

BİTCOİN GETİRİLERİNİN KAOTİK YAPISININ İNCELENMESİ¹

Arş. Gör. Eda Yalçın KAYACAN²

Arş. Gör. Dr. Aygöl ANAVATAN³

ÖZET

Bitcoin açık kaynaklı bir kod olarak yayınlanan ve blok zinciri (blockchain) teknolojisine dayanan ilk kriptopara birimidir. Kriptopara birimlerinin avantajı, merkezi olmayan yapılar olması ve bu sayede merkez bankalarına ihtiyaç duymayıp işlem maliyetlerinin az olmasıdır. Bu çalışmanın amacı, son zamanlarda popülerliği artan ve en köklü kriptopara birimi olan Bitcoin getirilerinin kaotik yapıya sahip olup olmadığını tespit etmektir. Başlangıç koşullarına aşırı duyarlı olan seriler kaotik dinamiklere sahiptir. Eğer seriler kaotik özelliklere sahipse, geleneksel yöntemlerle incelenmeleri yanıltıcı sonuçlar verebilmektedir. Bu amaçla, 19.12.2011-29.01.2018 dönemine ait Bitcoin getiri serisi kullanılarak ilk olarak BDS (Brock, Dechert ve Scheinkman) testi ile doğrusal olmayan bağımlılık test edilmiş, ardından serideki uzun dönemli bellek yapısını belirlemek için dönüştürülmüş genişlik (rescaled range-R/S) yöntemi uygulanarak Hurst üsteli elde edilmiştir. Ardından, yanlış en yakın komşular yöntemi ile uygun gömme boyutu belirlenmiştir. Serideki kaotik davranışı tespit etmek için korelasyon boyutu hesaplanmış ve Lyapunov üsteli değeri pozitif bulunmuştur. Sonuç olarak, serinin doğrusal olmayan dinamikler içerdiği, uzun belleğe sahip olduğu ve serinin kaotik özellikler taşıdığı bulgusu elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bitcoin, Kaos, Kaotik Zaman Serileri, Hurst Üsteli, Lyapunov Üsteli

JEL Kodları: C22, C58, G10

INVESTIGATION OF THE CHAOTIC STRUCTURE OF THE BITCOIN PROCEEDS

ABSTRACT

Bitcoin is the first crypto currency published as open source code and based on Blockchain technology. The advantage of cryptocurrencies is that they are decentralized structures and, thus they don't need central banks, so the transaction costs are less. The aim of this study is to determine whether the recent and the most well-established cryptocurrency Bitcoin, whose popularity has increased in recent times, is chaotic. The series, which are overly sensitive to initial conditions, have chaotic dynamics. If the series have chaotic properties, examination with conventional methods can give misleading results. For this purpose, firstly nonlinear dependency test was tested by BDS test using Bitcoin return series of 19.12.2011-29.01.2018 period, and then Hurst exponent was obtained by applying transformed width (R / S) method to determine the long memory structure. And then, the appropriate embedding dimension was also determined by the false nearest neighbors' method. The value of the correlation dimension was calculated in order to detect chaotic behavior in the series and Lyapunov exponent was found to be positive. As a result, it was found that the series contains nonlinear dynamics and it has long memory and chaotic properties.

Keywords: Bitcoin, Chaos, Chaotic Time Series, Hurst Exponent, Lyapunov Exponent

¹ Bu Makale 5-7 Mayıs 2018 tarihleri arasında Antalya'da düzenlenen ASEAD 3. Uluslararası Sosyal Bilimler Sempozyumu'nda sunulan bildiriden geliştirilmiştir.

