



**T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA
TEZİ**

**GELİŞMEKTE OLAN ÜLKELERİN BORSA
ENDEKSLERİNİN KAOTİK YAPISININ
İNCELENMESİ**

EMRE ÜRKMEZ

EKONOMETRİ ANABİLİM DALI

MART 2018



**GELİŞMEKTE OLAN ÜLKELERİN BORSA ENDEKSLERİNİN KAOTİK
YAPISININ İNCELENMESİ**

Emre ÜRKMEZ

**DOKTORA TEZİ
EKONOMETRİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

MART 2018

Emre ÜRKMEZ tarafından hazırlanan “Gelişmekte Olan Ülkelerin Borsa Endekslerinin Kaotik Yapısının İncelenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile Gazi Üniversitesi Ekonometri Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Seher Nur SÜLKÜ

Ekonometri Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum onaylamıyorum



Başkan : Prof. Dr. Funda YURDAKUL

Ekonometri Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum onaylamıyorum



Üye : Prof. Dr. Hakkı Ozan ERUYGUR

İktisat Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum onaylamıyorum



Üye : Doç. Dr. Ceylan Talu YOZGATLIGİL

İstatistik Anabilim Dalı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum onaylamıyorum



Üye : Doç. Dr. Abdullah Talha YALTA

İktisat Anabilim Dalı, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum onaylamıyorum



Tez Savunma Tarihi: 29/03/2018

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.



Prof. Dr. Hilmi ÜNSAL

Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.



Emre ÜRKMEZ

29/03/2018

GELİŞMEKTE OLAN ÜLKELERİN BORSA ENDEKSLERİNİN KAOTİK YAPISININ İNCELENMESİ

(Doktora Tezi)

Emre ÜRKMEZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

Mart 2018

ÖZET

Bu çalışmada önde gelen gelişmekte olan ülkelerden Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Türkiye (BRİCT) borsa endeksi getirilerindeki kaotik dinamiklerin varlığı araştırılmıştır. Bu amaçla 1997-2016 dönemleri arasında BRİCT ülkeleri borsa endeksi günlük kapanış fiyat getirilerinden oluşan veri seti doğrusal olmama ve kaos testleri uygulanarak incelenmiştir. Öncelikle, BDS ve Hinich Bispectrum testi kullanılarak endeks getirilerindeki doğrusal olmama test edilmiş ve doğrusal olmayan yapının varlığına yönelik kanıt elde edilmiştir. Daha sonra, korelasyon boyutu analizi ve en büyük Lyapunov üsteli testi kullanılarak endeks getirilerinin başlangıç durumlarına hassas bağlılık özelliği gösterdikleri görülmüştür. Devamında endekslerin fraktal yapıya sahip olup olmadığı dönüştürülmüş genişlik analizi, modifiye edilmiş Geweke Porter-Hudak testi ve fraktal boyut analizi olan kutu sayım yöntemi ile analiz edilmiştir. Bu testler sonucu fraktal yapının varlığı tespit edilmiştir. Son olarak analizlere küresel finans piyasalarını etkileyen ABD borsa endeksi dahil edilmiştir ve analizler tekrarlanmıştır. Bulguların önceki sonuçlarla tutarlı olduğu görülmüştür. Tüm bulgular bir arada değerlendirildiğinde BRİCT ülkeleri borsa endeksleri günlük getirilerinin doğrusal olmama ve kaotik dinamikler tarafından karakterize edildiği belirlenmiştir. Bu nedenle etkin piyasa hipotezi (EPH)'nin geçerli olmadığı tespit edilmiştir. Ancak, kaos teorisinden hareketle, EPH'ne alternatif olarak, oluşturulan fraktal piyasa hipotezinin sağlandığı görülmüştür. Çalışmadaki tüm ampirik bulgular getiri serileri için kısa dönemde seanslık ya da günlük öngörü yapılabileceğini, fakat uzun dönemli öngörü yapmanın zor olduğu sonucuna işaret etmektedir.

Bilim Kodu : 110605
Anahtar Kelimeler : Doğrusal Olmama, Kaos, Fraktallık
Sayfa Adedi : 157
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Seher Nur SÜLKÜ

INVESTIGATION OF THE CHAOTIC STRUCTURE OF DEVELOPING
COUNTRIES' STOCK MARKET INDICES

(Ph. D. Thesis)

Emre ÜRKMEZ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF SOCIAL SCIENCES

March 2018

ABSTRACT

This study investigates the existence of a chaotic structure in the leading emerging economies Brazil, Russia, India, China and Turkey (BRICT) stock market index. For this aim, we examined daily prices on BRICT stock market indices for the period of 1997-2016. First, we tested nonlinearity of the return series with the BDS and Hinich Bispectrum tests and found the evidence of nonlinear structure. Then, we employed the correlation dimension analysis and the largest Lyapunov exponent test and concluded that daily returns are sensitive to initial conditions. After that, we demonstrated the fractal structure of the indices by using the rescaled range analysis, the Geweke Porter-Hudak test and the box counting method. Based on these findings, we concluded that daily returns of BRICT indices characterized by nonlinearity and chaotic dynamics. Lastly, we introduced USA stock market index that affects global stock markets into our analyses and repeated the analysis. The new findings were consistent with the previous results. Thus, depending on our findings we claim that the efficient market hypothesis (EMH) is not valid. On the contrary, our study provides evidence in favour of the fractal market hypothesis which is established by the chaos theory as an alternative to the EMH. Hence, future researchers can make short-term or daily forecasts rather than long-term forecasts.

Science Code : 110605

Key Words : Nonlinearity, Chaos, Fractality

Page Number : 157

Supervisor : Assoc. Prof. Seher Nur SÜLKÜ

TEŞEKKÜR

Tez alıŐmamın baŐından sonuna kadar bilgi ve deneyimini benimle paylaŐan, yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Do. Dr. Seher Nur SÜLKÜ'ye teŐekkürlerimi sunarım. Tezin oluşturulması sürecinde bilgisini ve zamanını benden esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Funda YURDAKUL'a ve Doç. Dr. Ceylan Talu YOZGATLIGİL'e çok teşekkür ederim. Ayrıca tez savunmasında değerli bilgilerini benimle paylaŐan Prof. Dr. Hakkı Ozan ERUYGUR'a ve Doç. Dr. Abdullah Talha YALTA'ya teşekkür ederim. Her türlü destekleri için ise aileme sonsuz Őükranlarımı sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. DİNAMİK SİSTEMLER VE KAOS	7
2.1. Dinamik Sistemler	7
2.2. Dinamik Sistemlerin Sınıflandırılması	8
2.2.1. Doğrusal Dinamik Sistemler	9
2.2.2. Doğrusal Olmayan Dinamik Sistemler	9
2.3. Dinamik Sistemlerin Grafik Gösterimi	11
2.4. Kaos ve Kaos Teorisinin Tarihsel Gelişimi	13
2.5. Kaotik Serilerin Temel Özellikleri	15
2.5.1. Doğrusal Olmama	16
2.5.2. Başlangıç Durumlarına Hassas Bağlılık	17
2.5.3. Fraktallık	17
2.5.3.1. Kendine Benzerlik	18
2.5.3.2. Fraktal Boyut	19
2.6. Kaos Teorisinin Finansal Piyasalara Uygulanması	21
2.7. Etkin Piyasa Hipotezi	23
2.7.1. Zayıf Formda Piyasa Etkinliği	24
2.7.2. Yarı Güçlü Formda Piyasa Etkinliği	24

2.7.3. Güçlü Formda Piyasa Etkinliği	25
2.8. Etkin Piyasa Hipotezine Getirilen Eleştiriler	25
2.9. Kaos Teorisi ve Fraktal Piyasa Hipotezi	26
3. FİNANSAL ZAMAN SERİLERİNDE KAOSUN EKONOMETRİK VE İSTATİSTİKİ YÖNTEMLERLE TESPİTİ	29
3.1. Finansal Zaman Serilerinin Temel Özellikleri.....	29
3.2. Doğrusal Zaman Serisi Modelleri.....	32
3.2.1. ARMA (p,q) Modeli	32
3.3. Doğrusal Olmayan Zaman Serisi Modelleri.....	33
3.3.1. ARCH (p) Modeli	34
3.3.2. GARCH (p,q) Modeli	34
3.3.3. EGARCH (p,q) Modeli	35
3.4. Doğrusal Olmama Testleri	36
3.4.1. Brock, Dechert ve Scheinkman (BDS) Testi.....	36
3.4.2. Hinich Bispectrum Testi.....	43
3.5. Kaosun Varlığının Tespitine Yönelik Testler	45
3.5.1. Korelasyon Boyutu Analizi.....	45
3.5.2. En Büyük Lyapunov Üsteli Testi.....	46
3.6. Fraktal Yapının Belirlenmesi ve Ölçümüne Yönelik Testler	50
3.6.1. Dönüştürülmüş Genişlik (R/S) Analizi.....	50
3.6.2. Modifiye Edilmiş Geweke Porter-Hudak (GPH) Testi	52
3.6.3. Fraktal Boyut Analizi: Kutu Sayım Yöntemi	54
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	57
4.1. Makroekonomik Veriler için Yapılan Çalışmalar.....	58
4.2. Hisse Senedi Piyasaları için Yapılan Çalışmalar	58
4.3. Para Piyasaları için Yapılan Çalışmalar	64

Sayfa

4.4. Emtia Piyasaları için Yapılan Çalışmalar	65
5. GELİŞMEKTE OLAN ÜLKELERİN BORSA ENDEKSLERİ ÜZERİNE AMPİRİK BİR UYGULAMA.....	69
5.1. Araştırmanın Amacı	69
5.2. Araştırmanın Yöntemi ve Hipotezler	70
5.3. Araştırmanın Önemi.....	72
5.4. Veri Seti	72
5.4.1. Brezilya (BOVESPA) Endeksinin Analizi	73
5.4.2. Rusya (MICEX) Endeksinin Analizi	75
5.4.3. Hindistan (SENSEX) Endeksinin Analizi	78
5.4.4. Çin (SSEC) Endeksinin Analizi.....	79
5.4.5. Türkiye (BIST100) Endeksinin Analizi	82
5.4.6. Amerika (S&P500) Endeksinin Analizi.....	84
5.5. Getiri Serilerinin Tanımlayıcı İstatistikleri	86
5.6. Logaritmik ve Getiri Serilerinin Birim Kök Testi Sonuçları	89
5.7. Doğrusal Olmama Testleri	90
5.7.1. BDS Testi Sonuçları	90
5.7.2. Hinich Bispectrum Normallik ve Doğrusallık Testi Sonuçları	98
5.8. Kaos Testleri.....	99
5.8.1. Korelasyon Boyutu Analizi Sonuçları	99
5.8.2. En Büyük Lyapunov Üsteli Testi Sonuçları.....	101
5.9. Endekslerin Fraktal Yapısı ve Fraktallığının Ölçümü	103
5.9.1. Dönüştürülmüş Genişlik (Rescaled Range, R/S) Analizi Sonuçları	103
5.9.2. Modifiye Edilmiş Geweke ve Porter-Hudak (GPH) Testi	105
5.9.3. Fraktal Boyut Analizi: Kutu Sayım Yöntemi	106

5.10. S&P500 Endeksinin Kontrol Değişken Olarak Yer Aldığı Analizlerin Ampirik Sonuçları.....	108
5.10.1. BDS Testi Sonuçları	108
5.10.2. Hinich Bispectrum Testi Sonuçları.....	115
5.10.3. Korelasyon Boyutu Analizi Sonuçları	115
5.10.4. En Büyük Lyapunov Üsteli Sonuçları	118
5.10.5. R/S Analizi Sonuçları.....	119
5.10.6. Modifiye Edilmiş GPH Testi Sonuçları.....	121
6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	123
KAYNAKLAR.....	129
EKLER.....	143
EK-1. Doğrusal Olmama ve Kaotik Yapıyı İnceleyen Çalışmaların Özeti	144
EK-2. ARMA (p,q) Modeli Tahmin Sonuçları	147
EK-3. ARMA (p,q) Modelleri için LM Testi Sonuçları	148
EK-4. ARMA (p,q) Modelleri için White Testi Sonuçları	149
EK-5. ARMA (p,q) Modelleri için ARCH-LM Testi Sonuçları.....	150
EK-6. GARCH (p,q) Modeli Tahmin Sonuçları.....	151
EK-7. EGARCH (p,q) Modeli Tahmin Sonuçları	152
EK-8. S&P500 Olduğu Modellerin Tahmin Sonuçları	153
EK-9. S&P500 Olduğu ARMA (p,q) Modeli Tahmin Sonuçları.....	154
EK-10. S&P500 Olduğu GARCH (p,q) Modeli Tahmin Sonuçları	155
EK-11. S&P500 Olduğu EGARCH (p,q) Modeli Tahmin Sonuçları.....	156
ÖZGEÇMİŞ.....	157

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. EPH ile FPH'nin Karşılaştırılması	30
Çizelge 5.1. Analizlerde kullanılan paket programlar.....	72
Çizelge 5.2. Değişkenlerin tanımları.....	73
Çizelge 5.3. Tanımlayıcı istatistikler	87
Çizelge 5.4. Birim kök testi sonuçları.....	89
Çizelge 5.5. Getiri serileri için BDS test sonuçları	91
Çizelge 5.6. ARMA (p,q) modelleri için BDS test sonuçları	93
Çizelge 5.7. GARCH (p,q) modelleri için BDS test sonuçları.....	95
Çizelge 5.8. EGARCH (p,q) modelleri için BDS test sonuçları	97
Çizelge 5.9. Hinich Bispectral testi sonuçları.....	98
Çizelge 5.10. Korelasyon boyutu analizi sonuçları	99
Çizelge 5.11. En büyük Lyapunov üsteli sonuçları	102
Çizelge 5.12. R/S analizi ile hurst üsteli tahmin sonuçları	103
Çizelge 5.13. Modifiye edilmiş GPH testi sonuçları	105
Çizelge 5.14. Endeks serileri için hesaplanan fraktal boyut değerleri.....	106
Çizelge 5.15. S&P500 olduğu denklem için BDS test sonuçları	109
Çizelge 5.16. S&P500 olduğu ARMA (p,q) modeli için BDS test sonuçları.....	110
Çizelge 5.17. S&P500 olduğu GARCH (p,q) modeli için BDS test sonuçları	112
Çizelge 5.18. S&P500 olduğu EGARCH (p,q) modeli için BDS test sonuçları....	114
Çizelge 5.19. S&P500 olduğu Hinich Bispectral testi sonuçları	115
Çizelge 5.20. S&P500 olduğu korelasyon boyutu analizi sonuçları	116
Çizelge 5.21. S&P500 olduğu en büyük Lyapunov üsteli sonuçları.....	118
Çizelge 5.22. S&P500 olduğu R/S analizi sonuçları	119
Çizelge 5.23. S&P500 olduğu GPH testi sonuçları	121

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Sarkaç salınımı için zaman serisi grafiği ve faz uzayı.....	11
Şekil 2.2. Lorenz çekicisi	12
Şekil 2.3. Sierpinski üçgeni.....	18
Şekil 2.4. Finansal zaman serilerinin kendine benzerliği	19
Şekil 2.5. Nesnelerin Tam Sayı Boyutları	20
Şekil 2.6. Fraktal boyutun serilerdeki görünümü.....	21
Şekil 3.1. En büyük Lyapunov üstelinin hesaplanması	49
Şekil 3.2. Bir kıyı şeridinin fraktal boyutunun belirlenmesi	54
Şekil 5.1. BOVESPA endeksinin logaritmik ve getiri serileri	74
Şekil 5.2. MICEX endeksinin logaritmik ve getiri serileri	77
Şekil 5.3. SENSEX endeksinin logaritmik ve getiri serileri.....	79
Şekil 5.4. SSEC endeksinin logaritmik ve getiri serileri.....	81
Şekil 5.5. BIST100 endeksinin logaritmik ve getiri serileri	83
Şekil 5.6. S&P500 endeksinin logaritmik ve getiri serileri.....	86
Şekil 5.7. Borsa endeksi getiri serilerinin dağılım grafikleri.....	88
Şekil 5.8. Endeks getirileri için çizdirilen korelasyon integrali grafikleri.....	100
Şekil 5.9. Endeks getiri serilerinin ampirik ve teorik R/S log-log grafikleri.....	104
Şekil 5.10. Endeks serilerinin kutu sayım regresyon doğruları	107
Şekil 5.11. S&P500 endeksi için çizdirilen korelasyon integrali grafikleri.....	117
Şekil 5.12. S&P500 yer aldığı ampirik ve teorik R/S log-log grafikleri.....	120

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklamalar
ADF	Genişletilmiş Dickey-Fuller
AIC	Akaike Bilgi Kriteri
AMI	Ortalama Karşılıklı Bilgi
AR	Otoregresif
ARCH	Otoregresif Koşullu Farklı Yayılım
ARMA	Otoregresif Hareketli Ortalama
BDS	Brock, Dechert, Scheinkman
BIST	Borsa İstanbul
BOVESPA	Brasil Sao Paulo Stock Exchange
BRICT	Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin, Türkiye
D	Fraktal Boyut
d	Kesirli Bütünleşme Parametresi
EGARCH	Üstel Genelleştirilmiş ARCH
EPH	Etkin Piyasa Hipotezi
FNN	Yanlış En Yakın Komşular
FPH	Fraktal Piyasa Hipotezi
GARCH	Genelleştirilmiş ARCH
GPH	Geweke ve Porter-Hudak
H	Hurst Üsteli
IID	Bağımsız ve Özdeş Dağılımlı
JB	Jarque-Bera
LE	Lyapunov Üsteli
MA	Hareketli Ortalama
MICEX	The Moscow Interbank Currency Exchange
ML	En Çok Olabilirlik
OLS	Olağan En Küçük Kareler
PP	Phillips-Perron
R/S	Dönüştürülmüş Genişlik
SENSEX	Bombay Stock Exchange Sensitive Index
SSEC	Shanghai Stock Exchange Composite Index
SIC	Schwarz Bilgi Kriteri
S&P500	The Standard & Poor's Stock Market Index

1. GİRİŞ

Kriz kavramını açıklamaya yönelik olarak literatürde çok sayıda farklı şekilde yapılmış tanım bulunmaktadır. Ancak finansal anlamda kriz genel olarak, ekonomik çevrede bir değişim korkusu ile ilişkili beklentilerin yaygınlaşması olarak tanımlanmaktadır (Bordo, 1986:191). Finansal krizler, reel ekonomi üzerinde büyük yıkıcı etkiler yaratabilen ve piyasaların etkin işleyiş gücünü bozan finansal piyasalardaki çöküşlerdir (IMF, 1998:75).

1970'lerde Bretton Woods sisteminin çöküşü ile birlikte sermaye hareketlerinin serbestleşmesi sonucu finansal krizler küresel alana kolaylıkla ve hızla yayılır olmuştur. Bir başka ifadeyle krizler bulaşıcı (contagious) hale gelmiştir (Bordo ve Murshid, 2000). 1990'lı yıllarda özellikle gelişmekte olan piyasalarda bulaşıcı krizler görülmüştür. 1994 yılında, Meksika hükümeti ödemeler bilançosundaki açıkları kapatmak amacıyla sıcak paraya duyulan ihtiyaç sonucu, Meksika Pesosu'nda devalüasyon yoluna gitmiştir. Ancak döviz kurundaki yüksek değer kaybının önüne geçilememiş ve Meksika ekonomik ve finansal krize girmiştir. 1994 Meksika krizi ve bunun sonucunda meydana gelen Tekila etkisi adı verilen finansal bulaşıcılık ile tüm Latin Amerika ülkelerinden önemli miktarda yabancı sermaye çıkışı yaşanmıştır. Bu durum etkisini en çok Brezilya Reali ve bankacılık sektörü üzerine göstermiştir (Kalter ve Ribas, 1999). 1997 yılında Tayland'da yaşanan döviz krizi önce Uzakdoğu ülkelerine sonra da Rusya'ya yansıyan Asya krizinin başlangıcı olmuştur. Kriz süresince iflas eden firmaların borçlarını çevirememesi, banka alacaklarının piyasa değerinin giderek yükselmesine ve geri ödenmeme riskinin artmasına neden olmuştur. Bu durum bankaları önemli boyutta likidite riski ve döviz riskine maruz bırakmıştır. Gelişmiş ülke bankalarının Asya bölgesindeki geniş bağlantıları dolayısıyla ABD ile Avrupa finans piyasaları da çeşitli risklere maruz kalmışlardır. Krizin yayılması etkisi ile hedge fonları Asya bölgesi ülkelerini aynı anda hızla terk etmeye başlamış ve bu da krizin boyutunu daha da büyütülmüştür (Reinhart, 2010; Reinhart ve Rogoff, 2012). Ardından 1997-1998 yılları arasında başlıca ihraç mallarının fiyatlarındaki düşüş ve Asya krizinin de etkileri ile uluslararası yatırımcıların gelişmekte olan ülkelere olan yatırımlarında çekimser kalmaları Rusya ekonomisi üzerinde güçlü bir dış şok etkisi yaratmıştır. Söz konusu

dışsal şok, borçların hızla artmasına yol açmış ve dış borç ödemelerinde Rusya moratoryum ilan etmiştir. Bu krizin etkileri diğer gelişmekte olan ülkelerin finansal piyasalarında da hissedilmiş ve küresel ölçekte bir likidite krizi ortaya çıkmıştır (Pastor ve Danjanovic, 2001).

2000'li yıllardan günümüze finansal piyasalarda yaşanan entegrasyon, finansal ürün çeşitliliğinin artması ve bilişim teknolojilerinin ilerlemesi krizlerin daha da hızlı yayılmasına neden olmuştur. Özellikle büyük ekonomilerde çıkan finansal krizler tüm dünya piyasalarında kısa süreli şokların ve krizlerin yaşanmasına yol açmaktadır. Merkezinde ABD piyasalarının olduğu finansal sistemde, ABD ekonomisinde yaşanan bir sıkıntı tüm dünyaya hızlı bir şekilde yayılmaktadır (Bordo ve Murshid, 2000). Küresel sermayenin büyük bölümünü oluşturan ABD, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin borsa endekslerine giden yatırım fonları aracılığıyla ülkelerin sermaye piyasalarını etkileyebilme potansiyeline sahiptir. Bu durumun etkileri 2008 yılında meydana gelen küresel finans krizinde daha iyi gözlemlenmiştir. 2007 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde yaşanan mortgage krizi ve 2008 yılının dördüncü çeyreğinden itibaren başlayan küresel finans krizi dünya finansal piyasalarını etkilemekle kalmamış, aynı zamanda geleneksel finans teorisinde piyasa etkinliğinin tartışılmasına yol açmıştır.

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. Fakat, finansal piyasalarda bulaşıcılık etkisi ile meydana gelen şoklar ve krizler hisse senedi piyasalarının etkinliğini geçersiz kılmaktadır (Lim vd., 2008). Ayrıca pratikte finansal zaman serileri aşırı sivrilik, oynaklık kümelenmesi, asimetri etkisi, durağan olmama gibi özellikler göstermektedir. 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), Basu (1977), Laffont ve Maskin (1990), Balaban (1995), Barkoulas ve Travlos (1998), Tolvi (2003a), Timmermann ve Granger (2004), Caporale ve Gil-Alana (2004), Gil-Alana (2006), Cajueiro ve Tabak (2006), Assaf (2007), Disario vd. (2008), McMillan ve Thupayagale (2008), Borges (2010), Westerlund ve Narayan (2013), Mobarek ve Fiorante (2014), Urquhart ve McGroarty (2016).

Hisse senedi 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 (Brockett vd., 1988; Scheinkman ve LeBaron, 1989; Hsieh, 1991). EPH'ne alternatif bir teori olarak geliştirilen fraktal piyasa hipotezi (FPH), kaos teorisinden hareketle oluşturulmuştur. Peters (1991) tarafından tanıtılan FPH piyasaları; doğrusal olmayan, kısa dönemde öngörülebilirliği mümkün olan, kesirli fraktal boyutlar ile dinamik sistemler olarak tanımlamaktadır. 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.

Kaos teorisi, hisse senedi piyasalarındaki fiyat hareketlerinin doğrusal olmayan davranış göstermesi nedeniyle düzensiz olarak yorumlanan aşırı fiyat hareketlerini açıklamak amacı ile kullanılmaktadır. Dolayısıyla finansal zaman serileri hareketlerinin ortaya çıkarılması için kaotik özelliklerin kontrol edilmesi ve eğer var ise kaotik özelliklerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasında önde gelen gelişmekte olan ülkelerden Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Türkiye (BRICT) borsa endekslerinde kaotik dinamiklerin varlığı araştırılmaktadır. Kaos teorisi, finansal piyasalar için 1990'lı yıllardan itibaren büyük ilgi görmüştür. Fakat, literatürde gelişmiş ülkelerin borsa endekslerine yönelik çok sayıda çalışma olmasına karşın, gelişmekte olan ülkelerin borsa endeksleri üzerine yapılmış sınırlı sayıda çalışma olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla, bu tez çalışmasının literatüre katkısı beş açıdan değerlendirilebilir. Birinci olarak, BRICT ülkeleri borsa endeksi getirilerinin veri üretim sürecinin doğrusal olup olmadığının ortaya çıkarılmasıdır. Bu

aşamada borsa endeks getirilerindeki doğrusal olmayan yapının kaynağı da analiz edilmektedir. İkincisi, borsa endekslerinin kaotik yapıya sahip olup olmadıkları incelenmektedir. Üçüncüsü, BRİCT ülkeleri borsa endekslerinin fraktal bir yapı sergileyip sergilemedikleri araştırılmaktadır. Dördüncüsü, BRİCT ülkeleri borsa endekslerinde EPH'nin geçerli olup olmadığı test edilmektedir. Son olarak, ABD'nin küresel finans piyasalarını doğrudan etkileme gücüne sahip olması nedeniyle aynı işlemler tüm dünya borsalarını etkileyen S&P500 endeksi analizlere dahil edilerek uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bu amaçla 01.10.1997-30.12.2016 dönemleri arasında BRİCT ülkelerinin endekslerin günlük kapanış fiyat getirileri incelenmiştir. Peters (1994), bir sürecin kaotik olabilmesi için başlangıç durumlarına hassas bağıllık ve fraktal boyutun iki gerekli koşul olduğu ifade etmektedir. Dolayısıyla endeks getiri serilerinin doğrusal olup olmamaları Brock, Dechert ve Scheinkman (BDS) testi ve Hinich Bispectrum testleri ile sınıandıktan sonra başlangıç durumlarına hassas bağıllık özelliğinin testi korelasyon boyutu analizi ve en büyük Lyapunov üsteli testi ile test edilmiştir. BRİCT borsa endekslerinin fraktal bir yapı sergileyip sergilemedikleri ise dönüştürülmüş genişlik (R/S) analizi, modifiye edilmiş Geweke Porter-Hudak (GPH) testi ve kutu sayım yöntemi uygulanarak incelenmiştir.

Tez çalışması altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde genel bir giriş yapılarak araştırmanın amacına, literatüre katkısına ve önemine yer verilmiştir. İkinci bölümde öncelikle dinamik sistemlere, dinamik sistemlerin sınıflandırılmasına, dinamik sistemlerin grafiksel gösterimine değinilmiştir. Daha sonra kaosun tanımı verilerek, kaosun tarihsel gelişimi ve kaotik davranışın temel özelliklerinden bahsedilmiştir. Devamında kaos teorisinin finansal piyasalara uygulanması, EPH ve EPH'ne getirilen eleştirilere yer verilmiştir. Son olarak EPH'ne alternatif olarak geliştirilen Fraktal Piyasa Hipotezi (FPH) açıklanmış ve EPH ile karşılaştırılmıştır. Üçüncü bölümde finansal zaman serilerinde kaosun tespitine yönelik ekonometrik ve istatistiki yöntemler anlatılmıştır. Bu bölümde öncelikle finansal zaman serilerinin temel özelliklerine değinilmiş, doğrusal ve doğrusal olmayan zaman serileri modelleri tanıtılmıştır. Sonrasında, doğrusal olmama, kaos ve fraktal yapının tespitine yönelik testler açıklanmıştır. Dördüncü bölüm literatür araştırmasından oluşmaktadır. Bu bölümde makroekonomik veriler, hisse senedi piyasaları, para

piyasaları ve emtia piyasaları üzerine yapılan doğrusal olmama ve kaos testleri ile ilgili yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Beşinci bölümde analiz ve ampirik bulgulara yer verilmiştir. Bu amaçla BRİCT ülkeleri borsa endekslerinin kaotik yapısı incelenmiştir. Sonrasında S&P500 endeksinin kontrol değişken olarak yer aldığı ampirik bulgular raporlanmıştır. Altıncı bölüm sonuç ve değerlendirme bölümüdür. Bu bölümde elde edilen ampirik bulgular ayrıntılı bir şekilde özetlenmiş ve benzer araştırmalar yapacak olan araştırmacılara önerilerde bulunulmuştur.





2. DİNAMİK SİSTEMLER VE KAOS

Bu bölümde dinamik sistemler ve kaos teorisi ile açıklanan bazı kavramların matematiksel tanımlarına ve özelliklerine yer verilmiştir. Kaotik yapı doğrusal olmayan dinamik sistemlerde görülmektedir. Fakat her doğrusal olmayan yapı her zaman kaotik olmaz. Bu bağlamda öncelikle Bölüm 2.1'de dinamik sistemler tanıtılmıştır. Bölüm 2.2'de dinamik sistemlerin sınıflandırılması verilerek, doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik sistemler açıklanmıştır. Bölüm 2.3'de kaos teorisinin de en önemli matematiksel araçlarından biri olan dinamik sistemlerin grafiksel gösterimi tanıtılmıştır. Devamında Bölüm 2.4'de kaosun tanımı ve kaos teorisinin tarihsel gelişimine yer verilmiştir. Bölüm 2.5'de kaotik serilerin temel özellikleri açıklanmıştır. Kaotik serilerin temel özellikleri olan doğrusal olmama, başlangıç durumlarına hassas bağlılık ve fraktallık sırasıyla 2.5.1, 2.5.2 ve 2.5.3'nci alt bölümlerde açıklanmıştır. Bölüm 2.6'da kaos teorisinin finansal piyasalara uygulanması anlatılmıştır. Bölüm 2.7'de Etkin Piyasa Hipotezi (EPH) tanıtılmış, zayıf, yarı güçlü ve güçlü formda piyasa etkinliği ise sırasıyla 2.7.1, 2.7.2 ve 2.7.3'nci alt bölümlerde açıklanmıştır. Bölüm 2.8'de EPH'ne getirilen eleştiriler özetlenmiştir. Son olarak Bölüm 2.9'da EPH'ne alternatif olarak geliştirilen Fraktal Piyasa Hipotezi tanıtılmış ve EPH ile karşılaştırılmasına yer verilmiştir.

2.1. Dinamik Sistemler

“Dinamik, genel anlamda bir sistemin zaman içinde geçirdiği değişimlerin incelendiği ve ifade edildiği fizik dalı” olarak tanımlanır (Kurt ve Kasap, 2011: 10). Sistem ise karşılıklı olarak etkileşim halinde olan değişkenlerin ve bunların arasındaki ilişkilerin açıklanması olarak ifade edilebilir. Dinamik sistemler, sistem içerisinde yer alan değişkenlerin daha önceden almış oldukları değerlere ve içinde buldukları zamana göre değer alan sistemlerdir. Dolayısı ile zaman içinde davranışları değişmektedir. Hilborn (2000) dinamik sistemi, zaman içinde değişen davranış olarak tanımlamaktadır. Dinamik sistemlere örnek olarak astronomik sistemler, güneş sistemi, insan vücudu, her hangi bir canlıya ait nüfus, finansal piyasalar verilebilir.

Dinamik sistemler içinde bulunulan durumun gelecekteki duruma nasıl dönüştüğünü açıklayan kurallar dizisini barındıran bir yapıya sahiptir. Dinamik bir sistem için basit bir örnek aşağıda sunulmuştur (Maier vd., 2009:40):

X laboratuvar ortamında üretilen bakteri nüfusu sayısını gösterirse,
zamanla değişen kuralla,

$$X = 2^n X_0 \quad (2.1)$$

Burada X_0 , başlangıç durumundaki bakteri sayısını ve n zamanı göstermektedir. Bakteri nüfusu başlangıç durumunda 10.000 nüfusa sahip ise, bir saat sonra,

$$f(10000) = 2^1(10000) = 20000 \quad (2.2)$$

olur ve bu şekilde devam eder. Dinamik sistem, gerçek sistemin zamanla değişen davranışının basitleştirilmiş bir modelidir. Dinamik sistemler ile modelleme yapmanın amacı sistemlerin uzun dönemli davranışlarının karakterize edilmesine yöneliktir (Ott, 2002:6-9).

2.2. Dinamik Sistemlerin Sınıflandırılması

Dinamik sistemler zaman içinde değişen sistemler olduğundan literatürde çeşitli özelliklere göre farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Matematiksel gösterimi söz konusu olduğunda kesikli ve sürekli dinamik sistemler ayrımı, sistemin zamana bağlılığı açısından otonom ve otonom olmayan dinamik sistemler ayrımı ve kaos teorisi açısından ise doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik sistemler ayrımı bulunmaktadır. Bu çalışmada BRİCT ülkeleri borsa endekslerinin kaotik yapısı analiz edildiğinden, kaos teorisi açısından doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik sistemler ayrımı incelenmiştir.

2.2.1. Doğrusal Dinamik Sistemler

Klasik bilimde doğrusal sistemler doğada karmaşık olan olguları daha basit açıklama yoluna gidilmesi ile tercih edilmektedir. Bu bağlamda doğada gözlemlenen olayların ve canlı yaşamların eylemlerinin doğrusal bir sistem izlediği varsayılmaktadır. Ayrıca doğrusal ilişkiler ve denklemler çözülebilir yapıya sahiptirler. Bu durum, onların üzerinde düşünmeyi ve çalışmayı kolaylaştırır (Sardar ve Abrams, 2014:16).

Doğrusal dinamik sistemin davranışı diferansiyel denklemler ile belirlenir. Diferansiyel denklemler bir sistemin zaman içindeki değişimini tanımlar. Diferansiyel denklemlerde yer alan fonksiyonlar doğrusal ise, dinamik sistem doğrusaldır. Ekonomi üzerinde yapılan analizlerde yaygın olarak kullanılan doğrusal denklemler üzerine kurulmuş modeller doğrusal dinamik sistemlere örnek verilebilir.

Diferansiyel denklem olarak bilinen bir dinamik sistemin en genel formu (Ott, 2002:6):

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= f(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ &\vdots \\ \dot{x}_n &= f(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{aligned} \quad (2.3)$$

şeklindedir. Eş. 2.3'de,

$$\dot{x}_i = \frac{dx_i}{dt} \quad (2.4)$$

olarak kullanılır ve zamana göre x değişkeninin değişimini gösterir. Fonksiyon f ise x değişkenlerinin birbiriyle olan ilişkilerini içerir.

2.2.2. Doğrusal Olmayan Dinamik Sistemler

Dinamik sistemi tanımlayan denklemlerden en az biri doğrusal değil ise o zaman incelenen sistem doğrusal olmayan dinamik sistem olarak adlandırılır. Doğrusal olmayan dinamik sistemlerde değişkenin değişim miktarı ile sistemin verdiği tepki miktarı farklı olmaktadır. Hilborn (2000:3) bu durumu; "sisteme verilen

tepki iki kattan daha büyük değilse (sistemin tepkisi iki katından daha küçük ya da daha büyük oluyorsa), o zaman sistemin davranışının doğrusal olmadığını" ifade etmiştir.

Ekonomik analizlerde doğrusal olmayan dinamik sistemlerden yararlanılması daha doğru sonuçlar verebilir. Doğrusal olmayan dinamik sistemler, doğrusal dinamik sistemlere göre daha gerçeğe yakın sonuçlar üretebilmektedir (Tosun, 2006:42).

Doğrusal olmayan dinamik sistemlerin en genel formu aşağıdaki gibi yazılabilir (Sundarapandian, 2005):

$$\begin{aligned} \dot{x} &= f(x, \lambda) + g(x, \lambda)u \\ y &= h(x, \lambda) \end{aligned} \quad (2.5)$$

Eş. 2.5'de $x \in R^n$ konumunu, $\lambda \in R^t$ gerçek parametrik belirsizliği, $u \in R^m$ girdiyi, $y \in R^p$ çıktıyı gösterir. Doğrusal olmayan oluşumlar, sistemdeki deterministik kuralları değiştirerek olacak olanı öngörmeyi zorlaştırır.

Klasik fizikte sebep ve sonuç arasında deterministik doğrusal bir ilişki olduğu varsayılır. Bu nedenle incelenen sistemlerin bir denge noktasına ulaşması gerektiği varsayımıyla sistemler incelenir. Ancak gerçekte hem doğa hem de ekonomik sistemler doğrusal olmayan dinamik sistemlerden oluşmaktadır. Başlangıç durumunda oluşan en ufak bir değişiklik sistemin gelecek davranışlarında büyük bir değişikliğe yol açabilmektedir. Bu etki başlangıç durumlarına hassas bağıllık olarak adlandırılır ve dinamik sistemin içinde çok büyük etkiler yaratır. Bu sebeple sistemin uzun vadeli davranışını öngörmek olanaksız hale gelmektedir. Kaos teorisinde bu olgu kelebek etkisi (butterfly effect) adıyla bilinmektedir (Lorenz, 1963).

Kaotik yapı doğrusal olmayan dinamik sistemlerde görülmektedir. Ancak her doğrusal olmayan yapı kaotik olmaz. Kaotik serilerin öne çıkan özelliklerinden birincisi ünlü meteorolog Lorenz (1963) tarafından ortaya konan başlangıç durumlarına hassas bağıllık (sensitivity to initial conditions) göstermeleri ve

Mandelbrot (1964) tarafından tanımlanan fraktal (fractality) yapıya sahip olmalarıdır. Başlangıç durumlarına hassas bağıllık gösteren ve fraktal yapıya sahip bir zaman serisinin kaotik yapısının belirlenebilmesi için öncelikle serinin doğrusal olup olmadığının incelenmesi gerekir (İşi ve Çemrek, 2015). Kaotik sistemin özellikleri Bölüm 2.3, Bölüm 2.4 ve Bölüm 2.5'te detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

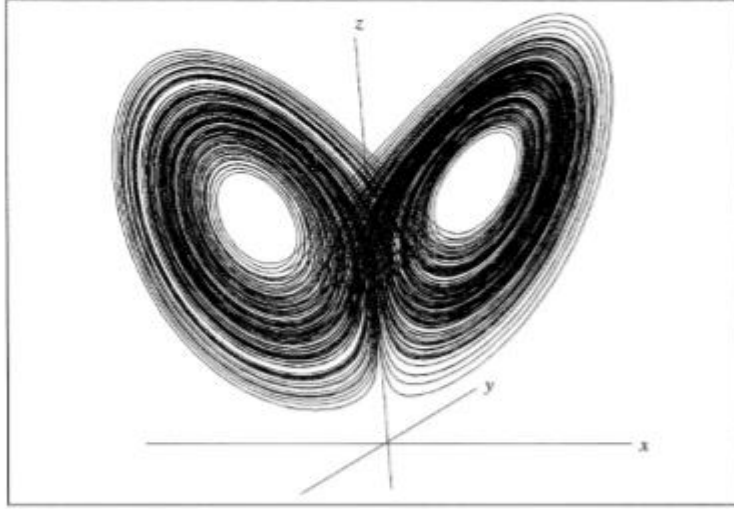
2.3. Dinamik Sistemlerin Grafik Gösterimi

Dinamik sistemlerin davranışlarının anlaşılmasında en yaygın kullanılan grafiksel yöntem faz uzayıdır. Faz uzayı (phase space), dinamik sistem içerisinde yer alan değişkenlerin her birinin birer eksene yerleştirilip yapılandırılması şeklinde tanımlanır (Strogatz, 1994:145). Diğer bir ifadeyle faz uzayının her bir eksenini veya boyutu dinamik sisteme ilişkin bir değişkene karşılık gelir. Faz uzayı grafiğinde dinamik sistemin bu boyutlarda çizdiği yola yörünge adı verilmektedir.



Şekil 2.1. Sarkaç salınımı için zaman serisi grafiği ve faz uzayı (Hasse ve Bekker, 2016)

Faz uzayı içindeki olası yörüngelerin gösterdikleri şekiller kullanılarak karakterize edilmesi, kaos teorisinin en önemli matematiksel araçlarından biridir. Kaosun faz uzayındaki analizi tuhaf çekiciler denilen şekillerin oluşturulması ile olmaktadır. Tuhaf çekici (strange attractor) terimi 1970 yılında Fransız teorik fizik Profesörü olan David Ruelle tarafından ortaya atılmıştır (Sardar ve Abrams, 2014:52-53). En bilinen tuhaf çekici, Lorenz çekicisi (Lorenz attractor) ismiyle bilinmektedir ve Lorenz tarafından keşfedilmiştir. Kelebek kanatlarının açılmış şeklini andıran Lorenz çekicisi Şekil 2.2'deki gibi görünmektedir.



Şekil 2.2. Lorenz çekicisi (Peitgen vd., 2004:648)

Lorenz çekicisi kaos ile ilgili yapılan ilk sayısal çalışmadır. Edward Lorenz tarafından atmosferdeki hava akışını modellemek amacıyla 1961 yılında keşfedilmiştir. Lorenz hava tahmini için kullandığı bilgisayarında hemen hemen aynı başlangıç noktasından hareket eden hava durumu modelinin giderek birbirinden farklılaşan örüntüler oluşturduğunu ve giderek aradaki benzerliğin bütünüyle ortadan kalktığını gözlemlemiştir (Gleick, 2014:29). Lorenz bu çalışmasında modele veri olarak girdiği ufak farklılıkların çıktıda büyük farklılıklara yol açtığını tespit etmiştir. Buna başlangıç durumlarına hassas bağlılık olgusu adını vermiştir. Örneğin hava durumunda bu olgu Kelebek Etkisi olarak bilinen kavramla ifade edilmektedir. Buna göre bugün Pekin'deki bir kelebeğin havada kanat çırpması gelecek ay New York'u etkileyecek rüzgar sistemlerinde dönüşümlere neden olabilir (Gleick, 2014:17-18).

Klasik zaman serilerinde bir değişkenin değerlerindeki değişiklikler zaman serisi grafikleriyle ortaya konulmaktadır. Ancak üç değişken arasındaki ilişkideki değişiklikleri göstermek için farklı bir teknik uygulanması gerekir. Herhangi bir anda üç değişken üç boyutlu bir uzayda belli bir noktada buluşursa, sistem değiştikçe bu noktanın hareketi bu değişkenlerdeki sürekli değişikliği temsil etmektedir. Lorenz sistemi adı verilen bu klasik model aşağıdaki gibi tanımlanır (Peitgen vd., 2004:647):

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= \sigma(y - x) \\ \frac{dy}{dt} &= Rx - y - xz \\ \frac{dz}{dt} &= -Bz + xy\end{aligned}\tag{2.6}$$

Eş. 2.6'da gösterilen σ , R ve B sayıları Lorenz sisteminin fiziksel parametreleridir. Lorenz bu denklemleri hava hareketini tanımlamak amacıyla oluşturmuştur. Burada x rüzgarın dönüş hızını, y aşağı ve yukarı hareket eden akışkanlar arasındaki ısı farkını, z ise dikey sıcaklık doğrusallığında sapmayı gösterir (Lorenz, 1963). Şekil 2.2'de gösterilen Lorenz çekicisinde sistem daima belli sınırlar içinde kalmakta ve hiçbir zaman kendini tekrar etmemektedir. Tekrarlayan hiçbir nokta veya örüntü olmadığı için, şekil düzensizlik içindeki bir düzene işaret etmektedir.

2.4. Kaos ve Kaos Teorisinin Tarihsel Gelişimi

Kaos kelimesi antik Yunan mitolojisinden gelmektedir ve “her şeyin oluşumundan önce var olan sonsuz boşluk” anlamında kullanılmıştır (Encyclopedia Britannica, 2017). Türk Dil Kurumu sözlüğünde, “Evrenin düzene girmeden önceki biçimden yoksun, uyumsuz ve karışık durumu” anlamında tanımlanmıştır. Günlük dilde ise kaos kelimesi düzensizlik ve karışıklık anlamına gelmektedir. Bilimsel anlamda kaos kelimesinin bunlarla bir ilgisi yoktur. Kaos konusunda ünlü popüler yazarlardan James Gleick (2014:12) şunu belirtmiştir: “Kaosun başladığı noktada klasik bilim durur. Çünkü doğanın yasalarını araştıran fizikçiler ortaya çıktığından beri, atmosferin, çalkantılı denizlerin, yaban hayatta sayıca azalıp artan toplulukların, kalp ve beyin salınımlarının düzensizliği karşısında içine düştüğü derin cehaletten bir türlü kurtulamamıştır. Doğanın düzensiz, kesintili ve gelişi güzel yanı, bunlar bilimin gözünde birer muamma, daha da kötüsü birer hilkat garibesi olagelmiştir”.

Tez çalışmasında bilimsel anlamda incelediğimiz ve kullandığımız kaos kavramı zaman içinde çeşitli şekillerde tanımlanmıştır. Bu tanımların bir kısmı aşağıda yer almaktadır:

- Rassal davranan düzgün geometrik yapıya sahip bir düzen – Lorenz (1963)
- Kurallar tarafından belirlenen kuralsız davranış – Stewart (1989)
- Rassal görünümlü doğrusal olmayan deterministik bir süreç – Hsieh (1991)
- Periyodu olmayan davranış – Kosko (1993)
- Genelde doğada ve insan topluluklarında görülen, iyi tanımlanmış, doğrusal olmayan geri beslemelerin yarattığı düzgün olmayan davranış – Stacey (1993)
- Basit ve iyi tanımlanmış bazı sistemlerin gösterdikleri karmaşık ve düzensiz davranıştır – Hilborn (2000)

Tanımlar bir arada ele alındığında kaotik hareketlerin düzensiz, karmaşık ve doğrusal olmayan sistemlerde görüldüğü söylenebilir.

Kaos teorisi, Edward Lorenz'in 1963 makale çalışması ile keşfedilmiş olsa da, temelleri ilk olarak Poincare (1903) tarafından ortaya atılmıştır. Poincare "Bilim ve Yöntemler" adlı kitabında, çok değişkenli sistemlerin çözümlerinin olmadığını ve bu durumun sistemlerde öngörüye izin vermeyeceğini ifade etmiştir. 1950'li yıllardan itibaren yüksek hızlı bilgisayarların keşfi ile birlikte doğrusal olmayan denklem sistemlerinin çözümleri mümkün hale gelmiş ve Lorenz'in 1963'te keşfettiği tuhaf çekiçlere kadar uygulamalar sürmüştür. Lorenz (1963) hava durumu tahmin modeli yaptığı çalışmasında, doğrusal olmayan üç meteorolojik değişken olan sıcaklık, basınç ve rüzgârın hızı arasındaki ilişkileri incelemiştir. Elde ettiği sonuçları 1963'te "Determinist Periyodik Olmayan Akış" isimli makalesinde yayınlamıştır. Başlangıç koşullarındaki çok küçük değişimlerin bile karmaşık değişkenlere ve tahmini imkansız tepkimelere neden olduğunu bulmuştur. Daha sonra Ruelle ve Takens (1971)'de "Türbülansın Doğası Üzerine" isimli makaleleriyle kaos teorisinin gelişimini hızlandırmışlardır. Türbülansla ilgili bir dizi döngünün periyodik olmayan, kendini asla tekrar etmeyen ve kendisiyle asla kesişmeyen bir yapıya sahip olduğunu keşfetmiştir. Birkaç yıl sonra May (1976), kaos teorisinin biçimlenmesinde önemli rol oynayarak hayvan nüfusu dinamikleri üzerine öncü çalışmalar yapmıştır. May, avcı-av nüfuslarını incelemiş ve doğrusal olmayan geri beslemeli kuvvetlerin hayvan nüfusunda rastlantısal değişimlere neden olduğunu bulmuştur (Sardar ve Abrams, 2014:62). Nicolis ve Prigogine (1977)'in yitirgen yapılar üzerine yaptığı çalışmalarla Kimya dalında Nobel Ödülü kazanmıştır. Nicolis ve Prigogine yitirgen

sistemler ile ilgili çalışmasıyla gerçeğin büyük kısmının kararlı olmadığı, düzensizlik ve değişimle dolu olduğunu bulmuştur. Diğer bir ifadeyle, sistemlerin düzensizlikten düzene doğru dönüşüm geçirdiğini keşfetmiştir. Mandelbrot (1977) tarafından yayınlanan "Doğanın Fraktal Geometrisi" adlı eserinde, fraktal geometriyi tanıtmıştır. Mandelbrot, dağların konilere, yıldırımların düz çizgilere, kıyı şeritlerinin eğrilere, bulutların dairelere benzemediğine vurgu yaparak, doğayı anlamak için yeni bir geometriye ihtiyacımız olduğunu ifade etmiştir. Feigenbaum (1978) ise kaosu doğrusal olmayan sistemlerin oluşturduğu evrensel bir yapı olduğunu ve gerçek dünyada pek çok olayda var olduğuna dair ilk teorik kanıtı göstermiştir.

Grassberger ve Procaccia (1983) korelasyon integralleri yardımıyla sistemin doğrusal olmayan yapısının incelenmesini imkan veren hesaplamaları tanıtmıştır. Wolf vd. (1985), direkt hesaplama yöntemi ile başlangıç durumlarına hassas bağıllık özelliğini ortaya koymak amacıyla en büyük Lyapunov üstellerini tanıtmışlardır. Nychka vd. (1992), Jacobian tabanlı matris hesaplama yöntemi kullanılarak yapay sinir ağına uydurulan bir model ile başlangıç durumlarına hassas bağıllık özelliğini Lyapunov üstelleri ile inceleyen çalışmasını yayınlamıştır. Brock (1986) kaos teorisini iktisat alanında makro ekonomik verilere uygularken, Hsieh (1991) ise finansal piyasalara uygulamıştır.

2.5. Kaotik Serilerin Temel Özellikleri

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

- 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.

Kaotik yapının sahip olduğu temel özellikler doğrusal olmayan dinamik sistemlerde görülmesi, başlangıç durumuna hassasiyet ve fraktal yapıya sahip olmalarıdır. Şimdi bu özellikler sırasıyla alt bölüm 2.5.1, 2.5.2 ve 2.5.3'te açıklanacaktır.

2.5.1. Doğrusal Olmama

Kaotik yapı doğrusal olmayan dinamik sistemlerde görülür fakat her doğrusal olmayan yapı kaotik demek anlamına gelmez. Bu bağlamda bir sistemin kaotik yapıya diğer bir ifadeyle başlangıç durumlarına hassas bağımlı olabilmesi için doğrusal olmama (nonlinearity) ön koşuldur.

