

GELİŞMİŞ VE GELİŞMEKTE OLAN BORSALAR İLE KRİPTO VARLIK PİYASASINDA FRAKTAL PİYASA HİPOTEZİ'NİN TESTİ

TESTING THE FRACTAL MARKET HYPOTHESIS IN THE CRYPTOASSET MARKET WITH DEVELOPED AND EMERGING STOCK EXCHANGES

Müge SAĞLAM BEZGİN⁽¹⁾

Öz: Bu çalışmada, piyasa istikrarı ve yatırımcı ufkunu açıklayan, finansal zaman serilerinin normal dağılmadığını ve finansal zaman serilerinde kendine benzerlik özelliği olduğunu ifade eden fraktal piyasa hipotezinin iki gelişmekte olan, iki gelişmiş piyasada ve iki kripto varlıkta geçerliliğinin Hurst Üsteli- Yeniden ölçeklendirilmiş aralık (R/S) Analizi yöntemi aracılığıyla araştırılması amaçlanmıştır. MSCI sınıflamasına göre gelişmiş piyasalar olarak SP500 ve FTSE, gelişmekte olan piyasalar olarak Borsa İstanbul 100 ve Shanghai Endeksi incelemeye dahil edilmiştir. Kripto varlıklarda ise işlem hacmi en yüksek olan Bitcoin ve Ethereum değişkenleri incelemeye dahil edilmiştir. Çalışma bulgularına göre incelenen tüm endekslerde Fraktal Piyasa Hipotezi'nin varlığı kabul edilirken uzun hafızanın rolü ise değişmektedir. Tüm değişkenlerde Hurst üsteli değeri 0.5 değerinden yüksektir. Hurst üsteli sonuçlarına göre tüm değişkenlerde zaman serisinin kalıcı davranış gösterdiğine ilişkin hipotez kabul edilmiştir. Uzun hafızanın yani kalıcılığın en düşük olduğu değişken ise FTSE'dir. Gelişmekte olan borsalarda uzun hafıza ve kalıcılık gelişmiş borsalara göre daha yüksekken tüm değişkenler içerisinde uzun hafızanın en güçlü olduğu ve kalıcılığın en yüksek olduğu değişken ise Bitcoin'dir.

Anahtar Kelimeler: Fraktal Piyasa Hipotezi, Hurst Üsteli, Piyasa Etkinliği, Ekonofizik, Kripto Varlıklar

Abstract: In this study, the validity of the fractal market hypothesis, which explains market stability and investor horizon, and states financial time series are non-normally distributed and have self-similarity in financial time series, in two emerging markets, in two developed markets, and in two crypto assets was aimed to investigate via Hurst Exponent-Rescaled Range (R/S) analysis. According to MSCI classification, SP500 and FTSE 100 as developed markets, Borsa Istanbul 100 and Shanghai Index as emerging markets were included in the analysis. In cryptoassets, Bitcoin and Ethereum variables with the highest transaction volume were included in the analysis. According to the findings of the study, the existence of the fractal market hypothesis was accepted in all indices examined, while the role of long memory changes. In all variables, The Hurst exponent is greater than 0.5. According to the Hurst exponential results, the hypothesis that the time series exhibits a permanent behavior in all variables was accepted. The variable with the lowest persistence of long memory is FTSE. While long memory and permanence are higher in emerging stock markets than in developed stock markets, the variable with the strongest long memory and the highest permanence among all variables is Bitcoin.

Keywords: Fractal Market Hypothesis, Hurst Exponent, Market Efficiency, Econophysics, Cryptoassets

JEL: C13, C58, G14.

⁽¹⁾ Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü; mugesaglam@kmu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8674-2707

Geliş/Received: 09-04-2022; Kabul/Accepted: 03-09-2022

1. Giriş

Piyasa etkinliği finans araştırmalarında oldukça dikkat çeken bir konudur. Fama'nın Etkin Piyasalar Hipotezi (EPH) ile finansal piyasalarda varlık fiyat ve getirilerinin rassal seyir izlediğiyle, her yatırımcının bilgiye erişiminin aynı ve bilginin fiyatlara yansımalarının hızlı olduğu, bu nedenle varlık getirilerini öngörmenin mümkün olmadığının kabulü fraktallar ve ekonofizik yaklaşımları ile davranışsal finansın gelişimine kadar genel kabul görmekteydi. Ancak zaman içerisinde yaşanan finansal krizler ve hâkim finans anlayışının bu krizleri açıklamada yetersiz kalması ya da krizleri piyasalar için bir düzeltme hareketi olarak sınırlı bir şekilde yorumlaması, finans teorisinde farklı hipotez ve modellemelerin gelişimini hızlandırmıştır. Fraktal Piyasa Hipotezi piyasa etkinliğine değil piyasa istikrarına odaklanan ve varlık getirilerinin EPH'nin vurguladığı gibi Brownian seyir değil kesirli Brownian seyir izlediğini söyleyen bir ekonofizik yaklaşımdır.

Bu çalışmada fraktal piyasa hipotezinin öncü bazı piyasalarda geçerliliğinin test edilmesi, böylece piyasalarda uzun hafızanın olup-olmadığının incelenmesi amaçlanmaktadır. Piyasalarda uzun hafıza etkisinin olması teknik göstergelerle varlık fiyat ve getirilerinde öngörü yapılabileceğini ifade etmektedir. Bu nedenle bu çalışmanın bulgularının hem finans teorisi incelemelerine hem de yatırım stratejileri noktasında piyasa katılımcılarına faydalı olabileceği düşünölmektedir.