² Pamukkale Üniversitesi, Ekonometri Bölümü, eyalcin@pau.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-1616-9121

³ Pamukkale Üniversitesi, Ekonometri Bölümü, aanavatan@pau.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-0130-9555

JEL Codes : C22, C58, G10

GİRİŞ

Kaos; boşluk, açıklık anlamlarına gelen Yunanca bir kelimedir. Mitolojide ise evrenin yaratılmadan önceki durumunu ifade etmektedir ve kozmos, mutlak boşluk yani kaostan doğmuştur. Kaos teorisinin yaratıcısı olan Lorenz (1963)'e göre ise kaos rasgele davranan düzgün yapıli bir düzendir. Kaos, Lorenz'in 1960 yılında hava tahmin sonuçlarını incelerken; başlangıç verilerindeki değişikliğin anlamlı sonuçlar yarattığını keşfetmesiyle ortaya çıkmıştır. Kaotik sistemlerin tanımlanmasına da bu buluş öncülük etmektedir. Lorenz buluşunu, kaotik sistemlerde değişimin belirli sınırlar içerisinde olduğunu ve değişim hareketlerinin belirlenemez olduğunu ifade ederek geliştirmiştir. Kaotik sistemlerde, değişimleri kendi taraflarına çeken olasılık odakları bulunmaktadır. Bu odaklar, kaotik çekerler olarak adlandırılmaktadır. Bu çekerlere, garip çekerler de denilmektedir ve grafiksel olarak da ifade edilebilmektedir. Bu çekerlerin en ünlüsü, kelebek biçimli Lorenz çekeridir.

Başlangıç durumlarına hassas bağlılık söz konusu olduğunda; bir dinamik sistemin başlangıç durumundaki en ufak bir değişiklik onun gelecek fiyat hareketlerinde büyük bir değişikliğe yol açabilmekte, sistemin uzun vadeli davranışını öngörmek olanaksız hale gelmektedir. Kaos teorisinde bu olgu kelebek etkisi adıyla bilinmektedir⁴.

Kaotik sistemler; doğrusal değildir, başlangıç koşullarına karşı hassastır, boyutsuzdur, garip çekerlere sahiptir ve evrenseldir. Seriler kaotik özelliklere sahipse, geleneksel yöntemler yanıltıcı sonuçlar vermektedir. Bu çalışmanın amacı, son zamanlarda popülerliği artan ve en köklü kriptopara birimi olan Bitcoin getirilerinin kaotik yapıya sahip olup olmadığını tespit etmektir. Bitcoin açık kod olarak piyasaya sürülen ve blok zinciri teknolojisine dayanan ilk kriptopara birimidir. Kriptoparaların avantajı merkezi olmayan yapılar olması ve merkez bankasına ihtiyaç duymamasıdır. Bu sayede işlem maliyetleri çok daha az olmaktadır.

Kriptopara birimleri, kriptografiye (şifreleme bilimi) dayanmaktadır⁵. Kriptoloji, paranın yaratımında ve yapılan işlemlerin güvenilirliğini sağlamada kullanılmaktadır. Günümüzde piyasada bulunan tüm kriptopara birimlerinin alt yapısını oluşturan teknik sistem ise 2008 yılı sonlarında Satoshi Nakamoto olarak bilinen bir kişi ya da grup tarafından kurulmuştur. Nakamoto kelimesinin dört Asya teknoloji devinin baş harflerinden oluştuğu düşünülmektedir. Kriptopara kriptolama (şifreleme) teknolojisini kullanan dijital veya sanal olarak tanımlanabilecek bir paradır. Güvenlik kriterlerinden dolayı kriptoparanın deşifre olması neredeyse imkansızdır, bu nedenle çok güvenli olduğu söylenebilir. Ekonomistlere göre kriptopara, paranın sağlaması gereken özelliklerden; tanınma, değişim aracı olma, taklit edilememe, transfer edilebilme, değer saklama ve homojenlik özelliklerinin tamamını taşımaktadır. Blok zinciri, şifrelenmiş işlem takibi sağlayan bir dağıtık veri tabanı olarak tanımlanabilir. Zincirleme bir modelle inşa edilen, takip edilebilen ama kırılmayan blok

⁴ Sülkü, S. N., & Ürkmez, E. (2018). Hisse Senedi Getirilerinde Doğrusal Olmayan Dinamikler: Türkiye'den Kanıtlar. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 18. EYI Sp, 473.