Kaos deterministik sistemde düzensiz ve görünüşe göre rassal olan oluşumdur. Fakat deterministik sistem tahmin edilebilir bir yapıya sahip olduğundan bu durum mantıksız görünür. Doğrusal olmayan yapı, incelenen sistemdeki deterministik kuralları değiştirerek olacak olanı öngörmeyi imkansızlaştırır (Sardar ve Abrams, 2014:16).

Gerçek hayatta değişkenler arasındaki ilişkiler doğrusal olmayan bir yapıya sahiptir. Örneğin hisse senedi piyasalarının 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. Hsieh (1991) çalışmasında ise serilerdeki doğrusal olmamanın nedenini; doğrusal bağımlılık¹ (linear dependence), durağan olmama, kaos ve doğrusal olmayan stokastik süreçlerden birinden kaynaklanabileceğini ifade etmiştir.

2.5.2. 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, “ABD'nin çeyrek puanlık faiz arttırımı, Türkiye'de dolar kurunu yüzde 20 arttırabilir. Meksika'da ortaya çıkan küçük bir finansal hareketlenme, Asya'da büyük bir kriz çıkartabilir. Romanya'da bir Türk bankasının iştiraki olan bir banka batarsa Türkiye çok ciddi bir finansal krizin içine girebilir” (Uygur, 2001). 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.

2.5.3. Fraktallık

Kaotik serilerin son özelliği ise fraktal yapıya sahip olmasıdır. Fraktal kavramı ilk kez Mandelbrot tarafından 1977 yılında yayınlamış olduğu “Doğanın Fraktal Geometrisi” isimli kitabında kullanılmıştır. Fraktal terimi parçalı ya da kırıklı anlamına gelen Latince fractus sözcüğünden türetilmiştir.

Fraktallar, Öklid geometrisindeki üçgenler, kareler, daireler, dikdörtgenler gibi basit şekillerden çok sıradışı şekillerden oluşur. Fraktallar, Öklid'in şekillerinin aksine düzenli değildirler. Öncelikle, bütünüyle düzensizdirler. İkinci olarak, farklı ölçeklerde aynı dereceden düzensizliğe sahiptirler.

Fraktallar, kesin bir tanımlaması olmayan şekillerin hesaplanması içinde kullanılır. Örneğin bir nesnedeki pürüzler, kırıklar ve bozukluklar gibi (Sardar ve

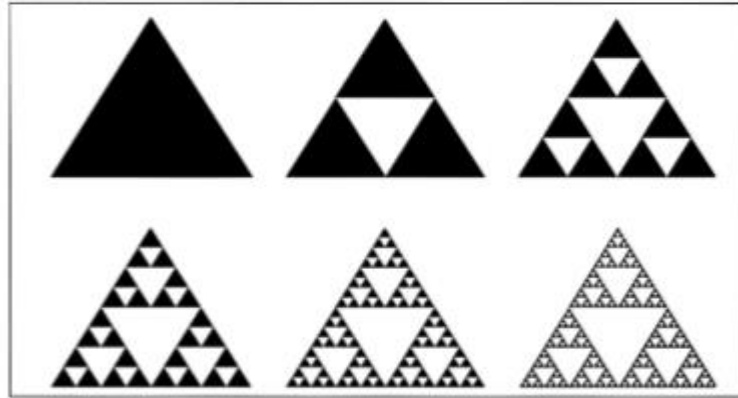
¹ Serideki geçmiş gözlem değerlerinin mevcut değerler üzerindeki etkisi.

Abrams, 2014:34). Fraktallar doğada kar tanesi, kıyı şeritleri, ağaçlar, dağlar, yapraklar, yıldırımlar, kan damarları, nöronlar gibi birçok yapıda görülür. Fraktal nesnelere uzaktan da yakından da bakıldığında aynı görüntü elde edilir. Bu durum kendine benzerlik özelliği ile açıklanır.

Fraktallığın iki önemli parametresi vardır. Bunlar kendine benzerlik ve fraktal boyuttur.

2.5.3.1. Kendine Benzerlik

Kendine benzerlik (self-similarity), fraktal sistemin bütün alt sistemlerinin ana sistemle birebir aynılıkta oldukları anlamına gelir. Fraktal bir üçgende bulunan her bir küçük yapı itibari ile büyük üçgenle aynıdır (Sardar ve Abrams, 2014:35). Bu durum Şekil 2.3'de gösterilmiştir.

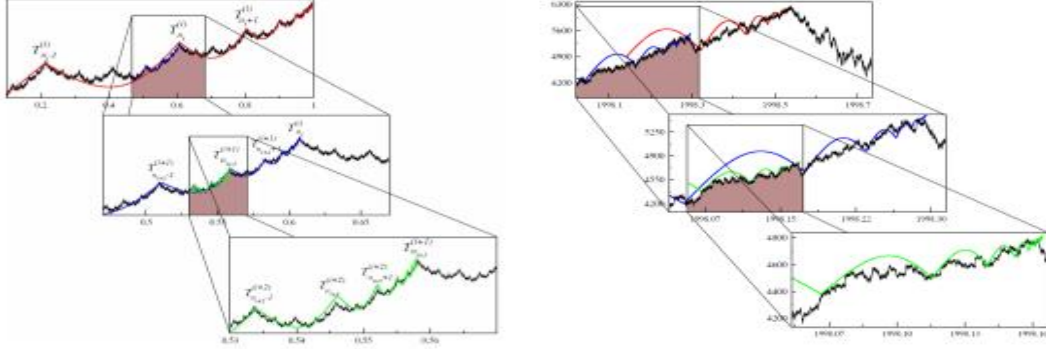


Şekil 2.3. Sierpinski üçgeni (Peitgen vd., 2004:77)

Fraktal bir yapıya sahip geometrik örüntüler farklı ölçeklerde kendi kendilerini tekrar ederler. Şekil 2.3'de gösterilen küçük parçalar büyütüldüğünde, bu parçaların büyük şekle büyük oranda benzediği görülür. Örneğin yapraklardaki damarlar dallara benzer, dallar ağaçlara, kayalar ise küçük dağlara benzerler. Cismin boyutları değiştiğinde niteliksel anlamda bir değişiklik olmaz (Peters, 1991:52-53; Addison, 1997:3-4). Dolayısı ile fraktal yapılar kendilerine benzerdir.

Finansal piyasaların fraktal yapısına yönelik yapılan Oswiecimka (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.



Şekil 2.4. Finansal zaman serilerinin kendine benzerliği (Oswiecimka vd., 2010)

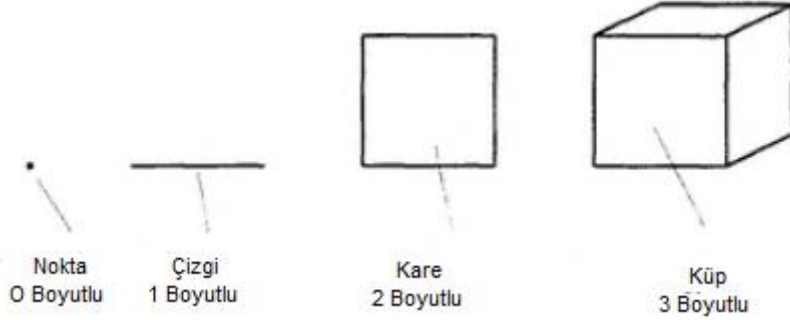
Şekil 2.4'de bir zaman serisinin farklı zaman ölçeğinde alınmış bir kesiti görülmektedir. Elde edilen serilerin benzer görüntüler sergilediği ve serilerin kendine benzerlik özelliğine sahip olduğunu göstermektedir. Fraktal yapılar parçaların bütünüyle benzerlik göstermesi nedeniyle, finansal piyasalardaki yatırımcılara fiyat davranışları ile ilgili bilgiler sunabilir (Mandelbrot, 1963). Fraktallar finansal piyasalara ilk kez 1960'larda New York'taki IBM araştırma merkezinde çalışan Mandelbrot tarafından uygulanmıştır. Mandelbrot pamuk fiyat değişimlerinin farklı zaman ölçeklerinde benzer olduğunu yani fraktal bir süreç izlediğini bulmuştur.

2.5.3.2. Fraktal Boyut

Fraktal boyut (fractal dimension), bir nesnenin karmaşıklığının ölçülmesine izin verir. Çoğu nesnenin gerçek boyutu düzensizdir ve tam sayı olan bir, iki ve üç boyutlu sınıflandırmaya uymazlar (Peitgen vd., 2004:192).

Fraktal boyut ile kendine benzerlik arasında önemli bir ilişki vardır. Bu ilişki şu örnekle açıklanabilir. Nesne tarafından kaplanan uzayı dikkate alan Öklid geometrisinde bir doğru parçası tek boyutludur. N eşit parçaya bölünerek $r = 1/N$ oranında küçültülebilir. Kare gibi iki boyutlu bir obje de $r = 1/\sqrt{N}$ oranında küçültürerek kendine benzeyen N eşit parçaya bölünebilir. Üç boyutlu bir küp ise $r =$

$1/\sqrt[3]{N}$ oranında küçülterek N eşit küpe bölünebilir. Tam sayı boyutuna sahip nesnelerin boyutları Şekil 2.5'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Nesnelerin Tam Sayı Boyutları (Addison, 1997:11)

Genelleştirme yapılacak olursa, D boyutlu kendine benzeyen bir nesne $r = 1/\sqrt[3]{N}$ oranında küçültülerek N tane kendisinin küçük bir kopyası elde edilebilir (Addison, 1997:10-11). Buradan D tek başına bırakılırsa,

$$N = 1/r^D \Rightarrow D = \frac{\log(N)}{\log(1/r)} \quad (2.7)$$

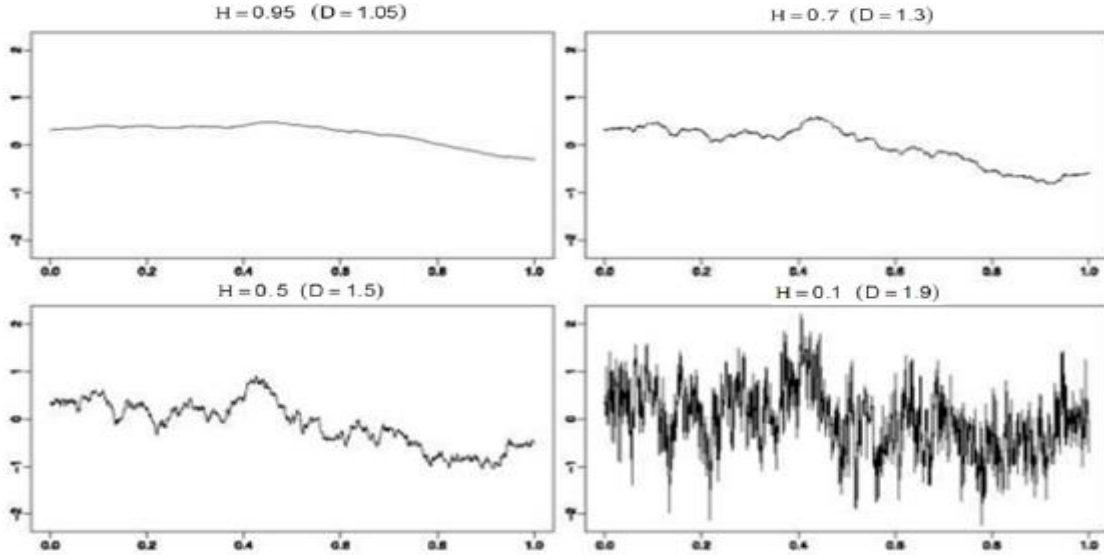
elde edilir. Bu şekilde elde edilen D , fraktal boyut olarak adlandırılır. Fraktal boyut, Öklid boyutundan farklı olarak kesirli değerler alır. İncelenen şeklin ya da örüntünün boyutunun kesirli değerler alması onun fraktal bir yapıya, diğer bir ifadeyle kaotik bir yapıya sahip olabileceğini gösterir.

Kendine benzer bir süreç için fraktal boyut uzun hafıza ile ilişkilidir. Şekil 2.6'da gösterildiği gibi bu ilişki $D + H = 2$ şeklinde yazılabilir. Burada H uzun hafıza parametresi olan Hurst üsteli değerini göstermektedir².

1960'lı yıllardan itibaren fraktal boyut araştırmaları hisse senedi piyasalarında kullanılmaya başlanmıştır. Bir zaman serisinin fraktal boyutu (D) 1 ile 2 aralığında değerler alır. Şekil 2.6'da gösterildiği üzere fraktal boyut 1.5 ile 2 aralığında ise zaman serisi rassal yürüyüşten daha pürüzlü (kırıklı) yapıdadır. Fraktal boyut 1.5 değerine eşit ise zaman serisinin rassal yürüyüş izlediği ifade edilir.

² Hurst üsteli, Bölüm 3'te dönüştürülmüş genişlik (R/S) analizi yönteminin anlatıldığı alt Bölüm 3.6.1'de yer verilmiştir.

Fraktal boyut 1 ile 1.5 aralığında ise zaman serisinin düz bir çizgi ile rassal yürüyüş arasında bir yerde bulunduğu anlamına gelir (Peters, 1994:17).



Şekil 2.6. Fraktal boyutun serilerdeki görünümü (Gneiting vd.,2012)

2.6. Kaos Teorisinin Finansal Piyasalara Uygulanması

Kaos teorisi, hisse senedi fiyatlarının düzensiz 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 (Lorenz, 1963).

Kaos, doğrusal olmayan dinamikler ve fraktallar ile finansal varlık fiyatları arasındaki etkileşimi Larrain (1991) şu şekilde açıklamıştır:

- i. “Gelecekteki fiyatların geçmiş fiyatlara olduğu kadar ekonomik faktörlere de bağlı olduğununun sistematik bir şekilde gösterilmesi, finansal varlık fiyatlarının teknik ve temel analizleri ile uyum sağlamaktadır. Ekonomik

faktörler bazen geçmiş fiyat değerlerinden daha önemlidir; diğer zamanlarda ise geçmiş fiyat değerleri ekonomideki gelişmelerden daha etkilidir.

- ii. Kaos matematiği, finansal varlık fiyatlamasının 'rassal yürüyüş' hipotezine kuşkuyla yaklaşır. Rassal yürüyüş hipotezi, geçmiş fiyat değerlerinden hareketle gelecek fiyat değerlerinin tahmin edilemeyeceğini belirtir, çünkü geçmiş ve gelecek fiyat değişikliklerinin ilişkisi rassaldır. Doğrusal olmayan dinamiklere dayanan bir analiz, rassal yürüyüş hipotezinin kanıtı olarak kullanılan bazı istatistikleri çürütebilir.
- iii. Doğrusal olmayan dinamikler uzun dönemli öngörünün çok zor olduğunu fakat kısa dönemli öngörünün olanaklı olduğunu göstermektedir.
- iv. Doğrusal olmayan analizler, etkin piyasaların bugünün finansal ortamına uygun olmayan bir tanımlaması olduğunu göstermektedir. Piyasalar bunun yerine çeşitli derecelerde verimsizlik yaşarlar. Bu durum trend analizi, değer odaklı yatırımı, taktiksel varlık tahsisi ve piyasa zamanlaması da dahil olmak üzere çeşitli yatırım stratejilerinin teorik olarak doğrulanmasına kapı açmaktadır. Bütün bu stratejiler, piyasa momentumuna ve kısa vadeli tahmine bağlıdır ve her ikisi de doğrusal olmayan dinamikler içindir.
- v. Doğrusal olmayan dinamikler, sistemin düzenli olarak düzensizliğe girdiğini söyler. Eğer sistemin düzensizliğe girme aralığı bilinirse, düzensizliğin gelecekteki gelişimi hakkında bilgi elde edilebilir”.

Finansal piyasalarda yatırım kararlarının verilmesi sürecinde, piyasa hareketlerinin ve getirinin öngörülmesi amacı ile ARCH ailesi modelleri kullanılmaya başlanmıştır. Son dönemde ise, bunlar arasında finansal piyasaların, özellikle hisse senedi piyasalarının kaotik dinamikler tarafından karakterize edildiğini destekleyen yöntem ve modeller ön plana çıkmaya başlamıştır (Hsieh, 1991; Özdemir ve Akgül, 2014).

2.7. Etkin Piyasa Hipotezi

Etkin piyasa hipotezi (EPH), Fama'nın 1970 yılında "Etkin Sermaye Piyasaları: Teori ve Ampirik Çalışma Üzerine Bir İnceleme" isimli çalışması ile tanıtılmıştır. Fama (1970) göre etkin piyasa; "Oldukça geniş ve rasyonel bir yatırımcı kitlesinin kar maksimizasyonu için birbirleri ile rekabet halinde olduğu ve bilginin herkes tarafından kolay ulaşılabilir olduğu bir piyasa" şeklinde tanımlanmıştır.

Fama (1970) tarafından geliştirilen 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, bu koşullarda yatırımcıların mevcut bilgileri kullanarak normalüstü bir kazanç elde edemeyecekleri görüşü savunulmaktadır.

Etkin bir piyasada finansal varlığın ulaşılabilir tüm bilgileri yansıtması genel bir varsayımdır. Etkin bir piyasada fiyatların oluşum süreçleri rassal yürüyüş hipotezi (random walk hypothesis) ile açıklanmaktadır. Rassal bir yürüyüş süreci matematiksel olarak aşağıdaki gibi gösterilir (Enders, 2010:184):

$$\begin{aligned} y_t &= y_{t-1} + \varepsilon_t \\ \Delta y_t &= \varepsilon_t \quad \varepsilon_t \sim IID(0, \sigma^2) \end{aligned} \quad (2.8)$$

Rassal yürüyüş hipotezinde, geçmiş fiyat hareketlerinin bugünkü ve gelecekteki fiyat hareketlerinden ilişkisiz olduğu kabul edilmektedir. Bu durum, $E(y_t) = E(y_{t-1})$, $E(\varepsilon_t) = 0$, $E(\varepsilon_t, \varepsilon_s) = 0$; $t \neq s$ şeklinde ifade edilir. Bundan dolayı, geçmiş fiyat hareketlerinden hareketle gelecek fiyat hareketleri tahmin edilemez.

EPH'ni Fama (1970) tarafından üç farklı seviyede bahsetmiştir. Bunları zayıf formda piyasa etkinliği, yarı güçlü formda piyasa etkinliği ve güçlü formda piyasa etkinliği olarak tanımlamıştır.

2.7.1. Zayıf Formda Piyasa Etkinliği

Zayıf formda piyasa etkinliğini, bir finansal varlığın geçmişine ait tüm bilgileri içerdiğini, yani bilgilerin tamamen finansal varlığın fiyatına yansıdağı varsayılmaktadır (Fama, 1970). Dolayısıyla geçmiş fiyat bilgilerini analiz ederek, normalüstü kar elde etmek mümkün değildir. Ancak finansal ekonometride kullanılan teknik analiz yöntemleri, geçmiş fiyat hareketlerinin davranışlarını araştırarak gelecek dönemdeki fiyat hareketlerini öngörme abaları EPH hakkında kuşkuya yol açmaktadır. Geçmiş fiyat verilerini kullanarak gelecekteki fiyat değerlerinin öngörülmesinin mümkün olmadığı zayıf formdaki etkin piyasalarda, fiyatlar tüm geçmiş bilgileri içerdiğinden teknik analizin geçersiz olması gerekir. nk finansal varlık fiyatı, piyasaya gelen bilgilerin farklı şekillerde değerlendirilmesi sonucu oluşur ve buna göre fiyat hareketleri rassal özellik sergiler.

Zayıf formda etkin bir piyasada fiyat hareketlerinin tamamen rassal olarak oluştuğu ve geçmiş ve cari dönem fiyatlarının birbirinden bağımsız olduğu varsayılır. Bu durum zayıf formda etkin bir piyasada fiyat hareketlerinin rassal yürüyüş sürecine uygun olduğu sonucuna götürür. Diğer bir ifadeyle zayıf formda piyasa formunun geçerli olup olmaması rassal yürüyüş hipotezinin test edilmesi sonucu ortaya çıkar.

2.7.2. Yarı Güçlü Formda Piyasa Etkinliği

Yarı güçlü formda piyasa etkinliğinde, piyasadaki herkes tarafından ulaşılabilen tüm bilgilerin hisse senedi fiyatına yansıdağını, piyasaya yeni bir bilgi geldiğinde anında fiyatlara yansıyacağı görüşü savunulur. Bu durumda yarı güçlü formda piyasa etkinliği, zayıf formda piyasa etkinliğini de kapsadığı görülmektedir. Zayıf formda piyasa etkinliği, finansal varlığa ait tüm geçmiş piyasa bilgilerini içerirken; yarı güçlü formda piyasa etkinliği ise bu bilgilerin yanında piyasa dışı herkese açık tüm bilgileri içermektedir. Bu bilgiler piyasaya ilişkin günlük yayınlar, şirket haberleri, finans uzmanlarının değerlendirmelerinden oluşmaktadır. Sonuç olarak yatırımcıların herkese açık bilgileri kullanarak temel ve teknik analiz yöntemleri ile piyasanın üstünde normalüstü kar elde etmesinin mümkün olmadığı savunulmaktadır.

2.7.3. Güçlü Formda Piyasa Etkinliği

Güçlü formda piyasa etkinliğinde, herkese açık tüm bilgiler ile şirkete özgün içeriden sağlanan tüm bilgilerin hisse senedi fiyatlarına yansıdığı görüşü savunulmaktadır. Bu durumda güçlü formda piyasa etkinliği, kendinden önceki bütün etkinlik seviyelerini de kapsadığı görülmektedir. Ancak ortak ve yönetici oldukları şirketlere yatırım yapan kişiler, yönetmiş oldukları şirketlerin içerisinden bilgileri elde ettikleri için bu yatırımcılar şirket hisselerinin fiyatları yükselmeden alacaklarını veya olumsuz bir bilgi olması durumunda ise şirket hisse fiyatları düşmeden hisseleri ellerinden çıkaracakları varsayılır. Yapılan bu işlemle şirketi yöneten yatırımcılar normalüstü bir kazanç elde edebiliyorlarsa piyasanın güçlü formda etkin olmadığı sonucuna ulaşılır. Diğer taraftan piyasa güçlü formda etkin ise, şirket içerisinden alınan bilginin ekonomik bir değeri olmayacak ve bu bilgilere sahip kişilerin piyasada normalüstü kar elde etmesi mümkün olmayacaktır.

2.8. Etkin Piyasa Hipotezine Getirilen Eleştiriler

EPH, yıllardır finans literatüründe geniş bir şekilde ele alınsa da zamanla eksik yönleri birçok çalışma ile gösterilmiştir. Bu çalışmalardan bazıları; Basu (1977), Barkoulas ve Travlos (1998), Timmermann ve Granger (2004), Gil-Alana (2006), Cajueiro ve Tabak (2006), Assaf (2007), Borges (2010), Westerlund ve Narayan (2013), Mobarek ve Fiorante (2014), Urquhart ve McGroarty (2016)'dir. EPH'ne yönelik eleştiriler fiyat serilerinin rassal yürüyüş izlemediği, fiyat hareketlerinde belli bir düzen (pattern) bulunduğu, şirket değerlerinin hisse fiyatları hakkında bazı bilgiler verdiği ve yatırımcıların rasyonel davranmadığı yönündedir. Hisse senedi getirilerinin normal bir dağılım izlediği varsayımı da, EPH'ne yapılan eleştirilerden biridir. Yapılan çalışmalar, hisse senedi getirilerinin normal dağılmadığını, genelde getirilerin leptokörtik bir dağılım sergilediği gösterilmiştir³. Başka bir eleştiride piyasada oluşan balonlar ve peşinden gelen hızlı fiyat çöküşleridir. Piyasalarda bu gibi davranışlar hisse senedi fiyatlarını çok kısa bir süre içerisinde gerçek değerinin altına düşerebileceği bilinmektedir. Case vd. (2005) çalışmalarında, ABD'deki konut fiyatlarındaki anormal fiyat yükselişlerine dikkat

³ Leptokörtik dağılım Bölüm 3.1'de detaylıca ele alınmıştır.

çekmiş ve finans literatüründe olmayan balon kavramını gündeme getirmişlerdir. EPH'ne göre bir piyasada fiyatları yüksek bulanların ya o piyasadan hemen çıkmaları ya da açığa satış yoluyla fiyatı düşürmeleri gerekir (Erdem, 2015). EPH'ne getirilen bu eleştirilere yönelik ekonomistler ve finansçılar tarafından son yıllarda alternatif yeni teoriler ortaya atılmıştır. Bu teorilerden bazıları kaos teorisi ve fraktal piyasa hipotezidir. Bir sonraki başlıkta bu yeni teorilerin birbirleri ile olan ilişkisine yer verilmiştir.

2.9. Kaos Teorisi ve Fraktal Piyasa Hipotezi

EPH'ne getirilen eleştirilerden hareketle alternatif bir teori olarak geliştirilen Fraktal Piyasa Hipotezi (FPH), Mandelbrot'un fraktal teorisinden hareketle Peters (1991) tarafından tanıtılmıştır. Peters (1991)'e göre fraktal yapılar piyasanın yapısını yani doğrusal olmayan kaotik yapısını ortaya koyabilmek için doğru araçlar olduğunu ifade etmiştir. FPH, EPH çerçevesinden sınırlandırılan yatırım hacimleri ve piyasaların likiditesi üzerine odaklanmaktadır. FPH'nin amacı, kriz ve panik dönemlerinde yatırımcı davranışını açıklamaktır. FPH piyasaları; doğrusal olmayan, öngörülebilirliği mümkün olan, kesirli fraktal boyutlar ile dinamik sistemler olarak tanımlanmaktadır. Bu hipotez, fiyat değişiminin boyutunun, kesirli ya da tamsayı olarak 1-2 aralığında değişmesine imkan vermektedir.

Peters (1994:44) tarafından "Fraktal Piyasa Analizi: Kaos Teorisinin Yatırım ve Ekonomiye Uygulanması" isimli kitabında FPH için 5 temel varsayım ileri sürmüştür. Bu varsayımlar;

- i. Piyasalar çok sayıda farklı yatırım ufuklarına⁴ sahip yatırımcılardan oluşur. Bu durum hisse senedi alıp-satan kişilere (traders) bol miktarda likiditeye sahip olmasını sağlar.
- ii. Bilgi, farklı yatırım ufuklarında farklı etkiye sahiptir. Yatırım ufku artarken, uzun vadeli temel bilgiler hakimdir. Dolayısıyla, fiyat değişiklikleri yatırım ufku için yalnızca önemli olan bilgileri yansıtır olabilir.

⁴ Yatırım ufku, bir yatırımcının varlıklarını almasını beklediği süre olarak tanımlanmaktadır.

- iii. Temel bilgilerin geçerliliğini sorgulayan bir olay ortaya çıkarsa, uzun vadeli yatırımcılar piyasadaki katılımı durdurur veya kısa süreli bilgi setine dayanarak hisse alım-satımına başlarlar. Piyasanın genel yatırım ufku eşit seviyeye indiğinde, piyasa istikrarsız hale gelir. Kısa vadeli yatırımcılara likidite sağlayarak piyasayı istikrara kavuşturacak uzun vadeli yatırımcılar mevcut değildir.
- iv. Fiyatlar, kısa vadeli teknik işlem ve uzun vadeli temel değerlemelerin bir bileşimini yansıtmaktadır. Bu nedenle, kısa vadeli fiyatın uzun vadeliye göre daha volatil olması olasıdır. Piyasadaki temel trend, değişen ekonomik ortama bağlı olarak beklenen kazançlardaki değişimleri yansıtmaktadır. Kısa dönemli trendler, sürü davranışının bir sonucudur. Kısa dönemli trendlerin uzunluğu, uzun dönemli ekonomik trendle ilişkili olduğuna inanmak için hiçbir neden yoktur.
- v. Eğer bir menkul kıymet ekonomik döngü ile bağlantılı değilse, uzun dönemli bir trend olmayacaktır. Alım-satım, likidite ve kısa dönemli bilgiler belirleyici unsurlar olacaktır.

FPH, bilginin yatırımcının yatırım ufkuna göre değerlendirildiğini belirten EPH'den ayrılır. Bu durum bilginin yayılmasının eşitsiz olacağını göstermektedir. Fiyatlar, mevcut tüm bilgileri yansıtmayabilir, yalnızca o yatırım ufku için önemli olan bilgileri içerebilir.

Etkin piyasalardan, fraktal piyasalara geçişin farklılıkları aşağıdaki Çizelge 2.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.1. EPH ile FPH'nin Karşılaştırılması (Velasquez, 2009:35)

	Etkin Piyasa Hipotezi	Fraktal Piyasa Hipotezi
Odak	Piyasanın etkinliğine ve finansal varlıkların adil değerlendirilmesine odaklıdır.	Piyasa likiditesine odaklıdır.
Piyasa	Piyasa dengededir.	Her bir yatırım ufku farklı denge durumlarına sahip olduğu için piyasa tek bir denge durumuna gelemmez.
Normal dağılımın geçerliliği	Değişkenler normal dağılmaktadır.	Değişkenlerin dağılımları sivri ve şişman kuyrukludur. Bu durum piyasadaki sürekli olmayan fiyat artışların kaynaklanmaktadır. Ayrıca, büyük fiyat değişiklikleri az olduğu için varyans sonsuzdur.
Piyasa hafızası ve döngüler	Piyasalar rassal davranır, böylece geçmiş olayların hiçbir etkisi yoktur. Yarının olası fiyatının en iyi tahmini bugünün fiyatı artı rassal terimdir.	Sistemin yolunun belirlenmesinde geçmiş önemli bir rol oynamaktadır. Gerçekte, piyasa fraktal bir yapı ve ekonomik döngülere bağlı deterministik bir düzen sergiler. Bu nedenle öngörü kısa dönem için mümkündür.

Bu bölümde dinamik sistemler, kaos teorisi ile açıklanan kavramların matematiksel tanımlamaları, kaotik serilerin özellikleri, etkin piyasa hipotezi ve kaos teorisine dayanan fraktal piyasa hipotezi açıklanmıştır. Bir sonraki bölümde kaotik yapının tespitine yönelik ekonometrik ve istatistikî yöntemler ile devam edilecektir.

3. FİNANSAL ZAMAN SERİLERİNDE KAOSUN EKONOMETRİK VE İSTATİSTİKİ YÖNTEMLERLE TESPİTİ

Finans teorisinde yöntem, fen bilimlerindeki gibi deney yapmaktan ziyade tarihsel verilerden faydalanılması yönündedir. Bu maksatla uygulamada zaman serileri analizine dayalı yöntemler daha yaygın bir şekilde kullanılır. Kaotik yapının ortaya çıkarılmasında da geçmiş fiyat hareketlerini analiz eden istatistiksel yöntemlerden yararlanıldığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle finans alanında doğrusal olmayan zaman serisi modellerinin kullanılması yaygındır.

Kaotik bir yapıdan bahsedilebilmesi için incelenen sistemlerin, bu çalışma özelinde finansal piyasaların bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu özellikler doğrusal olmama, başlangıç durumlarına hassas bağlılık ve fraktallık özellikleridir. Ancak bu özellikler bir arada bulunuyorsa, sistemin kaotik bir yapıya sahip olduğu söylenebilir.

Tezin bu bölümü şu şekilde organize edilmiştir: Öncelikle Bölüm 3.1'de finansal zaman serilerinin sahip olduğu özellikler açıklanmıştır. Bölüm 3.2'de doğrusal zaman serisi modellerinden ARMA (p,q) modeli tanıtılmıştır. Bölüm 3.3'de doğrusal olmayan zaman serisi modellerinden ARCH (p), GARCH(p,q) ve EGARCH (p,q) modelleri açıklanmıştır. Bölüm 3.4'de doğrusal olmama testlerinden BDS testi ve Hinich Bispectrum testleri tanıtılmıştır. Bölüm 3.5'de kaosun varlığının tespitine yönelik testler olan korelasyon boyutu analizi ve en büyük Lyapunov üsteli anlatılmıştır. Bölüm 3.6'da fraktal yapının belirlenmesi ve ölçümüne yönelik testlerden R/S analizi, modifiye edilmiş GPH testi ve kutu sayım yöntemi açıklanmıştır.

3.1. Finansal Zaman Serilerinin Temel Özellikleri

Finansal zaman serileri genel olarak aşırı sivrilik (excess sharpness), oynaklık kümelenmesi (volatility clustering), asimetri etkisi (asymmetry effect), rassal yürüyüş (random walk) ve durağan olmama (nonstationary) gibi özelliklere sahip olabilirler. Finansal zaman serilerinin sahip olduğu bu özellikler aşağıda kısaca tanıtılmıştır.

Aşırı Sivrilik: Finansal zaman serileri genelde şişman kuyruklu (fat-tailed) ve aşırı sivrilik özelliği göstermesi nedeniyle normal dağılımdan uzak bir dağılım sergilemektedir. Bunlar;

- Finansal zaman serilerinin şişman kuyruklu olması, serilerde aşırı ve büyük dalgalanmaların olduğu dönemlere karşılık gelmektedir.
- Aşırı sivrilik ise finansal zaman serilerindeki uç değerlerin daha büyük olasılıkla beklediğini göstermektedir. Serilerdeki uç değerler, oynaklığın büyük olduğu dönemlere karşılık gelmektedir.

Bu iki özelliğe sahip dağılımlar leptokörtik olarak adlandırılmaktadır. Bu nedenle, finansal zaman serileri normal dağılıma göre ortalamada daha sivri ve kuyruklarda daha şişman bir dağılım sergilemektedir. Normal bir dağılım için çarpıklık ve basıklık değerlerinin sırasıyla 0 ve 3 olması beklenir.

Mandelbrot (1963) çalışmasında, pamuk fiyat değişimlerinin dağılımında kuyruklarda, beklenenden daha fazla gözlem sayısı bulunduğunu tespit etmiş ve bu tür davranış gösteren fiyat serilerinin normal dağılıma uymadığını ifade etmiştir.

Oynaklık Kümelenmesi: Finansal piyasalardaki oynaklık dalgalanmaları genellikle birbirini takip etmekte, büyük hareketleri büyük hareketler, küçük hareketleri ise yine küçük hareketler takip etmektedir. Finansal piyasalarda oluşan söz konusu bu durum, oynaklık kümelenmesi olarak adlandırılmaktadır.

Asimetri Etkisi: Finansal piyasalarda negatif şokların oynaklık üzerindeki etkisinin pozitif şoklara göre daha yüksek olduğu bilinmektedir. Örneğin, ekonomik aktivitenin yavaşladığı dönemlerde finansal varlık fiyatları yüksek oynaklık gösterebilmektedir. Bu durum finansal zaman serilerinin davranışlarındaki asimetri etkisinin özel bir hali olan kaldıraç etkisinin (leverage effect) varlığını göstermektedir. Kaldıraç etkisinde, piyasaya gelen olumsuz bir haberin olumlu bir habere göre finansal varlıkların oynaklığı üzerinde daha fazla etkili olduğu ileri sürülür.

Rassal yürüyüş süreci: Finansal zaman serilerinin birçoğu hisse senedi fiyatları, finansal varlık getirileri, döviz kurları v.s. rassal yürüyüş özelliği gösterir ve bu seriler belli bir yönü olmayan hareketler sergilemektedirler. Rassal yürüyüş süreci, birim kök sürecinin önemli bir örneğini teşkil etmektedir (Enders, 2010:184):

$$\begin{aligned} y_t &= y_{t-1} + \varepsilon_t \\ \Delta y_t &= \varepsilon_t \quad \varepsilon_t \sim IID(0, \sigma^2) \end{aligned} \quad (3.1)$$

EPH, hisse senedi fiyat hareketlerinin rassal yürüyüş hipotezine dayandırmaktadır. Burada ε_t , bağımsız ve özdeş dağılım (*iid*) sergiler. İncelenen zaman serisi *iid* özelliğine sahip değilse; örneğin hisse senedi fiyatları geçmiş dönem fiyat hareketlerinden, gelecek fiyat hareketlerini öngörmek mümkün olacak ve normalüstü karlar söz konusu olabilecektir. Bu durum EPH'nin geçerli olmadığı anlamına gelecektir. Ayrıca incelenen finansal serinin *iid* özelliğine sahip olması, doğrusallık özelliği gösterdiği anlamına da gelebilir (Brock vd. 1996; Brooks, 2008:573).

Durağan olmama: Finansal zaman serilerinin kullanıldığı ekonometrik yöntemlerin birçoğunda, serilerin durağan olduğu varsayılmaktadır. Rassal değişkenlerin durağanlığı ve bağımsızlığı yakından ilişkilidir, çünkü bağımsız rassal değişkenler için verilen birçok teori, bağımsızlığın gerekli bir koşul olduğu durağan zaman serileri içinde varsayılır. Bu yöntemlerin çoğu rassal değişkenlerin bağımsız (ilişkisiz) olduğunu varsayar. Durağanlık, serilerin ortalaması, varyansı ve kovaryansının zamandan bağımsız olması durumudur. Bu durum zayıf durağanlık veya kovaryans durağanlık olarak da adlandırılır. Güçlü durağanlık ise kovaryans durağanlık özellikleri ile birlikte dağılımın zaman içinde değişmemesi olarak ifade edilir. Durağan sürecin en bilinen ve en basiti beyaz gürültü (white noise) sürecidir (Enders, 2010:51):

$$\begin{aligned} E(\varepsilon_t) &= E(\varepsilon_{t-1}) = \dots = 0 \\ E(\varepsilon_t^2) &= E(\varepsilon_{t-1}^2) = \dots = \sigma^2 \\ E(\varepsilon_t, \varepsilon_{t-s}) &= E(\varepsilon_{t-j}, \varepsilon_{t-j-s}) = 0 \quad t \neq j \end{aligned} \quad (3.2)$$

Bir zaman serisinin ortalaması sıfır, varyansı sabit ve gözlem değerleri ardışık olarak ilişkisiz (otokovaryansları sıfır) ise, zaman serisi beyaz gürültü sürecine sahiptir (Tsay, 2010:36).

Ancak zaman serileri trend, mevsimsellik, rassal ve konjonktürel dalgalanmalara sahip olabilir. Bu nedenle bu zaman serisi bileşenlerinin analizlerden önce serilerden arındırılması gerekmektedir.

Finansal zaman serilerinin aşırı sivri, oynaklık kümelenmesi, kaldıraç etkisi ve durağan olmama gibi özelliklerden bir veya daha fazlasına sahip olması, incelenen serinin normal dağılıma sahip olmadığı ve doğrusal olmadığına işaret etmektedir. Finansal zaman serilerinin fiyat hareketlerinde doğrusal olmayan dinamiklerin, özellikle kaotik dinamiklerin ortaya çıkarılması için, kaotik yapının varlığının kaos testleri ile test edilmesi gereklidir.

3.2. Doğrusal Zaman Serisi Modelleri

Bu bölümde doğrusal zaman serisi modellerinden Otoregresif Hareketli Ortalama (ARMA) modeli tanıtılmıştır.

3.2.1. ARMA (p,q) Modeli

Zaman serisi analizinde en yaygın olarak kullanılan ARMA modeli, otoregresif AR(p) ve hareketli ortalama MA(q) olmak üzere iki bileşenden oluşur. Hem otoregresif hem de hareketli ortalamalar bileşenini içeren süreç, ARMA (p,q) olarak adlandırılır ve aşağıdaki gibi gösterilir (Brocks, 2008:223-224):

$$y_t = \mu + \varphi_1 y_{t-1} + \dots + \varphi_p y_{t-p} + \theta_1 u_{t-1} + \dots + \theta_q u_{t-q} + u_t \quad (3.3)$$

Eş. 3.3'de gösterilen modelde açıklayıcı değişken olarak bağımlı değişkenin gecikmeli değerleri yanında, hata teriminin cari ve geçmiş değerleri de yer alır. Hata terimi u_t 'nin normal dağılıma sahip *iid* olduğu varsayılır.

ARMA (p,q) modeli gecikme işlemcisi yardımıyla da yazılabilir (Brocks, 2008:224):

$$\varphi(L)y_t = \mu + \theta(L)u_t \quad (3.4)$$

$$\varphi(L) = 1 - \varphi_1L - \varphi_2L^2 - \dots - \varphi_pL^p \quad (3.5)$$

$$\theta(L) = 1 - \theta_1L - \theta_2L^2 - \dots - \theta_qL^q \quad (3.6)$$

MA modelleri her zaman durağan olduğundan ARMA modellerinin durağanlığı AR kısmının durağanlığı ile ilgilidir. ARMA (p,q) modelinin durağan olması,

$$m^p - \varphi_1m^{p-1} - \varphi_2m^{p-2} - \dots - \varphi_p = 0 \quad (3.7)$$

Eş. 3.7'de gösterilen karakteristik denkleminin köklerine bağlıdır. Denklemin bütün kökleri mutlak değerce birden küçük ise model durağandır. Tersine çevrilebilir olabilmesi için ise, Eş. 3.6 ile gösterilen denklemin çarpanlarının sıfıra eşitlenerek köklerinin birden büyük olması gerekir (Akdi, 2012:81-82).

Zaman serisi modellerinin seçiminde, Box-Jenkins yaklaşımı en yaygın kullanılan yöntemdir. Box-Jenkins'in model seçimi için önerdiği iki kriter, modelin en az parametreye sahip olması ve çevrilebilirlik özelliğinin gerçekleşmesidir (Enders, 2010:78). Box-Jenkins yaklaşımı belirleme, tahmin, tanımlayıcı testler ve öngörü olmak üzere dört aşamadan oluşur (Brocks, 2008:224-225).

3.3. Doğrusal Olmayan Zaman Serisi Modelleri

Finansal zaman serilerinin sahip olduğu aşırı sivrilik, oynaklık kümelenmesi, asimetri etkisi gibi özellikleri taşıyan serileri modellemek amacı ile Engle (1982) otoregresif koşullu farklı yayılım (Autoregressive Conditional Heteroskedasticity, ARCH) modelini tanıtmıştır. ARCH modeli daha sonraki yıllarda araştırmacılar tarafından geliştirilerek, ARCH ailesi modelleri olarak adlandırılan bir dizi modellerin ortaya çıkmasına temel oluşturmuştur. Her bir modelin kendine özgü varsayımları, parametre kısıtları ve diğer modellere göre üstün yönleri bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında hisse senedi getirilerini filtreleme amacıyla kullanılan ARCH, GARCH ve EGARCH modelleri tanıtılmıştır.

3.3.1. ARCH (p) Modeli

Engel (1982), ARCH model ile bir serinin koşullu ortalama ve koşullu varyansının eş zamanlı olarak ayrı ayrı modellenmesinin mümkün olduğunu göstermiştir. ARCH modelinde, hata terimi u_t 'ler sıfır ortalama ve u_t 'nin geçmiş karesel değerlerine bağlı σ_t^2 varyansı ile normal dağılımlı olarak modellenir. ARCH modelinin en genel biçimi ARCH(p) modelidir ve aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 u_{t-1}^2 + \dots + \alpha_p u_{t-p}^2 = \sum_{i=1}^p \alpha_i u_{t-i}^2 \quad u_t \sim N(0, \sigma_t^2) \quad (3.8)$$

Eş. 3.8'de σ_t^2 , koşullu varyansı; p , ARCH sürecinin derecesini; $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_p$ modelin bilinmeyen parametrelerini gösterir. Modelin kararlı olabilmesi $\alpha_0 > 0$, $\alpha_i > 0$ ($1 \leq i \leq p$) koşullarının geçerliliğine bağlıdır. Otoregresif parametrelerinin sabit terim hariç toplamlarının birden küçük ise ($\sum_{i=1}^p \alpha_i < 1$) süreç kovaryans (zayıf) durağandır. Bu kısıt ARCH sürecinin kararlılığının sağlanabilmesi için gereklidir. ARCH modelinde pozitif ve negatif şokların, önceki dönem şoklarının karelerine bağlı olmaları sebebiyle oynaklık üzerinde aynı büyüklükteki etkiye yol açtıkları varsayılmaktadır. Başka bir deyişle, pozitif ve negatif şokların etkisi eşittir, böylece model simetriktir.

3.3.2. GARCH (p,q) Modeli

Bollerslev (1986) tarafından tanıtilan genelleştirilmiş otoregresif koşullu farklı yayılım (Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity, GARCH) modeli, koşullu varyansın gecikmeli değerleri yanında, hata teriminin karesinin gecikmeli değerlerini de içeren ARCH modelinin genelleştirilmiş halidir. GARCH(p,q) modeli aşağıdaki gibi yazılır.

$$\begin{aligned} \sigma_t^2 &= \alpha_0 + \alpha_1 u_{t-1}^2 + \dots + \alpha_p u_{t-p}^2 + \phi_1 \sigma_{t-1}^2 + \dots + \phi_q \sigma_{t-q}^2 \\ &= \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i u_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^q \phi_j \sigma_{t-j}^2 \end{aligned} \quad (3.9)$$

Eş. 3.9'da $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_p$ ve $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_q$ modelin bilinmeyen parametreleridir. Koşullu varyans denkleminde yer alan α_i parametreleri ARCH parametresi, ϕ_j ise

GARCH parametresi olarak adlandırılır ve denklemde yer alan parametreler için; $\alpha_0 > 0$, $\alpha_i \geq 0$ ($i = 1, 2, \dots, p$), $\phi_j \geq 0$ ($j = 1, 2, \dots, q$) ve $(\sum_{i=1}^p \alpha_i + \sum_{j=1}^q \phi_j < 1)$ kısıtlamalarının geçerliliğine bağlıdır. ARCH ailesi modellerinden olan GARCH modeli simetriktir. Bunun anlamı pozitif ve negatif şokların oynaklık üzerindeki etkilerinin aynı olmasıdır.

3.3.3. EGARCH (p,q) Modeli

ARCH ve GARCH modellerinin en büyük dezavantajı, pozitif ve negatif şokların oynaklığa etkisinin aynı yani simetrik olmasıdır. Ancak finansal piyasalarda genel olarak negatif şokların (kötü haber) pozitif şoklara (iyi haber) göre oynaklığı daha fazla arttırdığı bilinen bir gerçektir. Finansal zaman serilerinin modellenmesinde ARCH ve GARCH modelin zayıf yönlerini ortadan kaldırmak için, Nelson (1991) tarafından üstel genelleştirilmiş otoregresif koşullu farklı yayılım (Exponential Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity, EGARCH) modeli tanıtılmıştır. EGARCH modelde hisse senedi piyasalarında oluşan aşağı ve yukarı hareketlerin finansal varlıkların gelecekteki oynaklığının öngörülebilirliği açısından aynı etkiye sahip olmama olasılığı dikkate alınmaktadır. Oynaklığın tahmin edilmesinde aşağıya doğru hareketler, yukarıya doğru hareketlere göre daha etkilidir. Asimetri etkisinin özel bir hali olan kaldıraç etkisi olarak adlandırılan bu etki ilk olarak Black (1976) tarafından tanıtılmıştır. Piyasaya gelen olumsuz bir haberin olumlu bir habere göre finansal getirilerin oynaklığı üzerinde daha fazla etkili olduğunun ileri sürüldüğü bu durum, aşağıdaki EGARCH modeli ile modellenmiştir.

$$\ln(\sigma_t^2) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i \ln(\sigma_{t-i}^2) + \sum_{i=1}^p \alpha_i \left| \frac{u_{t-i}}{\sigma_{t-i}} \right| + \sum_{i=1}^p \gamma_i \frac{u_{t-i}}{\sigma_{t-i}} \quad (3.10)$$

Eş. 3.10'da α_0 , α_i , β_i ve γ_i modelin bilinmeyen parametreleridir. EGARCH modelinde bir finansal zaman serisinin koşullu varyansı, kendi geçmiş değerlerinin ve gecikmeli hata terimlerinin büyüklüğü ve işaretinin doğrusal olmayan bir fonksiyonudur. Modelde yer alan, u_{t-i}/σ_{t-i} standardize edilmiş hataları yani şokları göstermektedir. EGARCH modelde hata terimlerinin geçmiş değerleri yerine standardize edilmiş hataların kullanılıyor olması, şokun büyüklüğü ve kalıcılığı hakkında bilgi vermektedir. EGARCH modelinde koşullu varyansın logaritmik olması

nedeni ile parametrelerde negatif olmama kısıtına gerek yoktur. Bu durum EGARCH modelinin bir avantajıdır. Koşullu varyans denkleminde yer alan γ_i parametresi oynaklıkta asimetri etkisinin özel bir hali olan kaldıraç etkisini tanımlayan bir parametre olup, genellikle negatif değer almaktadır. Bunun anlamı, pozitif getiri şoklarının negatif getiri şoklarından daha az oynaklık yarattığını göstermektedir.

3.4. Doğrusal Olmama Testleri

Kaos, doğrusal olmayan dinamik sistemlerde ortaya çıktığından öncelikle veriyi yaratan sürecin doğrusal olup olmadığını belirlenmesi gerekmektedir. Literatürde, finansal zaman serilerinde doğrusal olup olmamayı test eden farklı testler bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında doğrusal olmayan yapının varlığının tespitine yönelik iki yöntem kullanılmıştır. Bunlardan birincisi, literatürde en yaygın olarak kullanılan Brock, Dechert ve Scheinkman (BDS) testi, diğeri ise Hinich Bispectrum testidir. Bu testler aşağıda sırasıyla detaylı bir şekilde tanıtılmıştır.

3.4.1. Brock, Dechert ve Scheinkman (BDS) Testi

William Brock, Davis Dechert ve Jose Scheinkman tarafından 1996 yılında geliştirilen BDS testi, incelenen zaman serisindeki doğrusal olmayan bağımlılıkların belirlenmesinde kullanılan bir testtir. BDS test istatistiği zaman serilerinde kaosu araştırılması için geliştirilen, 1983 yılında Grassberger ve Procaccia'nın farklı boyutlardaki korelasyon integrallerinin tahminine dayalı bir testtir. Korelasyon integralinin her türlü doğrusal ve doğrusal olmamaya karşı duyarlı olması bu testi güçlü kılmaktadır.

BDS test istatistiğinin tahmin edilmesi parametrik olmayan bir yaklaşım sunmasına rağmen, test istatistiği asimptotik olarak sıfır ortalamalı ve birim varyanslı normal bir dağılıma izin verir. Testin varsayımının olmaması ve zaman serilerine uygulanmasının kolay olması sebebiyle en yaygın olarak kullanılan doğrusallık testidir.

