

**T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**BORSA ENDEKS GETİRİLERİNİN
KAOTİK SÜREÇLERİ : DENEYSEL BİR
SINAMA**

**Cengiz Tansel ERTOKATLI
DOKTORA TEZİ
İŞLETME ANABİLİM DALI**

**GEBZE
2013**

**T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI**

**BORSA ENDEKS GETİRİLERİNİN
KAOTİK SÜREÇLERİ: DENEYSEL BİR
SINAMA**

**Cengiz Tansel ERTOKATLI
DOKTORA TEZİ
İŞLETME ANABİLİM DALI**

**TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Gökhan ÖZER**

**GEBZE
2013**



DOKTORA TEZİ JÜRİ ONAY SAYFASI

G.Y.T.E. Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 14/06/2013 tarih ve 2013/17 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 09/07/2013 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Cengiz Tansel ERTOKATLI'nın tez çalışması İşletme Anabilim Dalında DOKTORA tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Gökhan ÖZER

ÜYE

: Doç. Dr. Halim KAZAN

ÜYE

: Doç. Dr. Ramazan KAYNAK

ÜYE

: Doç. Dr. Hakan KİTAPÇI

ÜYE

: Yrd. Doç Dr. Murat Özcan

ÜYE (YEDEK)

: Doç. Dr. Hüseyin İNCE

ONAY

G.Y.T.E. Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../2013 tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZ BAŞLIĞI: Borsa Endeks Getirilerinin Kaotik Süreçleri : Deneysel bir Sınama

YAZAR ADI : Cengiz Tansel ERTOKATLI

Finansal piyasaların nasıl işlediği sorusu, uzun zamandır Etkin Piyasalar Hipotezi (EPH) ile ve son zamanlarda ise, Kaos teorisiyle cevaplanmaya çalışılmaktadır. Açıklamalarda en sık kullanılan teori olan EPH'ye göre piyasaların rassal olduğunun varsayılmasına karşın kaos teorisi, nedensellik ve doğrusal olmayan kaotik davranışı önermektedir. Bu paradigmadan hareketle çalışmanın hedefi, BIST (İMKB) tüm endeks verisini kullanarak kaos teorisinin geçerliliğini ortaya koymaktır.

Analizler için kullanılan örneklem, BIST tüm endeksin 02 Şubat 1997-16 Mart 2009 tarihleri arasındaki 3.036 adet endeks kapanış değerini içermektedir. Elde edilen örnekleme, zaman serisi durağanlığı ortaya koymak için ADF, zaman serisi eğrisellik için BDS ve Hinich Bispectral testleri ile kaotik davranış için ise, Lyapunov Üsseli ve NEGM testleri uygulanmıştır. Analiz sonuçları, BIST menkul kıymet fiyatlarının rassal değil nedensel, doğrusal değil eğrisel ve kaotik olduğunu ortaya koymaktadır. Eğrisellik ve kaotik davranış çeşitli test yöntemleri karşısında sağlamdır.

ANAHTAR KELİMELER : Etkin piyasalar hipotezi, Doğrusal olmayan dinamik, Kaos

SUMMARY

THESIS TITLE : Chaotic processes of common stock index returns: An empirical examination

AUTHOR : CengizTansel ERTOKATLI

The behaviour of financial markets are strived to be answered by the efficient market hypothesis (EMH) for a long time, and recently by the chaos theory. Despite the fact that the EMH is the first essential model describing that behaviour and it asserts that markets behave randomly, chaos theory asserts just the opposite of EMH which states that the deterministic, nonlinear, chaotic structure of the markets. By means of this paradigm, the target of this study is to explore the validity of chaos theory upon the ISE market composite index.

The analysis sample consists of the ISE composite index between the dates 02 February 1997 ile 16 March 2009, consisting 3.036 closing observations. For testing the stationarity of ISE time series Augmented Dickey-Fuller (ADF) test is applied, for testing the nonlinearity, BDS test and Hinich Bispectral test are applied and for testing the chaotic structure, Lyapunov exponent test and NEGM test are applied. The analysis results revealed that the ISE time series is stationary, not random but determinisitc, nonlinear and chaotic. The nonlinearity and chaotic behaviour are robust under the different test methods.

KEYWORDS: Efficient Markets Hypothesis, Nonlinearity, Chaos

TEŞEKKÜR

MATLAB ve ve yapay sinir ağı programlarının hatalarının düzeltilmesi ve çalıştırılması aşamasında doğruluğu sınamak için sonuçlar, Elektrik & Elektronik Mühendisi Mümin IRICAN (ODTÜ) ile tekrar kontrol edilmiştir. Ayrıca, ARIMA modellemesi ve Analizlerinde Endüstri Yüksek Mühendisi Savaş ÇENGEL (ODTÜ) katkıda bulunmuştur. Kendilerine teşekkür ederim.

Danışmanım Prof. Dr. Sn. Gökhan ÖZER'e, tüm GYTE mensuplarına, GYTE Araştırma Görevlisi Sn. Özgün ÖZTÜRK İLHAN'a, Aileme sevgili kızkardeşim Dilek ERTOKATLI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
SUMMARY	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
TABLolar DİZİNİ	viii
1.GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Amacı	7
1.2. Araştırmanın Soruları	8
1.3. Araştırmanın Önemi	9
2. FİNANSTA VE İKTİSATTA KAOS	11
2.1. Etkin Piyasalar Hipotezi ve Kaos Kuramı	11
2.1.1. Etkin Piyasalar Hipotezi	11
2.1.2. Kaos Kuramı	14
2.2. Konu ile İlgili Yayınlar ve Çalışmalar	32
2.2.1. Etkin Piyasalar Hipotezi İle İlgili Çalışmalar	33
2.2.2. Kaos kuramı ve Eğrisellik İle İlgili Çalışmalar	39
3. ARAŞTIRMA METODOLOJİSİ	44
3.1. Eğriselliğin ve Kaosun Test Edilmesi İçin Yöntemler	48
3.2. Augmented Dickey-Fuller (ADF) Testi	48
3.3. Eğrisellik Testleri	54
3.3.1. BDS Testi	55

3.3.2. Hinich Bispectral Testi	61
3.4. Kaos Testleri	63
3.4.1. Lyapunov Üsseli Testi	63
3.4.2. NEGM Testi	67
4. ANALİZ VE BULGULAR	71
4.1. Veri	71
4.2. Augmented Dickey-Fuller (ADF) Testi Sonuçları	73
4.3. BDS Testi Sonuçları	74
4.4. Hinich Bispectral Testi Sonuçları	79
4.5. Lyapunov Üsseli Testi Sonuçları	80
4.6. NEGM Testi Sonuçları	81
5. SONUÇ VE TARTIŞMA	82
5.1. BIST Zaman Serisinin Durağanlık Testleri	85
5.2. BIST Zaman Serisinin Eğrisellik Testleri	85
5.3. BIST Zaman Serisinin Kaos Testleri	88
5.4. Çalışmanın Kısıtları	90
6. ÖNERİLER	92
KAYNAKLAR DİZİNİ	93
ÖZGEÇMİŞ	103

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

EPH	: Etkin Piyasalar Hipotezi
EMH	: Efficient Markets Hypothesis
iid	: Independent Identically Distributed
bed	: Bağımsız Eş Dağılımlı
İMKB	: İstanbul Menkul Kıymetler Borsası
BİST	: Borsa İstanbul
ISE	: Istanbul Stock Exchange
GYTE	: Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü
ODTÜ	: Orta Doğu Teknik Üniversitesi
MIT	: Massachusetts Institute of Technology
ARIMA	: Autoregressive Integrating Moving Average
AIC	: Akaike Information Criterion (Akaike Bilgi Kriteri)
BIC	: Bayesian Information Criterion (Bayes Bilgi Kriteri)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
2.1. Edward Lorenz hava durumu tahmin modeli differensiyel Eşitlikleri	17
2.2. Birbirinden uzaklaşan iki sayısal hava tahmini grafiği	18
2.3. LorenzÇekicisi $\sigma =10$, $p=28$ ve $\beta=8/3$ değerleri için x-z grafiği: kaotik	19
2.4. $Z = 2$ için dallanma ve Lyapunov üsseli grafiği	23
2.5. Lojistik fonksiyonu “ $f(x)=\mu x(1-x)$ ”nun $0\leq x\leq 1$ ve $2.4\leq\mu\leq 4$ aralığındaki çatallaşma grafiği (μ vs x)	24
2.6. Lojistik fonksiyonu “ $f(x)=\mu x(1-x)$ ”nun $0\leq x\leq 1$ ve $-2\leq\mu\leq 4$ aralığındaki çatallaşma grafiği (μ vs x)	25
2.7. Lojistik fonksiyonunun “ $f(x)=\mu x(1-x)$ ($0\leq x\leq 1$) ve [$0\leq\mu\leq 4$] aralığındaki çatallaşma grafiği (μ vs x)	26
2.8. Lojistik fonksiyonu “ $f(x)=\mu x(1-x)$ ”nun ($0\leq x\leq 1$) ve [$3.4\leq\mu\leq 4$] aralığındaki çatallaşma grafiği (μ vs x)	27
2.9. Lojistik fonksiyonunun detaylı çatallaşma diagramı	28
3.1. Her bir adımdaki yörünge değişimi	65
3.2. Lojistik fonksiyonu için çatallaşma diagramı ve karşılık gelen Lyapunov üssel değerleri	66
3.3. Yapay sinir ağı modeli	70
4.1. Yapay sinir ağı modeli	81

TABLolar DİZİNİ

Tablo	Sayfa
2.1. Piyasaların etkinliği konusunda yapılan çalışmaların yayınlanmış sonuçları	37-39
2.2. Finansal verilerdeki doğrusal olmama ve kaos testlerinin yayınlanmış sonuçları	41-43
4.1. BİST tüm endeks logaritmik getiri oranları $r_t = \ln(ISE_t / ISE_{t-1})$ için temel istatistikler	72
4.2. Üç farklı anlamlılık seviyesi (%1, %5 ve %10) için ADF testi sonuçları	73
4.3. BİST tüm endeks günlük getiri oranları için ARIMA modelleri	74
4.4. BDS İstatistikleri-ARIMA log getirilerinin kalıntıları	75
4.5. BDS test sonuçları: BİST tüm endeks günlük getiri oranları	77-78
4.6. Hinich Bispectral Testinin Sonuçları	79
4.7. Logaritmik Getiriler için Lyapunov Üsselleri Değerleri	80

1. GİRİŞ

Menkul kıymetler borsalarında finansal endekslerin öngörüsünün yapılması, hem yatırımcıların hemde akademisyenlerin çok önem verdikleri bir konudur. Yatırımcılar bu piyasalarda “iyi” kağıtlara yatırım yaparak, kısa, orta veya uzun vadede en azından alternatif ve risksiz yatırım aracı olan tahvil piyasası faiz oranlarının üzerinde getiri elde etmeyi amaçlarlar. Borsalar, diğer yatırım araçlarına göre daha fazla getiri imkanı sağlayan piyasalardır ama finans biliminin “yüksek getiri yüksek risk” önermesi gereği, kayıp oranları da yüksek olabilmektedir.

Menkul kıymet piyasalarına olan bu büyük ilginin de sonucu olarak bu alanda son elli yıldır önemli araştırmalar yapılmıştır. Akademik çevrelerde bu piyasaların davranış modellerini araştıran bu çalışmalardan en çok rağbet gören model, “Etkin Piyasalar Hipotezi (EPH)” olarak adlandırılan modeldir. Dünyada Menkul Kıymetler Borsalarının gelişmesi ile beraber en çok sorulan soru hisse senetlerinin gelecekteki fiyatlarının tahmin edilip edilemeyeceği olmuştur. Bu sorunun yanıtlanması için dünyada özellikle Amerika Birleşik Devletlerinde 1900’lerin başından itibaren pek çok çalışma yapılmıştır. Bu teorik çalışmalarda hisse senedi fiyatlarının rassal olarak oluştuğu ileri sürülmüştür. Ancak Samuelson (1965)’a kadar sermaye piyasalarındaki fiyat hareketleri ile ilgili herhangi bir ekonomik teori oluşturulmamıştır. Tekrar eden kestirimlerle Samuelson (1965) gelecekteki eşya fiyatlarının rassal özellik gösterdiğini ispatlamıştır. Daha sonra Fama (1970) bu teoriyi deneye dayalı çalışmasıyla birleştirerek “Etkin Piyasalar Hipotezi (EPH)” olarak ifade etmiştir. Piyasa etkinliğini ölçmede hisse senedi fiyat ve getirilerinin davranışı önemlidir.

Piyasa etkinliğini ölçmede hisse senedi fiyat ve getirilerinin davranışı önemlidir. Fama (1970) tarafından yapılan Etkin Piyasa Hipotezi tanımı “hisse senedi fiyatlarının piyasada tüm bilgiyi tamamen yansıtması” şeklinde ifade edilir. Bunun diğer bir anlamı da piyasanın gerçek olasılık dağılımını kullanarak hisse senedi fiyatını belirlemesidir. Etkin piyasalarda tüm katılımcıların bilgiye anında ve maliyetsiz ulaşabildiği varsayılır. Bu durumdaki bilgileri kullanarak piyasa ortalamasının üzerinde ekstra bir kazanç elde etmek mümkün değildir.

Etkin piyasalar varsayımının pratikte gerçek ile çeliştiği söylenebilir. Çünkü, etkin piyasalar varsayımı, kişilere tüm bilgilerin eş zamanlı ve adil olarak ulaştığı ve kişilerin de bu bilgileri akılcı olarak kullanabildiği varsayımına dayanır. Ancak BİST (İMKB) gibi manipulasyon & spekülasyon ağırlıklı hisse senedi alım ve satım piyasalarında, ne adil bilginin tüm kullanıcılara ulaştığından, ne de tüm kullanıcıların rasyonel karar alabildiğinden söz edilebilir. Piyasamız gibi el değiştirme hacmi yönünden yetersiz olan piyasalarda, bu faktörlerin etkisi daha da büyüktür. Örneğin, bir hisse senedi, şirketin yaptığı yanıltıcı reklamlar ile gerçek üstünde bir değere alınıp satılabilir. Şirket hakkında çıkartılan bir söylenti, hisse senedi fiyatının olağanüstü artışına ya da gerilemesine neden olabilir. Ayrıca şirket kendi hisse senetlerini büyük ölçüde geri satın alarak (Tresury stocks), piyasayı yatırımcıların hedeflerine uymayan bir biçimde yükseltebilir.

Bu durumda, büyük yatırımcıların manipulasyon & spekülasyon ile piyasayı yanlış yönlendirmesi, pratikte EPH'inin varsayımlarını bozmaktadır. Manipulatif piyasalarda yatırımcılar ve yatırım firmaları EPH'inin varsayımlarını sorgusuz sualsiz kabul etmek yerine diğer analiz yöntemleriyle kendi "optimal portföylerini" oluşturmaya gayret ederler.

Finansal varlıkların öngörülerinin yapılması konusunda Etkin Piyasalar Hipotezi'ne karşıt olan görüşler de ortaya çıkmıştır. Bu görüşler, finansal varlıkların değerlerinin öngörülerinin yapılabileceğini ileri süren ve bu konuda geliştirdikleri birçok yöntem ve teknikle öngörü çabalarında bulunan teknik analiz ve temel analiz yaklaşımlarıdır.

Teknik analiz yaklaşımı, insanların yatırım kararlarını verirken rasyonel olmayan davranışlar da sergilediğini ve bu davranışların geçmişteki fiyat hareketlerinin içerisinde saklı olduğunu ileri sürmektedir. Teknik analiz yaklaşımına göre; insanların belirli olaylar karşısında benzer tepkileri vermesi nedeniyle, piyasalar da belirli dönemlerde kendisini tekrarlayabilir. Bu nedenle, teknik analiz yaklaşımı, fiyat hareketlerinin incelenmesi yoluyla öngörülerin yapılabileceğini ileri

sürmektedir. Teknik Analiz'in kapsamına şu analizler girer: Dow Teorisi (Ana Trend, Orta Vadeli Fiyat Hareketleri, Kısa Vadeli Fiyat Hareketleri), Grafikler (Direnc ve Destek Noktaları, Fiyat Formasyonları, Omuz Baş Omuz Formasyonu, Ters Omuz Baş Formasyonu, Omuz Baş Erteleme Formasyonu, Çanak Formasyonu, Üçgen Formasyonu, Yatay (Genişleyen) Formasyonlar), Fiyat Boşlukları, Hareketli Ortalamalar (MA) (Basit Hareketli Ortalama, Ağırlıklı Hareketli Ortalama) (Karşlı, Muharrem, 1995, "BORSA", Alfa Yayıncılık).

Temel analiz yaklaşımı ise, teknik analiz yaklaşımına benzer şekilde, insanların yatırım kararlarında rasyonel olmayan davranışlar da sergiledikleri görüşünü ileri sürmektedir. Ancak bu yaklaşım teknik analizden farklı olarak, fiyat hareketlerinin değil, insanların rasyonel olmayan davranışları sergilemesinin altında yatan nedenlerin incelenmesini temel prensip edinmiştir. Bu nedenle, temel analiz yaklaşımı, insanların rasyonel olmayan tepkiler vermesine neden olan uluslararası ve ulusal ekonomik ve siyasi şartların araştırılması esasına dayanmaktadır. Temel analiz yaklaşımı, yapılan araştırmaların sonucunda elde edilen bulgular ile finansal öngörülerin yapılabileceğini ileri sürmektedir. Temel Analiz'in kapsamına şu analizler girer: Makro Analizler (Ekonominin Genel Analizi: Ekonomi İçi Faktörler, Ekonomi Dışı Sosyo-Politik ve Kültürel Faktörler; Sektörün Analizi), Mikro Analizler (Şirketin Genel Analizi (Strateji Analizi), Muhasebe Analizi, Finansal Analiz, Finansal Oran ve Tablolar Analizleri) (Karşlı, Muharrem, 1995, "BORSA", Alfa Yayıncılık).

Menkul kıymetlerin öngörülerinin yapılmasına yönelik bu yoğun çabalar, beraberinde yapay sinir ağları gibi öngörü modellerinin ve tekniğinin doğmasına yol açmıştır. Özellikle, sermaye piyasalarının doğrusal yapının yanı sıra doğrusal olmayan yapıyı da içermeleri nedeniyle, klasik doğrusal öngörü yöntemleriyle yapılan öngörülerin yerini doğrusal olmayan modern öngörü yöntemlerinin alması, bu gelişmelerin önünü açan önemli bir etken olmuştur. Ayrıca öngörü yöntemlerinin geliştirilmesinde gelineen bugünkü noktada, disiplinler arası çalışmaların olduğu görülmektedir. Bu modern öngörü yöntemlerinden birisi; doğrusal olmayan bir yapısı olan ve doğusu tıp, mühendislik, matematik ve fizik alanında yapılan

çalışmalara dayanan Yapay Sinir Ağları'dır (Bennell, Julia and Charles Sutcliffe, 2004, s. 244).

Bu bağlamda, Eğrisel analizler ve kaos teorisi fiziksel sistemlerde uzun yıllardır araştırılan çok önemli bir teoridir (Scheinkman, J.A., LeBaron, B., 1989, s. 314; Serletis, A., Gogas., P., 1997, s. 361; Sewell et. al. 1993, s. 241; Wolf, A., et. al, 1985, s. 297). Kaos teorisinin en temel önermesi, sistemlerin rassal olmayıp nedensel yapıya sahip olmasıdır. Kaos kuramının kökeni yüzyıllar öncesine dayansa da, özellikle 1960'larda Edward Lorenz'in yaptığı hava tahmin araştırmaları ve Robert May'in nüfuz değişim modeli ile olgunlaşmaya başlamıştır (May, Robert, 1976, s. 45-67; Lorenz, E.N., 1963, s. 130-141). Bu dönemde, kaos kuramının en temel özelliği olan "ilk şartlara hassa bağımlılık" kavramı ve garip çekerler adı verilen çatallaşma grafikleri ortaya konulmuştur (Lorenz EN, 1993, Essence of Chaos, University of Washington Press: Seattle, WA).

1970'lerden sonra bilgisayar sistemlerinin bilgi işleme kapasiteleri ve hızlarının artmasıyla, Mandelbrot'un nedensel kompleks matematiksel modellerle oluşturduğu "Mandelbrot kümeleri" adı verilen kendi-kendine benzeme özelliği gösteren sonsuz a-periyodik hareket çizimleri, kaos kuramına olan ilgiyi arttırmıştır (Mandelbrot, B.B., 1964, s. 307-332).

Özellikle 1960'larda olgunlaşmaya başlayan ve doğa bilimleri alanında ortaya çıkan eğrisel analizler ve neticesinde ulaşılan "kaos teorisi" son on'lu yıllarda finansal piyasalarda da kendisine çok önemli bir yer edinmiştir (Trippe, Robert, 1995, "Chaos & Nonlinear Dynamics in the Financial Markets: Theory, Evidence and Applications", Irwin Professional Publishing, Chicago, IL). Bunda özellikle finansal piyasaların baskın hipotezi olan EPH'e bir alternatif arayışları da neden olmuştur. Kaos kuramı finans literatüründe EPH'e önemli bir alternatif teori olarak popülerlik kazanmıştır. Kaos teorisi doğası gereği, sistemlerin, bu araştırmamız özelinde finansal piyasaların EPH'nin piyasaların rassal olduğu savına karşı nedensel yapıya sahip olduğunu savunmaktadır. EPH'e pratikte yapılan eleştiriler de dikkate alındığında, alternatif bir teoriye olan gereksinim aşıkardır. Bu nedenle kaos teorisi,

finans literatüründe önemli bir ihtiyacı karşılamaktadır (Barnett, A, William, Serletis, 2004, s. 704-724).

Kaos kuramının üç temel ön şartı vardır. İlki kurulan modelin nedensel olmasıdır. İkincisi, modelin eğrisel olmasıdır. Üçüncüsü ise modelin ilk şartlara hassas bağımlı olmasıdır. Özellikle son şart, kaotik sistemlerde, her ne kadar nedensel olsada, uzun vadeli tahmin yapmanın imkansız olduğu anlamına gelir (Baker, G.L. and Gollub, J.P., 1990, Chaotic Dynamics, Cambridge University Press, Cambridge, p. 179). Bu nedenle pratik uygulamalarda kaos teorisi kullanılarak normal üstü karlar elde edilmesi imkansızdır. Bu sonuç EPH'inin sonucuna paraleldir. EPH, piyasanın rassal olması nedeniyle normal üstü karlar elde edilemeyeceğini savunurken, kaos kuramı sistem nedensel olsada (rassal olmasada), sistemin ilk şartlara hassas bağlı olması ve ilk şartların asla tam olarak ölçülemeyeceği gerçeğine dayanarak aynı savı savunmaktadır.

Pratik uygulamalar açısından kaos kuramı, EPH'e göre yatırımcılara hiçbir avantaj sağlamamaktadır. Ancak bilimsel açıdan kaos kuramı, EPH'e devrimsel bir alternatif yenilik getirmiştir. Buna bilimde paradigma kayması adı verilir. Çünkü, EPH'nin savunduğu temellerin (rassallık) tam zıttını kaos kuramı (nedensellik) iddia etmektedir. Bu araştırmanın amacı da finans literatüründe son on'lu yıllarda ağırlık kazanan kaos kuramının BİST (İMKB) özelinde araştırılması ile piyasanın yapısının saptanması ve dolaylı olarak EPH'nin varlığının sınanması amaçlanmaktadır. İlaveten, uluslararası finans piyasalarında yapılan kaos araştırmalarına da katkı sağlanacağı düşünülmektedir.

Literatürde finansal piyasaların zaman serilerinde eğrisellik ve kaos'u test eden çok sayıda yöntem bulunmaktadır. Bu araştırma için tüm bu test yöntemleri irdelenmiş ve bu testler içinde güvenilirliği en yüksek olan testler kullanılmıştır. Bu amaçla araştırmada kullanılmak üzere seçilen yöntemler şöyledir: BİST tüm endeks zaman serisinin durağanlık testi ADF yöntemi ile yapılmıştır. BİST tüm endeks zaman serisinde eğrisel (doğrusal olmayan) yapının testi için iki yöntem kullanılmıştır: BDS testi ve Hinich Bispectral testleri. Son olarak da, BİST tüm

endeks zaman serisinde kaotik davranışın testi için ise, Lyapunov üsseli testi ve NEGM testi uygulanmıştır.

Araştırmanın tasarımı şöyledir:

Birinci bölümde genel bir giriş yapılarak araştırmanın amacına, cevap aradığı sorulara ve araştırmanın niçin önemli olduğuna değinilmiştir.

İkinci bölümünde araştırmamızın temelini oluşturan EPH, eğrisellik ve kaos kavramları açıklanmış ve literatürde konu ile ilgili gerçekleştirilen çalışmaların bulgularına yer verilmiştir.

Üçüncü bölüm Metodoloji bölümüdür. Bu bölümde kullanılan veriler, kullanılan test yöntemleri anlatılmıştır. Literatürdeki çalışmalar da incelenerek kullanılacak olan test yöntemlerine karar verilmiştir. Literatürde güvenilirliği en yüksek olan testler seçilmiştir.

Dördüncü bölümde Analiz ve Bulgular verilmiştir. Uygulanan her test ve elde edilen sonuçlar bu bölümde açıklanmıştır.

Beşinci bölüm Sonuç ve Tartışma bölümüdür. Bu bölümde elde edilen bulguların sonucu ayrıntılı olarak tartışılarak ortaya konulmuştur. Ayrıca Çalışmanın kısıtları da açıklanmıştır.

Altıncı bölümde bundan sonra benzer araştırmalar yapacak olan araştırmacılara önerilerde bulunulmuştur.

1.1. Araştırmanın Amacı

Finansal piyasaların tam olarak nasıl işlediği on yıllardır araştırılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, finansal piyasaların yapısının tespiti konusunda yapılmış olan araştırmalara BİST özelinde katkı sağlanmasıdır. Uzun yıllardır birçok araştırmacı tarafından finansal piyasaların Etkin Piyasalar Hipotezine (EPH) uygun bir yapıda olduğu yönünde bulgular sunulmuştur (Kendall, 1953; Brealey, 1970; Dryden, 1970; Cunningham, 1973; Brock WA, 1987; Kenkül, 2006; Topçuoğlu, 2006; Çıtak, 2003; Adalı, 2006; Vougas 2004; Atan, Özdemir vd., 2006). Etkin piyasalar hipotezi bu alandaki en önemli modellerden birisidir ve piyasanın rassal olduğunu savunmaktadır. Ancak pratikte EPH'ine karşı önemli itirazlar sözkonusudur (Granger and Newbold, 1974; Campbell et al., 1997; Lee et al., 1993; Bonilla et al., 2006; Mantegna and Stanley, 2000; Barnett and William, 2004; Barnett et al., 1997; Barnett and Hinich, 1992; Abhyankar et. al. 1997; Scheinkman and LeBaron 1989; Frank Stengos , 1989; Serletis and Gogas, 1997; Sewell et. al., 1993; De Lima, 1995). Örneğin, piyasalarda varolan manipülatif eylemler, ilgili bilginin herkese eşit dağılımı varsayımının ihlali anlamına gelmektedir. Bu nedenle, menkul kıymetlerin öngörülerinin yapılmasına yönelik bu yoğun çabalar, beraberinde birçok öngörü modelinin ve tekniğinin doğmasına yol açmıştır. Özellikle, sermaye piyasalarının doğrusal yapının yanı sıra doğrusal olmayan yapıyı da içermeleri nedeniyle, klasik doğrusal öngörü yöntemleriyle yapılan öngörülerin yerini doğrusal olmayan modern öngörü yöntemlerinin alması, bu gelişmelerin önünü açan önemli bir etken olmuştur. Ayrıca öngörü yöntemlerinin geliştirilmesinde gelinen bugünkü noktada, disiplinler arası çalışmaların olduğu da görülmektedir.

Bu bağlamda, Eğrisel analizler ve kaos teorisi fiziksel sistemlerde uzun yıllardır araştırılan çok önemli bir teoridir. Kaos teorisinin en temel önermesi, sistemlerin rassal olmayıp nedensel yapıya sahip olmasıdır. Kaos kuramının finansal piyasaların yapısının açıklanmasında kullanılması, EPH'ine önemli bir alternatif oluşturmuştur. Kaos kuramı EPH'inin tam tersini savunmaktadır. Yani, kaos kuramına göre piyasalar rassal değildir, nedenseldir. Piyasalarda rassallığın varlığı ya da kaosun varlığı ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. Ancak herkesin uzlaştığı

kesin tek bir sonuç halen elde edilebilmiş değildir. Bu araştırma ile BİST özelinde bu alanda yapılmış olan çalışmalara bir katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

Çalışmada, ileride bu konuda yapılacak benzer çalışmalar için uygun bir karşılaştırma zemini hazırlamak amacıyla, kullanılan test yöntemleri ve ilgili literatür derinlemesine incelenmiştir.

Bu çerçevede çalışmanın amaçları şu şekilde sıralanabilir:

- 1-EPH'inin araştırılması.
- 2-Ulusal ve Uluslararası finans literatüründe EPH alanında yapılmış olan çalışmaların araştırılması.
- 3-Eğrisellik ve Kaos kuramının araştırılması.
- 4-Ulusal ve Uluslararası finans literatüründe Eğrisellik ve Kaos alanında yapılmış olan çalışmaların araştırılması.
- 5-Eğrisellik ve Kaos test yöntemlerinin araştırılması.
- 6-BİST verilerine seçilen Eğrisellik ve Kaos test yöntemlerinin uygulanması.
- 7-Elde edilen sonuçların yorumlanması.
- 8-Aynı kapsamdaki yeni araştırmalar için önerilerde bulunulması.

1.2. Araştırmanın Soruları

Araştırmada sonucunda cevap aranılan konular aşağıda verilmiştir:

- 1-EPH'i nedir ?
- 2-Ulusal ve Uluslararası finans literatüründe EPH alanında yapılmış olan çalışmalar nelerdir ?
- 3-Eğrisellik ve Kaos kuramı nedir ?

4- Ulusal ve Uluslararası finans literatüründe Eğrisellik ve Kaos alanında yapılmış olan çalışmalar nelerdir ?

