-Sugeno (T-S) yönteminin sayısal bir stratejiden daha fazlası olduğunu ve pratikte çeşitli uygulamalar için elektronik devrelere uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

1.1. LORENZ SİSTEMİ

Lorenz sistemi, ilk olarak Edward Lorenz tarafından incelenen, sıradan diferansiyel denklemler sistemidir. Belirli parametre değerleri ve başlangıç koşulları için kaotik çözümlere sahip olması dikkat çekicidir. Özellikle Lorenz çekeri, Lorenz sisteminin bir dizi kaotik çözümüdür.

Lorenz [12], incleme amaçlı en çok bilinen sistem olan basitleştirilmiş Rayleigh-Brenard problemini tanımlamak için üç otonom sıradan diferansiyel denklemden oluşan basit bir sistemde kaos keşfetmiştir [13-18].

1963 yılında Edward Lorenz atmosferik konveksiyon için basitleştirilmiş bir matematiksel model geliştirmiştir. Model, şimdi Lorenz denklemleri olarak bilinen üç sıradan diferansiyel denklem sistemidir [12]:

Denklemler, eşit şekilde aşağıdan ısıtılan ve yukarıdan soğutulan iki boyutlu bir sıvı katmanın özellikleri ile ilgilidir. Özel olarak denklemler zamana göre üç miktardaki değişim hızını tarif eder: x konveksiyon oranı, y yatay sıcaklık değişimi ve z dikey sıcaklık değişimi ile orantılıdır. Sabitler σ, ρ ve β Prandtl sayısı, Rayleigh sayısı ve katmanın kendisinin belirli fiziksel boyutları ile orantılı sistem parametreleridir.

$$\begin{aligned}\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} &= \sigma(y-x),\\ \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t} &= x(\rho-z)-y,\\ \frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t} &= xy-\beta z.\end{aligned} \tag{1.1}$$

Lorenz denklemleri elektronik devreler ve kimyasal reaksiyonlar için basitleştirilmiş modellerde de ortaya çıkmaktadır [19]. Teknik açıdan Lorenz sistemi doğrusal olmayan, periyodik olmayan, üç boyutlu ve deterministiktir. Lorenz denklemleri yüzlerce araştırma makalesine ve pek çok kitap çalışmasına konu olmuştur.

Belirsizlik içeren bir elektronik devrenin kaotik dinamiklerini modellemek için bulanık diferansiyel denklemler kullanmak daha doğrudur. Haberleşme amacıyla kullanılacak devrelerin analizi iyi yapılmalıdır. Bu alanda, belirsizlik ile karakterize edilen birçok faktörün dikkate alınabilmesi için bulanık diferansiyel denklemleri kullanmak daha doğru sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır.

Bulanık diferansiyel denklemler belirsizlik altında bir elektronik devrenin kaotik dinamiklerini modellemek için kullanılır. Sinyallerin davranışı eğer-öyleyse (if-then) kuralları kullanılarak analiz edilir. Bu çalışma, bulanık belirsizlik altında kaotik sinyaller üreten bir elektronik çip tasarlama amacıyla yapılmıştır.

Bu yüksek lisans tezinin amacı, kaotik bulanık sinyallerin üretilmesi için bir elektronik devre tasarlamaktır. Bu amaçla, diferansiyel denklemlerin bulanık sistemi kullanılır.

Çözülecek sorun, diferansiyel denklem sisteminin çözümü bulanık bir kaotik sinyal olarak temsil edilecek şekilde bu sistemin parametrelerini ve başlangıç koşullarını bulmaktır.

Çözüm için Matlab ortamında Runge-Kutta yöntemi kullanılmıştır. Hukuhara türevine dayalı elektronik devre modelinin bilgisayar simülasyonu gerçekleştirilip sonrasında gerçek devre tasarımı yapılmıştır.

1.2. TANIMLAR

Bu kısımda, tez çalışmasında kullanılan temel terimlerin tanımları ve yapılan kabuller verilmiştir.

Tanım 1. Bulanık sayı: Üçgen bulanık sayı $\tilde{A}$ üçlüyle (a_1, a_2, a_3) tanımlanabilir, burada üyelik aşağıdaki denklem olarak belirlenebilir [9]:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x \in [-\infty, a_1] \\ \dfrac{x\text{-}a_1}{a_2 - a_1}, & x \in [a_1, a_2] \\ \dfrac{a_3 - x}{a_3 - a_2}, & x \in [a_2, a_3] \\ 0, & x \in [a_3, +\infty] \end{cases} \tag{1.2}$$

Bir bulanık sayı, aşağıdaki özelliklere sahip bir bulanık kümedir A: a) A normal bir bulanık kümedir; b) A dışbükey bir bulanık kümedir; c) A için α kesim, A^{α} her bir $\alpha \in (0,1]$ için kapalı bir aralıktır; d) A-nın desteği sınırlıdır A^{+0}.

Tanım 2. Chen-Lee Sistemi: Chen-Lee sistemi şu şekildedir [10];

$$\begin{aligned} \dot{y}_1 &= -y_2 y_3 + a_1 y_1 \\ \dot{y}_2 &= y_1 y_3 + b_1 y_2 \\ \dot{y}_3 &= y_1 y_2 + c_1 y_3 \end{aligned} \tag{1.3}$$

burada a_1, b_1 ve c_1 parametrelerdir. a, b, c parametreleri, (1.3) sistemi kaos oluşturacak şekilde aşağıdaki gerekli koşulu karşılamalıdır:

$$a_1 > 0, \quad b_1 < 0, c_1 < 0 \text{ ve } \quad 0 < a < -(b + c) \tag{1.4}$$

Tanım 3. Lorenz Sistemi: Lorenz sistemi aşağıdaki şekildedir [12];

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= a(x_2 - x_1), \\ \dot{x}_2 &= c x_1 - x_1 x_3 - x_2, \\ \dot{x}_3 &= x_1 x_2 - b x_3, \end{aligned} \tag{1.5}$$

burada a, b, c parametrelerdir. a = 10, b = 8/3, c = 28 ve başlangıç durumları (−0.1, 0.2, 0.3) olduğunda, dinamik davranış kaotiktir. $x_1 \in [-d,]$ ve $d > 0$ olduğunu varsayalım, o zaman Lorenz sistemi tam olarak T-S bulanık modeli ile temsil edilebilir.

Tanım 4. Bulanık fonksiyon: X kümesinden Y kümesine kadar olan bulanık işlev $f(x)$,bulanık alt kümesindeki her x'e bağlıdır. Bu $f: X \to Y$ şeklinde gösterilir. f 'i $X \times Y$ ve $f(x)(y) = G_j(x, y)$ 'in bulanık alt kümesi G_j ile tanımlanabilir [9]

A, X 'in bulanık bir alt kümesiyse, Y 'deki $f(A)$

$$f(A)(y) = \sup_{x \in X} [G_j(x, y) \wedge A(x)] \tag{1.6}$$

şekilinde tanımlanır.

Tanım 5. Bulanık diferansiyel denklem: Bulanık diferansiyel denklem sistemi:

$$x = f(t, x) \tag{1.7}$$

Burada f süreklidir ve sürekli kısmi türevlere $\frac{\partial f}{\partial x}$ sahiptir [20].

$$R_+ \times E^n, \quad f \in C^1\left[R_+ \times E^n, E^n\right]$$
$$x(t_0) = y_0 \in E^n, t \geq t_0, t_0 \in R_+ \tag{1.8}$$

Tanım 6. Zadeh-Aliev kararlılık kriterleri: Sistem (1.7) 'in $x(t, t_0, y_0)$ çözümü, sistem (1.7) 'in $x(t, t_0, x_0)$ $t \geq t_0$ sonucuna göre bulanık Lipschitz kararlı olduğu söylenir [20].

Eğer bulanık sayı $M = M(t_0) > 0$ varsa $x(t, t_0, x_0)$ sistem (1.7)'in

$$\left\| x(t, t_0, x_0) -_h x(t, t_0, x_0) \right\|_{fH} \leq M(t_0) \left\| y_0 -_h x_0 \right\|_{fH} \tag{1.9}$$

gibi herhangi bir çözümüdür. M 'nin t_0 üzerinde bağımsız olması durumunda, (1.7) sisteminin $x(t, t_0, x_0)$ çözümünün, $x(t, t_0, x_0)$ çözümüne göre homojen bir şekilde bulanık Lipschitz olduğu söylenir.

1.3. KAOS TEORİSİ

Kaotik süreçler, örneğin elektronik devrelerde, mekanik sistemlerde, biyolojide ve hatta nüfus

dinamiklerinde çok sık görülür [9]. Çevremizdeki kaotik davranışın bolluğuna rağmen, kaos kural olarak, bilim adamları ve mühendisler tarafından uzunca bir süre yok sayılmıştır. Kaos önceleri sadece bir gürültü olarak kabul edilmişken ve günümüzde onunla mücadele etmenin yolları aranmaktadır. Son yıllarda kaos çok önemli bir bilimsel araştırma alanı olarak ve yeni bir teknolojinin temeli olarak kabul edilmeye başlanmıştır.

Bir uçağın kanatlarındaki rastgele dalgalanmalar, rüzgarın neden olduğu köprülerin hareketleri, uçak kontrolü çalışmalarındaki kararsızlıklar ve benzeri gibi pek çok durum, potansiyel olarak tehlikeli kaos örneklerini temsil eder. Bugün, bu koşulların etkileri ve nedenleri daha iyi bilinmeye başlanmıştır. Araştırmacılar ve mühendisler bunları önlemenin yolları üzerinde çalışmaktadırlar.

Kaos nedir?

İlginç görünebilir, ancak kaosun genel bir tanımı yoktur [21,28]. Bir bozukluğun içindeki düzen, rastgelelikteki düzenlilik gibi tanımlar yapılmaktadır ve bu bariz paradokslar kaotik sistemlerin temelidir. Daha kesin olarak, kaos deterministik doğrusal olmayan bir sistemde rastgele bir davranıştır. Bu tanım yeterince semboliktir. Bu çalışmada ayrıca bulanık dinamik sistemlerin davranışları da ele alınacaktır.

Bilim adamları ve mühendisler uzun yıllar boyunca doğrusal olmayan sistemlere doğrusal sistemlerle yaklaştıklarından sistemlerin kaotik davranışları dikkate alınamadı.

Fiziksel sistemlerin hatırı sayılır derecede doğrusal olmamalarına rağmen, bazı durumlarda doğrusal yaklaşımları yararlı görülmektedir. Doğrusal sistemlerin davranışı, doğrusal olmayan sistemlerin aksine kolayca tahmin edilebilir. Doğrusal sistemlerin davranışı, kapalı formda çözümler içeren bir diferansiyel denklem sistemi ile tanımlanabilir; nadiren de olsa doğrusal olmayan sistemler böyle bir avantaja sahip olabilirler.

Burada çekerin tanımını da vermek gerekir. Çeker (atraktör), çeşitli başlangıç koşulları için bir sistemin gelişmeye meyilli olduğu bir dizi sayısal değer olarak tanımlanabilir. Doğrusal bir sistemde yalnızca üç tür çeker vardır:

- sabit nokta çekeri

- periyodik çeker

- yarı-statik çeker

Doğrusal olmayan sistemlerde olası hareketler çok farklı ve karmaşıktır. Doğrusal olmayan

bir sistemin aksine, doğrusal olan bir sistem kaotik modlarda (kaotik çekimlere sahip) hareket edebilir [21-23].

Kaos nedir sorusuna geri dönülürse, aşağıdaki tanım formüle edilebilir [21];

Tanım Kaos: Kaos, belirli bir doğrusal olmayan dinamik sistemin yörüngesidir. Bölüm 1.3 ve 3.3'ün içeriği [22,28] 'ye dayanmaktadır. Aşağıda denklemlerle tanımlanan dağıtıcı sistemler ele alınırsa.

$$\dot{X} = V(X),\ X(0) = X_0 \tag{1.10}$$

burada $X = \{x_1, x_2, ..., x_n\}$ n-boyutlu bir vektör, $V = \{v_1, v_2, ..., v_n\}$ ise bir vektör fonksiyonudur.

(1.10) $\dot{x}_i(t) = F_i(t, x_0), i = \overline{1,n}$ çözümü, $\{x_1, x_2, ..., x_n\}$ bileşenler (1.10) sisteminin oluşturduğu faz uzayındaki bir faz yörüngesini temsil eder.

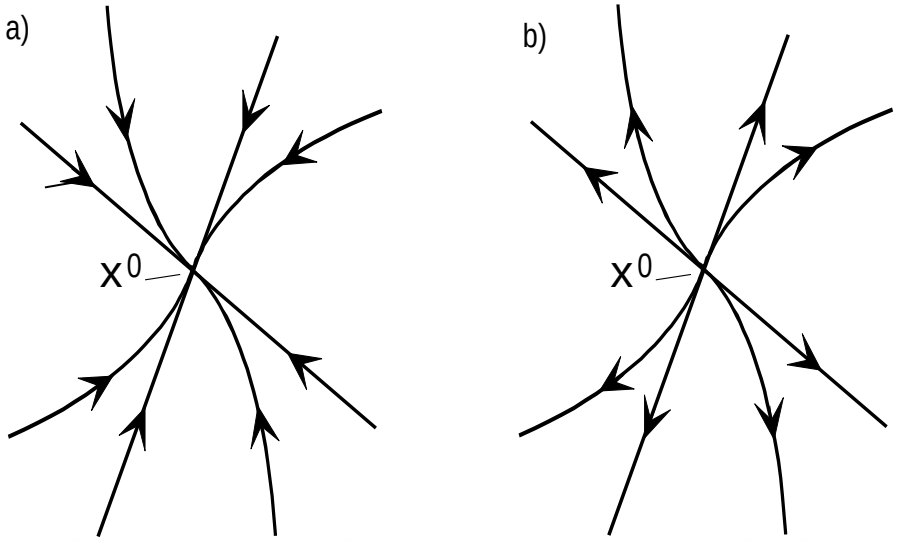
Div V = 0 ise, sistemin tutucu olacağı ve faz hacminin aynı değer olacağı unutulmamalıdır. Div V <0 ise, sistem enerji tüketir ve zaman ilerledikçe faz hacmi azalır, tüm kararlar $t \to \infty$ 'de, M faz boşluğunun bir çekeri olarak adlandırılan bir B alt kümesinin içine düşecek şekilde yakınlaşır [22].

Sistemin denge veya durağan noktaları $V(x_0) = 0$ 'ın x_0 noktalarıdır (1.10). Bu noktalar sabit veya kararsız olabilir. Sistemin sabit bir x_0 noktası, herhangi bir ε>0 için bir δ(ε)>0 varsa, başlangıç koşulları $\rho(x(t_0), x_0) < \delta(\varepsilon)$ olan sistemin her x(t) çözümü için $\rho(x(t), x_0) < \delta(\varepsilon)$ $t \geq t_0$ doğru olacak şekilde sabit bir noktadır. Burada ρ, $x(\cdot), x_0$ koordinatlı faz noktaları arasındaki mesafedir.

Örneğin, iki diferansiyel denklemle tanımlanan bir sistemi ele alalım.

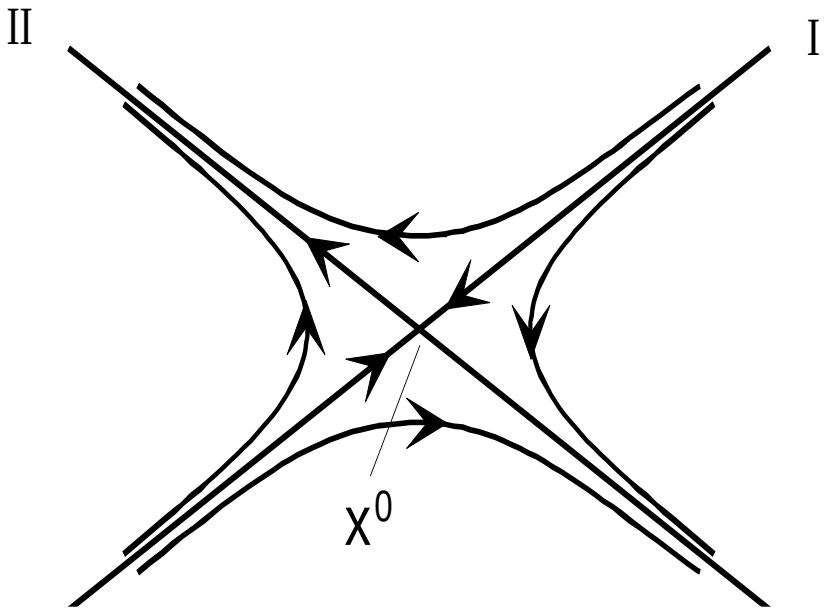
$$\dot{x} = V_1(x, y),\ \dot{y} = V_2(x, y) \tag{1.11}$$

(1.11) sisteminin karakteristik denkleminin λ_1 ve λ_2 çözümlerinin değerlerine bağlı olarak 4 tip özel nokta ayırt edilir. λ_1 ve λ_2 çözümleri gerçek ve aynı işarete sahipse, düğüm tipinin özel bir noktası ortaya çıkar (Şekil 1.1).

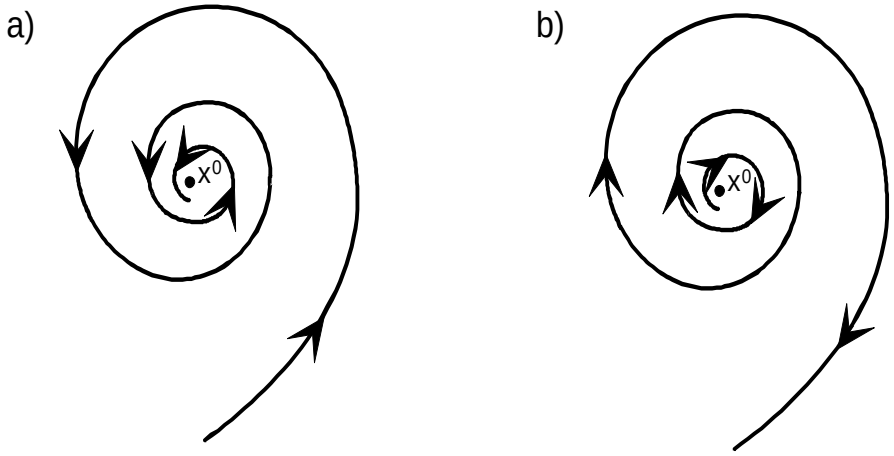


Şekil 1.1: Düğüm tipinin özel bir noktası.

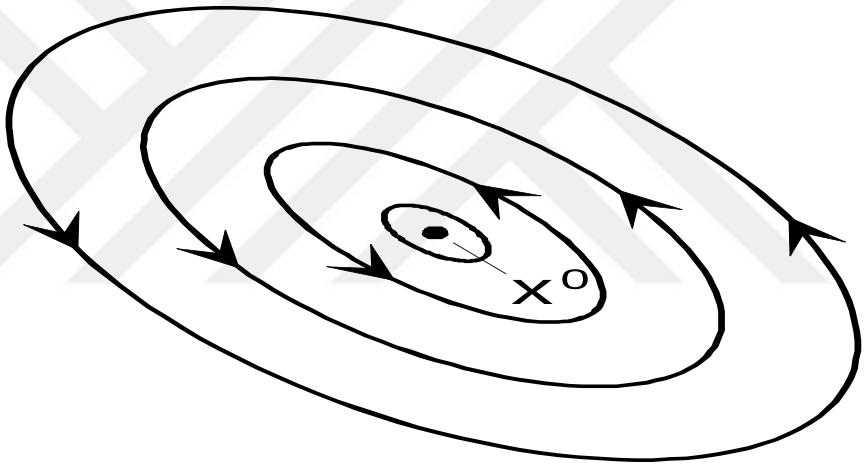
λ_1 ve λ_2 çözümleri gerçek ve zıt işaretlere sahipse, eyer tipi sabit bir nokta ortaya çıkar (Şekil 1.2). λ_1 ve λ_2 çözümleri karmaşık eşlenik ise, odak tipinde bir noktamız vardır (Şekil 1.3). Her iki λ_1, λ_2 çözümü de hayalidir. Bu, merkez tipi bir noktaya götürür (Şekil 1.4). 1'inci ve 2'nci ve 3'üncü ve 4'üncü tiplerin kombinasyonları da mümkündür (sırasıyla Şekil 1.5 ve 1.6). Kararlı bir düğüm ve kararlı bir odak gibi özel noktalar çekerlerdir.



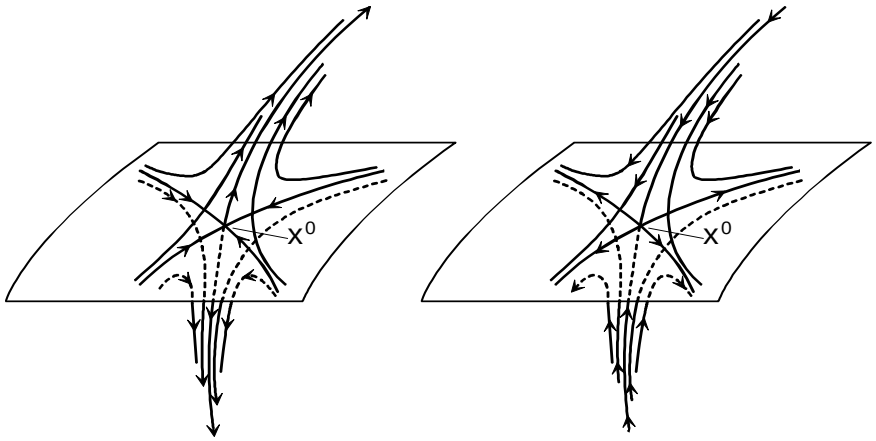
Şekil 1.2: Sele tipinin sabit bir noktası.



Şekil 1.3: Bir odak noktası türü.



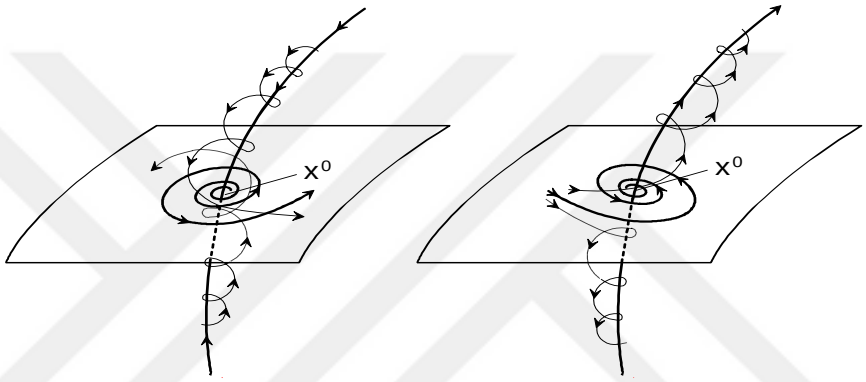
Şekil 1.4: Bir merkez tipi noktası.



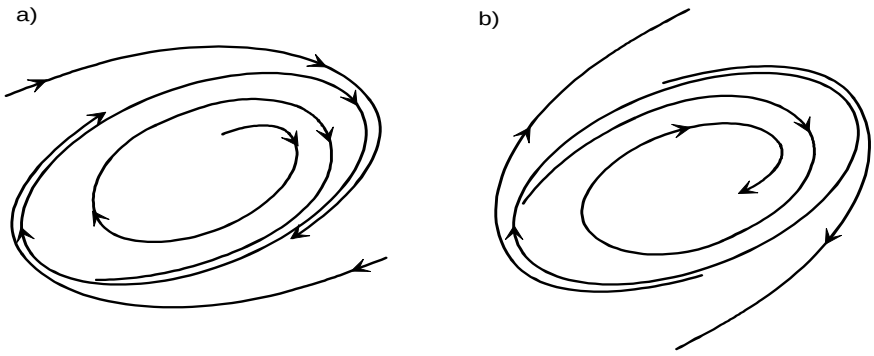
Şekil 1.5: Düğüm-eyer tipi.

Enerji tüketen sistemlerde bir diğer çeker türü, periyodik harekete karşılık gelen limit çevrimleri olarak adlandırılan kapalı faz eğrileridir (Şekil 1.7).

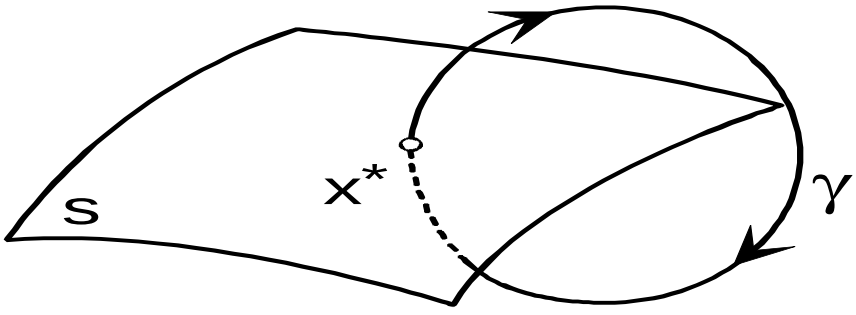
Açıkça, durum 1.7a bir çekere karşılık gelirken, durum 1.7b buna karşılık gelmez. Periyodik hareketin istikrarı, Poincare'nin haritalaması temelinde tanımlanabilir. (1.10) sisteminden Poincare'nin haritalamasına [22] geçmek ve daha sonra bu haritalamaya bağlı olarak kararlılığı kontrol etmek gerekir. Dinamik bir sistemin sınırlı döngüsü γ, eşlemenin sabit bir noktası X^* ile ilişkilendirilecektir ve bu nedenle sorun, bu sabit noktanın kararlılık analizine indirgenecektir (Şekil 1.8).



Şekil 1.6: Bir nokta eyer-odak tipi.



Şekil 1.7: Sınır döngüleri.

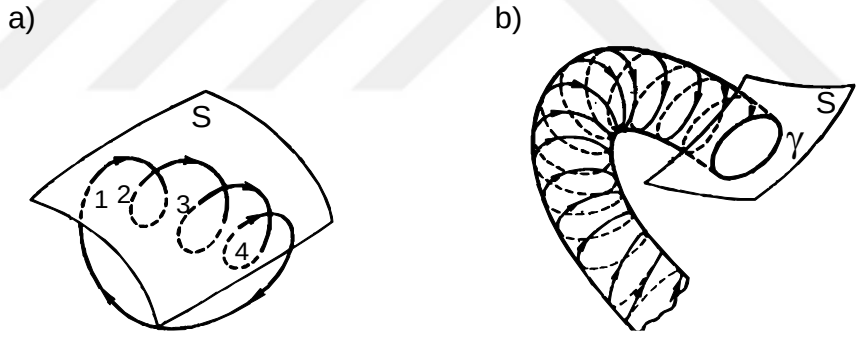


Şekil 1.8: Sınır döngüsü ve Poincare'nin eşlemesi.

