

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**2. VE 3. DERECE EN BASİT KAOTİK AKIŞLI
SİSTEMLERİN SENKRONİZASYONU VE GÜVENLİ
HABERLEŞMEDE KULLANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elk.-Elektr. Müh. Abdullah GÖKYILDIRIM

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ**
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Yılmaz UYAROĞLU

Mayıs 2007

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


2. VE 3. DERECE EN BASİT KAOTİK AKIŞLI
SİSTEMLERİN SENKRONİZASYONU VE GÜVENLİ
HABERLEŞMEDE KULLANILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elk.-Elektr. Müh. Abdullah Gökyıldırım

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK

Bu tez ~~25/05~~ /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Y. Doç. Dr. Yılmaz Uyaroglu
Jüri Başkanı


Prof. Dr. Osman ÇEREZCI
Üye


Y. Doç. Dr. H. İbrahim ESKİKURT
Üye

ÖNSÖZ

Doğrusal olmayan yapısı ve girişe olan hassas bağımlılığıyla beraber kaos, dinamik sistemlerde bilinen en karmaşık kararlı hal davranışıdır. Bu özellikleri ile kaos, güvenli ve gizli haberleşme sistemlerinde bilgi işaretinin kaotik işaret üretimi yoluyla taşınması fikrinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bununla beraber kaos, düzensiz olarak nitelenen birçok şeyin aslında kendi içerisinde çok hassas bir düzeni, yapısı ve işleyişi olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Bu tezde, doğrusal olmayan kaotik sistemleri tanıtmayı ve bu sistemlerin güvenli haberleşmede kullanılabileceğini göstermeyi amaçladık.

Yüksek lisans tez çalışması boyunca her türlü ilgi, destek ve teşviklerini esirgemeyen başta sayın danışmanlarım Yrd. Doç. Dr. Yılmaz UYAROĞLU ve Dr. İhsan PEHLİVAN' a teşekkürlerimi sunarım.

Her türlü anlayış, destek ve yardımlarından dolayı ev arkadaşlarıma ve katkısı olan herkese teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
------------	---

BÖLÜM 2.

BAZI KAOTİK OSİLATÖRLER.....	14
2.1. Chua Kaotik Osilatörü.....	14
2.2. Lorenz Kaotik Osilatörü.....	19
2.3. Van Der Pol Kaotik Osilatörü.....	21
2.4. Rucklidge Sistemi.....	22
2.5. Rössler Kaotik Osilatörü.....	24
2.6. Chen Sistemi.....	26
2.7. Sprot 1997a Sistemi (En basit ikinci-derece kaotik akış).....	27
2.8. Malasoma 2000 Sistemi (En basit üçüncü-derece kaotik akış).....	29
2.9. WINDMI çekicisi.....	31
2.10. Burke-Shaw Çekicisi.....	32
2.11. Linz-Sprot 1999 (En basit parçalı-doğrusal kaotik akış).....	33
2.12. Lotka -Volterra Sistemi (Genelleştirilmiş).....	34
2.13. Moore - Spiegel Sistemi.....	35
2.14. En basit sürülen kaotik akış.....	36

2.15. Labirent Kaos.....	37	
2.16. Henon-Heiles sistemi.....	38	
BÖLÜM 3.		
KAOTİK SENKRONİZASYON.....	39	
3.1. Kaotik Senkronizasyon ve Pecora-Carroll yöntemi.....	39	
3.2. Sprot 97a Sistemi (En basit 2.derece kaotik akış)'nin Senkronizasyonu.....	41	
3.3. Malasoma2000 Sistemi (En basit 3.derece kaotik akış)'nin Senkronizasyonu.....	46	
3.4. Lorenz Sistemi' nin Senkronizasyonu.....	51	
3.5. Rucklidge Sistemi' nin Senkronizasyonu.....	56	
BÖLÜM 4.		
BAZI KAOTİK SİSTEMLERİN GİZLEME YÖNTEMİYLE HABERLEŞMELERİ.....		62
4.1. Kaotik Sistemlerin Gizleme Yöntemiyle (Masking) Haberleşmesi.	62	
4.2. Sprot97a Sistemi Kaotik Gizleme Haberleşme Modellemesi.....	64	
4.3. Malasoma2000 Sistemi Kaotik Gizleme Haberleşme Modellemesi	67	
4.4. Lorenz Sistemi Kaotik Gizleme Haberleşme Modellemesi.....	70	
BÖLÜM 5.		
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	73	
KAYNAKLAR.....	76	
ÖZGEÇMİŞ.....	80	

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

t	: Zaman
t_0	: Başlangıç zamanı
x	: Kaotik durum değişkeni
y	: Kaotik durum değişkeni
z	: Kaotik durum değişkeni
x_0	: Durum değişkeninin başlangıç değeri
y_0	: Durum değişkeninin başlangıç değeri
z_0	: Durum değişkeninin başlangıç değeri
v	: Skala edilmiş kaotik durum değişkeni
w	: Skala edilmiş kaotik durum değişkeni
X_c	: Cevap sisteminin kaotik durum değişkeni
Y_c	: Cevap sisteminin kaotik durum değişkeni
Z_c	: Cevap sisteminin kaotik durum değişkeni
\dot{x}	: Durum değişkeninin türevi
\dot{y}	: Durum değişkeninin türevi
\dot{z}	: Durum değişkeninin türevi
V	: Gerilim
I	: Akım
F	: frekans
R	: Direnç
C	: Kapasitör
L	: Endüktör
G	: Kondüktans
E	: Kaynak gerilimi
N_R	: Chua Diyodu
Ω	: Parametre

σ	: Parametre
μ	: Parametre
r	: Parametre
τ	: Parametre
β	: Parametre
a	: Parametre
b	: Parametre
c	: Parametre
aa	: Parametre
bb	: Parametre
$i(t)$: Bilgi işareti
$ic(t)$: Tekrar elde edilen bilgi işareti
$S(t)$: İletilen işaret
e	: Hata

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	E. Lorenz' in 1963'te bulduğu "kelebek etkisi".....	4
Şekil 1.2.	Poincare Haritası.....	6
Şekil 1.3.	Lorenz Çekicisi (Kelebek Etkisi).....	6
Şekil 1.4.	(a). Doğrusal sistem ve denge noktası davranışı, (b). Doğrusal olmayan sistem ve limit döngü davranışı.....	8
Şekil 1.5.	Henon Çekicisi.....	9
Şekil 1.6.	Rössler Fraktalları.....	10
Şekil 2.1.1.	Chua Kaotik Osilatörü.....	14
Şekil 2.1.2.	Chua diyodunun V- I karakteristiği.....	15
Şekil 2.1.3.	Chua dinamik denklemleri ile oluşturulan Matlab simülasyonu.	16
Şekil 2.1.4.	X-Y-Z değişkenlerine ait kaotik faz portresi.....	16
Şekil 2.1.5.	A, B ve C çalışma şartlarına göre X' in kaotik zaman serileri....	17
Şekil 2.1.6.	A, B ve C çalışma şartlarına göre Y' in kaotik zaman serileri....	17
Şekil 2.1.7.	A, B ve C çalışma şartlarına göre Z' in kaotik zaman serileri....	17
Şekil 2.1.8.	A, B ve C çalışma şartlarına göre X-Y-Z Kaotik faz portreleri..	18
Şekil 2.1.9.	"X" değişkenin A, B ve C çalışma şartlarına göre olan kaotik zaman serilerinin fark grafikleri.....	19
Şekil 2.1.9.	"Y" değişkenin A, B ve C çalışma şartlarına göre olan kaotik zaman serilerinin fark grafikleri.....	19
Şekil 2.2.1.	Lorenz sisteminin Matlab-Simulink modellemesi.....	20
Şekil 2.2.2.	Lorenz sisteminin a) x-y, b) x-z, ve c) y-z kaotik çekicileri.....	20
Şekil 2.2.3.	Lorenz sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi).....	21
Şekil 2.3.1.	Van Der Pol kaotik osilatörünün Matlab-simulink modellemesi	22
Şekil 2.3.2.	Van Der Pol kaotik osilatörünün; x-y kaotik faz portresi (limit döngü).....	22

Şekil 2.4.1.	Rucklidge sisteminin Matlab-Simulink modellemesi.....	23
Şekil 2.4.2.	Rucklidge sisteminin a) x-y, b) x-z, ve c) y-z kaotik çekicileri.	23
Şekil 2.4.3.	Rucklidge sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi).....	24
Şekil 2.5.1.	Rössler kaotik sisteminin Matlab-Simulink modellemesi.....	25
Şekil 2.5.2.	Rössler sisteminin a) x-y, b) x-z, ve c) y-z kaotik çekicileri.....	25
Şekil 2.5.3.	Rössler sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi).....	25
Şekil 2.6.1.	Chen sisteminin Matlab-Simulink modellemesi.....	26
Şekil 2.6.2.	Chen sisteminin a) x-y, b) x-z, ve c) y-z kaotik çekicileri.....	27
Şekil 2.6.3.	Chen sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi).....	27
Şekil 2.7.1.	Sprott 1997a sisteminin Matlab-Simulink modellemesi.....	28
Şekil 2.7.2.	Sprott 1997a sisteminin a) x-y, b) x-z, ve c) y-z kaotik çekicileri.....	28
Şekil 2.7.3.	Sprott 1997a sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi).....	29
Şekil 2.8.1.	Malasoma 2000 sisteminin Matlab-Simulink modellemesi.....	30
Şekil 2.8.2.	Malasoma 2000 sisteminin a)x-y, b)x-z, ve c)y-z kaotik çekicileri.....	30
Şekil 2.8.3.	Malasoma 2000 sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi).....	30
Şekil 2.9.1.	WINDMI çekicisinin a)x-y, b)x-z, ve c)y-z kaotik çekicileri...	31
Şekil 2.9.2.	WINDMI çekicisinin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi).....	31
Şekil 2.10.1.	Burke-Shaw sisteminin a)x-y, b)x-z, ve c)y-z kaotik çekicileri..	32
Şekil 2.10.2.	Burke-Shaw sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi)	32
Şekil 2.11.1.	Linz-Sprott 1999 sisteminin a)x-y, b)x-z, ve c)y-z kaotik çekicileri.....	33
Şekil 2.11.2.	Linz-Sprott 1999 sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi).....	33
Şekil 2.12.1.	Lotka-Volterra sisteminin (Genelleştirilmiş) x-y, x-z, ve y-z	

	kaotik çekicileri.....	34
Şekil 2.12.2.	Lotka-Volterra sisteminin (Genelleştirilmiş) üç boyutlu x - y - z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi).....	34
Şekil 2.13.1.	Moore - Spiegel sisteminin x - y , x - z ve y - z kaotik çekicileri...	35
Şekil 2.13.2.	Moore - Spiegel sisteminin üç boyutlu x - y - z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi).....	35
Şekil 2.14.1.	En basit sürülen-kaotik akış sisteminin $x - y$ durum değişkenlerinin kaotik değişimi.....	36
Şekil 2.14.2.	En basit sürülen-kaotik akış sisteminin x - y kaotik çekicisi.....	36
Şekil 2.15.1.	Labirent Kaos sisteminin a) x - y b) x - z ve c) y - z kaotik çekicileri.	37
Şekil 2.15.2.	Labirent Kaos sisteminin üç boyutlu x - y - z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi).....	37
Şekil 2.16.1.	Henon-Heiles sisteminin a) x - y , b) x - v , c) x - w , d) y - v , e) y - w , ve f) v - w kaotik çekicileri.....	38
Şekil 2.16.2.	Henon-Heiles sisteminin üç boyutlu yörüngeleri a) x - y - v , b) y - v - w	38
Şekil 3.1.1.	Pecora-Carroll metoduyla yapılan senkronizasyonun blok diyagramı.....	40
Şekil 3.1.2.	Kaskat bağlanmış senkronize sistem şematiği (P-C metodu).....	40
Şekil 3.2.1.	Pecora-Carroll metodunun Sprot97a sistemine uygulanması....	41
Şekil 3.2.2.	(a) Sürücü sinyali (Z) cevap sinyali (Z_c), (b) Z 'nin Z_c 'ye göre değişimi.....	43
Şekil 3.2.3.	Senkronizasyon öncesi oluşan Z - Z_c fark sinyali(e =hata sinyali)	43
Şekil 3.2.4.	Sprot97 sisteminin Simulink P-Csenkronizasyon modellemesi	44
Şekil 3.2.5.	(a) Z ve Z_c değerlerinin zamana göre değişimi (b) Z ve Z_c nin birbirine göre değişimi.....	45
Şekil 3.2.6.	Senkronizasyon sonrası oluşan Z - Z_c fark sinyali (e =hata sinyali).....	46
Şekil 3.3.1.	Pecora-Carroll metodunun Malasoma2000 sistemine uygulanması.....	46
Şekil 3.3.2.	(a) Sürücü sinyali (Z), cevap sinyali (Z_c) (b) Z 'nin Z_c 'ye göre değişimi.....	48
Şekil 3.3.3.	Senkronizasyon öncesi oluşan Z - Z_c fark sinyali (e =hata	

	sinyali).....	49
Şekil 3.3.4.	Malasoma2000 sisteminin Simulink P-Csenkronizasyon modellemesi.....	49
Şekil 3.3.5.	(a) Z ve Zc değerlerinin zamana göre değişimi, (b) Z ve Zc nin birbirine göre değişimi.....	50
Şekil 3.3.6.	Senkronizasyon sonrası oluşan Z-Zc fark sinyali (e=hata sinyali).....	51
Şekil 3.4.1.	(a) Sürücü sinyali (X), cevap sinyali (Xc) (b) X'nin Xc'ye göre değişimi.....	53
Şekil 3.4.2.	Senkronizasyon öncesi oluşan X-Xc fark sinyali (e=hata sinyali).....	53
Şekil 3.4.3.	Lorenz sisteminin Simulink P-Csenkronizasyon modellemesi.....	54
Şekil 3.4.4.	(a) X ve Xc değerlerinin zamana göre değişimi (b) X ve Xc nin birbirine göre değişimi.....	55
Şekil 3.4.5.	Senkronizasyon sonrası oluşan X-Xc fark sinyali (e=hata sinyali).....	56
Şekil 3.5.1.	(a) Sürücü sinyali (X), cevap sinyali (Xc) (b) X'nin Xc'ye göre değişimi.....	58
Şekil 3.5.2.	Senkronizasyon öncesi oluşan X-Xc fark sinyali (e=hata sinyali).....	58
Şekil 3.5.3.	Rucklidge sisteminin Simulink P-Csenkronizasyon modellemesi.....	59
Şekil 3.5.4.	(a) X ve Xc değerlerinin zamana göre değişimi (b) X ve Xc nin birbirine göre değişimi.....	60
Şekil 3.5.5.	Senkronizasyon sonrası oluşan X-Xc fark sinyali (e=hata sinyali).....	61
Şekil 4.1.1.	Kaotik gizleme yöntemiyle haberleşmenin mantığını gösteren blok diyagram.....	63
Şekil 4.2.1.	Sprot97a sisteminin Simulink'de yapılan kaotik gizleme haberleşme modellemesi.....	65
Şekil 4.2.2.	Sprot97a sisteminin Simulink'de yapılan kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme modelinin simülasyon sonuçları (a)	

	Verici sistemin $Z(t)$ sinyali ve alıcı sistemin $Z_c(t)$ sinyali'nin zamana göre değişimi (b) İletilen sinyal $S(t)=x(t) + i(t)$ 'nin zamana göre değişimi (c) Bilgi işareti $i(t)$ ve tekrar elde edilen bilgi işareti $i_c(t)$ 'nin birbirine ve haberleşme hatası $e(t) = i(t) - i_c(t)$ 'nin zamana göre değişimi.....	66
Şekil 4.3.1.	Malasoma2000 sisteminin Simulink'de yapılan kaotik gizleme haberleşme modellemesi.....	68
Şekil 4.3.2.	Malasoma2000 sisteminin Simulink'de yapılan kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme modelinin simülasyon sonuçları (a) Verici sistemin $Z(t)$ sinyali ve alıcı sistemin $Z_c(t)$ sinyali'nin zamana göre değişimi (b) İletilen sinyal $S(t)=x(t) + i(t)$ 'nin zamana göre değişimi (c) Bilgi işareti $i(t)$ ve tekrar elde edilen bilgi işareti $i_c(t)$ 'nin birbirine ve haberleşme hatası $e(t) = i(t) - i_c(t)$ 'nin zamana göre değişimi.....	69
Şekil 4.4.1.	Lorenz sisteminin Simulink'de yapılan kaotik gizleme haberleşme modellemesi.....	71
Şekil 4.4.2.	Şekil 4.4.2. Lorenz sisteminin Simulink'de yapılan kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme modelinin simülasyon sonuçları (a) Verici sistemin $X(t)$ sinyali ve alıcı sistemin $X_c(t)$ sinyali'nin zamana göre değişimi (b) İletilen sinyal $S(t)=x(t) + i(t)$ 'nin zamana göre değişimi (c) Bilgi işareti $i(t)$ ve tekrar elde edilen bilgi işareti $i_c(t)$ 'nin birbirine ve haberleşme hatası $e(t) = i(t) - i_c(t)$ 'nin zamana göre değişimi.....	72

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1.1. Chua kaotik osilatörü matlab simulasyonu için çalışma şartları.....	16
----------------------------------------------------------------------------------	----

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Kaos, Kaotik Sistemler, Kaotik Devreler, Senkronizasyon, Kaotik Gizleme, Güvenli Haberleşme

Kaos ve kaotik sistemler birçok uygulama alanına sahiptir. Popüler ve pratik uygulama alanlarından biri de kaos ile güvenilir haberleşmedir. Kaotik işaretler, başlangıç şartlarına hassas bağımlıdır, tahmin edilemez özelliklere ve gürültü benzeri geniş yayılı spektruma sahiptirler. Bu yüzden, kaotik işaretlerin bilgi işaretini gizleme ve gürültüye bağışık kılma özelliğinden yararlanılarak değişik haberleşme uygulamalarında kullanılmaktadır. Kaos tabanlı güvenilir haberleşme sistemleri, iletilecek bilgi işaretlerinin spektrumunu geniş bir sahaya yayabilmeleri, eşzamanlı olarak bildiri işaretlerini kodlayabilmeleri ve bu işlemleri basit ve pahalı olmayan kaotik devre düzenekleriyle gerçekleştirebilmeleri sebebiyle, literatürdeki standart geniş spektrumlu haberleşme sistemlerine alternatif olmuşlardır. Güvenli haberleşmede Lorenz, Chua, Rossler, Duffing gibi klasik kaotik sistemler yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu tezin amaçlarını; Klasik kaotik sistemlere alternatif olarak kullanılabilir kaotik sistemlerin tanıtılması, elektronik devre modellemelerinin simulasyonu, Pecora-Carroll yöntemiyle senkronizasyon devre modellemelerinin simulasyonu, kaotik gizleme yöntemiyle güvenli haberleşme devre modellemelerinin simulasyonu, ve bu sistemlerin güvenli haberleşmede kullanılabilirliğinin gösterilmesi olarak sayabiliriz.

Bu amaçlar için, önce değişik bilim dallarında mevcut olan farklı kaotik sistemler araştırılmıştır. Topolojik olarak basit fakat dinamik yapıları zengin olan ve literatürde senkronizasyon ve güvenli haberleşme uygulamaları görülmeyen Sprott97a ve Malasoma2000 sistemleri seçilmiştir. Bu sistemlerin Matlab programı ile sırasıyla modellemeleri, senkronizasyon ve güvenli haberleşme uygulamaları yapılmıştır.

Son bölümde bu çalışmadan elde edilen sonuçlar tartışılmış ve değerlendirilmiştir.

SYNCHRONIZATIONS AND SECURE COMMUNICATION APPLICATIONS OF SECOND AND THIRD DEGREE SYSTEMS WITH CHAOTIC FLOW

SUMMARY

Key Words: Chaos, Chaotic Systems, Chaotic Circuits, Synchronization, Chaotic Masking, Secure Communication

Chaos and chaotic systems have many fields of applications. One of the popular practical application is secure communication. Chaotic signals depend very sensitively on initial conditions, have unpredictable features and noise like wideband spread spectrum. So, it can be used in various communication applications because of their features of masking and immunizing information against noise. Chaos-based secure communication systems have been alternative of the standard spread-spectrum systems, since they are able to spread the spectrum of the information signals and simultaneously encrypt the information signals with chaotic circuitry which is simple and inexpensive. In secure communication field, like Lorenz, Chua, Rossler, Duffing etc., classical systems are widely used.

This thesis` aims are; introducing new chaotic systems which could be used alternatively to classical chaotic systems; simulating their electronic circuit models, simulating their synchronization circuit models using Pecora-Carroll method, simulating their chaotic masking communication circuit models, and showing that these chaotic systems could be used in secure communication area.

Towards these aims, firstly chaotic systems from different science disciplines were investigated. From these investigated systems, Sprott97a and Malasoma2000 systems were chosen. These chaotic systems are topologically simple but their dynamical behaviours are very rich and their synchronization and secure communication applications were not seen in literature. Using Matlab-Simulink program, their modelings, synchronization and secure communication applications were realized respectively.

Results obtained in this study have been discussed and evaluated in the last chapter.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Kaos, dinamik sistemlerde bilinen en karmaşık hal davranışıdır ve karışık doğrusal olmayan olayları açıklamaya yarayan bir bilim dalıdır. Diğer bir ifadeyle kaos, düzensizliğin düzenidir. Gerçek hayatta fiziksel sistemlerin çoğu, sistem değişikliklerinin belli bir bölgedeki değişimi için doğrusal davranış gösterir. Ancak bu değişkenlerin doğrusal bölgenin dışındaki değişimi, sistemin doğrusal olmayan davranış göstermesine neden olur.

Kaosun ve kaotik işaretlerin başlıca önemli özellikleri; zaman boyutunda düzensizliği, başlangıç şartlarına hassas bağımlılığı, sınırsız sayıda değişik periyodik salınımlar içermesi, gürültü benzeri geniş güç spektrumuna sahip olması, limit kümesinin parçalı(fraktal) boyutlu olması, genliği ve frekansı tespit edilemeyen, ancak sınırlı bir alanda değişen işaretler içermesidir. Bilimsel “kaos” terimi, rasgele gözüken olayların içinde var olan ve bu olayların temelini oluşturan bir birbirine bağılıktan söz eder.

Kaos, yıldırım fırtınaları, köpüren nehirleri, kasırgaları, sivri dağ zirvelerini, girintili çıkıntılı kıyı boylarını ve nehir deltalarından vücudumuzdaki sinirlerle kan damarlarına kadar her tür karmaşık biçim düzenlerini meydana getiren hareketleri anlamaya yönelik bir bilim dalıdır. Yani Kaos bilimi, gizli biçim düzenleri, ince farklar, nesnelere “duyarlılığı” ve tahmin edilemeyen yeniye nasıl yol açtığına dair “kurallar” üzerine odaklanır.

Kaos, düzenli bir hale erişen ya da kendini durmadan tekrarlayan bir davranış biçimidir. Faz uzayında dinamik bir sisteme ait bütün bilgilerin zaman içinde belirli bir andaki durumu tek bir noktaya indirgenmektedir. Bu nokta, tam o andaki dinamik sistemin kendisidir. Buna karşılık, bu anı takip eden bir sonraki durumda sistem çok

hafifte olsa değişecek ve nokta yerinden oynayacaktır. Tuhaf çekici, modern bilimin en önemli buluşlarından biri olan faz uzayında meydana gelmektedir.

Doğrusal olmayan sistem teorilerindeki ilerleme, yeni deneysel teknikler, pahalı ve işlem gücü yüksek bilgisayarların ucuzlayıp yaygınlaşması, karmaşık ve doğrusal olmayan davranışları daha iyi analiz etmeye ve anlamaya sebep olmuş ve sonuç olarak Kaos Bilimi gelişmiştir. Kaos ve karmaşıklıkla ilgili gözlemlere paralel olarak, bu olayın mekanizmasının anlaşılması, kaotik davranışın nitelendirilmesi, özelliklerinin belirlenmesi, deneysel verilerin ölçülmesi ve analizinin yapılması ile ilgili araştırmalarda çok hızlı gelişmeler kaydedilmiştir.

Kaos olayına ve kaotik sistem dinamiğine yönelik geçen on-onbeş yıl içerisinde çok büyük bir ilgi olmuştur. Kaos ve kaotik sistemlerle ilgili oluşan uygulama alanlarına örnek olarak; kaotik paralel dağılımlı işleme, deterministik doğrusal olmayan tahmin, kimliklendirme ve doğrusal olmayan sistemlerin modellenmesi, doğrusal olmayan filtreleme, biyomedikal ve tıbbi uygulamalar, dinamik bilgi sıkıştırma ve kodlama, kaotik güvenilir haberleşme, hassas desen tanıma, kaotik dinamiklerin müzik ve sanat amaçlı kullanımı, kaotik salınımların yapay olarak oluşturulması, kaotik sistemlerin elektronik, optik ve optoelektronik olarak gerçekleştirilmesi, güç elektroniği, kaotik titreşim ve salınımların belirlenmesi ve kontrol edilmesi, lazerlerin kontrolü, türbülans kontrolü, vinç ve gemi salınımlarının kontrolü, hava durumu tahmini vb.'leri verilebilir.

Kaos ve kaotik davranış, Newton'un 1600'lerde bilime kazandırdığı teoremlere dayanır. Aslında uzay bilimci Kepler'in güneş-dünya-ay yörüngelerinin birbirine göre değişimine yönelik çalışması ve poincare'in 1800'ün sonlarına doğru solar sistemin kararlılığını sorgulayan çalışması bilimsel olarak isim verilmeden kaosun varlığının sezildiğini göstermektedir. Yirminci yüzyılın sonuna doğru bilgisayarların yüksek performansından dolayı, dinamik sistemlerin genel davranışlarının incelenmesi önem kazanmıştır. 1970 yılına kadar kaotik davranışlara rastlanmasına rağmen bu davranış tam olarak tanımlanamamıştır. Bu davranışla ilk karşılaşılan Van der Pol'dür. Van der Pol kurduğu devre üzerindeki kapasite değerini değiştirerek elde ettiği işaretleri telefon ahizesinden dinleyerek ayırt etmeye çalışmıştır.

Kulaklıktan gelen seslere, devre kaotik davranmaya başladığında anlam veremeyen Van der Pol bu işaretleri gürültü olarak değerlendirmiştir[1]. 1986 yılında [23] M. Peter Kennedy, Van der Pol'un çalışmasını tekrar inceleyerek Van der Pol'un gürültü olarak adlandırdığı şeyin aslında kaos olduğunu göstermiştir.

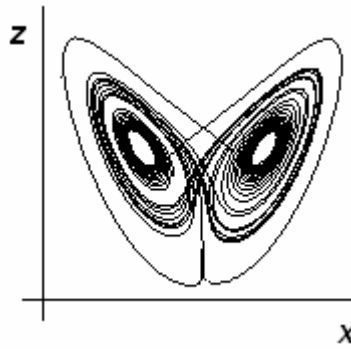
Kaosla karşılaşan ikinci şahıs bir meteorolojici olan Lorenz'dir. Lorenz'in kaosla karşılaşması hava durumunu modellemek için ortaya koyduğu denklemlerin başlangıç koşullarına aşırı duyarlılığını fark etmesi sonucu gerçekleşmiştir. Bu konudaki teorik çalışmalar Van Der Pol, Andronov, Littlewood, Cartwright, Levinson ve Smale vb. tarafından yürütülmüştür. Bu çalışmalar temel alınarak da daha anlamlı ve derin sonuçlar elde edilmiştir.

Kaos konusundaki tarihi gelişim detaylı olarak incelendiğinde; özellikle ilk zamanlarda araştırmacılar kaosun birçok sistemde varlığı veya var olabileceği olgusunu -durumu açıklayamadıkları için- görmezden gelmişlerdir. Hatta laboratuvar ortamlarındaki mühendislik sistemlerinde kaosu gördüklerinde dahi, bunun sistemi dışarıdan etkileyen faktörlerin sonucu olduğunu düşünmüşlerdir. Ancak Lorenz ve May'in çalışmaları sonrasında kaotik dinamik çalışmalarında birçok önemli sıçramalar olmuştur[2]. 1963'te, bir meteorolog olan Edward Lorenz, havanın basitleştirilmiş bir modelini çalışmak üzere basit bir bilgisayar programı yazarken, hava davranışlarını modellemek için 3 adet doğrusal olmayan birinci dereceden adi diferansiyel denklem bulmuştur. Bulduğu bu denklemler oldukça basit olmasına rağmen elde edilen davranışlar şaşırtıcı derecede karmaşıktır. Bu denklemler:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= \sigma(y - x) \\ \frac{dy}{dt} &= rx - y - xz \\ \frac{dz}{dt} &= xy - bz\end{aligned}\tag{1.2}$$

şeklinindedir. Denklemlerdeki; σ , r ve b sistem parametreleri ve x , y , z ise durum değişkenleridir. Önerilen çalışma parametreleri de $\sigma = 10, r = 28$ ve $b=8/3$ ' tür. Bu değerlere göre denklemler çizdirilirse, tahmin edilemeyen fakat rasgele de olmayan

ve birbiri etrafında dolanan ama kesişmeyen yörünge salınımları (pendulum) elde edilir. Bu denklemlerin diğer bir özelliği de denklemlerdeki başlangıç şartlarının çok küçük değerlerinde dahi sistemin cevabının oldukça farklı olmasıdır. Lorenz yaptığı ölçümlerde, ihmal edilebileceğini düşündüğü çok küçük başlangıç şartları değişiminde bile sistem cevabının ne kadar farklı şekil aldığını görmüş, başlangıç şartlarına olan bu hassas bağımlılığı “kelebek etkisi” olarak isimlendirmiştir (Bkz. Şekil 1.1). Lorenz bu denklemleri bulduğunda hava tahminleri ile ilgilenmektedir ve bu denklemler onun hava davranışlarını modellemesini sağlamıştır[3].



Şekil 1.1. E. Lorenz’ in 1963’te bulduğu “kelebek etkisi”

Lorenz, kendisinin yazdığı bilgisayar kodu gerçekçi özellikte olduğundan aynı başlangıç koşullarında programı çalıştırdığı zaman hep aynı sonuçları almayı bekliyordu. Fakat aynı zannettiği başlangıç değerlerini girdiği zaman, her seferinde tamamen farklı sonuçlar elde ediyor olmak Lorenz’i oldukça şaşırtmıştı. Daha dikkatli bir inceleme yaptığında ise aslında her seferinde tamamen aynı değerleri değil de birbirinden çok az farklı değerleri girmiş olduğunu fark etti. Her bir deneme esnasındaki başlangıç değerlerinin farklı olduğunu anlayamamıştı. Çünkü girilen başlangıç koşulları arasındaki fark alışılmış standartlara göre mikroskobik ve önemsiz sayılabilecek kadar inanılmaz derecede küçüktü.