5-Eğrisellik ve Kaos test yöntemlerini nelerdir ?

6-Eğrisellik ve Kaos test'i için hangi yöntemler kullanılmalıdır ?

7-BİST verilerine seçilen Eğrisellik ve Kaos test yöntemlerinin uygulanması sonucunda elde edilen sonuçları nelerdir ? Yani, BİST özelinde, veri serisi doğrusalmıdır ya da tersi olan eğrisel özelliğine mi sahiptir ? Ayrıca, BİST özelinde, veri serisi kaotik özelliğe sahip midir ?

8-Bu soruya alınacak cevap, etkin piyasalar hipotesininin varlığını da dolaylı olarak sınamış olacaktır. Bu kapsamda, yeni araştırmalar için hangi önerilerde bulunulmalıdır ?

1.3. Araştırmanın Önemi

Uluslararası finans literatüründe Eğrisellik ve Kaos kuramı araştırmaları son on yılda çok ilgi çekmektedir. Ülkemizde bu alanda yapılan çalışmalar olmakla birlikte nicelik açısından uluslararası araştırmaların çok gerisinde kalmıştır. Bu araştırma ile uluslararası literatüre, özellikle de ulusal literatüre katkı sağlanacaktır.

EPH'i, piyasaların rassal özelliğe sahip olduğunu savunmaktadır. Kaos kuramı ise piyasaların nedensel olduğunu savunmaktadır. Bu iki kuram birbirini dışarlayan özelliğe sahiptir. Dolayısı ile, birisinin varlığının ispatı, diğerinin yokluğu anlamı taşımaktadır. Bu kapsamda, kaos teorisinin varlığının ispatı, on yıllardır menkul kıymetler piyasasının en önemli hipotezi olan EPH için çok önemli bir alternatif olacaktır.

EPH'inin alternatifi olan kaos kuramı nedensellik anlamına gelir. Ancak bunun pratikte yatırımcılar için hiçbir faydası olmaz. Çünkü, kaos'un nedenselliği tamamıyla sistemin ilk şartlarına hassas bağımlılığına bağlıdır. Bunun anlamı ise, finans piyasası kaotik (nedensel) olsa bile, sistemin geleceği konusunda öngörü

imkanı olmamasıdır. Bu nedenden ötürü, BİST'in kaotik yapıya sahip olduğunun bulunması, tamamıyla bilimsel açıdan anlamlı olacak, yatırımcılar açısından normal üstü karlar elde etme imkanı sağlamayacaktır. Ancak, bilimsel açıdan bir sistemin yapısının ortaya koyulması devrimsel bir sonuçtur. Zaten bu araştırma da tamamıyla bilimsel kaygılarla yapılmıştır ve bu açıdan amacına ulaşmıştır.

Finansal zaman serilerinde eğrisellik ve kaos kuramının tespiti için çok sayıda analiz yöntemi vardır. Bu çalışmada literatürde yer alan yöntemler araştırılarak, en yüksek güvenilirliğe sahip olan test yöntemleri seçilmiş ve kullanılmıştır. Seçilen bu analiz yöntemleriyle elde edilen sonuçlar, yeni yapılacak benzer çalışmalara da ışık tutacaktır.

Tüm bunların ötesinde kaos kuramı, temel bilimler alanında, yani, insanoğlunun doğayı anlaması yönünde çok önem taşımaktadır. Bu alanda yapılan çok sayıda araştırma vardır. Finansal piyasalarda yapılan benzer araştırmalar, kaos kuramının gelişimine katkılar sağlamaktadır. Kaos ve eğrisel analizler alanına olan ilginin arttırılmasına vesile olabilme potansiyeli nedeniyle de bu araştırma büyük önem taşımaktadır.

2. FİNANSTA VE İKTİSATTA KAOS

2.1. Etkin Piyasalar Hipotezi ve Kaos Kuramı

Finansal ve iktisadi piyasaların yapısının anlaşılabilmesi için çok sayıda araştırma yapılmıştır. Özellikle 1970 sonrasında piyasaların davranışının rassal olduğunu ve herhangi bir modele uyan şablona sahip olmadığını savunan “Etkin Piyasalar Hipotezi (EPH)” görüşü ağırlıklı kabul görmüştür. Kaos teorisinin varlığı, sistemlerin nedensel (rassal olmayan) özellikleri olduğu anlamına gelmektedir. Bu nedenle, kaos teorisi ve EPH birbirlerini dışlayan iki farklı kavramdır. Dolayısı ile, finansal piyasalarda kaos teorisinin varlığının bulunması, baştan beri en yaygın görüş olan EPH’inin dışlanması anlamına gelecektir.

Bu nedenle, EPH’inin açıklanması ve kaos teorisi ile kıyaslanmasında yarar bulunmaktadır.

2.1.1. Etkin Piyasalar Hipotezi

“Etkin piyasalar” kavramı finans literatüründe çok geniş bir çalışma alanı bulmuştur. Etkin piyasalar kavramı Fama’nın 1970 tarihli “Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work” makalesine dayanmaktadır (Fama, 1970). Fama, piyasaların etkin olduğunu belirtmiş ve pazarda alım-satımı yapılan hisse senedi, tahvil veya malların fiyatlarının tüm bilinen bilgiyi yansıttığını belirtmiştir. Bu bilgi yatırımcıların gelecek hakkındaki beklentilerini de yansıtan kolektif bilgidir. Etkin piyasalar hipotezi uzun vadede tüm pazara yayılmış bir bilgi ile piyasaların ortalamaları üzerinde getiri getirmenin olanaksız olduğunu belirtmektedir. “Şans” ve “içerden bilgi” kavramları ise bu durumların istisnalarıdır şeklinde yorumlanmaktadır.

Finansal piyasalar açısından etkinlik kavramı ve buna bağlı olarak finansal piyasaların etkin olup olmadığı gerek gelişmiş gerekse gelişen piyasalar için uzun yıllardır araştırma konusu olmuştur. Etkin bir piyasada, piyasaya gelen yeni bir bilginin tüm yatırımcılara aynı anda ulaştığı varsayılmakta ve piyasada pozisyon alan yatırımcıların normalin üzerinde kazanç elde edemeyeceği belirtilmektedir. Buna ek olarak, etkin bir piyasada sistematik anomaliler (davranışsal finans teorisine bağlı sürü etkisi, aşırı güven etkisi haftanın günü etkisi, ay etkisi ve hava durumu etkisi gibi) ortaya çıkmamakta ve menkul kıymete ait fiyatlar piyasada tamamen rastsal bir şekilde oluşmaktadır (Taner, Berna ve Cenk Akkaya , 2005; s. 47–54).

Menkul kıymete ait fiyatların rassal yürüyüş özelliği gösterip göstermediğini belirlenmenin en temel yöntemi ise fiyat serilerinin bütünleşme derecelerini belirlemekten geçmekte ve söz konusu bu bütünleşme derecesi geleneksel birim kök testleri ile ortaya konmaktadır. Bununla birlikte geleneksel birim kök testleri serilerin bütünleşme derecelerini $I(0)$ (durağan) ya da $I(1)$ (durağan değil) şeklinde tamsayı olarak belirtmektedir. Diğer taraftan literatürde yer alan çalışmalar, zaman serilerinin bütünleşme derecesinin bir tamsayı değeri ile ifade etmenin serinin hafıza “1” özelliklerini tam olarak yansıtmada başarılı olmadığını ve bu nedenle zaman serilerinin bütünleşme derecesinin parçalı veya ondalıklı (fractional) yapıda araştırılmasının gerektiğini belirtmişlerdir. Böylece zaman serilerinin alabileceği olası parçalı bütünleşme değerleri ile serinin ne tür bir hafıza özelliğine sahip olduğu tanımlanabilecektir (Maddala, G.S. and Inn-Moo Kim, 2002).

Etkin piyasalar hipotezinin geçerli olabilmesi için menkul kıymete ait fiyatların rassal yürüyüş özelliği göstermesi gerektiğinden, fiyatların geçmiş fiyat hareketlerini içinde barındırmayan kısa hafıza özelliği göstermesi beklenmektedir. Bununla birlikte menkul kıymete ait fiyat serisinin uzun hafıza özelliği göstermesi, cari dönem fiyatın oluşmasında geçmiş dönem fiyatların etkisi olduğunu ve buna bağlı olarak menkul kıymete ait fiyatların rastsal yürüyüş özelliği göstermediği anlamına gelecektir. Bu nedenle menkul kıymet fiyatlarında uzun hafızanın varlığının araştırılması, varlık fiyatlama modeli ile etkin piyasalar hipotezinin geçerli olup

olmadığını belirlemede, teorik ve ampirik açıdan son yıllarda finans literatüründe oldukça fazla ilgi görmektedir.

Etkin piyasa hipotezi piyasaya gelen yeni bir bilginin tüm yatırımcılara aynı anda ulaştığını ve buna bağlı olarak menkul kıymet fiyatlarının geçmiş verilerinden hareketle tahmin edilemez olduğunu öne sürmektedir. Diğer bir ifadeyle, etkin bir piyasada menkul kıymete ait fiyatlar rastsal yürüyüş özelliği gösterecek ve fiyat değişimleri geçmiş fiyat hareketlerinden etkilenmeyecektir. Menkul kıymet fiyatları arasında uzun dönemli bir bağımlılığın (uzun hafıza) söz konusu olması durumunda, fiyat hareketleri arasında pozitif otokorelasyon olacaktır. Bu durumda, menkul kıymetin geçmiş fiyatları gelecekteki fiyat hareketlerini tahmin etmek için kullanılabilir ve bu durum etkin piyasa hipotezinin geçerli olmadığını belirtecektir. Bundan dolayı hisse senedi piyasalarının etkin olup olmadığı menkul kıymet fiyatlarının uzun hafıza özelliği gösterip göstermediği ile doğrudan ilişkilidir.

Literatürde yer alan çalışmalarda birçok finansal getiri serilerinin oynaklığının genellikle uzun hafıza özelliği sergilediği belirlenmiş ve buna bağlı olarak oynaklık serilerinin otokorelasyon fonksiyonlarının durağan serilerden daha yavaş azalma özelliği gösterdiği ortaya konulmuştur. Oynaklık serilerinde uzun hafızanın varlığı ise, oynaklığının tahmin edilebilir bir yapıda olduğunu gösterdiğinden risk yönetimi, portföy çeşitlendirmesi ve türev ürünlerinin fiyatlandırılmasında oldukça büyük öneme sahip olacaktır.

BİST verileri ile yapılan yarı parametrik ve parametrik uzun hafıza model analizleri sonuçları sektörlere ait endeks getirilerinin oynaklığının uzun hafıza özelliği gösterdiğini ortaya koymuştur. Buna bağlı olarak BİST'nin etkin bir piyasa olmadığı ifade edilebilir (Çevik, 2012, s. 143).

Etkin piyasalar hipotezi ile ilgili ilk çalışmalarda bir menkul kıymetin cari fiyatının mevcut bilgileri tam olarak yansıttığı şeklindeki ifade, birbirini izleyen fiyat değişmelerinin birbirini izleyen dönem getirilerinden bağımsız olduğu

varsaymaktadır. Bu iki hipotez birlikte rassal yürüyüş modelini oluşturur. Rassal yürüyüş modeline göre, edinilebilir tüm bilgileri fiyatlara yansımış halde bulmak mümkündür ve ardışık bu fiyat değişimleri birbirlerinden bağımsızdır. Dolayısı ile fiyat değişimlerinin zaman içindeki dağılımı aynı özelliği gösterecektir. Böylelikle, uzun dönemde fiyatların oluşturacağı zaman serileri normal dağılıma uygun bir dağılım özelliği göstereceklerdir. Günlük getiriler üzerine ilk araştırmayı Fama 1965 yılında "The behaviour of stock market prices" adlı makalesinde yayınlamıştır. Fama bu çalışmasında hisse senedi getirilerinin normal dağılımdan ziyade sola yatkın dağıldığı sonucuna varmıştır (Fama, 1965, s.41).

Sonrasında Etkin Piyasalar Hipotezi (EPH) bir çok araştırmacının ilgisini çekmiş (Fama, 1970, s. 389; Bekçioğlu ve Ada, 1985, s. 30; Kıyılar, 1997, s.23) ve EPH sermaye piyasası teorilerinde etkin rol oynamıştır. EPH alanındaki çalışmaların bir çoğu rassal yürüyüş modelinin geçerli olup olmadığını irdelemiştir. Özellikle, finansal yatırım kararları alınırken standart istatistiksel yöntemlerin kullanılabilmesine yönelik sonuçlar üzerinde durulmuştur. Ancak bu noktada finansal piyasa davranışlarının doğrusal olup olmadığı önem arz eder. Finansal piyasalarda fiyat davranışlarının doğrusal olmayan bir davranış göstermesi yatırım kararları alınırken kullanılan standart istatistiksel analizlerin yanlış sonuçlar doğurmasına neden olabilir (Kıyılar, 1997, s.26).

2.1.2. Kaos Kuramı

Günlük yaşantıda gözlemlediğimiz ve birbirleri ile sanki ilişkisi yokmuş gibi görünen, düzensiz, tesadüf eseriymiş izlenimi veren durum ve olayların, değişik bir bakış açısından ele alındığında aslında muazzam bir düzenin parçası olduğu gerçeği, klasik bilimden kaosa geçişi niteler. Kaos kavramı sözcük anlamı itibariyle günlük dilde, "karmaşıklık, düzensizlik, belirsizlik" hatta "anarşi" gibi ifadeleri çağırır. Kavram, yunanca "boşluk, yarıklık, hudutsuzluk" anlamlarına gelen "kaos" kelimesinden gelmektedir. Kaos kavramı, günlük dildeki kullanımından farklı olarak bilimsel anlamda "düzensizliğin içindeki düzen" manasında kullanılmaktadır. Hilborn'a göre kaos, "basit ve iyi tanımlanmış bazı sistemlerin gösterdikleri

karmaşık ve düzensiz davranışlardır”. Bu tanımlardan yola çıkarak kaos, doğrusal olmayan, periyotsuz hareket eden, başlangıç durumuna hassas bağlı olan nedensel dinamik sistemler olarak tanımlanabilir (Hilborn, 1994, s.125).

Kısaca günlük dildeki kullanımı ile bilimsel kullanımı arasında oldukça önemli fark vardır. Kavram ile ilgili en doğru tanımları veren teorik fizikçi Jensen, kaos’u “kompleks, doğrusal olmayan dinamik sistemlerin düzensiz ve öngörülemez davranışı” şeklinde ifade etmektedir. Tanımda yer alan kompleks ifadesi karmaşıklığa, doğrusal olmayan ifadesi özgün bir matematiksel yapıya, dinamik ifadesi ise sabit olmayan değişken bir yapıya işaret etmektedir (Gleick,1995, s.16).

Kaos, rassal olmayan (nedensel olan), ama tahmin edilemeyen sistem davranışdır. Güçlü kaos, dinamik sistemlerin tüm yörüngelerinin ilk şartlara hassas bağımlılık göstermesi özelliğidir. Zayıf kaos, dinamik sistemlerin bazı özel yörüngelerinin periyodik olmadığı, ancak diğer çoğu yörüngelerinin periyodik ya da neredeyse periyodik olma özelliğidir (Peters, 1991, s.117).

Bilimsel olarak bir sistemin kaotik olarak tanımlanması için, matematiksel kurallara uygun modellere göre rassal olmaması (nedensel olması), matematiksel modellere göre doğrusal olmaması ve ilk şartlara hassas bağımlı olması gereklidir. Yani kaos, nedensel (deterministik) bir sistemde, ilk şartlara hassas bağımlılık gösteren, uzun vadeli a-periyodik (periyodik olmayan) davranış biçimidir.

Uzun vadeli davranış olarak zaman sonsuza gittikçe, yörüngeleri sabit noktalara ya da periyodik noktalara yakınsamamalıdır. Yani, kaos a-periyodiktir ve sabit noktaları da olmamalıdır. Sistemin rassal ya da parazit girdileri ya da parametreleri olmamalıdır. Böylece sistemin düzensiz davranışının nedeni parazitlik değil, doğrusal olmaması olacaktır. Yani, sistem nedensel (deterministik) olmalıdır. Birbirine yakın yörüngeler birbirinden üssel hızda uzaklaşırlar, yani Lyapunov üsseli pozitif değerdir. Buna ilk şartlara hassas bağımlılık adı verilir (Strogatz, 1994, s.83).

Kaos kavramı ve teorisi ile ilgili her şey ilk olarak 19. yüzyılın sonlarında Fransız matematikçi Jules Henri Poincare'nin çalışmaları ile başlamıştır. Dinamik sistemler üzerinde çalışmış olan o günkü tüm klasik fizikçi ve matematikçiler arasında kaos kavramını en iyi anlayan bilim adamı Poincare olmuştur. Poincare "Bilim ve Yöntemler" adlı eserinde, çok değişkenli sistemlerin kalıcı çözümlerinin olmadığını, çözümlerinin sonsuz bir şekilde sürebilen oynak bir durum alacağını ve bunun da sistemlerde geleceğin tahminine izin vermeyeceğini ifade etmektedir. Poincare bunu şöyle ifade etmiştir (Gullick, 1982, s.51): "Dikkatlerimizden kaçan küçük noktalarından biri, öylesine büyük ve önemli sonuçlara neden olur ki, biz de kalkıp bu sonucun rastlantı sonucu ortaya çıktığını söyleriz. Tabiatın yasalarını ve evrenin başlangıç anındaki durumunu tam olarak bilebilmiş olsaydık, evrenin başlangıç durumunu izleyen daha sonraki anlardan birinde hangi durumda olacağını da tam olarak öngörmemiz mümkün olabilirdi. Tabiat yasalarının artık bizden kaçırarak hiçbir sırrı kalmamış olsa bile, gerçek durum konusunda yaklaşık olarak bilgi sahibi olabilirdik. Bu sayede, başlangıç durumunu izleyen durumu aynı şekilde yaklaşık değerler olarak öngörmemiz olanak dahilinde olsa, tüm istediğimizi gerçekleştirmiş olur ve biz de bu fenomenin öngörülmüş olduğunu, yasalara uygun olarak cereyan ettiğini söyleriz" (Gündüz, 2004, s.72).

Başlangıç şartlarındaki küçük farkların nihai olgularda çok büyük farklar oluşturduğu da görülmektedir. Başlangıç koşullarındaki küçük bir hata nihai olguda muazzam bir hataya neden olacaktır. Bu durumda, geleceği öngörmek olanaklı değildir (Hamill and Opong, 1997, s.34).

Her ne kadar kaos kavram ve teorisinin babası olarak J.Henri Poincare kabul edilse de, teoriye en önemli katkıyı 1960 yılında MIT'de meteoroloji Profesörü olan Edward Lorenz yapmıştır. Edward Lorenz ile kaos teorisine doğru gidiş hızlanmıştır. Lorenz bir meteoroloji modeli kurmuştur. Bu modelde hava tahmini yapmayı amaçlamış ve modelde gözlemlendiği değişimleri 1963 yılında çıkardığı "Deterministic Non-Periodic Flow" adlı makalesinde yayınlamıştır. Burada Kaos'u, "rastlantısal davranan, düzgün geometrik yapıya sahip düzen" olarak tanımlamaktadır (Lorenz, 1963, s.135).

Edward Lorenz 1960'da meteoroloji simulasyon modelini geliştirmiştir. Meteorolojik olguların daima matematiksel kurallara uymaları fakat asla tekrar etmemeleri ilgisini çekmiştir (Gleick, 1995, s.32). 1961 yılında Lorenz, MIT'de hava tahminleri için geliştirdiği modeli denemiştir. Kullandığı model, günlük rüzgar hızı, basınç ve sıcaklık değişkenlerini kapsayan üç bilinmeyenli doğrusal olmayan bir diferansiyel denklemdir. Lorenz denklemleri, dikdörtgen bir bölgede oluşan termal konveksiyonun matematiksel modelidir ve şöyle ifade edilir (Sparrow, 1982, s.26; Lorenz, 1963, s. 137; Lorenz, 1993, s.103) :

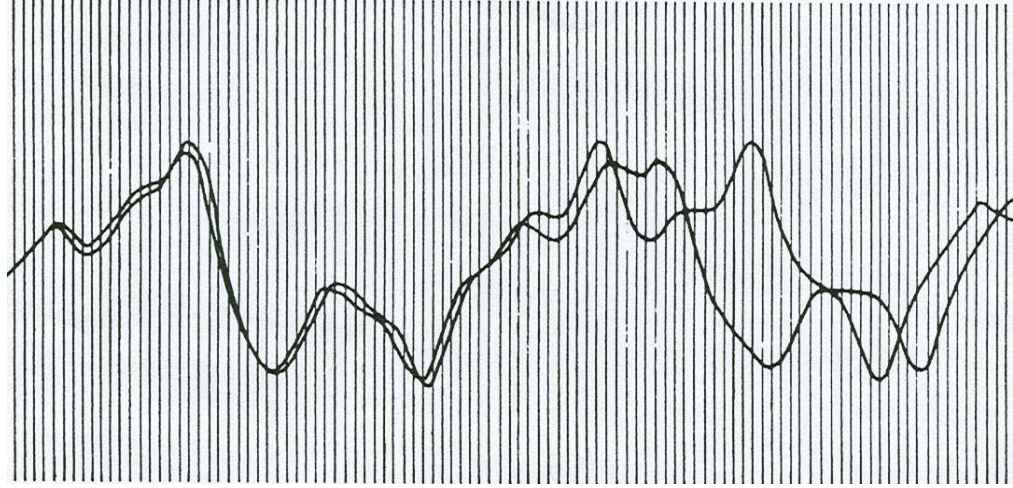
$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= \sigma(y - x) \\ \frac{dy}{dt} &= x(\rho - z) - y \\ \frac{dz}{dt} &= xy - \beta z\end{aligned}$$

şekil 2.1. Edward Lorenz hava durumu tahmin modeli differensiyel Eşitlikleri (Lorenz, 1993, s.103).

Bu differensiyel eşitlikler Lorenz tarafından çok düşük işlemcili Royal McBee marka bilgisayar kullanılarak analiz edilmiştir. Programın amacı, her seferinde yeni değerler girerek izleyen günlerin hava tahminlerinin yapılmasıdır. Lorenz daha uzun süreli bir tahminde bulunabilmek için süreci ortadan başlatmıştır ve en baştan yeni değerler girmek yerine daha önce bilgisayardan kağıda çıkış aldığı değerleri kullanmıştır. Bunu yaparken kolaylık sağlaması için ve sonucu önemli derecede etkilemeyeceğini düşündüğü için verileri yuvarlamıştır. Noktadan sonraki 10.000'ler ve sonraki hanelerini ihmal ederek 0,632139 yerine 0,632 v.b. girişler yapmıştır.

Bilgisayar hesaplamaları tamamlandığında aynı programın aynı giriş şartları ve aynı verilerle aynı sonucu vermediğini görerek şaşırmıştır. Başta bu farklılıkların nedenini bilgisayar arızası olarak yorumlamış ve denemelerine defalarca yapmasına

rağmen her seferinde aynı sonuca ulaşmıştır. Model aynı model, bilgisayar aynı bilgisayar olmasına rağmen, ilk değerlerdeki ihmal edilebilecek seviyedeki en ufak farklar nedeniyle çıktılar uzun vadede birbirinden üssel olarak uzaklaşmaktaydı. (Lorenz, 1963, s.138).

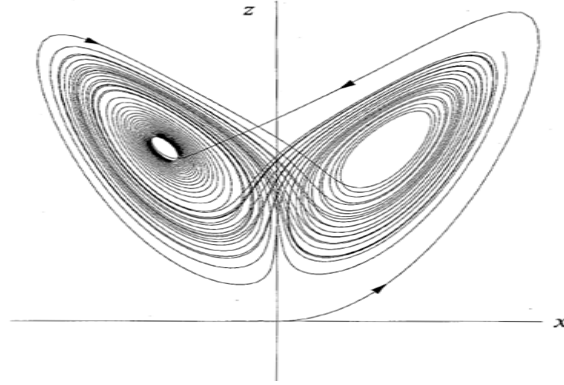


Şekil 2.2. Birbirinden uzaklaşan iki sayısal hava tahmini grafiği (Lorenz, 1963, s.139).

Lorenz başta bu farkın nedeninin bilgisayar arızası (makinenin katot ışın tüplerinin yanması) nedeniyle olduğunu düşünmüştür. Ancak benzer yuvarlama ile programı defalarca çalıştırdığında, her seferinde öncekilerden de farklı sonuçlar elde etmiştir. Bunun üzerinde uzun uzun düşünmüş ve aslında nedeninin hiçte sandığı gibi basit olmadığı sonucuna varmıştır.

Farklılığın gerçek nedeni, modelin başlangıç verilerindeki virgülden sonra 6 haneli rakam ile aynı rakamın yuvarlatılarak virgülden sonra 3 haneli olarak kağıda basılanı arasındaki farktır. Yani, modelin ilk değerlerinin ihmal edilebilecek seviyede çok küçük de olsa birbirinden farklı olmasıdır. Özellikle meteorolojide kolayca ihmal edilebilecek ve sonucu etkilemeyeceğine inanılan böylesine küçük bir fark sonuçta büyük sapmalara yol açmıştır. Lorenz bu çelişkiyi fark edince bunu, kaos'un ikinci belirleyici karakteri olan başlangıç koşullarına hassas bağımlılık olarak tanımlamıştır. Sıfırdan sonra milyon hanesi kadar küçük değer farklarının modelin çıktısında bu denli beklenmedik büyük farklılıklar yaratmasını Lorenz ancak bir

kelebeğin kanat çırpışının kasırga yaratmasına benzetip, “kelebek etkisi” adını vermiştir. Yani, karmaşık sistemlerin ilk değerlere yüksek oranda hassasiyeti vardır. Lorenz modelini faz uzayına (hız ve konum uzayına) taşıyarak o zamanki grafik işlemcilerin izin verdiği ölçüde modelini işleterek grafik olarak bilgisayara çizdirmiştir ve bugün Lorenz çekicisi adı ile bilinen şekli elde etmiştir (Şekil 2.3.).



Şekil 2.3. Lorenz Çekicisi $\sigma = 10$, $p=28$ ve $\beta=8/3$ değerleri için x-z grafiği: kaotik (Strogatz, 1994, s.127)

Bu şekile göre sistem hiç bir zaman birbirinin aynı olmayan ancak, periyodik olarak iki çekici havuzu (yakınsama bölgesi) etrafında sarmal çizen bir yörüngeler sistemidir. Lorenz’in bu analizleri, doğrusal olmayan karmaşık sistemlerin analizi için bilim camiasında büyük merak oluşturmuştur ve bu alanda yapılan araştırmalar hızla artmıştır (Lorenz, 1963, s.140).

Lorenz’in bu sonuçtan çıkardığı yorum, doğru ve güvenilir bir uzun vadeli hava tahmininin kaotik davranışı nedeniyle belli bir süreyi aşamayacağı, bu nedenle periyodik olmayan davranış özellikleri gösteren hiçbir sistemde öngörü yapmanın mümkün olmadığı şeklinde olmuştur (www.elyadal.org/kaos.htm).

Özellikle sosyal bilimlerin daha fazla stokastik süreçler içermesinden dolayı özellikle ekonomi ve finans gibi disiplinlerde kaos teorisi uygulama alanı

bulmaktadır. Burada söz konusu olan doğal olaylardır. Doğal olayların çok büyük bir bölümü dinamik olduğu kadar aynı zamanda doğrusal olmayan özelliklerdeki yasalar tarafından yönetilmektedirler (Latif, 2002, s.137).

Yeni bilimin, klasik bilime dönük en temel eleştirisi sistem, doğrusallık, hata ve zaman gibi dört önemli kavram çevresinde toplanır. Sistem, birbiri ile ilişkili parçaların oluşturduğu bir topluluktur. Kavram, belirli parçalardan oluşan bir bütünü niteler. Diğer yandan dinamik sistemler, zamanla değişen sistem olarak tanımlanırlar yani doğrusal değildirler. “Doğrusal” kavramı basit bir ifade ile, matematiksel modellerin grafik üzerinde doğru biçiminde gösterilebilmeleridir. İstatistikte değişkenler arasındaki ilişkiler genellikle doğrusal modeller ile incelenir. Eğrisel ilişkilerle karşılaşılsa dahi bunlar doğrusal şekle dönüştürülerek ifade yoluna gidilmektedir. Doğrusal sistemler basit olmaları nedeni ile klasik bilimde oldukça ilgi görmüş ve yaygın olarak kullanılmışlarsa da, çoğu kez gerçekçi olmaktan uzak kalmışlardır. Bunun nedeni, içinde yaşadığımız evrende doğrusal fonksiyonlarla açıklayabileceğimiz doğa olaylarının yok denecek kadar az olmasıdır (Trippe, 1995, s.179).

Analitik çözümü bulunamayan fiziksel sistemlerin hareketlerini inceleyebilmek için, analitik çözümlerde kullandığımız araçların genelleştirilmesi yapılır. Çözüm uzayı yerine faz uzayını koymak bu işlerden birisidir. Fiziksel sistemler için faz, faz uzayı ve dinamik sistem kavramları, ele alınan sisteme bağlı olarak farklı tanımlanabilir. Kaos teorisinin ve stokastik sürecin yorumlanması öncelikle determinizm kavramı ile ilgilidir. Fakat Laplace ile determinizm kurallarına ulaşmıştır. Determinizm kavramı ise doğru çözümlere ulaşmada doğrusal denklemleri kullanmıştır. Böylece doğa modellenebilmiş ve geleceğe dair oluşacak yeni oluşumlar hesap edilmeye çalışılmıştır. Fakat, bu modellerin dışında kalan doğrusal olmayan durumlar ve alanlar çalışma alanı bulamamışlardır (Hilborn, 2003, s.173).

İktisat sistemine varıncaya kadar bilimsel düşünce her durumda bir denge noktası arayan bir çizgide ilerlemiştir. Fakat buna rağmen doğa ve ekonomi her zaman dengeye ulaşamamaktadır (Lee et. al., 1993, s. 284).

