

**BRENT HAM PETROL GETİRİLERİNDE KAOTİK DİNAMİKLERİN
ARAŞTIRILMASI****Emre ÜRKMEZ¹****Öz**

Bu çalışmada Brent ham petrol getirilerindeki kaotik dinamiklerin varlığı doğrusal olmama ve kaos testleri yardımıyla araştırılmıştır. Bu amaçla 2009-2019 dönemleri arasında Brent ham petrol günlük kapanış fiyat getirilerinden oluşan veri seti kullanılmıştır. Öncelikle, BDS testi kullanılarak getirilerdeki doğrusal olmama test edilmiş ve doğrusal olmayan yapının varlığına yönelik kanıt elde edilmiştir. Daha sonra, getirilerin uzun hafızaya sahip olduğu GPH testi ile tespit edilmiştir. Son olarak, korelasyon boyutu analizi kullanılarak günlük getirilerin başlangıç durumlarına hassas bağlılık özelliği gösterdikleri görülmüştür. Tüm bulgular bir arada değerlendirildiğinde Brent ham petrol günlük getirilerinin kaotik dinamikler tarafından karakterize edildiği ve etkin piyasa hipotezinin geçerli olmadığı tespit edilmiştir. Çalışmadaki tüm ampirik bulgular getiri serileri için kısa dönemde öngörü yapılabileceğini, ancak uzun dönemli öngörü yapmanın zor olduğu sonucuna işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Brent Ham Petrol, Doğrusal Olmama, Kaos

**INVESTIGATION OF CHAOTIC DYNAMICS IN BRENT CRUDE OIL
RETURNS****Abstract**

In this study, we investigate the chaotic dynamics in the returns of Brent Crude Oil prices, based on three tests of nonlinearity and chaos. We use the daily data of Brent Crude Oil prices for the period of 2009-2019. Firstly, the nonlinearity of the returns is tested by employing the BDS test that shows the evidences for the existence of the nonlinear structure. Afterwards, the long memory of the returns is proved as a result of the GPH test. Lastly, we found that daily returns have sensitivity to initial conditions by using the correlation dimension analysis. These findings show that the daily returns of Brent Crude Oil price returns can be characterized by chaotic dynamics and the efficient market hypothesis does not hold. Hence, we can conclude that short-term forecasts can be made but it is difficult to make long-term forecasts for daily returns.

Keywords: Brent Crude Oil, Nonlinear, Chaos

¹ Dr.Öğr. Üyesi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, emre.urkmez@erdogan.edu.tr, orcid.org/0000-0002-2171-5027

1. Giriş

Fama (1970) tarafından ortaya konulan Etkin Piyasa Hipotezi (EPH)'de, finansal varlık fiyatlarının piyasada var olan mevcut tüm bilgiyi yansıttığı ve piyasaya yeni bir bilgi girişi halinde bunun hemen finansal varlık fiyatlarına yansıtacağı görüşü savunulmaktadır. EPH'nin bir uzantısı olan rassal yürüyüş hipotezinde, geçmiş fiyat hareketlerinin bugünkü ve gelecekteki fiyat hareketlerinden ilişkisiz olduğu kabul edilmektedir. Bundan dolayı, geçmiş fiyat hareketlerinden hareketle gelecek fiyat hareketleri tahmin edilemez. Ancak finansal piyasalarda meydana gelen şoklar ve krizler emtia piyasalarının etkinliğini geçersiz kılmaktadır. Uygulamada finansal zaman serileri aşırı sıvrılık, oynaklık kümelenmesi, asimetri etkisi, uzun hafıza, durağan olmama gibi özellikler göstermektedir (Enders, 2010; Yavuz, 2014). Finansal zaman serilerinin bu özelliklerden bir veya daha fazlasına sahip olması zayıf formda piyasa etkinliğinin geçerli olmamasına, dolayısıyla rassal yürüyüş hipotezine dayalı yapılan testlerin ve tahminlerin geçerliliğini yitirmesine neden olabilir. Bu durum literatürde çok sayıda çalışma tarafından ortaya konulmuştur: Mandelbrot (1963), Fama (1965), Fama (1970), Brockett vd. (1988), Scheinkman ve LeBaron (1989), Hsieh (1991), Willey (1992), Abhyankar vd. (1995), Chu (2003), Caraianni (2012), Mobarek ve Fiorante (2014), Urquhart ve McGroarty (2016).

Kaos teorisi ise finansal varlık fiyatlarının rassal olduğunu ancak fiyatların kendi içinde belirli bir düzene göre değiştiğini ortaya koyar. Bu durum başlangıç durumlarına hassas bağlılık özelliği tarafından karakterize edilmektedir. 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 bilinmektedir (Eser, 2013:283; Sülkü ve Ürkmez, 2018:474).

Finansal zaman serileri hareketlerinin ortaya çıkarılması için kaotik özelliklerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada Brent ham petrol fiyat serisi getirilerinde kaotik dinamiklerin varlığı araştırılmıştır. Bu amaçla 12.02.2009-04.02.2019 dönemleri arası Brent ham petrol günlük kapanış fiyat getirileri incelenmiştir. Peters (1994), bir sürecin kaotik olabilmesi için başlangıç durumlarına hassas bağlılık ve fraktal boyutun iki gerekli koşul olduğu ifade etmektedir. Dolayısıyla öncelikle getiri serisinin doğrusal olup olmadığı BDS testi ile sınıandıktan sonra fraktal yapıya sahip olup olmadıkları GPH testi ve başlangıç durumlarına hassaslığı korelasyon boyutları hesaplanarak incelenmiştir.

Literatürde emtia piyasalarına yönelik çalışmalar olmasına karşın petrol piyasalarının kaotik yapısını inceleyen az sayıda çalışma olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla, bu çalışmanın literatüre katkısı üç açıdan değerlendirilebilir. Birinci olarak, Brent ham petrol getiri serilerinde kaotik dinamiklerin varlığı incelenmektedir. İkincisi, getirilerde doğrusal olmayan yapının kaynağı analiz edilmektedir. Son olarak da, Brent ham petrol getiri serilerinde EPH'nin geçerli olup olmadığı test edilmektedir.

