T. C.

İstanbul Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
Para, Sermaye Piyasaları ve Finansal Kurumlar
Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

SERMAYE PİYASASINDA KAOS VE FRAKTAL ANALİZİ

Mustafa ÖZCAN

2501414295

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Erdinç ALTAY

İstanbul, 2009

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

PARA, SERMAYE PİYASALARI VE FİNANSAL KURUMLAR Bilim Dalında **2501414295** numaralı **MUSTAFA ÖZCAN'IN** hazırladığı" **SERMAYE PİYASASINDA KAOS VE FRAKTAL ANALİZİ**" konulu **YÜKSEK LİSANS / ~~DOKTORA~~ TEZİ** ile ilgili **TEZ SAVUNMA SINAVI** Lisansüstü Öğretim Yönetmeliği'nin 15. Maddesi uyarınca **22/04/2009 ÇARŞAMBA** günü saat..**14.00'da** yapılmış, sorulan sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin .....Kabulü....."ne* **OYBİRLİĞİ / ~~OYÇOKLUĞUYLA~~** karar verilmiştir.

JÜRİ ÜYESİ	KANAATİ(*)	İMZA
PROF.DR.N.HÜLYA TALU	Kabul	
DOÇ.DR.AHMET KÖSE	Kabul	
DOÇ.DR.ERDİNÇ ALTAY	Kabul	
YRD.DOÇ.DR.ZAHİDE AYYILDIZ ONARAN	Kabul	
YRD.DOÇ.DR.MUSTAFA TEKİN	Kabul	

Besim Ömer Paşa Caddesi Beyazıt-34452-İstanbul
Tel:0212 526 13 38 – 0212 514 01 35 Fax: 0212 520 85 04

ÖZ

Mustafa Özcan

Sermaye Piyasasında Kaos ve Fraktal Analizi

Bu çalışmanın amacı İstanbul Menkul Kıymetler Borsası'nda (İMKB) kaotik yapının varlığının araştırılmasıdır. İlk olarak kaosun meydana gelmesi için gerekli şartların başında gelen doğrusal olmama koşulu araştırılmıştır. Doğrusal olmayan yapının araştırılması BDS testinden aracılığı ile yapılmıştır. Yapılan test sonucu İstanbul Menkul Kıymetler Borsası'nın doğrusal olmayan bir yapıya sahip olduğu sonucuna varılmıştır. İkici adım borsa verilerinde uzun vadeli belleğin araştırılması yönündedir. Uzun vadeli belleğin araştırılması için R/S analizi yapılarak Hurst üssü bulunmuştur. Bulunan sonuç 0.5 değerinden büyük olduğu için İMKB verilerinin uzun vadeli belleğe sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Kaotik yapının varlığının tespiti için verilerin Lyapunov katsayısı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama sonucunda Lyapunov katsayısı negatif çıkmıştır. Bu sonuç İMKB verilerinde kaotik bir yapı olmadığı yönünde yorumlanmıştır. Araştırmanın sonucunda İMKB' nin doğrusal bir yapıda olmadığı, uzun vadeli belleğe sahip olduğu ama yapısının kaotik özellik taşmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

ABSTRACT

Mustafa Özcan

Chaos In Capital Markets and Fractal Analysis

The main purpose of this thesis is analyzing the chaotic behavior in Istanbul Stock Exchange (İSE). In this study, nonlinearity condition, which is the main reason of chaos, is studied. BDS test is employed to analyze the nonlinear structure. According to the analysis run, a nonlinear structure in İSE data is observed. Secondly; detecting long memory in ISE data via R/S Analysis is planned. The result of R/S analysis run to explore the long term memory found out the Hurst exponent which is over value 0.5. Since the result is fond out to be higher than 0.5, ISE data is stated to have a long term memory. In order to point out the chaotic structure, Lyapunov exponent is calculated. According to the analysis, Lyapunov exponent is calculated to be negative. It is commented that ISE does not have a chaotic nature. In the result of the study, ISE is found out to have a long term memory with no linear structure or chaotic behaviour.

ÖNSÖZ

Sermaye piyasalarında meydana gelen fiyat hareketleri uzun yıllardan beri açıklanmaya çalışılmış bu konuda bir çok farklı hipotez ileri sürülmüştür. 1970' li yıllarda başlayan ve günümüze kadar üzerinde bir çok araştırma yapılan Etkin Piyasa Hipotezi'nin (EPH) piyasalarda meydana gelen aşırı dalgalanmaları açıklamakta yetersiz kaldığı yönünde fikir birliği hemen hemen oluşmuştur. Hem EPH' in içinde hem de EPH' ye karşı bir çok hipotez ileri sürülmüştür. Son yıllarda fizik yasalarının da finans piyasalarındaki dalgalı seyri açıklamakta yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Uzun yıllar fizikçiler tarafından üzerinde çalışılan kaos teorisi finans piyasasında giderek popüler olmaya başlamıştır. Bu çalışma kaos teorisi hakkında finans yazınında yapılan çalışmaların İstanbul Menkul Kıymetler Borsasına uyarlanmasıdır. Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde piyasa etkinliğine dair belli başlı hipotezler ele alınmıştır. İkici bölümde dinamik sistemler ve kaos açıklanmıştır. Üçüncü bölümde zaman serilerinde kaosun tespit yöntemleri açıklanmıştır. Dördüncü bölümde İMKB verilerinde kaotik yapının varlığı araştırılmıştır.

Bu doğrultuda, benim bu konuda çalışma yapmamı sağlayan, değerli hocam, sayın.**Prof. Dr. Hülya Talu**' ya, tezimin hazırlanmasında yardımını esirgemeyen sevgili hocam sayın. **Doç. Dr. Erdinç Altay**' a, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen sevgili kardeşim **Yrd. Doç. Dr. Gül Özcan Arıcan**' a, sevgili arkadaşım **Adviye**' ye, canım annem **Dr. Gülay Özcan** ve canım babam **Dr. Selahattin Özcan**'a derin minnet duygularımla sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Mustafa Özcan, İstanbul, 2009

İÇİNDEKİLER

ÖZ ..... İ

ABSTRACT ..... İİ

ÖNSÖZ ..... İİİ

İÇİNDEKİLER ..... İV

TABLO LİSTESİ ..... Vİ

ŞEKİL LİSTESİ ..... Vİİ

KISALTMALAR ..... Vİİİ

GİRİŞ 1

1. SERMAYE PİYASALARINDA ETKİNLİĞİN TESPİTİNE YÖNELİK BAŞLICA HİPOTEZLER 4

1.1. ETKİN PİYASA HİPOTEZİ 8

1.2. DÜZENLİ PİYASALAR HİPOTEZİ 16

1.3. FRAKTAL PİYASA HİPOTEZİ 22

2. DİNAMİK SİSTEMLER VE KAOS 29

2.1. DİNAMİK SİSTEMLER 30

2.2. DİNAMİK SİSTEMLERİN SINIFLANDIRILMASI 30

2.2.1. KESİKLİ DİNAMİK SİSTEMLER 31

2.2.2. SÜREKLİ DİNAMİK SİSTEMLER 31

2.2.3. OTONOM DİNAMİK SİSTEMLER 31

2.2.4. OTONOM OLMAYAN DİNAMİK SİSTEMLER 32

2.2.5. DOĞRUSAL DİNAMİK SİSTEMLER 32

2.2.6. DOĞRUSAL OLMAYAN DİNAMİK SİSTEMLER 32

2.3. DİNAMİK SİSTEMLERİN GRAFİK GÖSTERİMİ 33

2.4. KAOS 35
2.5. KAOTİK SİSTEMLER 38
3. ZAMAN SERİLERİNDE KAOSUN TESPİTİ 41
3.1. BDS TESTİ 42
3.2. HURST ÜSSELİ 45
3.2.1. HURST ÜSSÜNÜN YORUMLANMASI 47
3.2.2. RASTSAL YOKLUK HİPOTEZİ 49
3.3. LYAPUNOV ÜSTSELLERİ 50
4. KAOS TEORİSİ AÇISINDAN İMKB NİN YAPISAL ANALİZİ 54
4.1. UYGULAMANIN AMACI 55
4.2. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ 56
4.3. VERİLER 57
4.4. VERİLERİN ANALİZİ 57
4.4.1. BDS TESTİ 61
4.4.2. DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ GENİŞLİK ANALİZİ 63
4.4.3. LYAPUNOV KATSAYISININ HESAPLANMASI 74
SONUÇ 76
KAYNAKÇA 80
EK

TABLO LİSTESİ

Tablo 1 : İMKB 100 Özet Tanımlayıcı İstatistikler 57
Tablo 2 : İMKB 100 Endeksi Kartil Değerleri 58
Tablo 3 : İMKB 100 Endeksi Getirilerinin Frekans Değerleri 59
Tablo 4 : İMKB-100 Endeksi Getirilerinin Jargue-Bera ve ADF Test Sonuçları 60
Tablo 5 : BDS Test Sonuçları 62
Tablo 6 : İMKB 100 Bileşik Endeksi için R/S Analiz Sonuçları 64
Tablo 7 : İMKB -100 Bileşik Endeksinin Regresyon Sonuçları 65
Tablo 8 : İMKB Sınai Endeksi için R/S Analiz Sonuçları 66
Tablo 9 : İMKB Sınai Endeksinin Regresyon Sonuçları 67
Tablo 10 : İMKB Mali Endeksi için R/S Analiz Sonuçları 68
Tablo 11 : İMKB Mali Endeksinin Regresyon Sonuçları 70
Tablo 12 : İMKB Teknoloji Endeksi için R/S Analiz Sonuçları 70
Tablo 13 : İMKB Teknoloji Endeksinin Regresyon Sonuçları 71
Tablo 14 : İMKB Ulusal Hizmetler Endeksi için R/S Analiz Sonuçları 72
Tablo 15 : İMKB Teknoloji Endeksinin Regresyon Sonuçları 73
Tablo 16 : İMKB Endeksleri Lyapunov Katsayıları 75

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1 : DPH Fiyat Hareketleri.....17
Şekil 2 : Düzenli Piyasalar Hipotezi 18
Şekil 3 : k ve h Parametresi Piyasa Türleri..... 21
Şekil 4 : Koch Eğrisi..... 23
Şekil 5 : Sierpinski Kalçetesi.....24
Şekil 6 : Cantor Tozu.....24
Şekil 7 : Lorenz Çekicisi.....34
Şekil 8 : Lyapunov Üstselinin Hesaplanması 52

KISALTMALAR

EPH	: Etkin Piyasa Hipotezi
DPH	: Düzenli Piyasalar Hipotezi
FPH	: Fraktal Piyasa Hipotezi
İMKB	: İstanbul Menkul Kıymetler Borsası
R/S	: Ölçeklendirilmiş Getiri
TCMB	: Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası

GİRİŞ

Bütün dünyada menkul kıymet borsaları tasarrufların reel sektöre aktarımının yanı sıra, günlük ekonomik gelişmelerin yakından izlenmesi bakımından büyük önem taşımaktadır. Menkul kıymet borsalarının bu işlevlerini yerine getirebilmeleri kurumsal ve teknik alt yapılarının yanı sıra fiyat oluşumunu sağlayan yatırımcıların davranış biçimi ile de yakından ilgilidir.

20. yüzyılın ikici yarısından itibaren önemli ilerlemeler sağlanan modern finans teorisi temel varsayımlarını klasik ve neo klasik ekonomi biliminden esinlenerek oluşturmuştur. Modern finans teorisinde bireyler sürekli doğru kararlar veren, yüksek bilgi işleme kapasitesine sahip rasyonel bireyler olarak tanımlanmaktadır.

İnsan davranışları ekonomi ve modern finans teorisinin modellemelerinde daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Ekonomik karar alma süreci sadece ekonomistlerin değil sosyolog ve psikologlarında ilgi alanına girmekte, ortak çalışmalara sahne olmaktadır. Davranışsal finansın bu gelişimi son on yılda fizik kanunlarının da finansa uygulanmasıyla farklı bir yöne doğru gitmektedir. Ekonofizik denilen bu yeni dalda finansal problemlere fizik yasalarıyla çözüm bulunmaya çalışılmaktadır.

Uzun yıllar fizikçilerin üzerinde çalıştığı kaos teorisi, finans piyasalarında görülen ve yeterli açıklama getirilemeyen, tesadüf olarak yorumlanan aşırı fiyat hareketlerini açıklamak amacı ile son yıllarda finans alanında giderek artan bir uygulama alanı bulmaktadır.

Kaotik sistemler hızla büyüyen, hızla sönümlenen yapıları içinde barındırırlar. Sistemin hızla farklılaşması ve kararsızlığı büyütme mekanizması ile yaratılırken, sönüm mekanizması da sistemi dengede tutmaya çalışır. Bu tip hareketler neden ve sonuç arasında doğrusal bir ilişkinin olmadığı doğrusal olmayan dinamik sistemlerde meydana gelirler. Kaotik sistemler sonsuz periyoda sahiptirler ve sistemin aynı konuma gelmesi olası değildir.

Menkul kıymet borsalarının yapısına bakıldığında doğrusal olmayan dinamik bir sistemin mevcudiyeti görülebilir. Menkul kıymet borsalarında sistemin yönü trend olarak adlandırılır. Sistemin büyüme hareketi yapması yukarı trend (boğa piyasası), sistemin sönüm hareketi yapması aşağı trend (ayı piyasası) olarak tanımlanır. Dinamik sistemlerin anlatımı ikinci bölümde, kaos, kaotik sistemler ve kaosun tespit yöntemleri ise çalışmanın üçüncü bölümünde ele alınmıştır.

Rastsal yürüyüş varsayımında sapmayı ölçmek amacı ile kullanılan Ölçeklendirilmiş getiri (R/S Analizi) finansal verilerin incelenmesinde son yıllarda yaygın biçimde kullanılmaktadır. R/S analizi, Hurst üssünü bulmak amacıyla yapılan bir istatistiksel işlemdir. Hurst üssü, zaman serisi verilerinde bulunan uzun dönemli belleği ölçerek rastsallıktan uzaklaşmanın ölçüsünü vermektedir. R/S analizi ve Hurst üssünün yorumu üçüncü bölümün içinde açıklanmıştır.

Menkul kıymet borsalarında doğrusal olmayan hareketlerin açıklanmasına yönelik bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların en bilineni etkin piyasa hipotezi (EPH) dir. Ancak EPH'i doğrusal olmayan hareketlerin açıklanmasında bir çok yetersizlik sergilemiştir. Tonis Vaga tarafında ileri sürülen Düzenli Piyasalar hipotezi kaos teorisini açıklamaya çalışmıştır. Ancak kaos teorisini en iyi açıklayan hipotez 1991 yılında Edgar. E. Peters tarafından ileri sürülen Fraktal Piyasa Hipotezi olmuştur. Bu çalışmalara yönelik bilgiler birinci bölümde açıklanmıştır.

İstanbul Menkul Kıymetler Borsası'nda kaotik yapının varlığı dördüncü bölümün konusudur. Bu bölümde ilk önce İstanbul Menkul Kıymetler Borsası İMKB-100 bileşik endeksinin yanında, İMKB sektörel endekslerinden Ulusal Hizmetler, Sınai Endeksi, Mali Endeks ve Teknoloji endekslerinin yapıları incelenerek doğrusal olmayan bir yapının varlığı BDS testi yardımı ile araştırılmıştır. Daha sonra endeks verilerinde uzun dönemli bir hafızanın varlığına R/S analizi ile bakılmıştır. Son adım olarak kaotik yapının varlığı Lyapunov üsseli aracılığı ile araştırılmıştır.

1. BÖLÜM

1. SERMAYE PİYASALARINDA PİYASA ETKİNLİĞİNİN TESPİTİNE YÖNELİK BAŞLICA HİPOTEZLER

Uluslararası finansal piyasalarda yaşanan çalkantılar ile riskten korunma ve spekülatif gelir elde etme amacına dönük olarak sermaye piyasası ürünlerinin yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanılması, finansal piyasalardaki hareketlerin tahmin edilmesine olan ilgiyi her geçen gün artırmaktadır.

Küreselleşme olgusuyla birlikte finansal pazarlar arasındaki ilişki giderek yoğunlaşmaktadır. Finansal pazarlar arasındaki bu ilişki, bilginin önemini gündeme getirmektedir. Bilgi olgusu, bugün finansal pazarların etkinlik düzeyini belirleyen en önemli koşul olarak görülmektedir. Bilgiye dayalı bir ekonomide yatırımcılar, bilginin türü ve hisse senedi fiyatına yansıma derecesine bağlı olarak yüksek tutarda kazanç ve kayıplarla karşılaşabilmektedir. Özellikle İMKB gibi gelişmekte olan ülkelerdeki menkul kıymet piyasalarında bu etki kendini yoğun olarak hissettirmektedir.[1]

İktisatçılar etkinlik kavramını girdilerin en uygun şekilde kullanılarak en fazla çıktıyı elde etmesi olarak tanımlarken, finansal piyasalar için kavram farklı anlama gelmektedir. Tam rekabetçi bir ortamda kamuya açıklanan tüm bilgilerin fiyatları oluşturduğu bundan dolayı piyasada bulunan yatırımcıların bilgileri kullanarak sürekli kar etmesinin mümkün olmayacağı iddiası finansal etkinlik kavramının temelini oluşturmaktadır.[2]

---

[1] Erhan Demireli, 'Etkin Pazar kuramından sapmalar : Finansal Anomalileri Etkileyen Faktörler Üzerine Bir Araştırma', **Ege Akademik Bakış**, 2008, s.1.

[2] Murat ÇİNKO, 'İstanbul Menkul Kıymetler Borsasında Ocak Ayı Etkisi'**, Doğuş Üniversitesi Dergisi**, 9 (1) 2008, s.2.

Sermaye piyasalarındaki etkinliğin araştırılması yaklaşık yarım asırdır yapılmakta ve halende yapılmaya devam edilmektedir. Yatırımcıların daha az risk alarak daha yüksek getiri elde etmeye çalışmaları, etkinlikle ilgili çalışmalara olan ilgiyi artırmıştır. Piyasadaki yatırımcılar, yatırım yaparken öncelikli olarak hisse senedi fiyatlarını etkileyen veya etkileme ihtimali olan bilgileri incelemekte daha sonra da mevcut hisse değeri ve olması gereken hisse değeri hakkında bir kanıya varmaya çalışmaktadırlar. Böylece piyasa araştırmaları sonucunda muhtemel düşük veya yüksek değerlenmiş hisse senetlerini tahmin etmeye çalışmaktadırlar. Bu çalışma neticesinde ellerindeki hisse senetlerinin piyasada yüksek değerlendiği yönünde bulgu elde eden yatırımcılar hisse senetlerini satmayı düşünmektedir. Yatırımcılar hisse senetlerinin piyasada düşük değerlendiği yönünde bulgular elde ederlerse de hisse senedi satın almaya çalışmaktadırlar.[3]

Menkul kıymetler borsalarının etkinliğini ölçmede, hisse senedi fiyat ve getirilerinin seyri temel gösterge olmuştur. Hisse senedi getirilerinin mevcut tüm bilgiyi tamamen yansıttığı piyasalar etkin olarak nitelendirilmektedir. Bu tip piyasalarda, bilgiye herkesin zahmetsiz ulaşabildiği varsayımı altında, piyasadaki mevcut bilgi kullanılarak normal-üstü kazanç elde etmek mümkün değildir. Etkin hisse senedi piyasaları dürüst bir oyun olarak da düşünülebilir; çünkü etkin bir piyasada mevcut bilgi kullanılarak yapılacak fiyat tahminlerinde sistematik bir hata yapmak mümkün değildir. Piyasaların etkinliği, piyasadaki yatırımcıların karar almada kullandıkları bilginin mahiyetine göre derecelendirilmektedir. Yatırımlarda dikkate alınan mevcut bilginin geçmiş fiyat getiri serileri ile sınırlı olduğu etkin piyasalar, zayıf formda etkin olarak nitelendirilmektedir. Etkin piyasa modelinin daha dar bir hali ise rassal yürüyüş (random walk) modelidir. Bu modelde ardışık fiyat değişimleri bağımsızdır ve ardışık getiriler aynı dağılıma sahiptir. Bir başka deyişle bir dönem sonrasına ait getirinin dağılımı, mevcut bilgiden bağımsızdır.[4]

[3] Emrah İsmail ÇEVİK ve Sedat ERDOĞAN: 'Bankacılık Sektörü Hisse Senedi Piyasasının Etkinliği: Yapısal Kırılma Ve Güçlü Hafıza', **Doğuş Üniversitesi Dergisi**, 10 (1) 2009, s.2.
[4] Nadir Günak, '**İleri Teknik Analiz Uygulamaları**', Literatür Yayıncılık, İstanbul 2007, s. 48.

Sermaye piyasalarında fiyat tespitine yönelik ilk çalışmalar Bachelier' in yapmış olduğu çalışma ile başlamıştır. Bachelier[5], ilk olarak piyasaların rasssal bir yol izlediğini ve standart olasılık cebiri ile modellenebileceğini ileri sürmüştür. Ancak Bachelier' in çalışması zamanının çok ötesinde kalmış ve anlaşılamamıştır. 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren sermaye piyasalarında oluşan fiyatlarının birer zaman serisi olduğu ve piyasaların bir takım kısıtlayıcı gereklilikleri yerine getirdiği sürece olasılık cebiri ile modellenebileceğini görüşü yaygınlaşmaya başlamıştır. Gerekliliklerin içinde en zor olanı gözlemlerin bağımsız, ya da en azından kısa vadeli hafızaya sahip olmaları olarak kabullenilmesi olarak belirmiştir.[6]

Fiyatlardaki son değişimler öncekilere bakarak tahmin edilemez görüşü hakim düşünce olmuştur. Bu hakim düşünce nedeni ile; fiyat değişimlerinin ancak rastlantısal hareketle oluştuğu ve gelecekteki fiyat hakkındaki en iyi tahminin şimdiki fiyat olduğu kanısı yaygın düşünce olmuştur.[7]

Etkin piyasa olgusuyla ilgili ilk bulgular Maurice Kendall tarafından ortaya konulmuştur. Londra'da Kraliyet İstatistik Derneği'nde sunduğu çalışmasında hisse senedi ve temel madde fiyatlarının davranışını incelemiştir. Kendall bu çalışmasında, düzenli fiyat dalgalanmalarını aramasına karşın bulguları farklı yöndedir. Fiyatlar rasgele değişme eğilimi taşımaktadır. Herhangi bir gündeki piyasanın yükselme veya düşme olasılığı bir önceki günden tamamen bağımsız olarak oluşmaktadır. Kendall'ın çalışmasının sonuçları genel kabul görmemiştir. Kendall tıpkı bir paranın havaya atıldığında yazı veya turadan herhangi biri gelme ihtimali gibi hisse senetlerinin fiyatlarının da rastlantısal olarak oluştuğu tarzında kanıtlanması güç bir görüş ileri sürmüştür.[8]

---

[5] Louıs Bachelier, "The Theory of Speculation", 1964, in P. Cootner, ed., Random Character of Stock Market Prices (Cambridge, MA: M.I.T Press).
[6] Benoit, B. Mandelbrot, **: Finans Piyasalarında Saklı Sır**, Çev. M. Hüner, İstanbul, 2005, s.159.
[7] A.e., s.159.
[8] R.A Brealey ve S.C. MYERS, **Principles of corporate finance**, New York, McGraw Hill Companies, 2003, s. 78.

Finansal piyasalardaki aşağı ve yukarı yönlü hareketler ile bu hareketlerin büyüklüğü konusunda yapılan çalışmalar, birçok tekniğin geliştirilmesini de beraberinde getirmiştir. Mandelbrot[9], finansal piyasalarda işlem gören finansal varlıkların fiyatlarındaki büyük miktarlı değişimleri büyük miktarlı, küçük miktarlı değişimleri de yine küçük miktarlı değişimlerin takip ettiğini, ifade etmiştir. Bu durum, finansal değişkenlerin en önemli karakteristik özelliği olan statik olmayıp dinamik olma (zaman içinde değişme) özelliğini ön plana çıkarmaktadır. Fama[10] tarafından temeli atılan Etkin Piyasa Hipotezi (EPH) şimdiye kadar üzerinde en çok çalışılan konu olmuştur. Ancak ilerleyen zamanlarda EPH' nin doğrusal olmayan hareketleri açıklamakta yetersiz kaldığı yönünde bir çok görüş ortaya çıkmıştır. Tonis Vaga ise Düzenli Piyasalar Hipotezi (DPH) adını verdiği çalışması ile sermaye piyasalarında meydana gelen doğrusal olmayan hareketleri açıklamaya çalışmıştır. Ancak pek taraftar bulamadığı gözlemlenmiştir. 1991 yılında Edgar E Peters, 1963 yılında Mandelbrot' un yapmış olduğu çalışmadan esinlenerek Fraktal Piyasa Hipotezini (FPH) ileri sürmüş ve kaos teorisini dayanak alarak doğrusal olmayan yapının açıklanması yönünde çalışmalarına devam etmiştir.[11]

Bu bölümde yaygın çalışma olması nedeni ile EPH, kaos teorisi ile ilişkili olmaları nedeni ile DPH ve FPH ele alınmıştır.

[9] Benoıt Mandlebrot, ' The Variation of Certain Speculative Prices , in P. Cootner, ed., Random Character of Stock Market Prices Cambridge, MA: M.I.T Pres,2001, s. 311.
[10] E.F. Fama , "Efficient Capital Markets: A Review Theory and Empirical Work", Journal of Finance, Vol:25, s.338-417.
[11] Mandelbrot, **a.g.e.,** s. 165.

ETKİN PİYASA HİPOTEZİ

Etkin piyasa hipotezi (EPH) hisse senetleri fiyatlarının ve yatırımcı davranışlarının incelenmesinde standart bir model olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Yatırımcıların hisse senetlerinin fiyatlarını etkileyebilecek halka açık veya bireysel olarak sahip oldukları bilgilere göre geleceğe yönelik rasyonel beklentiler oluşturması ve bu beklentileri hızlı bir şekilde piyasaya yansıtması, etkin piyasa hipotezinin temel öngörülerinden biridir.[12]

EPH, içinde bulunulan zamanda menkul kıymetin fiyatının bütün bilgileri yansıttığını ve yeni gelecek bilginin derhal fiyatlara yansıyacağı savını ileri sürmektedir.[13]

Finansal piyasaların bilgi akışını doğru ve hızlı biçimde fiyatlara yansıtma etkinliği, finans kuramının en önemli uğraş alanlarından biridir. Piyasa etkinliği ile ilgili ilk bilimsel araştırmalar 20. yüzyılın başlarına kadar uzanmaktadır. Bu doğrultuda ilk çalışma Fransız matematikçi Louis Bachelier tarafından yapılmıştır**.** Bachelier (1900), etkin piyasa hipotezinin zayıf formunun testinde genel olarak temel alınan "Rassal Yürüyüş Modeli"ne uyan gözleminde, geçmişteki ve şu andaki olayların, hatta gelecekte ortaya çıkması muhtemel olayların bile iskonto edilerek piyasa fiyatına yansıdığı sonucuna ulaşmıştır. Rastsal yürüyüş modeli, gelecek fiyat tahminlerinin geçmiş fiyat değişimlerine bakılarak asla tahmin edilemeyeceğini öngörmektedir. Etkin piyasa hipotezi, mevcut fiyatların gerekli bütün bilgiyi, geçmiş fiyatları, yayımlanan raporları ve ekonomi haberlerini içerdiğini söyleyerek bu teoriyi bir adım daha ileriye taşımıştır.[14]

---

[12] D. Kahraman ve M. Erkan: ' İstanbul Menkul Kıymetler Borsasında Tesadüfi Yürüyüş Testi', **Yönetim ve Ekonomi**, c:12, s:1, 2005, s. 7.

[13] R. Banz, The Relationship Between Return and Market Value of Common Stocks , **Journal of Financial Economics**, No: 9, 1981, s.15.

[14] S.T,Rachev:'CED Model for Asset Returns and Fractal Market Hypotesıs' **Matematical and Computer Modelling**,sayı 29, 1999, s. 4.

EPH' ye göre, kendi fayda fonksiyonunu maksimize etmeyi amaçlayan yatırımcılar, hisse senetlerinin gelecekteki değerini doğru tahmin etmek için birbirleriyle rekabet içerisindedirler. Çok sayıda alım ve satım kararı sonucu oluşan denge fiyatı, piyasada yer alan tarafların sahip oldukları bilgileri kullanarak bir hisse senedinin değeri konusunda oluşturdukları fikir birliğinin sonucudur. Bu nedenle, belirli bir anda gözlemlenen fiyatlar, hisse senetlerinin gerçek değerinin objektif bir tahminidir.[15]

Mevcut ve fiyatlara yansıtılmış bilginin dışında, piyasaya yeni bir bilgi akışı gerçekleştiğinde, yatırımcılar bu bilgiyi doğru analiz eder ve yorumlar. Eğer yeni ulaşan bilgi, hisse senetlerinin değerini etkileyecek nitelikte ise mevcut denge fiyatında hızlı bir değişim gerçekleşir. Bu fiyat, piyasaya yeni bir bilginin ulaşmasına kadar değişmez.[16]

EPH, finansal varlıkların fiyatlarının elde edilebilir bütün bilgileri yansıttığı varsayımına dayanmaktadır. Diğer bütün şartlar değişmediği sürece bilgi tam olarak yayılmakta ve herkes tarafından kolaylıkla elde edilebilmektedir. Bu varsayımlar ilginin doğrudan risk üzerine yoğunlaşmasını sağlamaktadır.[17]

EPH' de, yatırımcılar piyasaya ulaşan olumlu ve olumsuz bilgilere doğru tepkiler verdikleri için rasyonel davranış biçimi göstermektedir. Yeni bilgi akışı karşısında değeri doğru, hızlı ve tam olarak değişen hisse senetleri fiyatlarında, aşağı ve yukarı doğru eğilimler gözlenmediği gibi, ters yönlü düzeltme hareketleri de oluşmamaktadır.[18]

---

[15] Rachev, **a.g.e**, s.6.
[16] Banz, **a.g.e**, s. 16.
[17] E. Elton ve M. Gruber: Non standart CAPMs and The Market Portfolio **, Journal of Finance** No:39, 1984, s. 3.
[18] Edgar, E, Peters: '**Fractal Market Analysıs Applyıng Chaos Theory to Invesment and Economıcs**', Newyork, John Wiley And Sons,1996 s.28.

Etkin Piyasa Hipotezinin varlığı bir çok varsayıma dayanmaktadır. Bu varsayımlar piyasanın işleyişi ve yatırımcı davranışlarıyla ilgilidir. Bu varsayımlar şu şekilde sıralanabilir:[19]

- Yatırımcıların ana amacı, nihai zenginliğin faydasını maksimuma çıkarmaktır.
- Yatırımcının seçimini risk ve getiri ilişkisine göre yapar.
- Yatırımcıların risk ve getiri beklentileri homojendir.
- Tüm yatırımcılar aynı zaman ufkuna sahiptir.
- Bilgi her yatırımcı tarafından kolayca elde edilebilmektedir.

Finansal piyasalarda etkinlik kavramı üç ayrı alanda söz konusu olmaktadır: dağıtımsal etkinlik, işlemsel etkinlik, bilgisel etkinlik. Bilgisel etkinlik Fama tarafından tanımlanmıştır. Bu tanıma göre; yeni bilgi menkul kıymetin fiyatına anında ve doğru olarak yansır, dolayısıyla menkul kıymetin cari fiyat elde olan tüm bilgiyi tam olarak yansıtmaktadır.[20]

Piyasa bilgisel anlamda az etkin ise, fiyatlar kolaylıkla maniple edilebilir kabul edilmektedir. Piyasa serbestlikten uzaklaşabilir ve kamu müdahalesi kaçınılmaz hale gelir. Bunun sonucu olarak ta haksız kazançlar meydana gelebilir ve sermaye birikimi ile ekonomik büyüme zarar görebilir.[21]

Günümüzde piyasanın etkinliğinin arttırılabilmesi için, fiyatların serbest rekabet içinde oluşması, bilgiye her yatırımcının kolayca ve düşük maliyetle ulaşabilmesi, işlem maliyetlerinin düşük olması şartının gerekliliği kabul görmektedir.[22]

---

[19] A. Tuna Taner ve Koray Kayalıdere: '1995 2000 Dönemi İMKB de Anomali Araştırması', **Yönetim ve Ekonomi**, c:9, 2002, s.4.