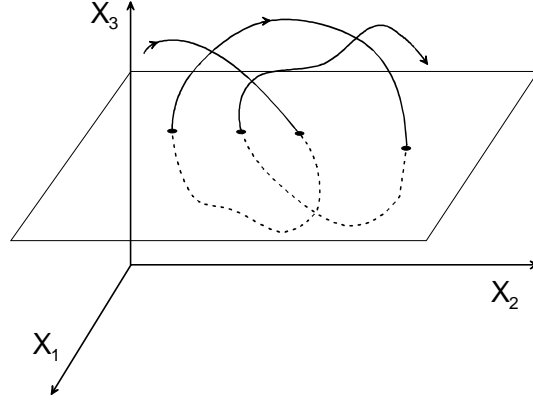
Lorenz’in atmosfer modelinde kullandığı matematik 1970’lerde geniş bir biçimde araştırıldı. Zamanla, kaotik bir sistemin temel özelliği olarak, iki farklı başlangıç koşulları dizgesindeki düşünülebilecek en küçük farklılığın, daima sonraki veya önceki zamanlarda büyük farklılıklara yol açacağı, bilinen bir gerçek haline geldi.

Lorenz'in, aralık 1972' de Washington (A.B.D.)'daki Amerikan Bilimi Geliştirme Derneği'ndeki konuşmasında söylediği 'Brezilya'da kanatlarını çırpan bir kelebek, Teksas (A.B.D.)'da bir tornadoya neden olabilir mi?' sözü sonraki on sene süresince dikkate alınmamıştır. Ancak şu an belki o cümle kaosun keşfinin başlangıcını oluşturmaktadır.

Bulunan denklemlerin, faz uzayı boyunca salınımlarının izlediği yollara Lorenz Çekicisi (Lorenz Attractor) denilmiştir. Tam sayı boyutunda olmayan çekicilere de 'garip çekici' (Strange Attractor) adı verilmiştir. Garip çekici, modern bilimin en güçlü buluşlarından biri olan faz uzayında bulunmaktadır. Faz uzayı; sayıları resimlere dönüştürür, hareket halinde olan mekanik ya da akışkan bir sistemden bütün temel bilgileri, en küçük ayrıntısına kadar çekip çıkartır ve hepsini esnek bir yol haritası çizerek üstünde gösterir.

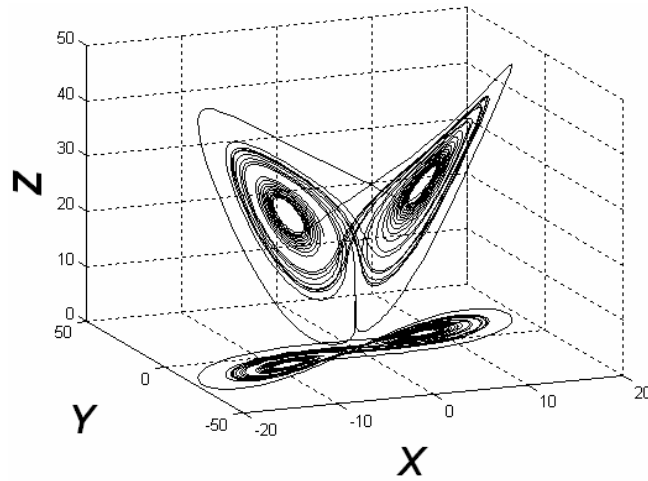
Bilim adamları daha önceleri çekicilerin iki basit çeşidi üzerinde çalışmışlardır. Bunlar sabit noktalar ve sonlu döngülerdir. Ancak bu çekiciler düzenli bir hale erişen ya da kendini durmadan tekrarlayan bir davranış biçimi gösterirler. Faz uzayında, dinamik bir sisteme ilişkin tüm bilgilerin zaman içinde belirli bir andaki durumu tek bir noktaya indirgenmektedir. Bu nokta tam o andaki dinamik sistemin kendisidir. Buna karşılık, bu anı takip eden bir sonraki anda sistem, çok hafif de olsa değişecek ve nokta yerinden oynayacaktır. Sistemin zamanının tarihini, yerinden oynayan ve zamanın geçişi sırasında faz uzayında kendi yörüngesini çizen nokta ile göstermek mümkün olacaktır[4].

Garip çekicilerin resmini çizmek çok zordur. Çünkü izledikleri yollar gittikçe daha karmaşık bir hal almaktadır ve içine aldıkları boyut sayıları da artmaktadır. Ancak J. Henry Pioncare'in bulmuş olduğu teknik karmaşıklığı ortadan kaldırmış ve araştırmaları nurlandırmıştır. Bu teknikte, tıpkı bir pataloğun mikroskop camına yerleştireceği doku parçasını hazırladığı gibi, çekicinin karmakarışık haldeki merkezinden iki boyutlu bir kesit ince bir dilim halinde çıkarılmaktadır[5]. Bu suretle devamlı bir çizgi, noktalardan oluşan bir topluluk haline getirilmektedir (Bkz. Şekil 1.2.).



Şekil 1.2. Poincare Haritası

Poincare kesitinin anlaşılması kaosu kontrol edilebilmesi konusunda bir anahtardır. Poincare'in haritalama işlemlerini faz uzayında yapması iki lobdan oluşan, Şekil 1.3'teki Lorenz Çekicisinin bulunmasını sağlamıştır.



Şekil 1.3. Lorenz Çekicisi (Kelebek Etkisi)

Kaotik yapılı sistemler doğrusal yapıda olmayan sistemlerdir. Genel olarak bir sistemin matematiksel modeli durum denklemleri ile tanımlanır.

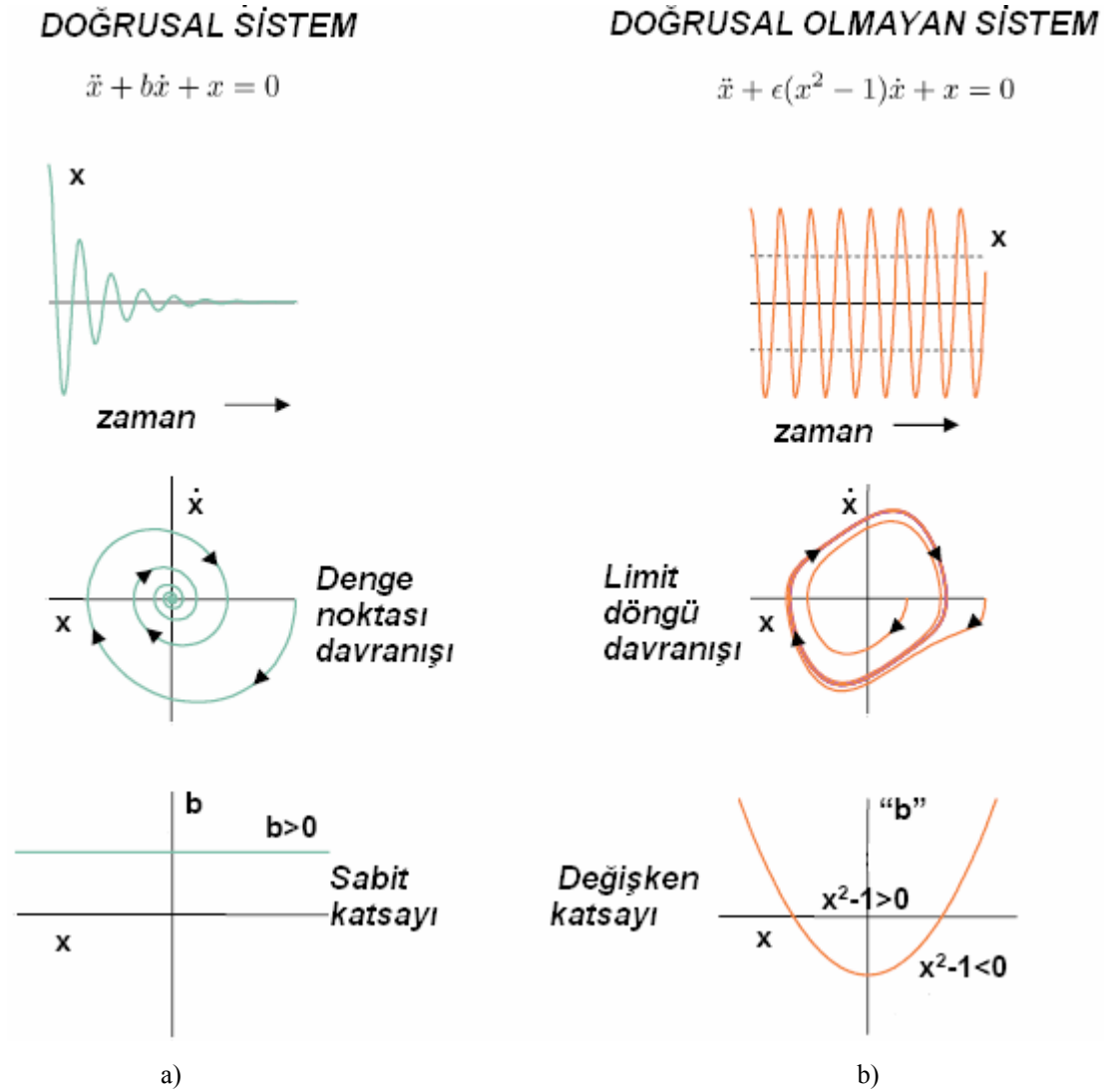
$$\dot{x} = f_i(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n, t), \quad x(0) = x_0, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1.1)$$

Şayet f_i fonksiyonlarının hepsi x_i değişkenlerine göre doğrusal ise sistem doğrusal olur ve durum denklemleri matris formunda basitçe ifade edilebilir. Bu durumda sistem, sürekli hal cevabı olarak bir denge noktası davranışı (kararlı veya kararsız) gösterir (Bkz. Şekil 1.4.a). Eğer herhangi bir f_i fonksiyonu doğrusal olmayan kısım içeriyorsa, bu sistem doğrusal olmayan sistem olarak adlandırılır. Bu durumda sistemin durum denklemleri matris formunda ifade edilemez. Sistemin sürekli hal cevabı, Şekil 1.4.b' de gösterildiği gibi, genelde limit döngü veya denge noktası davranışı gösterir [7].

Doğrusal olmayan sistemlerin dinamik davranışlarının incelenmesi için çeşitli metodlar bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; doğrusallaştırma tekniği, sinusoidal tanımlama fonksiyonu, Lyapunov'un 2. kriteri, Popov metodu' dur. Ancak bu teknikler, sadece lokal davranışları göz önüne aldığı için veya sadece sistemin kararlılığını incelediği için sistemin global davranışlarını elde etmede yetersiz kalmaktadır [8].

Doğrusal olmayan dinamiklerin incelenmesi için geliştirilen bu metodlarla tanımlanamayan doğrusal olmayan davranışlar eğer giriş verilmeden elde ediliyorsa 'kaotik davranış' olarak adlandırılır. Kaotik davranışın limit döngüden farklı olan özellikleri genel hatlarıyla şunlardır;

- Rasgele değil deterministik tipte olması,
- Başlangıç şartlarına duyarlılık göstermesi,
- Sınırsız sayıda değişik periyodik salınımlar içermesi,
- Genliği ve frekansı tespit edilemeyen ancak sınırlı bir alan içerisinde değişen karmaşık davranışlar olması,
- Gürültü ve benzeri güç spektrumuna sahip olmasıdır.

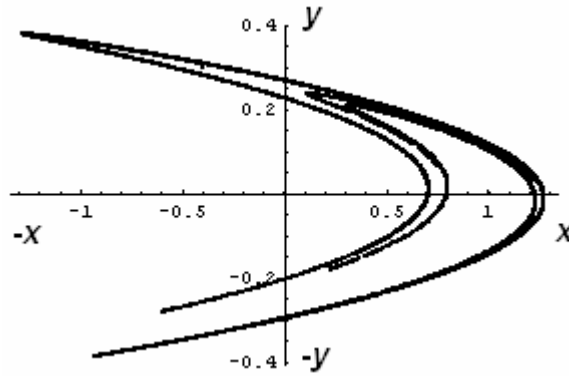


Şekil 1.4 (a). Doğrusal sistem ve denge noktası davranışı (b). Doğrusal olmayan sistem ve limit döngü davranışı[7].

Fransız astronom Michel Henon, 1976'da Lorenz sisteminden faydalanarak yeni bir çekici bulmuştur. Henon çekici'si ayrık zamanda iki boyutlu bir dinamik sistemdir. Aşağıdaki denklemlerle tanımlanır:

$$\begin{aligned} x_n &= 1 - (1.4(x_{n-1})^2) + y_{n-1} \\ y_n &= 0.3(x_{n-1}) \end{aligned} \quad (1.3)$$

Bu denklemler analiz edilip çizildiğinde, Şekil 1.5'deki iki boyutlu Henon Çekici'si elde edilir. İki denklemden oluşması sayesinde elde edilebilen en basit çekicilerden biridir. Şekil olarak bumeranga benzer.

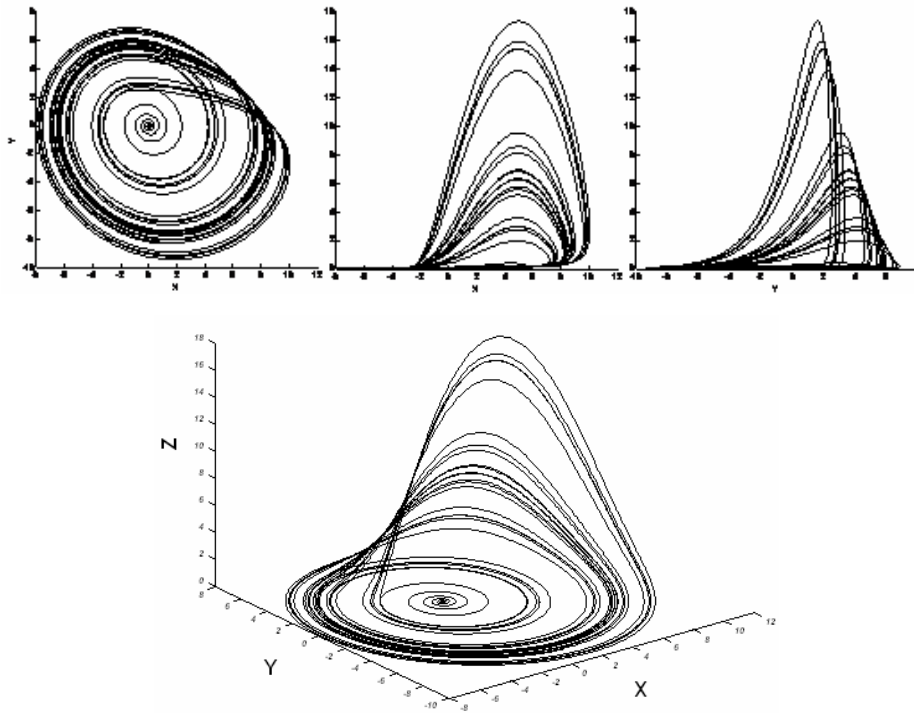


Şekil 1.5. Henon Çekicisi

Doğrusal olmayan sistemleri açıklayan çok parçalı şekillere fraktal (fractal) denir. Bu parçalar birbirinin aynısıdır ve limitsizce küçülerek yeni ama ana şekle benzeyen şekiller oluştururlar. Fraktalar aslında tabiatta her zaman karşılaşılan geometrilerdir. Dağların, bulutların, kıyıların geometrilerini açıklarlar. Fraktalar üzerinde bir çok bilim adamı çalışmıştır. Bunlardan Koch Snowflake ve Benoit Mandelbrot en meşhurlarıdır. En çok bilinen fraktallardan biri de Alman Dr. Otto Rössl tarafından bulunmuştur. Rössl kaosa karmaşık filozofik düşüncelerden girmiştir. Filozofide de garip çekiciler olduğunu fark etmiştir. Onun fraktalı kıvrımlı kurdeleye benzemektedir. Rössl'in denklemleri aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\begin{aligned} \dot{X} &= -Y - Z \\ \dot{Y} &= X + aY \\ \dot{Z} &= b + Z(X - c) \end{aligned} \tag{1.4}$$

Bu denklemlere göre çözüm ve çizim yapıldığında Şekil 1.6'daki fraktal yapılar elde edilir. Yapılara dikkat edilecek olursa, ana şekle benzeyen ve gittikçe küçülen benzer şekillerin elde edilmiş olduğu görülür.



Şekil 1.6. Rössler Fraktalları

1980' li yıllara kadar kaosu ses ile karıştıran elektrik ve elektronik mühendisleri, 1980'lerde kaosun varlığını kabul etmişlerdir.

1983'te Prof. Dr. L.O. Chua' nın kendi adıyla anılan ve çok basit yapıda olan kaotik bir osilatör devresi yapmıştır. Bu osilatörle beraber elektronik ve kaotik işaretler alanındaki gelişmeler oldukça hızlanmıştır. Bu devrenin en önemli özelliği kaosun deney yoluyla ispatlandığı ilk devre oluşudur. Fakat kaosun sese benzeyen bazı özellik ve davranışları, kontrol edilemediğinden sorun teşkil etmekteydi. Bu sorun 1990'larda kaosun kontrol edilebilirliğinin fizikçiler tarafından ispatlanmasıyla ortadan kalkmış ve bununla beraber kaos üzerinde yapılan çalışmalar yoğunlaşmıştır. 1992' de kaotik sistemlerin başlangıç şartlarına aşırı duyarlılığından yola çıkılarak, güvenli haberleşme sistemlerinin bu sistemlerle yapılabileceğinin farkına varılmıştır. Yaygın spektruma sahip olan kaotik işaretlerin güvenli haberleşmede kullanılabilmesi için ise iki kaotik sistemin senkronize olabilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır[6].

Kaos ve kaotik sistem dinamiği ile ilgili en geniş çalışma alanı ise; bu derece ilginç özelliklere sahip kaotik işaretler ve sistemlerden olumlu yönde yararlanma fikri doğrultusunda yapılan çalışmalarla oluşmuştur. Bu çalışmalar özellikle kaotik işaretlerin ve sistemlerin senkronizasyonu ile bu senkronize kaotik sistemlerin güvenilir ve gizli haberleşme amaçlı tasarım ve uygulamalarda kullanılabilme olasılığını kapsamaktadır. Fakat, daha önceden de ifade edildiği gibi ilk başlarda kaotik sistemlerin bu tür haberleşme uygulamalarında kullanılabilmeleri için senkronizasyonlarının sağlanması, bu konunun önündeki en büyük engel olarak görülüyordu. Pecora ve Carroll'un [24] yapacakları bir çalışmaya kadar, başlangıç şartları ve sistem parametrelerine hassas bağımlı olmalarından dolayı iki ya da daha fazla kaotik sistemin senkronize olamayacağı düşünülüyordu. Pecora ve Carroll bu düşüncüyü ortadan kaldıran çalışmalarında [25], ele aldıkları orijinal bir kaotik sistemi keyfi olarak iki ayrı kısma ayırıp bunları sürücü ve cevaplayıcı alt-sistemler olarak adlandırmışlardır. Alıcı modülde cevaplayıcı alt-sistemin aynısı oluşturularak bu alt-sistemin orijinal sistemin sürücü kısmıyla sürülmesi durumunda, kaotik senkronizasyonun sağlanabileceğini yani, alıcı modülde üretilen kaotik işaretin orijinal sistemden gelen kaotik işarete yakınsayacağını gerek teorik gerekse deneysel olarak göstermişlerdir.

Kaotik sistemlerin senkronizasyonu ile ilgili çalışmalar, kaotik devre ve dinamikler kullanılarak güvenilir ve gizli haberleşme amaçlı elektronik sistem tasarımı ve gerçekleştirilmesi ile ilgili çalışmalar için bir dönüm noktası olmuştur. Cuomo ve Oppenheim'in [45-46] bir bilgi işaretine kaotik işaret ekleyerek, senkronizasyon kavramının bildiri işaretinin maskelenmesinde nasıl kullanılabileceğini göstermesi, kaotik haberleşme sistem tasarımında ilk uygulamalar olması açısından önemlidir. Cuomo ve Oppenheim'in Lorenz devresini kullanmalarına karşın, aynı kavramsal yaklaşımı Kocarev ve arkadaşları [22] kaotik sistem olarak Chua devresini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Bu ilk çalışmalardan sonra son onbeş yılda kaotik sistemlerin senkronizasyonu ve senkronize kaotik sistemlerin güvenilir haberleşme amaçlı kullanımı ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır [26-44].

Kaos konusunun bilime getirdiği yeni açılımlar; çeşitli amaçlarda kullanılmak üzere kaotik işaretler oluşturan osilatörler geliştirilmesine ya da var olan osilatör devreleri üzerinde araştırmalar yapılmasına neden olmuştur. Günümüzde sıklıkla kullanılan bazı osilatörler; Lorenz, Chua, Rossler, Van der Pol, Chen, Sprott, Malasoma, Rucklidge, Moore – Spiegel, Lotka –Volterra’ dır. Bu osilatörler bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

Sonuçta; Lorenz’den günümüze kadar ki bütün bu araştırmalar ile elektronik yeni bir boyut kazanmıştır. Bununla beraber birçok bilim de kaosun getirdiklerini kullanmıştır. Öyle ki kaos yöntemleri ile galaksinin oluşumundan hücre yapılarının tanımlanmasına, bilginin iletiminden hava ve deprem olaylarına kadar birçok alanda yararlanılabilir popüler bir bilim dalı haline gelmiştir.

Bu tezde amaç olarak, güvenli haberleşmede kullanılabilecek yeni kaotik sistemlerin bulunup tanıtılması, senkronizasyon ve güvenli haberleşme simülasyonları yapılarak, bu yeni sistemlerin güvenli haberleşmede kullanılabileceğinin gösterilmesi amaçlanmıştır. Kısaca tezin amacı, yeni kaotik sistemlerin güvenli haberleşmede kullanılabileceğinin gösterilerek bilimin istifadesine sunulması olarak özetlenebilir.

Bu amaçlar doğrultusunda, tezin bu bölümü’nde kaos ile ilgili temel kavramlar ve doğrusal olmayan dinamik sistemler anlatılmıştır.

İkinci Bölüm’de; Chua, Lorenz, Van Der Pol, Rössler, Chen, Lotka-Volterra gibi bilinen sistemler ile Malasoma2000, Sprott97, Rucklidge, Windmi, Burke-Shaw, Linz-Sprott99, Moore-Spiegel, Henon-Heiles gibi az bilinen sistemler üzerinde Matlab-simulink programı kullanılarak kaotik analizler yapılmıştır.

Üçüncü Bölüm’de; Malasoma2000, Sprott97, Lorenz, Rucklidge kaotik sistemlerinin Pecora-Carroll yöntemi ile Matlab-Simulink ortamında senkronizasyon modelleri yapılmış ve uygulamalar ayrıntılı olarak anlatılmış, simülasyon sonuçları verilmiştir.

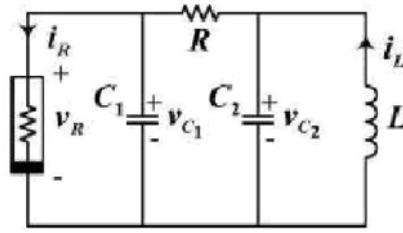
Dördüncü Bölüm’de, literatürde güvenli haberleşme alanında uygulamaları görülmeyen 2. ve 3. dereceli en basit kaotik akışlı sistemler olan Malasoma2000 ve Sprott97 sistemlerinin Matlab-Simulink ortamında gizleme yöntemiyle haberleşme modellemeleri yapılmış ve simülasyon sonuçları verilmiştir. Ayrıca Lorenz sisteminin Matlab-Simulink ortamında gizleme yöntemiyle haberleşme modellemesi yapılmış ve simülasyon sonuçları verilmiştir.

Tezin Beşinci Bölümü ise Sonuçlar ve Önerileri içermektedir.

BÖLÜM 2. BAZI KAOTİK OSİLATÖRLER

2.1. Chua Kaotik Osilatörü

Prof. Dr. Leon O. Chua' nın 1983'te tasarladığı ve kendi adıyla anılan chua kaotik osilatörü, elektronik ve kaotik işaretler alanındaki gelişmeleri oldukça hızlandırmıştır. Bu devre, en karmaşık kaosun varlığının deney yoluyla ispatlandığı, sayısal olarak doğrulandığı ve matematiksel olarak kanıtlandığı en basit devrelerdendir[9]. Bu devrenin yapısı –Şekil 2.1.1'de görüldüğü gibi- oldukça basittir.



Şekil 2.1.1. Chua Kaotik Osilatörü

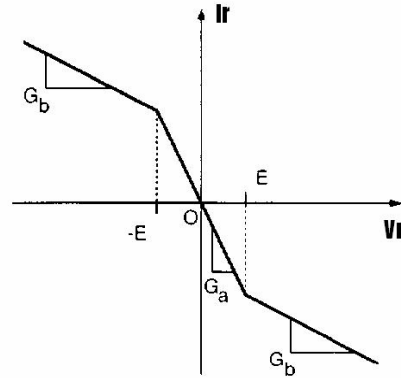
Chua devresi bir indüktans (L, iç direnci R_0), iki kapasitör (C_1, C_2), bir direnç (R) ve Chua diyodundan oluşur. Chua diyodu doğrusal olmayan gerilim kontrollü bir dirençtir. Chua devresi üç adet durum denklemi ile tanımlanır:

$$\begin{aligned} C_1 \frac{dV_1}{dt} &= R^{-1}(V_2 - V_1) - g(V_1) \\ C_2 \frac{dV_2}{dt} &= -R^{-1}(V_2 - V_1) + 1 \\ L \frac{dl}{dt} &= -rl - V_2 \end{aligned} \quad (2.1)$$

Chua diyodu N_R , bu eşitliklerde $g(V_1)$ olarak tanımlanmıştır. Diyoda ait eşitlik;

$$g(V_1) = GbV_1 - \frac{1}{2}(Ga - Gb)[|V_1 + E| - |V_1 - E|] \quad (2.2)$$

şeklindedir ve bu diyoda ait V-I karakteristiği şekil 2.1.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1.2. Chua diyodunun V- I karakteristiği.

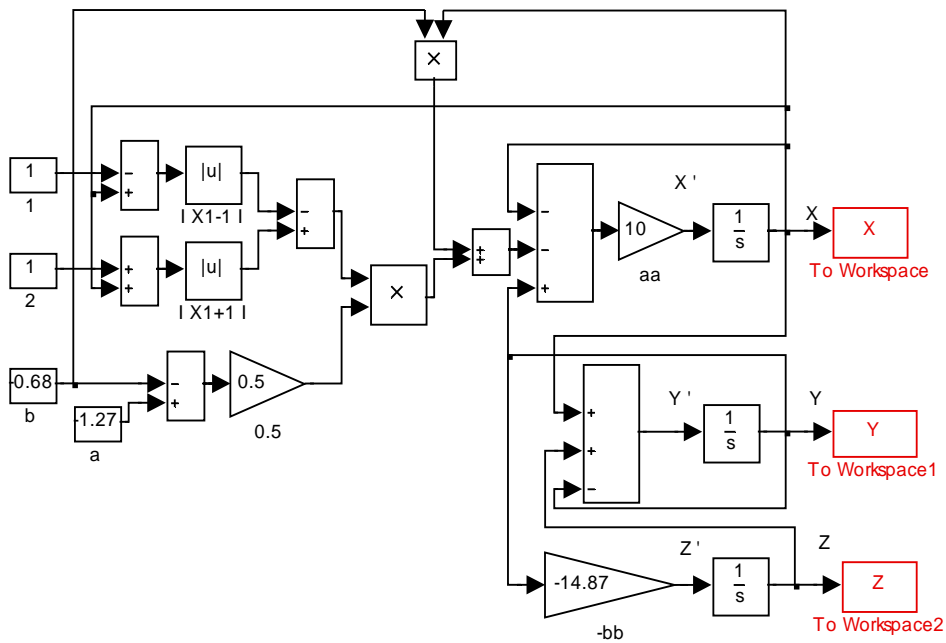
Verilen durum denklemleri çözüldüğünde, X, Y, Z durum değişkenleri ve aa, bb, a, b sistem parametreleri olmak üzere;

$$\begin{aligned}\dot{X} &= aa(Y - X - (bX + 0.5(a - b)(|X + 1| - |X - 1|))) \\ \dot{Y} &= X - Y + Z \\ \dot{Z} &= -bbY\end{aligned}\tag{2.3}$$

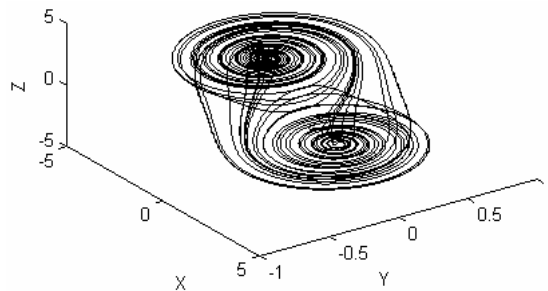
denklemleri elde edilir. Bu ifadeler için uygun denklem parametreleri;

$$\begin{aligned}aa &= 10 \\ bb &= 14.87 \\ a &= -1.27 \\ b &= -0.68\end{aligned}\tag{2.4}$$

dir. Bu değerlerin Chua dinamik denklemlerinde yerine konulmasıyla oluşturulan Matlab simülasyonu Şekil 2.1.3' de gösterilmiştir. Şekil 2.1.4' te ise X-Y-Z değişkenlerine ait kaotik faz portresi görülmektedir.