Çalışma dört genel başlıktan oluşmaktadır. Çalışmada ilk olarak FPH'nin varsayımları ifade edilmiş, ikinci aşamada literatür incelemesi sunulmuştur. Üçüncü başlıkta veri seti ve yöntem verilirken daha sonra da incelemeye ait bulgulara yer verilmiştir. Çalışmada gelişmiş, gelişmekte olan borsaların yanı sıra kripto piyasasında da FPH'nin incelenmesi, çalışmanın kapsam açısından genişliğini vermektedir. Buna ek olarak literatürde uzun hafıza testi çalışmaları olmakla birlikte uzun hafızanın FPH ile ilişkisi sınırlı verildiğinden bu çalışmanın bu noktada literatüre özgün bir katkı sağlaması beklenmektedir.

2. Fraktal Piyasa Hipotezi

Fraktal kelimesi ilk olarak Mandelbort (1967) tarafından kullanılmıştır. Kırılmış ve parçalanmış anlamına gelen fraktallar bir nesnenin kendi kendini tekrar ederek sonsuza kadar küçölen veya büyüyen şekilleri, kendine benzer bir cisimde cismi oluşturan parçaları incelemektedir (Yılmaz, 2013: 1). Fraktal geometrinin temelindeki kendine benzerlik yerasından yola çıkarak fraktal piyasa hipotezini geliştiren Peters (1994)'e göre ise sermaye piyasalarında da kendine benzerlik bulunmaktadır. Peters, finansal piyasalardaki on yıllık bir dönem davranışının sonraki on yıllık dönemi etkilediğini ve bu özelliğın kendine benzerlik olduğunu ifade etmektedir.

Peters (1994) FPH'ı piyasa likiditesi ve yatırımcı ufku olmak üzere iki temel sütun üzerine inşa etmiştir. FPH'a göre piyasa likiditesi piyasalarda istikrarı sağlayan olgudur. Piyasada likiditenin bozulması istikrarsızlığa neden olur. Farklı yatırımcı ufkuна sahip yatırımcıların piyasada işlem yapması likiditeyi düzenleyen şeydir ve yatırımcı ufuklarının tek tipleşmesi likiditeyi bozacağından istikrarsızlığa neden olacaktır. Daha açık ifade etmek gerekirse piyasalarda kısa ve uzun vadeli yatırım ufkuна sahip yatırımcılar bulunmaktadır. Herhangi bir olumsuz koşulda yatırımcı ufuklarının birbiri üzerinde hakimiyet kurması istikrarsızlığa neden olacaktır. Örneğın kriz dönemlerinde panik halde yapılan satışlar uzun vadeli yatırım ufkuна sahip yatırımcıların mevcut bilgilerini sorgulamalarına ve elde tuttıkları finansal varlıkları satmalarına neden olabilir. Bu durumda tüm yatırımcıların ufukları satış yapacak ve

piyasanın arz-talebi bozulacaktır. Dolayısıyla piyasada istikrarsızlık meydana gelecektir. Kristoufek (2013)'e göre kısa yatırım ufku olan bir yatırımcı için olumsuz bir bilgi ve dolayısıyla bir satış sinyali olarak kabul edilen şey uzun ufku olan bir yatırımcı için bir satın alma fırsatı olabilir. Yeterli sayıda alıcı ve satıcı ticaret yaparsa ve piyasa mekanizmasında 'etkin' bir takas gerçekleşirse bu, piyasanın sorunsuz işleyişini sağlar. Görüleceği üzere FPH etkin piyasa hipotezinden farklı olarak piyasa etkinliğiyle değil piyasa istikrarsızlığıyla ilgilenmektedir.

FPH, finansal varlıkların yapısını istatistiksel açıdan da EPH'tan farklı açıklamaktadır. FPH'a göre varlık getirileri normal dağılmaz; kesirli Brownian seyrini takip eder ve varlıklarda kendine benzerlik nedeniyle uzun hafıza vardır. FPH bunu Hurst üsteliyle ifade eder ve EPH'da Hurst = 0 iken FPH'ta Hurst $\in [0,1]$ 'dir. FPH'a göre kısa vadede fiyat, uzun vadede risk öngörülebilir.

3. Literatür İncelemesi

Fraktallar literatürde oldukça dikkat çekmektedir. Ancak BİST100 endeksi üzerinde Hurst üstelini hesaplayan çalışma sayısı görece azdır. BİST100'ün fraktal analizini yapan çalışmalardan en dikkat çeken Erdoğan (2017)'a aittir. Erdoğan (2017), 2007-2017 döneminde BİST100 ve altın ons fiyatlarını analiz etmiş, Hurst üsteli tahmin sonuçlarına göre BİST100 endeksi ve altın ons fiyat serilerinin uzun dönem bellek yapısı taşıdığını gözlemlemiştir. Bu çalışmaya ek olarak ulusal yazında Horasanlı (2007); Ural ve Demireli (2009); Hepkorucu (2012); Hacınlıyan ve Kandiran (2015); Sülkü ve Ürkmez (2018); Çevik ve Karaca (2021); çalışmaları dikkat çekmektedir.

