

**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM  
DALI**

**ANAHTARLAMALI DURUM KONTROLLÜ HÜCRESEL  
SİNİR AĞLARI TABANLI TİGAN BENZERİ SİSTEM**

**Hazırlayan  
Fatma AKTAŞ**

**Danışman  
Prof. Dr. Enis GÜNAY**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Şubat 2021  
KAYSERİ**



**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM  
DALI**

**ANAHTARLAMALI DURUM KONTROLLÜ HÜCRESEL  
SİNİR AĞLARI TABANLI TİGAN BENZERİ SİSTEM  
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan  
Fatma AKTAŞ**

**Danışman  
Prof. Dr. Enis GÜNAY**

**Şubat 2021  
KAYSERİ**

## **BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK**

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.



Fatma AKTAŞ

İmza

**“Anahtarlamaalı Durum Kontrollü Hücreseı Sinir Ağları Tabanlı Tigan Benzeri Sistem”** adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

**Hazırlayan**

Fatma AKTAŞ

İmza

**Danışman**

Prof. Dr. Enis GÜNAY

İmza

**Elektrik Elektronik Mühendisliği ABD Başkanı**

Prof. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU

İmza

**Prof. Dr. Enis GÜNAY** danışmanlığında **Fatma AKTAŞ** tarafından hazırlanan “**Anahtarlamaalı Durum Kontrollü Hücreseı Sinir Ağları Tabanlı Tigan Benzeri Sistem**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

05/ 02 / 2021

**JÜRİ:**

Danışman : Prof. Dr. Enis GÜNAY .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hasan ZORLU .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Kenan ALTUN .....

**ONAY:**

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun ..... tarih ve .....sayılı kararı ile onaylanmıştır.

...../...../.....

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca yardım ve desteklerini esirgemeyen, mütemadiyen bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan değerli hocam Prof. Dr. Enis GÜNAY'a teşekkür ederim.

Geliőim ve öğrenme sürecim boyunca farklı bakış açısıyla her türlü yardım ve destekte bulunan arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bütün yaşamım boyunca bir an olsun varlıklarını unutturmayan ve beni muntazaman destekleyen ve destekleyecek olan annem, babam ve aile efradıma teşekkür ederim.

Fatma AKTAŞ

Şubat 2021, KAYSERİ

# ANAHTARLAMALI DURUM KONTROLLÜ HÜCRESEL SİNİR AĞLARI TABANLI TİGAN BENZERİ SİSTEM

**Fatma AKTAŞ**

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi, Şubat 2021  
Danışman: Prof. Dr. Enis GÜNAY**

## ÖZET

Kaos genelde karmaşa ve düzensizlik olarak adlandırılır. Bu tanımlamanın yanı sıra kendi içerisinde muazzam bir düzene de sahiptir. Bu noktada düzen ve kaosun aslında birbiriyle yakından ilişkili olduğu ortaya çıkar. Hücresel Sinir Ağları (HSA) ilk olarak Chua ve Yang tarafından 1988 yılında tanıtılmıştır. HSA dinamik bir sinir ağı modelidir. Gerçek zamanda analog işaretleri işleyebilen HSA başta görüntü işleme ile kaotik dinamiklerin modellenmesi olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır. Fakat HSA karmaşık dinamik sistemler, diferansiyel denklemler için yetersiz kalmaya başladı. Bu karmaşık sistemler için hücrelerin durum noktalarından da geri besleme yapılmış Durum Kontrollü Hücresel Sinir Ağları (DK-HSA) önerilmiştir. DK-HSA ise kuadratik ve çarpımlı nonlineerlik içeren sistemlerin modellenmesinde yetersiz kalmıştır. Bu noktada DK-HSA'na alternatif olarak bipolar voltaj kontrollü anahtarlama parametrelerinin kullanıldığı Anahtarlama Durum Kontrollü Hücresel Sinir Ağları (A-DK-HSA) önerilmiştir. Bu tez çalışmasında da daha önce HSA ile hiç denenmemiş olan Tigan kaotik sisteminin anahtarlama durum kontrollü hücresel sinir ağları ile modellenmesi ve simülasyon çalışmaları gösterilmiştir. Tigan sistemi 2004 yılında Gheorghe Tigan tarafından Lorenz sisteminden türetilen doğrusal olmayan kaotik bir sistemdir. Daha sonra Tigan sistemin analizini yaparak Tigan sistemini T sistemi olarak adlandırmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Hücresel sinir ağları, kaos, kaotik sistemler, Tigan sistemi.



# SWITCHED STATE CONTROLLED CELLULAR NEURAL NETWORKS BASED TIGAN-LIKE SYSTEM

**Fatma AKTAŞ**

**Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied  
Sciences Master Thesis, February 2021  
Supervisor: Prof. Dr. Enis GÜNAY**

## ABSTRACT

Chaos is commonly referred to as confusion and disorder. In addition to this definition, it also has an enormous order within itself. At this point, it turns out that order and chaos are actually closely related. Cellular Neural Networks (HSA) were first introduced by Chua and Yang in 1988. HSA is a dynamic neural network model. HSA, which can process analog signals in real time, is used in many areas, especially image processing and modeling of chaotic dynamics. But HSA began to be inadequate for complex dynamical systems, differential equations. For these complex systems, State Controlled Cellular Neural Networks (DK-HSA) with feedback from the state points of the cells have been proposed. However, DK-HSA was insufficient in modeling systems containing quadratic and multiplied nonlinearity. At this point, Switched State Controlled Cellular Neural Networks (A-DK-HSA) using bipolar voltage controlled switching parameters have been proposed as an alternative to DK-HSA. In this thesis, modeling and simulation studies of Tigan chaotic system, which has never been tried with HSA before, with switched state controlled cellular neural networks are shown. The Tigan system is a nonlinear chaotic system derived from the Lorenz system by Gheorghe Tigan in 2004. Later, Tigan analyzed Tigan system and named it T system.

**Keywords:** Cellular neural networks, chaos, chaotic systems, Tigan system.

## İÇİNDEKİLER

### ANAHTARLAMALI DURUM KONTROLLÜ HÜCRESEL SİNİR AĞLARI TABANLI TİGAN BENZERİ SİSTEM

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABULVE ONAY .....	iv
TEŞEKKÜR .....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT .....	vii
İÇİNDEKİLER .....	viii
KISALTMALAR .....	x
SİMGELER .....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
GİRİŞ .....	1
Araştırmanın Amacı .....	2
<b>1. BÖLÜM</b>	
<b>KAOS VE KAOTİK SİSTEMLER</b>	
1.1. Giriş .....	3
1.2. Kaotik Sistemler ve Özellikleri .....	7
1.3. Kaos Teorisinin Uygulama Alanları.....	11
<b>2. BÖLÜM</b>	
<b>YAPAY SİNİR AĞLARI</b>	
2.1. Giriş .....	13
2.2. Tek Katmanlı Yapay Sinir Ağları .....	14
2.2.1 Perceptron Modeli.....	15

2.2.2 Adaline Modeli .....	17
<b>2.3. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları.....</b>	<b>18</b>
<b>2.4. Hücresel Sinir Ağları .....</b>	<b>18</b>
2.4.1. HSA Komşuluk.....	20
<b>2.5. Hücresel Sinir Ağlarının Kullanım Alanları.....</b>	<b>23</b>

### 3. BÖLÜM

#### DURUM KONTROLLÜ HÜCRESEL SİNİR AĞLARI

<b>3.1. Giriş .....</b>	<b>26</b>
<b>3.2. Anahtarlama Durum Kontrollü HSA.....</b>	<b>33</b>
3.2.1. A-DK-HSA ile Tasarlanan Rössler Sistemi.....	35
3.2.2 Sayısal Analiz .....	37

### 4. BÖLÜM

#### A-DK-HSA TABANLI TİGAN SİSTEMİ

<b>4.1. Giriş .....</b>	<b>45</b>
4.1.1. Tigan Sisteminin Denge Noktaları .....	46
4.1.2. Tigan Sisteminde Kaos .....	46
4.1.3. Tigan Sisteminin Sayısal Analiz.....	47
<b>4.2. A-DK-HSA Tabanlı Tigan Sistemi .....</b>	<b>50</b>
4.2.1. Sayısal Analiz .....	52

### 5.BÖLÜM

<b>SONUÇ ve ÖNERİLER.....</b>	<b>58</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>60</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>67</b>

## KISALTMALAR

<b>HSA</b>	Hücresele Sinir Ağları
<b>YSA</b>	Yapay Sinir Ağları
<b>CNN</b>	Cellular Neural Network
<b>DK-HSA</b>	Durum Kontrollü Hücresele Sinir Ağları
<b>A-DK-HSA</b>	Anahtarlamaalı Durum Kontrollü Hücresele Sinir Ağları
<b>MLC</b>	Murali-Lakshmanan-Chua
<b>FPA</b>	Field Programmable Analog Array
<b>FPGA</b>	Field Programmable Gate Array
<b>EEG</b>	Elektroensefalogram
<b>BER</b>	Bit Error Rate
<b>AWGN</b>	Additive White Gaussian Noise
<b><math>E_b / N_0</math></b>	Bit Enerjisinin Gürültü Enerjisine Oranı

## SİMGELER

Sembol	Anlamı
$x$	Kaotik Durum Değişkeni
$y$	Kaotik Durum Değişkeni
$z$	Kaotik Durum Değişkeni
$\dot{x}$	Durum Değişkeninin Zamana Göre Değişimi
$\dot{y}$	Durum Değişkeninin Zamana Göre Değişimi
$\dot{z}$	Durum Değişkeninin Zamana Göre Değişimi
$x_0$	Durum Değişkeninin Başlangıç Değeri
$y_0$	Durum Değişkeninin Başlangıç Değeri
$z_0$	Durum Değişkeninin Başlangıç Değeri
$v_{uij}$	Düğüm Gerilimi Hücre Girişi
$v_{xij}$	Düğüm Gerilimi Hücre Durumu
$v_{yij}$	Düğüm Gerilimi Hücrenin Çıkışı
$x_{ij}$	$C(i,j)$ Hücresinin Durum Değişkeni
$y_{kl}$	Hücre Çıkışı
$u_{kl}$	Hücre Girişi
$I_{ij}$	Eşik Değeri veya Akım Sabiti
$A(i, j ; k, l)$	Klonlama Şablonu

$B(i, j ; k, l)$	Klonlama Şablonu
$i$	Satır
$j$	Sütun
$k, l$	Hücrenin Komşulukları
$N_r$	Chua Diyodu
$f(v_1)$	Chua'nın Diyodunun Karakteristiği
$R_0$	Direnç
$\alpha$	Sistem Parametresi
$\beta$	Sistem Parametresi
$\gamma$	Sistem Parametresi
$m_0$	Sistem Parametresi
$m_1$	Sistem Parametresi
$\lambda$	Öz Değerler
$t$	Zaman

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Mandelbrot kümesi .....	7
Şekil 1.2 Lorenz sisteminin $x(t)$ için zaman serisi .....	8
Şekil 1.3 Lorenz sisteminin $y(t)$ için zaman serisi .....	8
Şekil 1.4 Lorenz sisteminin $z(t)$ için zaman serisi .....	9
Şekil 1.5 Lorenz sisteminin $y(t)$ ve $x(t)$ domeninde 2 boyutlu kaotik çeker gösterimi.....	9
Şekil 1.6 Lorenz sisteminin $z(t)$ ve $x(t)$ domeninde 2 boyutlu kaotik çeker gösterimi ..	10
Şekil 1.7 Lorenz sisteminin $z(t)$ ve $y(t)$ domeninde 2 boyutlu kaotik çeker gösterimi ...	10
Şekil 1.8 Lorenz sisteminin 3 boyutlu kaotik çeker gösterimi.....	10
Şekil 2.1 Bir sinir hücresinin biyolojik gösterimi .....	12
Şekil 2.2 Warren McCulloch ve Walter Pitts yapay sinir modeli .....	13
Şekil 2.3 Tek katmanlı yapay sinir ağı modeli(perseptron modeli).....	14
Şekil 2.4 Adaline öğrenme modeli.....	16
Şekil 2.5 Çok katmanlı yapay sinir ağı modeli .....	17
Şekil 2.6 (a) HSA hücresinin devre örneği (b) HSA hücre şeması.....	18
Şekil 2.7 4x4 formatında HSA .....	19
Şekil 2.8 Sırasıyla $r=1$ ve $r=2$ için aynı hücrenin komşulukları.....	19
Şekil 2.9 Parçalı-doğrusal karakteristiğe sahip çıkış fonksiyonu.....	21
Şekil 3.1 (a) Chua devresi .....	24
Şekil 3.2 (a) Genelleştirilmiş hücre devresi (b) Hücrelerin bağlantı şeması.....	28
Şekil 3.3 $(x_1-x_2)$ düzlemi için faz uzayı .....	31
Şekil 3.4 Elwakil'in çalışması neticesinde elde ettiği klasik kelebek çekeri .....	33
Şekil 3.5 Rössler kaotik çekeri.....	34
Şekil 3.6 A-DK-HSA kullanılarak modellenen Rössler sisteminin sayısal sonuçları: (a) $s_{33}=-0.05$ için faz diyagramı (b) $s_{33}=-0.05$ için zaman diyagramı (c) $s_{33}=-0.2$ için faz diyagramı (d) $s_{33}=-0.2$ için zaman diyagramı (e) $s_{33}=-0.3$ için faz diyagramı (f) $s_{33}=-0.3$ için zaman diyagramı (g) $s_{33}=-0.6$ için faz diyagramı (h) $s_{33}=-0.6$ için zaman diyagramı .....	38
Şekil 3.7 (a) $x_1$ ile $s_{33} \in [-0.8,0]$ çatallanma diyagramı (b) $x_1$ ile $s_{22} \in [1.13,1.21]$ çatallanma diyagramı .....	42
Şekil 4.1 Tigan sisteminin Lyapunov Üstellerinin Grafiği .....	45

Şekil 4.2 (a) Tigan sisteminin faz diyagramı, (b) Tigan sisteminin (x,y,z) düzlemi için zaman diyagramları.....	46
Şekil 4.3 (a) Çatallanma diyagramı (x-a) için, (b) Çatallanma diyagramı (y-a) için, (c) Çatallanma diyagramı (z-a) için.....	47
Şekil 4.4 A-DK-HSA tabanlı Tigan sisteminin sayısal sonuçları: (a) A-DK-HSA tabanlı Tigan sisteminin Simulink modeli, (b) $s_{11} = 0.25; s_{12}=s_{21}=s_{22}=1; s_{33}=0.75; i_3 = 0.2$ değerleri için $(x_1 - x_3)$ düzleminde faz grafiği, (c) $s_{11} = 0.25; s_{12} = -0.5; s_{21}=s_{22}=1; s_{33}=0.75; i_3 = 0.2$ değerleri için $(x_1 - x_3)$ düzleminde faz grafiği, (d) $s_{11} = 0.25; s_{12} = -0.85; s_{21}=s_{22}=1; s_{33}=0.75; i_3 = 0.2$ değerleri için $(x_1 - x_3)$ düzleminde faz grafiği, (e) $s_{11} = 0.25; s_{12} = -2.4; s_{21}=s_{22}=1; s_{33}=0.75; i_3 = 0.2$ değerleri için $(x_1 - x_3)$ düzleminde kaotik çeker grafiği, (f) x, y, z düzlemi için zaman domeni grafikleri, (g) Çatallanma diyagramı $s_{22}$ değişkeni için, (h) Sistemin Lyapunov üstellerinin zamana göre değişimi.....	51



## GİRİŞ

Evrende insanın sinir merkezi, insanın kavramakta güçlük çektiği, karmaşık bir sistemdir. Milyarca sinir hücresi ve bu hücrelerin arasında trilyonlarca bağlantı vardır. Bu karmaşık ve hakkında az şey bildiğimiz yapı insan ve canlıların davranışlarını düzenler. İnternet teknolojilerinin gelişmesi insan beyninin bilgisayarda modellenebileceği fikrini gün yüzüne çıkardı. Bu modellemenin yapılabilmesi içinde yapay zekâ dediğimiz Yapay Sinir Ağları (YSA) olarak ta bilinen alan ortaya çıktı. Sinir ağları, insan sinir sisteminin bilgisayarda modellenerek insan gibi düşünen, öğrenen, aksiyon alan makineler yapmak amacıyla teknolojik ortamda yapılan matematiksel modellerdir. İnsan bedeninde bu işlem milyarlarca sinir hücresinden gelen verilerin nöronda toplanması ve bu nöronun karar vermesiyle oluşur. Basitçe nöron kendine gelen sinyallere göre bir aksiyon alıyor. Bu sistemi bir makine için modelleme çalışmaları 1950’li yıllarda başladı.

Teknolojik gelişmelerinde çok hızlı ilerlemesi sayesinde standart YSA modelleri yetersiz kalmaya başladı [1]. Teknolojideki hızlı gelişmeleri karşılayabilmek için yeni bir devre mimarisi olan Hücresel Sinir Ağı (HSA) (Cellular Neural Network-CNN) modeli Leon Chua ve Lin Yang tarafından 1988 yılında tanıtılmıştır [2]. HSA dinamik bir sinir ağı modelidir. Geleneksel dijital hesaplama yöntemlerinin seri yapıları dolayısıyla yaşanan hız sorununun üstesinden sinir ağlarının sahip olduğu paralel işaret işleme, sürekli zaman dinamikleri, gerçek zamanlı sinyal işleme özellikler ile hız sorununun üstesinden

gelinmesi amaçlanmıştır [2]. HSA nesnelere tanıma ve sınıflandırmasındaki başarısından dolayı görüntü işleme başta olmak üzere geniş uygulama alanına sahiptir.

### **Araştırmanın Amacı**

Bu yüksek lisans tez çalışmasında Anahtarlamalı Durum Kontrollü Hücresel Sinir Ağları tabanlı (A-DK-HSA), Tigan benzeri bir sistem önerilmiştir. Tigan sistemi 2004'te Gheorghe Tigan tarafından Lorenz sisteminden türetilmiş 3 boyutlu doğrusal olmayan kaotik bir sistemdir [3-7]. Tigan sistemi 3 hücreli A-DK-HSA kullanılarak oluşturulmuştur. Tigan benzeri sistemin simülasyonları gerçekleştirilmiş ve nümerik analizleri yapılmıştır. Faz, zaman uzayı ve çatallanma grafikleri incelenmiştir. Daha önce Tigan kaotik sisteminin modellenmeleri gerçekleştirilmiş ve yüksek lisans tezi olarak incelenmiştir ama A-DK-HSA tabanlı Tigan modeli incelenmemiştir. Çarpıcı kullanılmadan Tigan sisteminin modellenmesi ilk kez bu tez çalışmasında önerilmiştir.

# 1. BÖLÜM

## KAOS VE KAOTİK SİSTEMLER

### 1.1. Giriş

Kaos kelimesi yunanca “Khaos” kelimesinden gelir ve anlamı boşluk demektir [8]. Genellikle kaos herkes tarafından karmaşa ve düzensizlik olarak bilinir. Birden fazla girdinin sürekli değişmesi fiziksel değişimler ve farklı düzenler yaratır. Günümüzdeki gözlem ve bilimsel tahmin yeteneklerinin sınırlı kalması da bu değişimlerin açıklanmasını zorlaştırdığından kaos olarak nitelendirilir. Bu gerçeğe birlikte kendi içinde muazzam bir düzene sahiptir. İşte bu noktada karşımıza düzen ve kaosun aslında birbirine ne kadar sıkı sıkıya sarılmış olduğu ortaya çıkar. Kaos Teorisi "doğası gereği öngörülemeyen" sistemlerin davranışını tahmin etme bilimidir. İnsan kalbinin atışı, asteroidlerin yörüngeleri gibi çok çeşitli doğal sistemlerin karmaşık işleyişine kaos teorisi sayesinde açıklık getirilmesi sağlanır. Kaos Teorisinin merkezinde, düzen ve kaosun her zaman taban tabana zıt olmadığına dair büyüleyici bir fikir vardır. Kaotik sistemler bu ikisinin samimi bir karışımıdır: dışarıdan tahmin edilemeyen ve kaotik davranışlar sergilerler, ancak iç işleyişlerinde saat gibi işleyen mükemmel deterministik bir denklem seti keşfedilir [9]. Sayısal bilgisayarların gelişmesi ve performanslarının artması sayesinde düzensizlikler gözlemlenmeye başlandı ve popülerlik kazandı. Kaos teorisi borsa, meteoroloji, güvenli haberleşme, elektronik devrelerin çıkışlarının senkronize edilmesinde, beyin dalgalarının incelenmesi gibi çeşitli disiplinlerde uygulaması vardır.

Bilim doğanın yorumlanmasını sağlar ve çoğu durumda bu, özellikle matematiksel olanlar olmak üzere modeller temelinde yapılır [10-12]. Fizikçiler, biyologlar ve tıp araştırmacıları, dünyadaki olayların verilen matematiksel yasalara uyup uymadığını anlama misyonuna sahiptir. Aslında, böyle bir model oluşturmanın ardışık üç adımı vardır: önce fenomenin gözlemlenmesi, sonra denklemlere çevrilmesi, sonra bu denklemlerin çözülmesi. Açıktır ki, biyolojik bilimler ve tıp alanındaki araştırmacılar, bir

fenomenin bileşenlerini anlamak ve daha sonra modellere ve denklemlere dönüştürülebilecek bir bilgi bütünü oluşturmak için, ilk adımı olarak fenomenin gözlemlenmesi üzerinde dururlar [10-12].

Kaos teorisi matematiksel bir teoridir ve hala geliştirme aşamasındadır. Dinamik teorilerinin temelleri, Isaac Newton'un göksel hareketlerle ilgili teorisine kadar uzanır [13].

