

# KIYMETLİ METALLER PİYASASININ FRAKTAL ANALİZİ

Tuncay MORALI<sup>1</sup>

Umut UYAR<sup>2</sup>

**Atıf/©:** Morali, T., ve Uyar, U. (2018). Kıymetli metaller piyasasının fraktal analizi, *Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 11(3), 2203-2218. doi: 10.17218/hititsosbil.441151

**Özet:** Kıymetli madenler antik dönemlerden bu yana insan hayatında hem ödeme aracı hem de tasarruf aracı olarak kullanılmaktadır. Modern piyasaların gelişmesi ile beraber, yatırımcılar tarafından portföye dahil edilmesi mümkün bir finansal varlık özelliği kazanmıştır. Tüm finansal varlık piyasalarında olduğu gibi kıymetli madenler piyasası da etkin piyasa hipotezi varsayımlarının muhatabıdır. Finansal piyasaların rassal yürüyüş özelliği sergilediği varsayımını ortaya atan etkin piyasa hipotezine karşılık, uzun zamandır birçok aksi görüş iddia edilmiştir. Bu görüşlerden birisi de fraktal piyasa hipotezidir ve bu hipotez gelecek dönem getirilerinin geçmiş dönem getirilerinden bağımsız olamayacağını ifade etmektedir. Çalışmanın temel amacı, kıymetli madenler piyasasında fraktal yapının varlığını araştırmaktır. Bu amaçla altın, gümüş, platin ve paladyum madenlerinin günlük, haftalık, aylık ve çeyreklik (dönemlik) frekanslarda getirileri kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, söz konusu piyasaların fraktal yapıya sahip olabileceğini ve yatırımcının elde tutma süresi uzadıkça, varlığın getirilerinin geçmiş hareketlere (pozitif/negatif yönlü) daha bağımlı hale geldiğini ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Etkin Piyasa Hipotezi, Fraktal Piyasa Hipotezi, Kıymetli Madenler Piyasası

## **The Fractal Analysis of Precious Metals Market**

**Citation/©:** Morali, T., and Uyar, U. (2018). The fractal analysis of precious metals market, *Hitit University Journal of Social Sciences Institute*, 11(3), 2203-2218. doi: 10.17218/hititsosbil.441151

**Abstract:** Precious metals have been using not only a payment instrument but also a saving instrument since the antique era by human. Associated with modern markets, they are seen as an investment instrument which could be a part of portfolio by investors. As with all financial markets, the precious metals market is also a subject of efficient market hypothesis assumptions. Although the assumption of the random walk of efficient market hypothesis, there are some counter ideas which claim random walk has not existed in literature. One of these counter ideas is the fractal market hypothesis. The hypothesis claims that the current or future returns cannot be independent of past returns or price fluctuations, so, the financial markets have a long-memory. The main purpose of the study, to investigate the existence of the fractal market hypothesis in the gold, silver, platinum and palladium markets. With that purpose, different return frequencies daily, weekly, monthly and quarterly are used for the various precious metal assets. The results show that the fractal market hypothesis could be valid for the precious metal markets. Moreover, the findings indicate that while the holding period of assets is increasing, the existence of long-memory (positive/negative direction) is more possible.

**Keywords:** Efficient Market Hypothesis, Fractal Market Hypothesis, Precious Metal Markets

Makale Geliş Tarihi: 5.7.2018

Makale Kabul Tarihi: 5.12.2018

<sup>1</sup> Dr., Türkiye İstatistik Kurumu, Denizli Bölge Müdürlüğü, Sosyal Araştırmalar Grup Sorumlusu, tuncay.morali@tuik.gov.tr, <http://orcid.org/0000-0003-2567-2447>

<sup>2</sup> Dr.Öğr.Üyesi, Pamukkale Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, uuyar@pau.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0001-6217-8283>

## 1. GİRİŞ

Sermaye piyasalarının temel rolü, ekonomideki sermaye stokunun dağıtımını sağlamaktadır. Araştırmacılar, yarım asrı aşkın süredir bu dağıtımın dinamikleri üzerine çalışmakta ve piyasaların etkinliği üzerine hipotezler ortaya atmaktadır. Bu konuda Bachelier (1964) finansal piyasaların analizinde istatistiksel yöntemlerin kullanılması gerektiğini ortaya koymuş ve piyasa hareketlerinin normal dağılım gösterdiğini kanıtlamaya çalışmıştır. Diğer yandan Eugene Fama 1970 yılında “Etkin Piyasa Hipotezi (EPH)” çalışmasıyla piyasaların etkinliği konusunda teorik bir temel oluşturmuştur. Fama, sermaye piyasalarını üç temel başlık altında toplamış ve bir etkinlik ölçeği oluşturmuştur. Bunlar ise Zayıf formda etkin, yarı güçlü formda etkin ve güçlü formda etkin piyasalardır. Hipoteze göre piyasalar, asimetric bilgi ortamından simetric bilgi ortamına doğru ölçeklendirilebilmekte ve etkin bir piyasada tüm bilgi tüm piyasa elemanlarına aynı anda ulaşmaktadır. Bu durum finansal varlık fiyatlarında rassal bir yürüyüş durumuna yol açmaktadır (Fama, 1965, s. 34). Temel bir piyasa varsayımı olarak, piyasaya ulaşan ve fiyat üzerinde etkisi olabilecek tüm bilgiye tam refleks sağlayan piyasalar etkin piyasa olarak adlandırılmıştır (Fama, 2017, s.53).

EHP'nin ortaya atıldığı günden bu yana destekleyen veya eleştiren birçok teorik ve ampirik çalışma yayımlanmıştır. Özellikle etkin bir piyasanın temel varsayımı olan simetric bilgi ortamının gerçek hayatta ütopya olduğu konusunda önemli eleştiriler bulunmaktadır. Piyasa elemanlarının firmalar ya da finansal varlıklar hakkında fiyatları etkileyebilecek bilgileri önceden öğrenebildiği durumların oluşması, tam simetric bir bilgi ortamından söz edilememesine neden olabilmektedir. Hipoteze getirilen bir diğer önemli eleştiri ise rassal yürüyüş süreci konusundadır. Gerçek hayatta, piyasadaki verinin oluşmasında yatırımcının, yani insan davranışlarının önemli rolü bulunmaktadır. Bu durum, fiyatların geçmişten bağımsız, rassal, bir şekilde oluştuğu şeklindeki varsayımı zorlamaktadır. “Fraktal Piyasa Hipotezi (FPH)”, tam olarak bu noktada finansal zaman serilerinin geçmişten bağımsız hareket edemeyeceği ve bir hafızaya sahip olabileceğini ortaya koymaktadır (Peters, 1991, s.45). Ayrıca, neredeyse tüm finansal modelleme yöntemlerinde kullanılan normal dağılım varsayımını da eleştirmektedir.

FHP, fraktal geometriye dayanmaktadır. Fraktal geometri ise karmaşıklığın ve kaotik yapının geometrisi olarak tanımlanmaktadır (Aygören, 2008, s.126). Fraktal geometrinin finansal zaman serileri ile bağlantılı noktası ise kendine benzerlik prensibi ile ortaya çıkmaktadır. Bir nesnenin kendisinin daha küçük kopyalarının bir birleşimi olması kendine benzerlik durumunu ifade etmektedir. Kendine benzerlik iteratif bir süreç olarak gösterilmekte ve her ölçekte yapının kendini tekrar ettiği varsayılmaktadır (Brown ve Liebovitch, 2010, s.65). İstatistiksel olarak kendine benzerlik ise fraktalın bir parçasının ortalama ve standart sapmasının, bütünü ortalama ve standart sapması ile orantılı olmasını ifade etmektedir (Erdoğan, 2017, s. 51). Kendine benzerlik prensibi finansal zaman serilerindeki uzun dönemli bellek ya da uzun dönemli bağımlılık (long-memory) kavramları ile açıklanmaktadır. Mandelbrot'un 1963b yılında yaptığı çalışma ile finansal literatürde ilgi çeken bir konu haline gelen uzun dönemli bellek, bir finansal zaman serisinde çok uzak gözlemler arasında bile korelasyon olabileceğini ifade etmektedir (Günay, 2015, s.38). Geçmiş dönemlerdeki gözlemler ile ilişkili olan gelecek gözlemler, EPH'nin en önemli varsayımı olan rassal yürüyüş ortamının finansal piyasalarda oluşamayacağını iddia etmektedir. Mandelbrot'un çalışması sonrasında bu konuda literatür araştırması bölümünde yer verilecek olan birçok ampirik bulgu ortaya konulmuştur.

FPH konu olarak EPH'ne bir anti-tez oluşturmaktadır. Bu konu üzerine yapılan çalışmalar genellikle sermaye piyasalarında fraktal yapının varlığının araştırması üzerine yoğunlaşmaktadır.

