



# Sahada Programlanabilir Analog Dizi Kartında Kaotik Sistem Tabanlı Kalp Pili Tasarımı Design of Chaotic System Based Pacemaker on Field Programmable Analog Array Board

Alkım Gökçen

İzmir Katip Çelebi Üniversitesi  
Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği  
(İzmir, Türkiye)  
alkim.gokcen@outlook.com

Savaş Şahin

İzmir Katip Çelebi Üniversitesi  
Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği  
(İzmir, Türkiye)  
sahin.savas@yahoo.com

**Özetçe**—Bu çalışmada kaotik sistem tabanlı kalp pili tasarımı yapılmıştır. Deterministik dinamik sistem olan kaotik sistemlerden Gauss ve lojistik dönüşümün referans alındığı modellerle elektrokardiyografi (EKG) sinyali benzetim çalışmaları yapılmıştır. Sahada programlanabilir analog dizide (SPAD) kaotik sistemlerin karmaşık olan nümerik çözümleri yerine basit bir yapay sinir ağı (YSA) model ile tanılama yapılmıştır. Bu tanılama işleminde ileri beslemeli YSA modeli kullanılmıştır. Elde edilen YSA modelinin SPAD'daki gerçekleştirme sonucu ile gerçek EKG veri seti olarak sunulan sinyalle Lyapunov üstelleri karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler** — *Kaos; SPAD; EKG; ANN; Kalp pili.*

**Abstract**—In this study, a chaotic system based pacemaker implementation was performed. Electrocardiography (ECG) signal simulation studies were carried out with the dynamical deterministic systems Gauss and Logistic map referenced model. In the field programmable analog array (FPAA), a simple artificial neural network model is used instead of complex numerical models of chaotic systems. In this process, a feedforward neural network structure is used. ECG dataset and the artificial neural network models are compared with the analysis of Lyapunov exponent and results are discussed.

**Keywords** — *Chaos; FPAA; ECG; ANN; Pacemaker.*

## I. GİRİŞ

Kalp pili, kalbin kasılma işlevini tam olarak yerine getiremediği durumlarda harici bir sinyal ile uyarılmasını sağlayan cihazdır [1]. Bu cihaz kalp kasti için gerekli sinyal taklit eder ve kan dolaşım sisteminin ihtiyacı olan kalp atış ritmini oluşturur. Kaotik sistemler başlangıç koşullarına aşırı duyarlı, periyodik ve/veya doğrusal davranış göstermeyen ve kendi sistem parametrelerine duyarlı yapılarıdır [2]. Bu sistemler, farklı başlangıç koşulları altında farklı çözüm kümeleri sunarlar [3]. Kaotik sistemlerin davranışlarını incelemek ve ilgili parametrelerin sistem üzerindeki etkilerini belirlemek için dallanma grafiği ve Lyapunov üstelleri analizleri kullanılabilir. Kaotik sistemlerin uygulama alanları arasında rastgele sayı üretimi [4], biyomedikal uygulamaları [5], kontrol [6], güvenli haberleşme [7] ve kriptoloji [8] gibi alanlar bulunmaktadır.

Kalp pili için yapılan çalışmalar incelenmiş ve bu çalışmalarda mikroişlemci tabanlı bir sistem üzerinde rastgele sayı üretici gerçekleştirilmesi ile [9] veya önceden belirlenmiş örüntülerin dürtü sinyali olarak kullanılması ile [10] tasarlandıkları görülmüştür. Kalp pili elektrokardiyografi (EKG) sinyalinin benzetiminde kullanılmaktadır [11]. Yapay sinir ağları (YSA) aracılığıyla, karmaşık davranış sergileyen kaotik zaman serisi gibi tanımlanabilen EKG sinyallerinin tanılanması mümkündür [12].

