

# Burke Shaw Kaotik Sisteminin Güvenli Haberleşme İçin Elektronik Devre Gerçekleşmesi ve Senkronizasyon Uygulaması

İsmail Koyuncu, Yılmaz Uyaroğlu, İhsan Pehlivan

**Abstract—** In this paper, Simulink and Pspice modeling of the Burke-Shaw chaotic system are introduced. Synchronization studies of the modeled chaotic systems were performed using Pecora-Carroll (P-C) method. Usability of the Burke-Shaw chaotic system for signal masking and secure communication applications was showed as a result of the synchronization of modeled Burke-Shaw attractors. Burke-Shaw oscillators having different initial conditions are synchronized completely in a very short time in performed synchronization. Chaotic oscillator of the Burke-Shaw system designed with analog electronics elements is first time introduced by this paper. Different signal masking applications having an other methods would be realized using electronic circuit modeling of the Burke-Shaw system given in this paper,

**Index Terms—** Chaos, Chaotic system, Burke Shaw chaotic oscillator, chaotic synchronization

**Özet—** Bu çalışmada, Burke Shaw kaotik sisteminin Simulink ve Pspice programları ile yapılan modellemesi tanıtılmaktadır. Modellenen kaotik sistemlerin Pecora-Carroll (P-C) metodu ile senkronizasyon çalışması yapılmıştır. Modellenen Burke Shaw çekicilerinin senkronizasyonu ile, sinyal gizleme ve güvenli haberleşme uygulamaları için Burke-Shaw sistemin kullanılabilmesi gösterilmiştir. Gerçekleştirilen senkronizasyonda farklı başlangıç şartlarında çalıştırılan Burke Shaw osilatörleri çok kısa bir sürede tam olarak senkronize olmaktadır. Burke-Shaw sisteminin analog elektronik elemanlar ile tasarlanan kaotik osilatörü ilk defa bu makale ile tanıtılmıştır. Burke-Shaw sisteminin bu makalede verilen elektronik devre modellemesi kullanılarak, farklı yöntemler kullanan değişik sinyal gizleme uygulamaları yapılabilir.

**Anahtar Kelimeler—**Kaos, Kaotik sistem, Burke Shaw kaotik osilatör, kaotik senkronizasyon

İ. Koyuncu, Düzce University, Department of Control and Automation, Duzce Vocational High School, Uzun Mustafa Mh, 81010 Duzce, Turkey, +90 0 380 5240099, ismailkoyuncu@duzce.edu.tr.

Y. Uyaroğlu, Sakarya University, Engineering Faculty, Electrical Electronics Engineering, 54050, Esentepe Campus, Sakarya, Turkey, uyaroglu@sakarya.edu.tr.

İ. Pehlivan, Sakarya University, Faculty of Technology, Electrical and Electronics Engineering Department, , 54187, Esentepe Campus, Sakarya, Turkey, ipehlivan@sakarya.edu.tr.

## I. INTRODUCTION

Kaos, düzensiz görünümlü davranışlar sergileyen ancak kendine has bir düzene sahip olan dinamik sistemlerde bilinen en karmaşık kararlı hal davranışdır. Kaos, doğrusal olmayan, zamanla değişen sistemlerde ortaya çıkan bir durum olmakla birlikte bu tür sistemler literatürde kelebek etkisi olarak adlandırılmaktadır. Kaosun ve kaotik işaretlerin başlıca önemli özellikleri; zaman boyutunda düzensizliği, sınırsız sayıda değişik periyodik salınımlar içermesi, gürültü benzeri geniş güç spektrumuna sahip olması, limit kümesinin parçalı (fraktal) boyutlu olması, genliği ve frekansını tespit edilemeyen, ancak sınırlı bir alanda değişen işaretler içermesidir. Kaotik sistemlerin en büyük özelliği başlangıç koşullarına hassas bağlı olmalarıdır. Kaos tabanlı sistemlerde genel olarak sisteme ilk bakıldığında işaretler karmaşık bir görünüm sergilediklerinden dolayı sistemde herhangi bir periyodiklik veya düzen gözlemlenememektedir [1, 2].

Literatürde en çok çalışma yapılan ve kaotik dinamikleri en iyi bilinen otonom sistemler Chua osilatörü, Rössler osilatörü ve Lorenz sistemidir [3, 4, 5]. Chua devresi [6], basit bir devre yapısına sahip olmasına rağmen kompleks dallanma ve kaos sergilemesi dolayısıyla elektronikteki kaos olayının açıklanmasında model devre olmuştur.

Günümüzde kaos tabanlı uygulamalar, kriptoloji [7], elektronik ve güvenli haberleşme [8 ve 9], kontrol ve sürücü sistemleri [10], hava durumu tahminleri [5] gibi pekçok alanda uygulanabilirliğini kanıtlamıştır. Ayrıca kaotik sistemler, tahmin edilemez özelliklere ve gürültü benzeri geniş bir spektruma sahip olmalarından dolayı, kriptoloji ve güvenli haberleşme uygulamalarında oldukça yaygın bir biçimde kullanılmaya başlanmıştır.