İşte bu noktada orta çağ önemli astronomlarından Johannes Kepler "Yeni Astronomi" ve "Dünya'nın Uyumu" isimli iki kitabında Güneş sisteminde bulunan gezegenlerin hareketlerini açıklayan gezegensel hareketin üç yasasını yayınlamıştır [10,14].

Nitekim felsefe gözümüzün önünde sürekli açık olan evren dediğimiz kitapta yazılmıştır. Ancak dili anlamayı ve yazıldığı karakterleri tanımayı öğrenmeden anlayamaz. Matematik dilinde yazılmıştır ve karakterleri üçgenler, daireler ve diğer geometrik şekillerdir [10].

René Descartes'in 1641'de yayımlanan "Third Meditation" felsefesinden türetilen nedensellik ilkesi fizikte öncelik olarak kabul edilir. Nedensellik ilkesi, her etkinin önceden belirlenmiş yaklaşık bir nedeni olduğunu söyler. Basit bir biçimde, "Her etkinin bir nedeni vardır" [10].

1687'de de Isaac Newton, başlangıç koşulları ve hareket yasası kavramlarının ayrı ayrı değerlendirilmesi gerektiğini ileri sürerek nedensellik ilkesini pekiştirdi. Newton dünyadaki nesnelere hareketleri ile gökyüzündeki nesnelere hareketlerinin aynı doğal yasalar ile yönetildiklerinin kendi kütle çekim kanunu ile Kepler'in gezegen hareketleri kanunu arasındaki tutarlılıklar ile göstermiştir [10,15].

Diferansiyel denklemleri kullanarak hareket yasalarını açıklayan, kütle çekim yasasını yazan ve "İki Cisim Problemi"ni ortaya koyan Newton, 20. yüzyılın başlarına kadar (görelilik ve kuantum mekaniğinden önce) klasik bilimin, yani fiziğin gelişimini başlatan araştırmacı olarak görülebilir [10-11].

Buna ilaveten Fransız matematikçi ve gök bilimci Pierre-Simon Laplace'ın determinizm fikri çok dikkat çekicidir. Determinizm: Evrende bir düzen olduğunu ve bu düzen çözüldüğünde nedenlerin ve sonuçların açıklanıp daha sonra gelişecek olayların bilgisinin

elde edilebileceğini iddia eden felsefi bir önermedir [16]. Determinizm terimi ilk olarak 19. yüzyılda kullanılmıştır. 17. yüzyıl biliminden de etkilenmiştir [16]. Le Verrier ve Galle, 19. yüzyılda Uranüs'ün yörüngesinin başka bir gezegenin kütle çekiminden etkilendiğini düşünmüşler ve o gezegenin yerini de matematiksel olarak hesaplayıp Almanya'da Fraunhofer Teleskopu'yla gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak gözlemleri, tahminleri ile uyumlu çıkmıştır [16]. Bu bilgi Pierre-Simon Laplace'ın determinizm fikrinin oluşmasına zemin hazırlamıştır. Laplace Gök cisimi hareketlerinin toplamının (kendi zamanında, güneş ve gezegenler) Newton yasasıyla açıklanabileceğini ve gezegenlerin çalışmasını bir dizi diferansiyel denkleme indirgeyebileceğini gösterdi [10]. Deterministik sistemlerin o anki durumu, bir sonraki durumunun nedeni ve bir önceki durumunun sonucudur. Buradan hareketle deterministik bir sistem aynı başlangıç koşullarının aynı sonucu vereceğini belirtir.

Bunlara ek olarak başlangıç koşullarının kesin olarak doğru saptanamayacağını gösteren fizikçi ve matematikçi olan Henri Poincaré, 1800'lü yılların sonlarında Kaos Kuramı'na büyük katkı sağlamıştır. Poincaré başlangıç şartlarına duyarlı, periyodik olmayan davranışlar gösteren kararlı sistemlerde kaosun var olabileceğini tanımlayan böylece sistem üzerine uzun süreli tahminlerin yapılamayacağını belirten ilk kişidir [11]. Kaotik sistemlerin analitik olmasa da geometrik olarak modellenebileceğini ve "faz uzayı" denilen kavramları ortaya sürmüştür [11]. Poincaré 19. yy'da dairesel sınırlı üç cisim probleminin matematiğini inceledi. Tarihe de "Üç Cisim Problemi" olarak geçen bu çalışması sayesinde kaos olayına daha kapsamlı bakılmasını sağlamıştır [11].

1953-1954 arasında H. Poincaré tarafından elli yıl önce güneş etrafındaki gezegenlerin hareketi üzerine yaptığı çalışmada tanımlanan klasik mekaniğin temel sorununa ufuk açıcı bir katkı yapan Andreï Nicolaïevitch Kolmogorov, 20. yüzyılın en önemli matematikçilerinden biridir, adı diğer başarıların yanı sıra olasılık teorisi, türbülans, bilgi teorisi ve topoloji ile ilişkilendirilmiştir. Yapmış olduğu katkıyla bütünleşebilir denklemlerin, gezegenler arasındaki kütle çekimsel etkileşimle ilişkili küçük etkiler yüzünden aynı denklemlerin artık "bütünleştirilemez" olduğu gerçeğiyle ilgili derin bir niteliksel değişiklik ortaya çıkarmıştır [17].

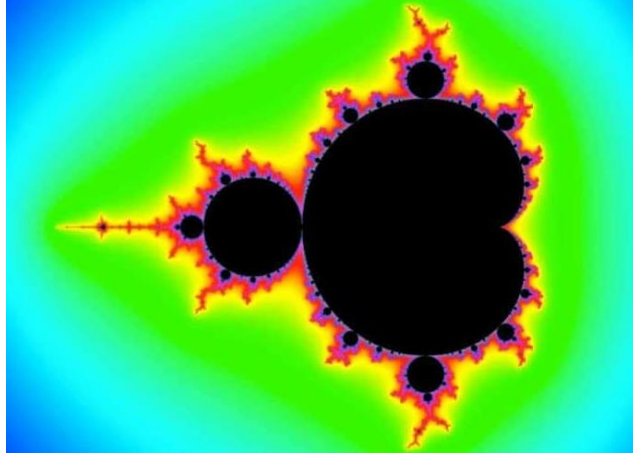
Kaos kuramına büyük katkıda bulunan bir diğer isim 1960'lı yıllarda Massachusetts Institute of Technology'den (MIT) Edward Lorenz'dir. Lorenz meteorolog olarak

çalışırken, hava durumu tahminini modellemek için çalıştığı sırada başlangıç verisini 0.506127 yerine 0.506 olarak girdiğinde çıkışta çok farklı bir sonuç gözlemlemiştir [12]. Bu gözleminden yola çıkarak bir sistemin başlangıç koşullarındaki ufak bir değişiminde sistemin evriminde büyük ve öngörülemez sonuçlar doğuracağı sonucunu çıkarmıştır. Başlangıç koşullarına hassas bağımlılık olan bu durumu daha anlaşılır kılmak için kelebek etkisi denen meşhur söylemiyle açıklamıştır. Brezilya'da bir kelebeğin kanat çırpışı Teksas'ta bir kasırga mı başlatır? Kelebek etkisi en temeliyle, bir sistemin başlangıç verilerinde küçük değişiklikler yapıldığında öngörülemez ve büyük sonuçların doğabileceğine değinmektedir. Lorenz, doğrusal olmayan bir sistemin, yani havanın kaotik davranışını yeniden keşfetmişti, ancak kaos teorisi terimi ancak daha sonra 1975'te matematikçi James A. Yorke tarafından fenomene verildi. Lorenz ayrıca bilgisayarını kullanarak bulgularının grafiksel bir tasvirini verdi. Ortaya çıkan figür onun ikinci keşfi olan çekicilerdi [10-12].

Bu gelişmelere ek olarak Kolmogorov'un türbülans alanındaki çalışmalarında yetersizlikler olduğunu düşünen Belçikalı fizikçi David Ruelle, matematikçi Floris Takens ile kaotik dinamik sistemler teorisine bir akışkanın hareket düzensizliği olan türbülans üzerine yaptıkları çalışmalar ile büyük katkıda bulunmuşlardır [11].

1978'de Mitchell Feigenbaum'un Kaos teorisinde öncü çalışmaları çok ilginç ve güzeldir [11]. Mitchell Jay Feigenbaum, düzenli dinamikler ve kaos arasındaki geçişi tanımlamak için periyot ikiye katlama adlı senaryoyu önerdi. Önerisi biyolog Robert M. May tarafından 1976'da sunulan lojistik haritaya dayanıyordu [10]. Lojistik harita, kaosu en iyi ve basit anlatan denklemdir [18].

Bunlara ek olarak Mandelbrot'un boyutla ilgili ilk çalışması İngiltere kıyılarının uzunluğunu merak etmesiyle başladı. 1973'te ilk kez iktisat alanında çalışan Benoît Mandelbrot, bilimdeki yeni rastgelelik biçimleri hakkında bir makale yazdı. Birkaç yıl sonra Mandelbrot fraktal geometriyi keşfetti ve Lorenz çekicisinin, garip çekicilerin çoğu gibi fraktal bir figür olduğunu keşfetti. Fraktal boyutu tanımladı [10]. Şekil 1.1.'de Mandelbrot kümesinin iki boyutlu düzlemdeki görüntüsü verilmiştir.



Şekil 1.1. Mandelbrot kümesi [19].

Fraktalların bir özelliği, benzer formların farklı gözlem seviyelerinde (teorik olarak tüm gözlem seviyelerinde) tekrarlanmasıdır.

## 1.2. Kaotik Sistemler ve Özellikleri

Bir sistemin kaotik olabilmesi için belirli özellikleri taşıması gerekir. Bu özellikler:

- Başlangıç koşullarına hassas duyarlı olması.
- Periyodik davranışa sahip değildir.
- Kaotik davranışı tahmin etmek çok zordur.
- Davranışlar rastgele görünür.
- Doğrusal değildir [8].

Kaotik bir sistemin dinamiklerini daha iyi anlamak için kaotik bir sistem üzerinden örneklendirmek yardımcı olacaktır. Edward Lorenz'in 1963 yılında yayımladığı "Deterministic Nonperiodic Flow" makalesinde belirleyici periyodik olmayan akışın varlığını doğrulamak için sadeleştirilmiş bir matematiksel model olarak ortaya koyduğu 3 diferansiyel denklem tasarlamıştır [20]. Lorenz denklemleri kaos biliminde ilk garip çekici olmasından dolayı çok önemlidir ve birçok çalışmaya konu olmuştur [21].

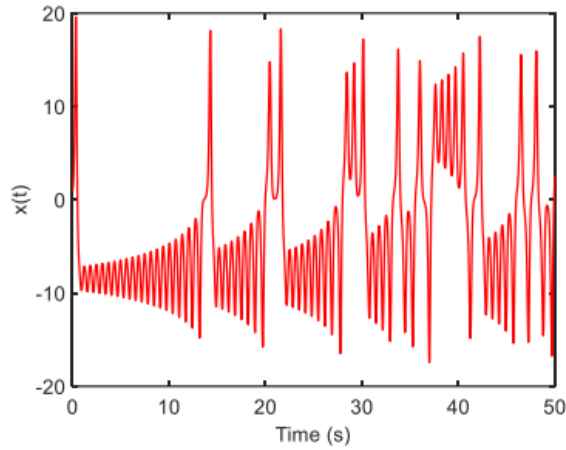
Lorenz sistemi 3. Dereceden nonlinear kaotik bir sistemdir. Sistem aşağıda verilen denklemler ile tanımlanmaktadır:

$$\frac{dx}{dt} = ay - ax \quad (1.1)$$

$$\frac{dy}{dt} = bx - y - xz \quad (1.2)$$

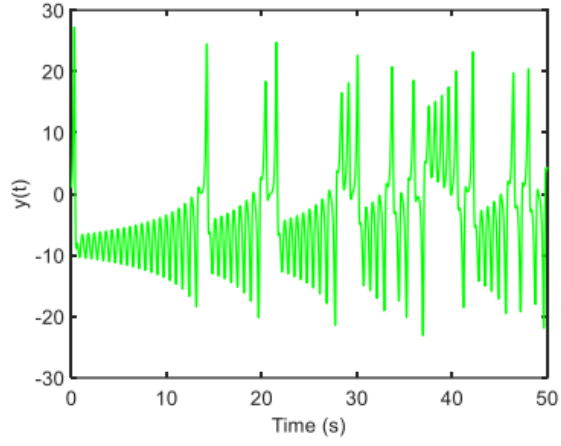
$$\frac{dz}{dt} = xy - cz \quad (1.3)$$

Bu denklemlerdeki  $a$ ,  $b$ ,  $c$  sabit değerlerdir. Sayısal simülasyonlarda için  $a=10$ ,  $b=28$  ve  $c= 8/3$  alındığında kaotik davranış gözlemlenir. Kaotik sistemlerin en belirgin özelliği başlangıç değerlerine hassas bağımlı olmalarıdır. Bu durumu kavrayabilmek için Lorenz sistemi üzerinde yapılan çalışmalara aşağıda yer verilmiştir.

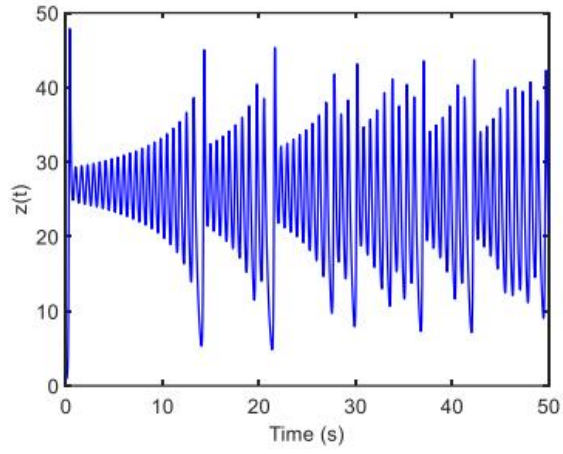


Şekil 1.2. Lorenz sisteminin  $x(t)$  için zaman serisi [22]

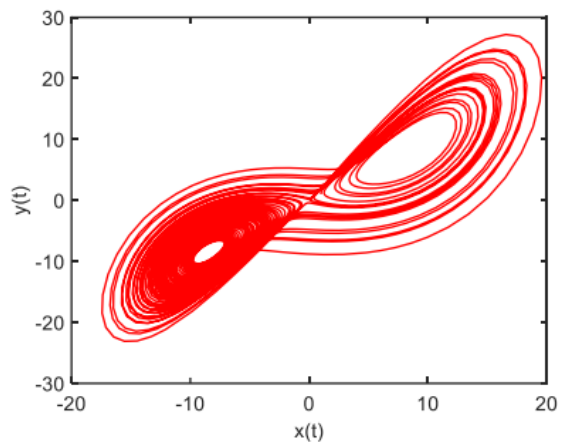




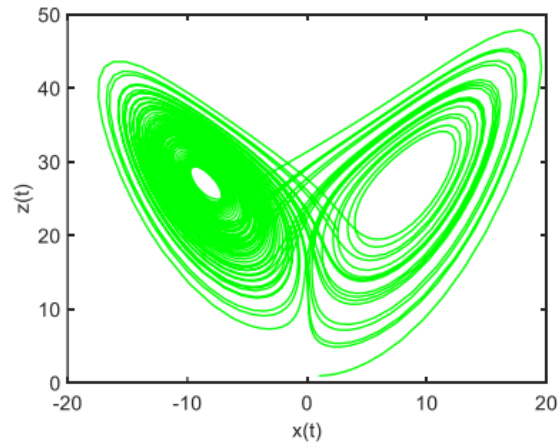
Şekil 1.3. Lorenz sisteminin  $y(t)$  için zaman serisi [22]



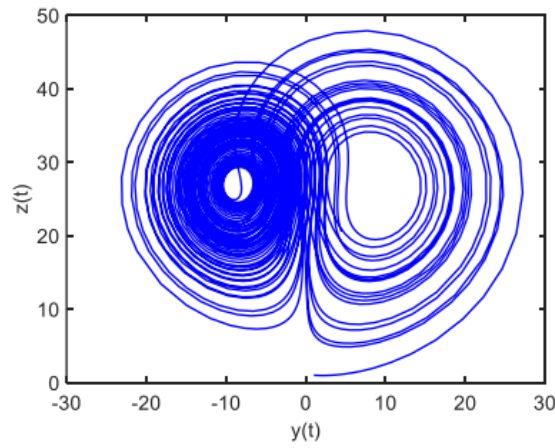
Şekil 1.4. Lorenz sisteminin  $z(t)$  için zaman serisi [22]



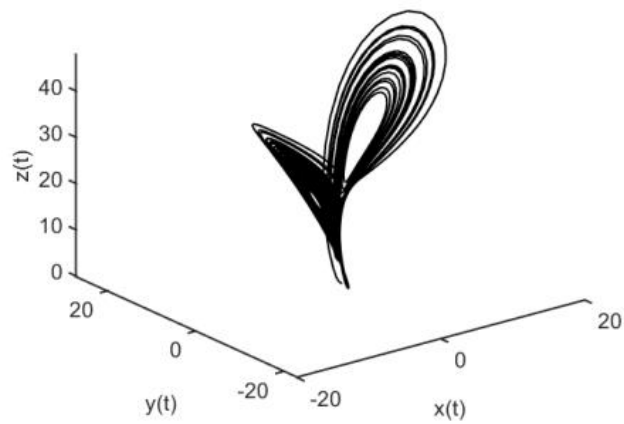
Şekil 1.5. Lorenz sisteminin  $y(t)$  ve  $x(t)$  domeninde 2 boyutlu kaotik çeker gösterimi [22]



Şekil 1.6. Lorenz sisteminin  $z(t)$  ve  $x(t)$  domeninde 2 boyutlu kaotik çeker gösterimi [22]



Şekil 1.7. Lorenz sisteminin  $z(t)$  ve  $y(t)$  domeninde 2 boyutlu kaotik çeker gösterimi [22]



Şekil 1.8. Lorenz sisteminin 3 boyutlu kaotik çeker gösterimi [22]

### 1.3. Kaos Teorisinin Uygulama Alanları

Kaos teorisi günümüzde jeoloji, matematik, biyoloji, bilgisayar bilimi, ekonomi, mühendislik, finans, meteoroloji, felsefe gibi geniş kullanım alanı bulmuştur ve sürekli de kullanım alanı genişleyen bir bilim dalı haline gelmiştir. Bu alanlardan biri de tıptır. Tıptaki pek çok keşif, organların doğrusal ve deterministik bir şekilde işlev gördüğünün ve nedensellik ilkesinin normal veya anormal fizyolojiye uygulandığının göstergesi olarak görülmektedir. Dolayısıyla canlı türleri, bazı karmaşık kaotik sistemler sergilerler [23]. Kalp ile ilgili çalışmalarda kaos birçok deneysel ve modelleme çalışmasında gösterilmiştir [24]. Kalp ritmi başlangıç koşullarına ve çekicinin fraktal boyutuna duyarlıdır. Diğer taraftan beyin bozuklukları da kaosun gözlemlendiği alanlardan biridir. Beyin bozukluklarına, elektroensefalogramdaki (EEG) ölçülebilir değişiklikler eşlik eder; bu, en çok yüksek genlikli senkronize dalgaların gözlemlendiği bir dizi epileptik uyumda görülür. Çeşitli EEG modelleri, farklı çekiciler ve farklı fraktal boyutlar sunar. Sağlıklı bir insan gözleri açık olarak ayakta durduğunda, EEG düşük genlikli yüksek tekrarlı alfa dalgaları gösterir ve karşılık gelen çekerin yüksek bir boyutu vardır. Gözler kapandığında, EEG dalga genliği artar, frekans azalır ve buna karşılık gelen fraktal boyut daha düşüktür [23].

Bu alanlara ek olarak kaos haberleşme alanında da önemli bir yer bulmuştur. Haberleşme sistemlerinin gelişmesi ile bilgi güvenliği konusu gün geçtikçe daha fazla dikkat çekici hale gelmiştir. Başlangıç şartlarına ve sistem parametrelerine çok hassas olma özelliğine sahip kaotik işaretlerin tahmin edilme olasılığı çok düşüktür. Bu özelliğinin yanı sıra kaotik işaretler aynı zamanda periyodik değildir. Bu özellikleri kaotik işaretlerin güvenilir ve gizli haberleşme alanında kullanılabileceği fikrini ortaya çıkarmıştır. Bu fikir doğrultusunda kaotik işaretlerin senkronizasyonu tartışma konusu olmuştur. Bu problemin çözümü olarak literatürde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Kaotik işaretlerin senkronize olabilmesi haberleşme alanında geniş çalışmalar yapılmasına imkân tanımıştır [25]. Bu doğrultuda literatürde birçok kaotik haberleşme sisteminin tasarımı yapılmıştır ve gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalara örnek olarak: Kaotik bir sistem kullanılarak kaotik maskeleyme yöntemi, kaos kaydırmalı anahtarlama yöntemi, kaotik açma kapama anahtarlama yöntemi, korelasyon gecikmeli kaydırmalı anahtarlama yöntemi, simetrik kaos kaydırmalı anahtarlama yöntemleri ile haberleşme sistemleri tasarımları yapılmıştır. Bu yöntemler ile tasarlanan kaos tabanlı haberleşme sistemlerinin 0-20 dB arasındaki  $E_b$

/  $N_0$  (bit enerjisinin gürültü enerjisine oranı) değerlerinde AWGN (Additive White Gaussian Noise- Toplanır Beyaz Gauss Gürültüsü) kanal modeli altındaki BER (Bit Error Rate- Bit hata oranı) performanslarına bakıldığında aynı şartlar altında kaotik maskeleye yönteminin BER performansının diğer yöntemlere göre daha iyi olduğu gözlenmiştir. Kaotik maskeleye yöntemi ile tasarlanan haberleşme sisteminin kaotik haberleşmede kullanılması için, elde edilen kaotik sistem kullanılarak Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri (Field Programmable Gate Array-FPGA) tabanlı gerçek rastgele sayı üretici (GRSÜ) tasarlanmıştır. FPGA tabanlı GRSÜ biriminin maksimum rastgele sayı üretme hızı 6,338 MHz olarak elde edilmiştir. Sonuçta şifreleme birimi için gerekli olan rastgele sayılar (0 ve 1) FPGA üzerinde başarılı bir şekilde üretildiği gösterilmiştir. Görüntü verisinin yanı sıra metin ve ses bilgisi ile de tasarlanan haberleşme sistemi test edilmiştir [26].