Horasanlı (2007), NYSE, FTSE, NASDAQ, DAX, NIKKEI ve İMKB Tüm endekslerinin 2002-2006 arasındaki verilerini incelemiştir. Çalışmada; FTSE ve İMKB endekslerinin Hurst üsteli değerlerinin 0,5'ten düşük olduğu ve bu serilerde kalıcı olmayan fiyat davranışlarının olduğu sonucuna ulaşılmıştır. NYSE, NASDAQ, DAX ve NIKKEI endekslerinin H değerlerinin ise 0,5'in üzerinde olduğu görülmüş, serilerin kalıcı davranış sergilediği sonucuna varılmıştır. Ural ve Demireli (2009) ise çalışmalarında sadece İMKB'yi ele almış ancak endeks çeşitlendirmesi yapmışlardır. Buna göre İMKB Ulusal Tüm, İMKB Ulusal 100, İMKB Ulusal endeksleri ve sektör endekslerinde uzun dönem hafıza etkisini Hurst üsteliyle incelemiştir. 2000-2008 dönemindeki günlük verilerle incelemenin yapıldığı çalışmada İMKB'de uzun dönem hafıza etkisinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Hepkorucu (2012) çalışmasında İMKB'yi incelemiş ancak 1988-2012 aralığı gibi geniş bir gözlem serisiyle çalışmıştır. Ayrıca Hepkorucu (2012) yöntem noktasında da diğer çalışmalardan ayrılmış, simülasyon yöntemiyle öngörü yapmaya çalışmıştır. Çalışma sonucunda finansal varlık fiyat değişimi serilerinin simüle edilmesinde tekrarlayan bir model baz alınarak alternatif bir öngörümleme modeli kurulması gerektiğine karar verilmiştir. Çalışma yeni bir model gerekliliğini vurgulaması açısından önemlidir. Hacınlıyan ve Kandiran (2015) ise BİST100, BİST50 ve BİST 30 endekslerinde fraktal davranışları araştırmış ve analiz için Higuchi ve Katz Metotlarına ek olarak R/S analizi ve Arındırılmış Dalgalanma Analizlerini (DFA) kullanmışlardır. 2005-2015 döneminin incelendiği çalışmada tüm borsa verilerinin Fraktal Brownian hareket eğilimi gösterdiği görülmüştür. Sülkü ve Ürkmez (2018) ise Borsa İstanbul Hizmet Endeksi, Borsa İstanbul Mali Endeksi, Borsa İstanbul Sınai Endeksi ve Borsa İstanbul Teknoloji Endekslerinde doğrusal olmayan dinamiklerin varlığını doğrusal olmama ve kaos testleri yardımıyla incelemiştir. 1997-2016 döneminin incelendiği çalışmada BDS testi kullanılmış ve böylece endeks getirilerindeki doğrusal olmama test edilmiştir. Daha sonra, endekslerin fraktal yapıya sahip olduğu dönüştürülmüş

genişlik analizi ile tespit edilmiştir. Çalışmaya göre Borsa İstanbul ana sektör endekslerinde kaotik davranışların olduğu ve etkin piyasa hipotezinin geçerli olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Çevik ve Karaca (2021) ise 2010-2020 döneminde Kredi Temerrüt Takası Primlerinde uzun hafıza özellikleri, zayıf formda piyasa etkinliği ve fraktal piyasa özelliklerini incelemişlerdir. ARFIMA-FIGARCH, ARFIMA-FIEGARCH ve ARFIMA-FIAPARCH model sonuçlarına göre değişim serisinde kısa hafızaya yakın özellik ve oynaklık serisinde ise uzun dönem hafıza özellikleri olduğu görülmüştür. Buna göre Türkiye'nin kredi temerrüt takası piyasasında fraktal özellikler olduğu sonucu kabul edilmiştir.

