

## **BIST 100 (XU100) ENDEKSİNDE DOĞRUSAL-DIŞI YAPILAR**

Erhan BİRGİLİ<sup>1</sup>  
Kadir ÜÇAY<sup>2</sup>  
Ömer ESEN<sup>3</sup>

### **Özet**

Menkul kıymet piyasalarına olan ilginin dünya ülkeleri üzerinde giderek yaygınlaşması bu piyasalarla ilgili yapılan çalışmaların artmasına neden olmuştur. Özellikle hisse senetleri piyasasında bulunan yatırımcılar öteden beri hisse senetlerinin fiyat hareketlerini tahmin ederek normalüstü getiri elde etmeyi amaçlamaktadırlar.

Finans dünyasında, hisse senetlerinin hareketini açıklamak amacıyla ortaya atılan Rassal Yürüyüş Teorisi en çok rağbet gören yaklaşımların başında gelmektedir. Piyasaları zayıf formda etkin, yarı kuvvetli formda etkin ve kuvvetli formda etkin olarak üçe ayıran Rassal Yürüyüş Teorisi ve sonrasında bu teoriyi temel alan veya almayan birçok teori, hisse senedi davranışlarının doğrusal bir yapıda hareket ettiğini varsayarak bu davranışları açıklamada çeşitli doğrusal modeller geliştirmiştir. Oysa hisse senetlerinin hareketleri iyi analiz edildiğinde doğrusal olmayan davranışların varlığı ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada BIST 100 endeksi özelinde, hisse senedi fiyat hareketlerinde doğrusal olmayan yapıların varlığı analiz edilerek tespit edilmiş ve bu bağlamda piyasasının rassal hareket etmediği diğer bir deyişle zayıf formda etkin olmadığı da ortaya konmuştur. Sonuç olarak; hisse senetlerinin gelecekteki hareketlerinin açıklanmasında doğrusal olmayan yapıları ve davranışları kapsayan modellerin geliştirilerek kullanılması gerektiği ileri sürülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Hisse Senedi Analizi, Rassal Yürüyüş, Doğrusallık, Doğrusal-Dışılık.

### **NON-LINEAR STRUCTURES IN ISE 100 (XU100) INDEX**

#### **Abstract**

The interest in security markets has gradually become widespread in the countries of the world and this has led the increase in the studies performed with respect to these markets. Especially the investors in the stock market have aimed to estimate the price movements of stocks and to obtain over-normal returns, all along.

In finance world, Random Walk Theory suggested in order to explain the movement of stocks is one of the most popular approaches. Random Walk Theory and many theories based or not based on this theory have developed various modellings by assuming that stock movements are in linear form. However, the presence of non-linear behaviours reveals if the movements of stocks are analyzed thoroughly.

In this study, on ISE 100 index, the presence of nonlinear structures have been analyzed and determined on stocks, and in this respect, it has also been proved that the market does not move randomly and in other worlds it is not effective in weak form. Consequently, it has been proposed that modelings covering non-linear structures and behaviours should be developed and used in explaining the future movements of stocks.

**Keywords:** Stock Analysis, Random Walk, Linearity, Non-Linearity.

### **Giriş**

Menkul kıymet piyasalarının iyi bir şekilde çalışmasının en önemli unsurlarından birisi, piyasanın menkul kıymetlerin gerçek değerini yansıtmada etkin mekanizmalara sahip olmasıdır. Etkin bir fiyatlama ile bu piyasalarda normalüstü getiri elde etme imkânları sınırlanacak ve piyasa işlevlerinin yerine getirilmesi kolaylaşacaktır.

Araştırmacılar ve kuramcılar, zaman içerisinde farklı yönde hareket eden, birbirine bağlı birçok değişkenin yer aldığı ve bu değişkenlerin arasında yoğun ilişkilerin meydana geldiği

<sup>1</sup> Prof. Dr., Süleyman Şah Üniversitesi, ebirgili@ssu.edu.tr

<sup>2</sup> Yrd. Doç. Dr., Muş Alparslan Üniversitesi, k.ucay@alparslan.edu.tr

<sup>3</sup> Yrd. Doç. Dr., Muş Alparslan Üniversitesi, o.esen@alparslan.edu.tr

dinamik bir sistem olan finans piyasalarının karmaşık yapısını çözümlenmeye çalışmışlardır. Bu amaçla yapılan birçok çalışmanın, meydana gelen bu hareketlerin doğrusallığı varsayımı üzerine kurulduğunu görmek mümkündür. Oysa bu piyasalarda bir borsa endeksinin zaman serisi verileri gibi açık bir biçimde rastlantısal olduğu düşünülen veri serilerinde, rastlantısal olmayan (deterministik) yapılar arayan, karmaşık, doğrusal olmayan dinamik davranışlara, hatta zaman zaman kaosa işaret eden çalışmalar da mevcuttur.