Bu çalışma altı bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünden sonra ikinci bölümde kaos teorisinin finansal piyasalara uygulanmasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde emtia piyasaları üzerine yapılmış çalışmalar özetlenmiştir. Dördüncü bölümde veri seti ve ekonometrik yöntemler tanıtılmıştır. Daha sonra beşinci bölümde, yapılan analizler sonucunda ampirik bulgular yorumlanmıştır. Son bölümde ise genel bir değerlendirme yapılmıştır.

2. Kaos Teorisinin Finansal Piyasalara Uygulanması

Finansal varlık fiyat hareketlerindeki doğrusal olmayan dinamikler ve kaotik yapının araştırılmasına ilgi 1987'de meydana gelen ve Kara Pazartesi olarak bilinen dünya piyasalarında hisse senedi fiyat hareketlerindeki büyük düşüş ile yoğunlaşmıştır (Hsieh, 1991:1840). Piyasaların kaotik yapıda olması, piyasaların etkin olduğu hipotezi ile ters düşmektedir, başka bir ifadeyle kaotik yapıdaki piyasaların etkin olması söz konusu değildir. Ayrıca piyasanın kaotik yapıya sahip olması, bu piyasaların doğrusal olmayan sistemler olduğunun bir göstergesi olarak kabul edilmekte, bu noktada EPH'de sorgulanmaktadır (Ürkmez, 2018:3).

Kaotik bir yapıdan bahsedilebilmesi için incelenen dinamik sistemlerin, bu çalışma özelinde emtia piyasalarının bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu özellikler aşağıda verilmiştir (Hsieh, 1991; Peters, 1994; Barkoulas ve Nickolaos, 1998; Eser, 2013; Günay, 2013:30-31; Ürkmez, 2018:15-16):

i. Kaotik sistemler matematiksel olarak deterministik bir süreçten ortaya çıkar. Çünkü başlangıç durumlarının ölçümleri kesin olursa, onların yörüngelerinin son noktasını türetmek mümkün olmaktadır.

ii. Doğrusal olmayan dinamik sistemlerde gerçekleşir. Matematiksel olarak fonksiyonlar parabolik (kuadratik) fonksiyon biçimindedir.

iii. Düzensiz bir davranış sergilerler.

iv. Geri beslemeli dinamik sistemlerde ortaya çıkar. Bu sistemlerde bir önceki dönemde elde edilen çıktı bir sonraki dönemde girdi olarak kullanılır. Bu nedenle gerçekleşen son değişiklikler bugünün davranışını, bugünün davranışı ise geleceği etkiler.

v. Kaotik bir sistemde uzun dönemli tahmin yapmak zordur. Bunun nedeni başlangıç durumlarında hassas bağılıktır. Başlangıç durumlarına hassas bağıllık olduğunda; küçük değişiklikler büyük sonuçlara yol açabilmekte, uzun döneme dair kabul edilebilir bir tahmini imkansız kılmaktadır. Buna karşın sistemin kısa dönemli öngörüsü nispeten daha doğru olabilir.

vi. Kaotik sistemler fraktal bir boyuta sahiptir. Bunun nedeni sistemin kendine benzer özelliğe sahip olmasıdır.

Özellikler bir arada ele alındığında, finansal bir serinin kaotik bir özelliğe sahip olup olmadığının söylenebilmesi için üç özelliği taşıması gerekir. İncelenen serinin öncelikle doğrusal olmaması ikincisi, fraktal boyutunun olması ve üçüncüsü başlangıç durumlarına hassas bağlı olması gerekir. Bu özellikler aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

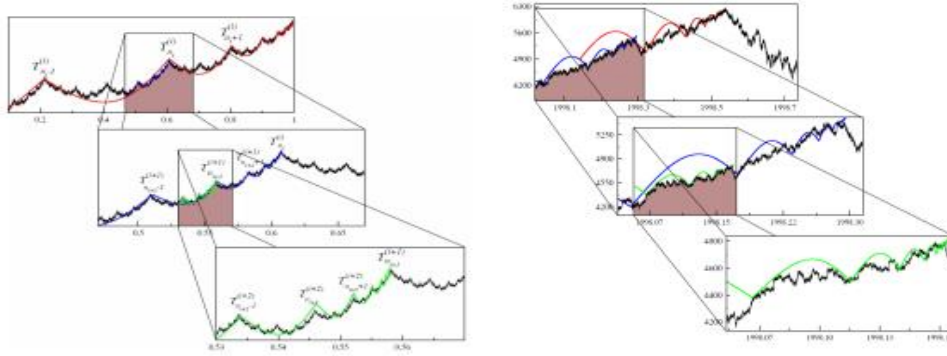
2.1. Doğrusal Olmama

Gerçek hayatta değişkenler arasındaki ilişkiler doğrusal olmayan bir yapıya sahiptir. Örneğin finansal varlık fiyatlarının veri üretim sürecinin doğrusal olmaması nedeni spekülâtif hareketler, fiyat hareketlerinden kaynaklanan çalkantılar ve büyük kayıplarda sürü psikolojisi etkisiyle paniğin yayılması gibi etkiler serilerin doğrusal olmamasına neden olabilmektedir (Ürkmez, 2018: 16-17). Hsieh (1991) çalışmasında ise serilerdeki doğrusal olmamanın nedenini; doğrusal bağımlılık, durağan olmama, kaos ve doğrusal olmayan stokastik süreçlerden birinden kaynaklanabileceğini ifade etmiştir.

2.2. Fraktal Boyut

Kaotik serilerinin bir diğer özelliği fraktal yapıya sahip olmalarıdır. Fraktal kavramı ilk kez Mandelbrot (1977) tarafından ifade edilmiştir. Fraktal terimi parçalı ya da kırıklı anlamına gelmektedir. Fraktal bir yapıya sahip geometrik örüntüler farklı ölçeklerde kendi kendilerini tekrar ederler (Ürkmez, 2018:18). Finansal piyasaların fraktal yapısına yönelik yapılan Oswiecimka vd. (2010) çalışmasında, Alman DAX endeksi, S&P500 endeksi ve Brent ham petrol fiyatlarının farklı zaman ölçeklerinde benzer örüntüler verdiğini tespit etmiştir. Dolayısı ile incelenen finansal serilerin kendine benzerlik özelliği gösterdiğini ortaya koymuştur.