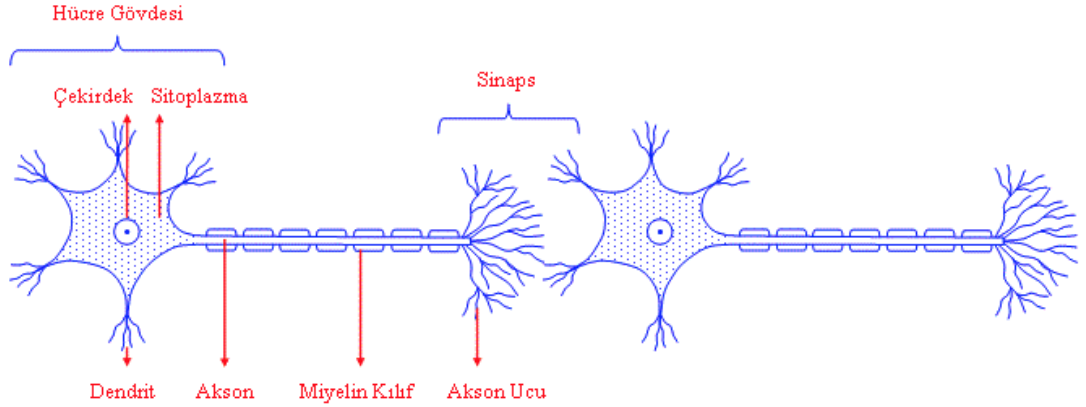
Bu çalışmalara ek olarak kablosuz iletişimde de kaotik işaretlerin kullanılabilmesine dair çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada kablolu iletişim sistemlerine göre çeşitli sebeplerden dolayı performansları daha düşük olan kablosuz iletişim sistemlerinde kaotik işaretlerin kullanılabilmesi gösterilmiştir [27].

## 2. BÖLÜM

### YAPAY SİNİR AĞLARI

#### 2.1. Giriş

İnsan müdahalesine gerek duymadan, kendine verilen görevleri yerine getirebilmesi için matematiksel olarak modellenen yapay modellerin oluşturulmasıyla ilgilenen bilim dalına sibernetik denir [1]. Yapay Sinir Ağları (YSA) kod yazmadan ziyade verilerin sınıflandırılarak insan beyninin öğrenme yapısını taklit etmeye çalışmaktadır. Bu sayede insanlara gereksinim duyulmadan veya duyulan gereksinimin azaltılması amacıyla YSA birçok alanda kullanılmak için eğitilmektedir. İnsandaki bir sinir hücresinin (nöron) yapısı aşağıdaki gibidir:



Şekil 2.1. Bir sinir hücresinin biyolojik gösterimi [26]

Dentritler (Dendrites): Diğer nöronlardan alınan uyarıları hücre gövdesine iletir. Sinaps

(Synapse): Nöronların diğer nöronlara mesaj iletmesini sağlar.

Akson (Axon): Hücreden gelen bilgiyi farklı hücrelere taşır.

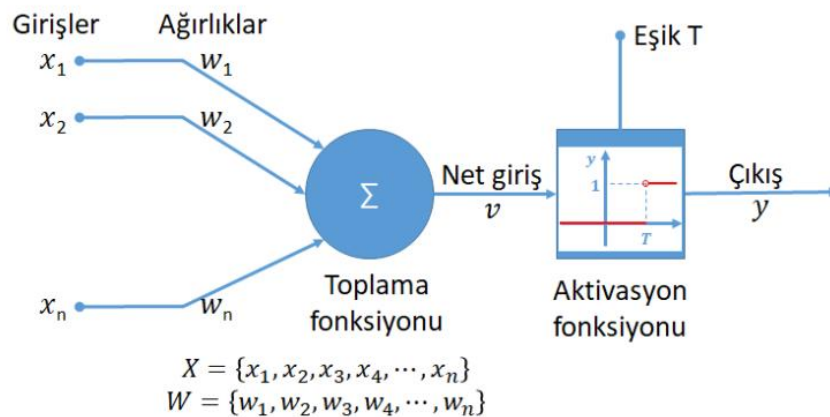
Aksonların dentritlere gönderdiği kimyasal sinyaller elektriksel sinyallere dönüştürülür; bu elektriksel sinyaller diğer nöronlardan gelen elektriksel sinyallerle beraber diğer nöronlara gönderilir veya gönderilmez. Bu süreç sürekli tekrarlanır [29]. Bir sinir hücresi gelen uyarılardan farklı şekilde etkilenir.

- Alınan uyarılardan bazıları nöronu uyarır.
- Bazıları bastırır.
- Diğer sinyallerde değişikliğe yol açar.

İnsan beyni üzerinde yaklaşık 86 milyar nöron bulunmaktadır [28].

## 2.2. Tek Katmanlı Yapay Sinir Ağları

Sinir hücrelerinin karmaşık işlemlerini matematiksel olarak anlamak için matematiksel YSA modelleri oluşturulmuştur. Tek katmanlı modellerde çoklu giriş ve tek çıkış vardır [30]. İlk olarak 1943 yılında Warren McCulloch ve Walter Pitts tarafından modellenmiştir. Bu modelde  $n$  adet giriş parametresi ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ),  $n$  adet ağırlık parametresi ( $w_1, w_2, \dots, w_n$ ), bir adet eşik değeri ( $T$ ) ve bir tane çıkış değeri ( $y$ ) bulunmaktadır [31]. Bu model aşağıda gösterilmiştir:

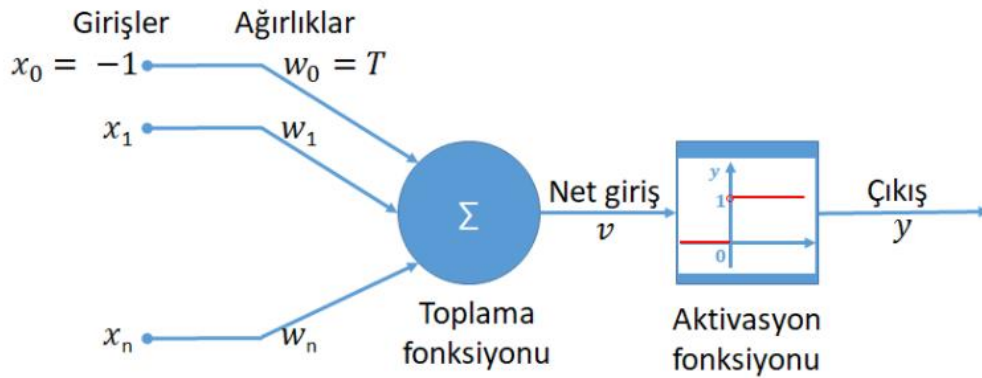


Şekil 2.2. Warren McCulloch ve Walter Pitts yapay sinir modeli [31]

McCulloch- Pitts modelinde girişteki  $x$  değerleri ağırlık değerleri olan  $w$  ile çarpıldıktan sonra toplanıyordu. Çıkan değer eşik değeri ile mukayese edilmektedir. Eğer elde edilen değer eşik değerinden büyükse çıkış “1” küçük veya eşitse çıkış “0” değeri tanımlanmaktadır. Modeldeki ağırlık ve eşik parametleri sabittir. Bu modelde öğrenme işlemleri yapılmıyordu [31].

### 2.2.1 Perceptron Modeli

1958 yılında Frank Rosenblatt tarafından şekil sınıflandırma amacı ile en basit yapay sinir ağı modeli olan perseptron(perceptron) geliştirilmiştir [32]. Bu modelde öğrenmede eklenmiştir. Bu model Şekil 2.3'te gösterilmektedir:



Şekil 2.3. Tek katmanlı yapay sinir ağı modeli (perceptron modeli) [31]

Perceptron modeli aşağıda verilen fonksiyon ile ifade edilir [33]:

$$NET = \left( \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i \right) + b \quad (2.1)$$

$x$ : girdi vektörü

$w$ : ağırlık parametresi. Bir yapay sinir ağına gelen bilginin ağ üzerindeki etkisini gösterir [28]. Girişlerin farklı farklı ağırlık değerleri vardır. Ağırlık değerlerinin pozitif veya negatif olması sırası ile uyarıcı sinapsları ve baskılayıcı sinapsları temsil eder. Ağırlık değerinin büyüklüğü veya küçüklüğü giriş değeri ile yapay sinir hücresi arasındaki bağlantıyı etkiler [31].

$b$ : bias değeri

Bias değeri yani eşik girdisi çıkışın “0” olmasını önlemek için kullanılır. Eşik değerinin girişi her zaman “1” dir [34]. Sınıflandırma amacı ile geliştirilen perceptron farklı değerler üreterek farklı sınıfları temsil eder [30]. Denklem 2.1’deki giriş değeri eşik değeri ile mukayese edilir ve çıkış değeri belirlenir.

$$y = f(NET) = \begin{cases} 1 & NET > b \\ 0 & NET \leq b \end{cases} \quad (2.2)$$

Aktivasyon fonksiyonu olarak perceptron modelinde basamak fonksiyonu kullanılır. Aktivasyon fonksiyonu YSA’da önemli bir konudur. Çıkışta elde edilen değere aktivasyon fonksiyonu uygulanır sonra bu değer diğer nöronların girişi olacaktır. Aktivasyon fonksiyonunun kullanılmasındaki amaç sinir ağı modelinin öğrenme gücünü artırmaktır. Sinir ağı modelinin temel basit işlemlerin yanı sıra karmaşık işlemleri de yapabilmesi istenmektedir.

Perceptron modelinde 1949 yılında Donald Hebb tarafından tanımlanan Hebb öğrenme modeli kullanılır. Perceptron modelinin çıktısı hedefteki nöron değeri ile aynı olursa ağırlık değerleri sabit kalır. Modelin çıktısı hedefteki nöron değerinden farklı olursa ağırlık değerlerinde değişiklik olur [30].

$$\begin{cases} \text{Hedef nöronun değeri} = 0 \\ \text{Modelin çıktısı} = 1 \end{cases} \quad w_i(k+1) = w_i(k) - \eta \cdot x_i \quad (2.3)$$

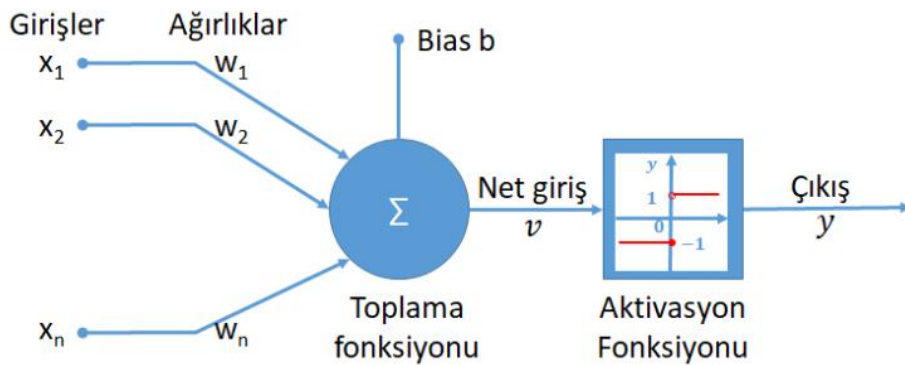


$$\begin{cases} \text{Hedef nöronun değeri} = 1 \\ \text{Modelin çıktısı} = 0 \end{cases} \quad w_i(k+1) = w_i(k) + \eta \cdot x_i \quad (2.4)$$

$\eta$  öğrenme katsayısıdır. [0 1] aralığında değer alır [30]. YSA modelinde modelin en iyi sonucu vermesi için en uygun ağırlık değeri ( $w$ ) ve eşik değeri ( $b$ ) parametreleri hesaplanır [1].

### 2.2.2 Adaline Modeli

Tek katmanlı YSA modellerinden en bilinenlerinden biride Adaline modelidir. 1959 yılında Bernard Widrow ve öğrencisi Marcian Hoff tarafından geliştirilmiştir [34]. Açılımı “ADaptive LINear Element” dir. Bu modelde perceptron modelinden farklı olarak öğrenme modeli olarak delta öğrenme kuralı kullanılır [30]. Adaline öğrenme modelinde de girdilerden çıktılar hesaplanır ve ağırlık değerleri çıkış değerine göre değiştirilir veya değiştirilmez.



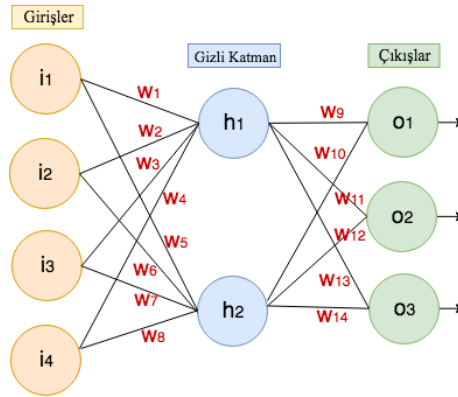
Şekil 2.4. Adaline öğrenme modeli [31]

Adaline modelinde ise aktivasyon fonksiyonu olarak basamak aktivasyon fonksiyonunun yanı sıra kombinasyonları doğrusal olmayan hiperbolik tanjant fonksiyonu ve sigmoid

fonksiyonu kullanılır [35]. Bu aktivasyon fonksiyonları sayesinde sinir ağı modelinin öğrenme gücündeki sınırlılık oranı artırılmaktadır.

### 2.3. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları

Tek katmanlı YSA karmaşık olmayan basit problemleri hızlı çözebiliyorlardı. Bu sebepten dolayı karmaşık problemlerin çözülebilmesi için çok katmanlı YSA'na ihtiyaç vardı. Çok katmanlı yapay sinir ağı modellerinde giriş ve çıkış katmanları dışında ara katmanlar mevcuttur [30]. Gizli katman olarak ta bilinen ara katmanlar problemin karmaşıklığına göre hem katman sayısı hem de katmanlardaki nöron sayısı artar. Bu katmanlarda ileri yönlü hesaplama ve geri yönlü hesaplama yapılır [36].



Şekil 2.5. Çok katmanlı yapay sinir ağı modeli [36]

Çok katmanlı YSA'nda bir katmandaki nöronlar bilgileri diğer katmana ağırlık parametresi ile çarparak gönderir [30].

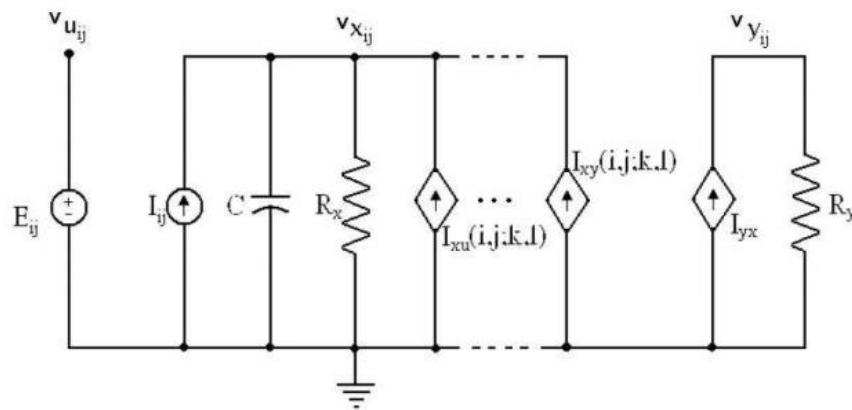
### 2.4. Hücresel Sinir Ağları

İnternet teknolojilerinin gelişmesi, big data (büyük veri) kavramının önem kazanması ve sistemlerin akıllı hale gelmesi ile 1950'li yıllarda çalışmaları başlayan YSA ağlarının kapsamı daha da genişledi. Standart YSA modelleri yetersiz kalmaya başladı [1]. Bu teknolojilerdeki hızlı gelişmeleri karşılayabilmek için yeni bir devre mimarisi olan HSA (Cellular Neural Network-CNN) modeli 1988 yılında Leon Chua ve Lin Yang tarafından tanıtılmıştır [2]. HSA dinamik sinir ağı modelidir. Geleneksel dijital hesaplama yöntemlerinin seri yapıları dolayısıyla yaşanan hız sorunun üstesinden sinir ağlarının sahip olduğu paralel işaret işleme, sürekli zaman dinamikleri, gerçek zamanlı sinyal

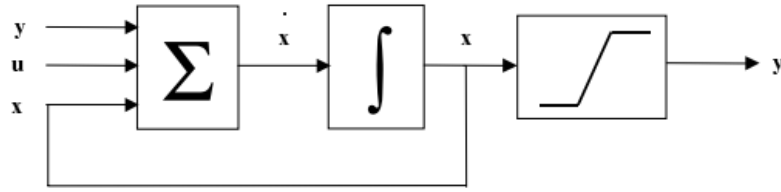
işleme özellikleri ile hız sorununun üstesinden gelinmesi amaçlanmıştır [2]. HSA nesnelere tanıma ve sınıflandırmasındaki başarısından dolayı görüntü işleme başta olmak üzere geniş uygulama alanına sahiptir. HSA'nın temel birimi hücre olarak adlandırılır [2,37]. Doğrusal ve doğrusal olmayan devre elemanları bulunduran hücrelerin en belirgin özelliği sadece bitişindeki komşu hücrelerle etkileşime girmeleridir [38]. Doğrudan birbirine bağlı olmayan hücreler HSA'nın sürekli zaman dinamiklerinin yayılma etkilerinden dolayı birbirlerini dolaylı olarak etkileyebilirler [2]. Standart bir HSA hücresinin devre örneği ve blok şeması Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Şekil 2.6'da  $u$  = giriş,  $x$  = durum ve  $y$  = çıkış düğümleri olarak tanımlanmıştır.  $v_{uij}$  düğüm gerilimi hücre girişini,  $v_{xij}$  düğüm gerilimi hücre durumunu ve  $v_{yij}$  düğüm gerilimi hücrenin çıkışı olarak isimlendirilir [39]. Her bir hücre lineer bir kapasitör, iki bağımsız akım kaynağı,  $R_x$  ve  $R_y$  olmak üzere iki adet direnç ve en fazla hücre sayısının iki katı kadar gerilim kontrollü lineer akım kaynağından oluşmaktadır [40]. Sırasıyla  $i$  satırı  $j$  sütunu temsil eder. Komşu hücrelerde  $k$  ve  $l$  ile temsil edilmektedir. Her bir hücre Denklem (2.5) ve Denklem (2.6)'da verilen voltaj kontrollü akım kaynaklarıyla klonlama şablonları olarak bilinen  $A(i, j; k, l)$ ,  $B(i, j; k, l)$  sabit katsayılarında en yakın hücreyle karşılıklı olarak etkileşime girer [37].

$$I_{xy}(i, j; k, l) = A(i, j; k, l) v_{ykl} \quad (2.5)$$

$$I_{xu}(i, j; k, l) = B(i, j; k, l) v_{ukl} \quad (2.6)$$



(a)



(b)

Şekil 2.6. (a) HSA hücresinin devre örneği [40], (b) HSA hücre şeması [56].

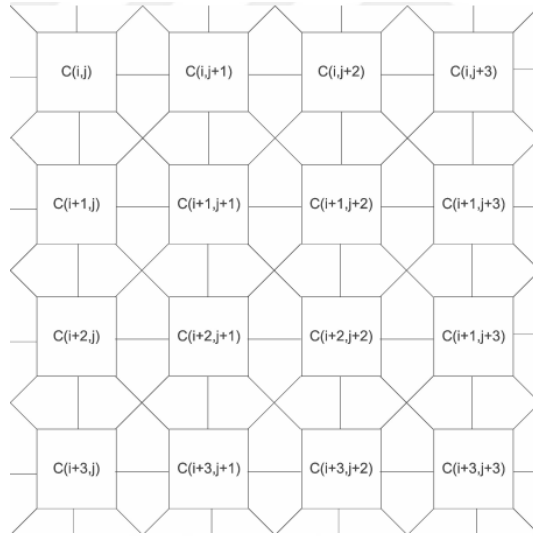
### 2.4.1. HSA Komşuluk

Herhangi bir hücrenin komşularına olan etkisi komşularına olan uzaklığı ile ters orantılıdır [41]. Şekil 2.7'deki kareler hücreleri temsil eder. Hücreler arasındaki bağlantılar ise hücreler arasındaki etkileşimi göstermektedir [2].  $MXN$  boyutlu bir HSA'nı ele aldığımızda  $M$  satırı  $N$  sütunu temsil eder.  $i$ 'inci satır  $j$ 'inci sütunda bulunan hücre  $C_{ij}$  ile gösterilir. Komşu hücreler birbirleri ile doğrudan bağlantıdadır. Bir HSA hücresinin komşuluk gösterimi denklem (2.7) 'deki ifade ile tanımlanır [42].