Gerçek yaşamda yatırımcıların ve firmaların ekonomik davranışları birçok yönden doğrusal olmamasına rağmen deneysel finasta kullanılan modellerin pek çoğunun doğrusal regresyon modelleri olduğu görülmektedir. İstatistiksel olarak anlamlı bir biçimde tahmin edilmek istenen menkul kıymet getirileri zaman içinde bir takım değişkenlerle etkileşim halinde olmalıdır. Bu değişkenler; önceki dönemde menkul kıymetlerin kendi getirileri, kâr payı getirileri, fiyat- kazanç oranları veya satış hasılatları vb. unsurlar olabilmektedir. Ancak değişkenler arasındaki bu ilişkilerin, finans literatüründe genel kabul görmüş menkul kıymet fiyat davranışlarının, basit rassal yürüyüş modeli şartlarına her zaman uymadığı gözlenmektedir.

Bu çalışmanın konusu BIST 100’de yer alan hisse senetlerinin fiyat hareketlerinde, yukarıda bahsedilen ilişkilerden kaynaklanan bağımlılıkların ve doğrusal olmayan yapıların ortaya çıkarılmasıdır. Bu durum ortaya çıkarılırken, aynı zamanda, Rassal Yürüyüş Teorisi’nin ve fiyat hareketlerini açıklamada aynı doğrusal temelde hareket eden diğer modellemelerin yapısı da sorgulanmış olacaktır.

Bu amaçla çalışmanın ilk aşamasında, hisse senetlerinin fiyat hareketlerini açıklamada en çok kabul görmüş yöntemlerin başında yer alan Rassal Yürüyüş Teorisi ve bu bağlamda Etkin Piyasa Hipotezi anlatılacaktır. Devamında, çalışmanın ana teorisini oluşturan ve hisse senetlerinin davranışlarını açıklamada kullanılan doğrusal ve doğrusal olmayan yapılarla zaman serileri özelinde değinilecek, finans literatüründe doğrusal olmayan modelleme, finansal verilerin özellikleri ve doğrusal-dışılık tespit etmeyi amaçlayan testlere genel olarak yer verilecektir. İkinci aşamada, doğrusallık ve doğrusal-dışılık ile ilgili literatür hakkında bilgi sunulacaktır. Son aşamada XU100 (1988-2011) endeksinde yapılan zaman serisi uygulamasına geçmeden önce, kullanılan verilerin özellikleri izah edilecek, hipotezler kurulacak ve yararlanılan testlerin sonuçları (Normalite testleri, korelogram analizi, otokorelasyon-kısmi otokorelasyon analizi, ARMA süreci, ARCH-GARCH modellemesi, BDS testi) gösterilecektir. Nihai aşamada ise çalışma XU100 endeksi üzerinde doğrusal ve doğrusal-dışı yapıların ortaya konulmaya çalışıldığı uygulamadan elde edilen bulgular ve bulguların literatür ile olan uyumunun değerlendirilmesi ile tamamlanacaktır.

## **1. Etkin Piyasa, Rassal Yürüyüş, Doğrusallık ve Doğrusal-Dışılık: Kuramsal Çerçeve**

Etkin bir piyasa teorik olarak, piyasaya ulaşan bilgilerin, menkul kıymet fiyatlarına hızlı, tam ve doğru bir şekilde ulaştığı piyasa olarak tanımlanmaktadır. Böyle bir piyasada menkul kıymetlerin fiyatını, piyasaya aktarılan ilgili bütün bilgiler belirlemektedir. Dolayısıyla, bir menkul kıymet piyasasının etkin olup olmadığını öğrenebilmek için hipotezler kurularak test edilmesi gerekmektedir. Modeli test edilebilir hale getirmek için de fiyat oluşum sürecinin daha detaylı bir şekilde ifade edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bunu sağlayabilmek amacıyla Fama (1965) “Fair Game” (Beklenen Getiri) Modelini geliştirmiş ve birçok çalışmada bu modelin özel durumları olan Submartingale ve Random Walk (Rassal Yürüyüş) modelleri gözlemlenmiştir.

### **1.1. Etkin Piyasa ve Rassal Yürüyüş**

Etkin Piyasalar Hipotezinin temelini oluşturan Rassal Yürüyüş (Tesadüfi Seçim) teorisi 1950'li yıllarda ortaya çıkmış ve Eugene Fama (1965) tarafından geliştirilmiştir. Rassal Yürüyüş Teorisi, Etkin Piyasalar Hipotezinin özel bir hali olarak belirtilmektedir. Bu yaklaşımda, büyük ve etkin hisse senedi piyasalarının olduğu varsayılmaktadır. Böyle bir pazarda menkul değer fiyatı, piyasaya aktarılan bilgilerin doğrultusunda belirlenmektedir.

Tesadüfi Seçim (Rassal Yürüyüş) Teorisine göre, birbirini izleyen dönemler içerisindeki hisse senedi fiyat değişimlerinin tesadüfi ve birbirinden bağımsız olduğu ifade edilmektedir. Söz konusu teoriye göre hisse senedinin cari piyasa değeri yeni bir bilgi ile aniden oluşmakta ve beklenen getiri-risk analizinin belirlendiği gerçek değerinin etrafında tesadüfi olarak dalgalanmaktadır (Karaşin, 1987: 96).