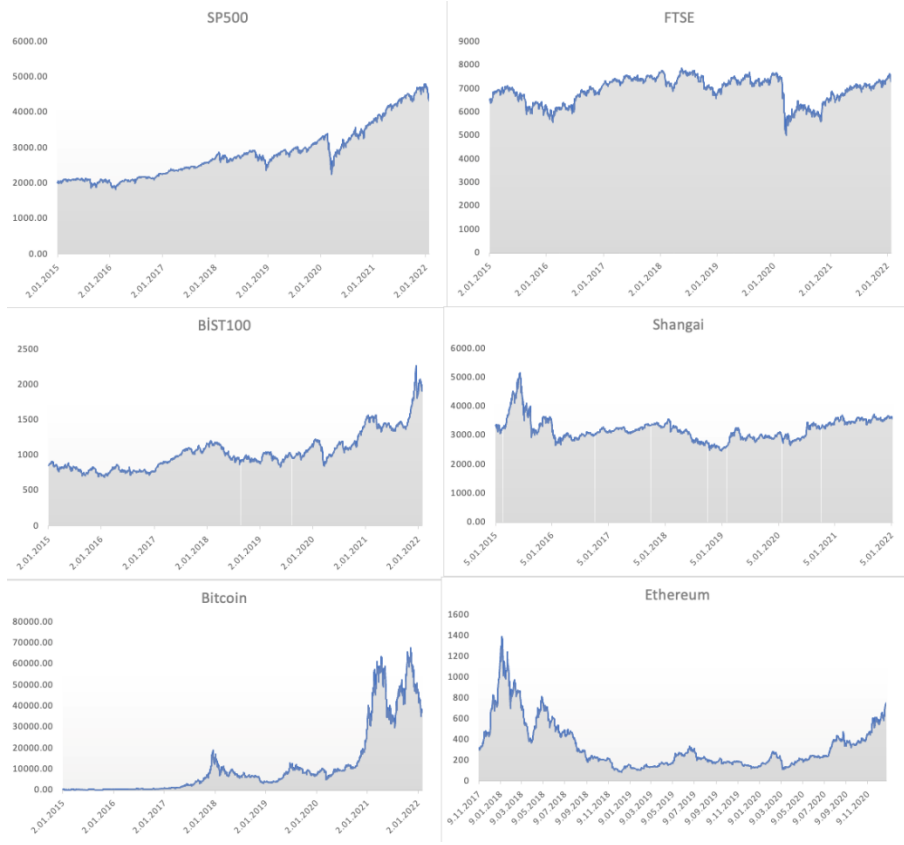
Uluslararası literatür incelendiğinde ise FPH'nin borsalar bazında çok fazla incelendiği kripto varlıklarda ise FPH'nin incelenmesinin henüz gelişme aşamasında olduğu görülmektedir. Panas ve Ninni (2010), Londra Metal Borsası (LME)'nin fraktal özelliklerini incelemişlerdir. Zaman serilerini analiz etmek için ARFIMA modelleri kullanılmış ve LME verilerinin bir dereceye kadar fraktal özelliklere sahip olduğu ve sonuçların FPH ile uyumlu olduğu görülmüştür. Kristoufek (2013), NASDAQ, FTSE 100, DAX ve CAC 40 ile Hang Seng ve NIKKEI 225 endekslerinde 2000-2013 dönemi verilerini sürekli dalgacık dönüşümü analizi ve ölçekler arasındaki varyans dağılımı ile zaman içindeki gelişimi hakkında önemli bilgiler veren dalgacık güç spektrumlarını kullanarak incelemişlerdir. Çalışmaya göre FPH'nin 2008 Küresel Krizini açıklamada EPH'a göre daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Moradi vd. (2019), Tahran ve Londra borsalarını 2007-2013 döneminde incelerken L-Co-R ortak evrimsel algoritmasını uygulamışlardır. Çalışma sonucunda Tahran Menkul Kıymetler Borsası için fraktal piyasa hipotezi kabul edilirken Londra Menkul Kıymetler Borsası için FPH reddedilmiştir. Selvam vd. (2011), Hindistan borsasında 2005-2009 döneminde FPH'nin geçerliliğini R/S analiziyle sınımlamışlardır. Çalışma sonucunda incelenen endekste kalıcı davranışın olduğu ve bulguların fraktal yapıyla uyumlu olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kripto varlıklarda FPH'nin incelenmesinde ise Celeste vd. (2019) çalışmaları öne çıkmaktadır. Celeste vd. (2019) Bitcoin'de 2011-2017, Ethereum ve Ripple'da 2015-2017'de FPH'nin geçerli olup olmadığını sınımlamışlardır. Çalışma sonucunda Bitcoin'de uzun hafızanın olduğu görülmüştür. Bitcoin'de uzun hafızayı tespit eden diğer çalışmalar ise Fidrmuc vd. (2020) ile Cao ve Ling (2022)'e aittir.

Yazın incelemesinde görüleceği üzere bazı çalışmalar sadece borsalara odaklanmaktadır. Güncel kripto varlık çalışmalarında ise yine sadece kripto varlıklar dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada hem gelişmiş hem de gelişmekte olan endeksler ile iki büyük kripto varlığın incelemeye dahil edilmesiyle çalışmanın geniş veri setiyle uygulamalı finans literatürüne katkı sunması beklenmektedir.

4. Veri Seti ve Yöntem

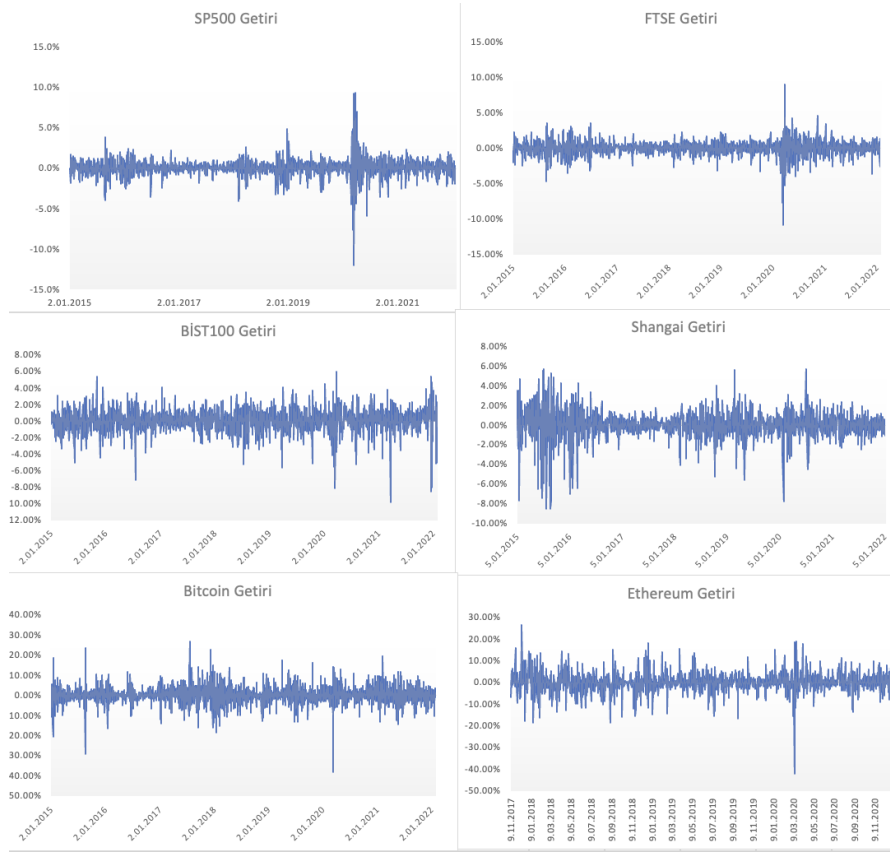
Bu çalışmada gelişmiş endeksler olarak SP500 ve FTSE endeksleri incelemeye dahil edilmiştir. İnceleme dönemi 2015-2021'dir. Gelişmekte olan endeks olarak ise BIST100 ve Shanghai Endeksi 2015-2021 dönemi verileri, kripto piyasasında da işlem hacmi ve piyasa değeri en yüksek olan Bitcoin ile Ethereum varlıkları incelemeye dahil edilmiştir. Gelişmekte olan ve gelişmiş endeksler sınıflamasına MSCI kategorisine göre karar verilmiştir. Bitcoin inceleme dönemi diğer endekslerde olduğu gibi 2015-2021 iken Ethereum inceleme dönemi 2017-2021'dir. Değişkenlere ait günlük fiyat seyri grafiği Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: İncelenen Serilerin Fiyat Zaman Seyri