Çalışma motivasyonu bu noktada oluşmuş ve bir finansal yatırım aracı olarak görülen kıymetli madenler piyasasında fraktal yapının oluşup oluşmadığı üzerine odaklanılmıştır. Bu çalışmanın amacı, yatırımcılar tarafından birer finansal varlık olarak kullanılabilen altın, gümüş, platin, paladyum gibi kıymetli madenlerin piyasalarında FPH'nin varlığını test etmektir. Bu amaç doğrultusunda literatürde sıklıkla kullanılan ve Hurst (1951) tarafından geliştirilen dönüştürülmüş genişlik analizi (Rescaled Range – R/S) kullanılmıştır. Kıymetli madenlere ait günlük, haftalık, aylık ve çeyreklik (dönemlik) frekanslarda oluşturulan veri setlerinin farklı gözlem sayıları bulunmaktadır. Mümkün olan en geniş gözlem sayısına ulaşmak amacıyla farklı frekanslar için en eski gözlemlere ulaşmaya çalışılmıştır.

Çalışmanın sonraki bölümlerinde ilk olarak konu ile ilgili literatür araştırmasına yer verilecek ve sonrasında kullanılan yöntem ve veri üzerine bilgiler sunulacaktır. Analiz bulgularının özetlenmesinden sonra ise sonuç bölümüne yer verilecektir.

## **2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI**

Çalışmanın amacına uygun olarak incelenen literatürü üç grupta ifade etmek mümkündür. İlk grupta kıymetli madenler ile ilgili yapılan bilimsel araştırmalara yer verilecek, daha sonra Fraktal Piyasa Hipotezi üzerine yapılmış çalışmalar özetlenecektir. Literatür araştırmasının üçüncü grubunda ise kıymetli madenler üzerine yapılmış fraktal analizlerin yer aldığı çalışmalar incelenecektir.

### **2.1. Yatırım Aracı Olarak Kıymetli Maden Araştırmaları**

Yatırım amacı ile kullanılabilen kıymetli madenler önceki bölümde de bahsedildiği üzere literatürde altın, gümüş, platin ve paladyum olarak sıralanmaktadır. Kıymetli madenleri bir yatırım aracı olarak değerlendirerek oluşturulan çalışmaların genellikle ekonometrik zaman serisi analizleri üzerine odaklandıkları görülmektedir. Finansal varlık olarak değerlendirilen kıymetli madenlerin diğer finansal yatırım araçları ile ilişkilerine odaklanan oldukça fazla araştırmacı bulunmaktadır. Kıymetli madenleri finansal araç olarak değerlendirerek inceleyen ilk çalışmalardan biri olan Koveos, DeFusco, Booth ve Brannigan (1982, s.95), Box-Jenkins yaklaşımı kullanarak altın, gümüş fiyatları ve altın/gümüş oranı için bir otoregresif model oluşturmuşlardır. Analizlerinde Ocak 1979 – Aralık 1980 tarihleri arasındaki günlük fiyatlar kullanılmıştır. Yazarlar, uygulama kolaylığı nedeniyle seçtikleri teknik sonuçlarına göre altın/gümüş oranının tahmininde başarı elde etmişlerdir.

Konu ile ilgili yakın literatür incelendiğinde ise Arouri, Hammoudeh, Lahiani ve Nguyen (2012, s.207) çalışmalarında emtia piyasalarında işlem gören dört temel kıymetli maden (altın, gümüş, platin, paladyum) fiyatlarındaki yapısal değişiklikleri ve uzun hafızayı araştırmayı amaçladıkları görülmektedir. Yazarların uyguladıkları parametrik ve yarı-parametrik teknikler sonucunda, kıymetli maden getirileri ve dalgalanmaları (volatiliteleri) arasında uzun vadeli bir bağımlılık olduğu yönünde güçlü kanıtlar elde edilmiştir. Ayrıca, kıymetli madenlerdeki dalgalanmaların yapısal kırılmalardan çok uzun hafıza modelleri ile daha iyi açıklandığı sonucu elde edilmiştir. Du (2012) aynı yıl tamamladığı yüksek lisans tezinde altın fiyatlarındaki dalgalanmaları diğer kıymetli madenler (gümüş ve platin) aracılığı ile modellemek ve tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Yazar Ekim 1996 – Mart 2011 tarihleri arasındaki günlük kıymetli maden fiyatlarını kullanarak zaman serisi analizlerini gerçekleştirmiştir. Analiz sonuçlarında, diğer madenlerin altın fiyatlarındaki dalgalanmaları açıklamak konusunda kısıtlı başarı gösterdiği vurgulanmıştır. Mochnacz (2013) tarafından çalışılan bir diğer yüksek lisans tezinde ise, kıymetli madenlerin bir piyasada enflasyona karşı yatırımcıyı koruma (hedge) fonksiyonuna sahip olup olmadığını

araştırılmıştır. 1974-2013 ve 1990-2013 dönemlerini kapsayan iki farklı yatırım ufku açısından uygulanan analizlerde, aylık ortalama kıymetli maden fiyatları ile aylık ABD enflasyon oranı kullanılmıştır. Yapılan analizlerde, altın ve platin madenlerinin birer yatırım aracı olarak yatırımcıyı enflasyon karşısında diğer madenlere karşı daha fazla koruduğu sonucuna ulaşılmıştır. Aksoy ve Topçu (2013, s.59), Mochnacz ile benzer bir şekilde çalışmalarında enflasyon ve altın getirileri ilişkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar, bir yatırım aracı olarak altın ile hisse senedi, devlet iç borçlanma senetleri, tüketici fiyat endeksi ve üretici fiyat endeksi arasındaki kısa ve uzun dönemli ilişkiler analiz etmişlerdir. Ocak 2003 ve Aralık 2011 tarih aralığındaki aylık veri kullanılan zaman serisi analizleri sonucunda altın getirisi ile hisse senedi getirileri arasında negatif, üretici fiyat endeksi ile pozitif bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

Chen ve Giles (2015), diğer çalışmalardan farklı olarak altın, gümüş ve platin kıymetli madenlerinin risk analizi üzerine odaklanmışlardır. 1968 – 2014 tarihleri arasındaki günlük veri kullanılan çalışmada Uç Değer Teorisi uygulanmıştır. Analiz sonucunda, üç kıymetli maden içerisinde gümüş en riskli yatırım aracı olarak tespit edilmiştir. Diğer yandan negatif getiri dönemlerinde platin altından daha riskli iken tersi durumda altının platinden daha riskli olduğu gözlenmiştir. Evcı ve Kandır (2015, s.53), Chen ve Giles ile aynı doğrultuda altın piyasasında risk analizi üzerine bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Altın piyasasında öngörülecek Riske Maruz Değer için uygun dağılımın ve modelin belirlenmesini amaçlayan çalışma, Ocak 2013 – Kasım 2013 tarihleri arasında Borsa İstanbul ve Londra Altın Piyasası verilerini kullanmaktadır. Yapılan analizler sonucunda altın getiri serileri için yüzde 99 güven düzeyinde student-t dağılımına dayanan modellerin daha doğru Riske Maruz Değer öngörülerinde bulunduğunu ifade edilmiştir. Kıymetli maden piyasasında risk üzerine odaklanan diğer bir çalışma ise Krezolek'in 2017 yılında yayınladığı çalışmasıdır. Koşullu Riske Maruz Değer yönteminin kullanıldığı çalışmada, kıymetli madenler piyasasına ilişkin detaylı risk incelemesi yapılmıştır.