Poincare'nin eşlemesi, faz boşluğunda birbiri ardına gelen sınırlı sayıda nokta gibi göründüğünde bu, sistemin davranışındaki periyodikleri gösteren döngülü bir harekete yol açar (Şekil 1.9a). Nokta kümesi bir miktar kapalı eğrinin içine düşerse, bu bir hemen hemen durağan (quasi-stationary) harekete yol açar (Şekil 1.9b). Bu, sistemin (1.10) sırası n = 3 ise mümkündür, çünkü iki boyutlu enerji tüketen sistemlerin yörüngeleri kesişemez ve sadece iki tip çeker mümkündür; sabit durağan noktalar ve kararlı sınır döngüleri.

n> 3 olan sistemlerde, iki bağımsız frekanslı bir yarı (quasi)-periyodik harekete karşılık gelen iki boyutlu değişmez torustan (simit - üç boyutlu uzayda bir çemberin, aynı düzlemde yatan ve çembere değmeyen bir doğru etrafında döndürülmesiyle elde edilen yüzey) çok daha karmaşık bir yarı-periyodik hareket mümkündür.

Burada düşünülen tüm çekerler basit çekerlerdir ve sabit durağan noktalara, sabit limit döngülerine veya değişmez yumruya aittir. Bu tür çekim merkezleri, dinamik sistemleri faz uzayının alt çeşitleridir. Örneğin, bir sınır çevrimi ve iki boyutlu değişmez yumru sırasıyla bir boyutlu ve iki boyutlu alt çeşitlerdir.



Şekil 1.9: Sistemin hareket modları.

Enerji tüketen dinamik sistemlerde, aynı zamanda hem çeker hem de alt-çeşit olmayan bazı sınırlı çekme setleri bulunabilir. Bu çekerlere garip çekerler denir [22,29]. Garip çekerli sistemlerde, faz eğrileri bu çekerlere yakınsama eğilimindedir ve bir kez bu çekerlerin alanına girerse, asla dışarı çıkmaz. Bununla birlikte, çekerdeki hareket kararsızdır: sistemin herhangi iki yörüngesi, garip çekerin üzerinde hızla katlanarak ayrılır. Bu garip çekerler, enerji tüketen dinamik sistemlerde kaotik hareketin örnekleridir.

Hareketin Türetilmesi.

Basit bir çekerin düzenli dinamiklere sahip olduğu, garip çekerlerin ise kaotik dinamiklere sahip

olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, düzenli hareketleri kaotik olanlardan ayırmak veya başka bir deyişle bir tür çekeri diğerlerinden ayırmak için bazı kriterler belirlemek gerekir. Sistemi (1.10) ele alalım.

Kaotik davranış, faz yörüngelerindeki dengesizliğin bir sonucu olduğu için, dinamik sistemin faz eğrilerinin tükenme değerini ayrım kriterleri olarak uygulamak mantıklıdır, yani,

$$d(t) \approx d(0)e^{kt} \tag{1.12}$$

Burada d(t) en yakın iki faz noktası arasındaki mesafedir, k yörüngenin üstel sızıntısının ortalama hızıdır. k, (1.12) 'den aşağıdakı gibi olur:

$$k \approx t^{-1} \ln\left[d(t)/d(0)\right] \tag{1.13}$$

Eğer bu formülde (1.13) $d(0) \to 0$ and $t \to \infty$ ise o halde

$$h = \lim_{\substack{d(0)\to 0 \\ t\to\infty}} t^{-1} \ln\left[d(t)/d(0)\right] \tag{1.14}$$

Kolmogorov ve Sinay'ın entropisi veya KS-entropisi oluşur [22]. Ortaya çıkan kaotik hareket durumunda h> 0 değeri, hareketin sabit bir noktaya gerilmesi durumunda h <0 olur. H sıfıra eşit olduğunda, bu bir periyodik veya bir yarı-periyodik hareketin varlığı anlamına gelir. Kaotik davranış kriterlerini belirlemek için sayısal yöntemler dikkate alınmıştır [23].

[22] 'de aşağıdaki fonksiyon:

$$\Lambda(\vec{\xi}(0) = \lim_{t\to\infty} t^{-1} \ln\left(\left|\vec{\xi}(t)\right| / \left|\vec{\xi}(0)\right|\right) \tag{1.15}$$

başlangıç yanlılığı vektörleri üzerinde belirlenmiştir;

$$\vec{\xi} = x_2(0) - x_1(0) = d_0 \tag{1.16}$$

öyle ki $\left|\vec{\xi}(0)\right| = \varepsilon$, burada $\varepsilon \to 0$ sistem (1.10) için oluşturulur. [22] 'de farklı $\vec{\xi}(0)$ vektör dönüşleri için Λ fonksiyonunun adım adım değiştiği ve λ_i 'in Lyapunov'un endeksi olarak

adlandırılan sonlu $\{\lambda_i\}$, $i=\overline{1,n}$ değerler aralığını döndürdüğü belirtilmiştir. [22] 'de, Kolmogorov-Sinay'ın entropisi olan h'nin aslında Lyapunov'un maksimum karakteristik indeksi olduğu gösterilmiştir. İkincisinde ise, dinamik sistemlerde çeker türlerinin tanımlanmasına izin veren [22,29] ölçütleri formüle edilmiştir.

İki boyutlu sistemlerde, iki tipteki çekerler ortaya çıkabilir: sabit durağan nokta ve sınırlı döngü. Bunlar $\{\lambda_i\}$ kullanılarak bu şekilde tanımlanabilir. $\{\lambda_1,\lambda_2\}$ = {-, -} ise, çeker sabit bir noktadır, aksi takdirde $\{\lambda_1,\lambda_2\}$ = {-, 0} ise, çeker sınırlı döngülüdür. Eğer sistem (1.10) n = 3 ise, her türlü çekme aşağıdaki gibi tanımlanabilir: $(\lambda_1,\lambda_2,\lambda_3)$ = (-, -, -) ya sabit odak ya da düğümdür; $(\lambda_1,\lambda_2,\lambda_3)$ = (-, -, 0) kararlı sınırlı devir;

$(\lambda_1,\lambda_2,\lambda_3)$ = (-, 0,0) kararlı yumru; $(\lambda_1,\lambda_2,\lambda_3)$ = (-, 0, +) tuhaf bir çekerdir. Lyapunov indekslerini tanımlamak için sayısal yöntemler [23] 'te ele alınmıştır.

Doğrusal olmayan sistemlerin düzenli ve kaotik hareketi arasında ayrım yapmak için bir diğer önemli kriter oto korelasyon fonksiyonudur. Açıkçası, periyodik veya yarı-periyodik sistemin davranışıdır, karşılık gelen oto korelasyon fonksiyonları da sırasıyla periyodik veya yarı-periyodik olacaktır. [22] 'de belirtildiği gibi, otomatik korelasyon fonksiyonu sıfıra yakınsa ve sistemde sabit noktalar yoksa, sistem kaotik hareket moduna tabi olacaktır.

Fraktal boyutların çıkarılması.

Sistemin (1.10) n-boyutlu faz boşluğu ile karakterize edildiğini varsayılsın. N-boyutlu küpleri, A kümesinin tüm noktalarının içinde bulunduracak şekilde, M uzay fazının A kümesine yerleştirilsin. N, A'yı kapsayan bu tür küplerin minimum sayısı olsun.

$$d(A) = \lim_{\varepsilon \to 0}[\ln N(\varepsilon)/\ln(1/\varepsilon)] \qquad (1.17)$$

$d(A) \equiv dF$ metrik bir boyuttur ve fraktal boyut olarak adlandırılır [22,24,25]. Düzenli kümeler için fraktal boyut, örneğin dF = 2 yüzeyi için dF = 1 çizgisi için normal boyutla aynıdır. Yani sınırlı bir döngü için dF = 2 (her iki çekme de basittir). Garip çekerler için fraktal boyut kesirlidir. Sonuç olarak, fraktal boyut, basit ve garip çekerleri tanımlamak, yani düzenli kaotik hareketleri ayırt etmek için bir kriter olarak kullanılabilir. Sorun, fraktal boyutun nasıl hesaplanacağıdır [26-27].

[22] 'de fraktal boyutun dF'nin, Lyapunov'un dL boyutuyla aşağıdaki gibi hesaplandığı gösterilmiştir:

$$dL = j + \sum_{i=1}^{j} \lambda_i / |\lambda_{j+1}| \tag{1.18}$$

Burada $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \ldots \geq \lambda_n$ ve j değerleri gereksinimlerden bulunur:

$$\sum_{i=1}^{j} \lambda_i \geq 0, \sum_{i=1}^{j+1} \lambda_i < 0 \tag{1.19}$$

(1.10) 'da n = 3 olduğu ve hareketin garip bir çekerde gerçekleştiği varsayıldığında (1.18),

$$dL = 2 + \lambda_1 / |\lambda_3| \tag{1.20}$$

bu tür sistemler için olduğu gibi $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3$ ve ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$) = (+, 0, -) olur.

Fraktal boyutu hesaplamak için sayısal yöntemler [23] 'te ele alınmıştır. [22] 'de, garip bir çekerin fraktal boyutu, dF, aşağıda verilen sistem için sayısal olarak hesaplanmıştır,

$$\dot{x} = y(z - 1 + x^2) + \gamma x, \quad \dot{y} = x(3z + 1 - x^2) + \gamma y, \quad \dot{z} = -2z(\nu + xy) \tag{1.21}$$
$$\nu = 1.1; \ \gamma = 0.87$$

Bu sistemdeki garip çekerin, yüzey ve üç boyutlu şekil arasında orta bir pozisyon aldığı tespit edilmiştir $dF = 2.318 \pm 0.002$.

2. KAOTİK SİSTEMLERİN MODELLENMESİ

2.1.ELEKTRONİK DEVRE ANALİZİ İÇİN BULANIK DİFERANSİYEL DENKLEMLER KULLANARAK CHEN-LEE SİSTEMİNİN MODELLENMESİ

Amaç, kaotik Chen-Lee sistemi için bulanık elektronik devreyi analiz etmektir. Kaotik sinyaller üreten çip oluşturmak için matematiksel ilişki bulmak gerekmektedir. Bu amaçla, kaotik davranışın olduğu diferansiyel denklem sistemlerinin oluşturulması gerekmektedir. Yukarıda gösterildiği gibi, gerçek elektronik çipler oluşturulurken parametreler genellikle bilinmemektedir. Bu bölümde, bulanık belirsizlik altında kaotik sinyaller üreten bir elektronik çipin matematiksel bir modeli oluşturulmuştur. Model Chen-Lee sisteminin bulanık versiyonu olarak seçilir[11]:

$$\begin{aligned}\dot{\tilde{y}}_1 &= -\tilde{y}_2\tilde{y}_3 + a_1\tilde{y}_1\\ \dot{\tilde{y}}_2 &= \tilde{y}_1\tilde{y}_3 + b_1\tilde{y}_2\\ \dot{y}_3 &= \tilde{y}_1\tilde{y}_2 + c_1\tilde{y}_3\end{aligned} \tag{2.1}$$

a_1, b_1 ve c_1, belirgin parametreler, y_1, y_2, y_3 x1, x2, x3 kütle merkezinde sabitlenmiş ana eksenler için açısal hızlardır.

Amaç, diferansiyel denklemler sisteminin çözümü bulanık kaotik sinyal olacak şekilde parametreleri ve başlangıç koşullarını bulmaktır.

$$y_1 \in [-d_1, d_2], y_2 \in [-e_1, e_2], y_3 \in [-f_1, f_2] \tag{2.2}$$

2.2. KAOTİK LORENZ SİSTEMİNİN BULANIK MODELLEMESİ

Lorenz sistemi için [12],

$$\begin{aligned}x_1 &= a(x_2 - x_1),\\ x_2 &= cx_1 - x_1x_3 - x_2,\\ x_3 &= x_1x_2 - bx_3,\end{aligned} \tag{2.3}$$

Burada, a, b, c parametrelerdir. Dinamik davranış kaotiktir.

$x_1 \in [-d, d]$ ve $d > 0,$ olduğunu varsayarsak, Lorenz sistemi tam olarak aşağıdaki gibi bir bulanık model ile temsil edilebilir [11].

Kural 1:

$$\begin{aligned} &IF \;\; x \;\; is \;\; M_1 \\ &THEN \;\; X(t) = A_1 X(t) \end{aligned} \tag{2.4}$$

Kural 2:

$$\begin{aligned} &IF \;\; x \;\; is \;\; M_2 \\ &THEN \;\; X(t) = A_2 X(t) \end{aligned} \tag{2.5}$$

Buradan,

$$X = [x_1, x_2, x_3]^T \tag{2.6}$$

$$A_1 = \begin{bmatrix} -a & a & 0 \\ c & -1 & -d \\ 0 & d & -b \end{bmatrix}, \; A_2 = \begin{bmatrix} -a & a & 0 \\ c & -1 & d \\ 0 & -d & -b \end{bmatrix}, \tag{2.7}$$

$$M_1(x) = \frac{1}{2}(1 + \frac{x_1}{d}), \; M_2(x) = \frac{1}{2}(1 - \frac{x_1}{d}), \tag{2.8}$$

Uygun M_1 ve M_2, Lorenz sisteminin bulanık kümeleridir. Lorenz sisteminin nihai çıktısı şu şekilde ele alınır:

$$\begin{aligned} X(t) &= \sum_{i=1}^{2} h_i A_i X(t) = \\ &= \begin{bmatrix} h_1 \\ h_1 \\ h_1 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a(x_2 - x_1) \\ cx_1 - dx_3 - x_2 \\ dx_2 - bx_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_2 \\ h_2 \\ h_2 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} a(x_2 - x_1) \\ cx_1 + dx_3 - x_2 \\ -dx_2 - bx_3 \end{bmatrix}, \end{aligned} \tag{2.9}$$

Buradan, $h_1 = \dfrac{M_1}{M_1 + M_2},$ (2.10)

ve $h_2 = \dfrac{M_2}{M_1 + M_2}$ (2.11)

bulunur.

3. KAOTİK SİNYALLERİN BİLGİSAYAR SİMÜLASYONU MALZEME VE YÖNTEM

3.1. CHEN LEE SİSTEMİ İLE KAOTİK SİNYALLER ÜRETİLMESİ

Amaç, kaotik Chen-Lee sistemi için bulanık elektronik devreyi analiz etmektir. Aşağıdaki BDD'leri, ele alınan sistemin bir modeli olarak görüyoruz:

$$\begin{aligned} \dot{\tilde{y}}_1 &= -\tilde{y}_2\tilde{y}_3 + a_1\tilde{y}_1 \\ \dot{\tilde{y}}_2 &= \tilde{y}_1\tilde{y}_3 + b_1\tilde{y}_2 \\ \dot{y}_3 &= \tilde{y}_1\tilde{y}_2 + c_1\tilde{y}_3 \end{aligned} \qquad (3.1)$$

a_1, b_1 ve c_1, belirgin parametreler, y_1, y_2, y_3, kütle merkezine sabitlenmiş ana eksenler arasındaki bulanık değerli açısal hızlardır. (3.1) 'in elektronik devre gösterimlerinde, y_1, y_2, y_3 devre çıkışındaki voltajı temsil eder.

Amaç, diferansiyel denklemler sisteminin çözümü bulanık kaotik sinyal olacak şekilde parametreleri ve başlangıç koşullarını bulmaktır.

Sorunun çözümü.Sistem (3.1) için aşağıdaki parametrelerin ve başlangıç koşulunun kullanıldığını varsayarsak:

$d_1 = 40$; $e_1 = 30$; $f_1 = 20$;

yL0=(yiL0,yi0,yiU0)=(-20.0, 0.20,20.0);

yU0 = [20.0, 15.0, 10.0]; y0 = [0.20, 0.15, 0.10]; yL0 = [-20.0, -15.0, -10.0];

a1 = 5.2; b1= -10.3; c1 = -38.0, burada yL0 ve yU0 alt ve üst sınırlardır. Bu durumda, sistem (3.1) kaotik davranış gösterir. Belirlenen duruma göre eğer;

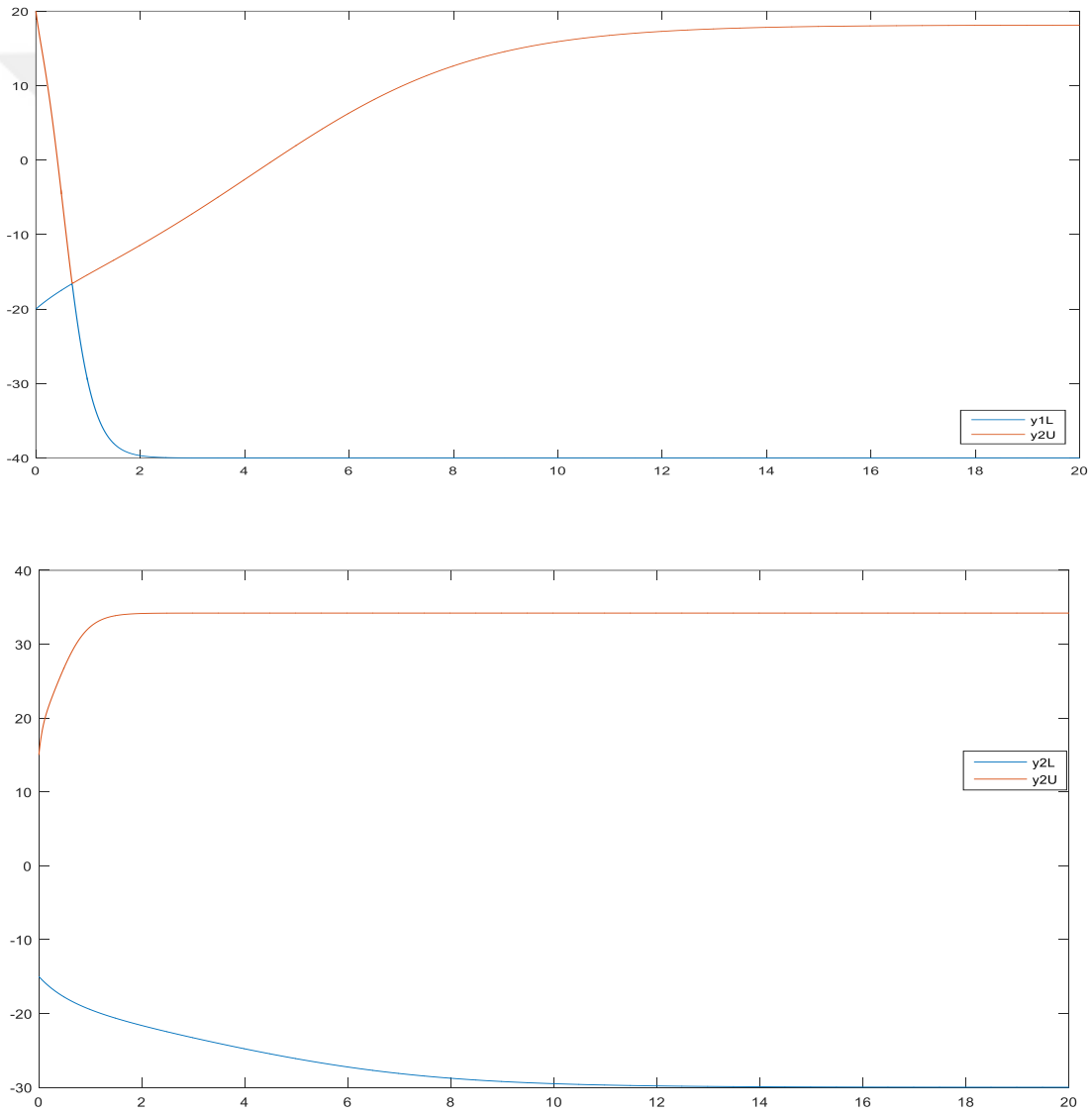
$y_1 \in [-d_1, d_2], y_2 \in [-e_1, e_2]$ ve $d_1 > 0, e_1 > 0$ o halde, ele alınan Chen-Lee sisteminin bulanık modeli aşağıdaki gibi gerçeklenebilir [30]:

EĞER y_1 pozitif ve y_2 pozitifse ÖYLEYSE ilişki davranışı Şekil 3.1'de tanımlanmıştır.

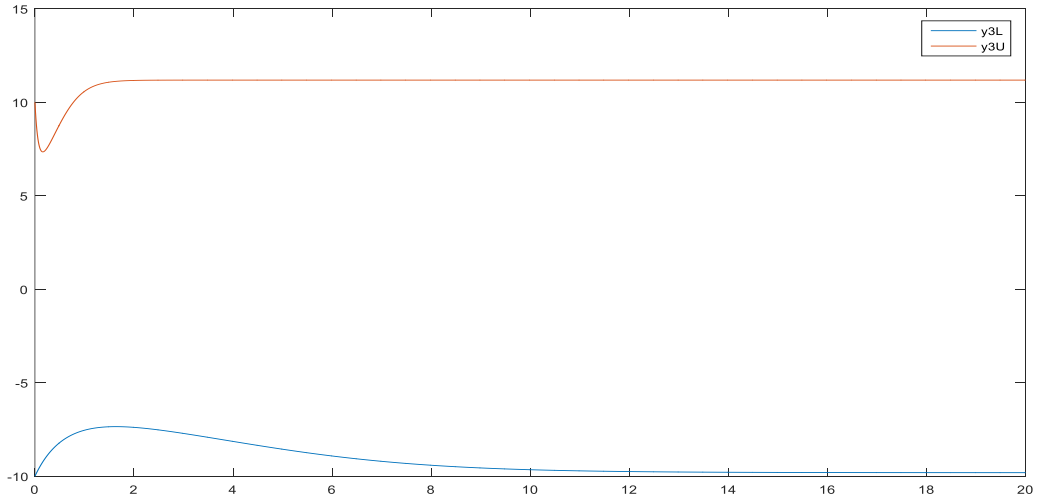
EĞER y_1 pozitif ve y_2 negatifse ÖYLEYSE ilişki davranışı Şekil 3.2'de tanımlanmıştır.

EĞER y_1 negatif ve y_2 pozitifse ÖYLEYSE ilişki davranışı Şekil 3.3'de tanımlanmıştır. EĞER y_1 negatif ve y_2 negatifse ÖYLEYSE ilişki davranışı Şekil 3.4'de tanımlanmıştır.

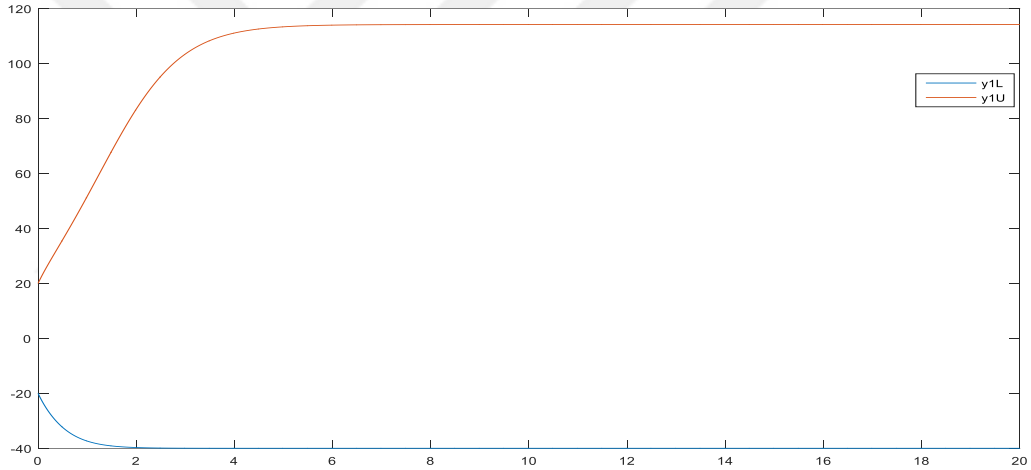
Hukuhara türevi ve genel türev kullanılarak oluşturulan bilgisayar simülasyonunun sonuçları aşağıda gösterilmiştir (Şekil 3.5 ve Şekil 3.6). Görüldüğü gibi, çözümler kaotik sinyaller şeklinde temsil edilmektedir (Şekil 3.7). Dikkate alınan bulanık Chen-Lee sistemi için faz şekilleri Şekil 3.7'de verilmiştir.