Şekil 1’de değişkenlerin inceleme dönemi içerisindeki seyri verilmiştir. Buna göre SP500’ün 2020 Covid19 dönemindeki kırılma hariç genel olarak artan trend sergilediği, yine FTSE’de 2020 Covid19 döneminde bir kırılma görüldüğü ancak genel olarak ortalamaya yakın bir seyir izlediği anlaşılmaktadır. BİST100 endeksinde de artan trend görülmekte, Shanghai endeksinde ise görece durağan bir seyir görülmektedir. Kripto varlıklara ait şekiller incelendiğinde ise Bitcoin’in oldukça dalgalı bir seyir izlediği, 2021 Mayıs döneminde büyük bir kırılma yaşandığı görülmektedir. Eteherum ise yükseliş ve kırılmayı 2017-2018 döneminde yaşarken 2020’ye kadar daha durağan bir seyir sergilemiş, 2020 sonrasında artan trend seyrine geçmiştir.

Ancak fiyat serileri finansal incelemelerde yalnızca genel bilgi vermektedir. Bu nedenle istatistiksel çıkarımlar için getiri serilerinin incelenmesi gerekmektedir. Getiri serileri finansal zaman serilerinin dağılımıyla ilgilidir. Finansal zaman serileri normal dağılıma uymamaktadır. Zaten FPH’ta ve volatilité modellemesi yapılan tüm finansal yaklaşımlarda finansal zaman serilerinin Gaussian olmayan (normal dağılmayan) dağılım sergilediği varsayılmaktadır. Şekil 2’de değişkenlere ait getiri serileri verilmiştir.



Şekil 2: İncelenen Serilerin Getiri Zaman Seyri

Şekil 2’de yer alan getiri serileri incelendiğinde SP500 ve FTSE’nin getirilerinin 2020 Covid 19 dönemi kırılma haricinde ortalama $\pm\%5$ etrafında dağıldığı, BİST100, Shanghai, Bitcoin ve Ethereum’da ise getiri dalgalanma oranlarının farklılaştığı görülmektedir. Şekil 2 incelendiğinde getiri dağılımları baz alınarak gelişmiş endekslerde FPH’nin geçerli olmayacağı, gelişmekte olan endekslerde ve kripto varlıklarda ise FPH’nin geçerli olacağı, gelişmekte olan endekslerde ve kripto varlıklarda ise FPH’nin geçerli olacağı ön kabulü yapılabilir. Ancak FPH’nin geçerliliğinin istatistiksel olarak sınanması için birtakım yöntemler vardır. FPH’ta en önemli varsayım finansal serilerin normal dağılıma uymadığıdır. Peters (1994) FPH’nin varsayımlarını ifade ederken FPH’a göre finansal varlıkların kesikli Brownian sürecini takip ettiğini ifade etmiştir. EPH ise finansal varlıkların Brownian sürecini takip ettiğini söylemektedir.

Kesikli Brownian seyir izleyen fraktal zaman serilerinin incelenmesi için genel olarak yeniden ölçeklendirilmiş aralık (R/S) analizi yöntemi kullanılmaktadır. R/S analizi yöntemi Hurst üsteline dayanmaktadır. Hurst üsteli, gözlem serilerinin birikmiş büyüklük sapması ve standart sapma analizine dayanır. FPH’a göre Hurst Üsteli 0-1 arasında bir değer almaktadır.

Mattera vd. (2022) belirttiği gibi H değeri > 0.5 ise zaman serisinin kalıcı davranış gösterdiği, $H < 0.5$ ise zaman serisini kalıcı olmayan davranışlar gösterdiği kabul

edilmektedir (Mattera vd., 2022: 2). Hurst üstelinin hesaplanması aşağıdaki gibi yapılabilir.

$$R/S = (aN)^H \text{ ya da } H = \frac{\log(R/S)}{\log(aN)} \quad (1)$$

Burada H Hurst üstelini, S standart sapmayı, R birikmiş sapmanın değişimini, N gözlem periyodu sayısını ve a pozitif sabiti ifade etmektedir.

Birikmiş sapma R'nin ölçeği, Hurst formülünün en önemli unsurudur. \bar{X} ortalamadan x birikmiş sapmaları farkı Z_u ile ifade edildiğinde $R = \max(Z_u) - \min(Z_u)$ 'dir. (Liashenko ve Kravets, 2016: 552).