Şekil 2.1.3. Chua dinamik denklemleri ile oluşturulan Matlab simülasyonu

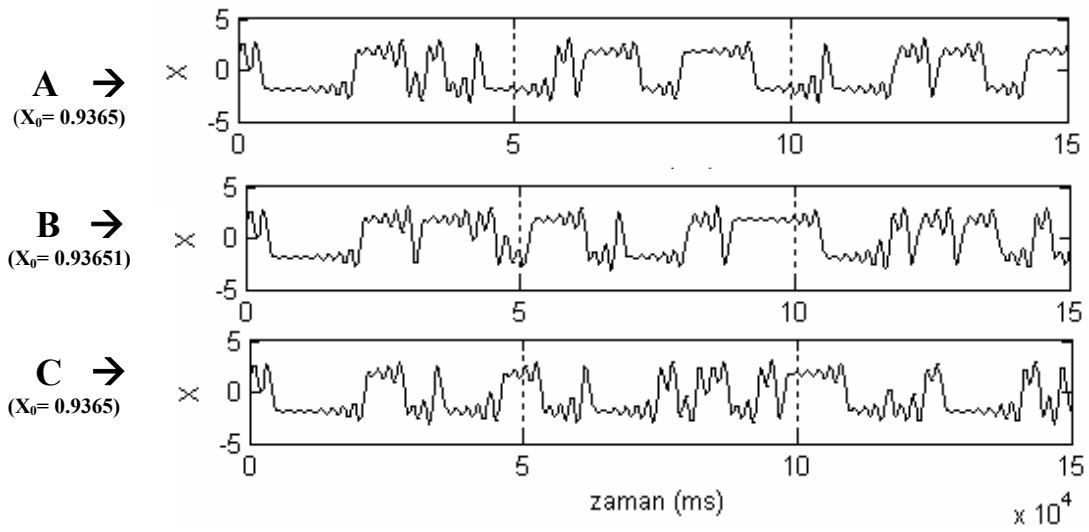


Şekil 2.1.4. X-Y-Z değişkenlerine ait kaotik faz portresi

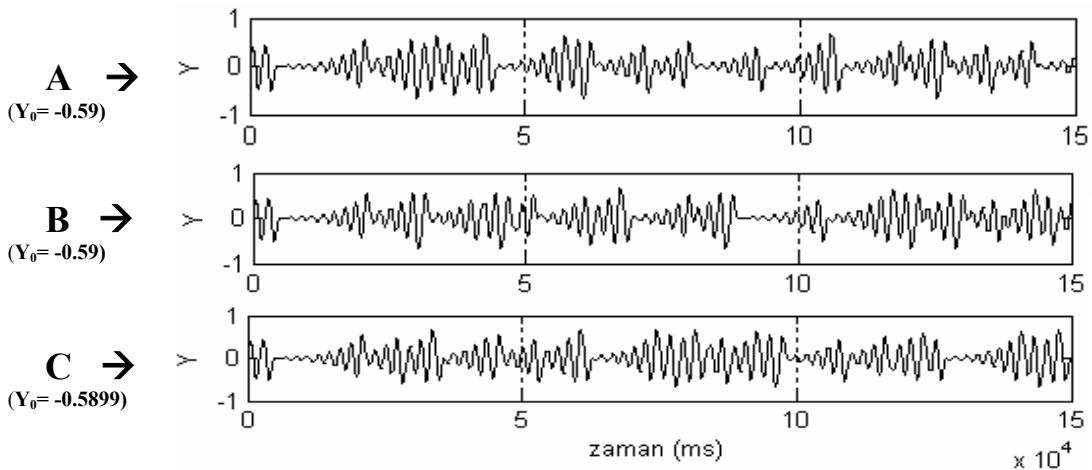
Sistem parametreleri (bb , aa , a ve b) sabit kalmak koşuluyla ve simülasyon başlangıç-bitiş zamanları sırası ile “0” ve “150” sn. olacak şekilde; Tablo 2.1.1.’deki A, B ve C çalışma şartlarına göre yapılan Matlab simülasyonlarının sonuçları Şekil 2.1.5, Şekil 2.1.6, Şekil 2.1.7’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1.1. Chua kaotik osilatörü matlab simülasyonu için çalışma şartları

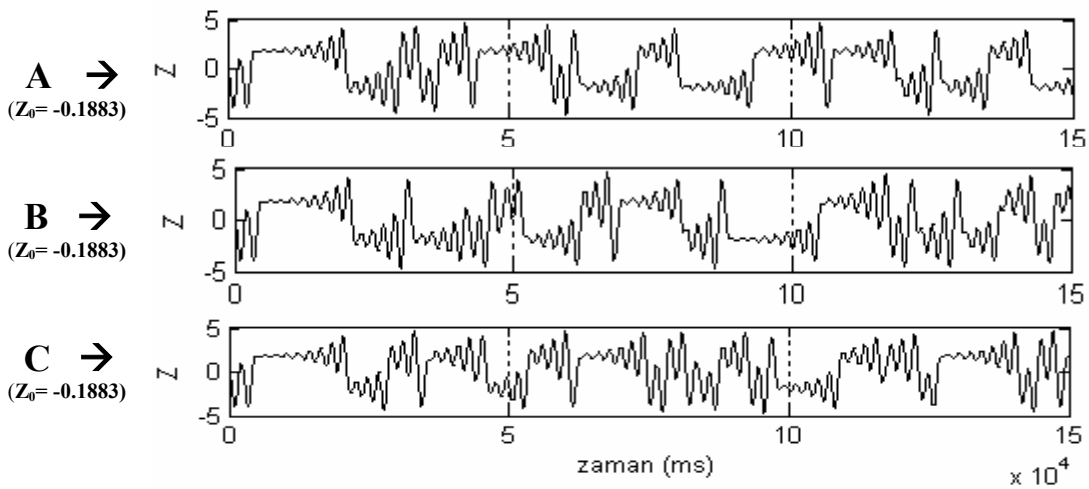
Başlangıç Şartları	A (Normal şartlar)	B (X_0 'ın değeri 0.00001 artarsa)	C (Y_0 'ın değeri 0.00001 azalrsa)
X_0	0.9365	0.93651	0.9365
Y_0	-0.059	-0.059	-0.05899
Z_0	-0.1883	-0.1883	-0.1883



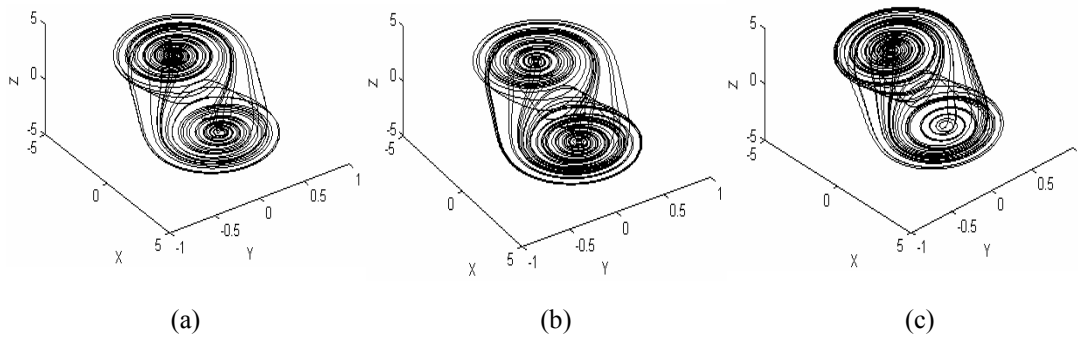
Şekil 2.1.5. A, B ve C çalışma şartlarına göre X' in kaotik zaman serileri.



Şekil 2.1.6. A, B ve C çalışma şartlarına göre Y' in kaotik zaman serileri.



Şekil 2.1.7. A, B ve C çalışma şartlarına göre Z' in kaotik zaman serileri.

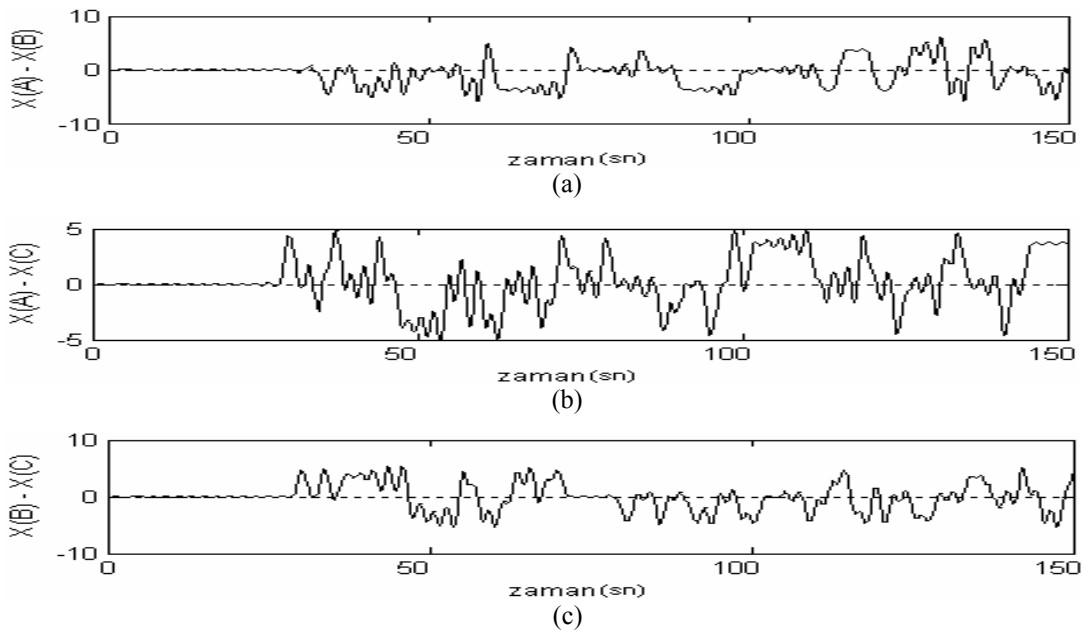


Şekil 2.1.8. A, B ve C çalışma şartlarına göre X-Y-Z Kaotik faz portreleri

Tablo 2.2.1' deki A çalışma şartlarına göre elde edilen kaotik zaman serilerinden görüleceği gibi sistem cevabı tahmin edilemeyen salınımlar şeklindedir. Şekil 2.1.8'deki kaotik faz portresi incelendiğinde ise oluşan yapının bir çifte sarmal (double-scroll) olduğu görülebilir.

B ve C çalışma şartlarına göre elde edilen sistem cevaplarının ilk 30 saniyelik dilimi A çalışma şartıyla benzer görünse de, sayısal değerlerinin farklı olduğu görülür. 30. saniyeden sonraki kısımların ise tamamen farklı, tahmin edilemeyen salınımlar şeklinde olduğu gözlenmektedir (bkz. Şekil 2.1.5, Şekil 2.1.6 ve Şekil 2.1.7). Faz portreleri incelendiğinde ise (bkz. Şekil 2.1.8.) sarmal yapıların benzer fakat aynı olmadığı görülür.

Sonuç olarak şekil 2.1.9' daki verilerden de anlaşılacağı gibi; sistem parametreleri aynı olmak üzere başlangıç şartlarındaki 1/10000 gibi çok küçük bir değer artışı veya azalışının sistem cevabına etkisi oldukça fazladır. Bununla beraber, bu küçük farklılık sonucu oluşan sistem cevabı ise yine kaotik özellik göstermektedir. Elde edilen bu sonuçlar bize, dinamik denklemlerle elde edilen chua devresi gibi kaotik osilatörlerin güvenilir ve gizli haberleşme için gerekli olan kaotik taşıyıcı özelliğini sağladığını gösterir.



Şekil 2.1.9. “X” değişkenin A, B ve C çalışma şartlarına göre olan kaotik zaman serilerinin fark grafikleri.

a) A çalışma şartına göre olan X durum değişkeninin sistem cevabından, B çalışma şartlarına göre olan X durum değişkeninin sistem cevabı çıkarıldığında oluşan fark sistem cevabı.

b) A çalışma şartına göre olan X durum değişkeninin sistem cevabından, C çalışma şartlarına göre olan X durum değişkeninin sistem cevabı çıkarıldığında oluşan fark sistem cevabı.

c) B çalışma şartına göre olan X durum değişkeninin sistem cevabından, C çalışma şartlarına göre olan X durum değişkeninin sistem cevabı çıkarıldığında oluşan fark sistem cevabı.

2.2. Lorenz Kaotik Osilatörü

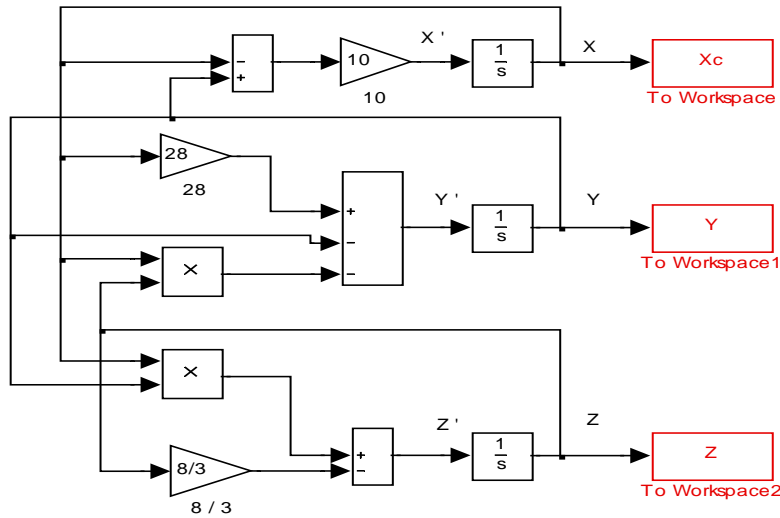
1963 yılında meteorolog Edward Lorenz, havanın basitleştirilmiş bir modelini çalışmak üzere basit bir bilgisayar programı yazarken, hava davranışlarını modellemek için 3 adet doğrusal olmayan birinci dereceden adi diferansiyel denklem bulmuştur. Bulduğu bu denklemler oldukça basit olmasına rağmen elde edilen davranışlar şaşırtıcı derecede karmaşıktır. Bu denklemler:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= \sigma(y - x) \\ \frac{dy}{dt} &= rx - y - xz \\ \frac{dz}{dt} &= xy - bz \end{aligned} \tag{2.5}$$

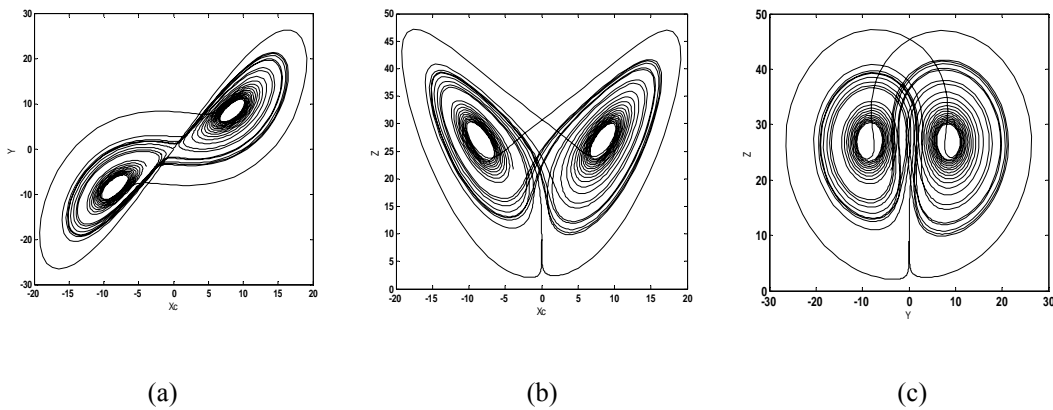
şeklinde. Denklemlerdeki; σ , r ve b sistem parametreleri ve X , Y , Z ise durum değişkenleridir. Önerilen çalışma parametreleri de $\sigma=10, r=28$ ve $b=8/3$ ’ tür.

Denklemdaki başlangıç şartlarının çok küçük değerlerinde dahi sistemin cevabı oldukça değişmektedir. E. Lorenz yaptığı ölçümlerde, ihmal edilebileceğini düşündüğü çok küçük başlangıç şartları değişiminde bile sistem cevabının ne kadar farklı şekil aldığını görmüştür. Başlangıç şartlarına olan bu hassas bağımlılığı “kelebek etkisi” olarak isimlendirmiştir.

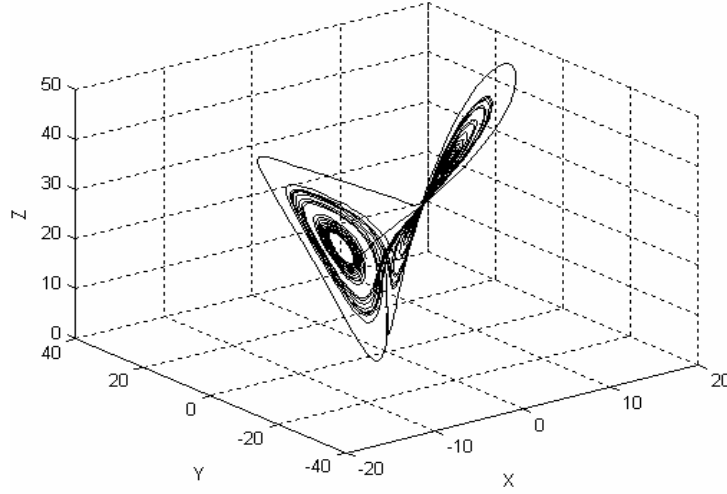
Lorenz’in bulduğu bu denklemler için uygun başlangıç şartları ise $X=-8$, $Y=8$ ve $Z=27$ veya $X=0$, $Y=-0.01$ ve $Z=9$ dur. Uygun parametre değerleri ve başlangıç şartları ile oluşturulan matlab simulasyonu ile simulasyon sonucu oluşan sistem cevapları ve faz portreleri sırasıyla Şekil 2.2.1, Şekil 2.2.2 ve Şekil 2.2.3’te gösterilmiştir.



Şekil 2.2.1. Lorenz sisteminin Matlab-Simulink modellemesi



Şekil 2.2.2. Lorenz sisteminin a) x-y, b) x-z, ve c) y-z kaotik çekicileri



Şekil 2.2.3. Lorenz sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi)

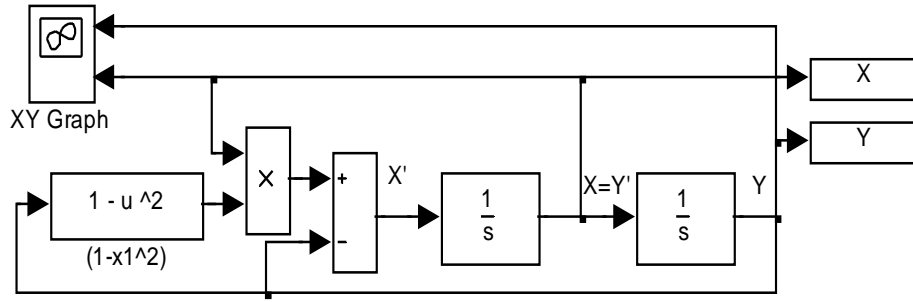
2.3. Van Der Pol Kaotik Osilatörü

Kaotik işaret üreten başka bir osilatör de Van Der Pol kaotik osilatörüdür. Dinamik denklemleri aşağıdaki gibidir.

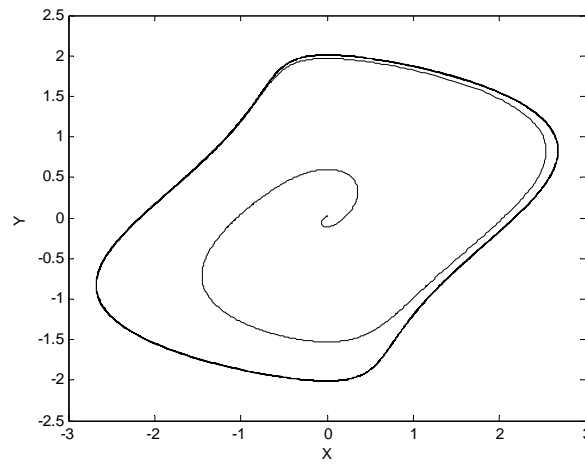
$$\begin{aligned}\dot{X} &= X(1-Y^2)-Y \\ \dot{Y} &= X\end{aligned}\tag{2.6}$$

Bu eşitliklerin çözümü, kapalı bir eğri üzerinde bir noktanın hareketi şeklindedir. Bu hareket sabit genlikli bir osilasyondur. Bu şekilde davranması ile, verilen karara göre davranan osilatör örneği teşkil eder.

Van Der Pol sisteminin, $X_0=0.01$, $Y_0=0.01$ ilk şartları altında Matlab-Simulink modellemesi ve simulasyon sonucu oluşan kaotik faz portresi, sırasıyla şekil 2.3.1, şekil 2.3.2’de gösterilmiştir. Faz portresinde görülen şekil, kaotik bir yapı olan “Limit Döngü” olarak isimlendirilir.



Şekil 2.3.1. Van Der Pol kaotik osilatörünün Matlab-Simulink modellemesi



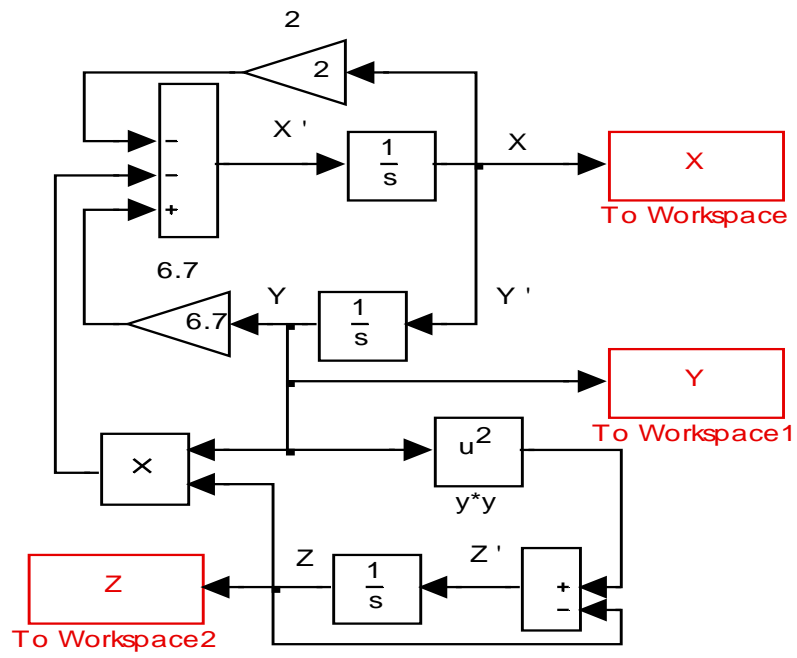
Şekil 2.3.2. Van Der Pol kaotik osilatörünün; x-y kaotik faz portresi (limit döngü)

2.4. Rucklidge Sistemi

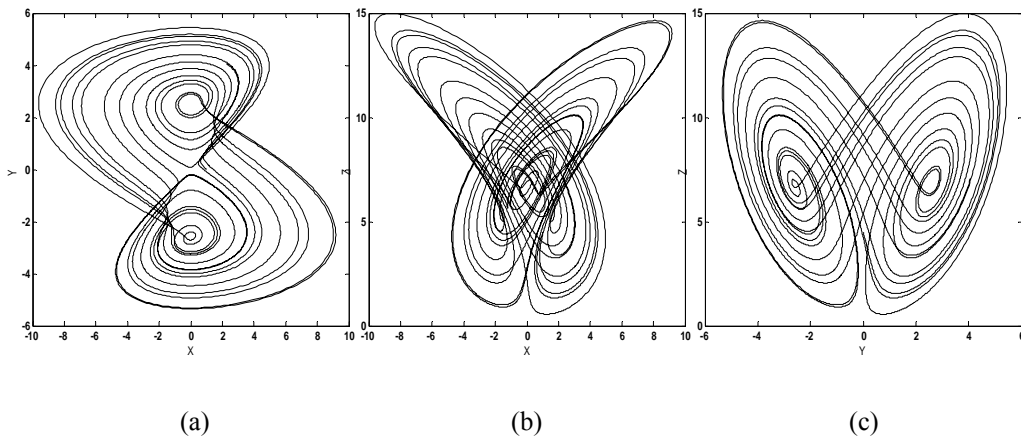
Kaotik Rucklidge sistemi denklemleri şu şekildedir.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= -K \cdot x + L \cdot y - y \cdot z \\ \dot{y} &= x \\ \dot{z} &= -z + y^2\end{aligned}\tag{2.7}$$

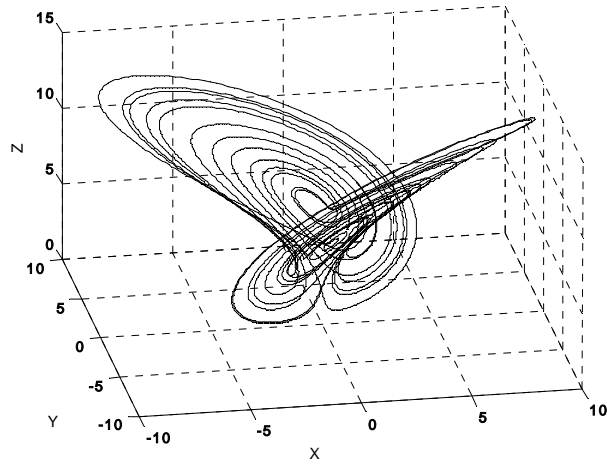
Rucklidge sisteminin, $K = 2$, $L = 6.7$ parametreleri ile $x_0 = 1$, $y_0 = 0$, $z_0 = 4.5$ ilk şartları altında Matlab-Simulink modellemesi ve simulasyon sonucu oluşan kaotik çekicilerle üç boyutlu x-y-z kaotik yörüngesi, sırasıyla şekil 2.4.1, şekil 2.4.2, şekil 2.4.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4.1. Rucklidge sisteminin Matlab-Simulink modellemesi



Şekil 2.4.2. Rucklidge sisteminin a) x-y, b) x-z, ve c) y-z kaotik çekicileri



Şekil 2.4.3. Rucklidge sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi)

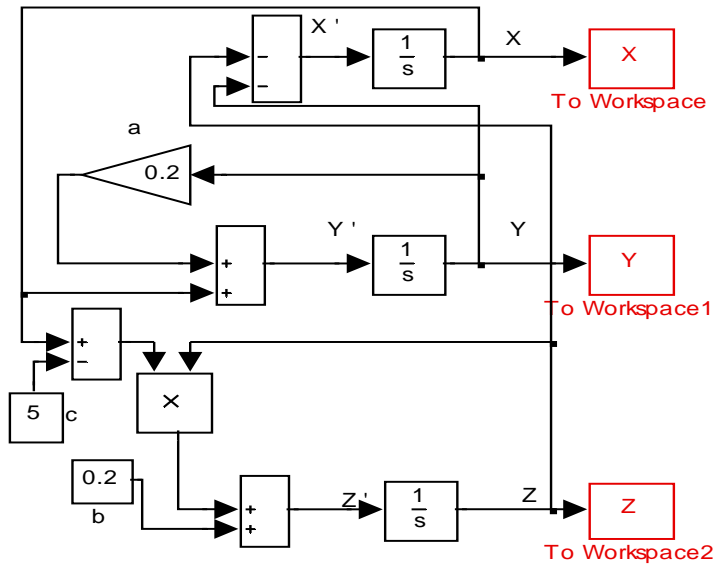
2.5. Rössler Kaotik Osilatörü

Kaotik işaretler üreten diğer bir dinamik denklemde Rössler dinamik denklemleridir. Bu denklemler X , Y , Z durum değişkenleri ve a , b , c sistem parametreleri olmak üzere;

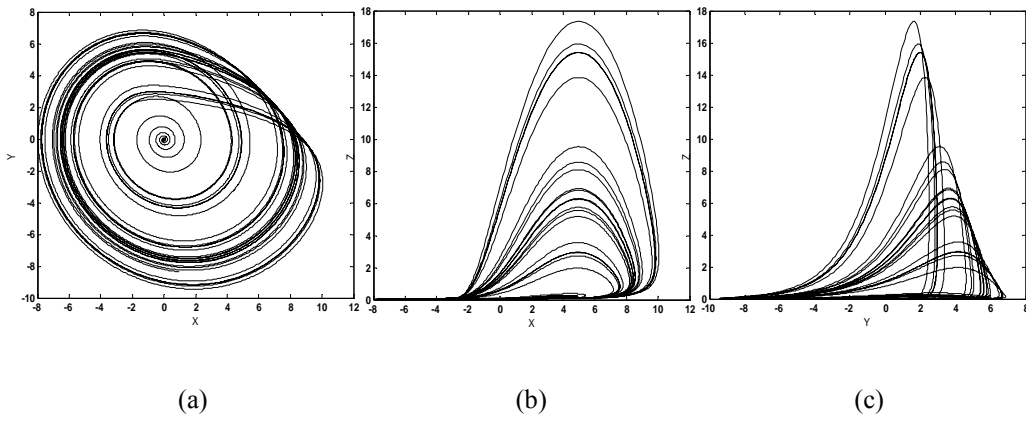
$$\begin{aligned}\dot{X} &= -Y - Z \\ \dot{Y} &= X + aY \\ \dot{Z} &= b + Z(X - c)\end{aligned}\tag{2.8}$$

şeklinde ifade edilir. Rössler dinamik denklemleri kullanılarak üretilen işaretler de başlangıç şartlarındaki çok küçük değişikliklere karşı oldukça duyarlıdır. Bu özellikleri ile bu denklemler kaotik işaretler üretmiş olmaktadır.

