

Beklenen Enflasyon Verilerinde Kaos Varlığının İncelenmesi

Ünal DİKBAŞ*

Reşat KASAP**

Mehmet Güray ÜNSAL***

ÖZ

Bu çalışmada beklenen enflasyonda kaotik yapının varlığı araştırılmıştır. Beklenen enflasyon, ekonomistler ve politika yapımcılar açısından oldukça önemli bir makroekonomik göstergedir. Beklenen enflasyonun oluşumu birçok teknik detayın ötesinde bir öngörü değeridir. Bu öngörü değeri oluşturulurken birçok faktör dikkate alınmakta nihayetinde bir tahmin değeri ortaya çıkmaktadır. Beklenen enflasyonda kaosu olası varlığı kurulacak modeller açısından önem arz etmektedir. Bu kapsamda, verilere öncelikli olarak BDS bağımsızlık testi yapılmış, korelasyon boyutu elde edilmiş, sonrasında ise pozitif en büyük Lyapunov üsteli (LLE) bulunmuştur. 2001:08-2020:11 dönemi cari ayın TÜFE beklentisi verileri için gerekli testler gerçekleştirilmiş, yapılan analiz sonucu BDS testi ve korelasyon analizi sonuçları kaosa işaret ederken en büyük Lyapunov üssü (LLE) verilerde kaotik yapının mevcut olmadığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Beklenen Enflasyon, Doğrusal Olmama, Kaos, Lyapunov Üsteli
JEL Sınıflandırması: C22

Investigation of the Existence of Chaos in Expected Inflation Data

ABSTRACT

This study investigates the chaotic nature of expected inflation. Expected inflation is a very important macroeconomic indicator for economists and policy makers. The formation of expected inflation is a prediction value covering many technical details, and many factors are taken into account while creating this predictive value, and ultimately a forecast value emerges. The possible existence of chaos in expected inflation is important in terms of models to be established. In this context, BDS independence test was performed on the data, the correlation dimension was obtained and then the largest positive Lyapunov exponent (LLE) was found. Necessary tests were carried out for the data of the current month's CPI expectations for the period 2001: 08-2020: 11, while the results of BDS test and correlation analysis indicated chaos, the largest Lyapunov exponent (LLE) showed that the chaotic structure was not detected in the data.

Key Words: Expected Inflation, Nonlinearity, Chaos, Lyapunov Exponent
JEL Classification: C22

GİRİŞ

Bir ekonomik verideki kaosu varlığı, oluşturulacak model konusunda büyük ölçüde fikir verebilmektedir. Bu bilgi ile oluşturulan modellerin geleceğe ilişkin kestirimlerin elde edilmesi ve yorumlanmasında daha güvenilir sonuçlar sağlayacağı açıktır.

* Uzman, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, unal.dikbas@ikg.gov.tr, ORCID Bilgisi: 0000-0002-7851-535X

** Prof. Dr., Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, Teknikokullar, Beşevler, Ankara, rkasap@gazi.edu.tr, ORCID Bilgisi: 0000-0002-9306-3101

*** Doç. Dr., Başkent Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Teknoloji ve Bilgi Yönetimi Bölümü, mgunsal@baskent.edu.tr, ORCID Bilgisi: 0000-0001-7081-9060

(Makale Gönderim Tarihi: 08.12.2021 / Yayına Kabul Tarihi: 16.08.2022)

Doi Number: 10.18657/yonveek.1034185

Makale Türü: Araştırma Makalesi

Beklenen enflasyon, ekonomik politika yapıcıları açısından oldukça önemli bir gösterge olarak değerlendirilmektedir. Ekonomik ajanlar fiyatlama davranışında geçmiş fiyat oluşumlarının yanı sıra gelecek fiyat beklentilerini de dikkate alarak davranmaktadır. Dolayısıyla beklenen enflasyonun tahmini ve modellenmesi ekonomi yönetiminden tüketicilere kadar birçok tarafı ilgilendirmektedir. Bu kapsamda, beklenen enflasyon verisinin kaotik yapısının incelenmesi ve veri üretim sürecindeki olası kaotik yapının varlığı doğru model kurma sürecine de katkı sağlayacaktır (Guastello, 1995).

Kaotik yapı bulunması halinde, bu verilere doğrusal olmayan modelleme yöntemlerinin kullanılmasının haklılığını destekleyecektir. Bulunmaması ise klasik modelleme yöntemlerinin zayıf olmadığına işaret edebilecektir (Das, 2014). İşi ve Çemrek (2019) çalışmasında FTSE-100 endeksi borsayı temsil edecek şekilde seçilmiş ve Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) sinir ağları, yerel yöntemlerden en yakın komşu yöntemi, yarı yerel yöntemlerden radyal tabanlı fonksiyonlar temelli yöntemler bu verilere uygulanmıştır. Çiçek ve Alkan (2019) Ocak 2004 – Mart 2019 dönemini kapsayan veriler üzerinden gerçekleşen enflasyon belirsizliği ile beklenen enflasyon belirsizliği arasındaki ilişkiyi BEKK-GARCH yöntemi ile incelenmiştir. Sonuçlara göre gerçekleşen enflasyon (ve enflasyonun alt gruplarının) belirsizliği ile beklenen enflasyon belirsizliği arasında bir yayılma etkisinin olduğunu göstermişlerdir. Álvarez ve Correa-López (2020) enflasyon beklentileri ölçümlerini Phillips eğrileri bağlamında analiz etmiştir.

Kaos araştırmalarının sayısı son yıllarda oldukça arttığı gözlemlenmektedir. Hisse senedi getirilerinin yapısının incelenmesinde (İşeri vd. (2008); Özdemir ve Akgül (2014); Kahyaoglu ve İç (2015); Alpar ve Eren (2016); Sülkü ve Ürkmez (2018)), döviz kurunun araştırılmasında kaosu varlığı (de Grauwe ve Devatcher (1993); Das ve Das (2007); Torkamani v.d. (2011); Bildirici ve Sonustun (2018)) araştırmalara konu olmaktadır. Bununla birlikte matematik (Lyapunov üstelleri tahminleri) , fizik (güç spektrumları analizi) , mühendislik (elektrik güç sistemleri) ve tıp (matematiksel kalp modelleri) alanında da kaotik yapı incelenmektedir. Bu kapsamda, son elli yıl içinde kaotik süreçlerin varlığını tespit etmek amacıyla literatüre birçok metodoloji kazandırılmıştır (Kurt ve Kasap, 2020).