⁵ Gandal, N., & Halaburda, H. (2016). *Can We Predict the Winner in a Market with Network Effects? Competition in Cryptocurrency Market* (No. 14–17). *NET Institute*. Retrieved from ssn: <https://ssrn.com/abstract=2506463>

zinciri teknolojisi, bir merkeze bağlı olmaksızın işlem yapmaya izin verebilmektedir. Böylece dijital para transfer işlemleri doğrudan olarak alıcı ile satıcı arasında ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

Bitcoin fiyatlarındaki kaotik özellikleri inceleyen sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Lahmire & Bekiros (2018), Bitcoin fiyatları ve getirilerini alt ve üst rejim olarak ikiye ayırmıştır. En büyük Lyapunov üsteli, Shannon entropi ve çoklu fraktal eğimden arındırılmış dalgalanma analizini kullanarak bu serilerde kaos, rastsallık ve çoklu fraktallığı ortaya çıkarmıştır. Stosic ve diğerleri (2018), 20 kriptopara birimi için 2013'ten 2017'ye kadar analiz yapmış ve kriptopara birimlerinin kompleks ve oynak bir yapıya sahip olduğu sonucuna ulaşmıştır. Akkaya, Yıldırım, & Hacınlıyan (2015), 2011-2014 dönemleri için günlük Euro ve Dolar cinsinden Bitcoin fiyatlarının kaotik davranışını incelemiştir.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde kullanılan metodolojik yöntemler yer almaktadır. Üçüncü bölüm, veri seti ve ampirik sonuçları içermektedir. Son bölümde ise sonuç ve değerlendirme kısmı bulunmaktadır.

1. METODOLOJİ

Bir zaman serisi verisinde istenen bilgiyi elde etmek için arka plandaki gürültünün ayrıştırılması gerekmektedir. Gürültüyü ayrıştırmak için kullanılan yöntemlerden biri kama düzgünleştirilmesidir (smoothing spline). g , $[a, b]$ aralığındaki ikinci dereceden türevi alınabilen herhangi bir fonksiyon ve α , düzgünleştirme parametresi olmak üzere penaltı kareler toplamı⁶;

$$S(g) = \sum_{i=1}^n \{Y_i - g(t_i)\}^2 + \alpha \int_a^b \{g''(t_i)\}^2 dt \quad (1)$$

formülüyle elde edilmekte ve Cholesky ayrıştırması yardımıyla seri gürültüden arındırılmaktadır.

Birbirine çok yakın iki nokta m boyutlu bir çizimde üst üste görünürken, m 'den daha büyük bir uzayda görünür hale gelmektedir. Sisteme ait çekerin yapısını belirsizlik olmadan görmek için faz uzayı, yeniden oluşturulmaktadır. Faz uzayını yeniden oluşturmada Kennel, Brown, & Abarbanel (1992) tarafından önerilen yanlış en yakın komşular yöntemi oldukça sık kullanılmaktadır. Bu yöntemde en yakın komşular arasındaki uzaklık, R_T eşik değerinden büyükse komşular yanlıştır ve gömme boyutu bir arttırılır. En yakın komşular arasındaki uzaklığın doğru olduğu noktadaki boyut, uygun gömme boyutu olarak kabul edilmektedir. Kaotik davranışın doğrulanması için ise korelasyon boyutu analizi gerekli bir süreçtir. Kaotik sistemler için korelasyon boyutu genel olarak birden büyük olmakta ve kesirli değerler almaktadır⁷.

⁶ Green, P. J., & Silverman, B. W. (1994). *Nonparametric Regression and Generalized Linear Models: A Roughness Penalty Approach*. Springer.

⁷ Hegger, R., Kantz, H., & Schreiber, T. (1999). Practical implementation of nonlinear time series methods: The TISEAN package. *Chaos*, 9(2), 413.

Kaos doğrusal olmayan sistemlerde ortaya çıkmasına rağmen, doğrusal olmayan her sistem kaotik değildir. Bu nedenle incelenmesi gereken diğer bir özellik, seride bağımlılık olup olmadığıdır. Finansal zaman serisindeki doğrusal bağımlılık, doğrusal olmayan bağımlılık ve kaos da dahil olmak üzere bağımsızlıktan olası çeşitli sapmaların belirlenmesinde Brock, Dechert ve Scheinkman (1986) tarafından önerilen BDS testi kullanılmaktadır.