Kaos, doğrusal olmayan sistemlerin bir alt başlığı olarak ortaya çıkmaktadır. Böylece doğada gözlemlenen denge içermeyen, kararsız yapılar ve karmaşık davranışlar kaosun bakış açısı ile açıklanmaya çalışılmaya başlanmıştır. Kaos teorisinin getirdiği yeni yorumlar ile sistem parçalarının aritmetik toplamından daha başka hareket ettiği fikri hakimdir. Hem finansal ve ekonomik hem de doğa da doğrusal ilişkilerin yerini doğrusal olmayan ilişkiler çevrelemektedir. Sistemin içerisindeki parçalardan birinin davranışı sistemin tüm parçalarının hareketini değiştirmektedir (Scheinkman and LeBaron, 1989, s.324).

Hisse senedi piyasaları ve döviz piyasaları davranışları, dış ticaret problemleri, bunalım ekonomileri, hiperenflasyon ve bankalar doğrusal olmayan denklemlerin çalışmaya başlandığı alanları oluşturmaktadır. Doğrusal olmayan denklemlerin ekonomik analizler içerisine dahil edilebilmesi, enformasyon teknolojisinin bir sonucudur. Kaotik davranışların ekonomi ve finansal ekonomi ile ilişkisini oluşturan bazı geliştirilmiş modeller vardır. Bu modeller sırasıyla; lojistik denklemi, tek boyutlu kesikli haritalar, yüksek dereceli kesikli haritalar ve sürekli zaman modelleridir. (William Barnett, Gallant, Hinich, Jungeilges, Kaplan, Jensen, 1996, s.46).

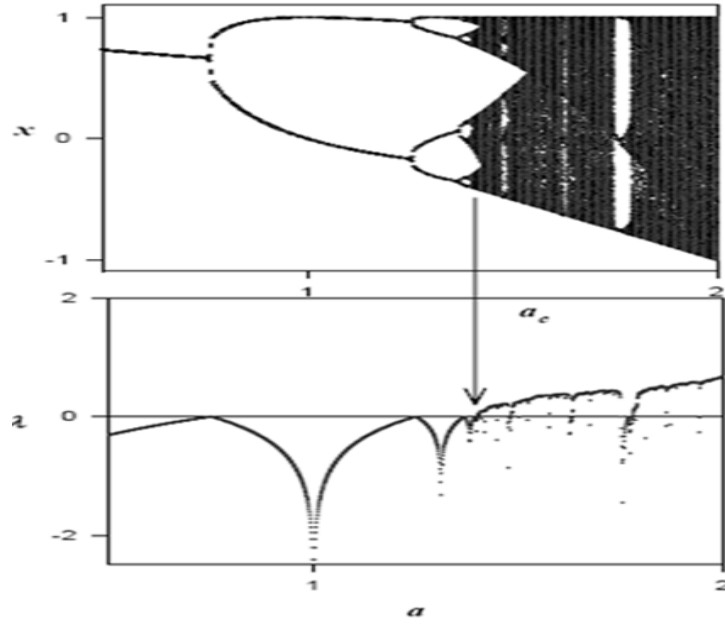
Günümüzde finans ve ekonominin gerçek yaşama dair bilgilerini sistematize etmek için problemler dinamik sistemler olarak modellenmeye başlanmıştır. Örneğin basit bir ekonomi modelinde, mevcut ekonominin durumu (t-1) anındaki yapılan yatırım, tüketim, tasarruf harcamaları ile sözkonusu t döneminde yapılan harcamalar ile açıklanmaya çalışılır. Bir veriyi durmadan aynı fonksiyona soktuğumuzda yine bir dinamik sistem karşımıza çıkacaktır. Burada yine ilk duruma karşı bir bağımlık sözkonusudur. Örneğin, X_0 , düşünülen fonksiyonda ilk değişken olsun. X_0 ilk durumda karşımıza $f(X_0)$ olarak çıkacaktır. İkinci veri birinci veriden türeyecek ve bu böyle devam edecektir : $X_0, f(X_0), f(f(X_0)), f(f(f(X_0))), \dots f^n(X_0) \dots$ (Brock, 1988, s.29).

Basit determinist modellerden gelişigüzel gibi görünen modeller de çıkması mümkündür. Hatta daha keskin eleştiriler barındıran bir ifadeyle, sosyal bilimlerde zaman içinde değişen sistemler incelenirken bu sistemleri sağlam kurallara bağlamaya çalışan ekonomist, demograf, psikolog, biyolog ve şehir plancılarının kullandıkları matematiksel modeller de gerçeğin bir karikatürü olmaktan ileri gidememektedir. Hayvan topluluklarındaki nüfus dinamikleri üzerinde çalışmış olan matematikçi Robert May'in ifadesiyle: "Basit denklemler gerçeği tam olarak temsil edemez" (Gleick, 1995, s. 87).

Biyolojik popülasyon modeli kaos teorisinin gelişmesinde önemli bir kilometre taşıdır. Mayıs 1976'da biyolog Robert May bu ve benzeri modellerin şaşkıncu davranışlarını inceleyen bir makale yayınlamıştır (May,1976, s.127). May modelini lojistik fonksiyonu ile oluşturmuştur. Biyolog Robert May'in bu lojistik eşitliği ($f^n(x_n) = x_{n+1} = ax_n(1-x_n)$), yada farklı kaynaklarda yazıldığı şekliyle $f(x) = \mu x(1-x)$ ($0 \leq x \leq 1$) bir ekolojik sistemin "x" nüfus seviyesine zaman içinde modellemek istemiştir (May, 1976). Bu eşitlik doğrusal olmayan parabolik bir eğridir. Eşitlikte; "x" popülasyonun sayısı, "a" (yada "μ") ise nüfus değişim parametresidir. "a" (yada "μ") sabit parametresi popülasyonun değişim hızını verir ve bu parametrenin eşitlik üzerindeki etkileri araştırıldığında; yani "a"ya (yada "μ"ya) karşılık x değişimi grafikselleştirilirse; çok önemli bazı sonuçlar elde edilir.

Kontrol parametresi $0 < a$ yada $\mu < 4$ aralığında tanımlıdır. "x" in tanım uzayı ise $0 \leq x \leq 1$ dir. Bu tarz kuadratik fonksiyonların en genel hali ise z-lojistik fonksiyonudur (May, 1976, s.49).

Lojistik fonksiyonu genel formda: $X_{t+1} = 1 - \mu |x_t|^z$ olup, $z = 2$ için $x_{t+1} = 1 - \mu [x_t]^2$ standart lojistik fonksiyonuna eşittir. Burada "x" in tanım uzayı $[x_t] \leq 1$; $t = 0,1,2,\dots$ μ (yada 'a') parametresi $0 < \mu < 2$ olarak ve z ise $z > 1$ şeklinde tanımlıdır. Görüldüğü gibi standart lojistik fonksiyonundan Z-lojistik fonksiyonuna geçerken sadece tanım aralıkları değişir. Şekil 2.4.'de $Z = 2$ için dallanma ve Lyapunov üsseli grafiği verilmiştir.



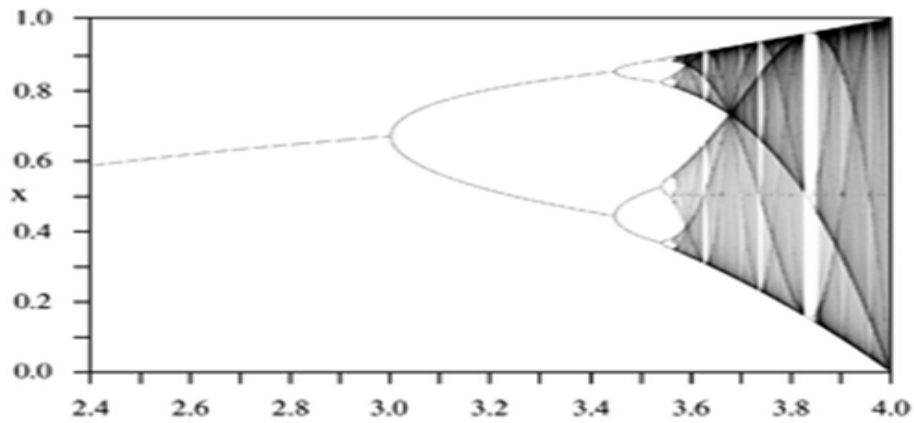
Şekil 2.4. $Z = 2$ için dallanma ve Lyapunov üsseli grafiği (Çelikoğlu, 2006, s.136)

Bu grafiğe göre, μ değeri arttıkça, populasyon önce düzenli olarak artar. Belli bir değere ulaştığında ise çatallaşarak (bifurcation) 2 periyod arasında salınım yapar. μ değeri daha da arttırılırsa, yeni çatallaşmalar olur. Belli bir değer üzerinde ise sistemin izlenebilirliği kaybolur ve sistem kaotik bölgeye girer. Asıl ilginç olan, μ değeri daha da arttırılınca sistem kaotik bölgeden çıkarak tekrar izlenebilen periyodik hareketlere tekrar başlar. Yani, nüfus büyüme parametresi μ 'in farklı değerleri için, nüfus seviyesinin çok farklı davranışlara girdiğini görülür. Bazı μ değerleri için nüfus bir sayıya yakınsarken, başka değerler için, bazı değerler arasında salınır, ve başka μ değerlerinde ise tahmin edilemeyen dengeye ulaşmayan rassalmiş gibi davranarak hareket eder. Nüfus seviyesinin (x) büyüme parametresi μ 'ya göre grafiği çizdiğinde, garip şekilli parçalanmış noktalar kümesi ile karşılaşılır. Sistem bu davranışını sürekli tekrar eder. Yani, yerel belirsizliklere resmin en dışından bakıldığında kati bir belirlilik (determinism) gösterir.

Dolayısı ile, $f(x) = \mu x(1-x)$, ($0 \leq x \leq 1$) için, " μ " positif sabit bir sayıdır. $0 < \mu \leq 1$ yada $\mu > 1$ olmasına göre " f " fonksiyonunun bir yada iki sabit noktası vardır. Yani, sabit nokta sayısı " μ " değerine bağlıdır. Fonksiyonun sabit " μ " sayısına bağımlılığını göstermek için: $Q_\mu = \mu x(1-x)$, ($0 \leq x \leq 1$) olarak yazabiliriz. $\mu > 0$ için $\{Q_\mu\}$ 'a, quadratik aile adı verilir, çünkü bu fonksiyonlar quadratik fonksiyonlardır. $\{Q_\mu\}$ şeklinde

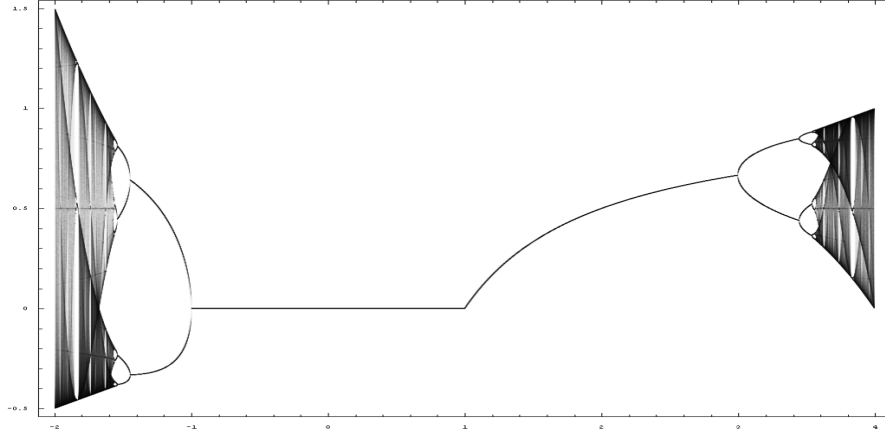
fonksiyonların tümüne “fonksiyonların parametrize ailesi” (yada, bir-parametre ailesi) ve “ μ ”e ise aile parametresi adı verilir. Parametrize fonksiyon ailelerinin, parametre “ μ ” değıştikçe yörüngelerinin değışmesine, fonksiyon ailesinin dinamiği adı verilir (Creedy, Martin, 1994, s.179).

Dinamik sistemler incelendikçe bu sistemlerde düzgün hareketlerin doğada yok denecek kadar az olduğu anlaşılmıştır. Mandelbrot bu düz ilişkilere ve düz geometriye karşı yeni bir bakış açısı getirmiş ve bu yeni geometirisini fraktal geometri olarak isimlendirmiştir. Fraktal bakış açısı basit dinamik sistemlerin uzun vadeli durumlarda evrime uğraması ve karmaşılaşmasıdır. Eğer $f(\mu)$ fonksiyonunun periyodik noktalarının sayısı yada doğası (çekiciye karşılık itici gibi), μ , μ_0 'dan geçerken değışiyorsa, $\{f, \mu\}$ parametrize fonksiyon Ailesinin μ_0 'da çatallaşmaya sahip olduğu ve μ_0 'a fonksiyon ailesinin çatallaşma noktası olduğu söylenir. Çatallaşma (bifurcate) sözcüğü Latince “iki dal” anlamına gelmektedir. Çatallaşma noktaları, parametrik fonksiyon ailesinin dinamik özelliklerinde değışimi işaret eder ve periyodik noktaların kalitesinin ve sayısının değışmesidir. Yani, çatallaşmalarda periyodik noktalar oluşur yada kaybolur yada buralarda periyodik noktalar çekici olur yada çekici özelliğini yitirir (Gullick, 1982, s.189). Çatallaşma grafiğinde yatay aksis μ 'u, dikey aksis ise x değışkenini gösterir.



Şekil 2.5. Lojistik fonksiyonu “ $f(x)= \mu x(1-x)$ ”nun $0 \leq x \leq 1$ ve $2.4 \leq \mu \leq 4$ aralığındaki çatallaşma grafiği (μ vs x)

(http://en.wikipedia.org/wiki/Bifurcation_diagram)



Şekil 2.6. Lojistik fonksiyonu “ $f(x)=\mu x(1-x)$ ”nun $0 \leq x \leq 1$ ve $-2 \leq \mu \leq 4$ aralığındaki çatallaşma grafiği (μ vs x)

(http://en.wikipedia.org/wiki/Bifurcation_diagram)

Lojistik fonksiyonu için “ x ” değişkeni 0 ve 1 arasında değerler alır ve $[0,1]$ arasında değerlere taşır. Verilen çatallaşma grafiğinde, μ ve x_0 ilk değerlerine bağlı olarak kaotik yörüngeler oluşmaktadır.

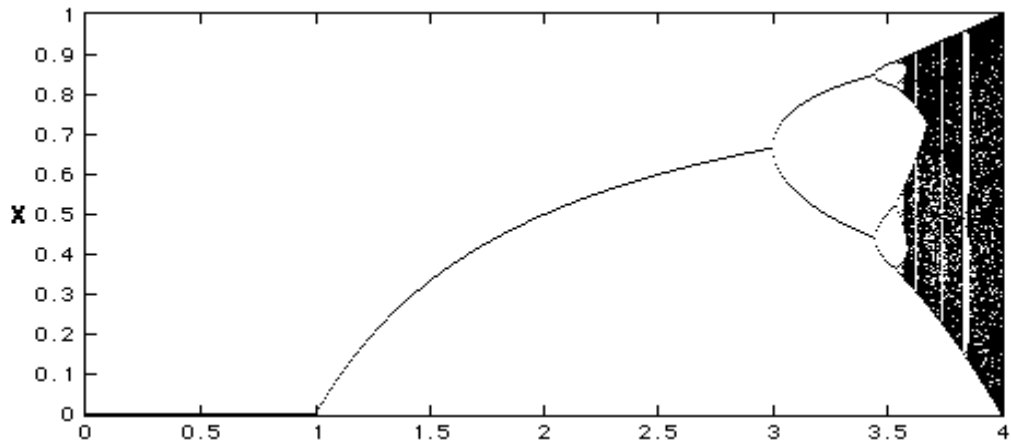
μ , $[2,3]$ aralığında iken x_n , x_0 ilk değerlerinden bağımsız olarak sabit bir noktaya yakınsar. Bu tür ilk değerlerin yakınsadığı kümelere çekici adı verilir. Burada sabit nokta çekicidir.

μ , 3’den büyük ise x_n serisi 2 periyodlu periyodik bir yörüngeye yakınsar. Yani, 2 periyodlu periyodik yörünge çekici olur. Eğer μ parametresinin değeri arttırılırsa, periyodik yörünge periyodu çiftler olarak artar. Yani, 4, 8, 16 vs olarak çoğalır. İşte bu şekilde μ parametresinin değişimi ile yörüngelerin değişmesine çatallaşma adı verilir.

Grafikte doğru çatallaştığında sabit nokta kararlılığını yitirir ve 2 periyodlu periyodik yörünge ve diğer 4, 8 vs periyodlu periyodik yörüngeler μ parametresinin artışıyla ortaya çıkar. Buna periyodu iki katına çıkaran çatallaşma adı verilir.

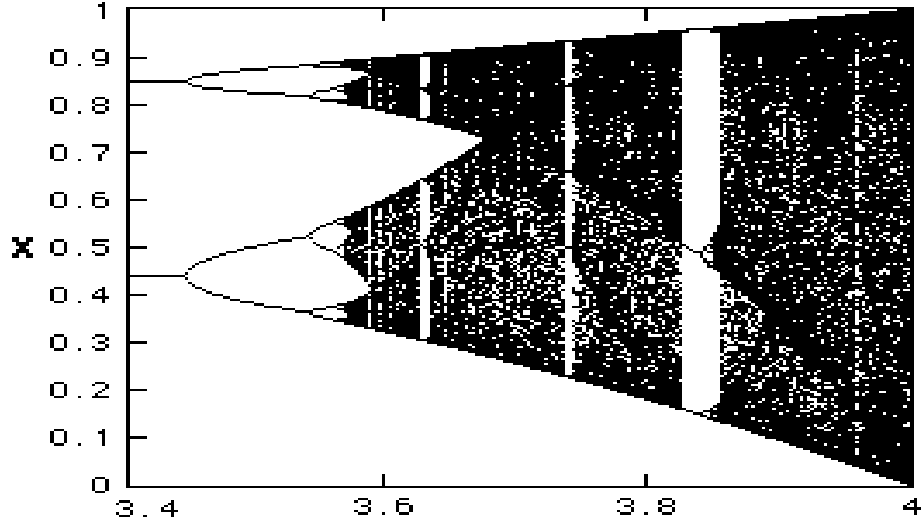
$\mu = 3.5699456$ noktasının ötesinde, kararlı periyodik yörünge yok olur ve kaos ortaya çıkar. Bu çeşit periyodun iki katına çıktığı yörüngelerden kaotik bölgeye geçiş, enerjisi korunmayan tüm sistemlerde evrensel olarak gözlenir (Falconer, 2003, s.117).

Çatallaşma, kontrol parametresi μ değiştiğinde periyodu ikiye katlayan, N -nokta çekiciden, $2N$ -nokta çekiciye değişmesine verilen addır. Çatallaşma grafiği ise, μ arttıkça periyodu ikiye katlamayı gösteren, μ 'a karşı x değişkeninin görsel özetini veren değişim grafidir. Lojistik fonksiyonunun çatallaşma grafiğinde μ , 1'den küçükken, tüm değerler $\mu=0$ üzerine gelir. Burada sıfır, tek nokta çekicisidir. μ , (1,3) aralığında ilerlediğinde tek nokta çekiciler vardır ama x 'in "çekilen" değerleri μ arttıkça artar. Daha ileri değerlerde, örneğin, $\mu=3$, $\mu=3.45$, 3.54, 3.564, 3.569 (yaklaşık olarak), vb. çatallaşmalar görülür. $\mu=3.57$ ötesinde kaotik bölgeye girilir. Bununla birlikte, sistem $\mu=3.57$ ötesindeki her değer için de kaotik değildir.



Şekil 2.7. Lojistik fonksiyonunun " $f(x) = \mu x(1-x)$ ($0 \leq x \leq 1$) ve $[0 \leq \mu \leq 4]$ aralığındaki çatallaşma grafiği (μ vs x)

(Kaynak: <http://www.vanderbilt.edu/AnS/psychology/cogsci/chaos/workshop/BD.htm>)



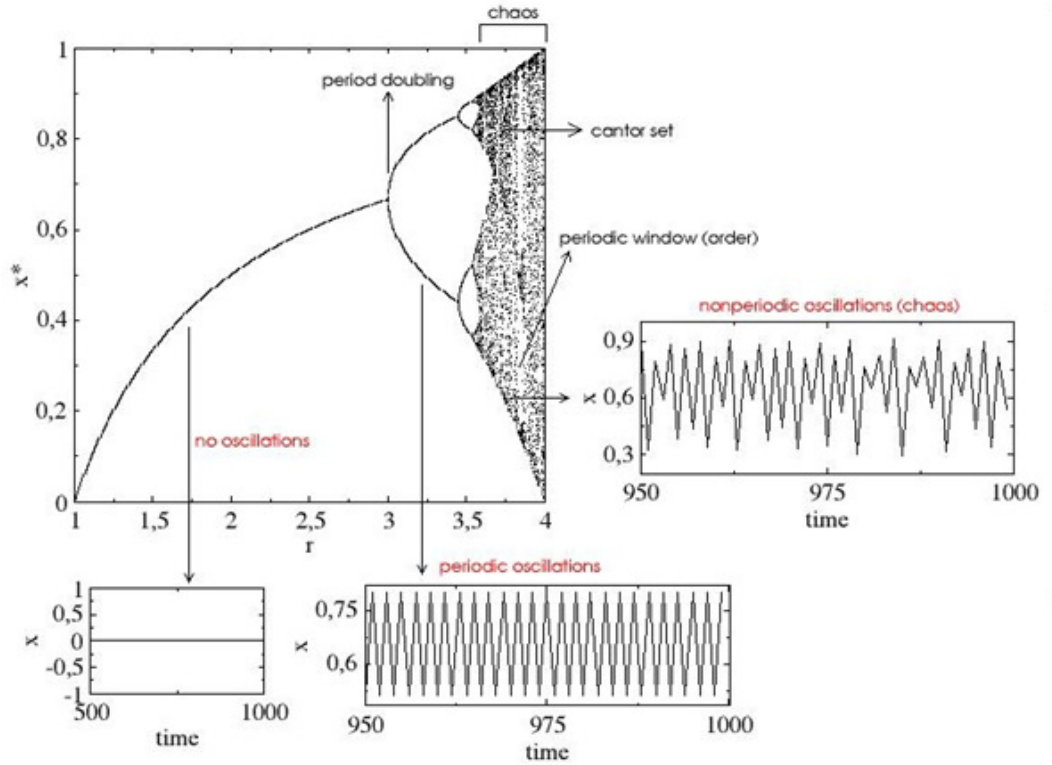
Şekil 2.8. Lojistik fonksiyonu “ $f(x)=\mu x(1-x)$ ”nun ($0 \leq x \leq 1$) ve $[3.4 \leq \mu \leq 4]$ aralığındaki çatallaşma grafiği (μ vs x)

(Kaynak:<http://www.vanderbilt.edu/AnS/psychology/cogsci/chaos/workshop/BD.htm>)

$[3.831874055 \leq \mu \leq 3.857082826]$ aralığında, 3'lü periyod gözlenir. York'un ünlü "3'lü periyod kaos anlamına gelir (Period 3 implies chaos)" (1975)' makalesinde de belirtildiği üzere, bu 3'lü periyod kaos bölgesi anlamına gelir.

3.57'den büyük μ değerlerinde “beyaz uzay” oluşur. $\mu=3.83$ noktasında çekici vardır. 3.57 ile 4 arasında zengin sayıda kaos ve düzen arasında geçişler mevcuttur. μ değerindeki küçük bir değişim kararlı bir sistemi kaotik yapabilir yada kararsız sistemi kararlı hale getirebilir.

Çatallaşma grafiklerinde resim büyütüldüğünde, birbirinin benzeri şekiller gözlenir. Bu kendi kendine benzer şekillere “fraktal” adı verilir.



Şekil 2.9. Lojistik fonksiyonunun detaylı çatallaşma diagramı (Kaynak: <http://complex.upf.es/~josep/Chaos.html>)

Bir sistem içinde genelde gözlenen davranış biçimlerindeki düzenliliğin, ayrıntılara girildikçe düzensizleşmesi, kaos kuramı'nın ortaya koyduğu gerçeklerdendir. Genel bir bakışla düzenli bir davranış biçimine sahip olduğu iddia edilebilecek bir sistemin davranışlarının aslında belirli bir süre sonra dallanma eğilimine girmesi ve nihayet kestirilemez “kaotik” özellikler göstermesi doğada ve gerçek dünyada oldukça sık rastlanan bir durumdur. Bu tür sistemler ise, “lojistik doğrusal olmayan sistem”ler olarak adlandırılmaktadır. Burada bir, “düzen-dallanma-kaos” üçlemesi söz konusudur. Ünlü Amerikalı matematikçi James Yorke ve Li'nin 1975 tarihli “Kaos 3. Periyotta Saklıdır” adlı makalesinde vurguladığı bu durumdur (Yorke&Li, 1975, s.990). Yorke&Li'den 10 yıl önce Ukraynalı matematikçi Sharkovsky 1965'te bu teoremin genel formunu ispatlamıştır (Keith Burns; Boris Hasselblatt, 2011, s. 229).

Ancak, yine Kaos Kuramı'nın ortaya koyduğu biçimde kaotik bir yapı içinde bile küçük kısa ömürlü istikrarsız düzen parçacıkları yer alabilmektedir. Fransız matematikçi Benoit Mandelbrot'un ABD pamuk fiyatları üzerindeki araştırması da bu iddiayı destekleyecek sonuçlar ortaya koyarak, en düzensiz görünen veri kümeleri içinde bile hiç umulmadık türden bir düzen olabileceğini ispat etmektedir (Gleick, 1995, s. 97). Yani, kaos içinde düzen ve düzensizliği birarada barındıran, düzen ve düzensizlik içinde sürekli gidip gelmelerin olduğu bir yapıdır.

Doğrusal etki ve sonuç ilişkisine dayanan Etkin Piyasalar Hipotezini Edgar Peters, doğrusal olmayan istatistik metodları, fraktallar ve doğrusal olmayan dinamik sistemler ile açıklanması gerektiğini savunmuştur. Piyasaların doğrusal yapıda olmadığını ve içlerindeki dengenin zaman içinde değiştiğini ve karmaşık bir yapıda olduklarını belirtmiştir. Edgar Peters'a göre piyasalarda optimal bir çözüme ulaşmak imkansızdır ve denge tek değildir. Doğrusal yapılarda geleneksel olarak tek bir denge noktasına ulaşılmaya çalışılır. Dolayısı ile Peters'a göre klasik ekonomide doğrusallaştırma düşünce yapısı hakimdir (Peters, 1991, s.136).

Etkin piyasalar hipotezi, hisse senedi fiyatlarının iktisadi gerçeklerle bağlantılı olduğunu ve mevcut tüm bilginin her zaman piyasaya katılacağını savunur. Bu, normal üstü kar fırsatlarının olamayacağı anlamına gelir. Bu hipoteze rağmen bazı araştırmalar bazı hisse senedi fiyatlarının iktisadi gerçeklere uygun olmayan davranışlarını ortaya koymuştur. Örneğin Summers (1986), "piyasa değerlemelerinin rasyonel değerlemelerden farklı olduğunu ve mevcut kanıtların piyasaların etkin olmadığını ortaya koyduğunu"nu savunmaktadır (Kenkul, 2006, s.42).

Etkin piyasalar hipotezi doğrusal modellerle ispatlanmaya çalışılmaktadır. Oysaki doğrusal olmayan kaotik modellerin gelişim hızı ve bu modellere olan ilgi son zamanlarda gittikçe artmaktadır. Bu ilginin çeşitli nedenleri vardır. Bu nedenlerden bir tanesi, bu süreçlerin olasılığa dayalı (stochastic) süreçlerin çıktıklarına benzer çıktılar meydana getirmeleri, bu nedenle de, hisse senedi fiyat davranışlarının açıklanmasında alternatif bir açıklama sunmalarıdır. Kaosun olası varlığı keşfedilebilir ve bu çok değerli bir bilgidir. Örneğin, eğer hisse senedi fiyatlarında

kaosun varlığı gösterilebilirse bu, karlı, doğrusal olmayan işlem kurallarının varlığı anlamına gelir (en azından kısa vadede ve gerçek mekanizmanın bilinmesi koşulu ile). Ancak uzun vadeli tahminler, kaosun ilk değerlere hassas bağımlılığı özelliği nedeni ile imkansızdır (Barnett and Serletis, 2004, s.719; Barnett et al, 1996, s.311).

Finansal piyasalarda istatistiksel yöntemlerin kullanımı Bachelier'in (1964) çalışması ile başlamıştır. Bu çalışmalar daha çok piyasa hareketlerinin normal bir davranış gösterdiğini kanıtlamaya yöneliktir. Ancak, ilk olarak Osborne (1964) hisse senedi piyasası için olasılık yoğunluk fonksiyonlarını oluşturduğunda yaklaşık olarak bir normallikten söz ederken dağılımın uç noktalarında beklenenin üzerinde hareketlerin gerçekleştiğini vurgulamıştır.

Mandlebrot (1964) pamuk fiyat değişimlerinin dağılımını normal dağılım ile mukayese etmiş ve kuyruklarda beklenenden daha fazla gözlem sayısı olduğunu vurgulamıştır. Mandlebrot (1964), bu tür davranış gösteren fiyat hareketlerini sonsuz varyansa sahip olan "Stable Paretian" dağılım özelliklerine sahip olduğunu göstermiştir. Fama (1965) hisse senetleri fiyat değişimlerini Mandlebrot'un (1964) yapmış olduğu çalışmadan yola çıkarak incelemiş ve paralel sonuçlar elde etmiştir. Aygören (2005) İstanbul Menkul Kıymetler Borsası (BİST) piyasa fiyat davranışlarının yapılan çalışmaların sonuçları ile benzer olduğunu tespit etmiştir.