Zaman serilerinde kaotik yapı çeşitli yöntemlerle araştırılabilmektedir. Bu amaçla karşılıklı bilgi yöntemi, gömülü boyut, garip çekiciler, korelasyon integrali, BDS testi, güç spektrumu ve Lyapunov üstelleri yöntemleri ile sonuçlar ortaya konulmaya çalışılmaktadır. (Eckman ve Ruelle, 1985; Brock, Dechert ve Scheinkman, 1987; Kantz ve Schreiber, 2004).

Bu çalışmanın ilerleyen bölümlerinde öncelikle veri setine ilişkin kapsamlı bilgiler verilmiş, tanımlayıcı istatistikler ve zaman serisi grafiği yorumlanmıştır. Ayrıca, kaotik yapının varlığının tespiti amacıyla faz uzayı grafiği, ortalama karşılıklı bilgi ve korelasyon boyutuna ilişkin analiz sonuçları paylaşılmıştır. Son olarak veri setinin doğrusallığını araştırmak amacıyla BDS bağımsızlık testi gerçekleştirilmiştir. Son olarak Lyapunov üstelinin varlığı araştırılmış ve çalışma sonuç bölümü ile tamamlanmıştır. Makalenin kalan kısmı izleyen şekilde

tasarlanmıştır: 2. Bölüm kaos yapısının varlığının tespitinde kullanılan yöntemler ile ilgili bilgi vermektedir. Uygulama çalışmasına ait veri seti tanımlaması ve analizler Bölüm 3'ü oluşturmaktadır. Sonuçlar ve değerlendirme kısmı Bölüm 4'tedir.

I. KAOSUN VARLIĞINI TESPİT ETMEK İÇİN KULLANILAN TEKNİKLER

Zaman serilerindeki kaotik davranışın araştırılmasında kullanılan yöntemlerden biri karşılıklı bilgi yöntemidir. Karşılıklı bilgi yöntemi, zaman serilerinin geçmiş gözlemleri ile gelecek gözlemleri arasında ilişki olup olmadığını ortaya koymaktadır. Esasen, doğrusal zaman serilerinde belirli gecikme düzeylerinde klasik otokorelasyon fonksiyonu ile seriye ilişkin otokorelasyon değerleri tahmin edilmekte ve buna göre model hakkında bazı yorumlar yapılabilmektedir. Doğrusal olmama durumlarında ise ortalama karşılıklı bilgi optimum gecikme uzunluğunun belirlenmesi ile seriye ilişkin korelasyon bilgisini vermektedir (Kantz ve Schreiber, 2004). Dolayısıyla her iki durum için otokorelasyonun araştırılması gerekmektedir.

Korelasyon boyutu kaotik sistemlerin araştırılmasında en önemli adımlar arasında yer almaktadır. Özellikle doğrusallığın tespiti amacıyla kullanılacak testlerde korelasyon integralinin elde edilmesi gerekir. Bu nedenle korelasyon boyutuna da ihtiyaç duyulmaktadır.

$C(\varepsilon)$ korelasyon integralini ve ε seçilmiş çok küçük bir değeri göstermek üzere örnek çapı sonsuza giderken korelasyon integrali $C(\varepsilon)$, ε değerine yakınsayacak ve böylece v korelasyon boyutu değeri tahmin edilmiş olacaktır (Eckman ve Ruelle, 1985). Korelasyon boyutunun yanı sıra bir diğer önemli kavram da gömülü boyuttur. Gömülü boyut ise faz uzayının boyutunu temsil etmektedir ve komşu noktaların dikkate alındığı yanlış en yakın komşu yöntemiyle hesaplanmaktadır.

Brock, Dechert ve Scheinkman (1987) tarafından ilk olarak önerilen doğrusallık testi verilerin farklı boyutlardaki vektörlere dönüştürülerek korelasyon integrallerinin hesabına dayanmaktadır. T zaman serisinin uzunluğunu, Eş. 1 ve Eş. 2'de, ε seçilen bir yakınlık parametresini ve m boyutlu korelasyon integralini göstermek üzere T uzunluğundaki bir zaman serisi için BDS test istatistiği:

$$C_{m,T}(\varepsilon) = 2 \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{s=t+1}^T I_{\varepsilon}(x_t^m, x_s^m) / (T_m(T_m - 1)) \quad (1)$$

$$BDS_{m,T}(\varepsilon) = T^{\frac{1}{2}} [C_{m,T}(\varepsilon) - C_{1,T}(\varepsilon)^m] / \sigma_{m,T}(\varepsilon) \quad (2)$$

şeklinde elde edilmektedir. Burada $\sigma_{m,T}$, m boyutuna göre değişen standart sapmayı göstermekte olup test istatistiği sıfır hipotezi altında standart normal $N(0,1)$ dağılmaktadır. Korelasyon boyutu m ve ε epsilon değeri kullanıcı tarafından farklı değerler olarak da seçilebilmektedir.

Zaman serilerinde Lyapunov üssü elde etmenin çeşitli teknikleri mevcuttur (Kurt ve Kasap, 2020). Bunlar, herhangi bir modelin kullanılmadığı doğrudan

yöntemler ile modele dayalı yöntemler olarak değerlendirilmektedir. Model tabanlı yöntemler modele ait Jacobien matrisi kullandığından Jacobien yöntemler olarak da bilinmektedir. Burada öncelikle ayrıştırma yöntemiyle Jacobien matrizen Lyapunov üssü spektrumu ile elde edilmektedir. f^t n boyutlu faz uzayında bir fonksiyon olmak üzere x_0 gibi bir başlangıç noktası olan ve $\{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_k\}$ gibi Lyapunov spektrumuna sahip bir sürecin Jacobien matrisi $J^t(x_0) = \frac{df^t(x)}{dx}$ ifadesinin x_0 noktasındaki değeridir. Bu matris yardımıyla elde edilen $V(x_0)$ matrisine ait özdeğerler $\Lambda_i(x_0)$ olmak üzere Lyapunov üstelleri $\lambda_i(x_0) = \ln \Lambda_i(x_0)$ şeklindedir (Munoz-Pacheco, 2013; Bask, 1996; Bask, 2002). Yukarıdaki hesaplama neticesinde Lyapunov üsleri tahmin edilmekte ve en uygun modele, standart hataya ve ilgili test istatistiğini de ulaşılabilmektedir.