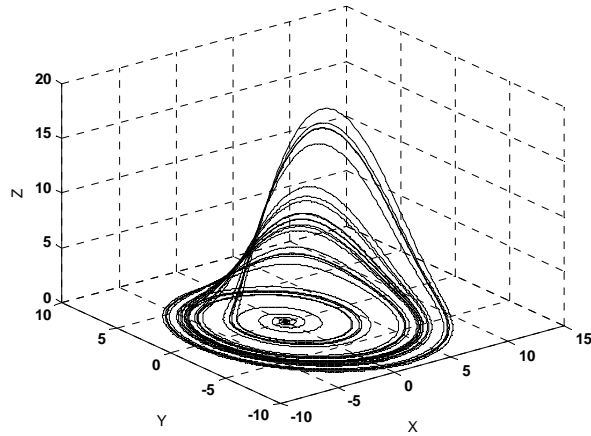
Rössler sisteminin, $a=0.2$, $b=0.2$, $c=5$ parametreleri ile $X_0=0$, $Y_0=0$, $Z_0=0$ ilk şartları altında Matlab-Simulink modellemesi ve simulasyon sonucu oluşan kaotik çekicilerle üç boyutlu X - Y - Z kaotik yörüngesi, sırasıyla şekil 2.5.1, şekil 2.5.2, şekil 2.5.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5.1. Rössler kaotik sisteminin Matlab-Simulink modellemesi



Şekil 2.5.2. Rössler sisteminin a) x-y, b) x-z, ve c) y-z kaotik çekicileri



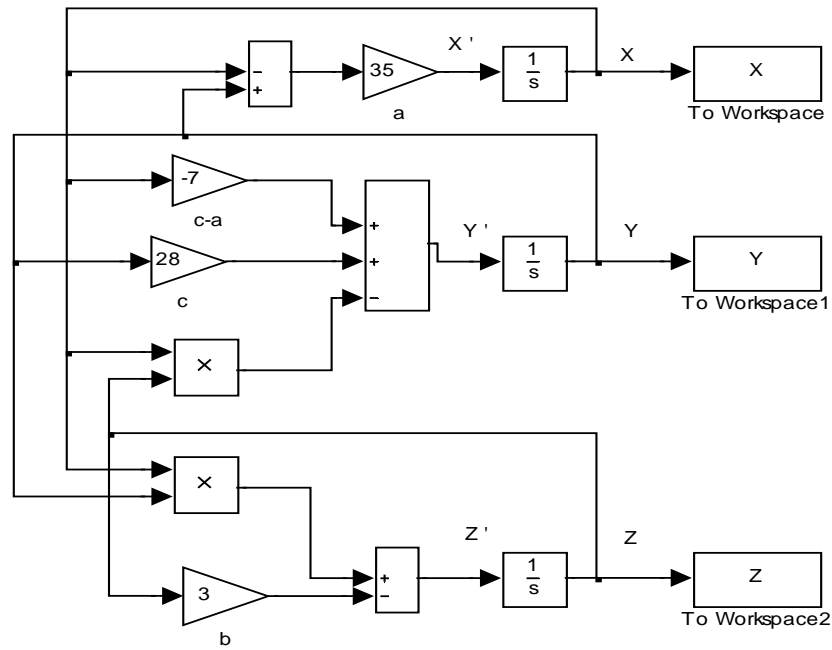
Şekil 2.5.3. Rössler sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi)

2.6. Chen Sistemi

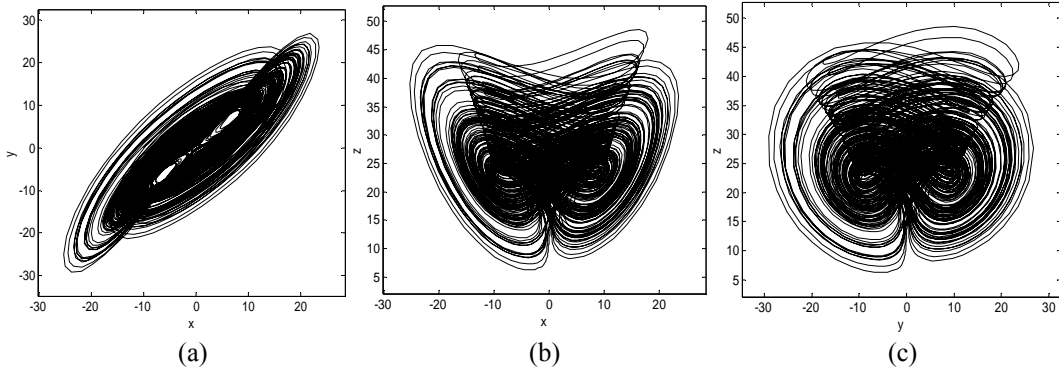
Aşağıdaki doğrusal olmayan denklem sistemi Chen Sistemi olarak bilinir. Guanrong Chen ve Ueta tarafından 1999 yılında bulunmuştur [10]. Kaotik Chen sistemi denklemleri şu şekildedir.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= a \cdot (y - x) \\ \dot{y} &= (c - a) \cdot x - x \cdot z + c \cdot y \\ \dot{z} &= x \cdot y - b \cdot z\end{aligned}\tag{2.9}$$

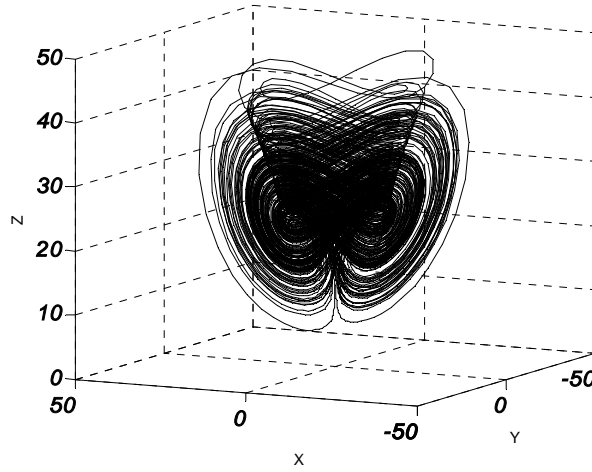
Chen sisteminin, $a = 35$, $b = 3$, $c = 28$ parametreleri ile $x_0 = -10$, $y_0 = 0$, $z_0 = 37$ ilk şartları altında Matlab-Simulink modellemesi ve simulasyon sonucu oluşan kaotik çekicilerle üç boyutlu x - y - z kaotik yörüngesi, sırasıyla şekil 2.6.1, şekil 2.6.2, şekil 2.6.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.6.1. Chen sisteminin Matlab-Simulink modellemesi



Şekil 2.6.2. Chen sisteminin a) x-y, b) x-z, ve c) y-z kaotik çekicileri



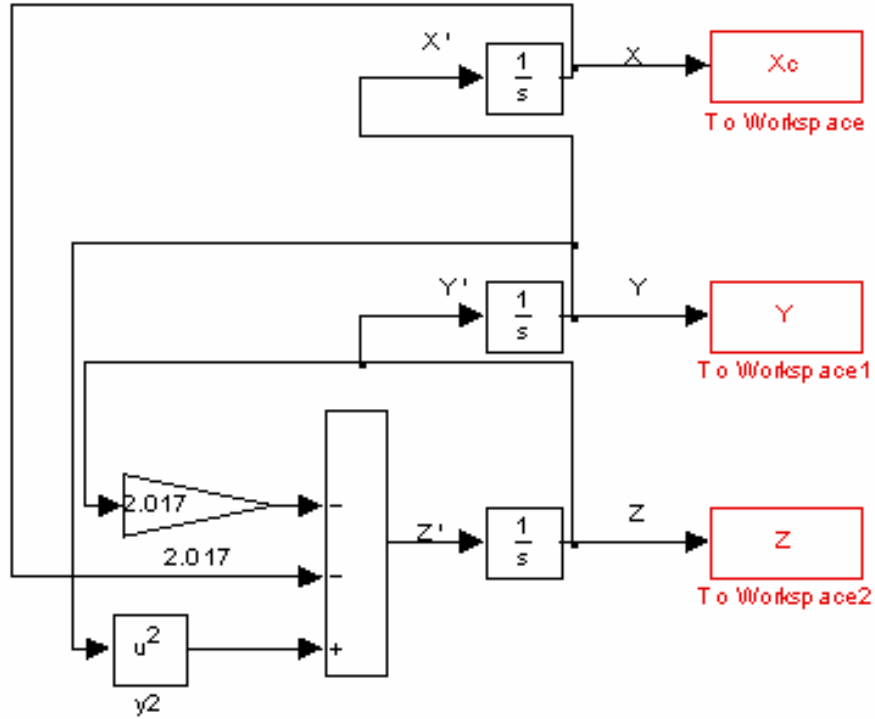
Şekil 2.6.3. Chen sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi)

2.7. Sprott 1997a Sistemi (En basit ikinci-derece kaotik akış)

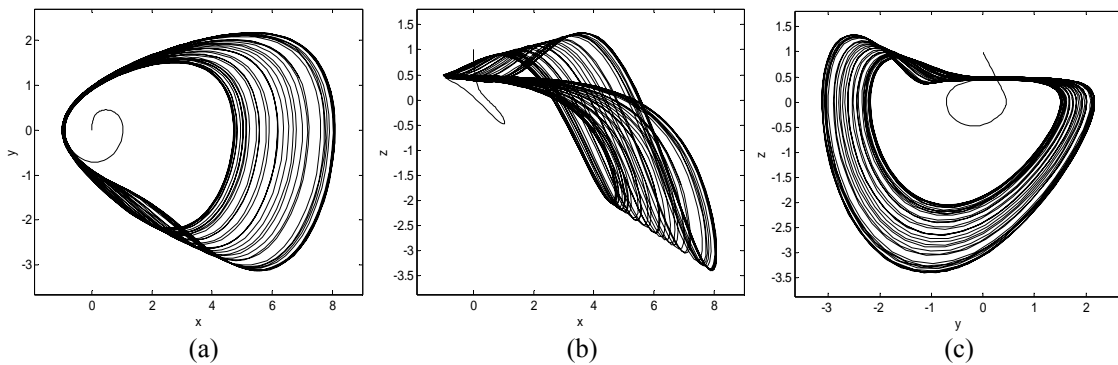
Sprott'un 1997 yılında tanıttığı doğrusal olmayan denklem sistemi aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 \dot{x} &= y \\
 \dot{y} &= z \\
 \dot{z} &= -a \cdot z + y^2 - x
 \end{aligned}
 \tag{2.10}$$

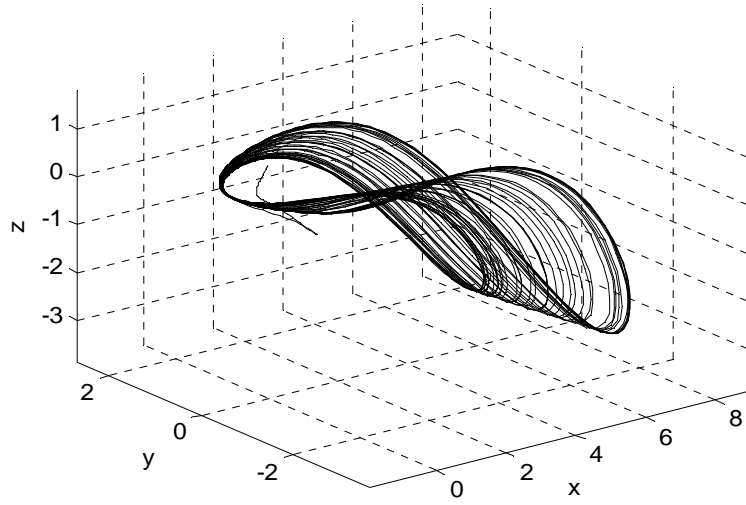
$a = 2.017$ parametresi ile $x_0 = 0$, $y_0 = 0$, $z_0 = 1$ ilk şartları için elde edilen Matlab-Simulink modellemesi ve simulasyon sonucu oluşan kaotik çekicilerle üç boyutlu x - y - z kaotik yörüngesi, sırasıyla şekil 2.7.1, şekil 2.7.2, şekil 2.7.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7.1. Sprott 1997a sisteminin Matlab-Simulink modellemesi



Şekil 2.7.2. Sprott 1997a sisteminin a) x - y , b) x - z , ve c) y - z kaotik çekicileri



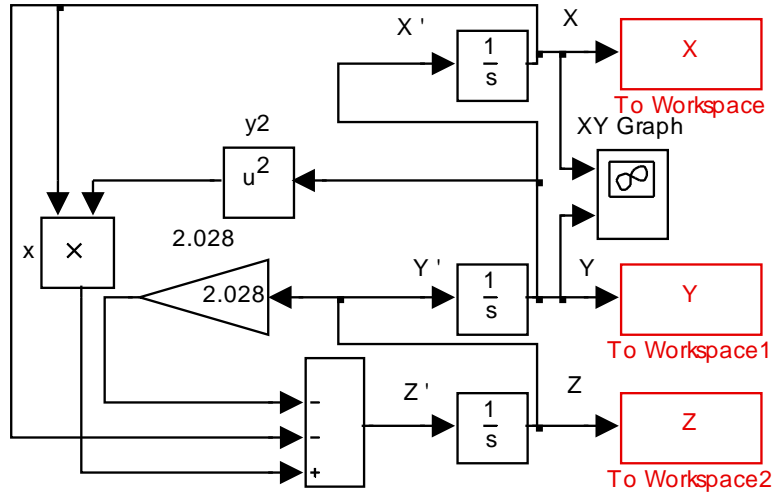
Şekil 2.7.3. Sprott 1997a sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi)

2.8. Malasoma 2000 Sistemi (En basit üçüncü-derece kaotik akış)

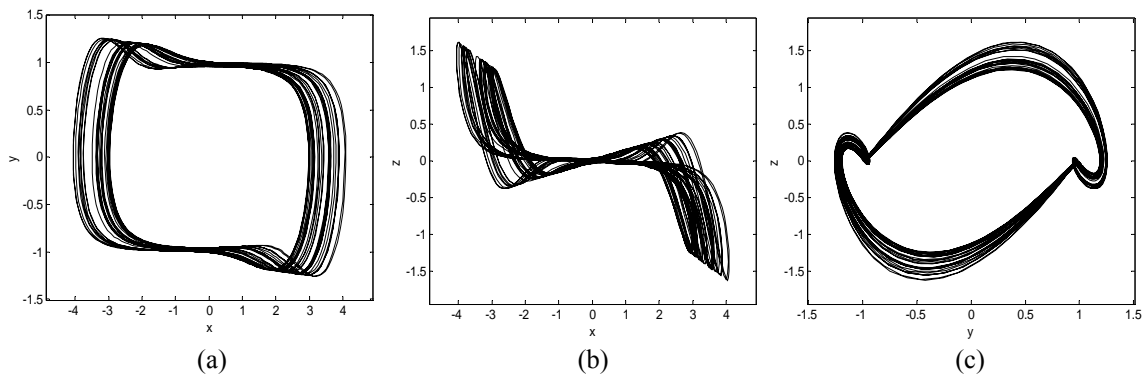
Malasoma'nın 2000 yılında tanıttığı doğrusal olmayan denklem sistemi aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= y \\ \dot{y} &= z \\ \dot{z} &= -a \cdot z + x \cdot y^2 - x\end{aligned}\tag{2.11}$$

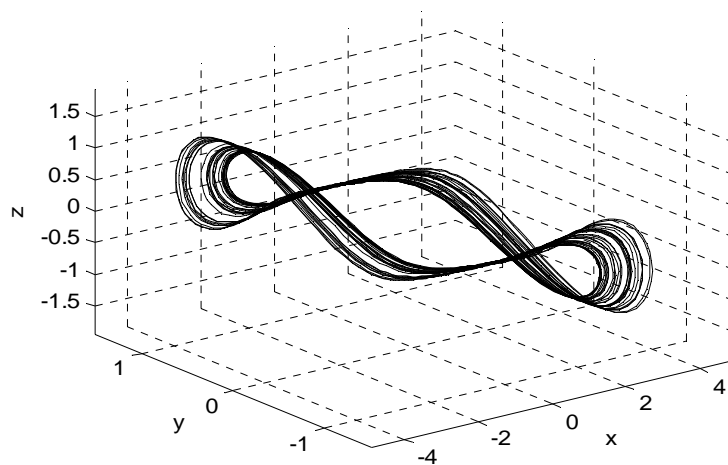
$a = 2.028$ parametresi ile $x_0 = 0$, $y_0 = 0.96$, $z_0 = 0$ ilk şartları için elde edilen Matlab-Simulink modellemesi ve simulasyon sonucu oluşan kaotik çekicilerle üç boyutlu x-y-z kaotik yörüngesi, sırasıyla şekil 2.8.1, şekil 2.8.2, şekil 2.8.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8.1. Malasoma 2000 sisteminin Matlab-Simulink modellemesi



Şekil 2.8.2. Malasoma 2000 sisteminin a) x-y, b) x-z, ve c) y-z kaotik çekicileri



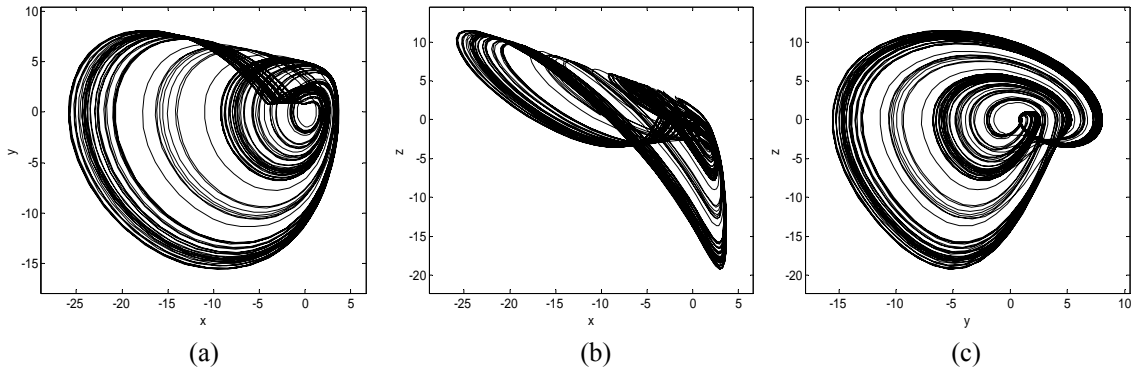
Şekil 2.8.3. Malasoma 2000 sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi)

2.9. WINDMI çekicisi

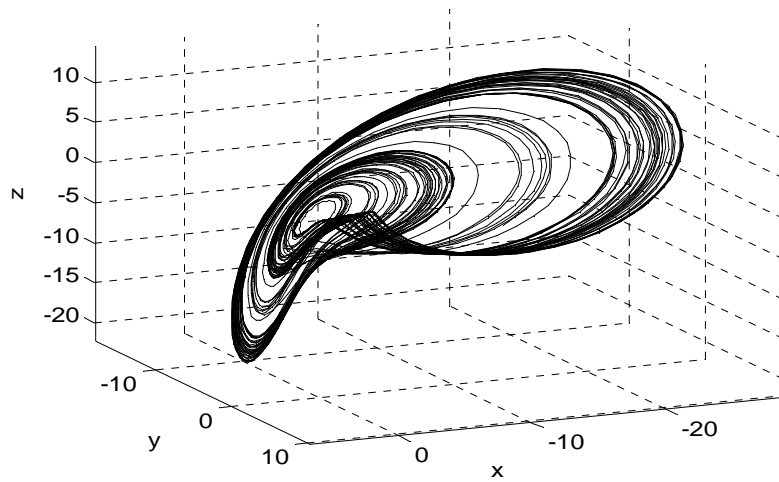
Bu sistem, 2001 yılında Horton ve arkadaşları tarafından bulunmuştur. Doğrusal olmayan denklem sistemi aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= y \\ \dot{y} &= z \\ \dot{z} &= -a \cdot z - y + b - e^x\end{aligned}\tag{2.12}$$

$a = 0.7$, $b = 0.5$ parametreleri ve $x_0 = 0$, $y_0 = 0.8$, $z_0 = 0$ ilk şartları için elde edilen kaotik çekiciler Şekil 2.9.1.'de, üç boyutlu x - y - z kaotik yörüngesi ise şekil 2.9.2.'de verilmiştir.



Şekil 2.9.1. WINDMI çekicisinin a) x-y, b) x-z, ve c) y-z kaotik çekicileri



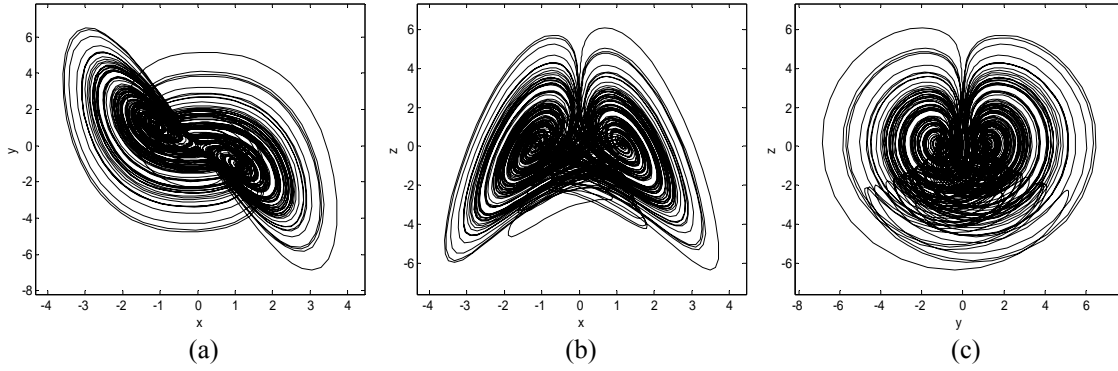
Şekil 2.9.2. WINDMI çekicisinin üç boyutlu x - y - z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi)

2.10. Burke-Shaw Çekicisi

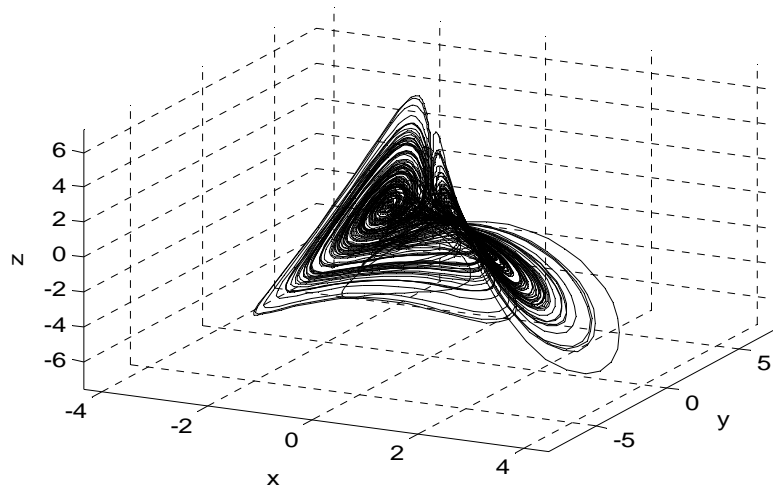
Shaw'ın 1981 yılında bulduğu doğrusal olmayan denklem sistemi aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= -U \cdot x - U \cdot y \\ \dot{y} &= -U \cdot x \cdot z - y \\ \dot{z} &= U \cdot x \cdot y + V\end{aligned}\tag{2.13}$$

$U = 10$, $V = 13$ parametreleri ve $x_0 = 0.6$, $y_0 = 0$, $z_0 = 0$ ilk şartları için elde edilen kaotik çekiciler Şekil 2.10.1'de, üç boyutlu x - y - z kaotik yörüngesi ise şekil 2.10.2.'de verilmiştir.



Şekil 2.10.1. Burke-Shaw sisteminin a) x - y , b) x - z , ve c) y - z kaotik çekicileri



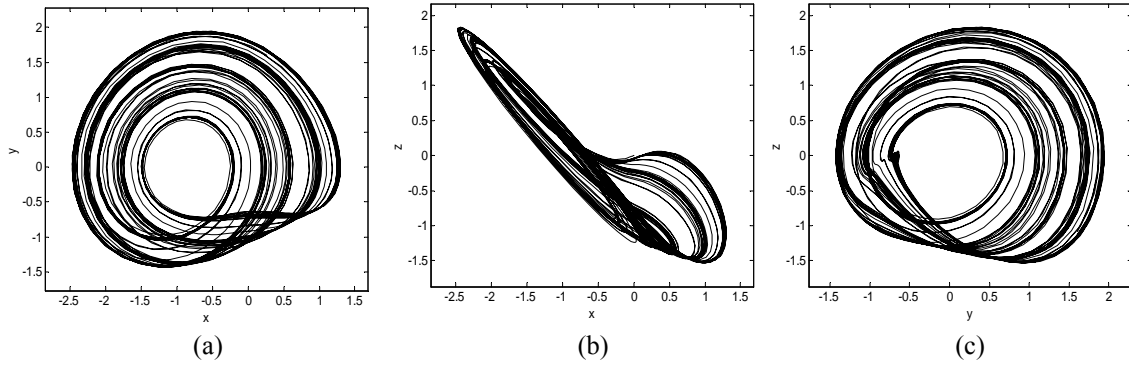
Şekil 2.10.2. Burke-Shaw sisteminin üç boyutlu x - y - z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi)

2.11. Linz-Sprott 1999 (En basit parçalı-doğrusal kaotik akış)

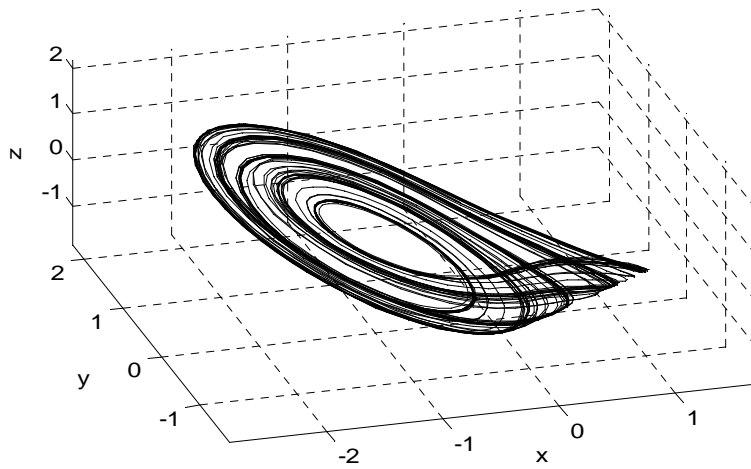
Linz ve Sprott'un 1999 yılında tanıttığı doğrusal olmayan denklem sistemi aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= y \\ \dot{y} &= z \\ \dot{z} &= -a \cdot z - y + |x| - 1\end{aligned}\tag{2.14}$$

$a = 0.6$ parametresi ve $x_0 = 0$, $y_0 = -0.7$, $z_0 = 0$ ilk şartları için elde edilen kaotik çekiciler Şekil 2.11.1.'de, üç boyutlu x - y - z kaotik yörüngesi ise şekil 2.11.2.'de verilmiştir.



Şekil 2.11.1. Linz-Sprott 1999 sisteminin a) x - y , b) x - z , ve c) y - z kaotik çekicileri



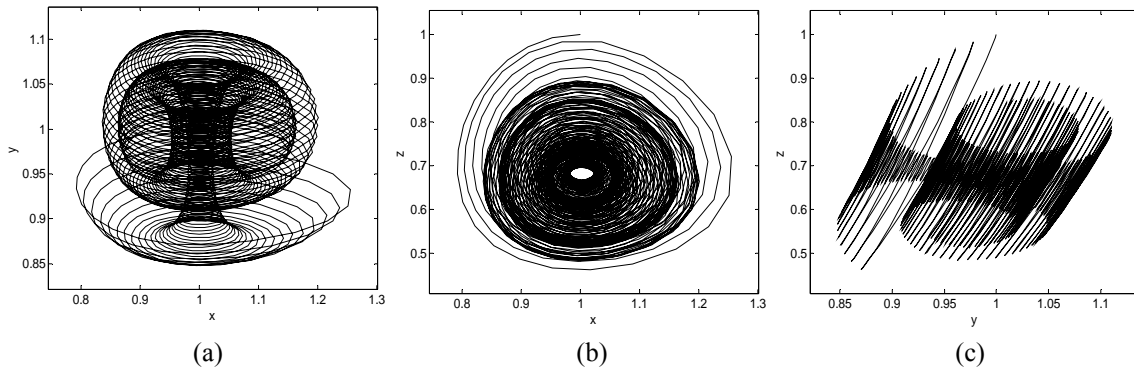
Şekil 2.11.2. Linz-Sprott 1999 sisteminin üç boyutlu x - y - z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi)

2.12. Lotka -Volterra Sistemi (Genelleştirilmiş)

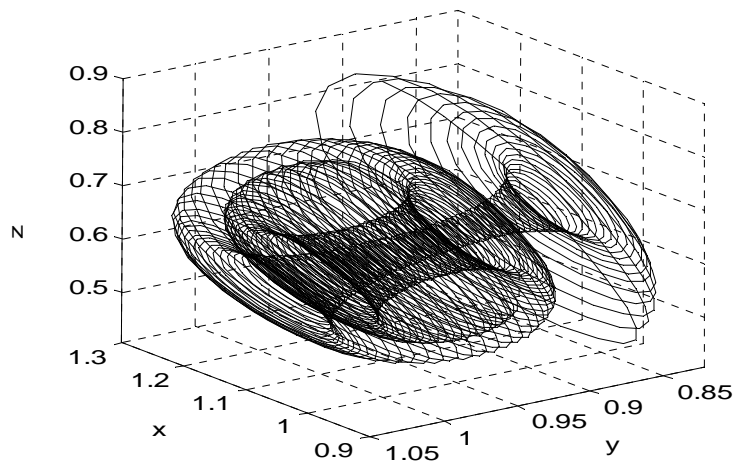
Nikola Samardzija ve D. Greller Larry'nin 1988 yılında tanıttığı[11] doğrusal olmayan denklem sistemi aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= x - x \cdot y + C \cdot x^2 - A \cdot z \cdot x^2 \\ \dot{y} &= -y + x \cdot y \\ \dot{z} &= -B \cdot z + A \cdot z \cdot x^2\end{aligned}\tag{2.15}$$

$b_1 = -5.5$, $b_2 = 3.5$, $b_3 = 1$, $b_4 = -1$ parametreleri ve $x_0 = 0.5$, $y_0 = -1$, $z_0 = 0.5$ ilk şartları için elde edilen kaotik çekiciler Şekil 2.12.1.'de, üç boyutlu x - y - z kaotik yörüngesi ise şekil 2.12.2.'de verilmiştir.



Şekil 2.12.1. Lotka-Volterra sisteminin (Genelleştirilmiş) x - y , x - z , ve y - z kaotik çekicileri



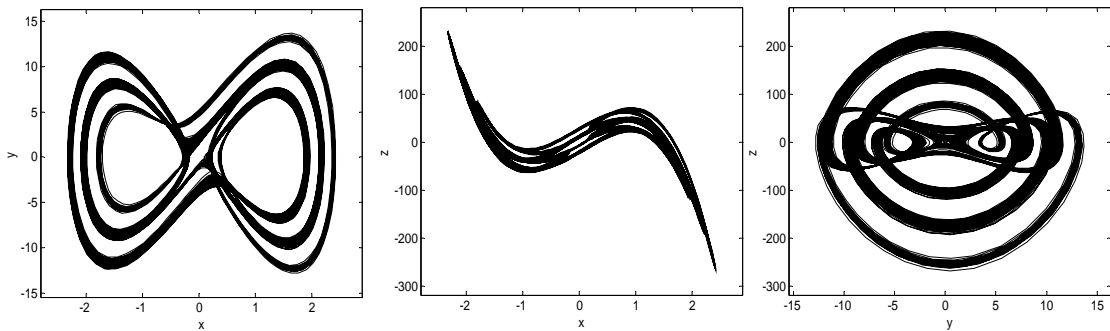
Şekil 2.12.2. Lotka-Volterra sisteminin (Genelleştirilmiş) üç boyutlu x - y - z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi)

2.13. Moore - Spiegel Sistemi

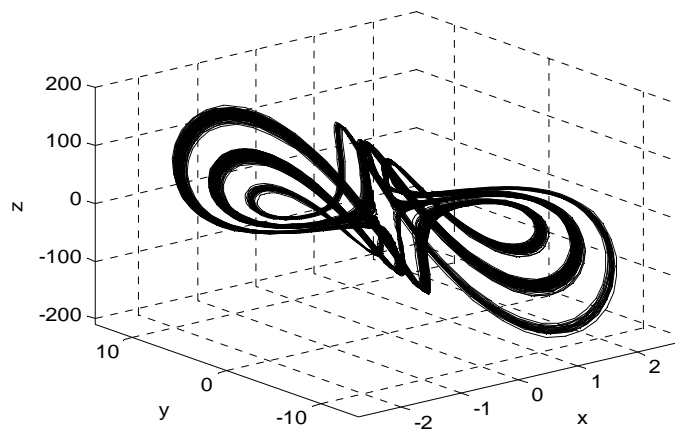
1966 yılında Moore ve Spiegel'in bulduğu[12], doğrusal olmayan denklem sistemi aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= y \\ \dot{y} &= z \\ z &= -z - (t - \tau + \tau \cdot x^2) \cdot y - t \cdot x\end{aligned}\tag{2.16}$$

$t = 26$, $\tau = 100$ parametreleri ve $x_0 = 0.1$, $y_0 = 0$, $z_0 = 0$ ilk şartları için elde edilen kaotik çekiciler Şekil 2.13.1.'de, üç boyutlu x - y - z kaotik yörüngesi ise Şekil 2.13.2.'de verilmiştir.