[20] D. Kahraman ve M. Erkan: ' İstanbul Menkul Kıymetler Borsasında Tesadüfi Yürüyüş Testi', **Yönetim ve Ekonomi**, c:12, 2005, s:4.

[21] H. Cankurtaran: Menkul Kıymetler Piyasalarında Etkinlik ve Risk Getiri Analizleri , **SPK Yeterlilik Etüdü**, Ankara, 1989, s. 28.

[22] R. Bildik, Hisse Senedi Piyasalarında Dönemsellikler ve İMKB Üzerine Ampirik Bir Çalışma, **İMKB Yayınları** , Mart Mat. Sanatlar Ltd. şti.,İstanbul, 2000, s.49.

Fama[23] piyasa etkinliğini, fiyatların mevcut bilgileri tam ve sürekli olarak yansıttığı piyasa olarak tanımlayarak, piyasa etkinlik testlerini zayıf form, yarı-güçlü form ve güçlü form etkinlik testleri olarak üçe ayırmıştır.[24]

- Zayıf Tip Etkinlik: bu tip etkinlik de menkul kıymetin geçmişine ilişkin tüm bilginin fiyatına yansımış olduğu kabul edilmektedir. Piyasada oluşan fiyatlar; geçmişteki fiyatları oluşturan tüm bilgileri yansıtmaktadır. Yatırımcılar alım satım kararlarını geçmişte oluşan fiyatlara göre vermektedirler. Bu tip etkinlikte geçmiş fiyat, işlem hacmi bilgileri kullanılarak normal üstü kar elde edilmesi olası değildir.
- Yarı Güçlü Tip Etkinlik: menkul kıymetle ilgili yalnızca geçmişteki bilgiler değil, aynı zamanda kamuya açıklanmış mevcut tüm bilgilerin fiyatlara yansıdığı kabul edilmektedir. Mevcut fiyatlar kamuya açık tüm bilgileri yansıtmaktadır. Yarı güçlü etkinlikte menkul kıymet fiyatlarının her yeni bilgi girişine hızlı bir şekilde uyum sağladığı kabul edilmektedir. Bu nedenlerle yarı güçlü etkinlikte, ancak kamuya açıklanmamış bilginin 'içeriden' öğrenilerek kullanılması ile normal üstü bir kazanç sağlanabilir. Temel ve teknik analiz yöntemlerinin kullanılarak ilave bir kazanç sağlanması mümkün değildir.
- Güçlü Tip Etkinlik: menkul kıymet fiyatlarına, kamuya açıklan, açıklanmayan ve özel tüm bilgilerin yansıdığı kabul edilmektedir. Özel bilgi demek; bazı yatırımcıların diğer yatırımcılardan önce edindikleri bilgilerdir. Güçlü tip etkin bir pazarda özel bilgiler dahil tüm bilgiler fiyatlara yansıdığı için bu bilgiler kullanılarak normal üstü bir kar elde edilmesi mümkün olmamaktadır.

[23] E.Fama.; "Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work", **The Journal of Finance**, Vol. XXV, No. 2, May 1970, s. 383-417.
[24] Ludwig B., Chincarini: **Quantitative Equity Portfolio Management**, Blacklick, OH, USA: McGraw-Hill Companies, 2006, s.30.

Etkin sermaye piyasalarıyla ilgili çalışmalar başlangıçta rassal yürüyüş (random walk) modeline dayanmakta iken daha sonra iki model daha ortaya çıkmıştır. Fama rassal yürüyüş modelinin yanı sıra adil oyun (fair game) ve martingale ve submartingale modelleri olarak adlandırılan bu iki modeli de açıklamıştır. Bu modellerden rastsal yürüyüş modeli, adil oyun veya martingale modellerinden daha sınırlayıcıdır. Eğer rassal yürüyüş modeli menkul kıymet fiyatlarını doğru olarak açıklayabilirse, piyasanın zayıf formda etkin olduğu söylenebilir, ancak piyasa zayıf formda etkinse onun rastsal yürüyüş modeline uyduğu söylenemez.[25]

Rassal yürüyüş modelini ampirik olarak test eden çok sayıda çalışma vardır. Rassal yürüyüş teorisine göre bir menkul kıymetin fiyat seviyesinin gelecekteki yönü, kümülatif tesadüfi numaralar serisinin yönü kadar tahmin edilebilir. İstatistiksel anlamda bu, art arda gelen fiyat değişimleri, birbirinden bağımsız ve bir takım olasılık dağılımına uyar anlamına gelir. Buradan çıkarılacak sonuç, geçmiş , anlamlı herhangi bir şekilde geleceği tahmin için kullanılamaz olur.[26]

Rassal yürüyüş modeli, her bir menkul kıymetin beklenen getiri dağılımının yatırımcılar tarafından oluşturulduğunu söyler. Aşağıdaki eşitlik yukarıda özelliklerinden bahsedilen rastsal yürüyüş modelini açıklamaktadır:[27]

$$f\left(r_{i',t+1} \middle| r_{',t}, r_{',t-1}, \ldots r_{',t-n}\right) = f(r_{i',t})$$

Burada $f(\ r_{i,t}\ )$= t-n' den t' ye kadar i menkul kıymetinin olasılık dağılımlarıdır.

[25] Burton G. Malkiel, 'The Efficient Market Hypothesis and Its Critics', CEPS Working Paper No. 91, 2003, s. 6.
[26] Samuel Dupernex, 'Why Mıght Share Prıce Follow Random.?', **Student Economic Review**, Vol. 21, 2007, s.3.
[27] A.y., s. 5

EPH' nin piyasalarda oluşan olağan dışı fiyat hareketleri ve getirileri açıklamakta yetersiz kaldığı gözlemlenmektedir. EPH' i olağan dışı fiyat hareketlerini ve getirileri anormal olarak kabul etmektedir. EPH' nin piyasada oluşan fiyat değişimlerinin frekansını normal dağılım olarak kabul etmesi olağan dışı olguları açıklayamamasının en başlıca sebebi sayılabilir. Gerçekte piyasada oluşan fiyat ve getiri oranlarının çoğu zaman normal dağılıma uymadığı kanıtlanmıştır. Genelde yatırımcıların bilgi akışları karşısında basitleştirici kurallar kullanması, EPH' nin karar ortamı ve istatistiksel analizlere göre karar alan temsili rasyonel yatırımcı varsayımları ile çelişkiler oluşturmaktadır. Genel olarak, bireyler, karar alma sürecinde olasılıkların belirlenmesindeki güçlükleri aşmak için, mevcut bilgilerin tamamını kullanmak yerine, kararlarında en çarpıcı ve son ulaşan bilgilere daha fazla ağırlık vermekte, bunun yanı sıra geçmiş bilgilerin ağırlıklarını azaltırken, yeni elde edilen bilgilerin ileriye yönelik etkilerini, olması gerekenden daha fazla değerlendirmektedirler.[28]

İstanbul Menkul Kıymetler Borsası verilerinde yapılan etkinlik testleri daha çok yarı güçlü etkinliğin ve zayıf formda etkinliğin araştırılması şeklindedir. Bu çalışmalar EPH' i ağırlıklıdır. Bu çalışmaların başlıcaları aşağıdaki gibidir:

- Bekçioğlu ve Ada[29], Türkiye'de zayıf etkinliğin test edilmesi için yapılmış ilk çalışmadır. Yapmış oldukları çeşitli testler sonucunda, rastsal yürüyüş kavramının Türkiye için geçerli olmadığı sonucuna ulaşmışlardır.
- Cankurtaran[30], 19 hisse senedinin 1986-1988 dönemindeki verilerini kullanarak, geçmişteki fiyat hareketlerinin gelecekteki fiyat hareketlerini açıklamadığını belirtmiştir.
- Alparslan[31], 15 hisse senedinin 1986-1988 arasında, geçmiş fiyatlarıyla korelasyonlu olmadığını tespit etmiştir.

---

[28] Peters, **a.g.e**, s.41.
[29] S. Bekçioğlu ve E. Ada, "Menkul Kıymetler Piyasası Etkin mi?", '**Muhasebe Enstitüsü Dergisi**.', 1985, s.1-17.
[30] H. Cankurtaran, "Menkul Kıymetler Piyasalarında Etkinlik ve Risk-Getiri Analizleri", **Sermaye Piyasası Kurulu Yeterlik Etüdü,** 1989, Ankara.
[31] S. M. Alparslan, "Test of Weak Form Efficiency in Istanbul Stock Exchange", **Unpublished Master Thesis, Bilkent University,** Ankara, 1989

- Başçı[32], İMKB'nin hisse senedi getirilerini dağıtımsal ve zaman serisi özelliklerini incelemeyi amaçlamış ve bu konuda İMKB'nin gelişmiş piyasalarla benzer olduğunu belirtmiştir.

- Muradoğlu ve Önkal[33] çalışmalarında maliye ve para politikaları ile hisse senetleri arasında gecikmeli bir ilişki olduğu, piyasanın maliye ve para politikaları açısından etkin olmadığı sonucuna ulaşmışlardır.

- Muradoğlu ve Metin[34], hisse senedi getirilerinin, bütçe açıkları, faiz oranları ve para arzı gibi makro ekonomik değişkenlere uzun vadede kointegrasyon gösterdiği, yani hisse senedi getirilerinin bu değişkenler kullanılarak tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir. Sonuç olarak piyasanın yarı güçlü formda etkin olmadığı ortaya koyulmuştur.
- Muradoğlu ve Oktay[35], İMKB'de zayıf formda etkinliği ve takvim anomalilerini araştırmışlardır. Sonuç olarak birçok ülkede olduğu gibi hafta sonu ve yılbaşı etkisinin Türkiye'de de var olduğunu ve dikkatli yatırımcıların bu sebeple ortalamanın üzerinde getiriler elde edebileceklerini belirtmişlerdir. Ancak bu seyrin pek çok yatırımcı tarafında fark edilmesi sonucunda, ortalamanın üzerindeki kar durumunun ortadan kalkabileceği ve piyasanın zayıf formda etkin bir yapıya kavuşabileceği de eklenmiştir.

---

[32] Erdem Başcı, "Türkiye'de Hisse Senedi Getirilerinin Davranışı", **3. Ulusal İşletmecilik Kongresi,** 1989

[33] G. Muradoglu ve D. Önkal, "Effects of Task Format on Probabilistic Forecasting of Stock Prices", **International Journal of Forecasting** 12 ,1992, s. 9-24.

[34] G. Muradoglu veK. Metin, "Efficiency of the Turkish Stock Market with respect to Monetary Variables". **European Journal of Operations Research** , 1996, s. 566-576.

[35] G. Muradoglu, T. Oktay, "Weak Form Efficiency in the Turkish Stock Exchange: Calendar Anomalies" **Hacettepe Universitesi Iktisadi ve Idari Bilimler Dergisi ,** 1993**,** s. 51-62.

- Balaban, Candemir ve Kunter[36], çalışmalarında bankalar arası para piyasası gecelik faiz oranları, serbest piyasa döviz kurları ile parasal büyüklüklerden bankalar serbest imkanı, emisyon, M1 ve M2 para arzı tanımları, rezerv para, parasal taban ve Merkez Bankası Parasına göre İMKB'nin yarı güçlü etkinliğini sınamışlardır. Ancak İMKB'nin yarı güçlü formda etkin olmadığı sonucuna ulaşmışlardır.
- Kılıç[37], rastsal yürüyüş modelini sınadığı çalışmasında, geçmiş verilerin gelecektekileri tahmin etme konusunda yanıltıcı olabileceğini ve İMKB'nin zayıf formda etkin olduğunu vurgulamıştır.
- Özün[38], İMKB-100 endeksinde yapmış olduğu çalışmasında piyasanın zayıf formda etkin olduğu yönünde bulgular elde etmiştir.
- Çevik ve Yalçın[39], İMKB-100'de rastsal yürüyüşü test etmiş ve piyasanın zayıf formda etkin olmadığı sonucuna ulaşmıştır.
- Zengin ve Kurt[40], 1987-2002 yılları arasında endeks ile çeşitli makro ekonomik değişkenler arasındaki ilişkiyi test etmiş ve İMKB'nin zayıf formda etkin olduğu ancak yarı güçlü formda etkin olmadığı tespitinde bulunmuştur.

---

[36] Ercan Balaban, R. Candem, H.Baturalp ve Kürşat Kunter, "Stock Market Efficiency In a Developing Economy: Evidence From Turkey", **The Central Bank of The Republic of Turkey Discussion Paper**, 1996, No:9612.

[37] S. B. Kılıç, "Türk Hisse Senedi Piyasasında Zayıf Formda Etkinliğin Sınanması", **III.Ulusal Ekonometri ve statistik Sempozyumu Bildirileri,** Bursa, 1997.

[38] Alper Özün., "Kaos Teorisi, Hisse Senedi Getirilerindeki Doğrusal Olmayan Davranışlar, Zayıf İşlem ve Gelişen Piyasa Etkinliği : İMKB Örneği",**İMKB Dergisi,** 1999, Cilt 3, s.9.

[39] F. Çevik, ve Y. Yalçın, " İstanbul Menkul Kıymetler Borsası (İ MKB)i çin Zayıf Etkinlik Sınaması: Stokastik Birim Kök ve Kalman Filtre Yaklaşımı", **G.Ü.İİBF Dergisi**, Cilt 1, 2003, s. 36.

[40] H. Zengin ve S. Kurt, "İMKB'nin Zayıf ve Yarı Güçlü Formda Et-kinliğinin Ekonometrik Analizi", Marmara Üniversitesi Öneri Dergisi, 2004, S.145-152

DÜZENLİ PİYASALAR HİPOTEZİ

Tonis Vaga tarafından doğrusal olmayan piyasa hareketlerini modellemek amacı ile geliştirilmiş bir hipotezdir. Hipotezin temel hareket noktası piyasaların düzensiz durumlarda daha düzenli durumlara geçiş yaptığı varsayımıdır. Özel şartlar sağlandığında piyasadaki hareketlerin daha düzenli hale geleceği ileri sürülmektedir. Bu hipotezde, EPH' nin tam tersi olarak ortalama getiriden daha fazla bir getiri daha az riske maruz kalınarak elde edilebilmektedir. Vaga, bu çalışmasına Düzenli Piyasalar Hipotezi (DPH) adını vermiştir.[41]

DPH' ye göre piyasalarda risk ile getiri oranı ilişkisinin tersine döndüğü zaman aralıkları bulunmaktadır. Örneğin hisse senetleri belli dönemlerde %20 riske karşın %10 toplam getiri sağlarken düzenli boğa piyasası zamanlarında getiri %25'e çıkarken, risk %10'a düşebilmektedir.[42]

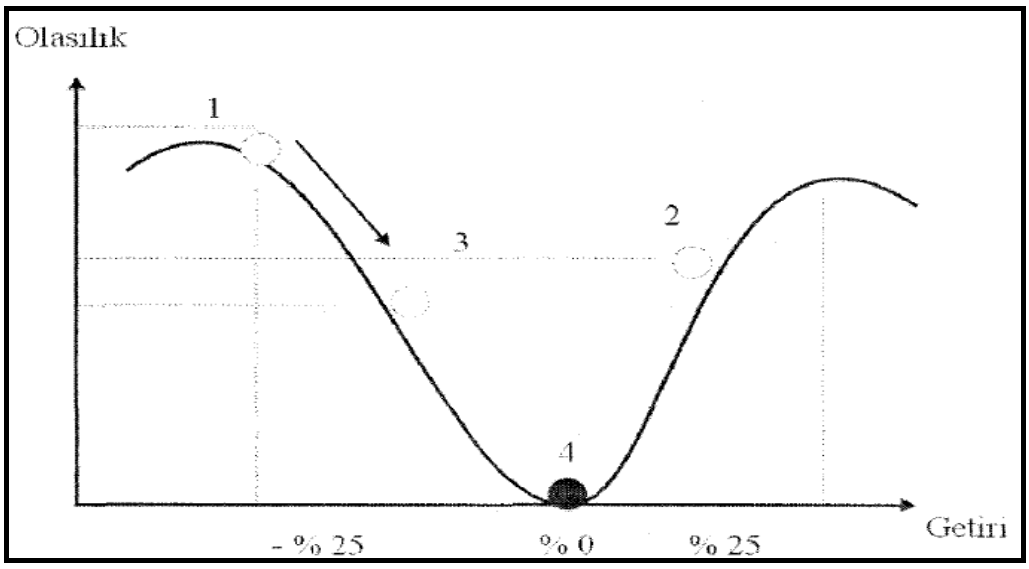
Bir menkul kıymetten sağlanan getiri başlangıçta normal bir dağılım gösterebilir. Normal dağılım ters dönmüş bir çana benzetile bilir. Çanın kenarından bırakılan top salınışlar yapar. En son topun nerede duracağı kestirile bilir. Şekil 1' de 1 nolu topun çanın içine bırakıldığında ilk hızla 2 nolu yere kadar çıkacağı ve sonra geri gelip 3 nolu yere ulaşacağı ve bir süre bu salınışlar devam ettikten sonra 4 nolu yerde duracağı tahmin edilebilir. Eğer getirilerin dağılım şekli biliniyorsa topun nerede duracağı bilinir. Şekil 1 rastsal yürüyüş hipotezini savunanların söylediği gibi getirinin uzun vadede '0' olacağını göstermektedir. Getirinin tipi bilinmiyorsa topun nerde duracağı bilinemez. Dolayısı ile topun nerde duracağını bilmek için getir eğrisinin şeklini, biçimini ve formülünü ortaya koymak gerekir.[43]

---

[41] Yaşar Erdinç: 'Borsada Teknik Analiz', Siyasal Kitapevi , Ankara, 1998, s. 63.

[42] Edgar E, Peters : **Chaos And Order In The Capital Markets**, Newyork, John Wiley And Sons,1996 s.191.

[43] A.e., s. 193.

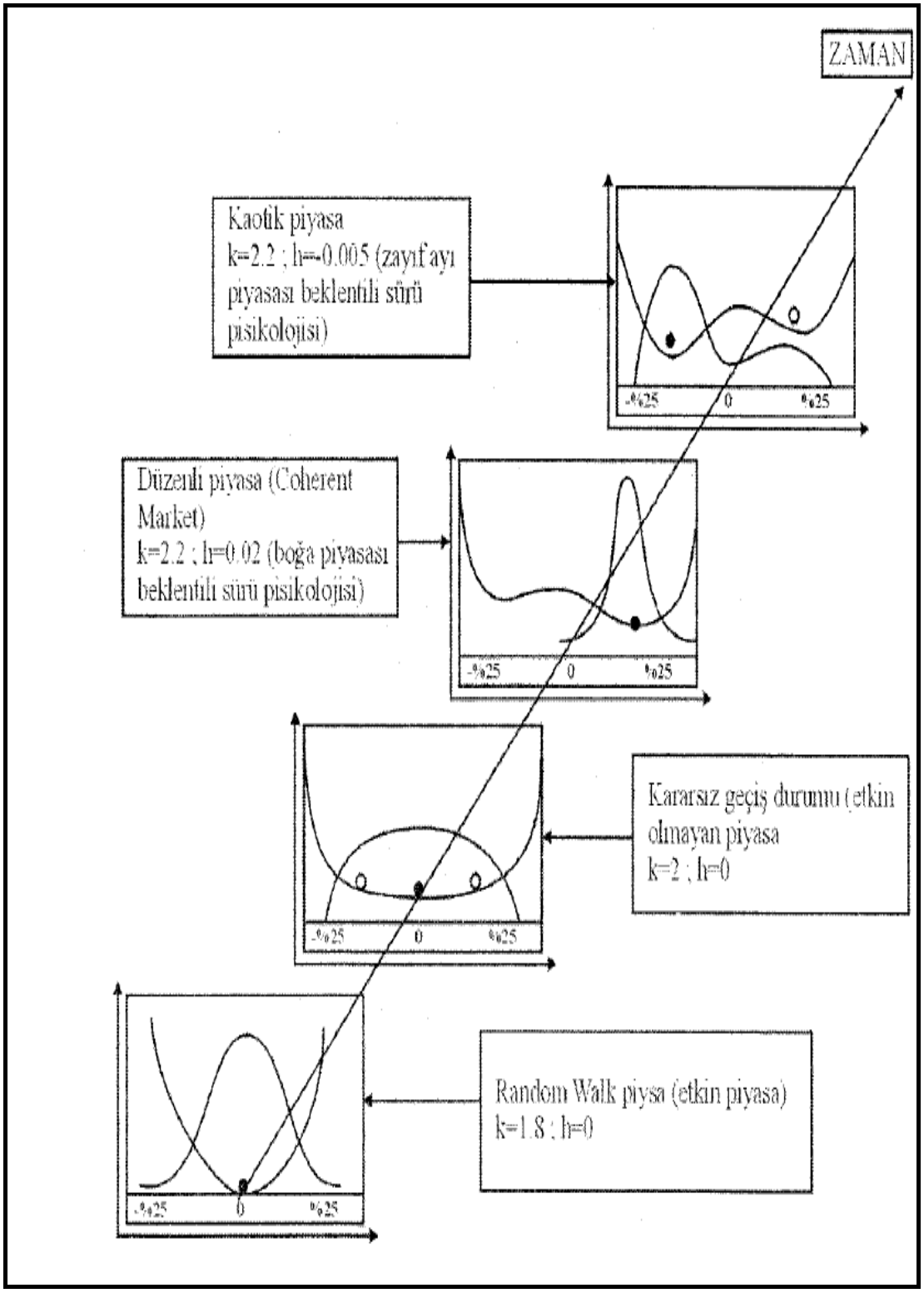


Şekil 1. DPH Fiyat Hareketleri

Kaynak: Peters : **Chaos And Order In The Capital Markets,**1996 s.192.

DPH, kaos teorisinden hareketle piyasaların açık ve karmaşık birer sistem olduklarını ve bu sistemlerinde zaman içinde bir durumdan diğer duruma geçiş yaptığını söylemektedir. Bu geçişler sırasında da getiriler '0' getiri etrafında dalgalanan normal dağılımdan ziyade %20 getiri etrafında dalgalanan bir normal dağılım eğrisi halini almaktadır. Burada önemli olan husus, geçiş anının tespitidir.[44] 'Sosyal Taklit Teorisi' piyasaların bir durumdan diğer duruma geçerken iki faktörün etkisinde kaldığını ileri sürer. Bu faktörler teknik göstergeler (sürü psikolojisi)(k parametresi) ve temel analiz göstergelerindeki sapma ve değişmelerdir(h parametresi). Şekil 2' de piyasanın değişim süreci ve bu süreçte getirinin alacağı şekil gösterilmektedir. Bu şekilde dört adet dikdörtgen vardır ve her biri piyasanın bir durumdan diğerine geçişi göstermektedir. Her bir dikdörtgenin içinde ilgili piyasaya ait getirilerin dağılımları çizilmiş ve bu getirilere karşılık gelen ters çan eğrileri de çizilerek topun durma olasılığı olan bölgeler gösterilmiştir. Koyu renkli topların gösterildiği yerler en güçlü olasılığı gösterirken, beyaz toplar topun durabileceği diğer yerleri göstermektedir.[45]

[44] Erdinç, **a.g.e.,** s.62.
[45] Peters, **a.g.e.**, s.196.



Şekil 2. Düzenli Piyasalar Hipotezi

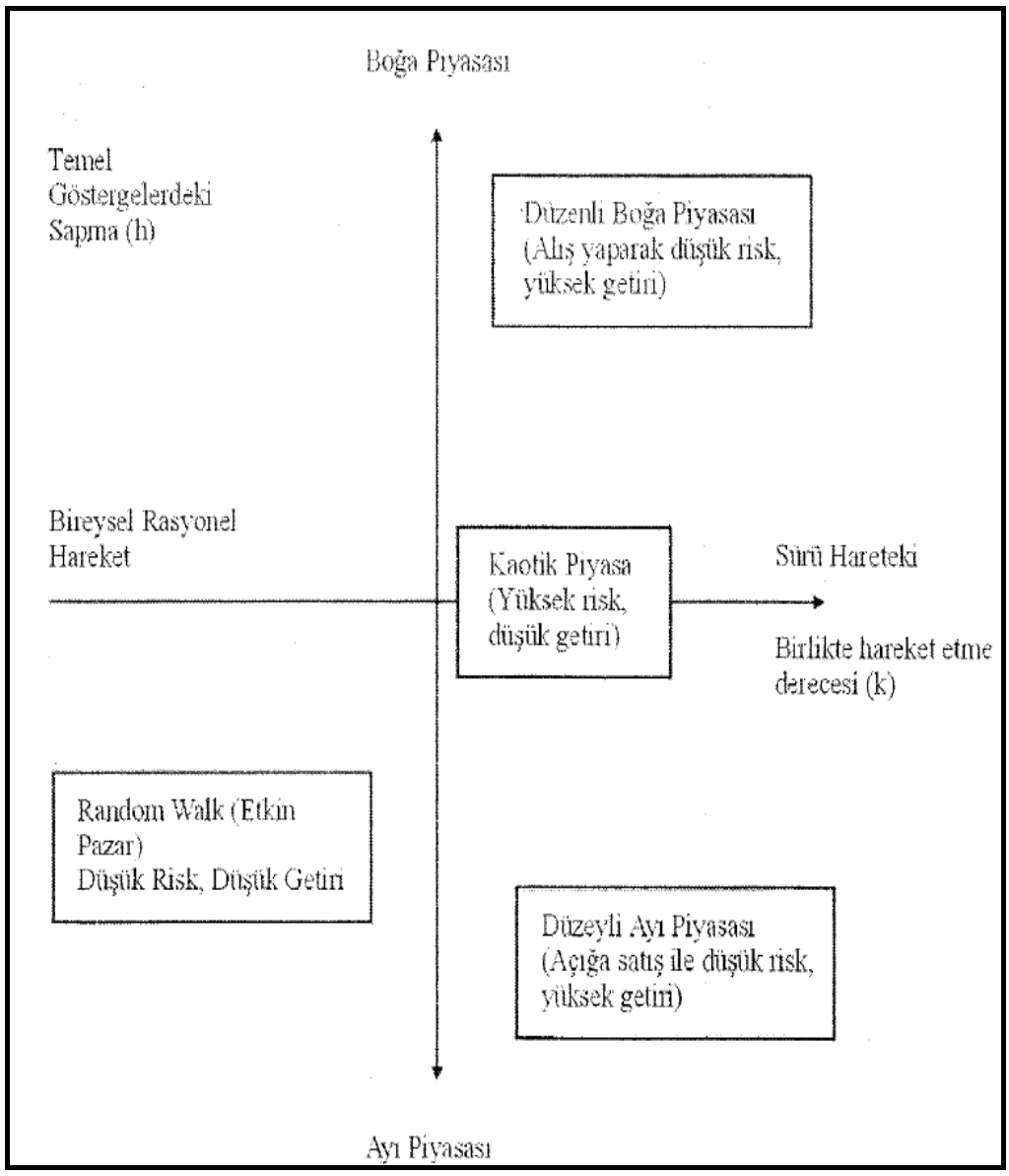
Kaynak: Peters : **Chaos And Order In The Capital Markets**, 1996 s.138.

En alttaki grafik rastsal yürüyüş modelini savunanların kabul ettiği gibi ortalama getirinin uzun vadede '0' olduğu durumu göstermektedir. Piyasa bu durumda etkin kabul edilmektedir. DPH'ye göre bazı durumlarda piyasa rastsal yürüyüş özelliği gösterebilir fakat piyasa açık ve karmaşık bir sistem olduğu için, bir durumdan diğer duruma yani farklı getiri dağılımı olan duruma geçiş yapacaktır. Rastsal yürüyüş piyasa şartları hüküm sürerken temel analiz yöntemleri hisse değerlemesinde kullanılabilir. Alttan ikinci grafikte getirilere ilişkin dağılım eğri bir değişme göstermiştir. Dış faktörler piyasa şartlarını değiştirmiş ve piyasa geçiş durumu yaşamıştır. Geçiş sırasında k ve h parametreleri değişmiştir. Getirilerin dağılımı değiştiği için topun nerde duracağı da değişmiştir. Bu tip bir durumda tahmin yapmak güçleşmektedir. Sağlıklı bir tahmin yapmak için getirinin dağılımının bilinmesi gerekmektedir. Alttan üçüncü grafikte normal eğri boğa piyasasını göstermektedir. Ortalama getiri %25 seviyelerinde oluşmaktadır. Negatif getiri olasılığı düşüktür. Burada da k ve h parametrelerinin değiştiği görülmektedir. Piyasada beklenti olumlu yöndedir. En üstteki grafik kaos durumunu göstermektedir. Bu grafikte ayı piyasası şartları hüküm sürmektedir. Siyah top -%25 etrafında durabilir. Görüldüğü gibi getiri dağılım eğrisi çift tepelidir. Piyasaya ilişkin beklentiler olumsuzdur. Fakat kaotik piyasada getiri beklentisinin negatif olacağı her zaman ileri sürülemez. Boğa piyasasından sonra kaotik piyasaya geçiş yapılan durumlarda getiri dağılımlarının biçimine bağlı olarak yuvarlanan topun '0' getiri seviyesinin üzerinde bir yerde de duracağı beklenebilir.[46]

[46] Peters, **a.g.e.**, s.196-197.

Borsalarda rastsal fiyat dalgalanmaların her zaman olabilmektedir. Piyasa dinamiklerinin çoğu kontrol parametreleri tarafından belirlenir. k parametresi piyasa psikolojisinin teknik bir ölçüsüdür ve 1.8 ile 2.2 arasında değerler alır. En düşük değer 1.8 en yüksek değer 2.2 olabilir. Eğer k parametresi 2.2 değerini alırsa yatırımcı davranışı sürü psikolojisince belirlenir. k 1.8 değerinde ise bireysel hareketler söz konusudur. k=1.8 ise kimse geleceğe yönelik fikir üretemiyor kabul edilir. k parametresi para girişi ile de ilgilidir. Para girişi arttığında k yükselir. k yükseldiği zaman yatırımcı davranışı sürü psikolojisi tarafından belirlenir. k düşükken yatırımcılar bireysel hareketler sergilemekte piyasada toplu hareketlere rastlanmamaktadır. h parametresi -2 ile +2 arasında bir değer alır. h= +2 durumunda genel ekonomiye, siyasi gelişmelere, ve geleceğe dönük diğer beklentilere yönelik pozitif bir sapma var demektir. h=.-2 ise piyasa da ekonomiye ve siyasi gelişmelere ilişkin olası en kötü beklentiler hakimdir, dolayısı ile negatif sapma söz konusudur. Hem iyi hem de kötü faktörlerin kısa vadede değiştiği durumlarda h parametresi sıfıra yakın değerlerdedir. h parametresi çan eğrisi şeklindeki normal dağılımın sağa ya da sola sapmalı olmasına neden olacaktır. Şekil 3' de k ve h parametrelerinin alacağı değerlere göre hangi piyasanın oluşacağı gösterilmiştir.[47]

[47] Tonıs Vaga: '**Profiting from Chaos: Using Chaos Theory for Market Timing, Stock Selection, and Option Valuation**', Mcgraw-Hill, 1994, s.20.



Şekil 3. k ve h Parametresi ve Piyasa Türleri

Kaynak: Vaga: '**Profiting from Chaos: Using Chaos Theory for Market Timing, Stock Selection, and Option Valuation**',1994, s.21.