Gangopadhyay, Jangir ve Sensarma (2016, s.6), farklı bir piyasa olan Hindistan altın piyasası üzerine bir çalışma yapmışlardır. Altın fiyatlarını, piyasa endeksi, döviz kurları, ABD tahvil oranları, petrol fiyatları ve tüketici fiyat endeksi ile modellemeyi amaçlayan çalışmada, Nisan 1990 – Ağustos 2013 tarihleri arasındaki aylık veri kullanılmıştır. Çalışmada, altının Hindistan açısından önemli bir yatırım aracı olmasının yanında kültürel bir varlık olduğu da vurgulanmaktadır. Bu açılardan Hindistan piyasasında altın yatırımlarının Bombay Borsası endeksi, Rupi Dolar kuru, ABD tahvil oranları ve petrol fiyatları ile negatif; tüketici fiyat endeksi ile pozitif bir ilişki içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Apak ve Çıtak (2016) çalışmalarında, altın fiyat fonksiyonunun tahmin denemesini ve altının fiyatlandırma mekanizmasının kısa ve uzun dönemde modellemeyi amaçlamışlardır. Yapılan model denemeleri sonucunda altın fiyatlarını en yüksek oranda açıklayan modelde altın fiyatlarının bir dönem önceki değeri ile hazine bonusu getirilerinin yer aldığı bulgusu elde edilmiştir. Eyüboğlu ve Eyüboğlu (2016, s.130) ise çalışmalarında altın, gümüş ve bakır fiyatları ile Borsa İstanbul Madencilik Endeksinde faaliyet gösteren firmaların hisse senedi fiyatları arasında bir ilişki olup olmadığını araştırmışlardır. Ekonometrik zaman serisi tekniklerinin kullanıldığı analizlerde Mayıs 2003 – Aralık 2014 arası aylık veri kullanılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre hisse senetleri ile kıymetli maden fiyatları arasındaki ilişki tüm firmalar için aynı doğrultuda tahmin edilememiştir. Bu nedenle yazarlar, yatırımcıların maden firmalarına yatırım yaparken sadece kıymetli maden fiyatlarını kullanmalarının sakıncalı olacağı görüşüne varmışlardır. Koy ve Çetin (2016, s.165), maden vadeli işlem fiyatlarının daralma ve genişleme dönemlerini Markov Rejim Değişim Otoregresif Modellerini kullanarak analiz etmeyi amaçladıkları çalışmalarında, altın, gümüş, bakır, paladyum ve platin madenleri için vadeli işlem sözleşmelerinin günlük kapanış fiyatlarını kullanmışlardır. Analizler

sonucunda, kıymetli maden piyasalarında örneklem dönemi için iki ve üç rejimli modeller elde edilebilmiştir. Elde edilen rejimler ve rejimler arası geçiş bulguları, bir yatırım aracı olarak kıymetli maden piyasasını kullanacak yatırımcılara önemli bilgiler sağlamıştır.

Batten, Lucey, McGroarty, Peat ve Urquhart (2017), altın, gümüş, platin ve paladyum fiyat serileri arasındaki dalgalanma ve getiri ilişkisini açıklamayı amaçlayan çalışmalarında, Mayıs 2000 – Nisan 2015 dönemi arasında 5-dakikalık frekansa sahip veri kullanmışlardır. Analiz periyodunu üç alt döneme ayırarak inceleyen yazarlar, fiyat, dalgalanma, hacim ve alım-satım fiyat farkı değişkenlerini kullanarak nedensellik analizleri uygulamışlardır. Bulgular, kıymetli maden piyasa hacminin artması durumunda alım-satım fiyat farkının daraldığını ve bir likidite etkinliği durumunun oluştuğunu göstermektedir. Ayrıca, kıymetli maden getirileri ile dalgalanmaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir nedensellik ilişkisinin olduğu vurgulanmıştır. Eryiğit (2017, s.499) ise Gangopadhyay, Jangir ve Sensarma çalışmalarında olduğu gibi altın fiyatlarını etkileyen değişkenleri tespit etmeye çalışmış ve bu değişkenleri diğer kıymetli madenler ve enerji olarak iki grupta incelemiştir. Analizler, kıymetli madenler ile altın fiyatları arasında kısa vadeli; enerji fiyatları ve altın fiyatları arasında uzun vadeli bir ilişki araştırmaya odaklanmıştır. Bulgular, altın fiyatları ile diğer kıymetli madenler arasında farklı şekillerde kısa vadeli bir korelasyon olduğunu; fakat benzin ve ham petrol fiyatlarının altın fiyatları ile uzun vadeli bir ilişkiye sahip olmadığını ortaya koymaktadır. He, Chen ve Tso (2017, s.9), çalışmalarında altın fiyatları öngörüsü için yeni bir model geliştirmeyi amaçlamışlardır. Çoklu ölçekleme tekniği kullanarak ileri zaman seri analizlerinin yapıldığı çalışmada, Ocak 1993 – Ekim 2016 arasındaki günlük fiyat verisi kullanılmıştır. Yapılan analizlerde yazarlar, oldukça detaylı sonuçlara ulaşmışlar ve geliştirdikleri modelin fiyat öngörüsü yapabilme gücünün yüksek ölçeklerde arttığını vurgulamışlardır. Liberda (2017, s.2007), çalışmasında kıymetli maden piyasasında fiyatların oluşumu üzerinde etkili olan ekonomik ve finansal değişkenleri tespit etmeyi amaçlamıştır. Literatürde sıklıkla kullanılan 8 değişkeni günlük ve aylık frekanslarda ele alan yazar, faiz oranı, döviz kuru, hisse senedi endeksi getirileri ve ham petrol fiyatlarının kıymetli maden fiyatları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olduğu sonucuna ulaşmıştır. Kırkulak-Uludağ ve Lkhamazhapov (2017, s.300) ise 2000 – 2014 yılları arasında Rusya piyasasında işlem gören altın, gümüş, platin ve paladyum fiyat dalgalanmaları üzerine odaklanmışlardır. Yarı-parametrik zaman serisi ve finansal ekonometri modellerinin kullanıldığı çalışmada, kıymetli maden fiyat dalgalanmalarının kendi aralarında ciddi bir korelasyona sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yazarlar, bir finansal yatırım aracı olarak en az dalgalanmaya sahip kıymetli madenin altın olduğunu vurgulamışlardır. Kamışlı, Kamışlı ve Temizel (2017, s.1079) çalışmalarında 2008 – 2017 tarihleri arasındaki petrol, altın ve gümüş fiyatlarını asimetrik frekans nedensellik analizi ile araştırmışlardır. Araştırma sonucunda söz konusu emtialar arasında kısa, orta ve uzun dönemde asimetrik nedensellik ilişkileri tespit edilmiştir. Küçükaksoy ve Yalçın (2017), altın fiyatlarını etkileyebilecek değişkenlerin tespit edilmesi amacıyla zaman serisi teknikleri uygulayarak bir araştırma yapmışlardır. Açıklayıcı değişkenler olarak petrol fiyatları, gümüş fiyatları, Dow Jones Sanayi Endeksi, Dolar-Sterlin paritesi ve FED fon faiz oranını kullanan yazarlar, iki temel sonuca ulaşmışlardır. İlk olarak, oluşturulan modelde açıklayıcı değişkende meydana gelen bir şokun, altın fiyatları üzerindeki etkileri en fazla üç ay sonra kaybolduğu tespit edilmiştir. İkinci olarak ise, altının geçmiş fiyat verilerinin spot fiyatını açıklama gücünün %97 olduğu tespit edilmektedir. Kıymetli madenler ile ilgili yapılmış en güncel çalışmalardan birisi de Bhatia, Das, Tiwari, Shahbaz ve Hasim'e ait 2018 yılında yapılmış olan araştırmadır. Yazarlar, kıymetli madenlerin cari fiyatlarının birbirlerini etkileyip etkilemediğini parametrik olmayan nedensellik yöntemi kullanarak farklı kantiller için incelemiştir. Analizler sonucunda piyasanın normal dönemlerini temsil eden medyan kantilde kıymetli madenler

arasında güçlü bir nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. Diğer yandan, piyasanın yükseliş ve düşüş dönemlerini temsil eden kantillerde ise kıymetli maden fiyatları arasında önemli bir nedensellik ilişkisi gözlemlememişlerdir.

## **2.2. Fraktal Piyasa Hipotezi Üzerine Araştırmalar**

Araştırmanın ikinci literatür grubunda ise FPH üzerine yapılmış çalışmalara yer verilmektedir. FPH teorik alt yapısı sebebiyle EPH'nin antitezi niteliği taşımaktadır. Bu nedenle bu konuda yapılan çalışmalar genel olarak sermaye piyasası verisi kulanmış ve sermaye piyasalarında EPH'ne karşılık FPH'nin varlığını incelemişlerdir. Rachev, Weron ve Weron (1999), çalışmalarında FPH kullanarak bir finansal varlık fiyatlama modeli geliştirmeyi amaçlamışlardır. Yazarlar Koşullu Açıklayıcı Bağımlılık Modeli olarak isimlendirdikleri modelin teorik altyapısını ve FPH bağlantısını çalışmalarında detaylı bir şekilde incelemişlerdir. Horasanlı (2007, s.36) ise FPH'nin varlığını altı farklı piyasa endeksi üzerinde test etmiştir. Araştırmasında Hurst tarafından geliştirilen dönüştürülmüş genişlik analizini (Rescaled Range) kullanan yazar, incelediği endekslerin araştırma döneminde rassal yürüyüş hipotezine göre hareket etmediğini ve EPH'nin geçerli olmadığını ifade etmiştir. Aygören (2008, s.125) Horasanlı ile aynı tekniği kullanarak Borsa İstanbul için 1987 – 2007 tarihleri arasında FPH'nin varlığını araştırmıştır. Günlük getiri verisinin kullanıldığı çalışmada, analizler sonucunda Borsa İstanbul Ulusal-100 endeks davranışının fraktal yapıya uygun olduğu tespit edilmiştir. Benzer bir araştırmayı Borsa İstanbul'da farklı endeksler için 2000 – 2008 yılları arasında uygulayan Ural ve Demireli (2009, s.243) de Hurst tarafından geliştirilen dönüştürülmüş genişlik analizini kullanmışlardır. Yazarlar, Aygören'in çalışması ile paralel sonuçlar elde etmiş ve Borsa İstanbul'un tüm endekslerinde davranışının fraktal yapıya uygun olduğu ortaya koymuşlardır.