BDS testi direkt olarak durağan olan getiri serisinin kendisine de uygulanabilir. Hsieh (1991) çalışmasında, BDS testinin uygulama aşamalarını şu şekilde açıklamıştır: Öncelikle, finansal zaman serisine en uygun ARMA (p,q) modeli

belirlenir ve veri setine uydurulur. Bu sayede verilerde yer alan tüm doğrusal yapılar yok edilmiş olur. İkinci adımında ise test, ARMA (p,q) modelinden elde edilen doğrusal olarak bağımsız olan hata terimleri üzerine uygulanır. Böylelikle, hata terimlerinde bulunacak olan tüm bağımlılıklar doğrusal olmayacaktır. Bu sebepten dolayı, BDS testi doğrusal olmayan yapının belirlenmesinde dolaylı bir yöntem sunmaktadır. En uygun ARMA (p,q) modelinin derecesini belirlerken, en düşük değeri veren Akaike (AIC) veya Schwarz (SIC) bilgi kriterlerine ve parametrelerin istatistiksel olarak anlamlılığına göre karar verilir.

Test İstatistiği

BDS testinde hipotezler:

H_0 : İncelenen zaman serisinin veri üretim süreci *iid*'dir.

H_1 : İncelenen zaman serisinin veri üretim süreci *iid* değildir.

şeklinde tanımlanmıştır. BDS testi çift taraflı bir test olduğundan, hesaplanan değer kritik değer altında veya üstünde olması durumunda sıfır hipotezi reddedilir.

Ampirik uygulamada BDS testi, ARMA(p,q) modelinin artıklarının *iid* özelliğine sahip olup olmadığını incelemek için kullanılır. Model aşağıdaki formda tanımlanırsa,

$$y_t = f(x_t, \beta, u_t) \quad (3.11)$$

Eş. 3.11'de, x_t bağımlı değişkenin gecikmeli değerlerini de içerebilen açıklayıcı değişkenler vektörünü, β parametreler vektörünü, u_t ise ortalaması sıfır ve varyansı sonlu *iid* özelliğe sahip olan hata terimini tanımlamaktadır. BDS testi, test istatistiği olarak korelasyon integralini kullanır. Korelasyon fonksiyonunun asimptotik dağılımı sıfır hipotezi altında beyaz gürültü sürecinde olduğu bilinmektedir. Sonuç olarak BDS testi, genel bağımlılığa karşı istatistiksel test olarak kullanılabilir.

Korelasyon İntegrali

BDS testinde, test istatistiği korelasyon integraline bağlı olarak hesaplandığından dolayı öncelikle korelasyon integralinin hesaplanması gerekir. Grassberger ve Proccacia (1983) tarafından tanıtilan m yerleştirme boyutlu⁵ korelasyon integrali, Eş. 3.12'de verildiği gibi tanımlanmaktadır.

$$C_{m,n}(\varepsilon) = \frac{1}{\binom{n}{2}} \sum_{1 \leq s < t \leq n} X_\varepsilon(\|u_s^m - u_t^m\|) \quad (3.12)$$

Eş. 3.12'de, m yerleştirme boyutunu (embedding dimension), n gözlem sayısını, ε gözlem çiftleri arasındaki maksimum farkı, u filtrelenmiş modelin artıklarını ya da endeks (veri) serisini göstermektedir. $H(X)$ fonksiyonu ise, gösterge fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır.

$$H(X) = |u_s - u_t| < \varepsilon \quad (3.13)$$

$$H(X) = \begin{cases} 1, & |u_s - u_t| < \varepsilon \\ 0, & \text{Diğer durumlarda} \end{cases} \quad (3.14)$$

Eş. 3.13'de, 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. m geçmişe sahip olan u_s^m ve u_t^m iki vektör arasındaki fark alınır, daha sonra bağımsızlık özelliği altında aşağıdaki denklem yazılabilir:

$$X_\varepsilon(\|u_s^m - u_t^m\|) = \prod_{i=1}^m X_\varepsilon(|u_s - u_t|) \quad (3.15)$$

Veri durağan stokastik süreç tarafından üretiliyorsa, o zaman limit de var olur. Eş. 3.15'de, bağımsızlık özelliği altında, $C_m(\varepsilon) = C_1(\varepsilon)^m$ olduğunu ima eder.

$$C_m(\varepsilon) = \lim_{n \rightarrow \infty} C_{m,n}(\varepsilon) \quad (3.16)$$

⁵ Yerleştirme boyutu hakkında detaylı bilgi, korelasyon integralinin asimptotik dağılımı açıklandıktan sonra verilmiştir.

Korelasyon İntegralinin Asimptotik Dağılımı

Eş. 3.12'deki $C_{m,n}$, simetrik Kernel $X_\varepsilon(\|u_s^m - u_t^m\|)$ dağılımlı genelleştirilmiş U istatistiğidir⁶. Tanım gereği,

$$\begin{aligned} K(\varepsilon) &= \int \left(\int X_\varepsilon(|u_s - u_t|) dF(u_s) \right)^2 dF(u_t) \\ &= \int [F(u + \varepsilon) - F(u - \varepsilon)]^2 dF(u_t) \end{aligned} \quad (3.17)$$

ve $C(\varepsilon) = C_1(\varepsilon)$ eşitliğine izin verir. Süreç (u_t) bağımsız olduğunda, o zaman süreç $\{u_t^m\}$ $k^7 > m$ için $\beta_k = 0$ ile mutlak düzenlidir. Genelleştirilmiş U -istatistiğini elde etmek için,

$\{u_t\}$ iid olduğunda, $K(\varepsilon) > C(\varepsilon)^2$ ise,

$$\sqrt{n} \frac{C_{m,n}(\varepsilon) - C_1(\varepsilon)^m}{\sigma_m(\varepsilon)} \quad (3.18)$$

Dağılım standart normal dağılıma $N(0,1)$ 'e yakınsar, ve

$$\frac{1}{4} \sigma_m^2 = K^m - C^m + 2 \sum_{i=1}^{m-1} [K^{m-1} C^{2i} - C^{2m}] \quad (3.19)$$

Eş. 3.19'da, $K(\varepsilon) = C(\varepsilon)^2$ ise o zaman $\sigma_m^2 = 0$ 'dır. Eş. 3.18'de görülen C_1 , C ve K dikkat edilirse, bu yüzden dağılım fonksiyonu bilinmediğinde, istatistik hesaplanamaz.

Bu durumda eşitliğin özelliği araştırıldığında,

$$T_{m,n} = C_{m,n}(\varepsilon) - C_{1,n}(\varepsilon)^m \quad (3.20)$$

Aşağıdaki test istatistiğinin kanıtını sağlar,

⁶ U istatistiği, sıfır hipotezinde yer alan incelenen veri üzerindeki aşırı öngörülebilirliği ölçen bir istatistiktir.

⁷ k , k 'inci katsayıyı gösteren parametredir.

$\{u_t\}$ *iid* olduğunda, $K(\varepsilon) > C(\varepsilon)^2$ ise, o zaman $m \geq 2$ için,

$$\sqrt{n} \frac{T_{m,n}(\varepsilon)}{V_m} \quad (3.21)$$

Dağılım standart normal dağılıma $N(0,1)$ 'e yakınsar. Asimptotik varyansı verilen,

$$\begin{aligned} \frac{1}{4} V_m^2 = & m(m-2)C^{2m-2}(K-C^2) + K^m - C^{2m} + \\ & 2 \sum_{j=1}^m [C^{2j}(K^{m-j} - C^{2m-2j}) - mC^{2m-2}(K-C^2)] \end{aligned} \quad (3.22)$$

$T_{m,n}$ 'nin varyansı için tutarlı olarak tahmin edilebilmesi için C ve K sabittir.

$$C_n(\varepsilon) = \frac{1}{n^2} \sum_{s=1}^n \sum_{t=1}^n H(|u_s - u_t|) \quad (3.23)$$

$$K_n(\varepsilon) = \frac{1}{n^3} \sum_{r=1}^n \sum_{s=1}^n \sum_{t=1}^n H(|u_r - u_s|) H(|u_s - u_t|) \quad (3.24)$$

Eş. 3.22'de varyans değerini gösteren V_m^2 , $C(\varepsilon)$ ve $K(\varepsilon)$ yerine $C_n(\varepsilon)$ ve $K_n(\varepsilon)$ ile hesaplanır.

BDS test istatistiği aşağıdaki şekilde yazılabilir;

$$W_{m,n}(\varepsilon) = \sqrt{n} \frac{T_{m,n}(\varepsilon)}{V_{m,n}(\varepsilon)} \sim N(0,1) \quad (3.25)$$

Sıfır hipotezinde verinin *iid* olması koşulu altında $W_{m,n}(\varepsilon)$, n sonsuza giderken asimptotik olarak normal dağılıma sahiptir.

BDS testinde sıfır hipotezinin reddedilmesi üç olası durumdan hepsinin veya birinin olması anlamına gelebilir. Bunlar serilerde doğrusal bağımlılık, doğrusal olmayan stokastik süreçler ve kaos gibi olası durumların varlığı söz konusu olabilir (Hsieh, 1991).

Yerleştirme Boyutu (Embedding Dimension)

Bir zaman serisini analiz ederken serinin geometrik olarak kaç boyutla temsil edilebileceği ve gecikme zamanının nasıl seçileceği bilinmemektedir (Gökmen, 2012:38). Tek değişkenli bir zaman serisinin nasıl bir davranış sergilediğini görebilmek için faz uzayında bu değişkenin yeniden yapılandırılması gerekmektedir. Faz uzayının yeniden yapılandırılması ilk kez Packard vd. (1980) ve Takens (1981) tarafından ele alınmıştır. Packard vd. (1980) bu yöntemin sayısal gösterimini göstermiş, Takens (1981) ise yöntemin biçimsel yapısını kurmuştur.

Yerleştirme boyutunun elde edilebilmesi için aşağıdaki aşamaların sırasıyla izlenmesi gerekir (Afşar, 2004:30-31; Sprott, 2013:307-311):

- i. Dinamik sistemin içinde gözlenen tek bir değişkene ait zaman serisi elde edilir.

$$x_1, x_2, \dots, x_n \quad (3.26)$$

Eş. 3.26'da, x değerleri ardışık gözlemlerden oluşmakta ve n ise gözlem sayısını göstermektedir.

- ii. Bu değişkene ait zaman serisinden dinamik sistemin tüm yapısını karakterize edebilecek şekilde veriler gruplandırılarak vektörler oluşturulur. Bu amaçla kaç boyutlu vektörler kullanılacağına karar verilir. Yerleştirme boyutu adı verilen bu değere m denirse, zaman serisindeki ilk m veriden birinci vektör elde edilir. Bir sonraki vektör ise zaman serisi değerlerini bir adım ilerletilerek elde edilir.

$$\begin{aligned} X_1^m &= (x_1, x_2, \dots, x_m) \\ X_2^m &= (x_2, x_3, \dots, x_{m+1}) \\ X_3^m &= (x_3, x_4, \dots, x_{m+2}) \\ &\vdots \\ X_{n-m}^m &= (x_{n-m}, x_{n-m+1}, \dots, x_n) \end{aligned} \quad (3.27)$$

Takens (1981), incelenen sistemin tüm davranışlarının görülebilmesi için yerleştirme boyutunun kaç boyutlu olması gerektiğini hesaplamıştır. Eğer incelenen sistemin gerçek boyutu m ise, dinamik davranışının inceleneceği yerleştirme boyutunun $2m + 1$ olması gerekmektedir. Literatürde dinamik bir sistemin yerleştirme boyutunu belirlemek için Kennel, Brown ve Abarbanel (1992) tarafından geliştirilen Yanlış En Yakın Komşular (False Nearest Neighbours, FNN) yöntemi kullanılmaktadır (İşi ve Çemrek, 2015). Bu yöntemde, " m boyutlu faz uzayı içindeki her bir vektör bir en yakın komşuya sahiptir. Bu vektörler arasında m ve $m + 1$ boyutta oluşan Öklid farkları hesaplanmaktadır. Komşuların yanlış olduğu kararını vermek için bu Öklid farkları arasındaki fark değerlendirilmektedir. Bu Öklid farkları birbirine çok yakın ise bu noktaya ait olan, hesaplanmış en yakın komşular doğrudur ve bu noktadaki boyut, yerleştirme boyutu olarak kabul edilebilir" (Alpar ve Eren, 2016).

En uygun gecikme zamanının bulunması için ise literatürde en yaygın Fraser ve Swinney (1986) tarafından geliştirilen Ortalama Karşılıklı Bilgi (Average Mutual Information, AMI) yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde Ortalama Karşılıklı Bilgi fonksiyonunun ilk kez minimuma ulaştığı nokta en uygun gecikme zamanını vermektedir.

BDS testinin yerleştirme boyutu (m) ve uzaklık (ε) olmak üzere iki parametresi vardır. Brock vd. (1991) çalışmasında yapmış olduğu Monte Carlo simülasyonu sonuçları ışığında 1000 ve daha yüksek örneklem büyüklükleri için ε değerlerinin veri setinin standart sapmasının 0.5 ve 2 katı arasında seçilmesinin normal dağılım özelliğinin sağlanmasında önemli olduğunu ifade etmişlerdir. Brock ve Sayer (1998) çalışmasında ise ifade ettiği N/m (gözlem sayısı/yerleştirme boyutu) oranı 200'den büyük olması durumunda ε/σ oranının 0.5 ile 2 arasında, m değerlerinin ise 2 ile 5 arasında bir değer aldığını göstermişlerdir. Bu çalışmada ε için 0.5, 1.0, 1.5 ve 2.0 ve m için ise 2,3,4 ve 5 referans değerleri dikkate alınmıştır.

3.4.2. Hinich Bispectrum Testi

Bu bölümde başka bir doğrusal olmama testi olan Hinich Bispectrum testi tanıtılmıştır. Melvin J. Hinich 1982 yılında zaman serilerinde doğrusal olmayan yapının belirlenmesi için istatistiksel bir test geliştirmiştir. BDS testinden farklı olarak Hinich Bispectrum testi, frekans tabanlı bir testtir. Test gözlemlenen zaman serilerinin bispectrumunun tahminine dayalıdır.

Hinich Bispectrum testi doğrusallık ve normallik için doğrudan bir test yaklaşımı sağlar. Test istatistiklerinin her ikisi de doğrusallık ve normallik altında asimptotik örnekleme dağılımına sahiptir. Bu test üçüncü moment özelliklerini kullanır. Hinich Bispectrum testinde, iki hipotez test edilebilir: Doğrusallık (Linearity) ve Normallik (Gaussianity). Hinich doğrusallık testi, sürecin doğrusal olup olmadığını test eder. Başka bir ifadeyle, Hinich doğrusallık testi çarpıklık fonksiyonunun sıfıra eşitliğini test eder. Doğrusallık testinde hipotezler;

H_0 : Çarpıklık fonksiyonu sıfıra eşit veya doğrusal sürecin varlığı.

H_1 : Doğrusal olmayan sürecin varlığı.

Normallik testinde ise hipotezler;

H_0 : Çarpıklık fonksiyonu sıfıra eşit veya süreç normal dağılıma sahiptir.

H_1 : Normal dağılıma sahip değildir.

şeklinde ifade edilir.

Çarpıklık fonksiyonunun sıfıra eşit olması doğrusallık ve normallik için gerek koşul olmasına karşın, yeterli koşul değildir. Ancak, çarpıklık fonksiyonunun sıfıra eşit olması sürecin doğrusal olması için gerek ve yeterli koşuldur. Bu nedenle, doğrusallık testinin sıfır hipotezinin reddedilememesi serilerin doğrusal olduğu anlamına gelir.

Bispectrum

Bispectrum, üçüncü dereceden birikimli fonksiyonunun çift Fourier dönüşümüdür. Beklenen değeri $E_x(t) = 0$ olan durağan bir zaman serisi için, bispectrum Eş. 3.28'deki gibi tanımlanır:

$$B_x(\omega_1, \omega_2) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_x(m, n) \exp[-i(\omega_1 m + \omega_2 n)] \quad (3.28)$$

Burada $C_x(m, n) = E[x(t+n) \times (t+m) \times (t)]$ eşittir. x_t doğrusal bir zaman serisi ise, o zaman onun spectrumu $S(\omega) = \sigma^2 |H(\omega)|^2$ ve bispectrumu,

$$B_x(\omega_1, \omega_2) = \mu_3 H(\omega_1) H(\omega_2) H^*(\omega_1 + \omega_2) \quad (3.29)$$

şeklinde tanımlanır. Burada, μ_3 üçüncü dereceden merkezi momenttir. $H(\omega) = \sum_{t=0}^{\infty} h(t) \exp(-i\omega t)$ 'diği filtrelenmiş dönüşüm fonksiyonudur ve H^* kompleks sayının eşleniği olarak gösterilir. Böylece $\mu_3 = E(X - \mu)^3 \neq 0$ ise, o zaman $B_x(\omega_1, \omega_2) \neq 0$ 'dır. Üçüncü dereceden merkezi momentin sıfıra eşit olması çarpıklık fonksiyonunun sıfıra eşit olduğu anlamına gelir. Ancak, yukarıda bahsedildiği gibi çarpıklık fonksiyonunun sıfıra eşit olması doğrusallık ve normallik için gerek koşul olmasına karşın, yeterli koşul değildir.

Eş. 3.28 ve 3.29'dan çarpıklık fonksiyonu olan (γ_x) bispectrum fonksiyonunu (B_x) cinsinden aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\begin{aligned} \gamma_x(m, n) &= S_x^{-1} \left(\frac{2\pi(2m-1)M}{2N} \right) S_x^{-1} \left(\frac{2\pi(2n-1)M}{2N} \right) S_x^{-1} \left(\frac{2\pi(m+n-1)M}{N} \right) \\ &\times \left| B_x \left(\frac{2\pi(2m-1)M}{2N}, \frac{2\pi(2n-1)M}{2N} \right) \right|^2 \end{aligned} \quad (3.30)$$

Burada,

$$\gamma_x(m, n) = \frac{|B_x(\omega_1, \omega_2)|^2}{S_x(\omega_1) S_x(\omega_2) S_x(\omega_1 + \omega_2)} = \frac{\mu_3^2}{\sigma_u^6} \quad (3.31)$$

x_t serisi doğrusalsa, sıfır hipotezi altında tüm frekans çiftleri (ω_1, ω_2) sabittir. Eş. 3.31'deki oran, farklı frekans çiftlerinden tahmin edilmektedir. Bu oranlar frekans çiftlerinde önemli ölçüde birbirinden farklıysa, x_t zaman serisinin doğrusallığı reddedilir. Ancak, tahmin edilen oranlar sıfırdan önemli ölçüde farklıysa, o zaman x_t serisinin normallik özelliği reddedilir.

Hinich (1982) test istatistiği ilgili frekans çiftlerinin tahmin edilen oranının çeyrekler arası aralığına dayalı bir testtir. Bu oran sabit ise, çeyrekler arası aralık küçülür. Sabit değil ise o zaman da çeyrekler arası aralık büyümektedir. Doğrusallık test istatistiği asimptotik olarak iki serbestlik dereceli ki-kare dağılımına sahiptir. Aynı şekilde normallik testi de asimptotik olarak normal dağılıma sahip ve tahmin edilen orana dayalı bir testtir.

3.5. Kaosun Varlığının Tespitine Yönelik Testler

Bu bölümde kaotik davranışın diğer bir özelliği olan başlangıç durumlarına hassas bağıllık özelliğini test eden yaklaşımlardan bahsedilmiştir. Literatürde, finansal zaman serilerinde kaosun varlığının tespitine yönelik farklı testler bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında kaotik yapının tespitine yönelik korelasyon boyutu analizi ve en büyük Lyapunov üsteli testi kullanılmıştır. Bu testler aşağıda sırasıyla detaylı bir şekilde tanıtılmıştır.

3.5.1. Korelasyon Boyutu Analizi

Grassberger ve Procaccia (1983) tarafından tanıtılan korelasyon boyutu, finansal zaman serilerinde kaosun belirlenmesinde 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). Bu filtreleme sürecini, standartlaştırılmış artıkların m geçmiş değerlerinin oluşturulması izler ve süreç aşağıdaki gibi gösterilir:

$$\begin{aligned}
x_t^1 &= x_t \\
x_t^2 &= (x_{t-1}, x_t) \\
&\vdots \\
x_t^m &= (x_{t-m+1}, \dots, x_t)
\end{aligned} \tag{3.32}$$

Eş. 3.32'de t geçmiş, m boyutlu uzayda belirli bir noktayı temsil etmektedir. Aşağıda gösterildiği gibi korelasyon boyutunu tanımlamak için korelasyon integralinin hesaplanması gerekmektedir.

$$C_m(\varepsilon) = \lim_{T \rightarrow \infty} \{(t, s), 0 < t, s < T: \|x_t^m - x_s^m\| < \varepsilon\} / T^2 \tag{3.33}$$

Burada, m yerleştirme boyutunu, ε gözlem noktaları arasındaki maksimum farkı, $\| \|$ 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,

$$D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log C_m(\varepsilon)}{\log(\varepsilon)} \tag{3.34}$$

formülü ile hesaplanır. Korelasyon boyutu analizi kaotik yapının doğrulanması için gerekli bir süreçtir. Kaotik sistemler için korelasyon boyutu genel olarak birden büyük olmakta ve kesirli değerler almaktadır. Bunun yanında yerleştirme boyutu sayısı artarken, korelasyon boyutu değerleri sabit bir değere yakınsıyorsa incelenen zaman serisinin kaotik bir yapı sergilediği sonucu çıkarılabilir (Özdemir, 2011:66).

3.5.2. En Büyük Lyapunov Üsteli Testi

Tez çalışmasında kaotik davranışın önemli özelliklerinden biri olan başlangıç durumlarına hassas bağlılığın ölçülmesinde kullanılan ikinci yöntem Lyapunov üsteli testidir. Kaotik sistemlerin periyodik olmayan dinamiklere sahip olmasının nedeni, faz uzayında birbirine yakın iki yörüngenin başlangıç durumlarında meydana gelen en ufak bir değişiklikte farklı üstel artış oranlarına

sahip olmalarıdır. Bu duruma başlangıç durumlarına hassas bağıllık adı verilir (Özdemir, 2011, 96).

Bir Rus matematikçi olan Alexandır Mikhailovich Lyapunov (1857-1918) tarafından ortaya atılan ve Oseledets (1968) tarafından geliştirilen Lyapunov üstelleri (λ), doğrusal olmayan dinamik sistemde yer alan yörüngelerin birbirinden yakınsama ya da ıraksama değişimini ölçerler. Lyapunov Üsteli testinde hipotezler aşağıdaki gibi ifade edilirler:

$H_0: \lambda \leq 0$ Lyapunov üsteli negatif ya da zaman serisi kaotik değildir.

$H_1: \lambda > 0$ Lyapunov üsteli pozitif ya da zaman serisi kaotiktir.

Bir dinamik sistem için hesaplanan Lyapunov üsteli (λ) negatif ise farklı başlangıç durumlarında aynı çıkış değerleri verme eğilimi vardır ve dolayısıyla sistem kaotik değildir. Bu durumda faz uzayında yer alan yörüngeler sabit bir noktaya yakınsar. Eğer Lyapunov üsteli (λ) pozitif ise farklı başlangıç durumları farklı çıkış değerleri verir ve sistem kaotiktir. Bu durumda ise faz uzayında yer alan yörüngeler aynı nokta üzerinden birden fazla geçmezler, yani periyodik olmayan bir durum söz konusudur. Ayrıca, pozitif hesaplanan Lyapunov üsteli değeri ne kadar büyükse, incelenen doğrusal olmayan dinamik sistem o ölçüde kaotiktir ve sistemin öngörülebilirlik zaman aralığı kısalmır (Wolf, 1985).

Lyapunov üsteli (λ) sayısını hesaplamak için faz uzayında birbirine yakın iki yörünge üzerinde referans iki nokta seçilir. Başlangıç durumunda iki nokta arasında çok küçük bir fark vardır ve aralarındaki uzaklığa $f(t_0)$ dersek t zaman sonra bu noktalar birbirinden uzaklaşır ve aralarındaki fark $f(t_1)$ olur. Bu iki uzaklık arasındaki orana $e^{\lambda t}$ dersek, t sonsuza giderken λ limite yakınsar. Bu limit Lyapunov üsteli (λ) sayısı olarak tanımlanır ve aşağıdaki şekilde gösterilir: (Strogatz, 1994:364-365).

$$\delta_t = f^t(x_0 + \delta_0) - f^t(x_0) \quad (3.35)$$

Eğer davranış kaotik ise fark üstel olarak büyüyecektir:

$$\frac{\delta_t}{\delta_0} = \frac{f^t(x_0 + \delta_0) - f^t(x_0)}{\delta_0} = e^{\lambda t} \quad (3.36)$$

Burada λ yalnız bırakılırsa,

$$\lambda = \frac{1}{n} \ln \left| \frac{f^t(x_0 + \delta_0) - f^t(x_0)}{\delta_0} \right| \quad (3.37)$$

$$\lambda = \frac{1}{n} \ln \left| \frac{\delta_t}{\delta_0} \right| \quad (3.38)$$

bulunur. $\delta_0 \rightarrow 0$ durumunda türevin tanımından yararlanarak ve logaritma kısmını zincir kuralı da kullanarak λ 'yı,

$$\lambda = \frac{1}{n} \ln |(f^t)'(x_0)| \quad (3.39)$$

$$(f^n)'(x_0) = \prod_{i=0}^{n-1} f'(x_i) \quad (3.40)$$

Buradan, çarpımları toplam halinde yazarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\lambda = \frac{1}{n} \ln \left| \prod_{i=0}^{n-1} f'(x_i) \right| \quad (3.41)$$

$$\lambda = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \ln |f'(x_i)| \quad (3.42)$$

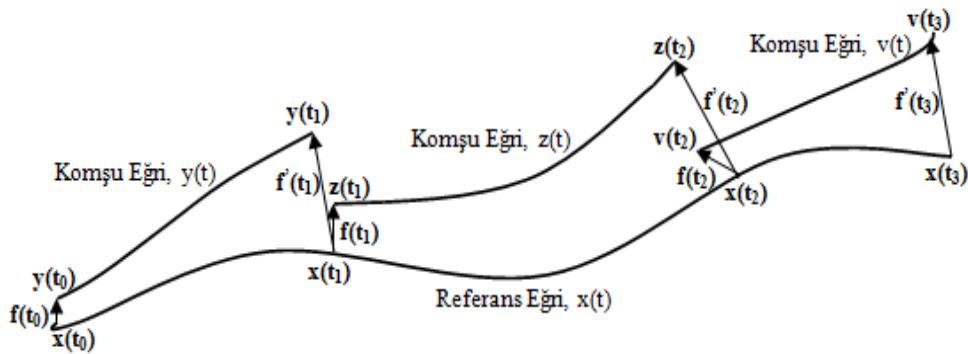
Eğer bu ifade $n \rightarrow \infty$ bir limite sahipse, x_0 başlangıç yörüngesi için Lyapunov üsteli aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\lambda = \lim_{n \rightarrow \infty} \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \ln |f'(x_i)| \right\} \quad (3.43)$$

Zaman serisinden Lyapunov üstellerinin hesaplanmasında iki temel yöntem vardır. Bunlar Jacobian tabanlı yöntemler ve direkt yöntemlerdir. Jacobian tabanlı yöntemlerde, öncelikle veri yapısına uygun bir yapay sinir ağı modeli oluşturulur. Daha sonra bu model üzerinden Jacobian matrisler kullanılarak Lyapunov üstelleri hesaplanır. Jacobian tabanlı yöntemlere örnek olarak Eckmann ve Ruelle (1992), faz uzayında birbirine yakın iki yörünge üzerinde yer alan referans noktası üzerinde iki yarı çap değeri arasında kalan noktalar için algoritma geliştirmişlerdir. Gencay ve

Dechert (1992), Lyapunov üstellerinin pozitif olup olmadığını test eden yapay sinir ağları tabanlı bir regresyon yöntemi tanıtmışlardır. Briggs (1990), sıradan en küçük kareler yöntemi kullanılarak oluşturulan Jacobian matrislerinin parazit içeren verilerde daha iyi sonuçlar veren algoritma geliştirmişlerdir. Abarbanel vd. (1991), Lyapunov üstellerinin hesaplanmasında doğrusal olmayan yöntemler sunmuşlardır. Brown vd. (1991), Lyapunov spektrumun tahmini için Taylor serileri kullanılarak Lyapunov üstellerini hesaplayan yöntem geliştirmişlerdir. Oiwa ve Fiedler-Ferrara (1998), faz uzayından oluşturulan çekerin yapısına uygun olarak kutulara bölünür ve her bir kutu için bulunan Jacobian matrislerinin ortalaması alınarak Lyapunov üstellerinin hesaplandığı bir algoritma tanıtmışlardır.

Direkt yöntemlerde ise, veri yapısına uygun bir model oluşturulmadan, zaman serilerinden direkt olarak Lyapunov üstelleri hesaplanır. Bu yöntemde Lyapunov üstellerinin hesaplanmasında bilinen ilk algoritma Wolf vd. (1985) tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışmalarında faz uzayının yeniden oluşturulması yöntemini kullanmışlardır. Bu tez çalışmasında Wolf vd. (1985) yöntemi kullanılmıştır. Öncelikle incelenen zaman serisinin faz uzayında yeniden oluşturulur. Daha sonra faz uzayında oluşturulan çeker⁸ üzerinden en büyük Lyapunov üsteli hesaplanır.



Şekil 3.1. En büyük Lyapunov üstelinin hesaplanması (Yılmaz ve Güler, 2006)

Bu yöntem Şekil 3.1 üzerinden açıklanabilir: En büyük Lyapunov üsteli (λ) sayısını hesaplamak için faz uzayında birbirine yakın yörüngeler arasından $x(t_0)$ ve

⁸ Kaotik sistemlerin geometrik göstergesidir.

$y(t_0)$ olmak üzere iki referans nokta seçilir. Daha sonra bu iki nokta arasındaki uzaklık $f(t_0)$ öklit farkı ile bulunur (Yılmaz ve Güler, 2006):

$$f(t_0) = \|x(t_0) - y(t_0)\| \quad (3.44)$$

Bu noktaların ait oldukları yörüngelerin t_1 zamanı sonrasındaki değerleri kullanılarak $f(t_1)$ farkı yine aynı şekilde hesaplanır. Referans yörüngenin t_1 noktasında $x(t_1)$, ilk seçilen yörünge ile yaklaşık olarak aynı yöne sahip yeni bir yörünge seçilir ve bu $z(t_1)$ noktası $x(t_1)$ noktasına en yakın olandır ve aralarındaki Öklit farkı $f(t_1)$ bulunur:

$$f(t_1) = \|x(t_1) - y(t_1)\| \quad (3.45)$$

Daha sonra t_2 zamanı için yine bu yörüngelere ait noktalar arasındaki öklit fark $f(t_2)$ olarak bulunur. Bu işlem N defa tekrar edilir ve bu öklit farklarının oranı en büyük Lyapunov üsteli değerini verir. Bu değer Eş. 3.46 ile hesaplanır:

$$\lambda = \frac{1}{t_N - t_0} \sum_{i=1}^N \log \frac{f'(t_i)}{f(t_{i-1})} \quad (3.46)$$

olur.

3.6. Fraktal Yapının Belirlenmesi ve Ölçümüne Yönelik Testler

Bu bölümde kaotik serilerin son özelliği olan fraktallık özelliği incelenmiştir. Fraktal yapının kendine benzerlik ve fraktal boyut olmak üzere iki özelliği vardır. Tez çalışmasında öncelikle zaman serilerindeki kendine benzerlik özelliği uzun hafıza testleri olan dönüştürülmüş genişlik (R/S) analizi ve modifiye edilmiş Geweke Porter-Hudak (GPH) testi ile araştırılmıştır. Fraktal boyut özelliği ise kutu sayım yöntemi ile analiz edilmiştir. Bu testler aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

3.6.1. Dönüştürülmüş Genişlik (R/S) Analizi

Hurst (1951) ile Mandelbrot ve Wallis (1969) tarafından geliştirilmiş olan dönüştürülmüş genişlik (rescaled range, R/S) analizi, finansal zaman serilerinin uzun hafıza yapısına sahip olup olmadıklarının tespit edilmesinde ve kendine

benzerlik parametresi olan Hurst üstelinin hesaplanmasında kullanılan bir yöntemdir.

R/S istatistiğinin hesaplanabilmesi için r_1, r_2, \dots, r_N gibi bir getiri serisi örnekleme ele alınır ve aşağıdaki eşitlikler yardımı ile Hurst üsteli katsayısı (H) tahmin edilir:

$$X_{t,N} = \sum_{t=1}^N (r_t - M_N) \quad (3.47)$$

Eş. 3.47'de, $X_{t,N}$ kümülatif sapma serisini, r_t t dönemindeki getiriye ve M_N ise ortalama getiriye ifade eder.

Ortalama seviyeden kümülatif sapmaların genişliği (range, R), N dönem boyunca maksimum ve minimum kümülatif sapmalar arasındaki farkı gösterir ve aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$R = \text{Max}(X_{t,N}) - \text{Min}(X_{t,N}) \quad (3.48)$$

Farklı dönemlerdeki zaman serileri davranışlarının incelenmesi için Hurst (1951), Eş. 3.48'de gösterilen R genişlik değerini orijinal gözlem değerlerinin (r_t) standart sapmasına böler ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla R/S istatistiği tahmin edilir (Aygören, 2008).

$$R/S = (\alpha \times N)^H \quad (3.49)$$

Eş. 3.49'da, R/S dönüştürülmüş genişlik, α sabit parametre, N gözlem sayısı ve H Hurst üstelini gösterir. Hurst üstelinin tahmin edilebilmesi için her iki tarafının logaritması alınır ve aşağıdaki gibi yeniden yazılırsa,

$$\log(R/S) = \log(\alpha) + H \times \log(N) \quad (3.50)$$

Eş. 3.50 yardımıyla dönüştürülmüş genişlik (R/S) değerleri ile gözlem sayısı (N) arasında regresyon denklemi kurulur ve Sıradan En Küçük Kareler (OLS) yöntemine göre tahmin edilir. Tahmin edilen bu regresyon denkleminin eğimi Hurst

üsteli katsayının değerini göstermektedir. Hurst üsteli 0 ile 1 arasında değerler alabilir. Hurst üsteli 0.5 olması durumunda zaman serisinin rassal bir yürüyüş izlediği, 0.5'den daha küçük olması zaman serilerinin ortalamaya dönüşlü (mean-reverting) olduğunu, zaman serisindeki kalıcı olmayan trendlerin meydana geldiğini gösterir ve rassal yürüyüş sürecine sahip olan serilere göre oynaklık çok daha yüksektir. Hurst üsteli 0.5'den büyük ise, zaman serisinin dirençli (persistence) bir yapıya sahip olduğunu, başka bir ifadeyle zaman serisinin uzun hafızaya sahip olduğunu gösterir. Bu durumda zaman serilerinde kalıcı trendler ortaya çıkmaktadır. Hurst üstelinin bire yaklaşması trendlerin kalıcılığını ya da zaman serisinin direncini arttırmaktadır. Hurst üstelinin 0.5'den büyük olduğu zaman serilerine Mandelbrot (1963) çalışmasında Kesirli Brown Devinimi (Fractional Brownian Motion) adını vermiştir. Diğer bir ifadeyle Hurst üsteli 0.5'ten büyük olduğunda incelenen serinin fraktal yapıya sahip olduğu ifade edilir.

Ampirik literatürde, Hurst üstel katsayılarının doğruluğunun test etmek ve uzun hafıza etkisinin serilerdeki herhangi bir düzenden dolayı oluşup oluşmadığını karar verebilmek amacıyla, seriler karma (scramble) hale getirilir. Serilerin karma hale getirilmesi, Monte Carlo simülasyon süreci ile benzer yapılara sahip finansal zaman serileri türetilerek yapılmaktadır (Peters, 1994:84-87; Ural ve Demireli, 2009).

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

Uzun hafızanın varlığının belirlenmesinde kullanılan diğer bir yaklaşım yarı parametrik yöntem olan Geweke Porter-Hudak (GPH) testidir. GPH (1983) çalışmasında uzun hafıza parametresi d 'nin tahminine dayanan log-periyodogram regresyon yöntemini tanıtmışlardır. Bu test R/S analizinden farklı olarak Hurst üstelini değil, kesirli bütünleşme parametresi olan d 'yi tahmin etmektedir. GPH (1983) yöntemine göre kesirli bütünleşme parametresi olan d 'nin tahmini Eş. 3.51'deki denklemin OLS yöntemine dayanmaktadır.

$$\log[I_x(\lambda_j)] = \alpha_0 - d \log \left[4 \sin^2 \left(\frac{\lambda_j}{2} \right) \right] + \varepsilon_s \quad (3.51)$$

Eş. 3.51'de gösterilen d denklemin eğimidir ve $\hat{d}_{GPH} = -\hat{\beta}_{OLS}$ 'dir⁹. $I_x(\lambda_j)$ 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 Eş. 3.52'deki sonucu vermektedir:

$$\hat{d} = \frac{1}{2} \frac{\sum_{s=1}^p x_s \log I_x(\lambda_s)}{\sum_{s=1}^p x_s^2} \quad (3.52)$$

Ancak Kim ve Phillips (1999) çalışmasında Eş. 3.51'de tanımlanan klasik GPH denkleminin $d > 1$ olması durumunda tutarsız sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Ayrıca Agiakoglu vd. (1993) çalışmasında örneklemin küçük olması ve hata terimindeki otoregresif veya hareketli ortalama süreçlerinin varlığı durumunda etkisiz tahmin sonuçları verdiğini ifade etmişlerdir. Bu sorunlardan dolayı Eş. 3.51'de gösterilen klasik GPH denklemi yerine Phillips (2007) çalışmasında $0.5 < d < 1$ durumunda tutarlı sonuçlar veren modifiye edilmiş log-periyodogram ya da modifiye edilmiş GPH testini önermiştir. Bu durum aşağıdaki Eş. 3.53'de tanımlanmıştır:

$$\log[I_x(\lambda_j)] = \alpha_0 - 2\hat{d} \log|1 - e^{i\lambda_j}| + \varepsilon \quad (3.53)$$

Modifiye edilmiş GPH tahmincisi olan d , Eş. 3.53'deki denklemin eğimidir ve aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\hat{d} = -\frac{1}{2} \frac{\sum_{j=1}^m r_j \log I_x(\lambda_j)}{\sum_{j=1}^m r_j^2} \quad (3.54)$$

Modifiye edilmiş GPH testinde hipotezler aşağıdaki gibi ifade edilirler:

$H_0: d = 0$ kısa hafızanın geçerli olması

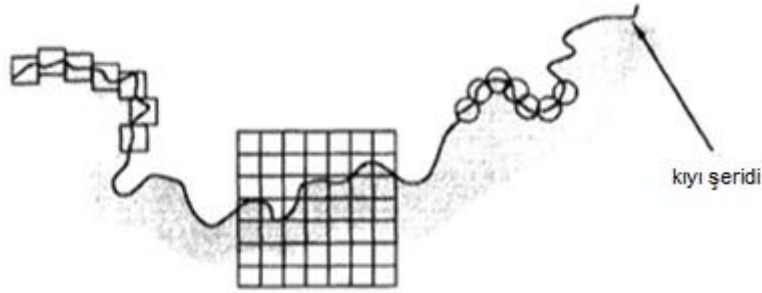
$H_1: d \neq 0$ uzun hafızanın geçerli olması

⁹ Burada denklemin eğiminin (d) negatif olma şartı vardır.

şeklinde tanımlanmaktadır. Sıfır hipotezinin reddedilmesi durumunda uzun hafızanın var olduğu anlamına gelmektedir. Bunun yanında kesirli bütünleşme parametresi (d) ile uzun hafıza parametresi (H) arasında bir ilişki söz konusudur. Bu ilişki $d = H - 0.5$ şeklinde ifade edilebilir. 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.

3.6.3. Fraktal Boyut Analizi: Kutu Sayım Yöntemi

Fraktal boyut hesaplanmasında farklı tahmin yöntemleri yer almakla birlikte bu tez çalışmasında en yaygın kullanılan yöntem olan kutu sayım yöntemi (the box-counting method) kullanılmıştır. Kutu sayım yöntemi fraktal boyut araştırmalarında kullanılmadan önce ağırlıklı olarak düzensiz kartografik özelliklerin alanının belirlenmesinde kullanılmaktaydı. Bu durum Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Bir kıyı şeridinin fraktal boyutunun belirlenmesi (Addison, 1997:32)

Bu yöntem ağsı hücre sayım yöntemi ya da grid (ızgara) olarak da bilinmektedir. Kutu sayım yönteminde fraktal boyut hesaplama süreci şu şekildedir: Öncelikle incelenen serilerin grafikleri veya görüntüleri ızgaralanır. Daha sonra kutuların farklı ölçekleri için her defasında grafiğin bir parçasının bulunduğu kutular sayılır ve kutu ölçekleri ile dolu kutu sayılarına log-log olağan en küçük kareler (OLS)

yöntemi uygulanır. Bulunan denklemin eğimi fraktal boyut tahminini verir (Gürsakar, 2007:71). Kutu sayım yöntemi Eş. 3.55'deki gibi gösterilebilir (Strogatz, 1994:409):

$$d = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\varepsilon)}{\log(1/\varepsilon)} \quad (3.55)$$

Eş. 3.55'de d çoğunlukla kapasite veya kutu boyutu denilen bir boyut olarak yorumlanır. ε , ızgaralandırılmış alan üzerinde karelerden oluşan kenar uzunluğunu ve $N(\varepsilon)$ ise, ızgaralandırılmış alanın en az kaç kare ile kaplandığını gösterir.

Fraktal boyut, bir nesnenin karmaşıklığının ölçüsüdür. Finansal zaman serilerinde fraktal boyut 1 ile 2 aralığında kesirli değerler alır. Fraktal boyut değerinin 2 değerine yakınsaması karmaşıklığının, yani incelenen finansal serinin kırıklı yapısının artacağına işaret eder. Ampirik literatürde incelenen sistemin kaotiklik derecesini yorumlanmasında da kullanıldığı görülmüştür. Fraktal boyutun 1 ile 1,5 aralığında olması sistemin düşük kaotik yapıya sahip olduğunu şeklinde yorumlanmıştır. Fraktal boyutun 2 değerine yakınsaması sistemin kaotikliğin arttığını gösterir (Peters, 1994:17).



4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tez çalışmasının konusu “gelişmekte olan ülkelerin borsa endekslerinin kaotik yapısının incelenmesi” olduğundan literatür araştırması yapılırken dört başlık altında tarama yapılmıştır. Bu başlıklar makroekonomik veriler, hisse senedi piyasaları, para piyasaları ve emtia piyasaları üzerine yapılan çalışmalardan oluşmaktadır.

Finans literatüründe doğrusal olmama ve kaos teorisi ile ilgili çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmaların çoğunluğunda finansal varlık getirilerinin veri üretim sürecinin doğrusal olmayan bir yapı sergilediği ve bu doğrusal olmayan yapıyı literatürde yaygın kullanılan rassal yürüyüş modeli ile modellenmesinin uygun olmadığı çok sayıda çalışma ile ortaya konulmuştur. Bu çalışmalardan bazıları Mandelbrot (1963), Brockett vd. (1988), Scheinkman ve LeBaron (1989), Hsieh (1989), Hsieh (1991), Abhyankar vd. (1995), Gao ve Wang (1999), Antoniou ve Vorlow (2005), Çinko (2006), Lim vd. (2008) ve Birgili vd. (2015)'dir.

Kaotik yapı ile ilgili yapılan çalışmalarda ise tek bir sonuca ulaşamamıştır. Brock (1986), Frank ve Stengos (1989), Willey (1992), Decoster vd. (1992), Andreou vd. (2000), Chu (2003), İşeri vd. (2008), Özer ve Ertokatlı (2010), Diaz (2013), Özdemir ve Akgül (2014) ve Günay (2015) çalışmasında finansal varlık getirilerinin kaotik yapıya sahip olduğunu savunulurken, Brock ve Sayers (1988), Frank ve Stengos (1988), Abhyankar vd. (1997), Barkoulas ve Travlos (1998), Brooks (1998), Adrangi vd. (2001), Serletis ve Shahmoradi (2004), Adrangi vd. (2008) ve Resende ve Zeidan (2008) çalışmasında ise kaotik yapının var olmadığı şeklinde bulgular elde edilmiştir.

Kaos teorisi finansal zaman serileri için incelendiğinden Bölüm 4.1'de makroekonomik veriler, Bölüm 4.2'de hisse senedi piyasaları, Bölüm 4.3'de para piyasaları ve Bölüm 4.4'de emtia piyasaları için yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

4.1. Makroekonomik Veriler için Yapılan Çalışmalar

Brock (1986) çalışmasında, 1947-1985 yılları arası ABD reel gayri safi milli hasıla çeyreklik verilerinde kaosu var olup olmadığını korelasyon boyutu analizi ve en büyük Lyapunov üsteli testi ile incelemiştir. Korelasyon boyutu sonucunda, milli hasılanın çeyreklik verilerinin doğrusal olmadığını tespit etmiştir. En büyük Lyapunov üsteli değeri ise pozitif değerli hesaplanmış ve verilerde kaotik yapının var olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Brock ve Sayers (1988), ABD makroekonomik verilerinde kaosu varlığını korelasyon boyutu yöntemi ile araştırmışlardır. Çalışmada 1950Q1-1983Q4 yılları arası istihdam, 1949Q1-1982Q4 yılları arası işsizlik, savaş sonrası dönemde aylık sanayi üretimi, 1877-1937 yılları arası demir üretimi verilerini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, analiz edilen dönemlerde makroekonomik verilerin doğrusal olmayan yapıya sahip olduklarını tespit etmişler fakat kaosu varlığı hakkında bir kanıt elde edememişlerdir.

Frank ve Stengos (1988), 1947-1971 dönemleri arası çeyrek yıllık verilerle çalışılan 6 Kanada makroekonomik zaman serisinde; Gayri safi milli hasıla, tüketim harcamaları, kamu harcamaları, sabit sermaye oluşumu, işletmeler tarafından gayrisafi sabit sermaye oluşumu ve kamu tarafından gayrisafi sabit sermaye oluşumu serilerinde kaotik yapının varlığını korelasyon boyutu analizi ile incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, analiz edilen dönemde makroekonomik zaman serilerinin doğrusal olmayan bir yapı içerdiğini, fakat kaotik yapının varlığı hakkında bir bulgu tespit edememişlerdir.

4.2. Hisse Senedi Piyasaları için Yapılan Çalışmalar

Brockett, Hinich ve Patterson (1988) çalışmasında, herhangi bir zaman serisinin gözlem değerlerinin doğrusal bir süreç tarafından üretildiği şeklinde tanımlanan hipotezle tutarlı olup olmadığını test etmek için bispektrum değerlerinin tahmininde kullanılan istatistiksel teknikler geliştirmişlerdir. Bu bağlamda, 10 farklı hisse senedinin günlük getirilerine Bispektral normallik ve doğrusallık testlerini uygulamışlardır. Testler sonucunda, hisse senetlerinin günlük getirilerinde doğrusal olmayan rassal bir süreç içerdiği yönünde bulgular tespit etmişlerdir.

Scheinkman ve LeBaron (1989), stokastik ve deterministik sistemleri birbirinden ayırt etmek için algoritma geliştirmişlerdir. ABD Menkul Kıymet Fiyatları Araştırma Merkezi (the Center for Research in Security Prices, CRSP)'in ağırlıklı haftalık getirilerine BDS testi uygulanmış ve getirilerin doğrusal olmadığını elde etmişlerdir.

Hsieh (1991), S&P500 endeksi ve CRSP'in ağırlıklı haftalık getirilerinde doğrusal olmayan yapıyı BDS testi ile araştırmıştır. Çalışmada, yaklaşık birbirine eşit örneklere bölünmüş olan 1962-1989 yılları arası haftalık, 1983-1989 yılları arası aylık ve 1988 yılında 15 dakikalık getirilerle çalışmıştır. BDS testi sonucunda haftalık, aylık ve 15 dakikalık getirilerin *iid* olmadığını ve doğrusal olmayan dinamiklerle aynı nitelikte olduğunu göstermiştir.

Willey (1992), 1982-1988 dönemleri arası S&P100 ve 1985-1989 yılları için NASDAQ100 borsa endekslerinin günlük kapanış fiyat değerleri kullanılarak kaosu varlığını korelasyon boyutu, Brock'ın Artık testi ve BDS testi ile incelemiştir. Testler sonucunda borsa endekslerinde kaotik yapıya rastlamıştır.

Mayfield ve Mizrach (1992), 1987 yılında 19027 veri kullanılarak S&P500 endeksinin anlık getirilerinin kaotik yapısını test etmiştir. Korelasyon boyutu ve Kolmogorov Entropi yöntemleri kullanılan çalışmada, anlık getirilerin doğrusal olmadığı ve kaotik yapıya sahip olduğunu bulmuşlardır.

Abhyankar, Copeland ve Wong (1995), 1993 yılında FTSE100 (Financial Times Stock Exchange) endeksindeki yaklaşık 60000 gözlemden, ilk altı aylık dönemi kullanılarak doğrusal olmayan ve kaotik yapının varlığını gerçek zamanlı getiriler ile analiz etmişlerdir. Çalışmada doğrusal olmayan yapının varlığını Hinich Bispectral ve BDS testleriyle, kaotik yapının varlığını ise en büyük Lyapunov üsteli testi ile test etmişlerdir. Testler sonucunda, FTSE100 endeksinin gerçek zamanlı getirilerinde doğrusal olmayan ve kaotik yapının varlığını tespit etmişlerdir.

Abhyankar, Copeland ve Wong (1997), en çok takip edilen New York (ABD), Frankfurt (Almanya), Tokyo (Japonya) ve Londra (Birleşik Krallık) borsalarının en önemli endeksleri olan S&P500, DAX, Nikkei225 ve FTSE100 endekslerinin gerçek

zamanlı getirilerinin doğrusal olup olmadığını ve kaotik yapının varlığını BDS ve NEGM testleri ile incelemişlerdir. Testler sonucunda, tüm borsa endeksi getirilerinin doğrusal olmayan bir yapı içerdiğini, ancak kaotik yapıya sahip olmadıklarını tespit etmişlerdir.

Barkoulas ve Travlos (1998), gelişmekte olan sermaye piyasası Atina Menkul Kıymetler Borsası (Athens Stock Exchange, ASE30) endeksi getirilerinde doğrusal olmayan kaotik bir yapının varlığını korelasyon boyutu ve Kolmogorov Entropisi ile araştırmışlardır. Çalışmada, 1988-1990 dönemleri arasında ASE30 endeksinin kapanış fiyatlarına dayanan günlük hisse senedi getirilerini kullanmışlardır. Analizler sonucunda, ASE30 endeksi getirileri davranışının doğrusal olmayan bir yapı sergilediğini, ancak kaotik yapıyı destekleyici bulgular elde edememişlerdir.