II. VERİ SETİ VE ANALİZ

A. Veri seti

Çalışma kapsamını oluşturan veriler 2001:08 - 2020:11 dönemi cari ayın TÜFE beklentisini içermektedir. Verideki zaman frekansının olabildiğince en küçük olanı tercih edilerek hem veri seti geniş tutulmaya çalışılmış hem de kaotik yapının varlığının daha güvenilir bir şekilde elde edilmesi amaçlanmıştır. TCMB, finansal ve reel sektörde karar alıcı ve uzman kişilerin çeşitli makroekonomik değişkenlere ilişkin beklentilerinin izlenmesi amacıyla beklenti anketi oluşturmaktadır (TCMB). Bu anketlerin belirli aralıklarla paylaşılarak ilgili tahmin ve beklentilerin toplanması sağlanarak gerekli veriler elde edilmiş olur. Beklenen enflasyon olarak tanımlanan tüketici enflasyonu için aylık ve yıllık enflasyon beklentileri ilgili uzmanlarca bu anketlere girilmektedir. Beklenti anketi soruları arasında cari ayın, 1 ay sonrasının, 2 ay sonrasının ve cari yılsonunun enflasyonu gibi tahminler bulunmaktadır. Bu çalışmada cari ayın TÜFE beklentisi kullanılmaktadır.

Analize geçmeden önce beklenen enflasyon verisine ilişkin genel görünüm ve tanımlayıcı istatistiklere yer verilmiştir. Bu kapsamda aşağıda Tablo 1’de veri setine ilişkin istatistikler sunulmuştur.

Tablo 1. Veri Seti Tanımlayıcı İstatistikleri

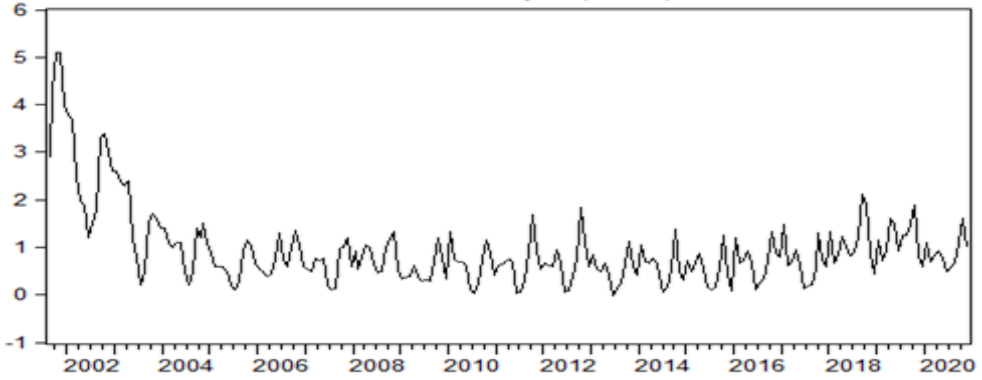
Ortalama	Ortanca	Min.	Maks.	Standart Sapma	Çarpıklık	Basıklık	Jarque-Bera	Olasılık (p-value)
0.94	0.74	-0.02	5.10	0.81	2.45	10.75	815.14	0.00

Beklenen enflasyon verisinin tanımlayıcı istatistikleri incelendiğinde, serinin ortalama değerinin, standart sapma ile birbirine yakın olduğu ve 1’den küçük olduğu görülmektedir. Türkiye’de enflasyonun son 20 yıldaki durumu göz önüne alındığında beklenen enflasyonun aylık ortalamasının da 1 civarında seyretmesi şaşırtıcı değildir. Bununla birlikte enflasyonist dönemlerde maksimum değerinin 5 seviyesine yükseldiği görülmektedir. Serinin histogram grafiği ile uyumlu bir şekilde Jarque-Bera istatistiği de serinin normal dağılmadığını göstermektedir (Bkz. Ekler).

Türkiye yıllarca enflasyon sorununu tecrübe etmiş bir ülkedir. Özellikle 90’lı yıllar Türkiye için kronik enflasyon döneminin görüldüğü bir dönemdir. 2000

ve 2001 yıllarında, yaşanan döviz krizi ve bankacılık krizi ile birlikte Türkiye yeni ekonomik politikaların yürürlüğe konularak düşük enflasyon hedefi doğrultusunda reformların olduğu bir dönemi yaşamıştır. Yeni ekonomik programlarla TCMB'nin bağımsızlığı güçlendirilmiş, aynı zamanda fiyat istikrarı temel görevi, hesap verebilirlik ve şeffaflık ilkeleri temellendirilmiştir. Bu kapsamda, TCMB sırasıyla 2002 ve 2006 yılları başında örtük ve açık enflasyon hedeflemesi uygulamasına başlamıştır. TCMB, ayrıca enflasyon beklentilerine ilişkin çeşitli yöntemlerle beklenen enflasyon verisi elde etmekte bu verileri de tüm kamuoyu ile paylaşmaktadır. Buna ilişkin, çalışma dönemi kapsamında beklenen enflasyon serisine ilişkin zaman grafiği aşağıda sunulmuştur.

Şekil 1. Beklenen Enflasyon Zaman Serisi Grafiği
Beklenen Enflasyon (TÜFE)



Yukarıdaki Şekil 1 incelendiğinde, Türkiye'nin kriz yılları olarak yaşadığı 2002 yılı sonlarından itibaren beklenen enflasyonun belli bir değer etrafında toplandığı görülmektedir. 2001 ve 2002 yılları yaşanan krizin de etkisiyle enflasyon beklentilerini de etkilemiş daha yüksek enflasyon beklentisi oluştuğu gözlemlenmiştir.

