

Delta Robot Tabanlı Örnek bir Kaotik Karıştırıcıda Farklı Kaotik Sistemlere ait Yörüngelerin İncelenmesi

¹Ersin Kurt, ¹Onur Kalaycı, ^{*2}İhsan Pehlivan, ³Selçuk Coşkun

¹Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği, Sakarya Üniversitesi, Türkiye

²Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Sakarya Üniversitesi, Türkiye

³Sakarya Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Türkiye

Özet

Bu çalışmada öncelikle delta robot tabanlı örnek bir kaotik karıştırıcı tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan prototip karıştırıcı üzerinde farklı kaotik sistemlere ait yörüngelerin karşılaştırmalarının yapılabilmesi için MATLAB programı kullanılarak, kaotik sistemlerden alınan verileri delta robotun yörünge koordinatlarına dönüştüren bir kontrol yazılımı geliştirilmiştir.

Seçilen 3 farklı kaotik sistemin MATLAB üzerindeki sayısal çözüm yörüngeleri ile delta robottan gelen gerçek dolaşma yörüngelerine ait koordinatlar çizdirilerek karşılaştırılmıştır. Karıştırma alanı 4 farklı bölgeye bölünerek delta robotun her bölgeden kaç kez geçtiği yüzdesel olarak hesaplatılıp tablo haline getirilerek kaotik sistemler arasında delta robotun yörünge karşılaştırmaları yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Delta robot, kaotik sistem, Arduino, kaotik karıştırıcı

Investigation of the Orbit of Different Chaotic Systems in a Delta Robot based Chaotic Mixer

Abstract

In this paper, a delta robot based chaotic mixer was designed. Using the MATLAB program, a control software was developed to convert the data from chaotic systems into orbit coordinates of the delta robot so that the prototypical mixer can compare the orbits of different chaotic systems.

The 3 selected chaotic systems were compared with the numerical solution trajectories on MATLAB and the coordinates of the actual trajectories from the delta robots. The mixing area is divided into 4 different regions, and the number of times the delta robot passes through each region is calculated and plotted in tables to compare the trajectory of the delta robot between chaotic systems.

Key words: Delta robot, chaotic system, Arduino, chaotic mixer

1. Giriş

Kaotik sistemler, başlangıç şartlarına aşırı duyarlı, periyodik olmayan, gürültü benzeri geniş bant genişliğine sahip sistemlerdir. Bu nedenle rastlantısal sanılan birçok sistemi kavramada yardımcı olmaktadır. Evrende lineer olmayan birçok yapı bulunmaktadır. Bunların incelenmesinde de kaotik yapıların önemi gün geçtikçe artmaktadır.

Kaos bilimi, 1963 yılında Edward Lorenz'in öncülüğünde gelişmeye başlamıştır [1]. Daha sonra Rössler, Chua gibi araştırmacılar ile hızlı ilerlemeler kaydetmiş [2-3] ve günümüzde de halen fizik ve matematik gibi temel alanlarda çok geniş bir şekilde incelenerek gelişmesine devam etmektedir. Kaos bilimi, hava tahmininden sigara dumanının havada yayılışına, nüfus biliminden tek hücreli organizmaların yaşayışına kadar birçok araştırma konusunda kullanılmış ve kullanılmaya devam etmektedir [4].

İki veya daha fazla karışım elemanından meydana gelen bileşimi hazırlama işi karıştırma olarak açıklanabilir. Karışım bileşiminin homojen olması çok önemlidir. Çünkü karışımın başarıya ulaşip ulaşmadığına ancak homojenitenin derecesine göre karar verilmektedir. Karıştırmanın performansını belirlerken, karışım akışkanlarının birbirleri arasındaki eş dağılım derecesi, temel örnekler göz önüne alınıp karşılaştırılabildiği zaman kolayca açıklanabilmektedir. Karıştırma teorisini incelemek için yapılacak ilk iş oluşturulacak özel karışımı incelemek olacaktır. Bununla birlikte örneklerin incelenmesinde uygulanacak olan metodun tipi, numunelerin sayısı ve yerleri, numuneleri incelemek için kullanılan metodların hassasiyet dereceleri ve karışımın istenilen özellikleri de göz önünde bulundurulmalıdır [5].