FRAKTAL PİYASA HİPOTEZİ

1960'lı yılların sonuna kadar, Euclides zamanından bu yana kesinlik içeren kavramlar matematik dünyasına hâkim olmuştur. Bu dönemde nesnelerin düzgünlüğü matematiksel olarak kesin bir biçimde ifade edilebilmekte ve her nesnenin de bu kesinlikle ifade edilebileceği kabul edilmekte idi. Analitik geometrinin tanımın koyan bu varsayıma rağmen doğada bu kadar kesin olmayan bir çok nesne bulunmakta dolayısıyla bunların analitik geometri ile ifadesi mümkün olmamaktadır. Doğada bulunan bulutlar, dağlar, göller, kıyı şeritleri, ağaçlar gibi bir çok oluşum yakından incelendiğinde düzgünlükten yoksun olduklarını görülmektedir. Daha dikkatli incelendiğinde ise bu nesnelerin; giderek küçülen ve kendine benzeyen parçacıklardan oluştuğu görülebilmektedir.[48] Doğada mevcut olan bu durum bir çok araştırmacının dikkatini fraktal kavramına yöneltmektedir.

Matematikte kırıklı, pütürlü, rasyonel sayı boyutları olan geometrik şekil ve cisimlere fraktal denilmektedir. Fraktal kelimesi ilk olarak Polonya asıllı matematikçi Benoit B. Mandelbrot ortaya atılmış bir kavramdır. Latince fractus yani parçalı kelimesinden türetilmiştir.[49]

Fraktalların başlıca özellikleri ana hatları ile aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:[50]

- En küçük ayrıntısı bile bütünün özelliklerini taşımaktadır. Ne kadar detaya inilirse inilsin bütünün özellikleri kaybolmaz.
- Çevre uzunlukları klasik geometri metotları ile ölçülememektedir.
- Kırıklı, pürüzlü bir yapıya sahip oldukları için her yerde süreklidirler bu sebepten dolayı türevleri alınamaz.
- Boyutları rasyonel sayıdır.
- Fraktalar karmaşık sayı fonksiyonlarında belirlenen kuralın sürekli tekrarlanması sonucu oluşturulurlar.

---

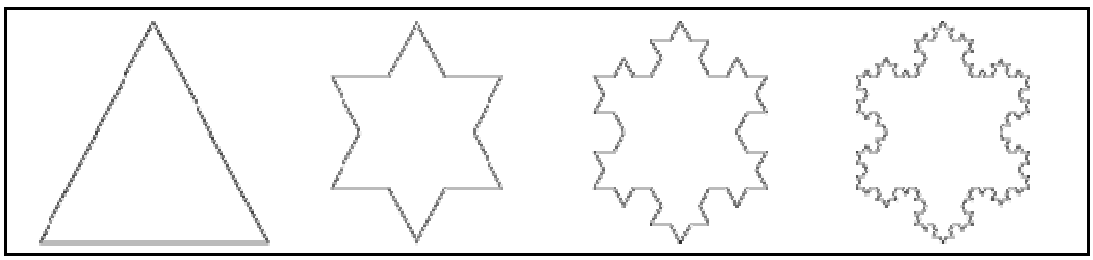
[48] Malcom, E. Lines: **Bir Sayı Tut,** Çev. Nermin Arık, Ankara, TÜBİTAK, 2005,s. 187- 188.

[49] Rüya Doğan ve Müge Genç: Yaşamımızı Çevreleyen İlginç Şekiller : Fraktalar, **Journal Of İstanbul Kültür University**, 2006,sayı. 3, s. 95-104.

[50] A.e., s. 99

Temel olarak üç çeşit fraktaldan bahsedilebilir. Bunlar, Koch Eğrisi, Sierpinski Kalçetesi ve Cantor Tozu olarak adlandırılmaktadır.

Koch Eğrisi (Şekil. 4) ne ulaşmak için kenar uzunluğu 1 cm olan üçgen alınıp her kenarın tam ortasına üçte bir uzunluğunda bir üçgen ilave edilmesi gerekmektedir.Bu işleme böyle devam edildiğinde uzunluk 3x4\3x4\3x4\3x.....sonsuz olmaktadır. Bu işlemin sonunda çok önemli bir veri elde etmiş olunmaktadır. İşlemde ne kadar ilerlemiş olunursa olunsun (n+1)' inci aşamadaki çevre uzunluğu Pn+1, her zaman bir önceki çevre uzunluğu da Pn' in 4\3 katı, (n+1)' inci safhadaki kenar uzunluğu da Ln+1 bir önceki adımda ki Ln' in 1\3 katı olacaktır.[51]



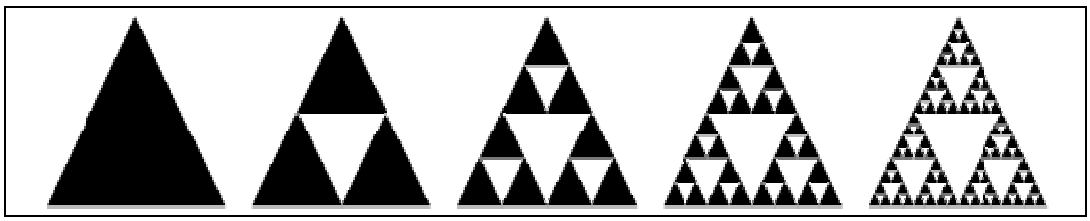
Şekil 4: Koch Eğrisi

Kaynak: Peters : **Chaos And Order In The Capital Markets**, 1996 s.50.

Sierpinski Kalçetesi ise Waclaw Sierpinski adında Polonyalı bir matematikçi tarafından sonsuz uzunluktaki eğrilerin sonlu karelerin içine sığdırıldığı çalışmaların başlamasıyla ortaya çıkmıştır. Şeklin oluşumu şöyle olmaktadır (Şekil.5): Öncü şekil en soldaki siyah üçgendir. Bu üçgenin kenarlarını doğru ile birleştirip oluşan alanı çıkarıldığı düşünülürse, ve bu işleme her ölçekte devam edildiği varsayılırsa en sondaki üçgene ulaşılmaktadır. Sierpinski Üçgeni olarak adlandırılan bu üçgen, büyük bir üçgenin içinde var olan sonsuz sayıda üçgenden oluşmaktadır. Uygulama sayısı arttırıldığında daha küçük üçgenler elde edildiği görülebilmektedir. Bu fraktalların önemli bir özelliği olan, kendi içinde benzerlik olarak kabul edilmektedir.[52]

[51] Lines, **a.g.e**.,s. 180

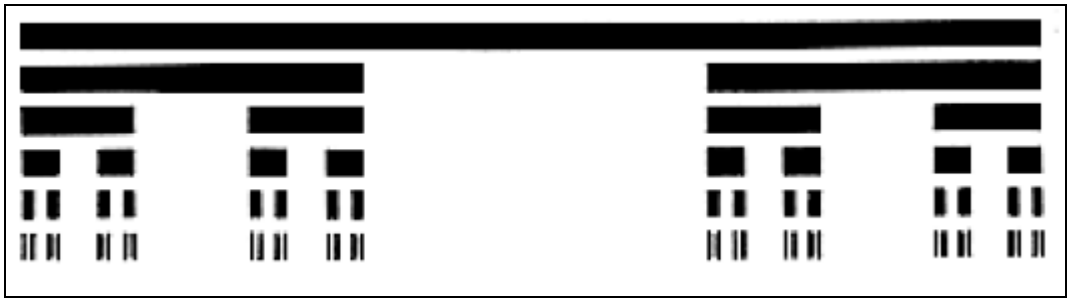
[52] Phillips Eileen : **Creative Mathematics,** Londra, İngiltere, 2005, s. 136.



Şekil 5: Sierpinski Kalçetesi

Kaynak: Eileen : **Creative Mathematics,** 2005 s.136.

Diğer yandan Cantor Tozu ise en basit fraktal örneklerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Matematikçisi Georg Cantor'a ita fen adlandırılmış ilk fraktallardan biri olarak kabul edilmektedir(Şekil.6). Sürekli ve bir boyutlu bir çizgi ile başlamaktadır. Çizginin üçte birlik ortadaki kısmı çıkarılarak oluşturma işlemine başlanmaktadır. Bu işlem sonsuza dek tekrarlanırsa; hiçbir yerde çizgi parçası kalmadığı gözlemlenebilir. Sadece düzensiz olarak dağılmış noktaların kaldığı görülebilmektedir. Bu noktaların sonsuz sayıda olduğu; ancak toplam uzunluklarının sıfır olduğu kabul edilmektedir.[53]



Şekil 6: Cantor Tozu

Kaynak: Mandelbrot : Finans Piyasalarında Saklı Sır, 2005 s.159.

[53] Benoit, B., Mandelbrot**: Finans Piyasalarında Saklı Sır**, Çev. M. Hüner, İstanbul, 2005, s.159.

Finansal piyasaların doğrusal olmayan karmaşık yapısı araştırmacıların ve yatırımcıların piyasalara farklı bir bakış açısıyla yaklaşmalarına neden olmuştur. Fraktal geometrinin gelişmesiyle birlikte, karmaşık ve kaotik yapıya sahip olan piyasa davranışları daha net ortaya çıkarılmaya başlanmıştır. Fraktal geometri karmaşıklığın ve kaotik yapının geometrisidir. Euclid geometrisi doğayı simetrik nesnelere dönüştürürken fraktal geometri ise simetrik olmayan, karmaşık sistemleri irdelemektedir. Fraktallar, parçaları bütünü ile benzerlik gösteren yapılardır. Fraktal yapılar, parçaların bütünüyle benzerlik göstermesi nedeniyle piyasa davranışının uzun dönemli hafızasıyla ilgili önemli bilgiler sunabilir. Ayrıca, finansal piyasalarda fractal analiz geleneksel risk ölçüm yöntemleri dışında risk değerlemesi için bir alternatif olabilir ve farklı yatırım fırsatlarının değerlendirilmesinde yardımcı olabilir.[54]

Finansal Piyasaların fraktal yapıya sahip olmaları finansal piyasaların doğrusal olmayan sistemler olduğunun bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Bu noktada EPH sorgulanır bir hal almaktadır. Özellikle, finans literatüründe önemli yere sahip olan Markowitz'in ortalama-varyans yaklaşımı, Sermaye Varlıkları Fiyatlandırma Modeli, Black-Scholes opsiyon fiyatlama modelinin temel varsayımlarından olan fiyat hareketlerinin normal dağılıma sahip olduğu görüşü eleştirilir hale gelmiştir. Fraktal Piyasa Hipotezi (FPH), EPH'ye alternatif olarak geliştirilen bir hipotezdir.[55]

Fraktal Piyasa Hipotezi (FPH) 1991 yılında Edgar E. Peters tarafından sermaye piyasalarındaki doğrusal olmayan yapının açıklanması amacı ile ileri sürülmüş bir hipotezdir. EPH' ne nazaran piyasalarda oluşan aşırı dalgalanmaları açıklamakta daha yeterli görülmektedir. FPH bilgi ve yatırım vadelerinin yatırımcı davranışları üzerindeki etkilerini fraktal yapıya dayanarak açıklamaktadır.[56]

---

[54] Hakan Aygören: ' İstanbul Menkul Kıymetler Borsasının Fraktal Analizi', **Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**,Cilt:23 Sayı:1, 2008, s.3.

[55] A.y., s.4.

[56] Jion Ruan.: 'The multifractal structure analysis in China stock market', **Machine Learning and Cybernetics**, 2005 sayı 5, s. 15.

Fraktal piyasa hipotezi, likidite ve yatırım vadesinin yatırımcıların tutumu üzerindeki etkilerini araştırmaktadır. Hipotezi mümkün olduğunca genel tutmak için, sürece hiçbir istatistiksel gerekliliğin dahil edilmemesi kabul edilmektedir. FPH' nin amacı, piyasalarda gözlemlenen aşırı fiyat değişimlerine bir model oluşturmaktır. Piyasaların, alım satım için gerekli olan sabit ve likit ortamı oluşturmak için var olduğu ileri sürmektedir. FPH' ye göre kısa vadeli yatırımcılar satışa geçtiğinde, daha uzun vadeli yatırım ufkuna sahip yatırımcılar tarafından piyasa dengeye ulaştırılmaktadır.[57]

FPH'nin bilgi ve yatırımcı davranışları yaklaşımına göre, geleneksel teoride bilgi genelleştirilmiştir. Az veya çok bir hisse senedi ya da finansal varlığın fiyatlanmasında etkisi olan genel anlamda bilgidir. Bunun yanında yatırımcı da genelleştirilmiştir. Yatırımcı basit olarak elindeki bilgi ile satın alma, satma ya da elinde tutma kararı veren kişi olarak tanımlanır. Yine geleneksel teoride yatırımcı rasyoneldir ve getirisini, elindeki bilgi ile varlığın fiyatını doğru bilmek ister. Dolayısı ile elde edilen bilgi tüm yatırımcılarda aynı derecede etkili olur ve aynı bilgi aynı davranışlara yol açar. FPH bu noktada geleneksel teoriden ayrılır. Aynı bilginin farklı yatırımcılarda aynı etkide bulunmadığını ileri sürer. FPH'ne göre piyasalar bir çok farklı yatırım vadesine, görüşüne, algıya sahip bir çok yatırımcıdan oluşmaktadır. Kısa vadeli alım satım işlemi yapan bir yatırımcıya göre, kurumsal yatırımcıların piyasadaki göstereceği davranışlar oldukça farklıdır. Bilgi farklı yatırım vadelerine sahip yatırımcılar üzerinde farklı etkiler yaratır. Kısa vadeli, günlük alım satım yapan yatırımcılar için temel amaç alım-satım yapmaktır. Böyle yatırımcılarda yatırımlar kısa vadeli trendlere göre ve ani davranış ve karar değişikliklerine maruzdur.[58]

[57] Peters.**a.g.e.** , s. 44- 50.
[58] Rachev, **a.y.** , s.3.

Bu durumda kısa vadeli yatırımcı daha teknik göstergelerle ilgilenecektir. Teknik analiz kısa vade de, temel analiz ise uzun vadeli yatırım kararların da etkili olur. Hangi bilginin önemli olduğu yatırımcı beklentisi ve yatırımın vadesi ile ilişkilidir. Uzun vadeli yatırım isteğine sahip yatırımcıların piyasaya katılımı durduğunda yada kısa vadeli yatırımcılar haline geldiklerinde piyasada bozulma başlar. Yatırım vadeleri, yatırımcıların, piyasa değerlerinin temelini oluşturan uzun vadeli temel bilginin artık önemli veya güvenilir olmadığına karar vermeleri durumunda kısalmaktadır.[59]

Piyasadaki bozulmanın sebebi, politik veya ekonomik kriz süreçlerinde uzun vadeli görünümün belirsizleşmesidir. İstikrarsızlığın, yüksek seviyelerde seyrederken kısa vadeli istikrarsızlık tarafından belirlendiği söylenebilir. Bunun sonucu, hepsi kısa vadede olmak üzere, büyük bir düşüş , hızlı bir yükseliş yada başlangıç seviyesine yakın bir fiyat oluşabilir. Ancak; sonuçlardan ilk ikisinin olma ihtimali sonuncudan daha yüksek olarak beklenebilir.[60]

FPH'ne göre sermaye piyasalarında denge likiditenin yüksek olması ile ilişkilidir. Likidite ise piyasada ancak çok fazla farklı yatırım düşüncesine ve vadesine sahip yatırımcı tarafından sağlanabilir. Yatırımcılar aynı beklentilere sahip olmadığından, eldeki bilgiyi farklı olarak değerlediklerinden dolayı pazarlarda bir alıcı ve bir satıcı taraf oluşmaktadır. Yatırımcılardan bir kısmı eldeki veriyi uzun vadeli yatırım düşüncesi ve beklentisi ile değerlendirip al veya sat kararı verirken, karşısında farklı veya aynı bilgiyi daha kısa vadeli yatırım stratejileri ile bütünleştiren bir başka yatırımcı sat ya da al kararı verebilmektedir. Dolayısı ile böyle bir durumda piyasada likidite oluşmakta ve piyasalarda kararlı davranışlar hakim olmaktadır.[61]

[59] Rachev, **a.y.** , s.3.
[60] **A.y.** , s. 4.
[61] Peters, **a.g.e.**, s. 44-49.

Likidite işlem hacmi ile aynı şey değil, arz ve talebin arasında sağlanan dengedir. Piyasalarda dışarıdan gelecek bir bilgi uzun vadeli yatırım vadesini ortadan kaldırabilir. Bu durumda pazardaki tüm yatırımcılar kısa vadeli teknik göstergelerle hareket etmeye başlayacaktır. Zira uzun vade net olarak görülememekte ve bilgi ileriye doğru fiyatlamaya konu olamamaktadır. Dolayısı ile piyasa dengesi farklı yatırım vadelerine sahip yatırımcılara bağlıdır. Kararlı bir piyasa farklı yatırım beklenti ve vadelerinin aynı anda alınıp satıldığı piyasalardır. Bilgi akışı farklı şekilde fiyatlandırılmakta ve bu durum pazarlarda likiditeyi sağlamaktadır.[62]

Bu bilgiler ışığında FPH' nin aşağıdaki hususları öngördüğü söylenebilir:[63]

- Birçok yatırımcının olduğu piyasalarda farklı yatırım davranışları vardır ve piyasa böyle bir durumda dengededir. Alım-satım yapan kişiler ile pazarda yüksek bir likidite vardır.
- Piyasadaki bilgi kümesi piyasa hassasiyetine ve teknik göstergelere kısa vadede uzun vadeye göre daha fazla bağımlıdır. Temel göstergeler uzun vadede daha baskın hale gelmektedirler.
- Temel verinin geçerliliği biterse, uzun vadeli düşünen yatırımcılar ya finansal enstrüman alım-satımını durdururlar ya da kısa vadeli olarak teknik göstergelere göre alım satıma geçerler. Fakat uzun vadeli düşünen yatırımcılar olmadan piyasalarda denge oluşamaz ve türbülans hızlı bir ivme ile devam eder.
- Piyasada oluşan fiyatlar kısa vadeli değerleme ve uzun vadeli değerlemenin bütünleşmiş birer yansımasıdır. Kısa vadeli değerlemelerin yarattığı alım-satım kararları piyasadaki değişkenliği arttıran bir etki yapar.

[62] Peters, **a.g.e.**, s. 44-49.

[63] Sheikh Pancham: 'Evidence Of The Multifractal Market Hypothesıs Usıng Wavelet Transforms', 1994, **Yayınlanmamış Doktora Tezi,** Florida International University,s. 21.

2. BÖLÜM

2. DİNAMİK SİSTEMLER VE KAOS

Temel tanımına göre sistem, aralarında karşılıklı ilişki bulunan ve bir amacı yerine getirmek için bir bütün oluşturan bileşenler topluluğu olarak tanımlanmaktadır. Bir sistemin oluşturulabilmesi için en az iki bileşenin tanımlanması zorunludur. Sistemdeki her eleman diğer bileşenlerle dolaylı ya da dolaysız biçimde ilişki içindedir. Sistemde bileşenlerle ilişkilerin özellikleri değişkenler ve parametreler aracılığı ile ortaya konur.[1]

Sistemler çeşitli şekilde sınıflandırılmaya tabi tutulabilirler. Finansla ilgili olmasının yanı sıra kaos teorisi açısından iki tip sınıflamanın öne çıktığı görülmektedir. Bu iki tip sınıflamanın birincisi sistemleri deterministlik ve rastsal olarak sınıflandırmaktadır. Bir sistemin girdisi ve çıktısı arasındaki ilişkinin tam olarak belirlenebildiği durumlarda sistem deterministlik olarak kabul edilir. Deterministlik sistemlerde neden sonuç ilişkisi açıklıkla görülebilir, önceden tahmin yapılabilir. Öte yandan girdisi ve çıktısı arasındaki sürecin tam olarak bilinemediği, ancak bazı olasılık dağılımları ile gösterilebildiği sistemlere rastsal (stokastik) sistemler denir. İkinci tip sınıflama sistemleri dinamik ve statik olarak sınıflamaya tabii tutan ayırımdır. Dinamik ve statik sistemler arasındaki temel ayırım zaman boyutu tarafından belirlenir. Dinamik sistemler zamana göre farklı davranış sergileyen sistemlerdir. Statik sistemler ise durağan yapıya sahip sistemlerdir. Zamanın değişimi sistemde her hangi bir değişikliğe sebep olmaz.[2]

Finansal piyasaların ve kaos teorisinin dinamik sistemlerle ilişkili olması sebebi ile aşağıda dinamik sistemler detaylı biçimde açıklanmıştır.

[1] RichardC. Hilborn , **'Chaos and Non-Linear Dynamics'**, New York,1994, s. 25.
[2] Oya Kalıpsız , **'Sistem Analizi'**, Papatya Yayıncılık, İstanbul, s. 21.

2.1. DİNAMİK SİSTEMLER

Dinamik sistemler, matematiksel değişimleri, daha önceden almış oldukları değerlere ve içinde bulundukları zamana göre değer alan sistemlerdir. Dinamik sistem, fiziksel sistemin anlık durumunun matematiksel yapısını belirten bir göstergeye sahiptir. Ayrıca içinde bulunulan durumun gelecekteki duruma nasıl dönüştüğünü açıklayan kurallar dizisini de barındıran bir yapıya sahiptir. Bu nedenle dinamik sistem, gerçek sistemin zamanla değişen davranışının basitleştirilmiş bir modelidir. Dinamik sistemler ile modellemenin amacı sistemlerin uzun dönemli davranışlarının karakterize edilmesine yöneliktir.[3]

2.2. DİNAMİK SİSTEMLERİN SINIFLANDIRILMASI

Dinamik sistemler çeşitli şekilde sınıflandırmaya tabi tutulabilirler. Matematiksel gösterimi söz konusu olduğunda dinamik sistemler kesikli ve sürekli olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Bu iki sınıfın yapısı ve geliştirilen çözüm teknikleri farklıdır. Diğer bir sınıflandırma da sistemlerin zamana bağlı olup olmamasına göre yapılmaktadır. Otonom ve otonom olmayan sistemler bu sınıflandırmanın alt başlıklarıdır. Otonom dinamik sistemler kaos teorisinin incelediği sistemlerdir. Kaos teorisi açısından en önemli sınıflandırma sistemleri doğrusal ve doğrusal olmayan olarak ayıran sınıflamadır.[4]

[3] Edward Ott: **Chaos in Dynamical Systems**, Cambridge,GBR: Cambridge University Press, 2002,s.8.
[4] Michael Brin: **Introduction to Dynamical Systems**, Cambridge,Cambridge University Press, s. 2.

2.2.1. Kesikli Dinamik Sistemler

Bu tip dinamik sistemlerde zaman kesikli şekilde verileri oluşturmaktadır. Örneğin x(1)'e göre fonksiyonun çıktısı f(1) olmakta ve ardından x'in alacağı değer hemen 2 olmakta ve buna göre fonksiyon bu sefer f(2) değerini almakta ve 1 ile 2 arasındaki değişkenler için fonksiyon tanımlanmamaktadır.[5]

Kesikli Dinamik sistemlerin analizi finans alanında pratikliği dolayısı ile oldukça sık kullanılmaktadır. Örneğin yıl sonu değerlerine bakılarak dönem sonu bilanço ve gelir tabloları üzerinden trend analizleri yapılmakta ve şirketin durumuna dair bilgiler ortaya çıkarılmaya çalışılmaktadır.

2.2.2. Sürekli Dinamik Sistemler

Sürekli dinamik sistemlerde sistemin durumu zamanın her noktasında belirlenmeye çalışılmaktadır. Diferansiyel denklemler ile matematiksel olarak ifade edilebilmektedirler. Diferansiyel denklemlerle tanımlanan dinamik modellerde, fonksiyonun değişim miktarı, fonksiyonun sonucu ile doğru orantılı olarak fakat belli bir zaman sürecinde değişmektedir.[6]

2.2.3. Otonom Dinamik Sistemler

Otonom sistemler zamandan bağımsız sistemlerdir. Zaman sistem içinde bir değişken değildir. Sistem sadece önceki değişkenlerden etkilenir. Daha önceki sonuçlar daha sonra görüldüğünde sistem daha önceki trendine girer.[7]

Vadeli işlem borsalarında oluşan fiyatlardan oluşan zaman serileri otonom seri olarak kabul edilebilir. Beklentiler sonucu oluşmuş vadeli fiyat, ileriki dönemlerde tekrar görüldüğünde ilerideki fiyatlar önceden bilinebilir. Bunun sebebi herhangi bir çakışmada sistemin periyodik hareket yapmasıdır.

---

[5] **A.e**, s. 3.
[6] **A.e**, s. 4.
[7] David N. Cheban: **Global Attractors of Non-Autonomous Dissipative Dynamical Systems (Interdisciplinary Mathematical Sciences, Volume 1)**, Singapore: World Scientific Publishing Company, Incorporated, 2004, s. 2.

2.2.4. Otonom Olmayan Dinamik Sistemler

Otonom olmayan dinamik sistemler ise değişkenlerin yanında zamana da bağlıdır. Zamanda bir değişken olarak sistemin diferansiyel denklemine dahil edilir. Otonom olmayan sistemlerin grafiksel gösteriminde yörüngeler farklı zamanlarda aynı noktadan geçe bilirler.[8]

2.2.5. Doğrusal Dinamik Sistemler

Sistemin davranışını açıklayan fonksiyon doğrusal ise sistem de doğrusaldır. Burada sistemin içerisindeki veri ne kadar değişirse sonuç da yine o oranda değişmektedir. Sistemin yapacağı değişim miktarının oranı önceden bilinmektedir.[9]

Ekonomik analizlerde kullanımı yaygın olan doğrusal denklemler üzerine kurulmuş modeller bu sistemlere örnek verilebilir.

2.2.6. Doğrusal Olmayan Dinamik Sistemler

Dinamik sistemi tanımlayan denklemlerden en az birisi doğrusal değilse bu sistem doğrusal olmayan dinamik sistem olarak adlandırılır. Doğrusal olmayan dinamik sistemlerde değişkenin değişim miktarı ile sistemin verdiği tepki miktarı farklı olmaktadır.[10]

Ekonomik analizlerde doğrusal olmayan dinamik sistemlerden yararlanılması daha doğru sonuçlar verebilir. Zira bu tip sistemler doğrusal sistemlere göre daha gerçeğe yakın sonuçlar üretebilmektedir. Doğrusal modellerin daha basit açıklama biçimleri olduğundan, bilimsel analizlerde genelde kullanılan yöntemler doğrusal yöntemlerdir. Araştırılan sistemler doğrusal matematiksel denklem sistemleri ile açıklanmaya çalışılmaktadır. Bu ilk eğilim Newton'a kadar ulaşmaktadır. Doğada çözülmesi gereken daha basit ve anlaşılır çözümler sunabilmek için bilimin en önemli analiz yöntemlerinden biri olmuştur.[11]

---

[8] **A.e.** , s. 53.
[9] Paul Manneville**: Instabilities, Chaos and Turbulence : An Introduction to Nonlinear Dynamics and Complex Systems**, Singapore: Imperial College Press, 2004, s. 37.
[10] **A.e.** , s. 38.
[11] Sinan Kesici: "Ekonomi ve Kaos Teorisi", **Journal of İstanbul Kültür University**, 2006, s.2.

Ancak doğrusal modeller gerçek hayattaki bir çok olguyu açıklamakta yetersiz kalmaktadır. Bu nedenden dolayı doğrusal olmayan modellerin kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. [12]

2.3. DİNAMİK SİSTEMLERİN GRAFİK GÖSTERİMİ

Dinamik sistemlerin anlaşılmasında en kullanışlı araç durum uzayı denilen grafik gösterim tarzıdır. Durum uzayı faz alanı olarak da tanımlanmaktadır. Durum uzayları matematiksel olarak yapılandırılmış kavramsal uzaylardır. Grafiğin her bir ekseni sisteme ilişkin bir değişkene karşılık gelmektedir. Bu nedenle durum uzayında her bir nokta sistemin tam bir tanımını vermektedir. Grafikte sistemin izlediği gelişim yolu ortaya çıkar. Sistemin durum uzayında izlediği bu yola yörünge adı verilmektedir. Durum uzayı yöntemi oldukça kullanışlıdır. Çünkü, dinamik sistemlerdeki yörüngelerin çözümleri hakkında açık bir bilgiye sahip olunmasa dahi bu yörüngelerin üzerinde çalışmak mümkün hale gelmektedir. Durum uzayı içindeki yörüngelerin gösterdikleri şekiller kullanılarak karakterize edilmesi kaos teorisinin en önemli matematiksel araçlarından biridir. Kaosun durum uzayında analizi garip çekerler denilen şekillerin oluşturulması ile mümkün olmaktadır. Kaosun yapısının anlaşılmasında kullanılan en önemli grafiksel araç Lorenz Çekicisi olarak adlandırılan geometrik şekildir .[13]

Lorenz çekicisi kaos ile ilgili yapılan ilk sayısal çalışmadır. Edward Lorenz tarafından atmosferdeki havanın akışını modellemek için 1950'li yılların sonunda geliştirmiştir. Lorenz bu çalışmasında başlangıç koşullarına hassas bağımlılığı keşfetmiştir.[14]

$$\frac{d_x}{d_t} = \sigma(y\text{-}x)$$

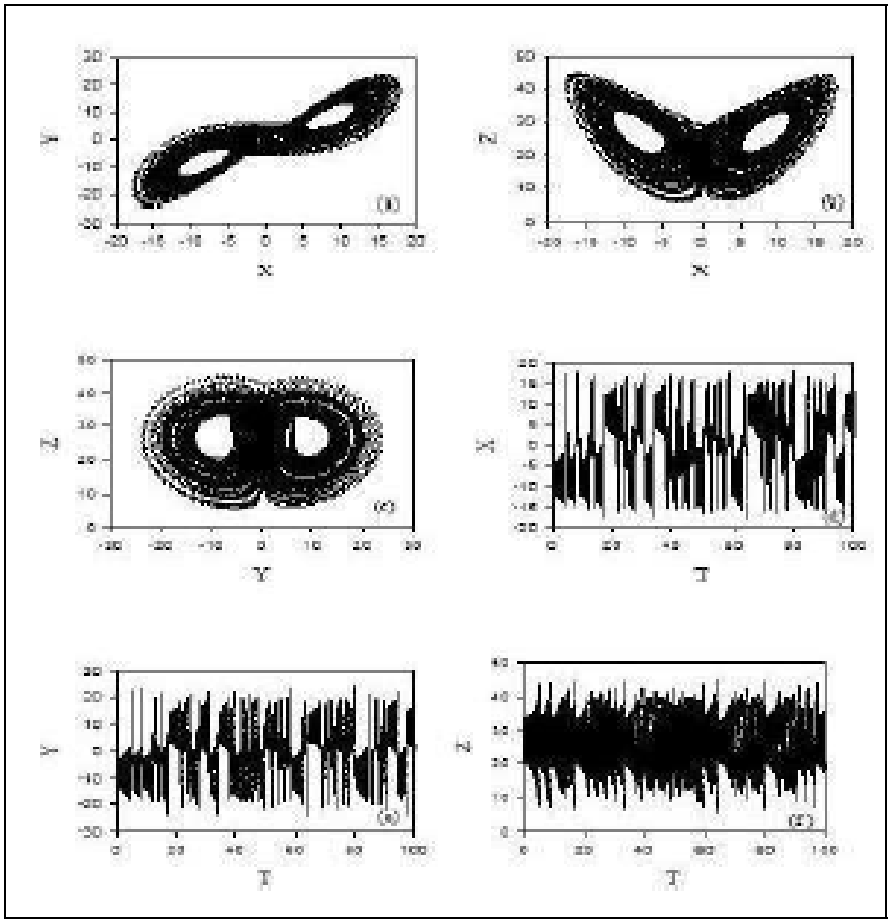
[12] **A.e.** , s. 53.
[13] Robert W. Easton: **Geometric Methods for Discrete Dynamical Systems**, NC, USA: Oxford University Press, Incorporated, 1998, s. 19-20.
[14] Tim Sauer, **'Chaos : An Introduction to Dynamic Systems',** NJ, USA: Springer-Verlag New York, Incorporated, 1996, s. 362.

$$\frac{d_y}{d_t} = -xz + rx - y$$

$$\frac{d_z}{d_t} = xy - bz$$

Lorenz yukarıda verilen üç sade denklemle bir hava hareketi tanımlamıştır. Model, dönen uzun bir silindirin alt ucunda havanın ısındığı ve üst ucunda soğuduğu fikrine dayanmaktadır. x-z düzlemdeki şekli kelebeğe benzediği için kelebek çekicisi de denilen bu çekici kaosun açıklanmasında temel yapı olmuştur. Denklemlerde x dönüşün hızını, y aşağı ve yukarı hareket eden akışkanlar arasındaki ısı farkını, z ise dikey sıcaklık doğrusallığında sapmayı gösterir. Şekil 7' de x=1, y=2, z=3 başlangıç koşullarından başlanarak ve üstteki parametre değerleri kullanılarak elde edilmiş Lorenz çekicisinin değişik grafikleri verilmiştir. Zamana bağlı grafiklere bakılarak sistemin bu değerler için kaotik olduğu söylenebilir.[15]

[15] **A.e**.,s. 363.