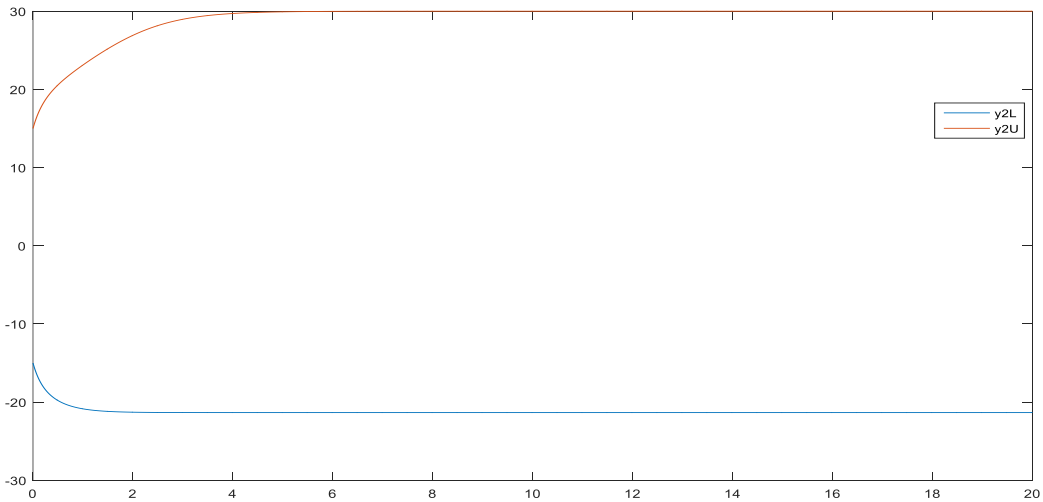


Şekil 3.1: Kural 1'i kullanarak çözüm

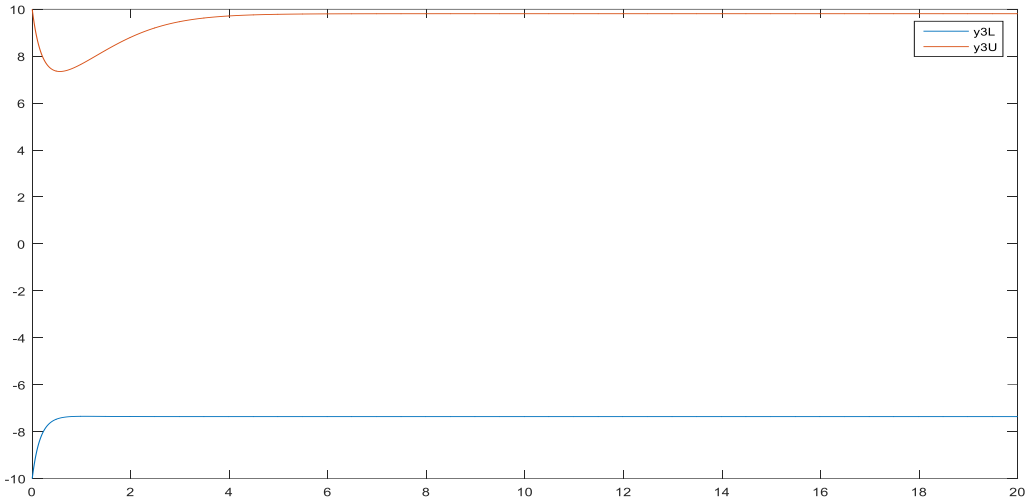


Şekil 3.1(devam): Kural 1'i kullanarak çözüm

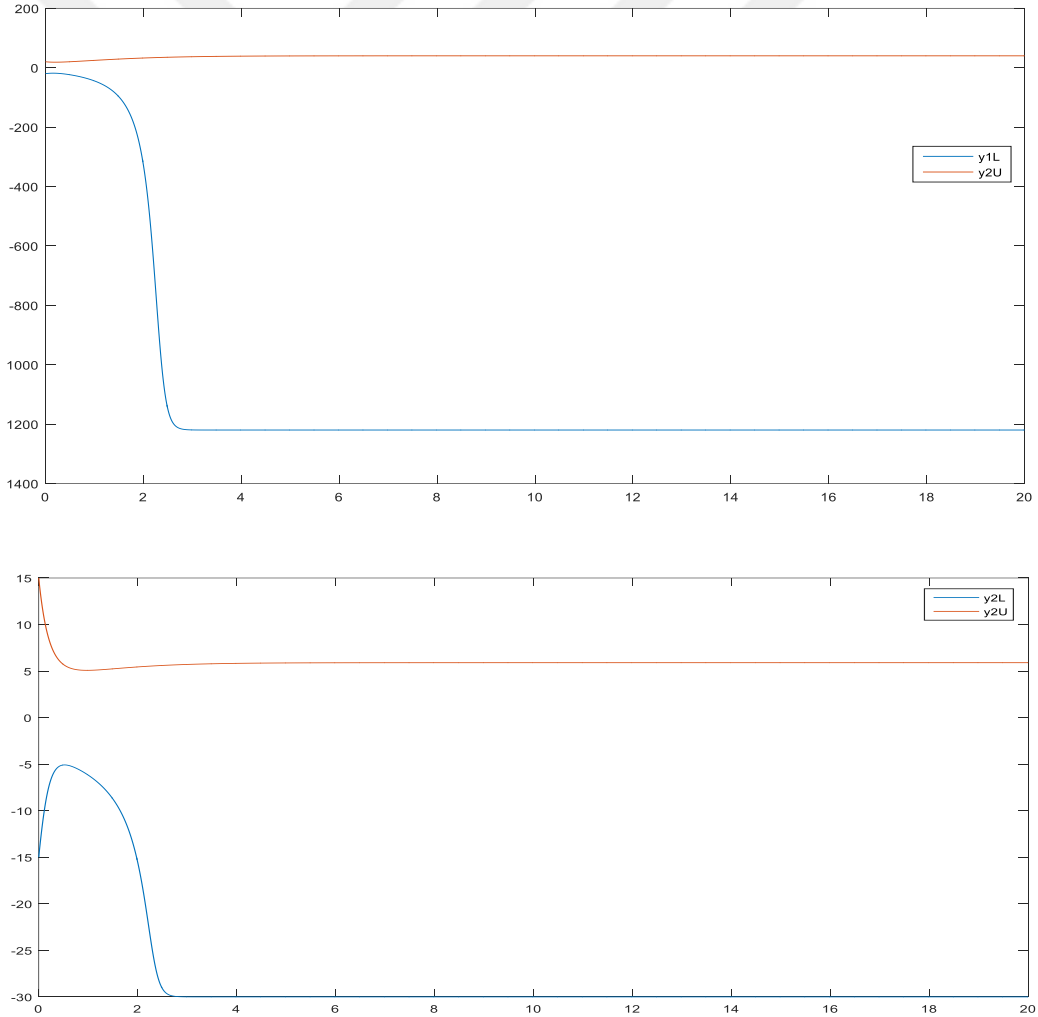




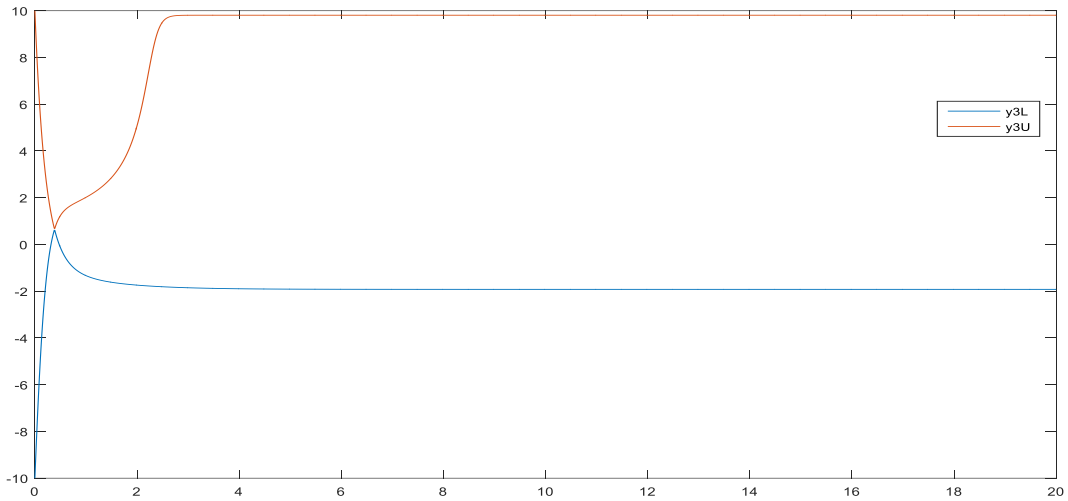
Şekil 3.2: Kural 2'yi kullanarak çözüm



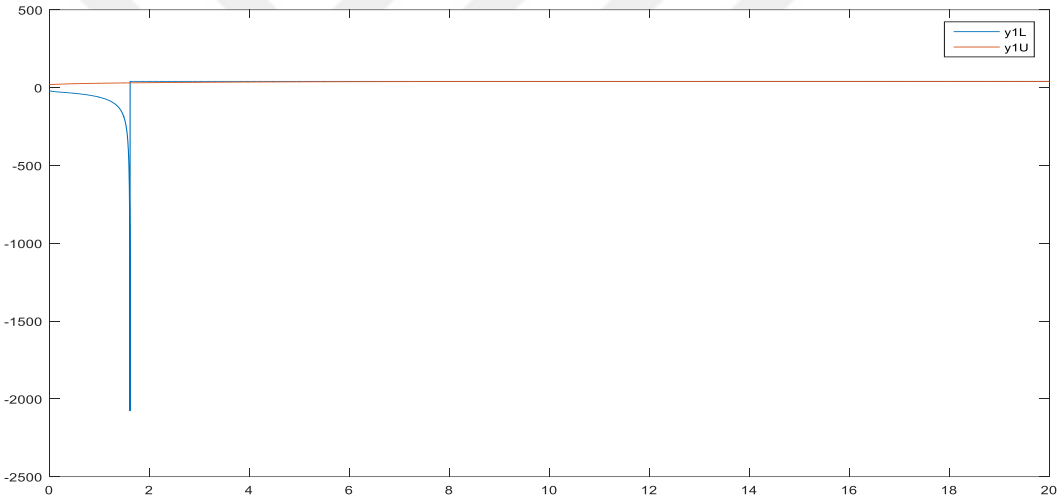
Şekil 3.2(devam): Kural 2'yi kullanarak çözüm

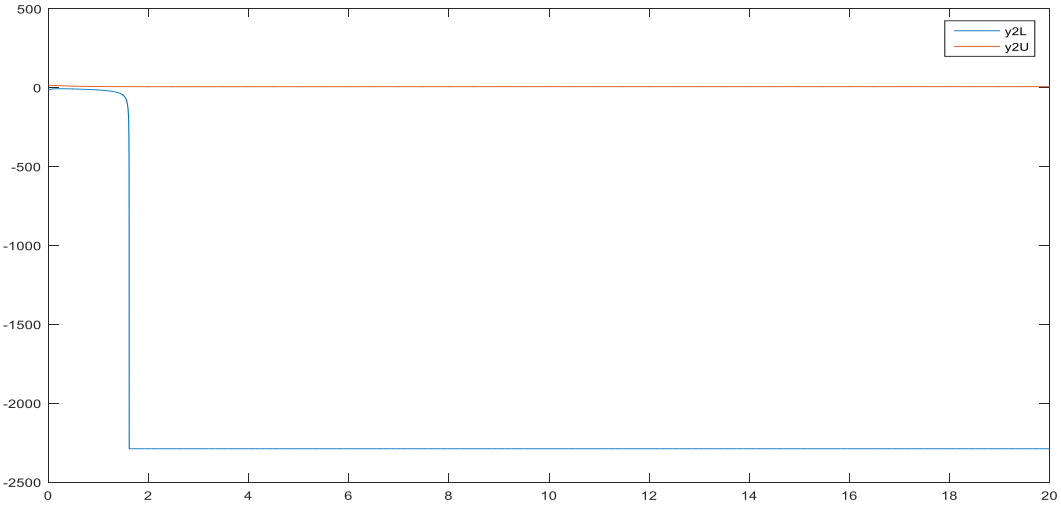


Şekil 3.3: Kural 3'ü kullanarak çözüm

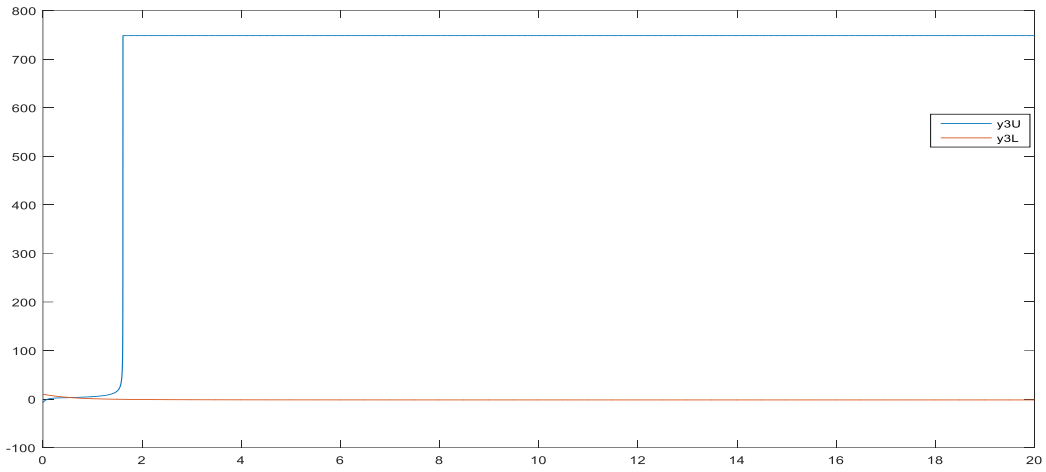


Şekil 3.3(devam): Kural 3'ü kullanarak çözüm

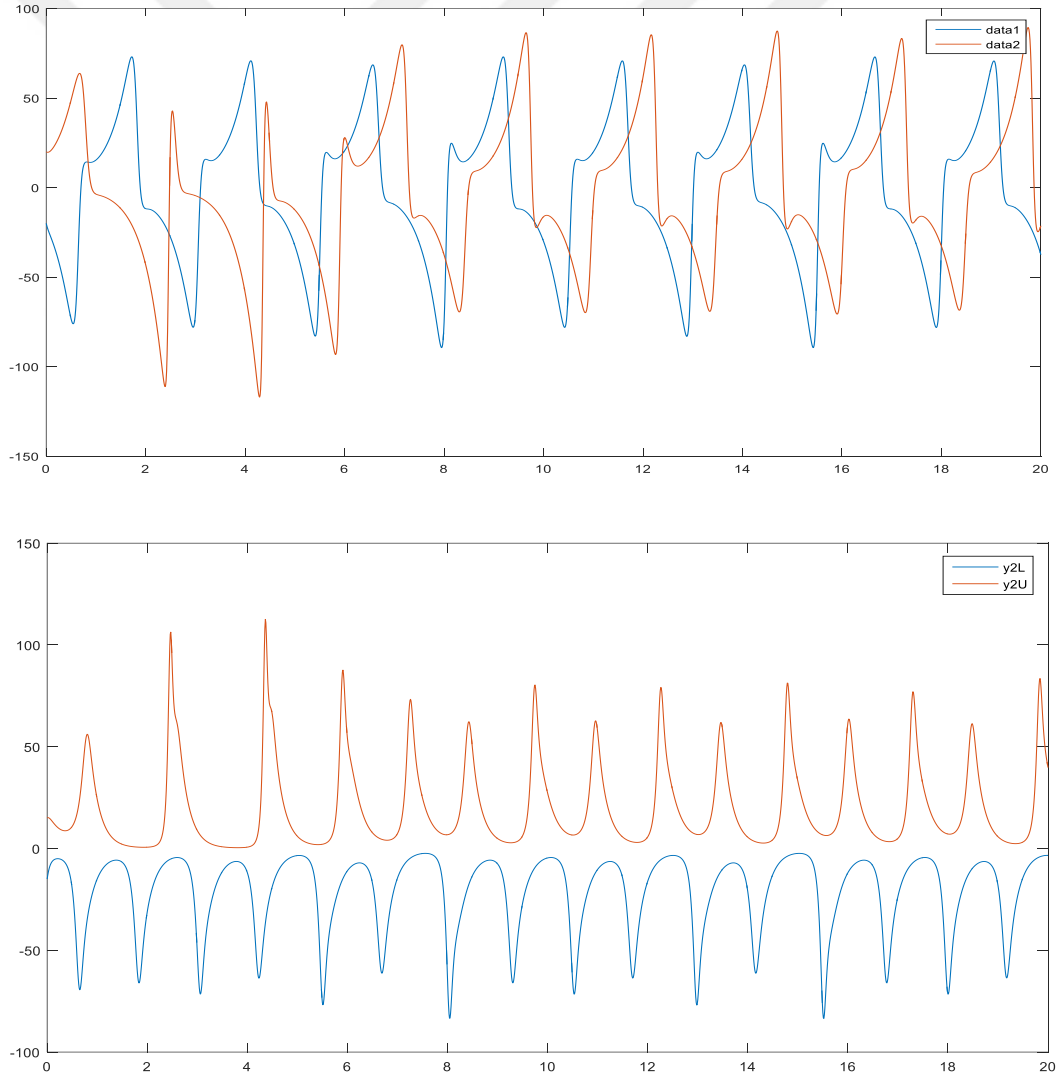




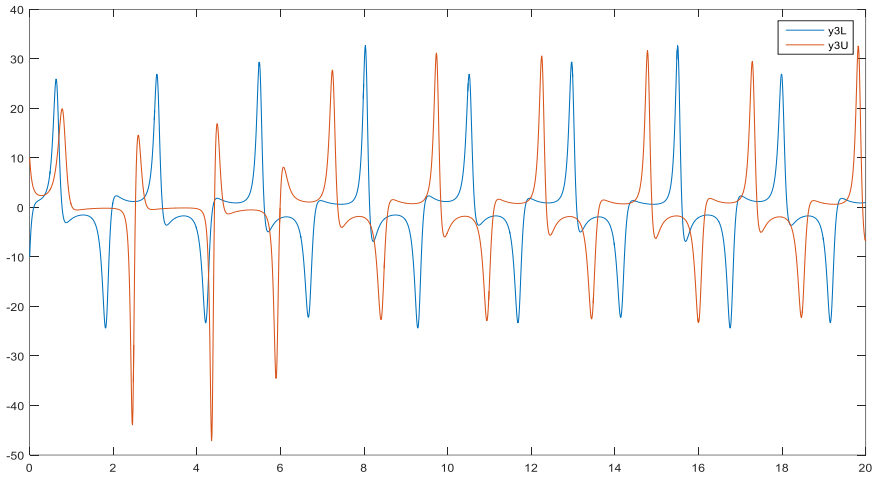
Şekil 3.4: Kural 4'ü kullanarak çözüm



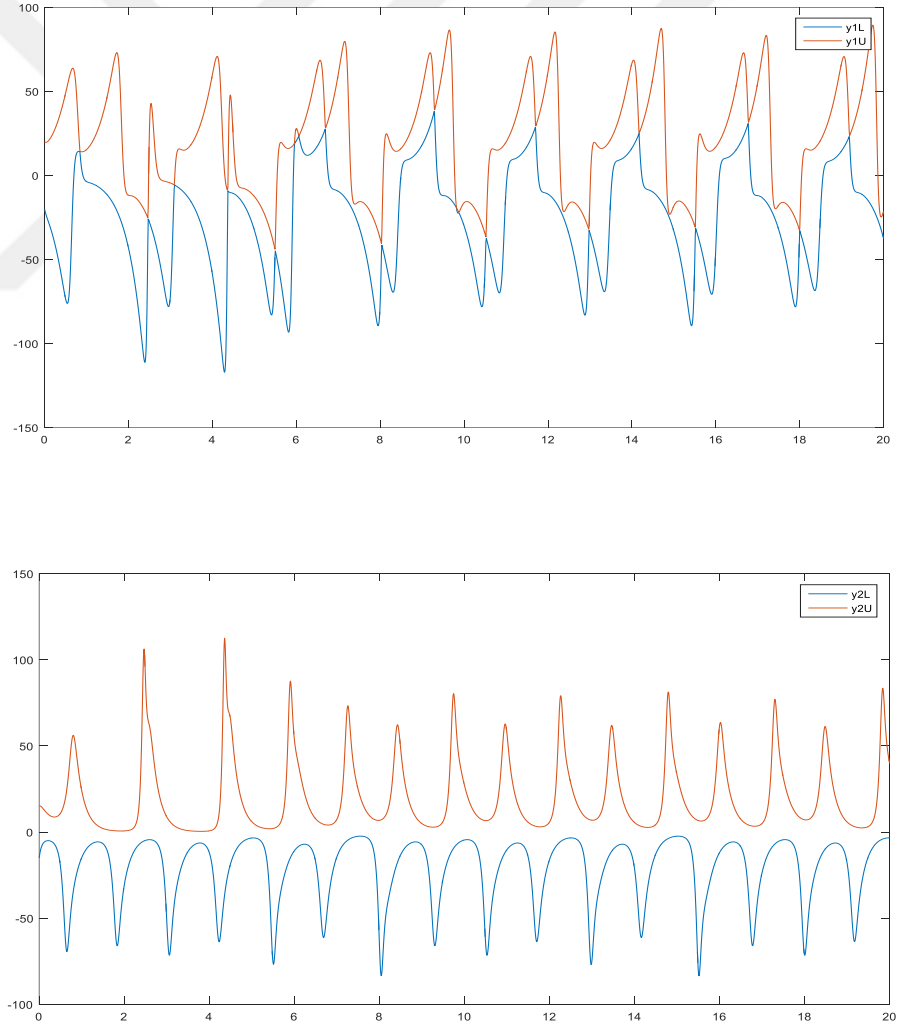
Şekil 3.4(devam):. Kural 4'ü kullanarak çözüm



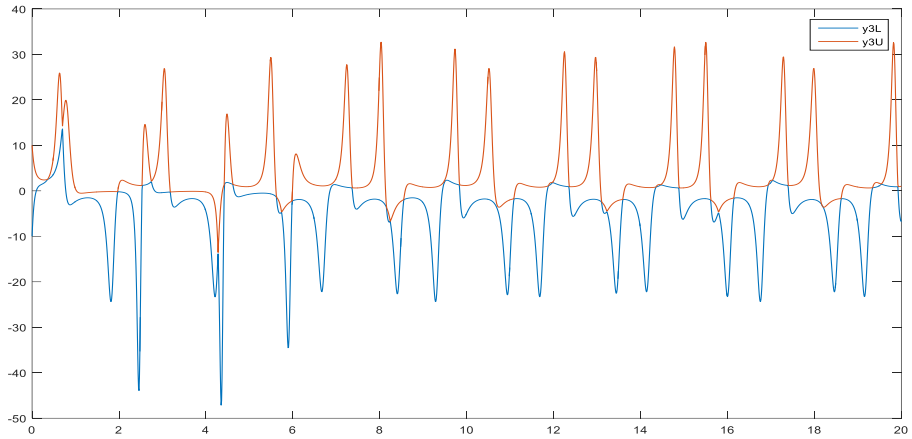
Şekil 3.5: Bulanık diferansiyel denklemin Hukuhara türevi kullanılarak çözümü



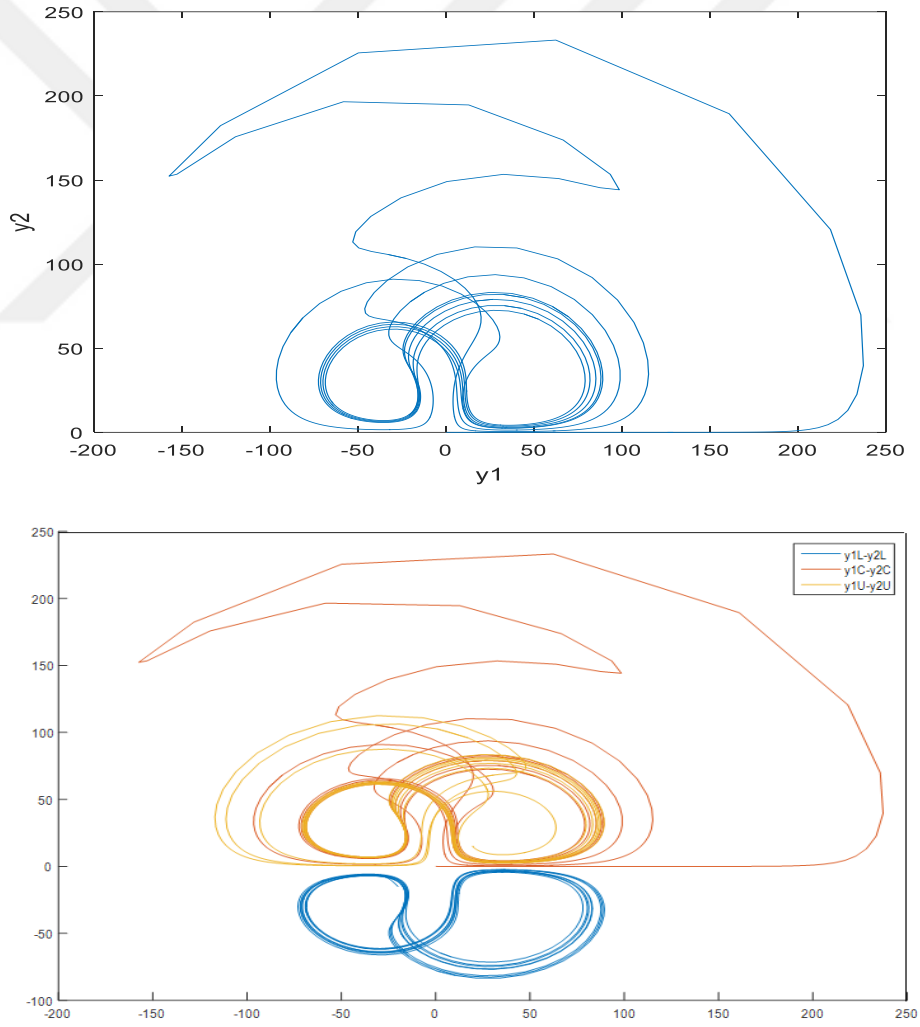
Şekil 3.5(devam): Bulanık diferansiyel denklemin Hukuhara türevi kullanılarak çözümü



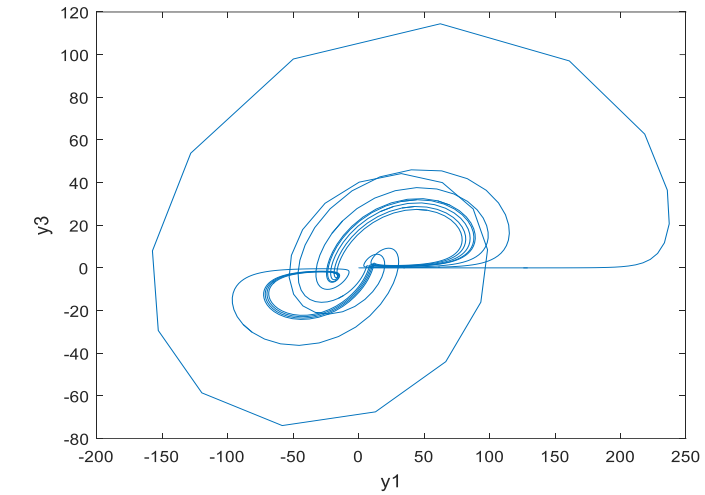
Şekil 3.6: Bulanık diferansiyel denklemin genelleştirilmiş türev kullanılarak çözülmesi

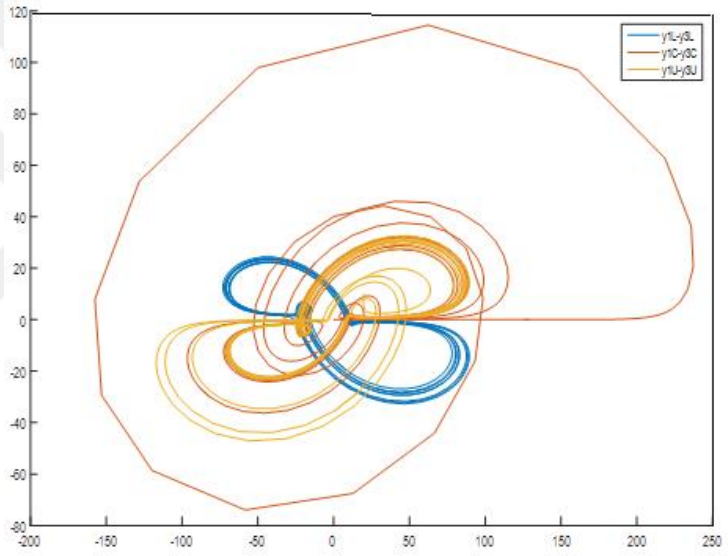


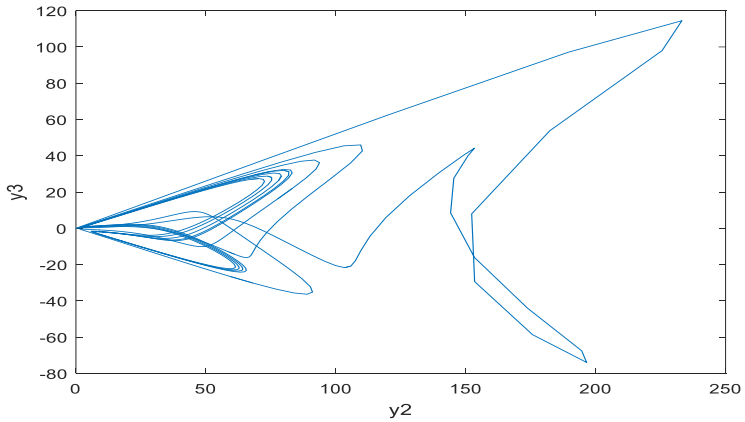
Şekil 3.6(devam): Bulanık diferansiyel denklemin genelleştirilmiş türev kullanılarak çözülmesi



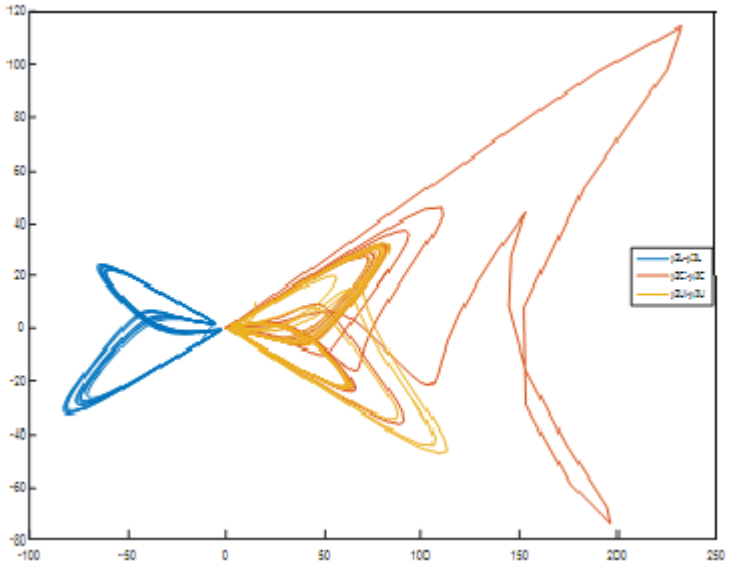
Şekil 3.7: Ele alınan bulanık kaotik Chen-Lee sistemi için faz şekilleri







Şekil 3.7(devam): Ele alınan bulanık kaotik Chen-Lee sistemi için faz şekilleri



Şekil 3.7(devam): Ele alınan bulanık kaotik Chen-Lee sistemi için faz şekilleri

Şekil 3.1-3.6'da gösterilen (3.1)'in çözümü, Runge-Kutta yöntemi kullanılarak sayısal olarak elde edilir. Bu amaçla Matlab yazılımının ode87 çözücüsü kullanılır. Bu çözücü 8. derecenin doğru bir entegratörüdür.