Şekil 2.13.1. Moore - Spiegel sisteminin x - y , x - z , ve y - z kaotik çekicileri



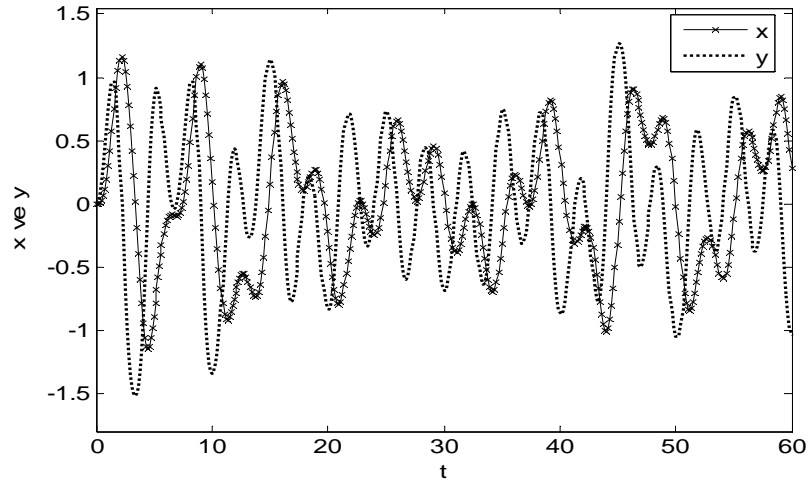
Şekil 2.13.2. Moore - Spiegel sisteminin üç boyutlu x - y - z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi)

2.14. En basit sürülen kaotik akış

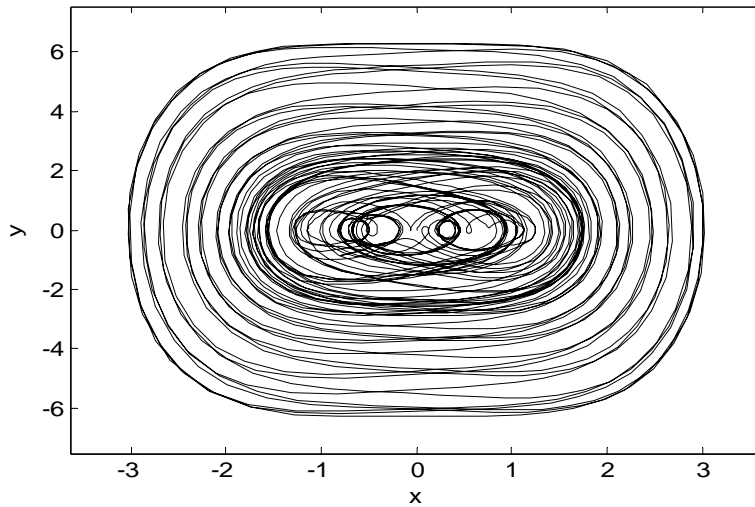
Doğrusal olmayan en basit sürülen-kaotik akış denklem sistemi aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= y \\ \dot{y} &= -x^3 + \sin(\Omega \cdot t)\end{aligned}\quad (2.17)$$

$\Omega = 1.88$ parametresi ve $x_0 = 0$, $y_0 = 0$, $z_0 = 0$ ilk şartları için elde edilen x ve y durum değişkenlerinin kaotik değişimi Şekil 2.14.1.'de, x - y kaotik çekicisi Şekil 2.14.2.'de verilmiştir.



Şekil 2.14.1. En basit sürülen-kaotik akış sisteminin $x - y$ durum değişkenlerinin kaotik değişimi



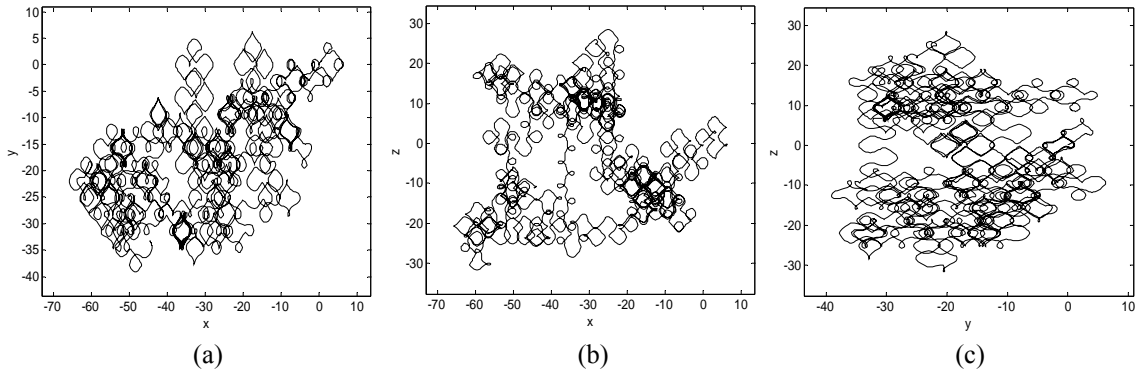
Şekil 2.14.2. En basit sürülen-kaotik akış sisteminin x - y kaotik çekicisi

2.15. Labirent Kaos

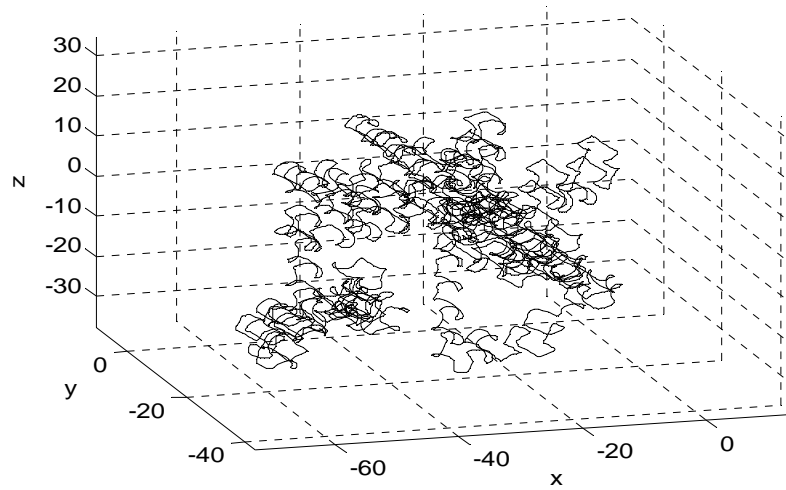
Thomas tarafından 1999 yılında bulunan doğrusal olmayan denklem sistemi aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= \sin y \\ \dot{y} &= \sin z \\ \dot{z} &= \sin x\end{aligned}\tag{2.18}$$

$x_0 = 0.1$, $y_0 = -0.1$, $z_0 = 0.1$ ilk şartları için elde edilen kaotik çekiciler Şekil 2.15.1'de, üç boyutlu x - y - z kaotik yörüngesi ise şekil 2.15.2'de verilmiştir.



Şekil 2.15.1. Labirent Kaos sisteminin a) x - y , b) x - z , ve c) y - z kaotik çekicileri



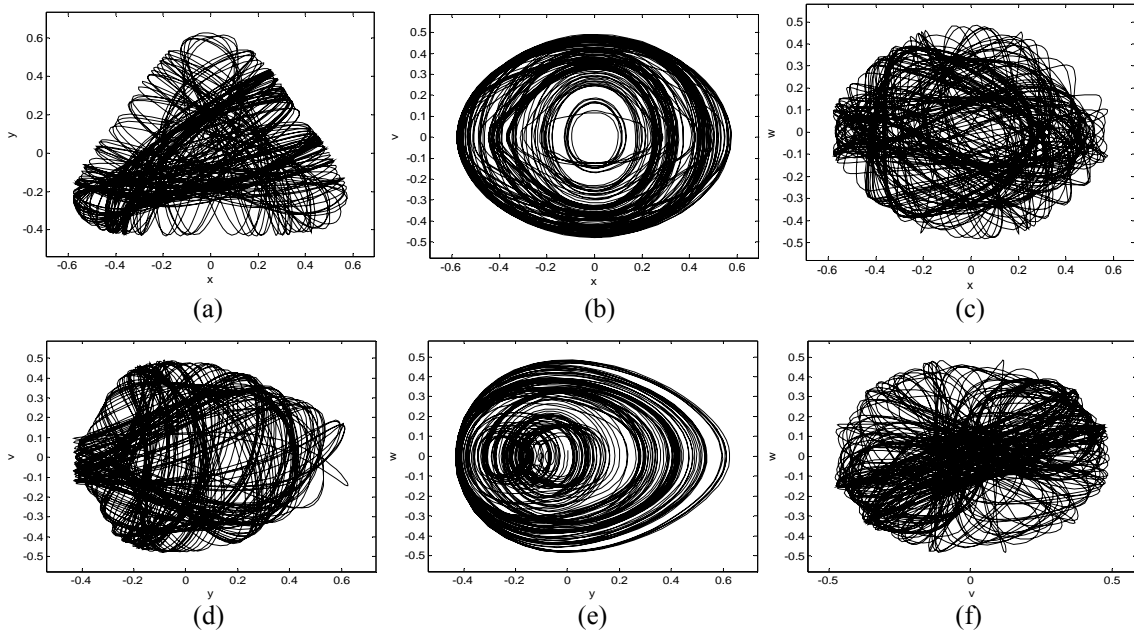
Şekil 2.15.2. Labirent Kaos sisteminin üç boyutlu x - y - z kaotik faz portresi (kaotik yörüngesi)

2.16. Henon-Heiles sistemi

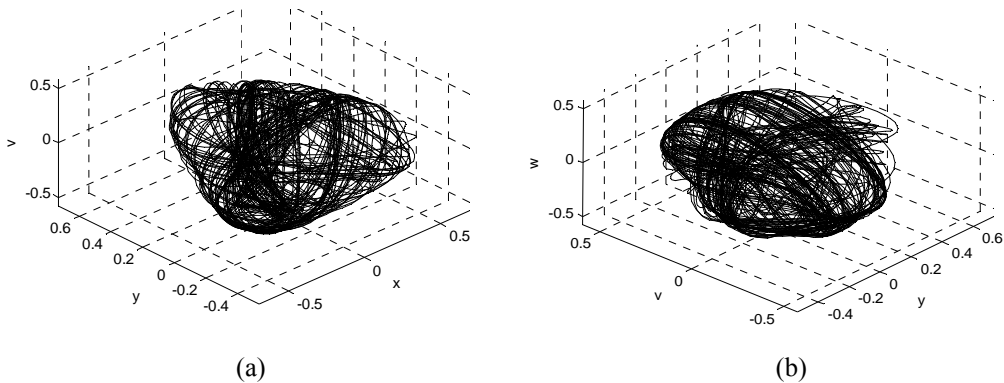
Henon-Heiles tarafından 1964 yılında bulunan doğrusal olmayan denklem sistemi aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= v \\ \dot{y} &= w \\ \dot{v} &= -x - 2 \cdot x \cdot y \\ \dot{w} &= -y - x^2 + y^2\end{aligned}\tag{2.19}$$

$x_0 = 0.499, y_0 = v_0 = 0, w_0 = 0.03160676$ ilk şartları için elde edilen kaotik çekiciler Şekil 2.16.1.'de, üç boyutlu kaotik yörüngeleri ise Şekil 2.16.2.'de verilmiştir.



Şekil 2.16.1. Henon-Heiles sisteminin a) x-y, b) x-v, c) x-w, d) y-v, e) y-w, ve f) v-w kaotik çekicileri



Şekil 2.16.2. Henon-Heiles sisteminin üç boyutlu yörüngeleri a) x-y-v, b) y-v-w

BÖLÜM 3. KAOTİK SENKRONİZASYON

3.1. Kaotik Senkronizasyon ve Pecora-Carroll yöntemi

Kaos teorisi konusundaki önemli çalışma alanlarından biriside kaos senkronizasyondur[14],[15]. Kaotik senkronizasyon, kaotik bir sistemi başka bir kaotik sistemle aynı davranışları göstermeye zorlamaktır. Ancak kaotik sistemler, bir önceki bölümde izah edildiği gibi başlangıç şartlarına duyarlı olan sistemlerdir. Birbirlerine çok yakın başlangıç şartlarında çalıştırılan iki kaotik sistemin sistem cevaplarına bakılacak olursa çok kısa bir süre sonra birbirlerinden ayrıldıkları görülür. Özellikle kaos-tabanlı haberleşme uygulamalarında alıcı ve verici tarafındaki kaotik osilatörlerin birbirleri ile senkron çalışması şarttır. Birbirinden farklı ortamlarda çalıştırılan iki kaotik osilatörün pratik şartlarda senkron çalışabilmesi için hem aynı elemanlarla dizayn edilmesi hem de aynı başlangıç şartları uygulanması gerekir[20],[21].

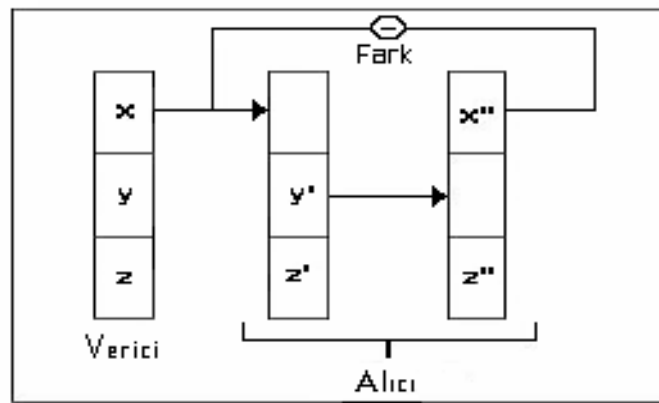
Entegre tip kaotik devreler kullanılarak özdeş yapıdaki kaotik sistemler elde edilebilir[19]. Fakat pratikte, aynı başlangıç şartları uygulamak mümkün değildir. Özel metotlar kullanılmadan iki kaotik sistemi senkron çalıştırmak imkansızdır. Özdeş yapıdaki kaotik sistemleri senkron çalıştırmak için kullanılan iki esas metot vardır. Bu metotlar;

- Pecora-Carroll (P-C) peş peşe bağlama metodu ve
- Tek yönlü bağlama metodu

dur. Burada ayrıntılı olarak ele alınıp örneklerle açıklanacak metot olan peş peşe bağlama metodu, Pecora ve Carroll tarafından geliştirilmiş olup, farklı başlangıç şartlarında çalıştırılan iki kaotik sistemin senkron çalışabileceği göstermiştir[16],[25].

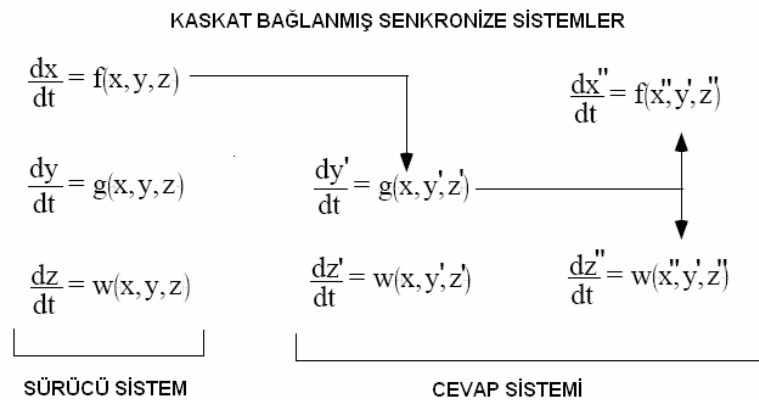
Biri sürülen sistem olarak adlandırılan ve kendisi ile aynı parametrelerle dizayn edilmiş, diğeri de sürülen olarak adlandırılan ikinci bir kaotik sistemi bir kuplaj parametresi üzerinden sürerek kendi davranışlarına benzetmeye zorlar. Sonuçta, bu iki kaotik sistem belirli bir senkronizasyon zamanından sonra aynı davranışları sergilerler.

Pecora-Carroll tekniği ile kaotik sistemden bir durum değişkeni orjinal sistemin ikinci kopyasına giriş olarak gönderilirse, kopya alt-sistem(alıcı), orjinal sistem(verici) ile senkronize olabilmektedir. Bu metotla yapılan kaskat bağlanmış senkronize sistem blok diyagramı Şekil 3.1.1' de, sistem şematığı ise Şekil 3.1.2' de gösterilmiştir.



$$x''(t) \rightarrow x(t)$$

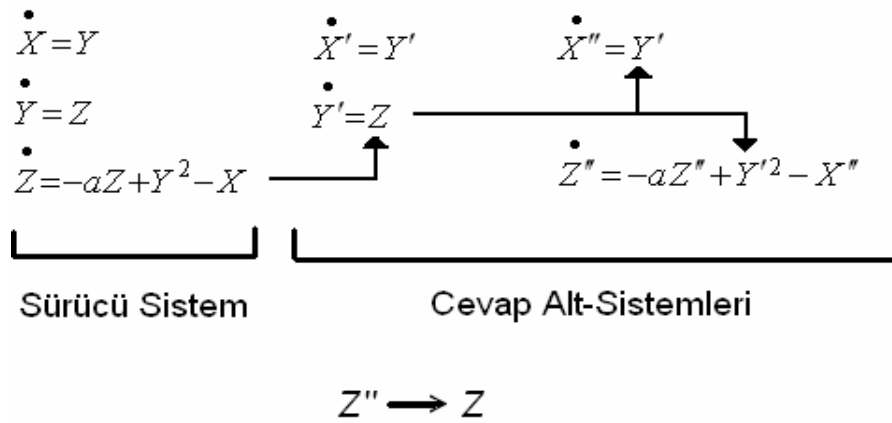
Şekil 3.1.1 Pecora-Carroll metoduyla yapılan senkronizasyonun blok diyagramı[17].



Şekil 3.1.2 Kaskat bağlanmış senkronize sistem şematığı (P-C metodu)[17].

3.2. Sprottt 97a Sistemi (En basit 2.derece kaotik akış)'nin Senkronizasyonu

Sprottt 97a sistemine ait dinamik denklemlere Pecora-Carroll Metodunu uygularsak, senkronizasyon şeması Şekil 3.2.1' deki gibi olur. Yalnız burada sürücü sistemden X değişkeni yerine Z değişkeni birinci cevap alt-sisteme gönderilmiştir.



Şekil 3.2.1 Pecora-Carroll metodunun Sprottt97a sistemine uygulanması

Sprottt97a sistemi verici devresinin denklemleri şu şekilde verilsin;

$$\begin{aligned}\dot{x} &= y \\ \dot{y} &= z \\ \dot{z} &= -a \cdot z + y^2 - x\end{aligned}\tag{3.1}$$

Verilen bu denklemler; (x', y') kararlı olan cevap alt-sistemine,

$$\begin{aligned}\dot{x}' &= y' \\ \dot{y}' &= z\end{aligned}\tag{3.2}$$

şeklinde, ve ikinci bir (x'', z'') kararlı olan cevap alt-sistemine de,

$$\begin{aligned}\dot{x}'' &= y' \\ \dot{z}'' &= -a \cdot z'' + y'^2 - x''\end{aligned}\tag{3.3}$$

Şeklinde ayrıştırılabilir[45],[46].

Ayrıştırma işlemi, kaotik sistemlerin kendinden senkronize olabilme özelliğinin arkasındaki bir sonucudur. Kaos senkronizasyonu iki ayrı kaotik osilatör birbirlerine master-slave konfigürasyonu ile bağlandığında da gösterilebilir. Ana(master) sistem aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= y \\ \dot{y} &= z \\ \dot{z} &= -a \cdot z + y^2 - x\end{aligned}\tag{3.4}$$

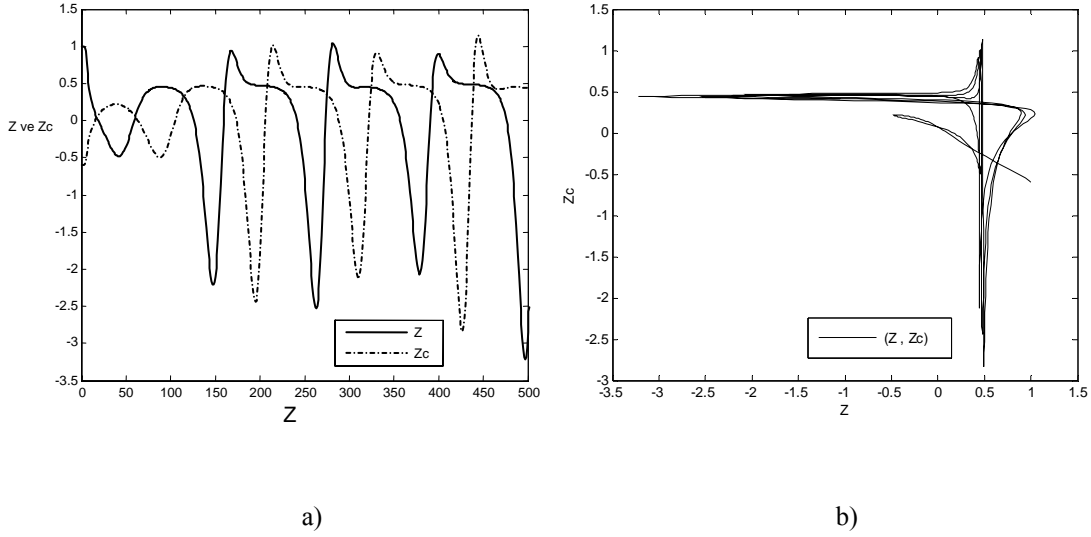
Tabi(slave) sistem, ana sistemin tam bir eşidir, tek fark (x'', z'') sabit olan cevap alt-sisteminin ana sistemde üretilen z sinyali ile sürülmesidir. Dolayısıyla tabi(slave) sistem şu şekilde olacaktır.

$$\begin{aligned}\dot{x}_r &= y_r \\ \dot{y}_r &= z \\ \dot{z}_r &= -a \cdot z + y_r^2 - x_r\end{aligned}\tag{3.5}$$

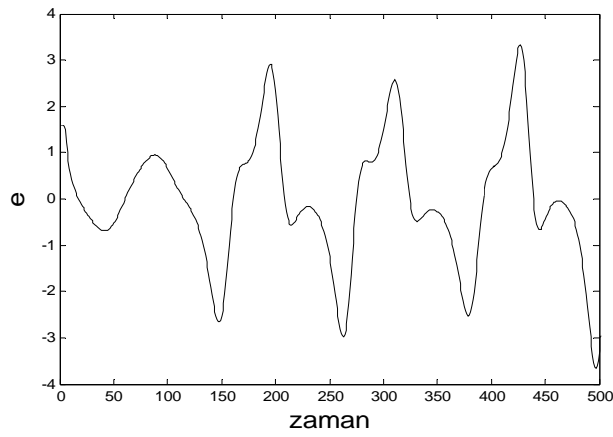
Eğer a parametresi aynı ise z ve z_r sinyalleri tamamen aynı olacaktır. Senkronizasyon ana ve tabi sistem arasındaki kararlı hata dinamiklerinin bir sonucu olarak da gösterilebilir. Bu ifadeleri göre, Matlab-simulink ortamında başlangıç şartları farklı iki sistemin simülasyonunu yapalım:

Parametre değerleri $a = 2.017$ olarak seçilmiş iki sistemin $(X_0, Y_0, Z_0) = (0, 0, 1)$ ve $(X_0, Y_0, Z_0) = (0.00001, 0, -0.6)$ gibi farklı başlangıç şartları için simulasyonu çalıştırıldığında (senkronizesiz), Z -durum değişkenlerinin zaman domeni sinyalleri ile bu sinyallerin birbirine göre değişimleri Şekil 3.2.2'de, sinyal farkları ise Şekil 3.2.3'de görüldüğü gibi olur.

Fark çok kısa bir zaman içinde değişmekte olup, bu; kaotik sistemin başlangıç şartlarına karşı oldukça duyarlı olduğunu göstermektedir.

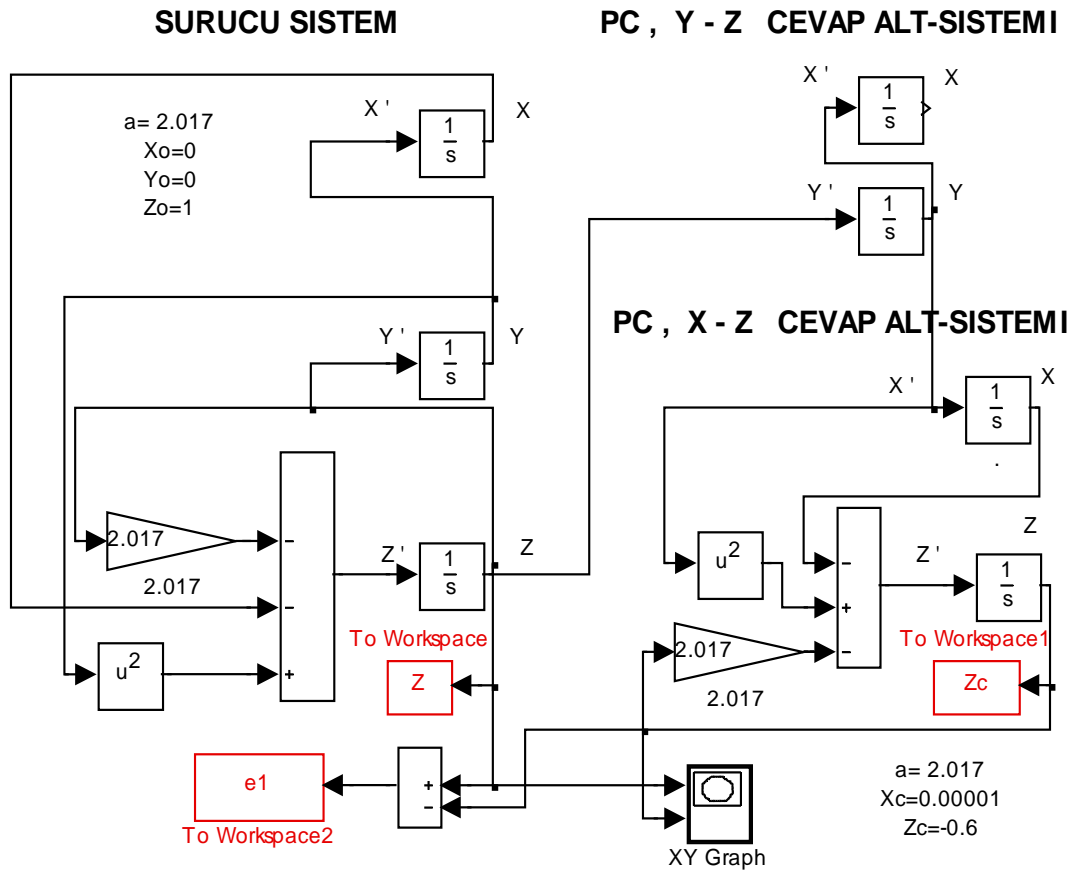


Şekil 3.2.2 (a) Sürücü sinyali (Z), cevap sinyali (Z_c) (b) Z 'nin Z_c 'ye göre değişimi



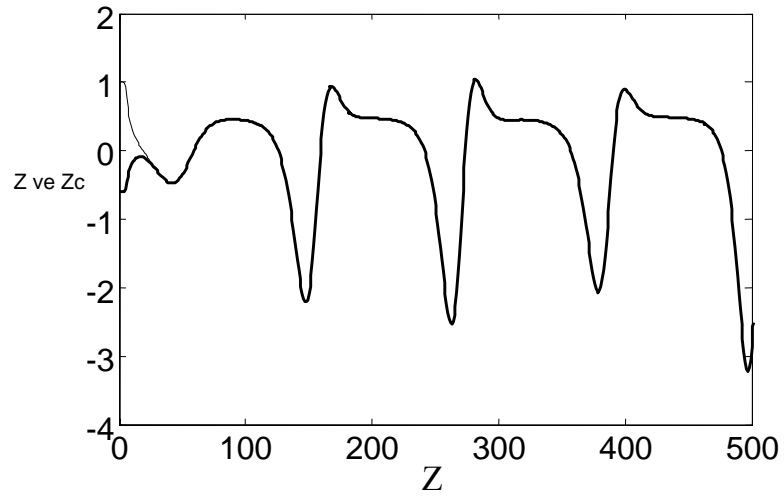
Şekil 3.2.3 Senkronizasyon öncesi oluşan $Z-Z_c$ fark sinyali (e =hata sinyali)

İlk şartları verilen bu iki sistemin senkronizasyonu için oluşturulan Matlab-Simulink blok diyagramı Şekil 3.2.4' de gösterildiği gibidir.

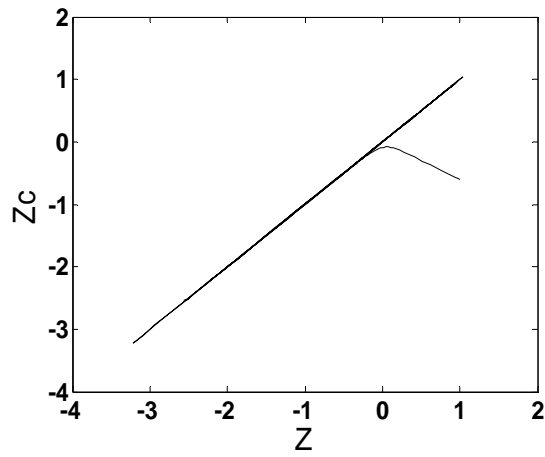


Şekil 3.2.4. Sprott97a sisteminin Simulink P-Csenkronizasyon modellemesi

Matlab Simulasyonu başlatıldığında, sürücü sinyali Z ile cevap sinyali Zc ' nin çok kısa bir süre içinde senkronize hale geldiği görülmektedir (Bkz. Şekil 3.2.5.a). Bu iki sinyalin birbirlerine göre değişiminin gösterildiği Şekil 3.2.5.b' ye dikkat edilirse, sinyallerin oranının kısa bir süre sonra "1" olduğu görülür.