Şekil 7. Lorenz Çekicisi

Kaynak:Sauer, **'Chaos : An Introduction to Dynamic Systems',** 1996, s. 364.

2.4. KAOS

Kaos kavramı sözcük anlamı itibariyle günlük dilde, "karmaşıklık, düzensizlik, belirsizlik" hatta anarşi gibi ifadeleri çağrıştırır. Kavram, Yunanca "boşluk, yarık, hudutsuzluk" anlamlarına gelen "Khaos" kelimesinden türemiştir.Bilimsel manada ise kaos; daha çok karmaşanın içindeki düzeni ifade etmektedir. Bilimsel tanımına göre kaos; önceden tahmin edilemeyen, içerisinde kuralsız, ama benzer şekillerin oluştuğu düzenli düzensizlik olarak tanımlanmaktadır. Amacı olan bir karışıklığı ifade etmektedir.[16]

[16] Mehtap Yeşilorman: 'Kelebek Kanadını Kimden Yana Çırpıyor. Birleştirilmiş Bilimin Kıyısında Kaos Ve Sosyal Bilimler', **Journal Of İstanbul Kültür University,** 2006/3, s. 77- 86.

Kaos, karmaşık ve doğrusal olmayan dinamik sistemleri inceleyen bir teori olarak da nitelendirilmektedir. Bu tanımda doğrusal olmayan özgün bir matematik yapı, dinamik kavramı ise sabit olmayan bir yapıyı tanımlamak için kullanılmaktadır.[17]

Kaosu açıklayan bir çok tanım olmasına rağmen, en kapsamlı tanım söyle yapılmaktadır: kaos; başlangıç durumuna hassas bağımlılığı olan, ayrışmalarla rasgele tarihi seçimler yapan, kararlı dönemlerde birden çok düzenleyicinin etkisine maruz kalan, dengenin çok uzağındaki bir zamansal evrimdir. Bu tanım kapsamında ortaya konan nitelikler kaosun doğrusal olmayan karmaşık bir yapı içerisindeki düzensizliğin düzeni olarak tanımlanmasına yol açmıştır. Kaosun karakterize ettiği düzensizliğin içindeki düzen ile doğrusal olmayan, karmaşık ve değişken bir yapının ortaya çıktığı ifade etmektedir.[18]

Günlük dildeki kullanımı ile bilimsel kullanımı arasında oldukça önemli farklar vardır. Kavram ile ilgili en doğru tanımı veren teorik fizikçi Jensen, kaos'u "kompleks, doğrusal olmayan dinamik sistemlerin düzensiz ve öngörülemez davranışı" şeklinde ifade eder.[19]

Kaos tanımından hareketle kaos kavramının iki ana özelliği aşağıdaki şekilde belirtilebilir:[20]

- Başlangıç koşullarına hassas bağımlılık: kaotik sistemlerin en önemli özelliği başlangıç şartlarına hassas duyarlılıklarıdır. Deterministlik bir sistemin başlangıç durumu ve denklemleri biliniyorsa, sistemin sonraki davranışı belirlenebilir. Kaotik sistemlerde, sistemin zaman içindeki gelişimini tam olarak belirleyebilmek için başlangıç değerlerini sonsuz hassasiyetle bilmek gerekmektedir. Çünkü kaotik sistemler doğrusal olmadıkları için zamanla üstel olarak artacaktır.

[17] **A.y**, s. 77- 86.
[18] Ziauddin Sardar: **Introducing Chaos**,Cambridge , GBR: Totem Books, 2005, s. 4.
[19] James Gleick: **Kaos Yeni Bir Bilim Teorisi**, Çev. Fikret Üçkan, Ankara ,TÜBİTAK, 2005, s.22.
[20] G.L Baker: **Chaotic Dynamics an Introduction,** Cambridge University Pres., Cambridge, 1990, s. 41-42.

- Sistemin zaman içindeki evriminin tam olarak kestirilememesi (doğrusal olmama durumu): kaos kuramı doğrusal olma durumunu sorgular, doğal ve toplumsal tüm sistemlerde doğrusal olay ve olguların bulunmadığını ileri sürer. Pek çok durum makro ölçekte doğrusal gibi gözükse de mikro ölçekte doğrusal olmadığı görülebilir. Kaotik yapılar dallanmalar içeren yapılardır. Sistem dallanmaya kadar olan davranışında deterministlik bir yapı sergilerken, dallanma noktasında kaotik davranış sergilemekte ve zaman içindeki evrimin kestirilmesi güç olmaktadır.[21]

Kaosun disiplinler arası bir konu olması, sistemde kaosun varlığını gösteren yöntemleri ön plana çıkarmaktadır. Kaos analizi yapabilmek için ilk adım kullanılacak yöntemin karakteristikleri hakkındaki teorik bilgi toplanması ve bu teorik bilginin modellenerek, bilgisayar sistemleri aracılığıyla benzetimi (simülasyonu) ve analizi olmuştur. Sermaye piyasasında kaos teorisinin uygulamaları da bu şekilde olmaktadır.[22]

Kaos kavramı ve teorisi ile ilgili her şey ilk olarak 19. yüzyılın sonlarında Fransız matematikçi Poincare'nin çalışmaları ile başlamıştır.Dinamik sistemler üzerinde çalışmış olan 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.[23]

[21] **A.e**, s. 41- 42.
[22] Edward N. Lorenz: **Essence of Chaos**, Florence, KY, USA, Routledge, 1995, s. 20.
[23] Serar Öge; "Düzen mi Düzensizlik (kaos) mi? Örgütsel Varlığın Sürdürülebilirliği Açısından Bir Değerlendirme", **Selçuk Üniversitesi Sos. Bil. Ens. Dergisi**, sayı: 13, 2005, s. 285.

Her ne kadar kaos kavram ve teorisinin babası olarak Poincare kabul edilse de teoriye en önemli katkı 1960 yılında meteoroloji profesörü olan Lorenz tarafından yapılmıştır. Lorenz, basit bir hava tahmin raporu hazırlayabilmek için bilgisayarına veriler girmekte ve sonuçta bulduğu sıcaklık değerlerini grafik üzerinde gösterdiği çalışmasın da, tesadüf eseri seçmiş olduğu sıcaklık değerlerini en hassas termometrenin dahi algılayamayacağı düzeyde ufak oranlarda yükselterek fonksiyonu tekrar çalıştırdığında, fonksiyonların grafiklerde de her hangi bir fark yaratmamasını beklerken sonuçta ortaya bambaşka fonksiyonlar çıkarmıştır. Grafikteki iniş ile çıkışlar uzun dönemde tıpkı bir kelebeğe benzer desen oluşturmuştur. 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.[24]

Lorenz, dıştan düzensiz olarak görünen ama içsel bir düzene sahip olan kaotik sistemlerin iki temel özelliğini öne sürerek "Kaos Teorisi"ni açıklamaya çalışmıştır :

- başlangıç durumuna hassas bağımlılık
- rasgele olmamak

Bu davranış biçimleri yeni bilimin yasalarına uymaktadır. Klasik bilimin nedensellik anlayışına oturtulamayan ve dinamik sistemler olarak adlandırılan süreçte kaosun determinizmi yıktığı ve sıkışan bilime yeni bir soluk getirdiği savunulmaktadır. Newton'un kurucusu olduğu klasik modern bilim esas olarak doğrusal sistemler ve bazen de doğrusal olmayan kapalı sistemlerle ilgilidir. Yeni bilim ise, tamamen doğrusal olmayan bir sistemi ifade etmekte ve diğer sistemlerle içsel bağlantıları bulunmaktadır. Kaosu ilgi çekici kılan ve bir devrim olarak değerlendirilmesine yol açan şey, deterministlik olarak gelişen bir sistemin hiç beklenmedik şekilde düzensiz ve rasgele davranabilmesi olarak görülmektedir.[25]

---

[24] Gleick, **a.g.e.,** s.22-25.

[25] Türkay Dereli v.d. : "İşletmelerde Kaos Yönetimi," **Journal Of İstanbul Kültür University,** 2006/3, s. 23–29.

2.5. KAOTİK SİSTEMLER

Kaos, basit sistemlerin görünüşte karmaşık davranışını betimlemede kullanılan bir terimdir. Kaotik davranış ilk bakışta bir sistemin karmaşık davranışı gibi, hatasal ve rasgele görünebilir. Kaosu anlamadaki sorun, görünüşte birbiri ile çelişen rasgelelik ve determinizm gibi iki nosyonun bağdaştırılmasında yatmaktadır. Bu sorunun aşılmasında doğrusal olmama kavramı bize yardımcı olur. Kaosun oluşması için sistemin mutlaka doğrusal olmayan bir yapıya sahip olması gerekir.[26]

Doğrusal olmamanın önemi şuradadır: doğrusal bir sistemi tanımlayan bir parametre değiştirilirse, sistemin hareketi değişecektir, ancak davranışının doğası aynı kalacaktır. Oysa doğrusal olmayan sistemlerde, parametredeki küçük bir değişiklik sistemin hem niteliksel hem de niceliksel davranışında dramatik değişimlere yol açabilir. Bir parametre değeri için davranış periyodik iken, bir öncekinden çok az farklı bir parametre değeri için sistemin davranışı tamamen aperiyodik[27] olabilir. Ayrıca belirtilmesi gereken önemli bir konu da, hemen hemen bütün gerçek sistemlerin doğrusal olmadığıdır. Yani doğrusal olmayan davranış, doğrusal davranıştan çok daha yaygındır.[28]

---

[26] Mehran Kardar, **'Statistical Mechanics I: Statistical Mechanics of Particles'**, MIT Press, Massachusetts, A.B.D, 2005, s.149-150.

[27] Asla kendini tekrar etmeyen.

[28] Kardar, **a.g.e.,** s.150.

Doğrusal olmayan sistemlerdeki dramatik değişimler kaos ismi verilen karmaşık davranışa yol açabilir. Kaos ismi ve kaotik sıfatı, sistemin davranışının aperiyodik ve görünüşte rasgele olduğunda sistemin zaman içindeki davranışını tasvir etmekte kullanılır.Görünüşteki kaotik rasgeleliğin altında yatan, sistemi tanımlayan denklemler tarafından belirlenen bir düzendir. Aslında, sistemlerin çoğu deterministliktir. Genel olarak, sistemin davranışını belirlemek için üç şeye gereksinim duyulmaktadır:[29]

- Zaman evrimi denklemleri
- Sistemi tanımlayan parametrelerin değerleri
- Başlangıç koşulları

Eğer zaman evrimi denklemlerinin, sistemi tanımlayan parametrelerin ve başlangıç koşullarının bilinmesi prensip olarak sistemin ilerideki davranışını tam olarak belirlerse, böyle bir sistem deterministliktir. Sorun determinizm ile görünüşte rasgeleliğin nasıl bağdaşacağıdır. Bu durumda, karmaşık rasgele tipli bir davranış gösteren bir sistem görüldüğünde sistem karmaşıklık kavramına dayanan argümanlarla açıklanmaya çalışılır.[30]

Ekonomide doğrusal modellerin kullanılmasına öncelik verilmektedir. Bu tip tek çözüme yada denge noktasına sahip modellerin çözümü daha kolay olmaktadır. Buna karşılık deterministlik modellerin ürettikleri ile gerçek hayattan alınan zaman serileri arasında büyük farklılıklar gözlemlenmektedir. Deterministlik doğrusal modeller düzgün davranış sergilerler ve tahmin edilmeleri mümkündür. Zaman serileri ise stokastik ve rastsal davranış gösterirler ve tahmin edilebilirlikleri düşüktür.[31]

[29] Edward Ott, '**Nonlinear Science',**Washington, DC, USA, National Academies Press, 1997, s. 4.

[30] Ott, **a.g.e**., s. 4.

[31] M. Atilla Öner**, '**Dinamik Sistem Modelleme ile Makroekonomik Analiz Türkiye için bir Oyun Denemesi', **Journal Of İstanbul Kültür University,** 2006/3, s. 4.

3. BÖLÜM

3. ZAMAN SERİLERİNDE KAOSUN TESPİTİ

Finans teorisinde metodoloji, deney yapmaktan ziyade tarihsel verilerden faydalanılması yönündedir. Zaman serilerinin analizine dayalı yöntemler uygulamada geniş yer kaplamaktadır. Kaotik yapının tespitinde de zaman serilerini (geçmiş fiyat verileri) analiz eden istatistiksel yöntemler kullanılmaktadır. Bu nedenle finans alanında doğrusal olmayan dinamik modellerin kullanılması yaygındır. [1]

Kaotik hareketin incelenmesinde ana hareket noktası evrensel özelliklerin tespit edilmesidir. Kaotik davranışların nitel ve nicel evrensel özelliklere sahip oldukları çeşitli araştırmalarda gösterilmiştir. Örneğin benzer davranış şekilleri biyolojideki bir modelden alınıp finansla ilgili bir sistemin davranışına uyarlanabilmektedir. Kaotik davranışın sayısallaştırılması konusunda yapılan çalışmalar çeşitli alanlar arasında bilgi alışverişini olanaklı kılmaktadır. Kaos konusunda yapılan sayısallaştırmanın faydaları dört ana başlık altında toparlanabilir:[2]

- Sayısal değerler, kaotik davranışla rastsal bozucu etkilerin birbirinden ayırt edilebilmesine olanak tanır.
- Sayısal değerler, sistemin dinamiğini modelleyebilmek için kaç değişken kullanılması gerektiği sorusuna yanıt oluşturur.
- Sayısal değerler, sistemlerin evrensel değerlere ayrılabilmesini sağlar.
- Sayısal değerlerdeki değişimler, sistemin dinamik davranışındaki önemli değişimlerle bağlantılı olabilirler. Sistemdeki davranış değişimi hakkında bilgi verirler.

[1] Pierre Giot, '**Econometric Modelling of Stock Market Intraday Activities',** Springer; 1st edition, 2001, s. 47.
[2] Kardar, **a.g.e.,** s.150.

Kaotik sistemlerin incelenmesinde bir çok teknik kullanılmaktadır. Ancak bunların kullanım sıklığı ve sermaye piyasası ile ilişkisi göz önüne alınarak aşağıdaki yöntemler açıklanacaktır:

- BDS Testi
- Hurst Üsseli
- Lyapunov Katsayısı

3.1. BDS TESTİ

Finansal zaman serilerindeki doğrusal olmayan davranışların belirlenmesinde, zaman serileri analizinin geleneksel yöntemleri yetersiz bir kullanım alanına sahiptir. Zaman serilerindeki doğrusal olmayan davranışların ve özelliklerin belirlenmesinde birçok testten yararlanılmaktadır. BDS testi bu testler arasında en yaygın olarak kullanılanlarından biridir.[3]

BDS Testi, Brock, Dechert, ve Scheinkman adlı üç ekonomist tarafından geliştirilmiş bir testtir. Farklı boyutlarda korelasyon integralinin hesaplanması ile elde edilen test istatistiğidir. Korelasyon integralinin her türlü doğrusallığa karşı duyarlı olması bu testi güçlü kılmaktadır. Korelasyon integralinin bulunması parametrik olmayan bir yöntem olmasına rağmen test istatistiği ortalaması sıfır varyansı bir olan normal dağılıma sahiptir.[4]

[3] Chris Brooks, '**Introductory Econometrics for Finance'**, Cambridge University Press, Cambridge, UK.,2002, s.45.
[4] Edgar, E, Peters: '**Fractal Market Analysıs Applyıng Chaos Theory to Invesment and Economıcs**', Newyork, John Wiley And Sons,1996 s.246.

Varsayımının olmaması ve uygulamasının kolay olması dolayısı ile en fazla kullanılan test olmuştur. Testte sıfır hipotezi olarak hata terimlerinin "bağımsız benzer dağılıma sahip" olduğu kabul edilmektedir. BDS testini uygularken ilk önce zaman serisine ARMA süreci uygulanmalıdır. Daha sonra tüm doğrusal yapılar veri setinden temizlenir. Bu süreçten sonra elde edilen hata terimleri boşluk hipotezi altında test edilebilir. Sıfır hipotezinin reddedilmesi hata terimlerinin bir bağlantısı olduğunu ve bu bağlantının doğrusal olmadığını gösterir. Boşluk hipotezinde hata terimlerinin bağımsız benzer dağılıma sahip olduğu belirtilmesine rağmen alternatif hipotezin doğrusal olmayan bir süreç mi yoksa kaotik bir süreç mi olduğu belli olmamaktadır.[5]

BDS testinin diğer bir özelliği de rastsal sistemleri deterministlik kaos yada doğrusal olmayan stokastik sistemlerden ayırt etmek için kullanılan güçlü bir testtir. Ancak doğrusal olmayan deterministlik bir sistemle doğrusal olmayan stokastik bir sistemi ayırt etmekte yetersiz kalmaktadır. Doğrusal olmayan bağlılık bulabilir. Kaos için kullanılan diğer testlerle birlikte denendiğinde oldukça kullanışlı olmaktadır.[6]
Korelasyon integrali aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

$$C_{m,n}(\varepsilon) = \frac{1}{\frac{n}{2}} \sum_{1 \langle s \langle t \langle n} \sum H(\varepsilon - \left\| U_s^m - U_t^m \right\|)$$

bu formüldeki m boyutu, ε küçük bir sayı, H fonksiyonu

$$H(z) = \begin{cases} \left\| u_s - u_t \right| \langle \varepsilon \end{cases}$$

boyutlar arasındaki fark seçilen ε değerinden küçük ise 1 diğer durumlarda 0 değerini alacak şekilde tanımlanmıştır.
BDS test istatistiği de aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

---

[5] **A.g.e.,** s.248.
[6] R. Kosfeld., S. Robe , "Testing the Nonlinearities in German Bank Stock Returns", **Empirical Economics**, 2001, s.26.

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

$$T_{m,n}(\varepsilon) = \left[C_{m,T}(\varepsilon) - C_{1,T}(\varepsilon)^m\right]$$

burada $V_{m,n}(\varepsilon)$ $T_{m,n}(\varepsilon)$' nin varyansını göstermektedir. Son adım olarak BDS test istatistiği aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$V_{m,n}(\varepsilon) = 4\left[K^m + 2\sum_{j=1}^{m-1} K^{m-j}C^{2J} + (m-1)^2 C^{2m} - m^2 K C^{2m-2}\right]$$

Formüldeki m boyutu, ε küçük bir sayıyı göstermektedir.[7]

500 gözlemden fazla olan veri setlerinde *m* 6'dan küçük olması ve ε değerinin veri setinin standart sapmasının 0.5 ile 2 katı arasında seçilmesi sonuçların doğruluğu açısından önem arz etmektedir.[8]

[7] **A.y**., s. 27.
[8] W.A. Brock: "A test for independence based on a correlation dimension", **Econometric Review**15, 1996, s. 199.

3.2. HURST ÜSSELİ

H. E. Hurst tarafından fraktal analizlerde kullanılmak için önerilen Hurst üsseli; birçok araştırma alanlarında uygulanmıştır. Finans çevresinde son dönemde popüler olduğu gözlemlenmektedir, daha çok uzun vadeli bellek ve zaman serilerinin fraktal özellikleri için ölçümler sağlamakta olduğu kabul edilmektedir.[9]

Hurst katsayısının hesaplanması R/S analizi olarak adlandırılan istatistiksel bir süreçle yapılmaktadır. Dönüştürülmüş Genişlik (Rescaled Range)olarak adlandırılan bu yöntem zaman serilerinin fraktal yapıya sahip olup olmadığının tespitinde önemli bir göstergedir. R/S analizi parametrik değildir. Bu nedenle Gaus'un ki gibi bağımsız bir sürece ihtiyaç duyulmamaktadır. Üzerinde kurulduğu dağılımın şekline ilişkin herhangi bir kısıt gerekmemektedir.[10]

R/S analizinin temel hareket noktası Hust üsselidir. Hurst hidroloji mühendisi olarak 40 yıl süresince Nil nehri üzerinde kurulan barajın yapımında çalışmıştır. Hurst' un üzerinde çalıştığı konu baraj haznesinin dolumunun kontrolüdür. Barajın tümüyle boşalmaması ya da taşmaması için su boşaltma politikasını belirlemeye çalışmıştır.Nil nehrinin ekolojisi büyük bir sistem olduğu için baraja su akışı kontrol edilemeyen parametre olarak rastsal yürüyüşe uymalıdır. Hurst bu varsayımı test etmek için Hurst üsseli adını verdiği bir istatistik geliştirmiştir. Güvenilir bir istatistik olduğu için zamanla bütün zaman serileri için geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Hurst üssü incelenen seri normal dağılmasa bile rastsal olanla rastsal olmayan serileri ayırt edebilmektedir. Hurst geliştirdiği istatistiği kullanarak, nehir akışı, sıcaklık,yağmur miktarı ve güneş lekeleri gibi bir çok doğal sistemin rastsal yürüyüş izlemediğini sonucuna ulaşmıştır.[11]

---

[9] D.O., Cajueiro ve B.M. Tabak, 'The Hurst exponent over time: testing the assetion that emerging markets are becoming more efficient', **Physica,**2004, s.521.

[10] B., Quian, , K.Rasheed, Hurst Exponent and Financial Market Predictability, **Financial Engineering and Application**, 2004, s.54.

[11] Peters, Edgar E : '**Fractal Market Analysıs Applyıng Chaos Theory to Invesment and Economıcs**', Newyork, John Wiley And Sons,1996 s.54-55.

Hurst üssünü hesaplayabilmek için eldeki zaman serisine aşağıdaki yöntem uygulanır:[12]

$$X_{t,N} = \sum_{u=1}^{t} (e_u - M_N)$$

$X_{t,N} = N$ dönem üzerindeki birikimli sapma

$e_u = u$ yılındaki değer

$M_n = N$ dönem için e_u ' ların ortalaması

Daha sonra yeni değerler kullanılarak aralık belirlenebilir:

R= En büyük ($X_{t,N}$)- En küçük($X_{t,N}$), En büyük($X_{t,N}$): $X_{t,N}$ ' lerin en büyük değeri,

En küçük ($X_{t,N}$): $X_{t,N}$ ' lerin en küçük değeri

Farklı özelliklere sahip olan zaman serilerinin aynı ölçekte karşılaştırılmasını sağlayabilmek için Hurst R değerini, gözlemlerin standart sapmasına bölerek yeni bir değer elde etmiştir.[13]

R/S= (En büyük($X_{t,N}$)- En küçük($X_{t,N}$))/σ

R/S değeri ile Hurst üssü arasındaki bağlantı aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$R/S = (\alpha.N)^H$$

R/S: Ölçek aralığı

N: Gözlem sayısı

α : sabit

H: Hurst üssü

[12] Willi-Hans, Steeb: **Nonlinear Workbook : Chaos, Fractals, Cellular Automata, Neural Networks, Genetic Algorithms, Gene Expression Programming, Support Vector Machine, Wavelets, Hidden Markov Models, Fuzy Logic with C++, Java and Symbolic C++ Programs.**River Edge, Newyork: World Scientific Publishing Company, 2005. s. 95-96.

[13]Cajueiro,**a.y.**, s.521−523.

Hurst üssü bulunurken yalnızca bir N değeri için hesaplama yapılması durumunda, veri sayısının az olması durumunda yanlış sonuç elde edilebilir. Bu nedenden dolayı bir çok N değeri için R/S değeri hesaplanır. Log(N) değerlerine karşılık Log (R/S) değerlerinin grafiği çizilir ve grafikte bir N aralığı için ortaya çıkan doğrunun eğimi Hurst değeri olarak kullanılır. Bulunan N değeri zaman serisinde var olan belleğin uzunluğunu verir.[14]

3.2.1 Hurst Üssünün Yorumlanması

R/S analizi zaman serilerindeki kalıcılığın tahminini sağlamaktadır. Bu nedenle zaman serilerini sınıflamada kullanılmaktadır. Gaussyan olmasa bile rastsal serilerle rastsal olmayanları bir birinden ayırt edebilmektedir. Hurst üssünün finansal verilere uygulanması son zamanlarda sıkça rastlanan bir olgudur. İstatistiksel mekaniğe göre, eğer veriler rastsal yürüyüşe uygun hareket ediyorlarsa H=0.5 olmalıdır. Diğer bir ifade ile, birikimli sapmaların aralığı zamanın kökü ile doğru orantılı olarak artmalıdır.[15]

H değeri 0.5' ten farklı ise gözlemler artık bir birinden bağımsız değillerdir ve önceki bütün olayların belleğini taşırlar. Bu bellek uzun vadeli bellek olarak adlandırılır. Teorik olarak sonsuza dek sürer ve kısa vadeli bellekten farklıdır. Bu nedenle eldeki veriler geçmişte oluşmuş bütün olayları yansıtırlar.[16]

[14] **A.y**., s.526.
[15] M.Couillard ve M Davison,: A comment on measuring the Hurst exponent of financialtime series, **Physica A** 348 ,2005, S. 406.
[16] Peters, **a.g.e**., s.69.

Hurst üssü aldığı değerlere göre aşağıdaki gibi yorumlanmaktadır:[17]

- H= 0.5 ise,

İncelenen zaman serisi rastsal bir seri olarak kabul edilmektedir. Olaylar bir birinden bağımsız ve ilişkisizdir. İçinde bulunulan an geleceği etkilememektedir. Her değer içinde bulunduğu anda meydana gelir.

- H< 0.5 ise,

Mevcut zaman serisi kalıcı olmayan seri olarak kabul edilir. Çoğunlukla ortalamaya dönen sistemlerdir. Eğer sistem bir önceki periyotta yükselmiş ise bir sonraki periyotta düşüş eğilimi kuvvetlidir. Tersi durumunda, eğer önceki periyotta düşmüş ise bir sonraki periyotta yükselme olasılığı fazladır. Kalıcı olamama Hurst üssünün değerinin 0.5 değerinden uzak olmasından kaynaklanmaktadır. Bu tip seriler sürekli geri dönüşlere sahip olduklarından rastsal serilerden daha çok değişkenlerdir.

- H> 0.5 ise,

Bu tip seriler, kalıcı olan ya da eğilimi güçlendiren serilerdir. Eğer seri bir önceki dönemde yükselmişse izleyen dönemde de yükselişini sürdürme olasılığı daha yüksektir. Eğilimi koruma davranışı açıkça görülebilir. Eğilimi güçlendirme davranışı yada kalıcılığın gücü Hurst üssü değeri 1' e yaklaştıkça artar. Hurst üssü değeri 0.5' e yaklaştıkça bozucu etkinin arttığı ve eğilimin tanınmaz duruma geldiği gözlemlenir. Kalıcı seriler yanlı rastsal yürüyüş yaparlar. Finans verilerini rastsal yürüyüşten ayıran yanlılık var olan ekonomik duruma reaksiyon gösteren yatırımcılar tarafından yaratılır.

[17] Robert Mulligan.: "Fractal Analysis of Highly volatile Markets: An Application to Technology Equities", **The Quarterly Review of Economics and Finance,** 2003, sayı. 44, s.155-161.

R/S analizinin sağlıklı çalışıp çalışmadığı rastsal yokluk hipotezi yolu ile test edilebilir.

3.2.2. RASTSAL YOKLUK HİPOTEZİ

Hipotez testinin, gerçekleşmesi en muhtemel sonucu olası cevap olarak varsaydığı kabul edilmektedir. Belirli bir sürecin ardındaki her hangi bir mekanizma anlaşılamadığında ilk olarak yapılacak en iyi tahminin; bağımsız, aynı dağılıma sahip ve rastsal adımla karakterize edildiğinin varsayılmasıdır. Yapının Gauss yapısı ve yoğunluk fonksiyonunda normal dağılımlı ve çan eğrisine sahip olduğu kabul edilmektedir. Başlangıç tahmini yokluk süreci olarak adlandırılmaktadır. Gauss hipotezinin yokluk süreci olarak seçilmesi, matematiksel bir dille sürecin rastsal adım olup olmadığını test etmek içindir. Ayrıca fraktal Brownian hareketinin varlığını kanıtlamanın daha kolay olduğu varsayımının ileri sürülmesi ile de açıklanabilmektedir. Bu durumun nedeni olarak, Gauss'taki durumun kendini optimal sonuçlar üzerine kurduğu ve bunun kolayca simüle edilebildiği varsayımıdır. Hurst, yokluk hipotezini yazı tura olasılığı üzerine kurduğu bir model yardımıyla açıklamaya çalışmıştır. Rastsal adım için ulaştığı sonuç aşağıdaki denklemdir.[18]

$$(R/S)_n = (nx\pi/2)^n$$

R/S: Ölçeklendirilmiş Getiri

n: Dönem Sayısı

$\pi = Sabit$

[18] Peters, **a.g.e**., 56.

3.3. LYAPUNOV ÜSTELLERİ

Kaosun tespitinin yapılabilmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin çoğunun analiz işlemini niteliksel yöntemler kullanarak yapması kaosu niceliksel olarak gösterme noktasında yetersiz kalmaktadır. Lyapunov üstelleri (veya üstleri) olarak bilinen kaos analiz yöntemi ise diğer yöntemlerden farklı olarak kaosu niceliksel olarak inceleyen bir analiz yöntemidir.[19]

Doğrusal olmayan diferansiyel denklemlerin kararlılığının incelenmesinde sabit üstellerin kullanılabileceğini ilk olarak Rus matematikçi Sonya Kovalevskaya (1850–1891) göstermiştir. Kovalevskaya'nın çalışması daha sonra 1892 yılında diğer bir Rus matematikçi olan Alexandır Mikhailovich Lyapunov (1857–1918) tarafından geliştirilmiştir. Lyapunov çalışmasında sadece Lyapunov üstelleri kullanılarak bir dinamik sistemin yörüngelerinin uzaklaşmasının değişimi ile ilgili düşüncelerinin temellerini açıklamıştır.[20]

Lyapunov üstellerini kullanarak analiz yapma fikrinin çıkış noktası kaotik sistemlerin başlangıç koşullarına olan bağımlılığından kaynaklanmaktadır. Kaotik bir sistemde birbirine çok yakın komşu iki başlangıç noktasından başlatıldığında yörüngelerin gittikçe birbirinden uzaklaşması veya yakınlaşması ile kaos analizi yapılabilir. Lyapunov üstelleri komşu yörüngeler aradaki bu mesafeyi ölçen matematiksel bir yöntemdir. Lyapunov üstselleri λ, başlangıç şartlarına olan duyarlılığın bir ölçüsünü verir. Seçilen zaman serisi için hesaplanan Lyapunov üstseli değeri negatif ise farklı başlangıç şartları aynı çıkış değerlerini vermeye meyillidir ve dolayısıyla gelişme kaotik değildir. Eğer hesaplanan Lyapunov üstseli değeri pozitif ise farklı başlangıç değerleri farklı çıkış değerleri verir yani hareket kaotiktir.[21]

---

[19] Edgar, E, Peters: '**Chaos and Order ın the Capıtal Markets**', Newyork, John Wiley And Sons,1996 s.149.