Bu çalışmada kalp pili tasarımı için EKG sinyaline en yakın modeli oluşturacak kaotik dönüşüm modellerinin referans alındığı bir sistem geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu referans kaotik sistemlerin modelleri deterministik dinamik modellere sahip olup SPAD ortamında kaotik sistemlerin karmaşık olan nümerik çözümleri yerine daha az hesaplama yükü olan ileri beslemeli basit bir YSA model ile tanılama işlemi tercih edilmiştir. Tanılama işleminden sonra YSA modellerinin SPAD üzerinde gerçekleştirilmesi ile elde edilen sinyal cevapları Lyapunov üstelleri ile incelenmiştir. MATLAB ortamında bilimsel yazında mevcut kardiyak sinyal üretici [13] yardımı ile elde edilen referans EKG sinyalinin Lyapunov üstelleri ile YSA tabanlı modellerin sonuçları karşılaştırılmıştır.

Bildirinin kalan kısımları beş bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde kaotik dönüşümler açıklanmaktadır. Üçüncü bölümde YSA modelinden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde SPAD kartı ve gerçekleştirme hakkında bilgiler verilmiştir. Son bölümde çalışmanın sonuçları açıklanmıştır.

## II. GAUSS VE LOJİSTİK DÖNÜŞÜM

Gauss ve lojistik dönüşümlere EKG'ye yakın özellikler sağlayabilecek parametrelerin belirlenmesi için kullanılan analiz yöntemleri açıklanmıştır. Lyapunov üsteli analizi bir sistemin belli koşullu parametreler altında zaman içerisinde faz uzayında denge noktasından sapmasının bir ölçüsüdür [14].  $n$  boyutlu bir sistemin  $n$  tane Lyapunov üstelinden birinin pozitif değer alması sistemin kaotik davrandığını gösterir [15] (Denklem 1).  $\lambda$  değeri Lyapunov üstel değerini,  $n$  ayrı zamanı,  $p$  zaman serisini ve  $i$  ise farklı koşullar altında ki çözüm kümelerini belirtmektedir.

$$\lambda_i = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \log_2 \frac{p_i(n)}{p_i(0)} \quad (1)$$

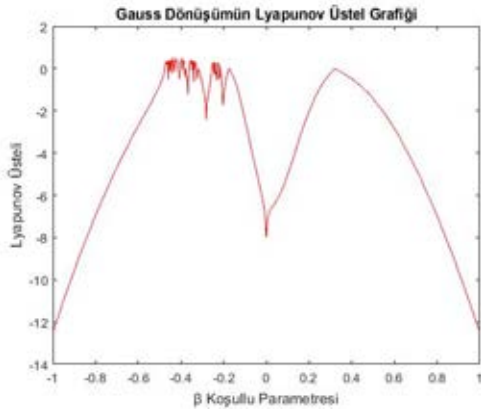
Dallanma grafiği analizi, bir kaotik sistemin parametrelerinin değişimine karşı çözüm kümesinde meydana gelen değişimleri inceler [16].

#### A. Gauss Dönüşümü

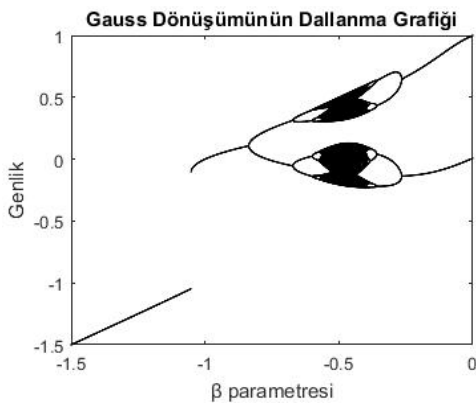
Gauss dönüşümü, Carl F. Gauss tarafından önerilen ve tekrarlamalı sistem olarak da adlandırılabilen kaotik bir sistemdir [17]. Yüksek doğrusalsızlık gösteren tek boyutlu karmaşık yapıdır. Gauss dönüşümü, Denklem 2'de verildiği gibidir.

$$x(n+1) = e^{-\alpha x(n)^2} + \beta \quad (2)$$

burada  $\alpha$  ve  $\beta$  sistem parametreleri ve  $x(n)$  başlangıç değerine bağlı davranış sergileyen dinamik değişkendir. İlgili dönüşümün yapılan analizleri sınırlı çevrim çalışma şartlarının belirlenmesi için Lyapunov üstel (Şekil 1) ve dallanma grafiği (Şekil 2) incelenmiştir. Bu çalışmalar sonucunda  $\alpha$  ve  $\beta$  parametreleri sırası ile 4.9 ve 0.59 olarak,  $x(n)$  ise 0.78 olarak seçilmiştir.