Rassal Yürüyüş teorisi bir sermaye piyasasında, menkul kıymet fiyatlarının menkul kıymetlerle ilgili her türlü bilgiyi yansıttığını varsaymaktadır. Böyle bir piyasada hisse senedinin fiyatı, piyasaya aktarılmış bilgiler ışığında belirlenmektedir. Teoriye göre her türlü bilginin piyasaya aktarılması ve yatırımcılar tarafından değerlendirilmesiyle oluşan hisse senedinin piyasa fiyatı, hisse senedinin gerçek değerine eşit olmaktadır. Piyasaya yeni bilgiler geldikçe, fiyatlar bu yeni bilgiler ışığında değişebilmektedir. Diğer bir deyişle etkin bir sermaye piyasasında fiyat değişimleri tamamen tesadüfi olarak gerçekleşmekte ve ancak yeni bilgiler ışığında değişimlerin yaşanması beklenmektedir. Eğer bilgi yeni bir bilgi ise, tahmin edilememesi gerekmekte, çünkü tahmin edilebilir bir bilgi, fiyatları, tahminleri yansıtacak şekilde değiştirmektedir. Piyasaya yeni bilgiler tesadüfen geldikçe, fiyat değişimleri de tesadüfi olmaktadır. Etkin piyasa teorisinin bu şekline "Random Walk" denmekte ve literatürde "Tesadüfi Seçim Teorisi" olarak da adlandırılmaktadır (Kanalıcı, 1997: 24).

Rassal Yürüyüş Teorisi, bir hisse senedinin piyasadaki fiyatlarını kararsız, amaçsız veya tesadüfi bir yürüyüşe benzeterek, birbirini takip eden fiyat ve kazançlardaki değişimlerin birbirinden bağımsız olduğunu kabul etmektedir. Teoriye göre birbirini takip eden fiyatların bağımsızlığına rağmen, bir piyasada, hisse senedinin ortalama piyasa fiyatının gerçek değerinden sapması, değişik yatırımcıların aynı bilgileri farklı değerlendirmelerinden kaynaklanmakta ve bu durum zaman içinde denge durumuna gelmektedir. Bu nedenle rassal yürüyüşün geçerliliği, sermaye piyasasının etkinliği ile birebir ilişkili olmaktadır.

Görüldüğü gibi Rassal Yürüyüş Teorisi temel ve teknik analizlerden farklı bir yaklaşım ortaya koymaktadır. Bu teoriye göre; hisse senedinin geçmişteki fiyat hareketlerinden, hisse senedinin gerçek değerini tahmin etmek amacıyla yararlanılamamaktadır. Yani teknik analizler yaparak hisse senedinin gerçek değerini belirlemek gereksiz görülmektedir. Bu yaklaşımıyla Rassal Yürüyüş Teorisi teknik analiz yöntemine karşı çıkmaktadır. Çünkü teknik analiz fiyat değişimlerinin birbirine bağımlı olduğunu, çeşitli grafikler ve analizler yardımıyla hisse senedi fiyatının tahmin edilebileceğini varsayarken, Rassal Yürüyüş Teorisi fiyat değişimlerinin birbirinden bağımsız ve rassal olarak oluştuğunu kabul etmektedir. "Rassal Yürüyüş Hipotezi'ne göre ardışık olarak meydana gelen fiyat değişiklikleri birbirinden bağımsız olduğundan Dow Teorisi veya grafikler gibi teknik analiz araçlarının menkul kıymet yatırımları açısından herhangi bir değeri yoktur" (Tinic ve West, 1979: 491).

Rassal yürüyüş ile temel analiz arasındaki ilişki ise şöyle ortaya konulabilir; rassal yürüyüş, bir menkul kıymetin gerçek değerinden kısa dönemli (günlük veya haftalık) sapmaların tesadüfi olduğunu söylemekte, bu nedenle rassal hareket eden hisse senedi fiyatının uzun dönemde yukarı ya da aşağı doğru hareket etmesi beklenmektedir. Yani rassal yürüyüş, uzun

dönemli trendler ve fiyat düzeylerinin belirlenmesi hakkında bir şey söylememekte, sadece kısa dönemli fiyat değişimlerinin bağımsız olduğunu söylemektedir (Karaşin, 1987: 109).

Rassal yürüyüş teorisi, temel analiz yöntemini tamamen reddetmemektedir. Aradaki en büyük fark zaman açısındandır. Diğer bir ifade ile rassal yürüyüş teorisi, sadece kısa dönemli fiyat değişimlerinin tesadüfi olduğunu belirtmekte, uzun dönemli fiyat değişimleriyle ilgilenmemektedir (Birgili, 1994: 62).

Etkin piyasa modelinin ilk ele alınışında, bir menkul kıymetin cari fiyatının mevcut bilgileri “tam olarak yansıttığı” şeklindeki ifadede, ardışık fiyat değişimlerinin veya ardışık bir dönemlik getirilerin bağımsız olduğu ayrıca ardışık fiyat değişiklikleri veya getirilerin özdeş şekilde dağıldığı varsayılmaktadır. Bu iki hipotez birlikte, rassal yürüyüş (random walk) modelini oluşturmaktadır. Kısaca model, tüm elde edilebilir bilgiyi tamamen yansıtan ardışık fiyatlara dayanarak, ardışık fiyat değişimlerinin birbirinden bağımsız olduğunu ve ardışık fiyat değişimlerinin aynı dağılıma sahip olduklarını ifade etmektedir (Fama, 1965: 386).