Finansal piyasaların sistematik olmayan ve karmaşık olan bu yapısı akademisyenlerin ve yatırımcıların piyasalara farklı bir bakış açısıyla yaklaşmalarına neden olmuştur. Fractal geometrinin gelişmesiyle birlikte, karmaşık ve kaotik yapıya sahip olan piyasa davranışları daha net ortaya çıkarılmaya başlanmıştır (Mulligan, 2000, s.161; Mulligan, 2003, s.162; Peters, 1991, s.113).

İş dünyasındaki pek çok fikir ve faaliyet planlanması "dengeli sistemler" varsayımı üzerine kurulur. Herşeyi doğru yapıp en iyi sonuçları alan firmalara ve yöneticilere hayran olunur. Bu firmalar operasyonlarını en iyi sonucu alacak şekilde yönlendirmişlerdir. Ama bu firmaların yaptıklarını aynen kopyalayıp başka işlere

uygulayanlar aynı başarılı sonuçları alamayabilirler. Çünkü, en azından bazı parametreler farklı olacaktır. Dolayısı ile başarılarının sırrı, kendi işlerinin parametrelerini iyi yönetmeleri ve ne yaptıklarından değil, neden ve nasıl yaptıklarından öğrenmeleridir. Skalanın öteki ucunda kontrol edilemeyen sistemler vardır. Bunun iş dünyasındaki karşılığı batacak olan ya da başka firmalarca ele geçirilecek firmadır (Torsten, 1993, s.189).

Hisse senetlerinin piyasa fiyatlarının zaman serilerini tahmin etmek isteyenler için fiyatların en azından bazı bileşenlerinin deterministik olduğu düşüncesi büyük ilgi uyandırmıştır. Bu alandaki araştırmacılar, doğrusal modellere dayalı hipotezlerin tahmin gücünün zayıf olduğu inancını benimsemeye başlamışlardır. Bu da en azından kuramsal olarak hisse senedi fiyatlarının doğrusal olmayan yapısına odaklanmanın, geleneksel istatistiksel modellere göre çok daha büyük tahmin derecesine imkan vereceği inancını güçlendirmiştir (Pesaran and Potter, 1993, s.223).

Fractal geometri karmaşıklığın ve kaotik yapının geometrisidir. Euclid geometrisi doğayı simetrik nesnelere dönüştürürken (bir noktaya, bir doğruya, iki boyutlu bir düzleme ya da üç boyutlu bir şekle), Fractal geometri ise simetrik olmayan, karmaşık sistemleri irdellemektedir. Fractallar, parçaları bütünü ile benzerlik gösteren yapılardır. Örneğin ağacın dalları bütün ağaç düşünüldüğünde bütünü ile niteliksel açıdan benzerlik göstermektedir.

Finansal Piyasaların fractal yapıya sahip olmaları finansal piyasaların doğrusal olmayan sistemler olduğunun bir göstergesi olabilir. Bu noktada EPH sorgulanır bir hal almaktadır. Özellikle, finans literatüründe önemli yere sahip olan Markowitz'in (1952) ortalama-varyans yaklaşımı, Sermaye Varlıkları Fiyatlandırma Modeli (CAPM) (Sharpe, 1964, s.431), Black-Scholes (1973) opsiyon fiyatlama modelinin temel varsayımlarından olan fiyat hareketlerinin normal (Gaussian) dağılıma sahip olduğu kabulünün sorgulanması gerekebilir.

Ekonominin gelecekte ne olacağını sormak demek, bu yörüngenin şeklini sorgulamak anlamına gelecektir. Önemli olan, sistemin yakın geleceği değil, yeni hükümet politikaları yada beklenmeyen şoklar sonrasında sistemin durumunun ne olacağını tahmin edilmesidir (Creedy, 1994, s.217).

En basit doğrusal olmayan eşitliklerin (modellerin) dahi tahmin edilenden çok daha karmaşık yapıları olduğu bulunmuştur. Bilim insanları bir sistemin dengesiz bir “p” noktası yakınlığında çok küçükte de olsa farklı ilk değerlerin, sistemin uzun vadeli davranışlarında çok büyük farklılıklara neden olduğunu bilmektedirler. Ancak beklemedik husus, bu dengesizliğin tüm durum uzayı boyunca, bazen her noktada ancak sıklıkla durum uzayının garip şekilli parçalanmış (fragmented) alt kümelerinde oluştuğudur. Tam sayı olmayan bu kesirli boyutlara “fraktal” adı verilmiştir. Kaotik sistemlerin ilk şartlarındaki en ufak farklılıklar (virgülden sonraki binler hanesindeki farklılıklar bile), sistemin uzun vadeli davranış yörüngesinde çok büyük farklılıklara neden olmaktadır. Gerçek Dünyada bir nokta matematiksel olarak %100 tamlıkta belirlenemeyeceği için, kaotik sistemlerin uzun vadeli durum tahmini imkansızdır (Trippé, 1995, s.199).

2.2. Konu ile İlgili Yayınlar ve Çalışmalar

Finans literatüründe EPH, eğrisel analizler ve kaos alanında çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda bilimsel gelişmenin doğası gereğince kesin tek sonuçlara ulaşılamamıştır. EPH alanında yapılan bazı çalışmalar piyasaların etkinliğini savunurken, bazı diğer çalışmalar piyasaların etkin olmadığı ileri sürmektedir. Kaos ve eğrisel analizler alanında yapılan çalışmalarda da durum farklı değildir. Bazı araştırmalar finansal piyasalarda kaos ve eğriselliği savunurken, diğerleri kaos’un varlığını reddetmektedir. Ancak tüm bu araştırmalarda ağırlıklı olarak elde edilen sonuç, finansal sistemlerde eğriselliğin olduğudur.

Bu bölümde, EPH, eğrisel analizler ve kaos alanında yapılmış olan bu araştırma kapsamındaki çalışmalar verilmektedir.

2.2.1. Etkin Piyasalar Hipotezi İle İlgili Çalışmalar

Literatürde etkin piyasa hipotezini ve bu bağlamda hisse senedi fiyatları ve getirilerinde uzun hafızanın varlığını araştıran çok sayıda çalışma mevcuttur. Hisse senedi piyasası verilerinde uzun hafızanın varlığı durumunda etkin piyasa hipotezi geçerliliğini yitirmektedir. Eğer menkul kıymet fiyatları uzun hafıza özelliği gösterirse, menkul kıymet fiyatları tahmin edilebilir yapıya sahip olacak ve fiyatlardaki geçmişe ait eğilim gelecek fiyat tahminleri için kullanılabilir olacaktır. Bundan dolayı, menkul kıymet fiyatlarında uzun hafızanın varlığı zayıf formda etkin piyasa hipotezinin geçerli olup olmadığı hakkında bilgiler sunacaktır (McMillan and Thupayagale: 2008: 1, s.4454).

Blasco ve Santamaria (1996), İspanya hisse senedi ve alt sektör endeks değerlerinin uzun hafıza özelliğine sahip olup olmadığını 1980 ile 1993 yılları arasında günlük veriler kullanarak araştırmışlardır. Hisse senedi getirilerinde uzun hafızanın varlığı yarı parametrik yöntemler kullanılarak araştırılmış ve analiz sonucunda İspanya hisse senedi piyasası getirisinin uzun hafıza özelliği gösterdiğine (piyasanın etkin olmadığına) dair bulgular elde edememişlerdir. Barkoulas, vd. (1999), 1981 ile 1990 yılları arasında haftalık veriler kullanarak Yunanistan hisse senedi piyasasında zayıf formda etkin piyasa hipotezinin geçerliliğini araştırmışlardır. Yarı parametrik yöntemlerin uygulandığı çalışmada Yunanistan hisse senedi piyasasının zayıf formda etkin olmadığını tespit etmişlerdir. Ayrıca tahmin ettikleri bütünleşme parametre değerlerini ARFIMA modellerde kullanmışlar ve uzun dönemli öngöründe ARFIMA modelin daha iyi sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir. Resende ve Teixeira (2002) tarafından Brezilya hisse senedi piyasasının dikkate alındığı çalışmada 1986 ile 1999 yılları arasında haftalık veriler kullanılmıştır. Çalışmada örneklem dönemi Brezilya'da istikrar politikalarının uygulanmaya konulduğu 1994 yılına göre iki alt döneme ayrılmıştır. ARFIMA model sonuçlarına göre, her iki dönem için uzun hafızanın varlığına dair bulgular elde edememişlerdir. Tolvi (2003-a), 16 OECD ülkesinin hisse senedi piyasaları analiz ettiği çalışmasında 1960 ile 1999 yılları arasında aylık veriler kullanmıştır. Analiz sonucunda birçok ülkenin hisse senedi piyasasının bütünleşme derecesinin parçalı

yapıda olduğunu belirlemiştir. Tolvi (2003-b), 1987 ile 2001 yılları arasında günlük veriler kullanarak Finlandiya hisse senedi piyasasında uzun hafızanın varlığını araştırmıştır. Parametrik ve yarı parametrik yöntemlerin sonucuna göre, Finlandiya hisse senedi endeks getirisinin ve firmalara ait hisse getirilerinin bütünleşme derecelerinin parçalı yapıda olduğuna (piyasanın etkin olmadığına) dair kanıtlar sunmuştur. Caporale ve Gil-Alana (2004), S&P500 endeksi için yapmış oldukları çalışmalarında 1928 ile 1991 yılları arasında günlük veriler kullanmışlardır. Gerek tüm örneklem, gerekse 1000 gözlemlili alt örneklem için elde ettikleri sonuçlara göre, S&P-500 endeks getiri serisinin parçalı yapıda bütünleşik olduğunu (etkin olmayan piyasa) tespit etmişlerdir. Çünkü, parçalı yapının varlığının tesbiti piyasaların etkin olmadığı anlamına gelir. Vougas (2004), Atina hisse senedi piyasası endeks getirilerinde uzun dönemli bağımlılığın varlığını 1990 ile 2000 yılları arasında günlük veriler kullanarak araştırmışlardır. ARFIMA ve ARFIMA-GARCH model sonuçlarına göre, Atina hisse sendi piyasasında güçlü hafızanın varlığına (etkin olmayan piyasa) dair bulgular belirleyememişlerdir.

Gil-Alana (2006), Amsterdam, Frankfurt, Hong Kong, Londra, New York, Paris Singapur ve Japonya borsaları üzerine yapmış olduğu çalışmasında 1986 ile 1997 yılları arasında günlük veriler kullanmıştır. Parametrik ve yarı parametrik yöntemlerinin kullanıldığı çalışmada ülkelere ait hisse senedi piyasası endeks değerlerinin durağan olmadığını tespit etmiştir. Cajueiro ve Tabak (2006), Çin hisse senedi piyasasında endeks getiri serisinde uzun dönemli bağımlılık olduğunu (piyasanın etkin olmadığını) tespit etmişlerdir. Elder ve Serletis (2007), Dow Jones endeksi üzerine yapmış oldukları çalışmalarında 1928 ile 2006 yılları arasında günlük veriler kullanmışlardır. Yarı parametrik yöntem ve dalgacık (wavelet) tahmin yöntemi kullanarak endeksin parçalı bütünleşme derecesinin sıfırdan farksız olduğunu tespit etmişlerdir. Lux ve Kaizoji (2007), Tokyo hisse senedi piyasasında 100 firmanın hisse getirileri için yapmış olduğu çalışmasında 1975 ile 2001 yılları arasında günlük veriler kullanmıştır. GARCH, FIGARCH ve ARFIMA modelleri kullandığı çalışmasında öngörü performansında uzun hafıza modellerinin daha iyi sonuçlar elde ettiğini tespit etmiştir. McMillan ve Thupayagale (2008), Güney Afrika hisse senedi piyasası getirisi üzerine yaptıkları çalışmalarında 1987 ile 2007 yılları arasında günlük veriler kullanmışlardır. Tüm örneklem dönemi ve hisse senedi

piyasası reformlarının başladığı tarih olan 1995-2007 tarihleri arasındaki veriler için ARFIMA-FIGARCH modeli kullanarak piyasanın etkinliğini araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, ortalama getiri de uzun hafızanın varlığına dair sonuçlar elde edemezken (etkin piyasa) oynaklıkta güçlü hafızanın olduğu sonucuna varmışlardır. Kang vd. (2010) yarı parametrik yöntemler kullanarak Çin hisse senedi endeksi getirisinin oynaklığında uzun hafızanın (etkin olmayan piyasanın) varlığına dair bulgular elde etmişlerdir.

Literatürde BİST üzerine de yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar farklı örneklem dönemleri için farklı yöntemler kullanarak, BİST’de etkin piyasalar hipotezinin geçerliliğini araştırmışlardır. Bu çalışmaların bir kısmı aşağıda verilmiştir.

Balaban (1995) 1988 ile 1994 yılları arasında günlük veriler kullanarak hisse sendi fiyatlarının rastsal yürüyüş izlemediğini yani BİST’nin etkin bir piyasa olmadığını tespit etmiştir. Balaban vd. (1996), BİST’de etkinliğin sağlanmadığı yönünde güçlü deliller bulmuşlardır. Kılıç (2004) GPH ve FIGARCH modelleri kullandığı çalışmasında BİST 100 endeksi getirisinin uzun hafıza özelliği gösterdiğini ve buna bağlı olarak etkin bir piyasa olmadığını tespit etmiştir. Christodoulou-Volos ve Siokis (2006), Türkiye ve 33 ülke hisse senedi piyasası üzerine yapmış olduğu çalışmasında günlük veriler kullanmıştır. Yarı parametrik yöntemler kullandıkları çalışmalarında tüm ülkelerin %65’i için hisse senedi getirilerinde uzun dönemli bağımlılık (etkin olmayan piyasa) tespit etmişlerdir. Bununla birlikte BİST için elde ettikleri sonuçlara göre uzun hafızanın varlığına dair çok az bulgu elde edebilmişlerdir. Atan, Özdemir vd., (2006) Lo’nun (1991) uyarlanmış R/S istatistiği ve GPH yöntemi kullanarak BİST 100 endeksinin zayıf formda etkin olduğu sonucuna varmışlardır. Assaf (2007, s.713) Mısır, Ürdün, Fas ve Türkiye hisse senedi piyasaları üzerine yapmış olduğu çalışmasında 1997 ile 2002 yılları arasında günlük veriler kullanmıştır. Çalışmasında yarı parametrik yöntemleri kullanarak bu ülkelere ait hisse senedi piyasalarının getiri serilerinde parçalı yapının varlığını tespit etmiş ve buna bağlı olarak bu piyasaların etkin olmadığını belirtmiştir. Disario vd. (2008), BİST 100 endeksi üzerine yapmış oldukları çalışmalarında 1988 ile 2004

yılları arasında günlük veriler kullanmışlardır. Dalgacık yöntemi kullandıkları çalışmalarında BİST 100 endeksinin getiri serisinde uzun hafızanın varlığını tespit etmişler ve etkin piyasa hipotezinin gerçekleşmediğini belirtmişlerdir. Korkmaz vd. (2009) ARFIMA-FIGARCH yöntemi kullanarak BİST 100 endeksinin getiri ve oynaklığında uzun hafızanın varlığını araştırmışlar ve analiz sonucuna göre, endeksi getirisi uzun hafıza özelliği göstermezken, oynaklığın uzun hafızaya sahip olduğu sonucuna varmışlardır.

Literatürde EPH'ini destekleyen çok sayıda araştırma vardır (Kendall, 1953; Brealey, 1970; Dryden, 1970; Cunningham, 1973; Brock, 1987). İngiltere menkul kıymetler borsalarında yapılan çalışmalar, zayıf formda piyasa etkinliğini saptamışlardır. Bu araştırmacılar, Birleşik Krallık (UK) menkul kıymet fiyatlarının rassal (bed) dağılıma sahip olarak hipotezlerini kurmuşlardır.

Fama (1965), “doğrusal modelleme tekniklerinin menkul kıymet fiyatları zaman serilerinin içinde yer alan karmaşık şablonları yakalayabilecek derecede sofistike modeller olmadığı”ni ifade etmiştir. Ek olarak, Borsa İstanbul (BİST) verileri ile yapılan çalışmaların çoğunluğu, kaos'un varlığını değil, zayıf formda piyasa etkinliğini desteklemektedir (Kenkül, (2006); Topçuoğlu, (2006); Çıtak, (2003); Adalı, (2006)).

Piyasa etkinliği konusunda yapılan ve bu araştırmada incelenen çalışmalar Tablo 2.1.'de verilmiştir.

<i>Çalışma</i>	<i>Veri</i>	<i>Test</i>	<i>Sonuçlar</i>
Blasco ve Santamaria (1996)	1980-1993 İspanya hisse senedi ve alt sektör endeks değerleri	Yarı parametrik yöntemler ARFIMA modeli	Piyasalar etkin değil
Barkoulas, J., Labys, W.C., ve Onochie, J.I. (1999)	Yunanistan hisse senedi piyasası	Yarı parametrik yöntemler ARFIMA modeli	Piyasalar etkin değil
Tolvi (2003-a)	16 OECD ülkesinin 1960-1999 hisse senedi piyasaları	Yarı parametrik yöntemler ARFIMA modeli	Piyasalar etkin değil
Tolvi (2003-b)	1987-2001 Finlandiya hisse senedi piyasası	Yarı parametrik yöntemler ARFIMA modeli	Piyasalar etkin değil
Caporale ve Gil-Alana (2006)	1928-1991 S&P500	Yarı parametrik yöntemler ARFIMA modeli	Piyasalar etkin değil
Cajueiro ve Tabak (2006)	Çin hisse senedi piyasası	Yarı parametrik yöntemler	Piyasalar etkin değil
McMillan ve Thupayagale (2008)	1987-2007 Güney Afrika hisse senedi piyasası	ARFIMA-FIGARCH modeli	Piyasalar etkin değil
Kang, S.H., Cheong, C., ve Yoon, S-M. (2010)	Çin hisse senedi piyasası	Yarı parametrik yöntemler	Piyasalar etkin değil
Balaban (1995)	1988-1994 IMKB	Yarı parametrik yöntemler	Piyasalar etkin değil
Kılıç (2004)	IMKB-100 Endeks	GPH ve FIGARCH modelleri	Piyasalar etkin değil

Tablo 2.1. Piyasaların etkinliği konusunda yapılan çalışmaların yayınlanmış sonuçları

<i>Çalışma</i>	<i>Veri</i>	<i>Test</i>	<i>Sonuçlar</i>
Christodoulou-Volos ve Siokis (2006)	Türkiye ve 33 ülke hisse senedi piyasası	Yarı parametrik yöntemler	%65'i için piyasalar etkin değil, ancak IMKB piyasasının etkin olmadığına dair kanıt elde edememişlerdir
Assaf (2007)	1997-2002 Mısır, Ürdün, Fas ve Türkiye hisse senedi piyasaları	Yarı parametrik yöntemler	Piyasalar etkin değil
Disario, R., Saraoglu, H., McCarthy, J., ve Li, H. (2008)	1988-2004 IMKB-100 Endeks	Wavelet metodu	Piyasalar etkin değil
Bayramoğlu M.,F., (2007)	IMKB-100 Endeks	Neural networks metodu	Piyasalar etkin değil
Özgen, D., (2007)	IMKB-30 Endeks	Neural networks methodu	Piyasalar etkin değil
Resende ve Teixeira (2002)	1986-1999 Brezilya hisse senedi piyasası	Yarı parametrik yöntemler ARFIMA modeli	Piyasanın etkin olmadığına dair kanıt elde edememişlerdir
Kendall, M.G. (1953)	FTSE 100	Parametric metodlar	Zayıf formda piyasa etkinliği mevcut
Brealey RA (1970)	FTSE 100	Parametric metodlar	Zayıf formda piyasa etkinliği mevcut
Dryden, M.M., (1970).	FTSE 100	Parametric metodlar	Zayıf formda piyasa etkinliği mevcut
Cunningham SW (1973)	FTSE 100	Parametric metodlar	Zayıf formda piyasa etkinliği mevcut

Tablo 2.1. Piyasaların etkinliği konusunda yapılan çalışmaların yayınlanmış sonuçları (devam)

<i>Çalışma</i>	<i>Veri</i>	<i>Test</i>	<i>Sonuçlar</i>
Brock WA (1987)	S&P	Parametric metodlar	Piyasa etkin
Kenkül, (2006)	IMKB	Geometrik brownian hareket süreçleri	Zayıf formda piyasa etkinliği mevcut
Topçuoğlu, (2006)	IMKB	R/S, BDS, NEGM	Kaos yok; Zayıf formda piyasa etkinliği mevcut
Çıtak, (2003)	IMKB	Parametric metodlar	Zayıf formda piyasa etkinliği mevcut
Adalı, (2006)	IMKB	Parametric metodlar	Kaos yok; Zayıf formda piyasa etkinliği mevcut
Vougas (2004)	1990-2000 Atina hisse senedi piyasası	ARFIMA ve ARFIMA-GARCH	Piyasanın etkin olmadığına dair kanıt elde edememişlerdir
Atan, Özdemir vd., (2006)	IMKB-100 Endeks	R/S istatistiği ve GPH yöntemi	BİST 100 endeksi zayıf formda etkin

Tablo 2.1. Piyasaların etkinliği konusunda yapılan çalışmaların yayınlanmış sonuçları (devam)

2.2.2. Kaos Kuramı ve Eğrisellik İle İlgili Çalışmalar

Tablo 2.1.'de de verildiği üzere, piyasa etkinliği konusunda tamamı ile uzlaşmış tek bir sonuç yoktur. Ancak yapılan çalışmaların çoğunluğunda piyasaların etkin olmadığı yönünde bulgulara ulaşılmıştır. Bu çalışmanın da özünü şu soru oluşturmaktadır: finansal piyasalar rassal mıdır yoksa nedensel bir yapıya mı sahiptir? Piyasa zaman serilerinin rassal (bed) olması etkin olması demektir. Piyasa zaman serilerinin kaotik olması ise, nedensel olması anlamına gelmektedir. Bu

bağlamda, finansal piyasalarda doğrusal olmamayı ve kaotik yapıları araştıran çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Barnett et al. (1992) çalışması, ABD para piyasalarında kaosu varlığını desteklemektedir. Bu sonuç diğer bazı araştırmacılarca da desteklenmiştir (Örn. Hinich and Rothman 1998; Barnett and William, 2004). Ek olarak, döviz para piyasası da kaos'un tespit edildiği önemli piyasalardandır (Mantegna and Stanley, 2000; Das and Das, 2007). Pek çok araştırmacı finansal piyasa zaman serilerinin doğrusal olmayan dinamik özellikler gösterdiği, yani doğrusal karakteristiğe sahip olmadığı konusunda hem fikirdirler (Granger and Newbold, 1974; Campbell et al., 1997; Lee et al., 1993; Bonilla et al., 2006). Pek çok finansal türev piyasalar da doğrusal olmayan özelliklere sahiptir (Mantegna and Stanley, 2000). Bu nedenle, finansal ekonometri açısından doğrusal olmayan modeller kullanmanın en uygunu olacağı ifade edilmiştir (Barnett and William, 2004; Barnett, 2004; Barnett and Hinich, 1992).

Abhyankar v.d'lerinin (1997) bulguları da finansal ve iktisadi piyasaların doğrusal olmadığı sonucu ile tutarlıdır. Scheinkman ve LeBaron (1989) ABD Menkul Kıymet Fiyatları Araştırma Merkezinin (CRSP) ağırlıklı verilerine BDS istatistiğini uyguladıklarında, doğrusal olmama için çok güçlü kanıtlar bulmuşlar ve kaos'un varlığı için ise bazı kanıtlar elde etmişlerdir. Frank Stengos (1989) ise, korelasyon boyutu ve Kolmogorov entropy yöntemlerini altın ve gümüş piyasasının günlük fiyat verilerine uygulamışlar ve benzer sonuçlara ulaşmışlardır. Serletis ve Gogas (1997), yedi Doğu Avrupa kara borsası verilerinin kaotik doğrusal olmama süreci ile tutarlı sonuçlar verdiğini bulmuşlardır. Sewell v.d., (1993), Japonya, Hong Kong, Güney Kore, Singapur ve Tayvan para piyasalarında piyasa endeksinde doğrusal olmayan bağıllık bulgusuna ulaşmışlardır. De Lima (1995), ABD verilerini kullanarak 1987 krizi sonrası hisse senedi getirilerinde doğrusal olmayan bağımlılığın varlığını bulmuşlardır. Türkiyede BİST verileri ile yapılan çalışmalar piyasanın etkin olmadığını göstermişlerdir (Bayramoğlu, 2007; Özgen, 2007).

Piyasalarda kaos'un varlığı yönünde olumlu sonuçlar olmakla beraber, kaos'un olmadığı sonucuna varan araştırmalarda vardır (Lee et al., 1993, s.280). Hamill ve Opong (1997), İrlanda hisse senedi piyasasında doğrusal olmayan bağımlılığın varlığını bulmakla beraber kaos'un mevcudiyeti yönünde bulgular elde edememişlerdir. Willey (1992), Financial Times Endüstriyel index ile yaptığı çalışmada kaos'un varlığına ulaşamamıştır.

Finansal piyasa zaman serilerinde doğrusal olmamayı ve kaotik yapıların varlığını araştıran tüm bu çalışmaların özeti aşağıda Tablo 2.2.'de verilmiştir. Bu çalışmalarda da kesin tek bir sonuç yoktur. Ancak, bu zaman serilerinin çoğunluğunun rassal olmaması, serilerin doğrusal olmaması ve kaotik yapının varlığı sonuçları dikkate değer bulunmaktadır.

<i>Çalışma</i>	<i>Veri</i>	<i>Test</i>	<i>Sonuçlar</i>
Serletis ve Gogas (1997)	7 Doğu Avrupa kara borsa döviz piyasası	a. BDS	a.iid (rassal) değil
		b.NEGM	b.Kaosun varlığı hakkında az kanıt
		c.Gencay&Dechert	b.Kaosun varlığı hakkında kanıt yok
Abhyankar, Copeland, Wong (1997).	Dört menkul kıymetler borsasının gerçek zamanlı getirileri	a.BDS	a.iid (rassal) değil
		b.NEGM	b.Kaosun varlığı hakkında kanıt yok
Frank ve Stengos (1989)	FTSE 100	a.Bispectral linearity test	Doğrusal değil
		b.BDS	a.iid (rassal) değil
		c.NEGM	b.Kaosun varlığı hakkında kanıt yok
Hsieh (1991)	S&P 500 haftalık ve CRSP değer ağırlıklı getirileri	BDS	a.iid (rassal) değil

Tablo 2.2. Finansal verilerdeki doğrusal olmama ve kaos testlerinin yayınlanmış sonuçları

<i>Çalışma</i>	<i>Veri</i>	<i>Test</i>	<i>Sonuçlar</i>
Frank ve Stengos (1989)	Altın ve Gümüş getiri oranları	a.Korelasyon Boyutu	a.Dc=6-7
		b.Kolmogorov Entropy	b.Düşük boyutlu Kaos
Hinich ve Paterson (1989)	Dow Jones Endüstriyel Ortalaması	Bispectral Gaussianity ve Doğrusallık testleri	Gaussian Değil & Doğrusal Değil
Scheinkman ve LeBaron (1989)	CRSP günlük değer ağırlıklı getirileri	BDS	Doğrusal olmama için kanıt
Brockett vd. (1988)	10 ABD menkul kıymeti ve \$-Yen spot ve forward pariteleri	Bispectral Gaussianity ve Doğrusallık testleri	Gaussian Değil & Doğrusal Değil
Barnett William, Gallant, A.R., Hinich, M.J., Jungeilges, J., Kaplan, D., Jensen M.J., (1996)	ABD Para piyasası	Bispectral doğrusallık testi, BDS, NEGM	Doğrusal değil & Kaotik
Hinich and Rothman (1998)	ABD Para piyasası	Korelasyon Boyutu & Kolmogorov Entropy	Doğrusal değil & Kaotik
Barnett and William, (2004)	ABD Para piyasası	BDS & NEGM	Doğrusal değil & Kaotik
Mantegna and Stanley, (2000)	ABD Para piyasası	Bispectral doğrusallık testi, BDS, NEGM	Doğrusal değil & Kaotik
Das and Das, (2007)	ABD Para piyasası	BDS & Gencay&Dechert	Doğrusal değil & Kaotik
Granger and Newbold, (1974)	S&P	Spurious regressions	Doğrusal değil

Tablo 2.2. Finansal verilerdeki doğrusal olmama ve kaos testlerinin yayınlanmış sonuçları (devam)

<i>Çalışma</i>	<i>Veri</i>	<i>Test</i>	<i>Sonuçlar</i>
Campbell YJ, Lo AW, MacKinlay AC (1997)	S&P	Ekonometrik Analizler	Doğrusal değil
Lee, T.H., White, H., Granger, C., (1993)	S&P	Neural networks methodu	Doğrusal değil ancak kaotik değil
Bonilla CA, Romera-Meza R, Hinich MJ (2006).	Latin America Markets	BDS	Doğrusal değil
Sewell, S.P., Stansell S.R., Lee I., Pan, M.S., (1993).	Japonya, Hong Kong, Güney Kore, Singapur ve Tayvan para piyasaları	BDS	Doğrusal değil
De Lima (1995)	S&P	BDS	Doğrusal değil
Bayramoğlu M.,F., (2007)	IMKB-100 Endeks	Neural networks metodları	Piyasalar etkin değil
Özgen, D., (2007)	IMKB-30 Endeks	Neural networks methods	Piyasalar etkin değil
Hamill, Opong, (1997)	İrlanda menkul kıymetler borsası	BDS & NEGM	Doğrusal değil ancak kaotik değil
Willey, T. (1992)	FTSE 100	Korelasyon Boyutu & Kolmogorov Entropy	Doğrusal değil ancak kaotik değil

Tablo 2.2. Finansal verilerdeki doğrusal olmama ve kaos testlerinin yayınlanmış sonuçları (devam)

3. ARAŞTIRMA METODOLOJİSİ

Bir sistemde kaos analizi yapılabilmesi için bazı gerekli şartlar vardır. Bunlardan ilki, sistemde doğrusal olmayan eleman veya elemanlar olmasıdır. Doğrusal sistemde kausun gözlenmeyeceği bilinmektedir. Şartlardan ikincisi ise, sürekli zamanlı sistemler için ve ayrık zamanlı sistemler için farklılık göstermektedir. Sistem sürekli zamanlı bir sistem ise, kausun aranabilmesi için ikinci şart en az 3. dereceden bir sistem olmasıdır. Fakat ayrık zamanlı sistemde böyle bir şart yoktur. Ayrık zamanlı sistem birinci dereceden dahi olsa, kaos analizi yapılabilmektedir. Lojistik fonksiyonu buna bir örnektir. Kaos analizi yapabilmek için bahsedilen iki şart gerekli şartlardır, yeterli şartlar değildir. Yani bu şartlara uyan sistemlerde kaos analizi yapılabilir fakat kesinlikle kaotik davranış yargısına varılamaz. Bir sistemde kaos gözlenebilmesi için yeter şart, sistemin yörüngesinin başlangıç koşullarına duyarlı olmasıdır (Baker and Gollub,1990, s.179).