Şekil 1. Gauss dönüşümünün Lyapunov Üstel grafiği.



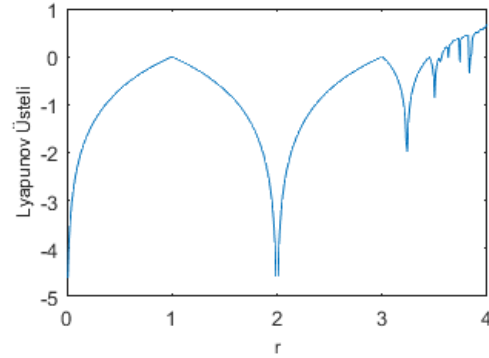
Şekil 2. Gauss Dönüşümünün Dallanma diyagramı.

#### B. Lojistik Dönüşüm

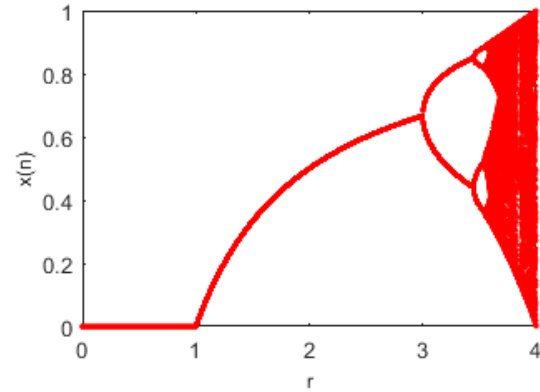
Bu sistem P. F. Verhulst tarafından 1976 yılında canlı popülasyonlarının üremesini modellemek için önerilmiştir [18] (Denklem 3).

$$x(n+1) = rx(n)(1-x(n)) \quad (3)$$

burada  $r$  parametresi ve  $x(n)$  başlangıç koşuluna göre farklı çözüm kümeleri sunan dinamik değişken. Bu çözüm kümeleri, kalp pili uygulaması için incelenmiş, Lyapunov üstel (Şekil 3) ve dallanma grafiği (Şekil 4) elde edilen sonuçlar verilmiştir. Parametre ve başlangıç koşulu değerleri  $r = 2.57$  ve 0.5 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. Lojistik Dönüşümün Lyapunov Üstel grafiği.



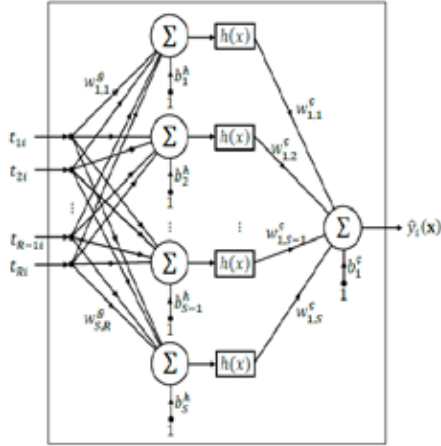
Şekil 4. Lojistik Dönüşümün Dallanma diyagramı grafiği.

### III. YSA MODEL TANILAMA ÇALIŞMALARI

YSA mühendislik çalışmalarında yaygınca kullanılan, insan beyninin öğrenme davranışının baz alındığı fizyolojik sinir hücrelerinin basit bir modelidir [19]. Giriş-çıkış verilerinden fonksiyon yaklaşımı için kullanıldığında bir hata kriterini dikkate alarak öğrenme hatasının çok küçük bir değere yakınsamasını sağlar. Çok katmanlı algılayıcı (MLP), ileri yönlü YSA modellerinden birisidir (Şekil 5). Bu model en az üç katmandan oluşur: bir giriş katmanı, bir gizli katman ve bir çıkış katmanı. MLP önce girişlerin ağırlıklı toplamlarını alır ve bunları bir aktivasyon fonksiyonlarından geçirir. Aktivasyon fonksiyonu çıkışlarının ağırlıklı toplamlarını alır ve böylece tahmin sonucu elde edilmiş olur.