Grafik 1: Finansal Zaman Serilerinin Kendine Benzerliği



Kaynak: Oswiecimka vd. (2010:637-638)

Grafik 1'de bir zaman serisinin farklı zaman ölçeğinde alınmış bir kesiti görülmektedir. Elde edilen serilerin benzer görüntüler sergilediği ve serilerin kendine benzerlik özelliğine sahip olduğunu göstermektedir. Fraktal yapılar parçaların bütünüyle benzerlik göstermesi nedeniyle, finansal piyasalardaki yatırımcılara fiyat davranışları ile ilgili bilgiler sunabilir (Ürkmez, 2018:19).

2.3. Başlangıç Durumlarına Hassas Bağlılık

Kaotik serilerin önemli bir diğer özelliği ise başlangıç durumlarına hassas bağlılığa sahip olmasıdır. Başlangıç durumlarındaki çok küçük bir değişimin sonuçlarda çok büyük değişimler yaratabilir. Örneğin, son yıllarda yaşanan 2007 ABD mortgage krizi de örnek olarak verilebilir. ABD konut piyasasında meydana gelen fiyat balonu, öncelikle ABD'nin en büyük endeksi olan S&P500 endeksinde işlem gören bankacılık hisselerini etkilemiş, oradan küresel ölçekte finansal piyasaları etkileyerek büyük fiyat düşüşlerine neden olmuştur (Ürkmez, 2018:17).

Kaotik serilerin özellikleri tanıtıldıktan sonra, bir sonraki bölümde kaos teorisinin emtia piyasalarına yönelik uygulanan çalışmalara yer verilmiştir.

3. Literatür Özeti

Kaos teorisi 1990'lı yıllardan itibaren finansal piyasalara uygulanmaya başlanmış ancak daha çok hisse senedi piyasalarına yönelik çalışmalar yapıldığı görülmüştür. Finans literatüründe emtia piyasaları için yapılan ilk çalışmalar Frank ve Stengos (1989), Blank (1991) ve Decoster vd. (1992) tarafından yapılmıştır. Emtia piyasaları özellikle petrol fiyatlarına yönelik çok az sayıda çalışma olduğu gözlemlenmiştir. Bu bölümde emtia piyasaları üzerine yapılmış çalışmalara yer verilmiştir.

Frank ve Stengos (1989) çalışmasında, 1975-1986 yılları için Altın ve Gümüş fiyatlarının günlük, haftalık ve iki haftalık getirilerini kullanarak öngörülebilirliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında korelasyon boyutu ve Kolmogorov Entropisi yöntemleri kullanılarak getirilerin doğrusal olup olmadıklarını analiz etmişlerdir. Çalışma sonucunda getiri oranlarının doğrusal olmadıkları tespit edilmiş ve getirilerde kaosun varlığını ortaya koymuşlardır.

Blank (1991), 1986-1987 yılları arasında S&P 500 endeksi ve soya fasulyesi vadeli işlem fiyatlarını analiz etmiştir. Test sürecinde kaotik yapının varlığını korelasyon boyutu ve Lyapunov üsteli testi ile araştırmıştır. Analiz sonucunda, serilerin veri üretim süreçlerinin kaotik süreçlerce belirlendiğini tespit etmiştir.

Decoster vd. (1992), 1968-1989 yılları için şeker, gümüş, bakır ve kahve fiyatlarının doğrusal olup olmadıklarını araştırmışlardır. Bu dört emtia fiyatının günlük getiri oranlarına, AR ve ARCH modellerinin artıklarına korelasyon boyutu yöntemi uygulamışlardır. Çalışma sonucunda, emtia fiyatlarında doğrusal olmayan ve kaotik yapının varlığı hakkında bulgular elde etmişlerdir.

Wei ve Leuthold (1998), 1974-1995 yılları arasında ABD Chicago tarımsal vadeli işlemler piyasasında işlem gören mısır, buğday, soya fasulyesi, kahve ve şeker fiyatlarının doğrusal olup olmadıklarını analiz etmişlerdir. Çalışmada, beş emtia fiyatının günlük, haftalık ve aylık verilerine korelasyon boyutu ve Lyapunov üsteli testini uygulamışlardır. Çalışma sonucunda, frekans türlerinin hepsinin doğrusal olmadığı ve kaotik yapının varlığı hakkında kanıt elde etmişlerdir.

Panas ve Ninni (2000), 1994-1998 yılları için Rotterdam ve Akdeniz petrol piyasaları için günlük petrol ürünlerinde doğrusal olmayan ve kaotik yapının varlığını araştırmışlardır. Çalışmada petrol ürünlerinin fiyat getiri serilerine BDS testi, korelasyon boyutu ve Lyapunov üsteli yöntemlerini uygulamışlardır. Analizler sonucunda, bir dizi petrol ürününde doğrusal olmayan ve kaotik yapının varlığına yönelik güçlü bulgular elde etmişlerdir.

Adrangi vd. (2001), 1985-1995 yılları arasında ham petrol, kalorifer yakıtı ve kurşunsuz benzin vadeli işlem fiyatlarında kaotik yapının varlığını test etmişlerdir. Çalışmada günlük vadeli işlem getirilerine korelasyon boyutu ve BDS testini uygulamışlardır. Çalışma sonucunda, getirilerin doğrusal olmadığına yönelik güçlü bir kanıt elde edilirken, kaotik bir yapı hakkında bulgu elde edememişlerdir. Ayrıca, ARCH tipi modellerin getirilerdeki doğrusal olmayan yapıyı açıklayabildiğini göstermişlerdir.

Kyrtsov vd. (2004), 1989-1998 yılları için Londra Metal Borsasında işlem gören alüminyum, nikel, kalay, çinko ve kurşun metallerinin kaotik yapısını test etmişlerdir. Çalışmada, beş emtia fiyatının günlük getirilerine korelasyon boyutu ve Lyapunov üsteli testini uygulamışlardır. Testler sonucunda, metal fiyatlarının getiri serilerinde kaotik yapının varlığı bulgusuna ulaşılmıştır. Bu bağlamda, kısa dönemde fiyat hareketlerinin öngörülebileceğini, ancak uzun dönem öngörüsünün yapılamayacağı sonucunu elde etmişlerdir.