Bu test, bağımsızlık sıfır hipotezi altında gözlenen seriyi m-boyutlu uzaya gömerek serinin mekânsal bağımlılığını incelemektedir. Bu yöntem, hem model seçim aracı ve hem de tanımlama testi olarak kullanılabilir⁸.

BDS testinde $\{u_t\}$, F fonksiyonu dağılımına sahip olan reel rastsal değişkenlerin katı durağan bir stokastik süreci iken $(u_t, u_{t+1}, \dots, u_{t+m-1})$ m-periyodu, u_t^m tarafından gösterilmektedir. $x \in R^m$ için $\|x\| = \max_{1 \leq k \leq m} \{|x_k|\}$ ifadesi maksimum normu göstermektedir ve bu norm için geri planda yatan uzayın boyutunu vurgulamak amacıyla $\|\cdot\|_m$ gösterimi kullanılmaktadır. χ_ϵ , $A = [0, \epsilon)$ kümesinin karakteristik fonksiyonu göstermek üzere m gömme boyutundaki (embedding dimensions) korelasyon integrali aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$C_{m,n}(\epsilon) = \frac{1}{\binom{n}{m}} \sum_{1 \leq s < t \leq n} \chi_\epsilon(\|u_s^m - u_t^m\|) \quad (2)$$

Serinin uzun dönemli bellek yapısına sahip olup olmadığını incelemek için Hurst üsteli hesaplanmaktadır. Hurst üsteli, R/S yöntemi kullanılarak elde edilebilmektedir. Hurst üsteli, R/S değerleri ile gözlem sayısı (N) arasında kurulan regresyon denkleminin eğimidir ve aşağıdaki gibi elde edilir;

$$\log(R/S) = \log(a) + H \log(N) \quad (3)$$

Bu değer 0 ile 1 arasında olabilmektedir. Hurst üstelinin 0.5 olması, serinin rassal bir yürüyüş izlediği anlamına gelmektedir. 0.5'ten daha küçük bir Hurst üsteli serinin ortalamaya dönüşlü olan, diğer bir ifadeyle uzun dönem bağımlılığa sahip olmayan bir süreci göstermektedir. 0.5'ten daha büyük bir Hurst üsteli için, serinin dirençli bir yapıya, başka bir ifadeyle uzun dönem bağımlılığa sahip olduğu söylenebilir⁹.

Serideki kaotik davranışı tespit etmek için Lyapunov üsteli hesaplanmaktadır. İki başlangıç noktası arasındaki uzaklık d_0 olmak üzere en büyük üstel aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

$$\lambda = \frac{1}{t_N - t_0} \sum_{k=1}^N \log_2 \frac{d(t_k)}{d(t_{k-1})} \quad (4)$$

λ negatif ise farklı başlangıç şartlarında, aynı çıkış değerleri elde edilmektedir. Yani hareket kaotik değildir. λ pozitif ise farklı başlangıç değerlerinde, farklı çıkış değerleri elde edilmektedir.

⁸ 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.

⁹ Panas, E. (2001). Estimating fractal dimension using stable distributions and exploring long memory through ARFIMA models in Athens Stock Exchange. *Applied Financial Economics*, 11, 395.

Dolayısıyla hareket kaotik özelliklere sahiptir. Üstellerden en az biri pozitif olmalıdır. Faz uzayında birbirine yeterince yakın iki başlangıç noktası, zaman içinde birbirlerinden ortalama bir üstel faktörle uzaklaşıp, yakınlaşmaktadır. Bu durum, üstel faktör Lyapunov üsteli olarak adlandırılmaktadır ve aşağıdaki şekilde elde edilmektedir;

$$d(t) = d_0 e^{\lambda t} \quad (5)$$

2. VERİ SETİ VE AMPİRİK SONUÇLAR

Bitstamp piyasasındaki Bitcoin fiyat indeksi, 19.12.2011 ve 29.01.2018 tarihleri arasındaki dönem için Amerikan doları cinsinden www.bitcoincharts.com¹⁰ adresinden elde edilmiştir. Bitstamp en köklü Avrupa Bitcoin piyasasıdır ve 2011 tarihine dayanmaktadır, ayrıca temel olarak Bitcoin ticaretine odaklanmaktadır. Tablo 1, 2234 gözlem için Bitcoin getirileri için tanımlayıcı istatistikleri vermektedir.