Yakın tarihlerde yapılmış çalışmalardan biri de Kristoufek (2013) araştırmasıdır. Yazar, FPH'nin varlığını ve küresel krizlerin yapısını wavelet analizi kullanarak farklı yatırım ufukları için analiz etmiştir. Analizler sonucunda, kısa vadeli yatırım ufukunda FPH'ne uygun bir davranış bulunduğu ve küresel krizlerin diğer yatırım ufuklarına göre daha iyi karakterize edilebildiğine vurgu yapılmıştır. Kristoufek ile yatırım ufku açısından benzer bir amaca sahip Lin, Nishimura ve Men (2014, s.144), yatırımcılar için farklı zaman ufuklarında FPH'ye dayanan bir likidite modeli geliştirmeyi amaçlamışlardır. Yazarlar, kısa vadeli yatırım ufukunda fraktal özellik taşıyan bir piyasanın yatırımcılara diğer yatırım ufuklarından daha likit bir ortam sağladığı sonucuna ulaşmışlardır. Kumar ve Bandi (2015, s.83) çalışmalarında 2008 küresel krizini FPH ile açıklamayı amaçlamışlardır. Yazarlar, Hindistan piyasasında iki hisse senedi ve bir tahvil endeksi kullandıkları çalışmada, 1999 – 2013 yılları arasındaki günlük getirileri wavelet analizi kullanarak farklı yatırım ufuklarına ayırarak incelemişlerdir. Araştırma sonucunda küresel kriz döneminde Hindistan piyasalarında tüm yatırım ufku serilerinde FPH'yi destekleyici bir hareketlilik oluştuğunu tespit edilmiştir. Günay (2015, s.35), Aygören, Ural ve Demireli'nin çalışmalarında olduğu gibi Borsa İstanbul Ulusal-100 endeksinde getiri ve işlem hacmi açılarından FPH'nin varlığını araştırmıştır. Yazar, analizlerinde Dönüştürülmüş Genişlik analizi, Eğilimden Arındırılmış Dalgalanma Analizi ve GPH Analizi kullanmış, 2000 – 2014 yılları arasında fraktal yapıyı incelemiştir. Analizler sonucunda kendisinden önceki araştırmacıların aksine getiri ve işlem hacmi serileri için Borsa İstanbul Ulusal-100 endeksinde fraktal bir yapı olmadığını vurgulamıştır. Barna, Ștefana Maria, Bogdan ve Pașca (2016, s.137), çalışmalarında gelişmekte olan finansal piyasalarda fraktal piyasa hipotezi ve EPH'nin varlığı üzerine araştırma yapmışlardır. Yazarlar çalışmalarında amaçlarını iki temel maddede özetlemişlerdir: ilk olarak literatürde sıklıkla kullanılmakta olan teknikler ile fraktal yapıyı incelemeyi amaçlayan yazarlar, ikinci olarak da dokuz farklı gelişmekte olan finansal piyasa üzerinden potansiyel ampirik

bulgular ortaya koymayı hedeflemektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda, Asya ve Avrupa piyasaları devamlılık arz etmeyen yapıya yaklaşırken, Latin Amerika piyasalarında yerel bir devamlılık yapısı olduğu tespit edilmiştir.

Dar, Bhanja ve Tiwari (2017, s.153), çalışmalarında finansal krizleri FPH çerçevesinde ele almışlardır. Kristoufek'in çalışmasını temel alan yazarlar, EPH'nin finansal krizlerin öngörülemez olduğunu iddia etmesine karşın, FPH'nin finansal krizleri yatırım ufkuna bağlı bir döngü olarak kabul etmesi savı üzerine odaklanmışlardır. Analizler sonucunda farklı piyasalarda ve farklı kriz dönemlerinde finansal piyasalarda FPH'yi destekleyen bulgulara ulaşılmıştır. Wang, Lei, Liu ve Wang (2017, s.1710) ise Hurst dönüştürülmüş genişlik analizi kullanarak Çin sermaye piyasasında fraktal yapıyı araştırmışlardır. Beş farklı sektörden şirkete ait günlük getiri verisinin kullanıldığı analizlerde, hisse senetlerinin fraktal davranış gösterdiği tespit edilmiştir. Yazarlar, fraktal yapı sebebiyle hisse senetlerinin uzun hafızaya sahip olduğunu vurgulamış ve yatırım kararlarında bu fraktal yapının dikkate alınması gerektiğini ifade etmişlerdir.

### 2.3. Kıymetli Madenler ve Fraktal Piyasa Hipotezi Araştırmaları

Araştırmanın amacı doğrultusunda gruplanan literatürün son kısmında ise bir yatırım aracı olarak kıymetli madenler üzerine yapılmış FPH araştırmalarına yer verilmektedir. Bu alanda yapılan ve ulaşılabilen ilk çalışma Panas ve Ninni (2010, s.193) tarafından Londra Maden Borsası'nda gerçekleştirilmiştir. Londra Maden Borsası üzerinde FPH'yi test etmeyi amaçlayan çalışmada birkaç farklı teknik uygulanmıştır. Ocak 1989 – Aralık 2000 yılları arasında günlük veri kullanılan çalışmada, yatırım aracı olarak belirlenen kıymetli madenler: alüminyum, bakır, kurşun, kalay, nikel ve çinkodur. Araştırma sonucunda FPH'yi destekleyici bulgulara ulaşılmıştır. Urquhart (2017, s.1390) ise kıymetli maden fiyatlarının öngörülebilirliği üzerine yaptığı çalışmada fraktal yapıyı incelemiş ve farklı tekniklerin yanında Hurst dönüştürülmüş genişlik analizi kullanmıştır. Yazar, 1987 – 2014 tarihleri arasındaki altın, gümüş ve platin fiyatlarını kullandığı analizlerinde anlamlı sonuçlar elde edememiştir. Bu durumun, kıymetli maden getirilerinin yapısının durağan (static) olmadığını gösterdiğini vurgulamıştır. Yazar analiz bulgularının kıymetli madenler piyasasının etkin veya FPH'ye değil, Uyumsal Piyasa Hipotezine uygun olduğu sonucuna ulaşmıştır. Erdoğan (2017, s.49), Borsa İstanbul Ulusal-100 endeksi ve altın ons fiyat verisi kullanarak yaptığı çalışmada, fraktal davranışı farklı teknikler kullanarak araştırmayı amaçlamaktadır. Araştırmada 2007 – 2017 arasındaki günlük veri kullanılmaktadır. Yapılan analizler sonucunda Ulusal-100 endeksi açısından Aygören, Ural ve Demireli'nin çalışmaları ile paralel bir şekilde fraktal davranışın olduğunu tespit eden yazar, altın fiyatları açısından da endekse benzer bir şekilde FPH'yi destekleyen bulgular elde etmiştir.

### 3. HURST AMPİRİK KANUNU VE DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ GENİŞLİK ANALİZİ

Doğanın birçok gözlemi, zaman içindeki kayıtlardan veya bir dizi gözlemden oluşmaktadır. Bu kayıtlar yıllık değişimler sergileyebilmektedir. Örneğin sıcaklığa ait kayıtlar hem uzun hem de kısa dönemli olarak düzensiz hareketler gösterebilir. Zamana bağlı olarak oluşan bu kayıtlar genelde sıcaklık, nehirlerin akış debisi, yağış miktarı ve ağacın kalınlığı gibi ölçülebilen seriler Hurst (1951) Genişletilmiş Ölçek (Rescaled Range – R/S) analizi ile analiz edilebilmektedir. Analiz sonuçları da Hurst Üsteli ( $H$ ) ile gösterilmektedir. Değişkene ait kaydın izi,  $D = 2 - H$  olan fraktal bir boyuta sahip bir eğri meydana getirmektedir. (Riste ve Sherrington, 2012, ss.113-116). Hurst üsteli genelde Brownian hareket olarak bilinen ve barajların dolumu esnasında düzensiz sıvı akışı içerisinde yer alan parçacıkların hareketinin sonucu olarak önerilmiştir. Bu yöntem Peters'in (1991; 1994) çalışmaları ile ekonomi bilimi içerisinde yer bulmuştur. (Brooks, 1995, s.428). Hurts hayatının büyük bir kısmını Nil nehri ve nehirde depolanan su miktarını inceleyerek geçirmiştir.