Moshiri ve Foroutan (2006), 1983-2003 yılları arasında günlük ham petrol fiyat verilerinin doğrusal olup olmadıklarını incelemişlerdir. Çalışmada, yerleştirme boyutu, BDS testi, Lyapunov üsteli ve yapay sinir ağları testlerini uygulamışlardır. Çalışma sonucunda günlük ham petrol fiyat serisinin geleneksel doğrusal zaman serisi modelleri yerine doğrusal olmayan zaman serisi modelleri ile daha iyi modellenebileceğini göstermişlerdir.

He (2011), 1996-2005 dönemleri arasında günlük ve aylık veriler kullanılarak Brent ve Western Texas Intermediate (WTI) ham petrol fiyatlarında kaotik yapının varlığını araştırmıştır. Çalışmada petrol fiyat serilerinin getirilerine fraktal boyut, en büyük Lyapunov üsteli testi ve Kolmogorov Entropisi yöntemleri uygulamıştır. Çalışma sonucunda petrol fiyatlarının hem günlük hem de aylık getirilerinde kaotik yapının varlığını ortaya koymuştur.

Ramirez vd. (2012), 1991-2008 yılları arasında günlük Meksika Maya ham petrol fiyatlarında doğrusal olmayan bağımlılıkları analiz etmişlerdir. Çalışmada petrol fiyatı getirilerine Hinich portmanto testlerini uygulamışlardır. Çalışma sonucunda günlük petrol fiyat getirilerinde doğrusal olmayan bağımlılıkların varlığına ilişkin bulgular elde etmişlerdir. Ayrıca GARCH modellerinin bu doğrusal olmayan bağımlılıkları yakalayamadığını tespit etmişlerdir.

Aghababa ve Barnett (2015), 1986-2012 dönemleri arası günlük ve aylık Western Texas Intermediate (WTI) ham petrol fiyatlarında doğrusal olmayan yapının varlığını araştırmışlardır. Çalışmada çeşitli doğrusal olmama testlerinden BDS, Hinich Bispectrum, Engle LM, McLeod-Li ve Tsay testlerini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda BDS testinde günlük ve aylık WTI ham petrol fiyat getirilerinde doğrusal olmayan yapıya rastlanırken, diğer testlerde aylık getirilerde doğrusal olmayan yapıya rastlanılmadığı bulgusunu elde etmişlerdir.

Bildirici (2018), 1990-2017 yılları arası günlük Brent petrol fiyat getirilerinde kaotik yapının varlığını araştırmıştır. Çalışmada petrol fiyat getirilerine Lyapunov üsteli ve Kolmogorov Entropisi yöntemlerini uygulamıştır. Çalışma sonucunda Brent ham petrol günlük getirilerinde doğrusal olmama ve kaotik yapının varlığını tespit etmiştir.

Literatürdeki çalışmalar bir arada değerlendirildiğinde, farklı dönemler boyunca emtia piyasalarında işlem gören finansal varlık fiyat getirilerinin doğrusal olmayan ve kaotik bir yapı sergilediği görülmüştür.

4. Ekonometrik Analiz

4.1. Veri Seti

Bu çalışmada Brent ham petrol (BP) fiyat serisi getirilerinde kaotik dinamiklerin varlığı araştırılmıştır. Bu amaçla veri seti 12.02.2009-04.02.2019 dönemleri arası Brent ham petrol günlük kapanış değerlerinden oluşmaktadır. Çalışmada veri seti macrotrends web sayfasından temin edilmiştir. Brent ham petrol için hesaplanan getiri serisi aşağıdaki dönüşüm ile elde edilmiştir:

$$r_t = (lnP_t - lnP_{t-1}) \times 100 \quad (1)$$

Burada, r_t t dönemindeki fiyat getirisini, P_t t dönemindeki kapanış fiyatını, P_{t-1} $t - 1$ dönemindeki kapanış fiyatını ve ln doğal logaritmayı ifade etmektedir.

4.2. Ekonometrik Yöntem

Bu çalışmada Brent ham petrol serisinde kaotik dinamiklerin var olup olmadığının test edilmesinde üç farklı yaklaşımdan yararlanılmıştır. Öncelikle logaritmik farkı alınarak oluşturulan getiri serilerinin doğrusal bir yapıya sahip olup olmadıkları BDS testi ile analiz edilmiştir. Ardından modifiye edilmiş Geweke-Porter-Hudak (GPH) testi ile elde edilen kesirli bütünleşme parametresi (d) tahmin edilerek getiri serisinin uzun hafızaya sahip olup olmadığı incelenmiştir. Son olarak da, korelasyon boyutu analizi ile getiri serisinde kaotik yapının varlığı araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan bu üç yöntem aşağıda ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır.

4.2.1. Brock, Dechert ve Scheinkman (BDS) Testi

Brock, Dechert ve Scheinkman tarafından 1996 yılında geliştirilen BDS testi, incelenen zaman serisinin doğrusal olup olmadığının belirlenmesinde kullanılan bir testtir. Bu test kalıntıların bağımsız ve özdeş dağılımlı olup olmadığını kontrol etmek için bir dizi tahmini kalıntılara uygulanmaktadır. BDS testinin uygulanabilmesi için öncelikle, incelenen zaman serisine en uygun otoregresif hareketli ortalama (ARMA) modeli tahmin edilmektedir. Bu sayede verilerde yer alan tüm doğrusal yapılar yok edilmiş olmaktadır. İkinci adımda ise test, ARMA modelinin doğrusal olarak bağımsız olan kalıntı değerler üzerine uygulanmaktadır. Böylelikle, kalıntılarda bulunacak olan tüm bağımlılıklar doğrusal olmayacaktır. Bu nedenle, BDS testi doğrusal olmayan yapının belirlenmesinde dolaylı bir yöntem sunmaktadır. BDS testi, test istatistiği olarak (2) nolu denklemdeki gibi tanımlanan korelasyon integralini kullanmaktadır.