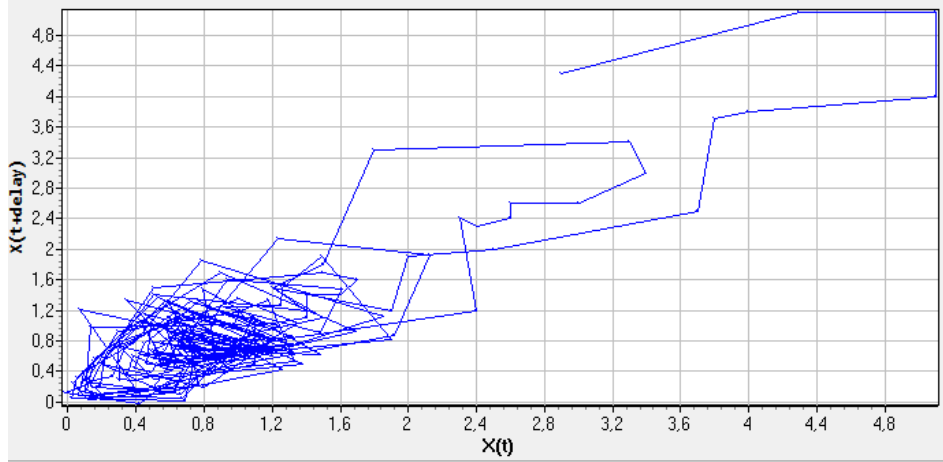
B. Analiz

Beklenen enflasyon verisinin tanımlayıcı istatistikleri ve zaman serisi grafiklerinden sonra kaotik yapısına ilişkin analizler yapılması gerekmektedir. Kaotik yapılar kendine has teknik özelliklere sahiptir. Kaos teorisinin temelleri, başlangıç koşullarına hassas bağlılık, fraktal geometri ve çekiciler kavramlarına dayanmaktadır. Kaotik yapılar, doğrusal deterministik sistemlerin aksine belli bir örüntü içermediğinden uzun dönemli tahminler için başlangıç koşullarının varlığını gerektirmektedir (Kurt ve Kasap, 2020). Bu durum kaos teorisinin başlangıç koşullarına hassas duyarlılığını ortaya koymaktadır. Bir diğer kavram ise fraktal yapılarıdır. Fraktal kavramı kaosun geometrisi olarak ele almak yanlış olmayacaktır. Fraktallar, belli bir kural ya da sistemli hareket sonucu ortaya çıkan geometrik şekillerdir.

Kaos teorisinde sıkça söz edilen bir diğer kavram da çekicilerdir. Çekiciler, kaotik süreçlerin faz uzayında birbirinden farklı şekiller oluşturması olarak ifade edilebilmektedir. Kaotik çekiciler, korelasyon boyutu ile karakterize edilebilmektedirler. Çekiciler faz uzayında noktalar oluşturmaktadır. Faz

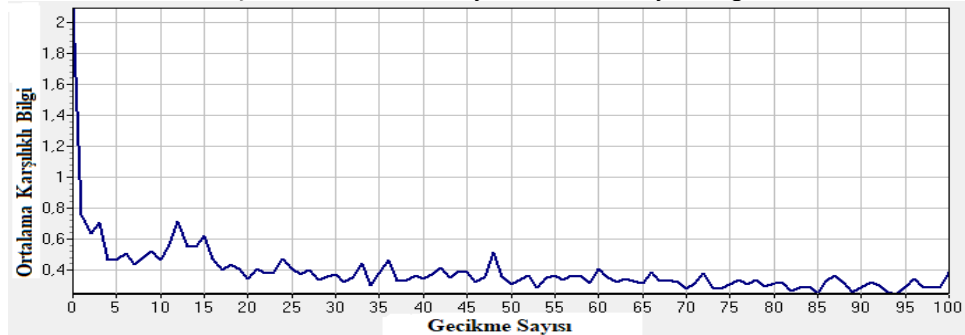
uzayındaki bu noktaların çekici olarak ifade edilmesinin temel nedeni faz uzayının belirli bölümlerinde sistemin hareketinin kümelenmiş ve bir noktaya doğru toplanmasının görülmesidir. Aşağıda yer alan Şekil 2’de, seriye ilişkin faz uzayı grafiği bulunmaktadır.

Şekil 2. Beklenen Enflasyon Serisi Faz Uzayı Grafiği



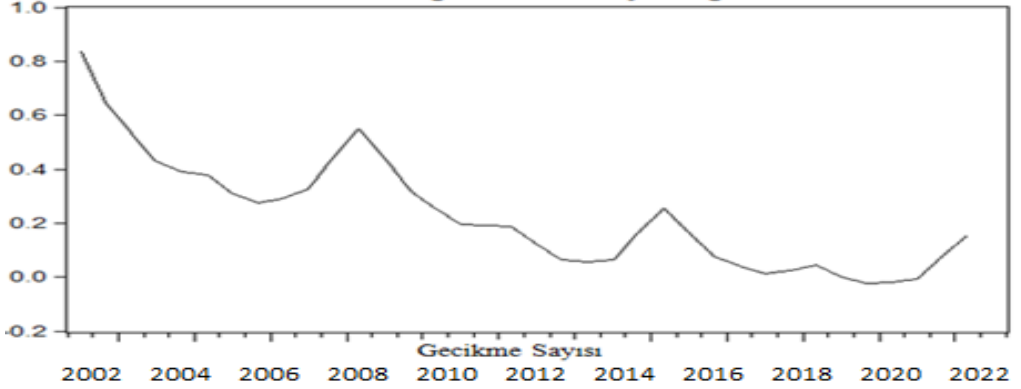
Şekil 2’de veri setine ilişkin faz uzayı grafiği incelendiğinde bilinmeyen bir sistem tarafından orijine doğru bir yönelim görülmektedir. VRA (Visual Recurrence Analysis) paket programı kullanılarak oluşturulan faz uzayı incelendiğinde yığılmanın orijine yakın bölgede olduğu görülmektedir. Yukarıda ifade edildiği gibi, karşılıklı bilgi yöntemi, zaman serilerinin geçmiş gözlemleri ile gelecek gözlemleri arasında ilişki olup olmadığını ortaya koymaktadır. Aşağıda Şekil 3’de verilen grafik incelendiğinde gecikme sayısı arttıkça ortalama karşılıklı bilgi düzeyinin azaldığı görülmektedir. Dolayısıyla ilgili serinin bu yöntemle göre kaotik özellikler sergilediği söylenebilmektedir.