Matlab m dosyasındaki aşağıdaki kod, BDD sisteminin (3.1) çözümünü elde etmek için kullanılır:

fuzzyODE_ChenLeeSystem2.m

```
function dydt = fuzzyODE_ChenLeeSystem2(~,y)
global a1 b1 c1 d1 e1 r
P1=1/2.*(1+y(1)./d1);
P2=1/2.*(1-y(1)./d1);
Q1=1/2.*(1+y(2)./e1);
Q2=1/2.*(1-y(2)./e1);
 I1=(P1.*Q1./(P1+P2+Q1+Q2)).*r(1);
I2=(P1.*Q2./(P1+P2+Q1+Q2)).*r(2);
I3=(P2.*Q1./(P1+P2+Q1+Q2)).*r(3);
I4=(P2.*Q2./(P1+P2+Q1+Q2)).*r(4);
 dydt = zeros(3,1);  % a column vector
 dydt=[I1;I1;I1] .* [-e1*y(3)+a1*y(1);d1*y(3)+b1*y(2);d1*y(2)/3+c1*y(3)]+...
   [I2;I2;I2] .* [e1*y(3)+a1*y(1);d1*y(3)+b1*y(2);d1*y(2)/3+c1*y(3)]+...
   [I3;I3;I3] .* [-e1*y(3)+a1*y(1);-d1*y(3)+b1*y(2);-d1*y(2)/3+c1*y(3)]+...
   [I4;I4;I4] .* [e1*y(3)+a1*y(1);-d1*y(3)+b1*y(2);-d1*y(2)/3+c1*y(3)];
```

fuzzyODE_ChenLeeSystemResults2.m

```
clc; clear;
global a1 b1 c1 d1 e1 r
% a1 = 5.0; b1= -10.0; c1 = -38.0;
```

```
a1 = 5.2; b1= -10.3; c1 = -38;
d1=40.0; e1=30.0; f1=20.0;
% yR0 = [d1,e1,f1];
yR0 = [20.0,15.0,10.0];
y0 = [0.20,0.15,0.10];
yL0 = [-20.0,-15.0,-10.0];
% yL0 = [-d1,-e1,-f1];
 r = [1;1;1;1];
t0=0;tf=20.0;
options = odeset('RelTol',1e-6,'AbsTol',[1e-6],'InitialStep',0.01,'MaxStep',0.01);
[tR,yR] = ode87(@ fuzzyODE_ChenLeeSystem2,[t0,tf],yR0,options);
[t, y] = ode87(@ fuzzyODE_ChenLeeSystem2,[t0,tf],y0,options);
[tL,yL] = ode87(@ fuzzyODE_ChenLeeSystem2,[t0,tf],yL0,options.
```

Yukarıda verilen kurallara dayanarak kaotik iletişim sinyalleri üretilebilir. Kaotik sinyaller simülasyonu, farklı mühendislik uygulamalarında dikkate alınan temel sorunlardan biridir. Kaotik Chen-Lee sisteminin bulanık diferansiyel denklem tabanlı bir modeli düşünülmektedir.

Davranış sinyalleri eğer öyleyse kuralları kullanılarak analiz edilir. Bu, ele alınan kaotik sinyallerin elektronik devrelerle temsil edilebileceği anlamına gelir.

3.2. LORENZ SİSTEMİ İLE KAOTİK SİNYALLERİN ÜRETİLMESİ

Lorenz sistemi için:

$$\begin{aligned} dx/dt &= a*(y - x) \\ dy/dt &= c*x - y - x*z \\ dz/dt &= x*y - b*z \end{aligned} \tag{3.2}$$

Başlangıç koşulları: x(0) = -0.1 , y(0) = 0.2 , z(0) = 0.30;

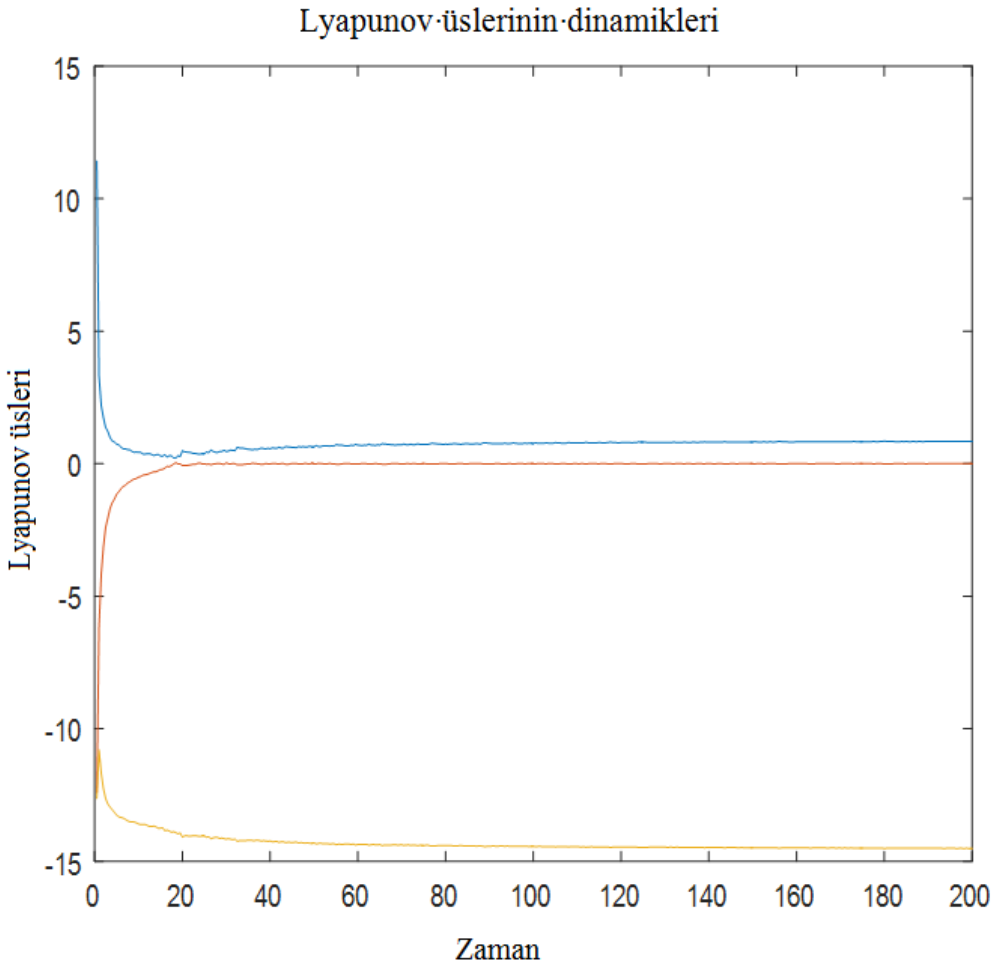
x'i x1, y'yi x2 ve z'yi x3 ile gösterilir.

Eğer a=10, b=8/3 ve c=28 ise,

Lorenz sisteminin kaotik bir davranışı vardır. Bu parametrelerle tanımlanan Lorenz sistemi için Lyapunov üs değerleri aşağıdaki gibidir.

LE1 = 0.9022, LE2 = 0.0003, LE3 = -14.5691.

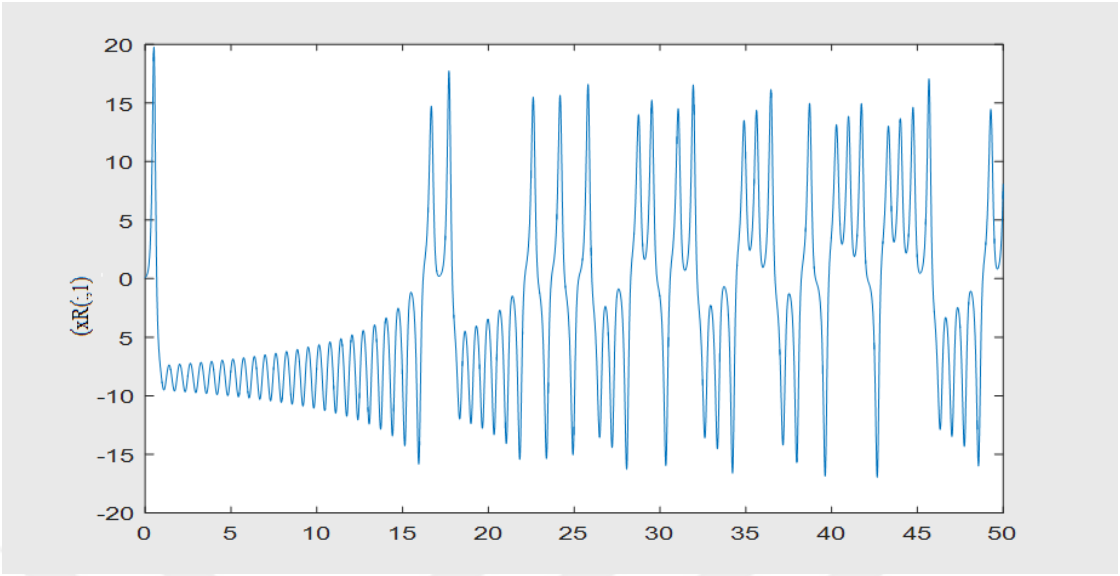
Lyapunov üslerinin dinamikleri Şekil 3.8'de verilmiştir.



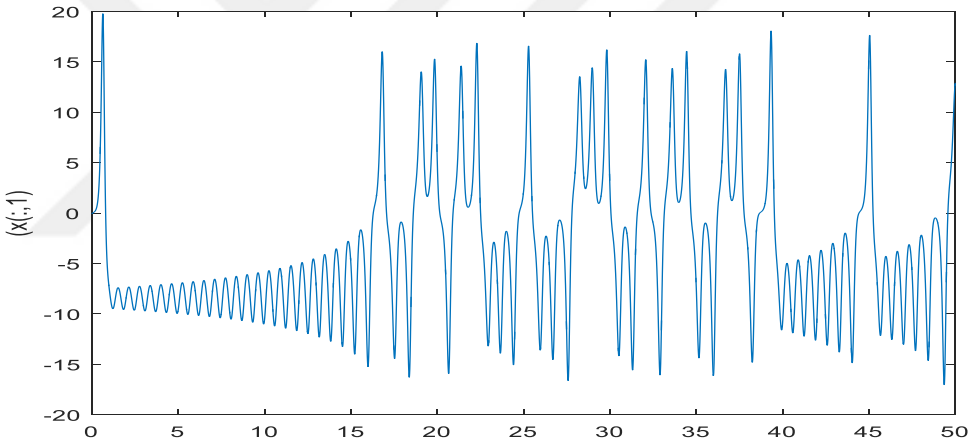
Şekil 3.8: Lyapunov üslerinin dinamikleri

```
xR0 = [0.10; 0.30; 0.40];
x0 = [-0.10; 0.20; 0.30];                                    (3.3)
xL0 = [-0.20; 0.10; 0.20];
```

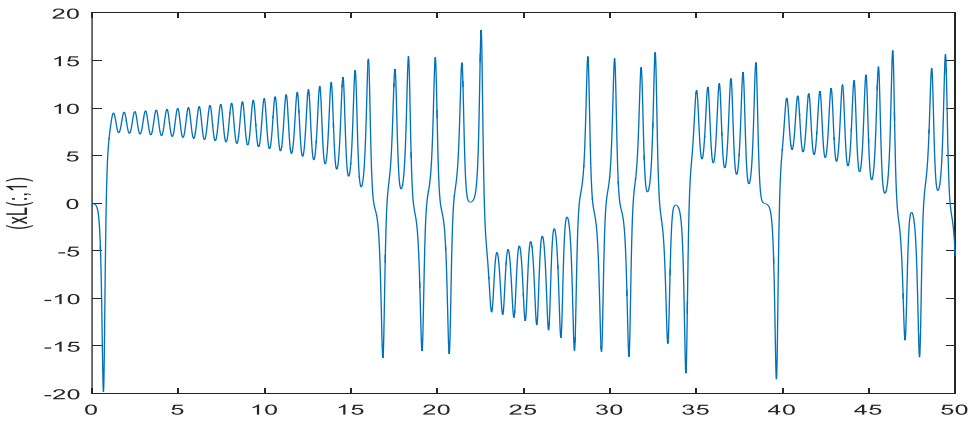
Başlangıç koşullarında dikkate alınan Lorenz'in bulanık yörüngelerinin bileşenleri aşağıdaki şekillerde gösterilir (Şekil 3.9-3.53).



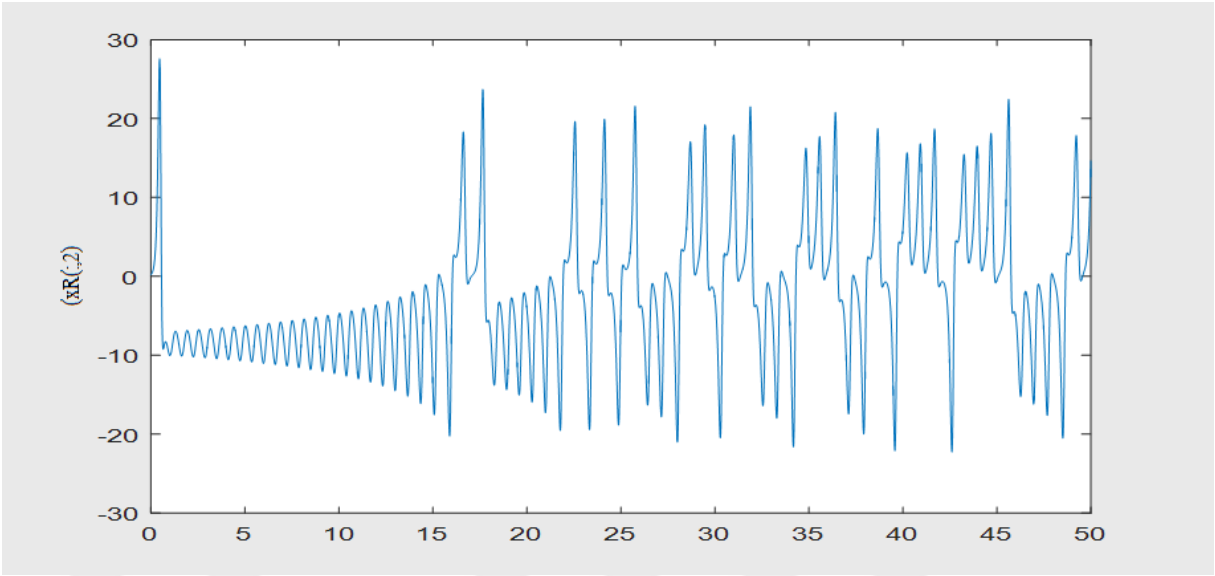
Şekil 3.9: x 1R (t) - sağ genişlemenin yörüngesi (xR(:,1)=x1R(t))



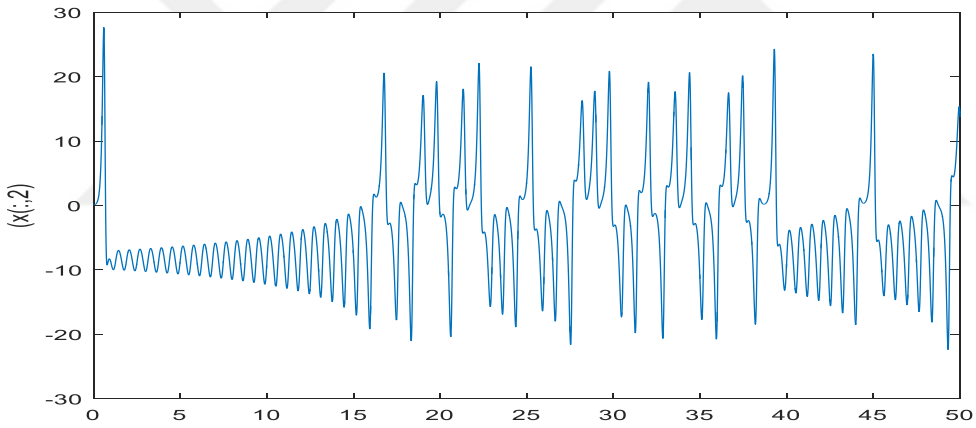
Şekil 3.10: - x1 (t) yörünge (x(:,1)=x1(t))



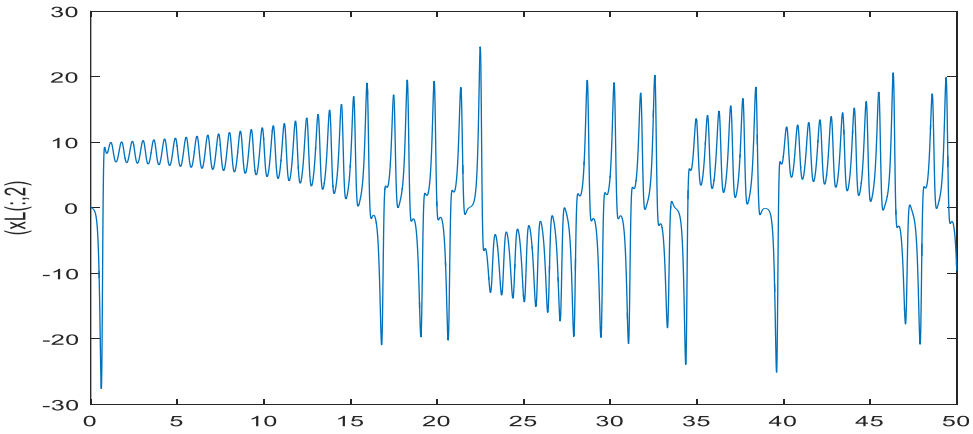
Şekil 3.11: x1L (t) - sol genişlemenin yörüngesi (xL(:,1)=x1L(t))



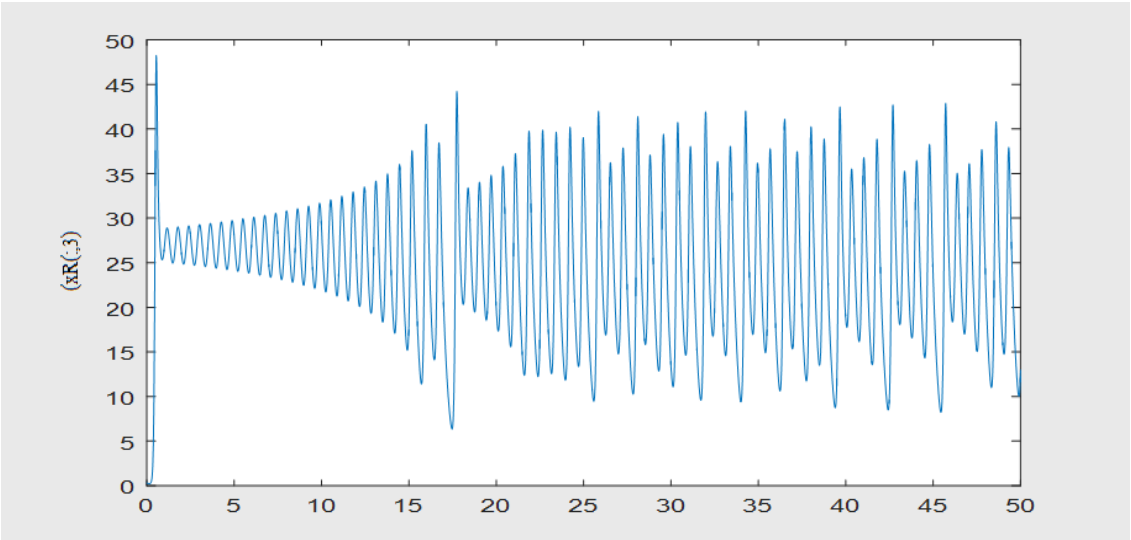
Şekil 3.12: x2R (t) - sağ genişlemenin yörüngesi (xR(:,2)=x2R(t))



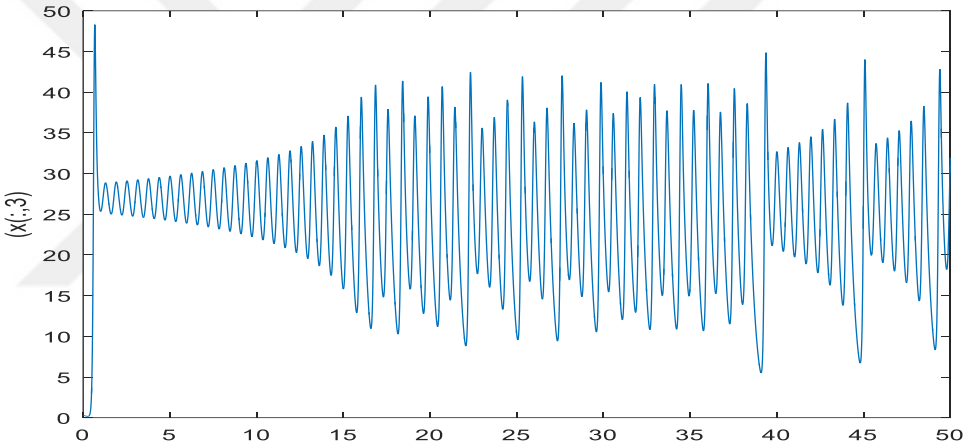
Şekil 3. 13: - x2 (t) yörünge (x(:,2)=x2(t))



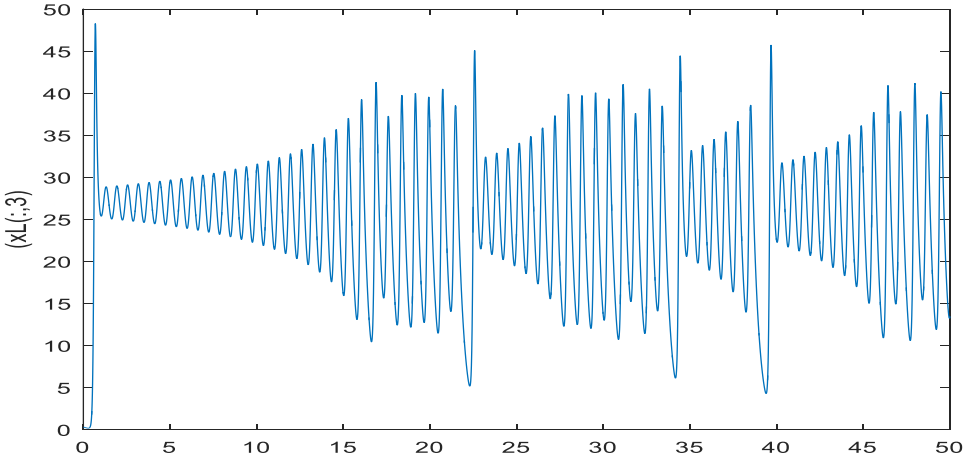
Şekil 3.14: x2L (t) - sol genişlemenin yörüngesi (xL(:,2)=x2L(t))



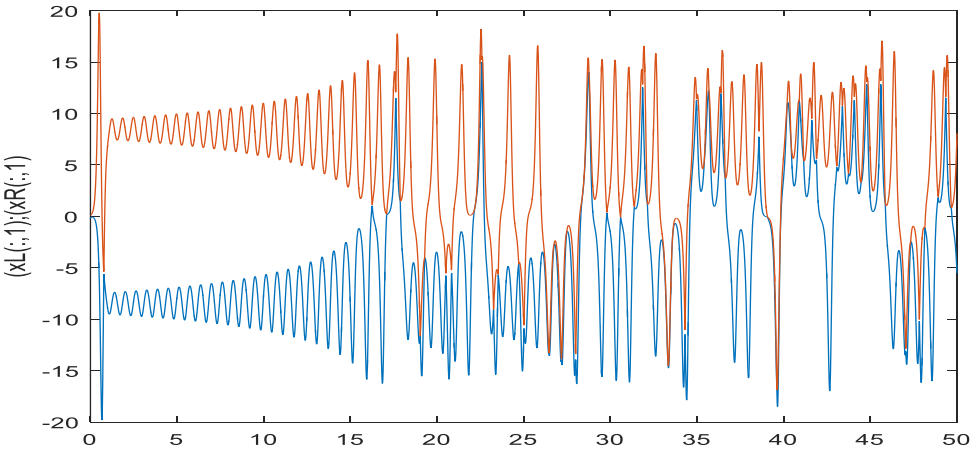
Şekil. 3.15: x3R (t) - sağ genişlemenin yörüngesi (xR(:,3)=x3R(t))



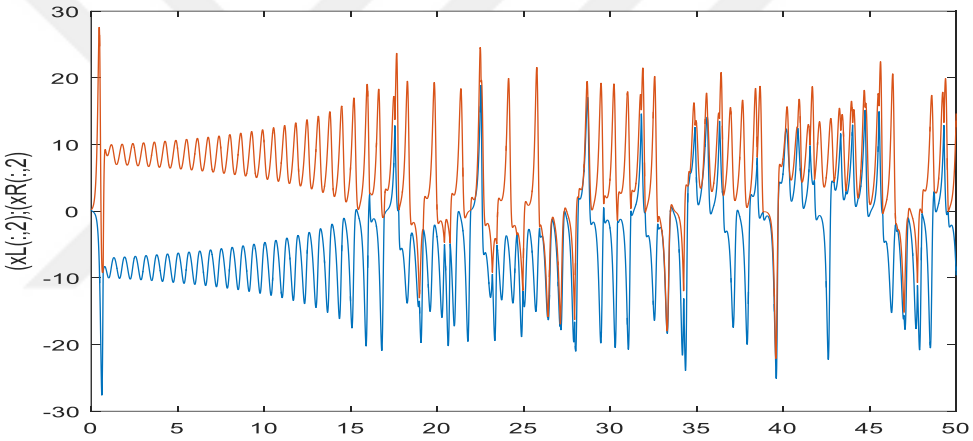
Şekil.3.16: x3 (t) – yörünge (x(:,3)=x3(t))