Bu çalışmaları sırasında yeni bir istatistiksel yöntem olan Dönüştürülmüş Genişlik (Rescaled Range – R/S) yöntemi üzerinden çalışma gerçekleştirmiştir. (Peters, 1994, s.77). R/S istatistiği bir zaman serisinin sapmalarının kısmi toplamlarının ortalama ile aralığıdır. Başka bir deyişle zaman serisinin standart sapması ile dönüştürülmesidir (Grasman ve Van Straten, 1994, s. 639)

Hurst Üstelinin hesaplanmasında kullanılan değişkenler şu şekilde ifade edilmektedir:

$\bar{x}$  : t uzunluğundaki bir zaman serisinin ortalaması,

$S_t$  : t uzunluğundaki bir zaman serisinin standart sapması,

Zaman serisinde verilerin ilk olarak dönüştürülmesi için seride bulunan her bir gözlemden, ortalamanın çıkarılması gerekmektedir. Sonrasında ise ilk etapta bulunan ve dönüştürülen değer, her bir gözlemden ortalamadan fark alınan değer üzerine eklenmektedir.

$$Y_j = [(x_1 - \bar{x}) + (x_j - \bar{x})] \quad (1)$$

Düzeltilmiş genişlik Eşitlik 2 yer aldığı şekilde gösterilmektedir.

$$R = \left| \max_{1 \leq k \leq n} \sum_{j=1}^k (Y_j - \bar{Y}_n) - \min_{1 \leq k \leq n} \sum_{j=1}^k (Y_j - \bar{Y}_n) \right| \quad (2)$$

Eşitlik 2 kullanılarak Hurst üstelinin hesaplanması için Eşitlik 3'te yer alan formül kullanılmaktadır.

$$R_n / S_n = cn^H \quad (3)$$

Eşitlik 3'te,  $R_n$ , düzeltilmiş genişlik,  $S_n$ , serinin tahmin edilen standart sapması,  $c$ , sabit terim  $H$ , Hurst üstelini,  $R_n / S_n$ , dönüştürülmüş genişliği ifade etmektedir. Hurst üstelinin, üstel bir fonksiyon olan Eşitlik 3'te yer aldığı şekli ile tahmin etmek mümkün değildir. Bu nedenle modele logaritmik dönüşüm uygulanması gerekmektedir. Hurst üstelini tahmin etmede kullanılabilecek model Eşitlik 4'te yer almaktadır.

$$\log(R/S)_n = \log c + H \log n \quad (4)$$

Eşitlik 4'te Hurst üsteli,  $\log(R/S)_n$  teriminin dikey ekseninde,  $\log n$  teriminin yatay ekseninde olması durumunda çizilen dağılım grafiğinin seçilen doğrusal bölgedeki alanın eğimi ile de hesaplanabilmektedir (Brooks, 1995, s.429). Teoriye göre tahmin edilen  $H=0,5$  ise, bu durum serinin bağımsız sürecini ifade etmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, R/S analizinin serinin dağılımında Gauss dağılımı varsayımını zorunlu kılmamasıdır. Analiz sadece serinin bağımsızlığına dair bir bulgu sağlamaktadır. Bu durum normal dağılımı içermekle beraber aynı zamanda bağımsız bir süreç olan Gauss olmayan dağılımı ve benzer olarak Student-t, gamma veya diğer türlü dağılımları da içermektedir. R/S analizi parametrik olmayan bir analiz olarak nitelendirilmektedir, dolayısıyla analiz süreci içerisinde dağılıma ilişkin durumun zorunluluğu bulunmamaktadır (Peters, 1994, s.77). Diğer taraftan bu durum bağımsız, tipik olarak sıfır değişim ortalaması ile normal dağılım sürecini ifade eden beyaz gürültü olarak tanımlanmaktadır. Gauss süreci olarak da adlandırılmaktadır (Jensen ve Mansinha, 1987, s.169).

Hurst üstelinin alabileceği diğer değerler için teorik olarak iki aralık belirlenmiştir. Üstelin,  $0,50 < H < 1$  aralığında tahmin edilmesi, seride devamlılığı ve trendi zorlayan bir yapı olduğunu ifade



etmektedir. Bu durumda zaman serisinde uzun dönemli hafıza bulunduğundan bahsedilebilmektedir. Bugün oluşan verinin gelecekte oluşacak değerleri etkilediği şeklinde belirtilebilmektedir. Kaotik dinamikler içerisinde durum ele alındığında ise, başlangıç koşullarına bağlı hassas bir bağımlılık bulunmaktadır. Uzun dönemli hafıza zaman ölçeği her ne olursa olsun gerçekleşmektedir. Günlük olan tüm değişiklikler, gelecekte oluşan tüm günlük değişiklikler ile haftalık değişiklikler ise gelecekte olan tüm haftalık değişiklikleri ile korelasyon içerisinde. Bu yapı fraktal zaman serisi karakteristiğinde gözlenmektedir. (Peters, 1994, s.66). Fraksiyonel Brownian hareketi (fBm) olarak da adlandırılan Fraktal Brownian hareketi, sıfır ve bir arasında gerçek bir sayı olan Hurst parametresi olarak adlandırılan tek bir parametre ile karakterize edilen bir stokastik süreç sınıfıdır. Kahverengi gürültü sınıflandırmasındaki bu yapıda, serideki hareket geçmişte oluşan değerlerden tamamen bağımsızdır ve bütün değişikliklerin istatistiksel olarak bağımsız yapıda olduğu söylenebilir. (Mandelbrot, Fisher ve Calvet, 1997, s.4). Üstelin alabileceği değerler için belirtilen ikinci aralık ise  $0 < H < 0,5$  durumudur ve bu değer ise devamlılığı olmayan trendi zorlamayan durumu ifade etmektedir. Seri içerisindeki hareket daha kısa mesafelerde gerçekleşmektedir ve serideki hareket genelde ortalamaya dönme eğilimindedir (Peters, 1994, s.62).

Mulligan (2004, s.158), çalışmasında H üstelinin farklı değerleri için bir özet tablo oluşturmuştur. Tablo 1'de üstelin alacağı farklı sonuçlara göre serideki gürültü ölçeğini ve serinin hangi dağılıma uygun davrandığını özetlemektedir.

**Tablo 1.** Serilerin Fraktal Sınıflandırması

Davranış Biçimi	Renk Ölçeği	Hurst Üsteli Aralığı
Devamlılığı olmayan, ortalamadan sapan, negatif otokorelasyona sahip	Pembe Gürültü	$0 < H < 0,5$
Normal Dağılım (Gaussian Süreci)	Beyaz Gürültü	$H = 0,5$
Brownian Hareketi (Wiener Süreci)	Kahverengi Gürültü	$H = 0,5$
Devamlı, Trend Pekiştiren, (Hurst Süreci)	Siyah Gürültü	$0,5 < H < 1$
Cauchy Dağılımı (Cauchy Süreci)	Cauchy Gürültü	$H = 1$

**Kaynak:** Mulligan (2004, s. 158)

Tablo 1 yer alan sınıflandırmalara göre, H üstelinin alacağı değerler zaman serisinin rassal yürüyüşe (gürültüye) sahip olma ölçeğini belirlemektedir. Mandelbrot (1963a, 1963b), çalışmada bir finansal zaman serisindeki tüm spekülatif fiyat hareketlerinin H üsteline göre sınıflandırılabilirliğini ifade etmektedir (Mandelbrot, Fisher ve Calvet, 1997, s.5). Bu sınıflandırma sistemine göre, siyah gürültü ölçeğinde kalan zaman serileri diğer ölçeklerdekilere göre daha az rassal harekete sahip, net trendler göstermekte olan seriler olarak ifade edilmektedir. Üsteli bire yaklaşan bir finansal varlıkta, geçmiş fiyat hareketlerine göre yatırım yapan yatırımcının pozitif getiri elde etme olasılığı artmaktadır. Diğer yandan üstelin bire yaklaşması durumu Cauchy gürültü ölçeğini ifade etmektedir. Buna göre söz konusu finansal varlık için ani ve büyük değişimlerin olma riski de Cauchy dağılım süreci gereği artmaktadır. Pembe gürültü ölçeğine sahip bir finansal varlık ise rassal yürüyüş sürecinden daha dalgalı ve sapmalı bir

görünümüne sahiptir. Genellikle belirsizliğin ve rekabetin yüksek olduğu sektörlerde faaliyet gösteren şirketlere ait finansal varlıklar bu duruma örnek olarak verilebilmektedir. Mulligan, H üstelinin 0,50 değerinin altında tahmin edilmesi durumunda EPH'nin varlığının kesinlikle reddedileceğini vurgulamaktadır. Zira yatırımcılar piyasaya ulaşan yeni bilgiye etkin bir piyasada olması gerekenin çok üstünde tepki vermekte ve yüksek dalgalanmalar meydana getirmektedir (Mulligan, 2004). Üstelin 0,5 değerine çok yakın tahmin edilmesi durumu ( $H = 0,5$ ) ise rassal yürüyüş süreci olarak tanımlanmakta ve normal ya da brownian dağılıma dahil edilmektedir. Beyaz ya da kahverengi gürültü olarak tanımlanan bu ölçek EPH'nin seride varlığının reddedilememesine neden olmaktadır. Bu ölçeğe göre seri geçmiş gözlemlerden bağımsız bir şekilde rassal olarak hareket etmektedir.