[20] Alfredo Medio, '**Non-Linear Dynamics'**, Port Chester, NY, USA: Cambridge University Press, 2001, s.77.

[21] Michael Small, **'Applied Nonlinear Time Series Analysis Applications in Physics, Physiology and Finance'**,River Edge, NJ, USA: World Scientific Publishing Company, Incorporated, 2005, s. 48.

Zaman serilerinin Lyapunov üstellerinin hesaplanması için geliştirilen yöntemler temelde iki sınıfa ayrılırlar: Jacobian tabanlı yöntemler ve direkt yöntemler. Jacobian tabanlı yöntemler de, ilk olarak veriye uygun bir model oluşturulur ve Lyapunov üstellerinin hesaplanmasında model eşitliklerinin Jacobian matrisleri kullanılır. Bu algoritmalar dinamik sistemin eşitliklerinin bilindiği durumlar için tasarlanmışlardır. Jacobian tabanlı algoritmaların bazıları sabit bir komşu nokta sayısı veya referans noktasının etrafında belirlenmiş bir yarıçap ya da herhangi iki yarıçap değeri arasında kalan noktalar için hesaplama yaparlar. Direkt yöntemler, veriye uygun bir model olmaksızın, faz uzayında oluşturulan çekerlere ait eğrilerin ıraksama/yakınsama durumlarının direkt olarak hesaplanmasına dayanır.[22]

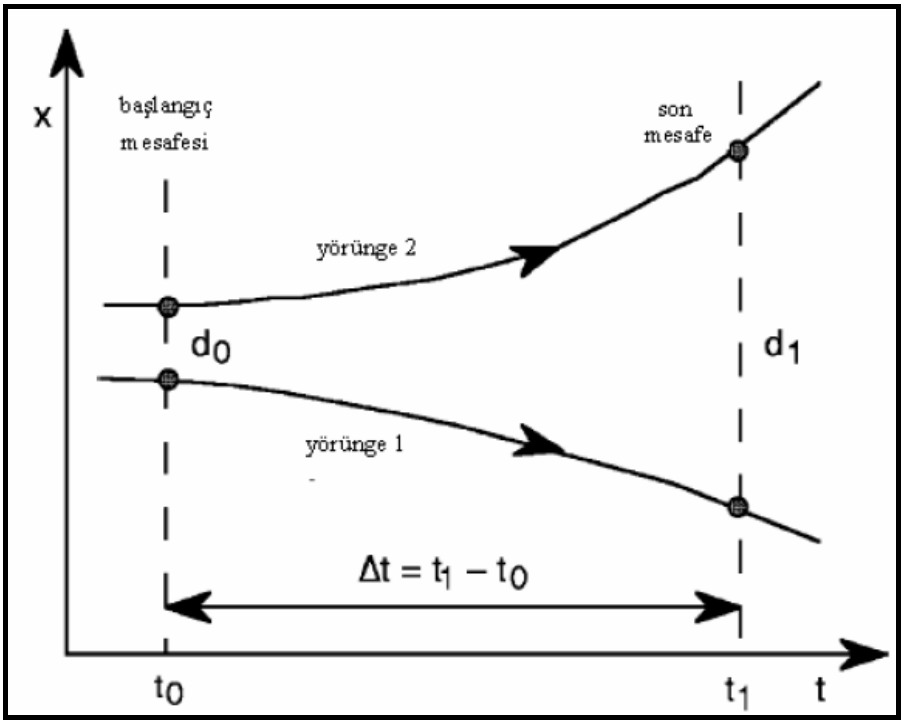
Lyapunov üstellerinin karakteristiğini anlatmak için bir boyutlu dinamik sistemin hareketinden elde edilen birbirinden çok küçük farklı iki komşu yörünge örnek olarak verilebilir. Yörüngeler grafiksel olarak Sekil 8'de gösterilmiştir. Yörüngelerin zaman periyodu $\Delta t = t1 - t0$ ve bu zaman periyodu boyunca aralarındaki farkın artışı ise *dt* ile tanımlanmıştır.[23]

$$d_t = d_0 \exp(\lambda \Delta t)$$

burada λ üsteli aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$\lambda = \left(\frac{1}{\Delta t}\right) \ln\left(\frac{d_t}{d_0}\right)$$

[22] Ulrike Feudel, 'Strange Nonchaotic Attractors : Dynamics Between Order and Chaos in Quasiperiodically Forced Systems' River Edge, NJ, USA: World Scientific, 2006, s. 60-63.
[23] A. Wolfe: 'Determining Lyapunov Exponents From a Time Series.', **Physica** 16, 1985, s. 287.



Şekil 8. Lyapunov Üstselinin Hesaplanması

Kaynak:Wolfe, vd., 'Determining Lyapunov Exponents From a Time Series.', **Physica,** 1985, s. 288.

Ayrık zaman aralıkları için (burada *n* Sekil 8'de *t*0 ve *t*1 zamanlarında gösterilen yörüngeler üzerindeki noktaları temsil etmektedir) elde edilen birbirinden çok küçük farklı iki komşu yörünge için zaman periyodu Δn =*n*1 − *n*0 ve bu zaman periyodu boyunca aralarındaki farkın artışı ise *dn* ile tanımlanmaktadır.[24]

$$d_n = d_0 \exp(\lambda \Delta n)$$

buradan da λ üsteli aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\lambda = \left(\frac{1}{\Delta n} \right) \ln \left(\frac{dn}{dt} \right)$$

[24] **A.y**., s. 289

İMKB üzerinde yapılan kaosun tespitine yönelik çalışmaların yer aldığı literatür sayısı çok fazla değildir. Bu konudaki iki çalışma aşağıda ele alınmıştır:

Özün[25], 1987 ve 1998 yılları arasında İMKB Ulusal 100 Endeksi günlük verilerini kullanarak, İMKB'nin zayıf formda etkinliğini incelemiştir. Bu çalışmada, sürekli işlem görmeyen hisselerin, hisse senetleri getirilerindeki doğrusal olmayan davranışların, piyasa oynaklığındaki değişikliğin ve piyasa risk primindeki zaman değişkenliğinin etkilerini dikkate alan farklı metotlar kullanılmıştır. Fizikteki kaos teorisi, ekonometrideki çeşitli heteroskedastik modeller ve finansal teorideki etkin piyasa hipotezi kullanılarak, ilk defa, İMKB'nin, 1994 ekonomik krizi sonrası yatırımcıların rasyonel ve risk sever davranışlarından kaynaklanan doğrusal olmayan davranışlarının oluştuğu 1995 ve 1996 yılları hariç, 1987 ve 1998 yılları arasında zayıf formda etkin olduğu gösterilmiştir.

Çinko[26], İMKB getirisinin doğrusal olmayan bir yapıya sahip olup olmadığının ortaya çıkarmaya çalışmıştır. Bu amaçla üç tane test yapmıştır: BDS testi, Hinich Bispectrum testi, NEGM Lyapunov üssü testi. Bu çalışmada kullanılan veriler 02.01.1989 26.01.2001, tarihleri arasında olup toplam 2995 tane gözlemden oluşmaktadır. Sonuçta İMKB' nin yapısında doğrusal olmama olgusunu bulmakla beraber her hangi bir kaotik yapıya rastlamamıştır.

Aygören[27], çalışmasında; İstanbul Menkul Kıymetler Borsası (İMKB) endeksinin fractal bir yapıya sahip olup olmadığını test etmiştir. Çalışmada, İMKB endeks hareketleri davranışı Dönüştürülmüş Genişlik (Rescaled range, R/S) analizi kullanılarak incelenmiştir. İnceleme sonucunda İMKB endeks davranışının fractal yapıya uygun olduğu tespit edilmiştir.

---

[25] Alper Özün., "Kaos Teorisi, Hisse Senedi Getirilerindeki Doğrusal Olmayan Davranışlar, Zayıf İşlem ve Gelişen Piyasa Etkinliği : İMKB Örneği",**İMKB Dergisi,** 1999, Cilt 3, s.9.

[26] Murat Çinko, ' İstanbul Menkul Kıymetler Borsası için doğrusal olmayan testler', **Çukurova Üni. İstatistik Sempozyumu Bildirileri**, 2008.

[27] Hakan Aygören: ' İstanbul Menkul Kıymetler Borsasının Fraktal Analizi', **Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**,Cilt:23 Sayı:1, 2008, s.125-134.

4. BÖLÜM

KAOS TEORİSİ AÇISINDAN İMKB'NİN YAPISAL ANALİZİ

Kaos ve doğrusal olmayan dinamikler genel ekonomi ve finansla ilgilenen bir çok araştırmacın ilgisini çekmektedir. Kaotik dinamiklerin ilgi çekmesinin birinci sebebi rastsal gibi görünen hareketleri doğrusal dinamiklerden daha iyi açıklamasıdır. Son dönemlerde gerek makro ekonomik gerekse finansal zaman serilerinde kaotik davranışın tespitine yönelik çalışmaların sayısında büyük bir artış gözlemlenmektedir.

Kaos teorisi ve fraktal geometri finansal varlık fiyatlarının belirlenmesi amacı ile yapılan bir çok araştırmada yer almaktadır. Bu durumun belli başlı nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Fiyatların gelecekteki değerleri geçmiş değerlerinin yanı sıra ekonomik etkenlere de bağlıdır. Kaos teorisi teknik ve temel analiz yöntemleri arasındaki zıtlıkları en aza indirerek bu konuya açıklık getirmektedir.

- Doğrusal olmayan dinamiklere dayanılarak yapılan bir analizler rastsal yürüyüş hipotezinin açıklayamadığı bir çok olguyu açıklamak da daha yeterli görülmektedir.

- Doğrusal olmayan analizler uzun vadeli tahminin zor kısa vadeli tahminleri daha kolay olduğunu göstermektedir.

- Doğrusal olmayan dinamikler sistemin düzenli olarak düzensizliğe girdiğini söylemektedir. Eğer sistemin düzensizliğe girme aralığı bilinirse düzensiz hareketin davranış yönü tahmin edilebilir.

Doğrusal olmayan dinamik modellerin finans alanında kullanılması ile hisse senetleri piyasasının etkinliği yönünde çıkarımlar yapılabilir. Kaos teorisi ile tanımlanmış doğrusal olmayan yapıların piyasa etkinliği varsayımı ile uyumsuz olduğu gözlemlenebilir. Kaotik bir süreç başlangıç şartlarına hassas bağımlıdır. Bu nedenle piyasa modellenebilse dahi beklenenin aksi yönde hareket edebilir. Piyasa fiyatını belirleyen fonksiyonun bilinmesi kazanç elde etmeyi garanti etmez.

Finans piyasalarında yapılan çalışmalara bakıldığında bunlar genelde iki gruba ayrılırlar. Birinci grup deney yapılması yoludur. Bu tip çalışmaların sayısı pek fazla değildir. İkinci tip araştırmalar ise geçmiş fiyatlardan oluşan zaman serilerinin çeşitli istatistiksel yöntemler kullanılarak incelenmesidir. Son dönemlerde popülerliği artan çalışma yöntemi bu tip çalışmalardır.

4.1. UYGULAMANIN AMACI

Bu uygulamanın amacı endeks verileri kullanılarak İMKB verilerinde bulunan doğrusal olmayan dinamiklerin ve kaosun varlığına yönelik kanıtların araştırılmasıdır.

Finans sektöründe kullanılan varsayımların başında rastsal yürüyüş yaklaşımı gelmektedir. Rastsal yürüyüş yaklaşımına göre hisse senetlerinin fiyatlarının tespitinde önceki dönemlerin hiç bir önemi yoktur. Belli bir andaki değer o anda rastsal olarak belirlenmektedir.

Uzun dönemli belleğin varlığı, belli bir dönemdeki fiyatın daha önce dönemlerin etkisini taşıdığını gösterir. Uzun dönemli belleğin varlığı halinde sistem için rastsal modeller geçerliliğini yitirirler. Uzun dönemli bellek aynı zamanda kalıcılığın bir göstergesidir. Kalıcılık eğilim güçlendiren bir yapı anlamına gelmektedir. Artış yada azalış eğiliminin güçlenmesi riski azaltan bir faktördür.

Uzun dönemli belleğin verilerde varlığı aynı zamanda borsa sisteminde doğrusal olmamanın bir kanıtıdır. Borsa sisteminde görülen dalgalanmalar rastsal yürüyüş modeliyle açıklanamıyorsa farklı yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Rastsala benzer davranışların deterministlik doğrusal modeller yardımıyla açıklanma olasılığı düşüktür.

Eğer rastsal etkiler, dış etmenler tarafından yaratılıyorsa doğrusal modellerin finans sektöründeki davranışları açıklamakta yararlı araçlar olmayı sürdürecektir. Fakat sermaye piyasalarındaki fiyat hareketlerinin rastsallığı dış etmenlerden kaynaklanmıyorsa kaos teorisinin belirttiği gibi finans sektörünün kendi iç dinamikleri tarafından yaratılmış olma olasılığı söz konusu olacaktır. Bu tip yapılar için doğrusal olmayan dinamik modellemelerin kullanılması gerekliliği belirecektir. Doğrusal olmayan dinamik modellerin kullanılması ile kendi yapısından kaynaklanan düzensizliğin anlaşılması mümkün olabilecektir.

4.2. ÇALIŞMA YÖNTEMİ

İlk önce BDS testi aracılığı ile İMKB endekslerinde doğrusal olmayan bir yapının varlığına bakılacaktır. İkinci adım olarak İMKB verilerinde uzun vadeli belleğin varlığı R/S analizi ile Hurst katsayısının bulunması ile araştırılacaktır. Son olarak kaotik yapının var olup olmadığının tespiti için Lyapunov üsseli hesaplanacaktır.

4.3. VERİLER

Çalışmada TCMB merkez bankası sitesinden alınan İMKB endekslerinin gün sonu kapanış verileri kullanılmıştır. İMKB-100 bileşik endeksinin yanında, İMKB sektörel endekslerinden Ulusal Hizmetler, Sınai Endeksi, Mali Endeks ve Teknoloji endeksleri kullanılmıştır.

Veriler 01/01/1986 ile 18/12/2008 arası dönemi kapsamaktadır. Çalışmada kullanılan toplam gözlem sayısı 5358 günü kapsamaktadır.

4.4. VERİLERİN ANALİZİ

Doğrusallık testinden önce kullanılan verilerle ilgili tanımlayıcı istatistikleri vererek verilerin yapısı hakkında daha fazla ayrıntılı bilgi verilmiştir. Tablo 1'de verilerin özet tanımlayıcı istatistiklerini bulunmaktadır.

$R_t=\ln(ISE_t / ISE_{t-1})$ $t=1,2,3,...,n-1$

R_t= Gün sonu elde edilen getiri oranı (Bir önceki güne göre artış oranı)

ISE_t=T günündeki endeks değeri

n=gözlem sayısı

Tablo.1: 01/01/1986 - 18/12/2008 İMKB-100 Endeksi Özet Tanımlayıcı İstatistikler

En Düşük	-0.1997851
En Yüksek	0.1777358
Ortalama	0.0021437
Medyan	0.0019589
Standart Sapma	0.0300610
Skewness	-0.0712730
Kurtosis	6.0565000

Tablo 1'de ortalama, medyan, standart sapma gibi tanımlayıcı istatistik bilgilerini bulunmaktadır. Ayrıca kullanılan verinin Skewness katsayısına bakarak dağılımının sola çarpık bir yapıda olduğunu söylenebilir. Kurtosis değeri ise dağılımdaki kalın kuyruklarının değerini ölçmektedir. Getirilerin ortalama değerin etrafında nasıl dağıldığı hakkında ipucu vermektedir. Borsada elde edilen getirilerin dağılımının kurtosisinin yüksek olması beklenir. Elde edilen değere göre de dağılımın kalın kuyruklu dağılım formuna uyduğu görülmektedir.

Kartil veya "Dördebölen" herhangi bir veri seti, büyüklüğe göre sıralandığında %25'lik dilimler halinde ölçmemizi sağlayan ölçü birimidir. Alt, Orta ve Üst olmak üzere 3 tanedir. Alt kartilin altında toplam gözlem sayısının %25 i bulunur, ikinci kartil, toplam seti ikiye böler ve medyan veya ortanca olarak adlandırılır, üst kartilin üzerinde de toplam gözlemlerin %25 i yer alır.

Aşağıda tablo 2' de verinin kartil değerleri verilmiştir.

Tablo.2: İMKB-100 Endeksi Getirilerinin Kartil Değerleri

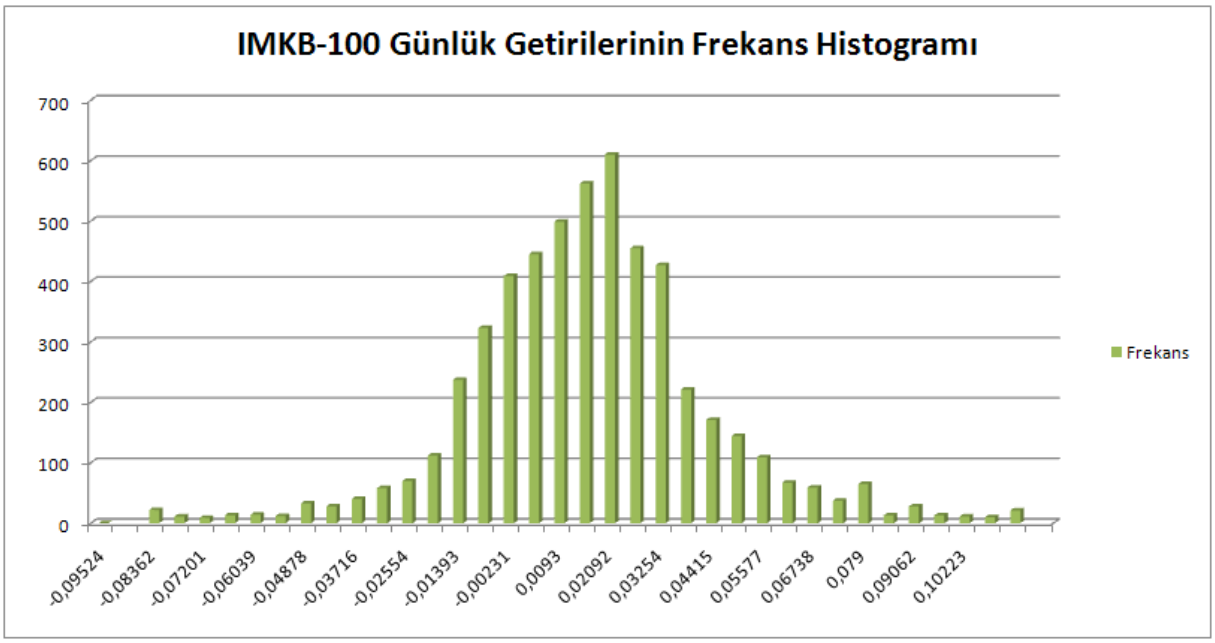
Kartil Değerleri		
%25	**%50**	**%75**
-0,0140899	0,00195889	0,01807355

Tablo 2' de görüldüğü üzere ilk %25lik dilim -0,0140899 değerinden daha küçüktür. Son yüzde %25'lik dilim ise 0.01807355 değerinden daha küçüktür.

Verilerin frekans tablosu ve Histogram grafikleri aşağıda sırasıyla Tablo 3 ve Grafik 1' de görülmektedir.

Tablo.3: İMKB-100 Endeksi Getirilerinin Frekans Değerleri

Sınıflar		Frekans	Rölatif Frekans	Kümülatif Röl. Frekans
-0,19979	-0,09524	22	0,0051	0,0051
-0,09524	-0,08943	11	0,0025	0,0076
-0,08943	-0,08362	9	0,0021	0,0097
-0,08362	-0,07782	13	0,0030	0,0127
-0,07782	-0,07201	14	0,0032	0,0160
-0,07201	-0,06620	12	0,0028	0,0188
-0,06620	-0,06039	33	0,0076	0,0264
-0,06039	-0,05458	28	0,0065	0,0329
-0,05458	-0,04878	40	0,0093	0,0421
-0,04878	-0,04297	58	0,0134	0,0556
-0,04297	-0,03716	70	0,0162	0,0718
-0,03716	-0,03135	112	0,0259	0,0977
-0,03135	-0,02554	237	0,0317	0,1294
-0,02554	-0,01974	323	0,0516	0,1810
-0,01974	-0,01393	409	0,0715	0,2525
-0,01393	-0,00812	445	0,0799	0,3324
-0,00812	-0,00231	499	0,0924	0,4248
-0,00231	0,00350	562	0,1069	0,5317
0,00350	0,00930	610	0,0949	0,6266
0,00930	0,01511	455	0,0822	0,7088
0,01511	0,02092	427	0,0757	0,7845
0,02092	0,02673	221	0,0512	0,8356
0,02673	0,03254	171	0,0396	0,8752
0,03254	0,03834	144	0,0333	0,9086
0,03834	0,04415	109	0,0252	0,9338
0,04415	0,04996	67	0,0155	0,9493
0,04996	0,05577	59	0,0137	0,9630
0,05577	0,06158	37	0,0086	0,9715
0,06158	0,06738	65	0,0062	0,9778
0,06738	0,07319	13	0,0030	0,9808
0,07319	0,07900	28	0,0065	0,9873
0,07900	0,08481	13	0,0030	0,9903
0,08481	0,09062	11	0,0025	0,9928
0,09062	0,09642	10	0,0023	0,9951
0,09642	0,10223	21	0,0049	1,0000
TOPLAM		**5358**		



Grafik 1. İMKB-100 Endeksinin Günlük Getirilerinin Frekans Histogramı

Tanımlayıcı istatistiklerden Kurtosis ve Skewness dağılımın şekli konusunda fikir verirken histogramdan yola çıkarak dağılımın normal olmadığını söylenebilir. Bu durum aşağıda Jarque-Bera istatistiğine dayanarak ta gözlemlenmektedir.

Ayrıca Augmented Dickey-Fuller (ADF) testi yardımıyla seçilen verinin durağan bir yapıda olup olmadığını da test edilebilir.

Verilerin durağan olup olmadığını test etmek için kurulan hipotezin ADF testi sonucunda %1 anlamlılık seviyesinde durağan olduğu görülmektedir.Tablo 4'te test sonuçları yer almaktadır.

Tablo.4: İMKB-100 Endeksi Getirilerinin Jargue-Bera ve ADF Test Sonuçları

Jargue-Bera	1682.1
Olasılık (p-value)	0,000000
ADF test istatistiği	-10.5691
1% kritik değeri(*)	-3,9655
(*)Birim Kök Hipotezinin reddi için MacKinnon kritik değeri	

4.4.1. BDS TESTİ

BDS testi en çok kullanılan doğrusallık testidir ve korelasyon integralini kullanarak yorum yapar. Farklı boyutlarda korelasyon integralinin hesaplanması ile elde edilen test istatistiğidir. Korelasyon integralinin her türlü doğrusallığa karşı duyarlı olması bu testi güçlü kılmaktadır. Korelasyon integralinin bulunması parametrik olmayan bir yöntem olmasına rağmen test istatistiği ortalaması sıfır varyansı bir olan normal dağılıma sahiptir. BDS testi varsayımı olmaması uygulamasının kolaylığı ve teorik sebeplerden dolayı en fazla kullanılan test olmuştur. Testin sıfır hipotezi hata terimlerinin "bağımsız benzer dağılıma sahip" olduğudur.[1]

BDS testinin uygulanabilmesi için öncelikle veri setine ARMA süreci uygulanır ve tüm doğrusal yapılar veri setinden temizlenir. Bu süreçten sonra elde edilen hata terimleri sıfır hipotezi altında test edilir. Sıfır hipotezinin reddedilmesi hata terimlerinin bir bağlantısı olduğunu ve bu bağlantının doğrusal olmadığını gösterir. Bayes bilgi kriterini en küçük yapan ARMA (p,q) süreci ile elde edilen hata terimleri test için kullanılacaktır. sıfır hipotezinde hata terimlerinin bağımsız benzer dağılıma sahip olduğu belirtilmesine rağmen alternatif hipotezin doğrusal olmayan bir süreç mi yoksa kaotik bir süreç mi olduğu belli değildir.[2]

BDS testine ait hipotezler şu şekildedir;

Ho: Hata terimleri bağımsız benzer dağılıma sahiptirler.

H1: Hata terimleri bağımsız benzer dağılıma sahip değildirler.

[1] Chris Brooks, '**Introductory Econometrics for Finance',** Cambridge University Press, Cambridge, UK.,2002, s.45.

[2] Edgar, E, Peters: '**Fractal Market Analysıs Applyıng Chaos Theory to Invesment and Economıcs**', Newyork, John Wiley And Sons,1996 s.246.

BDS test istatistikleri hesaplanırken, kritik değer olarak 1.96 (α =0.05) değeri ile karşılaştırma yapılmıştır. BDS test istatistikleri +1.96'dan büyük veya -1.96'dan küçükse Ho hipotezinin reddedileceği anlamına gelmektedir. Tablo 5'de de görülebileceği üzere hesaplanan BDS test istatistikleri kritik değer olan 1.96 değerinin üzerindedir. Bu sonuçlar veri setinin %5 anlamlılık düzeyinde bağımsız benzer dağılıma sahip olmadığını, diğer bir ifade ile doğrusal olmayan bir bağımlılık olduğunu göstermektedir.[3]

Tablo.5: BDS Test Sonuçları

ε/σ	Boyutlar (*m*)	BDS Test İstatistiği
2	2	18,2029
2	3	21,8764
2	4	23,2040
2	5	24,3055
1,5	2	18,0127
1,5	3	22,6371
1,5	4	24,9910
1,5	5	27,1437
1	2	17,1545
1	3	22,7903
1	4	26,5936
1	5	30,4078
0,5	2	15,7321
0,5	3	22,0438
0,5	4	27,3037
0,5	5	33,5553

[3] Brooks**, a.g.e**., s.46.

4.4.2. DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ GENİŞLİK (R/S) ANALİZİ

Uzun dönemli hazıfanın oluşup oluşmadığının test edilebilmesi için Dönüştürülmüş Genişlik (Rescaled Range (R/S)) olarak adlandırılan yöntemin kullanılması, serinin kaotik yapıya sahip olup olmadığının tespitinde önemli bir göstergedir.

Hurst üssel sayısının (H)=0.5' eşit olması durumunda zaman serisinin normal dağılıma sahip olduğu söylenebilir. Farklı bir değer alması durumunda normal dağılıma sahip olmayan davranıştan söz edilebilir. Dönüştürülmüş Genişlik olarak adlandırılan istatistiksel yöntemde Hurst üssel katsayısı (H) aşağıda ki şekilde tahmin edilebilir.[4]

$$\log(R / S) = \log(a) + H * \log(N)$$

Yukarıdaki eşitlik yardımıyla dönüştürülmüş genişlik (R/S) logaritmik değerleri ile gözlem sayıları (N) logaritmik değerleri regresyona tabi tutulur ve regresyondan elde edilen doğru denkleminin eğimi Hurst üssel sayısının değeridir.

[4] B., Quian, , K.Rasheed, Hurst Exponent and Financial Market Predictability, **Financial Engineering and Application**, 2004, s.55.

Tablo.6: İMKB -100 Bileşik Endeksi için R/S Analiz Sonuçları

IMKB-100 Endeks Getirileri			
N	***Log(n)***	***R/S***	log(R/S)
5	0,6990	1,7500	0,2430
6	0,7782	2,0326	0,3081
7	0,8451	2,2790	0,3577
10	1,0000	2,9786	0,4740
20	1,3010	4,6757	0,6698
25	1,3979	5,4142	0,7335
26	1,4150	5,5818	0,7468
40	1,6021	7,3151	0,8642
50	1,6990	8,7182	0,9404
52	1,7160	8,9698	0,9528
65	1,8129	10,2813	1,0120
80	1,9031	11,9400	1,0770
100	2,0000	13,1169	1,1178
104	2,0170	13,1493	1,1189
130	2,1139	15,3144	1,1851
200	2,3010	19,7220	1,2950
208	2,3181	20,7664	1,3174
260	2,4150	23,1121	1,3638
325	2,5119	23,8939	1,3783
400	2,6021	25,6402	1,4089
520	2,7160	32,6726	1,5142
650	2,8129	39,1803	1,5931
1040	3,0170	49,1492	1,6915
2159	3,3343	68,1767	1,8336
2160	3,3345	68,4428	1,8353

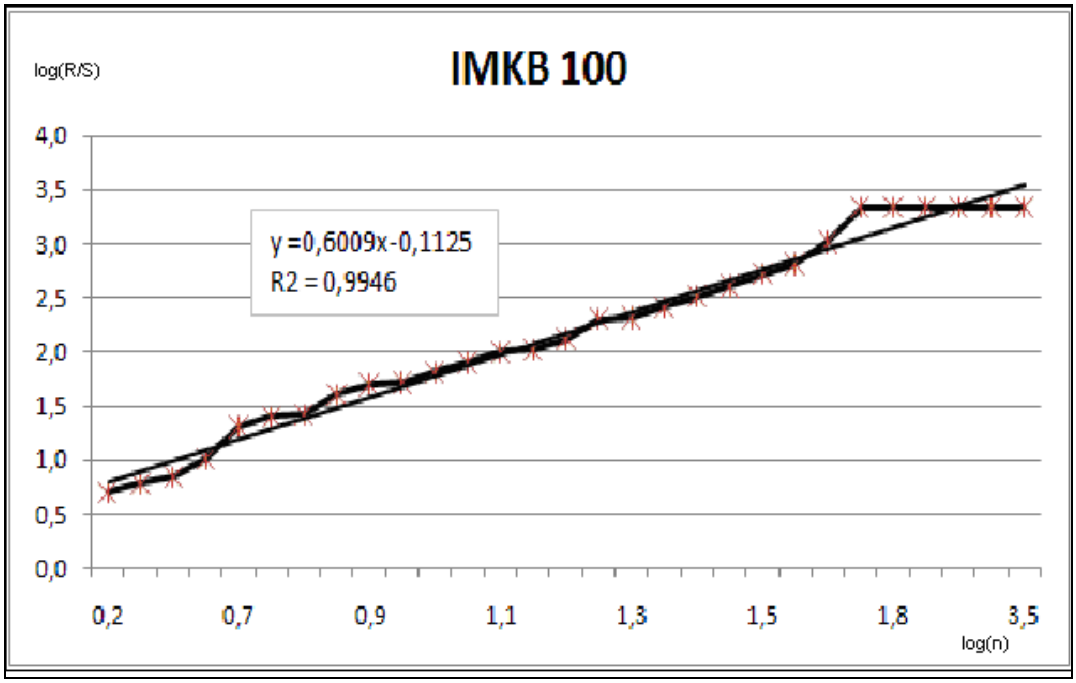
Tablo 7.'de İMKB-100 Bileşik Endeksinin getiri serisinin Hurst Katsayısının 0.6009 olarak hesaplandığını gözlemlenebilir. Yüksek R^2 oranı (%99.47) ve tahmine ait düşük standart hata oranı (%0.0344) tahmine ait regresyon modelinin uygunluğunu açıklamaktadır.

Hurst katsayısının 0.5 değerinden büyük olması bize dağılımın devamlı ve trend zorlayan bir yapıda olduğunu göstermektedir. [5]

Tablo.7: İMKB-100 Bileşik Endeksinin Regresyon Sonuçları

	IMKB-100
Hurst Katsayısı	0,6009
Regresyon Katsyısının P değeri	0,0000
Sabit Terim	-0,1125
R^2	0,9946
Tahmin Edilen Standard Hata	0,0344

*Bağımlı Değişken: log(R/S), Bağımsız Değişken: log(n)



Grafik 2. İMKB 100 Endeksi log(R/S) ve log(n) Regresyonu

[5] Mulligan, R.: "Fractal Analysis of Highly volatile Markets: An Application to Technology Equities", **The Quarterly Review of Economics and Finance,** 2003, sayı. 44, s.157.