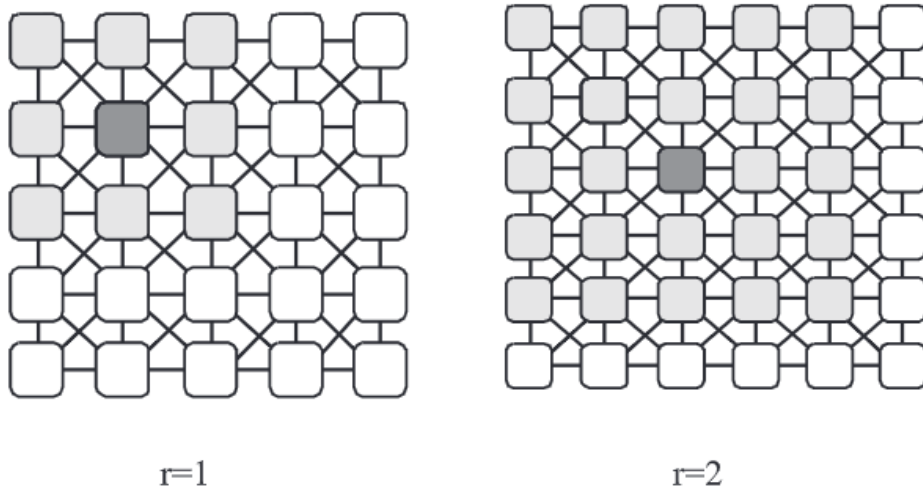
$$S_{ij}(r) = \{C_{kl} : \max(|k - i|, |l - j|) \leq r, 1 \leq k \leq M, 1 \leq l \leq N\} \quad (2.7)$$

Denklem (2.7) bir hücrenin  $r$  yarıçaplı kapsadığı alanı gösterir.  $r$  pozitif tam sayıdır. Sırasıyla  $r=1$  ve  $r=2$  için bir hücrenin komşuluk ilişkileri Şekil 2.8'te gösterilmiştir. Merkezdeki hücre koyu renkli etki alanındaki hücreler ise açık gri renkte gösterilmiştir.

$r=1$   $3 \times 3$  komşuluk  $r=2$  ise  $5 \times 5$  komşuluk olarak tanımlanır. Bir HSA'daki tüm  $C_{ij}$  ve  $C_{kl}$  için komşuluk sistemi  $C_{ij} \in S_{r(k,l)} \Leftrightarrow C_{kl} \in S_{r(i,j)}$  şeklinde simetri özelliği göstermektedir [40].



Şekil 2.7. 4x4 formatında HSA [43]

Şekil 2.8. Sırasıyla  $r = 1$  ve  $r = 2$  için aynı hücrenin komşulukları [44]

HSA'nın durum, çıkış, giriş denklemleri, sınır koşulları ve parametre kabulleri matematiksel olarak aşağıdaki denklemler ile ifade edilir:

#### Durum Denklemleri:

$$C \frac{dx_{ij}(t)}{dt} = -\frac{1}{R_x} x_{ij}(t) + \sum_{C(k,l) \in S(i,j)} A(i,j;k,l) y_{kl}(t) + \sum_{C(k,l) \in S(i,j)} B(i,j;k,l) u_{kl} + I_{ij} ,$$

$$1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N$$

(2.8)

$x_{ij}$ ,  $C(i,j)$  hücrenin durum değişkeni.

$y_{kl}$ , Hücrenin çıkışı.

$u_{kl}$ , Hücrenin girişi.

$I_{ij}$ , Eşik değeri veya Akım sabiti.

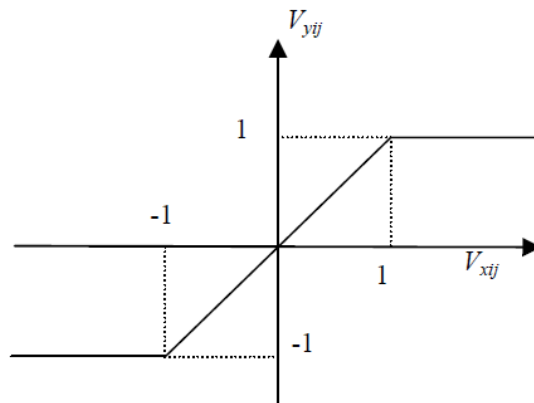
$A(i, j ; k, l)$ , Klonlama şablonları olarak ta bilinen ağırlık katsayısı.

$B(i, j ; k, l)$ , Klonlama şablonları olarak ta bilinen ağırlık katsayısı.

$(i,j)$  sırasıyla  $i$  satırı  $j$  sütunu temsil eder. Hücrenin konumunu belirtir.  $(k,l)$  ise hücrenin komşuluklarını belirtir.

#### Çıkış Denklemleri:

$$V_{yij}(t) = \frac{1}{2} ( |V_{xij}(t) + 1| - |V_{xij}(t) - 1| ), 1 \leq i \leq M; 1 \leq j \leq N; \quad (2.9)$$



Şekil 2.9 Parçalı-doğrusal karakteristiğe sahip çıkış fonksiyonu [42]

Çıkış fonksiyonu lineer değildir. Parçalı-doğrusal(piece-wise) bir fonksiyona sahiptir.

**Giriş Denklemleri:**

$$V_{uij} = E_{ij}, \quad 1 \leq i \leq M; 1 \leq j \leq N; \quad (2.10)$$

**Sınır Şartları:**

$$|V_{xij}(0)| \leq 1, \quad 1 \leq i \leq M; 1 \leq j \leq N \quad (2.11.1)$$

$$|V_{uij}| \leq 1, \quad 1 \leq i \leq M; 1 \leq j \leq N \quad (2.11.2)$$

**Parametre Kabulleri:**

$$A(i, j; k, l) = A(k, l; i, j), \quad 1 \leq i, k \leq M; 1 \leq j, l \leq N \quad (2.12.1)$$

$$C > 0, R_x > 0. \quad (2.12.2)$$

**2.5. Hücresel Sinir Ağlarının Kullanım Alanları**

HSA'nın hızlı ve başarılı sonuçları birçok alanda kullanılmasına imkân tanımıştır. HSA görüntü işleme alanında başarılı sonuçlar vermesi sebebiyle yaygın kullanıma sahiptir. HSA'ndaki hücreler görüntü işleme uygulamalarında görüntünün piksellerine eş değerdir [45-46]. HSA'nın bu paralel çalışma potansiyeli standart bilgisayarların yetersiz kaldığı görüntü işleme uygulamalarında hız avantajı sunmaktadır [40].

Ülkemizde “Görüntü İşlemeye Dayalı Avuç İçi İzinin Yapay Sinir Ağı ile Tanınması”, “FPGA Tabanlı Medikal Görüntü İşleme”, Makine Öğrenmesi ve Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Kelebeklerin Tanımlanması” başlıklı yüksek lisans ve doktora tez çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalarda sırasıyla avuç içi görüntülerinin kullanılarak kişilerin kimlik tespiti için 50 kişiye ait 600 adet görüntü kullanılmıştır. Çalışmada 600 görüntünün 500'ü sinir ağlarını eğitmek için kullanılmıştır. Sonuçlarda bu çalışmanın

doğruluk oranları yüzde 90'ın üzerine çıkmıştır. Bu sonuçlar neticesinde bu uygulama kullanılarak avuç içi tanımlama yapılabileceği gösterilmiştir [47]. Bir diğer çalışmada sıtma hastalığının erken tespiti için HSA tabanlı görüntü işleme algoritmaları kullanılmıştır. 300 hastalıklı ve sağlıklı görüntü üzerinde test yapılmıştır. Sonuçlara göre HSA sınıflandırıcısı, diğer sınıflandırma yöntemlerine kıyasla %97,67'lik başarı oranı ile en doğru tespit yüzdesine ulaşmıştır [48]. HSA kullanılarak kelebek türlerinin tanımlanması için de çalışmalar yapılmıştır. 10 farklı kelebek türü için 140 görüntüden oluşan bir veri seti üzerinde çalışma yapılmış ve %98'lik doğruluk elde edilerek bu çalışmanın kelebek türlerini tanımlamadaki başarısı ortaya konulmuştur [49].

Bunlara ek olarak HSA görüntüleri olumsuz etkileyen gürültülerden arındırarak görüntü kalitelerinin artırılmasında ve görüntülerde kenar belirleme (edge detection) uygulamalarında başarılı sonuçlar vermiştir. Bu amaçla yapılan bir çalışmada kızılötesi görüntüler üzerinde testler yapılmıştır. Yapılan testlerde HSA'nın bu uygulamadaki başarısını test etmek amacıyla termal kamera ile çekilen kızılötesi bir görüntü üzerine gürültü bindirilmiştir. Bu gürültülü kızılötesi görüntüye HSA uygulanmıştır. Çalışma sonucunda HSA'nın gürültülü kızılötesi görüntüyü başarılı şekilde gürültüden arındırdığı görülmüştür [41]. Sayısal görüntülerde kenar belirleme için de HSA algoritmaları kullanılmıştır. Karayolunda hareket halinde olan araçların tespiti için önerilen metotta sinir ağları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar diğer algoritma sonuçlarıyla kıyaslandığında önerilen metodun karmaşık ortamlarda başarılı bir şekilde araç tespiti yaptığını göstermiştir [50]. Bunlara ilaveten Analog işaret işlemede HSA'nın kullanılması için Alanda Programlanabilir Analog Diziler (Field Programmable Analog Array-FPAAs) ve Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri (Field Programmable Gate Array-FPGA) sağladığı çeşitli avantajlardan dolayı sık tercih edilmektedir. FPAA ve FPGA'ler analog ve sayısal tasarım yapmaya olanak sağlayan geliştirme platformlarıdır. Sahip oldukları avantajlardan en dikkat çekici olanı yeniden programlanabilmeleridir. Yeniden programlanabilmenin sağladığı kolaylığın yanı sıra, esnek mimarileri, sıcaklığa karşı dayanıklılıkları, paralel çalışmalarını sayesinde yüksek frekanslara çıkabilmeleri ve düşük güç tüketimi gibi özellikleri sayesinde HSA'nın modellenmesinde ön plana çıkan entegre devrelerdir [51-52]. FPGA bu sayede birçok çalışmada tercih edilmektedir. FPGA kullanılarak yapılan çalışmalar: FPGA kaotik sinyal üreteçlerinin gerçekleştirilmesinde tercih edilen yapılarıdır. Kaotik işaret işleme kısmında HSA'nın kullanılabilmesi için DK-



HSA önerilmiştir. Yapılan çalışmalarda DK-HSA tabanlı kaos üreteçlerinin FPGA kullanılarak gerçekleştirildiği gösterilmiştir [53]. Diğer bir çalışmada ise HSA tabanlı otonom olmayan Murali-Lakshmanan-Chua (MLC) devresinin FPAA ile tasarlanması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sonucunda FPAA tabanlı uygulamaların devre karmaşıklığını azalttığı görülmüştür [54].



## 3. BÖLÜM

### DURUM KONTROLLÜ HÜCRESEL SİNİR AĞLARI

#### 3.1. Giriş

##### HSA Hücre Modeli

Şekil 2.6 (a)'da verildiği gibi HSA hücresi birinci dereceden doğrusal olmayan bir devredir. Bu şekilde verilen  $v_{ij}$  hücrenin girdisi,  $y_{ij}$  hücrenin çıktısı ve  $x_{ij}$  ise hücrenin durum değişkenidir. Doğrusal olmayan çıktı denklemi:

$$y_{ij} = 1/2[|x_{ij} + 1| - |x_{ij} - 1|] \quad (3.1)$$

En basit HSA, iki boyutlu bir  $MXN$  hücreleri dizisi olarak tanımlanır. Her hücre,  $I_{xy}(i, j; k, l) = A(i, j; k, l) y_{kl}$ ,  $I_{xu}(i, j; k, l) = B(i, j; k, l) u_{kl}$  voltaj kontrollü akım kaynakları ile en yakın komşularıyla karşılıklı olarak etkileşime girer. Burada sabit katsayılar olan  $A(i, j; k, l)$  ve  $B(i, j; k, l)$  klonlama şablonları olarak bilinir. HSA tüm hücrelerin durum denklemleri ile tanımlanır:

$$C x_{ij}(t) = -\frac{1}{R_x} x_{ij}(t) + \sum_{c(k,l) \in N_r(i,j)} A(i, j; k, l) y_{kl}(t) + \sum_{c(k,l) \in N_r(i,j)} B(i, j; k, l) u_{kl} + I; \quad 1 \leq i \leq M; 1 \leq j \leq N \quad (3.2)$$

Burada,

$$N_r(i, j) = \{C(k, l) | \max(|k - i|, |l - j|) \leq r, \quad 1 \leq k \leq M; 1 \leq l \leq N\} \quad (3.3)$$

$r$  komşuluk derecesidir ve

$$x_{ij}(0) = x_{ij0} ; C > 0; R_x > 0. \quad (3.4)$$

Chua ve Roska HSA için daha genel bir tanım oluşturdu: HSA, aşağıda verilen iki özelliği karşılayan hücreler olarak adlandırılan, temelde özdeş dinamik sistemlerden oluşan  $n$  boyutlu bir dizidir: a) çoğu etkileşim, sonlu bir yarıçap  $r$  içinde yereldir ve b) tüm durum değişkenleri sürekli değerli sinyallerdir [55].

HSA ağları görüntü işleme, sinyal işleme uygulamalarında başarılı sonuçlar elde etti. Fakat karmaşık dinamik sistemler, diferansiyel denklemler, kaotik sistemler için yetersiz kalmaya başladı. Bu karmaşık sistemler için hücrelerin durum noktalarından da geri besleme yapılmış Durum Kontrollü Hücresel Sinir Ağları (DK-HSA) önerilmiştir. DK-HSA  $G_s$  durum değişkenlerinin varlığı haricinde genel HSA'na uyar. Arena DK-HSA ile ilk Chua devresini modelledi [55]. HSA tabanlı kaos üreticileri için birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan biri DK-HSA tabanlı otonom olmayan Murali-Lakshmanan-Chua (MLC) sistemi tanıtılmıştır ve bu sistem için iki farklı donanım gerçekleştirimi sunulmuştur [57]. Bir diğer çalışma ise kaotik işaretlerin yeniden modellenmesi amacıyla DK-HSA kullanılarak bir kaos üretici ile Sprott kaos üretici kullanılarak açık kapalı kaotik anahtarlama haberleşme sisteminin simülasyonları gösterilmiştir [58]. Arena'nın çalışmasında yeni modellenen Chua devresi üç basit genelleştirilmiş hücresel sinir ağı hücresinin bağlantısından türetilmiştir [55]. DK-HSA ile Chua devresinin yeniden modellenmesinin teorik anlamı hücresel sinir ağı hücresinin yüksek karmaşık dinamikleri gerçekleştirmek için bir ilki temsil etmesidir. Chua'nın devresi, zengin dinamik davranış çeşitliliğine sahip en basit otonom üçüncü dereceden doğrusal olmayan elektronik bir devredir [55]. HSA hücresi, HSA'nın çekirdeğidir ve klasik tanımında basit bir birinci dereceden doğrusal olmayan devredir. Chua devresinin denklemleri Denklem (3.5), (3.6) ve (3.7)'de verilmiştir.

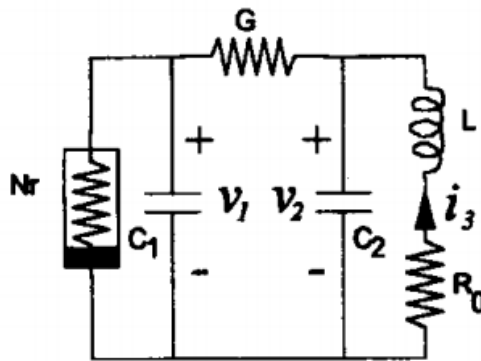
$$\frac{dv_1}{d\tau} = \frac{1}{C_1} [G(v_2 - v_1) - f(v_1)], \quad (3.5)$$

$$\frac{dv_2}{dT} = \frac{1}{C_2} [G(v_1 - v_2) + i_3], \quad (3.6)$$

$$\frac{di_3}{dT} = -\frac{1}{L} [(v_2 + R_0 i_3)]. \quad (3.7)$$

Burada,

$$f(v_1) = G_b v_1 + 0.5 \cdot (G_a - G_b) \cdot [|v_1 + E| - |v_1 - E|] \quad (3.8)$$



Şekil 3.1. Chua devresi [55]

Doğrusal olmayan direnç  $N_r$ , Chua'nın diyotudur ve  $f(v_1)$  onun karakteristiğidir. Klasik Chua devresi ile açılmış Chua devresi arasındaki fark, açılmış Chua devresinde bulunan  $R_0$  direncidir [55]. Durum denklemleri:

$$\dot{x} = \alpha [y - h(x)], \quad (3.9)$$

$$\dot{y} = x - y + z, \quad (3.10)$$

$$\dot{z} = -\beta y - \gamma z. \quad (3.11)$$

$$h(x) = m_1 x + 0.5 \cdot (m_0 - m_1) \cdot (|x + 1| - |x - 1|) \quad (3.12)$$

$x, y, z$  durum deęişkenleridir.  $\alpha, \beta, \gamma, m_0, m_1$  sistem parametreleridir.

$$x = \frac{v_1}{E}; \quad y = \frac{v_2}{E}; \quad z = \frac{i_3}{(EG)};$$

$$t = \frac{(\tau G)}{c_2}; \quad m_0 = \left(\frac{G_a}{G}\right) + 1; \quad m_1 = \left(\frac{G_b}{G}\right) + 1; \quad (3.13)$$

$$\alpha = \frac{C_2}{C_1}; \quad \beta = \frac{C_2}{(LG^2)}; \quad \gamma = \frac{(C_2 R_0)}{GL};$$

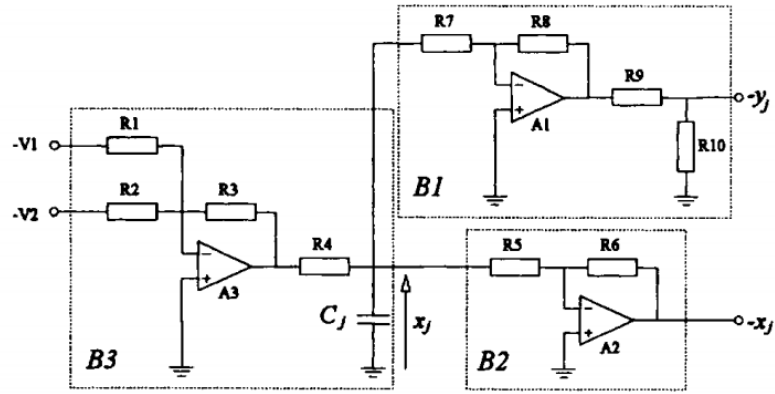
DK-HSA ise aşağıda verilen boyutsuz doğrusal olmayan durum denklemi ile tanımlanmaktadır:

$$\dot{x}_j = -x_j + a_j y_j + G_0 + G_s + i_j \quad (3.14)$$

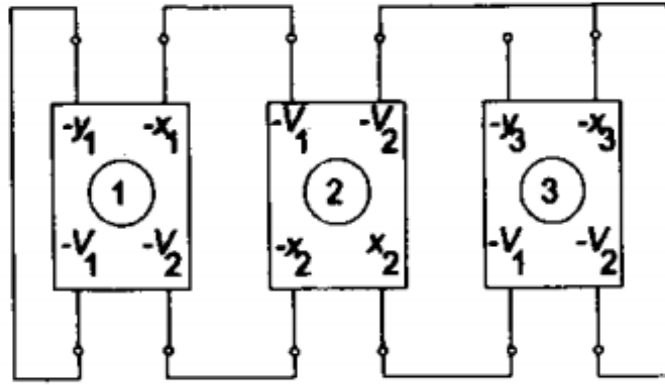
$j$  hücre indeksidir,  $x_j$  durum değişkeni, hücre çıkışı temsil eden  $y_j$  ise aşağıdaki gibi verilir:

$$y_{ij} = 1/2[|x_{ij} + 1| - |x_{ij} - 1|] \quad (3.15)$$

$a_j$  sabit bir parametre ve  $i_j$  bir eşik değerini temsil eder.  $G_0$ , komşu hücrelerin çıkışlarını  $G_s$ , ise komşu hücrelerin durum değişkenlerini temsil eder. Denklem (3.14)'teki durum denklemi Chua ve Yang'ın önerdiği orijinal tanımdan  $G_s$  parametresiyle farklılaşır.



(a)



(b)

Şekil 3.2. (a) Genelleştirilmiş hücre devresi [55], (b) Hücrelerin bağlantı şeması [55].