Bu çalışmada, örnek olarak seçilen Sprott A, Arneodo ve Rössler kaotik sistemlerinin MATLAB programıyla hesaplanan yörüngeleri ile, yeni prototip delta robot tabanlı kaotik karıştırıcının bu sistemleri kullanarak çalışmasından elde edilen gerçek dolaşma yörüngeleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Yeni delta robot tabanlı prototip karıştırıcının karıştırma alanı 4 farklı bölgeye bölünerek, robotun her bölgeden kaç kez geçtiği yüzdesel olarak hesaplatılmıştır. Sonuç olarak, karıştırıcı delta robotun kullandığı her bir sisteme ait yörüngelerin eş dağılım derecesi ya da diğer bir ifadeyle Yörüngesel Dağılım Oranı(YDO) da hesaplanıp tablo haline getirilerek birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

2. Seçilen Kaotik Sistemler

2.1. Sprott A Sistemi

J.C. Sprott, 1994 yılında sağ tarafta 7'den az terim bulunan üç boyutlu otonom kaotik sistemleri bulmak için geniş çaplı bir araştırma yaptı [6]. Sprott, ikinci dereceden-doğrusal olmayan üç-boyutlu adi diferansiyel denklemlerin Denklem (1)'de verilen formda olduğunu kabul etti.

$$\dot{X} = a + \sum_{i=1}^3 b_i X_i + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 c_{i,j} X_i X_j \quad (1)$$

Burada $X = (x, y, z)$, reel üç-boyutlu durum değişkenleri, a , b ve c ise reel üç-boyutlu katsayı vektörleridir. Araştırmalar sonucu binlerce kaotik durum bulundu. Bunlardan 19 tanesi bir diğerine dönüşüm olmayacak şekilde belirginleşti ve 'A' dan 'S' ye kadar etiketlendi. Bu 19 denklemden, 'A' – 'E' arası olan 5 denklem, 2 adet ikinci dereceden-doğrusal olmayan terim olmak üzere toplam 5 terimli, 'F' – 'S' arası olan 14 denklem ise bir adet ikinci dereceden-doğrusal olmayan terim olmak üzere toplam 6 terimli denklemlerdir. Bu 19 durumdan 'A' durumu hacim-korumalı akış, diğer 18 durum ise hacim büzülmeli akış olup tuhaf çekici davranışı gösterirler [7].

Bu çalışmada ele alınan örnek kaotik sistemlerden birisi de Sprott'un 1994 yılında ürettiği "A" sistemidir. Sprott A sisteminin diferansiyel denklemleri Denklem (2)'de verilmiş olup, başlangıç şartları $x(0) = 0$, $y(0) = 0.5$ ve $z(0) = 0$ alınmıştır.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= y \\ \dot{y} &= -x + y \cdot z \\ \dot{z} &= 1 - y^2\end{aligned}\tag{2}$$

2.2. Arneodo Sistemi

Bu çalışmada ele alınan örnek kaotik sistemlerden bir diğeri de, 1985 yılında A. Arneodo ve arkadaşlarının tanıttığı doğrusal olmayan denklem sistemi olup, Denklem (3)'de verilmiştir.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= y \\ \dot{y} &= z \\ \dot{z} &= -b_1 \cdot x - b_2 \cdot y - b_3 \cdot z + b_4 \cdot x^3\end{aligned}\tag{3}$$

Sistemin parametre ve başlangıç şartları: $b_1 = -5.5$, $b_2 = 3.5$, $b_3 = 1$, $b_4 = -1$, $x(0) = 0.5$, $y(0) = -1$ ve $z(0) = 0.5$ şeklindedir.