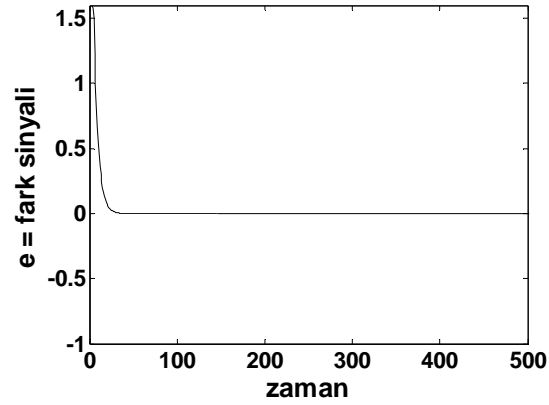
(a)



(b)

Şekil 3.2.5. (a) Z ve Z_c değerlerinin zamana göre değişimi (b) Z ve Z_c nin birbirine göre değişimi

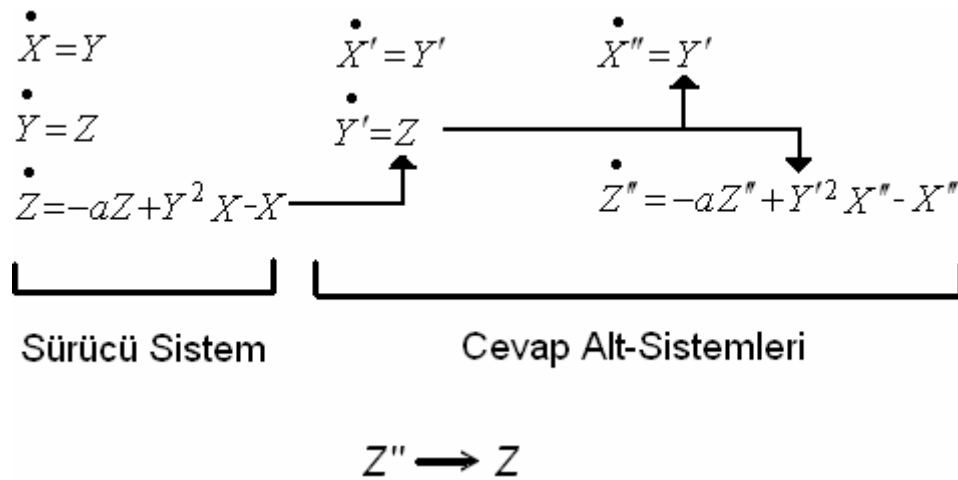
Z' den Z_c' nin çıkarılmasıyla elde edilen fark (e =hata) sinyali ise Şekil 3.2.6' te ki gibi olur. Fark sinyalinin çok kısa bir süre sıfırdan farklı değerler aldığı fakat senkronizasyon sonucunda sıfır olup bu değerde kaldığı görülmektedir.



Şekil 3.2.6 Senkronizasyon sonrası oluşan $Z-Z_c$ fark sinyali (e =hata sinyali)

3.3. Malasoma2000 Sistemi (En basit 3.derece kaotik akış)'nin Senkronizasyonu

Malasoma2000 sistemine ait dinamik denklemlere Pecora-Carroll Metodunu uygularsak, senkronizasyon şeması Şekil 3.3.1' deki gibi olur. Yalnız burada sürücü sistemden X değişkeni yerine Z değişkeni birinci cevap alt-sisteme gönderilmiştir.



Şekil 3.3.1 Pecora-Carroll metodunun Malasoma2000 sistemine uygulanması

Malasoma2000 sistemi verici devresinin denklemleri şu şekilde verilsin;

$$\begin{aligned}\dot{x} &= y \\ \dot{y} &= z \\ \dot{z} &= -a \cdot z + y^2 x - x\end{aligned}\tag{3.6}$$

Verilen bu denklemler; (x', y') kararlı olan cevap alt-sistemine,

$$\begin{aligned}\dot{x}' &= y' \\ \dot{y}' &= z\end{aligned}\tag{3.7}$$

şeklinde, ve ikinci bir (x'', z'') kararlı olan cevap alt-sistemine de,

$$\begin{aligned}\dot{x}'' &= y' \\ \dot{z}'' &= -a \cdot z'' + y'^2 x - x''\end{aligned}\tag{3.8}$$

şeklinde ayrıştırılabilir[45],[46].

Buna göre; Ana(master) sistem aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

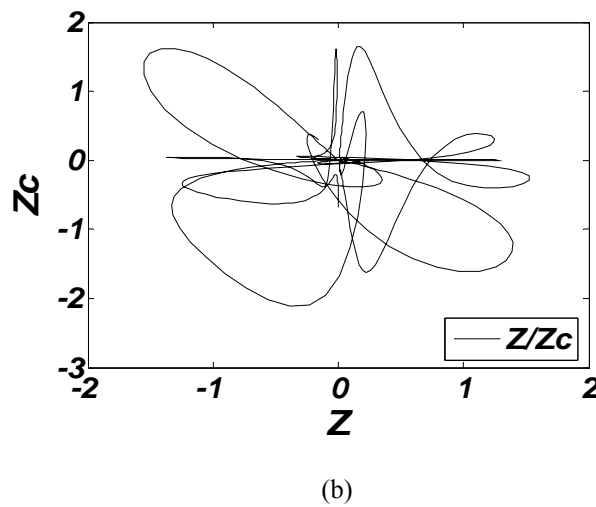
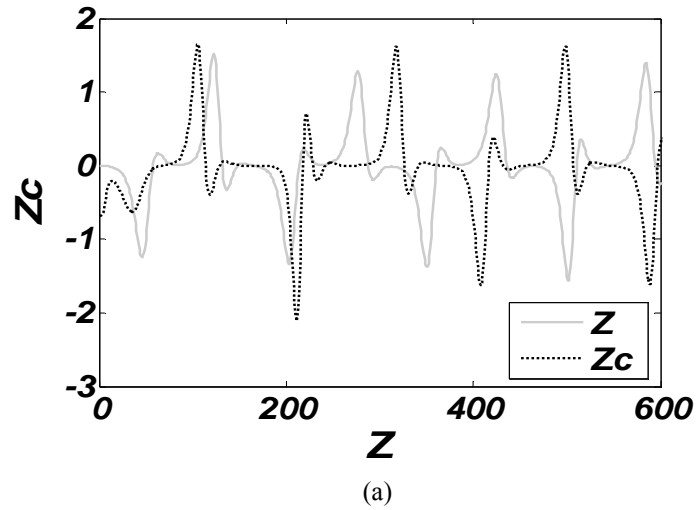
$$\begin{aligned}\dot{x} &= y \\ \dot{y} &= z \\ \dot{z} &= -a \cdot z + y^2 x - x\end{aligned}\tag{3.9}$$

Tabi(slave) sistem, ana sistemin tam bir eşidir, tek fark (x'', z'') sabit olan cevap alt-sisteminin ana sistemde üretilen z sinyali ile sürülmesidir. Dolayısıyla tabi(slave) sistem şu şekilde olacaktır.

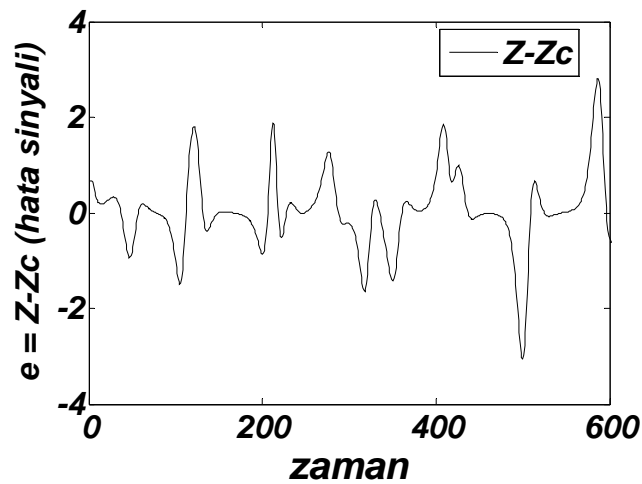
$$\begin{aligned}\dot{x}_r &= y_r \\ \dot{y}_r &= z \\ \dot{z}_r &= -a \cdot z + y_r^2 x_r - x_r\end{aligned}\tag{3.10}$$

Eğer a parametresi aynı ise z ve z_c sinyalleri tamamen aynı olacaktır. Senkronizasyon ana ve tabi sistem arasındaki kararlı hata dinamiklerinin bir sonucu olarak da gösterilebilir. Bu ifadeleri göre, Matlab-simulink ortamında başlangıç şartları farklı iki sistemin simülasyonunu yapalım:

Parametre değerleri $a = 2.028$ olarak seçilmiş iki sistemin $(X_0, Y_0, Z_0) = (0, 0.96, 0)$ ve $(X_0, Y_0, Z_0) = (0.00005, 0, -0.67499)$ gibi farklı başlangıç şartları için simülasyonu çalıştırıldığında (senkronizesiz), Z -durum değişkenlerinin zaman domeni sinyalleri ile bu sinyallerin birbirine göre değişimleri Şekil 3.3.2'de, sinyal farkları ise Şekil 3.3.3'de görüldüğü gibi olur. Fark çok kısa bir zaman içinde değişmekte olup, bu; kaotik sistemin başlangıç şartlarına karşı oldukça duyarlı olduğunu göstermektedir.

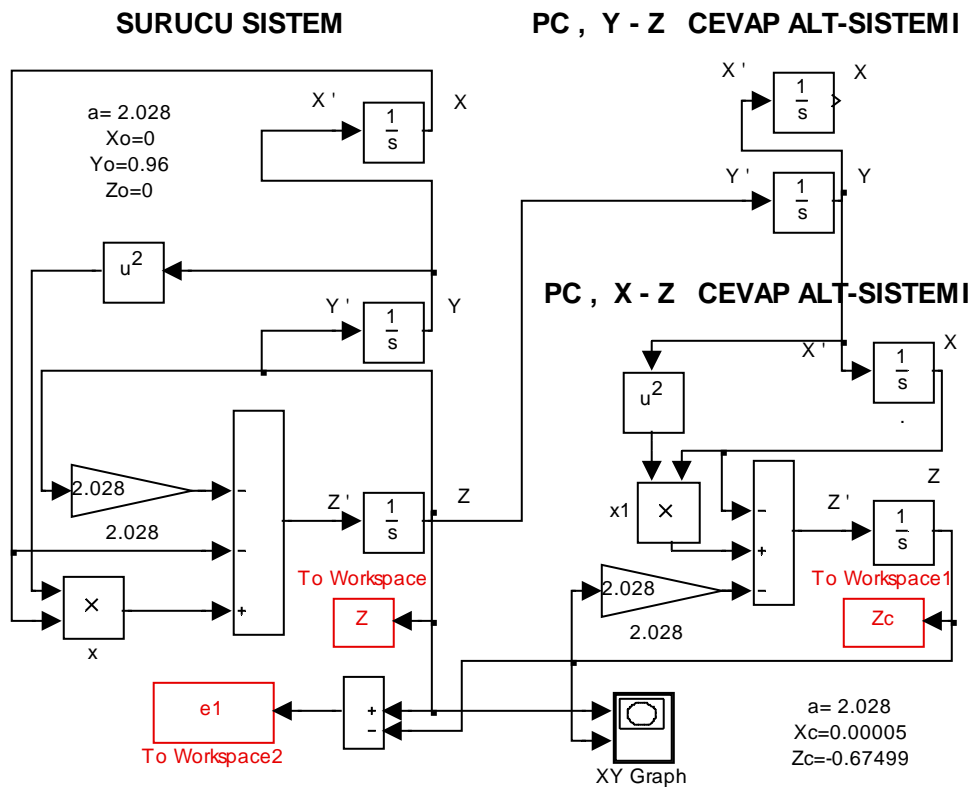


Şekil 3.3.2 (a) Sürücü sinyali (Z), cevap sinyali (Z_c) (b) Z 'nin Z_c 'ye göre değişimi



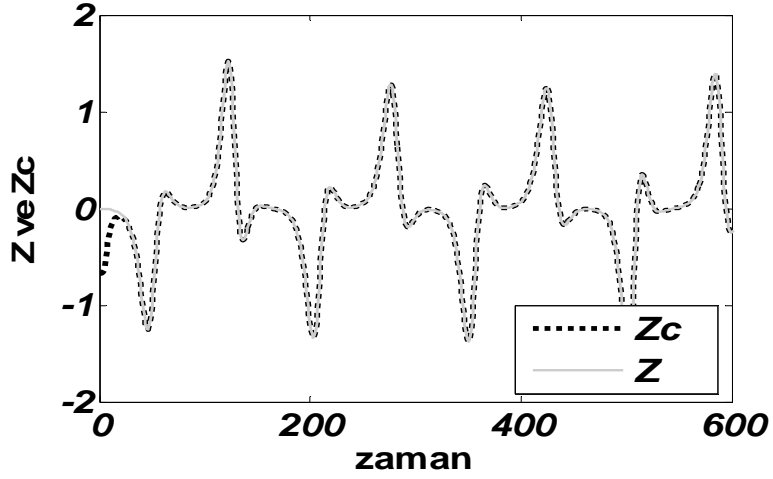
Şekil 3.3.3 Senkronizasyon öncesi oluşan Z-Zc fark sinyali (e=hata sinyali)

Senkronizasyon sonrası durumu gözlemek için oluşturulan, ilk şartları daha önceden verilmiş bu iki sisteme ait Matlab-Simulink senkronizasyon blok diyagramı Şekil 3.3.4' de gösterildiği gibidir.

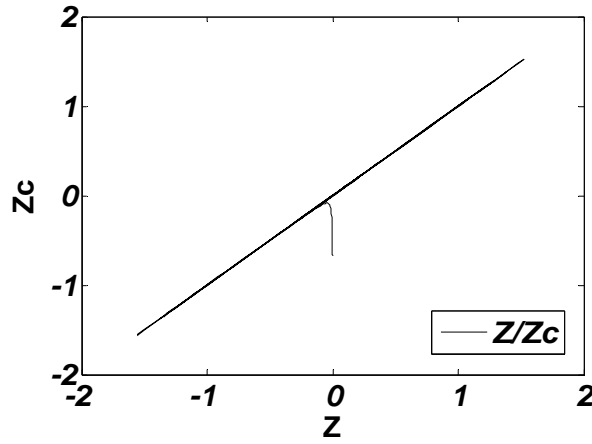


Şekil 3.3.4. Malasoma2000 sisteminin Simulink P-Csenkronizasyon modellemesi

Simulasyon başlatıldığında, sürücü sinyali Z ile cevap sinyali Z_c 'nin çok kısa bir süre içinde senkronize hale geldiği görülmektedir (Bkz. Şekil 3.3.5.a). Bu iki sinyalin birbirlerine göre değişiminin gösterildiği Şekil 3.3.5.b'ye dikkat edilirse, sinyallerin oranının kısa bir süre sonra "1" olduğu görülür.



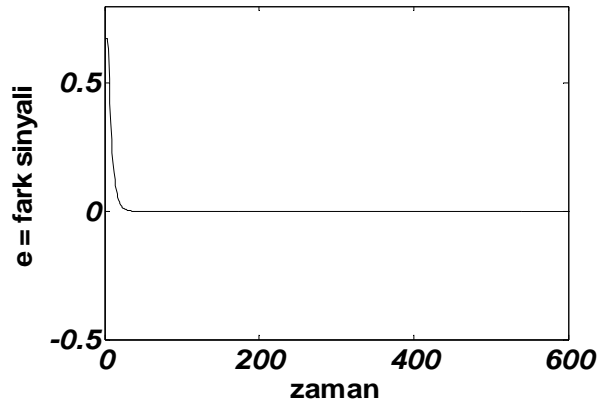
(a)



(b)

Şekil 3.3.5.(a) Z ve Z_c değerlerinin zamana göre değişimi, (b) Z ve Z_c nin birbirine göre değişimi.

Z 'den Z_c 'nin çıkarılmasıyla elde edilen fark (e =hata) sinyali ise Şekil 3.3.6' da ki gibi olur. Fark sinyalinin çok kısa bir süre sıfırdan farklı değerler aldığı fakat senkronizasyon sonucunda sıfır olup bu değerde kaldığı görülmektedir.



Şekil 3.3.6 Senkronizasyon sonrası oluşan Z-Zc fark sinyali (e=hata sinyali)

3.4. Lorenz Sistemi' nin Senkronizasyonu

Lorenz sistemine ait dinamik denklemlere Pecora-Carroll Metodunu uygulandığında, sürücü sistemden X değişkeni birinci cevap alt-sisteme gönderilir. Senkronizasyondan sonra alıcı devrenin X_c sinyali, verici devrenin X sinyaline kısa sürede yaklaşacak ve senkronize olacaktır.

Lorenz sistemi verici devresinin denklemleri şu şekilde verilsin;

$$\begin{aligned}\dot{x} &= \sigma \cdot (y - x) \\ \dot{y} &= r \cdot x - x \cdot z - y \\ \dot{z} &= x \cdot y - b \cdot z\end{aligned}\tag{3.11}$$

Verilen bu denklemler; (y', z') kararlı olan cevap alt-sistemine,

$$\begin{aligned}\dot{y}' &= r \cdot x - x \cdot z' - y' \\ \dot{z}' &= x \cdot y' - b \cdot z'\end{aligned}\tag{3.12}$$

şeklinde, ve ikinci bir (x'', z'') kararlı olan cevap alt-sistemine de,

$$\begin{aligned}\dot{x}'' &= \sigma \cdot (y' - x'') \\ \dot{z}'' &= x'' \cdot y' - b \cdot z''\end{aligned}\tag{3.13}$$

şeklinde ayrıştırılabilir[45],[46].

Buna göre; Ana(master) sistem aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= \sigma \cdot (y - x) \\ \dot{y} &= r \cdot x - x \cdot z - y \\ \dot{z} &= x \cdot y - bz\end{aligned}\tag{3.14}$$

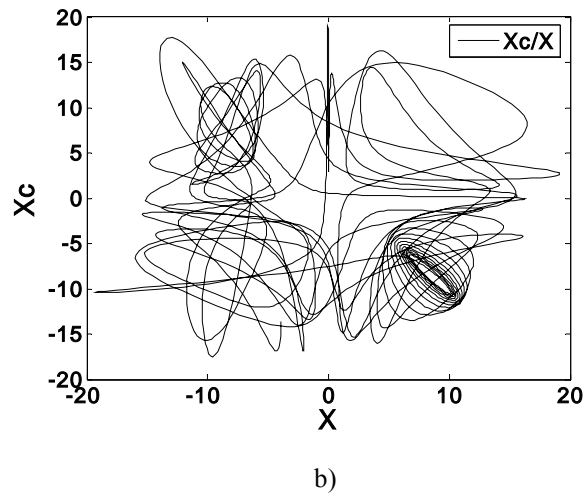
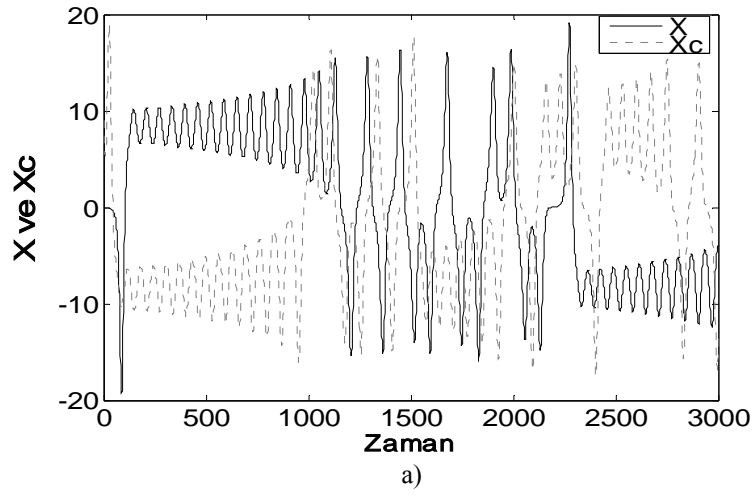
Tabi(slave) sistem, ana sistemin tam bir eşidir, tek fark (y'' , z'') sabit olan cevap alt-sisteminin ana sistemde üretilen x sinyali ile sürülmesidir. Dolayısıyla tabi(slave) sistem şu şekilde olacaktır.

$$\begin{aligned}\dot{x}_r &= \sigma \cdot (y_r - x_r) \\ \dot{y}_r &= r \cdot x - x \cdot z_r - y_r \\ \dot{z}_r &= x \cdot y_r - b \cdot z_r\end{aligned}\tag{3.15}$$

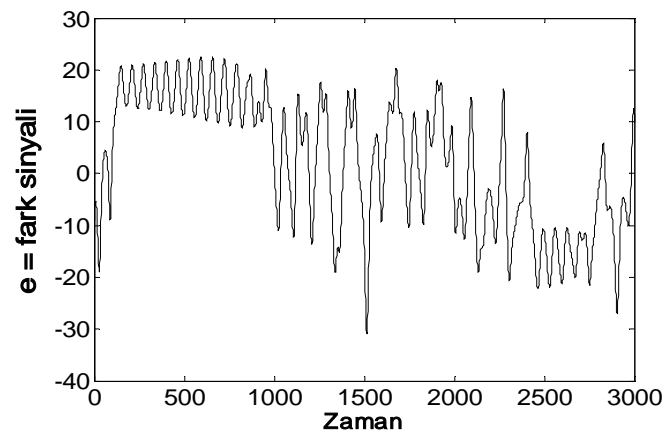
Eğer σ , r , b parametreleri aynı ise x ve x_r sinyalleri tamamen aynı olacaktır. Senkronizasyon ana ve tabi sistem arasındaki kararlı hata dinamiklerinin bir sonucu olarak da gösterilebilir. Bu ifadeleri göre, Matlab-simulink ortamında başlangıç şartları farklı iki sistemin simülasyonunu yapalım:

Parametre değerleri σ , r , b , sırasıyla 10, 28, 8/3 olarak seçilmiş iki sistemin (X_0 , Y_0 , Z_0) = (0, -0.01, 9) ve (X_0 , Y_0 , Z_0) = (9, -5, 3) gibi farklı başlangıç şartları için simülasyonu çalıştırıldığında (senkronizesiz), X-durum değişkenlerinin zaman domeni sinyalleri ile bu sinyallerin birbirine göre değişimleri Şekil 3.4.1'de, sinyal farkları ise Şekil 3.4.2'de görüldüğü gibi olur.

Fark çok kısa bir zaman içinde değişmekte olup, bu; kaotik sistemin başlangıç şartlarına karşı oldukça duyarlı olduğunu göstermektedir.

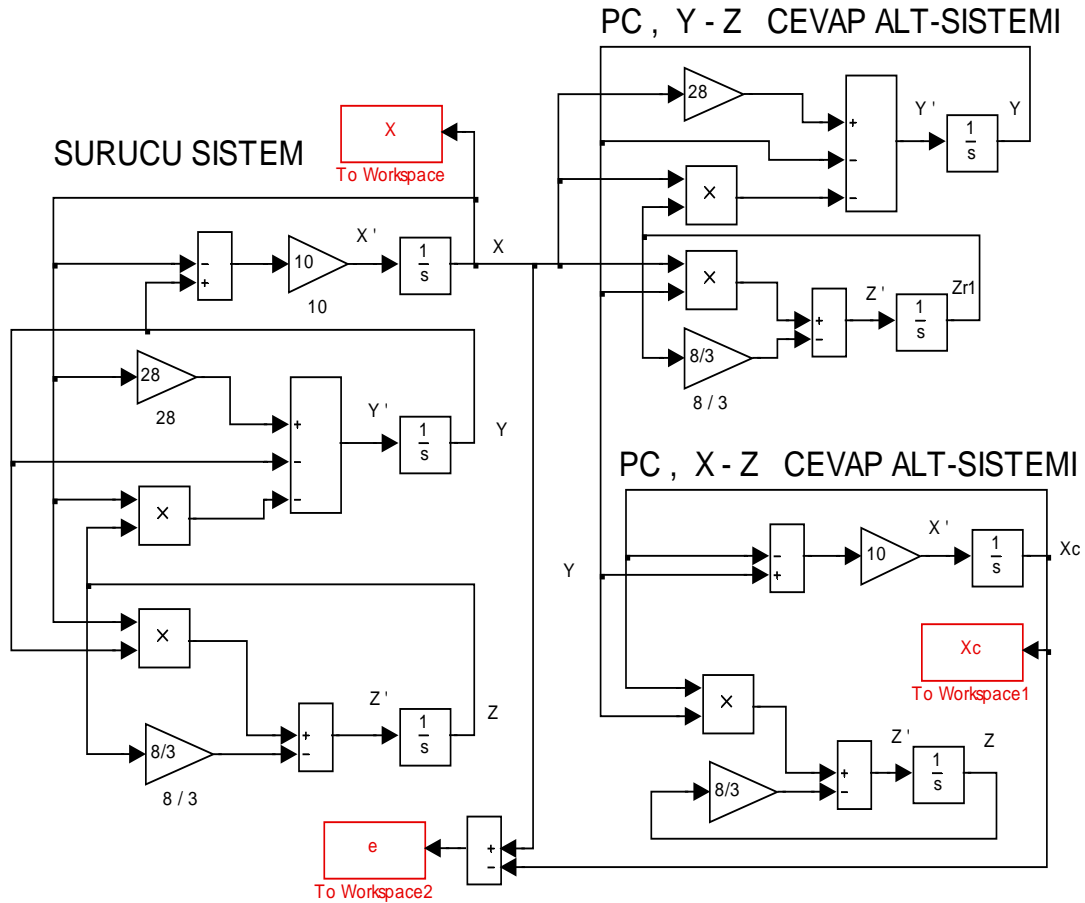


Şekil 3.4.1 (a) Sürücü sinyali (X), cevap sinyali (Xc) (b) X'nin Xc'ye göre değişimi



Şekil 3.4.2 Senkronizasyon öncesi oluşan X-Xc fark sinyali (e=hata sinyali)

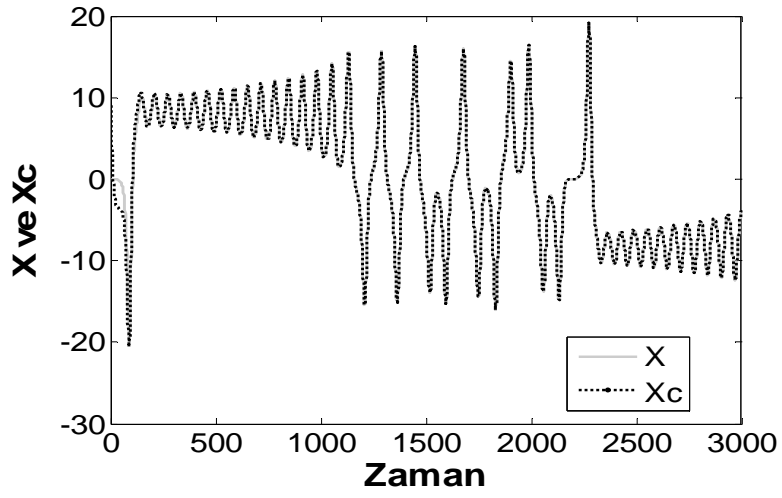
Senkronizasyon sonrası durumu gözlemek için oluşturulan, ilk şartları daha önceden verilmiş bu iki sisteme ait Matlab-Simulink senkronizasyon blok diyagramı Şekil 3.4.3’ de gösterildiği gibidir.



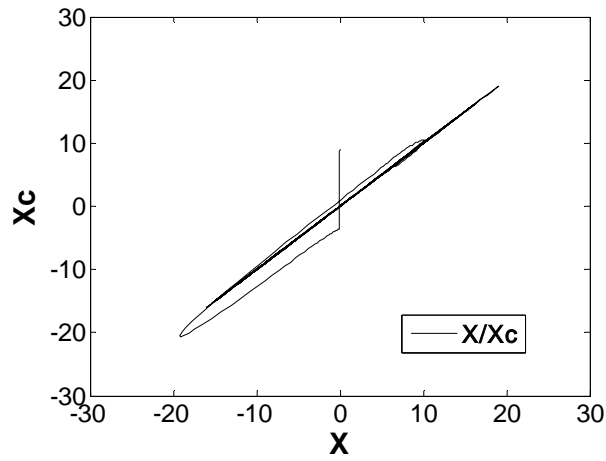
Şekil 3.4.3. Lorenz sisteminin Simulink P-Csenkronizasyon modellemesi

Simulasyon başlatıldığında, sürücü sinyali X ile cevap sinyali Xc’ nin çok kısa bir süre içinde senkronize hale geldiği görülmektedir (Bkz. Şekil 3.4.4.a).

Bu iki sinyalin birbirlerine göre değişiminin gösterildiği Şekil 3.4.4.b’ ye dikkat edilirse, sinyallerin oranının kısa bir süre sonra “1” olduğu görülür.



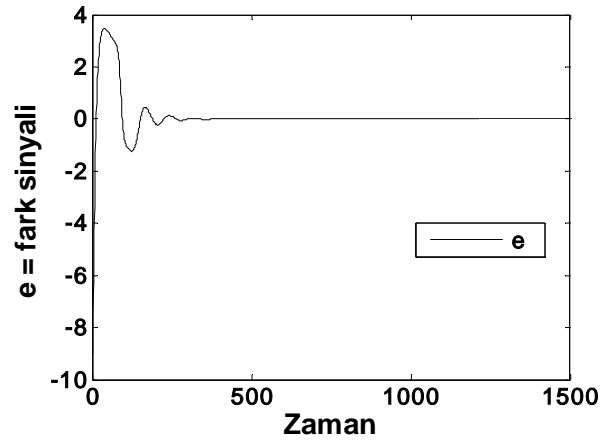
(a)



(b)

Şekil 3.4.4 (a) X ve Xc değerlerinin zamana göre değişimi (b) X ve Xc nin birbirine göre değişimi

X' den Xc' nin çıkarılmasıyla elde edilen fark(e=hata) sinyali ise Şekil 3.4.5' de ki gibi olur. Fark sinyalinin çok kısa bir süre sıfırdan farklı değerler aldığı fakat senkronizasyon sonucunda sıfır olup bu değerde kaldığı görülmektedir.



Şekil 3.4.5 Senkronizasyon sonrası oluşan $X-X_c$ fark sinyali (e =hata sinyali)

3.5. Rucklidge Sistemi' nin Senkronizasyonu

Rucklidge sistemine ait dinamik denklemlere Pecora-Carroll Metodunu uygulandığında, sürücü sistemden X değişkeni birinci cevap alt-sisteme gönderilir. Senkronizasyondan sonra alıcı devrenin X_c sinyali, verici devrenin X sinyaline kısa sürede yaklaşacak ve senkronize olacaktır.

Rucklidge sistemi verici devresinin denklemleri şu şekilde verilsin;

$$\begin{aligned}\dot{x} &= -K \cdot x + L \cdot y - y \cdot z \\ \dot{y} &= x \\ \dot{z} &= -z + y^2\end{aligned}\tag{3.16}$$

Verilen bu denklemler; (y', z') kararlı olan cevap alt-sistemine,

$$\begin{aligned}\dot{y}' &= x \\ \dot{z}' &= -z' + y'^2\end{aligned}\tag{3.17}$$

Şeklinde, ve ikinci bir (x'', z'') kararlı olan cevap alt-sistemine de,

$$\begin{aligned}\dot{x}'' &= -K \cdot x'' + L \cdot y' - y' \cdot z'' \\ \dot{z}'' &= -z'' + y'^2\end{aligned}\tag{3.18}$$

Şeklinde ayrıştırılabilir[45],[46].