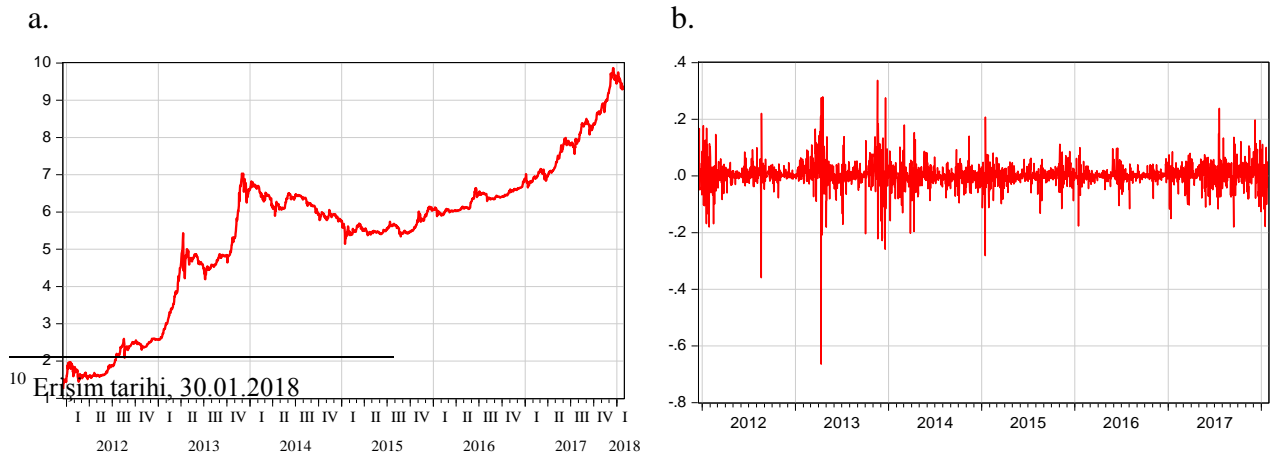
Tablo 1: Tanımlayıcı İstatistikler

Ortalama	Medyan	Minimu	Maksimu	Standart	Çarpıklı	Basıklık	Jarque-Bera	Olasılık
a		m	m	Sapma	k			
0.0036	0.0025	-0.6639	0.3374	0.048971	-1.3654	26.4115	51713.13	0.0000

Bitcoin getirilerinin tanımlayıcı istatistikleri incelendiğinde, getiri serisinin ortalama değerinin, standart sapmasından küçük olduğu görülmektedir. Bu durum finansal zaman serilerinin genellikle rassal yürüyüş gösterdiği gerçeği ile tutarlıdır. Getiri serisi, negatif çarpıktır ve normal dağılımdan daha yüksek basıklığa sahiptir. Jarque-Bera istatistiği de getiri serinin normal dağılmadığını göstermektedir. Bu özelliklerden dolayı serinin tipik finansal zaman serisi özellikleri taşıdığı söylenebilir.

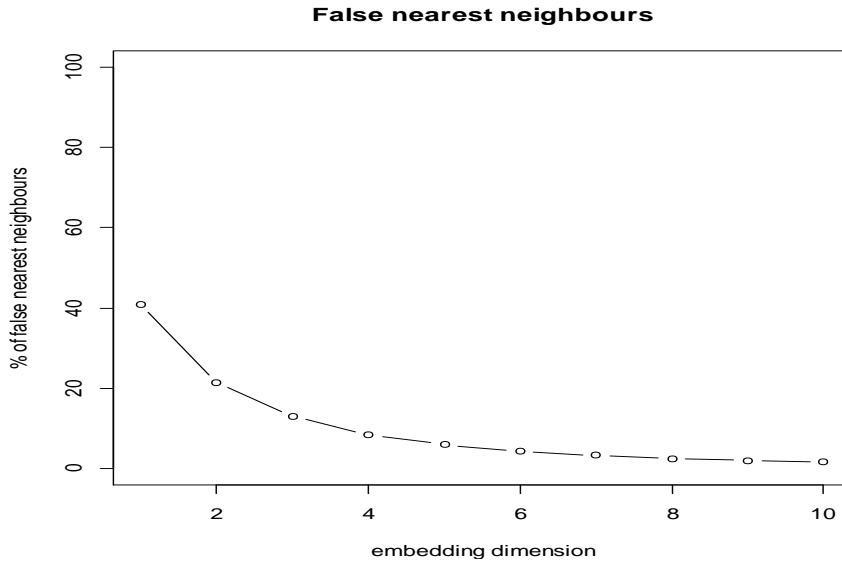
Bitcoin indeksinin doğal logaritması ve getiri serisinin grafiği Şekil 1'de sunulmaktadır. Bitcoin fiyat indeksinde artan bir trend olduğu ve getiri serisinde oynaklık kümelerinin olduğu açıkça görülmektedir.