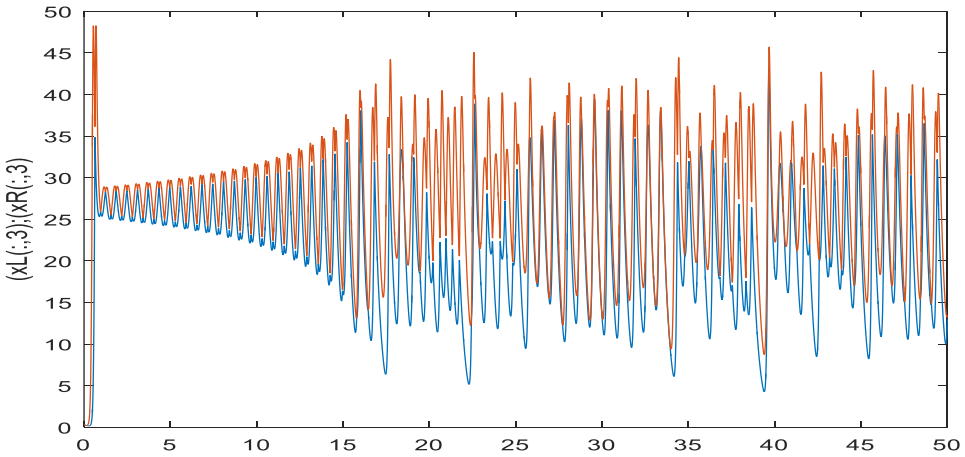
Şekil 3.17: x3L (t) - sol genişlemenin yörüngesi (xL(:,3)=x3L(t))



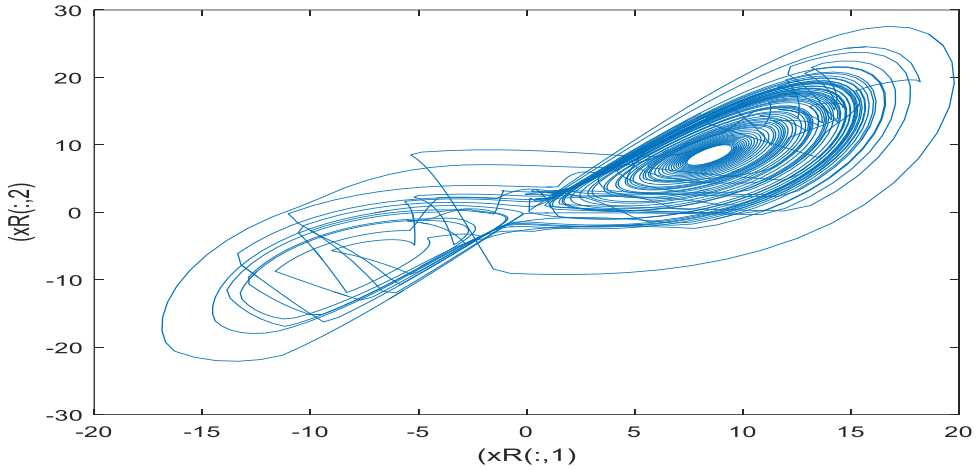
Şekil 3.18: Bulanık x1 - yörünge



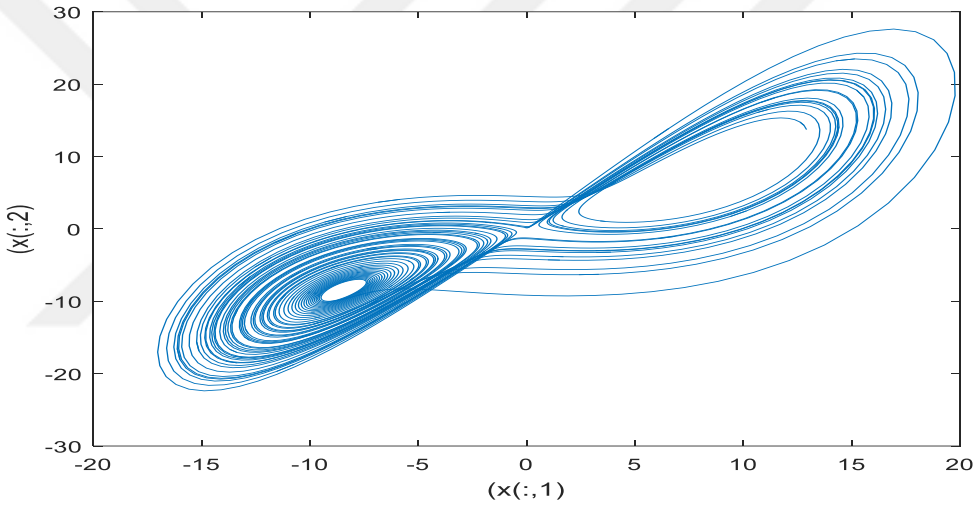
Şekil 3.19: Bulanık x2 - yörünge



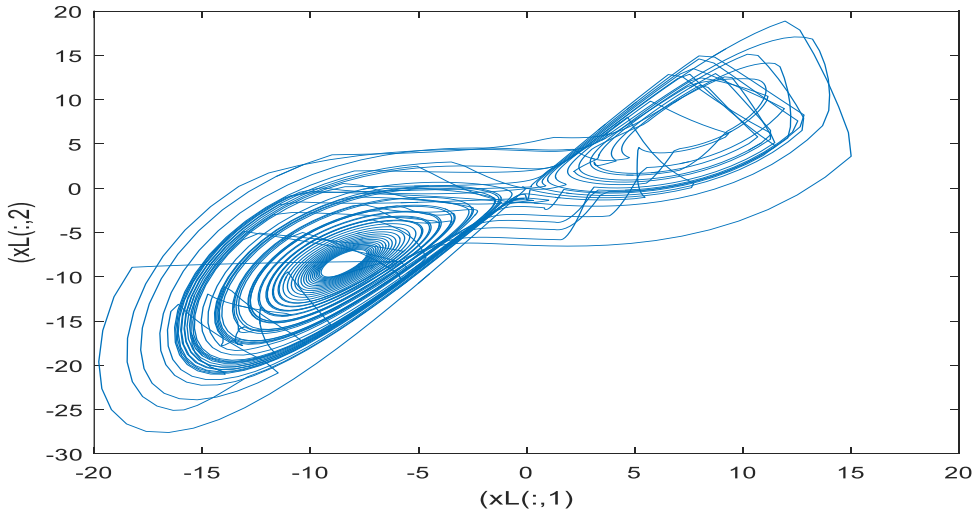
Şekil 3.20: Bulanık x3 - yörünge



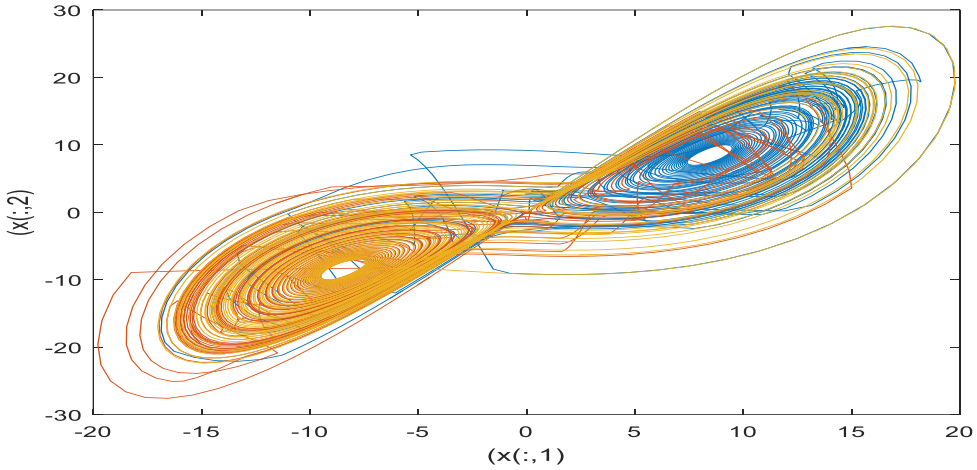
Şekil 3.21: Sağ genişlemenin faz şekli x1R (t) ve x2R (t)



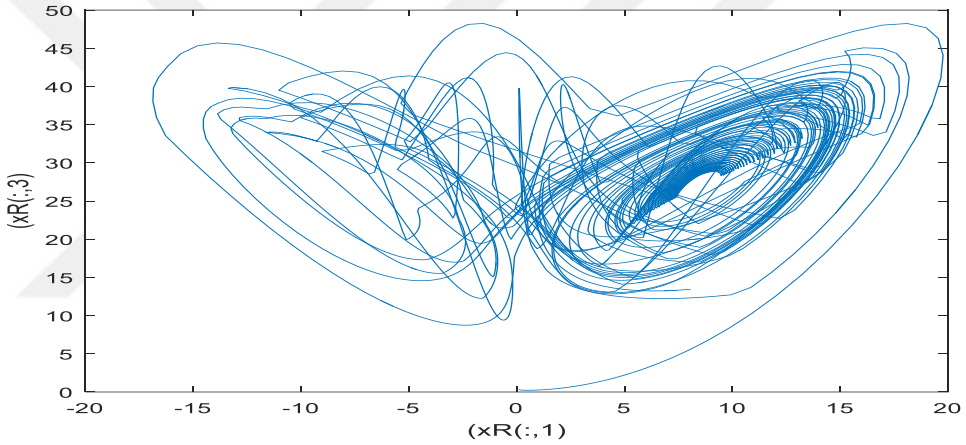
Şekil 3. 22: x1 (t) ve x2 (t) faz şekli



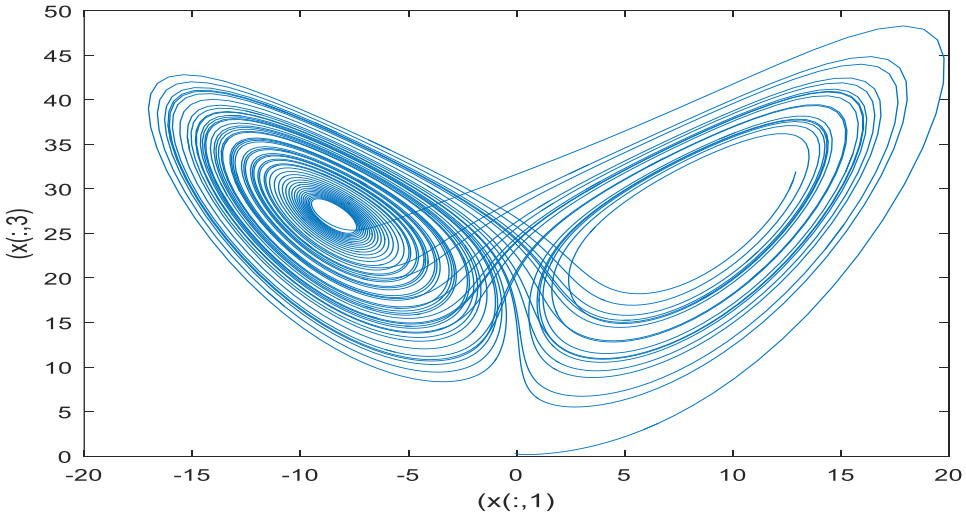
Şekil 3.23: Sol genişlemenin faz şekli x1L (t) ve x2L (t)



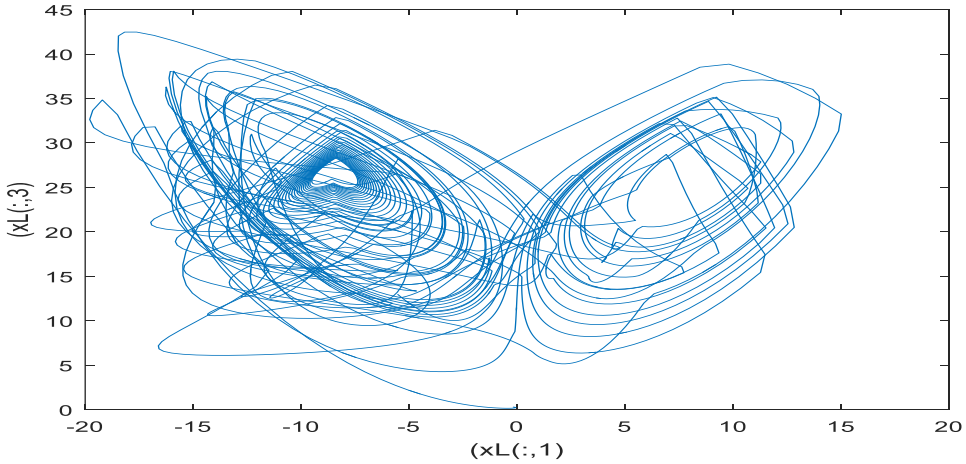
Şekil 3.24: Bulanık x1 (t) ve x2 (t) faz şekli



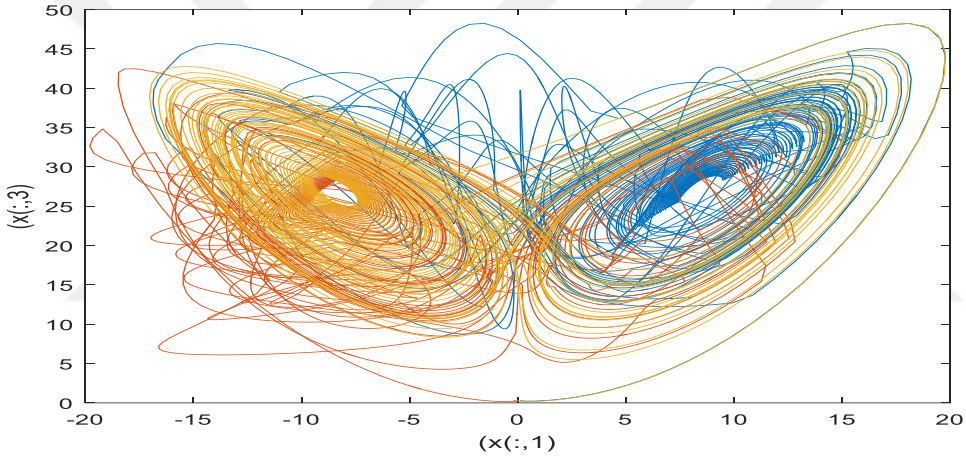
Şekil.3.25: Sağ genişlemenin faz şekli x1R (t) ve x3R (t)



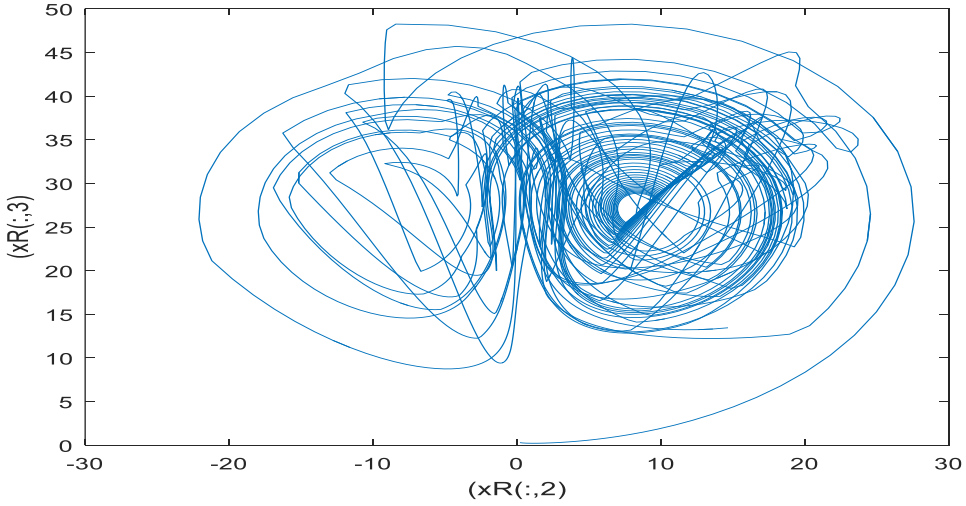
Şekil 3.26: X1 (t) ve x3 (t) faz şekli



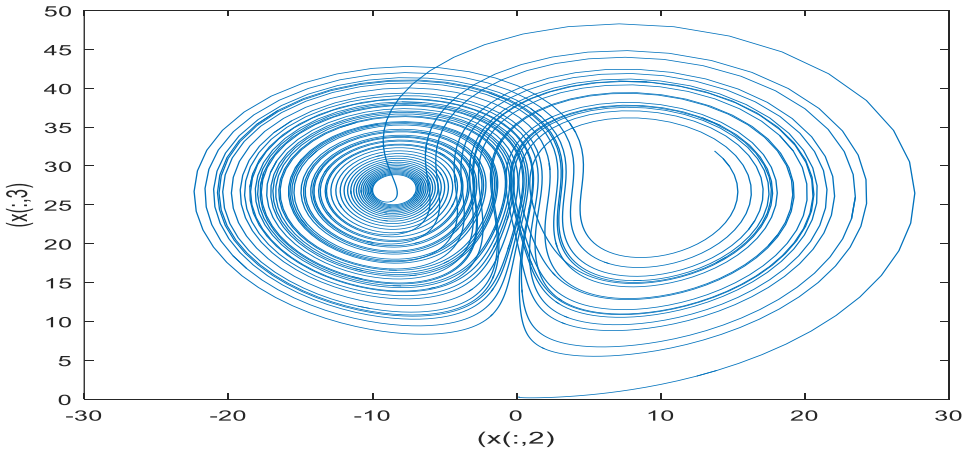
Şekil 3.27: Sol genişlemenin faz şekli x1L (t) ve x3L (t)



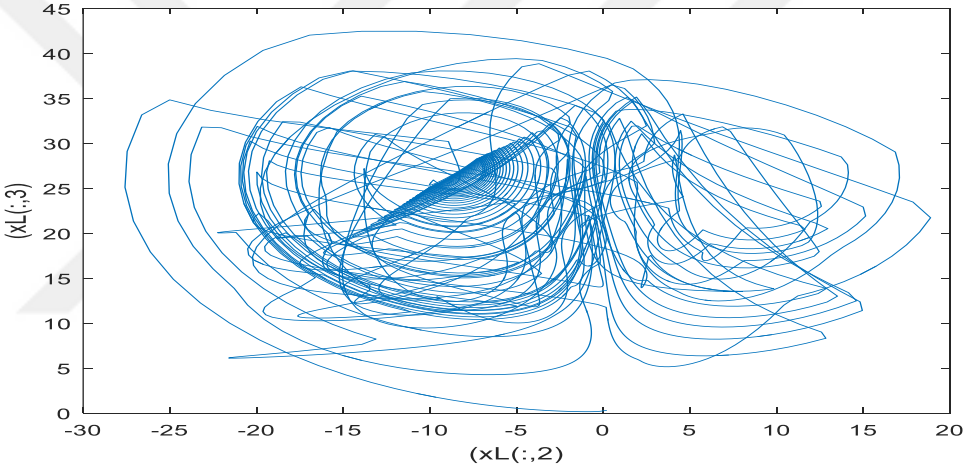
Şekil 3.28: Bulanık x1 (t) ve x3 (t) faz şekli



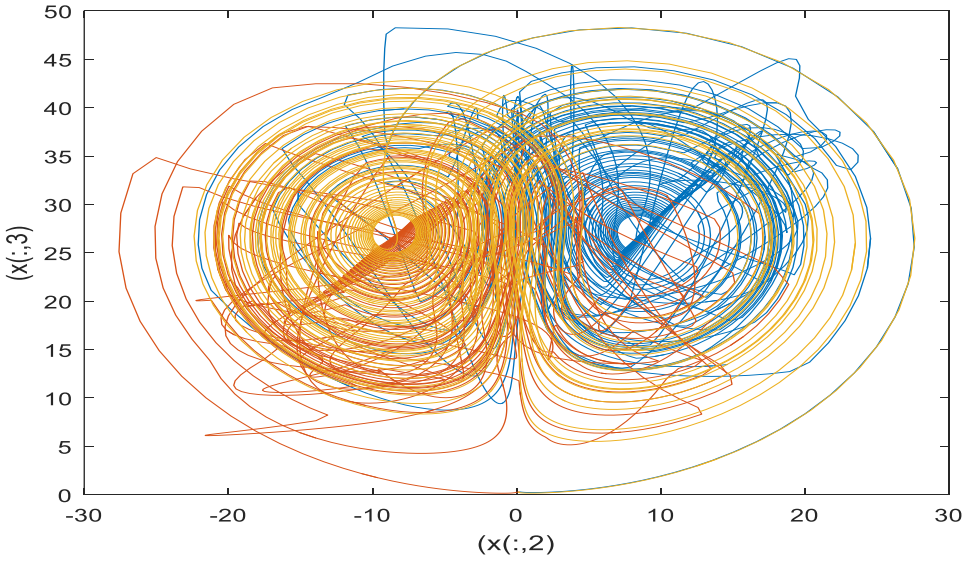
Şekil 3.29: Sağ genişlemenin faz şekli x2R (t) ve x3R (t)



Şekil.3.30: X2 (t) ve x3 (t) faz şekli



Şekil 3.31: Sol genişlemenin faz şekli x2L (t) ve x3L (t)

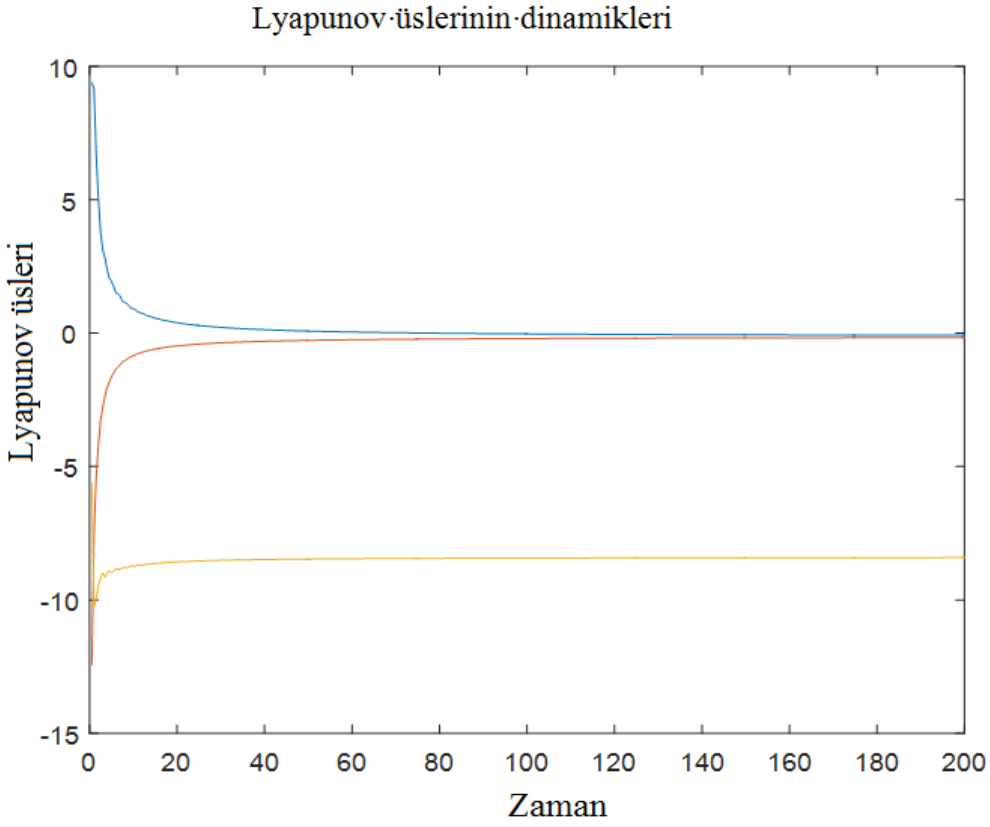


Şekil 3.32: Bulanık x2 (t) ve x3 (t) faz şekli

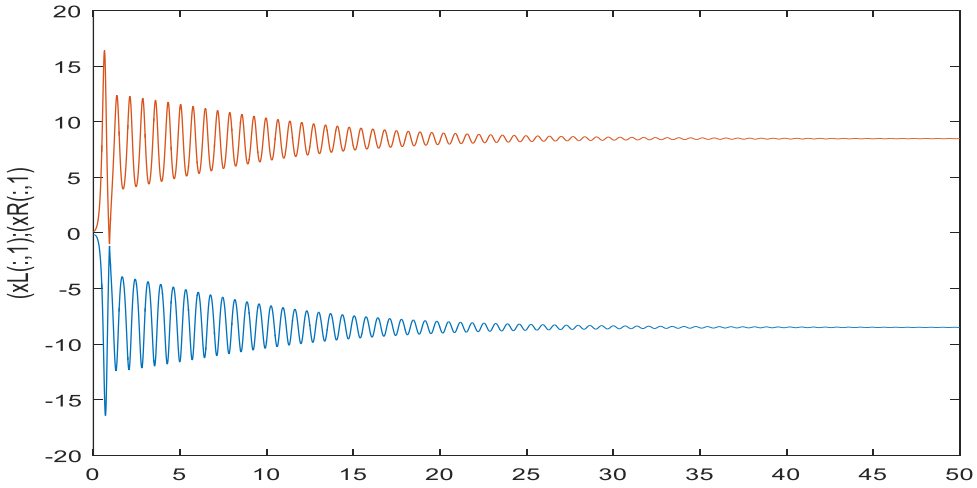
3.3.DUYARLILIK ANALİZİ

Kaotik sistemler, başlangıç koşullarına ve parametrelerin değerlerine son derece duyarlı dinamik sistemlerdir. Bu duyarlılık yaygın olarak kelebek etkisi olarak bilinir [31,32]. Kaos fenomeni ilk olarak hava modellerinde Lorenz tarafından gözlemlenmiştir [33]. Lyapunov üssü, başlangıçta çok yakın olan faz noktalarının farklılığının bir ölçüsüdür ve kaotik sistemleri ölçmek için kullanılabilir. Pozitif bir maksimum Lyapunov üssü ve faz boşluğu kompaktlığı genellikle kaotik bir sistem için tanımlayıcı koşullar olarak alınır.