İMKB Sınai endeksinin "HURST" üssel sayısını hesaplamak için yine aynı yöntemlerden faydalanılacaktır.

Tablo.8: İMKB Sınai Endeksi için R/S Analiz Sonuçları

İMKB Sınai Endeks Getirileri			
N	***Log(n)***	***R/S***	log(R/S)
5	0,6990	1,55	0,1903
6	0,7782	1,862	0,2700
7	0,8451	2,009	0,3030
10	1,0000	2,368	0,3744
20	1,3010	4,2154	0,6248
25	1,3979	5,1245	0,7097
26	1,4150	5,2457	0,7198
40	1,6021	7,1336	0,8533
50	1,6990	8,2578	0,9169
56	1,7482	8,4569	0,9272
75	1,8751	9,8752	0,9945
95	1,9777	10,3652	1,0156
100	2,0000	12,7532	1,1056
125	2,0969	13,6541	1,1353
142	2,1523	14,4214	1,1590
200	2,3010	18,3252	1,2630
216	2,3345	19,4452	1,2888
242	2,3838	22,6541	1,3551
368	2,5658	23,4985	1,3710
400	2,6021	24,3258	1,3861
468	2,6702	30,2526	1,4808
598	2,7767	37,8285	1,5778
985	2,9934	46,9532	1,6717
1225	3,0881	65,5238	1,8164
1356	3,1323	67,5674	1,8297

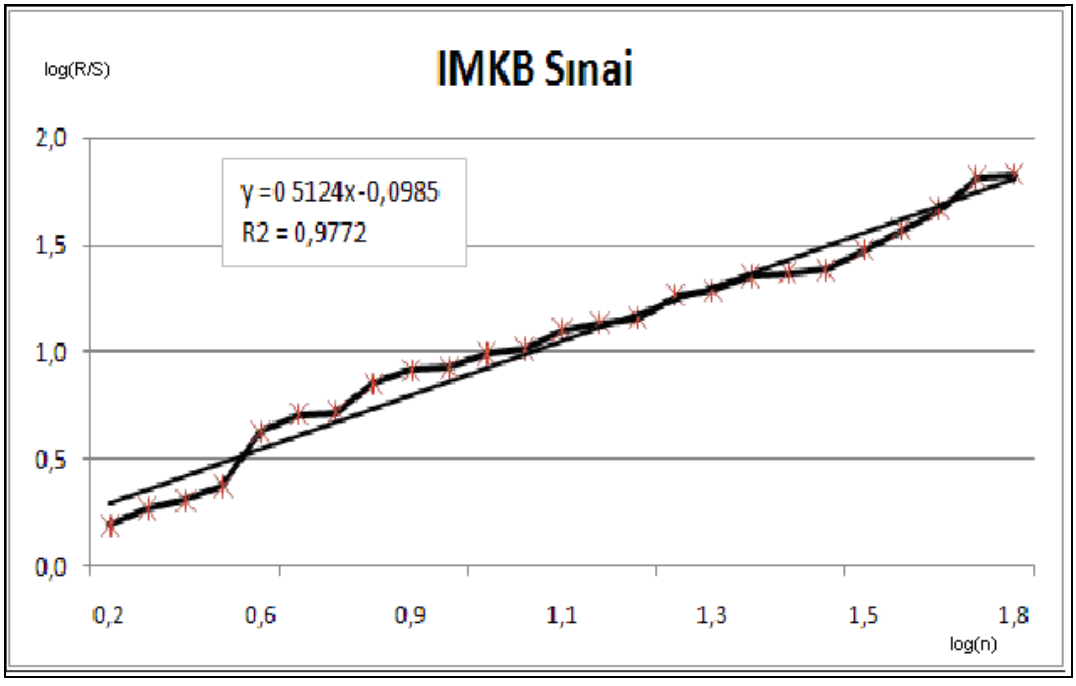
Tablo 9.'de İMKB Sınai Endeksinin getiri serisinin Hurst Katsayısının 0.5124 olarak hesaplandığını görülmektedir. Yüksek R^2 oranı (%97.72) ve tahmine ait düşük standart hata oranı (%0.0212) tahmine ait regresyon modelinin uygunluğunu açıklamaktadır.

İMKB Sınai Endeksi için Hurst katsayısı 0.5 <H<1 aralığındadır. Bulunan değer endeks davranışının normal dağılıma uymadığının bir göstergesi olarak yorumlanabilir.

Tablo.9: İMKB Sınai Endeksinin Regresyon Sonuçları

	IMKB Sınai
Hurst Katsayısı	0,5124
Regresyon Katsyısının P değeri	0,0000
Sabit Terim	-0,0985
R^2	0,9772
Tahmin Edilen Standard Hata	0,0212

*Bağımlı Değişken: log(R/S), Bağımsız Değişken: log(n)



Grafik 3. İMKB Sınai Endeksi log(R/S) ve log(n) Regresyonu

İMKB Mali endeksinin "HURST" üssel sayısını hesaplama için yine aynı yöntemlerden faydalanılacaktır.

Tablo.10: İMKB Mali Endeksi için R/S Analiz Sonuçları

IMKB Mali Endeks Getirileri			
N	***Log(n)***	***R/S***	log(R/S)
5	0,6990	1,6347	0,1903
6	0,7782	1,9822	0,2700
7	0,8451	2,0191	0,3030
10	1,0000	2,3526	0,3744
20	1,3010	4,4258	0,6248
25	1,3979	5,0856	0,7097
26	1,4150	5,1562	0,7198
40	1,6021	6,8562	0,8533
50	1,6990	7,8664	0,9169
56	1,7482	8,2925	0,9272
75	1,8751	8,5472	0,9945
95	1,9777	9,8226	1,0156
100	2,0000	11,2562	1,1056
125	2,0969	12,1256	1,1353
142	2,1523	14,0485	1,1590
200	2,3010	16,5287	1,2630
216	2,3345	18,6523	1,2888
242	2,3838	21,4521	1,3551
368	2,5658	22,9565	1,3710
400	2,6021	23,8752	1,3861
468	2,6702	27,9566	1,4808
598	2,7767	34,4255	1,5778
985	2,9934	38,5122	1,6717
1225	3,0881	52,8622	1,8164
1356	3,1323	63,7562	1,8297

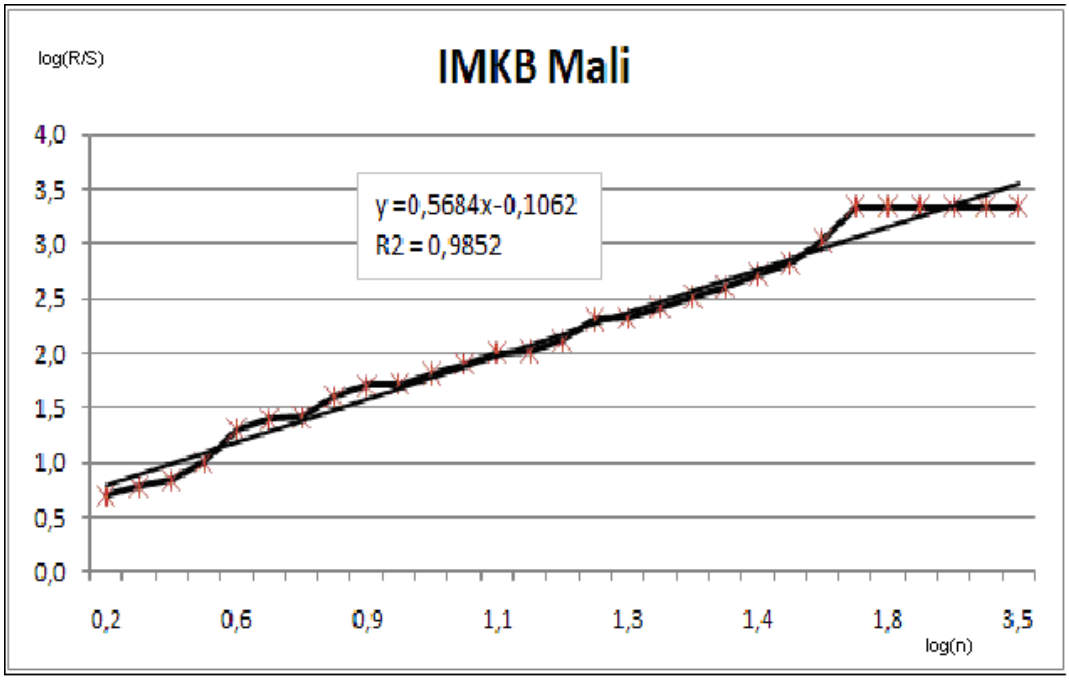
Tablo 11.'de İMKB Mali Endeksinin getiri serisinin Hurst Katsayısının 0.5684 olarak hesaplandığı gözlemlenebilir. Yüksek R^2 oranı (%98.52) ve tahmine ait düşük standart hata oranı (%0.0425) tahmine ait regresyon modelinin uygunluğunu açıklamaktadır.

Hurst katsayısının 0.5 değerinden büyük olması dağılımın tesadüfi dağılım özelliği taşımadığının bir kanıtıdır.

Tablo.11: İMKB Mali Endeksinin Regresyon Sonuçları

	IMKB Mali
Hurst Katsayısı	0,5684
Regresyon Katsyısının P değeri	0,0000
Sabit Terim	-0,1062
R^2	0,9852
Tahmin Edilen Standard Hata	0,0425

*Bağımlı Değişken: log(R/S), Bağımsız Değişken: log(n)



Grafik 4. İMKB Mali Endeksi log(R/S) ve log(n) Regresyonu

İMKB Teknoloji endeksinin "HURST" üssel sayısını hesaplama için yine aynı yöntemlerden faydalanılacaktır.

Tablo.12: İMKB Teknoloji Endeksi için R/S Analiz Sonuçları

IMKB Teknoloji Endeks Getirileri			
N	***Log(n)***	***R/S***	**log(R/S)**
5	0,6990	1,5233	0,1903
6	0,7782	1,8536	0,2700
7	0,8451	1,9520	0,3030
10	1,0000	2,1252	0,3744
20	1,3010	4,1568	0,6248
25	1,3979	4,9756	0,7097
26	1,4150	5,5297	0,7198
40	1,6021	6,2235	0,8533
50	1,6990	7,4524	0,9169
56	1,7482	7,9521	0,9272
75	1,8751	8,5472	0,9945
95	1,9777	8,6523	1,0156
105	2,0000	10,5523	1,1056
125	2,0969	12,5652	1,1353
162	2,1523	13,9645	1,1590
210	2,3010	15,8238	1,2630
232	2,3345	17,5532	1,2888
262	2,3838	19,5237	1,3551
385	2,5658	22,2354	1,3710
400	2,6021	23,4269	1,3861
480	2,6702	26,6252	1,4808
650	2,7767	34,5638	1,5778
1000	2,9934	37,9852	1,6717
1325	3,0881	50,2591	1,8164
1665	3,1323	59,2896	1,8297

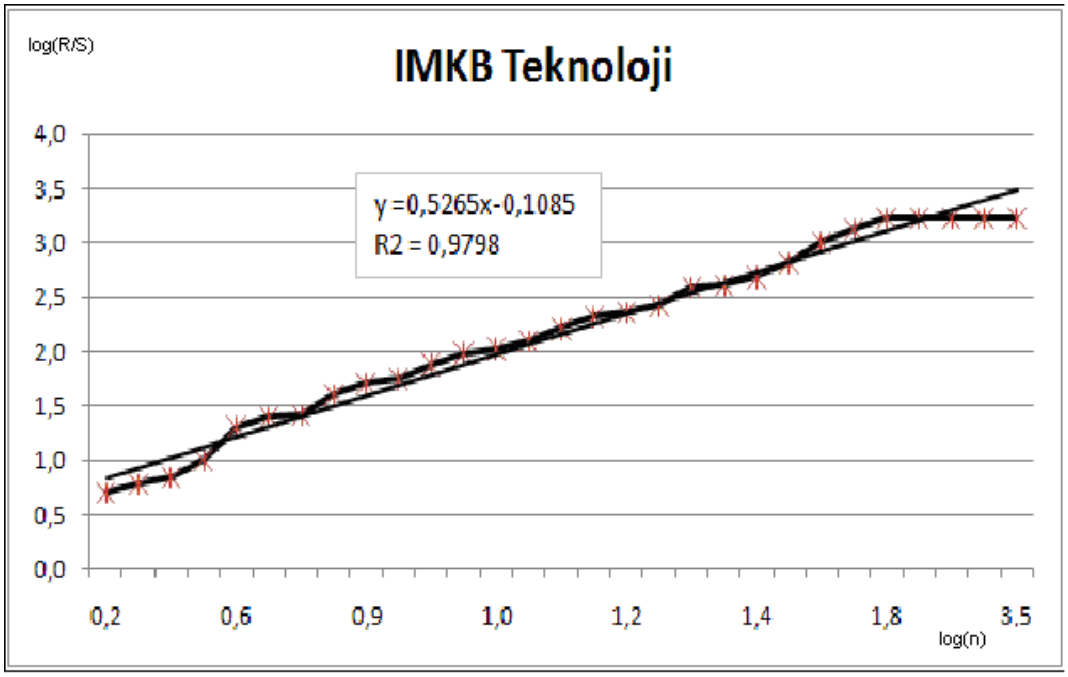
Tablo 13.'de İMKB Teknoloji Endeksinin getiri serisinin Hurst Katsayısının 0.5265 olarak hesaplandığı görülmektedir. Yüksek R^2 oranı (%97.98) ve tahmine ait düşük standart hata oranı (%0.0358) tahmine ait regresyon modelinin uygunluğunu açıklamaktadır.

Hurst katsayısının 0.5 değerinden büyük olması dağılımın devamlı dağılım olduğunu göstermektedir.

Tablo.13: İMKB Teknoloji Endeksinin Regresyon Sonuçları

	IMKB Teknoloji
Hurst Katsayısı	0,5265
Regresyon Katsyısının P değeri	0,0000
Sabit Terim	-0,1085
R_2	0,9798
Tahmin Edilen Standard Hata	0,0358

*Bağımlı Değişken: log(R/S), Bağımsız Değişken: log(n)

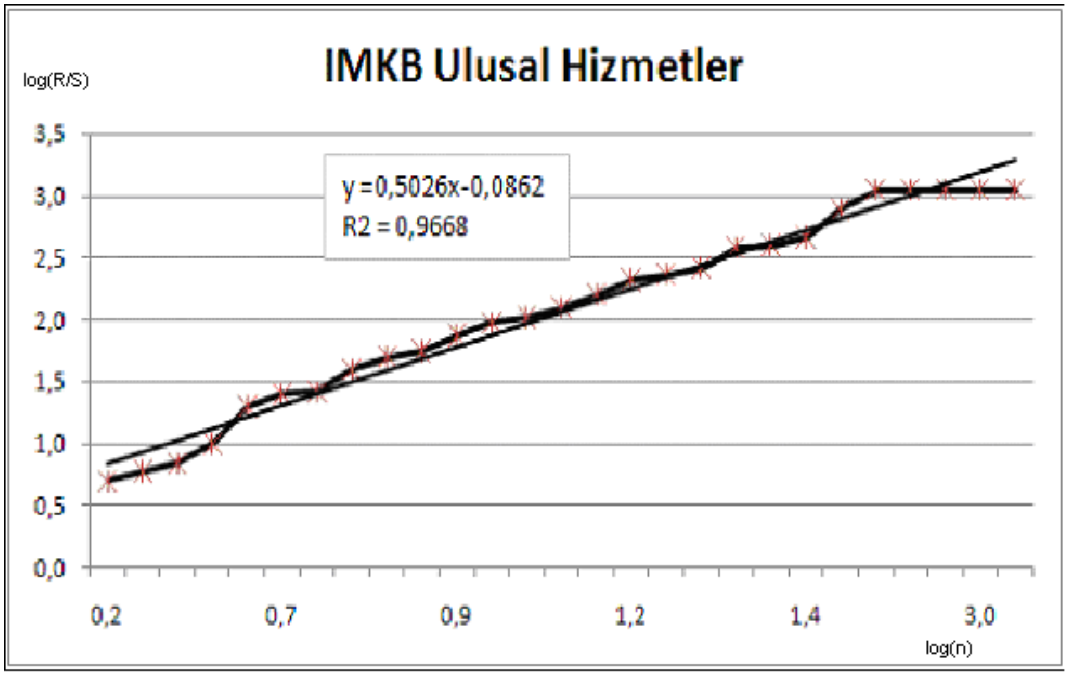


Grafik 5. İMKB Teknoloji Endeksi log(R/S) ve log(n) Regresyonu

İMKB Ulusal Hizmetler endeksinin "HURST" üssel sayısını hesaplama için yine aynı yöntemlerden faydalanılacaktır.

Tablo.14: İMKB Ulusal Hizmetler Endeksi için R/S Analiz Sonuçları

IMKB UlusaL Hizmet Endeks Getirileri			
N	***Log(n)***	***R/S***	log(R/S)
5	0,6990	1,4212	0,1903
6	0,7782	1,6522	0,2700
7	0,8451	1,7589	0,3030
10	1,0000	2,0145	0,3744
20	1,3010	3,7584	0,6248
25	1,3979	4,5686	0,7097
26	1,4150	5,7234	0,7198
40	1,6021	5,9856	0,8533
50	1,6990	6,7562	0,9169
56	1,7482	7,6526	0,9272
75	1,8751	7,8265	0,9945
95	1,9777	8,1635	1,0156
105	2,0000	9,2123	1,1056
125	2,0969	10,0254	1,1353
162	2,1523	12,4875	1,1590
210	2,3010	14,4568	1,2630
232	2,3345	16,4268	1,2888
262	2,3838	14,7856	1,3551
385	2,5658	20,6523	1,3710
400	2,6021	21,2354	1,3861
465	2,6702	24,2856	1,4808
790	2,7767	30,9574	1,5778
1125	3,0881	46,8564	1,8164



Grafik 6. İMKB Ulusal Hizmetler Endeksi log(R/S) ve log(n) Regresyonu

Tablo 15.'de İMKB Teknoloji Endeksinin getiri serisinin Hurst Katsayısının 0.5026 olarak hesaplandığını gözlemleyebilirsiniz. Yüksek R^2 oranı (%96.68) ve tahmine ait düşük standart hata oranı (%0.0582) tahmine ait regresyon modelinin uygunluğunu açıklamaktadır.

İMKB Teknoloji Endeksinin getiri serisinin Hurst Katsayısının, 0,5<H<1 arasında olması, zaman serisi davranışı devamlılık arz ederken bir trendin oluşmasını sağlamaktadır.

Tablo.15: İMKB Teknoloji Endeksinin Regresyon Sonuçları

	IMKB Teknoloji
Hurst Katsayısı	0,5026
Regresyon Katsyısının P değeri	0,0000
Sabit Terim	-0,0862
R^2	0,9668
Tahmin Edilen Standard Hata	0,0582

*Bağımlı Değişken: log(R/S), Bağımsız Değişken: log(n)

4.4.3. LYAPUNOV KATSAYISI HESAPLANMASI

Katoik test yapısını tahmin etmenin yollarından birisi de Lyapunov katsayısını tahmin edebilmekle mümkündür.

Deneysel veya gözlemsel bir şekilde elde edilen verilerin analiz edilerek kaotik yapının ortaya konulabilmesi kısmi fraktal bölümlerinin ve Lyapunov katsayısının hesaplanması ile mümkündür.

Bu yöntemde "Jakobiyan Metodu" adı verilen ve doğrusal olmayan bir sistemde baskın Lyapunov katsayısının pozitif olup olmadığını ortaya koyan bir regresyon metodu uygulanmıştır.

Bu çalışmada Jakobiyan Matriksi doğrusal olmayan en küçük kareler fonksiyonun tahminin de optimum L, m ve k parametreleri[6] kullanılarak tahmin edilmiştir. L, mi ve k parametreleri, L=1, m=3 ve k=3 olacak şekilde BIC kriterine karşılık optimize edilen değerlerdir.

Lyapunov katsayının bulunması için ortaya konan hipotez,

Ho: Lypunov katsayısı negatif veya seri kaotik bir yapıda değil veya $\lambda < 0$

H1: Lypunov katsayısı pozitif veya seri kaotik bir yapıda veya $\lambda > 0$

[6] L, m ve k parametreleri BIC kriterinin parameterinin temsil etmektedir. L ertelenen zaman dilimini, m otoregresyonda ki gerçekleşen gecikme sayısını ve k'da sinirsel network modelinde gizli kalan katmanda bulunan birim sayısıdır.

Lyapunov katsayısı MATLAB yazılımı ve MATLAB Lyapunov kodları kullanılarak hesaplanmıştır.[7] Kullanılan seriler için tahmin edilen Lyapunov katsayısı sırasıyla IMKB-100 için -0.6457867, IMKB Sınai için -0.602569, IMKB Mali Endeks için -06189758, IMKB Teknoloji için -0,5865487 ve IMKB Ulusal Hizmetler için -0,5687786'dır. Lyapunov katsayılarının negatif olarak tahmin edilmesi Ho hipotezinin reddedilemeyeceği ve incelenen serilerinin her birinin ayrı ayrı kaotik bir yapıda olmadığı anlamına gelmektedir.(Tablo 16)

Tablo.16: İMKB Endeksleri Lyapunov Katsayıları.

ENDEKS	LYAPUNOV KATSAYISI(λ)
IMKB -100	-0.6457867
IMKB Sınai	-0.602569
IMKB Mali	-06189758
IMKB Teknoloji	-0,5865487
IMKB Hizmetler	-0,5687786

Lyapunov katsayıları için anlamlılık katsayısı kullanılmamaktadır. Yorum için katsayının pozitif ya da negatif değeri alması yeterlidir.

[7] Çalışmalarda kullanılan tüm Matlab kodları ekte bulunmaktadır.

SONUÇ:

İMKB'de kaotik yapının varlığının araştırılması için, İMKB-100, İMKB Mali, İMKB Sınai, İMKB Teknoloji ve İMKB Ulusal Hizmetler endekslerinin getiri serileri kullanılarak R/S analizi ve BDS testi uygulanmış ve son olarak Lyapunov katsayıları tahmin edilmiştir.

R/S analiziyle tahmin edilen HURST katsayılarının 0.5'ten büyük çıkması kullanılan serilerin devamlılık arz eden, fraktallardan oluşan ve uzun dönemli hafıza ile yarı benzerlik gösteren bir yapıda olduğunu ortaya koymaktadır.

İMKB verileri için Hurst katsayısı 0,5 den büyük olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç uzun dönemli belleğin varlığının kanıtıdır. İMKB verilerinde uzun dönemli belleğin varlığı, belli bir dönemdeki fiyatın daha önceki dönemlerin etkisini taşıdığını göstermektedir. Uzun dönemli hafızanın varlığında fiyatların rastsal yürüyüşe uymadığı söylenebilir. Uzun dönemli bellek aynı zamanda kalıcılığında göstergesidir. Kalıcılık ise eğilimi güçlendiren bir yapıdır. Çıkış ya da düşüş eğiliminin güçlenmesi riski azaltan bir faktördür.

R/S analizi yardımıyla ortaya konulan zaman serilerinde hafıza etkisinin bulunması, zaman serilerinin saf bir rastlantısal yürüyüş modelinin türetilmediğini fakat belli bir eğilime sahip bir rastlantısal yürüyüş sürecinden türetilebileceğini ortaya koymaktadır.

Uzun dönemli hafızanın borsa verilerinde bulunmasının diğer bir önemli sonucu yapıda doğrusal olmamanın bir kanıtı olarak yorumlanabilmesidir. Fiyatlarda yaşanan dalgalanmalar rastsal yürüyüşe uymuyorsa sistemin yönünün tayini için farklı yaklaşımlara ihtiyaç duyulacaktır. Bu tip davranışları doğrusal deterministlik modellerle açıklamak olanaklı değildir.

Zaman serilerinde doğrusal olmama koşulu BDS testi yardımıyla ortaya konmaktadır. Test istatistikleri serilerin doğrusal olmayan bir yapıda olduğu konusunda oldukça anlamlı sonuçlar ortaya koymaktadır. Doğrusal olmama koşulu kaotik yapıyı ortaya koyan göstergelerdir.

Doğrusal olmayan dinamik sistemlerin anlaşılması sayesinde rastsala benzeyen karmaşık sistemlerin hareket tarzının doğrusal olmayan modellerle tanımlanabileceği düşüncesi yaygınlaşmıştır. Doğrusal olmayan modeller sayesinde sistemlere bakış tarzı tamamen farklılaşmış ve daha etkili sonuçlar alınmaya başlanmıştır.

Doğrusal olmayan dinamiklerin gösterdiği davranış çeşitliliği, karasızlık yaratan hareketlerin aynı zamanda gelişmeyi sağlaması, mikro yapının makronun oluşması esnasında pay sahibi olması gibi kavramlar finans alanında yeni yaklaşımların oluşturulmasında faydalı olabilir. Doğrusal olmayan modellerin kullanılması sayesinde sistemin kendi içinden üretilen karasızlıklarında gözlemlenmesi olası olacaktır.

Doğrusal olmayan deterministlik sistemler zengin hareket tarzı sergilerler. Bu sonuç, sistemin davranışı hakkında daha iyi çıkarım yapılmasını ve bu çıkarımda doğrusal olmayan modellerin kullanılmasının daha iyi sonuçlar vereceğinin bir kanıtı olarak algılanabilir. Doğrusal olmayan yaklaşım rastsala uymayan borsa tarzı sistemlerin hareketlerinin belirlenmesi için kullanılabilir.

Doğrusal olmama ve uzun dönemli hafızanın sağladığı bulgular aşağıda sıralanmıştır.

- Kullanılan zaman serisi lerptokurtic bir yapıda dağılmaktadır. Bulgular bize leptokurtic dağılımın olabilirliğinin normal dağılımdan daha fazla olduğunu ortaya koymaktadır.

- Doğrusal olmama koşulunun bir zaman serisinde bulunması bize geleneksel ekonometrik yöntemlerin neden model zaman serilerinde etkili olamadığını açıklamaktadır.

Kaotik yapının analiz edilebilmesi için NEGM testi yardımıyla Lyapunov katsayısı hesaplanmıştır. Yapılan testlerin sonucunda görüldüğü üzere baskın Lyapunov katsayıları negatif değerli olarak gözlemlenmiştir. Bulunan sonuç, kullanılan serilerin kaotik bir yapıda olmadığını ortaya koymaktadır.

Yapının kaotik olmaması nedeni ile İMKB endekslerinin yapısında görülen rastsala benzeyen yapının kendi iç dinamikleri ile değil daha çok dışsal rastsal şoklar vasıtası ile bozulabileceği söylenebilir. Ancak doğrusal olmayan yapının güçlü olması nedeni ile yapı kaotik olmasa bile bozulmanın iç dinamiklerden kaynaklanma olasılığı mevcuttur.

Yapılan araştırma sonucunda İMKB verilerinde güçlü bir doğrusal olmayan yapıya rastlanmıştır. Buna ilaveten veriler uzun dönemli hafızaya sahiptir. Belli bir dönemdeki veriler daha öncekilerin izlerini taşımaktadırlar. Ancak verilerin yapısı herhangi bir kaotik özellik taşımamaktadır. Ancak doğrusal olmamanın güçlü olması kaos teorisinden yapılacak uyarlamaların kullanılabilirliğini olası kılmaktadır. Bu açıklamalar ışığında aşağıdaki önermeler yapılabilir.

- Uzun vadeli belleğin modellenmesi sayesinde kalıcılık ortaya çıkarılabilir. Eğilimin sürekliliğinin kullanılması riski azaltıcı bir gösterge olarak kullanılabilir.

- Doğrusal olmayan deterministlik modellerin kullanılması rastsala uymayan fiyat hareketlerinin açıklanmasında yatırımcılara daha faydalı bilgiler sunulmasına olanak sağlayabilir.

- Nadiren de olsa endeksin yönündeki bozulmanın iç dinamiklerden kaynaklanabileceği hususu göz önüne alınırsa, uzun vadeli tahminlerin yerine kısa vadeli tahmin yapılmasının daha faydalı olabileceği söylenebilir.

- İMKB' nin sığ bir yapıya sahip olması, belli bir yatırımcı gurubun hakimiyeti, nispeten yeni bir borsa olması, işlemlerin belli senet guruplarında yoğunlaşması kendi iç dinamiklerinin yerine belirleyici faktörün dışsal şoklardan yana olduğu kanısını mümkün kılabilir. Bu hususun dikkate alınması yatırımcılar açısından faydalı olabilir.

KAYNAKÇA

Alparslan, S. M. : "Test of Weak Form Efficiency in Istanbul Stock Exchange", **Unpublished Master Thesis, Bilkent University,** Ankara, 1989

Aygören, Hakan: ' İstanbul Menkul Kıymetler Borsasının Fraktal Analizi', **Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**,Cilt:23 Sayı:1, 2008, s.125-134.

Baker, G.L.: **Chaotic Dynamics an Introduction,** Cambridge University Pres., Cambridge, 1990.

Balaban, E., Candem, R

Baturalp H, Kunter, K: "Stock Market Efficiency In a Developing Economy: Evidence From Turkey", **The Central Bank of The Republic of Turkey Discussion Paper**, 1996, No:9612.

Banz, R.: The Relationship Between Return and Market Value of Common Stocks , **Journal of Financial Economics**, No: 9, 1981, 3-18.

Başçı, Erdem: "Türkiye'de Hisse Senedi Getirilerinin Davranışı", **3. Ulusal İşletmecilik Kongresi,** 1989.

Bekçioğlu, S., Ada E: "Menkul Kıymetler Piyasası Etkin mi?", '**Muhasebe Enstitüsü Dergisi**.', 1985, s.1-17.

Bildik, R.: Hisse Senedi Piyasalarında Dönemsellikler ve İMKB Üzerine Ampirik Bir Çalışma, **İMKB Yayınları** , Mart Mat. Sanatlar Ltd. şti.,İstanbul, 2000.

Brin, Micheal: **Introduction to Dynamical Systems**, Cambridge,Cambridge University Pres.2001.

Brock, William A.: "Nonlinear Time Series Complexity Theory and Finance," **Statistical Methods in Finance**, 1995.

Brock, William A.: "A test for independence based on a correlation dimension", **Econometric Review**15, 1996, 25-34.

Brooks, Chrıs: **Introductory Econometrics for Finance**, Cambridge University Press, Cambridge, UK.,2002.

Cankurtaran, H: "Menkul Kıymetler Piyasalarında Etkinlik ve Risk-Getiri Analizleri", **Sermaye Piyasası Kurulu Yeterlik Etüdü,** 1989, Ankara.

Cajueiro, D.O.: 'The Hurst exponent over time: testing the assetion that emerging markets are becoming more efficient', **Physica,** 2004, s. 521-537.

Cheban, David N.: Global Attractors of Non-Autonomous Dissipative Dynamical Systems (Interdisciplinary Mathematical Sciences, Volume 1), Singapore: World Scientific Publishing Company, Incorporated, 2004.

Chincarini, Ludwig B: **Quantitative Equity Portfolio Management**, Blacklick, OH, USA: McGraw-Hill Companies, 2006.

Couillard M, Davison, M.: A comment on measuring the Hurst exponent of financialtime series, **Physica A** 348 ,2005, s. 404-418.

Çevik,E.İ ve Erdoğan,S.: 'Bankacılık Sektörü Hisse Senedi Piyasasının Etkinliği: Yapısal Kırılma Ve Güçlü Hafıza', **Doğuş Üniversitesi Dergisi**, 10 (1) 2009, s. 26-40.

Çevik, F. Ve Yalçın, Y.. " İstanbul Menkul Kıymetler Borsası (İ MKB)i çin Zayıf Etkinlik Sınaması: Stokastik Birim Kök ve Kalman Filtre Yaklaşımı", **G.Ü.İİBF Dergisi**, Cilt 1, 2003, s. 21 – 36.