Tek boyutlu bir zaman serisi şeklinde kayıt edilmiş olan sinyaller bir sistemin dinamik özellikleri hakkında bilgi verir. Sinyaller, fiziksel sistemlerde sistem çıktılarının zamana karşı serilerine verilen addır. Özellikle düzensiz bir dinamik sistemin davranışlarını anlayabilmek için sisteme ait olan durum değişkenlerinden belirli zaman aralıklarıyla elde edilmiş ölçümlerden çizilebilen sistemin zamansal evrimini bilmek önem taşımaktadır. Kaos bulguları başlarda ağırlıklı olarak mekanik ve elektronik gibi fiziksel sistemlerde gözlemlenmiştir ve analiz yöntemleri de ilk olarak bu sistemler üzerinde geliştirilmişlerdir. Sosyal bilimlerde kullanılan veriler de zaman serileri olduğu için, sinyal analizlerinde kullanılan yöntemler sosyal bilimler alanına kolaylıkla transfer edilebilmiştir. Sistemin zamansal evrimi, sistemin dinamiğini tanımlayan bağımsız değişkenler tarafından yeniden oluşturulan faz uzayındaki çekicisinin yörüngeleri ile temsil edilir (Baker and Gollub,1990, s.179; Rasband, 1990, s.149; May, 1976, s.45; Gleick, 1995, s.51; Yalçın, 2005, s.37).

Sistemlerin kaos analizlerinin yapılabilmesi için, sistemin zaman serisinin faz uzayına transfer edilmesi gerekmektedir. Mekanik sistemlerin zaman serileri, zamana

karşı konum grafiğine verilen addır. Elektriksel sistemler yada diğer sistemlerde, analiz edilmek istenilen diğer değişkenler konumun yerini alır. Bir sistemin zaman serisi faz uzayına transfer edilirken, değişkene karşı, değişkenin ilk türevinin grafiği çizilir. Örneğin zaman-konum grafiğinde, konumun zamana karşı ilk türevi hız olduğundan, konum-hız grafiği sistemin faz uzayıdır. Bir düzensiz sistemde gözlemlenen dinamik davranışlar için sürecinin kaotik olup olmadığını belirlemede yeniden kurulan faz uzayındaki sistemin çekicisinin kapasite, bilgi, korelasyon vb. boyut değerleri kullanılmaktadır (Koçak, 1996, s.41; Yalçın, 2005, s.38).

Bu çalışmada, bu bilgiler ışığında oluşturulmuş olan testlerin literatür taraması yapılmıştır. Literatürde eğrisellik ve kaos analizleri için çok sayıda test yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemlerden en çok kullanılanlar şöyledir:

- Brock-Dechert-Scheinkman (BDS) Testi
- Hinich Bispectral Gaussianity and Linearity Testi
- Lyapunov Exponent Testi
- Nychka-Ellner-Gallant-McCaffrey (NEGM) Testi
- Rescaled Range (R/S) Testi
- Modified Rescaled Range (R/S) Testi
- Gencay & Dechert Testi
- Bispectral linearity Testi
- Correlation Dimension Testi
- Kolmogorov Entropy Testi
- Recurrence Quantification Analysis Testi
- Wavelet Based Denoising/Filtering (Waveshrink Technique) Testi
- SDA (Surrogate Data Analysis) Testi
- AAFT (Phase Randomized Amplitude Adjusted Surrogates) Testi
- GARCH (Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity) Testi
- Close Return Testi

Yapılan literatür araştırmasından bu testlerden en yüksek güvenilirliği olanların, Brock-Dechert-Scheinkman (BDS) Testi, Hinich Bispectral Gaussianity and Linearity Testi, Lyapunov Exponent Testi ve Nychka-Ellner-Gallant-McCaffrey (NEGM) Testi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle bu dört test bu çalışmada kullanılmıştır.

Eğrisellik ve kaos analizlerinden önce tüm zaman seri analizlerinde de olduğu gibi serinin durağanlık testinin yapılması gerekmektedir. Zaman serilerinin durağan olması olarak ifade edilen kavram, zaman içinde varyansın ve ortalamanın sabit olması ve gecikmeli iki zaman periodundaki değişkenlerin ko-varyansının değişkenler arasındaki gecikmeye bağlı olup zamana bağlı olmamasıdır. Bu çalışmada da BIST zaman serisinin durağanlığı ADF (Augmented Dickey-Fuller) yöntemi ile test edilmiştir.

Durağanlık testi, otokorelasyon fonksiyonuna (ACF) dayanır. Otokorelasyon fonksiyonu serinin bazı değerleri ve gecikmeli değerleri arasındaki ilişkinin (korelasyon) boyutunu belirler. Değişik zaman aralıkları (k) için bulunacak ACF(k) katsayısı değerleri ilişkilendirildiğinde, korelogram elde edilir. ACF(k) değerleri (-1,1) aralığında yer almaktadır.

BIST zaman serisinde eğriselliğin testi için iki yöntem kullanılmıştır. İlki BDS (Brock-Dechert-Scheinkman) testidir, ikincisi ise Hinich Bispectral Gaussianity and Linearity testidir.

BDS testinin boş hipotezine göre, zaman serisindeki artışlar bağımsız ve eş dağılımlıdır, yani rassaldır. BDS testinde boş hipotezin reddedilmesi, üç olası durumdan birinin varlığı anlamına gelir. İlk durumda, verilerde doğrusal bağımlılık olabilir. İkinci durumda, zaman serileri durağan değildir. Üçüncü durumda ise verilerde doğrusal olmayan bağımlılık vardır ve bu durum kaotik yada rassal olabilir. BDS testi 2 kuyruklu bir test olduğundan, eğer BDS test istatistiği pozitif kritik z-

değerinden daha büyükse yada negatif kritik z-değerinden küçükse, boş hipotez reddedilir. Örneğin, eğer $\alpha=0.05$ ise, kritik z-değeri = ± 1.96 olur.

BDS testinde ilk adım olarak BIST zaman serisinin ARIMA(0,1, 3) analizi gerçekleştirilmiştir. Daha sonraki adımda ARIMA modellerinin kalıntıları hesaplanmıştır ve bu kalıntı değerler BDS testi için kullanılmıştır. BDS test istatistiğini hesaplarırken genel yaklaşım, ham verilerin standart sapmasının yarısı ile 2 katı arasında ($0.5\sigma < \varepsilon < 2\sigma$) ve $m=2$ seçmek genel yaklaşımdır. 500 adetten az gözlemi olan veriler için $m = 5$ yada daha düşük bir değer alınır.

Eğriselliği ölçen ikinci test olarak Hinich Bispectral Gaussianity and Linearity testi kullanılmıştır. Bu test hem doğrusallığı (dolayısı ile eğriselliği) hem de Gauss özelliği (normal dağılım özelliğini) ölçer. Testin doğrusallık kritik değeri $\alpha=0.05$ için 2.55'tir. Analiz sonucu elde edilen test istatistiği eğer kritik değerden büyükse, H_0 (doğrusallık) boş hipotezi reddedilir. Gauss özelliğinin (normal dağılım) testi için ise, BIST tüm endeks günlük getiri oranları zaman serisinin normalliği araştırılmıştır. Bulunan test istatistiği değeri eğer kritik değerden büyük ise sistemin gauss (normal) boş hipotezi reddedilir.

BIST zaman serisinde kaos'un testi için iki yöntem kullanılmıştır. İlki Lyapunov Üsseli testidir, ikincisi ise NEGM (Nychka-Ellner-Gallant-McCaffrey) testidir. Lyapunov üsseli testi sistemlerde varolan kaos'un en temel testidir. NEGM testi de aslında Lyapunov üssellerini hesaplar ancak farkı, hesaplamada kullandığı yöntem olarak yapay sinir ağı modelini kullanmasıdır.

BIST tüm endeks zaman serisi üzerinde, Wolf et al. (1985)'nin tahmin yöntemi kullanılarak hesaplanan maximum Lyapunov üsselleri (λ) hesaplanmıştır. Test dört farklı yerleştirme boyutu için tahmin edilmiştir. Eğer Lyapunov üssü $\lambda > 0$ ise, sistemin yörüngeleri birbirlerinden periyodik olarak uzaklaşırlar, yani sistem aperiyoiktir, buda kaos anlamına gelir. Eğer $\lambda < 0$ olursa sistem periyodik hareketler yapıyor demektir ve periyodik sistemlerde kaos olmaz.

NEGM testinin hipotezleri de Lyapunov üsseli testi hipoteziyle aynıdır. Yani, eğer sistemin Lyapunov üsseli λ değeri 0'dan büyükse sistem kaotiktir, aksi halde kaotik değildir. Bu iki test arasındaki fark, sistemin Lyapunov üsseli λ 'nın hesaplama metodolojilerinin farklı olmasıdır. NEGM testi için “feed-forward single hidden layer network with a single output” modeli kullanılır.

3.1. Eğriselliğin ve Kaosun Test Edilmesi için Yöntemler

Araştırmada kullanılan test ve yöntemler şöyledir: ADF (Augmented Dickey-Fuller) testi ile zaman serilerinin durağanlık testi gerçekleştirilir. BDS testi ve Hinich Bispectral testleri ile zaman serilerindeki eğrisellik (doğrusal olmama özelliği) test edilir. Lyapunov üsseli ve NEGM testleri ile zaman serilerinde kaos'un varlığı test edilir.

3.2. Augmented Dickey-Fuller (ADF) Testi

Zaman serisi analizleri çok sayıda uygulama alanına sahiptir. Bugünkü değerleri kullanarak gelecekteki değerleri tahmin etmek için analistlerin büyük çoğunluğu doğrusal regresyon modellerini kullanırlar. Ancak, zaman serilerinde doğrusal regresyon modelleri kullanılarak tahminde bulunulurken sonuçlar dikkatle değerlendirilmelidir. Çünkü, analistler standart teknikleri zaman serilerine uygularken, ciddi problemlerle karşılaşabilmektedirler. Örneğin, son kareler regresyon modeli, trend içeren zaman serilerinin yada rassal zaman serilerinin parametre tahmininde istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar verir. Bu nedenle ekonometrik teknikler uygulanacak zaman serilerinin sahip olması gereken özellikleri bilmek önem taşır. Bu bağlamda Granger ve Newbold, “ekonometrik uygulamalarda kullanılan zaman serilerinin durağan olması gerektiğini” temel bir kural olarak belirtmişlerdir (Granger and Newbold, 1974, s.115).

Zaman serileri otoregresif (autoregressive-AR) ya da hareketli ortalamalı (moving average-MA) süreçler olabilir. Dickey–Fuller Testi denklemi zaman serilerinin AR özelliğini dikkate alır:

$$\Delta t = \varphi X_{t-1} + u_t \quad X_t = u_t \quad \varphi = 0 \quad [\text{AR}(1) \text{ içinde}] \quad (3.1.);$$

Ve H_0 hipotezi şöyle yazılır:

$$\varphi=1 \quad X_t = \varphi X_{t-1} + u_t \quad \text{ya da } \varphi^* = \varphi - 1 = 0 \quad \Delta X_t = \varphi^* X_{t-1} + u_t \quad (3.2a);$$

$$(X_t - X_{t-1}) = \varphi X_{t-1} - X_{t-1} + u_t \quad \Delta X_t = \varphi^* X_{t-1} + u_t \quad \varphi^* = \varphi - 1 = 0 \quad (3.2); \quad (3.2b);$$

Burada φ^* katsayısı istatistiki olarak anlamlı ise seri durağan değildir. Dickey-Fuller birim kök testlerindeki en önemli noktalar şunlardır: Seri, trend durağan mı ya da fark durağan mı ? Birim kök testinin gücü. Zaman serilerindeki yapısal kırılma olup olmamasıdır.

$\varphi=1$ olursa birim kök vardır ancak $\varphi=0.95$ olması birim kök olmadığını göstermez (yakın birim kök vardır). Eğer , model şu şekilde olursa ; $y_t = 0.95y_{t-1} + u_t$ Dickey- Fuller testine göre seri durağan kabul edilir. Ancak böyle bir durumda aslında boş hipotez kabul edilmelidir. Katsayı 1 den küçüktür ancak 0,95 olması seride aslında birim kök olduğunu söylemektedir. Testin güçsüz olması yakın birim kök olması durumunda problem olmaktadır. Testin gücünün düşük olması sorunu veri aralığı genişletilerek çözülebilir. Bunların yanında ADF testi test denklemindeki terimlerin ilave farklarının dahil edilmesi gerektirir. Bu da serbestlik derecesinde bir azalmaya ve test sürecinin gücünde bir azalmayı ortaya çıkarır (Allen, R.G.D., 1968, s.127-129).

Bir zaman serisinde yapısal kırılmalar serinin AR sürecini değiştirmektedir. Dickey Fuller testi yapısal kırılmalara bağlı olarak AR sürecindeki bu kırılmayı

dikkate almamaktadır. Bunların yanında ADF testi test denklemindeki terimlerin ilave farklarının dahil edilmesi gerektirir. Bu da serbestlik derecesinde bir azalmaya ve test sürecinin gücünde bir azalmayı ortaya çıkarır. Bahsedilen yapısal kırılma dışında Dickey-Fuller testinde seriler üzerinde trendin etkisini ve bu trende bağlı olarak ortaya çıkabilecek hata terimlerinin standart hatasının farklı olmasına bağlı etkiler yoktur.

Zaman serilerinin durağan olması olarak ifade edilen kavram, zaman içinde varyansın ve ortalamanın sabit olması ve gecikmeli iki zaman periodundaki değişkenlerin ko-varyansının değişkenler arasındaki gecikmeye bağlı olup zamana bağlı olmamasıdır.

$$\text{Ortalama}=E(Y_t)=\mu \quad (3.3);$$

$$\text{Varyans}=\text{var}(Y_t-\mu)=\delta^2 \quad (3.4);$$

$$\text{Kovaryans}=\gamma_k=E((Y_t-\mu)(Y_{t-k}-\mu)) \quad (3.5);$$

Zaman serilerinin durağan olmaması durumunda, zaman serileri trend içerecektir. Bu durumda zaman serilerinin kullanılacağı öngörümleme ve regresyon denklemlerinde sahte regresyon benzeri durumlar ortaya çıkacaktır. Zaman serileri durağan değilse, stokastik ya da deterministik trend içermektedirler. Ancak seri üzerinde uzun dönemde deterministik bir trendin varlığı ile düzensiz modellerde zaman içinde ortaya çıkan ve bir müddet sonra kayıp olan trendler birbirinden farklıdır.

Deterministik trend, oldukça uzun bir dönemde ortaya çıkan ve yükseliş ve alçalış zikzakları arasında belli bir yöndeki uzun dönemdeki eğilimi ifade etmektedir. Zaman serisi içerisinde trendin bütünü ile kestirilebilir oluşu deterministik trende işaret etmektedir.

$$Y_t=a+\beta t +\varepsilon \quad (3.6);$$

Söz konusu denklem bize durağan olmayan bir zaman serisi içerisindeki deterministik trendi tarif etmektedir. Eğer rassal yürüyüş(random walk) modelini ifade edecek olursak,

$$Y_t = Y_{t-k} + \varepsilon \quad (3.7);$$

stokastik bir trendi ifade etmiş oluruz. Yine stokastik ve deterministik trendle birlikte gösterimi de mümkündür. Ayrıca söz konusu denklemde yer alan sabit terimde, zaman serileri belli bir başlangıç değerine sahip olması gerektiğinden ve bu sabit değerinin anlamsızda olsa denkleme dahil edilmemesi durumunda durağan olmama durumlarının ortaya çıkabileceğinden dahil edilmektedir. Durumu, tren stationary process ve difference stationary proses açısından incelediğimizde zaman serisine yapılacak doğrusal trend ilavesi ile yani trendsizleştirme sonucunda eğer zaman serisi durağan hale geliyorsa bu zaman serisinin deterministik bir trende sahip olduğunu, ancak eğer doğrusal bir trend ilavesi eğer zaman serisini durağan hale getirmiyorsa bu durumda fark alınarak zaman serisi durağan hale getirileceğinden stokastik bir tren geçerlidir (Allen, R.G.D., 1964, s. 87-88).

Durağanlık testi, otokorelasyon fonksiyonuna (ACF) dayanır. Otokorelasyon fonksiyonu serinin bazı değerleri ve gecikmeli değerleri arasındaki ilişkinin (korelasyon) boyutunu belirler. Değişik zaman aralıkları (k) için bulunacak ACF(k) katsayısı değerleri ilişkilendirildiğinde, korelogram elde edilir. ACF(k) değerleri (-1,1) aralığında yer almaktadır.

$$ACF(k) = [S(X_t - \bar{X})(X_{t-k} - \bar{X})] / [S(X_t - \bar{X})^2] \quad (3.8);$$

Durağanlık tespiti için korelogramdan şu şekilde yararlanılır. ACF eğer çok yüksek bir değerden başlayıp çok yavaş küçülüyorsa, bu serinin durağan olmadığını bir göstergesidir. Söz konusu hipotez testi her bir ACF(k) değeri için $\pm 1.96(1/\sqrt{n})$ değeri bulunarak yapılır. Eğer ACF(k) değeri güven aralığı sınırları dışında kalıyorsa otokorelasyon vardır. Kısmi korelasyon fonksiyonu gecikmeli değişkenler arasındaki ilişkiyi ifade eder. Kısmi korelasyon fonksiyonu ile korelasyon Y ve Y_{t-k} değerleri arasındaki terimlerin etkisi çıkarılarak bulunur.

Dickey-Fuller testi, gözlenen serilerde birim kökün varlığının (serinin durağan olmadığı) belirlenmesinde kullanılan bir testtir. Bu yöntemin ilk olarak duyurulması, Dickey D.A. ve W.A.Fuller'ın 1979'da "Journal of American Statistical Association" adlı dergide yayınlanan makaleleriyle olmuştur. Testin ilk çıktığı dönemden günümüze kadar çeşitli alanlarda yeterli gelmediği ve bundan dolayı eksikliklerin kapatılması için oluşturulan yardımcı yöntemler ortaya çıkmıştır. Ancak yapılan uygulamalarda serinin birim kök taşıyıp taşımadığının saptanması için mutlak suretle DF (Dickey-Fuller) testinin yapılması şart niteliğinde bulunmaktadır.

Testin kullanımı şöyledir:

$$\text{Model: } Y_t = pY_{t-1} + u_t \quad (3.9);$$

u_t = stokastik hata terimi

Eşitliği aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$y_t - y_{t-1} = (p-1) y_{t-1} + u_t \quad (3.10);$$

Denklemin her iki tarafından y_{t-1} çıkarıldığında, $(p-1) = \gamma$ olmak üzere denklem aşağıdaki şekle gelir.

$$\Delta y_t = \gamma y_{t-1} + u_t \quad (3.11);$$

$$H_0 : p=1,$$

$$H_1: p<1$$

$(p-1) = 0$ veya $\gamma = 0$ durumunda y_t serisi bir birim kök içermektedir. Ancak $|p| < 1$ durumunda seri durağan olur. Burada Dickey ve Fuller'ın Monte Carlo uygulamasında ortaya çıkarılan "T" (tau) istatistiği kullanılmaktadır.

Hesaplanan “T” değerinin mutlak değeri Dickey-Fuller veya McKinnon Dickey-Fuller kritik değerlerinin mutlak değerini aşıyorsa, zaman serisinin durağan olduğu hipotezini reddedilemez. “ $H_0: p=1$ ” reddedilirse zaman serisi durağandır.

Dickey-Fuller’in ortaya koyduğu üç denklem türü bulunmaktadır :

$$\text{Sabitli trendsiz Dickey-Fuller denklemi: } \Delta Y_t = \gamma Y_{(t-1)} + u_t \quad (3.12);$$

$$\text{Sabitli trendsiz Dickey-Fuller denklemi: } \Delta Y_t = a + \gamma Y_{(t-1)} + u_t \quad (3.13);$$

$$\text{Sabitli trendli Dickey-Fuller denklemi: } \Delta Y_t = a + b_t + \gamma Y_{(t-1)} + u_t \quad (3.14);$$

Üç regresyonun birbirinden farkı “a” ve “b” gibi deterministik elemanlar içermesidir. Bu denklemde yer alan “ γ ” parametresinde “ $\gamma=0$ ” eşitliğinin sağlanması “ γ ”nin birim kök içerdiğini göstermektedir.

Birim kökün varlığının sınanması için kullanılan iki hipotez kullanılmaktadır.

Bunlar:

$$H_1: \gamma < 0 \text{ (} p < 1 \text{) (seride birim kök yoktur, seri durağandır.)}$$

$$H_0 : \gamma = 0 \text{ (} p = 1 \text{) (seride birim kök vardır, seri durağan değildir)}$$

Hipotezlerinin oluşturulduktan sonra mevcut model içinde sınanması şu şekilde olmaktadır:

Dickey-Fuller testinin uygulanmasında “ $\Delta y_t = \gamma y_{t-1} + u_t$ ” regresyonunda yer alan γ parametresinin sahip olduğu “t” değerinin, Dickey-Fuller’a özel olarak hazırlanan “T” istatistik tablo değeri ile karşılaştırılarak, önceden hazırlanan H_0 ve H_1 hipotezlerine göre birim kökün varlığı tespit edilmektedir.

Yukarıda ele alınan DF test modelinin içerdiği kabul edilen otoregresif süreç sayısı AR(1) kabul edilmektedir. Ancak her zaman serisinde durum böyle olmamaktadır. Bundan dolayı Dickey D.A. ve W.A. Fuller'ın (1979)'de 'Econometrica' dergisinde yayınlanan makalelerinde bu konuyu işlermişler ve mevcut olan test denklemini en genel haliyle şu şekilde kullanmaktadırlar:

ADF denklemi (en geniş ADF denklemi) :

$$\Delta Y_t = a + b_t + \gamma Y_{(t-1)} + c \sum \Delta Y_{(t-1)} + u_t \quad (3.15);$$

Son şekli oluşan regresyon günlük yaşamda kullanılan zaman serilerinin birim kök taşıyıp taşımadığını açıklamada daha yüksek işlevsellik kazanmıştır (Brooks, Chris, 2002, s. 153-157).

ADF testi birim kökün bulunmasında oldukça önemli bir yere sahip olmasına rağmen testin içerdiği eksiklerde bulunmakta ve bu eksiklikler yardımcı testlerle giderilmektedir. ADF'nin tespitinde eksik olduğu yönleri şöyle açıklanabilir: ARMA içeren veri seti içinde hareketli ortalama derecesinin bilinmemesi durumu. AR sürecin tam olarak bilinmemesi ve oluşturulacak gecikme sayısı problemi. Sabit terim ve zaman trendinin regresyonda olup olmamasına karar verilmesi durumu. Zaman serisinde yapısal kırılma durumu. Dışsal kırılma. İçsel kırılma. Birden çok yapısal kırılma. Yan parametrik düzeltmeler. Zaman serisinde mevsimsellik etkisinin bulunması. Çoklu birim kök durumu. I(2) zaman serileri durumu. Parçalı durağanlığın bulunması (Franses, Philip, Hans, 1998, s. 201-211).

3.3. Eğrisellik Testleri

Literatürde, zaman serilerinde doğrusal olmamayı test eden farklı testler bulunmaktadır. Bu araştırmada kullanılan test yöntemleri BDS testi ve Hinich Bispectral testleridir.

3.3.1. BDS (Brock-Dechert-Scheinkman) Testi

Dem korelasyon boyutu testinin problemlerinden kurtulabilmek için Brock vd. (1996), BDS testi olarak bilinen yeni bir istatistiksel test oluşturmuşlardır. BDS testi, bağımsız ve eş dağılımlı (iid), yani rassal gözlemler boş hipotezini, parametrik olmayan bir teknik kullanan açıkça belirtilmemiş alternatif hipoteze karşı test eder.

BDS testi, Grassberger ve Procaccia (1983)'ın korelasyon integralini test istatistiği olarak alır. “rassal (iid)” boş hipotezi altında BDS test istatistiği:

$$W(N, m, \varepsilon) = \sqrt{N} \frac{C(N, m, \varepsilon) - C(N, 1, \varepsilon)^m}{\hat{\sigma}(N, m, \varepsilon)} \quad (3.16);$$

Burada “ $\delta(N, m, \varepsilon)$ ”, “ $C(N, m, \varepsilon) - C(N, 1, \varepsilon)^m$ ”nin asimtotik standart sapmasının bir tahminidir. “ $\delta(N, m, \varepsilon)$ ”in formülü Brock et al. 1996’da bulunabilir. BDS test istatistiği, “rassal (iid)” boş hipotezi altında asimtotik olarak standart normaldir (Brock et al., 1996).

Sezgisel olarak BDS testi şu şekilde açıklanabilir: $C(N, m, \varepsilon)$, $\{X_t\}$ serisinin her hangi iki X_t ve X_s m-geçmiş arasındaki mesafenin ε 'den küçük olma olasılığının tahminidir. Eğer $\{X_t\}$ bağımsız iseler, bu durumda $t \neq s$ için bu birleşik olayın olasılığı her bir olasılığın çarpımına eşittir. İlaveten eğer $\{X_t\}$ 'lerde eş dağılımlı iseler, bu durumda çarpım işareti altındaki m olasılıklarının tümü aynıdır. Bu nedenle BDS test istatistiği, $C(N, m, \varepsilon) = C(N, 1, \varepsilon)^m$ rassallık (iid) boş hipotezini test eder.

BDS test istatistiğinin asimtotik dağılımı rassallık (iid) boş hipotezi altında bilindiği için, BDS testi genel bağımlılığa karşılık rassallık (iid) için (hem rassal olmayan doğrusal hem de rassal ve doğrusal olmayan bağımlılık için) direkt bir istatistiksel test sağlar. Böylelikle, BDS testi kaos ve doğrusal olmama için direkt bir

test sağlamaz, çünkü, doğrusal olmama, doğrusal yada kaos boş hipotezleri altında test istatistiğinin örneklem dağılımı bilinmemektedir (ne sonlu örneklerde nede asimptotik olarak). Ancak BDS testini doğrusal olmayan bağımlılığın (kaotik-doğrusal olmayan deterministik yada stochastic) indirekt kanıtı olarak mümkündür. Bu kaos için gerekli şarttır ancak yeterli şart değildir (Bu konuların tartışmaları için bkz. Barnett et al., 1997; Barnett and Serletis, 2004; Barnett and Hinich, 1992).

Doğrusal olmayan özellikleri test ederken BDS ve Hinich Bispectral testleri uygulanmıştır. BDS istatistiğinin kökeni, Grassberger ve Procaccia (1983)'nın korelasyon boyutu çizimlerine dayanır. Brock v.d. (1996), rassal (iid) zaman serisi boş hipotezini test eden parametrik olmayan bir yöntem önermişlerdir.

BDS testinde ARIMA analizleri de yer almaktadır. ARIMA modelleri zaman seri analizlerinde önemli yer tutan bir tahmin yöntemidir. Bir zaman serisi, ilgilenilen bir büyüklüğün zaman içerisinde sıralanmış ölçümlerinin bir kümesidir. Zaman serisi ile ilgili bu analizin yapılma amacı ise, gözlem kümesince temsil edilen gerçeğin anlaşılması ve zaman serisindeki değişkenlerin gelecekteki değerlerinin doğru bir şekilde tahmin edilmesidir. Ekonometrik yöntemlerin zaman serileri için uygulanmasına geçmeden önce zaman serilerini oluşturan farklı unsurları incelemek gerekmektedir.

Zaman serileri dört bileşenden oluşur:

1. Trend (Genel Eğilim) bileşeni: Zaman serilerinin uzun sürede gösterdiği düşme ve yükselme süreçlerinden sonra oluşan kararlı durumdur. Zaman serileri uzun dönem açısından kararlı alçalma ya da yükselme şeklinde bir eğilime sahiptir.

2. Mevsim Bileşeni: Zaman serilerinde mevsimlere göre değişmeyi ifade eder. Zaman serileri açısından kullanılan verilerin kimi dönemleri diğer dönemlere göre farklılık gösterir.

3. Çevrimsel Bileşen: Ekonomide, mevsimsel değişmeler ile ilgili olmayan dönemsel değişmelerdir. Örneğin, ekonomide genel eğilimden bağımsız kısa süreli genişleme ya da daralma durumu çevrimsel süreci tarif eder.

4. Düzensiz Bileşen: Diğer unsurlar gibi belirli olmayan, hata terimi ile ifade edilebilecek değişimlerdir.

Zaman serileri tüm bu kendilerini oluşturan bileşenlere ayrıştırıldıktan sonra, bileşenlerin toplamı şeklinde, $Y_t = T_t + S_t + C_t + I_t$ ya da çarpma yöntemi ile $Y_t = T_t S_t C_t I_t$ şeklinde belli bir “t” döneminde “Y” zaman serisi ifade edilebilir.

Otoregresif (AR) Süreç; bir AR modelinde, bağımlı değişken geçmişteki değerinin bir fonksiyonudur. Bir çok zaman serisi verisi de bu süreci içermektedir. Bu durum aşağıdaki gibi bir denklemle ifade edilebilir.

$$x_t = a + a_1 * x_{(t-1)} + a_2 * x_{(t-2)} + a_3 * x_{(t-3)} + \dots + \varepsilon \quad (3.17);$$

Burada, “a”, sabit terimi temsil ederken “a₁” gibi katsayılar da gecikmeli değerlerin şimdiki değerle olan ilişkisini temsil eder. Ayrıca “ε” hata terimi de rassal şokları tanımlamaktadır. Genel bir şekilde AR(p) şeklinde ifade edilir.