Menkul kıymet fiyatlarının bir rassal yürüyüş izlediği ilk defa Fama tarafından ortaya konmasına rağmen, günümüzde hisse senedi fiyatlarının, rassal yürüyüş izlemediğinin birçok delili bulunmaktadır. Örneğin Fama ve French, New York Hisse Senedi Borsası’nda (NYSE) işlem gören hisse senetlerin uzun süreli getirilerini inceledikleri çalışmalarında, negatif otokorelasyon bulmuşlar ve gelecek getirilerin geçmiş getirilerden kestirilebileceğini ileri sürmüşlerdir (Önalın, 1996: 31).

Rassal yürüyüş teorisini etkin piyasa teorisi ile karıştırmamak gerekmektedir. Ancak piyasa etkinliği üzerine yapılan deneysel çalışmaların büyük çoğunluğunda menkul kıymet fiyatlarının rastlantısal davrandığı görüşü benimsenmektedir.

Rassal Yürüyüş (Random Walk) Teorisi’nin matematiği aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir (Kenköl, 2006: 64):

$Z_n$  her biri sırasıyla  $p$  ve  $q$  olasılıkları ile 1 ve -1 değerlerini alan rassal değişkenlerin bir topluluğu olarak kabul edildiğinde,

$$X_n = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n, n \geq 1, X_0 = 0 \quad (1)$$

kısmî toplamlar dizisinden oluşan,

$$X = \{ X ; n = 0, 1, 2, \dots \}$$

stokastik sürecine “Rassal Yürüyüş” denmektedir. Hisse senedi piyasasında, rassal yürüyüş hipotezi, hisse senedi fiyatındaki günlük değişimlerin bağımsız ve özdeş dağılmış tesadüfi değişkenler olduğunu iddia etmektedir. Yani, fiyatların dizisi bir rassal yürüyüştür. Rassal yürüyüş hipotezi altında; hisse senedinin geçmişindeki fiyat değişimleri, gelecekteki değişimlere ilişkin bir bilgi vermemektedir.

Rassal Yürüyüş (Random Walk) Teorisi’nin, hipotezi de matematiksel olarak şu şekilde ifade edilmektedir (Kenköl, 2006: 64);

$$P_t = P_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2)$$

$$t = 1, 2, \dots, E(\varepsilon_t) = 0, \text{Cov}(\varepsilon_t, \varepsilon_{t-s}) = 0, s > 0$$

$P_t$ : Hisse senedinin  $t$  günündeki kapanış fiyatı,

$\varepsilon_t$ : Sıfır ortalamalı bir rassal değişken.

Aynı zamanda Hansen ve Sargent (1980) ile Hansen ve Singleton (1982) yaptıkları çalışmalarında Rassal Yürüyüş (Random Walk) Modeli ile ilgili olarak, menkul kıymetlerin getirilerinin dağılımının doğrusal (linear) stokastik bir yol izlediğinin varsayıldığını ortaya koymaktadırlar.

## **1.2. Doğrusallık, Doğrusal-Dışılık ve Zaman Serisi**

Çeşitli bilimsel kaynaklar; iyi tanımlanmış, dış şoklara açık doğal bir sistemin tek bir yolu takip edeceği ve bu koşullar altındaki önemsiz bir değişimin, sistemin tepkisinde yine aynı şekilde önemsiz bir değişime neden olacağı fikri üzerine inşa edilmiştir. Lineer ilişkiler, grafik üzerinde bir doğru olarak ifade edilmekte ve bu ilişkilerin mantığını anlamak kolay olmaktadır. Doğrusal olmayan (Non-Linear) sistemleri ise kavramak nispeten daha zordur ve genellikle çözüme çok elverişli değildir. Yapılan araştırmalarda, doğrusal olmayan şartların, genellikle araştırmacıların konuyu basite indirgeyerek kolay anlaşılır hale getirmek istediklerinde devre dışı bırakmak istedikleri özellikler arasında yer aldığı görülmektedir. Bu tür sistemlerdeki karmaşık ilişkiler, doğrusal-dışılığın (non-linearity) hesaplanmasını zorlaştırmakta ama aynı zamanda doğrusal (linear) sistemlerde hiçbir zaman bulunmayan bir davranış biçimi zenginliği meydana getirmektedir (Scheinerman, 2012: 12).

Piyasaların zayıf, yarı kuvvetli veya kuvvetli formdaki davranışlarını inceleyen Etkin Piyasa Hipotezi testlerinde genellikle doğrusal bir yapının geçerli olduğu varsayımı kullanılmakta ve test edilmekte, ancak doğrusal olmayan yapılara ise yeterince önem verilmemektedir.