2.3. Rössler Sistemi

Bu çalışmada ele alınan üçüncü örnek kaotik sistem, 1976 yılında Rössler'in önerdiği kaotik denklem sistemi olup Denklem (4)'de verilmiştir.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= -y - z \\ \dot{y} &= x + a \cdot y \\ \dot{z} &= b + z \cdot (x - c)\end{aligned}\tag{4}$$

Sistemin parametre ve başlangıç şartları: $a = 0.2$, $b = 0.2$, $c = 5.7$, $x(0) = -9$, $y(0) = 0$ ve $z(0) = 0$ olarak seçilmiştir.

3. Prototip Delta Robot Tabanlı Kaotik Karıştırıcı

Bu çalışma için gerçekleştirilen prototip delta robot tabanlı karıştırıcı Şekil 1.'de görülmektedir. Karıştırıcı, üzerindeki 3 adet servo motor sayesinde aralarında 120 derece olan eksenler boyunca hareket edebilmektedir.



Şekil 1. Prototip delta robot tabanlı kaotik karıştırıcı

3.1. Kontrol Programı

Delta robot tabanlı kaotik karıştırıcının çalışmasını ifade eden genel blok diyagram Şekil 2.'de görülmektedir. MATLAB programı ile Arduino işlemcisini haberleştirmek için gerekli olan Arduino yazılımı, MATLAB programının üreticisi olan MathWorks şirketinin internet sitesi üzerinden rahatça indirilip kurulabilmektedir. MATLAB ile Arduino arasında uyum sağlayan bu yazılım yardımıyla MATLAB'ta yazılan kontrol programı, delta robot tabanlı karıştırıcının üzerindeki Arduino işlemcisine yüklenmiştir.

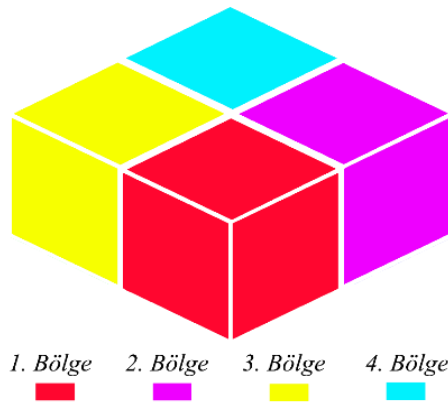


Şekil 2. Delta robot tabanlı kaotik karıştırıcının blok diyagramı

Prototip karıştırıcının servo motorları, robotun mekanik kısıtlamalarından dolayı bir eksenle en fazla 144° hareket sağlayabilmektedir. Bu sebeple, Arduino üzerindeki kontrol yazılımı, kaotik sistemler ile üretilen 0 – 5 V arası genlikteki verileri, 0° ile 144° arası değerlere skalalama işlemi yapacak şekilde çalışmaktadır. Skalalama işlemi ile karıştırıcı delta robotun her bir eksenle 0° ile 144° arası hareket edebilmesi için gerekli olan Robot Açısı Değerleri(RAD) elde edilmiş olur. Kullanıcının seçtiği uzunlukta RAD verileri Arduino Uno kartına gönderilerek, delta robotun x, y, z eksenlerinde hareketini sağlayan servo motorlar gerekli oranlarda döndürülmüş olur. Sonuç olarak x, y, z eksenlerindeki robot kollarına bağlı olan karıştırıcı pervanesinin istenilen açı ve konumlara hareketi sağlanmış olur.

3.2. Farklı Kaotik Sistemlere ait Yörüngelerin Karşılaştırılması

Örnek olarak seçilen Sprot A, Arneodo ve Rössler kaotik sistemlerinin MATLAB programıyla hesaplanan yörüngeleri ile, prototip delta robot tabanlı karıştırıcının aynı sistemleri kullanarak çalışmasından elde edilen gerçek dolaşma yörüngelerini, birbirleriyle karşılaştırmak amacıyla karıştırma alanı Şekil 3.'de görüldüğü gibi 4 farklı bölgeye bölünmüştür.