Hareketli Ortalama (MA) Süreci; eğer serinin gecikmeli hata terimi, şimdiki hata terimini etkiliyorsa hareketli ortalama süreci tanımlanır. Bir hareketli ortalama sürecinde değişkenin tahmin değeri hata terimlerinin tahmin değeri ile ilgilidir.

$$\text{Bir hareketli ortalama süreci, } x_t = \varepsilon_t - a_1 \varepsilon_{t-1} - \dots, t = 1, 2, \dots, n$$

şeklinde ifade edilebilir. Genel şekil olarak MA(q) şeklinde ifade edilir. Hareketli ortalama sürecinde, her bir gecikmeli hata terimi onun şimdiki değerini etkilemektedir.

ARMA VE ARIMA süreci; çoğu zaman serisi gerek AR ve gerekse de MA sürecini içermektedir. Ayrıca I (integrated) ise seri tarafından içerilen trendi ifade etmektedir. ARIMA olarak ifade edilen süreç değerlendirilecek olursa, ARIMA(p,d,q), zaman serisinin p dereceden kendisinin gecikmesi ile ilişkisini ifade

eden AR(p) sürecini içerdiğini, q ile ifade edilen ve hata terimlerinin geçmiş değerleri ile ilişkisini ifade eden ve rassal süreci yansıtması açısından hata terimlerinin düzleştirilme metodlarından olan MA(q) sürecini ifade etmektedir. Ayrıca eğer zaman serilerinde genelde olduğu gibi bir durağan olmama durumunun olması ya da durağan bir zaman serisi ile karşılaşılması “d” ile ifade edilir ve zaman serisi hangi düzeyde durağan (integrated) ise belirtilir.

Söz konusu denklem, $Y_t = m + a_1 y_{t-1} + \dots + a_p y_{t-p} + u_t - b_1 u_{t-1} - \dots - b_q u_{t-q}$ ARIMA(p,d,q) sürecini ifade eder.

ARIMA modeli Box-Jenkis tarafından 1970 yılında bilim literatürüne katılmıştır. Daha önce AR ve MA süreçleri bilinmekteydi, Box ve Jenkis “I” ile ARIMA modelini oluşturmuşlardır. Yönteminin temeli ARIMA(p,d,q) paradigmasına dayanır. Otoregresif (AR) ve hareketli ortalama (MA) sahip zaman serilerini incelemekte ve bu yönetime göre zaman serilerinin durağanlığı korelogram ile tespit edilmekte ve yine zaman serisinin ne tür bir süreç içerdiği de korelasyon fonksiyonları ile analiz edilmektedir. Zaman serilerinde durağan olmama durumunda farkı alınarak durağanlaştırılmakta, ancak eğer yine durağanlık ile karşılaşılmaz ise bu sefer verilere yine geri dönmektedir. Ancak eğer durağanlık sağlanmış ise bu durumda model ARMA ile tahmin edilip, öngörü işlemi yapılmaktadır.

BDS testinin ilk adımında, en uygun ARIMA(p,d,q) modeli kararlaştırılır ve veri setine uydurulur. Bu sayede verilerde yer alan doğrusal özellikler yok edilmiş olur. İkinci adımda ise test, ARIMA(p, d, q) modelinin doğrusal olarak bağımsız olan kalıntıları üzerinde çalıştırılır. Böylelikle, kalıntılarda bulunacak olan tüm bağımlılıklar doğrusal olmayacaktır. Analize tabi tutulacak olan $(X_t : t = 1, 2, \dots, T)$ zaman serisi, $(X_t)_m = (X_{t-m+1}, \dots, X_t)$ “m-geçmiş” adı verilen seriyi oluşturmada kullanılır. Burada “m”, “yerleştirme boyutu” olarak adlandırılır. Bu “m-geçmiş” değerler, aşağıdaki korelasyon integralini tanımlamak için kullanılabilir:

$$C_m(e) = \left(1/N^2\right) \sum_{i,j=1}^T Z(e-|X_i-X_j|), \quad i \neq j$$

$$Z(e) = \begin{cases} 1 & e-|X_i-X_j| > 0 \\ 0 & e-|X_i-X_j| \leq 0 \end{cases} \quad (3.18);$$

Burada;

T= Gözlem sayısı

e= Mesafe

C_m = “m” boyutu için korelasyon integrali

X= Endeks (veri) serisidir.

Eğer zaman serisi X’de yeralan “ X_i ” (T gözlem ile) bağımsızsa ve eğer “ X_i ” serisi “m geçmiş” arkasından geliyorsa, bu durumda korelasyon integrali $C_m(e,T)$ aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$C_m(e,T) \rightarrow C_1(e)^m \quad (3.19);$$

Korelasyon integrali içinde olduğu her boyuttaki uzayı basitçe doldurur. Akabindeki BDS istatistiği W_N , normal dağılımlıdır:

$$W_N(e,T) = \left| C_m(e,T) - C_1(e,T)^m \right| * [T / S_N(e,T)]^{1/2} \quad (3.20);$$

Burada $S_N(e,T)$ boş hipotez altında standard sapmanın tahminidir. Box-Jenkins yöntemi kullanılarak ARIMA (autoregressive integrating moving average) süreci, seçilen BİST tüm endeksi logaritmik getirileri için ayarlanır. Kısaca, ARIMA(p, d, q) modeli zaman serisine uygun hale getirilir. Burada “p”otoregresif terimleri, “d”, durağan olmadan önce zaman serisinin kaç defa farkının alınacağı sayısını, ve “q” hareketli ortalama terimlerinin sayısıdır. Model seçme kriteri olarak, Akaike Bilgi Kriteri (Akaike Information Criterion “AIC”) (Akaike, 1974, s.167) kullanılmıştır. Modelin derecesi, minimum Akaike Bilgi Kriterine kullanılarak belirlenmiştir ve ARIMA (0, 1, 3) kullanılmıştır. Bu elde edilen kalıntılar, BDS testinin istatistiksel

analizlerinde kullanılacak rassal getiri serileri olur. Araştırmada ADF testi de uygulanmış ve BİST zaman serisinin, arzulandığı gibi durağan bir süreç olduğu görülmüştür. Box-Jenkins metodu sadece durağan zaman serilerine uygulanabilir. Yani, zaman serisinin tüm zaman içinde değişmeyen, sabit ortalama ve sabit varyans değerleri olmalıdır. Lag operatörü L kullanılarak, “ $LX_t=X_{t-1}$ ”, ARIMA modeli aşağı verilmiştir:

$$(1-L)Y_t = (1 - \theta_1 L - \theta_2 L^2 - \theta_3 L^3)u_t \quad (3.21);$$

Burada “Y” orijinal zaman serisinin logaritmik ilk farklarını gösterir, θ_1 , θ_2 , θ_3 , hareketli ortalama katsayılarıdır, ve “ u_t ” rassal şok olup, ortalaması sıfır olan ve varyansı sabit olan bağımsız, eş dağılımlı (iid) rassal bir değişkendir.

Literatürde genelde BDS testini kullanan araştırmalar, finansal menkul fiyatlarında doğrusal olmayan yapıların varlığı yönünde sonuçlar elde etmişlerdir. Ancak BDS testinin bazı sorunları vardır (Mckenzie, 2001, s.30). İlki, BDS testinin hesaplanmasında yaşanan sorunlardır. İkincisi, eşik terimi olan “e” ve yerleştirme (gömmü) terimi olan “M”in seçimi öznel ve sonuçların önem seviyesi bu parametrelere bağlı olduğu için sonuçların nasıl yorumlanacağı açık değildir. Üçüncüsü, korelasyon boyutu için resmi bir dağılım teorisi yoktur. Buda, kesin istatistiksel testleri güçleştirmektedir. Dördüncüsü, Grassberger’in de (Grassberger and Procaccia, 1983) belirttiği gibi, dinamik korelasyon için düzeltilmemiş boyut tahminleri düşük boyutlu kaos için sahte kanıt yaratabilir. Sadece geometrik korelasyon test edilirse sonuçlar sağlam olarak düşünülebilir bunun haricindeki bulgular yanlış olacaktır. BDS testi ile ilgili beşinci sorun ise, verilerin zaman sıralaması muhafaza edilememektedir. Yani verileri yaratan sürecin doğası hakkındaki önemli bilgi test sürecinde potansiyel olarak dikkate alınmamaktadır. Altıncı sorun, parazit tüm boyut hesaplarını kullanışsız hale getirebilir (Brock, 1986). Bu tüm veri serileri için geçerli olmakla birlikte, finansal veriler büyük miktarda parazite sahip oldukları için ve örneklem aralığı kısaldıkça parazit-sinyal oranı artacağından finansal zaman serileri için daha büyük sorun yaratmaktadır. Yedinci sorun ise, BDS testi finansal verilerde gözlenen doğrusal ilişkilerin varlığında sağlam değildir. Bu nedenle otoregresif filtreler ile parazitten temizlenmesi gerekmektedir.

Brock ve Sayers (1988), zaman serisini parazitten temizleyen doğrusal filtre karmaşıktıkça, BDS testinin gücünün azalacağını ifade etmişlerdir. Bu durum için Wiley (1992, p. 62), AR (AutoRegressive) modelinde “lag” boyunun mümkün olduğunca kısaltılması gerektiğini” önermiştir. Bu nedenle, hatalı sonuçlar yaratma şansını olabildiğince azaltmak için doğrusal bağımlılığı azaltmaya karşılık BDS testinin gücünü olabildiğince arttıracak şekilde AR modelinin derecesi düşük seviyede tutulması arasında bir optimizasyon yapılması gerekmektedir. Sekizinci sorun, gözlem sayısı arttıkça, korelasyon boyutunun kaotik çekicinin boyutuna yakınsamasıdır. Bu durumda, gereken örneklem büyüklüğü çekicinin boyutu ile hızla artar ve küçük veri kümelerinin kullanılması önemli yanlılıkla (bias) sonuçlanacak hatalı sonuçlara neden olabilir (Ramsay and Yuan, 1989, 1990; Ruelle, 1991). Bu sorunlarından ötürü BDS testi elde edilen sonuçların güvenilirliğini azaltmaktadır. Bu nedenlerden ötürü bu çalışmada, BDS testi, kaos’un testi için değil, özellikle doğrusal olmamanın testi için kullanılmıştır.

3.3.2. Hinich Bispectral Gaussianity and Linearity Testi

BDS testinin belirtilen sorunları nedeniyle, ikinci bir test ile eğriselliğin analiz edilmesi uygun olacaktır. BDS testinden farklı olarak Hinich Bispectral testi, bir frekans alanı testidir. Durağan bir zaman serisinin bispektrumunu tahmin etmek için kullanılır ve doğrusal olmama ve gauss özellik için doğrudan sonuç veren bir test yöntemidir. Eğer sürecin yarattığı veriler (bu çalışmada günlük getiri oranları) doğrusal ise, bispektrumun eğriliği sabit olacaktır. Eğer test, sabit eğriliği reddederse, doğrusal olmayan bir sürecin varlığı anlamına gelir (Hinich and Clay, 1968, s.37).

Frekans tanım alanında bispektrumun yorumlanması, zaman alanındaki üçüncü dereceden momentlerin çarpımının $\{C_{xxx}(r,s): s \leq r, r = 0,1,2,3,\dots\}$ yorumlanmasından daha kolaydır (Hinich, 1982, s.44).

$$\Omega = \{(\omega_1, \omega_2): 0 < \omega_1 < 0.5, \omega_2 < \omega_1, 2\omega_1 + \omega_2 < 1\} \quad (3.22);$$

ile verilen esas alandaki (principal domain) w_1 ve w_2 frekansları için bispectrum $B_{xxx}(w_1, w_2)$ şöyle tanımlanır:

$$B_{xxx}(\omega_1, \omega_2) = \sum_{r=-\infty}^{\infty} \sum_{s=-\infty}^{\infty} C_{xxx}(r, s) \exp[-i2\pi(\omega_1 r + \omega_2 s)] \quad (3.23);$$

Bispectrum üçüncü derece moment fonksiyonunun çift Fourier transformasyonudur ve üçüncü derece polyspectrumdur. Düzenli güç spectrumu ikinci derece polyspectrumdur ve sadece bir frekansın fonksiyonudur. Eğrilik fonksiyonu $\Gamma(w_1, w_2)$ bispectrum B_{xxx} cinsinden şöyle tanımlanır:

$$\Gamma^2(\omega_1, \omega_2) = \frac{|B_{xxx}(\omega_1, \omega_2)|^2}{S_{xx}(\omega_1)S_{xx}(\omega_2)S_{xx}(\omega_1 + \omega_2)} \quad (3.24);$$

Burada $S_{xx}(w)$, w frekansındaki $x(t)$ 'in sıradan güç spekturumudur. Spektrum kompleks değerli olduğundan, bu eşitlikteki mutlak değerler ($|B_{xxx}(w_1, w_2)|$) modülü gösterir. Eğer $\{x(t)\}$ doğrusal ise tüm $(w_1, w_2) \in \Omega$ frekansları için eğrilik fonksiyonunun $\Gamma(w_1, w_2)$ sabit olacağını, ama eğer $\{x(t)\}$ Gaussian ise eğrilik fonksiyonunun $\Gamma(w_1, w_2)$ 'nin sıfırda düz olacağını ispatlamıştır. Doğrusallık ve Gaussianlık eğrilik fonksiyonunun $\Gamma(w_1, w_2)$ bir örneklem tahmin edicisi kullanılarak test edilebilir. Ancak bunlar doğrusallık ve Gaussianlık için gerekli şart olsada yeterli şart değildir. Ama üçüncü derece doğrusal olmayan bağımlılık için Skewness fonksiyonu $\Gamma(w_1, w_2)$ 'in düzlüğü hem gerekli hem de yeterli şarttır. Hinich “doğrusallık test”i, eğrilik fonksiyonu $\Gamma(w_1, w_2)$ 'in düz olması boş hipotezini, yani üçüncü derece doğrusal olmayan bağımlılığın olmamasını test eder (Hinich and Patterson, 1989, s. 39; Barnett and Serletis, 2004, s.716).

Doğrusallık ve Gauss özelliği, eğrilik fonksiyonunun bir örneklem tahmin edicisi kullanılarak test edilir. “Hinich doğrusallık testinin” boş hipotezi şöyledir (Hinich and Patterson, 1989, s.41):

H_0 : Düz eğrisel fonksiyonu, 3. dereceden doğrusal olmayan bağımlılığın olmaması

H_1 : Doğrusal olmayan bağımlılığın varlığı, etkinliğin olmaması

Eğer standart normal test istatistiği “Z” büyük bir sayı (2 yada 3) ise, H_0 reddedilir. Eğer boş hipotez gauss özelliği işaret ediyorsa, ilgili test istatistiği “H” ile gösterilir ve bu istatistik de boş hipotez altında standart normal rassal bir dağılımdır (Hinich and Patterson, 1989, s.42).

3.4. Kaos Testleri

Literatürde, zaman serilerinde kaos’un varlığını test eden farklı testler bulunmaktadır. Bu araştırmada kullanılan test yöntemleri bu bölümde verilmektedir.

3.4.1. Lyapunov Üsseli Testi

Doğrusal olmayan diferansiyel denklemlerin kararlılığının incelenmesinde değişmez üssellerin kullanılabileceğini ilk olarak 1889 yılında Stockholm Üniversitesinde profesör olan Rus matematikçi Sonya Kovalevskaya (1850–1891) göstermiştir. Kovalevskaya’nın çalışması daha sonra 1892 yılında diğer bir Rus matematikçi olan Alexandr Mikhailovich Lyapunov (1857–1918) tarafından tam olarak geliştirilmiştir. Lyapunov çalışmasında sadece Lyapunov üsselleri ile bir dinamik sistemin (zamanın bir fonksiyonu olarak) yörüngelerinin uzaklaşmasının değişimi ile ilgili düşüncelerinin temellerini açıklamıştır.

Lyapunov üssellerini (λ) kullanarak analiz yapma fikrinin çıkış noktası kaotik sistemlerin başlangıç koşullarına olan bağımlılığından kaynaklanmaktadır. Kaotik bir sistem birbirine çok yakın komşu iki başlangıç noktasından başlatıldığında

yörüngelerin gittikçe birbirinden uzaklaşması veya yaklaşması ile kaos analizi yapılabilir. Lyapunov üsellersi komşu yörüngeler aradaki bu mesafeyi ölçen matematiksel bir yöntemdir (Strogatz, 1994, s.160).

Lyapunov üsellersi, doğrusal sistemlerde kullanılan özdeğerlere benzetilir. Literatürde de özdeğerlerin doğrusal olmayan sistemlerdeki karşılığı olarak geçmektedir (Strogatz, 1994, s.161). Sürekli zamanlı ve ayrık zamanlı sistemlerde Lyapunov üsellersi hesaplanabilmektedir. Bunun yanı sıra deney veya benzetim sonuçlarından elde edilen zaman serilerinden de Lyapunov üsellersi hesaplanabilmektedir (Wolf et al., 1985, s.304).

Kaosun temel görünümünden biri yakın iki yörüngenin zamanla birbirinden ayrılmasıdır. “ x_0 ” gibi bir nokta alalım ve “ ε ” kadar yanında da “ $x_{0+\varepsilon}$ ” noktasını alıp fonksiyon içinde n defa itere edelim (Çelikoğlu, 2006, s.83). Bu iki nokta arasındaki farkı şöyle yazabiliriz:

$$d_n = \left| f^{(n)}(x_0 + \varepsilon) - f^{(n)}(x_0) \right| \quad (3.25);$$

Eğer davranış kaotikse fark üssel olarak büyüyecektir:

$$\frac{d_n}{\varepsilon} = \frac{\left| f^{(n)}(x_0 + \varepsilon) - f^{(n)}(x_0) \right|}{\varepsilon} = e^{\lambda n} \quad (3.26);$$

Burada λ ' yı yalnız bırakırsak :

$$\lambda = \frac{1}{n} \ln \left(\frac{\left| f^{(n)}(x_0 + \varepsilon) - f^{(n)}(x_0) \right|}{\varepsilon} \right) \quad (3.27);$$

bulunur. $\varepsilon \rightarrow 0$ durumunda türevin tanımından yararlanarak ve $f^{(n)}$ için zincir kuralını da kullanarak λ 'yı

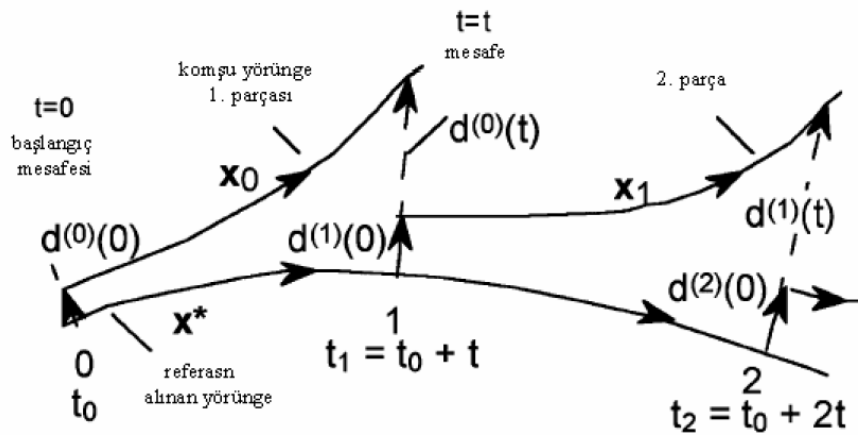
$$\lambda = \frac{1}{n} \ln \left(\frac{|f^{(n)}(x_0 + \varepsilon) - f^{(n)}(x_0)|}{\varepsilon} \right) \quad (3.28);$$

Çarpımları toplam halinde yazarak aşağıdaki gibi yazabiliriz:

$$\lambda = \frac{1}{n} (\ln|f'(x_0)| + \ln|f'(x_1)| + \dots + \ln|f'(x_n)|) \quad (3.29);$$

Görüldüğü gibi Lyapunov üsselinin (λ) pozitif çıkması türevin birden büyük olması demektir ve birbirine yakın iki noktanın birbirinden uzaklaştığı anlamına gelir (Hilborn, 1994, s.243). Yakınsama yada ıraksama oranı hesaplandıktan sonra, en yüksek Lyapunov üsseli şu şekilde tanımlanır:

$$\lambda = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \log \left| \frac{d_n}{\varepsilon} \right| \quad (3.30);$$



Şekil 3.1. Her bir adımdaki yörünge değişimi (Özkaynak, 2007, s.152)

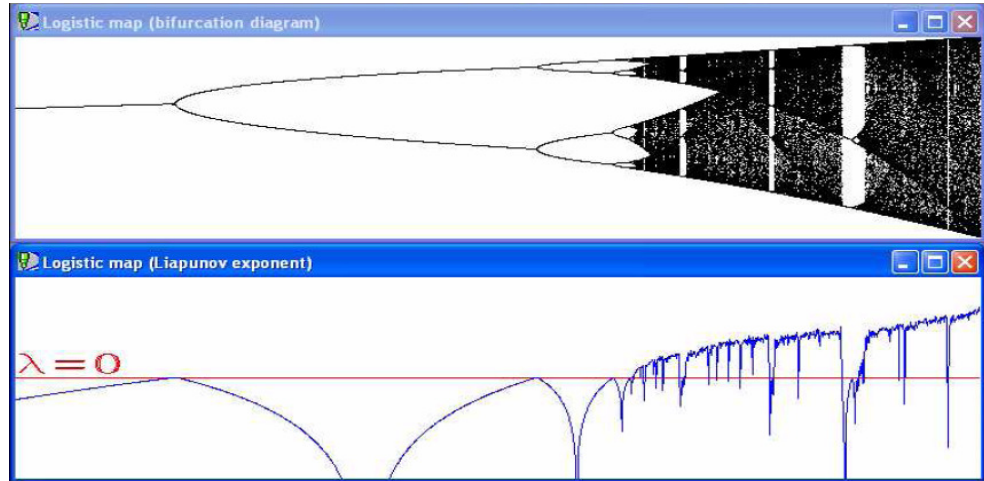
Lyapunov üsseli (λ) için üç durum söz konusudur :

$\lambda < 0$ ise, Lyapunov üsseli negatif bir sayı ise, sistem yakınsaktır. Yani , negatif değer için periyodik bir yörünge ortaya çıkmaktadır.

$\lambda = 0$ ise, Lyapunov üsseli sifıra eşit ise, sistem bir çeşit marjinal kararlı bir yörünge durumundadır.

$\lambda > 0$ ise, Lyapunov üsseli sıfırdan büyük ise, ilk şartlara hassas bağımlılık sözkonusudur, yani sistem kaotiktir.

Eğer bir sistemin en az bir positif Lyapunov üsseli varsa, sistem kaotiktir ve birbirine benzer durumdan başlayan yörüngeler üssel olarak birbirinden iraksar. Positif Lyapunov üsseli ne kadar büyükse, sistem o ölçüde daha kaotik olur ve sistemin tahmin edilebilirlik zaman aralığı kısalmır. Bu sebeple, Lyapunov üsseli “kaotik davranışın operasyonel tanımı” olarak görülür (Wolf et.al.,1985, s.310).



Şekil 3.2. Lojistik fonksiyonu için çatallaşma diagramı ve karşılık gelen Lyapunov üssel değerleri (Kaynak: Özkaynak,2007, s.158)

Şekil 3.2.'de Lyapunov üssellerinin 0'dan büyük olduğu ($\lambda > 0$) alanlarda lojistik fonksiyonunun kaotik bölgelerini göstermektedir. Üsselin değeri sıfır iken

marjinal kararlı bir yörünge ve negatif değer için ise periyodik bir yörünge ortaya çıkmaktadır.

Bu araştırmada kaosun test edilmesi için Lyapunov üsseli ve NEGM testleri kullanılmıştır. Bu testler BİST tüm endeks günlük getiri oranları zaman serisine uygulanmıştır ve BİST verilerinde kaosun varlığı araştırılmıştır. Kaotik sistemlerin ayırt edici özelliği ilk şartlara hassas bağımlılıktır. Yani, benzer ilk şartlara sahip olan yörüngeler birbirinden üssel olarak uzaklaşırlar. İlk şartlara hassas bağımlılığı, dolayısı ile kaos'un varlığını bulmada kullanılan en temel araç Lyapunov üsselidir (λ). Bu test, ilk değerleri arasında çok küçük farklar olan yörüngelerin ortalama üssel olarak birbirinden uzaklaşma yada yaklaşma derecesini verir (Wolf et al., 1985, s. 313).

3.4.2. NEGM (Nychka-Ellner-Gallant-McCaffrey) Testi

Kaotik sistemlerin en temel özelliği ilk şartlara hassas bağımlılıktır, yani benzer ilk koşullara sahip trajektörlerin üssel olarak birbirinden uzaklaşması özelliğidir. İlk şartlara hassas bağımlılığı (dolayısı ile de kaosun varlığını) teşhis eden en önemli araç Lyapunov üsseli (λ) ile sağlanmıştır. Lyapunov Üssel λ , ilk değerleri birbirine çok yakın olan ve parazitli sistemlerde de iyi tanımlı olan yörüngelerin ortalama üssel yakınsamasını yada ıraksamasını ölçer. Pozitif Lyapunov üsseli, ($\lambda > 0$), sınırlı bir sistemin kaotik davranışının ölçümü için tanımlanmıştır.

Lyapunov üsseli λ 'nın hesaplanması için kullanılan ilk yöntemlerden birini Wolf, Swift, Swinney, ve Vastano (1985) tanımlamışlardır. Ancak bu yöntem çok uzun veri serileri gerektirir ve dinamik parazite hassastır ve bu nedenle şişirilmiş Lyapunov üsseli (λ) tahminleri elde edilebilir.

1992'de Nychka vd. Lyapunov Üssel λ 'ın positifliğini test eden yapay sinir ağlarını kullanan bir regresyon yöntemi önermişlerdir. NEGM yöntemi de denilen bu yöntem, Wolf vd (1985)'nin uzun veri serileri gerektiren ve dinamik parazite hassas

olan yönteminden farklı olarak Lyapunov Üssel λ tahmin edicisi olarak bir regresyon (Jacobian) kullanır. Verilerin $\{x_t\}$ reel değerli olduğunu ve otoregresif doğrusal olmayan model tarafından yaratıldığı varsayılırsa, $(1 \leq t \leq N)$ aralığı için,

$$x_t = f(x_{t-L}, x_{t-2L}, \dots, x_{t-mL}) + e_t \quad (3.31);$$

Burada L, zaman gecikme parametresi, ve m, otoregresyonun uzunluğudur. “f” ise, düz bilinmeyen fonksiyon ve $\{e_t\}$ ise sıfır ortalamalı ve bilinmeyen sabit varyanslı bağımsız rassal değişkenler serisidir. Nychka vd.’nin (1992) maksimum Lyapunov Üssel λ ’ı tahmin etme yaklaşımı, $X_t = f(x_{t-L}, x_{t-2L}, \dots, x_{t-mL}) + e_t$ ‘nin durum uzayı gösterimini üretmeyi içerir :

$$X_t = F(X_{t-L}) + E_t, \quad F: \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}^m \quad (3.32);$$

Burada,

$$X_t = f(x_t, x_{t-L}, x_{t-2L}, \dots, x_{t-mL+L})',$$

$$F(X_{t-L}) = (f(x_{t-L}, \dots, x_{t-mL}), x_{t-L}, \dots, x_{t-mL+L})', \text{ ve}$$

$E_t = (e_t, 0, \dots, 0)'$, ve Jacobian-temelli method ile λ ’nın tahmin edilmesi için her ara adımda Jacobian Matrisleri tahmin edilir: $J_t = \partial F(X_t) / \partial X$

Çeşitli parametrik olmayan yöntemleri kullandıktan sonra, Nychka ve McCaffrey vd. (1992), “ J_t ”in tahmin edilmesi için ince yüzey “spline”leri yada yapay sinir ağlarının kullanılmasını önermişlerdir. Yapay sinir ağları yöntemi ile Jacobian matrisinin “ J_t ” tahmini, “q” adet gizli katmanda olduğu ağın kullanılmasını içerir:

$$f(X_{t-L}, \theta) = \beta_0 + \sum_{j=1}^q \beta_j \psi \left(\gamma_{0j} + \sum_{i=1}^m \gamma_{ij} x_{t-iL} \right) \quad (3.33);$$

Burada, Ψ , bilinen gizli doğrusal olmayan “aktivasyon fonksiyonu”dur [genellikle lojistik dağılım fonksiyonudur: $\Psi(u) = 1/(1+\exp(-u))$]. Bu durumda, “ θ ” parametre vektörü verilere doğrusal olmayan en küçük kareler ile uyar. Yani,

$$S(\theta) = \sum_{t=1}^N [x_t - f(X_{t-1}, \theta)]^2 \quad (3.34);$$

kareler toplamını minimize eden “ θ ” tahmini hesaplanır, ve $F(X_t)$ 'ye yakınsamak için $F''(X_t) = (f(x_{t-L}, \dots, x_{t-mL}, \theta''), x_{t-L}, \dots, x_{t-mL+L})'$ kullanılır.

L , m ve q için uygun değerler bilinmediği için, Nychka et al. (1992), Bayes bilgi kriterini (BIC) minimize edecek (L, m, q) üçlüsünü seçmeyi önermişlerdir. Nychka, Gallant vd.'nin (1992) gösterdiği gibi, $J_t = \partial F(X_t) / \partial X_t$ 'i, (L, m, q) üçlüsünü Bayes bilgi kriterine (BIC) göre minimize etmek için J_t 'in tahmin edicisi olarak kullanılabilir. Buna göre Lyapunov Üssel λ 'ın tahmini şöyle olur:

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{2N} \log |\hat{v}_1(N)| \quad (3.35);$$

Burada, $v_1(N)$, $(T'_N T'_N)$ matriksinin en büyük özdeğeridir ve $T'_N = J'_N J'_{N-1} J'_{N-2} \dots J'_1$ 'dir.