Campbell, Lo, and MacKinlay (1997) insan davranışlarının doğrusal olmadığını, bu sebeple yatırım yapan insanlarında risk ve getiriye verdikleri tepkilerin doğrusal olmayacağını ifade etmektedirler. Bu nedenle, doğrusal olmayan testlerin piyasaların analiz edilmesinde kullanılmasının daha doğru olacağı düşünülmektedir. Doğrusal olmayan testler aynı zamanda fiyatların tahmininde doğrusal olmayan modellerin kullanılmasını da olası hale getirmektedir. Kaotik serilerin doğrusal olmayan modellerin bir alt sınıfını oluşturduğunu ancak kaotik bir yapının modellenmesinin çok güç olduğunu ayrıca belirtmek gerekmektedir.

Doğrusal-dışılık ve zaman zaman içerdiği kaos, birkaç nedenle önemlidir. Box-Jenkins yaklaşımında ekonomi kararlı denge halindedir. Ancak ekonomi bu denge halini bozan savaşlar, hava durumu gibi dışsal şoklarla sürekli olarak karşılaşmaktadır. Ekonomi bu dışsal şoklar nedeniyle devamlı olarak konjonktürel dalgalanmalar yaşamaktadır. Bu şoklara maruz kalan bir ekonominin durağan bir seyir izlemesi zorlaşmaktadır. Kaotik büyüme modellerinde ise ekonomi doğrusal-dışı dinamikleri izleyerek sürekli kendi kendine yenilenen ve süreklilik arz eden dalgalanmalar göstermektedir. Dışsal şoklar ekonomik dinamiklerin bir parçası olmakla birlikte dalgalanmaların meydana gelmesi için bu şoklara gerek yoktur. Türkiye ekonomisindeki 1994, 1999 ve 2001 krizleri, konjonktür teorilerinin bu büyük dalgalanmaları açıklamaya çalışmasına örnek olarak verilebilir. Bu krizlere yönelik olarak yapılan açıklamalardan biri, bazı beklenmedik kötümser haberler karşısında iktisadi birimlerin ve finansal piyasaların hemen tepki vermesi biçimindedir. Bir diğer açıklama ise makroekonomik büyüklüklerin özünde doğrusal-dışı kaotik süreçler olduğu ve zaman zaman büyük dalgalanmalar gösterdiği şeklindedir (Karagöz, 2006: 2).

### **1.2.1. Doğrusallık, Doğrusal-Dışılık**

Matematikçi Henri Poincare (1892), doğrusal olmayan problemlerin gerçek kaynağını inceleyen ilk bilim adamlarından birisi olarak, "Science and Method" adlı çalışmasında şunları yazmıştır (Tufillaro, 1992 Aktaran: Kara, 2006: 1):

“Dikkatlerden kaçan çok küçük bir sebep, görmezden gelinemeyecek çok büyük bir etkiye neden olabilir. Eğer doğanın kuralları ve başlangıç aşamasında evrenin durumu kesin olarak bilinseydi, sonraki herhangi bir zamanda evrenin durumu tam olarak tahmin edilebilirdi. Doğa kanunlarının insanoğlu için artık hiçbir gizliliğinin kalmadığı bir durumda bile başlangıç durumunu yaklaşık olarak bilmek, bir sonraki durumu tahmin etmede insanoğluna imkân verirse, kurallarla yönetilen bir olayın tahmin edilebileceği söylenebilir. Fakat başlangıçtaki küçük bir hata sonuçta büyük bir hataya sebep olacaktır.” Böylelikle bu tür doğrusal olmayan hatta kaotik hale gelen bir yapıyı tahmin etmek çok güç hale gelmektedir.

Cohen (1997), “ bir dinamik sistemin, sistemin nasıl geliştiğini belirten dinamik bir kural ve bir başlangıç koşulu ya da sistemin başladığı durum şeklinde iki bileşenden oluştuğunu söylemekte ve doğal bir olayı ya da bir dinamik sistemi tanımlayan en başarılı kurallar sınıfının, doğrusal-dışı yapıların da ifade edilebildiği diferansiyel denklemler olduğunu öne sürmektedir.”

Finansal zaman serilerinin aşağı veya yukarı doğru hareketleri esnasında görülen dalgalanmalar, kendi içinde meydana gelen çeşitli etkiler ve yine bu etkilerin yayılma mekanizması ile birlikte oluşmaktadır. Bu olgu bir ekonomide meydana gelen şokların finansal faaliyetlerde bir bozulmaya yol açması ve bu durumun da finansal dalgalanmalar üretmesi şeklinde ifade edilebilmektedir.