Şekil 3. Farklı yörüngelerin karşılaştırılmasında, yörüngesel dağılım oranının hesabı için karıştırma alanının 4 farklı bölgeye ayrılması

Seçilen her bir sistem için; hem MATLAB ortamındaki, hem de gerçek karıştırıcıdaki yörüngelere ait verilerin her bir bölgeden kaç kez geçtiği yüzdesel olarak hesaplatılmıştır.

3.3. Yörüngesel Dağılım Oranının Hesaplanması

Sistemlerin yörünge dağılım performanslarını karşılaştırmak için; delta robotun 4 farklı bölgeden geçiş yüzdelerini kullanarak, eş dağılım derecesinin yani Yörüngesel Dağılım Oranını(YDO)'nın hesaplanması gerekmektedir.

YDO hesabı için bir formülü oluşturabilmek adına ilk olarak, 4 farklı bölgedeki yüzde geçiş oranlarının Denklem (5)'de yerine konulması gerektiği varsayılmıştır.

$$|25 - 1.Bölge| + |25 - 2.Bölge| + |25 - 3.Bölge| + |25 - 4.Bölge| \quad (5)$$

YDO'su %100 olan bir sistemin, her bir bölgeden geçiş oranının da %25 olması gerekir. Dolayısıyla böyle bir sisteme ait %25 değerindeki veriler Denklem (5)'de yerine konulduğunda 0 değeri elde edilmesine karşılık, YDO'su % 0 olan bir sisteme (dolaşım yörüngesinin tek bir bölgede toplanması durumu) ait %100, %0, %0, %0 değerindeki veriler Denklem (5)'de yerine konulduğunda 150 değeri elde edilir. Bu iki durum Denklem (6)'da görülmektedir.

$$\begin{aligned} \text{Maksimum } & |25 - 25| + |25 - 25| + |25 - 25| + |25 - 25| = 0 \\ \text{Minimum } & |25 - 100| + |25 - 0| + |25 - 0| + |25 - 0| = 150 \end{aligned} \quad (6)$$

%100 YDO değerini hesaplayabilmek için, elde edilen 0 değerinin 100 değerine; % 0 YDO değerini hesaplayabilmek için, elde edilen 150 değerinin ise 0 değerine skala edilmesi gerekmektedir. Bu skala işleminin yapılmasına izin veren ve YDO hesabında kullanılan formül Denklem (7)'de görülmektedir. Denklem (7)'nin maksimum(%100) ve minimum(%0) YDO hesabı için kullanılmasını ifade eden örnek hesaplamalar Denklem(8)'de görülmektedir.

$$\text{Yörüngesel Dağılım Oranı: } 100 - \left(\frac{|25 - 1.Bölge| + |25 - 2.Bölge| + |25 - 3.Bölge| + |25 - 4.Bölge|}{1,5} \right) \quad (7)$$

$$\text{Maksimum Yörüngesel Dağılım Oranı: } 100 - \left(\frac{|25 - 25| + |25 - 25| + |25 - 25| + |25 - 25|}{1,5} \right) = 100 \quad (8)$$

$$\text{Minimum Yörüngesel Dağılım Oranı: } 100 - \left(\frac{|25 - 100| + |25 - 0| + |25 - 0| + |25 - 0|}{1,5} \right) = 0$$

Doğal olarak; yörüngelerinin her bir bölgeden geçiş oranı homojen olan(yani YDO'su %100 olan) durum ve yörüngeleri tek bir bölgede toplanan(yani bir YDO'su % 0 olan) durum arasında kalan tüm durumlarda, YDO orantılı bir şekilde Denklem (7) kullanılarak hesaplanabilmektedir.