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. Bir diğer önemli nokta ise kaotik sistemler başlangıç değerlerine üstel olarak duyarlı sistemler olup, bunların çözümlerinin uzun zaman aralıkları için öngörülmesi mümkün olmamaktadır. Bunun yanında kaotik işaretlerin periyodik olmamaları nedeniyle, frekans spektrumları sürekli ve geniştir. Bu gibi özellikler taşımalarından dolayı yaygın bir biçimde kriptoloji

ve güvenli haberleşmede Lorenz, Chua, Chen, Rossler, Lü, Duffing gibi kaotik tabanlı sistemler kullanılmaktadır [11-16].

Bu çalışmada birinci bölümde kaos ve kaotik sinyaller hakkında genel bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde Matlab-Simulink ile Burke Shaw kaotik sisteminin modellenmesi ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Modelin analog elektronik devre elemanları ile gerçekleştirilebilirliğini göstermek için Orcad-Pspice programında elektronik devre tasarımı yapılmıştır. Üçüncü bölümde, Burke Shaw kaotik sisteminin Matlab-Simulink ve Orcad Pspice üzerinde senkronizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Son bölüm sonuçlar ve değerlendirmeleri içermektedir.

## II. BURKE SHAW KAOTİK SİSTEMİNİN MATLAB-SIMULINK VE ELEKTRONİK DEVRE MODELLEMESİ

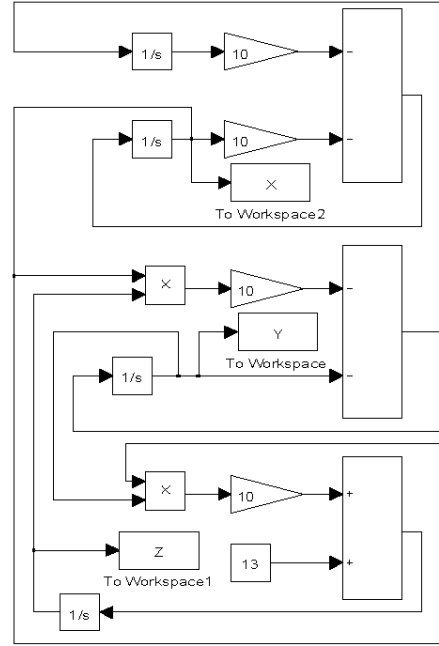
Burke-Shaw nonlinear otonom kaotik sistemi için denklem takımları aşağıda (1) verilmektedir.

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= -\alpha \cdot x - \alpha \cdot y \\ \frac{dy}{dt} &= -\alpha \cdot x \cdot z - y \\ \frac{dz}{dt} &= \alpha \cdot x \cdot y + \beta \end{aligned} \quad (1)$$

Bu denklem takımlarındaki  $\alpha$  ve  $\beta$  parametrelerinin değişimi kaotik sistemin dinamik davranışını değiştirmektedir. Bu nedenle bu parametrelerin değeri oldukça önemlidir. Yapılan çalışmada  $\alpha$  parametresi 10.0 ve  $\beta$  parametresi ise 13.0 olarak seçilmiştir. Kaotik sistem başlangıç koşulları  $x_0=0.6$ ,  $y_0=0.0$  ve  $z_0=0.0$ 'tir.

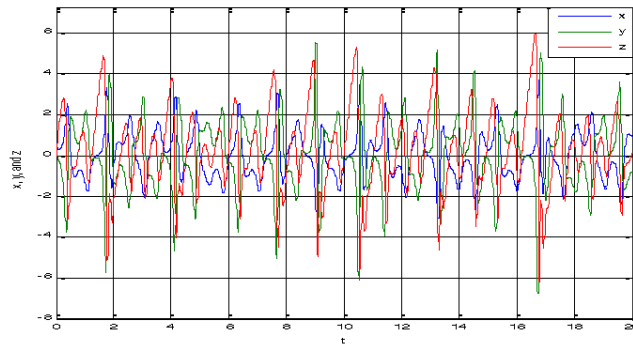
İlk olarak yukarıda verilen Burke Shaw kaotik sistemi, yapılan elektronik devre tasarımı sonuçlarını doğrulamak amacıyla Matlab-Simulink programında modellenmiştir. Şekil

1'de Burke Shaw kaotik sisteminin Matlab-Simulink'de yapılan modellenmesi görülmektedir.