#### **4. VERİ SETİ**

Kıymetli madenler antik dönemlerden bu yana insan hayatında hem ödeme aracı hem de tasarruf aracı fonksiyonları ile kullanılmaktadır. Bu çalışmada mümkün olan en eski tarihten itibaren altın, gümüş, platin ve paladyum kıymetli madenlerinin Amerikan Doları cinsinden fiyatlarına ulaşılmaya çalışılmıştır. Ulaşılan veri ile günlük, haftalık, aylık ve çeyreklik (dönemlik) frekanslarda finansal varlık getirileri hesaplanmıştır. Her bir kıymetli maden veri frekansının farklı bir tarihten başlatılması ve farklı gözlem sayılarına sahip olması uygulanacak analiz açısından bir sakınca oluşturmamaktadır. Farklı gözlem sayılarının olmasının sebebi, mümkün olduğunca geniş bir dönemi ele alabilmek amacı taşımaktadır. Veri Bloomberg Terminal Veritabanı kullanılarak elde edilmiştir.

Kullanılan veri setine ilişkin dört farklı kıymetli maden ve dört frekans temelinde tanımlayıcı istatistikler Tablo 2 yer almaktadır.

Tablo 2. Tanımlayıcı İstatistikler

<b>ALTIN</b>				
<b>Veri Frekansı</b>	<b>Günlük</b>	<b>Haftalık</b>	<b>Aylık</b>	<b>Dönemlik</b>
<b>Gözlem Sayısı</b>	11.083	2.258	592	202
<b>İlk Gözlem Tarihi</b>	2.01.1975	3.01.1975	31.01.1969	29.03.1968
<b>Ortalama</b>	0.000178	0.000880	0.005866	0.017993
<b>Ortanca</b>	0.000109	0.001131	0.001930	0.007997
<b>Standart Sapma</b>	0.012263	0.025581	0.055054	0.094806
<b>Minimum</b>	-0.141970	-0.223144	-0.253223	-0.257750
<b>Maksimum</b>	0.125005	0.292885	0.243253	0.456252
<b>GÜMÜŞ</b>				
<b>Veri Frekansı</b>	<b>Günlük</b>	<b>Haftalık</b>	<b>Aylık</b>	<b>Dönemlik</b>
<b>Gözlem Sayısı</b>	12.868	2.621	592	202
<b>İlk Gözlem Tarihi</b>	2.01.1968	5.01.1968	31.01.1969	29.03.1968
<b>Ortalama</b>	0.000161	0.000789	0.003592	0.010233
<b>Ortanca</b>	0.000000	0.000802	-0.001839	-0.001294
<b>Standart Sapma</b>	0.021031	0.042538	0.094794	0.156571
<b>Minimum</b>	-0.205489	-0.407607	-0.967851	-0.869721
<b>Maksimum</b>	0.311810	0.300641	0.527527	0.683874
<b>PLATİN</b>				
<b>Veri Frekansı</b>	<b>Günlük</b>	<b>Haftalık</b>	<b>Aylık</b>	<b>Dönemlik</b>
<b>Gözlem Sayısı</b>	6.366	1.618	373	125
<b>İlk Gözlem Tarihi</b>	1.11.1993	10.04.1987	30.04.1987	30.06.1987
<b>Ortalama</b>	0.000141	0.000301	0.001296	0.003864
<b>Ortanca</b>	0.000130	0.001113	0.004029	0.006940
<b>Standart Sapma</b>	0.013257	0.028505	0.060112	0.105648
<b>Minimum</b>	-0.102585	-0.154745	-0.385484	-0.716125
<b>Maksimum</b>	0.087421	0.171524	0.216159	0.268495
<b>PALADYUM</b>				
<b>Veri Frekansı</b>	<b>Günlük</b>	<b>Haftalık</b>	<b>Aylık</b>	<b>Dönemlik</b>
<b>Gözlem Sayısı</b>	6.230	1.266	292	98
<b>İlk Gözlem Tarihi</b>	3.01.1994	7.01.1994	31.01.1994	31.03.1994
<b>Ortalama</b>	0.000320	0.001576	0.006833	0.020357
<b>Ortanca</b>	0.000000	0.002037	0.009488	0.046732
<b>Standart Sapma</b>	0.020567	0.046526	0.099912	0.178407
<b>Minimum</b>	-0.169984	-0.200295	-0.429404	-0.841913
<b>Maksimum</b>	0.191608	0.273293	0.400992	0.392461

## 5. BULGULARIN YORUMU

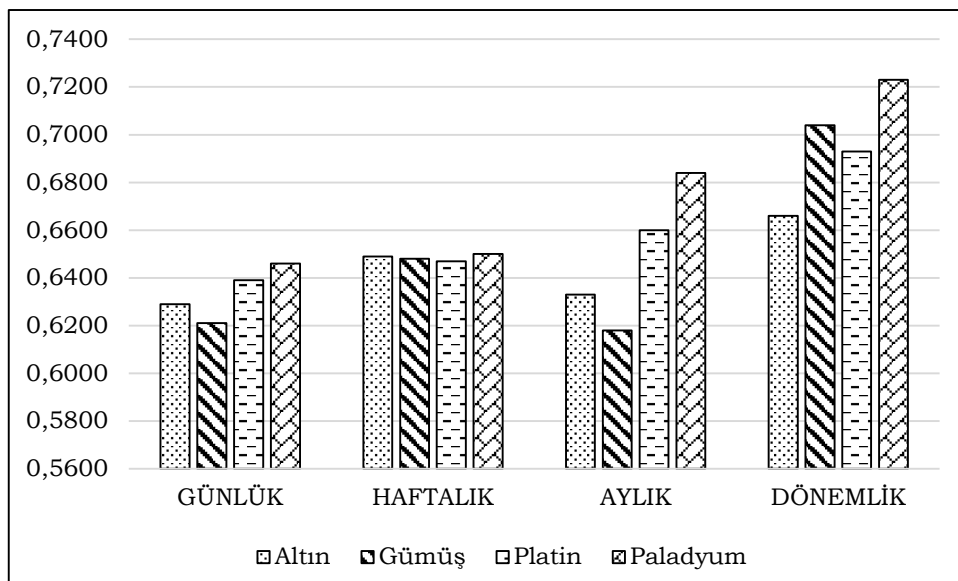
Kıymetli madenler piyasasında altın, gümüş, platin ve paladyum madenlerine ilişkin düzenlenen farklı frekanslara ait veriler kullanılarak FPH'nin gerçekliğini test etmek amacıyla Hurst (1951) tarafından geliştirilen Hurst Üsteli katsayısı R/S analizi kullanılarak hesaplanmıştır. Cari dönemde oluşan gözlemlerin geçmiş gözlemden bağımsız ya da geçmiş gözleme bağımlı hareket

edip etmediğini ölçmek için kullanılan bu analizde normal dağılım varsayımı zorunluluğu bulunmamaktadır. Dolayısıyla verilerin normal dağılıma uygun olup olmadıkları kontrol sürecine dahil edilmemiştir. Analiz sürecinde her kıymetli maden farklı frekanslarda ayrı ayrı analize dahil edilmiştir. Eşitlik 4 kullanılarak yapılan analizlerde her bir kıymetli maden için dört farklı H katsayısı tahmin edilmiştir. Tahmin sonuçları Tablo 3'te ve görsel olarak da Şekil 1'de yer almaktadır.