Buna göre; Ana(master) sistem aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= -K \cdot x + L \cdot y - y \cdot z \\ \dot{y} &= x \\ \dot{z} &= -z + y^2\end{aligned}\tag{3.19}$$

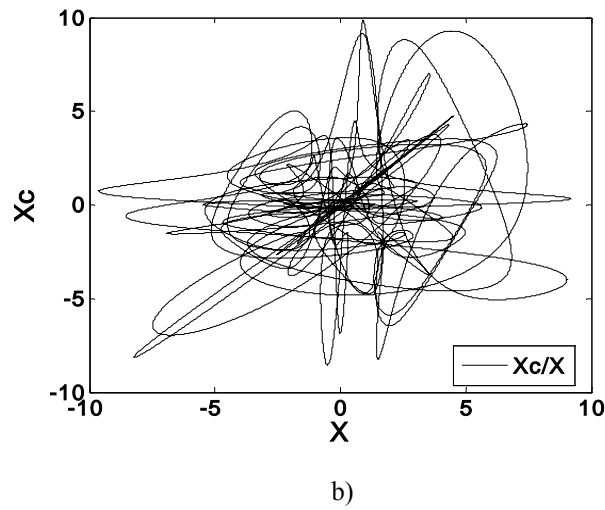
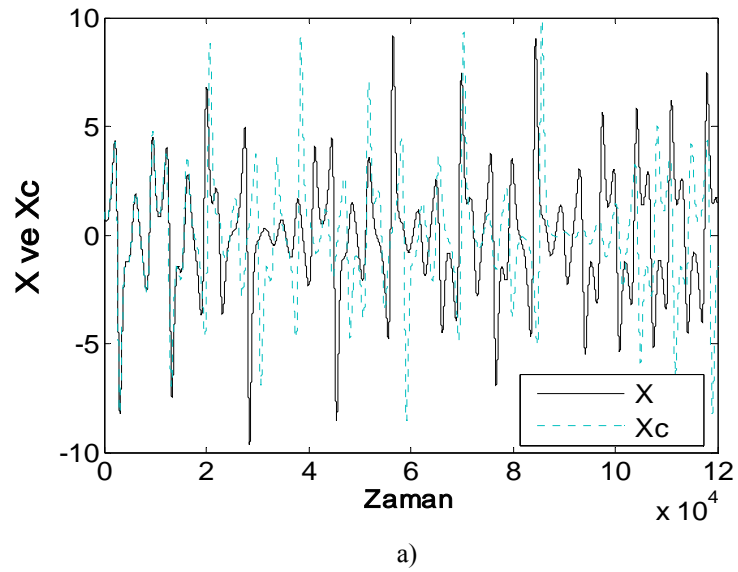
Tabi(slave) sistem, ana sistemin tam bir eşidir, tek fark (y'' , z'') sabit olan cevap alt-sisteminin ana sistemde üretilen x sinyali ile sürülmesidir. Dolayısıyla tabi(slave) sistem şu şekilde olacaktır.

$$\begin{aligned}\dot{x}_r &= -K \cdot x + L \cdot y_r - y_r \cdot z_r \\ \dot{y}_r &= x \\ \dot{z}_r &= -z_r + y_r^2\end{aligned}\tag{3.15}$$

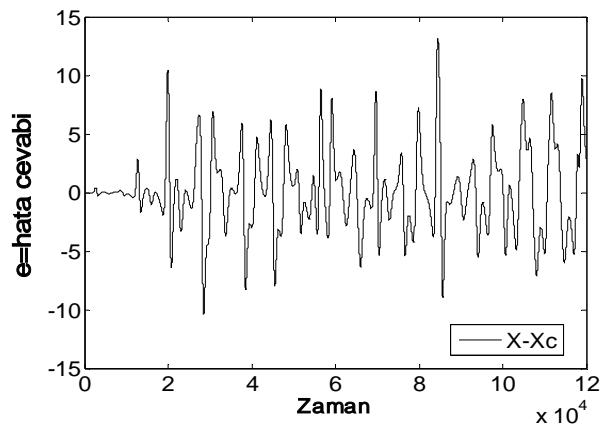
Eğer K ve L parametreleri aynı ise x ve x_r sinyalleri tamamen aynı olacaktır. Senkronizasyon ana ve tabi sistem arasındaki kararlı hata dinamiklerinin bir sonucu olarak da gösterilebilir. Bu ifadeleri göre, Matlab-simulink ortamında başlangıç şartları farklı iki sistemin simülasyonunu yapalım:

Parametre değerleri K ve L sırasıyla 2 ve 6.7 olarak seçilmiş iki sistemin $(X_0, Y_0, Z_0) = (1, 0, 4.5)$ ve $(X_0, Y_0, Z_0) = (1.05, 0, 4.6)$ gibi farklı başlangıç şartları için simülasyonu çalıştırıldığında (senkronizesiz), X -durum değişkenlerinin zaman domeni sinyalleri ile bu sinyallerin birbirine göre değişimleri Şekil 3.5.1'de, sinyal farkları ise Şekil 3.5.2'de görüldüğü gibi olur.

Fark çok kısa bir zaman içinde değişmekte olup, bu; kaotik sistemin başlangıç şartlarına karşı oldukça duyarlı olduğunu göstermektedir.

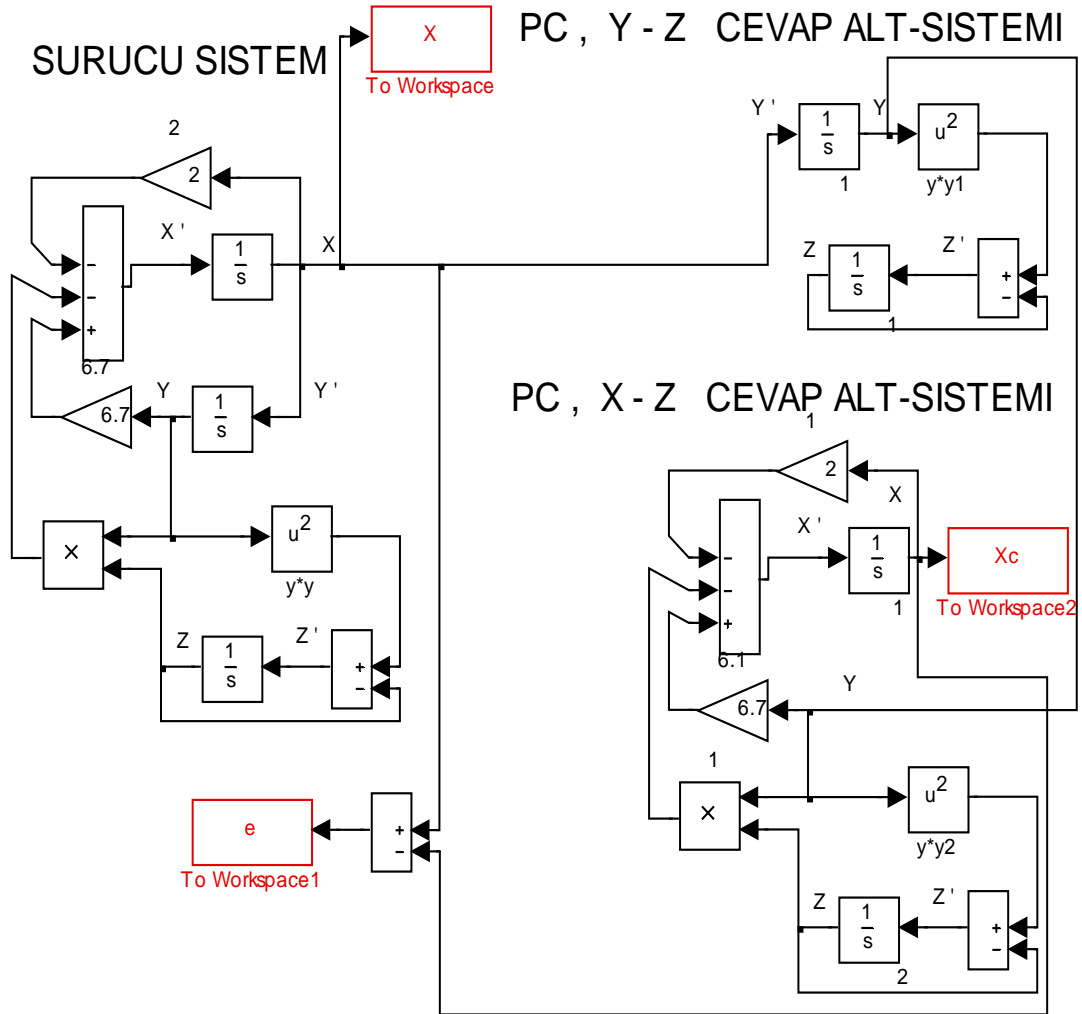


Şekil 3.5.1 (a) Sürücü sinyali (X), cevap sinyali (Xc) (b) X'nin Xc'ye göre değişimi



Şekil 3.5.2 Senkronizasyon öncesi oluşan X-Xc fark sinyali (e=hata sinyali)

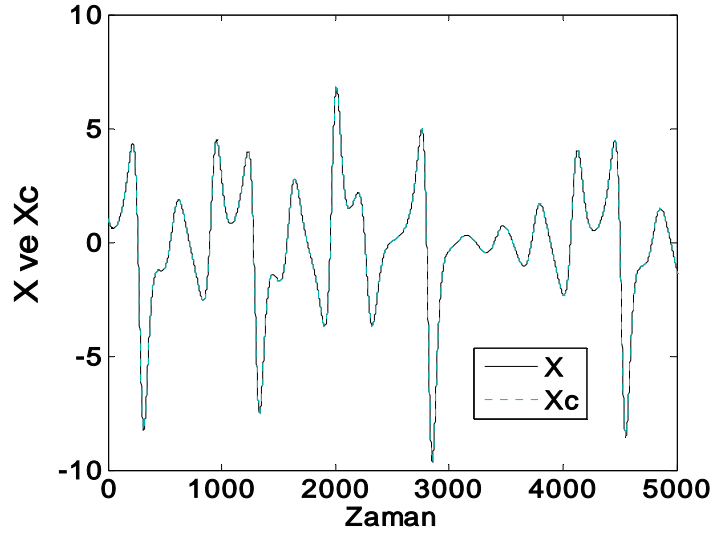
Senkronizasyon sonrası durumu gözlemek için oluşturulan, ilk şartları daha önceden verilmiş bu iki sisteme ait Matlab-Simulink senkronizasyon blok diyagramı Şekil 3.5.3' de gösterildiği gibidir.



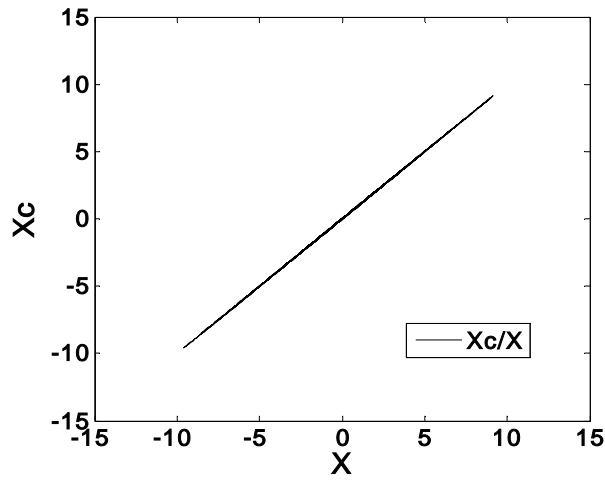
Şekil 3.5.3. Rucklidge sisteminin Simulink P-Csenkronizasyon modellemesi

Simulasyon başlatıldığında, sürücü sinyali X ile cevap sinyali X_c ' nin çok kısa bir süre içinde senkronize hale geldiği görülmektedir (Bkz. Şekil 3.5.4.a).

Bu iki sinyalin birbirlerine göre değişiminin gösterildiği Şekil 3.5.4.b' ye dikkat edilirse, sinyallerin oranının kısa bir süre sonra "1" olduğu görülür.



(a)

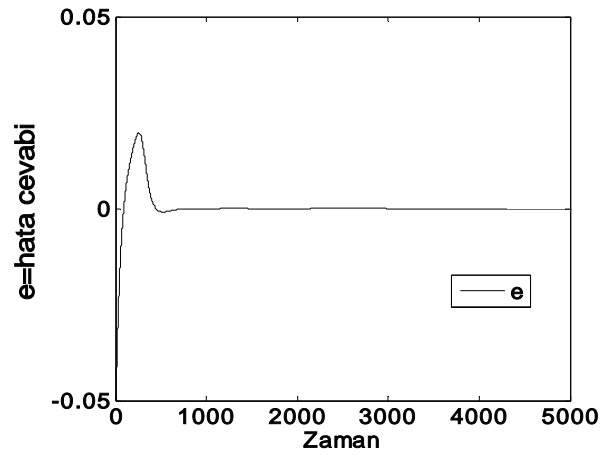


(b)

Şekil 3.5.4 (a) X ve Xc değerlerinin zamana göre değişimi (b) X ve Xc nin birbirine göre değişimi

X' den Xc' nin çıkarılmasıyla elde edilen fark(e=hata) sinyali ise Şekil 3.5.5' de ki gibi olur.

Fark sinyalinin çok kısa bir süre sıfırdan farklı değerler aldığı fakat senkronizasyon sonucunda sıfır olup bu değerde kaldığı görülmektedir.



Şekil 3.5.5 Senkronizasyon sonrası oluşan $X-X_c$ fark sinyali (e =hata sinyali)

BÖLÜM 4. BAZI KAOTİK SİSTEMLERİN GİZLEME YÖNTEMİYLE HABERLEŞMELERİ

4.1. Kaotik Sistemlerin Gizleme Yöntemiyle (Masking) Haberleşmesi

Haberleşme, bir zaman aralığında bir kaynaktaki bilginin (verici), kullanıcı ya da alıcı denilen farklı bir noktaya iletilmesidir. Haberleşme anlamına gelen telekomünikasyon kelimesinin resmi tanımı ise; “Her türlü işaret, sembol, ses ve görüntünün ve elektrik sinyallerine dönüştürülebilen her türlü verinin kablo, telsiz, optik, elektrik, manyetik, elektromanyetik, elektrokimyasal, elektromekanik ve diğer iletim sistemleri vasıtasıyla iletilmesi, gönderilmesi ve alınmasına telekomünikasyon denir[18].” şeklinde yapılmıştır.

Haberleşmede, “bilgi” enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülür ve uzak mesafelere taşınır. Hedefte de bu gelen elektrik enerjisi tekrar orijinal şeklini dönüştürülür. Orijinal bilgi enerjisi öncelikle elektronik bilgi sinyalini üretmek için elektriksel forma dönüştürülür. Bu işlem verilen herhangi bir enerji şeklini başka bir enerji şekline dönüştüren dönüştürücüler ile yapılır. Modern bir iletişim sisteminde, bilgi gönderilmeden önce sıraya konur, işlenir ve korunur. Gerçek anlamda gönderme işlemi gürültünün filtrelenmesi gerçekleştirildikten sonra sağlanır. Son safhada kod çözme, mesajı koruma ve bilgi algılama basamaklarından oluşan alma işlemi gelir. Bu konuda iletişim şekilleri; radyo-telefon, telgraf, noktadan noktaya yayın ve hareketli iletişim (ticari ya da askeri), bilgisayar iletişimi, radar, radyo-telemetre ve radyo ile yardım isteme gibi metotlardan oluşur[19].

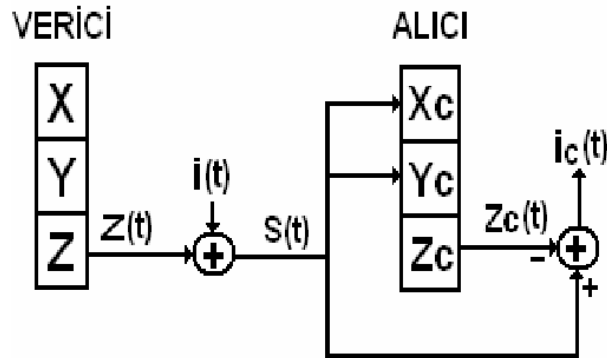
Haberleşme sistemlerinde kaos kullanarak veriyi taşıma ve şifreleme fikri, iki adet farklı kaotik osilatörde senkronizasyonun mümkün olabileceğinin Pecora ve Carroll tarafından gösterildiği 1990 yılında ortaya çıkmıştır. Haberleşme konusunda yapılan ilk çalışma ise kaotik maskeleyedir. 1993’de, Cuomo ve Oppenheim[45-46], Lorenz

denklem sistemini kullanarak güvenli haberleşme sistemini kurdular ve gösterdiler. Cuomo ve Oppenheim'in Lorenz devresini kullanmalarına karşın, aynı kavramsal yaklaşımı Kocarev ve arkadaşları [22] kaotik sistem olarak Chua devresini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmaların, bir bilgi işaretine kaotik işaret ekleyerek, senkronizasyon kavramının bilgi işaretinin maskelenmesinde nasıl kullanılabileceğini göstermesi, kaotik haberleşme sistem tasarımında ilk uygulamalar olması açısından önemlidir.

Kaotik gizleme (maskeleye)'de amaç, adından da anlaşılacağı gibi haber işaretini kaotik işaretle maskeleymeden geçirmektir. Üretilen kaotik işaret kanala verilmeden önce haber işaretiyle toplanmakta ve kanala verilmektedir. Alıcı devrenin verici devre ile bağlantısı ise Pecora ve Carroll yöntemi ile yapılır. Demodülasyon ise, alıcının ürettiği kaotik işareti, vericiden gelen işaretten çıkartarak yapılır. Alıcının kaosta kalması ve senkronizasyonun gerçekleşmesi için haber işaretinin genliğinin kaotik işaretin genliğinden 15-20 dB ufak olması istenmektedir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, kaos tabanlı güvenilir haberleşme amaçlı sistemlerde kullanılan metotlar dört ana grupta toplanabilir. Bunlar kaotik gizleme(maskeleye), kaotik modülasyon, kaotik anahtarlama ve tahminsel kontrol metotlarıdır. Bunlardan ilk ikisi analog işaretlerin iletiminde kullanılırken diğer ikisi de dijital işaretlerin iletiminde kullanılmaktadırlar. Tezde, kaotik gizleme metodu kullanılacaktır.

Kaotik gizleme haberleşmesinin mantığını gösteren blok diyagram Şekil 4.1.1'de görülmektedir.



Şekil 4.1.1. Kaotik gizleme yöntemiyle haberleşmenin mantığını gösteren blok diyagram

Kaotik maskelemedeki temel prensip; analog olan $i(t)$ bilgi işaretini, verici kısımdaki $z(t)$ kaotik işaretiyle maskelemek ve bu şekilde iletmektir. Bu amaçla $i(t)$ bilgi işareti, maskeleyici $z(t)$ kaotik işaretiyle toplanır ve iletim ortamına aktarılır. İletilen $s(t)$ işareti ikisinin toplamıdır. Alıcı kısımda ise, bir önceki bölümde anlatılan Pecora-Carroll yöntemine göre gerçekleştirilen senkronizasyonla, maskeleyici $z(t)$ işaretinin aynı formu oluşturulmakta ve senkronize olmuş olan $z_c(t)$ kaotik işareti, iletim ortamından gelen $s(t)$ işaretinden çıkartılarak tekrar bilgi işareti elde edilmektedir. Tezde, Sprott97a, Malasoma2000 ve Lorenz sistemleri olmak üzere toplam üç adet sistemin bu yolla kaotik maskeleme modellenmesi yapılacaktır.

4.2. Sprott97a Sistemi Kaotik Gizleme Haberleşme Modellemesi

Sprott97a sisteminin, kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme için oluşturulması gereken verici devresinin denklemleri şu şekilde verilsin;

$$\begin{aligned}\dot{x} &= y \\ \dot{y} &= z \\ \dot{z} &= -a.z + y^2 - x\end{aligned}\tag{4.1}$$

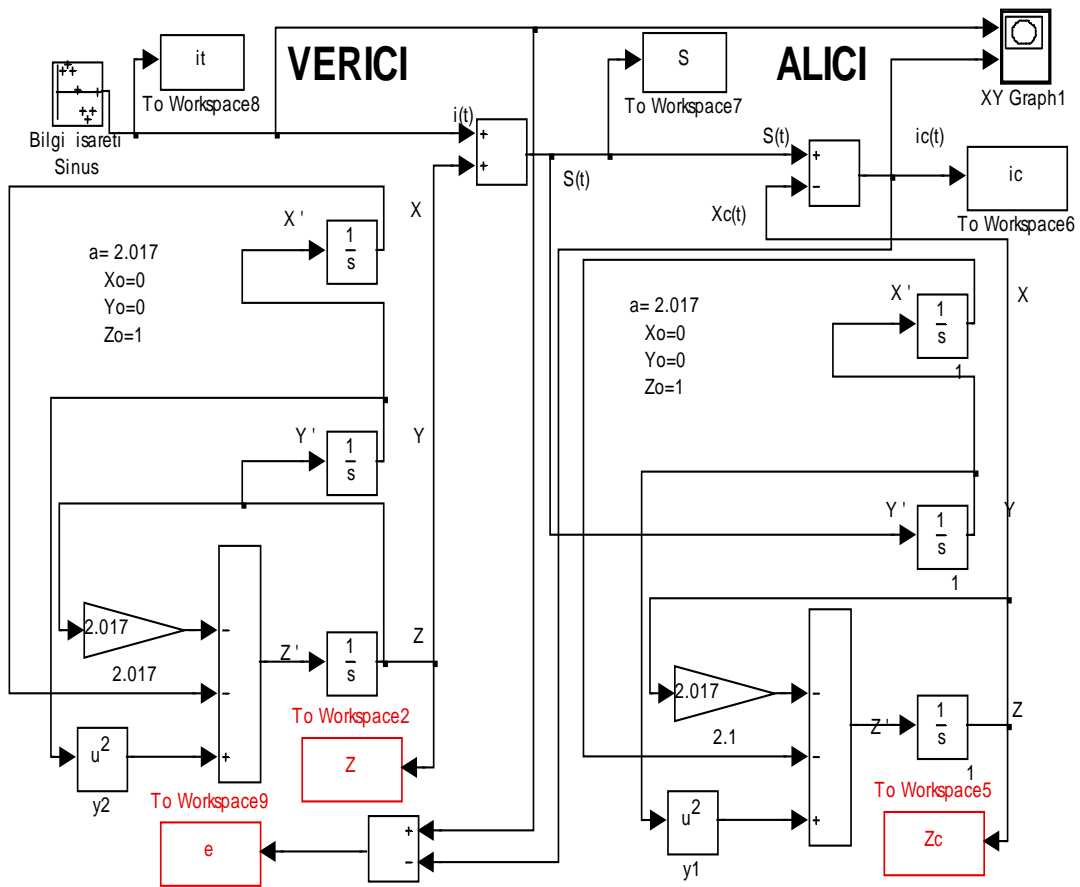
Alıcı devresinin denklemleri aşağıdaki şekilde olacaktır;

$$\begin{aligned}\dot{x}_c &= y_c \\ \dot{y}_c &= s(t) \\ \dot{z}_c &= -a.s(t) + y_c^2 - x_c\end{aligned}\tag{4.2}$$

Bilgi işareti olarak 0.04V sinüs işareti kullanılacaktır. $i(t)$ bilgi işareti, maskeleyici $z(t)$ kaotik işaretiyle toplanır ve iletim ortamına aktarılır. İletilen $s(t)$ işareti ikisinin toplamıdır. Alıcıda, P-C yöntemine göre gerçekleşen senkronizasyonla, maskeleyici $z(t)$ işaretinin aynı formu oluşturulmakta ve senkronize olan $z_c(t)$ kaotik işareti, iletim

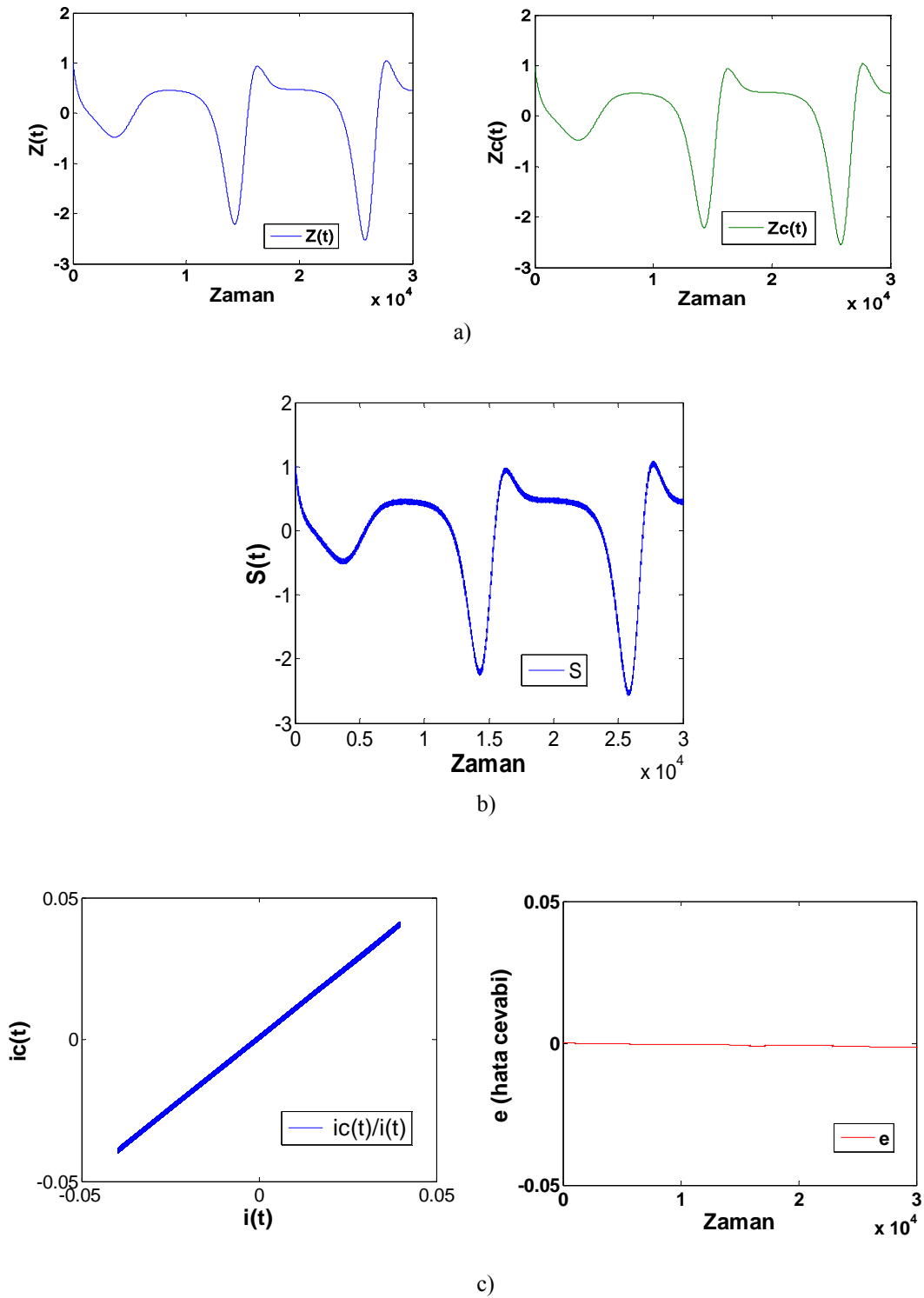
ortamından gelen $s(t)$ işaretinden çıkartılarak tekrar $i_c(t)$ bilgi işareti elde edilmektedir.

Sprot97a sisteminin Matlab-Simulink'te yapılan kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme modellemesi Şekil 4.2.1'de verilmiştir.



Şekil 4.2.1. Sprot97a sisteminin Simulink'de yapılan kaotik gizleme haberleşme modellemesi

Simulink'te yapılan Sprot97a sistemi kaotik gizleme haberleşme modelinin simülasyon sonuçları Şekil 4.2.2.'de verilmiştir.