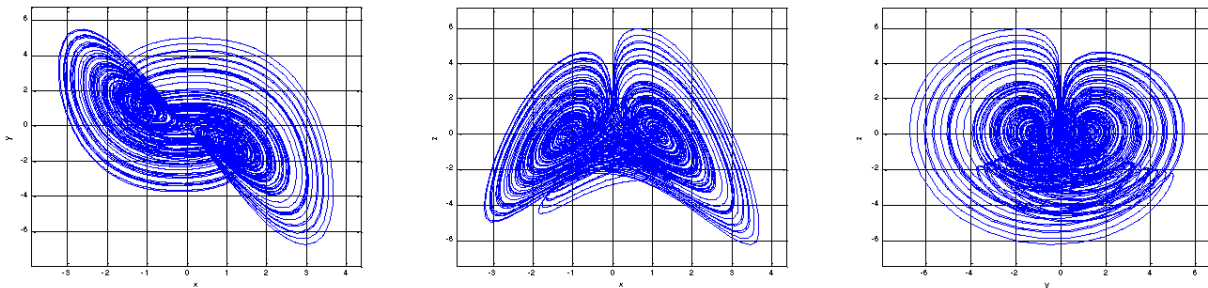


Şekil 1. Burke Shaw kaotik sistemi Matlab-Simulink modeli

Şekil 2'de ve Şekil 3 (a), (b) ve (c)'de Burke Shaw kaotik sistemi Matlab-Simulink programı modelleme sonuçlarından elde edilen çıkış grafikleri verilmiştir. Şekil 3 (a) Burke Shaw kaotik sisteminin x çıkışının y çıkışına göre, Şekil 3 (b) x çıkışının z çıkışına göre ve Şekil 3 (c) y çıkışının z çıkışına göre değişimini göstermektedir.



Şekil 2. Burke Shaw kaotik sistemi x, y, ve z çıkış grafikleri.



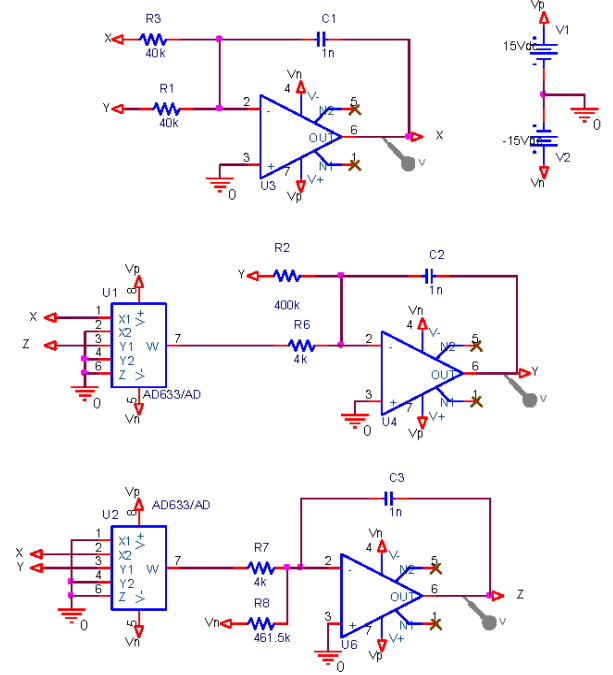
Şekil 3. Matlab-Simulink programı modelleme sonuçlarından elde edilen çıkış grafikleri

(a) x sinyalinin y sinyaline göre değişimi (b) x sinyalinin z sinyaline göre değişimi (c) y sinyalinin z sinyaline göre değişimi

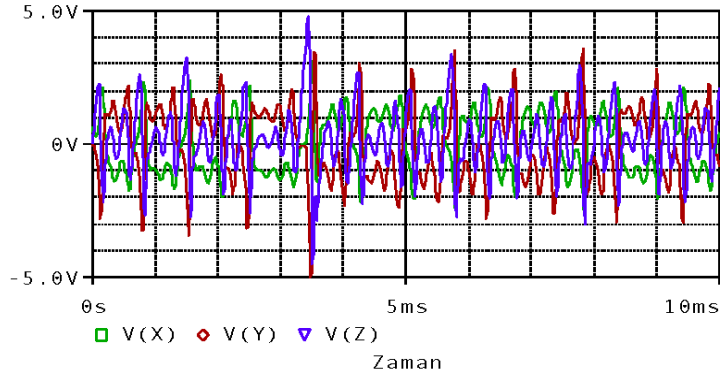
Burke Shaw kaotik osilatörünün denklemleri ORCAD-Pspice elektronik tasarım programı ile analog elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Sistemde üç adet TL081 op-amp, iki adet AD633 çarpıcı, üç kapasitör ve değişik değerlere sahip altı adet direnç elemanı kullanılmıştır. Devre bağlantılarının karmaşık görünümünden kurtarılması amacıyla bazı sinyaller sadece isimleri kullanılarak verilmiştir. Devrede kullanılan işlemsel yükselteçler (opamp) ve çarpıcı üniteleri simetrik 15V güç kaynağı ile beslenmiştir. Bu analog elektronik elemanlar kullanılarak Burke Shaw kaotik sistemi modellendiğinde diferansiyel denklem eşitlikleri (2) aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= -\left(\frac{1}{R_3 C_1}\right) \cdot x - \left(\frac{1}{R_1 C_1}\right) \cdot y \\ \frac{dy}{dt} &= -\left(\frac{1}{R_2 C_2}\right) \cdot x \cdot z - \left(\frac{1}{R_2 C_2}\right) \cdot y \\ \frac{dz}{dt} &= \left(\frac{1}{R_7 C_3}\right) \cdot x \cdot y + \left(\frac{1}{R_8 C_3}\right) \cdot V_n \end{aligned} \quad (2)$$