Amilon ve Byström (1998), İsveç borsa endeksi (The Stockholm Stock Exchange, OMX) getirilerinin doğrusal olup olmadığını araştırmışlardır. Çalışmada, 1919-1996 yılları arası aylık veri, 1984-1996 yılları arası günlük veri ve 1992-1993 yılları arası 15 dakikalık getiri serilerini kullanmışlardır. BDS testi kullanılan çalışmada, OMX endeksi getirileri davranışının doğrusal olmayan bir yapı sergilediğini, ancak kaotik yapının varlığına yönelik bir kanıt bulamamışlardır.

Harrison, Yu, Oxley, Lu ve George (1999), 1928-1987 yılları arası S&P Bileşik Fiyat Endeksi günlük getirilerinde kaotik yapının varlığını araştırmışlardır. Çalışma dönemi kapsamında, ikinci dünya savaşı öncesi dönemin savaş sonrası dönemden daha fazla oynak olduğunu, bu nedenle endeks getirisindeki kaotik yapıyı belirlemeden önce bu gürültüyü ortadan kaldırmak için Hodrick-Prescott fark dönüşümü ve filtreleme gibi farklı dönüşüm yoluna gitmişlerdir. Daha sonra korelasyon boyutu yöntemi kullanılarak endeks getirileri için doğrusal olmayan kaotik yapının varlığını test ederek kaosun varlığını tespit etmişlerdir.

Chu (2003), 1992-2002 dönemleri arasında Shanghai ve Shenzhen Menkul Kıymetler Endekslerinin günlük getirilerinde doğrusal olmayan ve kaotik yapının varlığını BDS testi ve korelasyon boyutu analizi ile araştırmıştır. BDS testi sonucu endekslerin günlük getirilerinde doğrusal olmayan yapının varlığına dair kanıt elde

ederken, korelasyon boyutu analizi sonucunda ise getirilerin kaotik yapıya sahip olduğu bulgusuna ulaşmıştır.

Antoniou ve Vorlow (2005), 1970-2003 yılları arası FTSE100 endeksinde işlem gören 53 şirketin günlük getirilerinde doğrusal olmayan yapının varlığını test etmiştir. Çalışmada günlük getirilere BDS testini uygulamış ve getirilerin veri üretim süreçlerinde doğrusal olmayan yapının varlığına yönelik kanıt elde etmişlerdir.

Çinko (2006), 1989-2006 dönemleri arası İstanbul Menkul Kıymetler Borsası (İMKB) 100 endeksi günlük getirilerinin doğrusal bir yapıya sahip olup olmadığını analiz etmiştir. Çalışmada veri seti dört şekilde değerlendirilmiştir. İlk değerlendirme veri setine günler kukla değişken olarak kullanıldıktan sonra ARMA modeli tahmin edilmiş ve artıklarına BDS testi uygulanmıştır. İkinci veri seti ise getiri serisine ARMA modeli tahmin edilmiş ve artıklarına BDS testi uygulanmıştır. Üçüncü veri setinde GARCH (1,1) modeli ve dördüncü veri setinde ise AR(1)-GARCH(1,1) ile standartlaştırılmış hata karelerinin logaritmalarına BDS testi uygulanmıştır. BDS testi sonuçlarına göre birinci, ikinci ve dördüncü veri setinde getirilerin doğrusal olmayan bir yapıya sahip olduğunu bulmuştur. Üçüncü veri setinde ise BDS testi bazı boyutlarda artıkların *iid* sahip olduğunu göstermiştir.

Adrangi, Chatrath, Kamath ve Raffiee (2008), Endonezya (Jakarta Exchange Index, JEI) ve Malezya (Kuala Lumpur Exchange Index, KLEI) borsa endekslerinde doğrusal olmayan ve kaotik yapının varlığını test etmişlerdir. Çalışmada, 1990-2005 yılları arasında günlük kapanış fiyatları kullanılarak hisse senedi getirileri korelasyon boyutu ve BDS testi ile analiz etmişlerdir. Analizler sonucunda, doğrusal olmayan yapının varlığına dair bulgular elde edilmiş, ancak kaotik yapının varlığına yönelik kanıt elde edememişlerdir.

İşeri, Çağlar ve Çağlar (2008), İMKB endeksinin günlük kapanış logaritmik getirilerinde kaotik yapının varlığını korelasyon boyutu ve faz uzayı ile analiz etmişlerdir. Analizler sonucunda, hisse senedi getirilerinde kaotik bir yapının varlığını ortaya koymuşlar ve İMKB'nin günlük getirileri için uzun dönem öngörüsünün yapılamayacağı sonucuna ulaşmışlardır.

Lim, Brooks ve Hinich (2008), gelişmekte olan on Asya ülkesi olan Çin (Shanghai Stock Exchange Composite), Hindistan (India BSE National), Endonezya (Jakarta Stock Exchange Composite), Güney Kore (Korea Stock Exchange Composite), Malezya (Kuala Lumpur Composite), Pakistan (Karachi Stock Exchange 100), Filipinler (Philippines Stock Exchange Composite), Sri Lanka (Colombo Stock Exchange All Share), Tayvan (Taiwan Stock Exchange Weighted) ve Tayland (Bangkok Stock Exchange) borsa endeksleri getirilerinde doğrusal olmayan yapının varlığını Hinich Bikorelasyon testi ile araştırmışlardır. Test sonucunda, tüm borsa endeksi getirilerinde doğrusal olmayan yapının varlığını tespit ederek, etkin piyasa hipotezinin bu hisse senedi endeksleri için geçerli olmadığını ortaya koymuşlardır.

Özer ve Ertokatlı (2010), Borsa İstanbul (BIST) tüm endeksi getirilerinde doğrusal olmayan yapının varlığını BDS ve Hinich Bispectral testleriyle, kaotik yapının varlığını ise Lyapunov üsteli ve NEGM testleri ile analiz etmişlerdir. Analizler sonucunda, BIST tüm endeksi getirilerinde doğrusal olmayan yapının ve kaotik yapının varlığını tespit etmişlerdir. Çalışma sonucunda, BIST tüm endeksi getirilerinin *iid* olmadığını ve etkin piyasa hipotezinin BIST için geçerli olmadığı sonucuna ulaşmışlardır.

Caraiani (2012), 1994-2010 yılları arası Çek Cumhuriyeti (Prague Stock Exchange Index, PX), Macaristan (Budapest Stock Exchange, BUX) ve Polonya (Warsaw Stock Exchange, WIG) Doğu Avrupa ekonomilerinin hisse senedi endeksi getirilerinde doğrusal olmayan yapının ve kaotik özelliklerin varlığını araştırmıştır. Çalışmada kullanılan doğrusal olmama ve kaos testlerinden BDS, White, Teravista ve Lyapunov üsteli testleri sonucunda doğrusal olmayan bağımlılığın ve kaotik dinamikler lehine bulgular elde etmiştir. Çalışma sonucunda, etkin piyasa hipotezinin bu ülke borsa endeksleri için geçerli olmadığı sonucuna ulaşmıştır.

Diaz (2013), 1896-2013 yılları arası dört Dow Jones endeksinden oluşan Dow Jones Sanayi Ortalama Endeksi (DJIA), Dow Jones Ulaşım Ortalama Endeksi (DJTA), Dow Jones Hizmet Ortalama Endeksi (DJUA) ve Dow Jones Bileşik Ortalama Endeksi (DJCA) günlük logaritmik getirilerinde kaotik yapının varlığını test etmiştir. Çalışmada BDS testi sonucunda, DJUA endeksinin GARCH modelinin

filtrelenmiş artıkları dışındaki diğer endekslerde *iid* özelliği sağlanamadığı sonucuna ulaşmıştır. R/S analizi sonucu elde edilen Hurst üstelleri de 0.5 değerinden büyük tahmin etmiş ve endeks getirilerinin uzun hafızaya sahip olduğunu tespit etmiştir. Korelasyon boyutu analizi sonucunda ise, Dow Jones endeksleri getirilerinde kaotik bir yapının varlığını tespit etmiştir.

Özdemir ve Akgül (2014), 1987-2011 yılları arasında İMKB 100 endeksi günlük getirilerinin kaotik yapıya sahip olup olmadığını test etmişlerdir. BDS testi ve Lyapunov üsteli yöntemlerinin kullanıldığı çalışmada İMKB 100 endeksinin kaotik karakteristik özelliklere sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Günay (2015), 1997-2014 yılları arasında Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Türkiye (BRIC-T) ülkelerinin borsa endeksi günlük getirilerinde kaotik davranışın önde gelen özellikleri olan; doğrusal olmama, başlangıç durumlarına duyarlılık ve fraktallık özelliklerini analiz etmiştir. Çalışmada BDS testi, en büyük Lyapunov üsteli testi ve kutu sayım yöntemi kullanmıştır. Testler sonucunda, BRIC-T ülkelerinin hisse senedi endeks getirilerinde, kaotik yapının varlığını tespit etmiştir.

Birgili, Üçay ve Esen (2015), 1988-2011 yılları arasında BIST 100 endeksinin günlük kapanış fiyatlarını kullanarak doğrusal olmayan yapının varlığını BDS testi ile analiz etmişlerdir. Bunun sonucunda BIST 100 endeksinin rassal hareket etmediğini diğer bir ifadeyle etkin piyasa hipotezinin geçerli olmadığını ortaya koymuşlardır. Çalışmanın sonucunda hisse senedi getirilerinin fiyat hareketlerinin öngörülmesinde doğrusal olmayan yapıları da kapsayan modellerin geliştirilmesini önermişlerdir.

Alpar ve Eren (2016), 1988-2012 dönemleri arasında İMKB 100 endeksi günlük kapanış değişim değerleri verilerinde, Lyapunov üsteli testi ile kaosun varlığını test etmişlerdir. En büyük Lyapunov üsteli değerinin pozitif değerler aldığını bulmuşlardır. Bunun sonucunda İMKB 100 endeksinin kaotik bir yapıya sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

4.3. Para Piyasaları için Yapılan Çalışmalar

Hsieh (1989) çalışmasında, 1974-1983 yılları arasında 5 önemli döviz kuru olan İngiliz poundu, Kanada doları, Alman Markı, Japon yeni ve İsviçre frangı'nın günlük getiri değişikliklerinde doğrusal olmayan yapının varlığını BDS testi ile test etmiştir. Analiz sonucunda, tüm döviz kuru getiri değişikliklerinde doğrusal olmayan yapının varlığını tespit etmiştir.

Hsieh (1993), 1985-1990 yılları için İngiliz poundu, Alman markı, Japon yeni ve İsviçre frangı para birimlerinin günlük logaritmik fiyat değişikliklerinin *iid* özelliğini veya doğrusal olup olmadığını BDS testi ile test etmiştir. Test sonucunda, tüm döviz kurlarının logaritmik getirilerinin *iid* özelliği göstermediğini ve bu bağlamda kurların doğrusal olmayan bir yapıya sahip olduğunu elde etmiştir.

Serletis ve Gogas (1997), 7 Doğu Avrupa kara borsa döviz piyasasında kaotik yapının varlığını test etmişlerdir. Çalışmada, 1955-1990 yılları arasında aylık veriler kullanılarak, döviz kuru getirilerinde üç yarı parametrik yöntem olan BDS testi, NEGM testi ve Gencay ve Dechart'ın Lyapunov üsteli tahmincisini kullanmışlardır. Testler sonucunda, yalnızca Rus Rublesi ve Alman Markında kaotik yapı görülürken, diğer döviz kurlarında kaotik yapının varlığı hakkında bulgu elde edememişlerdir.

Brooks (1998), 1974-1994 yılları arasında sterlin cinsinden 10 para biriminin; Avusturya şilini, Kanada doları, Danimarka kronu, Fransız frangı, Alman markı, Hong Kong doları, İtalyan lirası, Japon yeni, İsviçre frangı ve Amerikan doları günlük getirilerinde kaotik yapının varlığını korelasyon boyutu ve Lyapunov üsteli spektrum yöntemleri ile analiz etmiştir. Çalışma sonucunda, para birimlerinin doğrusal olmayan bir yapıya sahip oldukları, ancak kaotik bir yapıya sahip olmadıklarını tespit etmiştir.

Gao ve Wang (1999), 1984-1993 yılları için günlük logaritmik vadeli işlem fiyat değişikliklerinde doğrusal olmayan yapının varlığını araştırmışlardır. Çalışmada Japon yeni, Alman markı ve Avro/dolar fiyat getirilerine BDS testini uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, tüm günlük logaritmik vadeli işlem fiyatlarında doğrusal olmayan yapının varlığına dair bulgular elde etmişlerdir.

Andreou vd. (2000), 1985-1995 yılları arasında Yunan Drahmi'e karşı dört önemli para biriminin günlük getirilerinde doğrusal olmayan ve kaotik yapının varlığını incelemişlerdir. Çalışmada dolar kuru, İngiliz sterlini kuru, Alman markı kuru ve Fransız frangı kuru fiyat getirilerine öncelikle BDS testi uygulanılmış, dört serinin de doğrusal olmayan bir yapıya sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Daha sonra serilerdeki fraktallık özelliği dönüştürülmüş genişlik testi ile analiz edilmiş, Alman markı ve Fransız frangı kur serilerinin fraktal yapıya sahip olduklarını belirlemişlerdir. Son olarak da serilerdeki kaotik yapıyı korelasyon boyutu ve Lyapunov üsteli testi ile incelenmiş, serilerde kaotik yapıya rastlamışlardır.

Serletis ve Shahmoradi (2004), 1974-2002 yılları için günlük nominal Kanada doları – Amerikan doları döviz kuru oranını kullanarak kaotik yapının var olup olmadığı test etmişlerdir. Döviz kurunda doğrusal olmama eşik otoregresif tipi bir model ile tutarlı bir kanıt bulunmuş, döviz kurunun stokastik doğrusal olmayan modelinde, doğrusal zaman serisi modellerine göre daha başarılı sonuçlar ürettiğini göstermişlerdir.

Resende ve Zeidan (2008), 1984-1988 yılları arasında dört farklı döviz kuru; İngiliz poundu, Alman markı, Japon yeni ve İsviçre frangı oranının kaotik bir yapıya sahip olup olmadığını en büyük Lyapunov üsteli testi ile araştırmışlardır. Çalışma sonucunda döviz kuru oranlarında yalnızca İngiliz poundu ve Alman markı döviz kurlarında kaotik yapıya rastlanırken, diğer döviz kurlarında kaotik yapının varlığına dair bir bulgu tespit edememişlerdir.

4.4. Emtia Piyasaları için Yapılan Çalışmalar

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 ürünüde 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.

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında finansal varlık fiyat getirilerinin çoğunun doğrusal olmadığı ile ilgili bulgular elde edilirken, kaotik yapı ile ilgili konsensüs olmadığı görülmüştür. Ayrıca hisse senedi piyasaları için yapılan çalışmalarda ise EPH'nin geçerliliği ile ilgili farklı sonuçlar elde edilmiştir. Tez kapsamında doğrusal olmama ve kaotik yapıyı inceleyen çalışmaların özeti EK-1'de yer almaktadır.

Literatürde gelişmekte olan ülkelerin borsa endekslerinin kaotik yapısını analiz eden sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında 1997-2016 yılları arası önde gelen gelişmekte olan ülkelere BRICT borsa endekslerinin kaotik yapısı incelenmiştir. Literatürdeki yapılmış çalışmalardan farklı olarak analizlere kontrol değişkeni olarak tüm dünya borsalarını etkileyen S&P 500 endeksi dâhil edilerek literatüre katkıda bulunmak amaçlanmıştır.

Bu bölümde makroekonomik veriler, hisse senedi piyasaları, para piyasaları ve emtia piyasaları üzerine yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Bir sonraki bölümde gelişmekte olan ülkelerin borsa endeksleri üzerine yapılan ampirik uygulama ile devam edilecektir.



5. GELİŞMEKTE OLAN ÜLKELERİN BORSA ENDEKSLERİ ÜZERİNE AMPİRİK BİR UYGULAMA

Beşinci bölümde, öncelikle diğer bölümlerde genişçe açıklanan araştırmanın amacı, yöntemi ve önemi özetlenmiştir ve devamında ampirik bulgular sunulmuştur. Bölüm 5.4'te veri seti tanıtılmış ve alt bölümlerde analiz kapsamında kullanılan ülkelerin ekonomileri ve sermaye piyasaları hakkında genel bilgi verilmiştir. Bölüm 5.5'te getiri serilerinin tanımlayıcı istatistikleri ve Bölüm 5.6'da logaritmik ve getiri serilerinin birim kök testi sonuçları özetlenmiştir. Ardından Bölüm 5.7'de doğrusal olmama testlerinden Brock, Dechert ve Scheinkman (BDS) testi ve Hinich Bispectrum test sonuçları sunulmuştur. Bölüm 5.8'te kaos testlerinden korelasyon boyutu analizi ve en büyük Lyapunov üsteli testi sonuçları verilmiştir. Bölüm 5.9'da fraktal yapının belirlenmesi ve ölçümüne yönelik testlerden dönüştürülmüş genişlik (R/S) analizi, modifiye edilmiş Geweke Porter-Hudak (GPH) testi ve fraktal boyut analizi yapılmıştır. Bölüm 5.10'da ise S&P500 endeksinin kontrol değişkeni olarak yer aldığı testler yapılmış ve elde edilen bulgular karşılaştırılmıştır.

5.1. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmada önde gelen gelişmekte olan ülkelere Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Türkiye (BRIC) borsa endekslerinin kaotik bir yapıya sahip olup olmadıkları araştırılmıştır. Bu amaçla 01.10.1997-30.12.2016 dönemleri arasında endekslerin günlük kapanış fiyat getirileri incelenmiştir. Kaotik bir yapının en önemli özellikleri doğrusal olmama, başlangıç durumlarına hassas bağlılık, kendine benzerlik ve fraktal boyut'dur. Peters (1994) çalışmasında, kaotik bir yapıdan bahsedilebilmesi için başlangıç durumlarına hassas bağlılık ve fraktal boyutun iki gerekli koşul olduğunu ifade etmiştir. Dolayısıyla bu iki önemli koşulun gerçekleşmesi durumunda kaotik bir yapının varlığına dair bir kanıt elde edilmiş olacaktır.

Hisse senedi getirilerinde kaotik bir yapının varlığının tespit edilmesi fiyat hareketlerinin tahmin edilebileceği anlamına gelmektedir. Bu durum, Fama (1970) tarafından EPH geçerliliğinin tartışılmasına yol açmaktadır. EPH'ne göre,

piyasalarda var olan fiyatların mevcut olan tüm bilgiyi yansıttığı ve geçmiş fiyat bilgilerinden hareketle gelecekteki fiyat hareketlerini öngörmenin mümkün olmadığı savunulmaktadır. EPH, finans teorisinin temelini oluşturduğundan yapılan analizlerin sorgulanmasına yol açacaktır. Bu nedenle kaotik bir yapının varlığı hem teoride hem de uygulamada önemli sorunlara neden olmaktadır. Dolayısıyla, bu tez çalışmasında elde edilecek olan bulguların yatırımcılar, araştırmacılar ve finansal otoriterler için faydalı olacağı düşünülmektedir.

5.2. Araştırmanın Yöntemi ve Hipotezler

Çalışmada öncelikle endeks getirilerinin tanımlayıcı istatistikleri ile karakteristik özellikleri ortaya konulmuş sonrasında ise logaritmik ve getiri serilerinin grafiksel analizlerine yer verilmiştir. Sonrasında Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF,1981) ve Phillips-Perron (PP,1988) birim kök testleri yapılarak getirilerin durağanlığı araştırılmıştır. Devamında kaotik bir yapının varlığının test edilebilmesi için öncelikle getirilere doğrusal olmama testleri olan BDS ve Hinich Bispectrum normallik ve doğrusallık testleri uygulanmıştır. Ayrıca BDS testi yardımıyla endeks getirilerindeki doğrusal olmayan yapının kaynağı analiz edilmiştir. Sonrasında serilerin başlangıç durumlarına hassas bağlılık özelliğinin test edilebilmesi için korelasyon boyutu analizi ve en büyük Lyapunov üsteli testleri yapılmıştır. Devamında getiri serilerinin fraktal yapısının tespiti dönüştürülmüş genişlik (R/S) analizi ve modifiye edilmiş Geweke Porter-Hudak (GPH) testi ile test edilmiştir. Sonrasında Logaritmik endeks serilerinin fraktal boyut ölçümü ise kutu sayım yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Son olarak elde edilen bulguların tutarlılığını incelemek amacıyla aynı işlemler tüm dünya borsalarını etkileyen S&P500 endeksi dahil edilerek uygulanmış ve sonuçlar raporlandırılmıştır.

Bu tez çalışmasında kaotik yapı analizlerinin tamamında kullanılan sıfır ve alternatif hipotezler aşağıdaki gibidir:

- BDS ve Hinich Bispectrum Doğrusallık testleri aşağıdaki hipotezi sınar:

H_0 : İncelenen BRİCT ülkesinin borsa endeksi getirilerinin veri üretim süreci doğrusaldır.

H_1 : İncelenen BRICT ülkesinin borsa endeksi getirilerinin veri üretim süreci doğrusal değildir.

- En büyük Lyapunov Üsteli testi aşağıdaki hipotezi sınar:

H_0 : İncelenen BRICT ülkesinin borsa endeksi getirileri kaotik yapıya sahip değildir.

H_1 : İncelenen BRICT ülkesinin borsa endeksi getirileri kaotik yapıya sahiptir.

- R/S analizi ve GPH testi aşağıdaki hipotezi sınar:

H_0 : İncelenen BRICT ülkesinin borsa endeksi verileri fraktal yapıya sahip değildir.

H_1 : İncelenen BRICT ülkesinin borsa endeksi verileri fraktal yapıya sahiptir.

- BDS, R/S analizi ve GPH testi aşağıdaki hipotezi sınar:

H_0 : İncelenen BRICT ülkesinin borsa endekslerinde EPH geçerlidir.

H_1 : İncelenen BRICT ülkesinin borsa endekslerinde EPH geçerli değildir.

Şeklinde kurulan hipotezlerin geçerliliği test edilmiştir. Analizlerde kullanılan testler ve yararlanılan ekonometrik yazılımlar Çizelge 5.1'de sunulmuştur.

Çizelge 5.1. Analizlerde kullanılan paket programlar

Test	Program
Tanımlayıcı istatistikler ve grafiksel analiz	EViews 9
Birim kök testleri	EViews 9
ARMA, GARCH ve EGARCH modellerinin tahmin edilmesi	EViews 9
BDS testi	R 3.2.1
Hinich Bispectrum normallik ve doğrusallık testi	Matlab 2015a
Korelasyon boyutu analizi	R 3.2.1
En büyük Lyapunov üsteli testi	Matlab 2015a
Dönüştürülmüş genişlik (R/S) analizi	R 3.2.1
Modifiye edilmiş Geweke Porter-Hudak (GPH) testi	Stata 13
Fraktal boyut analizi: Kutu sayım yöntemi	R 3.2.1

5.3. Araştırmanın Önemi

Finans literatüründe kaos analizi çalışmaları 1990'lı yıllarda başlamıştır. Yapılan çalışmalara bakıldığında gelişmiş ülkelerdeki finansal piyasalardaki fiyat davranışlarının doğrusal olmayan ve kaotik yapılarına yönelik çok sayıda çalışma olduğu, buna karşın gelişmekte olan piyasaların borsa endekslerine yönelik çok az sayıda çalışma olduğu tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasında, finans alanında yaygın olarak kullanılan EPH'ne alternatif bir yaklaşım olarak önerilen kaos analizi tercih edilmiştir. Çalışmada önde gelen gelişmekte olan ülkelerden BRIC borsa endeksleri ile çalışılmıştır. Çalışmanın hem ulusal hem de uluslararası literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

5.4. Veri Seti

Çalışmada kullanılan borsa endeksi verileri 1.10.1997-30.12.2016 dönemleri arası günlük getirilerden oluşmaktadır. Çalışmada borsa endekslerine ait tarihsel veriler 1990'lı yıllarda başlamakta olup, bazı endeks verilerine ancak 1997 yılından itibaren ulaşılabilmektedir. Bu nedenle analizlerde ortak bir dönem benimsenmiş ve örneklem boyutu yüksek tutulmaya çalışılmıştır. Çalışmada yaklaşık 5000 veri kullanılmıştır. BRIC ve ABD borsa endekslerinin, endeks kodları ve temin edildiği veri kaynakları Çizelge 5.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Değişkenlerin tanımları

Ülke	Borsa İsimleri	Endeks Kodları	Veri Kaynağı
Brezilya	Brasil Sao Paulo Stock Exchange (BOVESPA)	^BVSP	Yahoo Finance
Rusya	Moscow Interbank Currency Exchange (MICEX)	MICEXINDEXCF.ME	GoogleFinance
Hindistan	Bombay Stock Exchange Sensitive Index- (SENSEX)	^BSESN	Yahoo Finance
Çin	Shanghai Stock Exchange Composite Index (SSEC)	000001.SS	Yahoo Finance
Türkiye	Borsa İstanbul (BIST100)	XU100.IS	Yahoo Finance
ABD	The Standard & Poor's Stock Market Index (S&P500)	^GSPC	Yahoo Finance

Borsa endekslerine ait t dönemindeki günlük logaritmik getiriler;

$$r_t = (\ln P_t - \ln P_{t-1}) \times 100 \quad (5.1)$$

Eş. 5.1'de gösterilen dönüşüm ile hesaplanarak türetilmiştir. Burada r_t , t dönemindeki endeksin getirisini P_t , t dönemindeki endeksin kapanış fiyatını ve P_{t-1} , $t - 1$ dönemindeki endeksin kapanış fiyatını göstermektedir. Çalışmada kullanılan veriler Yahoo Finance ve Google Finance'ın web sitesinden temin edilmiştir.

Doğrusal olmama ve kaos testlerine geçmeden öncelikle çalışmada kullanılan ülkelerin ekonomileri ve borsa endekleri hakkında genel bilgilere yer verilmiştir.

5.4.1. Brezilya (BOVESPA) Endeksinin Analizi

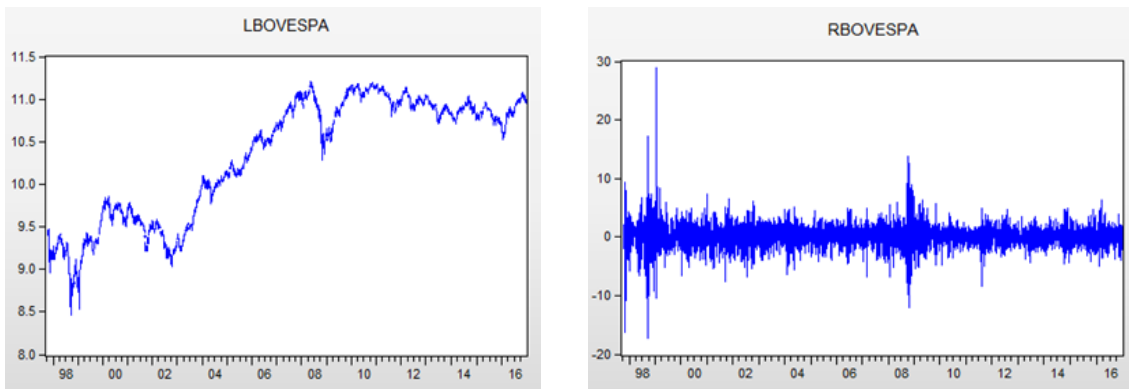
Güney Amerika'nın en geniş yüzölçümüne sahip ve nüfus açısından dünyanın beşinci büyük ülkesi olan Brezilya, yer altı kaynakları bakımından zengin bir ülkedir. En önemli doğal kaynakları kahve, kakao, kağıt, kağıt hamuru, demir ve çelik ürünlerinde karşılaştırmalı üstünlüğe sahiptir. Dünya'nın en büyük on beşinci petrol üreticisi olan Brezilya, Venezuela'dan sonra Güney Amerika'daki ikinci büyük petrol ihraç eden ülkedir.

Latin Amerika'nın en büyük, dünyanın ise dokuzuncu büyük ekonomisi olan Brezilya, 1980'lerin sonunda ekonomik serbestleşme politikalarını hayata geçirmeye başlamıştır. 1990'lı yıllardaki ekonomik serbestleşme çalışmalarının sonucunda

ülkeye doğrudan yabancı sermaye miktarlarında sıçrama yaşanmış, özellikle otomotiv sanayisi ve alt yapının modernizasyonunda önemli gelişmeler sağlamıştır. Dünya Bankası ve Uluslararası Para Fonu (IMF)'nin destekleriyle gerçekleştirilen ekonomik reformlar sayesinde özel sektörün yatırım yapması, devletin ise uygun koşullarda finansman sağlamasının yolunu açmıştır. Bunun sonucunda Brezilya ekonomisi, 2000'li yıllarla birlikte dikkat çekici oranlarda büyüme sağlamış, enflasyonla mücadelede önemli başarılar kazanmıştır (Akbulak, 2008; Kazgan, 2012:210). Ancak son yıllarda yaşanan siyasi çalkantı ve ekonomik krizler nedeniyle GSYİH 2015 yılında yüzde 3.8, 2016 yılında ise yüzde 3.6 oranında küçülmüştür. 2017 yılında ekonomik daralmanın durması öngörülmektedir.

Finans piyasaları açısından bakıldığında, sistemin bankacılık sektörü ağırlıklı olduğu ve ülkenin tek menkul kıymet borsası olan Brasil Sao Paulo borsası (BOVESPA)'nın Latin Amerika'nın en gelişmiş borsası olduğu söylenebilir. 1890 yılında Bolsa de Valores de Sao Paulo olarak kurulan borsa, 2000 yılında yeniden organize edilerek bugünkü haline getirilmiştir (Lopes ve Alencar, 2010).

Brezilya ekonomisi ve sermaye piyasası ile ilgili yapılan açıklamalardan sonra BOVESPA endeksinin logaritmik değeri olan LBOVESPA ve getirisi olan RBOVESPA serisi sırasıyla analiz edilmiştir. BOVESPA endeks serisinin grafiği Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. BOVESPA endeksinin logaritmik ve getiri serileri

Şekil 5.1'de LBOVESPA serisinin sıfırdan farklı bir yığılıma sahip olduğu ve zamanla birlikte ortalama değerinin arttığı, yani trende sahip olduğu görülmektedir.

Analiz edilen dönemde LBOVESPA serisinin 1996, 2002 ve 2008 yıllarında düşüş yaşadığı görülmektedir. 20 Aralık 1995 yılında Meksika'da yaşanan devâlüasyon ile 1996 yılında BOVESPA endeksi yüzde 25 değer kaybı yaşamıştır. 2002 yılında Arjantin bankacılık sisteminde meydana gelen kriz BOVESPA endeksinin düşmesine neden olmuştur. 2008 yılında ise ABD'de meydana gelen mortgage krizi tüm dünya ülkeleri borsa endeksleri ile birlikte BOVESPA endeksini de etkilemiştir. Ancak 2009 yılında hızlı değer kazanmış ve daha sonrasında hafif düşüş trendine geçtiği görülmüştür.

RBOVESPA serisinin ise, sıfır etrafında rassal salındığı ve volatilitésinin yüksek olduğunu söyleyebiliriz. Ayrıca getiri serisinde 1996 ve 2008 yılı krizlerinin yaşandığı dönemlerde seride aşırı değerlerin varlığı dikkat çekmektedir.

5.4.2. Rusya (MICEX) Endeksinin Analizi

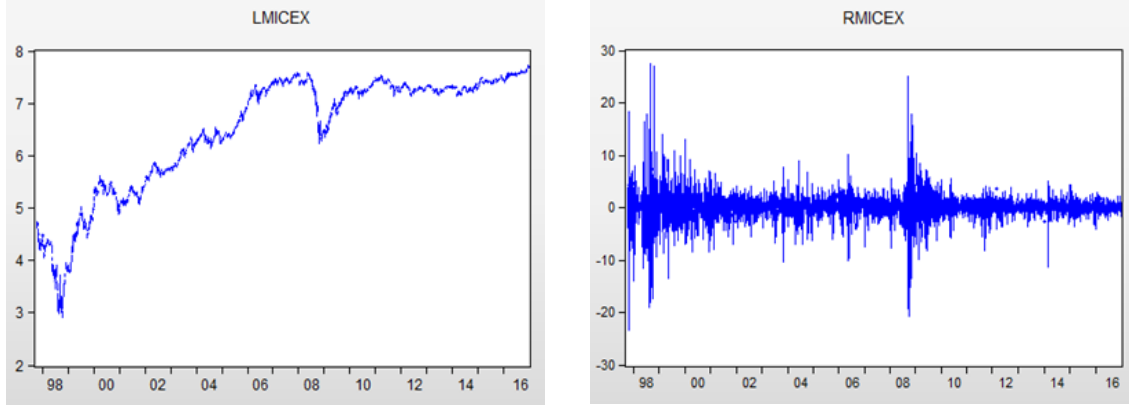
Dünyanın en geniş yüzölçümüne sahip ve nüfus yoğunluğu bakımından dünyanın sekizinci kalabalık ülkesi olan Rusya, enerji kaynakları bakımından zengin bir ülkedir. En önemli doğal kaynakları petrol ve doğalgazdır.

1991 yılının sonlarında Sovyet Sosyalist Cumhuriyeti Birliği (SSCB)'nin dağılmasından sonra kurulmuş olan Rusya, merkezi planlama yönetimi terk ederek, uygulanan ekonomik reformlarla birlikte serbest piyasa ekonomisine geçiş sağlamaya çalışmıştır. 1992 yılında Rusya ekonomisini hızlı inşa edilebilmesi için bir ekonomik program tasarlanmıştır. Ancak üretimdeki düşüş ve yapısal reformlardaki yavaş ilerlemenin önüne geçilememiştir. 1994 yılında IMF desteği ile sıkı para politikası uygulaması başlatılmış ve enflasyonla mücadeleye dönük bir bütçe kabul edilmiştir. Yüksek enflasyonla uzun yıllar süren mücadele sonunda Rusya, 1995 yılında ekonomik istikrar sağlamış ve bunu 1998 yılı ortalarına dek sürdürmeyi başarmıştır. 1997-1998 yılları arası başlıca ihraç mallarının fiyatlarındaki düşüş ve Asya krizinin sonucunda uluslararası yatırımcıların gelişmekte olan ülkelere olan yatırımlarında çekimser kalmaları Rusya ekonomisi üzerinde güçlü bir dış şok etkisi yaratmıştır. Söz konusu dışsal şok, borçların hızla artmasına yol açmış ve dış borç ödemelerinde Rusya moratoryum ilan etmiştir (Parasız ve Bildirici, 2006:59-60; Kazgan, 2012:221-223). Bu krizin ardından

uygulanan sıkı para politikası ve küresel enerji fiyatlarında artışla birlikte dış borçların ödenmesi hızlanmış, ülke ekonomisi 2003 yılı sonrasında yüzde 6 ile 7 arasındaki yıllık büyüme oranları ile 2000 yılında 259 milyar dolara, 2014 yılında ise 2,63 trilyon dolara ulaşmıştır. Rusya'nın 2014 yılı Kırım işgalinden sonra, ABD ve Avrupa ülkelerinin ekonomik yaptırımlar ve ambargo ile karşılaşması, ülkenin ekonomik büyümesini 2015 yılında yüzde 2.8, 2016 yılında ise yüzde 0.2 küçülmesine yol açmıştır.

Ülkenin finansal sistemine bakıldığında, uygulanan reformlarla sağlanan ekonomik istikrar sonucu Rusya'nın uluslararası derecelendirme kuruluşlarındaki kredi notu yükselmiştir. Yabancı yatırımcıların sermaye piyasaları üzerine yatırım yapmasını engelleyen kısıtlamalar kaldırılmış ve Rusya'daki yabancı yatırımlarda artış meydana gelmiştir. Bunun yanında kamu şirketlerinin hızla özelleştirilmesi, şirketleşme olgusunu yaratarak ülkede sermaye piyasalarının oluşumunda anahtar rol oynamıştır. Ülkede Moscow Interbank Currency Exchange (MICEX) ve Russian Trading System Stock Exchange (RTSSE) olmak üzere iki büyük borsa bulunmaktadır. 1989'da açılan ve başlangıçta sadece Merkez Bankası'nın döviz işlemleri için kullanılan MICEX, 1992'den beri menkul kıymet borsası olarak çalışmakta olup, Doğu Avrupa'nın en büyük borsasıdır. RTSSE ise Moskova'da 1995 yılında Nasdaq benzeri yerel bir tezgah üstü piyasa olarak kurulmuş olup, 1998 yılında ulusal bir borsa haline gelmiş, bugün bünyesinde RTS Money döviz piyasası, NQS Bills tahvil piyasası ile FORT vadeli işlem piyasası bulunduran uluslararası bir borsa niteliği kazanmıştır. Bu iki temel borsanın dışında St. Petersburg Borsası, Nizhny Novgorod Borsası gibi bölgesel borsalarda bulunmaktadır. Rusya sermaye piyasaları, şeffaflık, kamuyu aydınlatma, kurumsal yönetim gibi konularda diğer gelişmekte olan ülkelere geride olup, bu durum uluslararası yatırımcıların en önemli şikayetlerindedir (Grigoriev ve Valitova, 2008; Akbulak, 2008).

Rusya ekonomisi ve sermaye piyasası ile ilgili yapılan açıklamalardan sonra MICEX endeksinin logaritmik değeri olan LMICEX ve getirisi olan RMICEX serisi sırasıyla analiz edilmiştir. MICEX endeks serisinin grafiği Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2. MICEX endeksinin logaritmik ve getiri serileri

Şekil 5.2'de LMICEX serisinin sıfırdan farklı bir yığılıma sahip olduğu ve zamanla birlikte ortalama değerinin arttığı, yani trende sahip olduğu görülmektedir. Analiz edilen dönemde LMICEX serisinin 1998 ve 2008 yıllarında düşüş yaşadığı görülmektedir. 1997 yılı Temmuz ayında Tayland'da başlayan Güneydoğu Asya krizi, bölgeye yakın ülkelere yatırım yapmış fonlarda başlayan panik nedeniyle 1998 yılında Rusya'nın krize girmesine neden olmuştur. 2008 yılında ise ABD'de meydana gelen mortgage krizi MICEX endeksini de etkilemiştir. Borsada işlem gören şirketlerin kredi bulmalarının zorlaşması ve birçok büyük şirketin iflasla karşı karşıya kalması MICEX endeksinin düşmesine neden olmuştur. 2009 yılında MICEX endeksi hızlı bir şekilde toparlanma sürecine girmiş ve daha sonrasında yatay bir seyir izlediği görülmüştür. 2015 yılında OPEC'in petrol üretimini kısması petrol fiyatlarının yükselmesine yol açmış, bu durum petrol ve doğalgaz şirketlerinin hisselerinin yükselmesine ve dolayısıyla MICEX endeksinin yükseliş trendi sürecine girdiği görülmüştür.

RMICEX serisinin ise, sıfır etrafında rassal salındığı ve volatilitésinin yüksek olduğunu söyleyebiliriz. Ayrıca getiri serisinde 1998 ve 2008 yılı krizlerinin yaşandığı dönemde seride aşırı değerler dikkat çekmektedir.

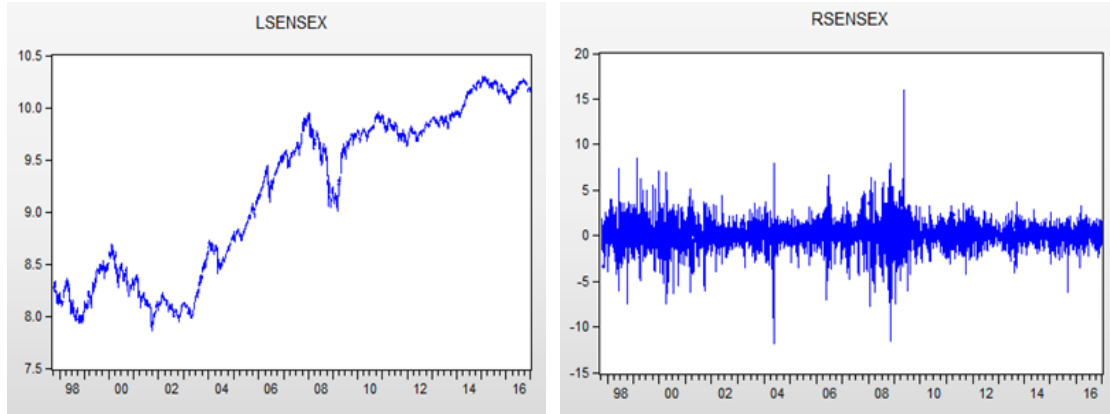
5.4.3. Hindistan (SENSEX) Endeksinin Analizi

Son yıllarda hızlı bir ekonomik performans sergileyen Hindistan, son 5 yıllık dönemde yüzde 6.9 oranında büyüme kaydederek, dünyanın en hızlı büyüyen ülkeleri arasına girmiştir. Hindistan'ı diğer gelişmekte olan ülkelere ayıran özellikler, nüfusunun çoğunluğunun İngilizce konuşması, yazılım alanında eğitilmiş insan kaynağının olması, dinamik bir özel sektörün varlığı, gelişmiş finansal sistemi, dünyanın en büyük pazarlardan biri olması söylenebilir.

Hindistan'ın ekonomik büyümesinin kaynağına bakıldığında, çoğu gelişmekte olan ülkelerin tersine büyüme ülkedeki iç talep artışından kaynaklanmaktadır. 1991 yılına kadar ekonomide devletçi politika yürüten Hindistan, bu tarihten itibaren ekonomik reform politikaları ile ticaret ve ihracatın rekabet gücünü arttırmıştır. Emek yoğun ucuz ihracat ürünlerinin yerine, yüksek teknolojiye dayandırdığı ihracat artışı süreci desteklenmiştir. Ekonomik reformlar sonucu sermaye hareketlerinin serbestleştirilmesi, Hindistan'ın başarısında önemli rol oynamıştır. Sermaye hareketlerinde serbestleşmenin getirdiği finansal derinleşmeyle, Hindistan'a akan dış sermayenin niteliğinde de yüksek volatiliteli portföy yatırımları ve borçlardan, daha istikrarlı kaynaklara doğru değişim yaşanmış, son yıllarda ise doğrudan yatırımlar, portföy yatırımlarının üzerine çıkmıştır (Srinivasan ve Tendulkar, 2003:48).

Ülkenin sermaye piyasaları açısından bakıldığında, 1992'de Securities and Exchange Board of India (SEBI) tarafından yapılan reformlarla, finansal derinlik yaratılmış ve yenilikçi finansal ürünlerin katkısıyla sermaye maliyetlerinde düşüş yaratılarak, ekonominin itici gücü haline geldiği söylenebilir (Pathak, 2008:112). Ülkede National Stock Exchange (NSE) ve Bombay Stock Exchange (BSE SENSEX) olmak üzere iki menkul kıymet borsası bulunmaktadır.

Hindistan ekonomisi ve sermaye piyasası ile ilgili yapılan açıklamalardan sonra SENSEX endeksinin logaritmik değeri olan LSENSEX ve getirisi olan RSENSEX serisi sırasıyla analiz edilmiştir. SENSEX endeks serisinin grafiği Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.3. SENSEX endeksinin logaritmik ve getiri serileri

Şekil 5.3'te LSENSEX serisinin sıfırdan farklı bir yığılıma sahip olduğu ve zamanla birlikte ortalama değerinin arttığı, yani trende sahip olduğu görülmektedir. Analiz edilen dönemde LSENSEX serisinin 1998, 2001 ve 2008 yıllarında düşüş yaşadığı görülmektedir. 1997 yılında meydana gelen Doğu Asya Mali Krizi, gelişmekte olan ülkelere yatırım yapmış fonların ülkeden çıkması sonucu SENSEX endeksinin 1998 yılında düşmesine neden olmuştur. 2001-2002 dönemlerinde Hindistan-Pakistan arasındaki nükleer savaş riski, ülkenin jeopolitik riskini arttırmış ve SENSEX endeksi aşağı yönlü düşüş göstermiştir. 2008 yılında ise ABD'de meydana gelen mortgage krizi ve bu krizin küresel finans piyasalarına yayılması sonucu SENSEX endeksinin düşmesine neden olmuştur. 2009 yılı sonrasında endeks hızlı bir şekilde toparlanma sürecine girmiş ve daha sonrasında yükselme trendine girdiği görülmüştür.

RSENSEX serisinin ise, sıfır etrafında rassal salındığı ve volatilitésinin yüksek olduğunu söyleyebiliriz. Ayrıca getiri serisinde 1998, 2001 ve 2008 yıllarındaki şokların seride aşırı hareketlerin gözlemlenmesine yol açtığı görülmektedir.

5.4.4. Çin (SSEC) Endeksinin Analizi

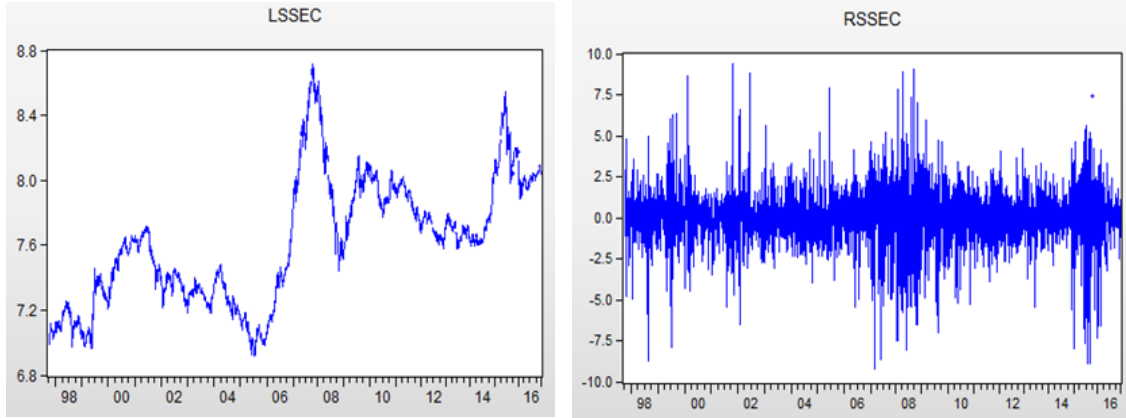
Çin, dünyanın en kalabalık nüfusuna sahip ülkedir. Yüzölçümü açısından ise ikinci ülkesidir. 1980'lerdeki komünist sistemin dışa kapalı olan ekonomik yapısını 1990'larla birlikte yapılan ekonomik reformlarla ülke dışa açık hale gelmeye başlamış ve 2001 yılında ise Dünya Ticaret Örgütü (WTO)'ne üye olmuştur. Çin

işgücü açısından zengin bir ülkedir. Çalışma çağındaki nüfusun kalabalık olması işgücü maliyetini azaltmakta ve yine nüfusun yarattığı potansiyel pazar gücü, ülkeye rekabet avantajı sağlamaktadır. Çin doğal kaynakları yönünden ise zengin bir ülke değildir. Çin'in doğal kaynakları kendisine yetmediği için net doğalgaz ve petrol ithalatçısı bir ülkedir (Jiang vd. 2013).

1990'lardan bu yana her yıl ortalama yaklaşık yüzde 9 büyüyen Çin ekonomisi, 2008 yılından itibaren yavaşlayan küresel talep, siyasi ve ekonomik gelişmeler neticesinde son yıllarda ekonomik büyüme yavaşlamıştır. Çin ekonomisi, 2015 yılında yüzde 6.9, 2016 yılında ise yüzde 6.7 büyümüştür.

Sermaye piyasaları açısından bakıldığında, Çin'in finansal sisteminin bankacılık ağırlıklı olduğu görülmektedir. IMF, Çin bankacılık sektöründeki varlıkların Çin ekonomisinin 11,6 trilyon dolar olan büyüklüğünün üç katına 34,7 trilyon dolara ulaştığını belirtmiştir. Ülkede, 1990 yılında kurulmuş olan Shangay (SSEC) ve Shenzhen (SZSE) borsaları olmak üzere iki borsa faaliyet göstermektedir. Bloomberg'e göre SSEC endeksi işlem hacmi bakımından Tokyo Nikkei endeksinden sonra Asya'nın en büyük borsasıdır. Dünya Borsalar Federasyonu verilerine göre ise SSEC endeksi, S&P500 endeksi ve Nasdaq endeksinden sonra dünyanın en büyük üçüncü endeksi haline gelmiştir. Şangay borsasına kote şirketlerin büyük bölümü sermayesinin tamamının devlete ait olduğu, kamu iktisadi teşebbüslerinden oluşmaktadır. Bu durum Şangay borsasının piyasa derinliğini ve likiditesinin olumsuz etkilemektedir. Borsalarda yabancı yatırımcılar için yerli firmalarda en fazla yüzde 10 pay sahibi olabilme kısıtı bulunmaktadır. Finans sistemi açısından, Çin'in gelecekteki en önemli tartışma konularının başında sistemdeki kamu ağırlığının azaltılması süreci yer almaktadır (Allen vd. 2012:63-64; Akbulak, 2008).

Çin ekonomisi ve sermaye piyasası ile ilgili yapılan açıklamalardan sonra SSEC endeksinin logaritmik değeri olan LSSEC ve getirisi olan RSSEC serisi sırasıyla analiz edilmiştir. SSEC endeks serisinin grafiği Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4. SSEC endeksinin logaritmik ve getiri serileri

Şekil 5.4'te LSSEC serisinin sıfırdan farklı bir yığılıma sahip olduğu ve zamanla birlikte ortalama değerinin arttığı, yani trende sahip olduğu görülmektedir. Analiz edilen dönemde LSENSEX serisinin 2005-2007 dönemleri arasında hızlı bir yükseliş ve 2008 yılında ise düşüş yaşadığı görülmektedir. 2005 yılından itibaren yatırım ve ihracat miktarlarındaki ciddi artış, ülkenin dış ticaret fazlası vermesine neden olmuştur. Bu sayede artan ihracat gelirlerinin büyük bölümü SSEC endeksine yatırım olarak dönmüş ve 2006-2007 dönemleri arasında SSEC endeksi hızlı bir yükseliş sergilemiştir. 2008 yılında ise küresel piyasalarda yaşanan krizin SSEC endeksi üzerinde kısa süreli büyük bir etkisi olduğu görülmektedir. Küresel kriz nedeniyle borsa işlem hacmi düşmüş ve yeni hisse arzları askıya alınmıştır. Ancak, göreceli olarak küresel krizin Çin ekonomisi üzerindeki etkileri Japonya, İngiltere, Almanya gibi başlıca gelişmiş ülkeler ve ABD'ye olan etkilerinden çok daha azdır. Küresel finans krizi nedeniyle 2009-2014 dönemleri arası gelişmekte olan ülkelere özellikle Çin'e olan yabancı yatırım fonlarının borsaya girmesi azalmıştır. 2014 yılından sonra ise küresel yatırım fonlarının tekrar borsa endeksine girmesi sonucunda SSEC endeksinde yükseliş trendine girmiştir.