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

Burada m yerleştirme boyutunu, n gözlem sayısını, ε gözlem çiftleri arasındaki maksimum farkı, u filtrelenmiş modelin artıklarını göstermektedir. $H(X)$ fonksiyonu ise, gösterge fonksiyonu olarak tanımlanmakta ve aşağıdaki gibi gösterilmektedir:

$$H(X) = |u_s - u_t| < \varepsilon \quad (3)$$

$$H(X) = \begin{cases} 1, & |u_s - u_t| < \varepsilon \\ 0, & \text{Diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4)$$

(4) nolu denklemde, u_s ve u_t noktaları arasındaki mutlak farkın alındığını gösterir ve seçilen ε değeri gösterge fonksiyonundan daha küçük ise bir değerini, diğer durumlarda sıfır değerini alacak şekilde tanımlanmaktadır (Ürkmez, 2018:38).

4.2.2. Modifiye Edilmiş Geweke Porter-Hudak (GPH) Testi

GPH testi uzun hafızanın varlığının belirlenmesinde kullanılan yarı parametrik bir testtir. GPH (1983) çalışmasında uzun hafıza parametresi d 'nin tahminine dayanan log-periyodogram regresyon yöntemini tanıtmışlardır. Bu test kesirli bütünleşme parametresi olan d 'yi tahmin etmektedir. Kesirli bütünleşme parametresi olan d 'nin tahmini (5) nolu denklemdeki eşitliğin OLS yöntemine dayanmaktadır (Ürkmez, 2018:52).

$$\log[I_x(\lambda_j)] = \alpha_0 - d \log \left[4 \sin^2 \left(\frac{\lambda_j}{2} \right) \right] + \varepsilon_s \quad (5)$$

(5) nolu denklemde gösterilen d denklemin eğimidir ve $\hat{d}_{GPH} = -\hat{\beta}_{OLS}$ 'dir. $I_x(\lambda_j)$ periodogram olup, $I_x(\lambda_j) = w_x(\lambda_j)w_x(\lambda_j)^*$ şeklinde tanımlanmaktadır. Burada $w_x(\lambda_j)$ X_t serisinin ayırık Fourier dönüşümü olup $w_x(\lambda_j) = (1/\sqrt{2\pi n}) \sum_{t=1}^n X_t e^{i\lambda_j t}$ şeklinde ifade edilir. Buna göre OLS (6) nolu denklemdeki sonucu vermektedir:

$$\hat{d} = \frac{1}{2} \frac{\sum_{s=1}^p x_s \log I_x(\lambda_s)}{\sum_{s=1}^p x_s^2} \quad (6)$$

Modifiye edilmiş GPH testinde sıfır hipotezi $d = 0$ kısa hafızanın geçerli olması, alternatif hipotez ise $d \neq 0$ uzun hafızanın geçerli olması şeklinde tanımlanır. Sıfır hipotezinin reddedilmesi durumunda uzun hafızanın var olduğu anlamına gelmektedir. Uzun hafızanın var olması durumunda kesirli bütünleşme parametresi olan d , 0 ile 0.5 referans aralığında yer alacaktır. 0.5 ile 1 aralığında yer alması durumunda incelenen serinin ortalamaya dönüşlü olduğu ifade edilmektedir. Uzun hafıza fraktallığın koşullarından olan kendine

benzerlik özelliğini belirtir. Bu testte göre d 'nin 0 ile 0.5 aralığında olması incelenen serinin kendine benzerlik özelliği gösterdiğini, yani fraktal yapıya sahip olduğunu gösterir (Ürkmez, 2018:54).

4.2.3. Korelasyon Boyutu

Grassberger ve Procaccia (1983) tarafından tanımlanan korelasyon boyutu, finansal zaman serilerinde kaosu belirlemede kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, incelenen zaman serisinin kaotik bir yapıya sahip olup olmadığının belirlenmesinde kullanılır. Korelasyon boyutu analizi otokorelasyon ve koşullu farklı yayılımın olası sorunlarını ortadan kaldırmak için ARMA ve GARCH modellerinin standartlaştırılmış artıklarına uygulanır (Diaz, 2013:3-4). Bu filtreleme sürecini, standartlaştırılmış artıkların m geçmiş değerlerinin oluşturulması izler ve süreç aşağıdaki gibi gösterilir:

$$\begin{aligned} x_t^1 &= x_t \\ x_t^2 &= (x_{t-1}, x_t) \\ &\vdots \\ x_t^m &= (x_{t-m+1}, \dots, x_t) \end{aligned} \quad (7)$$

(7) nolu denklemde t geçmiş, m boyutlu uzayda belirli bir noktayı temsil etmektedir. Aşağıda gösterildiği gibi korelasyon boyutunu tanımlamak için korelasyon integralinin hesaplanması gerekmektedir (Ürkmez, 2018:46).

$$C_m(\varepsilon) = \lim_{T \rightarrow \infty} \{(t, s), 0 < t, s < T: \|x_t^m - x_s^m\| < \varepsilon\} / T^2 \quad (8)$$

Burada, m yerleştirme boyutunu, ε gözlem noktaları arasındaki maksimum farkı, $\| \cdot \|$ gözlem çiftleri arasındaki Öklid farkını gösterir ve ε değeri bu farktan küçük ise bir değerini, diğer durumlarda sıfır değerini alacak şekilde tanımlanmaktadır. Korelasyon boyutu ise,

$$D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log C_m(\varepsilon)}{\log(\varepsilon)} \quad (9)$$

formülü ile hesaplanır.

5. Ampirik Bulgular

Brent ham petrol getiri serisi (RBP) için tanımlayıcı istatistikler Tablo 1'de özetlenmiştir. Öncelikle analiz edilen dönemde ortalama getiri pozitif ve %0.01 olduğu görülmektedir. Brent ham petrol getiri serisinin çarpıklık değeri pozitif hesaplanmış ve getirilerin sağa çarpık bir dağılıma sahip olduğu belirlenmiştir. Getiri serisinin basıklık değeri ise normal dağılım için gerekli olan 3 değerinden büyüktür. Bu durum, getirilerin normal dağılıma göre daha dik bir dağılıma sahip olduğunu göstermektedir. Jarque-Bera (JB) test istatistiği sonuçları da getirilerin normal dağılıma sahip olmadığını desteklemektedir. Elde edilen sonuçlar bir arada değerlendirildiğinde getiri serilerinin leptokörtik bir dağılım sergilediğine işaret etmektedir.