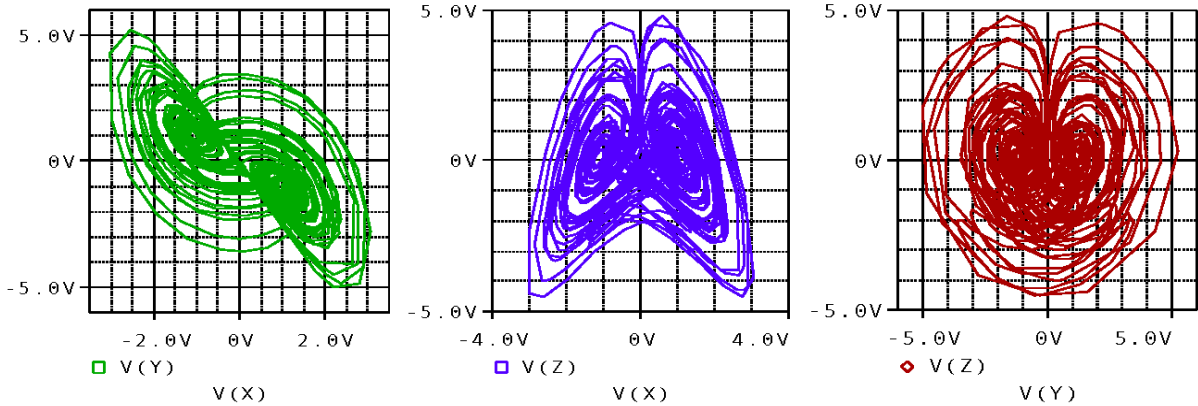
Şekil 4'te ORCAD-Pspice programında tasarımı yapılan Burke-Shaw kaotik sistemin elektronik devre şeması görülmektedir. Şekil 5 ve 6'da ise kaotik sistemin elektronik devresine ait simülasyon sonuçları verilmiştir.



Şekil 4: Burke Shaw kaotik sisteminin elektronik devre şeması.



Şekil 5: Burke Shaw kaotik osilatörünün PSpice simülasyon sonuçları



Şekil 6 Burke Shaw kaotik osilatörünün PSpice simülasyon sonuçları

(a) x sinyalinin y sinyaline göre değişimi (b) x sinyalinin z sinyaline göre değişimi (c) y sinyalinin z sinyaline göre değişimi

### III. BURKE SHAW KAOTİK OSİLATÖRLERİNİN SENKRONİZASYON UYGULAMALARI

Kaos tabanlı osilatörler kullanılarak yapılan senkronizasyon çalışmaları güvenli haberleşme uygulamalarında oldukça fazla ilgi çekmektedir. Çünkü kaos tabanlı senkronizasyon sistemleri güvenli bir haberleşme ve sinyal işleme için potansiyel uygulamalar sağlamaktadır. İki kaos tabanlı sistemin senkronize edilmesi için temelde tek-yönlü kuplaj yöntemi ve peş peşe bağlama yöntemi olarak tanımlanan Pecora-Carroll (P-C) yöntemi [17, 18] kullanılmaktadır. Bu iki metodun temel çalışma biçimi bir mesaj sinyalinin, verici tarafından, senkronizasyonda bulunan bir kaotik sinyalin güdümü altında, alıcıda yeniden oluşturulabilecek şekilde gönderilmesi şeklindedir.

Bu bölümde Matlab-Simulink ve Orcad-Pspice programları kullanılarak iki adet Burke Shaw kaotik sisteminin senkronizasyon modelleri ve bu sistemlerden elde edilen simülasyon sonuçlarını sunulmaktadır.

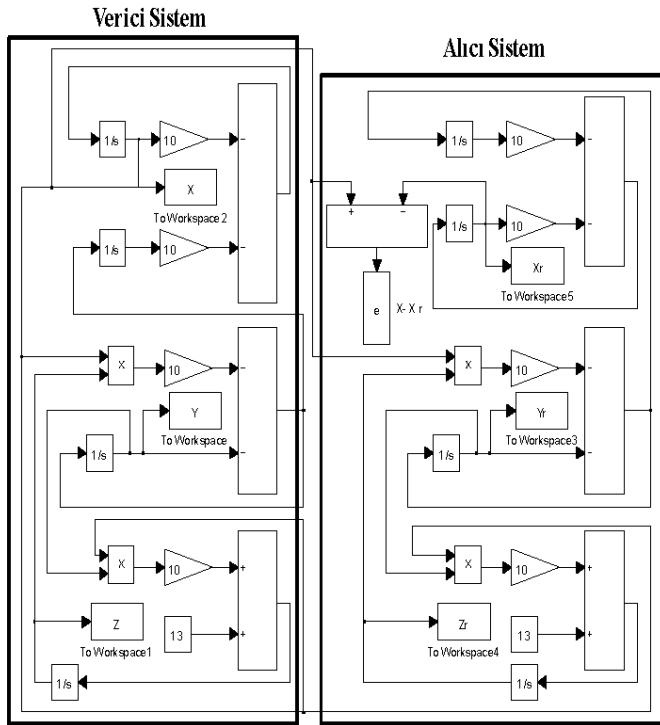
Pecora-Carroll senkronizasyon metodunun Burke Shaw kaotik sistemine uygulanabilmesi amacıyla ilk olarak Verici Burke Shaw ve Alıcı Burke Shaw yapıları oluşturulmalıdır. Verici Burke Shaw (3) ve Alıcı Burke Shaw (4) yapılarının oluşturulması için gerekli denklemler aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} dx/dt &= -\alpha \cdot x - \alpha \cdot y \\ dy/dt &= -\alpha \cdot x \cdot z - y \end{aligned} \quad (3)$$