Çalışmanın hipotezleri ise;

- $H_{0,1}$ = Fraktal piyasa hipotezi SP500 endeksinde geçerli değildir ve SP500 endeksinde kendine benzerlik yoktur.
- $H_{1,1}$ = Fraktal piyasa hipotezi SP500 endeksinde geçerlidir ve SP500 endeksinde kendine benzerlik vardır.
- $H_{0,2}$ = Fraktal piyasa hipotezi FTSE endeksinde geçerli değildir ve FTSE endeksinde kendine benzerlik yoktur.
- $H_{1,2}$ = Fraktal piyasa hipotezi FTSE endeksinde geçerlidir ve FTSE endeksinde kendine benzerlik vardır.
- $H_{0,3}$ = Fraktal piyasa hipotezi BİST100 endeksinde geçerli değildir ve BİST100 endeksinde kendine benzerlik yoktur.
- $H_{1,3}$ = Fraktal piyasa hipotezi BİST100 endeksinde geçerlidir ve BİST100 endeksinde kendine benzerlik vardır.
- $H_{0,4}$ = Fraktal piyasa hipotezi Shanghai endeksinde geçerli değildir ve Shanghai endeksinde kendine benzerlik yoktur.
- $H_{1,4}$ = Fraktal piyasa hipotezi Shanghai endeksinde geçerlidir ve Shanghai endeksinde kendine benzerlik vardır.
- $H_{0,5}$ = Fraktal piyasa hipotezi Bitcoin'de geçerli değildir ve Bitcoin fiyatlarında kendine benzerlik yoktur.
- $H_{1,5}$ = Fraktal piyasa hipotezi Bitcoin'de geçerlidir ve Bitcoin fiyatlarında kendine benzerlik vardır.
- $H_{0,6}$ = Fraktal piyasa hipotezi Ethereum'da geçerli değildir ve Ethereum fiyatlarında kendine benzerlik yoktur.
- $H_{1,6}$ = Fraktal piyasa hipotezi Ethereum'da geçerlidir ve Ethereum fiyatlarında kendine benzerlik vardır.

5. Bulgular

Tablo 1'de değişkenlere ait hesaplanan Hurst Üsteli ile hipotezlere ilişkin t-istatistiği ve anlamlılık sonuçları verilmiştir.

Tablo 1. Hurst Üsteli Sonuçları

DATA	Standart Hata	Hesaplanan Hurst Üsteli R/S Analizi	Hurst Üsteli t-istatistiği	Hurst Üsteli p-değeri
SP500	0.020	0.558	2.890	0.028**
FTSE	0.012	0.553	4.363	0.005***
BİST100	0.015	0.585	5.7709	0.0012***
Shangai	0.020	0.560	2.8472	0.0293**
Bitcoin	0.04	0.710	5.5743	0.0014***
Ethereum	0.027	0.570	2.5099	0.0459**

Tablo 1’de yer alan sonuçlara göre SP500 endeksine ait hesaplanan Hurst üsteli 0.558’dir. Bu sonuç EPH’ın varsaydığı $H=0.5$ sonucundan farklıdır. FPH’a göre Hurst üstelinin < 0.5 olması seride kalıcı olmayan davranış olduğunu, artışları (azalışlar) büyük olasılıkla artışların (azalışların) izleyeceğini belirtir. Hurst üsteli > 0.5 ise seride kalıcı davranış vardır ve uzun hafızadan bahsedilebilir. Buradan hareketle SP500 endeksi Hurst üsteli değeri 0.558 ile 0.5 değerinden büyük olduğu için SP500 endeksinin EPH’ın varsayımında olduğu gibi etkin olmadığı serinin rassal seyir izlemediği ancak FPH’ın belirttiği gibi kesikli Brownian süreci izlediği söylenebilir. Zaten sınamaya ilişkin hipotez anlamlılık sonuçlarında da bu görülmektedir. SP500’e ait hipotezinin anlamlılık düzeyi %5 anlamlılık seviyesinden düşük olduğu için $H_{0,1}$ hipotezi reddedilmekte ve alternatif hipotez kabul edilmektedir.

FTSE endeksi Hurst üsteli sonucu 0.553’tür. Bu sonuca göre FTSE endeksinin etkin olmadığı, piyasada kalıcı davranışın olduğu söylenebilir. FTSE endeksi hipotezi anlamlılık sonucu da %1 anlamlılık seviyesinden düşüktür. O halde FTSE endeksi için FPH’ın geçerli olduğuna dair hipotez kabul edilebilir.

BİST100 endeksine ait bulgular incelendiğinde Hurst üsteli değerinin 0.585 olduğu görülmektedir. Bu sonuca göre BİST100 endeksinde de kalıcı davranış başka bir ifadeyle uzun hafıza özelliğinin olduğunu söylemek mümkündür. Yine BİST100 uzun hafıza hipotezinin sınanmasına p-değerinin %1 anlamlılık seviyesinden düşük olması nedeniyle yokluk hipotezi reddedilmiş ve $H_{3,1}$ alternatif hipotezi kabul edilmiştir.

Bir diğer gelişmekte olan endeks olarak incelemeye dahil edilen Shangai endeksinin Hurst üsteli değeri de EPH’ın varsayımı olan 0.5 değerinden büyük ve 0.560’tır. Hipoteze ilişkin sınama sonucunda elde edilen p-değeri de %5 anlamlılık seviyesinden düşüktür. Bu sonuca istinaden Shangai endeksinde uzun hafızanın olduğuna dair olan $H_{4,1}$ alternatif hipotezi kabul edilmiştir.