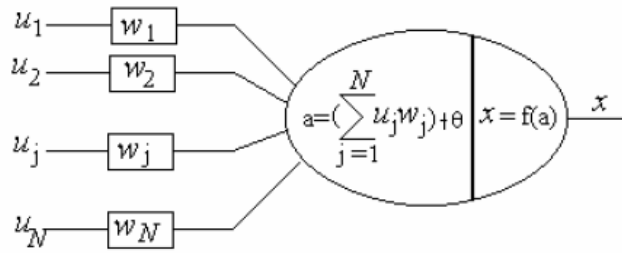
Lyapunov üsseli λ 'ın tahmin edilmesi için diğer bir yöntemi de Gencay ve Dechert (1992) önermişlerdir (Gencay and Dechert 1992, s.146). Bu yöntem de bazı yönlerden Nychka vd. yöntemine benzer (Nychka et al. 1992). Bu yöntem, bilinmeyen dinamik bir sistemin tüm Lyapunov üssellerini λ_i tahmin etmeye dayanır. Tahmin, Nychka vd. yöntemi (Nychka et al. 1992) gibi çok değişkenli ileri yönlü ağ tahmin yöntemi ile yapılır (Gencay and Dechert, 1992, s.153).

Lyapunov üsseli yöntemi parazitli sistemler için çok güvenilir değildir. Nychka v.d.'nin NEGM testi bu sorunları çözmek için alternatif bir yöntem olarak geliştirmişlerdir. Bu yöntem, Lyapunov üsseli tahmin edilirken yukarı yönlü yanlılıktan (bias) kaçınmak için jacobian yöntemi kullanımına dayanır. Önerilen bu regresyon (yada Jacobian) yönteminde yapay sinir ağı modelleri kullanılır ve baskın Lyapunov üsselinin positifliği test edilir. NEGM testi güvenilirlik açısından, Gencay ve Dechert yönteminden daha çok kullanılmaktadır.

NEGM yönteminin hipotezleri şöyledir:

H0 : Lyapunov üsseli ($\lambda \leq 0$) negatiftir yada zaman serisi kaotik değildir

H1 : Lyapunov üsseli ($\lambda \geq 0$) pozitiftir yada zaman serisi kaotiktir



Şekil 3.3 Yapay sinir ağı modeli

4. ANALİZ VE BULGULAR

Bu bölümde analizler sonucunda elde edilen bulgular verilmiştir. Özetle, bulgular verilerin doğrusal olmadığını ve kaotik olduğunu göstermektedir.

4.1. Veri

BİST tüm endeks verileri bu araştırmada kullanılmıştır. BİST-100 endeks verileri 02 Ocak 1982 tarihinde başlamaktadır, ancak, tüm endeks verileri 02 Şubat 1997 yılından sonra mevcuttur. Bu sebeple, yeni doğan olgunlaşmamış bir piyasanın parazitli veri kümelerini kullanmamak için BİST 100 endeks verileri değil, 02 Şubat 1997 ile 16 Mart 2009 yılları arasında 3.036 adet gözlemi içeren BİST tüm endeks kapanış değerleri kullanılmıştır.

Bu verilerin temel tanımlayıcı istatistikleri Tablo 4.1.'de verilmiştir. BİST tüm endeks getiri oranları hesaplanırken, birbiri ardına gelen günlerin kapanış değerlerinin değişiminin logaritması kullanılmıştır. Bu şekilde ilk farkları almak ekonometride sık kullanılan bir uygulama olup, serinin durağan olmasını garanti eder.

Parametre	Değer
Örneklemdaki gözlem sayısı	3.036
Ortalama değer	0,00124
Ortalama standart hatası	0,00055
Medyan	0,00070
Standart Sapma	0,03028
Varyans	0,00092
Skewness	0,081
Kurtosis	4,066
Range	0,377
Sum	3,411
Minimum	-0,201
Maximum	0,176

Tablo 4.1. BİST tüm endeks logaritmik getiri oranları $r_t = \ln(ISE_t / ISE_{t-1})$ için temel istatistikler

BİST serilerinin durağanlığını test etmek için Augmented Dickey-Fuller (ADF) testi (Dickey and Fuller, 1979, s.430) kullanılmıştır. ADF testi bir zaman serisinin durağan olup olmadığını gösterir ve böylelikle birim kök'ün ve otokorelasyon'un olup olmadığı test edilmiş olur.

Doğrusal olmama durumunun testi için BDS testi (Brock et al.,1996) ve Hinich Bispectral Testi (Brockett et al., 1988) kullanılmıştır. Kaos'un varlığının testi için ise Lyapunov Üssels Testi (Wolf et al., 1985, s.300) ve NEGM Testi (Nychka et al., 1992, s.33) kullanılmıştır.

4.2. Augmented Dickey-Fuller (ADF) Testi Sonuçları

Bu araştırmada da ADF testi BİST zaman serisinin durağanlığını test etmek için kullanılmıştır^[1]. Bulunan ADF test istatistik değerleri, 3 farklı anlamlılık seviyelerinde, %1 için -3.7979, %5 için -2.8451 ve %10 için -2.4899, MacKinnon kritik değerinden (- 13.17) büyüktür (Tablo 4.2.). Dolayısıyla, tüm anlamlılık seviyelerinde BİST tüm endeks zaman serisi durağandır.

Anlamlılık Seviyesi (%)	Kritik Değerler
1	-3.7979
5	-2.8451
10	-2.4899
NOT: ADF Testi İstatistik Kritik Değeri : -13.17	

Tablo 4.2. Üç farklı anlamlılık seviyesi (%1, %5 ve %10) için ADF testi sonuçları

[1] ADF analizlerinde kullanılan Augmented Dickey Fuller (ADF-Unitroot) test programı Kurt Annen tarafından yazılmıştır. Bu program Microsoft Excel uyumlu çalışmaktadır. Yazılıma www.web-reg.de Internet sitesinden ulaşılabilir.

4.3. BDS (Brock-Dechert-Scheinkman) Testi Sonuçları

BDS testinin boş hipotezine göre, zaman serisindeki artışlar bağımsız ve eş dağılımlıdır (iid), yani rassaldır. BDS testinde boş hipotezin reddedilmesi, üç olası durumdan birinin varlığı anlamına gelir. İlk durumda, verilerde doğrusal bağımlılık olabilir. İkinci durumda, zaman serileri durağan değildir. Üçüncü durumda ise verilerde doğrusal olmayan bağımlılık vardır ve bu durum kaotik yada rassal olabilir. BDS testi 2 kuyruklu bir test olduğundan, eğer BDS test istatistiği pozitif kritik z-değerinden daha büyükse yada negatif kritik z-değerinden küçükse, boş hipotez reddedilir. Örneğin, eğer $\alpha=0.05$ ise, kritik z-değeri = ± 1.96 olur.

Tablo 4.3.'de BİST tüm endeks günlük getiri oranları için ARIMA modelinin temel sonuçlarını göstermektedir. Bu model durağanlık ve tersi alınabilirlik şartlarını sağlamaktadır. Bu modeller durağandır, çünkü, otoregresif katsayıları yoktur. Tersi alınabilirlik (invertibility) şartı, tüm i değerleri için " $\theta_i < 1$ " olmasını gerektirir. ARIMA modellerinin kalıntıları BDS testi için kullanılırlar. BDS test istatistiğini hesaplarken genel yaklaşım, ham verilerin standart sapmasının yarısı ile 2 katı arasında ($0.5\sigma < \varepsilon < 2\sigma$) ve $m = 2$ seçmek genel yaklaşımdır. 500 adetten az gözlemi olan veriler için $m = 5$ yada daha düşük bir değer alınır.

Endex	Model		Q1	Q2	Q3
BİST Tüm Endeks	ARIMA(0,1,3)	Katsayı	0.802075	0.137213	0.050019
		T- İstatistiği	33.97	4.55	2.12

Tablo 4.3. BİST tüm endeks günlük getiri oranları için ARIMA modelleri Not : " θ_i ", lags-i'deki MA'nın parametresidir

	m	ε			
Endeks		0.5σ	σ	1.5σ	2σ
IMKB Tüm Endeks	2	15.719	16.292	14.438	13.064
	3	19.322	18.763	15.765	13.933
	4	21.876	20.319	16.644	14.424
	5	25.284	22.014	17.187	14.527

Tablo 4.4. BDS İstatistikleri-ARIMA log getirilerinin kalıntıları Not: m: yerleştirme (embedding) boyutu; ε : Ham verilerin standart sapma sayısı cinsinden ölçülen noktalar arasındaki mesafe; σ : Standart sapma. Tüm istatistikler %5 seviyesinde anlamlıdır

Tablo 4.4.'de logaritmik getirilerin ARIMA kalıntı değerleri için BDS testi sonuçlarını verilmiştir. Tablodan da görüleceği gibi, rassal (i.i.d) boş hipotezi BİST tüm endeksi için %5 anlamlılık seviyesinde reddedilmiştir. Başka bir deyişle, BİST tüm endeks getiri serisinde doğrusallık yoktur.

Böylelikle, BİST tüm endeks getiri verileri için, zayıf formda market etkinliği hipotezi geçerli kılınamamıştır. BDS testi doğrusallık hipotezini reddetmiştir. Gerçekten de bu sonuçlar, günlük getirilerin rassal (iid) olduğu, yani, rassal yürüme modeline uyduğu varsayımı ile çelişmektedir. Test sonuçları, verilerde doğrusal olmayan yapının varlığını gösterdiğinden, BİST'de aşırı karlar elde etmenin mümkün olduğu düşünülebilir. Ancak, kaos'un ana karakteristiği olan ilk şartlara hassas bağımlılık ilkesi, aşırı karlar elde etme imkanını ortadan kaldırmaktadır.

Hipotezler Şu Şekilde formüle edilmiştir:

H_0 : Tam Rassallık; bağımsız veriler; veriler rassal (iid)/stokastik sũreçlerce yaratılmıŐ; piyasa etkindir; yani, zaman serisindeki verilerin hata terimleri bağımsız ve eş dağılımlıdır (iid).

H_1 : Zaman serisindeki verilerin hata terimleri bağımsız ve eş dağılımlı (iid) değıildir.

Bunun anlamı, zaman serisinin doğrusal olmayan bağımlılığa sahip olduğudur, cũnki doğrusal bağımlılık seriden cıkartılmıŐtır. Bŕylelikle, verilerde doğrusal olmayan bir bağımlılık mevcut olup, piyasa etkin değıildir.

BDS test istatistiği bŕyŕk bir değer ise (2'den bŕyŕkse), H_0 reddedilir. BDS test istatistiği $m = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$ boyutları ve $\epsilon = 0.50, 1, 1.5$ ve 2 değerleri için hesaplanmıştır. Anlamlılık seviyesi (α) = %5 alınmıştır ve bŕylelikle testin kritik değer ± 1.96 'dır. Bunun anlamı ise, eğer BDS test istatistiği 1.96'dan bŕyŕkse yada -1.96'dan kŕcŕkse ($-1.96 < z < 1.96$), boş hipotez H_0 reddedilmelidir.

AŞağıda Tablo 4.5.'de, hata terimlerinin tŕm test istatistiklerinin, farklı yerleştirme (embedding) boyutları (m) ve farklı standart sapma tolerans oranları için, kritik değer olan 1.96'dan daha bŕyŕk olduğunu gŕstermektedir. Bu nedenle, rassallığı (iid) savunan boş hipotez (H_0) reddedilmektedir.

ε/σ oranı	Yerleştirme boyutu (m)	BDS test istatistiği	ε/σ oranı	Yerleştirme boyutu (m)	BDS test istatistiği
0.5	2	6.9552	1.5	2	9.7703
0.5	3	9.9729	1.5	3	12.4650
0.5	4	12.9582	1.5	4	14.9041
0.5	5	15.9241	1.5	5	15.9980
0.5	6	17.8642	1.5	6	16.8969
0.5	7	20.5240	1.5	7	17.9367
0.5	8	23.6152	1.5	8	18.8290
0.5	9	27.9350	1.5	9	20.9880
0.5	10	30.9720	1.5	10	21.9630
1	2	7.7246	2	2	11.9860
1	3	10.6841	2	3	14.9670
1	4	12.8480	2	4	16.1290
1	5	14.8520	2	5	16.8200
1	6	17.4790	2	6	17.9380

Tablo 4.5. BDS test sonuçları: BİST tüm endeks günlük getiri oranları

ε/σ oranı	Yerleştirme boyutu (m)	BDS test istatistiği	ε/σ oranı	Yerleştirme boyutu (m)	BDS test istatistiği
1	7	19.6260	2	7	18.0085
1	8	21.5650	2	8	18.5470
1	9	23.8750	2	9	19.3130
1	10	25.9699	2	10	19.9840

Tablo 4.5. BDS test sonuçları: BİST tüm endeks günlük getiri oranları (devam)

Bu sonuçlar BİST tüm endeks getirilerinin, %5 anlamlılık seviyesinde doğrusal olmayan bağımlılığa sahip olduğunu göstermektedir. Yani, BDS testinin kalıntı değerlere uygulanması ile sonuçlar, kalıntı değerlerin bağımsız, eş dağılımlı (iid) olmadığını (rassal olmadığını) göstermiştir. Tüm yerleştirme (m) değerleri için BDS testi istatistiği, bağımsız, eş dağılımlılık (iid) boş hipotezini reddetmiştir (yani, getiriler doğrusal olmayan bağımlılığa sahiptirler). BDS testinin uygulanması için kullanılan hesaplama yöntemleri özel algoritmalara ve araçlara gerek duyar ^[2].

^[2] Bu çalışmada MATLAB programı (Higher-Order Spectral Analysis Toolbox) ile BDS testi hesaplamaları yapılmıştır.

4.4. Hinich Bispectral Gaussianity and Linearity Testi Sonuçları

Bu araştırmada 3.dereceden doğrusal olmayan bağımlılığın varlığı sınanmıştır ve doğrusallık boş hipotezi reddedilmiştir. Yani, burada eğrilik fonksiyonunun düzlüğü, veya 3. dereceden doğrusal olmayan bağımlılığın yokluğu test edilmiştir ve BİST tüm endeks zaman serisinin doğrusal olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Tablo 4.6.'da da görüleceği üzere, test istatistiği 3.73'tür ve bu değer kritik değer olan 2.55'ten büyüktür. Bu da, doğrusallık boş hipotezinin reddedilmesi anlamına gelmektedir. Gauss özelliğinin (normal dağılım) testi için BİST tüm endeks günlük getiri oranları zaman serisinin normalliği araştırılmıştır. Bulunan test istatistiği değeri 8.47 olup, kritik değer olan 3.00'dan büyüktür. Dolayısı ile gauss özellik boş hipotezi reddedilmiştir. Doğrusallığın reddedilmesi ile BİST tüm endeks günlük getiri oranları zaman serisinin doğrusal olmayan özelliği desteklenmiştir ve bu da zayıf formda piyasa etkinliğinin olmaması anlamına gelmektedir ^[3].

Test	İstatistik	Kritik değer	Sonuç
Doğrusallık tets istatistiği (Z)	3.73	2.55 ($\alpha=0.05$)	Doğrusallığı Reddet
Gauss özelliği (normal dağılım) test istatistiği (H)	8.47	3.00 ($\alpha =0.05$)	Gauss özelliği (normal dağılım) Reddet

Tablo 4.6. Hinich Bispectral Testinin Sonuçları

^[3] Hinich Bispectral testi için MATLAB (Higher-Order Spectral Analysis Toolbox) programı kullanılmıştır.

4.5. Lyapunov Üsseli Testi Sonuçları

Tablo 4.5.'de BİST tüm endeks logaritmik getiri oranları zaman serisinin, Wolf et al. (1985)'nin tahmin yöntemi kullanılarak hesaplanan maximum Lyapunov üsselleri verilmiştir ^[4]. Lyapunov üsselleri, Wolf (1991)'de de belirtildiği şekliyle, dört farklı yerleştirme boyutu için tahmin edilmiştir. Sonuçta, tüm “ λ ”lar pozitiftir ve yukarıda verilen kaosun operasyonel tanımını göstermektedir. Bu da BİST tüm endeks logaritmik getiri oranları zaman serisi için kaosun varlığının kabul edilmesi anlamını taşır.

ndim	Max λ (BİST Tüm Endeks)
1	0.22368791
2	0.23458914
3	0.35612712
4	0.41236514

Tablo 4.7. Logaritmik getiriler için Lyapunov üsselleri değerleri Not: ndim: Yerleştirme (embedding) boyutu Max λ : Lyapunov üsselinin maksimum tahmin değeri

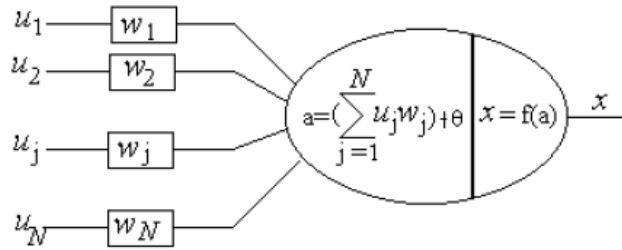
^[4] Lyapunov exponent testi için MATLAB Lyapunov kodu kullanılmıştır. Ayrıca, <http://sprott.physics.wisc.edu/cda.htm>. sitesinden “Chaos Data Analyzer” programı indirilip kullanılmıştır.

4.6. NEGM (Nychka-Ellner-Gallant-McCaffrey) Testi Sonuçları

NEGM yönteminin hipotezleri şöyledir:

H_0 : Lyapunov üsseli negatiftir ($\lambda \leq 0$) yada zaman serisi kaotik değildir

H_1 : Lyapunov üsseli pozitiftir ($\lambda \geq 0$) yada zaman serisi kaotiktir



Şekil 4.1. Yapay sinir ağı modeli

Oluşturulan yapay sinir ağı ile NEGM yöntemi zaman serisine uygulandığında Lyapunov üsselinin nokta tahmini “ $\lambda=0.42$ ” olarak bulunmuştur^[5]. Bu pozitif bir sayıdır. Dolayısı ile boş hipotez H_0 , reddedilmiştir ve zaman serisinin kaotik olduğu bulunmuştur.

^[5] Bu araştırmada yapay sinir ağına, MATLAB’ın yapay sinir ağı paketi ve CORTEX yazılımı kullanılarak, “feed-forward single hidden layer network with a single output” modeline uygulanmıştır.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Fiziksel bilimler ve Sosyal bilimler alanlarında yapılan araştırmalar, sistemlerin karmaşık ve eğrisel dinamik süreçlere sahip olduklarını ortaya koymuştur. Bu karmaşık ve eğrisel dinamik süreçler, zaman seri analizlerinde eğrisel analiz yöntemlerini adeta bir zorunluluk haline getirmektedir.

Eğrisel test yöntemleri yaklaşımlarının yaygınlaşması, doğrusal yöntemlerle elde edilemeyen sonuçların elde edilmesi imkanını sağlamıştır. Günümüze kadar oldukça sık karşılaştığımız hem doğada hemde sosyal bilimlerde gözlemlenen olayların karmaşıklığını ihmal etme eğilimi bilim camiasında sık rastlanılan bir gerçektir. Sistemlerin doğrusal modellerle analizlerinde ortaya çıkan sorunlar “parazit” olarak yorumlanarak sorunlardan kurtulmaya çalışılmıştır. Doğa bilimlerinde de, analizleri kolaylaştırmak için sistemlerde mevcut olan “sürtünmenin” ihmal edilmesi, yada “normal şartlar altında” gibi varsayımlarda bulunulması alışkanlığı sistemlerin gerçeklerini ortaya koymaya engel olmuştur.

Eğrisel sistemlerin analizi için geliştirilen test yöntemleri çalışmaların bu alana kaymasında önemli etkileri olmuştur. Eğrisel sistemlerin temel özelliği olan kaos fenomeni, 19.yy’da ünlü Matematikçi Poincare ile ortaya konulmuş ve 20.yy’ın ikinci yarısında ivme kazanarak bilim literatürüne girmiştir. Dolayısı ile eğrisel modelleri kaos’tan ayrı düşünmek mümkün değildir. Bu nedenle eğrisel sistemler için geliştirilen test yöntemleri, kaos test yöntemlerinin de paralelinde gelişmesine vesile olmuştur.

Doğa bilimleri alanında yapılan eğrisellik ve kaos çalışmaları, iktisadi ve finansal alanlarda da hızla yaygınlaşmış ve günümüzdeki seviyesine ulaşmıştır. Son 30 yılda geliştirilen analiz yöntemleri ve bilgi işleme teknolojilerindeki başdöndürücü ilerlemeler, iktisadi ve finansal alanlarda yapılan eğrisellik ve kaos çalışmalarının olgunlaşmasında temel nedenler olmuştur.

İktisadi ve finansal zaman serilerinde eğrisellik ve kaos'un varlığını araştıran özellikle yurt dışında çok sayıda araştırma vardır. Ülkemizde bu alanda kısıtlı sayıda çalışma mevcuttur. Bu araştırma ile ülkemizde ve yurt dışında bu alanda yapılmış çalışmalara katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

Etkin piyasalar hipotezi (EPH), doğrusal modellere, zaman serisinin normal dağılımına ve bağımsız eş dağılımlı (rassal) olması hipotezine dayanan ve piyasaların etkin (rassal) olduğunu savunan finansal bir modeldir. EPH, son 50 yıldır menkul kıymetler borsalarının yapısını açıklamada geniş kabul görmüştür. Bunda, uzun yıllar alternatif modeller oluşturulamaması da etkili olmuştur. Ancak, EPH'ini test eden araştırmalarda literatürde tamamı ile uzlaşmış tek bir sonuç yoktur. Yapılan çalışmaların çoğunluğu piyasaların etkin olmadığı yönünde bulgulara ulaşmışlardır.

Piyasaların etkin olmaması, nedensel yapıya sahip olacağı anlamını taşır. Nedensel yapıyı matematiksel olarak ortaya koyan kuram, kaos kuramıdır. Kaos kuramı mantık gereği EPH'ine alternatif özelliğe sahiptir. Bu çalışmanın da özünü bu oluşturmaktadır: finansal piyasalar etkinmidir yoksa nedensel bir yapıya mı sahiptir? Yani para piyasaları zaman serileri rassal (bed)'midir yoksa kaotik midir ?

Finansal piyasa zaman serilerinde doğrusal olmamayı ve kaotik yapıların varlığını araştıran tüm çalışmalarda da kesin tek bir sonuç yoktur. Ancak, bu alanda yapılan araştırmaların zaman serilerinin çoğunluğunun rassal olmaması, serilerin doğrusal olmaması ve önemli sayıdaki kaotik yapının varlığı sonuçları dikkate değerdir.

Bu araştırmada benzer araştırmalar literatürüne katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Bu amaçla ilk önce BİST tüm endeks zaman serisinin durağanlık testi ADF yöntemi ile yapılmıştır. ADF test sonucu zaman serisinin durağan olduğunu göstermiştir. Zaman serisinin durağan olması analizler için ön şarttır.

Daha sonra BİST tüm endeks zaman serisinde eğrisel (doğrusal olmayan) yapının testi için iki yöntem kullanılmıştır: BDS testi ve Hinich Bispectral testi. Doğrusal olmamayı araştıran bu yöntemlerin sonuçları, BİST zaman serisinin eğrisel olduğunu (doğrusallığın olmadığını) göstermiştir.

Son olarak da, BİST tüm endeks zaman serisinde kaotik davranışın testi için ise, Lyapunov üsseli testi ve NEGM testi uygulanmıştır. Bu testlerin BİST verilerine uygulanması sonucunda, her iki test de zaman serisinde kaosun varlığını göstermiştir.

Sonuç olarak yapılan testler, BİST tüm endeks zaman serisinde doğrusal olmayan (eğrisel) yapının ve kaosun varlığı için yeterli kanıtı sunmuştur. Bu sonuç, finans sektöründe uzun yıllardır baskın ve popüler bir hipotez olan etkin piyasalar hipotezinin varlığının sorgulanması anlamına gelmektedir. Başka bir deyişle, BİST rassal yürüme modeline uymamaktadır ve bağımsız eş dağılımlı (iid) değildir.

Ancak, bu araştırmanın içeriğinde kaos ile ilgili bölümlerde de ifade edildiği üzere, BİST zaman serisinin kaotik olması her ne kadar nedensel yapısı olduğu anlamını taşısa da, kaos teorisinin temel ilkesi olan ilk şartlara hassas bağımlılık ilkesi gereğince sistemin uzun vadeli davranışı tahmin edilemez. Yani, BİST zaman serilerinin nedensel şablonu ortaya koyulabilse dahi, fiyat hareketleri için uzun vadeli etkin tahminler yapılması imkansızdır. Bunun nedeni, sistemin ilk şartlarında yapılacak en ufak hata paylarının dahi, uzun vadede sistem çıktılarının çok yüksek derecede değişmesine, farklı çekim havuzlarının (sistemin dinamik denge bölgelerinin) oluşmasına neden olmasıdır. Kaos kuramında bu olgu “kelebek etkisi” adıyla anılmaktadır.

Bu nedenden ötürü, bu çalışma ve diğer benzer çalışmalar “borsalardan normal üstü kazançlar” elde etmeyi amaçlayanlar açısından hiçbir fayda sağlamayacaktır. Aksine, bilimin temel amacı olan sistemlerin davranışlarını anlama ilkesine hizmet etmektedirler. Bu alanda yapılan bu ve benzeri çalışmalar nicelik ve nitelik olarak

arttıkça, bilimsel ilerlemenin normal süreci içinde insan medeniyetinde yeni ufuklar açacaktır. Bu çalışmanın temel amacında da bu misyona hizmet etmektir.

5.1. BIST Zaman Serisinin Durağanlık Testleri

Zaman serilerinin durağan olması olarak ifade edilen kavram, zaman içinde varyansın ve ortalamasının sabit olması ve gecikmeli iki zaman periodundaki değişkenlerin ko-varyansının değişkenler arasındaki gecikmeye bağlı olup zamana bağlı olmamasıdır. Bu çalışmada da BIST zaman serisinin durağanlığı ADF yöntemi ile test edilmiştir.

Durağanlık testi, otokorelasyon fonksiyonuna (ACF) dayanır. Otokorelasyon fonksiyonu serinin bazı değerleri ve gecikmeli değerleri arasındaki ilişkinin (korelasyon) boyutunu belirler. Değişik zaman aralıkları (k) için bulunacak ACF(k) katsayısı değerleri ilişkilendirildiğinde, korelogram elde edilir. ACF(k) değerleri (-1,1) aralığında yer almaktadır.

Bu çalışmada kullanılan Augmented Dickey-Fuller (ADF) testi BIST zaman serisinin durağanlığını test etmek için kullanılmıştır ve bulunan ADF test istatistik değerleri, üç farklı anlamlılık seviyelerinde, %1 için -3.7979, %5 için -2.8451 ve %10 için -2.4899 olarak elde edilmiştir ve tüm bulgular MacKinnon kritik değerinden (- 13.17) büyüktür. Bunun anlamı, tüm anlamlılık seviyelerinde BIST tüm endeks zaman serisinin durağan olmasıdır.

5.2. BIST Zaman Serisinin Eğrisellik Testleri

BIST zaman serisinde eğriselliğin testi için iki yöntem kullanılmıştır. İlki BDS testidir, ikincisi ise Hinich Bispectral testidir. Araştırmada iki farklı testin aynı amaçla kullanılmasının amacı, sonuçların kıyaslanması içindir. Çünkü, literatürde

BDS testinin sahip olduğu bazı sorunlardan bahsedilmiştir. Bu sorunlar aşağıda verilmiştir.

BDS testinin boş hipotezine göre, zaman serisindeki artışlar bağımsız ve eş dağılımlıdır, yani rassaldır. BDS testinde boş hipotezin reddedilmesi, üç olası durumdan birinin varlığı anlamına gelir. İlk durumda, verilerde doğrusal bağımlılık olabilir. İkinci durumda, zaman serileri durağan değildir. Üçüncü durumda ise verilerde doğrusal olmayan bağımlılık vardır ve bu durum kaotik yada rassal olabilir. BDS testi 2 kuyruklu bir test olduğundan, eğer BDS test istatistiği pozitif kritik z-değerinden daha büyükse yada negatif kritik z-değerinden küçükse, boş hipotez reddedilir. Örneğin, eğer $\alpha=0.05$ ise, kritik z-değeri = ± 1.96 olur.

BDS testinde ilk adım olarak BIST zaman serisinin ARIMA(0,1,3) analizi gerçekleştirilmiştir. Modelimiz durağanlık ve tersi alınabilirlik şartlarını sağlamaktadır. Model durağandır, çünkü, otoregresif katsayıları yoktur. Tersi alınabilirlik (invertibility) şartı, tüm i değerleri için " $\theta_i < 1$ " olmasını gerektirir ve test sonuçları bu şekilde elde edilmiştir ($\theta_1=0.802075$, $\theta_2=0.137213$, $\theta_3=0.050019$).

Daha sonraki adımda ARIMA modellerinin kalıntıları hesaplanmıştır ve bu kalıntı değerler BDS testi için kullanılmıştır. BDS test istatistiğini hesaplarken genel yaklaşım, ham verilerin standart sapmasının yarısı ile 2 katı arasında ($0.5\sigma < \varepsilon < 2\sigma$) ve $m = 2$ seçmek genel yaklaşımdır. 500 adetten az gözlemi olan veriler için $m = 5$ yada daha düşük bir değer alınır. Logaritmik getirilerin ARIMA kalıntı değerleri için BDS testi sonuçları rassal (bed) boş hipotezi BİST tüm endeksi için %5 anlamlılık seviyesinde reddedilmiştir. Başka bir deyişle, BİST tüm endeks getiri serisinde doğrusallık yoktur, eğriseldir. Böylelikle, BİST tüm endeks getiri verileri için, zayıf formda market etkinliği hipotezi geçerli kılınamamıştır. BDS testi doğrusallık hipotezini reddetmiştir. Gerçekten de bu sonuçlar, günlük getirilerin rassal (bed) olduğu, yani, rassal yürüme modeline uyduğu varsayımı ile çelişmektedir. Test sonuçları, verilerde doğrusal olmayan yapının varlığını gösterdiğinden, BİST'de aşırı karlar elde etmenin mümkün olduğu düşünülebilir. Ancak, kaos'un ana karakteristiği

olan ilk şartlara hassas bağımlılık ilkesi, aşırı karlar elde etme imkanını ortadan kaldırmaktadır.