$$dz/dt = \alpha \cdot x \cdot y + \beta$$

$$\begin{aligned} dx_r/dt &= -\alpha \cdot x_r - \alpha \cdot y_r \\ dy_r/dt &= -\alpha \cdot x_r \cdot z_r - y_r \end{aligned} \quad (4)$$

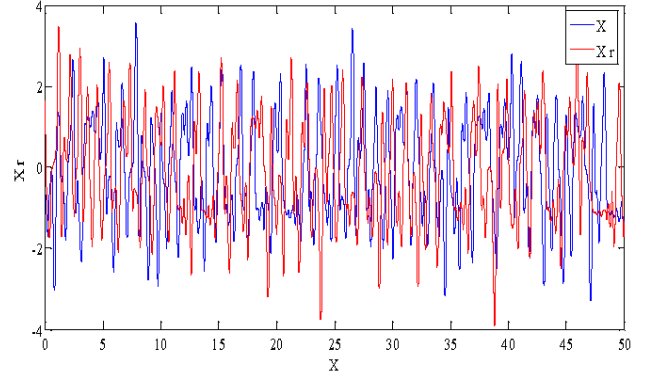
$$dz_r/dt = \alpha \cdot x_r \cdot y_r + \beta$$



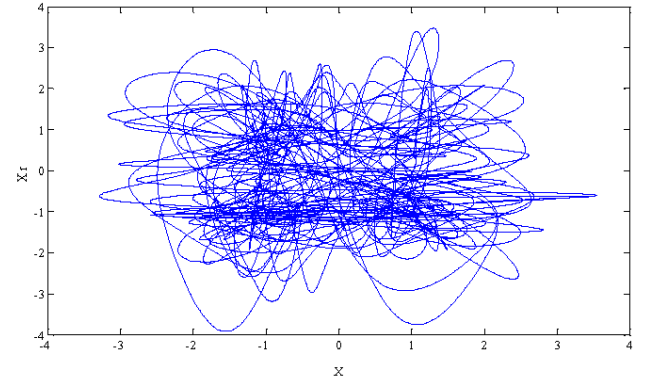
Şekil 7. Burke Shaw kaotik sistemi için Matlab-Simulink programı ile modellenen senkronizasyon sistemi

Şekil 7'de bu denklemlere ait kaotik sistemi için Matlab-Simulink programı ile modellenen Verici ve Alıcı Burke Shaw osilatörleri ile elde edilen senkronizasyon sistemi verilmektedir. Burada Sürücü (Verici) devrenin başlangıç şartları  $x_0=0.6$ ,  $y_0=0.0$  ve  $z_0=0.0$  ve alıcı devrenin başlangıç şartları ise  $x_0=1.0$ ,  $y_0=0.0$  ve  $z_0=0.0$  olarak alınmıştır.

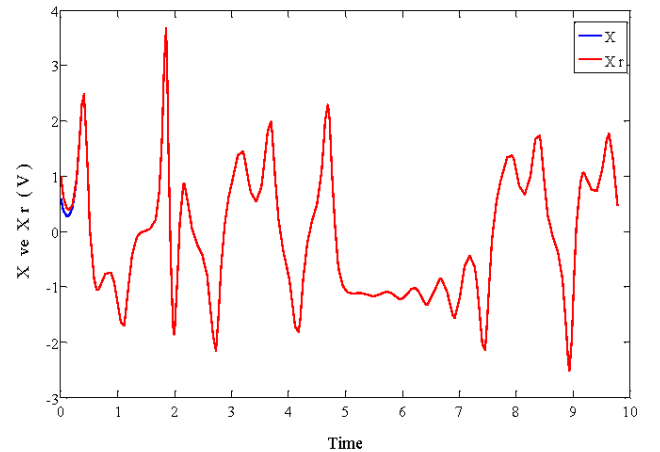
Senkronizasyon öncesi, Verici ve Alıcı Burke-Shaw osilatörlerine ait kaotik X ve  $X_r$  sinyallerinin zaman göre değişimi Şekil 8'de, bu sinyallere ait faz portresi ise Şekil 9'da verilmiştir.