Şekil 1: a) Bitcoin İndeksinin Doğal Logaritması b) Bitcoin Getirileri



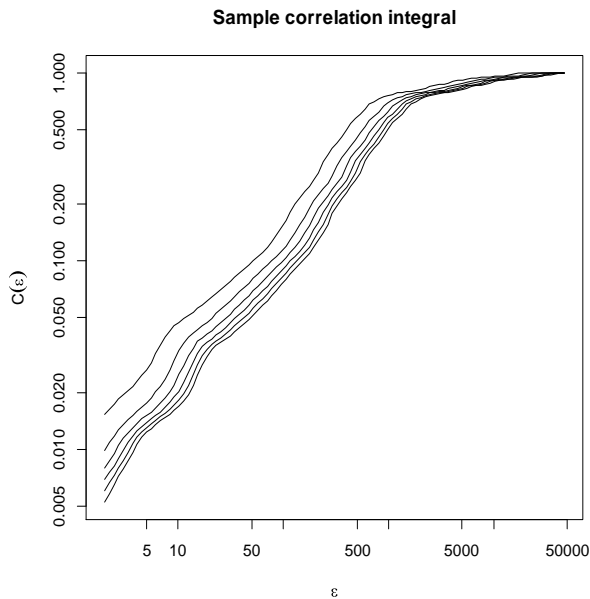
Deneyisel veri genellikle gürültü sinyali içermektedir. Gürültünün azaltılması için doğrusal ve doğrusal olmayan metotlar kullanılmaktadır. Birinci adımda, Bitcoin getirilerindeki gürültü azaltılmıştır. İkinci adımda faz uzayı, yanlış en yakın komşular yöntemine göre yeniden oluşturularak Şekil 2’deki gibi elde edilmiştir.

Şekil 2: En Yakın Komşular Yöntemine Göre Faz Uzayının Yeniden Oluşturulması



Uygun gömme boyu yanlış en yakın komşular yöntemi göre 8 olarak bulunmuştur. Kaotik davranışın varlığını tespit etmek için korelasyon boyutu analizi yapılmıştır ve grafiği Şekil 3’te gösterilmiştir.

Şekil 3: Örnek Korelasyon İntegrali



Örnek korelasyon integrali bir olduğu için Bitcoin getirilerinin kaotik özelliğe sahip olduğu söylenebilmektedir. Üçüncü adımda, doğrusal olmayan bağımlılığı incelemek için BDS testi uygulanmış ve sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. BDS testinde, sıfır hipotezi her iki gömme boyutu için de reddedilmektedir. Bu nedenle, Bitcoin getirilerinin doğrusal olmayan dinamikler içerdiği söylenebilir.

Tablo 2: BDS Test Sonuçları

[2]	12.3827 [0.0000]	11.6809 [0.0000]	11.8149 [0.0000]	13.2562 [0.0000]
[3]	17.7087 [0.0000]	15.4131 [0.0000]	14.5194 [0.0000]	15.3080 [0.0000]

Not: 2 ve 3 gömme boyutu için test istatistiği değerleri ve parantez içinde olasılık değerleri raporlanmaktadır.

Dördüncü adımda, uzun bellek yapısını incelemek için Hurst üsteli hesaplanmıştır. R/S yöntemine göre Hurst üsteli 0.6512 olarak elde edilmiştir. Bu değer 0.5’den büyük olduğu için Bitcoin getirilerinin uzun bellekli olduğu bulgusu elde edilmiştir.