Denklem (3.14)'te verilen durum denkleminde göre üç genelleştirilmiş HSA hücresinin dinamik modeli:

$$\dot{x}_1 = -x_1 + a_{11}y_1 + a_{12}y_2 + a_{13}y_3 + \sum_{k=1}^3 s_{1k} x_k + i_1 \quad (3.16)$$

$$\dot{x}_2 = -x_2 + a_{21}y_1 + a_{22}y_2 + a_{23}y_3 + \sum_{k=1}^3 s_{2k} x_k + i_2 \quad (3.17)$$

$$\dot{x}_3 = -x_3 + a_{31}y_1 + a_{32}y_2 + a_{33}y_3 + \sum_{k=1}^3 s_{3k}x_k + i_3 \quad (3.18)$$

Burada  $x_1, x_2, x_3$  durum değişkenleri,  $y_1, y_2, y_3$  ise karşılık gelen çıktılardır. Eğer parametreler aşağıda verildiği gibi alınırsa,

$$a_{12} = a_{13} = a_2 = a_{23} = a_{32} = a_3 = a_{21} = a_{31} = 0;$$

$$s_{13} = s_{31} = s_{22} = 0; \quad i_1 = i_2 = i_3 = 0;$$

Denklem (3.16), (3.17) ve (3.18) denklemler, Denklem (3.19), (3.20) ve (3.21)'deki gibi olur.

$$\dot{x}_1 = -x_1 + a_1y_1 + s_{11}x_1 + s_{12}x_2 \quad (3.19)$$

$$\dot{x}_2 = -x_2 + s_{21}x_1 + s_{23}x_3 \quad (3.20)$$

$$\dot{x}_3 = -x_3 + s_{32}x_2 + s_{33}x_3 \quad (3.21)$$

Parametre değerlerini aşağıdaki gibi alırsak, Denklem (3.9), (3.10), (3.11)'deki  $x, y, z$  ile Denklem(3.19), (3.20) ve (3.21)'deki  $x_1, x_2, x_3$  birbirine eşit olur.

$$a_1 = \alpha(m_1 - m_0); \quad s_{33} = 1 - \gamma; \quad s_{21} = s_{23} = 1; \quad s_{11} = 1 - \alpha \cdot m_1; \quad s_{12} = \alpha; \quad s_{32} = -\beta \quad (3.22)$$

## GENELLEŞTİRİLMİŞ HSA HÜCRE TASARIMI

Genelleştirilmiş model için devre şeması Şekil 3.2 (a)'da görülmektedir. Üç bloktan oluşmaktadır:

1.  $B_1$  doğrusal olmayan çıktıyı oluşturur.  $A_1$  amplifikatörünün doğal çıkış doygunluğundan yararlanır:  $R_7$  ve  $R_8$   $A_1$  çıkışı  $|x_j| > 1$  olduğunda doyacak şekilde seçilir.  $R_9$  ve  $R_{10}$ ,  $y_j$  çıkış voltajını  $[-1, 1]$  aralığında ölçeklendirmek için tasarlanmıştır.

$$\frac{R_8}{R_7} = \frac{V_{satA}}{V_{satr}} \quad (3.23)$$

$$\frac{R_7}{R_8} = \frac{R_{10}}{(R_9 + R_{10})} \quad (3.24)$$

Burada  $V_{satA}$   $A_1$ 'in çıkış doyma voltajıdır.  $V_{satx}$  ise karşılık gelen giriş voltajıdır ( $V_{satx} = I$  durumunda).

2.  $B_2$ , ( $R_5 = R_6$ ) birlik kazancına sahip bir ters çevirme amplifikatörüdür. Giriş empedansı  $R_5$  ve çıkış empedansı 0'dır.
3.  $B_3$  hücrenin çekirdeğidir.  $B_1$  ve  $B_2$  giriş empedanslarının paralelliği,  $B_3$  bloğunun çıkış empedansı ile karşılaştırıldığında (yani  $R_4/(1+j\omega R_4C)$ ), çok yüksekse  $B_1$  ve  $B_2$  blokları  $C_j$  kondansatörünü yüklemeyiz.  $R_7R_5 / (R_7 + R_5) \gg R_4$  ise bu açıkça doğrudur [53]. Bu durumda, genelleştirilmiş HSA hücre durum denklemi:

$$C_j \ddot{x}_j = -\frac{x_j}{R_4} + \frac{R_3}{R_1 R_4} V_1 + \frac{R_3}{R_2 R_4} V_2 \quad (3.25)$$

## Deneysel Sonuçlar

Parametre değerleri  $\alpha = 9$ ,  $\beta = 14.286$ ,  $\gamma = 0$ ,  $m_0 = -1/7$ ,  $m_1 = 2/7$  alınır, Chua'nın devre dinamiklerinde çift kaydırmalı çeker gözlemlenir [55]. Denklem (3.22)'den HSA hücresinin parametre değerleri:  $a_1 = 3.857$ ,  $s_{33} = s_{21} = s_{23} = 1$ ,  $s_{11} = -1.5714$ ,  $s_{12} = 9$ ,  $s_{32} = -14.286$ . Hücre bileşenleri için uygun değerler:

Hücre 1:

$$R_1 = 13.2 \text{ K}\Omega; R_2 = 5.7 \text{ K}\Omega; R_3 = 20 \text{ K}\Omega; R_4 = 390 \text{ }\Omega; R_5 = 100 \text{ K}\Omega; R_6 = 100 \text{ K}\Omega; R_7 = 74.8 \text{ K}\Omega; R_8 = 970 \text{ K}\Omega; R_9 = 27 \text{ K}\Omega; R_{10} = 2.22 \text{ K}\Omega; C_1 = 51 \text{ nF};$$

Hücre 2:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_5 = R_6 = 100 \text{ K}\Omega;$$



$$R_4 = 1 \text{ K}\Omega; C_2 = 51 \text{ nF};$$

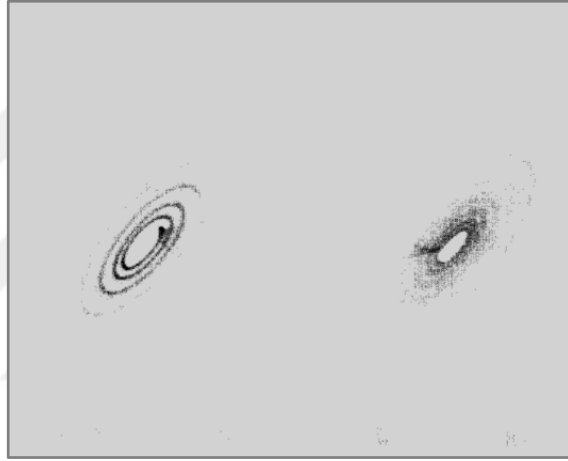
Hücre 3:

$$R_1 = 7.8 \text{ K}\Omega; R_2 = R_3 = R_5 = R_6 = 100 \text{ K}\Omega;$$

$$R_4 = 1 \text{ K}\Omega; C_3 = 51 \text{ nF};$$

Güç kaynağı:

$$V_{CC} = +15\text{V}; V_{EE} = -15\text{V}.$$



Şekil 3.3.  $(x_1 - x_2)$  düzlemi için faz uzayı [55]

Şekil 3.3.  $x$ - $y$  düzleminde klasik çift kaydırmalı çekiciyi (double-scroll attractor) gösterir [55].

1995 yılında Arena tarafından HSA'nın geliştirilmiş 3 denklemleri olan DK-HSA tanıtıldı. Arena yaptığı çalışmayla Chua devresinin üç geliştirilmiş HSA hücresi ile gerçekleştirilebileceğini kanıtlamıştır [55]. DK-HSA'da hücreler birbirleriyle tek bir çıkış ile değil iki çıkış ile etkileşimde bulunurlar. Şekil 2.6(b)'de görüldüğü gibi  $x$  çıkışı sayesinde hücreler birbirleri arasında geri beslemeli etkileşimler kurarlar. Bu sayede DK-HSA daha geniş doğrusal olmayan diferansiyel denklemlerin modellenmesine imkân sağlamıştır [53, 55-56, 58-61].

### 3.2. Anahtarlama Durum Kontrollü HSA

DK-HSA ağları karmaşık dinamik sistemler, diferansiyel denklemler, kaotik devreler, kaotik kriptoloji, kaos jeneratörü olarak güvenli haberleşme gibi geniş bir alanda

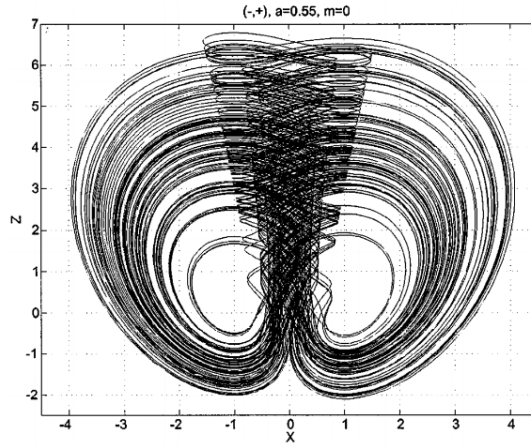
kullanılır [61]. Şekil 2.9'da görülen HSA çıkış fonksiyonu ile DK-HSA kullanılarak bu sistemler modellenebilir. Fakat HSA çıkış fonksiyonu Lorenz, Rössler gibi çarpımlı doğrusal olmayanlıklar (nonlinear) içeren sistemler için yetersiz kalmıştır. Bu problemin üstesinden gelmek için Elwakil Lorenz sistemindeki iki durum değişkeninin çarpımıyla oluşan doğrusal olmayanlıklar (nonlinear) için bipolar voltaj kontrollü anahtarlama parametreleri kullanılarak üretilebileceğini gösterdiği çalışma dikkat çekicidir [62]. Lorenz tarafından 1963'te tanımlanan Lorenz sisteminin denklemleri Denklem (1.1), (1.2) ve (1.3)'te verilmiştir. Doğrusal olmayanlıklar (nonlinear) ( $xz$  ve  $xy$ ) çarpım terimleriyle sağlanır. Bu çalışmada Elwakil Lorenz sisteminin diferansiyel denklemlerindeki ( $xz$  ve  $xy$ ) çarpımlı nonlinear terimler yerine bipolar voltaj kontrollü anahtarlama parametrelerini önermiştir [62]. Çarpımlı doğrusal olmayanlıkların (nonlinear) olmadığı Lorenz sisteminin diferansiyel denklemleri:

$$\dot{X} = a(Y - X), \quad (3.26)$$

$$\dot{Y}_{\pm} = \pm KZ, \quad (3.27)$$

$$\dot{Z}_{\pm} = \pm |X| \pm 1. \quad (3.28)$$

Orjinal Lorenz sisteminden farklı olarak, Lorenz sisteminin davranışını kontrol eden klasik parametreler ( $a, b, c$ ) tek bir parametreye, yani  $a$ 'ya indirgenmiştir. Denklem (3.28)'deki önerilen modelde, Denklem (1.3)'teki  $XY$  çarpımlı terimi yerine  $|X|$  geçmiştir ve yeni eklenen  $K$  parametresi  $\text{sgn}(X)$  fonksiyonuna eşittir. Bu sayede pozitif  $Z$  kısıtlamasından, eşik sabiti  $b$ 'den ve sönümlenme sabiti  $c$ 'den arınmış yeni bir Lorenz tipi sistem önerilmiştir. Bu nedenle, sistem kalan tek parametre  $a$  ile kontrol edilir. Önerilen sistem iki çalışma moduna sahiptir. Birinci mod;  $\dot{Y} = \dot{Y}_-$  ve  $\dot{Z} = \dot{Z}_+$ , ikinci mod;  $\dot{Y} = \dot{Y}_+$  ve  $\dot{Z} = \dot{Z}_-$ . Denklem (1.2)'de  $b$  tarafından gerçekleştirilen eşik etkisi artık Denklem (3.28)'de  $|X|$  tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu iki mod arasındaki geçiş eylemi kelebek çekerini oluşturur. Ayrıca önerdikleri model klasik kelebek çeker modelinin yanı sıra dört kanatlı (four-wing) kelebek çekicisini de oluşturduğunu gösterdiler [62]. Elwakil'in çalışması neticesinde elde ettiği klasik kelebek çeker Şekil (3.4)'te verilmiştir ve Şekil 1.7'de verilen Lorenz kaotik çekerine benzemektedir.



Şekil 3.4. Elwakil'in çalışması neticesinde elde ettiği klasik kelebek çekeri [62]

Anahtarlama Durum Kontrollü Hücreli Sinir Ağları (A-DK-HSA) Denklem (3.29) ve (3.30)'da verilen durum denklemleri ve çıkış fonksiyonu ile tanımlanır. A-DK-HSA'nın DK-HSA'dan farkı  $G_n$  parametresidir.  $G_n$  değeri bipolar voltaj kontrollü anahtarlama parametresini temsil eder [61]. Elwakil'in çalışmasından hareketle çarpan tipi doğrusal olmayanlık (nonlinear) bulunan Rössler ve Sprott-94-f gibi sistemler için A-DK-HSA'nın kullanılabileceği çalışmalarda gösterilmiştir ve Alanda Programlanabilir Analog Diziler (Field Programmable Analog Array – FPAA) ile modelleyip uygulamaları sunulmuştur [61].

$$\dot{x}_j = -x_j + a_j y_j + G_0 + G_s + G_n + i_j \quad (3.29)$$

$$y_j = 0.5 \cdot (|x_i + 1| - |x_i - 1|) \quad (3.30)$$

### 3.2.1. A-DK-HSA ile Tasarlanan Rössler Sistemi

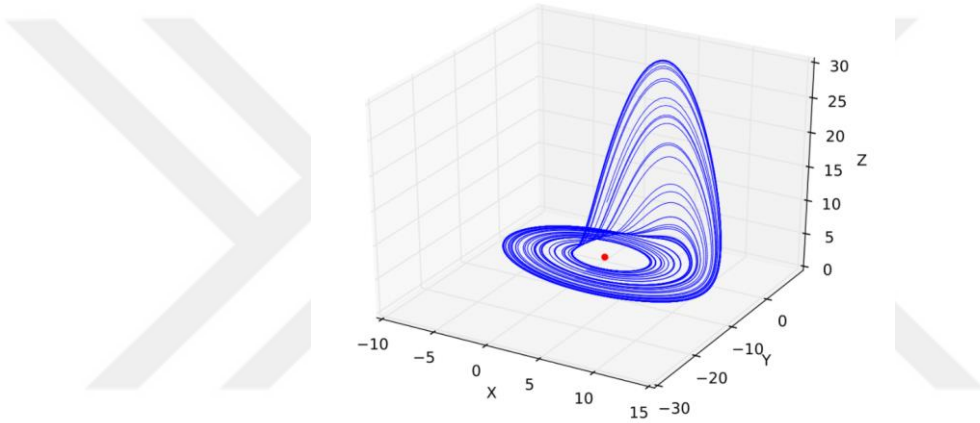
A-DK-HSA'nın doğrusal olmayan sistemler üzerindeki uygulamalarını daha iyi anlaşılması için A-DK-HSA hücreleri kullanılarak Rössler sisteminin modellenmesi gösterilmiştir. Rössler çekicisi olarak ta bilinen Rössler sistemi 1976'da Otto Rössler tarafından tasarlanmıştır. Sürekli zamanlı kaotik dinamik bir sistemdir [53,56]. Sistem, bir adet ikinci dereceden doğrusal olmayan terim ( $xz$ ) içermesine rağmen sürekli zaman kaotik sinyali üretebilen kaotik çeker oluşturur ve çok zengin davranışlar sergileyen bir

üreteçtir [63]. Rössler sisteminin durum denklemleri Denklem (3.31), (3.32) ve (3.33)'te ve kaotik çekeri Şekil 3.5'de verilmiştir.

$$\dot{x} = -y - z, \quad (3.31)$$

$$\dot{y} = x + ay, \quad (3.32)$$

$$\dot{z} = b + z(x - c). \quad (3.33)$$



Şekil 3.5. Rössler kaotik çekeri [63]

Üç Hücreli A-DK-HSA sistemi denklemleri aşağıda verilmiştir;

$$\dot{x}_1 = -x_1 + \sum_{k=1}^3 a_{1k}y_k + \sum_{k=1}^3 s_{1k}x_k + \sum_{k=1}^3 n_{1k}x_k + i_1, \quad (3.34)$$

$$\dot{x}_2 = -x_2 + \sum_{k=1}^3 a_{2k}y_k + \sum_{k=1}^3 s_{2k}x_k + \sum_{k=1}^3 n_{2k}x_k + i_2, \quad (3.35)$$

$$\dot{x}_3 = -x_3 + \sum_{k=1}^3 a_{3k}y_k + \sum_{k=1}^3 s_{3k}x_k + \sum_{k=1}^3 n_{3k}x_k + i_3. \quad (3.36)$$

Burada  $\dot{x}_1$ ,  $\dot{x}_2$ ,  $\dot{x}_3$  durum değişkenlerini,  $y$  hücre çıkışını,  $k$  hücre indeksini,  $a$  komşu hücrelerin çıkışından gelen geri beslemeleri,  $s$  komşu hücrelerin durum noktalarından

yapılan geri beslemeleri,  $n$  voltaj kontrollü anahtarlama parametresini temsil eder. Denklem (3.34), (3.35) ve (3.36)'da verilen A-DK-HSA denklemlerindeki parametreler yerine

$$s_{23} = s_{31} = s_{32} = a_{11} = a_{12} = a_{13} = a_{21} = a_{22} = a_{23} = a_{31} = a_{32} = a_{33} = i_1 = i_2 = 0,$$

$$n_{11} = n_{12} = n_{13} = n_{21} = n_{22} = n_{23} = n_{31} = n_{32} = 0,$$

$x = x_1$ ,  $y = x_2$ ,  $z = x_3$ ,  $a = s_{22}$ ,  $b = i_3$ ,  $c = s_{33}$  değerleri yazılarak A-DK-HSA tabanlı Rössler modeli üretilir. A-DK-HSA tabanlı Rössler modeli,

$$\dot{x}_1 = -x_1 + s_{11}x_1 + s_{12}x_2 + s_{13}x_3, \quad (3.37)$$

$$\dot{x}_2 = -x_2 + s_{21}x_1 + s_{22}x_2, \quad (3.38)$$

$$\dot{x}_3 \pm = -x_3 + s_{33}x_3 + nx_3 + i_3. \quad (3.39)$$

$$y_1 = \frac{1}{2} [|x_1 + 1| - |x_1 - 1|]$$

$$n_{33} = n = \begin{cases} +1; & y_1 \geq 0 \\ -1; & y_1 < 0 \end{cases}$$

Orijinal Rössler denklemindeki doğrusal olmayan  $zx$  ifadesi için A-DK-HSA'da  $n(n_{33})$  parametresi kullanılmıştır.  $n$  işaret fonksiyonu gibi davranır. Çıkış pozitif olduğunda  $n = +1$ , çıkış negatif olduğunda  $n = -1$  olur.  $x_3$ ,  $n$  parametresinin her iki değerine göre Denklem (3.40) ve (3.41)'de verilmiştir.

$$\dot{x}_3 += -x_3 + s_{33}x_3 + x_3 + i_3, \quad y_1 \geq 0 \quad (3.40)$$

$$\dot{x}_3 -= -x_3 + s_{33}x_3 - x_3 + i_3, \quad y_1 < 0 \quad (3.41)$$

### 3.2.2 Sayısal Analiz

Denklem (3.37), (3.38) ve (3.39) 'da verilen sistemin denge noktaları Denklem (3.42)'te verilmiştir.

$$D_+ = \{(x_1, x_2, x_3) | x_1 \geq 0\}; P^+ = (-k_1, -k_2, -k_3)$$

$$D_- = \{(x_1, x_2, x_3) | x_1 < 0\}; P^- = (k_1, k_2, k_3) \quad (3.42)$$

$n = 1$  için,

$$\begin{aligned} k_1 &= \frac{-(i_3 s_{13} - i_3 s_{13} s_{22})}{(s_{11} + s_{13} + s_{22} + s_{33} - s_{11} s_{22} + s_{12} s_{21} - s_{13} s_{22} - s_{11} s_{33} - s_{22} s_{33} + s_{11} s_{22} s_{33} - s_{12} s_{21} s_{33} - 1)}, \\ k_2 &= \frac{-i_3 s_{13} s_{21}}{(s_{11} + s_{13} + s_{22} + s_{33} - s_{11} s_{22} + s_{12} s_{21} - s_{13} s_{22} - s_{11} s_{33} - s_{22} s_{33} + s_{11} s_{22} s_{33} - s_{12} s_{21} s_{33} - 1)}, \\ k_3 &= \frac{(i_3 s_{11} - i_3 + i_3 s_{22} - i_3 s_{11} s_{22} + i_3 s_{12} s_{21})}{(s_{11} + s_{13} + s_{22} + s_{33} - s_{11} s_{22} + s_{12} s_{21} - s_{13} s_{22} - s_{11} s_{33} - s_{22} s_{33} + s_{11} s_{22} s_{33} - s_{12} s_{21} s_{33} - 1)}. \end{aligned} \quad (3.43)$$

$n = -1$  için,

$$\begin{aligned} k_1 &= \frac{-(i_3 s_{13} - i_3 s_{13} s_{22})}{(s_{11} - s_{13} + s_{22} + s_{33} - s_{11} s_{22} + s_{12} s_{21} + s_{13} s_{22} - s_{11} s_{33} - s_{22} s_{33} + s_{11} s_{22} s_{33} - s_{12} s_{21} s_{33} - 1)}, \\ k_2 &= \frac{-(i_3 s_{13} s_{21})}{(s_{11} - s_{13} + s_{22} + s_{33} - s_{11} s_{22} + s_{12} s_{21} + s_{13} s_{22} - s_{11} s_{33} - s_{22} s_{33} + s_{11} s_{22} s_{33} - s_{12} s_{21} s_{33} - 1)}, \\ k_3 &= \frac{(i_3 s_{11} - i_3 + i_3 s_{22} - i_3 s_{11} s_{22} + i_3 s_{12} s_{21})}{(s_{11} - s_{13} + s_{22} + s_{33} - s_{11} s_{22} + s_{12} s_{21} + s_{13} s_{22} - s_{11} s_{33} - s_{22} s_{33} + s_{11} s_{22} s_{33} - s_{12} s_{21} s_{33} - 1)}. \end{aligned} \quad (3.44)$$

$n$ 'in her iki değeri için Rössler sisteminin denge noktaları Jacobian matrisi yardımıyla hesaplanır [61].