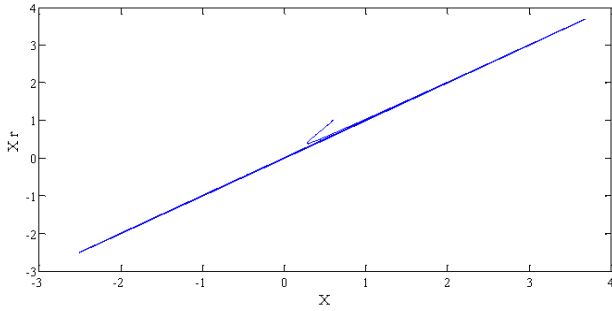
Şekil 8. Burke Shaw Verici ve Alıcı kaotik osilatörlerine ait senkronizasyon öncesi X ve  $X_r$  sinyalleri.



Şekil 9. Senkronizasyon öncesi Vericiye ait X sinyali ile Alıcıya ait  $X_r$  sinyaline ait faz portresi

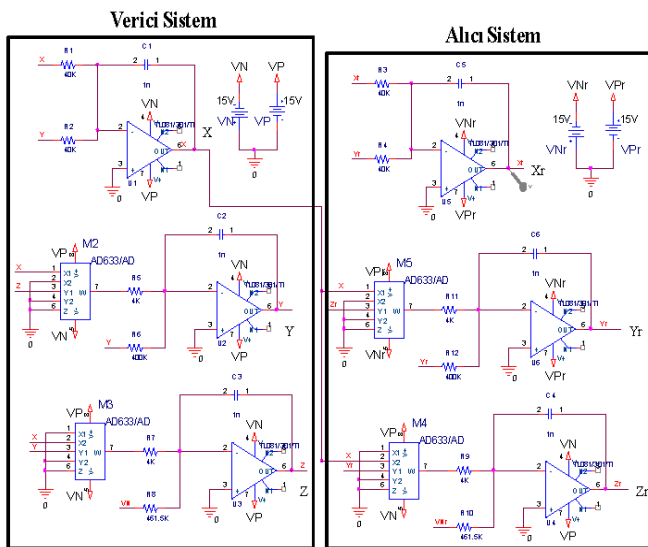


Şekil 10. Burke Shaw Verici ve Alıcı kaotik osilatörlerine ait senkronizasyon sonrası X ve  $X_r$  sinyalleri.



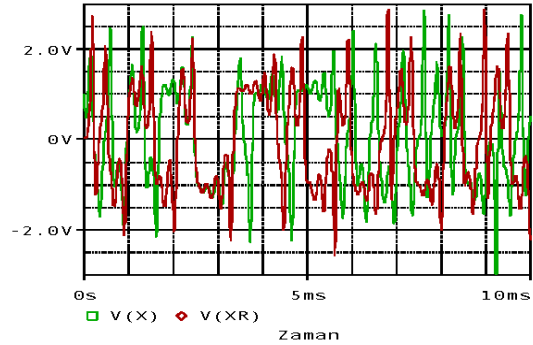
Şekil 11. Senkronizasyon sonrası Vericiye ait X sinyali ile Alıcıya ait Xr sinyali ait faz portresi

P-C yöntemi ile yapılan senkronizasyon işleminde sürücü (verici) devrenin başlangıç şartları  $x_0=0.6$ ,  $y_0=0.0$  ve  $z_0=0.0$  ve alıcı devrenin başlangıç şartları ise  $x_0=1.0$ ,  $y_0=0.0$  ve  $z_0=0.0$  olarak alınmıştır. Senkronizasyon öncesi başlangıç şartları farklı alındığında kaotik sistemler arasında senkronizasyon bulunmamaktadır. Senkronizasyon işlemi sonunda başlangıç şartları farklı olmasına rağmen Sürücü ve Alıcı sistemler 0,876ms gibi çok kısa bir sürede senkronize olmuştur. Yapılan modelleme ve simülasyon işlemlerinin doğruluğunun gösterilmesi hem de gerçek elektronik devre tabanlı uygulamalar için gerçekleştirilebilirliğinin kanıtlanması bakımından aynı işlemler Orcad Pspice tasarım programında da gerçekleştirilmiştir. Şekil 12’de Orcad PSpice ile modellenen Burke Shaw senkronizasyon sisteminin elektronik devre modeli verilmiştir. Senkronizasyon metodu olarak Pecora-Carroll (P-C) yöntemi seçilmiştir. Bu yöntemde iki adet Burke Shaw kaotik sistemi kullanılarak senkronize işlemi yapılmıştır. Bu sistemlerden ilki Verici sistem, ikincisi ise Alıcı sistem olarak tanımlanmaktadır. Sürücü sistemin senkronizasyonu X, Y, veya Z sinyal çıkışlarından birisi kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bu yapıda Sürücü sisteminden alınan X sinyal çıkışı, Alıcı sistemin ikinci ve üçüncü denklemlerindeki Xr sinyalleri yerine kullanılmaktadır.