Tablo 1: Brent Ham Petrol Getiri Serisinin Tanımlayıcı İstatistikleri

Değişken	N	Ortalama	Std. Sapma	Çarpıklık	Basıklık	JB Testi
RBP	2525	0.0109	1.9698	0.0954	5.7545	802.1273

Brent ham petrol getiri serisinin durağanlığı Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF, 1979) testi ile incelenmiş ve sonuçlar Tablo 2'de sunulmuştur. Öncelikle ADF birim kök testi sonuçlarına göre, test istatistiği değerlerinin %1 anlam

düzeyinde verilen -2.56 tablo kritik değerinden daha negatif olduğundan birim kök olduğunu gösteren sıfır hipotezinin getiri serisi için reddedilmektedir. Diğer taraftan PP testi birim kök testi sonuçları ADF sonuçlarını desteklediği görülmektedir. Bu sonuç, Brent ham petrol getiri serisinin düzeyde durağan olduğunu göstermektedir.

Tablo 2: Brent Ham Petrol Getiri Serisi İçin Birim Kök ve ARMA-ARCH Model Özet İstatistikleri

Değişken	ADF	ARMA	AIC	LM	ARCH-LM	ARCH	AIC	ARCH-LM
RBP	-50.54*	(3,3)	4.1696	0.0808	59.17*	(1,0)	4.1008	7.9477*

Not: *, **, *** sırasıyla %1, %5 ve %10 anlam düzeylerini göstermektedir.

Getirilerin durağanlığından emin olduktan sonra doğrusal olmama testlerinden BDS testine geçilmiştir. Çalışmada BDS testi, doğrusal olmayan yapının kaynağının tespit etmek amacıyla tercih edilmiştir. BDS testini uygulamadan önce otoregresif hareketli (ARMA) ve koşullu değişen varyans (ARCH) modelleri oluşturulmuştur. ARMA ve GARCH modellerinin derecesi belirlenirken, Akaike bilgi kriterinin (AIC) minimum değerini veren modeller tercih edilmiştir. Bu modellerde serisel korelasyon olup olmadığını incelemek amacıyla Lagrange çarpanı (LM) testi kullanılmış ve getirilerin serisel korelasyon içermediği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca koşullu değişen varyans problemini test etmek amacıyla bu modellerin artıklarına ARCH-LM testi uygulanmış ve ARCH etkisine sahip olduğu tespit edilmiştir. Son olarak ARCH modellerine geçilmiş ve bu modellerin standartlaştırılmış artıklarında ARCH etkisinin olup olmadığı test edilmiş ve varyansın sabit olduğu bulgusuna ulaşılmıştır.

Brent ham petrol getirileri, ARMA ve ARCH modellerinin standartlaştırılmış artıkları için hesaplanan BDS test istatistiği sonuçları Tablo 3'de verilmektedir. Gözlem değerlerinin bağımsız ve özdeş dağılımlı olduğunu gösteren sıfır hipotezi tüm seriler için %5 anlam düzeyinde reddedilmiştir. Diğer bir deyişle, tüm endeks getiri serilerinde doğrusal olmayan bağımlılıkların varlığı tespit edilmiştir. Bu nedenle tüm seriler için zayıf formda etkin piyasa hipotezinin geçerli olmadığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca ARCH ailesi modellerinin getiri serilerindeki mevcut tüm bilgiyi yakalamada yeterli olmadığı görülmüştür. Bu nedenle getiri serilerinde kaotik dinamiklerin varlığının serilerde kalmış olabileceği ve bu durumda ARCH ailesi modelleriyle açıklanamayacağı sonucuna varılabilir.

Tablo 3: Brent Ham Petrol Serisinin BDS Testi Sonuçları

ε/σ	RBP				ARMA Standart Artıklar				ARCH Standart Artıklar			
	0.5	1.0	1.5	2.0	0.5	1.0	1.5	2.0	0.5	1.0	1.5	2.0
2	6.48	6.88	8.55	8.69	6.51	7.89	8.62	8.76	0.47	0.29	0.40	0.64
3	9.24	9.64	11.15	10.93	9.17	10.51	11.15	10.94	2.18	2.52	2.59	2.21
4	11.48	11.88	12.81	12.38	11.28	12.43	12.72	12.32	4.04	4.65	4.81	4.47
5	14.80	15.15	14.74	13.94	14.46	15.02	14.62	13.87	6.61	7.08	7.01	6.46

Not: BDS test istatistiği için tablo kritik değerleri %5 ve %1 anlam düzeylerinde sırasıyla 1.960 ve 2.575'dir.

Brent ham petrol getiri serisinde fraktallığın parametrelerinden biri olan uzun hafızanın olup olmadığını incelemek amacıyla modifiye edilmiş Geweke Porter-Hudak (GPH) testi yapılmıştır. GPH testi ile tahmin edilmiş kesirli bütünleşme parametresi (d) değerleri Tablo 4'de gösterilmektedir. Getiri serileri için hesaplanan kesirli bütünleşme değerleri $0 < d < 0.5$ referans aralığında yer

aldığı görülmektedir. Kesirli bütünleşme parametresi 0.5'den küçük olduğundan, getirilerin uzun hafıza özelliği gösterdiği, yani fraktal yapıya sahip olduğunu gösterir.

Tablo 4: Getiri Serisi İçin Hesaplanan GPH Testi Sonuçları

	RBP
d	0.1678
Standart Hata	0.0768
p Değeri	0.0340

Kaotik bir yapının diğer bir önemli özelliği olan başlangıç durumlarına hassas bağıllık özelliğini korelasyon boyutu değerleri hesaplanarak araştırılmıştır. Brent ham petrol getiri serisi, ARMA (3, 3) modeli ve ARCH(1) modelinin standartlaştırılmış artıkları için hesaplanan korelasyon boyutu değerleri Tablo 5'de sunulmuştur. Hesaplanan korelasyon boyutu değerlerinin birden büyük ve kesirli değerler aldığı görülmektedir. Bu durum, serilerin başlangıç durumlarına hassas bağıllık sergilediğini ve getirilerin kaotik yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 5: Brent Ham Petrol Serisinin Korelasyon Boyutu Analizi Sonuçları