RSSEC serisinin ise, sıfır etrafında rassal salındığı ve yüksek volatilité yapısına sahip olduğu görülmektedir. Getiri serisinde endekste meydana gelen hızlı iniş ve çıkış hareketlerinden dolayı aşırı değerlerin fazlalığı dikkat çekmektedir.

5.4.5. Türkiye (BIST100) Endeksinin Analizi

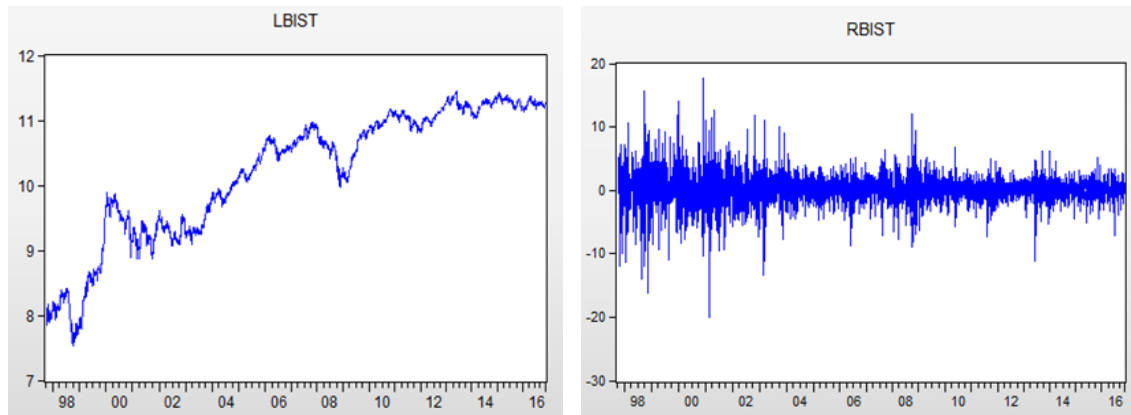
Türkiye, Dünya Bankası 2017 yılı Nisan ayı Dünya Ekonomik Görünüm Raporu verilerine göre 2016 yılında, satın alma gücü paritesine (SGP) göre dünyanın on üçüncü ve Avrupa'nın beşinci büyük ekonomisidir. Türkiye 2010-2016 döneminde ortalama yüzde 6.3 oranında büyümüştür. Türkiye'yi diğer gelişmekte olan ülkelerden ayıran önemli özellikleri coğrafi konumu ve Avrupa ülkelerine göre genç nüfusa sahip olmasıdır.

Türkiye'nin 1923'de Osmanlı İmparatorluğu'ndan devraldığı ekonomide, GSYİH'in yüzde 40'ı tarım kesiminde üretilirken, nüfusunda yüzde 70'i tarım kesiminde yer alıyordu (Kepenek, 2012:14-15). 1950'lerde başlayan serbest piyasa ekonomisine geçiş çabası 1960 ve 1980 askeri darbeleriyle kesintiye uğramıştır. 1980'lerle birlikte Türkiye ekonomisi dışa açılma ve sistem değişikliğine girmiştir. 24 Ocak 1980'de açıklanan ekonomik reformlarla devletin müdahalesinin en aza indirilmesi ve piyasa ekonomisine işlevsellik kazandırılmak amaçlanmıştır. 1980'lerden sonra yapılan ekonomik reformlarla devletin yerini özel sektörün yer alması, ithalatta serbestlik sağlanarak yabancı sermaye teşvik edilmiştir (Parasız, 2002:333-334). 1990'lı yıllarda finansal piyasalardaki gelişmelerin de etkisiyle ekonomide istikrarsızlık artmış, 1994 ve 2001 yıllarında finansal piyasalarda başlayan kriz reel ekonominin ciddi boyutlarda daralmasına neden olmuştur. Türkiye ekonomisindeki en önemli dönüm noktalarından birisi 2001 yılında yaşanan büyük ekonomik krizdir. 2001 yılında Türkiye'nin GSYH'sı 2000 yılına göre dörtte bir azalarak 148 milyar dolar seviyesinde gerçekleşmiştir. Yaşanan kriz sonucunda işsizlik oranları 2001'de yüzde 10,6 2002 yılında ise yüzde 11,34'e yükselmiştir. 2001 krizi sonrası uygulanan ekonomik programın sürdürülmesi sonucunda devam eden yıllarda ekonomik istikrarın sağlanması yönünde ilerlemeler kaydedilmiştir. Mali disiplinde sağlanan süreklilik, uygulamaya konulan yapısal reformlar ve fiyat istikrarına odaklanan sıkı para politikası ekonomik birimlerin enflasyonist beklentilerini olumlu yönde etkilemiş ve uygulanan politikalara olan güvenini artırmıştır (Eğilmez, 2012:150-156). Ayrıca bu dönemde Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu (BDDK) ve diğer kurumların kurulması ile bankacılık sektöründe ileride yaşanabilecek olası krizlerin önüne geçilmeye çalışılmıştır. 2002-2005 dönemleri arasında enflasyon ve faizlerde önemli düşüşler sağlanmış, mali disiplin

ve faiz dışı fazla politikası ile kamu sektörü finansman dengesi açığı azaltılmıştır. Bu dönemde Türk lirasının değer kazanmasına karşın ihracat büyük oranda artmış, ancak bu durum cari açığın yükselmesine neden olmuştur. 2008 yılına kadar olan dönemde yabancı sermaye girişindeki artışın Türk ekonomisini dış şok riskine açık bırakmıştır. 2008 yılında yaşanan küresel finans krizinde Türkiye ekonomisi, diğer gelişmekte olan ekonomilerden farklı olarak reel ekonomisi oldukça fazla etkilenmiştir (Kazgan, 2012:281-282). 2008 yılında GSYİH yüzde 0,8 büyürken, 2009 yılında ise GSYİH yüzde 4,7 daralmıştır. 2001 yılında Türkiye’de yaşanan bankacılık krizi sonrasında alınan kararlarla bankacılık sektörü güçlendirildiği için bankacılık sektörü çok fazla etkilenmemiştir. 2009 yılı sonrasında hızla toparlanan Türkiye ekonomisi 2010-2015 dönemleri arasında ortalama yüzde 10,3 oranında yüksek büyüme gerçekleştirmiştir.

Sermaye piyasaları açısından ele alındığında, Türkiye’de menkul kıymet borsası 1986 yılında 40 şirketin payı ile kurulmuş ve zamanla sayısı 100 şirketin payı ile sınırlanan Bileşik Endeks’in devamı niteliğindedir. İMKB100 endeksi, ulusal pazarda işlem gören şirketlerle, gayrimenkul yatırım ortaklıkları ve girişim sermayesi yatırım ortaklıkları arasından seçilen 100 paydan oluşmaktadır. İlerleyen yıllarda sermaye piyasasındaki borsaları tek çatı altında toplayan Borsa İstanbul 3 Nisan 2013 tarihinde faaliyete geçmiştir (Çepni, 2015:217-218).

Türkiye ekonomisi ve sermaye piyasası ile ilgili yapılan açıklamalardan sonra BIST100 endeksinin logaritmik değeri olan LBIST ve getirisi olan RBIST serisi sırasıyla analiz edilmiştir. BIST100 endeks serisinin grafiği Şekil 5.5’te verilmiştir.



Şekil 5.5. BIST100 endeksinin logaritmik ve getiri serileri

Şekil 5.5'te LBIST serisinin sıfırdan farklı bir yığılıma sahip olduğu ve zamanla birlikte ortalama değerinin arttığı, yani trende sahip olduğu görülmektedir. Analiz edilen dönemde LBIST serisinin 1998, 2001 ve 2008 yıllarında düşüş yaşadığı görülmektedir. 1997 yılı Temmuz ayında Tayland'da başlayan Güneydoğu Asya krizi, gelişmekte olan ülkelere yatırım yapmış fonlarda başlayan panik nedeniyle 1998 yılında BIST100 endeksinin düşmesine neden olmuştur. 2001 yılında Türkiye'nin yaşamış olduğu siyasi ve ekonomik çalkantılar borsa endeksinin düşmesine yol açmıştır. Ayrıca 1998 yılında Rusya krizi nedeniyle Türkiye en önemli ihracat yaptığı ticaret ortağını kaybetmiş ve gelirlerinde ciddi kayıplar yaşamıştır. Ardından 1999 yılında yaşanan, Marmara bölgesinde meydana gelen iki büyük deprem ülkenin en önemli sanayi bölgelerini kullanılamaz hale getirmiştir. Bu nedenlerle Türkiye ekonomisini etkileyen siyasi çekişmeler ve ekonomik kayıp 2001 krizinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. 2008 yılında ise ABD'de mortgage krizi olarak başlayan ve oradan küresel finansal piyasalara yayılan panik havası BIST endeksinin sert düşmesine neden olmuştur. 2008 yılı başında 288 milyar dolarlık büyüklükle başlayan BIST endeksi, yıl içerisinde piyasa değeri 118 milyar dolara gerilemiştir. Küresel krizden Türkiye, gelişmiş ülkelere göre daha az düzeyde zarar görmüştür. Bunun ana nedeni 2001 krizi sonrası alınan ekonomik reformlarla BDDK ve diğer kurumların kurulması yolu ile bankacılık sektörünün denetimi arttırılmıştır. Bu sayede ülkenin finans sektörü dış şoklardan daha az etkilenir hale gelmiştir. Ayrıca türk bankalarının, ABD bankalarına ait tahvile sahip olmamasıda krizin kısa süreli olmasına yol açmıştır.

RBIST serisi ise, sıfır etrafında rassal salındığı ve yüksek volatilitite yapısına sahip olduğu görülmektedir. Getiri serisinde endekste meydana gelen hızlı iniş ve çıkış hareketlerinden dolayı aşırı değerlerin fazlalığı dikkat çekmektedir.

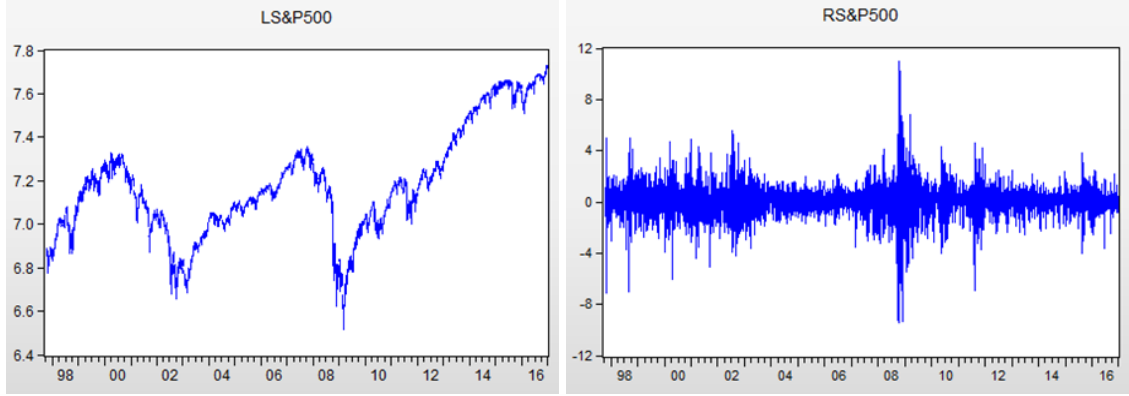
5.4.6. Amerika (S&P500) Endeksinin Analizi

ABD, 326 milyonu aşan nüfusu ve 18,6 trilyon dolarlık GSYİH'si ile dünyanın en önemli ekonomilerinden biridir. Ülke, dünyanın en büyük ithalatçısı olma özelliğinin dışında, dünyanın en büyük doğrudan yabancı sermaye kaynağı konumu ile hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerin yöneldiği bir hedef pazardır. ABD ekonomisi, dünya ekonomisini birebir etkileme gücüne sahip olması nedeniyle de dünyada önemli ve belirleyici bir ekonomiye sahiptir (Nyilas, 1982:15).

Dünya çapında serbest piyasa ekonomilerinin en büyük örneği olan ABD ekonomisi, üretim ve hizmetlerin büyük bir bölümü özel sektör tarafından sağlanmaktadır. Dünya ekonomileri arasında kamu kesiminin ağırlığının bu kadar az olduğu başka bir ekonomi bulunmamaktadır. GSYİH'nin yüzde 80'ini oluşturan hizmetler sektörü, ülkenin rekabet gücündeki başarısından kaynaklanmaktadır. Sanayi sektörü ise teknoloji yoğun üretim yapısına sahiptir. Sivil ve askeri teknolojide lider konumda olan ABD, en önemli enerji üretici ve tüketicisi ülkeler arasındadır. Kaya gazı teknolojisinin yaygın kullanılmasıyla birlikte ABD, 2016 yılında ilk kez ham petrol ve LNG ihracatına başlamıştır (EIA, 2017).

Sermaye piyasaları açısından bakıldığında, ABD dünyanın en büyük borsalarına sahiptir. Bu borsalardan bazıları New York Borsası (NYSE), Amerikan Borsası (AMEX), NASDAQ Borsası ve Chicago Borsası (CHX)'dir. Amerikan borsaları kadar endeksleri de tüm dünyaca bilinmektedir ve bu endeksler tüm dünyaya yayılmıştır. ABD'nin en büyük borsa endeksi ise 500 şirketi içinde bulunduran, Standard and Poors (S&P) tarafından hesaplanan ve yönetilen S&P500 endeksidir. Endeks 1923 yılında kurulduğu zaman 233 şirketle işlem görmeye başlamıştır. 1957 yılında ise 500 şirketi kapsayarak S&P500 endeksi oluşturulmuş ve günümüze kadar gelmiştir. S&P500 endeksi küresel çapta yatırımcılar tarafından en çok takip edilen endekslerin başında gelir ve ABD piyasasının genel gidişatını gösteren bir gösterge olarak dikkate alınmaktadır. ABD şirket hisselerinin yüzde 70'i S&P500 endeksi tarafından temsil edilmektedir. Endeks sağlık, finans, enerji, sanayi, bilgi teknolojileri, perakende şirketlerini kapsamaktadır (Çepni, 2015:212-213).

ABD ekonomisi ve sermaye piyasası ile ilgili yapılan açıklamalardan sonra S&P500 endeksinin logaritmik değeri olan LS&P500 ve getirisi olan RS&P500 serisi sırasıyla analiz edilmiştir. S&P500 endeks serisinin grafiği Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6. S&P500 endeksinin logaritmik ve getiri serileri

Şekil 5.6'da LS&P500 serisinin sıfırdan farklı bir yığılıma sahip olduğu ve zamanla birlikte ortalama değerinin arttığı, yani trende sahip olduğu görülmektedir. Analiz edilen dönemde LS&P500 serisinin 2001 ve 2007-2008 dönemleri arasında düşüş yaşadığı görülmektedir. 2000 yılında endeksin kur-kar oranının olması gerekenden 2 kat fazla olması, endeksin aşırı değerlenmiş olduğunu göstermektedir. Bu aşırı değerlenme sonucunda endeks 2001 yılında 1500 seviyelerinden 750 seviyesine düşmüş ve şirket hisseleri yüzde 50 değer kaybetmiştir. 2007 yılının son çeyreğinde ABD'de ortaya çıkan subprime mortgage krizi ve tüm dünya borsalarına yayılan kriz sert fiyat düşüşlerine neden olmuştur. Krizin temelinde düşük geliri ve zayıf kredi geçmişine sahip hane halklarına verilen yüksek riskli ipotekli konut kredileri bulunmaktadır. Uluslararası kredi derecelendirme kuruluşlarının ipotekli konut finansmanına ilişkin menkul kıymetler hakkında yanlış derecelendirme yapımları da krizi tetiklemiştir.

RS&P500 serisi ise, sıfır etrafında rassal salındığı ve volatilitesinin yüksek olduğu görülmektedir. 2007-2008 dönemleri arasında yaşanan hızlı fiyat hareketleri sonucunda getiri serisinde aşırı değerler meydana geldiği görülmektedir.

5.5. Getiri Serilerinin Tanımlayıcı İstatistikleri

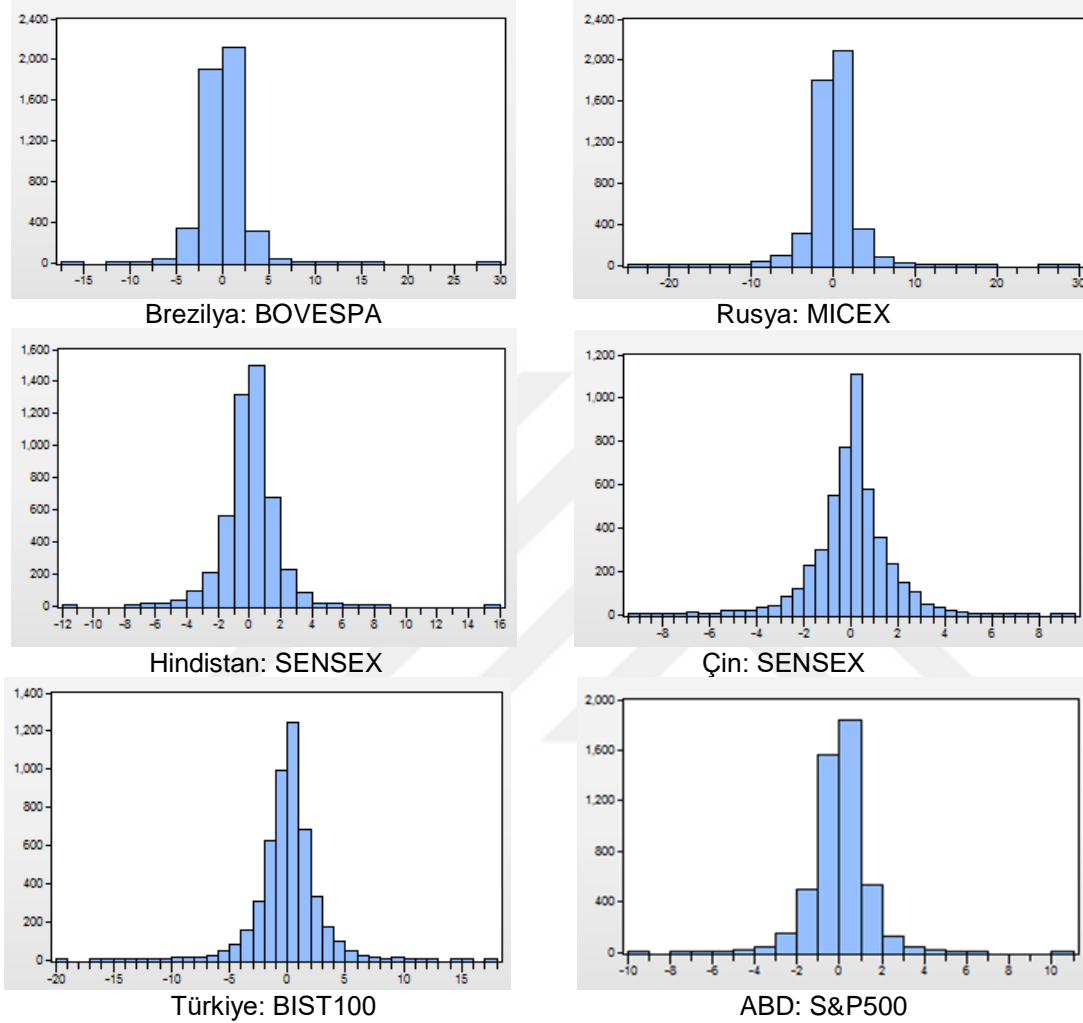
Borsa endeksi getiri serilerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 5.3'te özetlenmiştir.

Çizelge 5.3. Tanımlayıcı istatistikler

İstatistikler	BOVESPA (Brezilya)	MICEX (Rusya)	SENSEX (Hindistan)	SSEC (Çin)	BIST100 (Türkiye)	S&P500 (ABD)
Gözlem Sayısı	4782	4806	4757	4866	4911	4844
Ortalama	0.0334	0.0643	0.0403	0.0216	0.0694	0.0117
Medyan	0.0690	0.1128	0.0907	0.0034	0.0440	0.0538
Maksimum	28.8324	27.5005	15.9899	9.4007	17.7735	10.9572
Minimum	-17.2082	-23.3356	-11.8091	-9.2561	-19.9785	-9.4695
Std. Sapma	2.0686	2.6446	1.5618	1.5940	2.3975	1.2452
Çarpıklık	0.3438	0.1172	-0.1047	-0.2998	-0.0671	-0.2272
Basıklık	16.5790	18.7176	9.2013	7.8687	9.7132	10.6830
Jarque-Bera [p-değeri]	36833.87 [0.00000]	49481.79 [0.00000]	7631.087 [0.00000]	4879.021 [0.00000]	9225.671 [0.00000]	11955.84 [0.00000]
Q (10) [p-değeri]	51.308 [0.00000]	61.240 [0.00000]	62.828 [0.00000]	42.984 [0.00000]	37.508 [0.00000]	57.412 [0.00000]
Q (20) [p-değeri]	66.909 [0.00000]	102.15 [0.00000]	95.439 [0.00000]	81.424 [0.00000]	54.733 [0.00000]	104.55 [0.00000]
Q ² (10) [p-değeri]	1069.5 [0.00000]	1516.6 [0.00000]	1134.2 [0.00000]	894.21 [0.00000]	1281.4 [0.00000]	3576.7 [0.00000]
Q ² (20) [p-değeri]	1454.8 [0.00000]	3277.5 [0.00000]	1641.7 [0.00000]	1411.8 [0.00000]	1680.7 [0.00000]	6090.3 [0.00000]

Çizelge 5.3'de özetlenen tanımlayıcı istatistikler incelendiğinde, analiz edilen dönemde borsa endekslerine ait ortalama günlük getiriler pozitif olarak bulunurken, en yüksek ortalama günlük getiri yüzde 6.9 ile BIST100 endeksinde ve en düşük ortalama günlük getiri ise yüzde 1.1 ile S&P500 endeksinde görülmüştür. Standart sapma değerlerine göre ise; MICEX endeksi oynaklığı en yüksek endeks olurken, oynaklığı en düşük olan endeks ise S&P500 endeksi olarak elde edilmiştir. Çarpıklık dağılımın ortalama etrafındaki simetrililiğini ölçerken, basıklık dağılımın basıklığı yani verilerin tepe noktaları hakkında bilgi veren bir ölçüttür. Normal bir dağılım için çarpıklık ve basıklık değerlerinin sırasıyla 0 ve 3 olması beklenir. Çizelge 5.3'te görüleceği üzere, çarpıklık ve basıklık değerleri referans değerlerden oldukça uzaktır. BOVESPA ve MICEX borsa endeksleri çarpıklık değerleri pozitifdir. Pozitif çarpıklık, dağılımın kuyruğunun sağa çarpık olduğunu göstermektedir. Bu durum ortalamadan büyük uç değerlerin olduğuna işaret etmektedir. Diğer borsa endekslerinde ise çarpıklık değerleri negatiftir. Negatif çarpıklık ise, dağılımın kuyruğunun sola çarpık olduğunu göstermektedir. Endeks getirilerinin basıklık değerleri ise normal dağılım için gerekli olan 3 değerinden oldukça büyüktür. Bu durum, getirilerin normal dağılıma göre daha sivri bir dağılıma sahip olduğuna işaret etmektedir. Jarque-Bera (JB) test istatistiği sonuçları da getirilerin normal dağılıma sahip olmadığını desteklemektedir. Son olarak, Ljung-Box test istatistiği ile getiri serilerinin gözlemleri arasındaki serisel korelasyon araştırılmıştır. Serisel

korelasyon yok sıfır hipotezi ret edilmiştir ve getiri serilerinde güçlü bir serisel korelasyon ilişkisi tespit edilmiştir. Getiri serileri için oluşturulan dağılım grafikleri Şekil 5.7'de yer almaktadır.



Şekil 5.7. Borsa endeksi getiri serilerinin dağılım grafikleri

Tüm getiri serilerinin dağılımı, normal dağılımdan uzak sivri bir görünüm sergilemektedir. Elde edilen sonuçlar bir arada değerlendirildiğinde getiri serilerinde şişman kuyruk ve aşırı sivrilik özelliği görülmektedir. Bu getiri serilerinin dağılımının leptokörtik bir dağılım sergilediğini göstermektedir. Bu nedenle, getiri serileri normal dağılıma göre ortalamada daha sivri ve kuyruklarda daha şişman bir dağılım sergilemektedir.

5.6. Logaritmik ve Getiri Serilerinin Birim Kök Testi Sonuçları

Borsa endeksi günlük logaritmik ve getiri serilerinin durağan olup olmadığını belirlemede Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF,1979) ve Phillips-Perron (PP,1988) birim kök testlerinden yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.4'te sunulmuştur.

Çizelge 5.4. Birim kök testi sonuçları

Testler	LBOVESPA	LMICEX	LSENSEX	LSSEC	LBIST	LS&P500
ADF	-1.97 [0] (0.6140)	-1.78 [1] (0.7104)	-2.30 [1] (0.4298)	-1.98 [0] (0.6108)	-2.50 [0] (0.3250)	-1.77 [2] (0.7176)
PP	-1.91 [5] (0.6472)	-1.68 [9] (0.7570)	-2.28 [16] (0.4428)	-2.08 [13] (0.5514)	-2.55 [3] (0.3021)	-1.70 [25] (0.7507)
	RBOVESPA	RMICEX	RSENSEX	RSSEC	RBIST	RS&P500
ADF	-67.79***[0] (0.0001)	-63.36***[0] (0.0001)	-64.24*** [0] (0.0001)	-68.65*** [0] (0.0001)	-69.17***[0] (0.0001)	-53.53***[1] (0.0001)
PP	-67.90*** [8] (0.0001)	-63.21***[5] (0.0001)	-64.17*** [15] (0.0001)	-68.72***[12] (0.0001)	-69.17***[0] (0.0001)	-75.63***[24] (0.0001)

Sabit ve trend bileşenlerini içeren Mc-Kinnon tablo kritik değeri %1, %5 ve %10 anlam düzeylerinde logaritmik seriler için sırasıyla -3.95, -3.41 ve -3.12 sabit bileşeni içeren getiri serileri için ise -2.56, -1.94 ve -1.61'dir. Köşeli parantez içerisindeki değerler ADF için, minimum Schwarz bilgi kriterini, parantez içindeki değerler ise kuyruk olasılığını göstermektedir. %1 (***) anlam düzeyinde birim kök olduğunu gösteren sıfır hipotezinin reddildiğini göstermektedir.

Durağanlık analizi sonuçlarına göre, logaritmik endeks serileri için hesaplanan ADF (1979) ve PP (1988) test istatistiği değerleri verilen anlamlılık düzeylerindeki tablo kritik değerlerinden daha negatif olmadığından, sıfır hipotezi reddedilemediği görülmektedir. Bu durum logaritmik fiyat serilerinin birim kök içerdiği veya düzeyde durağan olmadığı anlamına gelmektedir. Getiri serileri ise tanım gereği logaritmik fiyat serilerinin farkı alınarak elde edilmiştir (Bkz. Eş. 5.1). Getiri serilerinin durağanlık analizi sonuçlarına göre ise, ADF (1979) ve PP (1988) test istatistiği değerleri %1 anlamlılık düzeyinde verilen -2.56 tablo kritik değerinden daha negatif olduğundan birim kök olduğunu gösteren sıfır hipotezinin tüm endeks getirileri için reddetmektedir. Bu sonuç, endeks getirilerinin durağan olduğunu göstermektedir.

5.7. Doğrusal Olmama Testleri

Bu bölümde endeks getirilerinin veri üretim süreçlerinin doğrusal olup olmadığı BDS ve Hinich Bispectrum normallik ve doğrusallık testleri ile test edilmiştir. Ayrıca doğrusal olmayan yapının kaynağı BDS testi ile analiz edilmiştir.

5.7.1. BDS Testi Sonuçları

Serilerin durağanlığından emin olduktan sonra BDS testine geçilmiştir. BDS test istatistiği hesaplanırken, yerleştirme boyutu (m) sayısının seçimi önem arz etmektedir. Bölüm 3.4.1'de yerleştirme boyutu alt başlığı ile detaylı olarak açıklandığı üzere ampirik literatüre bağlı kalınarak epsilon değerleri 0.5 ile 2.0 ve m değerleri ise 2 ile 5 aralığındaki referans değerler dikkate alınarak kullanılmıştır. BDS testi öncelikle getiri serilerine uygulanmış ve sonuçlar Çizelge 5.5'te sunulmuştur.

Çizelge 5.5. Getiri serileri için BDS test sonuçları

ϵ/σ	m	BOVESPA (Brezilya)	MICEX (Rusya)	SENSEX (Hindistan)	SSEC (Çin)	BIST100 (Türkiye)
0.5	2	8.0043*** (0.0000)	20.4485*** (0.0000)	14.4871*** (0.0000)	9.9041*** (0.0000)	14.6665*** (0.0000)
	3	12.0657*** (0.0000)	28.0441*** (0.0000)	19.9539*** (0.0000)	14.4102*** (0.0000)	20.8841*** (0.0000)
	4	15.4058*** (0.0000)	35.0636*** (0.0000)	24.0168*** (0.0000)	18.7029*** (0.0000)	25.9117*** (0.0000)
	5	18.2610*** (0.0000)	42.8550*** (0.0000)	28.6930*** (0.0000)	21.6308*** (0.0000)	31.1682*** (0.0000)
1.0	2	11.0957*** (0.0000)	23.9051*** (0.0000)	16.7650*** (0.0000)	12.2875*** (0.0000)	16.7463*** (0.0000)
	3	14.8781*** (0.0000)	30.3404*** (0.0000)	21.7526*** (0.0000)	17.2049*** (0.0000)	23.0355*** (0.0000)
	4	18.0675*** (0.0000)	35.3673*** (0.0000)	25.3992*** (0.0000)	20.7098*** (0.0000)	27.4779*** (0.0000)
	5	20.6461*** (0.0000)	40.0515*** (0.0000)	28.9816*** (0.0000)	23.0731*** (0.0000)	31.4366*** (0.0000)
1.5	2	14.9441*** (0.0000)	25.0354*** (0.0000)	18.2985*** (0.0000)	13.8425*** (0.0000)	17.0013*** (0.0000)
	3	18.7516*** (0.0000)	30.0042*** (0.0000)	22.5102*** (0.0000)	18.5141*** (0.0000)	22.5236*** (0.0000)
	4	21.6721*** (0.0000)	33.5130*** (0.0000)	25.8191*** (0.0000)	21.6573*** (0.0000)	26.1423*** (0.0000)
	5	23.7704*** (0.0000)	36.1493*** (0.0000)	28.5406*** (0.0000)	23.8479*** (0.0000)	28.9907*** (0.0000)
2.0	2	18.0051*** (0.0000)	24.3648*** (0.0000)	18.1930*** (0.0000)	13.3138*** (0.0000)	16.9438*** (0.0000)
	3	22.3131*** (0.0000)	27.8320*** (0.0000)	22.1990*** (0.0000)	17.3648*** (0.0000)	21.1443*** (0.0000)
	4	24.8887*** (0.0000)	30.4505*** (0.0000)	25.2369*** (0.0000)	20.5034*** (0.0000)	23.5338*** (0.0000)
	5	26.4821*** (0.0000)	32.1002*** (0.0000)	27.4847*** (0.0000)	22.6408*** (0.0000)	25.4780*** (0.0000)

m: yerleştirme boyutu, ϵ/σ : noktalar arasında ham verinin standart sapmaları sayısı cinsinden ölçülen uzaklığı göstermektedir. Parantez içindeki değerler kuyruk olasılığı değerleridir. BDS istatistiği için tablo kritik değerleri %5 (**) ve %1 (***) anlam düzeyinde sırasıyla 1.960 ve 2.575.

Çizelge 5.5'te görüleceği üzere, gözlem değerlerinin *iid* olduğunu iddia eden sıfır hipotezi tüm boyut seviyeleri için %1 anlamlılık düzeyinde reddedildiği görülmüştür. Burada BDS test istatistiğinin sıfır hipotezini ret etmesi getiri serilerinde kaotik bir davranış sergilediğini söyleyebilmek için yeterli değildir. Başka bir ifadeyle sıfır hipotezinin ret edilmesi doğrusal bağımlılık, doğrusal olmayan stokastik süreçler ve kaos gibi olası durumların varlığından kaynaklanıyor olabilir (Hsieh, 1991).

Analizin birinci aşamasında, en uygun otoregresif hareketli (ARMA) modeli seçilerek verilerdeki doğrusal bağımlılık ortadan kaldırılır. Daha sonra BDS testi ile bu doğrusal modellerin standartlaştırılmış artıklarının *iid* olup olmadığı test edilir. Bu amaçla, borsa endeksi getiri serileri için oluşturulan ARMA (p,q) modelleri kullanılarak

en çok olabilirlik (Maximum Likelihood, ML) yöntemiyle tahmin edilmiştir. Bu bağlamda, en uygun modelin seçilmesinde Akaike Bilgi Kriteri (AIC) ve Schwarz Bilgi Kriteri (SIC)'den yararlanılmıştır. AIC ve SIC'in en düşük değere sahip olduğu modeller en uygun model olarak seçilmiştir. Ayrıca uygun modelin seçilmesinde parametrelerin istatistiksel olarak anlamlılığı da dikkate alınmıştır. Çalışmada, günlük getiri serileri için en uygun modeller: ARMA(2,2)-BOVESPA, ARMA(2,3)-MICEX, ARMA(1,1)-SENSEX, ARMA(1,1)-SSEC ve ARMA(2,1)-BIST100 tercih edilmiştir. Borsa endeksi getiri serileri modellerine ilişkin ML yöntemi tahmin sonuçları EK-2'de sunulmuştur.

Her bir borsa endeksi getiri serilerine ait tahmin edilen regresyon modellerinin hem otoregresif süreç (AR) hem de hareketli ortalama (MA) parametreleri için t istatistiği değerleri %5 anlam düzeyinde reddedilmiştir. Bu bağlamda, parametreler istatistiksel olarak anlamlıdır. Daha sonra ML yöntemi ile tahmin edilen artıkların serisel korelasyon içerip içermedikleri Breusch-Godfrey LM testi ile incelenmiş ve sonuçlar EK-3'de özetlenmiştir. Artıkların serisel korelasyon olmadığını belirten sıfır hipotezi hiçbir borsa endeksi getiri serisi için reddedilememiştir.

Ardından borsa endeksi getiri modellerinin sabit varyans varsayımının geçerli olup olmadığı White testi ile incelenmiştir. Test sonuçları EK-4'de yer almaktadır. Borsa endeksi getiri serilerinin tamamı için artıkların sabit varyanslı olduğu ifade edilen sıfır hipotezi ret edilmiştir. Bu bağlamda, modellerin artıklarında farklı yayılım yapısı görülmektedir.

Analizin bu aşamasında, her bir getiri serisi oluşturulan en uygun ARMA (p,q) modelleri tahmin edilmiştir. Modellerden elde edilen artıklar, artıkların standart hatasına bölünerek standartlaştırılmıştır. Bu standartlaştırılmış artıklara BDS testi tekrar uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5.6'da sunulmuştur.

Çizelge 5.6. ARMA (p,q) modelleri için BDS test sonuçları

ϵ/σ	m	BOVESPA (Brezilya)	MICEX (Rusya)	SENSEX (Hindistan)	SSEC (Çin)	BIST100 (Türkiye)
0.5	2	7.8886*** (0.0000)	21.5623*** (0.0000)	14.6092*** (0.0000)	10.2278*** (0.0000)	14.3710*** (0.0000)
	3	11.9028*** (0.0000)	29.2327*** (0.0000)	19.9719*** (0.0000)	14.6914*** (0.0000)	20.5356*** (0.0000)
	4	15.1439*** (0.0000)	36.4609*** (0.0000)	23.9766*** (0.0000)	18.9012*** (0.0000)	25.4368*** (0.0000)
	5	17.9104*** (0.0000)	44.7599*** (0.0000)	28.7587*** (0.0000)	21.8124*** (0.0000)	30.6299*** (0.0000)
1.0	2	10.9629*** (0.0000)	24.2035*** (0.0000)	16.5965*** (0.0000)	12.4161*** (0.0000)	16.7746*** (0.0000)
	3	14.6634*** (0.0000)	30.6088*** (0.0000)	21.5717*** (0.0000)	17.3052*** (0.0000)	22.9998*** (0.0000)
	4	17.7806*** (0.0000)	35.7902*** (0.0000)	25.2299*** (0.0000)	20.7592*** (0.0000)	27.3387*** (0.0000)
	5	20.3454*** (0.0000)	40.6459*** (0.0000)	28.8599*** (0.0000)	23.1345*** (0.0000)	31.2213*** (0.0000)
1.5	2	14.8086*** (0.0000)	24.7809*** (0.0000)	18.1029*** (0.0000)	13.9550*** (0.0000)	17.2460*** (0.0000)
	3	18.6162*** (0.0000)	29.9754*** (0.0000)	22.2667*** (0.0000)	18.6480*** (0.0000)	22.7303*** (0.0000)
	4	21.5357*** (0.0000)	33.6366*** (0.0000)	25.5838*** (0.0000)	21.7330*** (0.0000)	26.2836*** (0.0000)
	5	23.6323*** (0.0000)	36.4238*** (0.0000)	28.3454*** (0.0000)	23.9095*** (0.0000)	29.1114*** (0.0000)
2.0	2	17.8899*** (0.0000)	24.0279*** (0.0000)	18.1368*** (0.0000)	13.4735*** (0.0000)	17.2035*** (0.0000)
	3	22.0945*** (0.0000)	27.7171*** (0.0000)	22.0296*** (0.0000)	17.5579*** (0.0000)	21.3196*** (0.0000)
	4	24.7200*** (0.0000)	30.4509*** (0.0000)	25.0638*** (0.0000)	20.6891*** (0.0000)	23.7217*** (0.0000)
	5	26.3304*** (0.0000)	32.2449*** (0.0000)	27.3695*** (0.0000)	22.8476*** (0.0000)	25.6936*** (0.0000)

m: yerleştirme boyutu, ϵ/σ : noktalar arasında ham verinin standart sapmaları sayısı cinsinden ölçülen uzaklığı göstermektedir. Parantez içindeki değerler kuyruk olasılığı değerleridir. BDS istatistiği için tablo kritik değerleri %5 (**) ve %1 (***) anlam düzeyinde sırasıyla 1.960 ve 2.575.

Çizelge 5.6'da görüleceği üzere, BDS test istatistiği değerleri %1 anlam düzeyinde sıfır hipotezini tüm boyutlar için reddetmektedir. Bu aşamada sıfır hipotezinin reddedilmesi bağımlılığın bazı türlerinin veride hala kalmış olmasıdır. Hali hazırda doğrusal bağımlılıklar en uygun ARMA (p,q) modelleri kullanılarak kaldırılmasına rağmen, sıfır hipotezinin reddedilmesi getiri serilerinde bazı doğrusal olmayan bağımlılığın olduğunu göstermektedir.

Bu doğrusal olmayan bağımlılığın kaynağının koşullu farklı yayılım olup olmadığını analiz etmek amacıyla ARCH ailesi modelleri kullanılmıştır. Doğrusal olmayan stokastik modellere geçmeden önce her bir borsa endeksi için tahmin edilen en uygun ARMA (p,q) modelleri artıklarında ARCH etkisinin olup olmadığı

ARCH-LM testi ile sınanmıştır. Bu testte sıfır hipotezi ARCH etkisi yoktur şeklinde tanımlanmaktadır. Test sonuçları EK-5'de yer almaktadır. Tüm borsa endeksi getirileri için hesaplanan F istatistiği değerleri %5 anlam düzeyinden düşüktür. Bu nedenle, sıfır hipotezi reddedilir ve ARCH etkisinin var olduğu söylenebilir. Ayrıca, borsa endeksi getiri serilerinin ARCH tipi modellemeye elverişli olduğu görülmektedir.

Veride mevcut olan koşullu farklı yayılım yapısı doğrulandıktan sonra, BDS testi kullanılarak bu doğrusal olmamanın kaynağının koşullu farklı yayılım olup olmadığı test edilmiştir. Bu bağlamda çalışmada günlük getiri serileri için en uygun modeller: ARMA(2,2),GARCH(1,1)-BOVESPA, ARMA(2,3), GARCH(1,1)-MICEX, ARMA(1,1),GARCH(1,1)-SENSEX, ARMA(1,1),GARCH(1,1)-SSEC ve ARMA(2,1),GARCH(1,1)-BIST100 tercih edilmiştir. Bu modellerin tercih edilmesinde bilgi kriterlerinden, parametre anlamlılığı, negatif olmama koşulu ve toplamlarının birden küçük olma kısıtları dikkate alınarak modeller seçilmiştir. Borsa endeks getiri serilerine ilişkin en uygun GARCH (p,q) modelleri tahmin sonuçları EK-6'da yer almaktadır.

Borsa endeksi getiri serileri GARCH (p,q) modelleri ile filtrelenmiş ve daha sonra bu modellerin standartlaştırılmış artıklarına BDS testi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.7'de sunulmuştur.

Çizelge 5.7. GARCH (p,q) modelleri için BDS test sonuçları

ϵ/σ	m	BOVESPA (Brezilya)	MICEX (Rusya)	SENSEX (Hindistan)	SSEC (Çin)	BIST100 (Türkiye)
0.5	2	-3.5228*** (0.0004)	0.0223 (0.9822)	-1.3332 (0.1825)	-0.5253 (0.5994)	-0.0679 (0.9459)
	3	-1.6543 (0.0981)	0.7501 (0.4532)	-0.6152 (0.5384)	0.8283 (0.4075)	1.1101 (0.2669)
	4	-0.6027 (0.5467)	1.1394 (0.2545)	-0.3961 (0.6920)	2.3441** (0.0191)	1.8669 (0.0619)
	5	-0.0248 (0.9802)	1.0491 (0.2942)	-0.4380 (0.6614)	2.8751*** (0.0040)	2.6031*** (0.0092)
1.0	2	-3.6759*** (0.0002)	0.2619 (0.7934)	-1.5274 (0.1267)	-0.4983 (0.6182)	0.4524 (0.6510)
	3	-2.3813** (0.0173)	1.1294 (0.2587)	-0.8011 (0.4231)	0.7588 (0.4480)	1.5918 (0.1114)
	4	-1.5069 (0.1318)	1.5143 (0.1300)	-0.3327 (0.7394)	1.7550 (0.0793)	2.0190 (0.0435)
	5	-1.0609 (0.2887)	1.4065 (0.1596)	0.0586 (0.9533)	1.8339 (0.0667)	2.3485** (0.0189)
1.5	2	-3.1440*** (0.0017)	0.3345 (0.7380)	-1.5553 (0.1199)	0.0298 (0.9763)	1.0974 (0.2725)
	3	-2.0163** (0.0438)	1.4085 (0.1590)	-0.9056 (0.3652)	0.8255 (0.4091)	2.2119** (0.0270)
	4	-1.1972 (0.2312)	1.9163 (0.0553)	-0.2964 (0.7669)	1.3142 (0.1888)	2.5932*** (0.0095)
	5	-0.8281 (0.4076)	2.0807** (0.0375)	0.0825 (0.9343)	1.2064 (0.2277)	2.7606*** (0.0058)
2.0	2	-2.0100** (0.0444)	0.2860 (0.7748)	-1.0048 (0.3150)	0.4224 (0.6727)	2.0999** (0.0357)
	3	-0.9372 (0.3487)	1.3612 (0.1735)	-0.4661 (0.6411)	0.7405 (0.4590)	3.1804*** (0.0015)
	4	-0.2221 (0.8242)	2.0862** (0.0370)	0.2593 (0.7954)	1.1227 (0.2616)	3.5272*** (0.0004)
	5	0.0387 (0.9691)	2.4435** (0.0145)	0.6711 (0.5021)	1.0966 (0.2728)	3.5520*** (0.0004)

m: yerleştirme boyutu, ϵ/σ : noktalar arasında ham verinin standart sapmaları sayısı cinsinden ölçülen uzaklığı göstermektedir. Parantez içindeki değerler kuyruk olasılığı değerleridir. BDS istatistiği için tablo kritik değerleri %5 (**) ve %1 (***) anlam düzeyinde sırasıyla 1.960 ve 2.575.

Çizelge 5.7'de görüleceği üzere ARCH-tipi modellerde, getiri ve ARMA (p,q) modelleri ile filtrelenmiş verilere göre serisel bağımlılığın önemli bir şekilde kalktığı ve BDS test istatistiği değerlerinin tüm boyut seviyelerinde azaldığı görülmüştür. Bu durumda sıfır hipotezi SENSEX (Hindistan) endeksi için reddedilememiştir. Analizin bu aşamasında sıfır hipotezinin reddedilememesi, koşullu farklı yayılımın başlangıçta sıfır hipotezini reddetmesinin ana nedeni olduğunu ve getirilerdeki bağımlılığın yapısının en iyi doğrusal olmayan bir stokastik sistem olarak tanımlanmış olabileceğini göstermektedir. Bu sonuç, SENSEX borsa endeksi getirilerinin davranışını ARCH-tipi modeller tarafından yeterince açıklandığını

gösterir. Ancak, sıfır hipotezi diğer borsa endeksleri için tekrar reddedilmiştir. Bu durumda, getiri serilerinden hareketle standardize edilmiş artıklar için hesaplanan BDS test istatistiği *iid* değildir ve dolayısıyla ARCH-tipi modeller verideki mevcut tüm bilgiyi yakalamada yeterli değildir. Bu aşamada sıfır hipotezinin reddedilmesi, hala doğrusal olmayan bağımlılığın bazı özelliklerinin veride kalmış olduğunu ve bu durumun ARCH ailesi modelleriyle açıklanamayacağını göstermektedir.

Son olarak da ARCH-tipi modeller hisse senedi getirilerindeki tüm doğrusal olmayan bağımlılıkları yakalamada başarılı olup olmadığını incelemek amacıyla getiri serileri EGARCH modelleri ile filtrelenmiştir. Bu bağlamda çalışmada günlük getiri serileri için en uygun modeller: EGARCH(1,1)-BOVESPA, EGARCH(1,1)-MICEX, EGARCH(1,1)-SENSEX, EGARCH(1,1)-SSEC ve EGARCH(1,1)-BIST100 tercih edilmiştir. Borsa endeksi getiri serileri modellerine ilişkin ML yöntemi tahmin sonuçları EK-7'de sunulmuştur. EK-7'de sunulan modellerin standartlaştırılmış artıklarına BDS testi tekrar uygulanmış ve sonuçlar Çizelge 5.8'de sunulmuştur.

Çizelge 5.8. EGARCH (p,q) modelleri için BDS test sonuçları

ϵ/σ	m	BOVESPA (Brezilya)	MICEX (Rusya)	SENSEX (Hindistan)	SSEC (Çin)	BIST100 (Türkiye)
0.5	2	-4.7232* (0.0000)	0.1071 (0.9147)	-3.0565* (0.0022)	-0.5424 (0.5875)	-0.6597 (0.5095)
	3	-2.9482* (0.0032)	0.7821 (0.4342)	-2.5445** (0.0109)	0.3347 (0.7378)	0.3464 (0.7291)
	4	-1.9366 (0.0528)	1.0916 (0.2750)	-2.3397** (0.0193)	1.5194 (0.1287)	0.8384 (0.4018)
	5	-1.4367 (0.1508)	0.7402 (0.4592)	-2.1391** (0.0324)	1.8296 (0.0673)	1.3774 (0.1684)
1.0	2	-4.6869* (0.0000)	0.4463 (0.6554)	-3.0973* (0.0020)	-0.1848 (0.8534)	0.0092 (0.9927)
	3	-3.5470* (0.0004)	1.1680 (0.2428)	-2.6618* (0.0078)	0.5614 (0.5745)	1.1072 (0.2682)
	4	-2.6686* (0.0076)	1.4929 (0.1355)	-2.3157** (0.0206)	1.2683 (0.2047)	1.4800 (0.1389)
	5	-2.2019** (0.0277)	1.3226 (0.1860)	-1.9169 (0.0553)	1.1376 (0.2553)	1.7998 (0.0719)
1.5	2	-4.3633* (0.0000)	1.0009 (0.3169)	-2.9190* (0.0035)	0.7989 (0.4243)	0.9566 (0.3388)
	3	-3.2096* (0.0013)	1.9367 (0.0528)	-2.4661** (0.0137)	1.1528 (0.2490)	2.1119** (0.0347)
	4	-2.3486** (0.0188)	2.4162** (0.0157)	-2.0046** (0.0450)	1.3836 (0.1665)	2.4754** (0.0133)
	5	-1.9137 (0.0557)	2.4875** (0.0129)	-1.5988 (0.1099)	1.0871 (0.2770)	2.6719* (0.0075)
2.0	2	-3.1040* (0.0019)	1.4415 (0.1495)	-2.0321** (0.0421)	1.4774 (0.1396)	2.3773** (0.0174)
	3	-1.9616** (0.0498)	2.4610** (0.0139)	-1.5500 (0.1211)	1.5364 (0.1244)	3.5410* (0.0004)
	4	-1.1301 (0.2584)	3.2003* (0.0014)	-0.9346 (0.3500)	1.6992 (0.0893)	3.8696* (0.0001)
	5	-0.7705 (0.4410)	3.5782* (0.0003)	-0.4301 (0.6671)	1.5089 (0.1313)	3.9299* (0.0001)

m: yerleştirme boyutu, ϵ/σ : noktalar arasında ham verinin standart sapmaları sayısı cinsinden ölçülen uzaklığı göstermektedir. Parantez içindeki değerler kuyruk olasılığı değerleridir. BDS istatistiği için tablo kritik değerleri %5 (**) ve %1 (***) anlam düzeyinde sırasıyla 1.960 ve 2.575.

Çizelge 5.8'de görüleceği üzere, standardize artıklar için hesaplanan BDS test istatistikleri başlangıçta getiri serileri için hesaplanan istatistiklerden çok daha küçük olduğu görülmektedir. BDS testi, SSEC (Çin) endeksi hariç tüm borsa endeksleri için reddedildiği görülmüştür. SSEC endeksinde sıfır hipotezinin reddedilememesinin ise negatif şokların, pozitif şoklara göre volatilité üzerinde daha fazla etkili olduğunu göstermektedir. Şekil 5.4'te görüleceği üzere SSEC endeksi, diğer borsa endekslerine göre çok daha fazla volatilité göstermektedir. Bu volatilitéyi EGARCH modelleri ile modellemenin GARCH modeline göre daha doğru olacağına işaret etmektedir. Yabancı sermayeli yatırım fon sahiplerinin SSEC (Çin) endeksinde yüklü miktarda fon giriş-çıkışı

yapması, bu fon hareketlerinin endeks üzerindeki volatilitisini diğer borsa endekslerine göre çok daha fazla artırdığını göstermektedir.