Tablo 1’de yer alan sonuçlardan da görüleceği üzere incelemeye dahil edilen tüm borsa endekslerinde kalıcı davranışlar bulunmaktadır. Ancak Hurst üsteli kendi içerisinde değerlendirilerek endeksler arasında kalıcılığın büyüklüğü üzerine bir sıralama yapılacak olursa en yüksek Hurst üstü değerine sahip olan BİST100’de uzun hafızanın rolünün diğer endekslere göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Kripto varlıklarda Hurst üsteli sonucu incelendiğinde Bitcoin değişkeninin H değerinin 0.710 olduğu görülmektedir. Hipotezin sınanmasından elde edilen p-değeri sonucu da %1 anlamlılık seviyesinden düşüktür. Bu nedenle Bitcoin’de de FPH’nın geçerli olduğu, serinin normal dağılıma uymadığı ve Bitcoin piyasasında kalıcılık davranışının olduğu bu nedenle Bitcoin fiyatlarında artışların (azalışlar) daha büyük olasılıkla artışlarla (azalışlarla) devam edeceği ve değişken uzunlukta uzun hafıza ve trend görüleceği kabul edilebilir.

Ethereum değişkenine ait Hurst üsteli sonucu; 0.570 ve hipotez sınavından elde edilen p-değeri %5 anlamlılık değerinden düşüktür. O halde Ethereum için de uzun hafızanın olduğuna dair hipotez kabul edilir. İncelemeye dahil edilen iki kripto varlık kıyaslandığında ise Bitcoin’de kendine benzerliğin daha yüksek olduğu görülmektedir.

6. Sonuç

Bu çalışmada Peters (1994) tarafından ifade edilen fraktal piyasa hipotezinin geçerliliği gelişmiş, gelişmekte olan borsalar ve kripto varlık piyasasında incelenmiştir. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak FPH’nın varsayımlarının verildiği bu çalışmada aynı zamanda ele alınan seriler de literatürdeki incelemelerden farklıdır. Literatür incelemesinde görüldüğü üzere borsalarla ilgili yapılan çalışmalarda yalnızca borsalara odaklanılmış ya da borsalar ve altın (ons) serileri üzerinden incelemeler yapılmıştır. Görece güncel çalışmalarda ise kripto varlıklarda FPH incelemesi yalnızca kripto varlıklar sınıflamasıyla yapılmıştır. Bu çalışmada ise hem seçilmiş borsalar hem de kripto varlıklar bir arada incelenmiştir. Hem güncel dikkat çeken varlıkları dikkate alıp hem de borsalar özelinde güncel veri setiyle incelemenin yapıldığı bu çalışmanın ise literatürdeki çalışmalardan ayrılarak yazına özgün bir katkı sunması beklenmektedir.

Elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalarla kıyaslandığında ise BİST100 endeksine ait bulunan sonuçlar Horasanlı (2007)’nin sonuçlarıyla uyuşmamakta ancak Ural ve Demireli (2009) ve Hacınlıyan ve Kandıran (2015)’nin sonuçlarıyla uyuşmaktadır. FTSE değişkeninden elde edilen bulgular da Moradı vd. (2019) ve Horasanlı (2007) çalışmalarıyla farklıdır. Ancak gelişmiş piyasalarla ilgili elde edilen sonuçlar ise Kristoufek (2013)’in sonuçlarıyla uyumludur. Yine Bitcoin değişkenine ait elde edilen sonuçların da Celeste vd. (2019); Fidrmuc vd. (2020); Cao ve Ling (2022)’in çalışmalarıyla uyumludur.

FPH’a göre finansal zaman serileri getirileri kesikli Brownian sürecini takip etmektedir ve fraktalların olduğu bir piyasada uzun hafıza özelliği bulunmaktadır. Bu nedenle FPH’nın geçerli olduğu piyasalarda uzun vadede öngörü yapmak mümkünken aynı zamanda piyasada likidite bozulması nedeniyle istikrarsızlık meydana gelebilecektir. Çalışmada Hurst üsteli-R/S analizi yardımıyla incelemeler yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda incelenen tüm piyasaların EPH varsayımına göre H değerinin 0.5’ten farklı ve yüksek olduğu bu nedenle tüm piyasalarda FPH’nın geçerli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İncelemede ilk dikkate alınan gelişmiş piyasalar olan SP500 ve FTSE endekslerinde Hurst üsteli değerleri sırasıyla 0.558 ve 0.553’tür. Bu sonuçlar her iki endekste de uzun hafızanın olduğunu, endeks getirilerinin rassal hareket etmediğini ve bu piyasalarda teknik analizinin mümkün olabileceğini göstermektedir. Gelişmekte olan piyasalar olarak incelemeye dahil edilen BİST100 ve Shanghai Endeksinde ise hesaplanan Hurst üsteli değerleri sırasıyla 0.585 ve 0.560’tır. Bu sonuçlarda da hem BİST100 hem de Shanghai Endeksi’nde uzun hafızanın olduğunu ve getirilerin öngörülebileceği görülmektedir. Analizde dikkate

alınan Bitcoin ve Ethereum değişkenlerinde ise Hurst üsteli değerleri sırasıyla 0.710 ve 0.570'tir. Bu sonuçlar kripto varlıklarda uzun hafıza özelliği olduğunu doğrulamaktadır. İncelenen tüm değişkenlerdeki kendine benzerlik kıyaslandığında ise en yüksek Hurst üsteli değerinin 0.710 ile Bitcoin'de olduğu görülmektedir. Bu sonucu tüm piyasalar içerisinde Bitcoin'in işlem fiyat ve getirilerini diğer değişkenlere kıyasla daha kısa sürede yeniden test edeceği şeklinde yorumlamak mümkündür. Hurst üsteli sonuçları aynı zamanda gelişmekte olan piyasalarda kendine benzerlik özelliğinin gelişmiş piyasalara göre daha fazla olduğunu göstermektedir. Bu durum gelişmiş piyasaların etkinliğe daha yakın olduğu bu nedenle bu piyasalarda sıra dışı kar elde etmenin gelişmekte olan piyasalara kıyasla daha zor olduğu şeklinde yorumlanabilir. Gelişmekte olan piyasalarda ise Hurst üsteli sonuçları; uzun hafıza özelliğiyle bu piyasalarda teknik analizlerle kar elde etmenin mümkün olabileceğinin bir göstergesidir.