Korelasyon Boyutları	Yerleştirme Boyutları (m)									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Brent Ham Petrol Getir.	1.981	2.9	3.715	4.516	5.165	6.24	6.583	7.283	7.012	
ARMA stand. artıklar	1.956	2.935	3.865	4.744	5.631	6.572	7.603	7.008	5.923	
ARCH stand. artıklar	1.994	2.929	3.847	4.835	5.720	5.985	6.301	7.058	8.154	

Tüm bulgular bir arada değerlendirildiğinde Brent ham petrol getiri serisinin kaotik yapının tüm özellikleri sağlamaktadır. Getirilerde kaotik bir yapının var olması, Brent petrol vadeli işlemler piyasasında etkin piyasa hipotezinin geçerli olmadığı ve geçmiş fiyat hareketlerinden hareketle gelecek fiyat hareketlerinin kısa dönemde tahmin edilebileceğini, ancak uzun dönemde öngörü yapmanın güç olduğunu göstermektedir (Sülkü ve Ürkmez, 2018: 481).

6. Sonuç

Bu çalışmada Brent ham petrol (BP) fiyat serisi getirilerinde kaotik dinamiklerin varlığı araştırılmıştır. Bu amaçla 12.02.2009-04.02.2019 dönemleri arası Brent ham petrol günlük kapanış fiyat getirileri incelenmiştir. Çalışmada getirilerdeki doğrusal olmayan yapının kaynağı tespit edilmiş ve Brent ham petrol serisi için etkin piyasa hipotezinin geçerliliği sınanmıştır.

Analizlerde öncelikle Brent ham petrol getiri serisinin durağanlığı genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF, 1979) birim kök testi ile incelenmiş ve getiri serisinin düzeyde durağan olduğu bulunmuştur. Sonrasında BDS testi getiri serisine uygulanmıştır. Devamında bu getiriler için en uygun ARMA ve ARCH modelleri tahmin edilmiş ve BDS testi bu modellerin standartlaştırılmış artıklarına da uygulanmıştır. BDS testi sonucuna göre, getiri ve ARMA (3,3) modelinin standartlaştırılmış artıklarında doğrusal olmayan bağımlılıklara rastlanılmıştır. Bu doğrusal olmayan bağımlılığının kaynağının değişen varyanstan kaynaklanıp kaynaklanmadığını incelemek amacıyla test ARCH (1) modelinin standartlaştırılmış artıklarına da uygulanmış ve BDS testinin sıfır hipotezi yüksek boyutlarda reddedildiği görülmüştür. Bu durum getiri serisinde hala doğrusal olmayan bağımlılıkların kalmış olabileceğini ve bu doğrusal olmayan bağımlılıkların kaynağının kaotik dinamiklerin varlığı olabileceğini göstermektedir. Ayrıca ARCH ailesi modellerinin getiri serilerindeki mevcut tüm bilgiyi yakalamada yeterli olmadığı tespit edilmiştir.

Brent ham petrol getirilerinde fraktallığın parametrelerinden olan uzun hafızanın olup olmadığı Geweke-Porter-Hudak (GPH) testi ile araştırılmıştır. Getiri serileri için hesaplanan kesirli bütünleşme değerlerinin $0 < d < 0.5$ referans aralığında yer aldığı görülmüştür. Kesirli bütünleşme parametresi değerlerinin 0.5'den küçük olması getirilerin uzun hafızaya sahip olduğunu göstermektedir. Diğer bir ifadeyle Brent ham petrol getiri serisi fraktal bir yapı sergilemektedir.

Son olarak kaotik bir yapının diğer bir özelliği olan başlangıç durumlarına hassas bağıllık özelliği korelasyon boyutu analizi ile incelenmiştir. Getiri serisi, ARMA ve ARCH modellerinin standartlaştırılmış artıkları için hesaplanan korelasyon boyutları birden büyük ve kesirli değerler aldıkları görülmüştür. Bu durum, endeks serilerinin deterministik kaos yapısına sahip olduğunu ve sistemin uzun dönem öngörüsünün yapılamayacağını göstermektedir.

Tüm bulgular bir arada değerlendirildiğinde, analiz edilen dönemde Brent ham petrol getirilerinde doğrusal olmayan ve kaotik dinamikler tarafından karakterize edilmiş olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda, Brent ham petrol getirilerinde etkin piyasa hipotezi geçerli değildir. Dolayısıyla geçmiş fiyat hareketlerinden hareketle gelecek fiyat hareketlerinin kısa dönemde sadece seanslık ya da günlük tahmin edilebilir, ancak uzun dönemde öngörü yapmak zordur.

Bu çalışma emtia piyasalarının kaotik yapısı hakkında kanıt sağlamıştır, ancak literatürde bu konuda bir görüş birliği yoktur. Frank ve Stengos (1989), Blank (1991), Decoster vd. (1992), Wei ve Leuthold (1998), Panas ve Ninni (2000), Kyrtsov vd. (2004), He (2011) ve Bildirici (2018) çalışmalarında doğrusal olmama ve kaotik yapıya rastlanırken, Adrangi vd. (2001) ve Aghababa ve Barnett (2016) çalışmalarında doğrusal olmama ve kaotik bir yapıya rastlanılmamıştır. Literatürde ortak bir konsensüs olmamasının farklı nedenleri olabilir. Bunun nedenlerinden biri çalışılan gözlem sayısıdır. Çalışmalarda genelde farklı sayılarda ve sıklıkta verilerle çalışıldığı gözlemlenmiştir. İkinci neden ise kullanılan test yöntemleridir. Test yöntemlerinin güvenilirliğinin zamanla geliştirilmesi, ampirik bulguların farklılaşmasına neden olabilir.

Kaynakça

- Abhyankar A., Copeland L.S., ve Wong W. (1995). Nonlinear Dynamics in Real-Time Equity Market Indices: Evidence from the United Kingdom. *The Economic Journal*, 105, 864-880.
- Adrangi, B., Chatrath, A., Dhandu, K.K., ve Raffiee, K. (2001). Chaos in Oil Prices? Evidence From Futures Markets. *Energy Economics*, 23(4), 405-425.
- Aghababa, H. ve Barnett, W.A. (2016). Dynamic Structure of The Spot Price of Crude Oil: Does Time Aggregation Matter?. *Energy Economics*, 59, 227-237.
- Barkoulas, J. ve Travlos, N. (1998). Chaos in An Emerging Capital Market? The Case of the Athens Stock Exchange. *Applied Financial Economics*, 8, 231-243.