**Tablo 3.** R/S Analizi Sonucunda Tahmin Edilen H Üstelleri

	Günlük	Haftalık	Aylık	Dönemlik
Altın	0,629	0,649	0,633	0,666
Gümüş	0,621	0,648	0,618	0,704
Platin	0,639	0,647	0,660	0,693
Paladyum	0,646	0,650	0,684	0,723

Altın madeni için farklı frekanslarda hesaplanan H üstelinde en düşük değer 0,629 ile günlük frekanstaki veride gözlenmiştir. Bunu sırasıyla aylık bazlı veri için 0,633 değeri, haftalık bazlı veri için 0,649 değeri ve dönemlik frekanstaki veri için ise 0,666 değeri elde edilmiştir. En yüksek H katsayısına dönemlik frekanstaki veride ulaşılmıştır. Gümüş madeni için hesaplanan H üsteli değerleri içerisinde en düşük H değerine 0,618 ile aylık frekanstaki analizde ulaşılmıştır. En yüksek H katsayısı ise dönemlik frekansta 0,704 değeri ile tahmin edilmiştir. Platin madeni için elde edilen H üsteli katsayısı için en düşük günlük frekansta 0,639 değeri elde edilirken, en yüksek H katsayısına 0,693 ile dönemlik frekansta tahmin edilmiştir. Paladyum madeni için yapılan analiz sonucunda elde edilen H katsayıları incelendiğinde, en düşük H değerine 0,646 değeri ile günlük frekansta ulaşılmıştır. Bunu sırasıyla 0,650 değeri ile haftalık frekans, 0,684 değeri ile aylık frekanstaki veri takip etmiştir. En yüksek H değerine ise 0,723 ile dönemlik frekanstaki veri analizinden ulaşılmıştır.



**Şekil 1.** R/S Analizi Sonucunda Tahmin Edilen H Üstel Grafiği

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, gümüş madeni hariç tüm maden çeşitleri için hesaplanan H üsteli değerine en düşük günlük frekanstaki veriden ulaşılmıştır. Diğer yandan, bütün maden türleri için dönemlik bazdaki veriden en yüksek H değerine ulaşılmıştır. Teorik olarak H üstelinin bir değerine yaklaşması durumunda serideki gürültü seviyesi azalmakta ve beklenen değerler rassal yürüyüş hipotezinden uzaklaşmaktadır (Mulligan 2004). Analiz sonuçları açıkça göstermektedir ki, kıymetli madenler piyasasında işlem gören söz konusu dört maden (Altın, Gümüş, Platin, Paladyum) için EPH'nin geçerliliğinden bahsetmek zor görünmektedir. Tüm kıymetli maden serilerinin farklı frekanslarında dahi H üstelinin 0,50-1,00 aralığında tahmin edilmiş olması, kıymetli madenler piyasasında FPH'nin geçerliliğinin olabileceğini göstermektedir.

Çalışmada kullanılan serilerin farklı frekanslarda ele alınarak analizlere dahil edilmesi araştırmanın özgün yönünü oluşturmaktadır. Bu uygulamadaki birinci amaç mümkün olduğunca geçmiş gözlemlere ulaşarak piyasanın uzun vadeli incelemesini yapmak iken; ikinci amaç ise birer finansal varlık olan kıymetli madenlerin, piyasada farklı yatırım ufuklarındaki fraktal yapısını incelemektir. Analiz sonuçlarına göre, kıymetli madenler piyasasının çeyreklik frekanstaki yapısı FPH'nin varlığını en yüksek oranda desteklemektedir. Ayrıca en eski tarihten başlayan bu frekansta en yüksek H katsayılarının elde edilmesi, serilerde uzun dönemli hafıza yapısının olabilme ihtimalini de kuvvetlendirmektedir. Diğer yandan, EPH varsayımlarından birisi olan rassal yürüyüş yapısının varlığı desteklenemese de en yakın sonuçlar günlük frekanstaki veriden elde edilmiştir.

## 6. SONUÇ

Geleneksel finans teorisi temelinde finansal enstrümanların getirileri üzerinden yapılan analizler zaman serilerine ilişkin durumu açıklamada yetersiz kalabilmektedirler. Etkin piyasa hipotezi (EPH) doğrultusunda gelecekte oluşacak olan fiyat hareketlerinin geçmiş gözlemlerden bağımsız olduğu vurgusu yapılmasına rağmen, zaman zaman finansal piyasalarda aksi durumla karşılaşılabilir. Özellikle son dönemlerde yapılan çalışmalar piyasalarda fiyat hareket ve dalgalanmalarının geçmiş gözlemlerden bağımsız olmayabileceği sonuçlarını ortaya koymaktadır. Finans literatüründe EPH'ye anti-tez olarak ortaya atılmış birçok yaklaşım bulunmasına rağmen, Fraktal Piyasa Hipotezi (FPH) bu yaklaşımlar içerisinde dikkat çekmektedir. Finansal piyasalardaki verinin oluşmasında insan davranışlarının önemli rolünün bulunması fiyatların geçmişten bağımsız, rassal bir şekilde oluştuğu yönündeki varsayımı zorlamaktadır. FPH, finansal zaman serilerinin geçmişten bağımsız hareket edemeyeceği ve bir hafızaya sahip olabileceğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada, majör kıymetli madenler altın, gümüş, platin ve paladyum piyasalarında fraktal yapının varlığı üzerine odaklanılmıştır. Birer finansal varlık olarak işlem gören kıymetli maden getirilerine ilişkin farklı frekanslardaki gözlem değerlerinden elde edilen serilerde, uzun dönemli bellek yapısı araştırılmıştır. Günlük, haftalık, aylık ve çeyreklik (dönemlik) frekanslarda oluşturulan veride, en fazla gözlem sayısına ulaşılabilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan fraktal analiz, zaman serilerindeki hareketlerin, kırılmaların ya da durağanlığın geçmiş gözlemler ile ne kadar bağlantılı olduğunu ortaya koymaktadır. Analiz yöntemi olarak R/S analiz tekniği ile Hurst üsteli hesaplanmış ve serilerin fraktal yapısına ait sonuçlar elde edilmiştir.

R/S tekniği kullanılarak yapılan analizlerde, Hurst üsteli tüm madenler için farklı frekansların tamamında 0,5 değerinin üzerinde tespit edilmiştir. Bu durum gözlenen fiyat hareketlerinin ileriye dönük olarak uzun dönemli bellek yapısına sahip olduğunu ve beklenen fiyat hareketi tarzının

geçmiştekine benzer (pozitif/negatif) yönlü olacağını ifade etmektedir. Elde edilen bulgularda, çeyreklik frekanstaki fiyat hareketine ilişkin H değerlerinin tüm madenlerde en yüksek, günlük frekanstaki H değerlerinin ise gümüş madeni hariç en düşük değere sahip olması önemli bir sonuç olarak değerlendirilmektedir. Bu durum analizde kullanılan farklı frekanslardaki zaman serilerinde uzun dönemli bellek yapısının, yatırımcının elde tutma süresi uzadıkça (günlük-aylık-çeyreklik) daha kuvvetli bir şekilde oluştuğunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla dönemsel incelemede gözlemler arasındaki zaman aralığı arttıkça, uzun dönemli belleğe ilişkin bulgular güçlenmektedir çıkarımı yapılabilmektedir.

Finansal piyasalarda fraktal yapının oluşması üzerine finans literatüründe önemli sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar içerisinde kıymetli maden piyasası üzerine odaklanan oldukça az araştırma gözlenmiştir. Çalışmanın motivasyonu, birer finansal varlık olarak değerlendirilen ve birçok yatırımcının portföyünde yer alan kıymetli madenlerin EPH'ye uygun hareket edip etmediğinin incelenmesidir. Çalışmanın literatüre en önemli iki katkısı, kıymetli madenler piyasası üzerine odaklanması ve analiz edilen serilerin farklı frekanslardaki fraktal hareketini incelemiş olmasıdır. Bu açıdan, çalışma sonuçları yatırımcılar açısından pratik ve kullanılabilir çıktılar ortaya koymaktadır. Portföyünde kıymetli maden varlığı bulunduran bir yatırımcının elde tutma süresi uzadıkça, varlığın getirilerinin geçmiş hareketlere (pozitif/negatif yönlü) daha bağımlı olduğu görülmektedir. Kıymetli madenleri portföyüne dahil eden yatırımcıların bu durumu dikkate alması, önemli fayda sağlayacaktır.