Yule (1927), Slutsky (1927) ve Frisch (1933), çalışmalarında ekonomideki dalgalanmaların modellenmesinde finansal faaliyetlere ilişkin sürecin aynı zaman serisi özelliklerine sahip olduğunu ve bunun da doğrusal bir yapıya uyduğunu varsaymaktadırlar. Frisch-Slutsky paradigması olarak da tanımlanan bu olgu ile birlikte doğrusal zaman serisi yöntemleri finansal zaman serilerinin analizinde baskın olmaya başlamıştır. Frisch-Slutsky paradigmasının deneysel çalışmalarda egemen olmasının finansal sistemin doğrusal bir yapıda işlediği şeklindeki güçlü önsel inanıştan ya da doğrusallık varsayımını desteklemek için gerçekleştirilen sınamalardan elde edilen sonuçlardan kaynaklanmadığı düşünülmektedir. Yine Brock & Potter (1993), Pesaran & Potter (1993) ve Priestley (1980) çalışmalarında ayrıntılı olarak bu konudan bahsederek, doğrusal zaman serileri ile hesaplama kolaylığı ve doğrusallık varsayımının daha önceki yaklaşımlara göre daha iyi sonuçlar elde edilmesini sağlamanın, bu yaklaşımın yaygın olarak tercih edilmesinin temel sebebi olduğunu ortaya koymaktadırlar (Açıköz, 2007: 72).

İktisadi değişkenlere ait finansal zaman serilerinin, duruma ve zamana bağlı olarak gösterdikleri çeşitli değişken davranışların ortaya çıkarılması ile birlikte iktisadi yaşamın doğrusal-dışı bir yapıya sahip olduğu ve bu sebeple finansal değişkenler arasında doğrusal olmayan ilişkilerin mevcut olduğu kabul görmeye başlayan bir olgu haline gelmektedir. Örneğin, “ İktisatta kullanılan üretim ve yatırım fonksiyonları ile Philips eğrisi genellikle doğrusal olmayan bir yapıda tanımlanmaktadır. Kalıp itibari ile tanımlanmış, ancak parametreleri bilinmeyen doğrusal-dışı herhangi bir model verildiğinde, ekonometrik analiz yapanlar bu parametrelerin tahmini için çeşitli yöntemler ileri sürerek, ürettikleri tahmincilerin asimptotik özelliklerini de ortaya koyabilmektedirler. Bununla birlikte çok sayıda iktisat teorisi genellikle tanımlanmamış, sıklıkla gerçek verilerle örtüşmeyen, özellikle finansal sistemin dinamik yapısına yönelik doğrusal olmayan yapılar ortaya çıkarmaktadır. Bu durum bu tür modelleri üretmek üzere istatistikî yöntemlere ihtiyaç olduğunu göstermektedir. İstatistiğin zaman serileri analizi dalında, özellikle doğrusal yapıdaki tekniklerde önemli ilerleme ve gelişmeler göze çarpmaktadır. Bu türden bir gelişim sürecinin “doğrusal olmayan zaman serisi analizleri” için de yaşanması çok büyük önem arz etmektedir” (Granger ve Teräsvirta, 1993:1).

### 1.2.2. Doğrusal Zaman Serilerinin Özellikleri

Doğrusal bir zaman serisinin tam gösterimi için kullanılan Wold teoreminden hareketle durağan bir zaman serisi (y) aşağıdaki gibi gösterilmektedir (Açıkgöz, 2007: 74):

$$Y_t = \delta_t + \sum_{i=0}^n \varphi_i \varepsilon_{t-i} \quad (3)$$

İfadenin sağında yer alan ilk terim,

$$E [\delta_{t+j} | \delta_t, \delta_{t+1}, \dots] = \delta_{t+j} \quad (4)$$

özelliğine sahiptir. Bu  $\delta$  parametresinin tam bir biçimde öngörülebilir olduğu anlamına gelmektedir. Başka bir deyişle bu terim, kesit katsayısı, trend ya da mevsimsel faktörler kümesi şeklinde, modelin deterministik kısmını göstermektedir.

Eşitliğin sağında yer alan ikinci terim ise şu özelliklere sahiptir:

$$\sum_{n=1}^{\infty} |\varphi_n| < \infty \quad (5)$$

$$E [\varepsilon_t] = 0$$

$$E [\varepsilon_t \varepsilon_s] = 0 \quad \text{“}\sigma^2\text{” } t=s \text{ ise ve “}0\text{” } t \neq s \text{ ise,}$$

ifade kolaylığı sağlaması bakımından  $\delta_t$  terimi = 0 ve  $\varphi_0 = 1$  alınmak suretiyle eşitlik (3)'te yer alan model gecikme işlemcisi kullanılarak,

$$Y_t = \varphi(L)\varepsilon_t \quad (6)$$

şeklinde de gösterilebilmektedir ( $L^i \varepsilon_t = \varepsilon_{t-i}$ ). Eşitlik (6)  $Y_t$  zaman serisi için hareketli ortalama gösterimi olup, herhangi bir zaman serisinin otoregresif gösterimi aşağıdaki gibi olmaktadır:

$$Y_t = \pi(L) y_{t-1} + (\varepsilon_t) \quad (7)$$

Bir zaman serisinin doğrusal bir model olarak gösterimini tamamlamak için modelde yer alan yeni değişkenlerin (innovation) birbirinden bağımsız özdeş dağılıma sahip olduklarını (iid) ifade etmek gerekmektedir (Açıkgöz, 2007: 74).