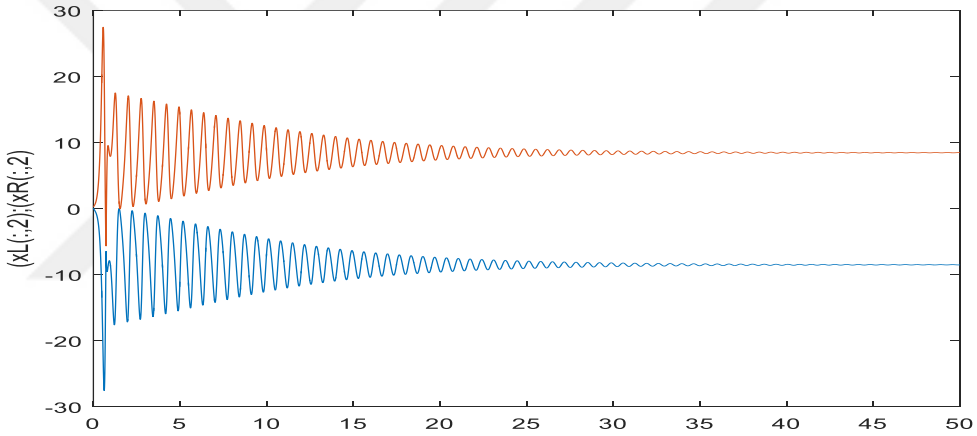
LE1 = -0.082430, LE2 = -0.168676, LE3 = -8.415582. Özel durumlar için, $a=5$, $b=\frac{8}{3}$, $c=28$ Lyapunov üs değerleri aşağıdaki gibidir (Şekil.3.33): LE1 = -0.082430, LE2 =-0.168676 , LE3 = -8.415582.



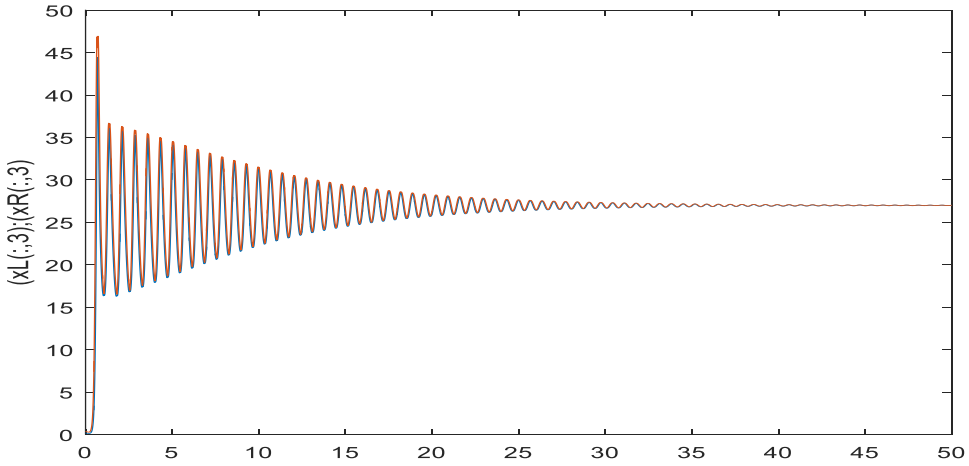
Şekil 3.33: Lyapunov üslerinin dinamikleri



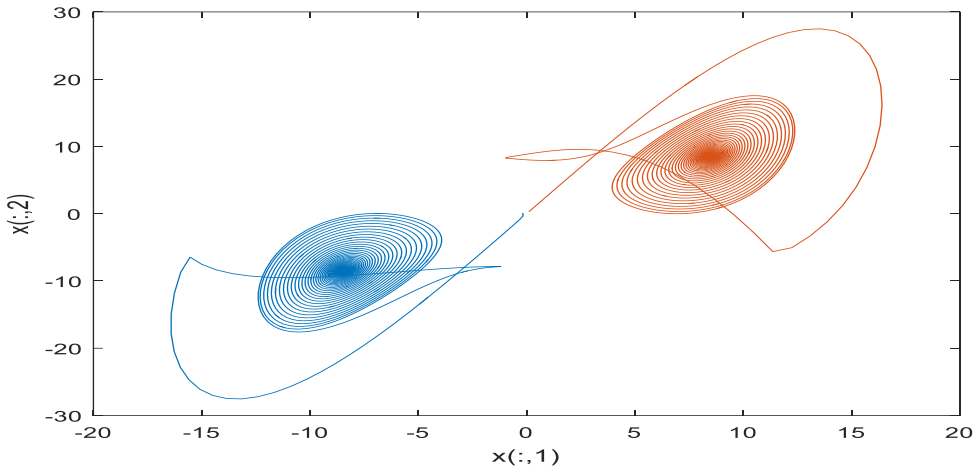
Şekil 3.34: x1 Bulanık yörünge (x1l, x1R) = (- 8.4945, 8.4930)



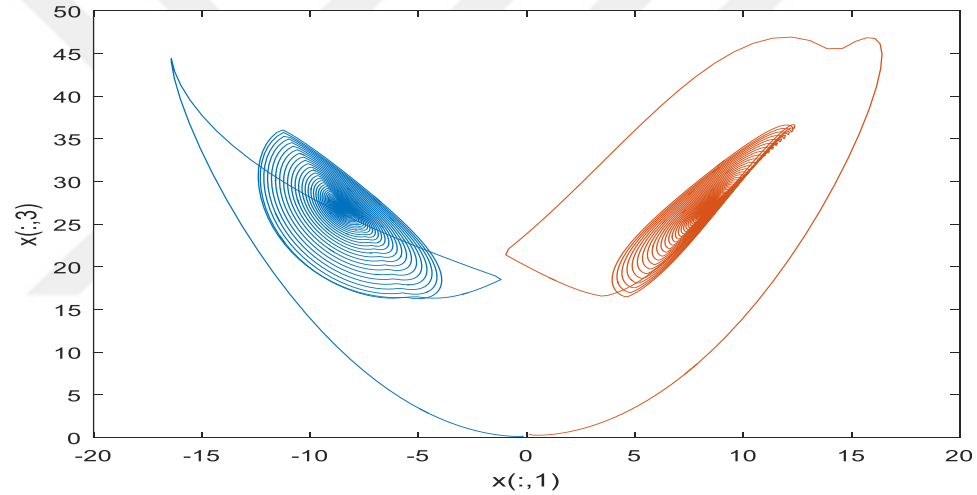
Şekil 3.35: x2 Bulanık yörünge (x2L, x2R) = (- 8.4976, 8.5028)



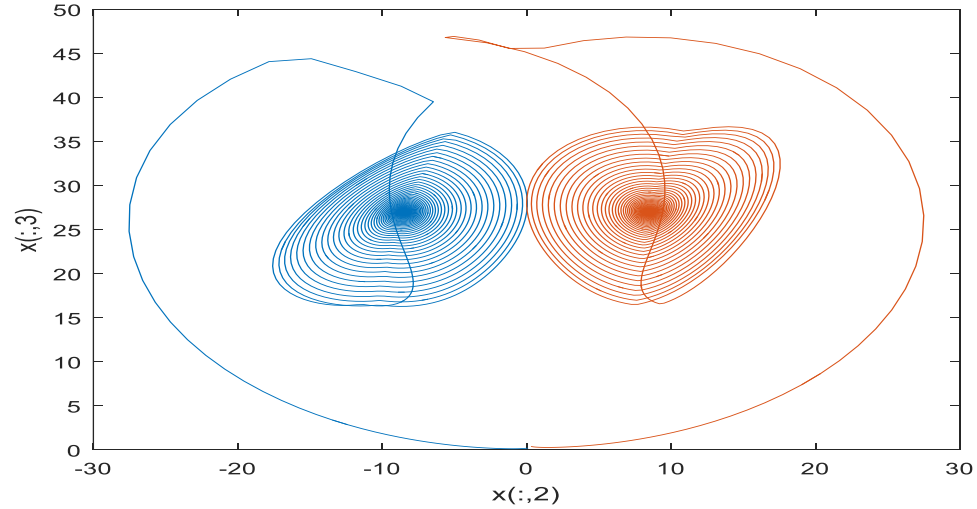
Şekil 3.36: x3 Bulanık yörünge x3 (x3L,x3R)=(27.0089, 27.0166)



Şekil 3.37 Bulanık x1 (t) ve x2 (t) faz şekli



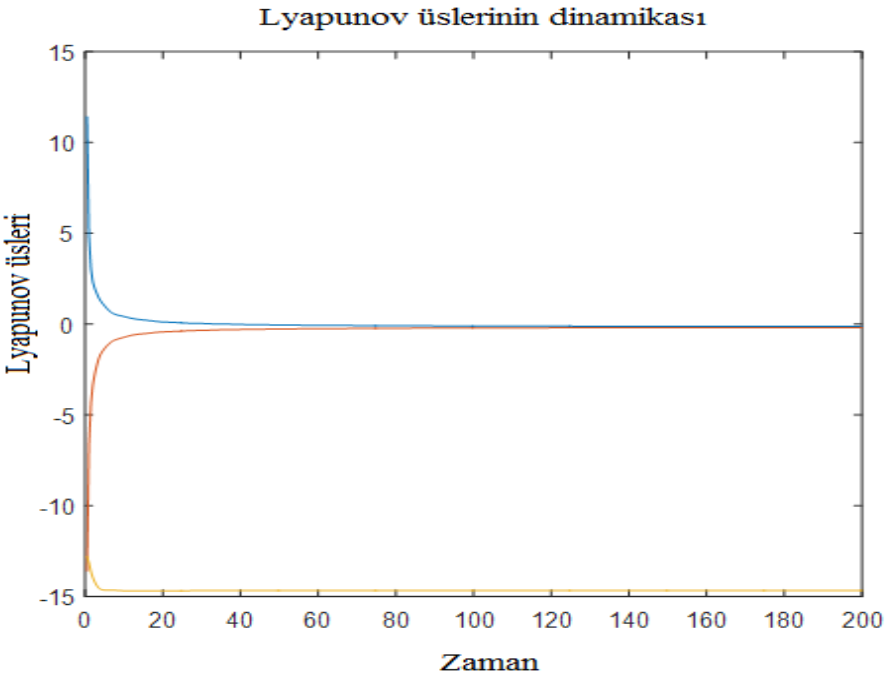
Şekil.3.38: Bulanık x1 (t) ve x3 (t) faz şekli



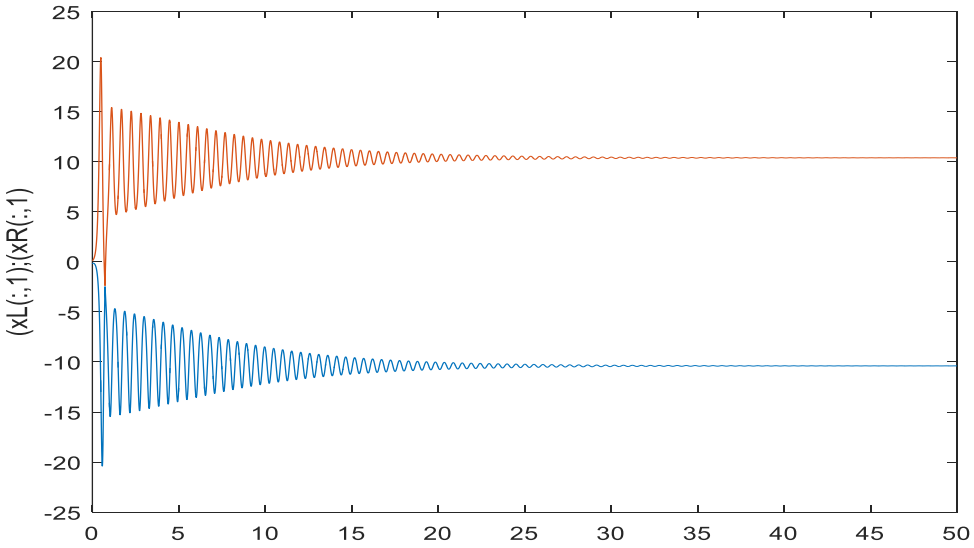
Şekil 3.39: Bulanık faz x2 (t) ve x3 (t) faz şekli

Eğer $a=10$, $b=\frac{12}{3}$, $c=28$ öyleyse Lyapunov üs değerleri aşağıdaki gibidir (bkz.Şekil 3.40-3.46):

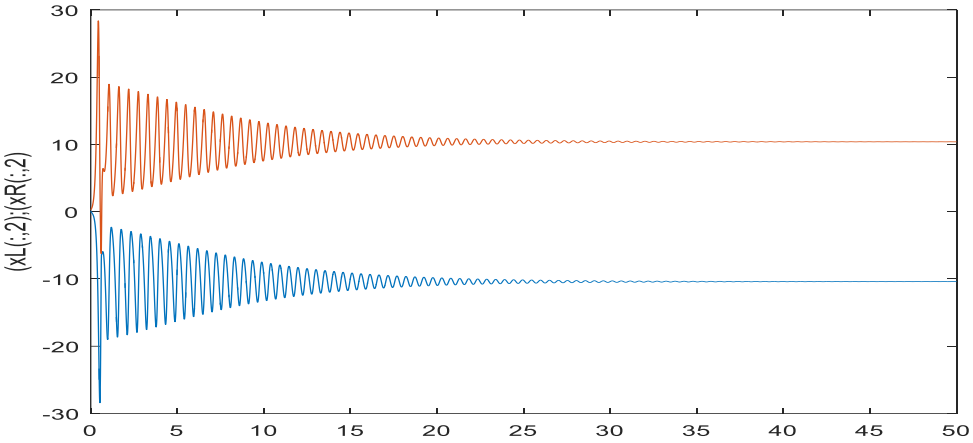
LE1 = -0.135132, LE2 = -0.190124, LE3 = -14.672789.



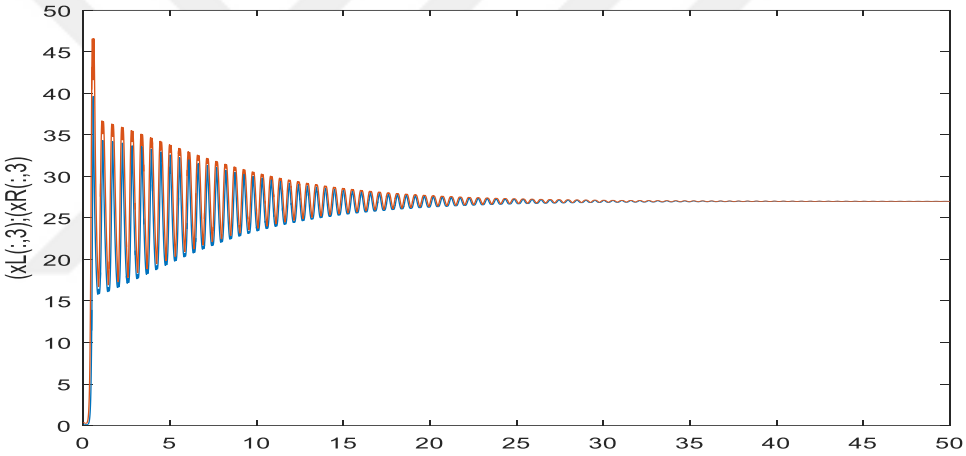
Şekil 3.40: Lyapunov üslerinin dinamikleri



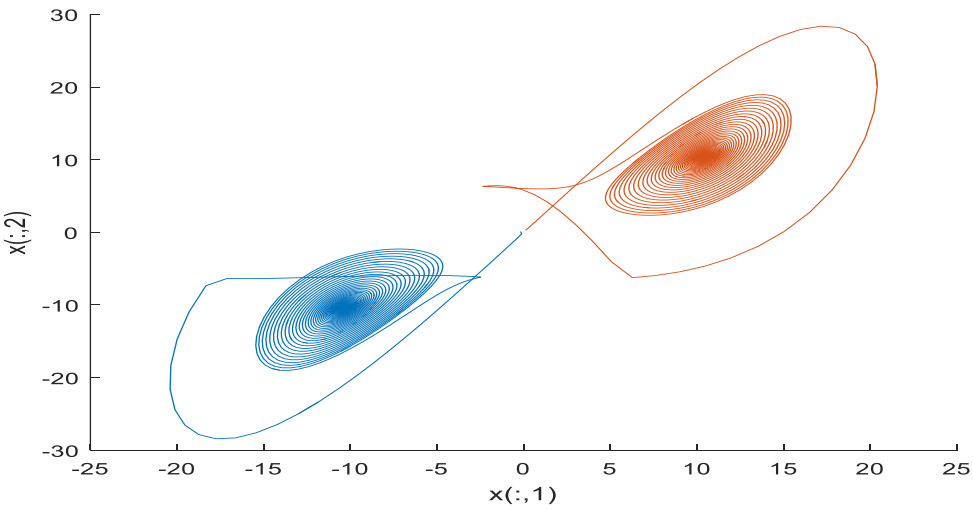
Şekil 3.41: x1 Bulanık yörünge (x1L, x1R) = (- 10.3921, 10.39)



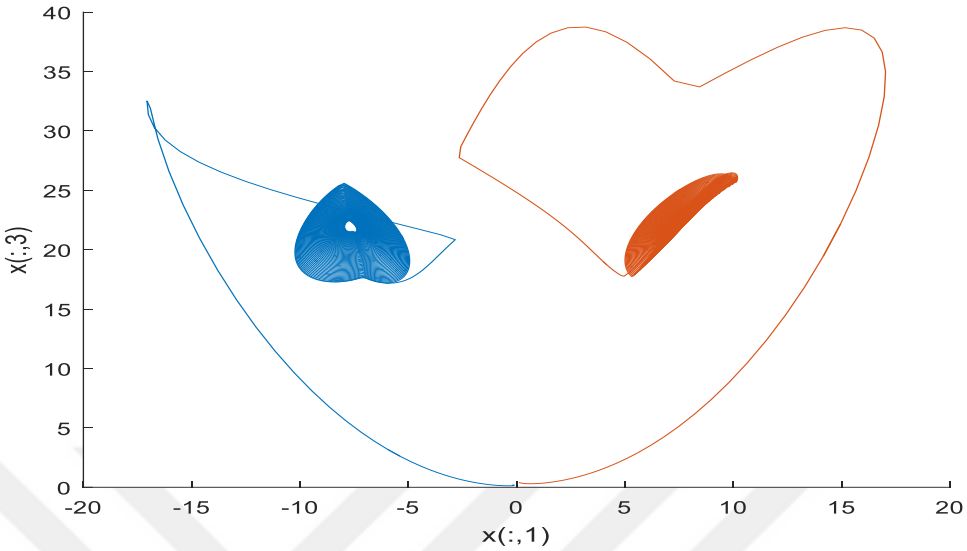
Şekil 3.42: x2 Bulanık yörünge (x2L,x2R)=(-10.3955, 10.3919)



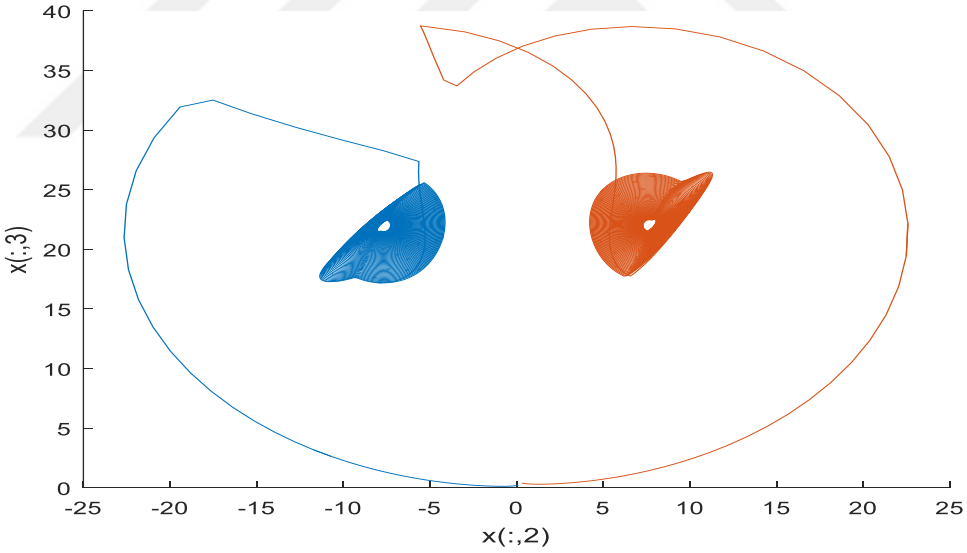
Şekil 3.43: x3 Bulanık yörünge (x3L, x3R) = (26.9948, 26.9963)



Şekil.3.44: Bulanık şekil x1 (t) ve x2 (t)



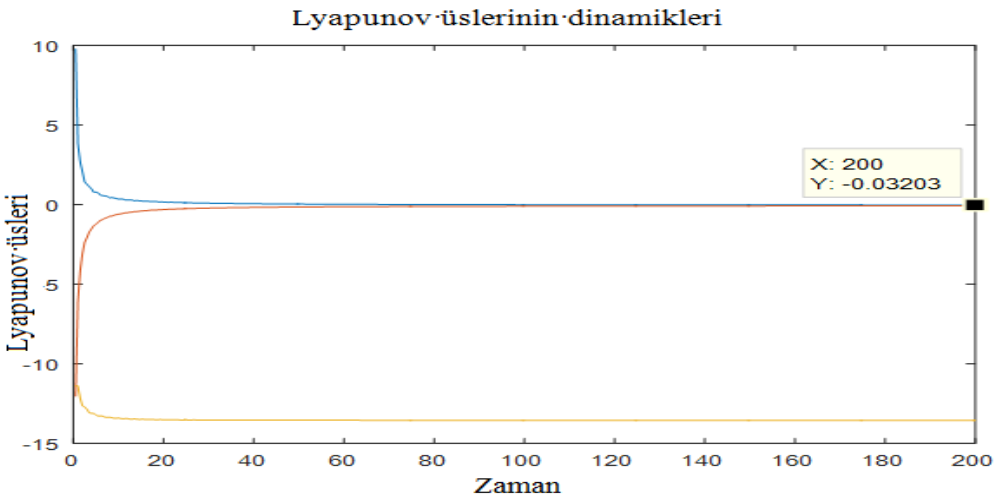
Şekil.3.45: Bulanık şekil x1 (t) ve x3 (t)



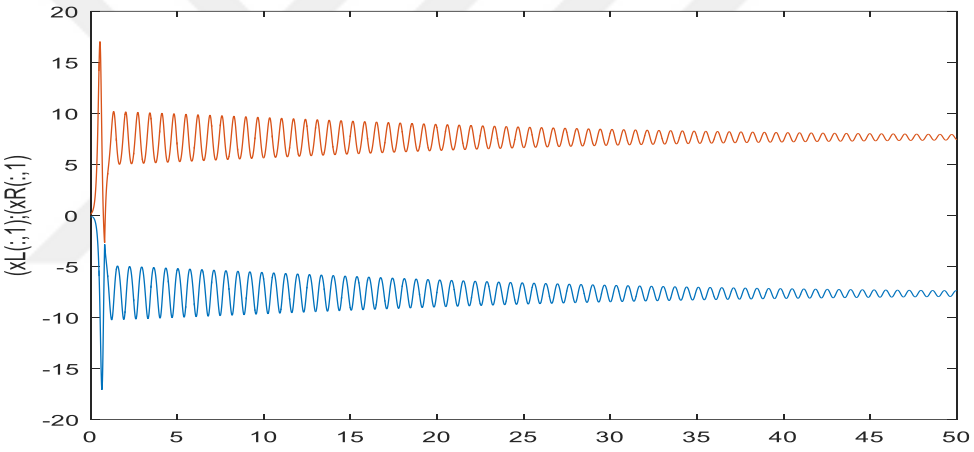
Şekil 3.46: Bulanık şekil x2 (t) ve x3 (t)

Eğer $a=10$, $b=\frac{8}{3}$, $c=23$ Öyleyse Lyapunov üs değerleri aşağıdaki gibidir (bkz. Şekil 3.47-3.53):

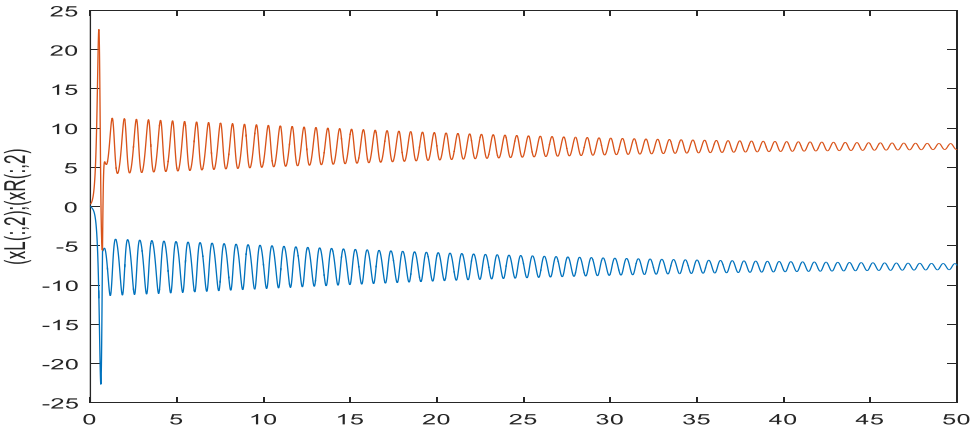
LE1 =-0.032029 , LE2 = -0.078815 , LE3 = -13.554569.