Her bir kaotik sistem için eşit karıştırma sürelerinde olmak üzere; delta robot karıştırıcı pervane yörüngesinin 4 farklı bölgeden geçiş sayıları, geçiş yüzdeleri ve YDO değerleri tablolar halinde (Tablo 1., 2., 3.) karşılaştırılmıştır. Ayrıca seçilen sistemler için; gerçek prototip karıştırıcıdaki yörüngeleri ile MATLAB üzerindeki sayısal hesaplama yörüngelerine ait faz portresi grafikleri Şekil 4. - 8. arasında sunulularak karşılaştırılmıştır.

Tablo 1. Sprot A sistemi tabanlı kaotik karıştırıcının yörünge verileri

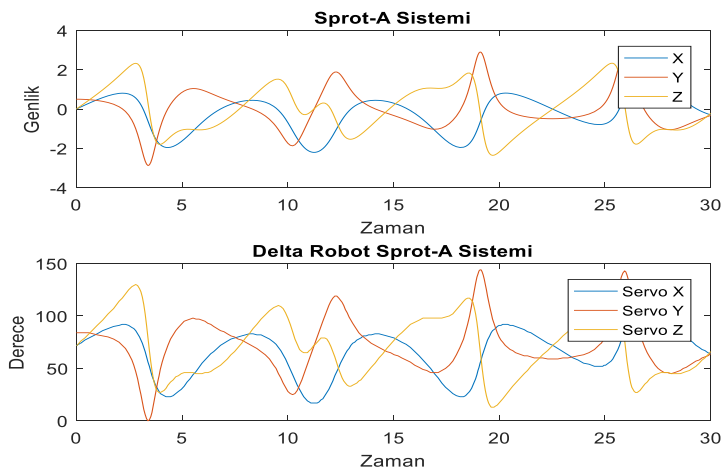
Süre	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	Toplam	% 1. Bölge	% 2. Bölge	% 3. Bölge	% 4. Bölge	% Toplam	Yörüngesel Dağılım Oranı
00:10	17	35	15	21	88	19,3	39,8	17,0	23,9	100,0	80,3
00:30	69	92	79	80	320	21,6	28,7	24,7	25,0	100,0	95,1
01:00	160	189	153	170	672	23,8	28,1	22,8	25,3	100,0	95,5
02:00	345	383	334	326	1388	24,9	27,6	24,1	23,4	100,0	96,5
03:00	520	567	515	505	2107	24,7	26,9	24,4	24,0	100,0	97,5
04:00	707	750	685	678	2820	25,1	26,6	24,3	24,0	100,0	97,7
05:00	892	926	874	849	3541	25,2	26,2	24,7	23,9	100,0	98,1
Ortalama	387,14	420,29	379,29	375,57	1562,29	23,5	29,1	23,1	24,2	100,0	94,4