Elde edilen bulgular bir arada değerlendirildiğinde, BRİCT borsa endeksi getirilerinin veri üretim sürecinin doğrusal olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca bu doğrusal olmayan yapının kaynağının getirilerdeki doğrusal bağımlılıklar ve doğrusal olmayan stokastik süreçler olmadığı tespit edilmiştir. Bu durum doğrusal olmayan yapının kaynağının kaotik süreçler olabileceğine işaret etmektedir.

5.7.2. Hinich Bispectrum Normallik ve Doğrusallık Testi Sonuçları

Tez çalışmasında doğrusal olmama testlerinden ikincisi olan Hinich Bispectrum normallik ve doğrusallık testi kullanılmıştır. Normallik testinde getiri serileri dağılımının normal dağılım özelliğine sahip olup olmadıkları araştırılmış, doğrusallık testinde ise serilerin doğrusal olup olmadıkları test edilmiştir. Hinich Bispectrum testi, borsa endeksi getirilerine uygulanmış ve sonuçlar Çizelge 5.9'da sunulmuştur.

Çizelge 5.9. Hinich Bispectral testi sonuçları

Endeksler	Normallik Testi (H)	Doğrusallık Testi (Z)	Sonuç
BOVESPA (Brezilya)	89.9917	5.6687	Sıfır hipotezi red
MICEX (Rusya)	32.5809	3.6772	Sıfır hipotezi red
SENSEX (Hindistan)	22.1525	3.2947	Sıfır hipotezi red
SSEC (Çin)	13.2653	2.8512	Sıfır hipotezi red
BIST100 (Türkiye)	21.0455	3.2448	Sıfır hipotezi red

Her iki test istatistiği tek taraflı ve standart normal dağılımlı $N(0,1)$ sahiptir. Tablo kritik değerleri %5 anlam düzeyinde 1.64'dir. Her iki test içinde bu tablo kritik değere göre karşılaştırma yapılmıştır.

Normallik testi sonuçlarına göre endeks getirileri için hesaplanan test istatistiği değerleri, tablo kritik değerinden ($\alpha=0.05$, 1.64) büyük olduğundan dolayı sıfır hipotezi reddedilmiş ve getiri serilerinin normal dağılıma sahip olmadığı tespit edilmiştir. Bu sonuç, Jarque-Bera (JB) normallik testi sonuçları ile tutarlıdır. Diğer taraftan doğrusallık testi sonuçlarına göre ise, endeks getiri serileri için hesaplanan test istatistiği değerleri, tablo kritik değerinden ($\alpha=0.05$, 1.64) büyük olduğundan dolayı sıfır hipotezi reddedilmiş ve getiri serilerinin doğrusal olmadığı tespit

edilmiştir. Bu sonuç getiri serileri için hesaplanan BDS testi sonucu ile tutarlılık göstermektedir.

5.8. Kaos Testleri

Bu bölümde kaotik bir yapının diğer bir önemli özelliği olan başlangıç durumlarına hassas bağıllık özelliği korelasyon boyutu analizi ve en büyük Lyapunov üsteli testi ile incelenmiştir.

5.8.1. Korelasyon Boyutu Analizi Sonuçları

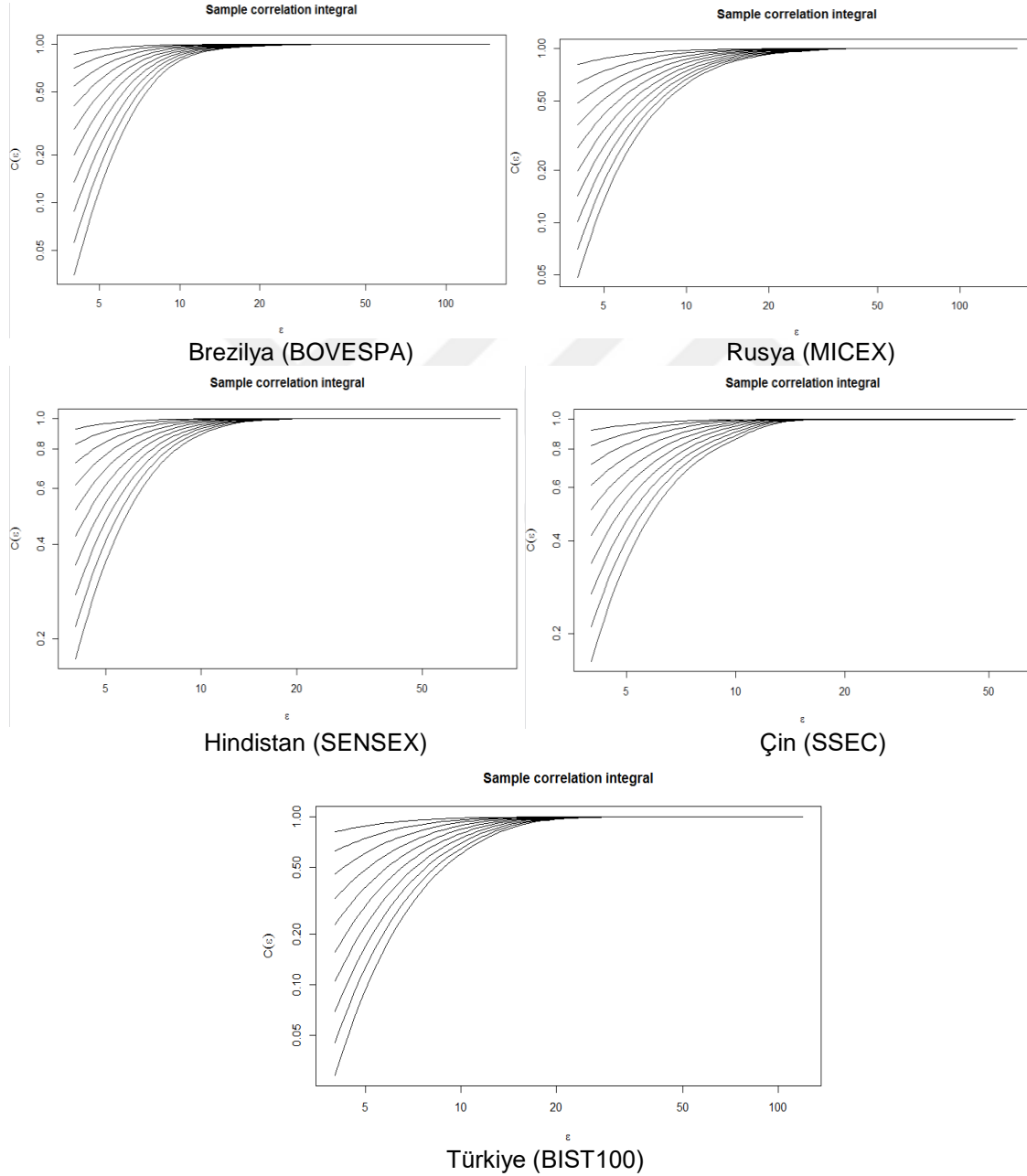
BRIC ülkeleri borsa endekslerinin kaotik bir yapıya sahip olup olmadıklarını incelemek amacıyla korelasyon boyutu analizinden yararlanılmıştır. Korelasyon boyutu getiri serilerine uygulanmış ve ARMA modeli ve ARCH ailesi modellerinin standartlaştırılmış artıkları için hesaplanmıştır. Farklı yerleştirme boyut seviyelerinde hesaplanan korelasyon boyutları Çizelge 5.10'da sunulmuştur.

Çizelge 5.10. Korelasyon boyutu analizi sonuçları

Korelasyon Boyutları	Yerleştirme Boyutları (m)								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BOVESPA (Brezilya)	2.026	2.956	3.925	4.895	5.854	6.436	8.269	6.228	6.798
ARMA(2,2)	1.986	2.896	3.835	4.804	5.807	6.781	7.015	7.662	9.450
GARCH(1,1)	1.981	2.925	3.844	4.722	5.685	6.513	8.239	8.895	9.825
EGARCH(1,1)	1.992	2.933	3.851	4.863	5.746	6.583	7.236	8.763	9.542
MICEX (Rusya)	1.997	2.930	3.926	4.837	5.737	6.379	7.506	8.974	6.247
ARMA(2,3)	1.991	2.967	3.895	4.741	5.674	6.495	7.097	7.745	8.332
GARCH(1,1)	1.997	2.979	3.904	4.813	5.652	6.527	7.559	9.735	8.547
EGARCH(1,1)	1.986	2.990	3.912	4.855	5.681	6.566	7.692	9.151	9.372
SENSEX (Hindistan)	1.994	2.999	3.867	4.829	5.678	6.631	7.496	8.798	9.198
ARMA(1,1)	1.978	2.957	3.859	4.890	5.539	6.363	7.144	8.015	8.888
GARCH(1,1)	1.994	2.996	3.987	4.784	5.619	6.851	7.332	8.765	10.855
EGARCH(1,1)	2.004	3.018	4.003	4.774	5.755	7.011	8.159	8.548	9.601
SSEC (Çin)	1.867	2.682	3.461	4.304	5.318	6.199	7.182	8.228	9.283
ARMA(1,1)	1.444	1.203	3.398	4.249	5.227	6.036	6.915	7.577	8.599
GARCH(1,1)	1.891	2.666	3.411	4.246	5.271	6.337	7.288	8.254	9.494
EGARCH(2,1)	1.852	2.687	3.465	4.255	5.245	6.524	7.284	7.833	9.453
BIST100 (Türkiye)	2.003	2.938	3.999	5.037	5.935	4.776	5.353	5.920	6.468
ARMA(2,1)	1.989	2.965	3.697	4.810	5.712	6.127	6.879	7.547	8.295
GARCH(1,1)	1.968	2.927	3.908	4.930	5.688	6.487	7.306	8.232	9.048
EGARCH(1,1)	1.967	2.934	3.927	5.163	5.551	6.526	7.312	8.204	9.119

Borsa endeksi serilerinin hesaplanan korelasyon boyutu değerlerinin birden büyük ve kesirli değerler aldığı görülmektedir. Bu sonuç, endeks serilerinin başlangıç durumlarına hassas bağıllık özelliği gösterdiğini göstermektedir.

Endeks getiri serileri için hesaplanan ve çizdirilen korelasyon integralleri grafikleri Şekil 5.8'de yer almaktadır.



Şekil 5.8. Endeks getirileri için çizdirilen korelasyon integrali grafikleri

Şekil 5.8'de görüleceği üzere, korelasyon integrallerinin yüksek yerleştirme boyutlarında birbirine çok yakınsadığı ve belirli bir boyuttan sonra birleştiği görülmektedir. Bu sonuçta endeks getirilerinin başlangıç durumlarına hassas bağıllık özelliği gösterdiğini göstermektedir.

Borsa endeksi serilerinin başlangıç durumlarına hassas bağlı olması finansal anlamda yaşanabilecek olası şokların bulaşıcı etkisi ile kısa sürede ülkelerin sermaye piyasalarını hızla etkileyebileceğine işaret etmektedir. Diğer bir ifadeyle borsa endekslerindeki fiyat hareketlerindeki küçük bir değişikliğin piyasalardaki bulaşıcılık etkisiyle diğer ülkelerin borsa endekslerinde büyük sonuçlara yol açması mümkündür.

5.8.2. En Büyük Lyapunov Üsteli Testi Sonuçları

Birbirine yakın komşu yörüngelerin başlangıç durumlarında meydana gelen en ufak değişiklikte farklı üstel artış oranlarına sahip olup olmadıklarını incelemek amacıyla en büyük Lyapunov üstelleri hesaplanmıştır. Wolf vd. (1985) tahmin yöntemi kullanılarak öncelikle getiri serileri için en büyük Lyapunov üstelleri tahmin edilmiştir. Sonrasında başlangıç durumlarına hassas bağıllık özelliğinin devam edip etmediğinin araştırılması amacı ile ARMA ve ARCH ailesi modellerinin standartlaştırılmış artıkları için hesaplanmıştır. Wolf (1991) çalışmasında dört farklı yerleştirme boyutu için Lyapunov üstelleri hesaplanmıştır. Bu tez de ampirik literatür takip edilerek $m=1,2,3$ ve 4 yerleştirme boyutları için elde edilen değerler sırası ile Çizelge 5.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.11. En büyük Lyapunov üsteli sonuçları

Getiri Serileri için					
m	BOVESPA (Brezilya) Maks λ (N=4782)	MICEX (Rusya) Maks λ (N=4806)	SENSEX (Hindistan) Maks λ (N=4757)	SSEC (Çin) Maks λ (N=4866)	BIST100 (Türkiye) Maks λ (N=4902)
1	0.6826	0.8246	0.4116	0.4035	0.8074
2	1.0582	1.1994	0.7836	0.7973	1.1879
3	1.2287	1.3758	0.9559	0.9808	1.3639
4	1.3321	1.4841	1.0616	1.0931	1.4744
ARMA Modellerinin Standartlaştırılmış Artıkları için					
1	0.0433	0.1409	0.0343	0.0623	0.0655
2	0.3325	0.2321	0.3377	0.3310	0.3146
3	0.5032	0.4078	0.5104	0.5143	0.4905
4	0.6066	0.5155	0.6163	0.6267	0.6010
GARCH Modellerinin Standartlaştırılmış Artıkları için					
1	0.0486	0.0257	0.0352	0.0569	0.0126
2	0.4305	0.4104	0.4184	0.3466	0.3997
3	0.6047	0.5910	0.5974	0.5373	0.5808
4	0.7114	0.7031	0.7079	0.6561	0.6940
EGARCH Modellerinin Standartlaştırılmış Artıkları için					
1	0.0525	0.0244	0.0393	0.0554	0.0095
2	0.4342	0.4087	0.4231	0.3471	0.3978
3	0.6081	0.5891	0.6019	0.5383	0.5792
4	0.7142	0.7011	0.7121	0.6575	0.6927

m: yerleştirme boyutu, Max λ : Lyapunov Üstelinin maksimum tahmin değerini, N: Gözlem sayısını göstermektedir.

Hesaplanan Lyapunov üstellerinden en az bir tanesinin pozitif değer bulunması, sistemin kaotik olduğunu söylemek için yeterlidir. Çizelge 5.11'de bütün λ değerlerinin pozitif olduğu görülmektedir. Bu durum faz uzayında yer alan birbirine yakın yörüngelerin birbirinden ıraksadığını göstermektedir. Sonuçta borsa endeksi serilerinin başlangıç durumlarına hassas bağlılık özelliği gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, ARCH ailesi modelleri için hesaplanan Lyapunov üsteli değerlerinin bütün boyut seviyelerinde pozitif değer aldığı tespit edilmiştir. Bu durum, ARCH ailesi modellerinin kaotik yapıyı filtrelemede yeterli olmadığını göstermektedir. Bu sonuç endeks serileri için hesaplanan korelasyon boyutu analizi ile tutarlılık göstermektedir.

5.9. Endekslerin Fraktal Yapısı ve Fraktallığının Ölçümü

Bu bölümde kaotik davranışın son bir özelliği olan fraktallık test edilmiştir. Fraktallığın kendine benzerlik ve fraktal boyut olmak üzere iki önemli parametresi vardır. Bu amaçla kendine benzerlik özelliği, uzun hafıza testleri olan parametrik olmayan dönüştürülmüş genişlik (R/S) analizi ve yarı parametrik bir yöntem olan modifiye edilmiş Geweke Porter-Hudak (GPH) testi kullanılarak incelenmiştir. Fraktal boyutun hesaplanması için kutu-sayım yönteminden yararlanılmıştır.

5.9.1. Dönüştürülmüş Genişlik (Rescaled Range, R/S) Analizi Sonuçları

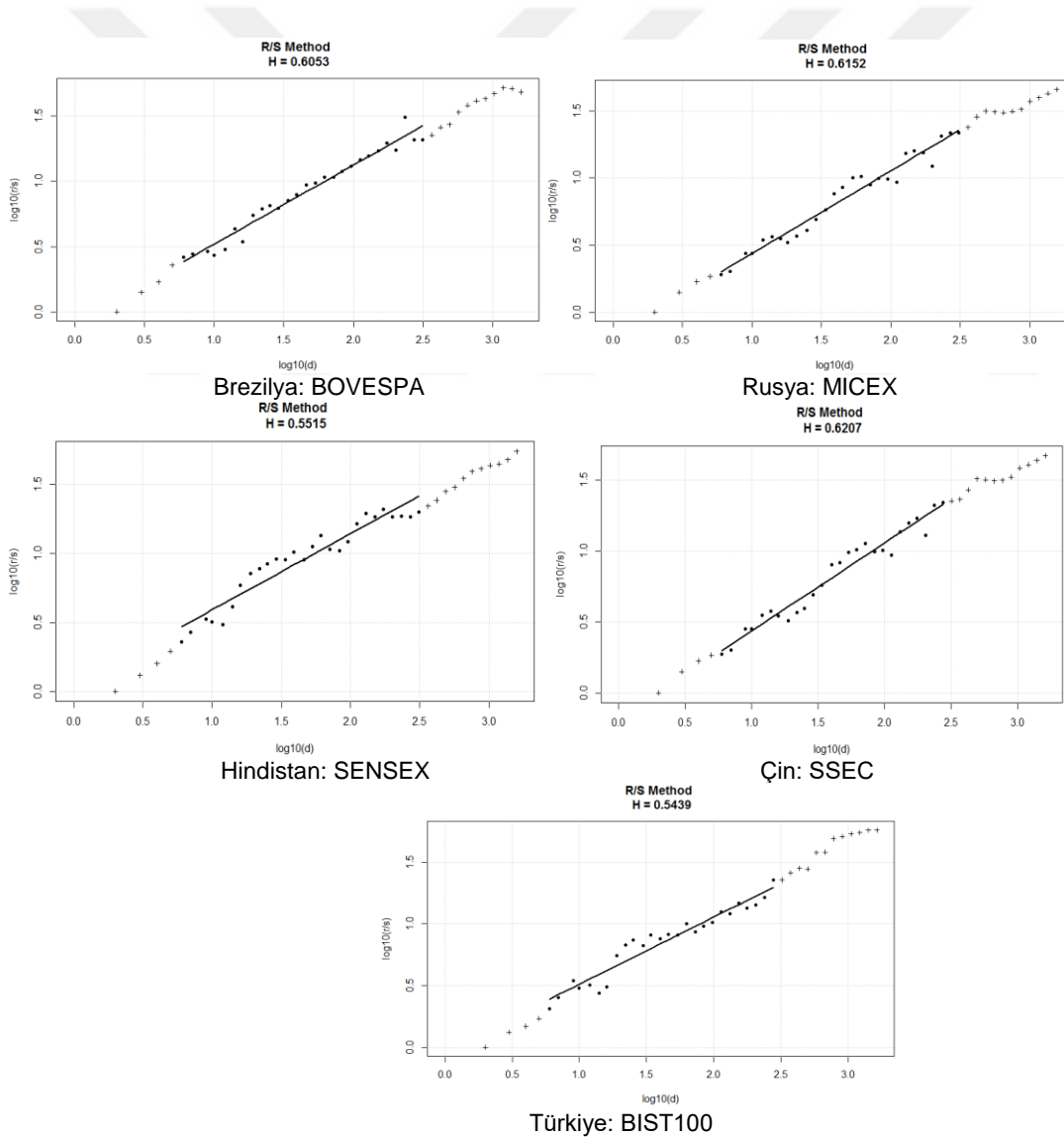
Fraktallığın parametrelerinden biri olan kendine benzerlik özelliğini incelemek amacıyla öncelikle parametrik olmayan dönüştürülmüş genişlik (R/S) analizi yapılmıştır. R/S analizi yöntemi ile tahmin edilen Hurst üsteli değerleri Çizelge 5.12'de sunulmuştur.

Çizelge 5.12. R/S analizi ile hurst üsteli tahmin sonuçları

Endeksler	Hurst	Standart Hata	t-değeri	Pr (> t)
BOVESPA (Brezilya)	0.6053	0.0263	22.9722	0.0000
MICEX (Rusya)	0.6152	0.0303	15.6514	0.0000
SENSEX (Hindistan)	0.5515	0.0411	13.3867	0.0000
SSEC (Çin)	0.6207	0.0277	22.3322	0.0000
BIST100 (Türkiye)	0.5439	0.0355	15.2977	0.0000

Borsa endeks getirileri için hesaplanan Hurst üsteli değerleri $0.5 < H < 1$ referans aralığında yer aldığı görülmektedir. Hurst üstellerinin 0.5'den büyük olması endeks getirilerinin uzun hafızaya sahip olduğu göstermektedir. Diğer bir ifadeyle getirilerin kendine benzerlik özelliği yani fraktal bir yapı sergilediği sonucuna ulaşılmıştır. Bunun yanında hesaplanan Hurst üstellerinin 0.5 ile 1 aralığında yer alması endeks getirilerinin dirençli bir yapı sergilediğini de göstermektedir. Hurst üsteli değeri 1 değerine yaklaştıkça serinin dirençli yapısı arttığı şeklinde yorumlanmaktadır. SSEC ve MICEX endeks getirileri, diğer endeks getirilerine göre 1 değerine daha yakın olduğu için daha dirençli bir yapıya sahiptir. Bu durum son dönemde endeks fiyatlarının yukarı yönlü bir trende sahip olması, gelecek dönemde de trendin artış olarak seyrine devam edeceği şeklinde yorumlanabilir.

Hurst üstel katsayılarının doğruluğunun test etmek ve uzun hafıza etkisinin serilerdeki herhangi bir düzenden dolayı oluşup oluşmadığını karar verebilmek amacıyla, seriler karma (scramble) hale getirilmiş ve karma hale getirilen bu seriler için yeniden Hurst üstelleri hesaplanmıştır¹⁰. Karma seriler, orijinal örnekleme aynı dağılıma sahiptir. Eğer gözlem değerleri arasında bir ardışıklık varsa, seri karma hale getirildiğinde, seri üzerinde bulunan bu ardışıklık ortadan kalkmakta, karma seriye ait hesaplanan Hurst üstel katsayısı, rassal seriye çok yakın olarak hesaplanabilmektedir (Peters, 1994:84-87; Ural ve Demireli, 2009). Şekil 5.9'da her bir endeks serisi için karma ve karma olmayan (unscrambled) serilerin Hurst üstel katsayı değerlerini gösteren log-log grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Endeks getiri serilerinin ampirik ve teorik R/S log-log grafikleri

¹⁰ Hesaplama işlemi R programı "fArma" paket programı "rsFit" koduyla yapılmıştır.

Şekil 5.9'da karma seriler¹¹, orijinal serilerin¹² uzun hafıza yapısını devam ettirmektedir. Regresyondan elde edilen doğru denkleminin eğimi, Hurst üsteli katsayısını vermektedir. Doğru ve noktalardan oluşan eğriden görüldüğü üzere her iki grafik kısmi olarak birbirine yakın görünmektedir. Bu durum serilerde uzun hafıza etkisinin sürdüğü şeklinde yorumlanmaktadır.

5.9.2. Modifiye Edilmiş Geweke ve Porter-Hudak (GPH) Testi

İkinci uzun hafıza analizi yarı parametrik bir test olan modifiye Geweke Porter-Hudak (GPH) yöntemi ile yapılmış ve sonuçlar Çizelge 5.13'te sunulmuştur.

Çizelge 5.13. Modifiye edilmiş GPH testi sonuçları

	BOVESPA (Brezilya)	MICEX (Rusya)	SENSEX (Hindistan)	SSEC (Çin)	BIST100 (Türkiye)
d	0.1827	0.3123	0.3029	0.1550	0.1430
Standart hata	0.0767	0.1006	0.0898	0.0714	0.0739
p değeri	0.020	0.003	0.001	0.033	0.023

Logaritmik getiri serileri ile çalışılmıştır.

Çizelge 5.13'te görüleceği üzere modifiye GPH testinin sonucuna göre her bir borsa endeksi getiri serisi için sıfır hipotezi reddedilmiştir. Yani, uzun hafıza parametresi olan d , %5 anlamlılık düzeyinde sıfırdan farklıdır. Bunun anlamı uzun hafıza parametresi olan (d), $0 < d < 0,5$ aralığında olduğundan direnç (persistence) ya da uzun hafıza söz konusudur. Şokların etkisinin yoğunluğu d 'nin büyüklüğüne bağlıdır. Daha yüksek bir d değeri daha yüksek direnci göstermektedir. Çalışmada, en yüksek dirence sahipten en düşük dirençliye doğru endeksler sırasıyla; MICEX, SENSEX, BOVESPA, SSEC ve BIST100 endeksleridir. MICEX (Rusya) endeksinin diğer borsa endekslerine göre yüksek dirençli olması, endeksin dış şoklara karşı daha az duyarlı olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan BIST100 (Türkiye) endeksinin ise diğer borsa endekslerine göre daha az dirençli olması da, endeksin dış şoklara karşı daha fazla duyarlı olduğunu göstermektedir. Şekil 5.5'den görüleceği üzere getiri serisinin grafiği yüksek volatilité göstermektedir. Bu durum

¹¹Grafiklerde nokta şeklinde ifade edilen seriler.

¹²Grafiklerde doğru (düz çizgi) şeklinde ifade edilen seriler.

BIST100 endeksinin gelişmiş ülkelerin açıklanan ekonomik verilerine ve borsa endekslerindeki fiyat hareketlerine daha fazla duyarlı olduğuna işaret etmektedir.

5.9.3. Fraktal Boyut Analizi: Kutu Sayım Yöntemi

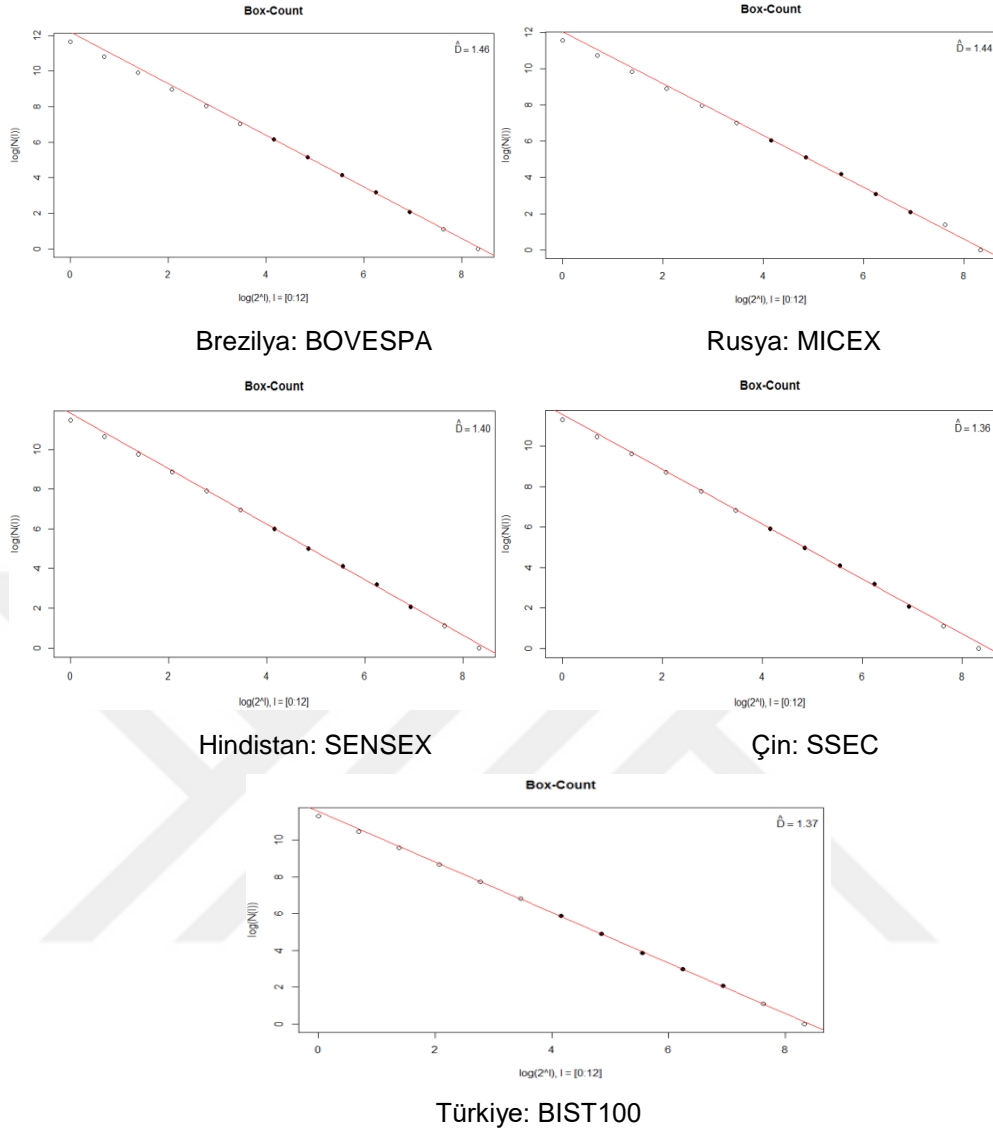
Kaotik bir davranışın diğer önemli özelliği fraktal boyuta sahip olmasıdır. Borsa endeksi serilerinin fraktal boyut değerleri kutu sayım yöntemi ile hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 5.14'te sunulmuştur.

Çizelge 5.14. Endeks serileri için hesaplanan fraktal boyut değerleri

	BOVESPA (Brezilya)	MICEX (Rusya)	SENSEX (Hindistan)	SSEC (Çin)	BIST100 (Türkiye)
D_F	1.46	1.44	1.40	1.36	1.37

Not: Endeks serilerinin logaritmik fiyat dönüşümleri ile fraktal boyut değerleri hesaplanmıştır.

Kendine benzer bir süreç için fraktal boyut uzun hafıza ile ilişkilidir. Bu ilişki $D + H = 2$ şeklinde yazılabilir. BRIC endeksleri için hesaplanan fraktal boyut değerleri 1 ile 1.5 değerleri arasında yer aldığı görülmektedir. Bunun anlamı incelenen serilerin düz bir çizgi ile rassal yürüyüş arasında bir yerde bulunduğunu gösterir. Parametrik olmayan bir yöntem olan R/S analizi ile elde edilen Hurst üstelleri değerleri de bu sonucu desteklemektedir. $D + H = 2$ eşitliğinden her bir endeks serisine ait Hurst üsteli değerleri sırasıyla 0.54, 0.56, 0.60, 0.64 ve 0.63 olarak hesaplanmıştır. Hurst üsteli değerlerinin 0.5 değerinden büyük olması, serilerin uzun hafızaya sahip olduğunu göstermektedir. Borsa endekslerinin logaritmik fiyat serileri için elde edilen fraktal boyuta ilişkin grafikler Şekil 5.10'da sunulmuştur.



Şekil 5.10. Endeks serilerinin kutu sayım regresyon doğruları

Şekil 5.10'da yer alan grafikler endekslerin logaritmik fiyat serileri ile ilgili fraktal boyut tahmincisi (\hat{D}) için log-log regresyon sonuçlarını göstermektedir. $\log(N) = \hat{\alpha} + \hat{D}_F \log(r)$ şeklinde gösterilen doğrularının eğimi fraktal boyut tahmin değerlerini vermektedir.

Şimdiye kadar yapılan testlerin tutarlılığını analiz etmek amacıyla aynı işlemler kontrol değişkeni olarak tüm dünya borsalarını etkileyen S&P500 endeksi dâhil edilerek yapılmış ve bulgulara bir sonraki başlıkta yer verilmiştir.

5.10. S&P500 Endeksinin Kontrol Değişken Olarak Yer Aldığı Analizlerin Ampirik Sonuçları

ABD sermaye ve teknoloji yoğun büyük şirketleriyle, doğrudan yabancı sermaye kaynağı sağlayan dünyanın en büyük ekonomisidir. Küresel sermayenin büyük bölümünü oluşturan ABD, gelişmekte olan ülkelerin borsa endekslerine giden yatırım fonları aracılığıyla ülkelerin sermaye piyasalarını etkileyebilme potansiyeline sahiptir. Bu nedenle tez çalışmasında ABD'nin en büyük borsa endeksi olan ve küresel yatırımcılar tarafından takip edilen S&P500 endeksi kontrol değişkeni olarak ayrıca analizlerde yer almıştır.

Endeks getirilerinin veri üretim süreçlerinin doğrusal olup olmadığını test etmek amacıyla öncelikle doğrusal olmama testleri yapılmıştır.

5.10.1. BDS Testi Sonuçları

BDS testine geçmeden öncelikle S&P500 endeksinin açıklayıcı (kontrol) değişken olarak yer aldığı regresyon modelleri tahmin edilmiştir. OLS yöntemi ile tahmin edilen regresyon modelleri EK-8'de yer almaktadır. Getiri serilerinin bağımlı değişken ve S&P500 endeksinin kontrol değişkeni olarak yer aldığı denklemin standartlaştırılmış artıkları için hesaplanan BDS testi sonuçları Çizelge 5.15'de sunulmuştur.

Çizelge 5.15. S&P500 olduğu denklem için BDS test sonuçları

ϵ/σ	m	BOVESPA (Brezilya)	MICEX (Rusya)	SENSEX (Hindistan)	SSEC (Çin)	BIST100 (Türkiye)
0.5	2	17.0272*** (0.0000)	22.7375*** (0.0000)	12.3950*** (0.0000)	9.1974*** (0.0000)	16.3277*** (0.0000)
	3	22.7955*** (0.0000)	30.7945*** (0.0000)	18.2734*** (0.0000)	13.8223*** (0.0000)	22.0897*** (0.0000)
	4	27.8842*** (0.0000)	38.8347*** (0.0000)	22.5529*** (0.0000)	17.9249*** (0.0000)	27.5262*** (0.0000)
	5	33.3221*** (0.0000)	48.1472*** (0.0000)	27.3206*** (0.0000)	20.3436*** (0.0000)	32.9616*** (0.0000)
1.0	2	18.1270*** (0.0000)	24.3192*** (0.0000)	14.4741*** (0.0000)	11.4989*** (0.0000)	17.9000*** (0.0000)
	3	22.7923*** (0.0000)	30.7070*** (0.0000)	19.7509*** (0.0000)	16.4930*** (0.0000)	23.5170*** (0.0000)
	4	26.2640*** (0.0000)	35.7872*** (0.0000)	23.5589*** (0.0000)	19.8477*** (0.0000)	28.1841*** (0.0000)
	5	29.4912*** (0.0000)	40.6295*** (0.0000)	27.2104*** (0.0000)	22.0258*** (0.0000)	32.3176*** (0.0000)
1.5	2	19.5217*** (0.0000)	25.2491*** (0.0000)	15.9494*** (0.0000)	13.1512*** (0.0000)	17.5542*** (0.0000)
	3	23.7459*** (0.0000)	30.1845*** (0.0000)	20.3609*** (0.0000)	17.7624*** (0.0000)	22.4303*** (0.0000)
	4	26.3312*** (0.0000)	33.5541*** (0.0000)	23.6331*** (0.0000)	20.8556*** (0.0000)	25.9786*** (0.0000)
	5	28.2475*** (0.0000)	36.1539*** (0.0000)	26.4046*** (0.0000)	22.9779*** (0.0000)	28.8858*** (0.0000)
2.0	2	20.6577*** (0.0000)	24.2478*** (0.0000)	16.0935*** (0.0000)	12.8270*** (0.0000)	16.9498*** (0.0000)
	3	24.9343*** (0.0000)	28.0886*** (0.0000)	19.9474*** (0.0000)	16.8154*** (0.0000)	20.9817*** (0.0000)
	4	27.1084*** (0.0000)	30.6511*** (0.0000)	22.7760*** (0.0000)	19.8705*** (0.0000)	23.2047*** (0.0000)
	5	28.3375*** (0.0000)	32.3383*** (0.0000)	24.9947*** (0.0000)	21.9733*** (0.0000)	25.1667*** (0.0000)

m: yerleştirme boyutu, ϵ/σ : noktalar arasında ham verinin standart sapmaları sayısı cinsinden ölçülen uzaklığı göstermektedir. Parantez içindeki değerler kuyruk olasılığı değerleridir. BDS test istatistiği için tablo kritik değerleri %5 (**) ve %1 (***) anlam düzeyinde sırasıyla 1.960 ve 2.575.

Çizelge 5.15'de görüleceği üzere sıfır hipotezi tüm boyut seviyeleri için %1 anlamlılık düzeyinde reddedilmiştir. Bu sonuç S&P500 endeksinin kontrol değişken olarak yer almadığı BDS test istatistiği sonuçlarıyla tutarlıdır. BDS testinde sıfır hipotezini reddedilmesi doğrusal bağımlılık, doğrusal olmayan stokastik süreçler ve kaos gibi olası durumların varlığından kaynaklanıyor olabilir.

Analizin birinci aşamasında, S&P500 endeksinin kontrol değişken olarak yer aldığı en uygun ARMA (p,q) modelleri tahmin edilmiş ve elde edilen sonuçlar EK-9'da özetlenmiştir. En uygun modelin seçilmesinde bilgi kriterleri ve parametrelerin istatistiksel olarak anlamlılığı dikkate alınmıştır. Ayrıca bu modellerde S&P500 değişkeni tüm modellerde pozitif ve %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Brezilya (BOVESPA) endeksinin bağımlı değişken olduğu modelde S&P500 endeksinin katsayısı en yüksek değerini almıştır: 0.953 (p=0.000). Buna göre

S&P500 endeksi getirisinde meydana gelen 1 puanlık artış BOVESPA endeksinin getirisini 0.953 puan artıracaktır. S&P500 endeksi ile en düşük ilişki Çin (SSEC) endeksi getirisinde gözlenmiştir: 0.060 ($p=0.001$). Buna göre S&P500 endeksi getirisinde meydana gelen 1 puanlık artış SSEC endeksinin getirisini 0.060 puan artıracaktır.

En uygun ARMA (p,q) modelleri ile endeks getirilerindeki doğrusal bağımlılık kaldırılmış ve bu doğrusal modellerin standartlaştırılmış artıklarına BDS testi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.16'da sunulmuştur.

Çizelge 5.16. S&P500 olduğu ARMA (p,q) modeli için BDS test sonuçları

ϵ/σ	m	BOVESPA (Brezilya)	MICEX (Rusya)	SENSEX (Hindistan)	SSEC (Çin)	BIST100 (Türkiye)
0.5	2	15.6654*** (0.0000)	22.3281*** (0.0000)	12.5547*** (0.0000)	8.6713*** (0.0000)	16.3036*** (0.0000)
	3	21.2138*** (0.0000)	30.0554*** (0.0000)	17.9416*** (0.0000)	13.2090*** (0.0000)	22.0502*** (0.0000)
	4	26.1400*** (0.0000)	37.8975*** (0.0000)	22.2818*** (0.0000)	17.2151*** (0.0000)	27.4532*** (0.0000)
	5	31.1377*** (0.0000)	47.2347*** (0.0000)	27.1402*** (0.0000)	19.5303*** (0.0000)	32.9584*** (0.0000)
1.0	2	17.0009*** (0.0000)	23.5972*** (0.0000)	14.4808*** (0.0000)	11.1801*** (0.0000)	17.9935*** (0.0000)
	3	21.5927*** (0.0000)	29.8964*** (0.0000)	19.4234*** (0.0000)	16.1051*** (0.0000)	23.5857*** (0.0000)
	4	25.1165*** (0.0000)	34.8801*** (0.0000)	23.1855*** (0.0000)	19.3546*** (0.0000)	28.1740*** (0.0000)
	5	28.3636*** (0.0000)	39.6968*** (0.0000)	26.8063*** (0.0000)	21.4031*** (0.0000)	32.2766*** (0.0000)
1.5	2	18.5953*** (0.0000)	24.4974*** (0.0000)	16.1173*** (0.0000)	12.8352*** (0.0000)	17.6506*** (0.0000)
	3	22.8160*** (0.0000)	29.5170*** (0.0000)	20.2535*** (0.0000)	17.3374*** (0.0000)	22.4708*** (0.0000)
	4	25.4904*** (0.0000)	32.9606*** (0.0000)	23.4128*** (0.0000)	20.3535*** (0.0000)	25.9496*** (0.0000)
	5	27.4957*** (0.0000)	35.6614*** (0.0000)	26.1348*** (0.0000)	22.3914*** (0.0000)	28.8352*** (0.0000)
2.0	2	19.8113*** (0.0000)	23.6610*** (0.0000)	16.4543*** (0.0000)	12.5080*** (0.0000)	16.9558*** (0.0000)
	3	23.9708*** (0.0000)	27.3787*** (0.0000)	20.0432*** (0.0000)	16.4669*** (0.0000)	20.9817*** (0.0000)
	4	26.3361*** (0.0000)	29.9564*** (0.0000)	22.7658*** (0.0000)	19.4493*** (0.0000)	23.1983*** (0.0000)
	5	27.7165*** (0.0000)	31.7130*** (0.0000)	24.9342*** (0.0000)	21.4505*** (0.0000)	25.1803*** (0.0000)

m: yerleştirme boyutu, ϵ/σ : noktalar arasında ham verinin standart sapmaları sayısı cinsinden ölçülen uzaklığı göstermektedir. Parantez içindeki değerler kuyruk olasılığı değerleridir. BDS istatistiği için tablo kritik değerleri %5 (**) ve %1 (***) anlam düzeyinde sırasıyla 1.960 ve 2.575.

Çizelge 5.16'da sıfır hipotezinin tüm boyut seviyeleri için %1 anlamlılık düzeyinde reddedildiği görülmektedir. Bu aşamada sıfır hipotezinin reddedilmesinin nedeni bağımlılığın bazı türlerinin veride hala kalmış olmasıdır. Hali hazırda doğrusal bağımlılıklar en uygun ARMA (p,q) modelleri kullanılarak kaldırılmasına rağmen, serilerde bazı doğrusal olmayan bağımlılığın olduğunu göstermektedir.

Bu doğrusal olmayan bağımlılığın kaynağının koşullu farklı yayılım olup olmadığını analiz etmek amacıyla ARCH ailesi modelleri kullanılmıştır. Doğrusal olmayan modellere geçmeden önce her bir borsa endeksi için tahmin edilen en uygun ARMA (p,q) modelleri artıklarında ARCH etkisinin olup olmadığı ARCH-LM testi ile sınanmış ve sonuçlar EK-9'da gösterilmiştir. S&P500 endeksinin kontrol değişkeni olarak yer aldığı en uygun ARMA (p,q) modelleri için hesaplanan F istatistiği değerleri %5 anlam düzeyinden düşük olduğu ve ARCH etkisinin var olduğu tespit edilmiştir.

Verilerde mevcut olan koşullu farklı yayılım bileşeni tespit edildikten sonra, analizin ikinci aşamasında, S&P500 endeksinin ortalama denkleminde kontrol değişkeni olarak yer aldığı en uygun GARCH (p,q) modelleri tahmin edilmiş ve elde edilen sonuçlar EK-10'da özetlenmiştir. En uygun modelin seçilmesinde bilgi kriterleri ve parametrelerin istatistiksel olarak anlamlılığı dikkate alınmıştır. Ayrıca bu modellerin ortalama denkleminde yer alan S&P500 değişkeni tüm modellerde pozitif ve %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Brezilya (BOVESPA) endeksinin bağımlı değişken olduğu modelde S&P500 endeksinin katsayısı en yüksek değerini almıştır: 0.897 (p=0.000). Buna göre S&P500 endeksi getirisinde meydana gelen 1 puanlık artış BOVESPA endeksinin getirisini 0.897 puan artıracaktır. S&P500 endeksi ile en düşük ilişki Çin (SSEC) endeksi getirisinde gözlenmiştir: 0.015 (p=0.000). Buna göre S&P500 endeksi getirisinde meydana gelen 1 puanlık artış SSEC endeksinin getirisini 0.015 puan artıracaktır.

En uygun GARCH (p,q) modelleri ile endeks getirilerindeki koşullu farklı yayılım filtre edilmiş ve bu modellerin standartlaştırılmış artıklarına BDS testi uygulanmış ve sonuçlar Çizelge 5.17'de sunulmuştur.

Çizelge 5.17. S&P500 olduğu GARCH (p,q) modeli için BDS test sonuçları

ϵ/σ	m	BOVESPA (Brezilya)	MICEX (Rusya)	SENSEX (Hindistan)	SSEC (Çin)	BIST100 (Türkiye)
0.5	2	0.5603 (0.5753)	1.8300 (0.0672)	-2.1434** (0.0321)	-0.8578 (0.3910)	0.6952 (0.4869)
	3	2.1528** (0.0313)	2.1673** (0.0302)	-0.6871 (0.4920)	0.7095 (0.4780)	1.3537 (0.1758)
	4	2.9227*** (0.0035)	2.2661** (0.0234)	0.0189 (0.9849)	2.2265** (0.0260)	2.2191** (0.0265)
	5	3.2304*** (0.0012)	1.5860 (0.1127)	0.7351 (0.4622)	2.5911*** (0.0096)	2.8774*** (0.0040)
1.0	2	0.6827 (0.4948)	1.9454 (0.0517)	-1.8931 (0.0583)	-0.3839 (0.7010)	1.2594 (0.2079)
	3	2.0962** (0.0361)	2.3253** (0.0201)	-0.8604 (0.3895)	1.0321 (0.3020)	1.8487 (0.0645)
	4	2.5864*** (0.0097)	2.5353** (0.0112)	-0.3778 (0.7056)	2.0169** (0.0437)	2.4248** (0.0153)
	5	2.6958*** (0.0070)	2.2860** (0.0223)	0.1702 (0.8649)	2.0247** (0.0429)	2.7203*** (0.0065)
1.5	2	0.7589 (0.4479)	1.8816 (0.0599)	-1.4928 (0.1355)	0.2262 (0.8211)	2.1388** (0.0325)
	3	1.7133 (0.0866)	2.2757** (0.0229)	-0.7730 (0.4395)	1.1535 (0.2487)	2.6326*** (0.0085)
	4	2.0830** (0.0373)	2.6529*** (0.0080)	-0.2902 (0.7716)	1.6199 (0.1053)	3.0821*** (0.0021)
	5	2.0607** (0.0393)	2.6761*** (0.0074)	0.2136 (0.8308)	1.5315 (0.1256)	3.2480*** (0.0012)
2.0	2	0.7340 (0.4629)	1.4384 (0.1503)	-0.8239 (0.4100)	0.5627 (0.5737)	3.5288*** (0.0004)
	3	1.3814 (0.1672)	1.8225 (0.0684)	-0.4641 (0.6426)	1.1467 (0.2515)	3.8531*** (0.0001)
	4	1.7636 (0.0778)	2.3769** (0.0175)	0.1716 (0.8638)	1.5061 (0.1320)	4.1415*** (0.0000)
	5	1.6686 (0.0952)	2.6391*** (0.0083)	0.6218 (0.5341)	1.4823 (0.1383)	4.0918*** (0.0000)

m: yerleştirme boyutu, ϵ/σ : noktalar arasında ham verinin standart sapmaları sayısı cinsinden ölçülen uzaklığı göstermektedir. Parantez içindeki değerler kuyruk olasılığı değerleridir. BDS istatistiği için tablo kritik değerleri %5 (**) ve %1 (***) anlam düzeyinde sırasıyla 1.960 ve 2.575.

Çizelge 5.17'de görüleceği üzere S&P500 endeksinin kontrol değişken olarak yer aldığı GARCH modellerinde sıfır hipotezi tüm endeksler için reddedilmiştir.

S&P500 endeksinin kontrol değişken olarak yer almadığı Hindistan (SENSEX) endeksinde BDS test istatistiği tüm boyut seviyelerinde reddedilemezken, S&P500 endeksinin kontrol değişken olarak yer aldığı SENSEX endeksinde sıfır hipotezinin düşük boyutta reddedildiği tespit edilmiştir. Bu sonuç, SENSEX borsa endeksi getirilerinin davranışının ARCH-tipi modeller tarafından yeterince açıklanmadığı gösterir. Ancak, sıfır hipotezi diğer borsa endeksleri için tekrar reddedilmiştir. Sonuç olarak, ARCH-tipi modellerin verideki mevcut tüm bilgiyi

yakalamada başarılı olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca bu aşamada sıfır hipotezinin reddedilmesi, verilerde hala doğrusal olmayan bağımlılığın bazı özelliklerinin kalmış olduğu ve bu durumun ARCH ailesi modelleriyle açıklanamayacağını göstermektedir.

Son olarak da ARCH-tipi modeller hisse senedi getirilerindeki tüm doğrusal olmayan bağımlılıkları yakalamada başarılı olup olmadığını incelemek amacıyla getiri serileri EGARCH modelleri ile filtrelenmiştir. Borsa endeksi getiri serileri modellerine ilişkin ML yöntemi tahmin sonuçları EK-11'de yer almaktadır. En uygun modelin seçilmesinde bilgi kriterleri ve parametrelerin istatistiksel olarak anlamlılığı dikkate alınmıştır. Bu modellerin ortalama denkleminde yer alan S&P500 değişkeni tüm modellerde pozitif ve %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Brezilya (BOVESPA) endeksinin bağımlı değişken olduğu modelde S&P500 endeksinin katsayısı en yüksek değerini almıştır: 0.889 ($p=0.000$). Buna göre S&P500 endeksi getirisinde meydana gelen 1 puanlık artış BOVESPA endeksinin getirisini 0.889 puan artıracaktır. S&P500 endeksi ile en düşük ilişki Çin (SSEC) endeksi getirisinde gözlenmiştir: 0.014 ($p=0.000$). Buna göre S&P500 endeksi getirisinde meydana gelen 1 puanlık artış SSEC endeksinin getirisini 0.014 puan artıracaktır.

En uygun EGARCH (p,q) modellerinin standartlaştırılmış artıklarına BDS testi tekrar uygulanmış ve sonuçlar Çizelge 5.18'de sunulmuştur.