Bu çalışmada dört adet nöron ve SPAD kartı gerçekleştirilmesi için doğrusal bir aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. İlgili sistemlerin çözüm kümeleri öz-yinelemeli "auto-regresive" (AR) modeli ile YSA modeli oluşturmak için kullanılmıştır. Eğitilen modellerin başarımları belirtme katsayısı

( $R^2$ )yardımı ile hesaplanmış ve ilgili değerler Gauss ve Lojistik dönüşüm için sırası ile 0.82 ve 0.84 olarak hesaplanmıştır.



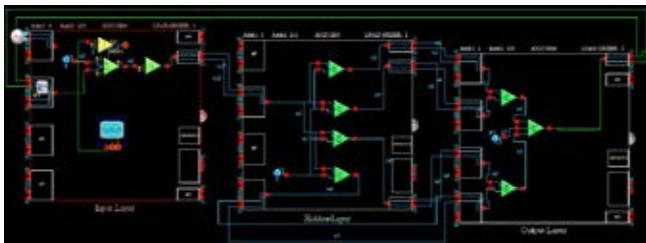
Şekil 5. Çalışmada kullanılan YSA modeli.

#### IV. QUAD AN231E04 SAHADA PROGRAMLANABİLİR ANALOG DİZİ KARTINDA GERÇEKLEME SONUÇLARI

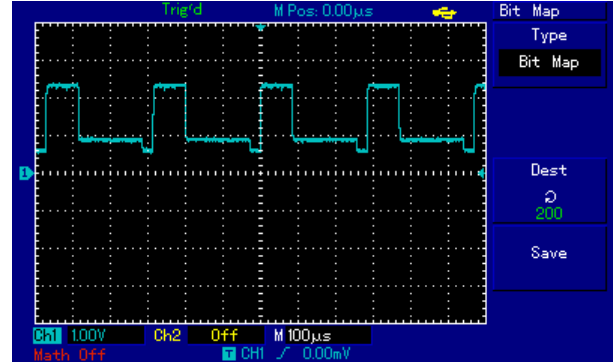
Bu çalışmada, Anadigm firması tarafından üretilen AN231E04 işlemcileri kullanılmıştır [20]. SPAD işlemcileri, Anadigm Designer 2 arayüzü üzerinde tasarlanan konfigüre edilebilir devrenin gerçekleştirilmesi için gerekli bağlantılarını yapan bit dizisinin anahtarlamalı kapasitörlere ulaştırılması ile çalışan bir işlemcidir.

SPAD kartı kullanıcı arayüzü dahilinde bulunan işlem blokları, MATLAB ortamında eğitilen model parametrelerine göre konfigüre edilmiştir (Şekil 6).

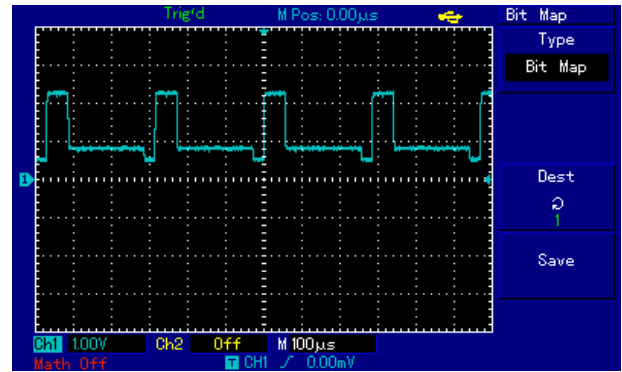
Gerçekleme sonucunda, Gauss ve Lojistik dönüşüm YSA model çıktıları SPAD kartı üzerinde bir çıkış ucuna sürülmüş ve osiloskop yardımı ile gözlemlenmiştir (Şekil 7-8).



Şekil 6.SPAD kartı üzerinde gerçekleştirilen YSA modeli.

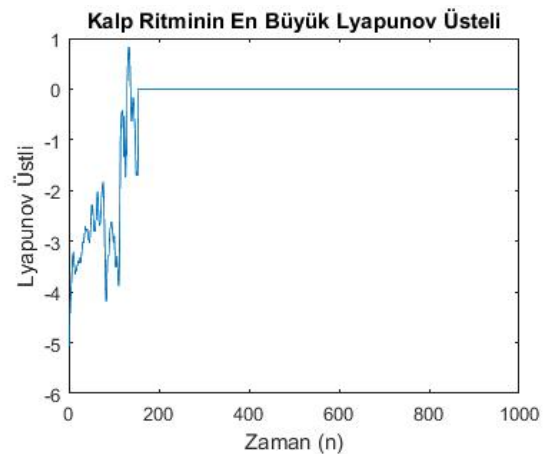


Şekil 7.Gauss dönüşümün YSA model tahmini.