BDS testinin son aşamasında BDS testi çalıştırılmıştır ve BDS test istatistiği $m=2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$ boyutları ve $\varepsilon=0.50, 1, 1.5$ ve 2 değerleri için hesaplanmıştır. Anlamlılık seviyesi (α) = %5 alınmıştır ve böylelikle testin kritik değeri ± 1.96 'dır. Bunun anlamı ise, eğer BDS test istatistiği 1.96 'dan büyükse yada -1.96 'dan küçükse ($-1.96 > z > 1.96$), boş hipotez H_0 reddedilmelidir. Yani, test karar kriterine göre test istatistikleri büyük bir değer ise (2 'den büyükse), H_0 (rassallık hipotezi) reddedilir. Elde edilen sonuçlar hata terimlerinin tüm test istatistiklerinin, farklı yerleştirme boyutları (m) ve farklı standart sapma tolerans oranları için, kritik değer olan 1.96 'dan daha büyük olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, rassallığı (bed) savunan boş hipotez (H_0) reddedilmiştir.

Elde ettiğimiz bu sonuç çok sayıda araştırmanın sonuçlarıyla aynıdır (Serletis and Gogas (1997); Abhyankar, Copeland, Wong (1997); Frank ve Stengos (1989); Hsieh (1991); Scheinkman and LeBaron (1989); Barnett William, Gallant, A.R., Hinich, M.J., Jungeilges, J., Kaplan, D., Jensen M.J., (1996); Barnett and William (2004); Mantegna and Stanley (2000); Das and Das (2007); Bonilla CA, Romera-Meza R, Hinich MJ (2006); Sewell, S.P., Stansell S.R., Lee I, Pan, M.S. (1993); De Lima (1995); Hamill, Opong (1997)). Yani, BDS testi ile yapılan araştırmaların bulgularında ağırlıklı olarak ve kendi araştırmamda finansal piyasalarda eğriselliğin varlığı ortaya çıkmaktadır. Ayrıca rassal (bed) olmama sonuçları da dikkate değer bulunmaktadır.

Eğriselliği ölçen ikinci test olarak Hinich Bispectral testi kullanılmıştır. Bu test hem doğrusallığı (dolayısı ile eğriselliği) hem de Gauss özelliği (normal dağılım özelliğini) ölçer.

Testin doğrusallık kritik değeri $\alpha=0.05$ için 2.55 'tir. Analiz sonucu elde edilen test istatistiği 3.73 'tür ve eğer test istatistiği kritik değerden büyükse, H_0

(doğrusallık) boş hipotezi reddedilir ve burada da reddedilmiştir. Araştırmada 3.dereceden doğrusal olmayan bağımlılığın varlığı sınanmıştır ve doğrusallık boş hipotezi reddedilmiştir. Yani, burada eğrilik fonksiyonunun düzlüğü, veya 3. dereceden doğrusal olmayan bağımlılığın yokluğu test edilmiştir ve BİST tüm endeks zaman serisinin doğrusal olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. BIST zaman serisi eğriseldir.

Gauss özelliğinin (normal dağılım) testi için BİST tüm endeks günlük getiri oranları zaman serisinin normalliği araştırılmıştır. Bulunan test istatistiği değeri 8.47 olup, kritik değer olan 3.00'dan büyüktür. Dolayısı ile gauss özellik boş hipotezi reddedilmiştir. Doğrusallığın reddedilmesi ile BİST tüm endeks günlük getiri oranları zaman serisinin doğrusal olmayan özelliği desteklenmiştir ve bu da zayıf formda piyasa etkinliğinin olmaması anlamına gelmektedir.

Elde ettiğimiz bu sonuç çok sayıda araştırmanın sonuçlarıyla aynıdır (Frank and Stengos (1989); Hinich and Paterson (1989); Brockett et. al. (1988); Barnett William, Gallant, A.R., Hinich, M.J., Jungeilges, J., Kaplan, D., Jensen M.J., (1996); Mantegna and Stanley (2000)). Yani, Hinich Bispectral Gaussianity ve Linearity testi ile yapılan araştırma bulgularında ağırlıklı olarak ve kendi araştırmamda finansal piyasalarda eğriselliğin varlığı ortaya çıkmaktadır.

5.3. BIST Zaman Serisinin Kaos Testleri

BIST zaman serisinde kaos'un testi için iki yöntem kullanılmıştır. İlki Lyapunov Üsseli testidir, ikincisi ise NEGM testidir. Lyapunov üsseli testi sistemlerde varolan kaos'un en temel testidir. NEGM testi de aslında Lyapunov üssellerini hesaplar ancak farkı, hesaplamada kullandığı yöntem olarak yapay sınır ağı modelini kullanmasıdır.

BİST tüm endeks zaman serisi üzerinde, Wolf et al. (1985)'nin tahmin yöntemi kullanılarak hesaplanan maximum Lyapunov üsselleri (λ) hesaplanmıştır. Test dört

farklı yerleştirme boyutu için tahmin edilmiştir ve $n_{dim}=(1,2,3,4)$ için sırasıyla BIST tüm endeks için $\text{Max } \lambda=(0.22368791, 0.23458914, 0.35612712, 0.41236514)$ değerleri elde edilmiştir. Lyapunov üssel değeri (λ) 0'dan büyük ise, sistem kaotiktir. Çünkü, $\lambda>0$ için sistemin yörüngeleri birbirlerinden üssel olarak uzaklaşırlar, yani sistem a-periyodiktir (periyodik değildir), buda kaos anlamına gelir. Eğer $\lambda<0$ olursa sistem periyodik hareketler yapıyor demektir ve periyodik sistemlerde kaos olmaz. Analizler sonucunda elde edilen 4 farklı yerleştirme boyutlarının tümü içinde $\text{Max } \lambda$ değerleri 0'dan büyük olduğundan BIST zaman serisinin kaotik olduğu sonucuna varılmıştır.

NEGM testinin hipotezleri de Lyapunov üsseli testi hipoteziyle aynıdır. Yani, eğer sistemin Lyapunov üsseli λ değeri 0'dan büyükse sistem kaotiktir, aksi halde kaotik değildir. Bu iki test arasındaki fark, sistemin Lyapunov üsseli λ 'nın hesaplama metodolojilerinin farklı olmasıdır. NEGM testi için “feed-forward single hidden layer network with a single output” modeli kullanılır. Oluşturulan yapay sinir ağı ile NEGM yöntemi zaman serisine uygulandığında Lyapunov üsselinin nokta tahmini “ $\lambda=0.42$ ” olarak bulunmuştur. Bu pozitif bir sayıdır. Dolayısı ile boş hipotez H_0 , reddedilmiştir ve zaman serisinin kaotik olduğu bulunmuştur.

Elde ettiğimiz bu sonuç çok sayıda araştırmanın sonuçlarıyla aynıdır (Serletis and Gogas (1997); Abhyankar, Copeland, Wong (1997); Frank ve Stengos (1989); Barnett William, Gallant, A.R., Hinich, M.J., Jungeilges, J., Kaplan, D., Jensen M.J., (1996); Barnett and William, (2004); Mantegna and Stanley (2000); Hamill, Opong (1997)). Yani, NEGM testi ile yapılan kaos testleri sonuçlarının %50'den fazlası piyasalarda kaos'un varlığını bulmuşlardır. Kendi araştırmamda da, BİST'te kaos'un varlığı ortaya çıkmaktadır. Araştırmaların yarıdan fazlasında kaos'un varlığının bulunması anlamlı bulunmaktadır.

5.4. Çalışmanın Kısıtları

Menkul kıymetler borsalarında yapılan benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında, farklı sonuçlar elde edilmesinin dört nedeninden bahsedilebilir. İlki, veri kümelerinin mikratıyla ilgilidir. Çünkü, Harrison v.d. (1999, s. 501), test sonuçlarının doğruluğunun veri sayısı ve sıklığı arttıkça iyileştiğini söylemişlerdir.

İkinci neden ise, BİST'in genç bir piyasa olmasının getirdiği olgunluk sorunları yer almaktadır. Üçüncü unsur, Türkiye'nin sıklıkla yaşadığı iktisadi ve finansal krizlerin yarattığı şok ve dalgalanmalar da borsa üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır.

2. ve 3. nedenler, veri zaman serilerinde parazite neden olmaktadır ve parazit de analiz sonuçlarını etkilemektedir. Zaman serilerinden parazitin tamamen ayrıştırılması her zaman mümkün olmayabilmektedir. Kaos analizlerinde parazitin varlığı yanlış yorumlara sebep olmaktadır. Parazitli zaman serisinin çıktıları ile doğrusal olmayan sistemlerin çıktıları neredeyse benzerdir. Bu nedenden ötürü, zaman serilerinde var olabilecek parazitler, kaos ve eğrisellik testlerinde çok önemli bir kısıttır.

Kaos araştırmalarının güvenilirliği hususunda dördüncü unsur ise kullanılan analiz yöntemleridir. Analiz yöntemlerinin güvenilirliği teorik olarak ortaya koyulabilmektedir. Bu nedenle, kullanılan analiz yöntemlerinin güvenilirliği literatürde çok iyi araştırılmalı ve dikkatle kullanılmalıdır.

Yani, herhangi gelişigüzel bir yöntemi kullanarak kesin sonuçlara varmak hatalı sonuçlar verebilecektir. Bilimsel bilginin yayılımı makaleler yolu ile olduğundan, hatalı bir makaleyi referans alan diğer yeni araştırmaların da hatalı sonuçlara ulaşmasına neden olabilecektir ve bu hata bir virüs gibi yayılabilecektir.

Örneğin, eğer literatür iyi araştırılırsa, eğrisellik testlerinden olan DMC testinin problemlili olduğu sonucuna ulaşılabilir. BDS testinin DMC testinden daha güvenilir olduğu bilinmektedir. Ancak, iyi araştırıldığında BDS testinin de sorunlar barındırdığı öğrenilebilir. Bunun yerine Hinich Bispectral testi önerilmektedir. Bunları bilmeyen bir araştırmacı sadece DMC testini kullanırsa yanlış sonuçlara ulaşabilir.

Bu unsurlar kaos ve eğrisel analizler alanlarında yapılacak yeni araştırmalar için kısıt niteliği taşımaktadır.

6. ÖNERİLER

Bundan sonraki çalışmalarda, BİST'nin olgunluk sorunları, parazitli verilerin çokluğu, kullanılan farklı test yöntemlerinin etkinliği ve az sayıda veri kullanılması sıkıntılarını minimize etmek için şu önerilerde bulunulabilir:

1-Büyük sayıda (örneğin 5.000 ve üzeri) veri kümesi kullanılması.

2-Farklı sıklıkta ve farklı kategorilerde verilerin kullanılması.

3-Para ve emtia piyasalarında da benzer araştırmaların yapılması.

4-Farklı test yöntemlerinin kullanılması.

5-Kaos ve eğrisel analizlere ilgi duyan matematikçiler yada matematik temeli güçlü araştırmacıların bu alanlara yeni test yöntemleri kazandırması.

Bu şekilde düzenlenecek yeni araştırma sonuçları, hem bu çalışmanın, hem de önceki çalışmaların güvenilirliğinin sınanması açısından faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Makale

Abhyankar A, Copeland LS, Wong W (1997). Uncovering nonlinear structure in real time stock market indexes: The S&P 500, the DAX, the Nikkei 225, and the FTSE-100. *J. Bus. Eco. Stat.*, 15(1): 1-14.

Akaike H (1974). A new look at statistical model specification. *IEEE Tran. Auto. Con. AC*, 19: 716-725(1997). A single blind controlled competition among tests for nonlinearity and chaos, *J. Econometrics*, 82: 157-192.

Assaf, A. (2007). Fractional integration in the equity markets of MENA region. *Applied Financial Economics*, 17, 709-723.

Aygören, H. (2005), “An Empirical Investigation of Price Changes in Istanbul Stock Exchange (ISE)”, *Hacettepe Üniversitesi İİBF Dergisi*, 25(1), 109-134.

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.

Balaban, E., Candemir, H. B., ve Kunter, K. (1996). Stock market efficiency in a developing economy: evidence from Turkey. The Central Bank of the Republic Of Turkey, Research Department, No: 9612

Barkoulas, J., Labys, W.C., ve Onochie, J.I. (1999). Long memory in future prices. *The Financial Review*, 34, 91-100.

Barnett, A., William, Serletis, (2004). Martingales, Nonlinearity, and Chaos, Apostolos, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 24, 703-724.

Barnett A.,William, Hinich MJ (1992). “Empirical chaotic dynamics in econometrics”. *Ann. Oper. Res.*, 37: 1-15.

Bekçioğlu, S. ve E. Ada (1985), “Menkul Kıymetler Piyasası Etkin mi?”, *Muhasebe Enstitüsü Dergisi*.

Bennell, Julia and Charles Sutcliffe (2004); “Black–Scholes versus Artificial Neural Networks in Pricing FTSE 100 Options,” *Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management*, Vol. 12, p. 243–260.

Black, F. ve M. Scholes (1973), “The Pricing of Options and Corporate Liabilities”, *Journal of Political Economy*, 81, 637-659.

Blasco, N., ve Santamaria, R. (1996). Testing memory patterns in the Spanish stock market. *Applied Financial Economics*, 6, 401-411.

Bonilla CA, Romera-Meza R, Hinich MJ (2006). Episodic nonlinearity in Latin American stock market indices. *App. Econ. Let.* 13: 195-199.

Brealey RA (1970). The distribution and independence of successive rates of return from the British equity market. *J. Bus. Fin.*, 2: 29-40.

Brock WA (1987). Nonlinearity in finance and economics. Department of Economics, The University of Wisconsin-Madison, Social Systems Research Institute Working Paper, pp.1-247.

Brock WA, Dechert WD, Scheinkman JA, LeBaron B (1996). A test for independence based on the correlation dimension, *Econ. Rev.*, 15(3).

Brockett PL, Hinich M, Patterson D (1988). Bispectral-based tests for the detection of Gaussianity and linearity in time series, *J. Am. St. Ass.*, 83(403): 657-664.

Caporale, G.M., ve Gil-Alana, L.A. (2004). Long range dependence in daily stock returns. *Applied Financial Economics*, 14, 375-383.

Christodoulou-Volos, C., ve Siokis, F.M. (2006). Long range dependence in stock market returns. *Applied Financial Economics*, 16, 1331-1338.

Cunningham SW (1973). The predictability of British stock market prices. *App. St.*, 22: 215-231.

Çevik, Emrah, İsmail (2012), “İstanbul Menkul Kıymetler Borsasında etkin piyasa hipotezinin uzun hafıza modelleri ile analizi: Sektörel bazda bir inceleme”, *Journal of Yasar University* 26(7) 4437 – 4454

Çıtak L., (2003). Para ve maliye politikalarının IMKB endeksi üzerindeki etkilerinin incelenmesi: BİST'de makroekonomik politikalar açısından bilgi etkin midir? Dumlupınar Uni. Soc. Sci. J., 9: 129-143.

Das A, Das P (2007). Chaotic analysis of the foreign exchange rates. *App. Math. Comp.*, 185: 388-396.

De Lima, P.,F., (1995). Nonlinearities and nonstationarities in stock returns. *Working Papers in Economics. The John Hopkins University. Department of Economics*, pp. 34-59.

Dickey, D.A., and W.A., Fuller, (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *J. Am. St. Ass.*, 74: 427–431.

Disario, R., Saraoglu, H., McCarthy, J., ve Li, H. (2008). Long memory in the volatility of an emerging equity market: the case of Turkey. *International Financial Markets, Institutions ve Money*, 18 (5), 305-312. E. İ. ÇEVİK / *Journal of Yaşar University* 2012 26(7) 4437 - 4454

Dryden, M.M., (1970). A statistical study of U.K. share prices. *Scottish J. Pol. Econ.*, 17: 369-389.

Fama E.F (1965). The behaviour of stock market prices. *Journal of Business.*,38: 34-105.

Fama, E.F. (1970), “Efficient Capital Markets: A Review Theory and Empirical Work”, *Journal of Finance.*,25, 338-417.

Frank M, Stengos T (1989) Measuring the stangeness of gold and silver rates of return, *Rev. Econ. St.*, 56: 553-567.

Gencay, R., Dechert, W.D., 1992. An algorithm for the n-Lyapunov exponents of an n-dimensional unknown dynamical system. *Physica D* 59, 142-157.

Gil-Alana, L. (2006). Fractional integration in daily stock market indexes. *Review of Financial Economics*, 15, 28-48.

Granger CWJ, Newbold P (1974). Spurious regressions in econometrics. *J. Econ.*, 2: 111-120.

Grassberger P, Procaccia I (1983). Characterization of strange attractors. *Phy. Rev. Let.*, 50: 346-349.

Hamill P, Opong K.K., (1997). Nonlinear determinism in the Irish equity market, Unpublished paper, School of Management, University of Ulster, Newtonabbey, pp. 34-63.

Harrison RG, Dejin Y, Oxley L, Lu W, George D (1999). Non-linear noise reduction and detecting chaos: some evidence from the S&P Composite Price Index, *Math. Comp. Sim.*, 48: 497-502.

Hinich MJ, Clay CS (1968). The application of the discrete Fourier transform in the estimation of power spectra, coherence and bispectra of geophysical data. *Rev. Geoph.*, 6(3): 347-363.

Hinich MJ, Patterson DM (1989). Evidence of nonlinearity in the trade-by-trade stock market return generating process in economic complexity, chaos, sunspots, bubbles and nonlinearity, W. Barnett, J.

Hinich MJ, Rothman P (1998). Frequency-domain test of time reversibility, *Macroeco. Dyn.*, 2(1): 72-88.

Kang, S.H., Cheong, C., ve Yoon, S-M. (2010). Long memory volatility in Chinese stock markets. *Physica A*, 389, 1425-1433.

Keith Burns; Boris Hasselblatt, (2011). Sharkovsky Theorem: A Natural Direct Proof;, *American Mathematical Monthly*, Volume 118, Number 3, pp. 229-244 (16)

Kendall, M.G. (1953). The analysis of economic time series. *J. Royal St. Soc.*, 116(1): 56-78.

Kiliç, R. (2004). On the long memory properties of emerging capital markets: evidence from Istanbul stock exchange. *Applied Financial Economics*, 14, 915-922.

Kıyılar, M. (1997). "Etkin Pazar Kuramı ve Etkin Pazar Kuramının IMKB'de İrdelenmesi", *Sermaye Piyasası Kurulu Yayınları*, YayınNo: 86.

Korkmaz, T., ÇEVİK, 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.

Lee, T.H., White, H., Granger, C., (1993). Testing for neglected nonlinearity in time series models: a comparison of neural networks methods and alternative tests. *J. Econ.*, 56(3): 269-290.

Lux, T., ve Kaizoji, T. (2007). Forecasting volatility and volume in the Tokyo stock market: long memory, fractality and regime switching. *Journal of Economic Dynamics ve Control*, 31, 1808-1843.

Yorke, James A., Tien-Yien Li (1975). "Period Three Implies Chaos", *The American Mathematical Monthly*, Vol. 82, No. 10., pp. 985-992.

Lorenz, E.N., (1963). Deterministic nonperiodic flow, *Journal of The Atmospheric Sciences*, 20, 130-141

McMillan, D.G., ve Thupayagale, P. (2008). Efficiency of the South African equity market. *Applied Financial Economics Letters*, 1-4. 4454

Mandelbrot, B.B., (1964), "The Variation of Certain Speculative Prices", P.Cootner (der), *Random Character of Stock Market Prices*, Cambridge,MA: M.I.T Press, 307-332.

Markowitz, H. M. (1952), "Portfolio Selection", *Journal of Finance*, 7, 77-91.

Mulligan, R. (2000), "A Fractal Analysis of Foreign Exchange Markets", *IAER*, 6 (1), 33-49.

Mulligan, R. (2003), "Fractal Analysis of Highly Volatile Markets: An Application to Technology Equities", *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 44, 155-179.

May, Robert, (1976), Simple Mathematical Models with very Complicated Dynamics, *Nature*, 261:45-67.

McKenzie, M., (2001). Chaotic behavior national stock market indices: New evidence from close returns test. *Global Fin. J.*, 12: 27-46.

Nychka D, Ellner S, Gallant R, McCaffrey D (1992). Finding chaos in noisy systems, *J. Royal Sta. Soc.*, 54(2): 399-426.

Osborne, M.F.M. (1964), "Brownian Motion in the Stock Market", P.Cootner (der), *Random Character of Stock Market Prices*, Cambridge,MA: M.I.T Press, 100-128.

Resende, M., ve Teixeira, N. (2002). Permanent structural changes in the Brazilian economy and long memory: a stock market perspective. *Applied Economics Letters*, 9, 373-375.

Samuelson P.A., (1965). "Proof That Properly Anticipated Prices Fluctuate Randomly" *Industrial Management Review*, 6.

Scheinkman, J.A., LeBaron, B., (1989). Nonlinear dynamics and stock returns. *J. Bus.*, 62(3): 311-337.

Serletis, A., Gogas., P., (1997). Chaos in East European black-market exchange rates. *Res. Econ.*, 51: 359-385

Sewell, S.P., Stansell S.R., Lee I., Pan, M.S., (1993). Nonlinearities in emerging foreign capital markets. *J. Bus. Fin. Acc.*, 20: 237-248

Sharpe, W.F. (1964), "Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium Under Conditions of Risk", *Journal of Finance*, 19, 425-442

Taner, Berna ve Cenk Akkaya (2005); "Yatırımcı Psikolojisi ve Davranışsal Finans Yaklaşımı," *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, Sayı 27, s. 47–54.

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.

Willey, T. (1992). "Testing for nonlinear dependence in daily stock indices". *J. Eco. Bus.*, 44: 63-76.

Wolf, A., Swift, J.B., Swinney, H.L., Vastano, J.A., (1985). "Determining Lyapunov exponents from a time series". *Phy.*, 16: 285-317.

Wolf, A., (1991). *Lyapu-News*: "Documentation for FET, a program that quantifies chaos in time series, mimeo".

Vougas, D.V. (2004). Analysing Long memory and volatility of returns in the Athens stock exchange. *Applied Financial Economics*, 14, 457-460.

Kitap ve Kitap Bölümü

Allen, R.G.D. (1968). "Macro-Economic Theory: A methematical Treatment". Mc-Millan, UK: 127-129.

Allen, R.G.D. (1964). "Statics for Economists". Mc-Millan, UK: 87-88.

Bachelier, L. (1964), "The Theory of Speculation", P. Cootner (der), Random Character of Stock Market Prices içinde, Cambridge, MA: M.I.T Press, 17-78.

Baker, G.L. and Gollub, J.P., (1990), Chaotic Dynamics, Cambridge University Press, Cambridge, p. 179.

Barnett William, Gallant, A.R., Hinich, M.J., Jungeilges, J., Kaplan, D., Jensen M.J., (1996). "An experimental design to compare tests of nonlinearity and chaos in nonlinear dynamics and economics".

Briggs, John (1992). Fractals: The Patterns of Chaos. London : Thames and Hudson, 1992.. p. 148. ISBN 0500276935, 0500276935.

Brock WA (1988). Nonlinearity and complex dynamics in economics and finance. in The Economy as an Evolving Complex System. Eds.: Anderson PW, Arrow KJ, Pines D. Addison-Wesley Publishing Company, pp.77-97.

Cajueiro, D.O., ve Tabak, B.M. (2006). The long-range dependence phenomena in asset returns: the Chinese case. Applied Economics Letters, 13, 131-133.

Campbell YJ, Lo AW, MacKinlay AC (1997). The econometric of financial markets, (Princeton University Press: Princeton, NJ).

Creedy J, Martin VL (1994). Chaos and nonlinear models in economics: theory and applications, (Edward Elgar Publishing: Northampton, UK).

Demuth, Howard ve Mark Beale (2000); Neural Network Toolbox For Use With MATLAB User's Guide Version 4, 6. Edition, MathWorks, USA.

Elder, J., ve Serletis, A. (2007). On fractional integrating dynamics in the US stock market. Chaos, Solitons and Fractals, 34, 777-781.

Falconer, Kenneth (2003). Fractal Geometry: Mathematical Foundations and Applications. John Wiley & Sons, Ltd.. xxv. ISBN 0-470-84862-6.

Franses, Philip Hans (1998). "Time Series Models for Business and Economic Forecasting", Cambridge University Press, UK: 201-211.

Gleick J. (1987). Kaos, Tübitak Yayınları, Ankara, Türkiye.

Gleick J. (1995). Kaos, Tübitak Yayınları, Ankara, Türkiye.

Gullick, Denny, (1982). Encounters with chaos, Mc Graw Hill.

Gündüz G., (2004). Anaksimenes'te ve Günümüzde Kaos Anlayışı, İstanbul Kültür Üniversitesi Yayınları.

Hilborn, R.C., (1994), Chaos and Nonlinear Dynamics, Oxford University Press, New York.

Hilborn, R.C., (2003), 2nd- edition, Chaos and Nonlinear Dynamics, Oxford University Press, New York, p. 650.

Karslı, Muharrem, (1995), "BORSA", Alfa Yayıncılık.

Latif, Hasan, (2002) "Kaotik Ortamda Yönetim", Stratejik Boyutuyla Modern Yönetim Yaklaşımları, 1.Baskı, Beta Basım-Yayım-Dağıtım A.Ş., İstanbul.

Lorenz EN (1993). Essence of Chaos, (University of Washington Press: Seattle, WA).

Maddala, G.S. ve Inn-Moo Kim, (2002). Unit Roots, Cointegration and Structural Changes, Cambridge University Press, U.K.

Mantegna RN, Stanley HE (2000). An introduction to econophysics: correlations and complexity in finance, (Cambridge University Press: New York, NY).

Pesaran, H., Potter, S., (1993). Nonlinear dynamics, chaos and econometrics, (John Wiley & Sons: New York, NY).

Peters, E.E., (1991), Chaos and Order in The Capital Markets: A New View of Cycles, Prices, and Market Volatility, John Wiley and Sons, Inc., New York.

Rasband, S.N., (1990). Chaotic Dynamics of Nonlinear Systems, John Wiley&Sons, 415-7-90072800.

Ruelle, David, (1991). Raslantı ve kaos Tübitak Popüler Bilim Kitapları.

Sparrow, C., (1982). The Lorenz Equations: Bifurcations, Chaos, and Strange Attractors", Springer- Verlag, New York, 0387907750.

Strogatz, Steven, H., "Nonlinear Dynamics and Chaos with applications in Physics", Biology, Chemistry and Engineering, Perseus Books, 1994.

Torsten, H. Nilsen, (1993). "Chaos Marketing: A marketer's guide to chaos theory", Eddison Wesley.

Trippe, Robert,(Editör)(1995). “Chaos & Nonlinear Dynamics in the Financial Markets: Theory, Evidence and Applications”, (Irwin Professional Publishing: Chicago, IL).

Lisansüstü Tezler

Adalı, Sait, (2006). Piyasa etkinliği ve IMKB: Zayıf formda etkinliğe ilişkin ekonometrik bir analiz, Kadir Has Üniversitesi, İşletme yüksek lisans tezi, İstanbul, Türkiye.

Bayramoğlu M.,F., (2007). Finansal endekslerin öngörüsünde yapay sinir ağı modellerinin kullanılması. BİST ulusal 100 Endeksinin gün içinde en yüksek ve en düşük değerlerinin öngörüsü üzerine bir uygulama, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, İşletme yüksek lisans tezi, Zonguldak, Türkiye.

Çelikoğlu, Ahmet,(2006), “Düşük-boyutlu yitimli dinamik sistemlerin kaos geçiş eşiğinde entropi üretimi ve ilk koşullara bağıllığı”, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Yüksek lisans tezi, İzmir, Türkiye.

Kenkul, E. (2006). Hisse senedi getirilerinin modellenmesinde geometrik brownian hareket süreçlerinin belirlenmesi, BİST’de bir uygulama, MBA Thesis, Gazi University, Ankara, Turkey.

Koçak, K., (1996), Kaotik davranış kriteri olarak fraktal boyut değişimi ve dinamik sistemlere uygulanması, Tez (Doktora), İstanbul Teknik Üniversitesi.

Özgen, D., (2007). Yapay sinir ağları analizi ve Türk finans piyasaları: BİST 30 endeks uygulaması, MBA Thesis, Marmara University, İstanbul, Turkey.

Özkaynak, Fatih, (2007). Yüksek Lisans Tezi T.C Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü “Doğrusal olmayan sistemlerde Lyapunov üssellerini hesaplayan yazılımın gerçekleştirilmesi”. Bilgisayar Mühendisliği ABD Elazığ.

Topçuoğlu L. (2006). “Evidence on the existence of nonlinearity and chaotic behavior on stock exchange markets: an evaluation within the context of Turkey as an emerging capital market”. Marmara University. MBA Thesis.

Yalçın, Gülistan, Ç., (2005). “Kaotik fiziksel sistemler ve acayip çekiciler”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Programı, Haziran.

Internet Kaynakları

Web1 (2006) [www.finansbilim.com/ufs2006/ Makaleler/IMKBNINETKINLIK.pdf](http://www.finansbilim.com/ufs2006/Makaleler/IMKBNINETKINLIK.pdf)

Atan, M., Özdemir, Z. A., Duman, S., Kayacan, M., ve Boztosun, D. (2006). “BİST’nin etkinlik düzeyinin zaman serisi ekonometrisi ile analizi”.

Web2 (2002) http://www.cambridge.org/resources/0521790182/1552_117097.ppt

Brooks, Chris (2002). “Introduction Econometrics for Finance”: 153-157.

Web3 (2012) http://en.wikipedia.org/wiki/Bifurcation_diagram

Web4(2008)<http://www.vanderbilt.edu/AnS/psychology/cogsci/chaos/workshop/BD.html>

ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Ankarada doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ankara da yaptı. Orta Doğu Teknik Üniversitesinden Lisans ve Yüksek Lisans, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsünden Yüksek lisans derecelerine sahiptir. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsünden bu çalışma ile Doktora derecesini almayı amaçlamaktadır.