Şekil 2. Beklenen Enflasyon Serisi Faz Uzayı Grafiği

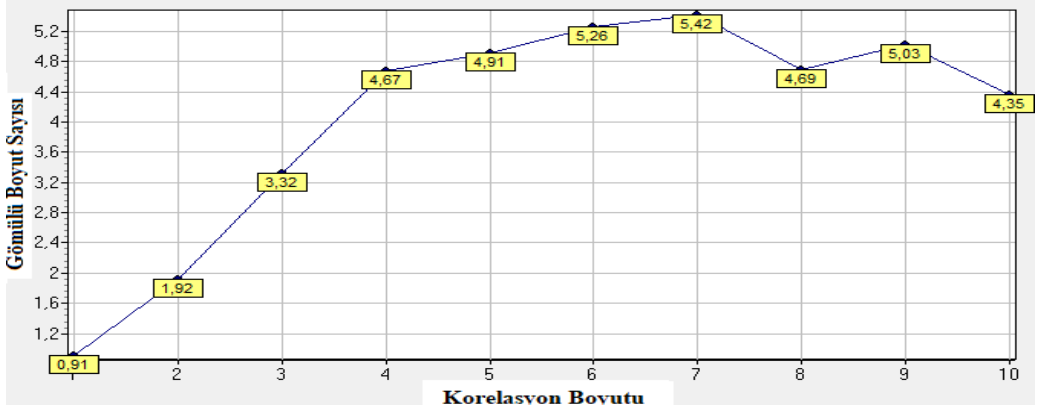


Kaotik yapıya sahip serilerin bir özelliğide geçmiş ile gelecek değerleri arasındaki ilişki çok zayıf olması durumudur (Kurt ve Kasap, 2020). Şekil 4’te izleneceği üzere, gecikme arttıkça sifıra yakınsayan otokorelasyon değerlerine sahip seriler geçmiş ile gelecek gözlemleri arasındaki ilişki yapısının çok zayıf olduğu görünür. Bu nedenle, böylesi yapıdaki serilerin kaotik yapıda oldukları genel olarak belirtilir.

Şekil 4. Kaotik Harekete İlişkin Otokorelasyon Gecikmelere göre otokorelasyon değerleri



Şekil 5. Korelasyon Boyutu ve Gömülü Boyut Arasındaki Grafik



Şekil 5'te veri setine ilişkin korelasyon boyutu grafiği sunulmuştur. Şekil incelendiğinde korelasyon boyutu arttıkça gömülü boyut sayısının da belli bir değere kadar (7.boyut) arttığı görülmektedir. Belli bir değerden sonra ise düşüşe geçtiği gözlemlenmektedir. Literatürde kaotik sistemler için korelasyon boyutunun genel olarak birden büyük ve kesirli olduğu, belli bir değere kadar artış gösterip bir değere yakınsadığı ifade edilmektedir. Bütün bunlar ve sonuçlar göz önüne alındığında beklenen enflasyon serisinin ilgili dönem için kaotik olduğu söylenebilmektedir.

C. Beklenen enflasyon verilerinin doğrusal olmama analizi

Bu bölümde doğrusal olmama veri analizi sonuçları incelenmekte ve değerlendirilmektedir. Burada temel olarak TÜFE beklenen enflasyon verisinin kaotik olup olmadığı araştırılmaktadır. Bu kapsamda ilk olarak verilerin doğrusal olmama durumu kontrol edilmektedir.

Öncelikle veri setinin zaman grafiği incelendiğinde klasik zaman serisi özelliği göstermediği görülmektedir. Klasik zaman serileri genel olarak zaman boyutu ile birlikte artış eğilimi göstermekte ve içerisinde trend barındırmaktadırlar. Ancak analiz dönemi beklenen enflasyon serisinin genel olarak ortalama etrafında dağıldığı ve düşük bir varyansa sahip olduğu yukarıda gösterilmiştir. Bununla

birlikte seriye birim kök testi yapılmış ve serinin ilgili dönem itibarıyla birim kök içermediği tespit edilmiştir (Bkz. Ek A).

Tablo 2. Beklenen Enflasyon Verisi için BDS Testi Sonuçları

Boyut (m)	BDS İstatistiği	Z İstatistiği	Olasılık Değeri
2	0,099	14,48	0,00
3	0,150	13,73	0,00
4	0,177	13,60	0,00
5	0,184	13,55	0,00
6	0,179	13,65	0,00

Ham veriye BDS testi yapılmış, korelasyon boyutu maksimum 6 seçilmiştir. E-views programı kullanılmış olup epsilon değeri 0.7 (fraction of pairs) ve tekrar(repetitions) 2500'dür. BDS testi sonuçlarına göre değişkenlerin bağımsız ve benzer dağılımlı olduğu yokluk hipotezi, olasılık değerleri p-değeri<0,05 olduğundan, reddedilmiştir. Buna göre ilgili serinin doğrusal olmama özellikleri taşıdığı söylenebilmektedir. BDS testi korelasyon boyutunu temel aldığından maksimum 6 boyuta kadar hipotezin reddedildiği görülmektedir.

D. Lyapunov üstelleri analizi:

Bir sistemdeki kaotik yapının varlığı en belirgin şekliyle pozitif Lyapunov ile karakterize edilmektedir. Buna göre en az bir tane pozitif üstelin varlığı kaotik özelliğe dayanak oluşturmaktadır. Dolayısıyla bir veri seti için pozitif Lyapunov üstelinin tespit edilmesi yalnız başına bile kaotik sürece işaret edebilmektedir. Bu kapsamda da en büyük Lyapunov üsteli R programı (R Package) vasıtasıyla elde edilmiş tahmin sonuçları Tablo 3'te aşağıda sunulmuştur.

Burada tahminler Lyapunov üsteli spektrumu ile elde edilmiştir. Bu yöntem Bootstrap bloklama yöntemiyle ayrıştırma prosedürüne dayanmaktadır. Yöntem pozitif Lyapunov üstelinin olduğunu iddia eden H0 boş hipotezini alternatif hipoteze karşı test etmeye dayanmaktadır.

H0: $\lambda_k > 0$ $k = 1, 2, 3, \dots, m$ değeri için

Sıfır hipotezini reddetmek veri setinde kaotik davranışın olmaması demektir. Yani, veri üreten süreç, kaotik bir çekiciye sahip değildir. Ayrıca test sonuçları başlangıç koşullarına duyarlılık özelliği test etmek için standart hatayı, Z testi değerini ve p değerini içermektedir.