Şekil 4.2.2. Sprott97a sisteminin Simulink’de yapılan kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme modelinin simülasyon sonuçları (a) Verici sistemin $Z(t)$ sinyali ve alıcı sistemin $Z_c(t)$ sinyali’nin zamana göre değişimi (b) İletilen sinyal $S(t)=x(t) + i(t)$ ’nin zamana göre değişimi (c) Bilgi işareti $i(t)$ ve tekrar elde edilen bilgi işareti $ic(t)$ ’nin birbirine ve haberleşme hatası $e(t) = i(t) - ic(t)$ ’nin zamana göre değişimi

4.3. Malasoma2000 Sistemi Kaotik Gizleme Haberleşme Modellemesi

Malasoma2000 sisteminin, kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme için oluşturulması gereken verici devresinin denklemleri şu şekilde verilsin;

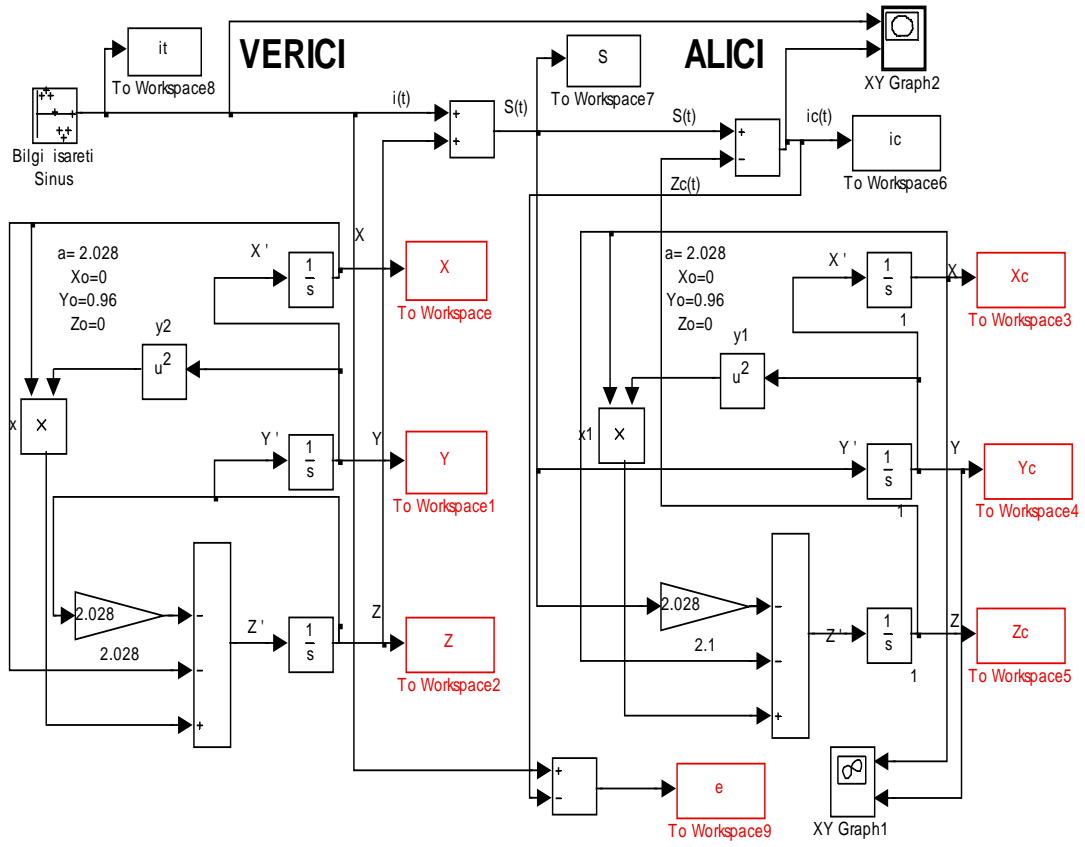
$$\begin{aligned}\dot{x} &= y \\ \dot{y} &= z \\ \dot{z} &= -a.z + x.y^2 - x\end{aligned}\tag{4.3}$$

Alıcı devresinin denklemleri aşağıdaki şekilde olacaktır;

$$\begin{aligned}\dot{x}_c &= y_c \\ \dot{y}_c &= s(t) \\ \dot{z}_c &= -a.s(t) + x_c.y_c^2 - x_c\end{aligned}\tag{4.4}$$

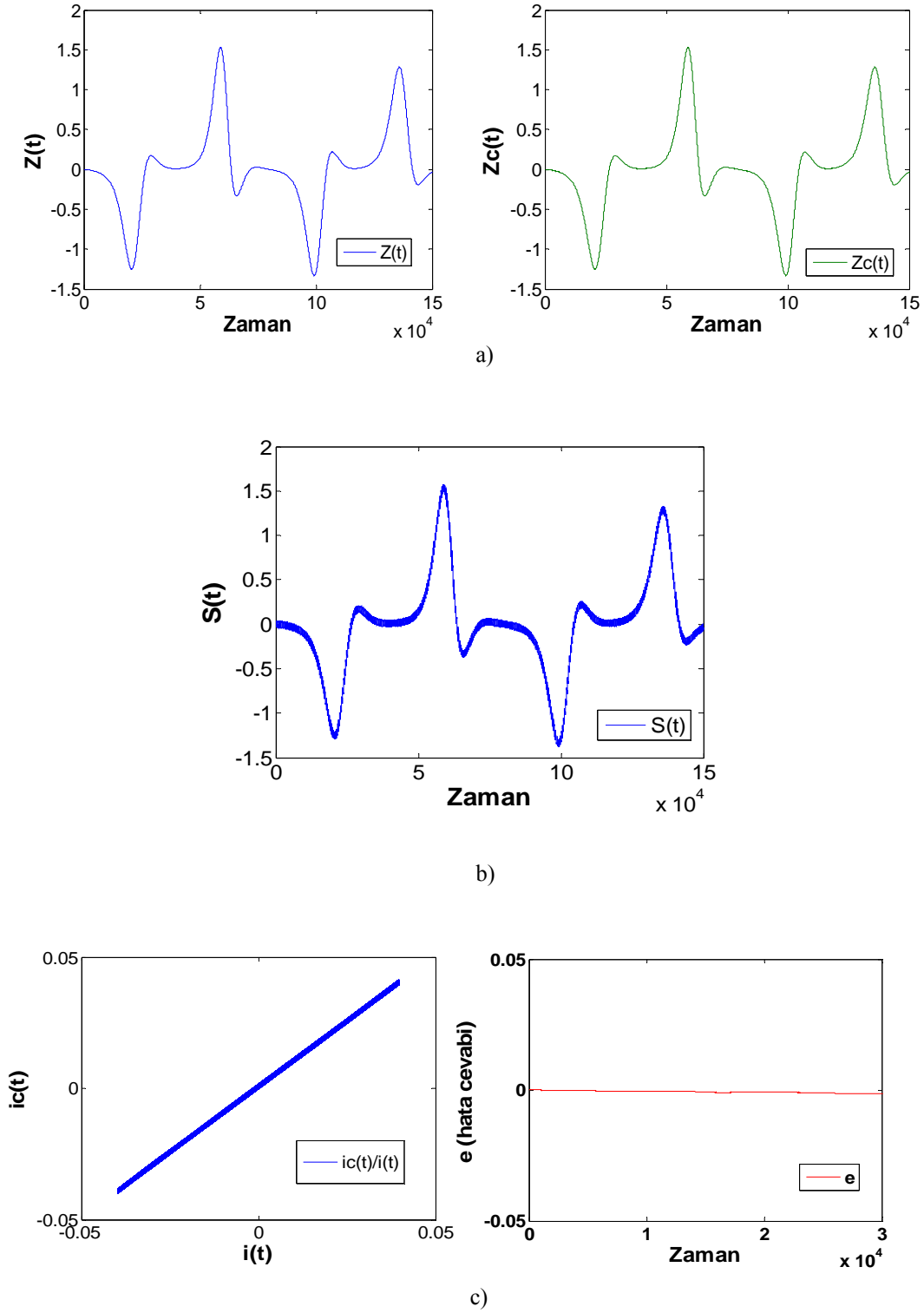
Bilgi işareti olarak 0.04V sinüs işareti kullanılacaktır. $i(t)$ bilgi işareti, maskeleyici $z(t)$ kaotik işaretiyle toplanır ve iletim ortamına aktarılır. İletilen $s(t)$ işareti ikisinin toplamıdır. Alıcıda, P-C yöntemine göre gerçekleşen senkronizasyonla, maskeleyici $z(t)$ işaretinin aynı formu oluşturulmakta ve senkronize olan $z_c(t)$ kaotik işareti, iletim ortamından gelen $s(t)$ işaretinden çıkartılarak tekrar $i_c(t)$ bilgi işareti elde edilmektedir.

Malasoma2000 sisteminin Matlab-Simulink'de yapılan kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme modellemesi Şekil 4.3.1'de verilmiştir.



Şekil 4.3.1. Malasoma2000 sisteminin Simulink’de yapılan kaotik gizleme haberleşme modellemesi

Simulink’te yapılan Malasoma2000 sistemi kaotik gizleme haberleşme modelinin simülasyon sonuçları Şekil 4.3.2.’de verilmiştir.



Şekil 4.3.2. Malasoma2000 sisteminin Simulink’de yapılan kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme modelinin simülasyon sonuçları (a) Verici sistemin $Z(t)$ sinyali ve alıcı sistemin $Zc(t)$ sinyali’nin zamana göre değişimi (b) İletilen sinyal $S(t)=x(t) + i(t)$ ’nin zamana göre değişimi (c) Bilgi işareti $i(t)$ ve tekrar elde edilen bilgi işareti $ic(t)$ ’nin birbirine ve haberleşme hatası $e(t) = i(t) - ic(t)$ ’nin zamana göre değişimi

4.4. Lorenz Sistemi Kaotik Gizleme Haberleşme Modellemesi

Lorenz sisteminin, kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme için oluşturulması gereken verici devresinin denklemleri şu şekilde verilsin;

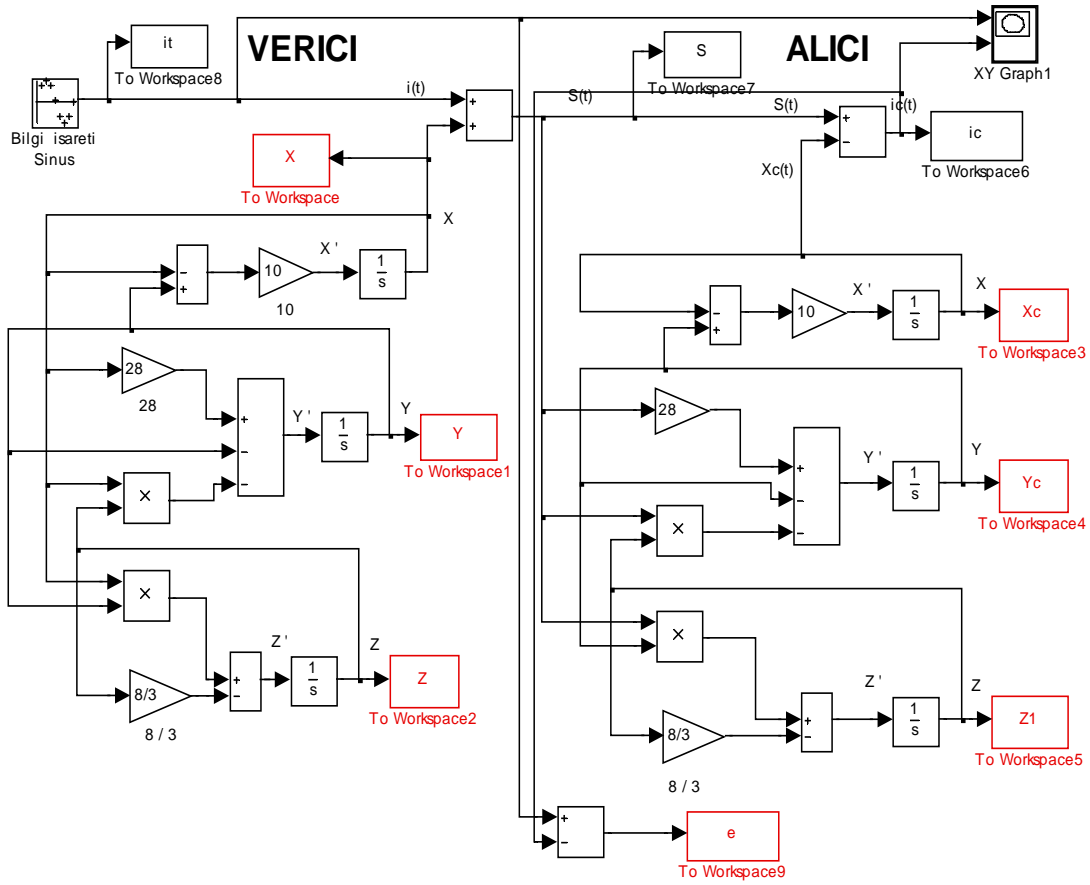
$$\begin{aligned}\dot{x} &= \sigma \cdot (y - x) \\ \dot{y} &= r \cdot x - x \cdot z - y \\ \dot{z} &= x \cdot y - b \cdot z\end{aligned}\tag{4.5}$$

Alıcı devresinin denklemleri aşağıdaki şekilde olacaktır;

$$\begin{aligned}\dot{x}_c &= \sigma \cdot (y_c - x_c) \\ \dot{y}_c &= r \cdot s(t) - s(t) \cdot z_c - y_c \\ \dot{z}_c &= s(t) \cdot y_c - b \cdot z_c\end{aligned}\tag{4.6}$$

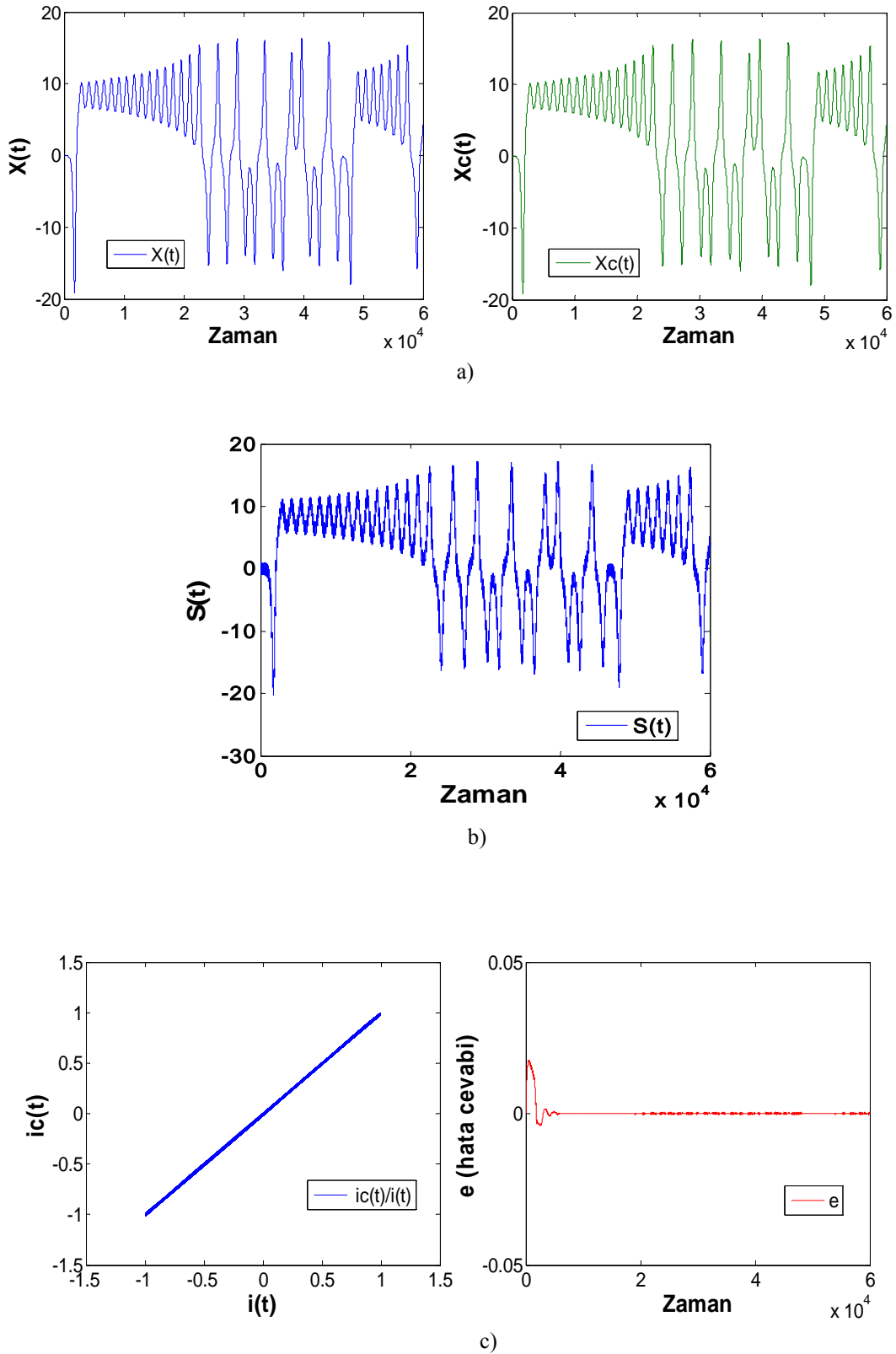
Bilgi işareti olarak 1V sinüs işareti kullanılacaktır. $i(t)$ bilgi işareti, maskeleyici $x(t)$ kaotik işaretiyle toplanır ve iletim ortamına aktarılır. İletilen $s(t)$ işareti ikisinin toplamıdır. Alıcıda, P-C yöntemine göre gerçekleşen senkronizasyonla, maskeleyici $x(t)$ işaretinin aynı formu oluşturulmakta ve senkronize olan $x_c(t)$ kaotik işareti, iletim ortamından gelen $s(t)$ işaretinden çıkartılarak tekrar $i_c(t)$ bilgi işareti elde edilmektedir.

Lorenz sisteminin Matlab-Simulink’de yapılan kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme modellemesi Şekil 4.4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.4.1. Lorenz sisteminin Simulink’de yapılan kaotik gizleme haberleşme modellemesi

Simulink’te yapılan Lorenz sistemi kaotik gizleme haberleşme modelinin simülasyon sonuçları Şekil 4.4.2.’de verilmiştir.



Şekil 4.4.2. Lorenz sisteminin Simulink’de yapılan kaotik gizleme yöntemiyle haberleşme modelinin simülasyon sonuçları (a) Verici sistemin $X(t)$ sinyali ve alıcı sistemin $Xc(t)$ sinyali’nin zamana göre değişimi (b) İletilen sinyal $S(t)=x(t) + i(t)$ ’nin zamana göre değişimi (c) Bilgi işareti $i(t)$ ve tekrar elde edilen bilgi işareti $ic(t)$ ’nin birbirine ve haberleşme hatası $e(t) = i(t) - ic(t)$ ’nin zamana göre değişimi

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kaotik sistemlerin senkronizasyonu ve senkronize kaotik sistemlerin güvenilir haberleşme amaçlı kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığı zaman Chua, Lorenz, Rossler, Van Der Pol gibi sistemlerin daha fazla kullanıldığı ve bunlardan bazılarının çok basit yapıda olmadığı görülmektedir. Bu sistemler, bu alanda çalışan kimselerin çok iyi bildikleri, üzerinde çok uzun yıllar çalışılmış olan sistemlerdir. Konunun, güvenli ve gizli haberleşme olması nedeniyle, dinamik yapıları çok iyi bilinen, üzerinde çok fazla çalışılmış sistemlerin bu amaçla kullanılması güvenlik açısından bir dezavantaj oluşturabilecekti. Ayrıca basit yapılmayan sistemlerin, kolay ve ekonomik tasarım avantajı sunamaması diğer bir dezavantajı oluşturabilecekti. Bu düşünceler araştırmacıları, yeni ve basit kaotik sistemlerin keşfedilmesi çalışmalarına yöneltti.

Bu tezde güvenli haberleşmede alternatif olarak kullanılacak yeni kaotik sistemler tanıtılmış, senkronizasyon ve güvenli haberleşme simülasyonları yapılarak, bulunan yeni sistemlerin güvenli haberleşmede kullanılacağı gösterilmiştir.

Tezde kapsamlı bir literatür taramasından sonra, doğrusal olmayan dinamik sistemler ve kaos ile ilgili temel kavramlar anlatılmıştır. Lorenz, Chua, Rössler, Van Der Pol gibi çok bilinen sistemler ile Malasoma2000, Sprott97a, Linz-Sprott1999, Rucklidge gibi az bilinen ve elektronik devre gerçeklemelerine literatürde rastlanılmamış yeni sistemler tanıtılmıştır.

Literatürde devre simülasyonlarına rastlanılmayan Sprott97a ve Malasoma2000 sistemlerinin önce Matlab-Simulink ortamında modellemeleri yapılmış (Şekil 2.7.1. ve 2.8.1.), sonra bu sistemlerle beraber, Windmi, Burke-Shaw, Linz-Sprott1999 ve Moore-Spiegel sistemlerinin simülasyon sonuçları verilmiştir (Şekil 2.7.2.,7.3., 8.2.,8.3.,9.1.,9.2.,10.1.,10.2.,11.1.,11.2.,13.1.,13.2.).

Literatürde senkronizasyon uygulaması görülmeyen Malasoma2000 ve Sprot97a sistemlerinin, Pecora-Carroll yöntemi ile Matlab-Simulink ortamında senkronizasyon modellemeleri (Şekil 3.2.4. ve 3.3.4.), simülasyon sonuçları verilmiştir(Şekil 3.2.5.,6. ve 3.3.5.,6.). Sonuç olarak ele alınan bu sistemlerde 1-2ms gibi kısa bir zamanda verici devre ile alıcı devrenin tamamen senkronize olduğu gözlenmiştir.

Yine literatürde güvenli haberleşme alanında uygulaması görülmeyen Sprot97a ve Malasoma2000 sistemlerinin, Matlab-Simulink ortamında gizleme yöntemiyle haberleşme modellemeleri (Şekil 4.2.1. ve 4.3.1.) ve simülasyon sonuçları verilmiştir (Şekil 4.2.2. ve 4.3.2.). Kaotik gizleme yöntemi ile haberleşmede bilgi işareti kaotik işaret içinde gizleneceğinden, bilgi işaretinin genliği kaotik işaretten küçük olacaktır. Tüm sistemlerde 0.04V veya 1V değerinde sinüs dalgası formunda bilgi işareti kullanılmıştır. Kaotik devre çıkışları ise Sprot97a sisteminde tepeden tepeye 3.5V'luk, Malasoma2000 sisteminde 3V'luk ve Lorenz sisteminde 35V'luk bir değişim göstermektedir. Kaotik gizleme yöntemiyle haberleşmede, bilgi işaretinin tam olarak geri dönüşümünün sağlanması için bilgi işaretinin kaotik işaretten 20 dB kadar küçük olması gerekmektedir.

Öneri olarak, tezin 3. ve 4. Bölümleri'nde ele alınan değişik bilim dallarında mevcut olan, fakat senkronizasyon ve güvenli haberleşme uygulamaları daha önceden yapılmamış sistemlerin de, kaotik elektronik devre tasarımları, senkronizasyon ve güvenli haberleşme devreleri yapılabilir.

Yine bu tezde senkronizasyon ve güvenli haberleşme simülasyonları yapılan tüm sistemlerin, "kaotik modülasyon" ve "kaotik anahtarlama" gibi diğer kaos tabanlı haberleşme sistemleri kullanılarak da haberleşme devreleri tasarlanabilir.

Bu tezde tanıtılan kaotik sistemler, tüm kaos tabanlı haberleşme uygulamalarının yanı sıra, kaos tabanlı kriptoloji, bilgi kodlama, bilgi sıkıştırma, rasgele sayı üretici, kaos tabanlı müzik ve resim üretimi, hassas desen tanıma vb. gibi uygulamalarda da kullanılabilecek potansiyel sistemlerdir.

Bilinen klasik kaotik sistemlerin yanında, bu tezde tanıtılan az bilinen kaotik sistemlerin, kaos tabanlı haberleşme ve kriptoloji dünyasına çeşitlilik sunarak güvenliğin artmasına fayda sağlayacağı, kaos ile alakalı diğer alanlarda çalışanlara da kaynak teşkil edeceği düşünülmektedir. Bununla beraber, bu sistemlerin oldukça basit yapılı olması da kolay ve ekonomik tasarım avantajı sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] The End of Certainty: Time Chaos, and the New Laws of Nature by Ilya Prigogine, Nobel Laureate. Copyright 1998, The Free Press, N.Y. (Türkçesi: Kesinliklerin sonu (La Fin des Certitudes) PRIGOGINE Ilya Çeviren: SARI SARMAL Süheyla Yayınevi, 1999; ISBN:975-8304-24-0; 187.sayfa.)
- [2] HAMAMCI Serdar E., UÇAR Ahmet ve KÖKSAL Muhammet. ‘Değişken bobinli bir Chua Devresinde deney ve simülasyonla kaosu gözlemlenmesi’ sf.43
- [3] Transactions of the New York Academy of Sciences, LORENZ E., 409(1963)
- [4] Raslantı ve Kaos, RUELLE David, Tübitak Yayınları
- [5] KAOS, GLEICK James, Tübitak Yayınları
- [6] KARAKAYIS Mustafa. ‘Kaotik osilatör devrelerinin analizi ve haberleşme sistemlerinde kullanımı’, *Sakarya Üniv. Doktora Tezi*, 2005
- [7] BAILEY A. S., Biomimetic control with a feedback coupled nonlinear oscillator: insect experiments, design tools, and hexapedal robot adaptation results. *Mech. Eng. Progr.* 2004; 18(3): 22.
- [8] KILIÇ Recai, ALÇI Mustafa, TOKMAKÇI M. ‘The simulation of chaotic neuron model proposed for chaotic neural networks’ 2nd int. symposium on intelligent manufacturing systems. Page-303.Sakarya-August 1998
- [9] MATSUMOTO T., CHUA L. O. And KOMURO M., The Double Scroll,IEEE Trans. On Circuit and Systems. Vol cas 32, no 8,p. 798-804, 1985.
- [10] CHEN G., UETA T., Yet another chaotic attractor, *Int. J. Bifurcation and Chaos*, 1999;9:1465-1466.
- [11] SAMARDZIJA N., GRELLER LD., Explosive route to chaos through a fractal torus in a generalized Lotka-Volterra model, *Bulletin of Mathematical Biology*, 1988;50(5):465-491.

- [12] MOORE, DW., SPIEGEL EA., A thermally excited nonlinear oscillator, *Astrophys. J.*, 1966;143(3):871-887.
- [13] CHUA LO., ITOH M., KOCAREV L., ECKERT K., Chaos Synchronization in Chua's Circuit, *International J. of Bifurcation&Chaos*, 1993;3: 93-108.
- [14] NAKAAJI Y., NISHIO Y., Synchronization of Chaotic Circuits with Transmission Line, *Proceedings of RISP International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing NCSP'06*, 2006;353-356.
- [15] SANO S., UCHIDA A., YOSHIMORI S., ROY R., Dual synchronization of chaos in Mackey-Glass electronic circuits with time-delayed feedback, *Physical Review E*, vol.75, 2007;1(016207):1-6.
- [16] CARROLL TL., PECORA LM., Synchronizing Chaotic Circuits, *IEEE Trans. On Circuits&Systems*, 1991;38:453-456.
- [17] PEHLİVAN İhsan. 'Yeni Kaotik Sistemler: Elektronik Devre Gerçeklemeleri, Senkronizasyon ve Güvenli Haberleşme Uygulamaları', *Sakarya Üniv. Doktora Tezi*, 2007
- [18] 406 sayılı Telgraf ve Telefon Kanununun, "Temel İlkeler, Esaslar ve Tanımlar" ı düzenleyen 1 inci maddesinde Telekomünikasyon bu şekilde tanımlanmıştır.
- [19] ÖZTÜRK Atilla. 'Mobil Telekomünikasyon Lisans Rejimi: Dünya örnekleri ve Türkiye Analizi', *Uzmanlık Tezi*.
- [20] ZHENG Y., LIU Z., ZHOU J., A new synchronization principle and application to Chua's circuits, *International Journal of Bifurcation& Chaos in Applied Sciences & Engineering*, 2002;12(4):815-818.
- [21] HRAMOV AE., KORONOVSKI AA., An approach to chaotic synchronization, *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 2004;14(3):603-610
- [22] KOCAREV L., HALLE KS., ECKERT K., CHUA L.O., PARLITZ U., Experimental Demonstration of Secure Communications via Chaotic Synchronization, *International J. of Bifurcation&Chaos*, 1992;2:709-713.
- [23] KENNEDY MP., CHUA LO, Van Der Pol and Chaos, *IEEE Trans. Circuit Syst.*, 1986;CAS-33:974-980.
- [24] PECORA LM., CARROLL TL., Synchronization in Chaotic Systems, *Phys. Rev. Lett.*, 1990;64:821-824.
- [25] PECORA LM., CARROLL TL., Driving systems with chaotic signals, *Physical review A* , 1991;44:2374-2383

- [26] PARLITZ U, CHUA LO., HALLE KS., SHANG A., Transmission of Digital Signals by Chaotic Synchronization, *International J. of Bifurcation&Chaos*, 1992;2:973-977.
- [27] HALLE KS., WU CW., ITOH M., CHUA LO., Spread Spectrum Communication Through Modulation of Chaos, *International J. of Bifurcation&Chaos*, 1993;3: 469-477.
- [28] DEDIU H., KENNEDY M.P, HASLER M., Chaos shift Keying: Modulation and Demodulation of a Chaotic Carrier Using Self-Synchronizing Chua's Circuits, *IEEE Trans. Circuits&Syst.-I*, 1993;40:634-642.
- [29] WU CW., CHUA LO., A Simple Way to Synchronize Chaotic Systems with Applications to Secure Communication Systems, *International J. of Bifurcation&Chaos*, 1993;3:1919-1627.
- [30] LOZI R., CHUA LO., Secure Communications via Chaotic Synchronization II: Noise Reduction by Cascading Two Identical Receivers, *International J. of Bifurcation&Chaos*, 1993;3:1319-1325.
- [31] HAYES S., GREBOGI C., OTT E., Communicating with Chaos, *Phys. Rev. Lett.*, 1993;70: 3031-3034.
- [32] FREY DR, Chaotic Digital Encoding: An Approach to Secure Communication, *IEEE Trans. Circuits&Syst.II* , 1993;40:660-666.
- [33] PARLITZ U., ERGEZINGER S., Robust Communication Based on Chaotic Spreading Sequences, *Phys. Lett. A*, 1994;188:146-150.
- [34] CARROLL T.L, Communicating with Use of Filtered, Synchronized Chaotic Signals, *IEEE Trans. Circuits&Syst.-I*, 1995;42:105-110.
- [35] MILANOVIC V., ZAGHLOUL M.E., Improved Masking, Algorithm for Chaotic Communications Systems, *Electronics Letters*, 1996;32:11-12.
- [36] BÖHME F., SCHWARZ W., The Chaotizer-Dechaotizer Channel, *IEEE Trans. Circuits&Syst.-I*, 1996;43:596-599.
- [37] LIU J., WU YX, XIAO J.H., ZHANG YH., Multi-State Chaos Shift Keying Modulation System Using Feedback Synchronizing, *Electronics Letters*, 1996;32:714-715.
- [38] KOLUMBAN G., KENNEDY MP, CHUA LO., The Role of Synchronization in Digital Communications using Chaos-PartI: Fund. of Digital communications, *IEEE Trans. Circuits&Syst.-I*, 1997;44:927-936.
- [39] CORRON NJ, HAINS DW., A New Communications Using Chaotic Signals, *IEEE Trans. Circuits&Syst.-I*, 1997;44:373-382.

- [40] MORGUL O., AKGUL M., A switching synchronization scheme for a class of chaotic systems, *Physics Letters A*, 2002;301:241-249.
- [41] KHADRA A., LIU X., SHEN X., Application of Impulsive Synchronization to Communication Security, *IEEE Transactions on Circuits and Systems I*, 2003;50(3):341-351.
- [42] YANG T, A survey of chaotic secure communication systems, *International Journal of Computational Cognition*, 2004;2(2):81–130.
- [43] EMADZADEH AA., HAERİ M., Global Synchronization of Two Different Chaotic Systems via Nonlinear Control, *ICCAS2005*, Korea, 2005; June 2-5
- [44] PEHLİVAN İ, UYAROĞLU Y., Rikitake Attractor and it's synchronization application for secure communication systems, *Journal of Applied Sciences*, 2007;7(2):232-236
- [45] CUOMO KM., OPPENHEIM AV., Circuit Implementation of Synchronized Chaos with applications to Communication, *Phys. Rev. Lett.*, 1993;71:65-68.
- [46] CUOMO KM., OPPENHEIM AV., STROGATZ S. H., Synchronization of Lorenz-based chaotic circuits with applications to communications, *IEEE Trans. Circuits Syst.*, 1993;40(10):626–633.

ÖZGEÇMİŞ

Abdullah GÖKYILDIRIM, 02.06.1982’de Ankara’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ankara’da tamamladı. 2000 yılında Yahya Kemâl Beyatlı Lisesi’nden mezun oldu. 2001–2005 yılları arasında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fak. Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü’nü okudu. 2005 yılından beri, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Müh. ABD, Elektrik Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans Eğitimi’ne devam etmektedir.