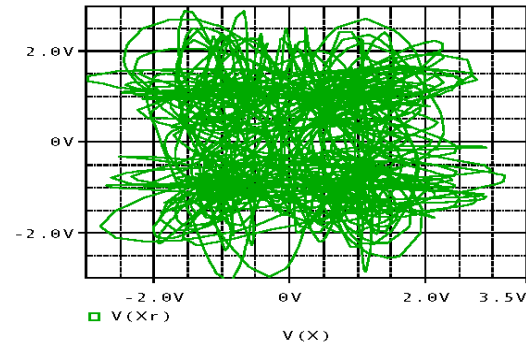


Şekil 12. Burke-Shaw kaotik sistemlerinin Orcad-PSpice ile modellenen senkronizasyon devresi

Orcad-PSpice elektronik devre tasarım programı kullanılarak gerçekleştirilen Burke Shaw kaotik sistemi senkronizasyon modelinin senkronizasyon öncesi Verici ve Alıcı osilatörlerine ait kaotik X ve Xr sinyallerinin zamana göre değişimi Şekil 13’te ve bu sinyallere ait faz portresi ise Şekil 14’te verilmiştir. Buradaki grafiklerden elde edilen sonuçlar ile nümerik yöntem kullanılarak modellenmesi yapılan kaotik senkronizasyon sisteminin sonuçları birbirini doğrulamaktadır.

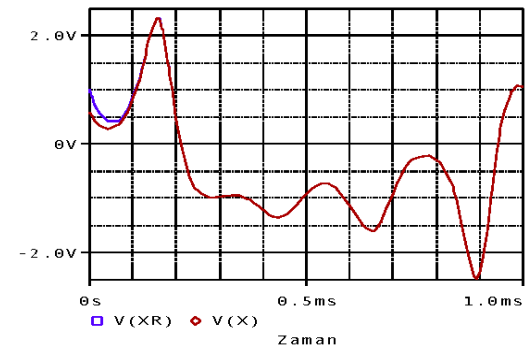


Şekil 13. Burke Shaw Verici ve Alıcı kaotik osilatörlerine ait senkronizasyon öncesi X ve Xr sinyalleri.

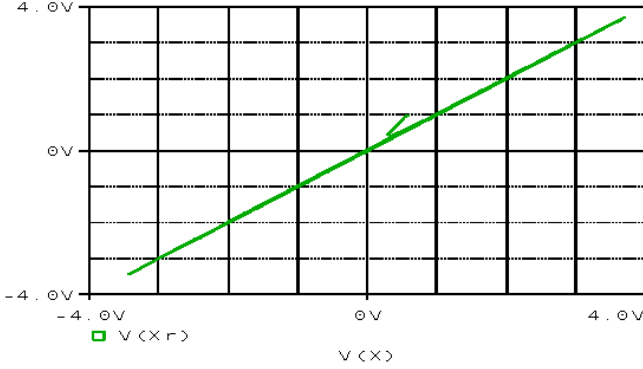


Şekil 14: Senkronizasyon öncesi Vericiye ait X sinyali ile Alıcıya ait Xr sinyali arasındaki faz portresi

Şekil 15’te senkronizasyon sonrası elektronik devre çıkışları verilmiştir. Sürücü sistemin başlangıç şartları  $x_0=0.6$ ,  $y_0=0.0$  ve  $z_0=0.0$  ve alıcı devrenin  $x_0=1.0$ ,  $y_0=0.0$  ve  $z_0=0.0$ ’dır. Farklı başlangıç değerlerine sahip kaotik çıkış değişkenleri, 1ms’den az bir süre içerisinde senkronize olmuştur.



Şekil 15. Burke-Shaw Verici ve Alıcı kaotik osilatörlerine ait senkronizasyon sonrası X ve Xr sinyalleri.



Şekil 16. Senkronizasyon sonrası Vericiye ait X sinyali ile Alıcıya ait Xr sinyalinin faz portresi

#### IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Burke Shaw kaotik sisteminin Simulink ve OrCAD-PSpice programları ile kaotik sistem modellemesi gerçekleştirilmiştir. Bu kaotik sistemler kullanılarak senkronizasyon çalışması yapılmış ve senkronizasyon yöntemi olarak Pecora-Carroll (P-C) metodu seçilmiştir. P-C yöntemi kullanılarak yapılan Burke Shaw çekicisinin senkronizasyonunu ile güvenli haberleşme uygulamaları için kullanılabilceği gösterilmiştir. Simülasyon sonuçlarından görüleceği gibi farklı başlangıç şartlarında çalıştırılan Burke Shaw osilatörleri 0,876ms gibi çok kısa bir sürede tam olarak senkronize olmaktadır. Burke Shaw kaotik sisteminin senkronize olduğunun görülmesi sinyal gizleme amaçlı uygulamalar için uygun olabileceğini göstermektedir. Bu bildiri ile ilk defa elektronik devresi sunulan Burke Shaw kaotik osilatörü kullanılarak değişik metotlarla sinyal gizleme amaçlı yeni devreler tasarlanabilir.

Ayrıca gerçekleştirilen senkronizasyon çalışmalarının doğruluğunu ve yapılan modellemelerin elektronik devre tabanlı gerçekleştirilebilirliğini göstermek amacıyla aynı kaotik sistem Orcad Pspice program kullanılarak modellenmiştir. Böylece kaotik sistem yapılarının analog elektronik elemanlar kullanılarak gerçekleştirilebilirliği ortaya konulmuştur.