$n = 1$  için,

$$J_+ = \begin{bmatrix} (s_{11} - 1) & s_{12} & s_{13} \\ s_{21} & (s_{22} - 1) & 0 \\ 1 & 0 & (s_{33} - 1) \end{bmatrix} \quad (3.45)$$

$n = -1$  için,

$$J_- = \begin{bmatrix} (s_{11} - 1) & s_{12} & s_{13} \\ s_{21} & (s_{22} - 1) & 0 \\ -1 & 0 & (s_{33} - 1) \end{bmatrix} \quad (3.46)$$

Sistemin karakteristik denklemleri,

$$\begin{aligned} P^+(\lambda) &= \lambda^3 + (3 - s_{22} - s_{33} - s_{11})\lambda^2 \\ &+ [(s_{11} - 1)(s_{22} - 1) - s_{13} - s_{12}s_{21} + (s_{33} \\ &- 1)(s_{11} + s_{22} - 2)]\lambda + s_{13}(s_{11} + s_{22} - 2) \\ &- s_{13}(s_{11} - 1) - [(s_{11} - 1)(s_{22} - 1) - s_{12}s_{21}](s_{33} \\ &- 1) \end{aligned} \quad (3.47)$$

$$\begin{aligned} P^-(\lambda) &= \lambda^3 + (3 - s_{22} - s_{33} - s_{11})\lambda^2 \\ &+ [s_{13} + (s_{11} - 1)(s_{22} - 1) - s_{12}s_{21} + (s_{33} \\ &- 1)(s_{11} + s_{22} - 2)]\lambda + s_{13}(s_{11} - 1) \\ &- s_{13}(s_{11} + s_{22} - 2) \\ &- [(s_{11} - 1)(s_{22} - 1) - s_{12}s_{21}](s_{33} - 1) \end{aligned}$$

Sistem birçok başlangıç değeri için kaotik davranış sergiler.  $s_{11} = s_{21} = 1$ ;  $s_{12} = s_{13} = -1$ ;  $s_{22} = 1.25$ ;  $s_{33} = -0.3$ ;  $i_3 = -1$  değerleri için Jacobian matrisin denge noktaları ve özdeğerleri hesaplanır.

$n = 1$  için,

$$x_1 = -0.2381, \quad x_{2,3} = \pm 0.9524,$$

$$\lambda_1 = -0.7287, \quad \lambda_{2,3} = -0.1606 \pm 1.1896i$$

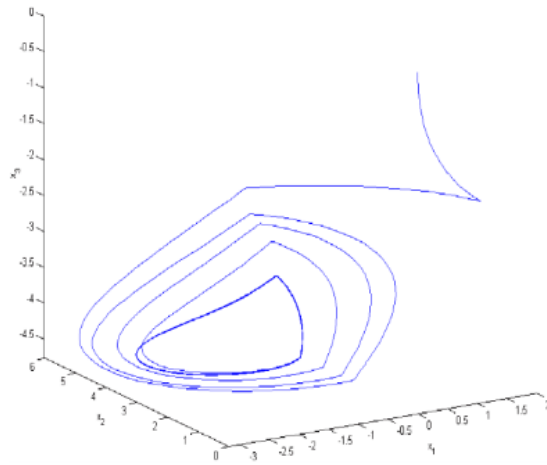
$n = -1$  için,

$$x_1 = -0.1613, \quad x_{2,3} = \pm 0.6452,$$

$$\lambda_1 = -1.7452, \lambda_{2,3} = 0.3476 \pm 0.8670i$$

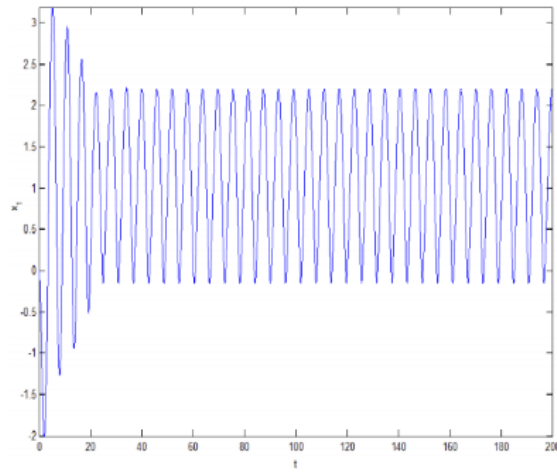
$n = 1$  için,  $\lambda_1$  negatif bir gerçek sayıdır ve  $\lambda_2$  ve  $\lambda_3$  negatif gerçek kısımları olan karmaşık eşlenik öz değerlerdir. Hiçbir değer  $xy$  düzleminin sağ tarafında olmadığı için, modellenen A-DK-HSA sistemi kararlıdır ve  $P$  denge noktasıdır.  $n = -1$  için,  $\lambda_1$  negatif bir gerçek sayı iken,  $\lambda_2$  ve  $\lambda_3$  pozitif gerçek parçalara sahip karmaşık eşlenik öz değerlerdir. Değerler  $xy$  düzleminin sağ tarafında olduğu için, modellenen A-DK-HSA sistemi kararsızdır ve  $P$  eyer odağıdır [63].

Modellenen sistemin grafikleri Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de verilmiştir. Şekil 3.6’da çeşitli parametre değerleri için sistemin faz ve zaman grafikleri verilmiştir.

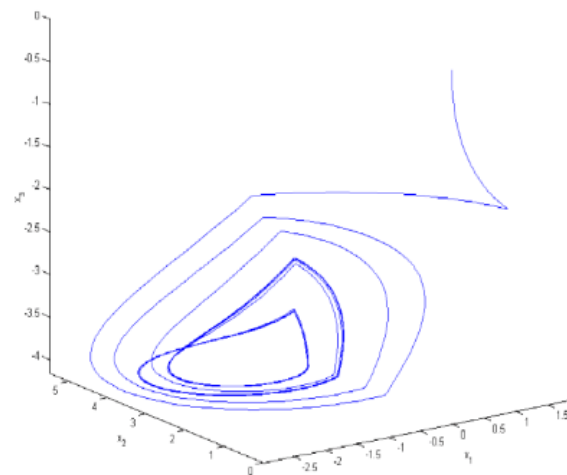


(a)

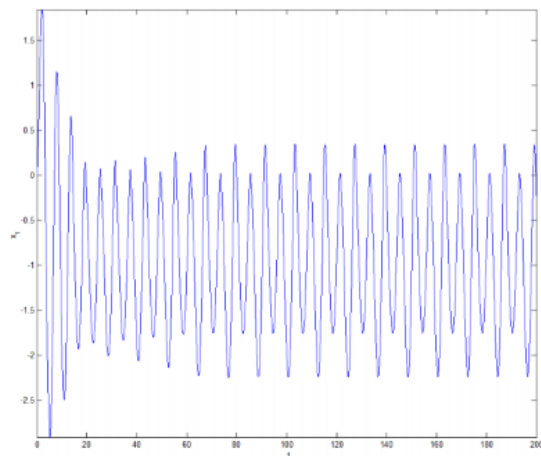




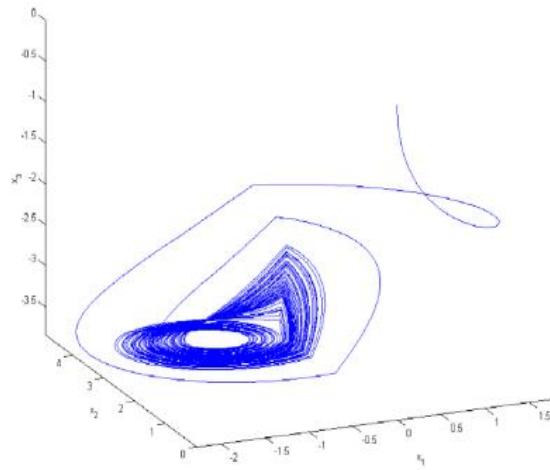
(b)



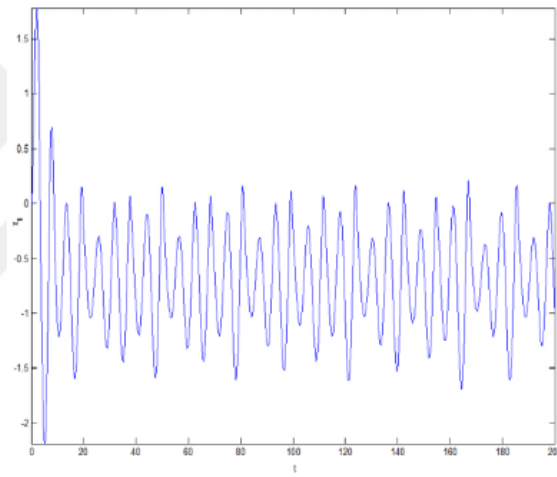
(c)



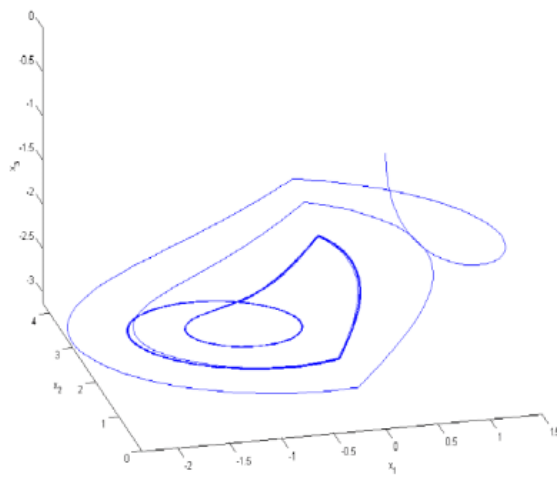
(d)



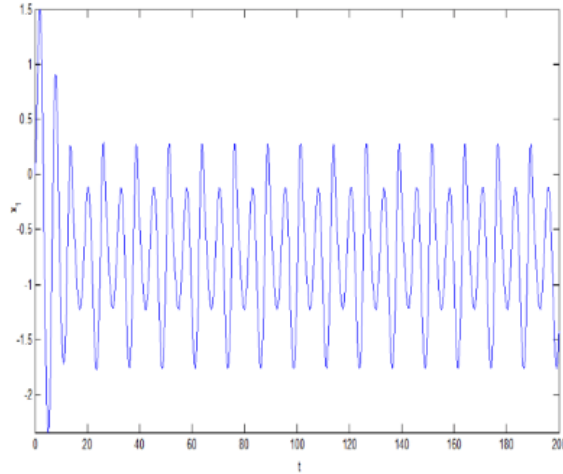
(e)



(f)



(g)



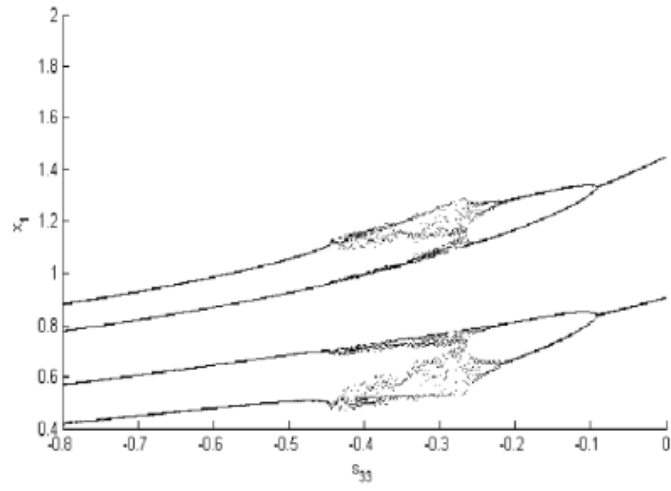
(h)

Şekil 3.6. A-DK-HSA kullanılarak modellenen Rössler sisteminin sayısal sonuçları: (a)  $s_{33} = -0.05$  için faz diyagramı [59] (b)  $s_{33} = -0.05$  için zaman diyagramı [59] (c)  $s_{33} = -0.2$  için faz diyagramı [59] (d)  $s_{33} = -0.2$  için zaman diyagramı [59] (e)  $s_{33} = -0.3$  için faz diyagramı [59] (f)  $s_{33} = -0.3$  için zaman diyagramı [59] (g)  $s_{33} = -0.6$  için faz diyagramı [59] (h)  $s_{33} = -0.6$  için zaman diyagramı [59]

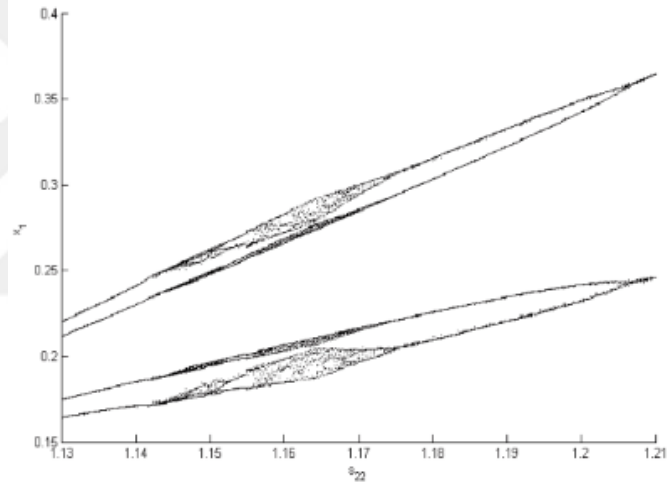
Şekil 3.7’de ise sistemin çatallanma eğrisi verilmiştir. Çatallanma diyagramları dinamik sistemlerin davranışını analiz etmek için kullanılır. Sistem parametrelerinin biri hariç diğerleri sabit tutulur sabit olmayan parametreye bir aralıkta değer verilir ve o aralıkta sistemin davranışı gözlemlenir. Şekil 3.7 (a) ‘da  $s_{11} = s_{21} = 1$ ;  $s_{12} = s_{13} = -1$ ;  $s_{22} = 1.25$ ;

$i_3 = -1$  alınmıştır.  $s_{33}$  değeri  $[-0.8, 0]$  aralığında bir değişkendir. Adım aralığı 0.001’dir. Grafikte koyulukların arttığı alan kaosun başlamasının göstergesidir. Şekil 3.7 (b) ‘de

$s_{11} = s_{21} = 1$ ;  $s_{12} = s_{13} = -1$ ;  $s_{33} = -0.3$ ;  $i_3 = -1$  alınmıştır.  $s_{22}$  değeri  $[1.13, 1.21]$  aralığında bir değişkendir. Adım aralığı 0.001’dir.



(a)



(b)

Şekil 3.7. (a)  $x_I$  ile  $s_{33} \in [-0.8, 0]$  çatallanma diyagramı [59] (b)  $x_I$  ile  $s_{22} \in [1.13, 1.21]$  çatallanma diyagramı [59]

## 4. BÖLÜM

### A-DK-HSA TABANLI TIGAN SİSTEMİ

#### 4.1.Giriş

Gheorghe Tigan tarafından 2004'te Lorenz sisteminden türetilmiş 3 boyutlu doğrusal olmayan kaotik bir sistemdir [3-7]. Sistemi T sistemi olarak isimlendirdi [5]. Daha sonra yapılan çalışmalarda Tigan sisteminin elektronik devresi sunulmuştur ve Pecora-Carroll Senkronizasyon Metodu Tigan(T) sistemi'ne uygulanarak çalışmalar yapılmıştır. Farklı başlangıç şartlarında çalıştırılan Tigan osilatörlerinin 0.5 ms'de senkronize olması Tigan sisteminin sinyal gizleme ve güvenli haberleşme uygulamaları için uygun bir sistem olabileceğini göstermiştir [6]. Tigan sisteminin kullanıldığı farklı bir çalışmada ise Tigan kaotik sisteminde oluşan kaosun kontrolünü doğrusal geri beslemeli kontrol ile gerçekleştirilerek geri beslemeli kontrolör ile sistemin kontrolü sağlanmıştır [64]. Sundarapandian Tigan sistemini hibrit senkronizasyon elde etmek için uyarlanabilir doğrusal olmayan kontrol yöntemini kullanmış ve hibrit kaos senkronizasyonu elde etmek için Tigan sisteminin uygun olduğunu göstermiştir [65]. Tigan sisteminin durum denklemleri aşağıda verilmiştir [6];

$$\dot{x} = a. (y - x) \quad (4.1)$$

$$\dot{y} = (c - a).x - a. x. z \quad (4.2)$$

$$\dot{z} = x. y - b. z \quad (4.3)$$

$x, y, z$  durum değişkenleri  $a, b, c$  ise sistemin parametreleridir[66].

#### 4.1.1. Tigan Sisteminin Denge Noktaları

- $\frac{b}{a}(c - a) > 0$  ise Tigan sistemi 3 denge noktasına sahiptir. Bu denge noktaları aşağıda verilmiştir.

$$O (0,0,0),$$

$$E1 (\sqrt{b/a(c - a)}, \sqrt{b/a(c - a)}, \frac{c - a}{a}),$$

$$E2 (-\sqrt{b/a(c - a)}, -\sqrt{b/a(c - a)}, \frac{c - a}{a}). \quad (4.4)$$

- $b \neq 0$  ve  $\frac{b}{a}(c - a) \leq 0$  ise sistem sadece bir denge noktasına sahiptir.

$$O (0,0,0) \quad (4.5)$$

#### Teorem 1:

$b \neq 0$  için aşağıda verilen ifadeler doğrudur.

- $(a > 0, b > 0, c \leq a)$ ,  $O (0, 0, 0)$  denge noktası asimptotik olarak kararlıdır.
- $(b < 0)$  veya  $(a < 0)$  veya  $(a > 0, c > a)$ ,  $O (0, 0, 0)$  denge noktası kararsızdır.

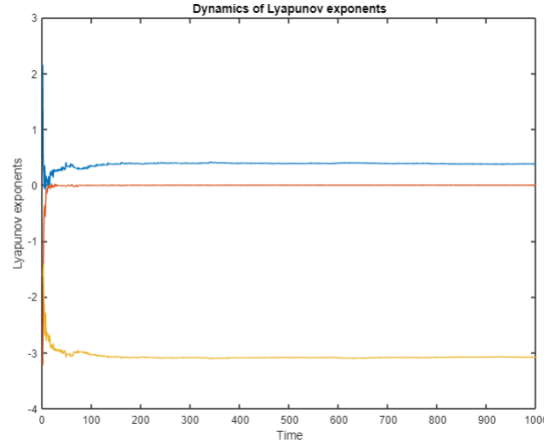
#### Teorem 2:

- $(a + b > 0, ab(c - a) > 0, b(2a^2 + bc - ac) > 0)$ ,

$E_{1,2} (\pm\sqrt{b/a(c - a)}, \pm\sqrt{b/a(c - a)}, \frac{c-a}{a})$  denge noktaları asimptotik olarak kararlıdır [5].

#### 4.1.2. Tigan Sisteminde Kaos

Sistem parametreleri sırasıyla  $a = 2.1$ ,  $b = 0.6$ ,  $c = 30$  seçilerek Tigan sisteminin Lyapunov üstelleri hesaplanır.  $\lambda_1 = 0.37 > 0$ ,  $\lambda_2 = 0$ ,  $\lambda_3 = -3.07 < 0$  bulunur. Sistemin Lyapunov üstellerinden en az biri pozitif diğerleri negatif olduğu için sistem kaotiktir [5]. Lyapunov üsteli aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.1 Tigan Sisteminin Lyapunov Üstellerinin Grafığı

#### 4.1.3. Tigan Sisteminin Sayısal Analiz

Tigan sisteminin karakteristik denklemi ve kökleri Jacobian matrisi yardımıyla hesaplanır.

$$J = \begin{bmatrix} -a & a & 0 \\ 0 & 0 & -a \cdot \sqrt{b \cdot (c - a) / a} \\ \sqrt{b \cdot (c - a) / a} & \sqrt{b(c - a) / a} & -b \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

$|J - \lambda I| = 0$  ile sistemin karakteristik denklemi aşağıdaki gibi bulunur.

$$f(\lambda) = -\lambda^3 + \lambda^2(-a - b) + \lambda(-b \cdot c) - 2 \cdot a \cdot b \cdot c + 2 \cdot a^2 \cdot b \quad (a = 2.1, b = 0.6, c = 30)$$

alınarak,

Karakteristik denklem,

$$-\lambda^3 - 2.7\lambda^2 - 18\lambda - 70.31 \quad (4.7)$$

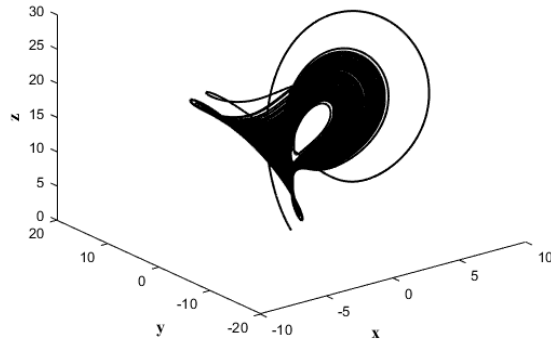
Sistemin kökleri,

$$x_1 = -3.429,$$

$$x_2 = 0.365 + 4.513i,$$

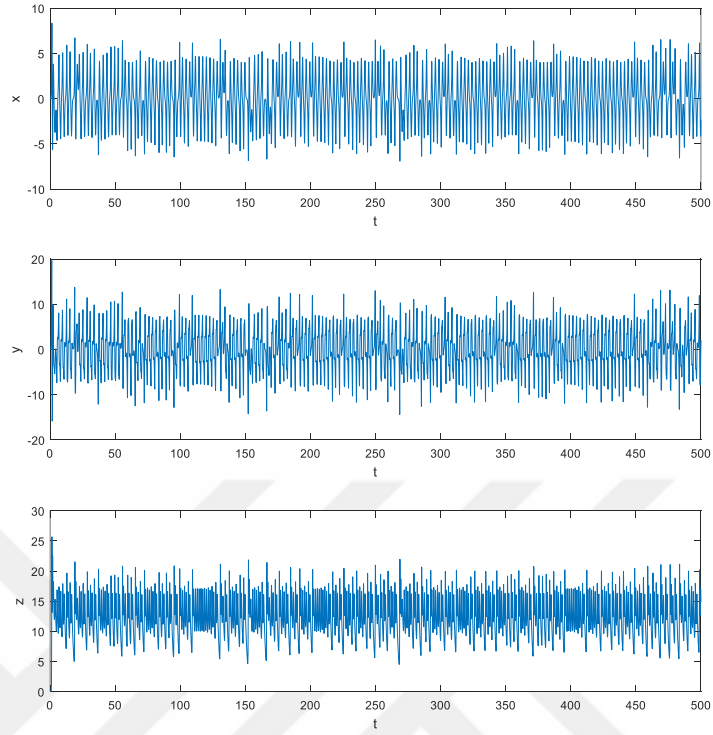
$$x_3 = 0.365 - 4.513i.$$

En az bir kök bile  $xy$  düzleminin sağ tarafında olduğu için sistem kararsızdır ve kararsızlık durumu saddle-focus'tur (eyer odağıdır). Faz ve zaman diyagramları Şekil 4.2'de verilmiştir.