Beşinci adımda, kaotik davranışı tespit etmek için Lyapunov üsteli hesaplanmıştır. En büyük Lyapunov üsteli değeri $\lambda=0.5334292$ olarak bulunmuştur. Bu değer sıfırdan büyük olduğu için serinin kaotik özellikler taşıdığı yorumu yapılabilir.

SONUÇ

Kriptopara birimleri, merkezi olmayan yapılar olduğundan ve bu sayede merkez bankalarına ihtiyaç duymayıp görece az işlem maliyetlerine sahip olduğundan popüler hale gelmiştir. Bu çalışmada, Bitcoin getirilerinin kaotik yapıya sahip olup olmadığı incelenmiştir. Bu amaçla, ilk olarak serideki istenen bilgiyi elde etmek için arka plandaki gürültü ayrıştırılmıştır. Ardından sisteme ait çekerin yapısı, belirsizlik olmadan incelenmek için yanlış en yakın komşular yöntemi ile faz uzayı, yeniden oluşturulmuş ve uygun gömme boyuna karar verilmiştir. Korelasyon boyutu analizi ile de serinin kaotik davranışa sahip olduğu doğrulanmıştır. R/S yöntemi kullanılarak hesaplanan Hurst üsteline göre serinin uzun belleğe sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. BDS testine göre Bitcoin getirilerinin doğrusal olmayan dinamikler içerdiği tespit edilmiştir. BDS testi ile kaotik yapının varlığı sadece yorumsal olarak ortaya konmuşken, Lyapunov üstellerine göre serideki kaotik yapının varlığı kesin olarak söylenilebilmektedir. Son olarak, Lyapunov üsteli hesaplanmış ve serinin kaotik davranış gösterdiği bulgusu elde edilmiştir. Özetle, Bitcoin getirileri, doğrusal olmayan dinamikler içermektedir. Seride şokların etkisi kalıcıdır yani uzun belleğe sahiptir. En önemlisi kaotik özellikler taşımaktadır. Dolayısıyla, seriyi geleneksel yöntemlerle incelemek bu özellikleri göz ardı etmek olacaktır.

KAYNAKÇA

Akkaya, E. E., Yildirim, A. H., & Hacinliyan, A. S. (2015). Chaos in Digital Currency Markets. *Chaotic Modeling and Simulation (CMSIM)*, 1(July 2014), 65–71.

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.

Gandal, N., & Halaburda, H. (2016). *Can We Predict the Winner in a Market with Network Effects? Competition in Cryptocurrency Market* (No. 14–17). NET Institute. Retrieved from ssrn: <https://ssrn.com/abstract=2506463>

Green, P. J., & Silverman, B. W. (1994). *Nonparametric Regression and Generalized Linear Models: A Roughness Penalty Approach*. Springer.

Hegger, R., Kantz, H., & Schreiber, T. (1999). Practical implementation of nonlinear time series methods: The TISEAN package. *Chaos*, 9(2), 413–435.

Kennel, M. B., Brown, R., & Abarbanel, H. D. I. (1992). Determining embedding dimension for phase-space reconstruction using a geometrical construction. *Physical Review A*, 45(6), 3403–3411.

Lahmiri, S., & Bekiros, S. (2018). Chaos, randomness and multi-fractality in Bitcoin market. *Chaos, Solitons and Fractals*, 106, 28–34.

Lorenz, E. N. (1963). Deterministic Nonperiodic Flow. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 20, 130–141.

Panas, E. (2001). Estimating fractal dimension using stable distributions and exploring long memory through ARFIMA models in Athens Stock Exchange. *Applied Financial Economics*, 11, 395–402.

Stosic, D., Stosic, D., Ludermir, T. B., & Stosic, T. (2018). Nonextensive triplets in cryptocurrency exchanges. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 505, 1069–1074.

Sülkü, S. N., & Ürkmez, E. (2018). Hisse Senedi Getirilerinde Doğrusal Olmayan Dinamikler: Türkiye’den Kanıtlar. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 18. EYI Sp, 473–484.

www.bitcoincharts.com. (2018). Retrieved January 29, 2018, from www.bitcoincharts.com