Çinko, Murat: 'İstanbul Menkul Kıymetler Borsasında Ocak Ayı Etkisi'**, Doğuş Üniversitesi Dergisi**, 9 (1) 2008, s. 47-54.

Çinko, Murat: ' İstanbul Menkul Kıymetler Borsası için doğrusal olmayan testler', **Çukurova Üni. İstatistik Sempozyumu Bildirileri**, 2008.

Demirelli, Erhan: 'Etkin Pazar kuramından sapmalar : Finansal Anomalileri Etkileyen Faktörler Üzerine Bir Araştırma', **Ege Akademik Bakış**, 2008, s.215-244.

Dereli, T.: "İşletmelerde Kaos Yönetimi," **Journal of İstanbul Kültür University,** 3pp., 23–29, 2006.

Dupernex, Samuel: 'Why Mıght Share Prıce Follow Random.?', **Student Economic Review**, Vol. 21, 2007, s. 1-21.

Easton, Robert W.: **Geometric Methods for Discrete Dynamical Systems**, NC, USA: Oxford University Press, Incorporated, 1998.

Elton, M. Ve Gruber M: 'Non standart CAPMs and The Market Portfolio' **, Journal of Finance** No:39, 1984. 97-103.

Erdinç, Y.: Borsada Teknik Analiz Ankara, Siyasal Kitapevi, Ocak 2004.

Fama, E.: "Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work", **The Journal of Finance**, Vol. XXV, No. 2, May 1970, s. 383-417.

.

Feudel, Ulrike: Strange Nonchaotic Attractors : Dynamics Between Order and Chaos in Quasiperiodically Forced Systems, River Edge, NJ, USA: World Scientific, 2006.

Gleick, J.: **Kaos Yeni Bir Bilim Teorisi**, Çev. Fikret Üçkan, Ankara ,TÜBİTAK, 2005.

Gıot, Pierre: Econometric Modelling of Stock Market Intraday Activities, Springer; 1st edition, 2001.

Günak, Nadir: '**İleri Teknik Analiz Uygulamaları**', Literatür Yayıncılık, İstanbul 2007.

Hilborn, Richard C.: **Chaos and Non-Linear Dynamics**, New York,1994.

Kahraman, D., Erkan, M.: ' İstanbul Menkul Kıymetler Borsasında Tesadüfi Yürüyüş Testi', **Yönetim ve Ekonomi**, c:12, s:1, 2005. 11-24.

Kalıpsız, Oya: **Sistem Analizi**, Papatya Yayıncılık, İstanbul. 2008.

Kardar, Mehran: Statistical Mechanics I: Statistical Mechanics of Particles, MIT Press, Massachusetts, A.B.D, 2005.

Kesici, Sinan: "Ekonomi ve Kaos Teorisi", **Journal of İstanbul Kültür University**, 2006.

Kılıç, S. B.: "Türk Hisse Senedi Piyasasında Zayıf Formda Etkinliğin Sınanması", **III.Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu Bildirileri,** Bursa, 1997.

Kosfeld, R, Robe, S. : "Testing the Nonlinearities in German Bank Stock ,

Empirical Economics, 2006, 26, 581-597.

Lorenz, Edward: **Essence of Chaos**, Florence, KY, USA, Routledge, 1995.

Malkiel, Burton G.: 'The Efficient Market Hypothesis and Its Critics', **CEPS Working Paper** No. 91, 2003.

Manneville, Paul: Instabilities, Chaos and Turbulence : An Introduction to Nonlinear Dynamics and Complex Systems, Singapore: Imperial College Press, 2004.

Mandelbrot, B.: **Finans Piyasalarında Saklı Sır**, Çev. M. Hüner, İstanbul, 2005.

Medio, Alfredo: '**Non-Linear Dynamics'**, Port Chester, NY, USA: Cambridge University Press, 2001.

Muradoğlu, G , Önkal, D.: "Effects of Task Format on Probabilistic Forecasting of Stock Prices", International Journal of Forecasting 12 ,1992, s. 9-24.

Muradoğlu, G , Metin, K.: Efficiency of the Turkish Stock Market with respect to Monetary Variables". **European Journal of Operations Research ,** 1996, s. 566-576.

Muradoğlu, G , Oktay T.: "Weak Form Efficiency in the Turkish Stock Exchange: Calendar Anomalies" **Hacettepe Universitesi Iktisadi ve Idari Bilimler Dergisi ,** 1993**,** s. 51-62.

Mulligan, Robert : "Fractal Analysis of Highly volatile Markets: An Application to Technology Equities", **The Quarterly Review of Economics and Finance,** 2003. 155-179.

Özün, Alper: "Kaos Teorisi, Hisse Senedi Getirilerindeki Doğrusal Olmayan Davranışlar, Zayıf İşlem ve Gelişen Piyasa Etkinliği : İMKB Örneği",**İMKB Dergisi,** 1999, Cilt 3, s.9.

Pancham, Sheikh: 'Evidence Of The Multifractal Market Hypothesıs Usıng Wavelet Transforms', 1994.

.

Peters, E. E. : Fraktal Market Analysis Applying Chaos Theory To Invesment & Economics, NewYork, John Wiley and Sons, 1994.

Peters, E. E.: Chaos and Order In The Capital Markets, Newyork, John Wiley And Sons, 1996.

Öge, Serdar: "Düzen mi Düzensizlik (kaos) mi? Örgütsel Varlığın Sürdürülebilirliği Açısından Bir Değerlendirme", **Selçuk Üniversitesi Sos. Bil. Ens. Dergisi**, sayı: 13, 2005. 285-303.

Öner, M. Atilla: **'**Dinamik Sistem Modelleme ile Makroekonomik Analiz Türkiye için bir Oyun Denemesi', **Journal Of İstanbul Kültür University,** 2006. 76-87.

Ott, Edward: **Chaos in Dynamical Systems**, Cambridge,GBR: Cambridge University Press, 2002.

Qian, B., Rasheed, K.: 'Hurst Exponent and Financial Market Predictability', **Financial Engineering and Application**, 2004. 43-59.

Rachev, S. T.: "CED Model for Asset Returns and Fractal Market Hypotesis," **Matematical and Computer Modelling,** 29, 1999. 156-199.

Ruan, Jion: 'The multifractal structure analysis in China stock market', **Machine Learning and Cybernetics**, 2005. 3058-3063.

Sardar, Z.: **Introducing Chaos**, Cambridge, GBR: Totem Books, 2005.

Sauer, T.: **Chaos : An Introduction to Dynamic Systems**, Springer-Verlag, New York, 1996.

Small, Micheal: **'Applied Nonlinear Time Series Analysis Applications in Physics, Physiology and Finance',**River Edge, NJ, USA: World Scientific Publishing Company, Incorporated, 2005.

Steeb, W. H.: Nonlinear Workbook : Chaos, Fractals, Cellular Automata, Neural Networks, Genetic Algorithms, Gene Expression Programming, Support Vector Machine, Wavelets, Hidden Markov Models, Fuzy Logic with C++, Java and Symbolic C++ Programs, 2006.

Strogatz, S.H.: Nonlinear Dynamics and Chaoswith Application to Physics, Biology, Chemistry and Engineering, Perseus Books Publishing, Massachusetts, 1994.

Taner, A., Kavaklıdere,K: '1995 2000 Dönemi İMKB de Anomali Araştırması', **Yönetim ve Ekonomi**, c:9, 2002, s:1.

Wolfe, A.: 'Determining Lyapunov Exponents From a Time Series.', **Physica** 16, 1985. 285-317.

Vaga, Tonıs: Profiting from Chaos: Using Chaos Theory for Market Timing, Stock Selection, and Option Valuation, Mcgraw-Hill, 1994.

Yaneer, B. Y.: **Dynamics of Complex Systems,** Addison-Wesley, Reading, 1997.

Yeşil orman, M.: "Kelebek Kanadını Kimden Yana Çırpıyor. Birleştirilmiş Bilimin Kıyısında Kaos Ve Sosyal Bilimler," **Journal of İstanbul Kültür University,** 2006/3pp. 77- 86.

Zengin, H ve Kurt, S: "İMKB'nin Zayıf ve Yarı Güçlü Formda Et-kinliğinin Ekonometrik Analizi", Marmara Üniversitesi Öneri Dergisi, 2004, S.145-152

ELEKTRONİK KAYNAKLAR:

http://fmwww.bc.edu/repec/bocode/b/bds.m

http://webscripts.softpedia.com/script/Scientific-Engineering-Ruby/Mathematics/matlab-let-33991.html

http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/?term=tag%3A%22hurst+exponent%22

EK

BDS TESTİ MATLAB KODLARI[1]

```
function [w, sig, c, c1, k] = bds (series, maxdim, distance, flag, maxram)

%BDS Brock, Dechert & Scheinkman test for independence based on the correlation
dimension
%
% [W, SIG, C, C1, K] = BDS (SERIES, MAXDIM, DISTANCE, METHOD,
MAXRAM)

if nargin < 5
  maxram = 150;
elseif maxram > 500
  disp('Are you sure you have so much memory available?')
  error('If so, you need to edit the code, otherwise try again with a lower value.')
end

if nargin < 4
  flag = 0;
elseif ~any(flag == [0 1])
  error('Unknown method for determining dimensional distance; try again with 0 or
1.')
end

if nargin < 3
  distance = 1.5;
elseif distance < 0
  error('The dimensional distance parameter must be positive.')
```

[1] (Çevrimiçi)http://fmwww.bc.edu/repec/bocode/b/bds.m, 30.02.2009

```
elseif flag == 1 & distance > 1
   error('The correlation integral cannot exceed 1.')
end

if nargin < 2
   maxdim = 2;
elseif maxdim < 1
   error('The dimension needs to be at least 1.');
end

if nargin < 1
   error('Cannot compute the BDS statistic on nothing.')
end

[rows,cols] = size(series);
if rows > 1 & cols == 1
   n = rows;
   series = series';
elseif cols > 1 & rows == 1
   n = cols;
elseif cols > 1 & rows > 1
   n = cols*rows;
   series = series(:)'; % transformation into a row vector
   disp(sprintf('\aTransformed matrix input into a single column.'))
else
   error('Cannot compute the BDS statistic on a scalar!')
end

%%%%%%%%%%% Determination of and preparations for fastest method given
MAXRAM %%%%%%%%%%

fastbuild     = 0.000016 * (1:52) .* pow2(1:52); % memory requirements
```

```
slowbuild     = 0.000045          * pow2(1:52); % for the various
holdinfo      = 0.000005          * pow2(1:52); % algorithms in
wordtable     = 0.000008 *   n^2  ./     (1:52); % megabytes for
bitandop      = 0.000024 *   n^2  ./     (1:52); % given N

[ram1, bits1] = min(fastbuild + holdinfo + wordtable + bitandop); % number of bits
for
[ram2, bits2] = min(fastbuild + holdinfo + wordtable);           % which each of six
[ram3, bits3] = min(slowbuild + holdinfo + wordtable + bitandop); % methods uses
minimum
[ram4, bits4] = min(slowbuild + holdinfo + wordtable);           % memory; this
memory
[ram5, bits5] = min(                    wordtable + bitandop); % is given by
[ram6, bits6] = min(                    wordtable);          % ram1, ram2,..., ram6

if ram1 < maxram | ram2 < maxram
  if ram1 < maxram
    method = 1;
    bits = bits1; ram = ram1;
  else
    method = 2;                              % maximum number of rows to put
    bits = bits2; ram = ram2;                % through BITAND and bit-counting
    stepping = floor((maxram-ram)*bits/n/0.000024); % algorithm without
exceeding MAXRAM
  end

  % Vector BITINFO lists the number of bits set for each integer between 0 and
2^bits
  % (corresponding to the indices of the vector shifted by 1). See Kanzler (1998) for
an
  % explanation.
  bitinfo = uint8(sum(rem(floor((0:pow2(bits)-1)'*pow2(1-bits:0)),2),2));
```

```
elseif ram3 < maxram | ram4 < maxram
  if ram3 < maxram
    method = 3;
    bits = bits3; ram = ram3;
  else
    method = 4;
    bits = bits4; ram = ram4;
    stepping = floor((maxram - ram) * bits / n / 0.000024);
  end

  bitinfo(1:pow2(bits), :) = uint8(0);        % the same as above, but created through
  for bit = 1 : bits                          % a loop, which consumes less memory
    bitinfo(1:pow2(bits)) = sum([bitinfo, ...
      kron(ones(pow2(bits-bit),1), [zeros(pow2(bit-1),1); ones(pow2(bit-1),1)])],2);
  end

elseif ram5 < maxram | ram6 < maxram
  if ram5 < maxram
    method = 5;
    bits = bits5; ram = ram5;
  else
    method = 6;
    bits = bits6; ram = ram6;
    stepping = floor((maxram - ram) * bits / n / 0.000024);
  end

else
  disp('Insufficient amount of memory. Allocate more memory to the system')
  disp('or reduce the number of observations, then try again.')
  error(' ')
end
```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Determination of dimensional distance EPSILON %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% The empirical investigation by Kanzler (1998) shows that choosing EPSILON such that the
% first-order correlation integral is around 0.7 yields the most efficient estimation of
% low-dimensional BDS statistics. Hence the objective here is to choose EPSILON such that,
% say, 70% of all observations lie within distance EPSILON to each other. If desired, the
% programme first determines EPSILON as to fulfil this or a similar requirement.
%
% The conceptually simplest way of setting up the calculation of distance among all
% observations is to define a two-dimensional table D (for "distance") of length and width
% N and assign to each co-ordinate (x,y) the result of the problem ABS(x-y).
%
% In principle, the entire table could thus be created with the following one-line
% statement:
% D = ABS(SERIES(ONES(1000,1),:)' - SERIES(ONES(1000,1),:))
%
% Since the lower triangle of the table only replicates the upper triangle and since the
% diagonal values represent own values (ones) which are not desired to be included in the
% calculation, only the upper triangle receives further attention.
%
% Unfortunately, sewing all the row vectors of the upper triangle together to form one
% single (row) vector makes indexing very messy. To aid understanding of the vector-space

```
% indexing used here (as well as in the optional sub-function further below), one
may wish
% to refer to the following exemplary matrix table (N=7):
%
%                                   Using this example, it is easy to verify
%         * * * *c o l u m n* * * *    that column vector I is defined by the
%    I    1   2   3   4   5   6   7    following indices in vector space:
%                                        I+(0 : I-2)*N - CUMSUM(1 : I-1)
% *  1    *   1   2   3   4   5   6
% *  2    .   *   7   8   9  10  11    More generally, column vector I starting only
% r  3    .   .   *  12  13  14  15    in row J is:
% o  4    .   .   .   *  16  17  18      I+(J-1 : I-2)*N - SUM(1:J-1)-CUMSUM(J : I-1)
% w  5    .   .   .   .   *  19  20
% *  6    .   .   .   .   .   *  21    Row vector I is given by indices:
% *  7    .   .   .   .   .   .   *      1+(I-1)*(N-1)-SUM(1:I-2) : I*(N-1)-SUM(1:I-1)
%
% (A formal derivation of the above formulae is beyond the scope of this script.)
%
% To calculate a percentile of the distribution of distance values, the row vector is
% sorted (unfortunately, this requires a lot of time and RAM in MATLAB).


if ~flag
  demeaned = series-sum(series)/n;                    % fastest algorithm for
  epsilon  = distance * sqrt(demeaned*demeaned'/(n-1));   % computing the standard
  clear demeaned % to save memory                     % deviation of SERIES


elseif 0.000008 * 3 * sum(1:n-1) < maxram % check memory requirements for DIST
and sorting
  dist(1:sum(1:n-1)) = 0;
  for i = 1 : n-1
    dist(1+(i-1)*(n-1)-sum(0:i-2):i*(n-1)-sum(1:i-1)) = abs(series(i+1:n)-series(i));
  end
```

```
  sorted  = sort(dist);
  epsilon = sorted(round(distance*sum(1:n-1))); % DISTANCEth percentile of
SORTED series
  clear dist sorted
else
  error('Insufficient RAM to compute EPSILON; allocate more memory or use
METHOD = 1.')
end

%%%%%%%%%%% Computation and storage of one-dimensional distance
information %%%%%%%%%%%

% Similarly to the above, a two-dimensional table C (for "close") of length and width
N
% can be defined by assigning to each co-ordinate (x,y) the result of the problem
% ABS(x-y) <= EPSILON; (x,y) assumes the value 1 if the statement is true and 0
otherwise.
%
% Formally, for given EPSILON:
%                          C(x,y) = 1 if ABS(x-y) <= EPSILON
%                                 = 0 otherwise
%
% Once again, the resulting information needs to be stored in the most efficient way.
% In this implementation, this is done by chopping each row of the table into
"words" of
% several bits, the precise number of bits per word being determined by the above
% algorithms. One "word" is thus represented by one integer. This slashes the size of
the
% table by the number of bits. See Kanzler (1998) for more details.
%
% The below routine stores all rows of the upper triangle of the conceptual table
% (described in Kanzler, 1998) left-aligned and assigns zeros to all other elements.
```

```
%
% As will also be explained further below, the computation of parameter K requires the sum
% of each FULL row, i.e. each row including the elements in the lower triangle and on the
% diagonal. The "missing" bits correspond to the sums over each column in the upper
% triangle, and these sums are also computed and stored in the below loop. And to make
% matters simple, diagonal values are allocated to the column sums by initialising them
% with value 1. See also Kanzler (1998).

colsum(1:n)             = 1;
rowsum(1:n)             = 0;
nwords                  = ceil((n-1)/bits);
wrdmtrx(1:n-1,1:nwords)  = 0;               % initialisation of bit-word table

for row = 1 : n-1
  bitvec              = abs(series(1+row:n) - series(row)) <= epsilon;
  rowsum(row)         = sum(bitvec);
  colsum(1+row:n)     = colsum(1+row:n) + bitvec;
  nwords              = ceil((n-row)/bits);
  wrdmtrx(row,1:nwords) = (reshape([bitvec,zeros(1,nwords*bits-
n+row)],...%transformation
                          bits, nwords)' *pow2(0:bits-1)')'; %into bit-words
end
clear series bitvec

%%%%%%%%%%%%%%%%%% Computation of one-dimensional correlation
estimates %%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
% C1(1), the fraction (or estimated probability) of pairs in SERIES being "close" in the
% first dimension is just the average over ALL unique elements. C1(1) is hence the most
% efficient estimator of C(1), and the resulting estimate is used in the computation of
% SIGMA(M) further below.
%
% However, for the difference term C(M) - C(1)^M of the BDS statistic (see further below)
% to follow SIGMA asymptotically, both C(M) and C(1) need to be estimated over the same
% length vector, and so MAXDIM different C1's need to be estimated here:
%
%                          N     N
%    C1(M) = 2/(N-M+1)/(N-M) * SUM   SUM  B(S,T)
%                         S=M  T=S+1
%
% Each C1(M) is easily computed from the sum of all bits set in rows M to N-1 divided by
% the appropriate total number of bits.

bitsum(maxdim:-1:1) = cumsum([sum(rowsum(maxdim:n-1)), rowsum(maxdim-1:-1:1)]);
c1    (maxdim:-1:1) = bitsum(maxdim:-1:1) ./ cumsum([sum(1:n-maxdim), n-maxdim+1 : n-1]);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Computation of parameter K %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% A parameter needed to estimate SIGMA(M) is K, which is defined as:
%
%                  N     N     N
```

```
% K = 6/N/(N-1)/(N-2)* SUM   SUM   SUM {C(T,S)*C(S,R) + C(T,R)*C(R,S) +
C(S,T)*C(T,R)} / 3
%                  T=1  T=T+1 R=S+1
%
% As is readily apparent, a literary computation of the above would be very
processing
% intensive, e.g.:
%              HT(1 : N) = 0;
%              FOR T = 1 : N
%                HS(1 : N-T) = 0;
%                FOR S = T+1 : N
%                  HR(1 : N-S) = 0;
%                  FOR R = S + 1 : N
%                    HR(R-S) = (C(T,S)*C(S,R) + C(T,R)*C(R,S) + C(S,T)*C(T,R)) /
3;
%                  END
%                  HS(S-T) = SUM(HR(1 : N-S));
%                END
%                HT(T)= SUM(HS(1 : N-T));
%              END
%              K = SUM(HT) * 6 / N/(N-1)/(N-2);
%
% To understand what k actually estimates, and how this estimation can be made
% computationally more efficient, see Kanzler (1998).
%
% The above FOR loop computes the sum over each row and over each column
including the
% diagonal in the upper triangle. To compute K from this, the sum of the squares of
the
% row and column sums needs to be adjusted as reasoned above, whereby the sum of
all
```

```
% elements in table C is given by twice the sum of all vector elements plus the
diagonal
% values.

fullsum = rowsum + colsum;
k       = (fullsum*fullsum' + 2*n - 3*(2*bitsum(1)+n)) / n/(n-1)/(n-2);
clear rowsum colsum fullsum bitsum

%%%%%%%%%% Computation of correlation estimates and SIGMA for higher
dimensions %%%%%%%%%%

% C(M), the M-dimension correlation
% estimate, is defined as:                    N     N    M-1
%                   C(M) = 2/(N-M+1)/(N-M) * SUM   SUM   PROD B(S-J, T-J)
%                                           S=M  T=S+1  J=0
%
% To see how C can be computed for M > 1, see Kanzler (1998).
%
% In practice, the required BITAND-operation can be performed on the entire table
at once
% by replacing the entire table between rows M and N-1 with the result of the
BITAND-
% operation between the table formed by rows M to N-1 and M-1 to N-2. But this
works only
% if sufficient memory is available (methods 1, 3 and 5). Otherwise, the BITAND-
operation
% has to be performed by looping BACKWARDS through the table, taking as many
rows as
% possible at once (methods 2, 4 and 6).
%
% The number of bits set in rows M to N-1 (inclusive) is counted either in one go or
```

```
% through the above loop by looking up the number of bits set for each integer
(LeBaron,
% 1997, uses a similar method), or, if memory was insufficient to create the required
% BITINFO array, by column-wise brute-force counting.
%
% MATLAB uses logarithms to compute powers, and this can result in minute
deficiencies in
% accuracy. To avoid this, integer powers are computed by separate functions in this
% script (see further below). Otherwise, SIGMA would be calculated as follows:
%    sigma(m-1) = 2*sqrt(k^m + 2*k.^(m-(1:m-1))*(c1(1).^(2*(1:m-1)))'...
%                        + (m-1)^2*c1(1)^(2*m) - m^2*k*c1(1)^(2*m-2));

for m = 2 : maxdim
  bitcount = 0;

  if sum(method == [1 3])
    wrdmtrx(m:n-1,:) = bitand(wrdmtrx(m:n-1,:),wrdmtrx(m-1:n-2,:)); % BITAND
and bit
    bitcount = sum(sum(bitinfo(wrdmtrx(m:n-1,:)+1)));              % count all at once

  elseif sum(method == [2 4])
    for row = n-stepping : -stepping : m+1                          % BITAND
      wrdmtrx(row:row+stepping-1,:) = bitand(wrdmtrx(row:...              % and bit
                  row+stepping-1,:), wrdmtrx(row-1:row+stepping-2,:)); % count in
      bitcount=bitcount+sum(sum(bitinfo(wrdmtrx(row:row+stepping-1,:)+1))); %
backward
    end                                                             % loops
    wrdmtrx(m:row-1,:)  = bitand(wrdmtrx(m:row-1,:), wrdmtrx(m-1:row-2,:));  %
through
    bitcount = bitcount + sum(sum(bitinfo(wrdmtrx(m:row-1,:)+1)));          % the
table
```

```
  elseif method == 5
    wrdmtrx(m:n-1,:) = bitand(wrdmtrx(m:n-1,:), wrdmtrx(m-1:n-2,:)); % BITAND
at once...
    for col = 1 : ceil((n-1)/bits)                          % bit count
      bitcount = bitcount + sum(sum(rem(floor(wrdmtrx(m:...        % by brute force
                 n-1-(col-1)*bits, col) * pow2(1-bits:0)), 2))); % in loops
    end

  else
    for row = n-stepping : -stepping : m+1
      wrdmtrx(row:row+stepping-1,:) = bitand(wrdmtrx(row:...            % BITAND
              row+stepping-1,:), wrdmtrx(row-1:row+stepping-2,:));      % opera-
    end                                                                 % tions
    wrdmtrx(m:row-1,:) = bitand(wrdmtrx(m:row-1,:), wrdmtrx(m-1:row-2,:));  %
and brute-
    for col = 1 : ceil((n-1)/bits)                                  % force bit
      bitcount = bitcount + sum(sum(rem(floor(wrdmtrx(m:...             % counting
        n-1-(col-1)*bits, col) * pow2(1-bits:0)),2)));                  % in loops
    end
  end

  c(m-1)     = bitcount / sum(1:n-m);                                 % indexing of
  sigma(m-1) = 2*sqrt(prod(ones(1,m)*k) + 2*ivp(k,m-(1:m-1),m-1)...       % C and
SIGMA
             *(ivp(c1(1),2*(1:m-1),m-1))' + (m-1)*(m-1)...              % runs from 1
             *prod(ones(1,2*m)*c1(1)) - m*m*k*prod(ones(1,2*m-2)*c1(1))); % to
MAXDIM-1
end
clear wrdmtrx

%%%%%%%%%%%%%% Computation of the BDS statistic and level of
significance %%%%%%%%%%%%%%
```

```
% Under the null hypothesis of independence, it is obvious that the time-series
process
% has the property C(1)^M = C(M). In finite samples, C(1) and C(M) are
consistently
% estimated by C1(M) and C(M) as above. Also, Brock et al. (1996) show that the
standard
% deviation of the difference C(M) - C1(M)^M can be consistently estimated by
SIGMA(M)
% divided by SQRT(N-M+1), where:
%
%                      M-1
% SIGMA(M)^2 = 4* [K^M + 2* SUM {K^(M-J)* C^(2*J)} + (M-1)^2* C^(2*M) -
M^2* K* C^(2*M-2)]
%                      J=1
%
% and C = C1(1) and K as above.
%
% For given N and EPSILON, the BDS Statistic                C(M) - C1(M)^M
% is defined as the ratio of the two terms:    W(M) = SQRT(N-M+1) * ----------
%                                                        SIGMA(M)
%
% Since it follows asymptotically the normal distribution with mean 0 and variance
1,
% hypothesis testing is straightforward. If available, this is done here using function
% NORMCDF of the MATLAB Statistics Toolbox.
%
% Integer powers are again calculated by a sub-routine which is more accurate than
the
% MATLAB built-in power function; without using the sub-routine, the line for
calculating
```

```
% W would be: w = sqrt(n-(2:maxdim)+1) .* (c - c1(2:maxdim).^(2:maxdim)) ./
sigma;

if maxdim > 1
  w = sqrt(n-(2:maxdim)+1) .* (c - idvp(c1(2:maxdim), 2:maxdim, maxdim-1)) ./
sigma;

  if exist('normcdf.m','file') & nargout > 1
    sig = min(normcdf(w,0,1), 1-normcdf(w,0,1)) * 2;
  elseif nargout > 1
    sig(1:maxdim-1) = NaN;
  end

else
  w   = [];
  sig = [];
  c   = [];
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Sub-functions for computing integer
powers %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

function ipow = ivp (base, intpowvec, veclen)
  ipow(1 : veclen) = 0;
  for j = 1 : veclen
    ipow(j) = prod(ones(1, intpowvec(j)) * base);
  end

function ipow = idvp (basevec, intpowvec, veclen)
  ipow(1 : veclen) = 0;
  for j = 1 : veclen
    ipow(j) = prod(ones(1, intpowvec(j)) * basevec(j));
```

```
  end

% % % %
```

```
%BDSNOBIT BDS test for independence IMPLEMENTED WITHOUT USING BIT-WISE FUNCTIONS
%
% Only such comments which relate exclusively to this implementation of the test and
% which cannot be found in the main function are included below.
%
%               Copyright (c) 14 April 1998  by Ludwig Kanzler
%               Department of Economics,  University of Oxford
%               Postal: Christ Church, Oxford OX1 1DP, England
%               E-mail:  ludwig.kanzler@economics.oxford.ac.uk
%               $ Revision: 1.3 $      $ Date: 30 April 1998 $

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Check and transformation of input arguments %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

if nargin < 3
  eps = 1;
  if nargin == 1
    maxdim = 2;
  elseif maxdim < 2
    error('MAXDIM needs to be at least 2!');
  end
end

epsilon = std(series)*eps;
series  = series(:)';      % PAIRS is the total number of unique pairs which can be
n       = length(series);  % formed from all observations (note that while this is
pairs   = sum(1:n-1);      % just (N-1)*N/2, MATLAB computes SUM(1:N-1) twice as fast!)
```

```
%%%%%%%%%%% Computation and storage of one-dimensional distance
information %%%%%%%%%%%

% Recall that in the implementation of the main function above, table C is stored in
bit-
% representation. When this is not possible or desirable, the second best method is to
use
% one continuous vector of unassigned 8-bit integers (called UINT8). This, however,
% requires version 5.1 or higher, and a similar option may not be available in other
high-
% level languages. Implementation does not depend on the ability to use unassigned
low-bit
% integers and would work equally with double-precision integers, but the memory
% requirements would, of course, be higher. Using UINT8's is still a rather
inefficient
% way of storing zeros and ones, which in principle require only a single bit each.
On the
% PC, MATLAB actually requires "only" around 5 bytes for each UNIT8.

b(1:pairs) = uint8(0);
for i = 1 : n-1
  b(1+(i-1)*(n-1)-sum(0:i-2):i*(n-1)-sum(1:i-1)) = abs(series(i+1:n)-
series(i))<=epsilon;
end
clear series

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Computation of
parameter K %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

sums(1 : n) = 0;
for i = 1 : n
  sums(i) =   sum(b(i+(0 : i-2)*n - cumsum(1 : i-1)))...          % sum over column I
```

```
        + 1 ...                                 % diagonal element
        + sum(b(1+(i-1)*(n-1)-sum(1:i-2) : i*(n-1)-sum(1:i-1))); % sum over row I
end
k = (sum(sums.^2) + 2*n - 3*(2*sum(b)+n)) / n/(n-1)/(n-2);

%%%%%%%%%%%%%%%%% Computation of one-dimensional correlation estimates %%%%%%%%%%%%%%%%%

bitsum(1:maxdim) = sum(b(1+(maxdim-1)*(n-1)-sum(0:maxdim-2) : pairs));
for m = maxdim-1 : -1 : 1
  bitsum(m) = bitsum(m+1) + sum(b(1+(m-1)*(n-1)-sum(0:m-2):m*(n-1)-sum(1:m-1)));
end
c1(maxdim:-1:1) = bitsum(maxdim:-1:1) ./ cumsum([sum(1:n-maxdim), n-maxdim+1 : n-1]);

%%%%%%%%%% Computation of correlation estimates and SIGMA for higher dimensions %%%%%%%%%%

for m = 2 : maxdim

  % Indexing in vector space once again follows the rules set out above. Multiplication
  % is done by moving up column by column into  north-west direction, so counter I runs
  % backwards in the below WHILE loop until the Mth column (from the left) is reached:
  i = n;
  while i - m

    % Multiplication is not defined on UINT8 variables and translating the columns
```

```
    % twice, once from UINT8 to DOUBLE integer and then back to UINT8, would
be
    % inefficient, so it is better to sum entries (this operation - undocumented by
    % MATLAB - is defined, and even faster than the documented FIND function!)
and
    % compare them against the value 2:
    b(i + (m-1 : i-2)*n - sum(1:m-1) - cumsum(m : i-1)) = ...
      sum([  b(i   + (m-1 : i-2)*n - sum(1:m-1) - cumsum(m   : i-1)); ...
           b(i-1 + (m-2 : i-3)*n - sum(1:m-2) - cumsum(m-1 : i-2))  ]) == 2;

    % The sum over each column is computed immediately after that column has
been
    % updated. To store the column sums, the vector SUMS already used above for
the row
    % sums is recycled (this is more memory-efficient than clearing the above SUMS
    % vector and defining a new vector of the column sums, because in the latter
case,
    % MATLAB's memory space will end up being fragmented by variables K and C
added to
    % the memory in the meantime!):
    sums(i) = sum(b(i + (m-1 : i-2)*n - sum(1:m-1) - cumsum(m : i-1)));
  i = i - 1;
  end

  c(m-1)     = sum(sums(m+1:n)) / sum(1:n-m);
  sigma(m-1) = 2*sqrt(k^m + 2*k.^(m-(1:m-1))*(c1(1).^(2*(1:m-1)))'... % could use
above
                  + (m-1)^2*c1(1)^(2*m) - m^2*k*c1(1)^(2*m-2)); % inter-power
sub-
end                                                % functions instead
```