#### **KAYNAKÇA**

- Aksoy, M., ve Topcu, N. (2013). Altın ile hisse senedi ve enflasyon arasındaki ilişki. *Atatürk üniversitesi iktisadi ve idari bilimler dergisi*, 27(1), 59 – 78.
- Apak, S. ve Çıtak, A. O. S. (2016). Finansal varlık olarak altının arz-talep dengesinin kısa ve uzun dönem kantitatif analizi ve altın fiyat fonksiyonunun ampirik olarak test edilmesi. *International conference on Eurasian economies-2016*.
- Arouri, M. E. H., Hammoudeh, S., Lahiani, A., ve Nguyen, D. K. (2012). Long memory and structural breaks in modeling the return and volatility dynamics of precious metals. *The quarterly review of economics and finance*, 52(2), 207-218.
- Aygören, H. (2008). İstanbul menkul kıymetler borsasının fractal analizi. *Dokuz eylül üniversitesi iktisadi ve idari bilimler fakültesi dergisi*, 23(1), 125-134.
- Bachelier, L. (1964). *The theory of speculation*. P. Cootner (der), Random character of stock market prices içinde, Cambridge, MA: M.I.T Press, 17-78.
- Barna, F., Ştefana Maria, D. I. M. A., Bogdan, D. I. M. A., ve Paşca, L. (2016). Fractal market hypothesis: The emergent financial markets case. *Economic computation and economic cybernetics studies and research*, 50(2), 137-150.
- Batten, J., Lucey, B., McGroarty, F., Peat, M., ve Urquhart, A. (2017). Stylized facts of intraday precious metals. *PloS one*, 12(4), e0174232, 1-21.
- Bhatia, V., Das, D., Tiwari, A. K., Shahbaz, M., ve Hasim, H. M. (2017). Do precious metal spot prices influence each other? Evidence from a nonparametric causality-in-quantiles approach. *Resources policy*, 55, 244-252.
- Brooks, C. (1995). A measure of persistence in daily pound exchange rates. *Applied economics letters*, 2(11), 428-431
- Brown, C. T. ve Liebovitch, L. S. (2010). *Fractal analysis: quantitative applications in the social sciences*. Monograph No. 165. Thousand Oaks, Calif.: Sage Publications.
- Chen, Q., ve Giles, D. E. (2015). Risk analysis for three precious metals: an application of extreme value theory. *Econometrics Working Paper EWP1402*.

- 
- Dar, A. B., Bhanja, N., ve Tiwari, A. K. (2017). Do global financial crises validate assertions of fractal market hypothesis? *International economics and economic policy*, 14(1), 153-165.
- Du, Y. (2012). *Modelling and forecasting volatility of gold price with other precious metals prices by univariate GARCH models*. Master Dissertation, Upsala University.
- Erdoğan, N. K. (2017). Finansal zaman serilerinin fraktal analizi. *Aksaray üniversitesi iktisadi ve idari bilimler fakültesi dergisi*, 9(4), 49-54.
- Eryiğit, M. (2017). Short-term and long-term relationships between gold prices and precious metal (palladium, silver and platinum) and energy (crude oil and gasoline) prices. *Economic research-Ekonomska istraživanja*, 30(1), 499-510.
- Evcı, S. ve Kandır, S. Y. (2015). Altın piyasasında piyasa riskinin ölçülmesi: riske maruz değer (VAR) yöntemi ile bir uygulama. *Bankacılar dergisi*, 92, 53-70.
- Eyüboğlu, K., ve Eyüboğlu, S. (2016). Metal fiyatları ile bist-madencilik endeksinde işlem gören hisse senetleri arasındaki ilişkinin test edilmesi. *Selçuk üniversitesi sosyal bilimler enstitüsü dergisi*, 36, 130-141.
- Fama, E. F. (2017). *The Fama portfolio: selected papers of Eugene F. Fama*. University of Chicago Press.
- Fama, E.F. (1965). The behavior of stock market prices. *Journal of business*, 38(1), 34-105.
- Fama, E.F. (1970). Efficient capital markets: A Review theory and empirical work. *Journal of finance*, 25(2), 338-417.
- Gangopadhyay, K., Jangir, A., ve Sensarma, R. (2016). Forecasting the price of gold: An error correction approach. *IIMB management review*, 28(1), 6-12.
- Grasman, J., ve van Straten, G. (2012). *Predictability and nonlinear modelling in natural sciences and economics*. Springer Science and Business Media.
- Günay, S. (2015). BİST100 Endeksi Fiyat ve işlem hacminin fraktallık analizi. *Doğuş üniversitesi dergisi*, 16(1), 35-50.
- He, K., Chen, Y., ve Tso, G. K. (2017). Price forecasting in the precious metal market: A multivariate EMD denoising approach. *Resources Policy*, 54, 9-24.
- Horasanlı, M. (2007). Rescaled range analysis and predictability of stock market indices. *Yönetim*, 58, 36-40.
- Hurst, H. (1951). Long term storage capacity of reservoirs. *Transactions of the American society of civil engineers*, 116(776), 770-799.
- Kamışlı, M., Kamışlı, S., ve Temizel, F. (2017). Emtia fiyatları birbirlerini etkiler mi? asimetrik frekans nedensellik analizi. *International journal of management economics and business*, 13, 1079-1093.
- Kirkulak-Uludag, B., ve Lkhamazhapov, Z. (2017). Volatility dynamics of precious metals: evidence from Russia. *Finance a uver*, 67(4), 300-317.
- Koveos, P. E., DeFusco, R. A., Booth, G. G., ve Brannigan, E. (1982). Stochastic time-series forecasts of gold and silver prices. Precious Metals 1981 (s. 95-100) içinde. Pergamon Press Office, Ontario, Canada.
- Koy, A., ve Çetin, G. (2016). Metal vadeli işlem piyasaları ve doğrusal olmayan dinamikleri. *İşletme ve iktisat çalışmaları dergisi*, 4(4), 165-176.
- Krežolek, D. (2017). The use of value-at-risk methodology in the assessment of investor's risk attitudes on the precious metals market. *Econometrics/Ekonometria*, 3(57), 101-112.
- Kristoufek, L. (2013). Fractal markets hypothesis and the global financial crisis: wavelet power evidence. *Scientific reports*, 3(2857), 1-7.
-

- Kumar, A. S., ve Bandi, K. (2015). Explaining financial crisis by fractal market hypothesis: evidences from indian equity markets. *Hyperion international journal of econophysics ve new economy*, 8(1), 83-96.
- Küçükaksoy, İ., ve Yalçın, D. (2017). Altın fiyatlarını etkileyebilecek faktörlerin incelenmesi. *AİBÜ-İİBF ekonomik ve sosyal araştırmalar dergisi*, 13(2), 1-19.
- Li, D. Y., Nishimura, Y., ve Men, M. (2014). Fractal markets: Liquidity and investors on different time horizons. *Physica A: statistical mechanics and its applications*, 407, 144-151.
- Liberda, M. (2017). Mixed-frequency drivers of precious metal prices. *Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis*, 65(6), 2007-2015.
- Jensen, O. G. ve Mansinha, L. (1987). Excitation of geophysical systems with fractal flicker noise. MacNeill I.B., Umphrey G.J., Carter R.A.L., McLeod A.I., Ullah A. (Ed.), *Time series and econometric modelling* (s. 165-188) içinde. Springer, Dordrecht.
- Mandelbrot, B. B. (1963a). New methods in statistical economics. *Journal of political economy*, 71(5), 421-440.
- Mandelbrot, B. B. (1963b). The variation of certain speculative prices. *Journal of business*, 36(3), 394-419.
- Mandelbrot, B. B., Fisher, A., ve Calvet, L. (1997). *A multifractal model of asset returns* (Cowles Foundation Discussion Paper No. 1164). Yale University.
- Mochnac, F. (2013). Do precious metals have a capacity to hedge against inflation? Yayınlanmamış doktora tezi, Tilburg Üniversitesi.
- Mulligan, R. F. (2004). Fractal analysis of highly volatile markets: an application to technology equities. *The quarterly review of economics and finance*, 44(1), 155-179.
- 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.E. (1991). *Chaos and order in the capital markets: a new view of cycles, prices, and market volatility*. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Peters, E.E. (1994). *Fractal market analysis, applying chaos theory to investment and economics*. John WileyveSons Inc. Newyork.
- Rachev, S. T., Weron, A., ve Weron, R. (1999). CED model for asset returns and fractal market hypothesis. *Mathematical and computer modelling*, 29(10-12), 23-36.
- Riste, T., ve Sherrington, D. (2012). *Spontaneous formation of space-time structures and critically*. Springer Science and Business Media.
- Ural, M., ve Demireli, E. (2009). Hurst Üstel katsayisi aracılığıyla fraktal yapı analizi ve İMKB'de bir uygulama. *Atatürk üniversitesi iktisadi ve idari bilimler dergisi*, 23(2), 243-255.
- Urquhart, A. (2017). How Predictable are precious metal returns? *The european journal of finance*, 23(14), 1390-1413.
- Wang, X., Lei, T., Liu, Z., ve Wang, Z. (2017). Long-memory behavior analysis of China stock market based on Hurst exponent. *29th Chinese control and decision conference (CCDC)*, 1710-1712.