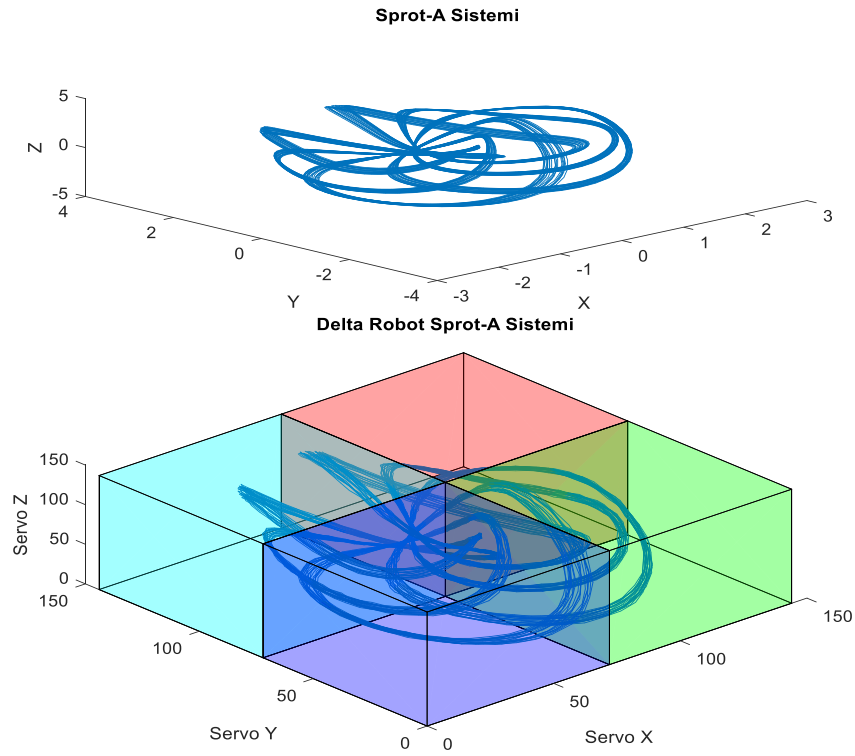
Tablo 2. Arneodo sistemi tabanlı kaotik karıştırıcının yörünge verileri

Süre	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	Toplam	% 1. Bölge	% 2. Bölge	% 3. Bölge	% 4. Bölge	% Toplam	Yörüngesel Dağılım Oranı
00:10	0	0	31	48	79	0,0	0,0	39,2	60,8	100,0	33,3
00:30	68	49	85	119	321	21,2	15,3	26,5	37,0	100,0	82,0
01:00	196	149	142	199	686	28,6	21,7	20,7	29,0	100,0	89,9
02:00	305	253	344	496	1398	21,8	18,1	24,6	35,5	100,0	86,0
03:00	499	413	497	705	2114	23,6	19,5	23,5	33,4	100,0	88,8
04:00	682	577	651	926	2836	24,0	20,3	23,0	32,7	100,0	89,7
05:00	907	735	796	1114	3552	25,5	20,7	22,4	31,4	100,0	90,8
Ortalama	379,57	310,86	363,71	515,29	1569,43	20,7	16,5	25,7	37,1	100,0	80,1

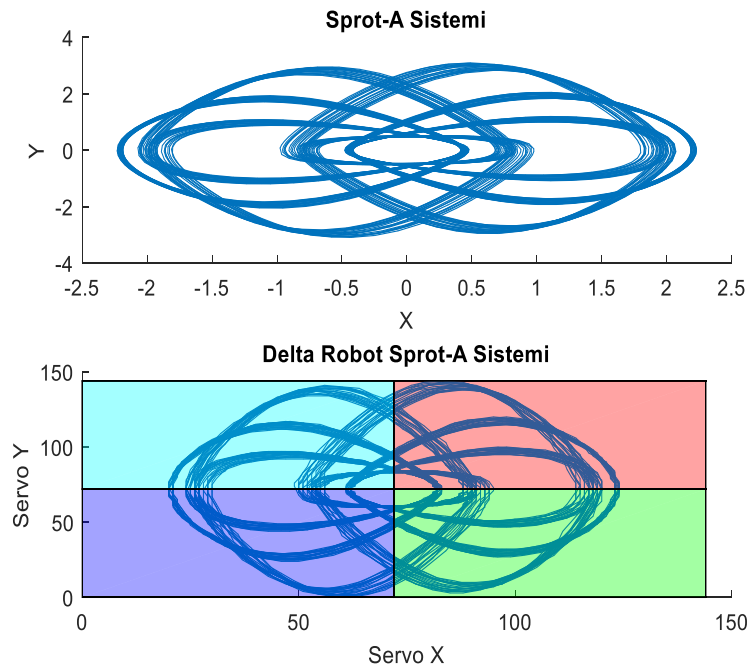
Tablo 3. Rössler sistemi tabanlı kaotik karıştırıcının yörünge verileri