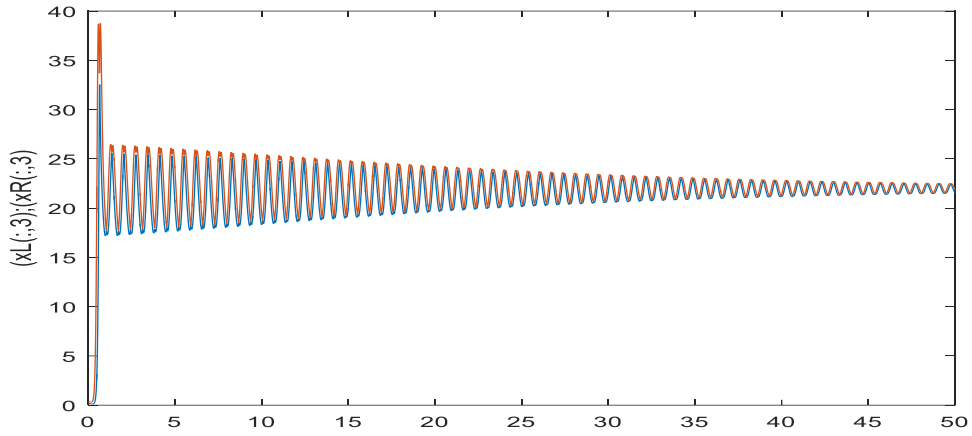
Şekil 3.47: Lyapunov üslerinin dinamikleri



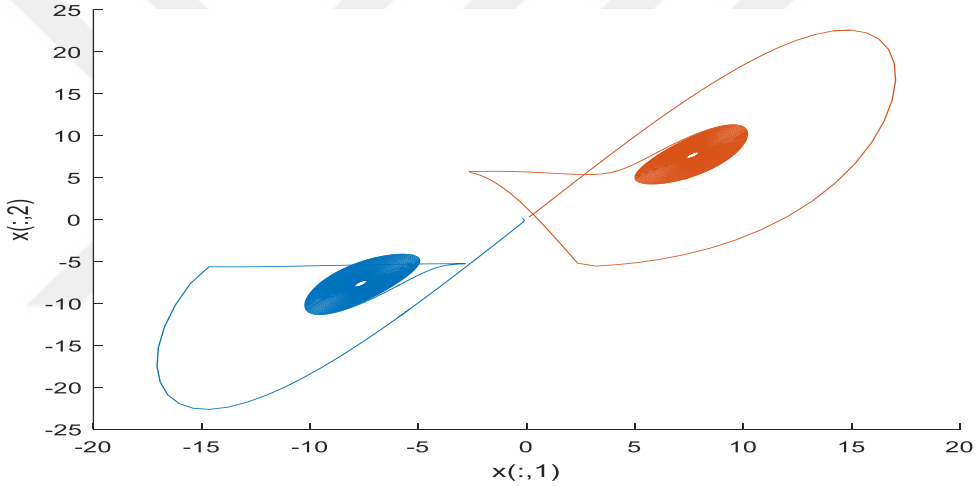
Şekil 3.48: x1 (x1L, x1R) = (- 7.39631, 7.4053) bulanık yörüngesi



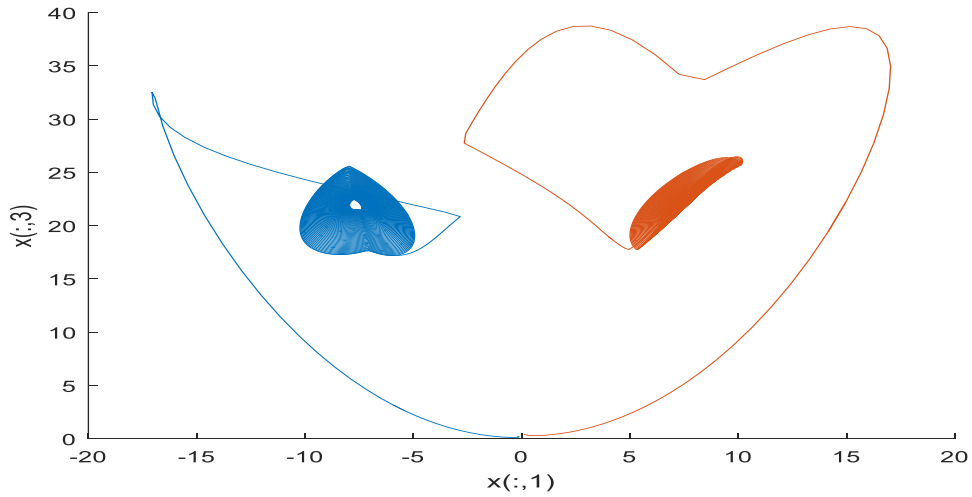
Şekil 3.49: x2'nin bulanık yörüngesi (x2L, xR) = (- 7.49846, 7.31011)



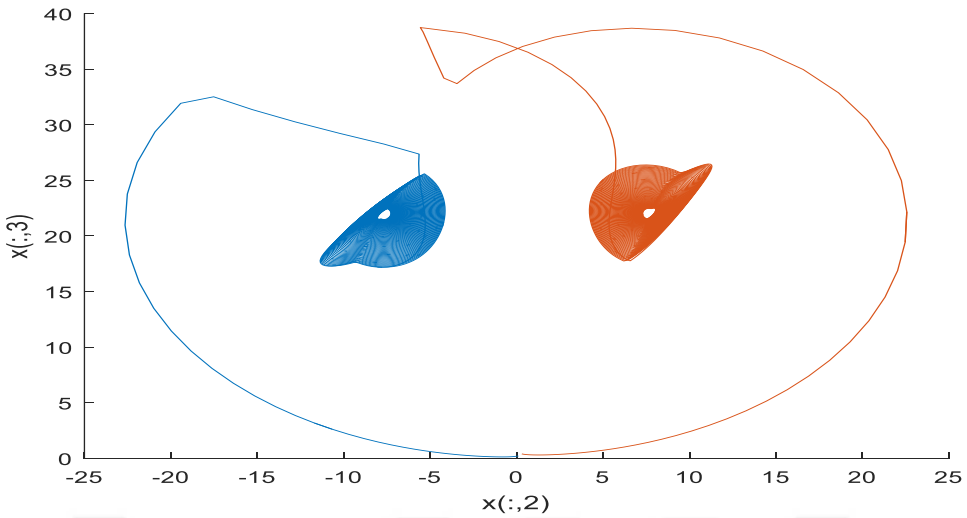
Şekil 3.50: x3 (x3L, x3R) = (21.5552, 21.8512) bulanık yörüngesi



Şekil 3.51: x1 (t) ve x2 (t) bulanık faz şekilleri



Şekil 3.52: x1 (t) ve x3 (t) bulanık faz şekilleri



Şekil 3.53: x2 (t) ve x3 (t) 'in bulanık faz şekilleri

Unutulmamalıdır ki, $b=\frac{8}{3}$, $c=28$ ve $a\in(6,18)$ ve ya $a=10$, $c=28$ ve $b\in(\frac{1}{55},\frac{11}{3})$ veya $a=10$, $b=\frac{8}{3}$ veya $c>24$ ise Lorenz sisteminin davranışı kaotiktir.

k, λ1, λ2, λ3 parametrelerinin değerleri kullanılarak Lyapunov boyutu hesaplanır.

Bu durumda, yukarıda elde edilen parametre değerlerini kullanarak, örneğin k=2, λ_1=0.9022; λ_2=0.0003 ve λ_3=-14.5691 aşağıdaki sonuçlar tanımlanır:

$$DL = \mathrm{k} + \frac{\lambda 1+\lambda 2+\cdots+\lambda k}{|\lambda k+1|} \qquad (3.4)$$

burada

$k = \text{maks}\{i: \lambda 1 + \lambda 2 + \cdots + \lambda i > 0\}$

k=maks{i:$\lambda 1 + \lambda 2 > 0$}=2

$DL = \mathrm{k} + \frac{\lambda 1+\lambda 2}{|\lambda 3}$=$2 + \frac{0.9022+0.00031}{|-14.5691|} = 2 + 0.061946 = 2.061946$

Yukarıda belirtilen denklem, kaotik çekerin boyutunu belirlemek için sadece ilk k + 1 Lyapunov üslerinin önemli olduğunu göstermektedir. [34,35] 'te bilimsel olarak kanıtlanmıştır ki tüm durumlarda DL = DF olur.

Elbette bu doğruysa, o zaman yukarıda verilen denklem, dinamik hareket denklemleri biliniyorsa çekerin boyutunu tahmin etmek için kolay bir yol sağlar. Bu, genellikle DL ve DF'nin yaklaşık olarak eşit olduğu durumdur.

R parametresi olarak Lorenz çekerinin hesaplanan Lyapunov boyutunun r> 24 aralığında değiştiği açıktır. Lyapunov boyutu neredeyse sabittir ve ortalama değer yaklaşık 2,06'dır. Bu değer, [36] 'da verilen Lorenz çekerinin korelasyon boyutu ile tutarlıdır.

Oluşturulan çip temelinde elde edilen Lyapunov'un boyutu da fraktal boyutuna yaklaşık 2.057219 eşittir: DL = DF (LE1 = 0.827589, LE2 = 0.001656, LE3 = -14.492456 ve DL=2 + (0.827589 + 0.001656) / (14.492456) = 2.057219).

4. KAOTİK ELEKTRONİK DEVRENİN UYGULANMASI

4.1.Elektronik devre elemanları

Bu bölümde elektronik devre elemanları açıklanmıştır. Sistemin yapısal şemasını ve içerdiği tipik öğelerin dinamik özelliklerini bilerek sistemin bir dizi önemli özelliğini incelemek mümkündür [18]. Şimdi girişi yapılmış olan öğelere bir göz atalım.

Entegre öğe (devre). Bu öğenin çıktı koordinatı, giriş koordinat integrali ile orantılıdır. Entegre edilen öğeye nötr veya kararsız devre de denir. Bu tür kararsız elemanların sisteme dahil edilmesiyle, sistemin sıfır statik hata ile tutucu olması genellikle mümkündür.

Öğeyi tanımlayan parametre entegrasyon süresidir. Tümleşik bir öğe, kararsız bir öğedir. Sıvı seviyesi değişiklikleri, elektrik motorları, pistonlu mekanizmalar vb. örnek olarak verilebilir.

Entegre devre şu şekilde tanımlanır:

$$y(t) = k\int_0^t u dt$$

veya

$$\frac{dy}{dt} = k\,u \tag{4.1}$$

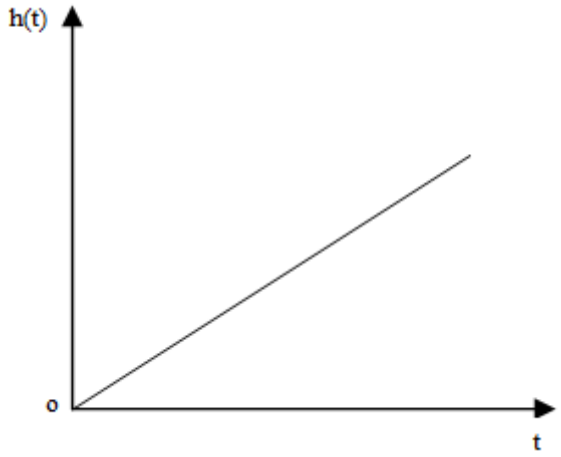
burada, k – yükseltme katsayısıdır.

Entegre elemanın özellikleri aşağıdaki gibidir (Şekil 4.1).

Diferansiyel Eleman.

Farklılaşma elemanı, geçici süreci iyileştirmek veya sistemin kararlılığını arttırmak için kullanılan çeşitli dengeleyici elemanlardan biri olarak sistemlerde kullanılabilir. Bu öğenin çıktı koordinatının değeri, giriş koordinatının değişim hızıyla orantılıdır. Bu öğe bazen sistem üzerinde önleyici bir etki yaratmak için kullanılır. Bu tür farklılaşma elemanlarının uygulanması teknik olarak zor olduğundan, küçük bir aperiyodik eleman eklenir.

$$h(t) = k(t)$$



Şekil 4.1: İletim Özellikleri

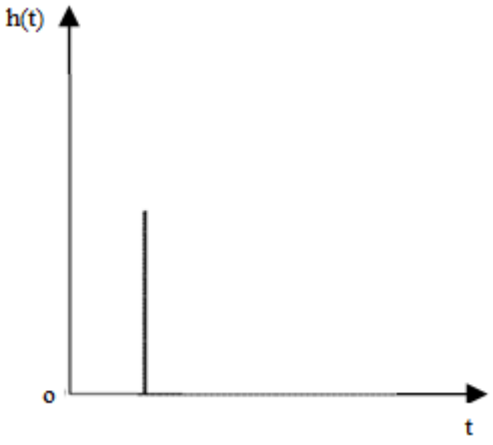
Sıralı şekilde bağlı olarak aynı öğeyle gerçek bir farklılaştırma işlemi gerçekleştirilebilinir. Aslında, aperiodik elemanın zaman sabiti azaldıkça, gerçek farklılaşma elemanına yaklaşır (Şekil 4.2.).

Diferansiyel eleman [18]'te tanımlanmıştır.

$$y = k\frac{du}{dt} \tag{4.2}$$

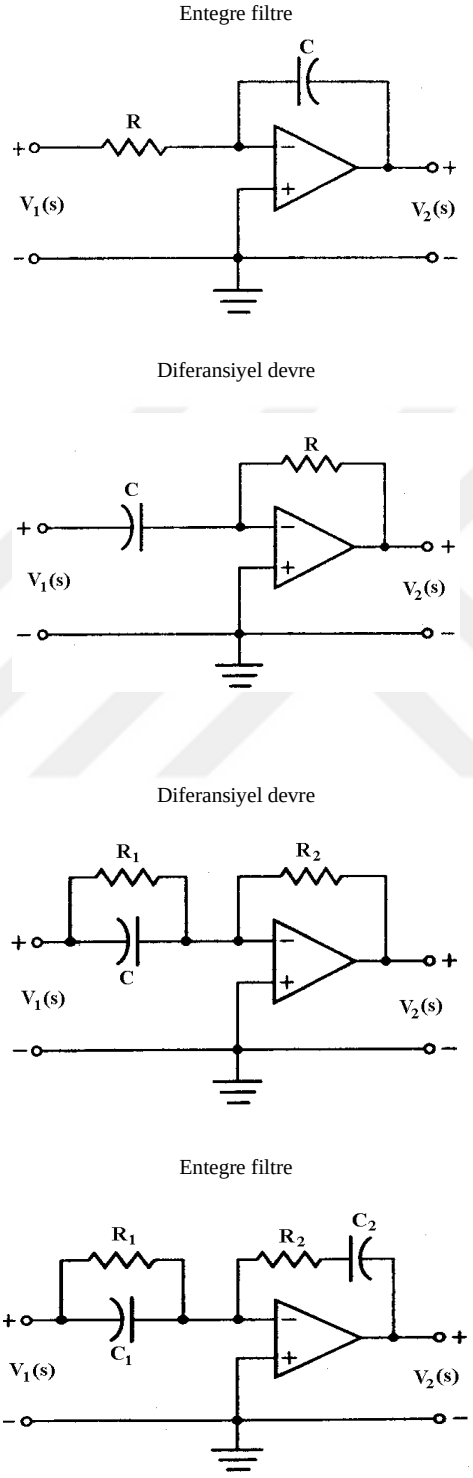
burada, k – yükseltme katsayısıdır.

$$h(t) = k1'(t)$$



Şekil 4.2: İletim Özellikleri

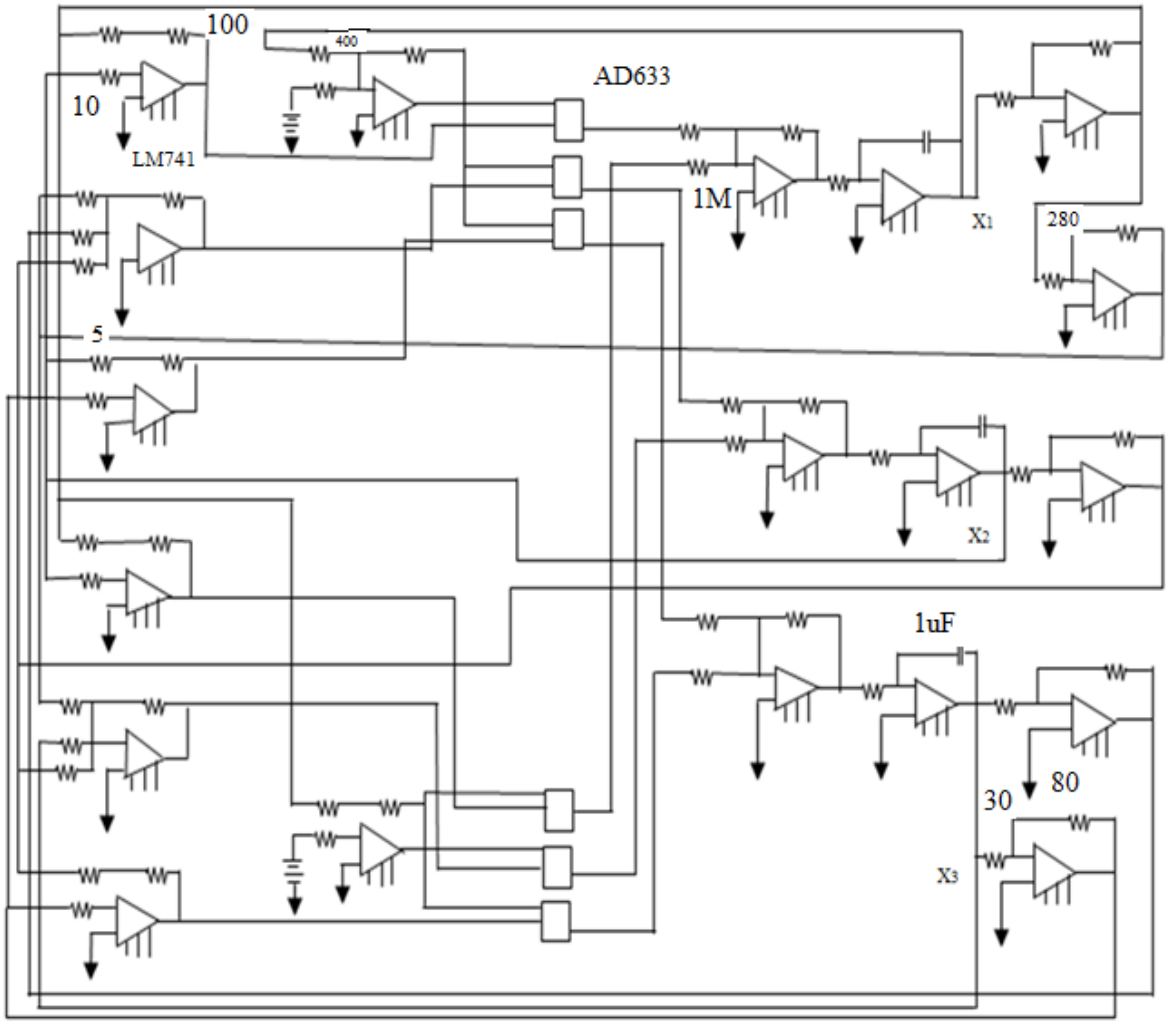
Entegre ve diferansiyel devrelerin şemaları Şekil 4.3'de açıklanmaktadır.



Şekil 4.3: Entegre ve diferansiyel devrelerin şemaları

4.2. KAOTİK SİNYAL ÜRETİMİ İÇİN ELEKTRONİK SİSTEM

Elektronik devre Lorenz sisteminin yapısı Şekil 4.4-4.5'de açıklanmaktadır.



Şekil 4.4: Elektronik devre şeması

Ekipmanlar:

• işlemsel kuvvetlendirici:

LM741 - 19 adet

• Analog Çarpan:

AD633 - 6 adet

• Dirençler:

5K - 4 adet

10K - 15 adet

30K - 1 adet

80K - 1 adet

100K - 21 adet

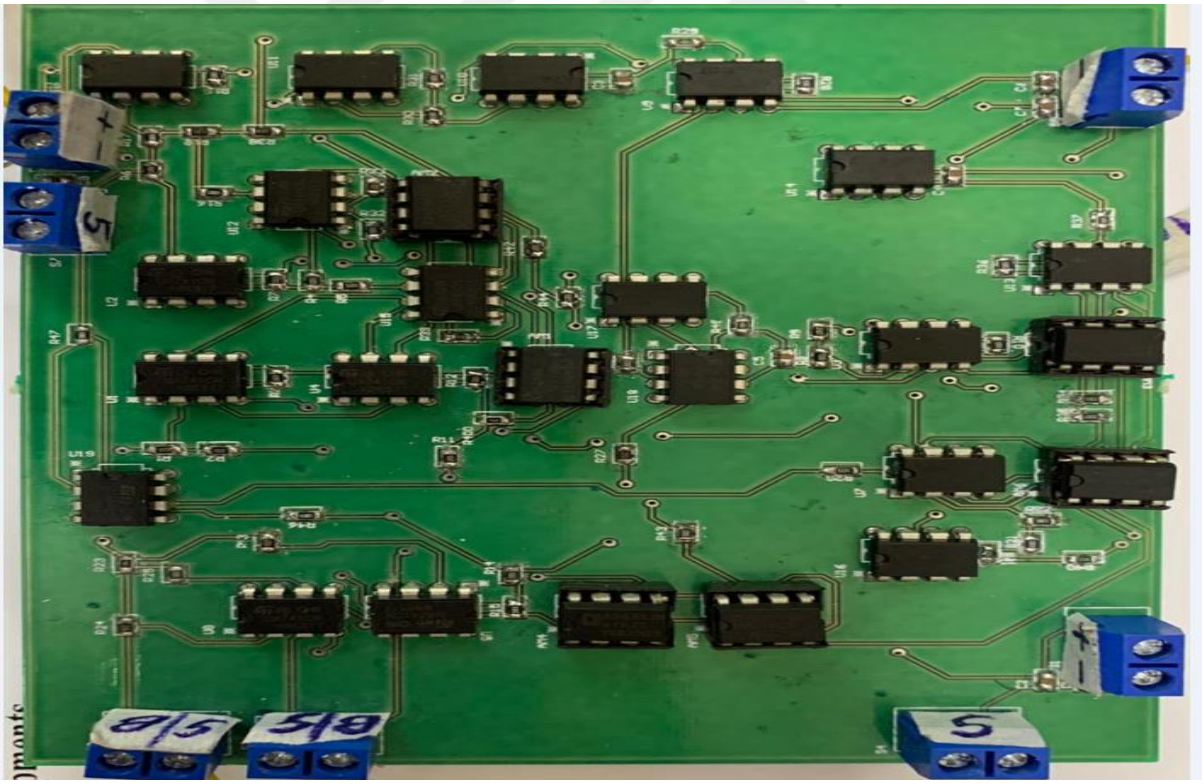
280K - 1 adet

400K - 2 adet

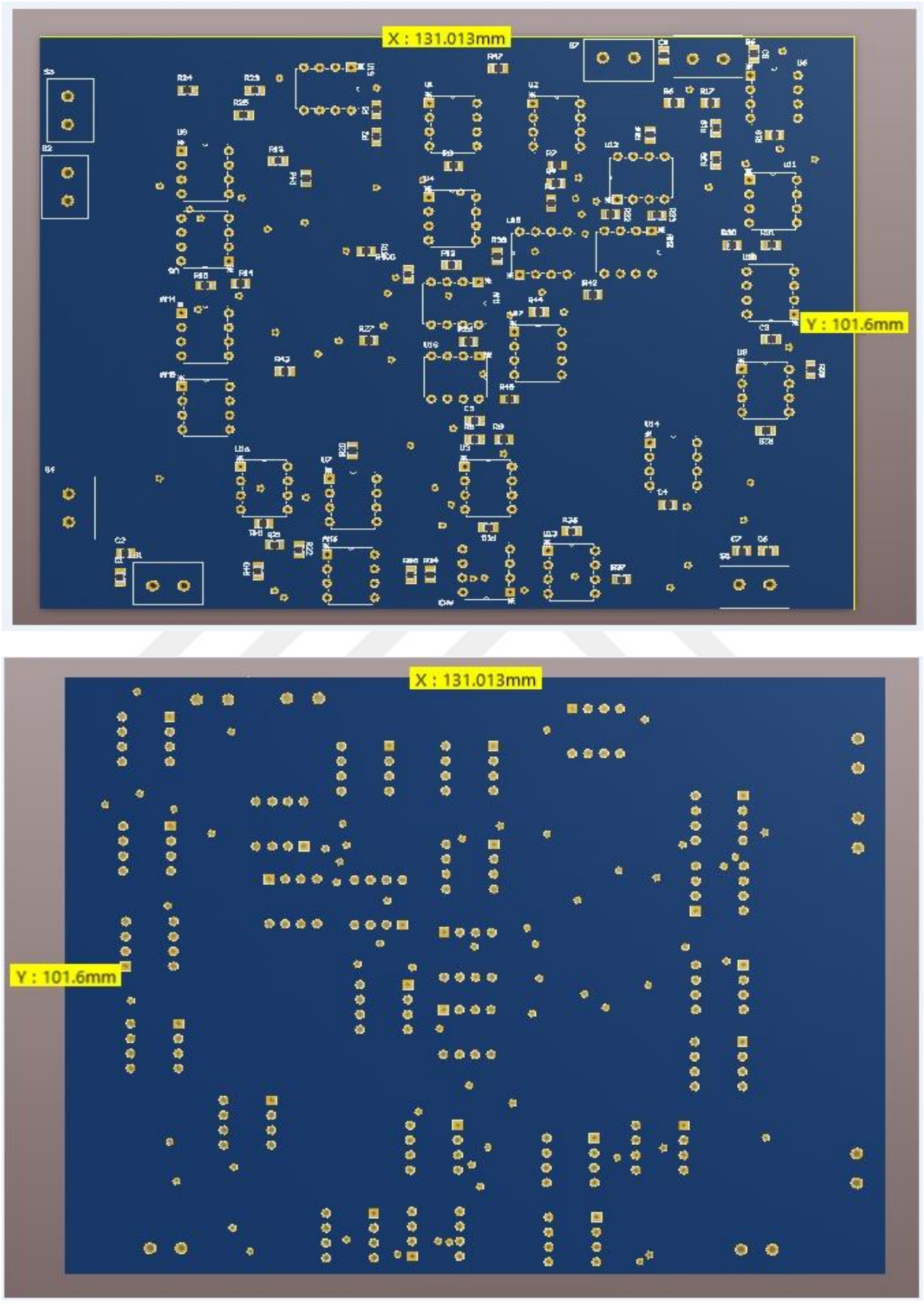
1M - 3 adet

• Kondansatörler:

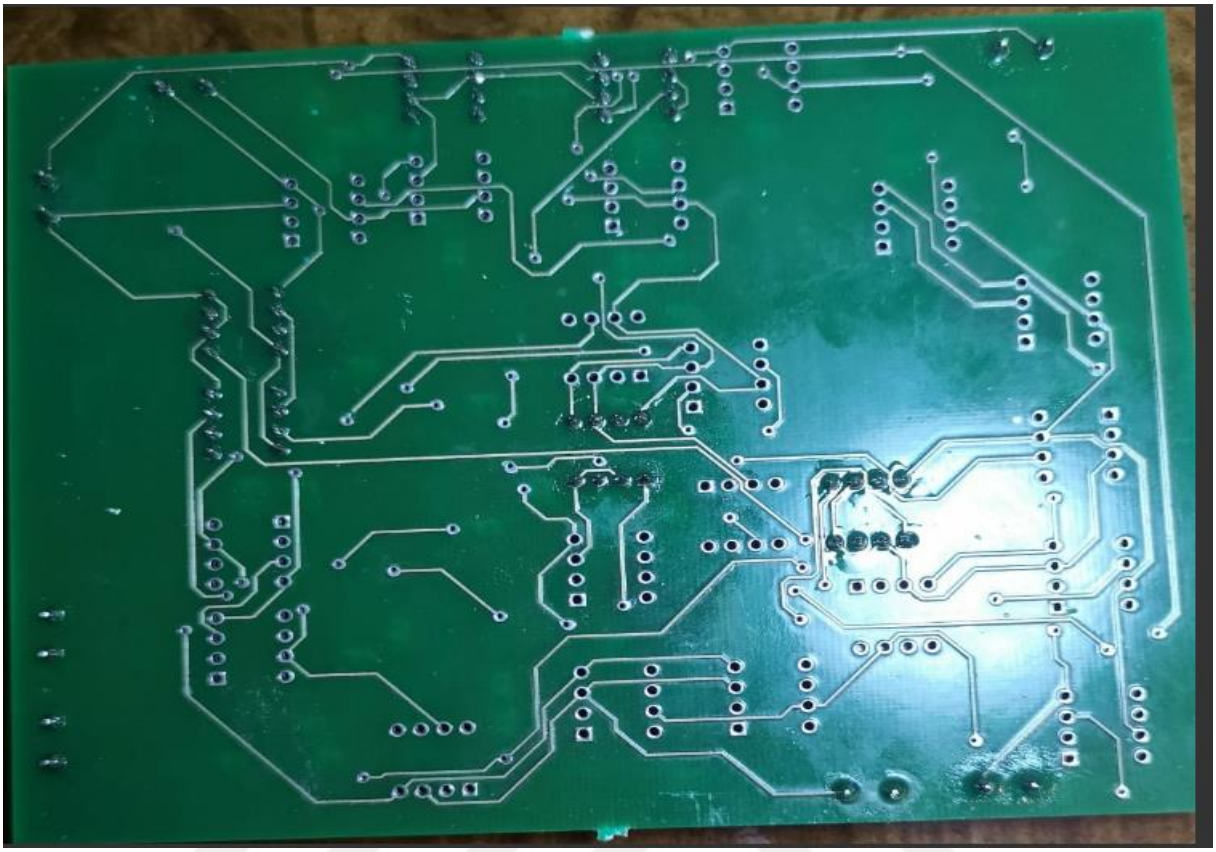
1 uF (Seramik) - 9 adet

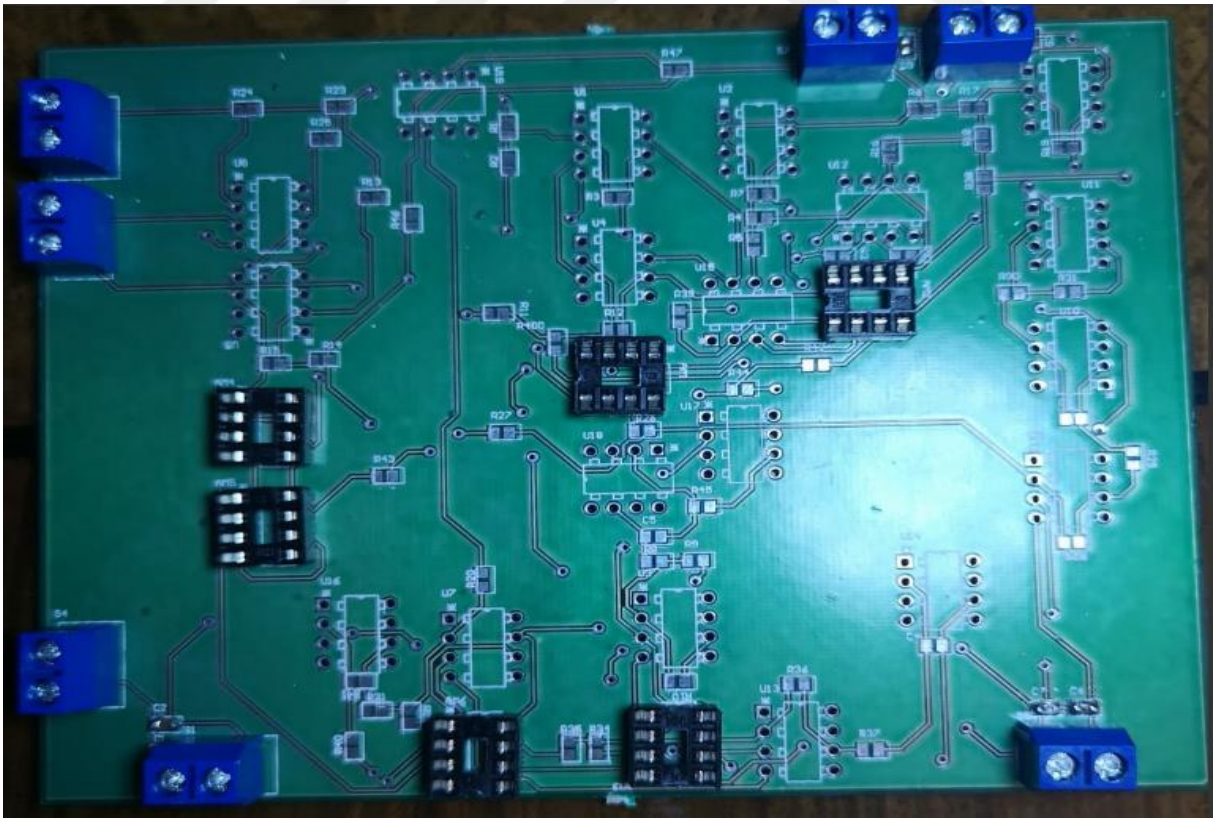


Şekil 4.5: Elektronik devrenin yapısı

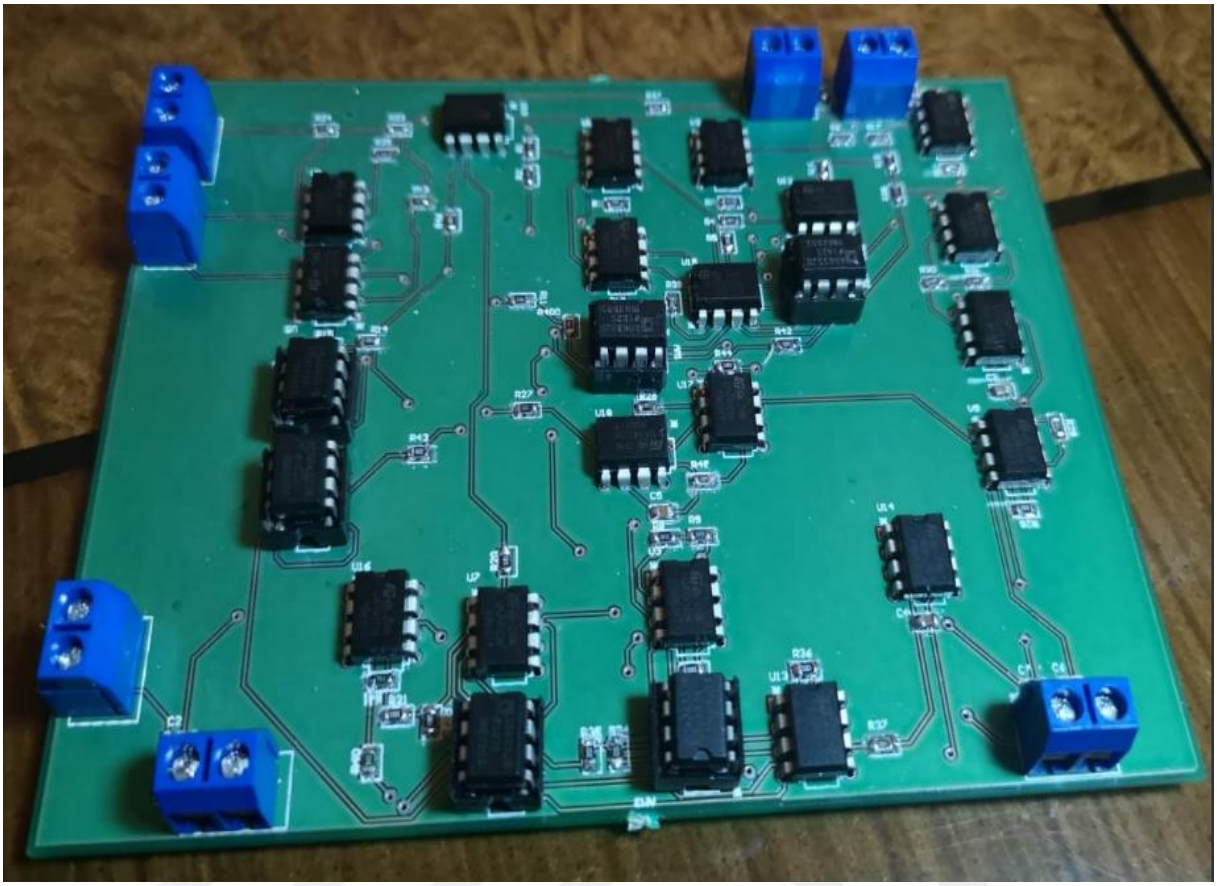


Şekil 4.5 (devam): Elektronik devrenin yapısı





Şekil 4.5 (devam): Elektronik devrenin yapısı



Şekil 4.5 (devam): Elektronik devrenin yapısı

4.3. SİSTEMLERİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Kaotik Lorenz sistemi için bulanık elektronik devrede,

• ***LM741*** - her bir işlemsel yükselticinin girişinde verilen sinyali yükseltmek için işlemsel yükselteçler olarak kullanılır;

• ***AD633*** - analog çarpanlar olarak kullanılır. Bu IC, X ve Y girişlerinde verilen sinyalleri çarpar ve çıkış tarafında gerekli çıkışı verir;

Dirençler ve kapasitörler için verilen değerler bu proje için özel olarak hesaplanmıştır;

Açıkça görüldüğü gibi, bu devre çıkış tarafında üç bölümden oluşur:

X1, X2 ve X3. Bu parçaların her biri sırasıyla analog çarpanların çıkışlarına bağlanır.

Bu bölümler verilen sinyali alır ve devrenin çıkışına iletmek için güçlendirir. (EK 1).

TARTIŞMA VE SONUÇ

Elektronik devre analizi, iletişimdeki en önemli uygulama alanlarından biridir. İletişim alanındaki önemli bir sorun belirsizlik altında kaotik sinyallerin kullanılması ile ilgilidir. Bu çalışmada, kaotik elektronik devrenin analizi için bulanık mantık tabanlı bir yaklaşım ele alınmıştır. Bulanık diferansiyel denklemler (BDD) belirsizlik altında bir elektronik devrenin kaotik dinamiklerini modellemek için kullanılır.

Sinyallerin davranışı Eğer-Öyleyse (If-Then) kuralları kullanılarak analiz edilir. Bu çalışma, uygulayıcılara bulanık belirsizlik altında kaotik sinyaller üreten bir elektronik çip tasarlama imkanı vermektedir.

Kaotik bulanık sinyallerin üretimi için diferansiyel denklemlerin bulanık sistemi kullanılmıştır.

Kaotik bulanık Chen-Lee sistemiyle bir elektronik devreyi analiz etmek için BDD'ler kullanılır. Sorun, BDD sistemlerinin çözümünün bulanık bir kaotik sinyal olarak temsil edileceği parametreleri ve başlangıç koşullarını bulmaktır. Çünkü bu durumda, sistemin denklemleri kaotik davranış sergiler. Sinyallerin davranışı eğer-öyleyse kuralları kullanılarak analiz edilir. Bu kuralların sayesinde kaotik iletişim sinyalleri üretebiliriz. Elektronik devrenin kaotik davranışlı uygulamalarına ilişkin bakış açıları, güvenlik, geniş bant, düşük maliyet ve küçük boyutlu elektronik devrelerin kullanımı gibi kriterlere dayanmaktadır. Geleneksel yöntemlerin aksine, kaos uygulamaları kaynak kodlamasını, kanal kodlamasını ve gürültü kuvvetini entegre etmeyi sağlamaktadır.

Haberleşme için devre analizi gereklidir. Bu doğrultuda, belirsizlikle karakterize çok sayıda faktörün göz önüne alınması zor bir iştir. Bu çalışmada, elektronik devre analizi için BDD'ler tarafından modellenen Lorens sistemi ele alınmıştır. Sunulan model, iletişim sistemlerinde kullanılan elektronik devrelerin analizinde kullanılabilir.

İletişim sistemlerinde güvenliği artırmak için, mevcut çalışmalar analiz edilmiş ve bulanık kaotik sinyallerin kullanımı kanıtlanmıştır. Matematiksel modeller, kaotik sinyaller veren bir elektronik eleman oluşturmak, başlangıç koşullu ve kaotik davranışa dayanan bulanık parametreler ile diferansiyel denklemler sistemi oluşturmak için kullanılmıştır.

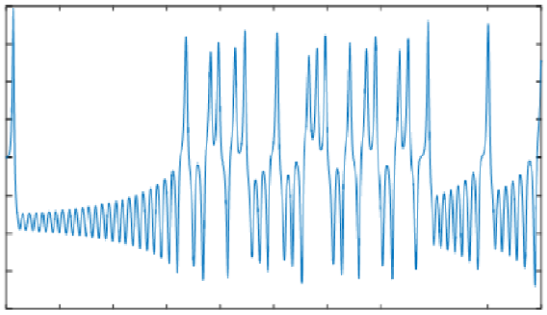
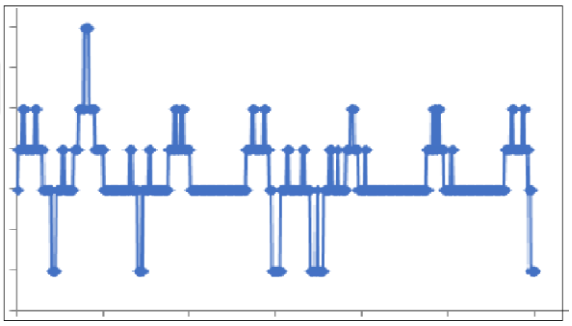
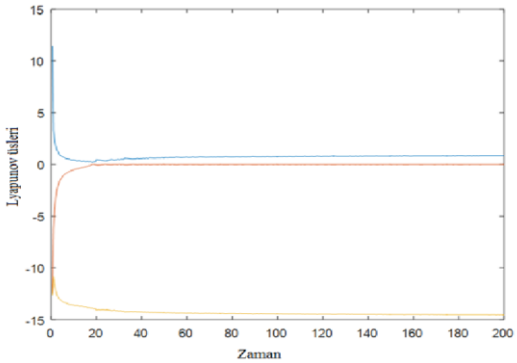
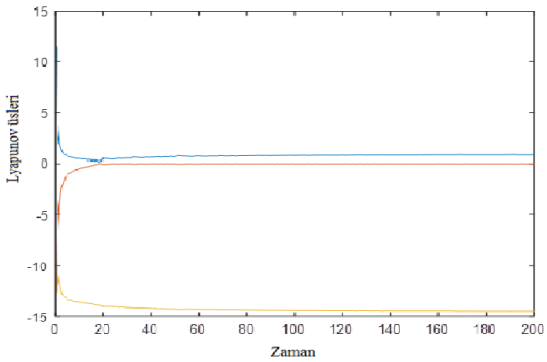
Diferansiyel denklemlerle karakterize edilen ve kaotik davranış tabanlı çözümlere sahip olan Chen-Lee sistemi ve Lorenz sistemi ayrıntılı olarak analiz edilmiştir.

Kaotik sinyallerin analizi için bilgisayar simülasyonu yapılmış, Lyapunov boyutu ve fraktal boyutu belirlenmiştir. Duyarlılık analizi yapılmış ve elektronik devrenin kaotik davranışlarını veren sistem parametrelerinin aralık değerleri belirlenmiştir. Önerilen araştırma ile, kaotik sinyaller üreten elektronik bir çip oluşturulmuştur.

Bilgisayar simülasyonu ile elde edilen bilimsel sonuçların elektronik çiple elde edilen gerçek sonuçlara yakın olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.1

Modelleme ve gerçek sinyaller

Sinyalin bilgisayar simülasyonu	Elektronik çiple elde edilen gerçek sinyal
	
	
LE1 = 0.9022, LE2 = 0.0003, LE3 = -14.5691, DL=2.061946	LE1 = 0.827589, LE2 = 0.001656, LE3 = -14.492456, DL=2.057219.

KAYNAKLAR

1. Mata -Machuca J. L., Mart´ınez-Guerra R., Aguilar-Lopez R., and ´ Aguilar-Ibanez C., 2012, A chaotic system in synchronization and secure communications, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 17(4), 1706–1713.
2. Li S.Y., Ge Z.M., 2011, Generalized synchronization of chaotic systems with different orders by fuzzy logic constant controller, *Expert Systems With Applications*, 37(3), 1357–1370.
3. Chen H.K., Lee C.I., 2004, Anti-control of chaos in rigid body motion, *Chaos, Solitons& Fractals*, 21(4), 957–965.
4. Silvio A.B. Salgado, Leandro Ferreira, Danilo M. Pires, Felipo A. Velozo., 2018, Fuzzy differential equation in a RL type circuit, *International Journal of Advances in Applied Mathematics and Mechanics*, 6(1), 43-48.
5. Srinivas B. and Sankara Rao B., 2017, A new innovative method for solving electrical circuit analysis, *International Journal of Computational and Applied Mathematics*, 12(2), 311-323.
6. Shiu-Ping Wang,Seng-Kin Lao,Hsien-Keng Chen,Juhn-Horng Chen and Shih-Yao Chen., 2013, Implementation of the fractional-order chen–lee system by electronic circuit. *International Journal of Bifurcation and chaos*, 23(2), 1350030 .
7. Chen G.H., 2008, Controlling chaos and chaotification in the Chen-Lee system by multiple time delays, *Chaos Solitons & Fractals*, 36(4), 843-852.
8. Damian E. Grzechca., 2015, Construction of an Expert System Based on Fuzzy Logic for Diagnosis of Analog Electronic Circuits, *International Journal of Electronics and Telecommunications*, 61, 77-82.
9. Aliev R.A., Aliev R.R., 2001, *Soft Computing and its Application*, World Scientific New Jersey, London, Singapore, Hong Kong, ISBN 981-02-4700-1.
10. Lap-Mou Tam, Hsien-Keng Chen , Long-Jye Sheu , Seng-Kin Lao, 2009, Alternative implementation of the chaotic Chen-Lee system, *Chaos Solitons & Fractals* 41(4), 1923-1929.

11.Shin-Yu Li, Cheng-Hsiung Yang, Chin-Teng Lin, Li-Wei Ko, and Tien-Ting Chiu.,2013, Chaotic Motions In Real Fuzzy Electronic Circuits, *Abstract and applied Analysis*, vol. 2013, 1-14.

12. Lorenz E. N., 1963, Deterministic non-periodic flows, *Journal of the Atmospheric Science*, 20(2), 130–141.

13. Li S., Li Y., Liu B., and Murray T., 2012, Model-free control of Lorenz chaos using an approximate optimal control strategy, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 17(12), 4891–4900.

14. El-Sayed A.M.A., Ahmed E., and El-Saka H.A.A., 2012, Dynamic properties of the fractional-order logistic equation of complex variables, *Abstract and Applied Analysis*, vol. 2012, 1-12.

15. Chen H.K., 2005, Synchronization of two different chaotic systems: a new system and each of the dynamical systems Lorenz, Chen and LËu, *Chaos, Solitons&Fractals*, 25(5), 1049–1056.

16. Bi Q. and Zhang Z.,2011, Bursting phenomena as well as the bifurcationmechanism in controlled Lorenz oscillator with two time scales, *Physics Letters A*, 375(8), 1183–1190.

17. Oumlzkaynak F. and Oumlzer A. B., 2010, A method for designing strong S-Boxes based on chaotic Lorenz system, *Physics Letters A*, 374(36), 3733–3738.

18. Aliev R.A., Aliyev R.R., 2007, *Automation Control Theory*, Chashiıoglu, Baku, (in azerbaijan).

19.Cuomo, Kevin M., Oppenheim, Alan V., 1993, Circuit implementation of synchronized chaos with applications to communications. *Physical Review Letters*, **71** (1), 65–68.

20. Aliev R.A., Pedrycz W., 2009, Fundamentals of a fuzzy-logic-based generalized theory of stability, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 39(4), 971 – 988.

21. Philip D. and Wasserman P.D., 1993, *Advanced methods in neural computing*, Van Nostrand Reinhold, New York, ISBN-10: 044200461319 93.

22. Loskutov A.Yu. and Mikhailov A.S., 1990, *Introduction to synergetic*, Nauka,Moscow, ISBN: 5-02-014475-4 (in Russian).

23. Parker T.S. and Chua L.O., 1989, *Practical Numerical Algorithms for Chaotic Systems*, Springer-Verlag, New York, ISBN-J3: 978-1-4612-8121-4

24. Mandelbrat V., 1982, *The Fractal Geometry of Nature*, W.H. Freeman Company, San Francisco, ISBN: 0716711869 9780716711865.

25. Mangelbrat B.B., 1977, *Fractals: Form, Chance and Dimension*, W.H. Freeman Company, San Francisco,ISBN: 0716704730 9780716704737 0716704749 9780716704744

26. Ruelle D., 1980, Strange attractors, *The mathematical Intelligenser, 2,* 126-137.

27. Deboeck J.G., 1994, *Trading on the edge: neural, genetic, and fuzzy systems for chaotic and financial markets,* John Wiley and Sons, ISBN: 978-0-471-31100-3

28. Aliev R.A. and Aliev R.R.,1997, *Soft Computing, volume II,* ASOA Press, Baku.

29 . Haken H., 1988, *Information and Self-organization*, Springer, Berlin, ISBN: 978-3-662-07893-8

30. Babanli K.M. and Kabaoglu R.O., 2019, Fuzzy Logic Based Approach to Electronic Circuit Analysis, *Advances In Intelligent Systems And Computing Series, ICSCCW-2019*, August 27-28, Gzech, Prague, Springer, Switzerland, Zug city, ISBN: 2194-2357, .382-390.

31. Tran N. H., Ravoof A., Nguyen T., and Tran K.,2009, Modelling of type I fracture network: objective function formulation by fuzzy sensitivity analysis, *Mathematical and ComputerModelling*, 49(7-8), 1283–1287.

32.Molaie M., Jafari S, Sprott J.C., Golpayegani S.M.R.H., 2013, Simple chaotic flows with one stable equilibrium, *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 23(11), 1-12

33. Chen J. G, Cheng D., Celikovsky S.,2002, Bridge the gap between the Lorenz system and the Chen system, *International Journal Bifurcation and Chaos*,12, 2917–2926.

34. Kaplan J. L. and Yorke J. A., 1979, Preturbulence: A Regime Observed in a Fluid Flow Model of Lorenz, *Communications in Mathematical Physics*, 67, 93-108.

35. Frederickson P., Kaplan J. L., Yorke E. D., and Yorke J. A., 1983, The Lyapunov Dimension of Strange Attractors, Journal of Differential Equations, 49, 185-207.

36. Grassberger P., 1986, *Estimating the Fractal Dimensions and Entropies of Strange Attractors*. Chaos, nonlinear science: Theory and applications, In: Holden A. V, Chapter 14, Princeton: Princeton U. Press, New Jersey, 291-311.

EK 1. Elektronik çiple elde edilen gerçek sinyaller (noktalarla)

Points	Time	Volt(x1)	Time	Volt(x2)	Time	Volt(x3)
1	-3E-08	0,00E+00	-3,00E-08	-1,09E+01	-3,00E-08	-1,18E+01
2	-3E-08	1,98E+01	-2,99E-08	-1,09E+01	-2,99E-08	-1,18E+01
3	-3E-08	1,99E+01	-2,98E-08	-1,08E+01	-2,98E-08	-1,18E+01
4	-3E-08	1,99E+01	-2,97E-08	-1,08E+01	-2,97E-08	-1,17E+01
5	-3E-08	1,99E+01	-2,96E-08	-1,08E+01	-2,96E-08	-1,17E+01
6	-3E-08	1,99E+01	-2,95E-08	-1,08E+01	-2,95E-08	-1,17E+01
7	-2,9E-08	1,99E+01	-2,94E-08	-1,08E+01	-2,94E-08	-1,17E+01
...	...	...	...	...	...	...
100	-2E-08	1,99E+01	-2,01E-08	-1,09E+01	-2,01E-08	-1,18E+01
101	-2E-08	1,99E+01	-2,00E-08	-1,09E+01	-2,00E-08	-1,18E+01
102	-2E-08	1,98E+01	-1,99E-08	-1,08E+01	-1,99E-08	-1,18E+01
...	...	...	...	...	...	...
200	-1E-08	1,99E+01	-1,01E-08	-1,10E+01	-1,01E-08	-1,18E+01
201	-1E-08	1,99E+01	-1,00E-08	-1,11E+01	-1,00E-08	-1,18E+01
202	-9,9E-09	1,98E+01	-9,90E-09	-1,11E+01	-9,90E-09	-1,18E+01
...	...	...	...	...	...	...
320	1,9E-09	1,98E+01	1,90E-09	-1,08E+01	1,90E-09	-1,17E+01
321	2E-09	1,98E+01	2,00E-09	-1,08E+01	2,00E-09	-1,17E+01
322	2,1E-09	1,98E+01	2,10E-09	-1,08E+01	2,10E-09	-1,17E+01
...	...	...	...	...	...	...
407	1,06E-08	1,98E+01	1,06E-08	-1,10E+01	1,06E-08	-1,18E+01
408	1,07E-08	1,98E+01	1,07E-08	-1,10E+01	1,07E-08	-1,18E+01
409	1,08E-08	1,98E+01	1,08E-08	-1,10E+01	1,08E-08	-1,18E+01
410	1,09E-08	1,98E+01	1,09E-08	-1,10E+01	1,09E-08	-1,18E+01
...	...	...	...	...	...	...
494	1,93E-08	1,99E+01	1,93E-08	-1,10E+01	1,93E-08	-1,18E+01
495	1,94E-08	1,99E+01	1,94E-08	-1,09E+01	1,94E-08	-1,18E+01
496	1,95E-08	1,99E+01	1,95E-08	-1,09E+01	1,95E-08	-1,18E+01
...	...	...	...	...	...	...
500	1,99E-08	1,98E+01	1,99E-08	-1,09E+01	1,99E-08	-1,18E+01
501	2E-08	1,98E+01	2,00E-08	-1,09E+01	2,00E-08	-1,18E+01
502	2,01E-08	1,98E+01	2,01E-08	-1,08E+01	2,01E-08	-1,18E+01
...	...	...	...	...	...	...
597	2,96E-08	1,96E+01	2,96E-08	-1,09E+01	2,96E-08	-1,20E+01
598	2,97E-08	1,96E+01	2,97E-08	-1,09E+01	2,97E-08	-1,19E+01
599	2,98E-08	1,96E+01	2,98E-08	-1,09E+01	2,98E-08	-1,19E+01
600	2,99E-08	1,96E+01	2,99E-08	-1,09E+01	2,99E-08	-1,19E+01

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Kanan Babanlı
Doğum Yeri	Bakü
Doğum Tarihi	21.05.1997
Uyruğu	azerbaycanlı❒
Telefon	+994502124449,+905316539622
E-Posta Adresi	kenanbabanli@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Azerbaycan Teknik Universitesi
Fakülte	Radioteknik ve iletişim mühendisliyi
Bölümü	Elektronik,telekomünikasyon mühendisliyi
Mezuniyet Yılı	2018

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Elektronik mühendisliği

Makale ve Bildiriler
1.Babanlı K., İbrahimov B., 2016, Optik WDM ve DWDM teknoloji bazında telekomünikasyon sistemlerin izleme və kalite göstergelerinin araştırılması, *Gençler və innovasyonlar Cumhuriyet bilimsel-teknik konferansı,* 1-5 Mayıs 2010, Bakü, AzTU matbaası, 77-87
2.Babanli K.M. and Kabaoglu R.O., 2019, Fuzzy Logic Based Approach to Electronic Circuit Analysis, *Advances In Intelligent Systems And Computing Series*, *ICSCCW-2019*, August 27-28, Gzech, Prague, Springer, Switzerland, Zug city, ISBN: 2194-2357, .382-390.
3. Babanlı K.M. Lorenz sistemi ile kaotik sinyaller oluşturulması, *Azerbaycan Devlet Petrol ve Sanayi Üniversitesi 100. yıldönümünde adanmış genç araştırmacıların ve doktora öğrencilerinin Çevrimiçi Bilimsel Konferansı,* GADÖBK-2020, 7-8 Mayıs, Bakü, 5 sayfa.