%%%%%%%%%%%%%% Computation of the BDS statistic and level of significance %%%%%%%%%%%%%%

w = sqrt(n-(2:maxdim)+1) .* (c-c1(2:maxdim).^(2:maxdim)) ./ sigma; % or use sub-functions

% % % %

```
        handles = guihandles(fig);
        guidata(fig, handles);

        if nargout > 0
                varargout{1} = fig;
        end

elseif ischar(varargin{1}) % INVOKE NAMED SUBFUNCTION OR CALLBACK

        try
                if (nargout)
                        [varargout{1:nargout}] = feval(varargin{:}); % FEVAL
switchyard
                else
                        feval(varargin{:}); % FEVAL switchyard
                end
        catch
                disp(lasterr);
        end

end


%| ABOUT CALLBACKS:
%| GUIDE automatically appends subfunction prototypes to this file, and
%| sets objects' callback properties to call them through the FEVAL
%| switchyard above. This comment describes that mechanism.
%|
%| Each callback subfunction declaration has the following form:
%| <SUBFUNCTION_NAME>(H, EVENTDATA, HANDLES, VARARGIN)
%|
%| The subfunction name is composed using the object's Tag and the
```

```
%| callback type separated by '_', e.g. 'slider2_Callback',
%| 'figure1_CloseRequestFcn', 'axis1_ButtondownFcn'.
%|
%| H is the callback object's handle (obtained using GCBO).
%|
%| EVENTDATA is empty, but reserved for future use.
%|
%| HANDLES is a structure containing handles of components in GUI using
%| tags as fieldnames, e.g. handles.figure1, handles.slider2. This
%| structure is created at GUI startup using GUIHANDLES and stored in
%| the figure's application data using GUIDATA. A copy of the structure
%| is passed to each callback.  You can store additional information in
%| this structure at GUI startup, and you can change the structure
%| during callbacks.  Call guidata(h, handles) after changing your
%| copy to replace the stored original so that subsequent callbacks see
%| the updates. Type "help guihandles" and "help guidata" for more
%| information.
%|
%| VARARGIN contains any extra arguments you have passed to the
%| callback. Specify the extra arguments by editing the callback
%| property in the inspector. By default, GUIDE sets the property to:
%| <MFILENAME>('<SUBFUNCTION_NAME>', gcbo, [], guidata(gcbo))
%| Add any extra arguments after the last argument, before the final
%| closing parenthesis.



% --------------------------------------------------------------------
function varargout = edtFile_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
```

```
% --------------------------------------------------------------------
function varargout = btnBrowse_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
global data filedata
[filename, pathname] = uigetfile({'*.dst', 'Data Preprocessed files(*.dst)'; '*.csv',
'Comma separated value files(*.csv)'; '*.*','All files(*.*)';}, 'Select a file to process');
if ~isequal(filename,0) & ~isequal(pathname,0)
   file = [pathname, filename];
   set(handles.edtFile, 'String', file);
   %read file data and put all data in column vector data
   [data] = textread(file, '%f', 'delimiter', ', ');
   [m n] = size(data);
   data = reshape(data, m*n, 1);
   filedata = data;
   len = length(data);
   maxPoints = floor(log2(len));
   %set maxPoints value
   set(handles.edtMaxPoint, 'String', num2str(maxPoints));
   sfnDrawData(handles, 'Close Line');
   %show data range
   sfnShowDataRange(handles);
end



% --------------------------------------------------------------------
function varargout = edtMinPoint_Callback(h, eventdata, handles, varargin)




% --------------------------------------------------------------------
```

```
function varargout = edtMaxPoint_Callback(h, eventdata, handles, varargin)



% --------------------------------------------------------------------
function varargout = btnHurst_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
global data;
dataPoint = floor(log2(length(data)));
for i=1:dataPoint
   n(i) = 2^i;
end
logRS = RSana(data, n, 'Hurst');
%regression from minPoint to maxPoint
minPoint = str2num(get(handles.edtMinPoint, 'String'));
minPoint = max([1, minPoint]);
maxPoint = str2num(get(handles.edtMaxPoint, 'String'));
maxPoint = max([dataPoint, maxPoint]);
xregress = [ones(dataPoint,1), (1:dataPoint)'];
h = zeros(1, 6);
for i=0:2
   [b bint r rint
stats]=regress(logRS(minPoint+i:maxPoint),xregress(minPoint+i:maxPoint,:),0.05);
   h(i+1) = b(2); %Hurst exponent
   [b bint r rint stats]=regress(logRS(minPoint:maxPoint-
i),xregress(minPoint:maxPoint-i,:),0.05);
   h(i+4) = b(2); %Hurst exponent
end
%show result in txtHurst
string{1} = 'H=';
for i=0:2
```

```
   string{i+2} = [num2str(h(i+1)), '(', num2str(minPoint+i), ':', num2str(maxPoint),
')'];
   string{i+5} = [num2str(h(i+4)), '(', num2str(minPoint), ':', num2str(maxPoint-i),
')'];
end
string{8} = ['Average=', num2str(mean(h))];
string{i+8} = num2str(logRS');
set(handles.txtHurst, 'String', string);
%draw points
axes(handles.axsHurst);
x = xregress(:,2);
plot(x, logRS, '*');
y=b(1)+b(2)*x;
hold on;
plot(x, y, 'r');
hold off;
```

```
% --------------------------------------------------------------------
function varargout = btnStat_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
global data
min1 = min(data);
max1 = max(data);
std1 = std(data);
median1 = median(data);
mean1 = mean(data);
string{1} = ['min=', num2str(min1)];
string{2} = ['max=', num2str(max1)];
string{3} = ['mean=', num2str(mean1)];
```

```
string{4} = ['median=', num2str(median1)];
string{5} = ['std=', num2str(std1)];
set(handles.txtHurst, 'String', string);



% --------------------------------------------------------------------
function varargout = GraphType_Callback(h, eventdata, handles, varargin)



% --------------------------------------------------------------------
function varargout = mnuCloseLine_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
sfnDrawData(handles, 'Close Line');



% --------------------------------------------------------------------
function varargout = mnuHist_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
sfnDrawData(handles, 'Hist');


% ------------------------------------sub functions
function sfnDrawData(handles, type)
global data
global gdata %graph data
axes(handles.axsData);
switch type
case 'Close Line'
    gdata = data;
    plot(gdata);
```

```
case 'Hist'
   gdata = data;
   bins = inputdlg('Number of bins:', 'Bins for histogram', 1, {'10'});
   if isnumeric(str2num(bins{1}))
      hist(gdata, str2num(bins{1}));
   else
      errordlg('You must input a number for bins!');
   end
case 'ACF'
   gdata = data;
   autocorr(gdata);
case 'PACF'
   gdata = data;
   parcorr(gdata);
case 'Hurst'
         %regression from minPoint to maxPoint
         minPoint = str2num(get(handles.edtMinPoint, 'String'));
         maxPoint = str2num(get(handles.edtMaxPoint, 'String'));
         gdata = calcSeriesHurst(data, minPoint, maxPoint);
   plot(gdata);
end

%calculate hurst array of data for region 2^maxPoint.
%hurst value move from 2^maxPoint to length(data)
%regression use minPoint to maxPoint.
function h = calcSeriesHurst(data, minPoint, maxPoint)
hsize = 2^maxPoint; %calculate hurst based on hsize data
for i=hsize:length(data)
   hdata = data(i-hsize+1:i);
         h(i) = calcHurst(hdata, minPoint, maxPoint); %Hurst exponent
end
```

```
%calculate hust exponent for data
%regression use minPoint to maxPoint
function h = calcHurst(data, minPoint, maxPoint)
for j=minPoint:maxPoint
   n(j) = 2^j;
end
logRS = RSana(data, n(minPoint:maxPoint), 'Hurst');
xregress = [ones(maxPoint, 1), (1:maxPoint)'];
[b bint r rint stats]=regress(logRS, xregress(minPoint:maxPoint,:), 0.05);
h = b(2);


% --------------------------------------------------------------------
function varargout = btnDataRange_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
global data filedata
range = inputdlg({'From:', 'To:'}, 'Data range', 1, {'1', num2str(length(filedata))});
if isnumeric(str2num(range{1})) & isnumeric(str2num(range{2}))
   from = str2num(range{1});
   to = str2num(range{2});
   data = filedata(from:to);
   maxPoints = floor(log2(length(data)));
   set(handles.edtMaxPoint, 'String', num2str(maxPoints));
   sfnShowDataRange(handles, from, to);
end

function sfnShowDataRange(handles, varargin)
global data
if nargin>=1
   from = varargin{1};
else
   from = 1;
end
```

```
if nargin>=2
   to = varargin{2};
else
   to = length(data);
end
set(handles.txtDataRange, 'String', [num2str(from), ':', num2str(to)]);

% --------------------------------------------------------------------
function varargout = mnuACF_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
sfnDrawData(handles, 'ACF');



% --------------------------------------------------------------------
function varargout = mnuPACF_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
sfnDrawData(handles, 'PACF');



% --------------------------------------------------------------------
function varargout = mnuHurst_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
sfnDrawData(handles, 'Hurst');



% --------------------------------------------------------------------
function varargout = btnScrambledHurst_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
global data;
minPoint = str2num(get(handles.edtMinPoint, 'String'));
maxPoint = str2num(get(handles.edtMaxPoint, 'String'));
for i=1:500,
   sdata = Scramble(data);
```

```
    h(i) = calcHurst(sdata, minPoint, maxPoint);
end
meanh = mean(h);
stdh = std(h);
set(handles.txtHurst, 'String', ['Scrambled Hurst = ', num2str(meanh), ', std=',
num2str(std(h))]);



% --------------------------------------------------------------------
function varargout = btnMonteCarlo_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
minPoint = str2num(get(handles.edtMinPoint, 'String'));
maxPoint = str2num(get(handles.edtMaxPoint, 'String'));
for j=1:10,
for i=1:10000,
    data = randn(2^maxPoint, 1);
    h(i) = calcHurst(data, minPoint, maxPoint);
end
meanh(j) = mean(h);
stdh(j) = std(h);
end
meanh
stdh
tmeanh = mean(meanh)
tstdh = std(meanh)
%set(handles.txtHurst, 'String', ['Simulation Hurst = ', num2str(meanh), ', std=',
num2str(stdh)]);
```

LYAPUNOV KATSAYISI MATLAB KODLARI[3]

```
function let(action,ODEfunction,DATA,AxisRange)
%LET   Lyapunov Exponents Toolbox
%
%     To run the program, enter LET in MATLAB command window.
%     Details of the program can be obtained by pressing
%     the "Information" button in the startup window. The
%     program information can also be found in files README.M,
%     LETHELP.M and SETHELP.M.

%     by Steve Wai Kam SIU, July 5, 1998.

if nargin<1
  clear;          %Clear all variables initially
  clc;            %Clear the command window
  action='Initialization';
else
  %If it is a callback action, obtain  the handles of the
  %GUI components stored in'UserData' of the main window.
  MainHandles=get(gcf,'UserData');
end

switch action
case 'Initialization'
  startlet;       %Show a startup window

case 'runLET'
  %Default axis range
  if nargin<4
    AxisRange=[0,1000,-25,25];
```

[3](çevrimiçi)http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/?term=tag%3A%22hurst+exponent%22, 30.02.2009

```
end
%Font size of UI components
FontSize=8;
%Setup a GUI window and obtain the handles of GUI components
MainHandles=maingui(AxisRange,FontSize);
%Store the handles in "UserData" of the figure such that
%it can be accessed anywhere by using the "get" command.
set(gcf,'UserData',MainHandles);

%If no specified parameters are supplied, use default values.
if nargin<2

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Default Parameters for setting window
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

  OutputFile='data.out';      %Default output file: data.out
  output=0;                   %Don't check "Output File": 1="on", 0="off"
  LEout=1;                    %Check "Lyapunov Exponents"
  LDout=1;                    %Check "Lyapunov Dimension"
  LEprecision=1;              %Precision of output values of the
  LDprecision=1;              %  Lyapunov exponents and dimension
                              % are set to 1 (4 floating points).
                              % 2 means %.6f, 3 means %.8f, ...
  ODEfunction='';     %No default ODE function
  IntMethod=2;        %Integration method: 1=Discrete map, 2=ODE45, 3=ODE23
                      % 4=ODE113, 5=ODE23S, 6=ODE15S
  InitalTime=0;       %Default initial time: 0
  FinalTime=1000;     %Default final time: 1000
  TimeStep=0.01;      %Default time step: 0.01
  RelTol=1e-5;        %Default relative tolerance: 1E-5
  AbsTol=1e-5;        %Default absolute tolerance: 1E-5
```

```
    IC=[];              %No default initial coniditions
    LODEnum=[];         %No. of linearized equation (default: none )

    %PLOTTING OPTIONS:  Only one of them can be set "on" (i.e. 1)
    plot1=1;            %Update the plot imediately
    plot2=0;            %Update the plot every ... iterations
    ItrNum=10;          %No. of iterations for updating the plot

    %Line Colors
    Blue=1; Black=2; Green=3; Red=4; Yellow=5; Magenta=6; Cyan=7;
    LineColor=Blue;     %Default line color: Blue
    Discard=100;        %Default transient iterations to be discarded: 100
    UpdateSteps=10;     %Update the LEs every 10 time steps

    %Save the default values and upload them onto the
    %'UserData' of the "Setting" button
    DATA=[output,       LEout, LEprecision,    LDout, LDprecision, ...
      IntMethod,  InitalTime,   FinalTime, TimeStep, RelTol, ...
        AbsTol,       plot1,       plot2,   ItrNum, LineColor, ...
       Discard, UpdateSteps,     LODEnum,       IC];
  else
    %No specified output file for demo
    OutputFile='';
  end
  set(MainHandles(4),'UserData',DATA);
  %Upload the output file and ODE function names
  NAMES=char(OutputFile,ODEfunction);
  set(MainHandles(2),'UserData',NAMES);
case 'stop'
  %If "Stop" button is pressed,disable the button itself
  %and enable the others.
  set(MainHandles([2,4,13,15]),'Enable','On');
```

```
   set(MainHandles(3),'Enable','Off');

   %Set a flag to indicate "Stop" action is requested so
   %that the program FINDLYAP knows during calculation
   %and stops the process imediately.
   set(MainHandles(3),'UserData',1);
   %Note: FINDLYAP checks whether the "Stop" button is pressed
   %before each iteration
case 'setting'
   %Load the setting window
   setting;
case {'OnPressed','OffPressed'}
   %If "On" is checked, uncheck "Off" and vice versa.
   %MainHandles(5) is the handle of "On" radio button
   %MainHandles(6) is the handle of "Off" radio button
   OnIsOn=get(MainHandles(5),'Value');
   OffIsOn=get(MainHandles(6),'Value');

   if ( (strcmp(action,'OnPressed') & OnIsOn)| ...
        (strcmp(action,'OffPressed') & ~OffIsOn) )
      check(MainHandles(5),MainHandles(6));        %Check "On" and uncheck "Off"
      grid on;
          %Show grid lines
   else
      check(MainHandles(6),MainHandles(5));        %Check "Off" and uncheck "On"
      grid off;
          %Remove grid lines
   end
case 'changeAxis'
   %MainHandles(7) is the handle of the "X :" edit box
   %MainHandles(8) is the handle of the "Y :" edit box
   %Get values input by user
```

```
    xRange=str2num(get(MainHandles(7),'String'));
    yRange=str2num(get(MainHandles(8),'String'));

    %Check whether the input values are in correct format
    if ( all(size(xRange)==[1,2]) & all(size(yRange)==[1,2]) ...
            & xRange(1)<xRange(2) & yRange(1)<yRange(2) ...
            & xRange(1)~=xRange(2) & yRange(1)~=yRange(2))
        axis([xRange,yRange]);              %Re-arrange the axis range.
        %Save the data for restoring previous values if error occurs
        set(MainHandles(7),'UserData',xRange);
        set(MainHandles(8),'UserData',yRange);
        axis('manual');                             %Freeze the current axis-limits
    else
        %If error occurs, restore the original values
        xRange=get(MainHandles(7),'UserData');
            yRange=get(MainHandles(8),'UserData');
        set(MainHandles(7),'String',[num2str(xRange(1)) ', ' num2str(xRange(2))]);
        set(MainHandles(8),'String',[num2str(yRange(1)) ', ' num2str(yRange(2))]);
        msg=['Input must be a 1 x 2 numeric matrix'...
            ' with format [minValue, maxValue], where'...
            ' minValue < maxValue.'];
        errordlg(msg,'ERROR','replace');
    end
case 'drawLine'
    %MainHandles(9) is the handle of the "Draw line at" edit box
    str=get(MainHandles(9),'String');
    y=str2num(str);  [ry,cy]=size(y);
    LinesHandles=get(MainHandles(9),'UserData');
    L=length(LinesHandles);
    del=strcmp(lower(rmspace(str)),'del');
    delall=strcmp(lower(rmspace(str)),'del*');
    %Check whether the input values are in correct format
```

```
if (~isempty(y) & ry==1)
   Y=[1;1]*y;
   xRange=get(gca,'XLim');
   X=xRange(:)*ones(1,length(y));
   hold on; h=plot(X,Y,'k');
   %Force MATLAB to draw imediately even if calculation is in progress
   drawnow;

   %Add the new line handle(s), store them, and
   %clear the string in the edit box.
   newLinesHandles=[LinesHandles,h];
   set(MainHandles(9),'UserData',newLinesHandles,'String','');
elseif ( L>=1 & del)
   %Delete the previous drawn line
   delete(LinesHandles(L));

   %Remove the line handle stored in 'UserData', and
   %clear the string in the edit box.
   if L>1
      set(MainHandles(9),'UserData',LinesHandles(1:L-1),'String','');
   else
      set(MainHandles(9),'UserData',[],'String','');
   end
elseif ( L>=1 & delall)
   % Delete all drawn lines
   delete(LinesHandles);
   set(MainHandles(9),'UserData',[],'String','');
elseif ( L<1 & (del | delall) )
   msg='No more line can be deleted.';
   errordlg(msg,'ERROR','replace');
else
   msg=['Input must be a numeric number or row vector!'...
```

```
        ' Use DEL to delete the previous drawn line or DEL*'...
        ' to delete all drawn lines.'];
    errordlg(msg,'ERROR','replace');
  end
case 'plot'
  %Get the line handles stored in 'UserData' of the
  %"New Plot" button
  LineHandles=get(MainHandles(13),'UserData');
  [rL,cL]=size(LineHandles);
  if ~isempty(LineHandles)
        %Get the current axis labels and title
        xLabel=get(get(gca,'xlabel'),'String');
        yLabel=get(get(gca,'ylabel'),'String');
        Title=get(get(gca,'Title'),'String');

        %Get the line color
        DATA=get(MainHandles(4),'UserData');
        Color=DATA(15);
        %Construct a look-up table for the line colors
    COLORS='bkgrymc';
    %Map the "Line color" pop-up menu position to the look-up table
    LineColor=COLORS(Color);

        figure('Units','Normalized','Color',[1 1 1],'Name','Lyapunov Exponents
Spectrum', ...
        'NumberTitle','off','Position',[0.1 0.1 0.8 0.8],'Tag','newplot');
        xlabel(xLabel); ylabel(yLabel); title(Title);
      for i=1:rL
        for j=1:cL
          xData=get(LineHandles(i,j),'xData');
          yData=get(LineHandles(i,j),'yData');
          plot(xData,yData,LineColor);
```

```
            hold on;
          end
        end
        hold off;
  else
    errordlg('No data is available!','ERROR','replace');
  end
case 'help'
  helpwin('lethelp','LET Help Window');
case 'start'
  %When "Start" button is pressed, disable the "Start",
  %"Setting", "Exit" and "New Plot" buttons, and
  %enable the "Stop" button.
  set(MainHandles([2,4,13,15]),'Enable','Off');
  set(MainHandles(3),'Enable','On');
  set(gca,'UserData',0);
  %Reset the state of "Stop" button to zero (i.e. not pressed)
  set(MainHandles(3),'UserData', 0);
  msg='Errors in "findlyap".';
  Warn=['errordlg(msg,"ERROR","replace");',...
      'set(MainHandles([2,4,13,15]),"Enable","On");',...
      'set(MainHandles(3),"Enable","Off");',...
      'findlyap(MainHandles)'];
 %eval('findlyap(MainHandles)',Warn);
 LineHandles=findlyap(MainHandles);
 %Store the line handles in the 'Userdata' of the "New Plot" button.
 set(MainHandles(13),'UserData',LineHandles);
otherwise
  error('Incorrect input argument!');
end

%-------------------------Subroutines--------------------------
```

```
function MainHandles=maingui(AxisRange,FontSize)
%MAINGUI   Function accompanied with LET
%         MAINGUI creates a graphical user interface (GUI)window.

%         by Steve Wai Kam SIU, Feb. 19, 1998.

%%%
```

```
yLabel='Lyapunov Exponents';
%Title
Title='';                   %No default title
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%       GUI window setup
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
WinWidth=0.95;              %Window width
WinHeight=0.78;       %Window height
BtnWidth=0.12;              %Button width
BtnHeight=0.05;       %Button height
xPos=0.865;           %X-position of buttons
%Window
a=figure('Units','Normalized','Color',[1 1 1],'BackingStore','Off',...
      'Name','LET Main Program','NumberTitle','off', ...
      'Position',[0.02 0.1 WinWidth WinHeight],'Visible','Off','Tag','Fig1');
%Right frame
uicontrol('Parent',a,'Units','normalized','BackgroundColor',[0.513725 0.6 0.694118],
...
      'Position',[0.85 0 0.15 1],'Style','frame','Tag','Frame2');
%Bottom frame
uicontrol('Parent',a,'Units','normalized','BackgroundColor',[0.513725 0.6 0.694118],
...
      'Position',[0 0 0.85 0.0676],'Style','frame','Tag','Frame1');
%Bottom text display for showing the calculated
%Lyapunov exponents at each iteration.
btmDisplay=uicontrol('Parent',a,'Units','normalized','BackgroundColor',[1 1 1], ...
      'ForegroundColor',[0 0 1],'Position',[0.0057 0.01 0.835 0.045], ...
      'String',bttmText,'FontSize', FontSize,'Style','text','Tag','StaticText9');
%"Start" button
startBtn=uicontrol('Parent',a,'Units','normalized','Callback','let("start")', ...
      'FontSize', FontSize,'FontWeight','bold','Position',[xPos 0.94 BtnWidth
BtnHeight], ...
```

```
        'String','Start','Interruptible','on','Tag','Pushbutton1');
%"Stop" button : initial set disable
stopBtn=uicontrol('Parent',a,'Units','normalized','Callback','let("stop")', ...
        'FontSize', FontSize,'FontWeight','bold','Position',[xPos 0.88 BtnWidth
BtnHeight], ...
        'String','Stop','UserData',0,'Enable','off','Tag','Pushbutton2');
%"Setting" button
settingBtn=uicontrol('Parent',a,'Units','normalized','Callback','let("setting")', ...
        'FontSize', FontSize,'FontWeight','bold','Position',[xPos 0.82 BtnWidth
BtnHeight], ...
        'String','Setting','Tag','Pushbutton3');
%Label: "Grid Lines"
uicontrol('Parent',a,'Units','normalized','BackgroundColor',[0.513725 0.6 0.694118],
...
        'FontSize', FontSize,'FontWeight','bold','Position',[0.86 0.72 0.07 0.08], ...
        'String','Grid Lines','Style','text','Tag','StaticText1');
%Grid Lines "On" radio button
gOnRadio=uicontrol('Parent',a,'Units','normalized','BackgroundColor',[0.513725 0.6
0.694118], ...
   'Position',[0.925 0.765 0.07 0.043],'Callback','let("OnPressed")','FontSize',FontSize,
...
   'String','On','Value',gOn,'Style','radiobutton','Tag','Radiobutton1');
%Grid Lines "Off" Radio Button
gOffRadio=uicontrol('Parent',a,'Units','normalized','BackgroundColor',[0.513725 0.6
0.694118], ...
        'Position',[0.925 0.723 0.07
0.043],'Callback','let("OffPressed")','FontSize',FontSize,...
        'String','Off','Style','radiobutton','Tag','Radiobutton2','Value',gOff);
%Label: "Plot Range"
uicontrol('Parent',a,'Units','normalized','BackgroundColor',[0.513725 0.6 0.694118],
...
        'FontSize', FontSize,'FontWeight','bold','Position',[0.86 0.68 0.135 0.035], ...
```

```
        'String','Plot Range','Style','text','Tag','StaticText10');
%Label: "X :" (X-Axis)
uicontrol('Parent',a,'Units','normalized','BackgroundColor',[0.513725 0.6 0.694118],
...
        'FontSize', FontSize,'Position',[0.855 0.625 0.0365 0.037], ...
        'String','X :','Style','text','Tag','StaticText11');
%Edit text box for "X :"
xRangeEdt=uicontrol('Parent',a,'Units','normalized','BackgroundColor',[1 1 1], ...
   'ForegroundColor',[0 0 1],'Position',[0.89 0.62 0.1 0.045], ...
   'String',[num2str(xRange(1)) ', ' num2str(xRange(2))],'FontSize', FontSize, ...
   'Callback','let("changeAxis")','UserData', xRange,'Style','edit','Tag','EditText2');
%Label: "Y :" (Y-Axis)
uicontrol('Parent',a,'Units','normalized','BackgroundColor',[0.513725 0.6 0.694118],
...
        'Position',[0.855 0.56 0.0365 0.037],'String','Y
:','Style','text','Tag','StaticText12');
%Edit text box for "Y :"
yRangeEdt=uicontrol('Parent',a,'Units','normalized','BackgroundColor',[1 1 1], ...
        'ForegroundColor',[0 0 1],'Position',[0.89 0.555 0.1 0.045],'FontSize',
FontSize,...
        'String',[num2str(yRange(1)) ', ' num2str(yRange(2))],'UserData',yRange, ...
        'Callback','let("changeAxis")','Style','edit','Tag','EditText3');
%Label: "Draw line at"
uicontrol('Parent',a,'Units','normalized','BackgroundColor',[0.513725 0.6 0.694118],
...
        'FontSize', FontSize,'Position',[0.865 0.51 0.12 0.035],'String','Draw line at', ...
        'Style','text','Tag','StaticText2');
%Edit box for "Draw Line at"
drawEdt=uicontrol('Parent',a,'Units','normalized','BackgroundColor',[1 1 1], ...
        'ForegroundColor',[0 0 1],'Position',[0.86 0.46 0.13 0.045],'FontSize',
FontSize,...
        'String',num2str(y),'Callback','let("drawLine")','Style','edit','Tag','EditText1');
```

```
%Label: "Current Time"
uicontrol('Parent',a,'Units','normalized','BackgroundColor',[0.513725 0.6 0.694118],
...
    'FontSize', FontSize,'Position',[0.865 0.415 0.12 0.035], ...
    'String','Current Time','Style','text','Tag','StaticText3');
%Display of "Current Time"
ctDisplay=uicontrol('Parent',a,'Units','normalized','BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'ForegroundColor',[0 0 1],'Position',[0.86 0.38 0.13 0.035],'FontSize',
FontSize,...
    'String',num2str(ct),'Style','text','Tag','StaticText4');
%Label: "Final Time"
uicontrol('Parent',a,'Units','normalized','BackgroundColor',[0.513725 0.6 0.694118],
...
    'FontSize', FontSize,'Position',[0.865 0.33 0.12 0.035],...
    'String','Final Time','Style','text','Tag','StaticText5');
%Display of "Final Time"
ftDisplay=uicontrol('Parent',a,'Units','normalized','BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'ForegroundColor',[0 0 1],'Position',[0.86 0.295 0.13 0.035], ...
    'String',num2str(ft),'Style','text','FontSize', FontSize,'Tag','StaticText6');
%Label: "Time Used"
    uicontrol('Parent',a,'Units','normalized','BackgroundColor',[0.513725 0.6
0.694118], ...
    'FontSize', FontSize,'Position',[0.865 0.245 0.12 0.035], ...
    'String','Time Used','Style','text','Tag','StaticText7');
%Display text of "Time Used"
utDisplay=uicontrol('Parent',a,'Units','normalized','BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'ForegroundColor',[0 0 1],'Position',[0.86 0.21 0.13 0.035], ...
    'String',num2str(ut),'FontSize', FontSize,'Style','text','Tag','StaticText8');
%"New Plot" button
plotBtn=uicontrol('Parent',a,'Units','normalized','Callback','let("plot")', ...
    'FontSize', FontSize,'FontWeight','bold','Position',[xPos 0.14 BtnWidth
BtnHeight], ...
```

```
        'String','New Plot','Enable','Off','Tag','Pushbutton4');
%"Help" button
helpBtn=uicontrol('Parent',a,'Units','normalized','Callback','let("help")', ...
        'FontSize', FontSize,'FontWeight','bold','Position',[xPos 0.08 BtnWidth
BtnHeight], ...
        'String','Help','Tag','Pushbutton5');
%"Exit" button
exitBtn=uicontrol('Parent',a,'Units','normalized','Callback','close(gcf)', ...
        'FontSize', FontSize,'FontWeight','bold','Position',[xPos 0.02 BtnWidth
BtnHeight], ...
        'String','Exit','Tag','Pushbutton6');
%Define the active region on the figure for plotting
set(gca,'Position',[0.1 0.1776 0.7024 0.7474]);
%Setup Axes using default ranges
axis(AxisRange);
%Create axis box
box;
%Add X-axis label, Y-axis label and  title
xlabel(xLabel); ylabel(yLabel); title(Title);
%Freeze axes
axis('manual');
%Output the handles (or addresses) of the GUI elements
%which will be used later
MainHandles=[btmDisplay,  startBtn,   stopBtn, settingBtn, ...
             gOnRadio, gOffRadio, xRangeEdt,  yRangeEdt, ...
              drawEdt, ctDisplay, ftDisplay,  utDisplay, ...
              plotBtn,   helpBtn,  exitBtn];
%Uncover the figure when setup is finished
set(a,'Visible','On');

%------------------------------------------------------------
```

```
function check(checkList,uncheckList)

%CHECK  Check function for check box or radio button
%
%       CHECK(CHECKLIST) checks the radio buttons or
%       check boxes with handles in CHECKLIST.
%
%       CHECK(CHECKLIST,UNCHECKLIST) checks the radio
%       buttons or check boxes with handles in CHECKLIST
%       and unchecks the ones with handles in UNCHECKLIST.
%
%       CHECK([],UNCHECKLIST) unchecks the radio buttons
%       or check boxes with handles in CHECKLIST.

%       by Steve Wai Kam SIU, Feb. 19, 1998.

if nargin<2
  uncheckList=[];
end
if ~isempty(checkList)
  set(checkList,'Value',1);
end
if ~isempty(uncheckList)
  set(uncheckList,'Value',0);
end

%--------------------------------------------------------------------

function outStr=rmspace(inStr)
%RMSPACE  Function for removing the beginning and ending
%        spaces of a string
```

```
%Remove spaces at the end of the string
outStr=strcat(inStr);
%Delete spaces at the beginning of the string
if ~isempty(outStr)
  while isspace(outStr(1))
        outStr=outStr(2:length(outStr));
  end
end
```