Çalışmada incelenen tüm değişkenlere dair elde edilen Hurst üsteli sonuçları incelenen serilerde uzun hafıza başka bir deyişle kendine benzerlik olduğunu doğrulamaktadır. Bu nedenle bu piyasalarda test edilen bir fiyat adımının uzun vadede yeniden test edilebileceği varsayımı güçlenmektedir. Farklı bir ifadeyle teknik analizler ile bu piyasalarda varlık fiyat ve getirilerinde öngörü modelleme yapmak mümkündür. Finansal yatırım stratejileri noktasında bu sonuçların piyasa katılımcılarına faydalı olmasının beklenmesinin yanı sıra elde edilen bu sonuçların uygulamalı finans literatüründeki öngörü modelleme çalışmalarına temel bilgi sunarak katkı sağlaması beklenmektedir. Diğer taraftan elde edilen bulgular daha sonra yapılacak volatilité modellemesi ve öngörü-simülasyon çalışmalarında araştırmacılara ön bilgi vermektedir. Nitekim EPH'nin varsaydığına aksine varlık getirilerinde normal dağılmama varsayımına sahip FPH sayesinde finansal varlıkların yapısının tanınarak uygun model ve yöntemlerin seçimi uygulamalı finans çalışmalarında sağlıklı sonuçların elde edilmesinde önemlidir.

Referanslar

- Cao, G., ve Ling, M. (2022). Asymmetry and conduction direction of the interdependent structure between cryptocurrency and US dollar, renminbi, and gold markets. *Chaos, Solitons & Fractals*, 155, 111671. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2021.111671>
- Celeste, V., Corbet, S., ve Gurgiev, C. (2020). Fractal dynamics and wavelet analysis: deep volatility and return properties of Bitcoin, Ethereum and Ripple. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 76(2), 310- 324.
- Çevik, M., ve Karaca, S. S. (2021). Kredi temerrüt takası primlerinin oynaklığında uzun hafıza ve etkin piyasa hipotezi-fraktal piyasa hipotezi sınıması: Türkiye örneği. *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, 20(3), 1375-1400.
- Erdoğan, N. K. (2017). Finansal zaman serilerinin fraktal analizi. *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(4), 49-54.
- Fidrmuc, J., Kapounek, S., ve Junge, F. (2020). Cryptocurrency market efficiency: Evidence from wavelet analysis. *Finance a Uver: Czech Journal of Economics & Finance*, 70(2), 121-144.
- Hacınlıyan, A. S. ve Kandıran, E. (2015). Türkiye'deki borsa endekslerinin fraktal analizi. *AJIT-e: Bilişim Teknolojileri Online Dergisi*, 6(18), 7-19.
- Hepkorucu, A. (2012). Fraktal geometri ile tekrarlayan fonksiyon sistemleri üzerine bir simülasyon denemesi: İMKB üzerine bir uygulama. *Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi*, 4(1), 33-45.

- Horasanlı, M. (2007). Rescaled range analysis and predictability of stock market indices. *Yönetim Dergisi: İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü*, 18(58), 36-40.
- Kristoufek, L. (2013). Fractal markets hypothesis and the global financial crisis: wavelet power evidence. *Scientific Reports*, 3(1), 1-7.
- Liashenko, O., ve Kravets, T. (2016). Fractal analysis of currency market: Hurst index as an indicator of abnormal events. *In ICTERI*, 550-557. available at: http://ceur-ws.org/Vol-1614/paper_105.pdf
- Mandelbrot, B. (1967). How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension. *Science*, 156(3775), 636-638.
- Mattera, R., Di Sciorio, F., ve Trinidad-Segovia, J. E. (2022). A composite index for measuring stock market inefficiency. *Complexity*. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/9838850>
- Moradi, M., Jabbari Nooghabi, M., ve Rounaghi, M. M. (2021). Investigation of fractal market hypothesis and forecasting time series stock returns for Tehran stock exchange and London stock exchange. *International Journal Of Finance & Economics*, 26(1), 662-678.
- Panas, E., ve Ninni, V. (2010). The distribution of London metal exchange prices: A test of the fractal market hypothesis. *European Research Studies*, 13(2), 193-210.
- Peters, E. (1994). *Fractal market analysis-applying chaos theory to investment and analysis*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Selvam, M., Jayapal, G. ve Saranya G. (2011). Fractal structure analysis in the Indian stock market. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=1885030> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1885030>
- Sülcü, S. N. ve Ürkmez, E. (2018). Hisse senedi getirilerinde doğrusal olmayan dinamikler: Türkiye'den kanıtlar. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 18. EYİ Özel Sayısı, 473-484. DOI: 10.18092/ulikidince.349846
- Ural, M., ve Demireli, E. (2009). Hurst üstel katsayısı aracılığıyla fraktal yapı analizi ve İMKB'de bir uygulama. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 23(2), 243-255.
- Yılmaz, D. (2013). *Doğanın fraktal geometrisi*. (Yayımlanmış yüksek lisans tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.