Çizelge 5.18. S&P500 olduğu EGARCH (p,q) modeli için BDS test sonuçları

ϵ/σ	m	BOVESPA (Brezilya)	MICEX (Rusya)	SENSEX (Hindistan)	SSEC (Çin)	BIST100 (Türkiye)
0.5	2	-0.0978 (0.9221)	0.5486 (0.5833)	-2.8261*** (0.0047)	-1.5844 (0.1131)	-0.0116 (0.9907)
	3	1.1788 (0.2385)	0.7796 (0.4356)	-1.6675 (0.0954)	-0.2411 (0.8095)	0.4993 (0.6176)
	4	1.5228 (0.1278)	0.8393 (0.4013)	-1.0390 (0.2988)	1.0501 (0.2936)	1.2295 (0.2189)
	5	1.4996 (0.1337)	0.3361 (0.7368)	-0.3251 (0.7451)	1.2427 (0.2140)	1.7090 (0.0875)
1.0	2	0.2396 (0.8106)	0.7538 (0.4509)	-2.5677** (0.0102)	-1.0436 (0.2967)	0.6383 (0.5233)
	3	1.5347 (0.1249)	0.9194 (0.3579)	-1.6809 (0.0928)	0.0835 (0.9335)	1.0641 (0.2873)
	4	1.9411 (0.0522)	0.9151 (0.3601)	-1.2787 (0.2010)	0.8998 (0.3682)	1.6099 (0.1074)
	5	1.9504 (0.0511)	0.5498 (0.5825)	-0.7319 (0.4642)	0.8022 (0.4224)	1.8676 (0.0618)
1.5	2	0.4097 (0.6821)	1.2055 (0.2280)	-1.9044 (0.0569)	-0.2413 (0.8093)	1.7332 (0.0831)
	3	1.4348 (0.1513)	1.3841 (0.1663)	-1.2844 (0.1990)	0.5442 (0.5863)	2.0537** (0.0400)
	4	1.8539 (0.0638)	1.5141 (0.1300)	-0.8544 (0.3929)	0.9461 (0.3441)	2.4952** (0.0126)
	5	1.8886 (0.0589)	1.4304 (0.1526)	-0.3418 (0.7325)	0.7782 (0.4364)	2.6534*** (0.0080)
2.0	2	0.6120 (0.5406)	1.4989 (0.1339)	-0.8338 (0.4044)	0.3545 (0.7230)	3.3422*** (0.0008)
	3	1.4563 (0.1453)	1.7198 (0.0855)	-0.3947 (0.6931)	0.9890 (0.3227)	3.5480*** (0.0004)
	4	1.9365 (0.0528)	2.0500** (0.0404)	0.1421 (0.8870)	1.3202 (0.1868)	3.8231*** (0.0001)
	5	1.9829** (0.0474)	2.3054** (0.0211)	0.6820 (0.4953)	1.2667 (0.2052)	3.7997*** (0.0001)

m: yerleştirme boyutu, ϵ/σ : noktalar arasında ham verinin standart sapmaları sayısı cinsinden ölçülen uzaklığı göstermektedir. Parantez içindeki değerler kuyruk olasılığı değerleridir. BDS istatistiği için tablo kritik değerleri %5 (**) ve %1 (***) anlam düzeyinde sırasıyla 1.960 ve 2.575.

BDS testi, Çin (SSEC) endeksi hariç tüm borsa endeksleri için reddedildiği görülmektedir. Bu sonuç S&P500 endeksinin kontrol değişken olarak yer almadığı BDS test sonuçlarıyla tutarlılık göstermektedir. SSEC endeksinde negatif şokların, pozitif şoklara göre volatilité üzerinde daha fazla etkili olduğu ve bu volatilitéyi EGARCH modelleri ile modellemenin GARCH modellerine göre daha doğru olacağını göstermektedir. Sonuç olarak SSEC (Çin) endeksinde yabancı sermayeli büyük yatırım fonları yüklü miktarda giriş-çıkış yapması, bu fon hareketlerinin endeks üzerindeki volatilitéyi diğer borsa endekslerine göre çok daha fazla artırdığına işaret etmektedir.

5.10.2. Hinich Bispectrum Testi Sonuçları

Doğrusal olmama testlerinden ikincisi olan Hinich Bispectrum normallik ve doğrusallık testi endeks getirilerinin bağımlı değişken olduğu, S&P500 endeksinin ise kontrol değişken olarak yer aldığı denklemin standartlaştırılmış artıklarına uygulanmış ve sonuçlar Çizelge 5.19'da sunulmuştur.

Çizelge 5.19. S&P500 olduğu Hinich Bispectral testi sonuçları

Endeksler	Normallik Testi (H)	Doğrusallık Testi (Z)	Sonuç
BOVESPA (Brezilya)	99.8205	10.4451	Sfır hipotezi red
MICEX (Rusya)	45.1998	3.0617	Sfır hipotezi red
SENSEX (Hindistan)	20.1239	2.7950	Sfır hipotezi red
SSEC (Çin)	13.4363	2.8578	Sfır hipotezi red
BIST100 (Türkiye)	14.6709	2.5211	Sfır hipotezi red

Her iki test istatistiği tek taraflı ve standart normal dağılımlı $N(0,1)$ sahiptir. Tablo kritik değerleri %5 anlam düzeyinde 1.64'dir. Her iki test içinde bu tablo kritik değere göre karşılaştırma yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar S&P500 endeksinin kontrol değişken olarak yer almadığı normallik ve doğrusallık test sonuçlarıyla tutarlı olduğunu görülmektedir. Bu sonuç S&P500 endeksinin kontrol değişken olarak yer aldığı modellerin standartlaştırılmış artıklarının doğrusal olmadığını göstermektedir.

5.10.3. Korelasyon Boyutu Analizi Sonuçları

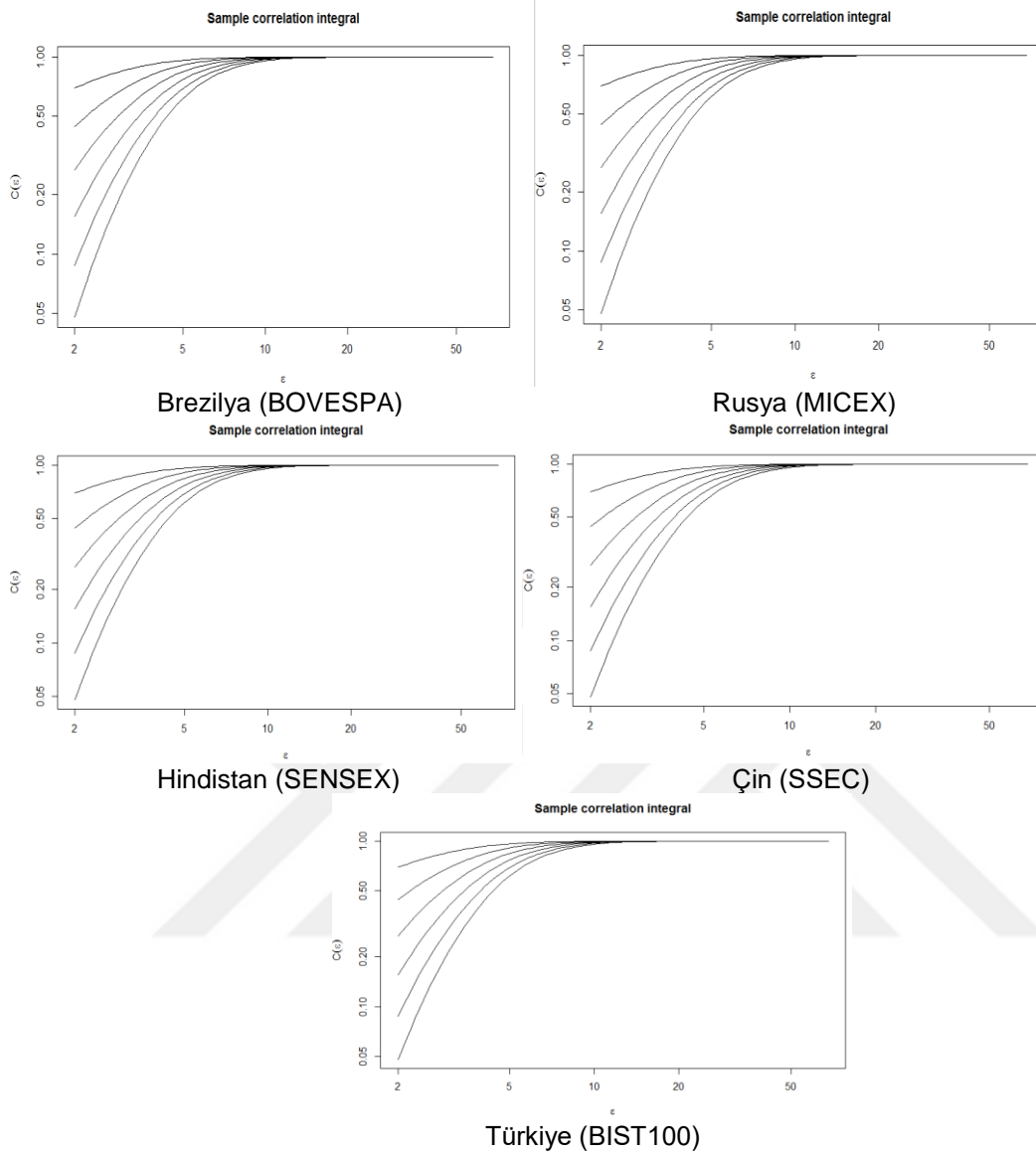
BRIC borsası endekslerinin kaotik bir yapıya sahip olup olmadıkları incelemek amacıyla korelasyon boyutu analizinden yararlanılmıştır. Korelasyon boyutu S&P500 endeksinin ise kontrol değişken olarak yer aldığı getiri serilerine uygulanmış ve ARMA modeli ve ARCH ailesi modellerinin standartlaştırılmış artıkları için hesaplanmıştır. Farklı yerleştirme boyut seviyelerinde hesaplanan korelasyon boyutları Çizelge 5.20'de sunulmuştur.

Çizelge 5.20. S&P500 olduğu korelasyon boyutu analizi sonuçları

Korelasyon Boyutları	Yerleştirme Boyutları (m)								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BOVESPA (Brezilya)	1.956	2.935	3.865	4.744	5.631	6.572	7.603	6.008	5.923
ARMA(2,2)	1.984	2.916	3.829	4.748	5.382	6.338	6.797	7.704	7.669
GARCH(1,1)	1.988	2.958	3.859	4.814	5.754	7.059	7.740	9.483	9.798
EGARCH(1,1)	1.984	2.951	3.909	4.720	5.785	6.874	7.825	8.789	10.181
MICEX (Rusya)	2.012	2.975	3.945	4.839	5.817	6.482	6.321	8.088	5.637
ARMA(2,3)	2.003	2.991	3.832	4.599	5.391	6.287	6.797	7.139	7.891
GARCH(1,1)	1.991	2.984	3.982	4.896	5.728	6.542	7.612	8.430	9.473
EGARCH(1,1)	1.992	2.944	3.910	4.791	5.718	6.277	6.978	7.990	8.682
SENSEX (Hindistan)	1.978	2.931	3.872	4.818	5.693	6.586	7.551	8.276	9.078
ARMA(1,1)	1.990	2.910	3.829	4.799	5.892	6.423	7.185	7.048	7.811
GARCH(1,1)	1.974	2.966	3.878	4.936	5.644	6.905	7.457	7.776	9.253
EGARCH(1,1)	1.995	2.964	3.863	4.964	6.027	6.499	7.391	9.054	9.428
SSEC (Çin)	1.873	2.636	3.394	4.265	5.051	5.842	7.226	7.657	8.555
ARMA(1,1)	1.957	2.656	3.458	4.252	4.818	5.536	6.350	7.088	8.434
GARCH(1,1)	1.899	2.670	3.397	4.248	5.179	6.128	6.897	8.181	9.182
EGARCH(2,1)	1.852	2.687	3.465	4.255	5.245	6.524	7.284	7.833	9.453
BIST100 (Türkiye)	1.992	3.038	3.999	4.765	5.992	7.171	8.395	5.904	0.008
ARMA(2,1)	1.999	3.010	3.875	4.670	5.747	5.919	6.777	7.551	8.308
GARCH(1,1)	1.994	2.949	3.944	4.679	5.721	6.702	7.388	8.172	9.412
EGARCH(1,1)	1.956	2.935	3.865	4.744	5.631	6.572	7.603	0.008	5.923

Borsa endeksi serilerinin hesaplanan korelasyon boyutu değerlerinin birden büyük ve kesirli değerler aldığı görülmektedir. Bu sonuç, endeks serilerinin başlangıç durumlarına hassas bağıllık özelliği gösterdiğini göstermektedir.

Endeks getiri serilerinin bağımlı değişken olduğu ve S&P500 endeksinin açıklayıcı değişken olarak yer aldığı denklemin standartlaştırılmış artıkları için hesaplanan ve çizdirilen korelasyon integralleri grafikleri Şekil 5.11'de yer almaktadır.



Şekil 5.11. S&P500 endeksi için çizdirilen korelasyon integrali grafikleri

Şekil 5.11'de görüleceği üzere, korelasyon integrallerinin yüksek yerleştime boyutlarında birbirine çok yakınsadığı ve belirli bir boyuttan sonra birleştiği görülmektedir. Bu sonuçta endeks getirilerinin başlangıç durumlarına hassas bağıllık özelliği gösterdiğini göstermektedir.

Borsa endeksi getiri serilerinin bağımlı değişken ve S&P500 endeksinin açıklayıcı değişken olarak yer aldığı denklemin standartlaştırılmış artıklarının başlangıç durumlarına hassas bağılı olması finansal anlamda yaşanabilecek olası şokların bulaşıcı etkisi ile kısa sürede ülkelerin sermaye piyasalarını hızla etkileyebileceğine işaret etmektedir. Diğer bir ifadeyle borsa endekslerindeki fiyat hareketlerindeki küçük bir

değişikliğin piyasalardaki bulaşıcılık etkisiyle diğer ülkelerin borsa endekslerinde büyük sonuçlara yol açması mümkündür.

5.10.4. En Büyük Lyapunov Üsteli Sonuçları

Wolf vd. (1985) tahmin yöntemi kullanılarak öncelikle S&P500 endeksinin kontrol değişken olarak yer aldığı getiri serileri için en büyük Lyapunov üstelleri tahmin edilmiştir. Sonrasında başlangıç durumlarına hassas bağlılık özelliğinin devam edip etmediğinin araştırılması amacı ile ARMA ve ARCH ailesi modellerinin standartlaştırılmış artıkları için hesaplanmıştır. Wolf (1991) çalışmasında dört farklı yerleştirme boyutu için Lyapunov üstelleri hesaplanmış ve elde edilen değerler sırası ile Çizelge 5.21'de sunulmuştur.

Çizelge 5.21. S&P500 olduğu en büyük Lyapunov üsteli sonuçları

Getiri Serileri için					
m	BOVESPA (Brezilya) Maks λ (N=4719)	MICEX (Rusya) Maks λ (N=4612)	SENSEX (Hindistan) Maks λ (N=4626)	SSEC (Çin) Maks λ (N=4697)	BIST100 (Türkiye) Maks λ (N=4747)
1	0.5045	0.8108	0.4059	0.4227	0.7979
2	0.8672	1.1839	0.7817	0.8178	1.1764
3	1.0340	1.3591	0.9559	1.0014	1.3543
4	1.1365	1.4668	1.0632	1.1144	1.4656
ARMA Modellerinin Standartlaştırılmış Artıkları için					
1	0.0292	0.1408	0.0392	0.0683	0.0753
2	0.3354	0.2335	0.3362	0.3284	0.3032
3	0.5032	0.4093	0.5112	0.5128	0.4811
4	0.6056	0.5174	0.6188	0.6265	0.5925
GARCH Modellerinin Standartlaştırılmış Artıkları için					
1	0.0514	0.0241	0.0329	0.0598	0.0102
2	0.4273	0.4069	0.4180	0.3442	0.3962
3	0.6005	0.5887	0.5983	0.5345	0.5790
4	0.7075	0.7019	0.7102	0.6534	0.6929
EGARCH Modellerinin Standartlaştırılmış Artıkları için					
1	0.0523	0.2786	0.0356	0.0578	0.0088
2	0.4280	0.1064	0.4202	0.3471	0.3959
3	0.6010	0.2897	0.5999	0.5379	0.5793
4	0.7077	0.4039	0.7112	0.6570	0.6936

Hesaplanan Lyapunov üstellerinden en az bir tanesi pozitif değer olarak hesaplandığından, endekslerin kaotik yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum faz uzayında yer alan birbirine yakın yörüngelerin birbirinden ıraksadığını göstermektedir. Sonuç olarak borsa endeksi serilerinin kaotik yapıya sahip olduklarını ve başlangıç

durumlarına hassas bağıllık özelliği gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, ARCH ailesi modelleri için hesaplanan Lyapunov üsteli değerlerinin bütün boyut seviyelerinde pozitif değer aldığı tespit edilmiştir. Bu durum, ARCH ailesi modellerinin kaotik yapıyı filtrelemede yeterli olmadığını göstermektedir. Bu sonuç S&P500 endeksinin kontrol değişkeni olarak yer almadığı Lyapunov üsteli sonuçlarıyla tutarlıdır.

5.10.5. R/S Analizi Sonuçları

Fraktallığın parametrelerinden biri olan kendine benzerlik özelliğini incelemek amacıyla S&P500 endeksinin kontrol değişkeni olarak yer aldığı getiri serilerine R/S analizi yapılmış ve tahmin edilen Hurst üsteli değerleri Çizelge 5.22'de gösterilmiştir.

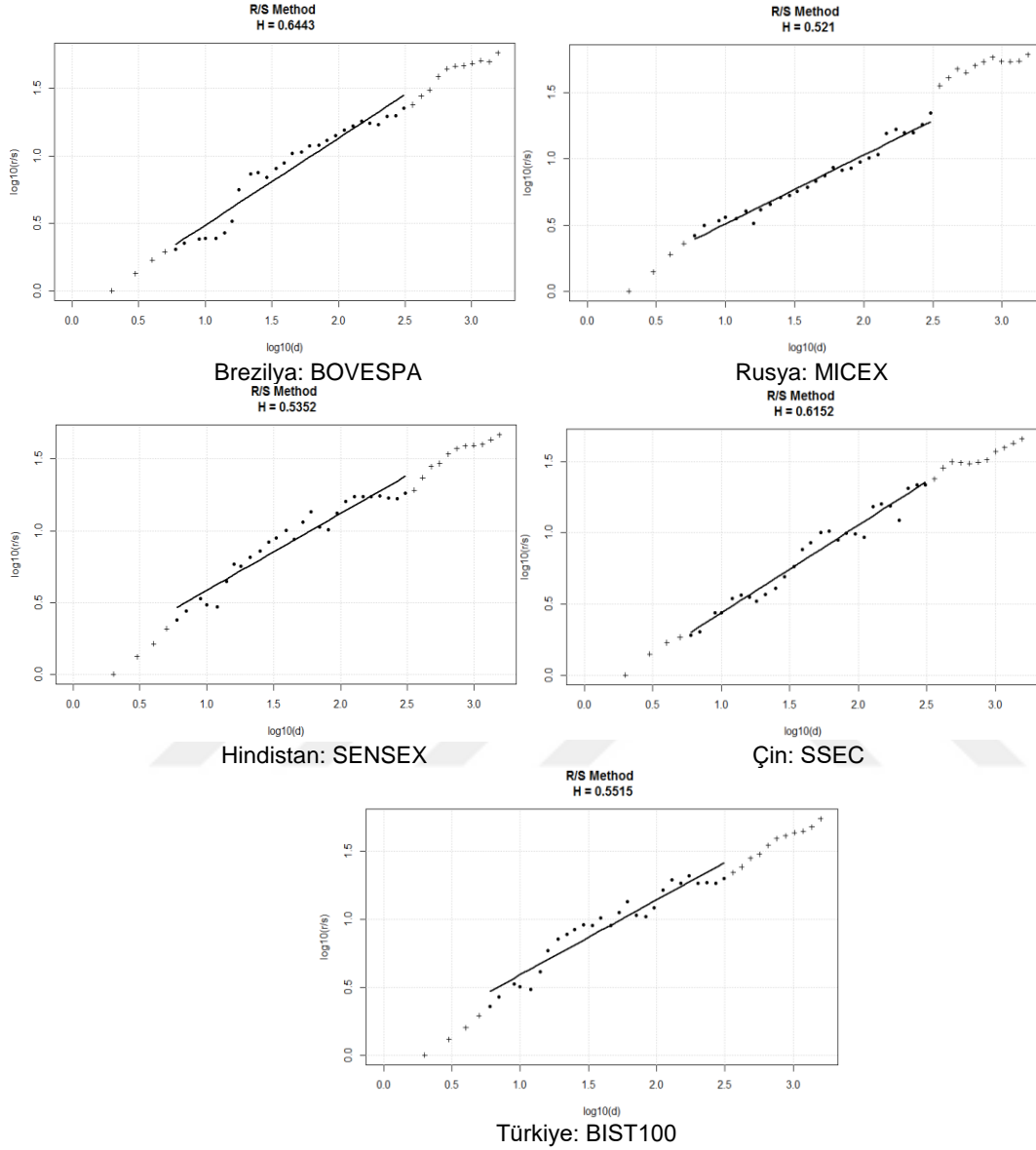
Çizelge 5.22. S&P500 olduğu R/S analizi sonuçları

Endeksler	Hurst	Standart Hata	t-değeri	Pr (> t)
BOVESPA (Brezilya)	0.6443	0.0319	20.1396	0.0000
MICEX (Rusya)	0.5210	0.0478	10.8939	0.0000
SENSEX (Hindistan)	0.5352	0.0393	13.6142	0.0000
SSEC (Çin)	0.6152	0.0250	24.5503	0.0000
BIST100 (Türkiye)	0.5515	0.0422	11.3951	0.0000

Borsa endeks getirileri için hesaplanan Hurst üsteli değerleri $0.5 < H < 1$ referans aralığında yer aldığı görülmektedir. Hurst üsselerinin 0.5'den büyük olması endeks getirilerinin uzun hafızaya sahip olduğunu, diğer bir ifadeyle fraktal bir yapı sergilediği sonucuna ulaşılmıştır. Bunun yanında hesaplanan Hurst üstellerinin 0.5 ile 1 aralığında yer alması endeks getirilerinin dirençli bir yapı sergilediğini de göstermektedir. Hurst üsteli değeri 1 değerine yaklaştıkça serinin dirençli yapısı arttığı şeklinde yorumlanmaktadır. BOVESPA ve SSEC endeks getirilerinin, diğer endeks getirilerine göre 1 değerine daha yakın olduğu için daha dirençli bir yapıya sahiptir. Bu durum son dönemde endeks fiyatlarının yukarı yönlü bir trende sahip olması, gelecek dönemde de trendin artış olarak seyrine devam edeceği şeklinde yorumlanabilir.

Hurst üstel katsayılarının doğruluğunun test etmek ve uzun hafıza etkisinin serilerdeki herhangi bir düzenden dolayı oluşup oluşmadığını karar verebilmek amacıyla, seriler karma (scramble) hale getirilmiş ve karma hale getirilen bu seriler için yeniden Hurst üstelleri hesaplanmıştır. Şekil 5.12'de her bir endeks serisi için karma ve karma

olmayan (unscrambled) serilerin Hurst üstel katsayı değerlerini gösteren log-log grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 5.12. S&P500 yer aldığı ampirik ve teorik R/S log-log grafikleri

Şekil 5.12'de karma seriler, orijinal serilerin uzun hafıza yapısını devam ettirmektedir. Regresyondan elde edilen doğru denkleminin eğimi, Hurst üsteli katsayısını vermektedir. Doğru ve noktalardan oluşan eğriden görüldüğü üzere her iki grafik kısmi olarak birbirine yakın görünmektedir. Serilerde uzun hafıza etkisinin sürdüğü şeklinde yorumlanabilir.

5.10.6. Modifiye Edilmiş GPH Testi Sonuçları

İkinci uzun hafıza analizi yarı parametrik bir test olan modifiye GPH yöntemi ile yapılmış ve sonuçlar Çizelge 5.23'te sunulmuştur.

Çizelge 5. 23. S&P500 olduğu GPH testi sonuçları

	BOVESPA (Brezilya)	MICEX (Rusya)	SENSEX (Hindistan)	SSEC (Çin)	BIST100 (Türkiye)
d	0.1899	0.3608	0.3717	0.1821	0.1906
Standart hata	0.1139	0.0847	0.0864	0.0753	0.0957
p değeri	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Çizelge 5.23'te görüleceği üzere modifiye GPH testinin sonucuna göre her bir borsa endeksi getiri serisi için sıfır hipotezi reddedilmiştir. Uzun hafıza parametresi olan d , %5 anlamlılık düzeyinde sıfırdan farklıdır. Bunun anlamı uzun hafıza parametresi olan d , $0 < d < 0,5$ referans aralığında olduğundan direnç ya da uzun hafıza söz konusudur. Şokların etkisinin yoğunluğu d 'nin büyüklüğüne bağlı değişmektedir. Daha yüksek bir d değeri daha yüksek direnci göstermektedir. Çalışmada, en yüksek dirençliden en düşük dirençliye endeksler sırasıyla; SENSEX, MICEX, BIST100, BOVESPA ve SSEC endeksleridir. SENSEX (Hindistan) endeksinin diğer borsa endekslerine göre yüksek dirençli olması, endeksin dış şoklara karşı daha az duyarlı olduğunu gösterir. SSEC (Çin) endeksinin ise diğer borsa endekslerine göre daha az dirençli olması da, endeksin dış şoklara karşı daha fazla duyarlı olduğunu gösterir. Şekil 5.4'de gösterilen getiri serisinin grafiği endeksin yüksek volatilitite yapısını göstermektedir. Bu durum SSEC endeksinin ABD ekonomik verileri ve merkez bankası (FED) tarafından açıklanan faiz kararlarına daha fazla duyarlı olduğuna işaret etmektedir. FED tarafından faizlerin çeyrek puanlık yükselişi gelişmekte olan piyasalardan yatırım fonlarının çıkmasına yol açmaktadır. Bu durum gelişmekte olan ülke borsa endekslerinin dış şoklara karşı daha kırılğan hale getirmektedir.

Fraktal boyut analizi yalnızca logaritmik fiyat serilerine yapıldığından dolayı kutu sayım yöntemi analiz dışında tutulmuştur.

Bu bölümde S&P500 endeksinin kontrol değişken olarak yer aldığı analiz sonuçlarına yer verilmiş ve ampirik bulgular karşılaştırılmıştır. Bir sonraki bölümde tez kapsamında elde edilen ampirik bulgular genel olarak değerlendirilmiştir.



6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada önde gelen gelişmekte olan ülkelerden Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Türkiye (BRICT) borsa endeksi getirilerindeki kaotik dinamiklerin varlığı araştırılmıştır. Bu amaçla 01.10.1997-30.12.2016 dönemleri arasında endekslerin günlük kapanış fiyat getirileri incelenmiştir. Bu çalışma, endeks getirilerindeki doğrusal olmayan yapının kaynağını tespit ederek ve önde gelen gelişmekte olan ülkelerin borsa endekslerinin kaotik bir yapıya sahip olup olmadığını sınavarak literatüre önemli katkıda bulunmaktadır.

Literatürde gelişmiş ülkelerin borsa endekslerine yönelik çok sayıda çalışma olmasına karşın, gelişmekte olan ülkelerin borsa endeksleri üzerine yapılmış sınırlı sayıda çalışma olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla, bu tez çalışmasının literatüre katkısı dört amaç üzerine kurulmuştur. Bunlardan birincisi, BRICT ülkeleri borsa endeksi getirilerinin veri üretim sürecinin doğrusal olup olmadığının ortaya çıkarılmasıdır. Bu nedenle çalışmada öncelikle endeks getirilerinin doğrusal olup olmadıkları araştırılmış ve *BRICT endeks getirilerinin veri üretim süreci doğrusaldır* hipotezi sınanmıştır. Bu aşamada doğrusal olmama testlerinden yararlanılmış ve borsa endeks getirilerindeki doğrusal olmayan yapının kaynağı analiz edilmiştir. Tezin ikinci amacı, borsa endekslerinin kaotik yapısının incelenmesidir. Bu amaçla *BRICT ülkelerinin borsa endeksi getirileri kaotik bir yapı sergilememektedir* hipotezi kaos testleri yardımıyla sınanmıştır. Tezin üçüncü amacında ise, endeks getirilerinin kendine benzerlik ve fraktal boyut özelliği sergileyip sergilemedikleri incelenmiş ve *BRICT ülkelerinin endeks verileri fraktal yapıya sahip değildir* hipotezi test edilmiştir. Son olarak, uzun hafıza testleri yardımıyla borsa endekslerinde etkin piyasa hipotezinin (EPH) geçerli olup olmadığı test edilmiş ve *BRICT ülkelerinin borsa endekslerinde EPH geçerlidir* hipotezi sınanmıştır.

Bu amaçlar doğrultusunda BRICT ülkeleri borsa endekslerinin kaotik yapısını test etmeden öncelikle borsa endekslerinin günlük kapanış fiyatlarının logaritmik farklarının alınması ile getiri serileri oluşturulmuştur. BRICT ülkelerinin borsa endeks serilerinin logaritmik ve getiri serilerinin grafikleri analiz edildiğinde, logaritması alınmış borsa endeksi serilerinin sıfırdan farklı bir yığılıma sahip olduğu ve zamanla birlikte ortalama değerinin arttığı yani trende sahip olduğu görülmüştür.

Getiri serilerinin ise zaman serisi grafiği analiz edildiğinde, sıfır etrafında rassal salındığı ve saçılımının yüksek olduğu tespit edilmiştir. Borsa endeksi getiri serilerinin çarpıklık ve basıklık katsayılarına ve bu katsayıları kullanarak elde edilen Jarque-Bera (JB) test istatistiği sonucuna göre bütün endekslerin getiri serileri için normal dağılım hipotezi reddedilmiştir. Elde edilen sonuçlar bir arada değerlendirildiğinde getiri serilerinde aşırı basıklık, şişman kuyruk ve asimetri özelliği görülmüştür. Bu endeks getiri serilerinin dağılımının leptokörtik bir dağılım sergilediği ve normal dağılıma göre ortalamada daha sivri ve kuyruklarda daha şişman bir dağılıma sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca endeks getiri serilerinde gözlemlenen basıklık katsayısının üçten büyük olması, BRİCT ülkeleri borsa endekslerinde oynaklık kümelenmesi olduğuna işaret etmektedir. Durağanlık sınaması için endeks getirilerine ADF (1979) ve PP (1988) birim kök testi uygulanmış ve getiri serilerinin düzeyde durağan olduğu bulunmuştur.

Bir sistemin kaotik bir yapıya sahip olabilmesi için mutlaka doğrusal olmaması gerekir. Bu nedenle getiri serileri bu aşamada doğrusal olmama testlerine tabi tutulmuştur. Doğrusal olmama testlerini yapmak için öncelikle literatürde en sık kullanılan test olan BDS testi kullanılmıştır. Tez çalışmasında BDS testi üç aşamada uygulanmıştır. Birinci aşamada, bu test öncelikle getiri serilerine uygulanmış gözlem değerlerinin bağımsız ve özdeş dağılımlı olduğunu gösteren sıfır hipotezi tüm boyut seviyeleri için %1 anlam düzeyinde reddedildiği görülmüştür. İkinci aşamada, getiri serilerinde var olan doğrusal bağımlılıkları ortadan kaldırmak için seriler doğrusal ARMA (p,q) modelleri kullanılarak en çok olabilirlik (Maximum Likelihood, ML) yöntemi ile tahmin edilmiştir. En uygun modelin seçilmesinde parametrelerin istatistiksel olarak anlamlılığına bakılarak en düşük Akaike (AIC) ve Schwarz (SIC) bilgi kriterlerine sahip modeller tercih edilmiştir. Daha sonra BDS testi her bir endeks getiri serisi için en uygun ARMA (p,q) modellerinin standartlaştırılmış artıklarına uygulanmış ve tüm getiri serileri için doğrusallık hipotezi %1 anlam düzeyinde tüm boyut seviyelerinde reddedilmiştir. Sonuç olarak, hata terimleri beyaz gürültü sürecine sahip değildir ve BRİCT ülkelerinin borsa endeks getirileri doğrusal olmayan serilerdir. Bu aşamada sıfır hipotezinin reddedilmesi getiri serilerinde bazı doğrusal olmayan bağımlılığın olduğunu göstermektedir. Üçüncü aşamada, bu doğrusal olmayan bağımlılığın kaynağının koşullu farklı yayılım olup olmadığını analiz etmek amacıyla ARCH ailesi modellerinden yararlanılmıştır. Borsa endeksi

getiri serileri GARCH (p,q) ve EGARCH (p,q) modelleri ile filtrelenmiş ve daha sonra bu modellerin standartlaştırılmış artıklarına tekrar BDS testi uygulanmıştır. Her bir endeks serisi için farklı boyut seviyelerinde sıfır hipotezinin reddedildiği görülmüştür. Sıfır hipotezinin reddedilmesi getiri serilerinde hala doğrusal olmayan bağımlılıkların kalmış olabileceğini ve bu doğrusal olmayan yapının kaynağının kaotik dinamiklerin varlığı olabileceğini göstermektedir.

Tez çalışmasında doğrusal olmama testlerinden ikincisi olan Hinich Bispectrum testi kullanılmıştır. Bu test hem normal dağılım özelliğini hem de doğrusal olmamayı test eder. Normallik ve doğrusallık testi sonuçlarına göre her iki test içinde sıfır hipotezi reddedilmiş ve endeks getirilerinin hem normal dağılıma sahip olmadığı hem de doğrusal olmadığı görülmüştür. Her iki doğrusal olmama testleri sonucunda BRİCT borsa endeksi getirilerinin doğrusal olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Kaotik bir yapının diğer bir önemli özelliği olan başlangıç durumlarına hassas bağıllık özelliğinin test edilmesinde ilk olarak korelasyon boyutu analizi kullanılmıştır. Korelasyon boyutu analizi getiri serileri, doğrusal model ve ARCH ailesi modellerinin standartlaştırılmış artıklarına uygulanmıştır. Hesaplanan tüm korelasyon boyutu değerlerinin birden büyük ve kesirli değerler aldığı görülmüştür. Bu durum, BRİCT ülkeleri endeks serilerinin kaotik yapıya sahip olduğunu göstermektedir. İkinci olarak, en büyük Lyapunov üsteli testi kullanılmıştır. En büyük Lyapunov üstellerinden (λ) en az bir tanesi pozitif olduğunda, incelenen dinamik sistem kaotik olmaktadır. Lyapunov üstelleri hesaplama yöntemlerinden Wolf vd. (1985) tahmin yöntemi kullanılarak öncelikle getiri serileri için en büyük Lyapunov üstelleri tahmin edilmiştir. Daha sonra başlangıç durumlarına hassas bağıllık özelliğinin devam edip etmediğinin araştırılması amacı ile ARMA ve ARCH ailesi modellerinin standartlaştırılmış artıkları için de Lyapunov üstelleri hesaplanmıştır. Wolf (1991) çalışması dikkate alınarak dört farklı yerleştirme boyutu için Lyapunov üstelleri hesaplanmış ve hesaplanan tüm Lyapunov üstellerinin pozitif değer aldığı görülmüştür. Bu durum faz uzayında yer alan birbirine yakın yörüngelerin birbirinden iraksadığını göstermektedir. Sonuç olarak BRİCT borsa endeksi getirilerinin kaotik yapıya sahip olduğu ve başlangıç durumlarına hassas bağıllık özelliği gösterdiği bulgusuna ulaşılmıştır. Elde edilen bulgular bir arada değerlendirildiğinde, ARCH

ailesi modellerinin standartlaştırılmış artıklarında kaosu varlığının devam etmesi, bu modellerin koşullu farklı yayılımı modellemede başarılı olduğu, ancak kaotik yapıyı filtrelemede başarısız oldukları tespit edilmiştir. Bu nedenle ARCH ailesi modellerinin öngörülerinin de yanıltıcı olabileceği bulgusu da yatırımcılar açısından önemlidir.

Daha sonra kaotik davranışın son özelliği olan fraktallık test edilmiştir. Fraktallığın kendine benzerlik ve fraktal boyut olmak üzere iki önemli parametresi vardır. Bu amaçla kendine benzerlik özelliği uzun hafıza testlerinden ilki olan parametrik olmayan dönüştürülmüş genişlik (R/S) analizi ile test edilmiştir. R/S analizi yöntemi ile tahmin edilen Hurst üsteli değerleri her bir endeks için $0.5 < H < 1$ referans aralığında yer almaktadır. Hurst üstellerinin 0.5'den büyük olması endeks getirilerinin uzun hafızaya sahip olduğunu göstermektedir. İkinci uzun hafıza analizi yarı parametrik bir test olan modifiye Geweke Porter-Hudak (GPH) yöntemi ile yapılmıştır. Log-periyodogram regresyon yöntemi ile tahmin edilen kesirli fark parametresi olan (d) her bir endeks getiri serisi için $0 < d < 0,5$ referans aralığında yer almaktadır. Kesirli fark parametrelerinin 0.5'den küçük olması endeks getirilerinin uzun hafızaya sahip olduklarını göstermektedir. Elde edilen bulgular fark alma parametrelerinin kesirli değerler alması nedeniyle endeks getiri serilerinin kendine benzerlik özelliği taşıdığını göstermektedir.

Her iki uzun hafıza testi sonucuna göre BRİCT borsa endeksi getiri serileri uzun hafıza yapısına sahiptir. Endeks getirilerindeki uzun hafızanın varlığı, serilerin cari dönem fiyatlarının oluşmasında geçmiş dönem fiyatlarının etkisi olduğunu göstermektedir. Uzun hafızanın varlığı borsa endekslerine ait fiyatların rassal yürüyüş özelliği göstermediği ve buna bağlı olarak BRİCT ülkeleri borsa endekslerinde etkin piyasa hipotezinin geçerli olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca analiz edilen dönemde MİCEX (Rusya) endeksi en yüksek dirence sahip olduğu tespit edilmiştir. BİST100 (Türkiye) endeksi ise en düşük dirence sahip olduğu belirlenmiştir. MİCEX (Rusya) endeksinin diğer borsa endekslerine göre yüksek dirençli olması, endeksin dış şoklara karşı daha az duyarlı olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan BİST100 (Türkiye) endeksinin ise diğer borsa endekslerine göre daha az dirençli olması da, endeksin dış şoklara karşı daha fazla duyarlı olduğunu göstermektedir. Bu durum BİST100 endeksinin gelişmiş ülkelerin

açıklanan ekonomik verilerine ve borsa endekslerindeki fiyat hareketlerine daha fazla duyarlı olduğuna işaret etmektedir.

Küresel sermayenin büyük bölümünü oluşturan ABD, gelişmekte olan ülkelerin borsa endekslerine giden yatırım fonları aracılığıyla ülkelerin sermaye piyasalarını etkileyebilme potansiyeline sahiptir. Bundan dolayı ABD hisse senedi piyasalarında meydana gelen büyük fiyat değişiklikleri, tüm dünya piyasalarını hızlı bir şekilde etkileyebilmektedir. Bu nedenle çalışmanın son kısmında ABD'nin en büyük borsa endeksi olan ve küresel yatırımcılar tarafından takip edilen S&P500 endeksi kontrol değişken olarak analizlerde yer verilerek, ampirik bulguların tutarlılığı test edilmiştir. Endeks getirilerinin bağımlı değişken olduğu ve S&P500 endeksinin açıklayıcı değişken olarak yer aldığı modellerin standartlaştırılmış artıklarına doğrusal olmama ve kaos testleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar S&P500 endeksinin yer almadığı analiz sonuçlarıyla tutarlılık göstermektedir.

Tüm bulgular bir arada değerlendirildiğinde, analiz edilen dönemde BRIC ülkeleri borsa endeksleri doğrusal olmayan ve kaotik dinamikler tarafından karakterize edilmiş olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle BRIC ülkeleri borsa endekslerinin zayıf formda etkin piyasa hipotezi (EPH) geçerli değildir. Fakat bu piyasalarda kaos teorisinden oluşturulan fraktal piyasa hipotezinin geçerli olduğu belirlenmiştir.

Bu tez çalışması finansal piyasaların kaotik yapısı hakkında kanıt sağlamıştır, ancak literatürde bu konuda bir görüş birliği yoktur. Gelişmiş ülkelerle yapılan Willey (1992), Abhyankar vd. (1995), Abhyankar vd. (1997), Barkoulas ve Travlos (1998) çalışmasında kaotik yapıya rastlanmazken, Harrison vd. (1999), Diaz (2013) çalışmasında kaos görülmüştür. Gelişmekte olan borsa endekslerini inceleyen Caraianni (2012) ve Günay (2015) bu tez çalışmasına benzer şekilde kaotik yapı tespit etmiştir. 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, gelişmekte olan ülke borsalarının, gelişmiş ülke borsalarına göre genç bir piyasa olması ve daha çok küçük şirketlerin piyasada işlem görmesidir (Sewell, 2011). Bu durum elde edilen ampirik bulguların farklılaşmasına neden olabilir. Üçüncüsü,

gelişmekte olan ülkelerin sıklıkla yaşadığı ekonomik ve finansal krizlerin yarattığı şok ve oynaklıkların borsa üzerinde farklı etkilere neden olmasıdır. Dördüncü neden ise, kullanılan test yöntemleridir. Test yöntemlerinin güvenilirliğinin zamanla geliştirilmesi, ampirik bulguların farklılaşmasına neden olabilir. Bu nedenle literatürde kullanılan testlerin güvenilirliği çok iyi araştırılmalı ve dikkatle kullanılmalıdır.

Tez bulgularımıza göre BRICT borsa endeksleri doğrusal olmayan kaotik sistemler olduğundan kısa vadede yüksek öngörülebilirlik, uzun vadede düşük öngörülebilirlik gösterirler. Dolayısıyla, bulgularımıza göre geçmiş fiyat hareketleri ile gelecek fiyat hareketlerini kısa dönemde seanslık ya da günlük tahmin edebiliriz. Ancak uzun dönemde öngörü yapmak zordur.

KAYNAKLAR

- Abarbanel, H.D.I., Brown, R., and Kennel, M.B. (1991). "Lyapunov Exponents in Chaotic Systems: Their Importance and Their Evaluation Using Observed Data". *International Journal of Modern Physics B*, 5, 1347-1375.
- Abyankar A., Copeland L.S., and Wong W. (1995). "Nonlinear Dynamics in Real-Time Equity Market Indices: Evidence from the United Kingdom". *The Economic Journal*, 105, 864-880.
- Abyankar A., Copeland L.S., and Wong W. (1997). "Uncovering Nonlinear Structure in Real-Time Stock Market Indexes: The S&P500, the DAX, the Nikkei 225, and the FTSE-100". *Journal of Business & Economic Statistics*, 15, 1-14.
- Addison, P.S. (1997). *Fractals and Chaos* (First edition). Institute of Physics Publishing.
- Adrangi, B., Arjun C., Ravindra K. and Kambiz R. (2008). "Emerging Market Equity Prices and Chaos Evidence from Indonesia and Malaysia". *International Journal of Business*, 13, 238-251.
- Adrangi, B., Chatrath, A., Dhanda, K.K., and Raffiee, K. (2001). "Chaos in Oil Prices? Evidence From Futures Markets". *Energy Economics*, 23(4), 405-425.
- Afşar, K.E. (2004). *İktisadi Zaman Serilerinde Kaos ve Doğrusal Olmayan Davranışlar*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Agiakoglu, C., Newbold, P., and Wohar, M. (1993). "Bias in an Estimator of the Fractional Difference Parameter". *Journal of Time Series Analysis*, 14, 235-246.
- Akbulak, Sevinç. (2008). "BRICs Ülkeleri ile Güney Kore Ekonomilerine ve Sermaye Piyasalarına İlişkin Temel Göstergeler ve Kısa Değerlendirmeler". *Sermaye Piyasası Kurulu Araştırma Raporu*, Web: <http://www.spk.gov.tr/SiteApps/Yayin/YayinGoster/956> 12 Ocak 2018'de alınmıştır.
- Akdi, Y. (2012). *Zaman Serileri Analizi* (3. Baskı). Ankara: Gazi Kitabevi.
- Allen, F., Qian, J., Zhang, C., and Zhao, M. (2012). "China's Financial System: Opportunities and Challenges". *The National Bureau of Economic Research*, University of Chicago Press. Web: <http://www.nber.org/chapters/c12071.pdf>
- Alpar, O. ve Eren, Ö. (2016). "İMKB100 Endeks Değişim Değerlerinde Lyapunov Üsteli Metoduyla Kaosun İncelenmesi". *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 30(8), 151-174.

- Amilon, H. and Bystrom, H. (1998). “**The Search For Chaos and Nonlinearities in Swedish Stock Index Returns**”. Department of Economics, Lund University.
- Andreou, A.S., Pavlides, G., and Karytinos, A. (2000). “Nonlinear Time-Series Analysis of The Greek Exchange-Rate Market”. ***International Journal of Bifurcation and Chaos***, 10(7), 1729-1758.
- Antoniou, A. and Vorlow, C.E. (2005). “Price Clustering and Discreteness: Is There Chaos Behind The Noise?”. ***Physica A***, 348, 389-403.
- Assaf, A. (2007). “Fractional Integration in The Equity Markets of MENA Region”. ***Applied Financial Economics***, 17, 709-723.
- Aygören, H. (2008). “İstanbul Menkul Kıymetler Borsasının Fractal Analizi”. ***Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi***, 23(1), 125-134.
- Baillie, Richard T. (1996). “Long Memory Processes and Fractional Integration in Econometrics”. ***Journal of Econometrics***, 73, 5-59.
- Baillie, Richard T. and Bollerslev, T. (1994). “The Long Memory of The Forward Premium”. ***Journal of International Money and Finance***, 5, 565-571.
- Baker, G.L. and Gollub, J.P. (1990). ***Chaotic Dynamics*** (2. Edition). Cambridge: Cambridge University Press.
- Balaban, E. (1995). “Informational Efficiency of The Istanbul Securities Exchange and Some Rationale for Public Regulation”. ***The Central Bank of Republic of Turkey Research Department***, No: 9502, Web: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.63.7330&rep=rep1&type=pdf>
- Banerjee, A. and Urga, G. (2005). “Modelling Structural Breaks, Long Memory and Stock Market Volatility: An Overview”. ***Journal of Econometrics***, 129, 1-34.
- Barkoulas, J. and Travlos, N. (1998). “Chaos in An Emerging Capital Market? The Case of the Athens Stock Exchange”. ***Applied Financial Economics***, 8, 231-243.
- Barkoulas, J., Labys, W.C. and Onochie, J.I. (1999). “Long Memory in Future Prices”. ***The Financial Review***, 34, 91-100.
- Barnet, William A., David F. Hendry, Svend Hylleberg, Timo Terasvirta, Dag T. and Allan W. (2000). ***Nonlinear Econometric Modeling in Time Series Analysis*** (First edition). New York: Cambridge University Press.
- Basu, S. (1977). “Investment Performance of Common Stocks in Relation to Their Price Earnings Ratios: A Test of The Efficient Market Hypothesis”. ***The Journal of Finance***, 32(3), 663-682.
- Bildirici, M., Elçin A., Özgür E. ve Ümit B. (2010). ***İktisatta Kullanılan Doğrusal Olmayan Zaman Serisi Yöntemleri*** (1. Baskı). İstanbul: Türkmen Kitabevi.

- Birgili, E., Üçay, K. ve Esen, Ö. (2015). "BIST 100 (XU100) Endeksinde Doğrusal Dışı Yapılar". *Bilgi Ekonomisi ve Yönetimi Dergisi*, 10(2), 143-167.
- Black, F. (1976). "Studies of Stock Price Volatility Changes". *Proceedings of the Meetings of the American Statistical Association, Business and Economical Statistics Section*, 177-181.
- Blank, S.C. (1991). "Chaos in Futures Markets? A Nonlinear Dynamical Analysis". *The Journal of Futures Markets*, 11(6), 711-728.
- Bollerslev, T. (1986). "Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity". *Journal of Econometrics*, 31, 307-327.
- Bordo, M.D., and Murshid, A.P. (2000). "Are Financial Crises Becoming Increasingly More Contagious? What is the Historical Evidence on Contagion?". *NBER Working Paper Series*, No: 7900, Web: <http://www.nber.org/papers/w7900.pdf>
- Bordo, Michael D. (1986). "Financial Crises, Banking Crises, Stock Market Crashes all the Money Supply: Some International Evidence, 1870–1933". *Financial Crises and the World Banking System*, London: McMillan, 190–248.
- Borges, M.R. (2010). "Efficient Market Hypothesis in European Stock Markets". *The European Journal of Finance*, 16(7), 711-726.
- Box, G.E.P. and Jenkins, G.M. (1976). *Time Series Analysis, Forecasting and Control* (First edition). San Francisco: Holden-Day
- Bozdağ, C.E. (1998). *Kaos Analizi: Bir Finansal Sektör Uygulaması*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-177.
- Briggs, K. (1990). "An Improved Method for Estimating Lyapunov Exponents of Chaotic Time Series". *Physics Letters A*, 151, 27-32.
- Brock, W.A. (1986). "Distinguishing Random and Deterministic Systems: Abridged Version". *Journal of Economic Theory*, 40(1), 168-195.
- Brock, W.A. and C.L. Sayers. (1998). "Is the Business Cycle Characterized by Deterministic Chaos?". *Journal of Monetary Economics*, 22, 71-90.
- Brock, W.A., Dechert, W.D., Scheinkman, J. and LeBaron, B. (1996). "A Test For Independence Based On Correlation Dimension". *Econometric Reviews*, 15(3), 197-235.
- Brockett, P.L., Hinich, M.J. and 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.
- Brooks, C. (1998). "Chaos in Foreign Exchange Markets: A Sceptical View". *Computational Economics*, 11, 265-281.

- Brooks, C. (2008). **Introductory Econometrics For Finance** (Second edition). Cambridge University Press.
- Brown, R., Bryant, P., and Abarbanel, H.D.I. (1991). "Computing the Lyapunov Spectrum of a Dynamical System from an Observed Time Series". **Phys. Rev. A**, 43(6), 2787-2806.
- Cajueiro, D.O., and Tabak, B.M. (2006). "The Long-Range Dependence Phenomena in Asset Returns: The Chinese Case". **Applied Economics Letters**, 13, 131-133.
- Caporale, G.M., and Gil-Alana L. (2004), "Long Range Dependence in Daily Stock Returns". **Applied Financial Economics**, 14, 375-383.
- Caraiani, P. (2012). "Nonlinear Dynamics in CEE Stock Markets Indices". **Economics Letters**, 114, 329-331.
- Case, K.E., Quigley, J.M., and Shiller, R.J. (2005). "Comparing Wealth Effects: The Stock Market versus The Housing Market". **Advances in Macroeconomics**, 5(1), 1-32.
- 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.
- Claessens, S., and Kose, M.A. (2013). "**Financial Crisis: Explanations, Types, and Implications**". IMF Working Paper, No:13/28 Web: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2013/wp1328.pdf>
- Çepni, E. (2015). **Ekonomik ve Finansal Göstergeler Rehberi** (Yedinci basım). Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Çevik, E.İ. (2012). "İstanbul Menkul Kıymetler Borsasında Etkin Piyasa Hipotezinin Uzun Hafıza Modelleri ile Analizi: Sektörel Bazda Bir İnceleme". **Journal of Yasar University**, 25, 4437-4454.
- Çinko, M. (2006). "İstanbul Menkul Kıymetler Borsası 100 Endeksinin Doğrusallık Testi". **İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Ekonometri ve İstatistik Dergisi**, 3, 23-31.
- Dechert, W.D. and R. Gencay. (1992). "Lyapunov Exponents as a Nonparametric Diagnostic for Stability Analysis". **Journal of Applied Econometrics**, 7, 41-60.
- 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.