Tablo 3. Beklenen Enflasyon Verisi için Lyapunov Üstelleri Testi Sonuçları

Lyapunov üssü	Tahmin	Standart Hata	Z İstatistiği	Olasılık Değeri (p value)
1	-0.33	0.07	-35.02	0.00
2	-0.64	0.08	-59.15	0.00

Gömme boyutu:2, gecikme:1, örnek çapı:230, blok uzunluğu:67, blok sayısı:1000 Lyapunov üssü tahmincisi ile R programı kullanılarak elde edilmiştir (R Package).

Tablo 3 incelendiğinde Lyapunov üstelerinin -0,33 ve -0,64 negatif olduğu görülmektedir. Olasılık değerine göre yokluk hipotezi reddedilmekte ve pozitif üslerin olmadığına işaret etmektedir. Buna göre ilgili dönem için beklenen enflasyon verisinin kaotik özellikler göstermediği sonucuna ulaşılmaktadır. Daha

önceki yöntemlerin aksine Lyapunov üsteli yaklaşımı beklenen enflasyon verisinde kaotik yapının varlığına işaret etmemektedir.

Literatür incelendiğinde makroekonomik verilerde kaosun tespitine yönelik çok az çalışma yapılmıştır. Guastello Guastello (1995), ABD enflasyonu için yaptığı çalışmasında düşük boyutlu kaos tespit etmiştir. Lyapunov boyutluluğuyla 1948-1995 dönemi için ilgili oranı 1.5 olarak bulmuştur. Başka bir çalışma ise, ABD'de enflasyon oranı için kaotik çekicilerin varlığını vurgulamıştır. Das (2014) enflasyon verilerinden hesapladığı Lyapunov üstellerini Fransa için 0.212, Hindistan için 0.664, İspanya için 0.212 ve Almanya için 0.231 olarak bulmuştur.

Ürkmez (2019) Türkiye için yaptığı çalışmasında Brent ham petrol günlük getirilerinin kaotik dinamikler tarafından karakterize edildiğini tespit etmiştir. Günay (2015) ise BRIC ülkeleri ve Türkiye için yaptığı çalışmada kaosun varlığına ilişkin kanıtların olduğunu ifade etmekle birlikte bunların zayıf olduğuna işaret etmiştir.

III. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada, beklenen enflasyon verisinin olası kaotik doğasının varlığını araştırmak amacıyla çeşitli yöntemler kullanılmış ve bunlara ilişkin sonuçlar paylaşılmıştır. İlk olarak faz uzayı incelendiğinde yığılmanın orijine yakın bölgede olduğu görülmekte bu da enflasyon serisinde kaotik özelliklere işaret etmektedir. Ayrıca, zaman serilerinin geçmiş gözlemleri ile gelecek gözlemleri arasında ilişki olup olmadığını ortaya koymayı amaçlayan karşılıklı bilgi yöntemine göre serinin kaotik özellikler sergilediği söylenebilmektedir.

Daha önce de belirtildiği üzere kaotik yapıya sahip serilerde geçmiş ile gelecek gözlemler arasında ilişki oldukça zayıftır. Analiz sonuçlarına göre ilişkinin çok zayıf olduğu görülmüştür. Korelasyon integrali yöntemine göre ise korelasyon boyutu arttıkça gömülü boyut sayısının da belli bir değere kadar arttığı görülmekte ve bir değere yakınsamaktadır. Bu da seride kaotik yapıya işaret etmektedir. BDS testi sonuçları ise serinin doğrusal olmama özellikleri taşıdığını göstermiştir. Bütün bunlarla birlikte son olarak Lyapunov üstelerini elde etmek amacıyla Lyapunov analizi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre pozitif bir üstel bulunamazken üsler -0,33 ve -0,64 negatif olarak bulunmuştur. Dolayısıyla, Lyapunov üsteller dikkate alındığında beklenen enflasyon serisinde kaotik yapı tespit edilememiştir.

Lyapunov yöntemi dışındaki analizlerin sonuçları ile Lyapunov sonucunun birbirini desteklemediği görülmektedir. Bunun çeşitli nedenleri olabildiği hatırdan çıkarılamamalıdır. Ancak, literatürde Lyapunov üstel varlığı kaosun varlığında daha önemli bir kanıt olarak ifade edilmektedir. Bununla birlikte söz konusu dönem için beklenen enflasyon verisinin azlığı göz ardı edilmemelidir. Makroekonomik serilerde kaotik yapının araştırılması sadece literatüre değil aynı zamanda uygulayıcılara faydalı sonuçlar elde etmesi için katkı sağlayacaktır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Makalenin tüm süreçlerinde Yönetim ve Ekonomi Dergisi'nin araştırma ve yayın etiği ilkelerine uygun olarak hareket edilmiştir.

Yazarların Makaleye Katkı Oranları

Makale Reşat KASAP tarafından kaleme alınmıştır.

1. yazar %45 oranında, 2. yazar %40, 3. yazar %15 oranında katkı sağlamıştır.

Çıkar Beyanı

Bu çalışmada herhangi bir potansiyel çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKÇA

- Alpar, O. ve Eren, Ö. (2016). İMKB100 endeks değişim değerlerinde lyapunov üsteli metoduyla kausun incelenmesi, İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi, 30(8), 151-174.
- Álvarez, L.J. and Correa-López, M. (2020). Inflation expectations in euro area Phillips curves, Economics Letters, (195), 109449.
- Bask, M. (1996). Dimensions and Lyapunov exponents from exchange rate series, Chaos, Solitons and Fractals, 7(12), 2199-2214.
- Bask, M. (2002). A positive Lyapunov exponent in Swedish exchange rates?, Chaos, Solitons and Fractals, 14(8), 1295-1304.
- Bildirici, M. ve Sonustun, B. (2018). Chaotic Behavior in Exchange Rate, International Journal of Financial Research 10(1):17.
- Brock, W. A., Dechert, W. D., Scheinkman, J. A., & LeBaron, B. (1996). A test for independence based on the correlation dimension. Econometric Reviews, 15(3), 197-235.
- Çiçek, S. ve Alkan, B. (2019). Enflasyon ve beklenen enflasyon belirsizlikleri üzerinden türkiye'de para politikasının değerlendirilmesi, Bankacılar Dergisi, Sayı 109, 83-100.
- Das, A., Das, Prita. (2007). Chaotic analysis of the foreign exchange rate. Applied Mathematics and Computation 185(1):388-396.
- Das, P., Das, A. (2014). Investigating the existence of chaos in inflation data in relation to chaotic foreign exchange rate, Economics Research International, Vol. 2014, 1-8.
- de Grauwe, P., Dewachter, H. (1993). A chaotic model of the exchange rate: The role of fundamentalists and chartists. Open Econ Rev 4, 351-379.
- Eckmann, J. P., Ruelle, D. (1985). Ergodic theory of chaos and strange attractors. Reviews of Modern Physics, 57(3), 617-656.
- Guastello, S.J. (1995). The search for a natural rate of price inflation: US 1948-1995. Chaos Network, 7(3), 16-23.
- Günay, S. (2015). Chaotic structure of the Bric countries and Turkey's stock market, International Journal of Economics And Financial Issues, 5(2), 515-522.
- İşeri, M., Çağlar, H. ve Çağlar, N. (2008). A Model Proposal for the Chaotic Structure of Istanbul Stock Exchange. Chaos, Solitons and Fractals, 36, 1392-1398.
- İşi, A. & Çemrek, F. (2019). Comparison of the Global, Local and Semi-Local Chaotic Prediction Methods for Stock Markets: The Case of FTSE-100 Index . Alphanumeric Journal , 7 (2) , 289-300.
- Kahyaoglu, M.B., İç, S. (2015). Kaos Teorisi Çerçevesinde Bireysel Yatırımcı Davranışının Analizi, İşletme Bilimi Dergisi, 3(1), 38-51.
- Kantz, H., & Schreiber, T. (2004). Nonlinear Time Series Analysis, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Kurt, E., & Kasap, R. (2020), Karmaşanın Bilimi Kaos, Nobel Yayınevi, 2. Basım, Ankara.
- Munoz-Pacheco, Jesus Manuel, Luz del Carmen Gómez-Pavón, Olga Guadalupe Félix-Beltrán, Arnulfo Luis-Ramos (2013). "Determining the Lyapunov Spectrum of Continuous-Time 1D and 2D Multiscroll Chaotic Oscillators via the Solution of m-PWL Variational Equations", Abstract and Applied Analysis, Vol. 2013, 1-11.
- Özdemir, S.D. ve Akgül, I. (2014). Hisse senedi piyasalarının kaotik yapısı ve yapay sinir ağları ile öngörüsü: İMKB-100 örneği. İktisat, İşletme ve Finans, 29(336), 31-58.

R Package ‘DChaos’, <https://CRAN.R-project.org/package=DChaos>

Sülkü S. N., Ürkmez E. (2018). Hisse senedi getirilerinde doğrusal olmayan dinamikler: Türkiye’den kanıtlar, *International Journal of Economic and Administrative Studies*, (18. EYİ Özel Sayısı):473-484.

TCMB, Beklenti Anketi,

<https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Istatistikler/Egilm+Anketleri/Beklenti+Anketi+Istatistikleri>

TCMB, <https://evds2.tcmb.gov.tr/index.php?/evds/archiveMarket/>

Torkamani, M. A., Mahmoodzadeh, S., Pourroostaei, S. and Lucas C. (2011). Chaos theory and application in foreign exchange rates vs. IRR (Iranian Rial) , *International Journal of Humanities and Social Sciences*, 1(3): 130-134.

Ürkmez, E. (2019). Brent ham petrol getirilerinde kaotik dinamiklerin araştırılması, *Dergi Uluslararası Ekonomi, İşletme ve Politika Dergisi*, 3(1), 69 – 82.

EKLER:

EK A. Ham veri için BDS testi sonuçları

BDS Test for INF
Date: 12/20/20 Time: 16:12
Sample: 2001M08 2020M11
Included observations: 232

Dimension	BDS Statistic	Std. Error	z-Statistic	Prob.
2	0.099765	0.006888	14.48408	0.0000
3	0.150467	0.010951	13.73999	0.0000
4	0.177491	0.013050	13.60036	0.0000
5	0.184534	0.013615	13.55386	0.0000
6	0.179486	0.013144	13.65579	0.0000

Raw epsilon	0.806268			
Pairs within epsilon	37788.00	V-Statistic	0.702066	
Triples within epsilon	6808504.	V-Statistic	0.545240	

Dimension	C(m,n)	c(m,n)	C(1,n-(m-1))	c(1,n-(m-1))	c(1,n-(m-1))^k
2	15658.00	0.589422	18589.00	0.699755	0.489658
3	13098.00	0.497361	18504.00	0.702639	0.346894
4	10973.00	0.420325	18326.00	0.701984	0.242834
5	9142.000	0.353273	18129.00	0.700556	0.168739
6	7605.000	0.296480	17939.00	0.699349	0.116994

BDS Test Statistic

>

Epsilon

Method:

Fraction of pairs

Fixed value

Standard deviations

Fraction of range

Value:

Correlation dimension

Maximum dim:

Probabilities

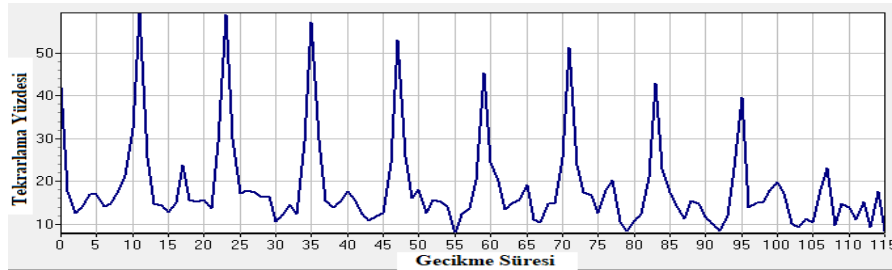
Use bootstrap

Repetitions:

EK B. Birim kök test sonucu

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on INF				
Null Hypothesis: INF has a unit root				
Exogenous: Constant				
Lag Length: 12 (Automatic - based on SIC, maxlag=14)				
		t-Statistic	Prob.*	
Augmented Dickey-Fuller test statistic		-4.351777	0.0005	
Test critical values:				
	1% level	-3.460173		
	5% level	-2.874556		
	10% level	-2.573784		
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(INF)				
Method: Least Squares				
Date: 12/20/20 Time: 16:14				
Sample (adjusted): 2002M09 2020M11				
Included observations: 219 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
INF(-1)	-0.201527	0.046309	-4.351777	0.0000
D(INF(-1))	-0.170731	0.060607	-2.817029	0.0053
D(INF(-2))	-0.238103	0.061657	-3.861741	0.0002
D(INF(-3))	-0.184003	0.060603	-3.036177	0.0027
D(INF(-4))	-0.208293	0.060198	-3.460153	0.0007
D(INF(-5))	-0.246187	0.058784	-4.187968	0.0000

EK C. Tekrarlanma yüzdesi



EK D. Lyapunov üssü spektrumu yöntemi R programı kodları ve tahmin sonuçları

```
veri <- read.table("C:/Users/hp/Desktop/Doktora/Dersler/kaos/final/veri.txt", quote="", comment.char="")
View(veri)
veri(1)
lyapunov( veri[,1], m = 1:4, lag = 1:1, timelapse = c("FIXED"), h = 2:10, w0maxit = 100,
wtsmaxit = 1e+06,
pre.white = TRUE,
lyapmethod = c("SLE", "LLE", "ALL"),
blocking = c("BOOT"),
B = 1000,
trace = 1,
seed.t = TRUE, doplot = TRUE)
summary(lyapunov(veri[,1]))

$emb.m
[1] 2
$emb.lag
[1] 1
$emb.h
[1] 3
$estimator
[1] "Lyapunov exponent spectrum"
$procedure
[1] "QR decomposition by bootstrap blocking method"

$exponent.mean
Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
```

Exponent 1 -0.3293699 0.07805630 -34.53929 1.032191e-261
 Exponent 2 -0.6482887 0.08935065 -59.38930 0.000000e+00

\$exponent.median

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
Exponent 1	-0.3325357	0.07772471	-35.02004	5.574331e-269
Exponent 2	-0.6496777	0.08989694	-59.15486	0.000000e+00

Call: Lyapunov exponent spectrum

Coefficients:	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
Exponent 1	-0.3325357	0.07772471	-35.02004	5.574331e-269
Exponent 2	-0.6496777	0.08989694	-59.15486	0.000000e+00

Procedure: QR decomposition by bootstrap blocking method
 Embedding dimension: 2, Time-delay: 1, No. hidden units: 3
 Sample size: 230, Block length: 67, No. blocks: 1000

SUMMARY

The presence of chaos in an economic data can give a great idea about the model to be created. It is clear that the models created with this information will provide more reliable results in obtaining and interpreting future forecasts. This study examines the chaotic nature of expected inflation. Turkey is a country that has experienced the problem of inflation for years. Especially in the 90s, a period of chronic inflation was observed for Turkey. In 2000 and 2001, with the currency crisis and banking crisis, Turkey experienced a period of reforms in line with the low inflation target by putting new economic policies into effect. With the new economic programs, the independence of the CBRT has been strengthened, while the main task of price stability, accountability and transparency principles have been established. In this context, the CBRT started implementing implicit and explicit inflation targeting in 2002 and early 2006, respectively. The CBRT also obtains expected inflation data regarding inflation expectations through various methods and shares these data with the public. Expected inflation is a very important macroeconomic indicator for economists and policy makers. The formation of the expected inflation is a forecast value that covers many technical details, and many factors are taken into account while creating this forecast value, and a forecast value emerges as a result. The existence of a possible chaos in the expected inflation is important for the models to be established. In this context, the BDS independence test was performed on the data, and the correlation dimension was obtained.

The correlation dimension is among the most important steps in the investigation of chaotic systems. Especially in tests to be used to determine linearity, correlation integral should be obtained. Therefore, the correlation dimension is also needed. To show the $C(\varepsilon)$ correlation integral and ε a selected very small value, while the sample diameter goes to infinity, the correlation integral $C(\varepsilon)$ will converge to the εv value, and thus the value of the correlation size v will be estimated (Eckman and Ruelle, 1985). Besides

the correlation dimension, another important concept is the embedded dimension. The embedded dimension represents the dimension of the phase space and is calculated by the wrong nearest neighbor method, which takes into account neighboring points.

The linearity test, first proposed by Brock, Dechert, and Scheinkman (1987), is based on the calculation of correlation integrals by transforming the data into vectors of different sizes.

The presence of a chaotic structure in a system is most clearly characterized by positive Lyapunov. Accordingly, the existence of at least one positive exponent is the basis for the chaotic property. Therefore, the detection of a positive Lyapunov exponent for a data set alone may indicate a chaotic process. There are various techniques for obtaining the Lyapunov exponent in time series (Kurt and Butcher, 2020). These are considered as direct methods where no model is used and model-based methods. Model-based methods are also known as Jacobien methods because they use the Jacobien matrix of the model.

After descriptive statistics and time series graphs of expected inflation data, analyzes regarding its chaotic structure are required. Chaotic structures have unique technical features. The foundations of chaos theory are based on the concepts of sensitive dependence on initial conditions, fractal geometry and attractors. Unlike linear deterministic systems, chaotic structures do not contain a certain pattern, so they require the existence of initial conditions for long-term predictions (Kurt and Kasap, 2020). This situation reveals the sensitive sensitivity of chaos theory to initial conditions.

When the phase space of the data is examined, it is seen that the accumulation is in the region close to the origin, which indicates chaotic features in the inflation series. In addition, it can be said that the series exhibit chaotic properties according to the mutual information method, which aims to reveal whether there is a relationship between past observations and future observations of time series.

As mentioned before, the relationship between past and future observations is very weak in series with chaotic structure. According to the results of the analysis, it was seen that the relationship was very weak. According to the correlation integral method, it is seen that as the correlation size increases, the number of embedded dimensions increases up to a certain value and converges to a value. This indicates the chaotic structure in the series. The BDS test results showed that the series had non-linear properties.

Then the largest positive Lyapunov exponent (LLE) was found. While the necessary tests were carried out for the current month CPI expectations data for the period 2001:08-2020:11, the BDS test and

correlation analysis results indicated chaos, while the largest Lyapunov exponent (LLE) showed that the chaotic structure was present. not detected in the data. Investigation of the chaotic structure in macroeconomic series will contribute to obtaining useful results not only for the literature but also for practitioners.