- Bildirici, M. (2018), The Chaotic Behavior Among The Oil Prices, Expectation of Investors and Stock Returns: TAR-TR-GARCH Copula and TAR-TR-TGARCH Copula. *Petroleum Science*, 16(4), 217-228.
- Blank, S.C. (1991). Chaos in Futures Markets? A Nonlinear Dynamical Analysis. *The Journal of Futures Markets*, 11(6), 711-728.
- Brock, W. A., Dechert, W.D., Scheinkman, J. ve LeBaron, B. (1996). A Test For Independence Based On Correlation Dimension. *Econometric Reviews*, 15(3), 197-235.
- Brockett, P.L., Hinich, M.J. ve Patterson, D. (1988). Bispectral Based Tests for the Detection of Gaussianity and Linearity in Time Series. *Journal of American Statistical Association*, 83(403), 657-664.
- Caraiani, P. (2012). Nonlinear Dynamics in CEE Stock Markets Indices. *Economics Letters*, 114, 329-331.
- Chu, P.K.K. (2003). Study on The Non-random and Chaotic Behavior of Chinese Equities Market. *Review of Pacific Basin Financial markets and Policies*, 6(2), 1-24.
- DeCoster, G.P., Labys, W.C., and Mitchell, D.W. (1992). Evidence of Chaos in Commodity Futures Prices. *The Journal of Futures Markets*, 12(3), 291-305.
- Diaz, J.F.T. (2013). Evidence of Noisy Chaotic Dynamics in the Returns of Four Dow Jones Stock Indices. *Annual Review of Chaos Theory, Bifurcations and Dynamical Systems*, 4, 1-15.
- Enders, W. (2010). *Applied Econometric Time Series (3. Edition)*. New Jersey: Wiley.
- Eser, R. (2013). Finansal Piyasalarda Kompleksite, Kaos ve Düzenleme. *Mülkiyeliler Birliği Yayını*, 11(1), 281-304.
- Fama, E.F. (1965). The Behavior of Stock Market Prices. *The Journal of Business*, 38(1), 34-105.
- Fama, E.F. (1970). Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. *The Journal of Finance*, 25(2), 383-417.
- Frank, A.M. ve Stengos, T. (1989). Measuring The Strangeness of Gold and Silver Rates of Return. *Review of Economic Studies*, 56, 553-567.
- Geweke, J. ve S.P. Hudak. (1983). The Estimation and Application of Long Memory Time Series Models. *Journal of Time Series Analysis*, 4, 221-238.
- Grassberger, P. ve Procaccia, I. (1983). Measuring the Strangeness of Strange Attractors. *Physica*, 9, 189-208.
- Günay, S. (2013). Finansal Piyasaların Fraktal Yapısı ve BIST-100 Endeksi'nin Fraktallığının Ölçümü. (Yayınlanmamış Doktora Tezi), İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- He, L.Y. (2011). Chaotic Structures in Brent & WTI Crude Oil Markets: Empirical Evidence. *International Journal of Economics and Finance*, 3(5), 242-249.
- Hsieh, D.A. (1991). Chaos and Nonlinear Dynamics: Application to Financial Markets. *The Journal of Finance*, 46(5), 1839-1877.
- Kyrtsou, C., Labys, W.C., and Terraza, M. (2004). Noisy Chaotic Dynamics in Commodity Markets. *Empirical Economics*, 29, 489-502.
-

-
- Mandelbrot, B.B. (1963). The Variation of Certain Speculative Prices. *The Journal of Business*, 36(4), 394-419.
- Mandelbrot, B.B. (1977). *The Fractal Geometry of Nature (First Edition)*. New York: W.H. Freeman and Company.
- Mobarek, A. ve Fiorante, A. (2014). The Prospects of BRIC Countries: Testing Weak Form Market Efficiency. *Research in International Business and Finance*, 30, 217-232.
- Moshiri, S. ve Foroutan, F. (2006), Forecasting Nonlinear Crude Oil Futures Prices. *The Energy Journal*, 27(4), 81-95.
- Oswiecimka, P., Drozd, S., Kwapien, J., and Gorski, A.Z. (2010). Fractals, Log-Periodicity and Financial Crashes. *Acta Physica Polonica A*, 117(4), 637-639.
- Panas, E. ve Ninni, V. (2000). Are Oil Markets Chaotic? A Nonlinear Dynamic Analysis. *Energy Economics*, 22, 549-568.
- Peters, E.E. (1994). *Fractal Market Analysis: Applying Chaos Theory to Investment and Economics (First Edition.)*. New York: Wiley.
- Ramirez, S.C., Arreola, L.G., ve Grajeda, M.R. (2012), Nonlinear Dependence in Oil Price Behavior. *Journal of Mathematics and System Science*, 2, 110-118.
- Scheinkman, J.A. ve LeBaron, B. (1989). Nonlinear Dynamics and Stock Returns. *The Journal of Business*, 62(3), 311-337.
- Sülkü, S.N. ve Ürkmez, E. (2018). Hisse Senedi Getirilerinde Doğrusal Olmayan Dinamikler: Türkiye'den Kanıtlar. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 18, 473-484.
- Urquhart, A. ve McGroarty, F. (2016). Are Stock Markets Really Efficient? Evidence of The Adaptive Market Hypothesis. *International Review of Financial Analysis*, 47, 39-49.
- Ürkmez, E. (2018). Gelişmekte Olan Ülkelerin Borsa Endekslerinin Kaotik Yapısının İncelenmesi. (Yayınlanmamış Doktora Tezi), Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Wei, A. ve Leuthold, R.M. (1998). Long Agricultural Futures Prices: ARCH, Long Memory, or Chaos Processes?. *OFOR Paper*.
- Wiley, T. (1992). Testing For Nonlinear Dependence in Daily Stock Indices. *Journal of Economics and Business*, 44, 63-74.
- Yavuz, N.Ç. (2014). *Finansal Ekonometri (Birinci Baskı)*. İstanbul: Der Kitabevi.
-