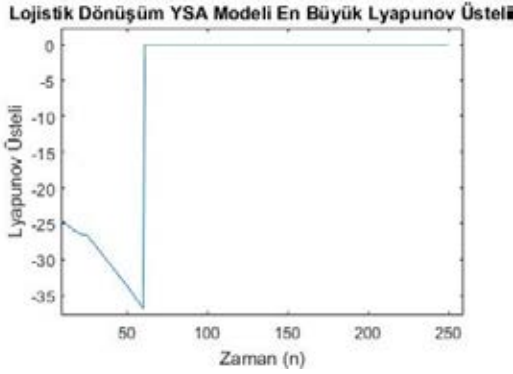


Şekil 8.Lojistik Dönüşümün YSA model tahmini

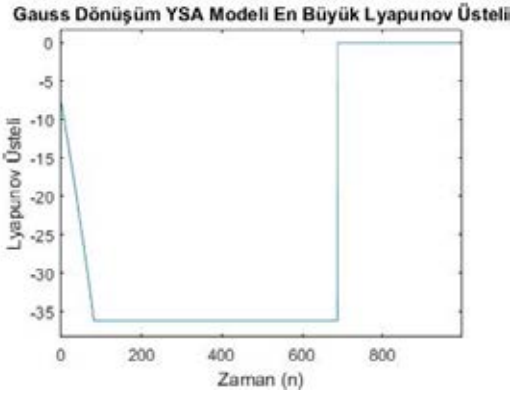
Elde edilen modellerin kalp pili uygulamasında kullanılabilirliğinin testi için Lyapunov Üsteli analizi yapılmıştır. MATLAB ortamında elde edilen kalp ritminin zaman göre en büyük Lyapunov Üstel değişimi incelenmiş ve ilgili dönüşümlerim Lyapunov Üsteli ile karşılaştırılmıştır [21] (Şekil 9-11).  $n$  boyutlu bir sistemin bir üsteli 0 değerinde ve kalan  $n - 1$  üstelin tamamı negatif ise, bu sistem limit döngüde davranmaktadır [22]. Bu sistemler, koşullu parametrelerde ki hassas değişimlere karşı kaotik davranış sergilemeye oldukça yatkın sistemlerdir [23].



Şekil 9.Kardiyak ritmi Lyapunov Üsteli.



Şekil 10. Lojistik Dönüşüm YSA Modeli Lyapunov Üsteli.



Şekil 11. Gauss Dönüşüm YSA modeli Lyapunov Üsteli.

## V. SONUÇ

Bu çalışmada, sahada programlanabilir analog dizi üzerinde Lojistik ve Gauss dönüşüm kullanılarak yapay sinir ağı tabanlı kalp pili tasarımı ve gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Tek boyutlu kaotik sistemler olan Lojistik ve Gauss dönüşümün teorik çalışmaları MATLAB ortamında benzetim çalışmaları ile yapılmış ve sınırlı çevrim koşulları belirlenmiştir. Parametreler ve başlangıç koşulları altında YSA model eğitimi yapılmış ve analog dizi kartı için gerçekleştirilecek ortamı hazırlanmıştır. Tanılama işleminden sonra YSA modellerinin SPAD üzerinde gerçekleştirilmesi ile elde edilen sinyal cevapları Lyapunov üstelleri analizi ile MATLAB ortamında yapılan benzetim çalışmalarında incelenmiştir. MATLAB ortamında bilimsel yazında mevcut kardiyak sinyal üretici yardımı ile elde edilen referans EKG sinyalinin Lyapunov üstelleri ile YSA tabanlı modellerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, gerçekleştirilen sistemlerin ve gerçek kalp ritminin aynı, periyodik, davranışı sergilediği görülmüştür.