Kaotik işaretlerin elektronik mühendisliğindeki önemli araştırma ve uygulama alanları arasında şifreleme, güvenli haberleşme düzenekleri oluşturma, gürültü üreticileri, ikili-kodlu rasgele sayı üreticileri bulunmaktadır. Bu uygulamalarda kullanılması gereken temel yapı, gerekli kaotik işaret üreten bir kaos üreticidir. Yeni ve farklı özelliklere sahip kaotik işaret üreticilerinin literatüre kazandırılması gerekliliği de her zaman bulunmaktadır. Bu çalışma ile yeni ve farklı dinamik özelliklere sahip bir kaotik işaret üretici literatüre kazandırılmıştır.

İleriki çalışmalarda Burke Shaw kaotik sisteminin analog devre elemanları ile gerçekleştirilmesi düşünülmektedir. Ayrıca kaotik sisteminin FPGA (Field Programmable Gate Array-

Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri) tabanlı modellemesi ve senkronizasyon çalışmasının yapılması planlanmaktadır. Bu çalışma ile dijital tabanlı kaotik işaret üreten çipler ile analog elektronik malzemelerin önemli bir dezavantajı olan sıcaklık ve kullanım ömrü ile değerlerinin değişmesi gibi sistem dinamiklerini doğrudan etkileyen olumsuz yönleri giderilmiş olacaktır.

#### REFERENCES

- [1] İ. Pehlivan, Y. Uyaroğlu, "Simplified Chaotic Diffusionless Lorenz Attractor and its Application to Secure Communication Systems", IET Communications, 1, 5, 1015-1022, (2007).
- [2] F.Umut, "Kaotik Zaman Serilerinin YSA ile Kestirimi: Deprem Verisi Durumu". Yıldız Teknik Univ., Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2006.
- [3] L.O. Chua, C.W. Wu, A. Huang, G. Zhong, "A Universal Circuit for Studying and Generating Chaos-Part I: Routes to Chaos", IEEE Trans. Circuits&Systems-I, 40, 732-761, 1993.
- [4] O.E. Röessler, "An equation for continuous chaos", Phys. Lett. A, 57, 397-398, 1976.
- [5] E.N. Lorenz, "Deterministic nonperiodic flow", J. Atmos. Sci., 20, 130-141, 1963.
- [6] T. Matsumoto, L.O. Chua, S. Tanama, "Simplest Chaotic Nonautonomous Circuit", Physical Rev. A, 30, 1155-1157, 1984.
- [7] O. Fındık, "Şifrelemede Kaotik Sistemin Kullanılması". Selçuk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 2004.
- [8] A. Khadra, X. Liu, X. Shen, "Application of Impulsive Synchronization to Communication Security", IEEE Transactions on Circuits and Systems I, 50(3), 341-351, 2003.
- [9] İ. Pehlivan, Y. Uyaroğlu, "Rikitake Attractor and its synchronization application for secure communication system", Journal of Applied Sciences, 7(2), 232-236, 2007.
- [10] T.C. Lin, C.H. Kuo, V.E. Balas, "Uncertain Fractional Order Chaotic Systems Tracking Design via Adaptive Hybrid Fuzzy Sliding Mode Control". International Journal of Computers, Communications & Control, Vol. 4, No. 3 (September), pp. 418-427, 2011.
- [11] G. Chen, T. Ueta, "Yet another chaotic attractor", Int. J. Bifurc. and Chaos, 9:1465-1466, 1999.
- [12] J. Lü, G. Chen, "A new chaotic attractor coined", Int. J. Bifurc. & Chaos, 12:659-661, 2002.
- [13] J. Lü, G. Chen, D. Cheng and S. Celikovskiy, "Bridge the gap between the Lorenz system and the Chen system", Int. J. Bifurc. and Chaos, 12:2917-2926, 2002.
- [14] G. Qi, S. Du and G. Chen, "On a four-dimensional chaotic system", Chaos, Solitons and Fractals, 23:1671- 1682, 2005.
- [15] Y. Ohmori, N. Nakagawa, T. Saito, "Mutual Coupling of Oscillators with Chaos and Period Doubling Bifurcation", ISCAS'85 International Conference on Circuits and Systems, 61-64, 1985.
- [16] T. Saito, "A Chaos Generator Based on a Quasi-Harmonic Oscillator", IEEE Trans. Circuits&Systems, CAS-32, 320-331, 1985.
- [17] L.M. Pecora, T.L. Carroll, "Synchronization in Chaotic Systems", Phys. Rev. Lett., 64:821-824, 1990.
- [18] L.M. Pecora, T.L. Carroll, "Driving systems with chaotic signals", Physical Rev. A, 44:2374-2383, 1991.



Ismail Koyuncu has a M.S. Degree from University of Abant İzzet Baysal, Bolu-Turkey. He is currently conducting his doctoral research in the Department of Electrical and Electronics Engineering, Sakarya University Sakarya-Turkey. He is an instructor in Control and Automation Technology Program of Duzce Vocational High School, Duzce University. His main research interests are digital system design, chaos and FPGA systems.