### 1.2.3. Doğrusal Olmayan Zaman Serilerinin Özellikleri

Genel olarak eşitlik (3)'teki gibi yazılamayan ya da modellenemeyen zaman serileri doğrusal olmayan zaman serileri olarak adlandırılmaktadır. Bu tümüyle stokastik zaman serileri için doğrusal olmamanın ilk tanımı olarak algılanmalıdır. Bu tanımlama şu şekilde genişletilebilir (Açıkgöz, 2007: 76):

$Y_t$  için tümüyle stokastik bir zaman serisi modeli matematiksel olarak;

$$Y_t = f(\varepsilon_t, \varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}, \varepsilon_{t-3}, \dots) \quad (8)$$

şeklinde birbirinden bağımsız özdeş dağılıma sahip geçmiş ve cari dönem şoklarının ardışık bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Buna göre eşitlik (3)'te verilen doğrusal model, f fonksiyonunun kendi değişkenlerinin doğrusal bir fonksiyonu olduğunu göstermektedir.

Dolayısıyla  $f$  fonksiyonunda doğrusal olmayan herhangi bir durum, modelin doğrusal olmadığı anlamına gelmektedir.

Eşitlik (8)'den izleneceği üzere, genel doğrusal olmayan model çok sayıda parametre içermesi bakımından uygulanabilir olmamaktadır. Modeli uygun hale getirebilmek amacıyla  $Y_t$  serisi için model, koşullu momentler aracılığıyla ifade edilmektedir (Tsay, 2002: 126–127).

$F_{t-1}$ ,  $(t-1)$  döneminde var olan bilgi tarafından meydana getirilen  $\sigma$  alanı (bilgi kümesi) olarak kabul edilirse;

$F_{t-1}$ , tipik bir biçimde,  $\{y_{t-1}, y_{t-2}, \dots\}$  ve  $\{\varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}\}$  de yer alan elemanların doğrusal bir birleşimi olarak tanımlanır.  $F_{t-1}$ , verildiğinde  $y_t$  serisinin koşullu ortalama ve varyansı aşağıdaki gibi gösterilmektedir:

$$\mu_t = E(y_t | F_{t-1}) \equiv g(F_{t-1}) \quad \sigma^2 = \text{Var}(y_t | F_{t-1}) \equiv h(F_{t-1}) \quad (9)$$

Burada  $g$  ve  $h$  fonksiyonları tam tanımlıdır ve  $h$  fonksiyonu  $> 0$ 'dır. Bu bilgi kullanılarak model şu şekilde kısıtlanmaktadır:

$$y_t = g(F_{t-1}) + \sqrt{h(F_{t-1})} \varepsilon_t \quad (10)$$

Eşitlik (10)'da yer alan  $\varepsilon_t = \varepsilon_t / \sigma_t$  olup standartlaştırılmış şokları göstermektedir.

Eşitlik (3)'te verilen doğrusal  $y_t$  serisi için;  $g(\cdot)$  fonksiyonu,  $F_{t-1}$  elemanlarının doğrusal bir fonksiyonudur ve  $h(\cdot)$  fonksiyonu  $= \sigma^2$ 'dir. Doğrusal olmayan modellerin gelişimi eşitlik (9)'da verilen iki denklemin uzantılarını içermektedir. Buna göre; eğer  $g(\cdot)$  fonksiyonu doğrusal değilse,  $y_t$  serisi ortalamaya göre doğrusal değildir. Bu durumda  $h(\cdot)$  fonksiyonu zaman değişkenli olduğunda,  $y_t$  serisi varyansa göre doğrusal olmamaktadır.

Zaman serisi literatüründe bir önceki kısımda adı geçen modellerin doğrusal olmayan (non-linear) bir yapıda oldukları görülmektedir. Bu modellerin ortak özelliğini ya da özünü oluşturan temel düşünce, koşullu ortalamanın ( $\mu_t$ ) bazı basit parametrik doğrusal olmayan fonksiyonlara göre zamanla değişmesi olarak ortaya çıkmaktadır. (Tsay, 2002: 131).

Doğrusal olmama ile ilgili bir örnek vermek gerekirse; birçok menkul kıymette düşüş daha hızlı gerçekleşirken, yükselişin ise düşüşe göre daha yavaş olduğu gözlemlenmektedir. Bu durumu doğrusal modellerle modellemek hatalı sonuçlar çıkmasına neden olmaktadır.

#### **1.2.4. Doğrusal Olmayan Zaman Serileri Analizi**

İktisadi değişkenlerin hem tekil dinamik davranışlarının hem de aralarındaki ilişkinin doğrusal olmayan bir karakter taşıyabileceği aslında uzun süredir bilinmektedir. Devresel hareketler esnasında iktisadi değişkenlerin dinamik yapısındaki asimetriye dikkat çeken iktisatçılardan biri olan Keynes (1936)'a göre genişleme ve daralma dönemlerinde iktisadi değişkenler farklı davranmakta ve bu farklı davranış devresel bir asimetriye yol açmaktadır. Örneğin büyüme oranındaki düşüşler, yükselişlere oranla daha keskin ve derindir. Bu tür bir asimetri doğrusal-dışı bir karaktere sahiptir ve doğrusal zaman serisi modelleriyle yakalanamamaktadır (Karaduman, 2007: 5).