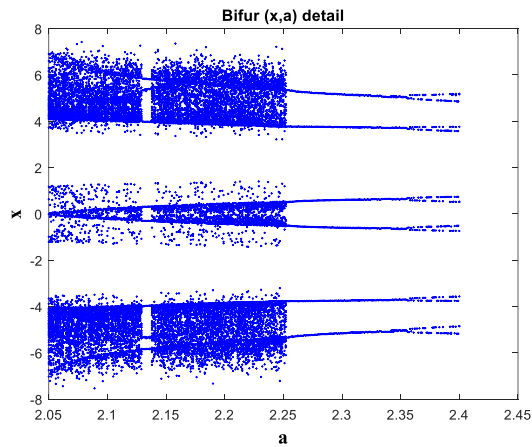
(a)



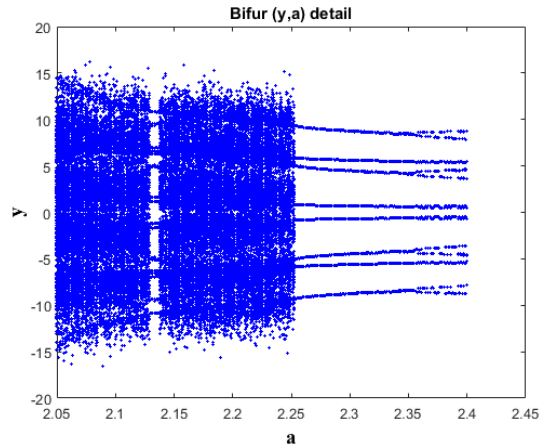


(b)

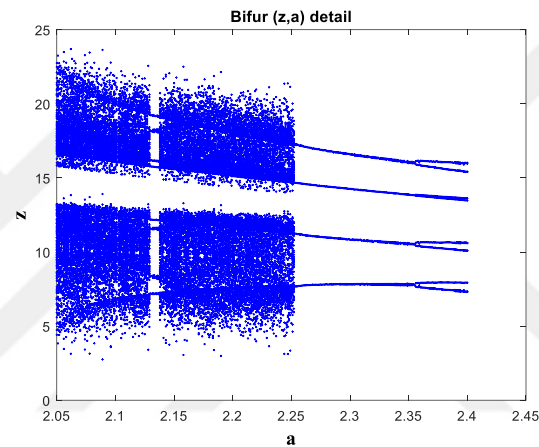
Şekil 4.2 (a) Tigan sisteminin faz diyagramı, (b) Tigan sisteminin  $(x, y, z)$  düzlemi için zaman diyagramları  
Şekil 4.3'te ise çatallanma diyagramı verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.3 (a) Çatallanma diyagramı  $(x-a)$  için, (b) Çatallanma diyagramı  $(y-a)$  için, Çatallanma diyagramı  $(z-a)$  için.

#### 4.2. A-DK-HSA Tabanlı Tigan Sistemi

3 boyutlu A-DK-HSA ile Tigan sistemi modellenmiştir. Modelin uygunluğunu doğrulamak için deneysel ve sayısal analiz sonuçları sunulmuştur. Tigan sisteminin durum denklemleri Denklem (4.1), (4.2) ve (4.3)'te A-DK-HSA eşitlikleri ise Denklem (3.34), (3.35), (3.36) 'da verilmiştir. Aşağıda verilen değerler A-DK-HSA denklemlerindeki parametreler yerine yazılarak A-DK-HSA tabanlı Tigan modeli oluşturulur.

$$s_{13} = s_{23} = s_{31} = s_{32} = a_{11} = a_{12} = a_{13} = a_{21} = a_{22} = a_{23} = a_{31} = a_{32} = a_{33} = i_1 = i_2 = 0,$$

$$s_{11} = 0.25, s_{12} = s_{21} = s_{22} = 1, s_{33} = 0.75, i_3 = 0.2,$$

$$n_{11} = n_{12} = n_{13} = n_{21} = n_{22} = n_{32} = n_{33} = 0,$$

$$n_{23} = \text{sgn}(y_1), \quad n_{31} = \text{sgn}(x_1 - i_3),$$

$$x = x_1, \quad y = x_2, \quad z = x_3,$$

$$y_1 = \frac{1}{2} [ |x_1 + 1| - |x_1 - 1| ].$$

A-DK-HSA tabanlı Tigan modeli,

$$\dot{x}_1 = -x_1 + s_{11}x_1 + s_{12}x_2 \quad (4.8)$$

$$\dot{x}_2 \pm = -x_2 + s_{21}x_1 + s_{22}x_2 + n_{23}x_3 \quad (4.9)$$

$$\dot{x}_3 \pm = -x_3 + s_{33}x_3 + n_3(x_1 + i_3) \quad (4.10)$$

$$n_{23} = \begin{cases} -1; & y_1 \geq 0 \\ +1; & y_1 < 0 \end{cases}$$

$$n_{31} = \begin{cases} +1; & (x_1 - i_3) \geq 0 \\ -1; & (x_1 - i_3) < 0 \end{cases}$$

Orijinal Tigan denklemindeki doğrusal olmayan  $xz$  ve  $xy$  ifadeleri için A-DK-HSA'da  $n_{23}$  ve  $n_{31}$  parametreleri kullanılmıştır.  $n$  işaret fonksiyonu gibi davranır.  $y_1$  pozitif olduğunda  $n_{23} = -1$ ,  $y_1$  negatif olduğunda  $n_{23} = +1$  olur.  $(x_1 - i_3)$  pozitifse  $n_{31} = +1$ ,  $(x_1 - i_3)$  negatifse  $n_{31} = -1$  olur. Her durum için denklemler aşağıda yazılmıştır.

**$y_1 \geq 0$  ve  $(x_1 - i_3) \geq 0$  için,**

$$\dot{x}_1 = -x_1 + s_{11}x_1 + s_{12}x_2$$

$$\dot{x}_2 - = -x_2 + s_{21}x_1 + s_{22}x_2 - x_3 \quad (4.11)$$

$$\dot{x}_3 + = -x_3 + s_{33}x_3 + (x_1 + i_3)$$

$y_1 < 0$  ve  $(x_1 - i_3) < 0$  için,

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -x_1 + s_{11}x_1 + s_{12}x_2 \\ \dot{x}_2 &= -x_2 + s_{21}x_1 + s_{22}x_2 + x_3 \\ \dot{x}_3 &= -x_3 + s_{33}x_3 - (x_1 + i_3) \end{aligned} \quad (4.12)$$

#### 4.2.1. Sayısal Analiz

Başlangıç koşulları  $x_1 (0,1)$ ,  $x_2 (0,1)$ ,  $x_3 (0)$ , için Denklem (4.11) ve (4.12) 'deki denklemler iki alt uzayda tanımlanır.

$$\begin{aligned} D_+ &= \{(x_1, x_2, x_3) | y_1 \text{ ve } (x_1 - i_1) \geq 0\}; P^+ = (-k_1, -k_2, -k_3) \\ D_- &= \{(x_1, x_2, x_3) | y_1 \text{ ve } (x_1 - i_1) < 0\}; P^- = (k_1, k_2, k_3) \end{aligned} \quad (4.13)$$

$n_{23} = \pm 1$ ,  $n_{31} = \pm 1$  için,

$$\begin{aligned} k_1 &= \frac{-(i_3 s_{12})}{(s_{12} - s_{11} - s_{22} - s_{33} + s_{11}s_{22} - s_{12}s_{21} + s_{11}s_{33} + s_{22}s_{33} - s_{11}s_{22}s_{33} + s_{12}s_{21}s_{33} + 1)}, \\ k_2 &= \frac{(i_3(s_{11} - 1))}{(s_{12} - s_{11} - s_{22} - s_{33} + s_{11}s_{22} - s_{12}s_{21} + s_{11}s_{33} + s_{22}s_{33} - s_{11}s_{22}s_{33} + s_{12}s_{21}s_{33} + 1)}, \\ k_3 &= \frac{-(i_3(s_{11} + s_{22} - s_{11}s_{22} + s_{12}s_{21} - 1))}{(s_{12} - s_{11} - s_{22} - s_{33} + s_{11}s_{22} - s_{12}s_{21} + s_{11}s_{33} + s_{22}s_{33} - s_{11}s_{22}s_{33} + s_{12}s_{21}s_{33} + 1)}. \end{aligned} \quad (4.14)$$

Jacobian matristen  $P^+$  ve  $P^-$  denge noktaları aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$J_+ = \begin{bmatrix} (s_{11} - 1) & s_{12} & 0 \\ s_{21} & (s_{22} - 1) & -1 \\ 1 & 0 & (s_{33} - 1) \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

$$J_- = \begin{bmatrix} (s_{11} - 1) & s_{12} & 0 \\ s_{21} & (s_{22} - 1) & 1 \\ -1 & 0 & (s_{33} - 1) \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

Jacobian matrisin denge noktaları ve özdeğerleri hesaplanır.  $|J - \lambda I| = 0$  ile sistemin karakteristik denklemi aşağıdaki gibi bulunur.

( $s_{11} = 0.25$ ,  $s_{12} = 1$ ,  $s_{21} = 1$ ,  $s_{22} = 1$ ,  $s_{33} = 0.75$ ) alınarak,

Karakteristik denklem,

$$P^+(\lambda) = \lambda^3 + \lambda^2 - 0.8125\lambda + 0.75 \quad (4.17)$$

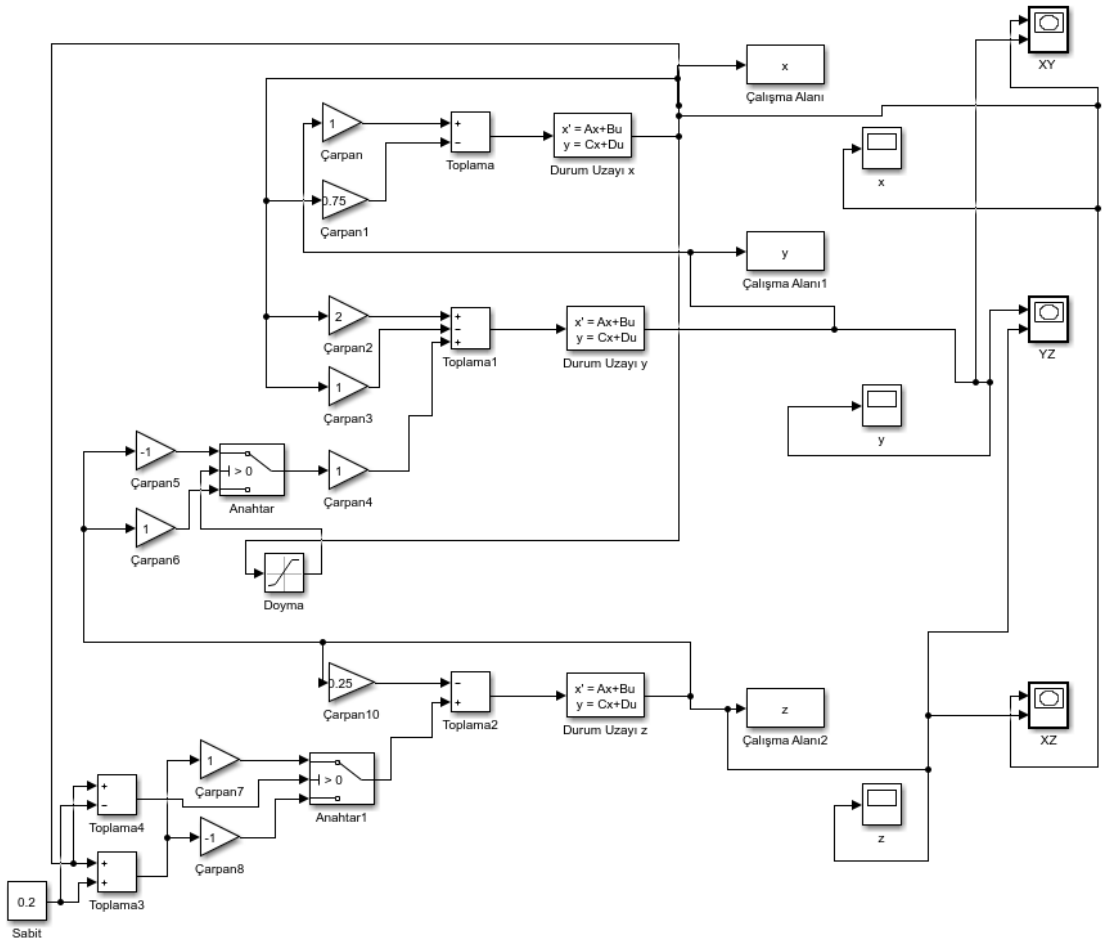
$$P^-(\lambda) = \lambda^3 + \lambda^2 - 0.8125\lambda + 0.75$$

Sistemin özdeğerleri,

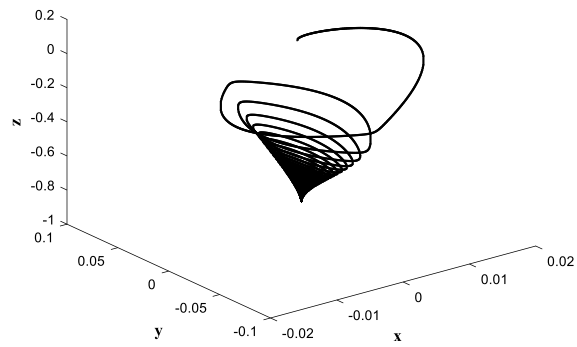
$$\lambda_1 = -1.7238,$$

$$\lambda_{2,3} = 0.3619 \pm 0.5515i.$$

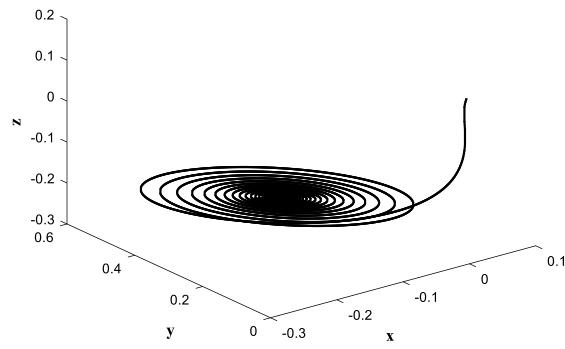
$\lambda_1$  negatif bir reel sayıdır,  $\lambda_{2,3}$  pozitif reel kısımlı karmaşık eşlenik özdeğerlerdir. Bu sebeple önerilen A-DK-HSA sistemi kararsızdır ve  $P$  dengesi bir eyer noktasıdır (saddle-focus). Şekil 4.4'te A-DK-HSA tabanlı Tigan sisteminin sayısal sonuçları verilmiştir. Şekil 4.4 (g) 'de  $s_{11} = 0.25$ ;  $s_{12} = s_{21} = s_{22} = 1$ ;  $s_{33} = 0.75$ ;  $i_3 = 0.2$  alınmıştır.  $s_{22}$  değeri  $[-9, 0]$  aralığında alınmıştır. Adım aralığı 0.001'dir. Grafikte koyulukların arttığı alan kaosu başlamanın göstergesidir.



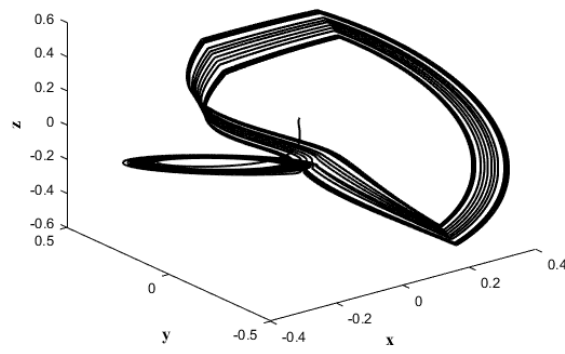
(a)



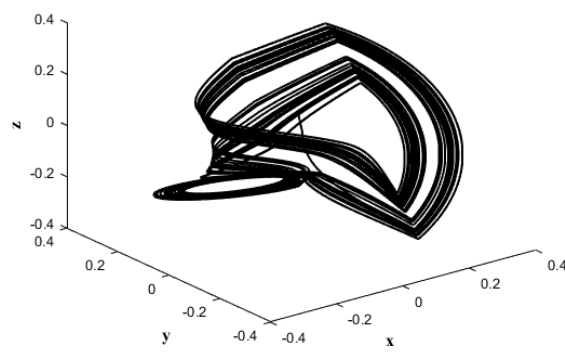
(b)



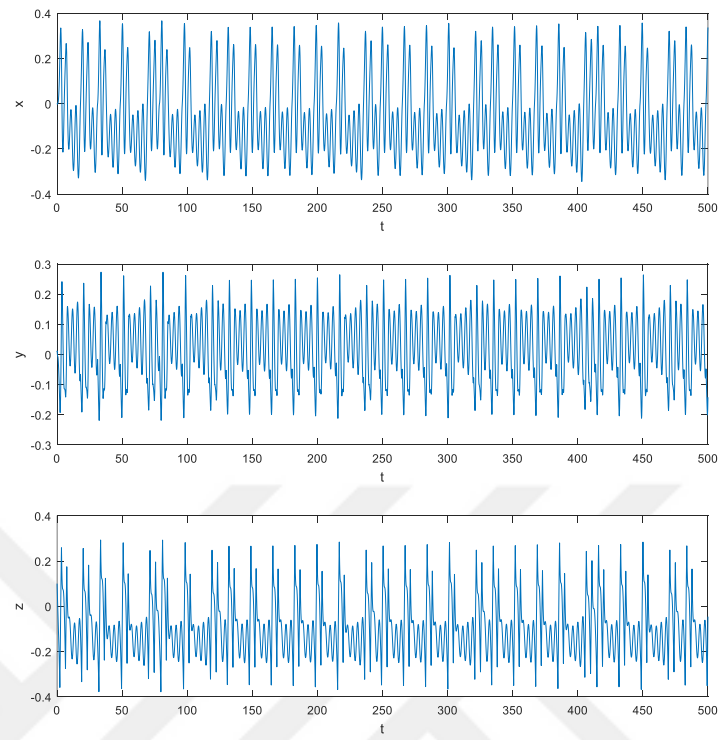
(c)



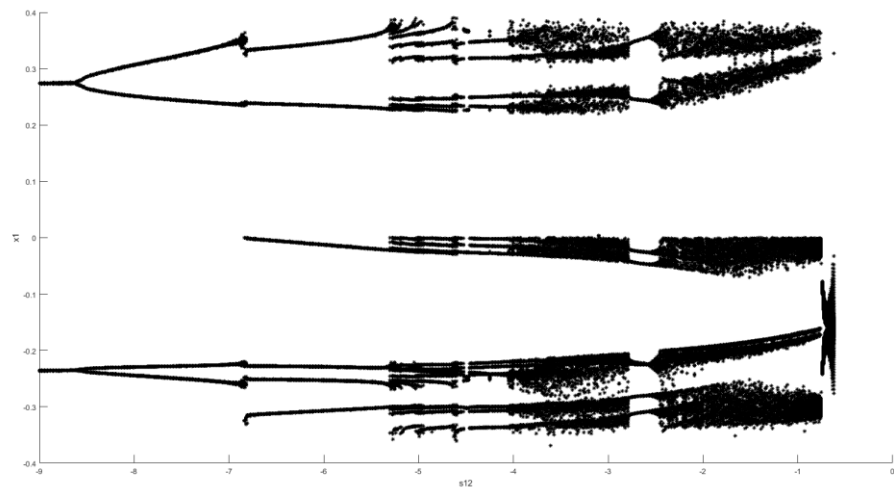
(d)



(e)

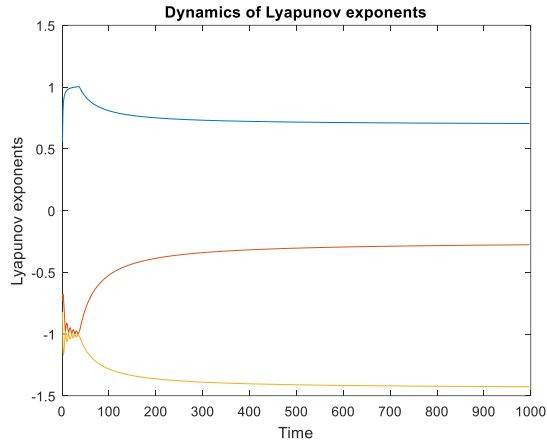


(f)



(g)





(h)

Şekil 4.4. A-DK-HSA tabanlı Tigan sisteminin sayısal sonuçları: (a) A-DK-HSA tabanlı Tigan sisteminin Simulink modeli, (b)  $s_{11} = 0.25$ ;  $s_{12} = s_{21} = s_{22} = 1$ ;  $s_{33} = 0.75$ ;  $i_3 = 0.2$  değerleri için  $(x_1 - x_3)$  düzleminde faz grafiği, (c)  $s_{11} = 0.25$ ;  $s_{12} = -0.5$ ;  $s_{21} = s_{22} = 1$ ;  $s_{33} = 0.75$ ;  $i_3 = 0.2$  değerleri için  $(x_1 - x_3)$  düzleminde faz grafiği, (d)  $s_{11} = 0.25$ ;  $s_{12} = -0.85$ ;  $s_{21} = s_{22} = 1$ ;  $s_{33} = 0.75$ ;  $i_3 = 0.2$  değerleri için  $(x_1 - x_3)$  düzleminde faz grafiği, (e)  $s_{11} = 0.25$ ;  $s_{12} = -2.4$ ;  $s_{21} = s_{22} = 1$ ;  $s_{33} = 0.75$ ;  $i_3 = 0.2$  değerleri için  $(x_1 - x_3)$  düzleminde kaotik çeker grafiği, (f) x, y, z düzlemi için zaman domeni grafikleri, (g) Çatallanma diyagramı  $s_{22}$  değişkeni için, (h) Sistemin Lyapunov üstellerinin zamana göre değişimi.