Süre	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	Toplam	% 1. Bölge	% 2. Bölge	% 3. Bölge	% 4. Bölge	% Toplam	Yörüngesel Dağılım Oranı
00:10	73	0	17	0	90	81,1	0,0	18,9	0,0	100,0	25,2
00:30	269	31	26	0	326	82,5	9,5	8,0	0,0	100,0	23,3
01:00	550	67	71	0	688	80,0	9,7	10,3	0,0	100,0	26,7
02:00	1133	146	139	0	1418	79,9	10,3	9,8	0,0	100,0	26,8
03:00	1708	209	216	0	2133	80,1	9,8	10,1	0,0	100,0	26,5
04:00	2289	278	283	0	2850	80,3	9,8	9,9	0,0	100,0	26,3
05:00	2848	342	378	0	3568	79,8	9,6	10,6	0,0	100,0	26,9
Ortalama	1267,14	153,29	161,43	0	1581,86	80,5	8,4	11,1	0,0	100,0	26,0

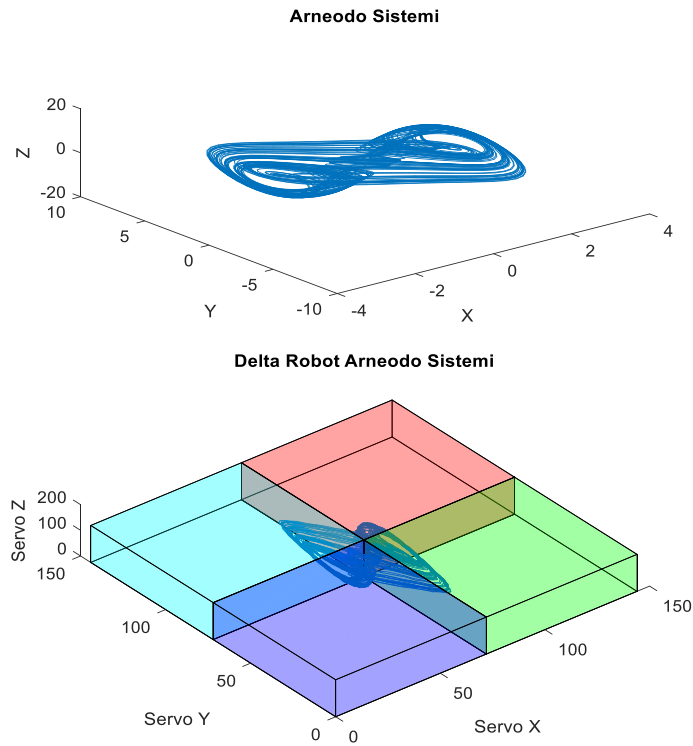
**Şekil 4.** Sprot A sistemi x, y, z sinyallerinin zamana göre değişimi



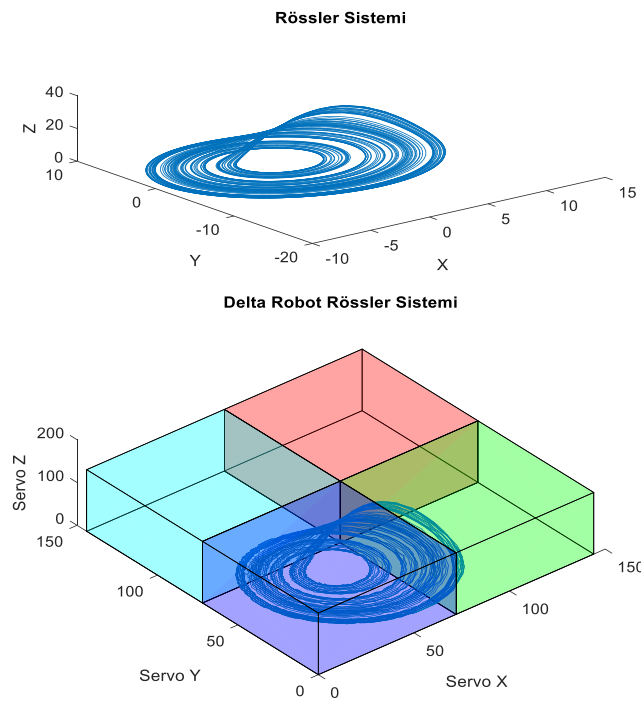
Şekil 5. Sprot A sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik çekicileri