- Diks, C. (1999). **Nonlinear Time Series Analysis Methods and Applications** (1. Edition). London: World Scientific Publishing Co.
- Disario, R., Saraoglu, H., McCarthy, J., and Li, H. (2008). "Long Memory in the Volatility of an Emerging Equity Market: The Case of Turkey". **International Financial Markets, Institutions and Money**, 18(5), 305-312.
- Eckmann, J.P. and Ruelle, D. (1992). "Fundamental Limitations for Estimating Dimensions and Lyapunov Exponents in Dynamical Systems". **Physica D**, 56, 185-187.
- Eğilmez, M. (2008). **Küresel Finans Krizi** (İkinci basım). İstanbul: Remzi Kitabevi.
- Eğilmez, M. (2012). **Kolay Ekonomi** (Birinci basım). İstanbul: Remzi Kitabevi.
- Enders, W. (2010). **Applied Econometric Time Series** (Third edition). New Jersey: Wiley Press.
- Engle, R.F. (1982). "Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of The Variance of United Kingdom Inflation". **Econometrica**, 50(4), 987-1008.
- Erdem, O. (2015). "Değişen Teoriler ve Davranışsal Finans". İstanbul Bilgi Üniversitesi Bilgi Finans, Web: http://www.bilgi.edu.tr/site_media/uploads/files/2015/08/26/ekonomide-paradigma-150824.pdf 7 Şubat 2018'de alınmıştır.
- Ertokatlı, C.T. (2013). **Borsa Endeks Getirilerinin Kaotik Süreçleri: Deneysel Bir Sınama**, Doktora Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gebze.
- 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.
- Fama, E.F. (1991). "Efficient Capital Markets: II". **The Journal of Finance**, 45(5), 1575-1617.
- Feigenbaum, M.J. (1978). "Quantitative Universality for a Class of Nonlinear Transformations". **Journal of Statistical Physics**, 19(1), 25-52.
- Frank, A.M. and Stengos, T. (1989). "Measuring The Strangeness of Gold and Silver Rates of Return". **Review of Economic Studies**, 56, 553-567.
- Frank, M.Z. and Stengos, T. (1988). "Some Evidence Concerning Macroeconomic Chaos". **Journal of Monetary Economics**, 22, 423-438.

- Fraser, A.M. and Swinney, H.L. (1986). "Independent Coordinates For Strange Attractors From Mutual Information". *Phys. Rev. A*, 33(2), 1134-1140.
- Gao, A.H. and Wang, G.H.K. (1999). "Modeling Nonlinear Dynamics of Daily Futures Price Changes". *The Journal of Futures Markets*, 19(3), 325-351.
- Gencay, R. (1996). "A Statistical Framework for Testing Chaotic Dynamics via Lyapunov Exponents". *Physica D*, 89, 261-266.
- Gencay, R. and Dechert, W.D. (1992). "An Algorithm for The Lyapunov Exponents from Noisy Chaotic Time Series". *Physics D*, 59, 142-157.
- Geweke, J. and S.P. Hudak. (1983). "The Estimation and Application of Long Memory Time Series Models". *Journal of Time Series Analysis*, 4, 221-238.
- Gil-Alana, L. (2006). "Fractional Integration in Daily Stock Market Indexes". *Review of Financial Economics*, 15, 28-48.
- Gleick, J. (2014). *Kaos*. (Çev. İlkey A. Demir), İstanbul: Alfa Yayınları. (Eserin orijinali 1988'de yayımlandı).
- Gneiting, T., Sevcikova, H., and Percival, D.B. (2012). "Estimators of Fractal Dimension: Assessing The Roughness of Time Series and Spatial Data". *Statistical Science*, 27(2), 247-277.
- Gökmen, Ş. (2012). *Zaman Serilerinde Kaos ve Forex Üzerine Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Granger, C.W.J. (1991). "Developments in the Nonlinear Analysis of Economic Series". *The Scandinavian Journal of Economics*, 93, 263-276.
- Granger, C.W.J. and J. Hallman. (1991). "Long Memory Series with Attractors". *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 50, 11-26.
- Granger, C.W.J. and R. Joyeux. (1980). "An Introduction to Long Memory Time Series Models and Fractional Differencing". *Journal of Time Series Analysis*, 1, 15-29.
- Grassberger, P. and Procaccia, I. (1983). "Measuring the Strangeness of Strange Attractors". *Physica*, 9, 189-208.
- Grigoriev, L., and Valitova, L. (2008). "Two Russian Stock Exchanges: Analysis of Relationships". *Russian Economic Trends*, 11(3), 44-54.
- Gujarati, D. N. ve Porter, D.C. (2012). *Temel Ekonometri*. (Gülay G.Ş. ve Ümit Şenesen). İstanbul: Literatür Yayıncılık. (Eserin orijinali 1978'de yayımlandı).
- Günay, S. (2013). *Finansal Piyasaların Fraktal Yapısı ve BIST-100 Endeksi'nin Fraktallığının Ölçümü*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

- Günay, S. (2015). "BIST100 Endeksi Fiyat ve İşlem Hacminin Fraktallık Analizi". *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 16(1), 35-50.
- Günay, S. (2015). "Chaotic Structure of the BRIC Countries and Turkey's Stock Market". *International Journal of Economics and Financial Issues*, 5(2), 515-522.
- Gürsakal, N. (2007). *Sosyal Bilimlerde Karmaşıklık ve Kaos* (1. Baskı). Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- Harrison, R., Dejin, Y., Oxley, L., Lu, W., and George, D. (1999). "Nonlinear Noise Reduction and Detecting Chaos: Some Evidence From The S&P Composite Price Index". *Mathematics and Computers in Simulation*, 48, 497-502.
- Hasse, G.W. and Bekker, M.C. (2016). "Chaos Attractors as an Alignment Mechanism between Projects and Organizational Strategy". *Social and Behavioral Sciences*, 226, 91-99.
- Hillborn, R.C., (2000). *Chaos and Nonlinear Dynamics* (Second edition). New York: Oxford University Press.
- Hinich, M.J. (1982). "Testing For Gaussianity and Linearity of A Stationary Time Series". *Journal of Time Series Analysis*, 3(3), 169-176.
- Hsieh, D.A. (1989). "Testing For Nonlinearity in Daily Foreign Exchange Rate Changes". *Journal of Business*, 62, 339-368.
- Hsieh, D.A. (1991). "Chaos and Nonlinear Dynamics: Application to Financial Markets". *The Journal of Finance*, 46(5), 1839-1877.
- Hsieh, D.A. (1993). "Implications of Nonlinear Dynamics For Financial Risk Management". *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 28(1), 41-64.
- Hurst, H.E. (1951). "Long Term Storage Capacity of Reservoirs". *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 116(1), 770-799.
- İnternet: "Amerika Birleşik Devletleri'nin Ekonomisi". (2018, Ocak). *Türkiye Cumhuriyeti Dışişleri Bakanlığı*, Web: <http://www.mfa.gov.tr/amerika-birlesik-devletleri-ekonomisi.tr.mfa> 15 Ocak 2018'de alınmıştır.
- İnternet: "IMF World Economic Outlook". (1998, Mayıs). *Financial Crises: Characteristics & Indicators of Vulnerability*, Web: <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2016/12/31/Financial-Crises-Causes-and-Indicators>
- İnternet: "Where Our Natural Gas Comes From". (2017, Ekim). *U.S. Energy Information Administration*, Web: https://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=natural_gas_where 21 Şubat 2018'de alınmıştır.

- İşeri, M., Çağlar, H. ve Çağlar, N. (2008). "A Model Proposal for the Chaotic Structure of Istanbul Stock Exchange". *Chaos, Solitons and Fractals*, 36, 1392-1398.
- İşi, A. ve Çemrek, F. (2015, 28 Ekim-01 Kasım). **Kaotik Zaman Serileri Analizi: BIST100 Endeksi**. Uluslararası 9. İstatistik Kongresinde sunuldu, 169-170, Antalya.
- Jiang, Q., Li, S., and Feldman, M.W. (2013). "China's Population Policy at the Crossroads: Social Impacts and Prospects". *Asian Journal of Social Science*, 41(2), 193-218.
- Kalter, E., and Ribas, A. (1999). "The 1994 Mexican Economic Crisis: The Role of Government Expenditure and Relative Prices". *IMF Working Paper*, Web: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/1999/wp99160.pdf>
- Kantarıcı, A. (1994). *Fraktallar ve Biyoloji*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Kazgan, G. (2012). **Türkiye Ekonomisinde Krizler: Ekonomi Politik Açısından Bir İrdeleme** (Üçüncü Baskı). İstanbul: Bilgi Üniversitesi Yayınları.
- Kennel, M.B., Brown, R., and Abarbanel, H.D.I. (1992). "Determining Embedding Dimension For Phase-Space Reconstruction Using a Geometrical Construction". *Phys. Rev. A*, 45, 3403-3411.
- Kepenek, Y. (2012). **Türkiye Ekonomisi** (25. basım). İstanbul: Remzi Kitabevi.
- Kim, C.S., and Phillips P.C.B. (2000). "Modified Log-Periodogram Regression". *Yale University Working Paper*.
- Korkmaz, T., Çevik, E.İ. ve Özataç, N. (2009). "Testing for Long Memory in ISE Using ARFIMA-FIGARCH Model and Structural Break Test". *International Research Journal of Finance and Economics*, 26, 186-191.
- Kosko, B. (1993). **Fuzzy Thinking: The New Science of Fuzzy Logic** (First edition). London: Harper Collins Publishers.
- Kurt, E. ve Kasap, R. (2011). **Karmaşanın Bilimi Kaos** (1. Baskı). Ankara: Nobel Yayınevi.
- Kyrtsou, C., Labys, W.C., and Terraza, M. (2004). "Noisy Chaotic Dynamics in Commodity Markets". *Empirical Economics*, 29, 489-502.
- Laffont, J.J. and Maskin, E.S. (1990). "The Efficient Market Hypothesis and Insider Trading on the Stock Market". *The Journal of Political Economy*, 98(1), 70-93.
- Larrain, M. (1991). "Testing Chaos and Nonlinearities in T-Bill Rates". *Financial Analysts Journal*, 47(5), 51-62.

- LeBaron, B. (1994). "Chaos and Nonlinear Forecastability in Economics and Finance". *Philosophical Transactions: Physical Sciences and Engineering*, 348, 397-404.
- Lim, K.P., Brooks, R.D., and Hinich, M.J. (2008). "Nonlinear Serial Dependence and The Weak-Form Efficiency of Asian Emerging Stock Markets". *Journal of International Financial Markets, Institutions & Money*, 18, 527-544.
- Lim, K.P., Brooks, R.D., and Kim, J.H. (2008). "Financial Crisis and Stock Market Efficiency: Empirical Evidence From Asian Countries". *International Review of Financial Analysis*, 17, 571-591.
- Lo, Andrew W. and A. Craig MacKinlay. (1988). "Stock Market Prices Do Not Follow Random Walks: Evidence from a Simple Specification Test". *The Review of Financial Studies*, 1, 41-66.
- Lopes, A.B., and Alencar, R.C. (2010). "Disclosure and Cost of Equity Capital in Emerging Markets: The Brazilian Case". *The International Journal of Accounting*, 45(4), 443-464.
- Lorenz, E.N., (1963). "Deterministic Nonperiodic Flow". *Journal of The Atmospheric Sciences*, 20, 130-141.
- Lütkepohl, H. and Markus K. (2004). *Applied Time Series Econometrics* (First edition). New York: Cambridge University Press.
- Maier, R.M., Pepper, I.L., and Gerba, C.P. (2009). *Environmental Microbiology* (Second edition). Elsevier Academic Press.
- 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.
- Mandelbrot, B.B. and Wallis, J.R. (1969). "Robustness of the Rescaled Range R/S in the Measurement of Noncyclic Long-Run Statistical Dependence". *Water Resources Research*, 5(5), 1583-1594.
- Martin, V., Stan H. and David H. (2013). *Econometric Modelling with Time Series* (First edition). New York: Cambridge University Press.
- May, R.M. (1976). "Simple Mathematical Models with Very Complicated Dynamics". *Nature*, 261, 459-467.
- Mayfield, E.S. and Mizrach, B. (1992). "On Determining The Dimension of Real-Time Stock Price Data". *Journal of Business & Economic Statistics*, 10(3), 367-374.
- McMillan, D.G., and Thupayagale, P. (2008). "Efficiency of the South African Equity Market". *Applied Financial Economics Letters*, 4, 327-330.

- Mobarek, A. and Fiorante, A. (2014). "The Prospects of BRIC Countries: Testing Weak Form Market Efficiency". **Research in International Business and Finance**, 30, 217-232.
- Mulligan, R. (2003). "Fractal Analysis of Highly Volatile Markets: An Application to Technology Equities". **The Quarterly Review of Economics and Finance**, 44, 155-179.
- Nelson, D.B. (1991). "Conditional Heteroskedasticity in Asset Returns: A New Approach". **Econometrica**, 59, 347-370.
- Nicolis, G. and Prigogine, I. (1977). **Self-Organization in Nonequilibrium Systems: From Dissipative Structures to Order Through Fluctuations** (First edition). New York: John Wiley&Sons.
- Nychka, D., Ellner, S., Gallant, A.R., and McCaffre, D. (1992). "Finding Chaos in Noisy Systems". **Journal of The Royal Statistical Society**, 54, 399-426.
- Nyilas, J. (1982). **World Economy and Its Main Development Tendencies** (Second edition). Budapest: Springer Verlag.
- Oiwa, N.N. and Fiedler-Ferrara N. (1998). "A Fast Algorithm for Estimating Lyapunov Exponents from Time Series". **Physics Letter A**, 246, 117-121.
- Oseledets, V.I. (1968). "A Multiplicative Ergodic Theorem. Characteristic Lyapunov Exponents of Dynamical Systems". **Trudy Moskovskogo Matematicheskogo Obshchestva**, 19, 179-210.
- 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.
- Ott, E. (2002). **Chaos in Dynamical Systems** (Second edition). Cambridge University Press.
- Özcan, M. (2009). **Sermaye Piyasasında Kaos ve Fraktal Analizi**, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Özdemir, S.D. (2011). **Kaotik Zaman Serileri ve Lyapunov Kararlılık Teorisi ile Doğrusal Olmayan Eştümleme Analizi**, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Özdemir, S.D. ve Akgül, I. (2014). "Hisse Senedi Piyasalarının Kaotik Yapısı ve Yapay Sinir Ağları ile Öngörüsü: İMKB-100 Örneği". **İktisat, İşletme ve Finans**, 29(336), 31-58.
- Özer, G. and Ertokatlı, C. (2010). "Chaotic Processes of Common Stock Index Returns: An Empirical Examination on Istanbul Stock Exchange (ISE) Market". **African Journal of Business Management**, 4(6), 1140-1148.
- Packard, N.H., Crutchfield, J.P., Farmer, J.D., and Shaw, R.S. (1980). "Geometry from Time Series". **Phys. Rev. Lett.** 45, 712-716.

- Palma, W. (2007). **Long Memory Time Series Theory and Methods** (First edition). New Jersey: John Wiley&Sons.
- Panas, E. and Ninni, V. (2000). "Are Oil Markets Chaotic? A Nonlinear Dynamic Analysis". **Energy Economics**, 22, 549-568.
- Parasız, İ. (2002). **Enflasyon Kriz ve Ayarlamalar** (İkinci basım). Bursa: Ezgi Kitabevi.
- Parasız, İ., ve Bildirici, M. (2006). **Modern Konjonktür Teorileri** (Birinci basım). Bursa: Ezgi Kitabevi.
- Park, J.Y. and Phillips P.C.B. (2001). "Nonlinear Regressions with Integrated Time Series". **Econometrica**, 69, 117-161.
- Pastor, G., and Damjanovic, T. (2001). "The Russian Financial Crises and Its Consequences for Central Asia". **IMF Working Paper**, Web: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2001/wp01169.pdf>
- Pathak, B.V. (2008). **The Indian Financial System** (Second edition). Delhi: Dorling Kindersley.
- Peitgen, H.O., Jürgens, H. and Saupe, D. (2004). **Chaos and Fractals: New Frontiers of Science** (Second edition). New York: Springer
- Pesaran, H. and Potter, S. (1993). **Nonlinear Dynamics, Chaos and Econometrics** (First edition). New York: John Wiley&Sons.
- Peters, E.E. (1989). "Fractal Structure in the Capital Markets". **Financial Analysts Journal**, 45, 32-37.
- Peters, E.E. (1991). **Chaos and Order in the Capital Markets** (First edition). New York: John Wiley&Sons.
- Peters, E.E. (1994). **Fractal Market Analysis: Applying Chaos Theory to Investment and Economics** (First edition). New York: Wiley Press.
- Phillips, P.C.B. (2007). "Unit Root Log Periodogram Regression". **Journal of Econometrics**, 138, 104.124.
- Ramasamy, R. and Mohd H. (2011). "Chaotic Behavior of Financial Time Series-An Empirical Assessment". **International Journal of Business and Social Science**, 2, 77-83.
- Rasband, S.N. (1990). **Chaotic Dynamics of Nonlinear Systems** (First edition). New York: John Wiley & Sons.
- Reinhart, C.M. (2010). "This Time is Different Chartbook: Country Histories on Debt, Default, and Financial Crises". **NBER Working Paper**, No: 15815, Web: <http://www.nber.org/papers/w15815.pdf>

- Reinhart, C.M., and Rogoff, K.S. (2012). **Causes of Financial Crises Past and Present: The Role of the This Time is Different Syndrome** (1. edition). The Occupy Handbook, New York: Little, Brown and Co. Publisher.
- Resende, M. and Zeidan, R.M. (2008). "Expectations and Chaotic Dynamics: Empirical Evidence on Exchange Rates". **Economics Letters**, 99, 33-35.
- Ruelle, D. and Takens, F. (1971). "On The Nature of Turbulence". **Communications in Mathematical Physics**, 20(3), 167-192.
- Sardar, Z. ve Abrams, I. (2014). **Kaos** (Çev. D. Guliyeva). NTV Yayınları. (Eserin orijinali 1998'de yayımlandı).
- Scheinkman, J.A. and LeBaron, B. (1989). "Nonlinear Dynamics and Stock Returns". **The Journal of Business**, 62(3), 311-337.
- Serletis, A. and Gogas, P. (1997). "Chaos in East European Black Market Exchange Rates". **Research in Economics**, 51, 359-385.
- Serletis, A. and Shahmoradi, A. (2004). "Absence of Chaos and 1/f Spectra, But Evidence of TAR Nonlinearities, in the Canadian Exchange Rate". **Macroeconomic Dynamics**, 8, 543-551.
- Sevüktekin, M. ve Mehmet Ç. (2014). **Ekonometrik Zaman Serileri Analizi** (4. Baskı). Bursa: Dora Yayıncılık.
- Sewell, M. (2011). "Characterization of Financial Time Series". UCL Department of Computer Science Research Note, Web: http://www.cs.ucl.ac.uk/fileadmin/UCLCS/research/Research_Notes/RN_11_01.pdf 21 Şubat 2018'de alınmıştır.
- Sprott, J.S. (2013). **Chaos and Time-Series Analysis** (2. Edition). Oxford: Oxford University Press.
- Srinivasan, T.N., and Tendulkar, S.D. (2003). **Reintegrating India with The World Economy** (First edition), Washington: Institute for International Economics.
- Stacey, R. (1993). "Strategy As Order Emerging From Chaos". **Long Range Planning**, 26(1), 10-17.
- Stewart, I. (1989). **Does God Play Dice? The Mathematics of Chaos** (First edition). Oxford: Blackwell.
- Stock, J.H. ve Watson, M.W. (2011). **Ekonometriye Giriş**. (Çev. Bedriye Saraçoğlu). Ankara: Efil Yayınevi. (Eserin orijinali 2002'de yayımlandı).
- Strogatz, S.H. (1994). **Nonlinear Dynamics and Chaos: With Applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering** (First edition). Cambridge: Addison-Wesley Publishing Company.

- Sundarapandian, V. (2005). "Nonlinear Observer Design for a General Class of Nonlinear Systems with Real Parametric Uncertainty". **Computers and Mathematics with Applications**, 49, 1195-1211.
- Takens, F. (1981). "Detecting Strange Attractors in Turbulence". **Lecture Notes in Mathematics**, 898, 366-381.
- Timmermann, A. and Granger, C.W.J. (2004). "Efficient Market Hypothesis and Forecasting". **International Journal of Forecasting**, 20(1), 15-27.
- Tolvi, J. (2003a). "Long Memory and Outliers in Stock Market Returns". **Applied Financial Economics**, 13, 495-502.
- Tolvi, J. (2003b). "Long Memory in a Small Stock Market". **Economics Bulletin**, 7, 1-13.
- Tosun, T. (2006). **Türev Araçlar, Kaos Teorisi ve Fraktal Yapıların Vadeli İşlem Zaman Serilerinde Uygulanması**, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Bankacılık ve Sigortacılık Enstitüsü, İstanbul.
- Tsay, R. (2010). **Analysis of Financial Time Series** (Third edition). John Wiley&Sons.
- Ural, M. ve Demireli, E. (2009). "Hurst Üstel Katsayısı Aracılığıyla Fraktal Yapı Analizi ve İMKB'de Bir Uygulama". **Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi**, 23(2), 243-255.
- Urquhart, A. and McGroarty, F. (2016). "Are Stock Markets Really Efficient? Evidence of The Adaptive Market Hypothesis". **International Review of Financial Analysis**, 47, 39-49.
- Uygun, E. (2001). "Krizden Krize Türkiye: 2000 Kasım ve 2001 Şubat Krizleri". **Türkiye Ekonomi Kurumu Tartışma Metni**, Web: <http://www.tek.org.tr/dosyalar/KRIZ-2000-20013.pdf> 15 Ocak 2018'de alınmıştır.
- Velasquez, T. (2009). Chaos Theory and The Science of Fractals, and Their Applications in Risk Management. **Copenhagen Business School**. Web: <https://pdfs.semanticscholar.org/6553/6d2193ea784b1980e3300d3ba490e9d75e47.pdf> 8 Şubat 2018'de alınmıştır.
- Wei, A. and Leuthold, R.M. (1998). "Long Agricultural Futures Prices: ARCH, Long Memory, or Chaos Processes?". **OFOR Paper**, Web: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.202.3672&rep=rep1&type=pdf> 21 Nisan 2017'de alınmıştır.
- Westerlund, J. and Narayan, P. (2013). "Testing The Efficient Market Hypothesis in Conditionally Heteroskedastic Futures Markets". **The Journal of Futures Markets**, 33(11), 1024-1045.
- Willey, T. (1992). "Testing For Nonlinear Dependence in Daily Stock Indices". **Journal of Economics and Business**, 44, 63-74.

Wolf, A., Swift, J.B., Swinney, H.L. and Vastano, J.A. (1985). "Determining Lyapunov Exponents From A Time Series". *Physica*, 16D, 285-317.

Yavuz, N.Ç. (2014). *Finansal Ekonometri* (1. Baskı). İstanbul: Der Kitabevi.

Yılmaz, D. ve Güler, N.F. (2006). "Kaotik Zaman Serisinin Analizi Üzerine Bir Araştırma". *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(4), 759-779.





EK-1. Doğrusal Olmama ve Kaotik Yapıyı İnceleyen Çalışmaların Özeti

Makroekonomik veriler için yapılan çalışmaların özet sonuçları

Çalışma	Veri Seti	Örnekleme Bilgisi	Yöntem	Bulgular
Brock (1986)	ABD Gayri safi milli hasılası (GNP)	1947-1985 Çeyreklik N=153	Korelasyon Boyutu Lyapunov Üsteli	Doğrusal değil Kaotik
Brock ve Sayers (1988)	İstihdam İşsizlik Sanayi üretimi Demir üretimi	1950Q1-1983Q4 1949Q1-1982Q4 Aylık 1877-1937	Korelasyon Boyutu	Doğrusal değil Kaotik değil
Frank ve Stengos (1988)	Kanada makroekonomik verileri	1947Q1-1971Q4 Çeyreklik N=147	Korelasyon Boyutu	Doğrusal değil Kaotik değil

Para Piyasaları için yapılan çalışmaların özet sonuçları

Çalışma	Veri Seti	Örnekleme Bilgisi	Yöntem	Bulgular
Hsieh (1989)	İngiliz Poundu (BP) Kanada Doları (CD) Alman Markı (DM) Japon Yeni (JY) İsviçre Frangı (SF)	1974-1983 Günlük N=2510	BDS Testi	Doğrusal değil
Hsieh (1993)	İngiliz Poundu (BP) Alman Markı (DM) Japon Yeni (JY) İsviçre Frangı (SF)	1985-1990 Günlük N=1275	BDS Testi	Doğrusal değil
Serletis ve Gogas (1997)	7 Doğu Avrupa kara borsa döviz piyasası	1955-1990 Aylık N=432	BDS Testi NEGM Testi Lyapunov Üsteli	Rus Rublesi ve Alman Markı kaotik, diğerleri kaotik değil
Brooks (1998)	Sterlin cinsinden 10 para birimi	1974-1994 Günlük N=5191	Korelasyon Boyutu Lyapunov Üsteli	Doğrusal değil Kaotik değil
Gao ve Wang (1999)	Japon Yeni Alman Markı Avro/Dolar	1984-1993 Günlük N=2401	BDS Testi	Doğrusal değil
Andreou vd. (2000)	Yunan Drahmi'e karşı 4 para birimi (dolar, sterlin, mark ve frang kurları)	1985-1995 Günlük N=2660	BDS Testi R/S, Hurst Üsteli Korelasyon Boyutu Lyapunov Üsteli	Doğrusal değil Kaotik
Serletis ve Shahmoradi(2004)	Kanada Doları (CD) ABD Doları (USD)	1974-2002 Günlük	Lyapunov Üsteli	Kaotik değil
Resende ve Zeidan (2008)	İngiliz Pound (BP) Alman Markı (DM) Japon Yeni (JY) İsviçre Frangı (SF)	1984-1988 Haftalık N=168	Lyapunov Üsteli	BP ve DM düşük boyutlu kaos, diğerleri kaotik değil

EK-1 (devam)

Hisse senedi piyasaları için yapılan çalışmaların özet sonuçları

Çalışma	Veri Seti	Örneklem Bilgisi	Yöntem	Bulgular
Brockett vd. (1988)	10 ABD hisse senedi getirisi ve \$-Yen spot ve forward pariteleri	Bilgi yok N=400	Bispektral Normallik Doğrusallık Testleri	Normal dağılıma sahip değil Doğrusal değil
Scheinkman ve LeBaron (1989)	CRSP	Günlük N=5200	BDS Testi	Doğrusal değil
Hsieh (1991)	S&P500 CRSP	1963-1987 Haftalık	BDS Testi	Doğrusal değil
Willey (1992)	S&P100 NASDAQ100	1982-1988 1985-1989 Günlük	Korelasyon Boyutu BDS Testi	Doğrusal değil Kaotik değil
Mayfield ve Mizrach (1992)	S&P500	1987 Anlık N=19027	Korelasyon Boyutu Kolmogorov Entropi	Doğrusal değil
Abhyankar vd. (1995)	FTSE100	1993 Anlık N=60000	Bispectral Doğrusallık Testi BDS Testi Lyapunov Üsteli	Doğrusal değil Doğrusal değil Kaotik değil
Abhyankar vd. (1997)	S&P500 DAX Nikkei225 FTSE100	1991 (Eylül-Kasım) 15" (N=97180) 1' (N=24500) 5' (N=4895)	BDS Testi NEGM	Doğrusal değil Kaotik değil
Barkoulas ve Travlos (1998)	ASE30	1988-1990 Günlük	Korelasyon Boyutu Kolmogorov Entropi	Doğrusal değil Kaotik değil
Amilon ve Byström (1998)	OMX	1919-1996 (Aylık) 1984-1996 (Günlük) 1992-1993 (15 dak.)	BDS Testi	Doğrusal değil Kaotik değil
Harrison vd. (1999)	S&P Bileşik Fiyat Endeksi	1928-1987 Günlük N=16127	Korelasyon Boyutu	Kaotik
Chu (2003)	Shanghai (SHSE) Shenzhen (SZSE)	1992-2002 Günlük N=2671	R/S, Hurst Üsteli BDS Testi	Doğrusal değil
Antoniou ve Vorlow (2005)	FTSE100 endeksinde işlem göre 53 şirket getirileri	1970-2003 Günlük N=8717	BDS Testi	Doğrusal değil
Çinko (2006)	IMKB100	1989-2006 Günlük N=4352	BDS Testi	Doğrusal değil
Adrangi vd. (2008)	Endonezya (JEI) Malezya (KLEI)	1990-2005 Günlük N=2700	Korelasyon Boyutu BDS Testi	Kaotik değil Doğrusal değil
İşeri vd. (2008)	BIST100	1987-2006 Günlük N=4606	Korelasyon Boyutu Faz Uzayı	Kaotik
Lim vd. (2008)	10 Gelişmekte olan Asya menkul kıymetler borsası	1992-2005	Hinich Bikorelasyon	Doğrusal değil
Özer ve Ertokatlı (2010)	BIST100	1982-1997 Günlük N=3036	BDS Testi Bispectral Doğrusallık Testi Lyapunov Üsteli	Doğrusal değil Doğrusal değil Kaotik

EK-1 (devam)

Hisse senedi piyasaları için yapılan çalışmaların özet sonuçları (devam)

Çalışma	Veri Seti	Örneklem Bilgisi	Yöntem	Bulgular
Caraiani (2012)	PX BUX WIG	1994-2010 Günlük N=4575	BDS Testi White Testi Teravista Testi Lyapunov Üsteli	Doğrusal değil Kaotik
Diaz (2013)	Dow Jones dört ana endeksleri	1896-2013 Günlük N=29229	BDS Testi R/S, Hurst Üsteli Korelasyon Boyutu	Doğrusal değil Kaotik
Günay (2015)	BRIC-T ülkeleri borsa endeksleri	1997-2014 Günlük	BDS Testi Lyapunov Üsteli Kutu Sayım	Doğrusal değil Kaotik
Birgili vd. (2015)	BIST100	1988-2011 Günlük N=5852	BDS Testi	Doğrusal değil

Emtia Piyasaları için yapılan çalışmaların özet sonuçları

Çalışma	Veri Seti	Örneklem Bilgisi	Yöntem	Bulgular
Frank ve Stengos (1989)	Altın ve Gümüş	1975-1986 Günlük, Haftalık ve İki Haftalık veriler	Korelasyon Boyutu Kolmogorov Entropisi	Doğrusal değil Kaotik
Blank (1991)	Soya fasulyesi	1986-1987	Korelasyon Boyutu Lyapunov Üsteli	Doğrusal değil Kaotik
Decoster vd. (1992)	Şeker, Gümüş, Bakır ve Kahve	1968-1989 Günlük	Korelasyon Boyutu	Doğrusal değil Kaotik
Wei ve Leuthold (1998)	Mısır, Buğday, Soya fasulyesi, Kahve ve Şeker	1974-1995 Günlük (N=5422) Haftalık (N=1122) Aylık (N=258)	Korelasyon Boyutu Lyapunov Üsteli	Doğrusal değil Kaotik
Panas ve Ninni (2000)	Rotterdam ve Akdeniz Petrol Piyasaları	1994-1998 Günlük N=1161	BDS Testi Korelasyon Boyutu Lyapunov Üsteli	Doğrusal değil Kaotik
Adrangi vd. (2001)	Ham Petrol Kalorifer Yakıtı Kurşunsuz Benzin	1985-1995 Günlük N=2575	Korelasyon Boyutu BDS testi	Doğrusal değil Kaotik değil
Kyrtsou vd. (2004)	Alüminyum, Nikel, Kalay, Çinko ve Kurşun	1989-1998 Günlük	Korelasyon Boyutu Lyapunov Üsteli	Doğrusal değil Kaotik

EK-2. ARMA (p,q) Modeli Tahmin Sonuçları

	BOVESPA (Brezilya) ARMA(2,2)	MICEX (Rusya) ARMA(2,3)	SENSEX (Hindistan) ARMA(1,1)	SSEC (Çin) ARMA(1,1)	BIST100 (Türkiye) ARMA(2,1)
C	0.033319 (0.029619)	0.064388 (0.040810)	0.040341 (0.024149)	0.021618 (0.023253)	0.065090 (0.035319)
AR(1)	1.387142 (0.080569)	1.298613 (0.019725)	-0.320711 (0.107397)	-0.787718 (0.120549)	-0.824856 (0.064574)
AR(2)	-0.707788 (0.075773)	-0.911258 (0.023513)	-	-	0.035746 (0.008928)
AR(3)	-	-	-	-	-
MA(1)	-1.370955 (0.084914)	-1.211458 (0.020822)	0.396036 (0.105580)	0.808257 (0.115678)	0.837670 (0.064387)
MA(2)	0.666719 (0.081232)	0.798990 (0.024909)	-	-	-
MA(3)	-	0.057053 (0.008142)	-	-	-
R-kare	0.005095	0.012576	0.006286	0.001112	0.002453
Düzeltilmiş R-kare	0.004053	0.011341	0.005659	0.000495	0.001638
Hata kareler toplamı	20355.41	33184.85	11528.99	12348.72	28074.77
F-istatistiği	4.891453	10.18657	10.02256	1.803433	3.010629
Olasılık	0.000182	0.000000	0.000001	0.144255	0.017128
Akaike bilgi kriteri	4.288879	4.773029	3.724808	3.770802	4.585147
Schwarz bilgi kriteri	4.297000	4.782464	3.730246	3.776137	4.591774
Hannan-Quinn kriteri	4.291732	4.776343	3.726718	3.772674	4.587472

Parantez içindeki değerler parametrelere ilişkin standart hata değerlerini göstermektedir.

EK-3. ARMA (p,q) Modelleri için LM Testi Sonuçları

	BOVESPA (Brezilya)	MICEX (Rusya)	SENSEX (Hindistan)	SSEC (Çin)	BIST100 (Türkiye)
F-istatistiği	0.244328 (0.7832)	0.180996 (0.8344)	0.775529 (0.4605)	0.514002 (0.5981)	0.110491 (0.8954)
N*R ²	0.489318 (0.7830)	0.362568 (0.8342)	1.552183 (0.4602)	1.028843 (0.5978)	0.221242 (0.8953)

Serisel korelasyon için ikinci mertebeden Breusch-Godfrey LM test istatistiği değerleridir. Parantez içindeki değerler parametrelere ilişkin kuyruk olasılığı değerlerini göstermektedir.



EK-4. ARMA (p,q) Modelleri için White Testi Sonuçları

	BOVESPA (Brezilya)	MICEX (Rusya)	SENSEX (Hindistan)	SSEC (Çin)	BIST100 (Türkiye)
F-istatistiği	67.43578 (0.0000)	51.99315 (0.0000)	45.23366 (0.0000)	29.72862 (0.0000)	50.42171 (0.0000)
N*R ²	971.1818 (0.0000)	1059.704 (0.0000)	297.3439 (0.0000)	199.8808 (0.0000)	539.8569 (0.0000)

White testi çarpım terimlerini içermektedir. Parantez içindeki değerler parametrelere ilişkin kuyruk olasılığı değerlerini göstermektedir.



EK-5. ARMA (p,q) Modelleri için ARCH-LM Testi Sonuçları

	BOVESPA (Brezilya)	MICEX (Rusya)	SENSEX (Hindistan)	SSEC (Çin)	BIST100 (Türkiye)
F-istatistiği	153.2234 (0.0000)	314.8228 (0.0000)	140.5826 (0.0000)	104.8793 (0.0000)	289.1067 (0.0000)
N*R ²	288.1540 (0.0000)	556.9904 (0.0000)	265.6262 (0.0000)	201.2057 (0.0000)	406.4089 (0.0000)

ARCH testinde gecikme uzunluğu bütün seriler için 2 olarak alınmıştır. Parantez içindeki değerler parametrelere ilişkin kuyruk olasılığı değerlerini göstermektedir.

EK-6. GARCH (p,q) Modeli Tahmin Sonuçları

	BOVESPA (Brezilya) GARCH(1,1)	MICEX (Rusya) GARCH(1,1)	SENSEX (Hindistan) GARCH(1,1)	SSEC (Çin) GARCH(1,1)	BIST100 (Türkiye) GARCH(1,1)
C	0.073856 (0.022312)	0.112204 (0.020521)	0.086266 (0.017454)	0.160193 (0.157440)	0.110322 (0.023637)
Varyans Denklemi: $\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2$					
α_0	0.068079 (0.013961)	0.038355 (0.008501)	0.032558 (0.006827)	0.040536 (0.008786)	0.051320 (0.011231)
α_1	0.079588 (0.008182)	0.101733 (0.009197)	0.094271 (0.009383)	0.085061 (0.010415)	0.079324 (0.008096)
β_1	0.901820 (0.009896)	0.895320 (0.008266)	0.893603 (0.009705)	0.909193 (0.009068)	0.913413 (0.007710)
T-Dağılımı SD	10.18853 (1.194669)	6.266597 (0.474133)	7.434674 (0.663318)	3.763996 (0.257074)	5.592252 (0.444535)
R-kare	0.003168	0.005354	0.005446	0.000511	0.000279
Düzeltilmiş R-kare	0.002334	0.004318	0.005027	0.000922	-0.000333
Hata kareler toplamı	20394.82	33427.55	11538.74	12368.77	28135.95
Akaike bilgi kriteri	3.955906	4.079995	3.386515	3.414960	4.180091
Schwarz bilgi kriteri	3.968088	4.093473	3.396032	3.424296	4.190695
Hannan-Quinn kriteri	3.960185	4.084728	3.389859	3.418237	4.183811
F-istatistiği	0.271802	0.671449	0.547989	0.059219	2.729514
Olasılık	0.6021	0.5110	0.5781	0.9425	0.0986
N*R ²	0.271900	1.343361	1.096417	0.118508	2.729108
Olasılık	0.6021	0.5108	0.5780	0.9425	0.0985

Parantez içindeki değerler parametrelere ilişkin standart hata değerlerini göstermektedir. ARCH testinde gecikme uzunluğu bütün seriler için 2 olarak alınmıştır.

EK-7. EGARCH (p,q) Modeli Tahmin Sonuçları

	BOVESPA (Brezilya) EGARCH(1,1)	MICEX (Rusya) EGARCH(1,1)	SENSEX (Hindistan) EGARCH(1,1)	SSEC (Çin) EGARCH(1,1)	BIST100 (Türkiye) EGARCH(1,1)
C	0.036738 (0.022247)	0.108085 (0.020858)	0.053972 (0.017346)	0.110092 (0.171306)	0.103782 (0.023184)
Varyans Denklemi: $\log(\sigma_t^2) = \alpha_0 + \alpha_1 \left \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} \right + \gamma_1 \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} + \beta_1 \log(\sigma_{t-1}^2)$					
α_0	-0.090093 (0.010382)	-0.148732 (0.010900)	-0.139010 (0.012660)	-0.113848 (0.010206)	-0.108720 (0.010005)
α_1	0.145617 (0.013972)	0.215022 (0.015429)	0.199438 (0.017112)	0.187040 (0.017057)	0.171325 (0.014227)
γ_1	-0.079981 (0.008204)	-0.035416 (0.008648)	-0.092116 (0.010202)	-0.048345 (0.010688)	-0.044461 (0.008485)
β_1	0.978759 (0.003539)	0.989439 (0.002445)	0.973681 (0.004104)	0.980617 (0.003867)	0.986474 (0.002752)
T-Dağılımı SD	11.50322 (1.443995)	6.082955 (0.445859)	7.972013 (0.724903)	3.784834 (0.255325)	5.394012 (0.407668)
R-kare	0.002438	0.004493	0.005968	0.001159	0.000624
Düzeltilmiş R-kare	0.001603	0.003456	0.005549	0.001571	0.000012
Hata kareler toplamı	20409.76	33456.50	11532.68	12376.78	28126.24
Akaike bilgi kriteri	3.942939	4.082643	3.372303	3.409573	4.179904
Schwarz bilgi kriteri	3.956474	4.096121	3.383179	3.420243	4.191833
Hannan- Quinn kriteri	3.947693	4.087376	3.376124	3.413317	4.184089
F istatistiği	3.526358	2.250272	0.207164	0.059219	2.882835
Olasılık	0.1605	0.1055	0.8129	0.9425	0.0896
N*R ²	3.525232	4.499139	0.414554	0.118508	2.882316
Olasılık	0.1604	0.1054	0.8128	0.9425	0.0896

Parantez içindeki değerler parametrelere ilişkin standart hata değerlerini göstermektedir. ARCH testinde gecikme uzunluğu bütün seriler için 2 olarak alınmıştır.

EK-8. S&P500 Olduğu Modellerin Tahmin Sonuçları

	BOVESPA (Brezilya)	MICEX (Rusya)	SENSEX (Hindistan)	SSEC (Çin)	BIST100 (Türkiye)
C	0.016621 (0.024872)	0.057972 (0.038290)	0.036332 (0.022956)	0.021314 (0.023764)	0.061880 (0.034771)
S&P500	0.951347 (0.019843)	0.493361 (0.030243)	0.280412 (0.018114)	0.059550 (0.018843)	0.411973 (0.027720)
R-kare	0.327635	0.054578	0.049273	0.002123	0.044479
Düzeltilmiş R-kare	0.327492	0.054373	0.049068	0.001910	0.044278
Hata kareler toplamı	13766.79	31164.45	11270.07	12451.42	27227.82
F-istatistiği	2298.530	266.1293	239.6477	9.987969	220.8797
Olasılık (F-istatistiği)	0.000000	0.000000	0.000000	0.001586	0.000000
Akaike bilgi kriteri	3.909387	4.749361	3.729200	3.813639	4.585446
Schwarz bilgi kriteri	3.912124	4.752152	3.731984	3.816387	4.588170
Hannan-Quinn kriteri	3.910349	4.750343	3.730180	3.814605	4.586403

Parantez içindeki değerler parametrelere ilişkin standart hata değerlerini göstermektedir.

EK-9. S&P500 Olduğu ARMA (p,q) Modeli Tahmin Sonuçları

	BOVESPA (Brezilya) ARMA(3,2)	MICEX (Rusya) ARMA(2,2)	SENSEX (Hindistan) ARMA(3,1)	SSEC (Çin) ARMA(1,2)	BIST100 (Türkiye) ARMA(1,1)
C	0.016574 (0.024669)	0.057654 (0.037790)	0.036308 (0.022625)	0.021965 (0.037436)	0.061722 (0.034428)
AR(1)	1.316188 (0.034988)	1.442809 (0.003126)	-0.684077 (0.171414)	0.985381 (0.008003)	-0.865027 (0.109997)
AR(2)	-0.802963 (0.035249)	-0.984632 (0.003036)	-0.036275 (0.012560)	-	-
AR(3)	-0.049781 (0.009612)	-	-0.055703 (0.011106)	-	-
MA(1)	-1.328211 (0.034734)	-1.456939 (0.003279)	0.696752 (0.171708)	-1.000157 (0.012439)	0.847332 (0.116428)
MA(2)	0.833062 (0.031630)	0.988974 (0.003218)	-	0.022640 (0.010293)	-
MA(3)	-	-	-	-	-
S&P500	0.953799 (0.014496)	0.501341 (0.018110)	0.281594 (0.012867)	0.060149 (0.014625)	0.420591 (0.027751)
R-kare	0.333286	0.062775	0.052456	0.004597	0.045647
Dzeltiymiş R-kare	0.332295	0.061554	0.051226	0.003536	0.045043
Hata kareler toplamı	13651.08	30894.24	11232.34	12420.54	27194.57
F-istatistiği	336.4282	51.40707	42.61825	4.333029	75.61905
Olasılık (F-istatistiği)	0.000000	0.000000	0.000000	0.000618	0.000000
Akaike bilgi kriteri	3.903503	4.742969	3.728010	3.812871	4.585068
Schwarz bilgi kriteri	3.914453	4.752738	3.737754	3.821116	4.590515
Hannan-Quinn kriteri	3.907352	4.746406	3.731438	3.815770	4.586982
LM test istatistiği	1.482024	4.566264	1.024283	1.221184	1.166936
Olasılık	0.2273	0.0104	0.3591	0.2950	0.3114
ARCH-LM testi	94.77989	317.7835	65.63569	79.04620	249.5546
Olasılık	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Parantez içindeki değerler parametrelere ilişkin standart hata değerlerini göstermektedir. Serisel korelasyon için ikinci mertebeden Breusch-Godfrey LM test istatistiğidir. ARCH testinde gecikme uzunluğu bütün seriler için 2 olarak belirlenmiştir.

EK-10. S&P500 Olduğu GARCH (p,q) Modeli Tahmin Sonuçları

	BOVESPA (Brezilya) GARCH(1,1)	MICEX (Rusya) GARCH(1,1)	SENSEX (Hindistan) GARCH(1,1)	SSEC (Çin) GARCH(1,1)	BIST100 (Türkiye) GARCH(1,1)
C	0.028628 (0.017500)	0.089377 (0.018816)	0.078738 (0.017042)	0.119711 (0.130881)	0.091088 (0.022318)
S&P500	0.897450 (0.016134)	0.477331 (0.019423)	0.200776 (0.014656)	0.015629 (0.014428)	0.433279 (0.020629)
Varyans Denklemi: $\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2$					
α_0	0.039481 (0.008772)	0.032330 (0.007704)	0.029443 (0.006372)	0.039560 (0.008872)	0.038379 (0.009183)
α_1	0.087684 (0.008678)	0.101278 (0.009512)	0.085039 (0.009076)	0.079761 (0.010116)	0.067277 (0.007285)
β_1	0.898273 (0.009715)	0.897474 (0.008399)	0.903662 (0.009276)	0.914862 (0.008862)	0.926877 (0.007004)
T-Dağılımı SD	10.75358 (1.236267)	6.014456 (0.438849)	6.803047 (0.448653)	3.722473 (0.255381)	5.377560 (0.403332)
R-kare	0.326825	0.052232	0.046244	0.000885	0.044264
Düzeltilmiş R-kare	0.325968	0.051203	0.045212	0.000033	0.043659
Hata kareler toplamı	13783.36	31241.79	11305.98	12466.86	27233.98
Akaike bilgi kriteri	3.580681	4.037833	3.387520	3.455953	4.143859
Schwarz bilgi kriteri	3.595738	4.051789	3.401440	3.468321	4.154755
Hannan-Quinn kriteri	3.585974	4.042744	3.392418	3.460301	4.147688
F-istatistiği	0.601596	0.368731	0.049035	0.249403	2.031231
Olasılık	0.4380	0.6916	0.9521	0.7793	0.1313
N*R ²	0.601775	0.737825	0.098131	0.499072	4.061553
Olasılık	0.4379	0.6915	0.9521	0.7792	0.1312

Parantez içindeki değerler parametrelere ilişkin standart hata değerlerini göstermektedir. ARCH testinde gecikme uzunluğu bütün seriler için 2 olarak alınmıştır.

EK-11. S&P500 Olduğu EGARCH (p,q) Modeli Tahmin Sonuçları

	BOVESPA (Brezilya) EGARCH(1,1)	MICEX (Rusya) EGARCH(1,1)	SENSEX (Hindistan) EGARCH(1,1)	SSEC (Çin) EGARCH(1,1)	BIST100 (Türkiye) EGARCH(1,1)
C	-0.023320 (0.038297)	0.076273 (0.018669)	0.052399 (0.017610)	0.051082 (0.115524)	0.077234 (0.021787)
S&P500	0.889042 (0.015981)	0.480671 (0.019278)	0.191632 (0.014907)	0.014680 (0.014067)	0.434627 (0.020668)
Varyans Denklemi: $\log(\sigma_t^2) = \alpha_0 + \alpha_1 \left \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} \right + \gamma_1 \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} + \beta_1 \log(\sigma_{t-1}^2)$					
α_0	-0.123728 (0.011734)	-0.144103 (0.011389)	-0.115989 (0.010863)	-0.109040 (0.010254)	-0.103577 (0.009879)
α_1	0.180488 (0.016058)	0.207671 (0.016119)	0.166220 (0.014943)	0.181395 (0.017104)	0.157880 (0.014229)
γ_1	-0.068582 (0.009602)	-0.023034 (0.008990)	-0.070697 (0.009831)	-0.046608 (0.010727)	-0.035918 (0.008331)
β_1	0.977352 (0.004097)	0.989817 (0.002380)	0.979329 (0.003589)	0.981347 (0.003834)	0.989632 (0.002463)
T-Dağılımı SD	11.07430 (1.359929)	5.894916	7.114618 (0.480347)	3.739624 (0.253849)	5.280263 (0.387386)
R-kare	0.324464	0.052172	0.044904	0.000532	0.044361
Düzeltilmiş R-kare	0.323604	0.051144	0.043871	0.000320	0.043757
Hata kareler toplamı	13831.71	31243.74	11321.86	12471.26	27231.19
Akaike bilgi kriteri	3.573168	4.040638	3.378260	3.450650	4.143586
Schwarz bilgi kriteri	3.589594	4.055990	3.393572	3.464393	4.155844
Hannan- Quinn kriteri	3.578942	4.046041	3.383648	3.455482	4.147894
F-istatistiği	0.105358	1.349185	0.036739	0.166598	1.564598
Olasılık	0.7455	0.2596	0.9639	0.8465	0.1665
N*R ²	0.105401	2.698547	0.073525	0.333385	7.819984
Olasılık	0.7454	0.2594	0.9639	0.8465	0.1664

Parantez içindeki değerler parametrelere ilişkin standart hata değerlerini göstermektedir. ARCH testinde gecikme uzunluğu bütün seriler için 2 olarak alınmıştır.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : ÜRKMEZ, Emre
 Uyuğu : TC
 Doğum tarihi ve yeri : 29/01/1985 İstanbul
 Medeni hali : Bekâr
 e-posta : eurkmez05@gmail.com

Eğitim Derecesi	Okul/Program	Mezuniyet tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri A.B.D.	Devam Ediyor
Yüksek Lisans	Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri A.B.D.	2013
Lisans	Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Ekonometri Bölümü	2008

İş Deneyimi, Yıl	Çalıştığı Yer	Görev
2014-devam ediyor	Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Ekonometri Bölümü	Araştırma Görevlisi
2012-2014	Marmara Üniversitesi İktisat Fakültesi Ekonometri Bölümü	Araştırma Görevlisi
2010-2012	Rize Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Ekonometri Bölümü	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce



GAZİLİ OLMAK AYRICALIKTIR..