## 5.BÖLÜM

### SONUÇ ve ÖNERİLER

İlk başlarda olasılık, istatistik gibi konularla çalışmaya başlayan yapay zekâ çalışmaları süreç içerisinde, teknolojinin de gelişmesine paralel olarak önemli ilerlemeler kat ederek daha karmaşık problemlerin çözülmesine imkân verdi. Günümüzde gelinen noktada en gelişmiş teknik ise temelini yapay sinir ağlarının oluşturduğu derin öğrenme tekniğidir. Günlük yaşamda farkına çok varılmasa da birçok alanda HSA kullanılmaktadır. En basitinden Google görsellerde arama yapıldığında arama yapılan görseli çıktı olarak sunması için arka planda Google resimlerdeki nesnelere metinlere dönüştürür. Böylece aranan görseller sunulur. HSA ilk sunulduğunda görüntü işleme, işaret işleme alanlarında oldukça başarılı sonuçlar elde etti. İlerleyen süreçlerde ise HSA karmaşık dinamik sistemler, diferansiyel denklemler, kaotik sistemler için yetersiz kalmaya başladı. Bu karmaşık sistemler için hücrelerin durum noktalarından da geri besleme yapılmış durum kontrollü hücresel sinir ağları (DK-HSA) önerilmiştir. Arena DK-HSA ile ilk Chua devresini modellemiştir [55]. DK-HSA ağları karmaşık dinamik sistemler, diferansiyel denklemler, kaotik devreler, kaotik kriptoloji, kaos jeneratörü olarak güvenli haberleşme gibi geniş bir alanda kullanılır [62]. DK-HSA'nın yetersiz kaldığı kısım ise HSA çıkış fonksiyonunun Lorenz, Rössler gibi çarpımlı doğrusal olmayanlıklar (nonlinear) içeren sistemleri modellemekte problem yaşamasıdır. Bu problemin üstesinden gelmek için Elwakil Lorenz sistemindeki iki durum değişkeninin çarpımıyla oluşan doğrusal olmayanlıklar (nonlinear) için bipolar voltaj kontrollü anahtarlama parametreleri kullanılarak üretilebileceğini gösterdiği çalışma bu tez çalışması için motivasyon kaynağı oluşturmuştur [62]. A-DK-HSA'nın durum denklemleri  $G_n$  parametresi hariç DK-HSA'nın durum denklemleri ile aynıdır.  $G_n$  değeri bipolar voltaj kontrollü anahtarlama parametresini temsil eder.

Bu yüksek lisans tezinde A-DK-HSA tabanlı Tigan sistemi sayısal ve deneysel olarak tanıtılmıştır. A-DK-HSA tabanlı Tigan sisteminin kaotik dinamikleri, kaotik çekerleri, çatallanma diyagramları, öz değerleri gibi temel özellikleri araştırılmıştır. Deneysel sonuçlarında görüldüğü gibi HSA tabanlı kaotik bir sistem elde edilmiştir. Modellenen bu sistem ile ilerleyen süreçlerde FPAA ve FPGA platformlarında uygulamalarının yapılması amaçlanmaktadır. Elde edilen bu kaotik sistem kaotik haberleşmede üreticiler olarak kullanılması düşünülmektedir. Bu sistem ile hiper kaotik bir model önerilebilir mi bu konuda çalışmalar yapılması planlanmaktadır. Tigan sistemi ile yapılan çalışmalarda Tigan sisteminin Pecora-Carroll yöntemi ile senkronize edilebildiği gösterilmiştir. İleriki çalışmalarda A-DK-HSA tabanlı Tigan sisteminin sinyal gizleme ve güvenli haberleşme amaçlı senkronizasyon, kaotik maskeleyme, kaotik modülasyon, kaotik anahtarlama haberleşme yöntemlerini kullanarak testlerinin gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır.

## KAYNAKÇA

1. Kızrak, M., A., 2018. Şu kara kutuyu açalım: yapay sinir ağları. (Web sayfası: <https://ayyucekizrak.medium.com/%C5%9Fu-kara-kutuyu-a%C3%A7alim-yapay-sinir-a%C4%9Flar%C4%B1-7b65c6a5264a>), (Erişim tarihi: Aralık 2020).
2. Chua, L., O., Yang, L., 1988. Cellular neural networks: theory. **IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications**,35/10.
3. Tigan, G., 2006. Investigations of the T System with time delay. **Proceedings of The 4-th International Colloquium “Mathematics in Engineering and Numerical Physics”** October 6-8, Bucharest, Romania, pp. 179-185.
4. Tigan, G.,2004. Bifurcation and stability in a system derived from the Lorenz system. **Proceedings of The 4-th International Colloquium “Mathematics in Engineering and Numerical Physics”** October 7-9, Bucharest, Romania, pp. 265-272.
5. Tigan, G., Opreş, D.,2008. Analysis of a 3D chaotic system. **Chaos Soliton Fractals** 36 pp. 1315-1319.
6. Pehlivan, İ., Uyaroğlu, Y., Gün, A., R., Taşkıran, A.,2011. Tigan (T) kaotik sisteminin elektronik devre gerçekleştirilmesi ve senkronizasyon uygulaması. **6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11)**, 16-18 May.
7. Taşkıran, A., 2011. Burke-Shaw ve T(Tigan) Kaotik Osilatörlerinin Tasarımı:Güvenli Haberleşme Amaçlı Senkronizasyon Uygulamaları. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya,131 s.
8. Biswas, H., R., Hasan, M., Bala, S., K., 2018. Chaos theory and its applications in our real life. **Barishal University Journal Part 1**, 5(1&2):123-140.
9. Borwein, J., Rose, M.,2012. Explainer: what is chaos theory? (Web sayfası: <https://theconversation.com/explainer-what-is-chaos-theory-10620>), (Erişim tarihi: Aralık 2020).
10. Oestreicher, C., 2007. A history of chaos theory. (Web sayfası: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3202497/>), (Erişim tarihi: Aralık 2020).

11. Kocabaldır, A., 2020. Kaos teorisi nedir? Doğadaki kaostan söz ederken neyi kastediyoruz? (Web sayfası: <https://evrimagaci.org/kaos-teorisi-nedir-dogadaki-kaostan-soz-ederken-neyi-kastediyoruz-8198>), (Erişim tarihi: Aralık 2020).
12. Sever, M., Ç., 2019. Kelebek etkisinedir? (Websayfası: <https://evrimagaci.org/kelebek-etkisi-nedir-7747>), (Erişim tarihi: Aralık 2020).
13. Tufan, T., 2017. Dünya forum: tanımsızlığın formülleri / kaos teorisi nedir? (Web sayfası: <https://www.gazeteduvar.com.tr/dunya-forum/2017/09/24/dunya-forum-tanimsizligin-formulleri-kaos-teorisi-nedir>), (Erişim tarihi: Aralık 2020).
14. Wikipedia, 2020. Kepler'in gezegensel hareket yasaları. (Web sayfası: [https://tr.wikipedia.org/wiki/Kepler%27in\\_gezegensel\\_hareket\\_yasalar%C4%B1#:~:text=E%C4%9Fer%20bir%20gezegensel%20y%C3%B6r%C3%BCngenin%20d%C4%B1%C5%9Fmerkezlili%C4%9Fi,olan%20uzakl%C4%B1%C4%9F%C4%B1n%C4%B1n%20k%C3%BCb%C3%BC%20ile%20orant%C4%B1%C4%B1d%C4%B1r.](https://tr.wikipedia.org/wiki/Kepler%27in_gezegensel_hareket_yasalar%C4%B1#:~:text=E%C4%9Fer%20bir%20gezegensel%20y%C3%B6r%C3%BCngenin%20d%C4%B1%C5%9Fmerkezlili%C4%9Fi,olan%20uzakl%C4%B1%C4%9F%C4%B1n%C4%B1n%20k%C3%BCb%C3%BC%20ile%20orant%C4%B1%C4%B1d%C4%B1r.)), (Erişim tarihi: Aralık 2020).
15. Günay, E., 2012. Dinamik sistemler ve kaos. (Web sayfası: <https://slideplayer.biz.tr/slide/2385011/>), (Erişim tarihi: Aralık 2020).
16. Özvardar, O., 2017. Determinizm nedir. (Websayfası: <https://www.muhendisbeyinler.net/determinizm-nedir/>), (Erişim tarihi: Aralık 2020).
17. Duran, O., 2020. Çok yönlü bir bilim insanı: Andrei Nikolaevich Kolmogorov. (Web sayfası: <https://www.matematiksels.org/cok-yonlu-bir-bilim-insani-andrei-nikolaevich-kolmogorov/>), (Erişim tarihi: Aralık 2020).
18. Şenaras, A., E., İnanç, Ş., Sezen, H., K., 2014. Analyzing randomness of numbers generated by logistic map. **Uluslararası Hakemli Ekonomi Yönetim Araştırmaları Dergisi**, Sayı:1, 23-37.
19. Andız, M., B., 2017. Mandelbrot kümesi nedir? (Web sayfası: <https://www.muhendisbeyinler.net/mandelbrot-kumesi-nedir/>), (Erişim tarihi: Aralık 2020).
20. Lorenz, E., N., 1963. Deterministic nonperiodic flow. **Journal of the atmospheric sciences**, Vol(20), pp. 130-141.

21. Wikipedia, 2020, Chaos. (Web sayfası: <http://complex.upf.es/~josep/Chaos.html>), (Erişim tarihi: Aralık 2020).
22. Yener, Ş., Ç., Mutlu, R., Karakulak, E., 2020. Implementation of a microcontroller-based chaotic circuit of lorenz equations. **Balkan Journal of Electrical & Computer Engineering**, Vol. 8, No. 4.
23. Kumar, A., 2012. Chaos theory: impact on and applications in medicine. **Nitte University Journal of Health Science**.
24. Qu, Z., 2010. Chaos in the genesis and maintenance of cardiac arrhythmias. (Web sayfası: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3047604/>), (Erişim tarihi: Aralık 2020).
25. Bassam, N., A., Zayegh, A., 2017. Chaos-base communication systems. (Web sayfası: <https://www.intechopen.com/books/chaos-theory/chaos-based-communication-systems>), (Erişim tarihi: Aralık 2020).
26. Çiçek, S., 2016. Yeni Bir Kaotik Sistem ile FPGA Tabanlı Bir Kaotik Haberleşme Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sakarya, 215 s.
27. Ren, H., P., Baptista, M., S., Grebogi, C., 2013. Wireless communication with chaos. **Physical Review Letters**, PRL 110, 184101.
28. Güzel, Y., 2018. Biyolojik sinir sistemi ve yapay sinir ağı hücresi. (Web sayfası: <https://medium.com/@yasinguzel/yapay-zeka-ders-notlar%C4%B1-03-biyolojik-sinir-sistemi-ve-yapay-sinir-a%C4%9F%C4%B1-h%C3%BCresi-6555add68d80> ), (Erişim tarihi: Aralık 2020).
29. Yılmaz, E., 2012. Sinirlerde gizlenen matematik. (Web sayfası: <https://edergi.tubitak.gov.tr/edergi/yazi.pdf?dergiKodu=4&cilt=46&sayi=788&sayfa=58&yaziid=33866>), (Erişim tarihi: Aralık 2020).
30. Ögücü, M., O., 2006. Yapay Sinir Ağları ile Sistem Tanıma. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 85 s.
31. Doğan, T., 2018. Yapay sinir ağları ve tek katmanlı ağlarda öğrenme. (Web sayfası: <https://www.linkedin.com/pulse/yapay-sinir-a%C4%9Flar%C4%B1-ve-tek-katmanl%C4%B1-a%C4%9Flarda-%C3%B6%C4%9Frenme-tanjudo%C4%9Fan/>), (Erişim tarihi: Aralık 2020).

32. İşçi, S., 2019. Perceptron öğrenme algoritması. (Web sayfası: <https://medium.com/kaveai/perceptron-1-550f83895555>), (Erişim tarihi: Aralık 2020).
33. Wikipedia, 2018, Derin öğrenme: perceptron öğrenme algoritması. (Web sayfası: <https://devhunteryz.wordpress.com/2018/06/30/derin-ogrenme-perceptron-ogrenme-algoritmasi/>), (Erişim tarihi: Aralık 2020).
34. Arı, A., Berberler, M., E., 2017. Yapay sinir ağları ile tahmin ve sınıflandırma problemlerinin çözümü için arayüz tasarımı. **Acta Infologica -1(2)**.
35. Kızrak, M., A., 2019. Derin öğrenme için aktivasyon fonksiyonlarının karşılaştırılması. (Websayfası: <https://ayyucekizrak.medium.com/derin-%C3%B6%C4%9Frenme-i%C3%A7in-aktivasyon-fonksiyonlar%C4%B1n%C4%B1n-kar%C5%9F%C4%B1la%C5%9Ft%C4%B1r%C4%B1lmas%C4%B1-cee17fd1d9cd>), (Erişim tarihi: Aralık 2020).
36. Güzel, K., 2018. Geri yayımlı çok katmanlı yapay sinir ağları-2. (Web sayfası: <https://medium.com/@billmuhh/geri-yay%C4%B1l%C4%B1ml%C4%B1-%C3%A7ok-katmanl%C4%B1-yapay-sinir-a%C4%9Flar%C4%B1-2-6a47b4f3a6c>), (Erişim tarihi: Aralık 2020).
37. Arena, P., Baglio, S., Fortuna, L., Manganaro, G., 1995. Cellular neural networks: a survey. **IFAC Proceedings, Vol.28**, pp. 43-48.
38. Tander, B., Ün, M., 2001. Hücresel sinir ağları için gerilim kaynaklı hücre modelleri. **Istanbul University Engineering Faculty Journal of Electrical & Electronics, Vol.1**, No.2, pp. 209-221.
39. Günay, E., Alçı, M., Uzunhisarcıklı, E., 2005. FTFN tabanlı hücresel sinir ağlarında kenar çıkarım işlemlerinin yapılması. **Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 11.Ulusal Kongresi ve Fuarı**, ss. 537-540.
40. Sevgen, S., 2009. Hücresel Sinir Ağları için Kararlı Şablon Tasarımı ve Görüntü İşleme Uygulamaları. İstanbul Üniversitesi, Doktora Tezi, İstanbul, 86 s.
41. Tolluoğlu, A., O., Kargın, S., Uçan, O., N., Kent, S., 2005. Hücresel yapay sinir ağları ile kızılötesi görüntülerde gürültünün temizlenmesi. **Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, Cilt 2 Sayı 1** ss. 77-86.

42. Günay, E., 2005. Voltaj ve Akım-Modlu Olarak Tasarlanan Hücresel Sinir Ağları ve Uygulamaları. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri, 156 s.
43. Meriç, V., 2016. Hücresel Yapay Sinir Ağı İşlemcisi Tasarımı ve FPGA Gerçeklemesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 75 s.
44. Albora, A., M., Özmen, A., Uçan, O., N., 2001. Residual separation of magnetic fields using a cellular neural network approach. **Pure and Applied Geophysics**, **158**.
45. Yavuz, O., 2013. Zaman-Türevli Hücresel Sinir Ağları ve Uygulamaları. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 121 s.
46. Gulli, A., Kapoor, A., Pal, S., 2019. Using the CNN architecture in image processing. (Web sayfası: <https://medium.com/@ODSC/using-the-cnn-architecture-in-image-processing-65b9eb032bdc>), (Erişim tarihi: Aralık, 2020).
47. Çelik, E., 2011. Görüntü İşlemeye Dayalı Avuç İçi İzinin Yapay Sinir Ağı ile Tanınması. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 76 s.
48. Sağlam, S., 2020. FPGA Tabanlı Medikal Görüntü İşleme. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 50 s.
49. Almryad, A., S., 2020. Makine Öğrenmesi ve Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Kelebeklerin Tanımlanması. Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Doktora Tezi, Karabük, 87 s.
50. Soytürk, M., A., 2005. Sayısal Kenar Çıkarma ve Yapay Sinir Ağları Yardımıyla Araç Tanıma. Erciyes Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 86 s.
51. Günay, E., 2017. HSA tabanlı kaos üreticinin FPAA kullanılarak gerçekleştirilmesi. **25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)**.
52. Mutlu, Ü., 2015. Programlanabilir ve yeniden yapılandırılabilir sinir ağ modellerinin tasarım ve gerçekleştirimi. Erciyes Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, BAP Doktora Tez Projesi, Kayseri, 25 s.
53. Altun, K., Günay, E., 2016. Hücresel sinir ağı tabanlı kaos üreticinin alan programlanabilir kapı dizileri ile gerçekleştirilmesi. **International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium'16**.



54. Kılıç, R., Günay, E., Dalkıran, F., Y., Mutlu, Ü., 2011. Experimental verification of CNN (Cellular Neural Network)-based nonautonomous MLC chaos generator. **20th European Conference on Circuit Theory and Design (ECCTD 2011)**, Linköping, Sweden, pp.645-648.
55. Arena, P., Baglio, S., Fortuna, L., Manganaro, G.,1995. Chua's circuit can be generated by CNN cells. **IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications**, 42/2,123-125.
56. Tander, B., 2003. Durum kontrollü hücresel sinir ağlarının (DK-HSA) benzetimleri için sürekli zaman modelleri. **Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi**.
57. Dalkıran, F.,Y.,Günay, E., Kılıç,R.,2011. HSA (hücresel sinir ağı)-tabanlı otonom olmayan MLC devresinin donanımsal gerçekleştirmeleri.**EMO Bilimsel Dergi, Cilt 1**, sayı 1, ss. 27-30.
58. Günay, E., Altun, K., 2018. HSA tabanlı kaos üretici ile açık kapalı kaotik anahtarlama haberleşme sisteminin FPGA kullanılarak gerçekleştirilmesi. **Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi**, cilt 6, sayı 4.
59. Günay, E., Alçı, M., Kılıç, R., 2002. Durum kontrollü hücresel sinir ağı (DK-HSA) devresi kullanılarak geri beslemeli kaotik maskeleye sisteminin tasarlanması. **ELECO2002- Elektrik-Elektronik Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu**, Bursa, Turkey, pp 89-93.
60. Günay, E., 2012. A new autonomous chaos generator from state controlled -cellular neural networks. **International Journal of Bifurcation and Chaos**, Vol.22, No.3.
61. Günay, E., 2018. Switched state controlled-CNN: an alternative approach in generating complex systems with multivariable nonlinearities using CNN. **International Journal of Bifurcation and Chaos**, Vol.28, No.6.
62. Elwakil, A., S., Özoğuz, S., Kennedy, M., P.,2002. Creation of a complex butterfly attractor using a novel Lorenz-type system. **IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications**. Vol(49),527-530.
63. Altun, K.,2019. Anahtarlama Durum Kontrollü Hücresel Sinir Ağı Tabanlı Kaotik Osilatör Tasarımları ve Kaotik Haberleşme Uygulamaları. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri, 152 s.

64. Emirođlu, S., Uyaroğlu, Y.,2020. T kaotik sisteminin geri besleme ile kontrolü. **Iđdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, **10(3)**:1649-1658.
65. Sundarapandian, V.,2011. Hybrid synchronization of Liu-Chen and Tigan chaotic systems by active nonlinear control. **International Journal of Advances in Science and Technology**, **Vol(3)**, No.2.
66. Vaidyanathan, S., Rajagopal, K., 2012. Anti-Synchronization of Tigan and Li Systems with unknown parameters via adaptive control. **An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications Vol(2)**, No.1, pp.17-28.



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı:** Fatma AKTAŞ  
**Uyruğu:** Türkiye (T.C)  
**Doğum Tarihi ve Yeri:** 12.10.1995 - Kars  
**Medeni Durum:** Bekar  
**e-mail:** muh.fatma.aktas@gmail.com  
**Yazışma Adresi:** Örnek mah. Hastane Cd. Bahçekent sitesi C blok D.No:14  
MERKEZ/KARS

### EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Elektrik Elektronik Müh.	2018-2021
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Elektrik Elektronik Müh.	2017
Lise	Alpaslan Lisesi, Kars	2012

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2019-2020	Mergen Yazılım	Yazılım Müh.
2018-2019	Atlas Sayaç ve Ölçü Aletleri	Arge Müh.

### YABANCI DİL

İngilizce