Şekil 6. Sprot A sisteminin x-y faz portreleri



Şekil 7. Arneodo sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik çekicileri



Şekil 8. Rössler sisteminin üç boyutlu x-y-z kaotik çekicileri

4. Sonuçlar

Bu çalışmada tasarlanan delta robot tabanlı bir kaotik karıştırıcıda örnek olarak seçilen Sprott A, Arneodo ve Rössler sistemlerine ait yörüngeler birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Öncelikle kaotik sistemlerden alınan verileri delta robotun yörünge koordinatlarına dönüştüren bir kontrol yazılımı MATLAB'ta yazılarak, delta robot tabanlı karıştırıcının üzerindeki Arduino işlemcisine yüklenmiştir.

Daha sonra MATLAB ortamında, kaotik karıştırıcı için örnek olarak seçilen sistemlerin 4 farklı bölgeye bölünen karıştırma alanından geçiş yüzdeleri ile Yörüngesel Dağılım Oranı (YDO) hesaplatılmış ve faz portreleri çizdirilerek karşılaştırılmıştır.

Tasarlanan delta robot tabanlı prototip karıştırıcının x, y, z eksenlerindeki kollarına bağlı olan karıştırıcı pervanenin, Matlab üzerindeki sayısal çözüm yörüngelerine çok yakın yörüngelerde hareket ettiği gözlenmiştir.

Elde edilen tablolar incelenerek delta robotun 4 bölgedeki toplam konum sayıları, geçiş yüzdelerini ve YDO oranları dikkate alındığında; seçilen 3 kaotik sistem içerisinde yörüngelerinin eş dağılım derecesi en iyi olan sistemin Sprott A, en kötü olan sistemin ise Rössler olduğu görülmüştür.

Bundan sonraki çalışmalarda tasarlanan kaotik karıştırıcının, farklı kaotik sistemler ile çeşitli karışımlar için gerçek deneysel çalışmaları yapılacaktır. Makalede sunulan bu prototipin, daha kısa sürede daha homojen karışımların elde edilebilmesi için yeni kaotik karıştırıcı sistemlerin ve algoritmalarının geliştirilebilmesi amacına hizmet edeceği düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Lorenz, EN. Deterministic Nonperiodic Flow. J. Atmos. Sci., 20: 130-141, 1963.
- [2] Rössler, OE. An equation for continuous chaos. Phys. Lett. A, 57(5):397-398, 1976.
- [3] Lakshmanan, M. and Murali, K. Chaos in Nonlinear Oscillators, Controlling and Synchronization. World Scientific, 1996.
- [4] Pehlivan I., Akgul A., Kurt E., and Başaran A. 2-Sarmallı Skala Edilmiş Lu-Chen 2003 Kaotik Sistemi ve Elektronik Osilatörü, ISITES, 2016.
- [5] Ören M. Karıştırma ve Karıştırıcılar, Kullanım Alanları ve Hesaplama Yöntemleri. Yıldız Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- [6] Sprott, JC. Some Simple Chaotic Flows. Physical Review E, 1994;50(2):647-650.
- [7] Pehlivan I. Yeni Kaotik Sistemler: Elektronik Devre Gerçeklemeleri, Senkronizasyon ve Güvenli Haberleşme Uygulamaları. Sakarya Üniversitesi Doktora Tezi, 2007.