## BİLGİLENDİRME

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 2209/A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı altında 1919B011800949 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] DiFrancesco, Dario. "Pacemaker mechanisms in cardiac tissue." *Annual review of physiology* 55.1 (1993): 455-472.
- [2] Şahin, Savaş, and Cüneyt Güzeliş. "'Chaotification" of Real Systems by Dynamic State Feedback." *IEEE Antennas and Propagation Magazine* 52.6 (2010): 222-233.
- [3] ŞAHİN, SAVAŞ, and CÜNEYT GÜZELİŞ. "A dynamical state feedback chaotification method with application on liquid mixing." *Journal of Circuits, Systems and Computers* 22.07 (2013): 1350059.
- [4] Stojanovski, Toni, and Ljupco Kocarev. "Chaos-based random number generators-part I: analysis [cryptography]." *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications* 48.3 (2001): 281-288.
- [5] Savi, M. A. "Chaos and order in biomedical rhythms." *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* 27.2 (2005): 157-169.
- [6] Azar, Ahmad Taher, and Sundarapandian Vaidyanathan, eds. *Chaos modeling and control systems design*. Vol. 581. Germany: Springer, 2015.
- [7] Kolumbán, Géza, et al. "Differential chaos shift keying: A robust coding for chaos communication." *Proc. NDES*. Vol. 96. 1996.
- [8] Guan, Zhi-Hong, Fangjun Huang, and Wenjie Guan. "Chaos-based image encryption algorithm." *Physics Letters A* 346.1-3 (2005): 153-157.
- [9] Lekholm, Anders. "Heart pacemaker." U.S. Patent No. 4,763,646. 16 Aug. 1988.
- [10] Wilson, Greatbatch. "Medical cardiac pacemaker." U.S. Patent No. 3,057,356. 9 Oct. 1962.
- [11] Byland, James K., et al. "Pacemaker." U.S. Patent No. 5,456,698. 10 Oct. 1995.
- [12] Ozbay, Yuksel, and Bekir Karlik. "A recognition of ECG arrhythmias using artificial neural networks." *2001 Conference Proceedings of the 23rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. Vol. 2. IEEE, 2001.
- [13] <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/10858-ecg-simulation-using-matlab>
- [14] Wolf, Alan, et al. "Determining Lyapunov exponents from a time series." *Physica D: Nonlinear Phenomena* 16.3 (1985): 285-317.
- [15] Young, Lai-Sang. "Dimension, entropy and Lyapunov exponents." *Ergodic theory and dynamical systems* 2.1 (1982): 109-124.
- [16] Agiza, H. N. "On the analysis of stability, bifurcation, chaos and chaos control of Kopel map." *Chaos, Solitons & Fractals* 10.11 (1999): 1909-1916.
- [17] Gandomi, Amir Hossein, et al. "Chaos-enhanced accelerated particle swarm optimization." *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 18.2 (2013): 327-340.
- [18] Wu, Guo-Cheng, and Dumitru Baleanu. "Discrete fractional logistic map and its chaos." *Nonlinear Dynamics* 75.1-2 (2014): 283-287.
- [19] Elmaz, Furkan, Özgün Yücel, and Ali Yener Mutlu. "EVALUATING THE EFFECT OF BLENDING RATIO ON THE CO-GASIFICATION OF HIGH ASH COAL AND BIOMASS IN A FLUIDIZED BED GASIFIER USING MACHINE LEARNING." *Mugla Journal of Science and Technology* 5.1: 1-12.
- [20] Gökçen, Alkim, Barkin Büyükcakir, and Savaş Sahin. "Implementation and application of logistic map on field programmable analog array board." *2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*. IEEE, 2018.
- [21] Rosenstein, Michael T., James J. Collins, and Carlo J. De Luca. "A practical method for calculating largest Lyapunov exponents from small data sets." *Physica D: Nonlinear Phenomena* 65.1-2 (1993): 117-134.
- [22] Reddy, DV Ramana, Abhijit Sen, and George L. Johnston. "Time delay effects on coupled limit cycle oscillators at Hopf bifurcation." *Physica D: Nonlinear Phenomena* 129.1-2 (1999): 15-34.
- [23] He, Ji-Huan. "Limit cycle and bifurcation of nonlinear problems." *Chaos, Solitons & Fractals* 26.3 (2005): 827-833