Keynes'in ardından Kaldor (1940), Hicks (1950) ve Goodwin (1951) devresel hareketleri izah etmek için doğrusal olmayan (non-linear) matematiksel modeller kurmuşlardır. Ancak bu modellerin işaret ettiği tarzdeki bir doğrusal-dışılığın zaman serisi bağlamında sınanması için çok uzun bir süre geçmiştir. Çünkü iktisat ve finans alanında zaman serisi analizinde doğrusallık varsayımı uzun süre egemen olmuştur (Franses ve Van Dijk, 2000: 68).



Değişkenlerin izlediği veri meydana getirme süreçlerinin ya da değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığı (non-linear) kuramsal olarak kabul edildiği durumlarda bile uygulama aşamasında genellikle doğrusal zaman serisi modelleri kullanılmaktadır. Gerekçe olarak doğrusal modellerin doğrusal olmayan yapıya tutarlı bir biçimde yaklaşacağı varsayılmaktadır. Ancak doğrusal-dışılığın doğasının tam olarak bilinmediği durumlarda varsayılan bu yaklaşımın başarısı oldukça şüpheli hale gelmektedir. Doğrusal modellerin kullanımını haklı göstermeye çalışan diğer bir gerekçe olarak doğrusal olmayan zaman serisi modellerinin tahmininde karşılaşılan hesaplama güçlükleri gösterilmekte ancak gelişen bilgisayar teknolojisi ve yazılım olanakları bu gerekçenin de rafa kalkmasını sağlamaktadır. Şimdi basit bir simülasyonla gerçekte doğrusal olmayan veri meydana getirme süreci izleyen bir serinin dinamik davranışlarını açıklamakta doğrusal modelin nasıl yanıltıcı sonuçlar üretebileceği bir örnek üzerinden gösterilmeye çalışılacaktır (Karaduman, 2007: 6-7):

Öncelikle  $Y_t$  adlı bir seriyi oluşturmak için normal dağılım izleyen (ortalaması “sıfır” ve varyansı “bir” ) rassal değişken oluşturulmuştur ( $t=350$ ). Daha sonra bu rassal değişken kullanılarak yukarıdaki veri meydana getirme süreci simüle edilmiştir. Simülasyonun başlangıcında  $Y_{t-1}$  ve  $Y_{t-2}$  “sıfır” kabul edilmiştir. Simülasyonu başlatma (initialization) etkisinden arındırmak için ilk 100 gözlem dışlanmıştır.  $Y_t$  serisinin izlediği veri oluşturma süreci aşağıdaki gibi iken;

$$Y_t = 0,5 + 0,3 Y_{t-1} + 0,1 Y_{t-2} + (0,5 - 0,3Y_{t-1} - 0,1 Y_{t-2}) (1 + (\exp (-Y_{t-1}))^{-1})$$

Bu veri meydana getirme sürecinde  $(1 + (\exp (-Y_{t-1}))$  fonksiyonu sıfır ve bir değerleriyle sınırlı lojistik (logistic) bir fonksiyondur ve lojistik fonksiyon “sıfır” değerini aldığı anda  $Y_t$ , AR(2) süreci izlemektedir. Ancak fonksiyon “bir” değerini alırsa,  $Y_t$  rassal yürüyüş sürecini izlemekte yani fonksiyonun aldığı değere göre farklı davranan doğrusal olmayan karakterli bir seri ortaya çıkmaktadır.  $Y_t$  serisi AR(2) veri oluşturma sürecini takip ettiği kabulüyle modellenirse aşağıdaki regresyona ulaşılmaktadır.

$$Y_t = 0.63 + 0.01 Y_{t-1} + 0.11 Y_{t-2} + \varepsilon_t$$

“ $\tau$ ” istatistiği (8.00) (0.16) (-1.66)

Yukarıdaki AR(2) modeli tanılama testlerine göre yeterli görünmektedir. Ancak doğrusal AR(2) süreci gerçek veri üretim sürecini yakalayamamakta ve rejimleri ayırt edememesinden dolayı yanıltıcı sonuçlar vermektedir (Karaduman, 2007: 7).

### **1.2.5. Rassal Yürüyüş (Random Walk) Süreci**

Eşitlik (11)’de gösterilen “Rassal Yürüyüş” süreçte en son gerçekleşmekte ve bütün gelecek değerlerin en iyi tahmincisi olarak kabul edilmektedir.

$$Y_t = Y_{t-1} + e_t, \quad (11)$$

$e_t$ : Saf hata terimidir. (WN)

Gerektiğinde bu modele sabit terim de eklenebilmektedir. Bir önceki döneme ait serinin farkı alındığında da, süreç “Saf Hata Terimine” (WN) dönüşmektedir. Random Walk süreçlerin rassal bir trend içerdikleri varsayılır ve serinin farkı alındığında bu trendin yok olmasından dolayı, Random Walk süreçler fark durağan olarak da adlandırılmaktadır. Eğer zamana bağlı bir trend oluşumu mevcutsa bu durumda deterministik trend modelleri seçilmektedir.

### 1.2.6. Finansta Doğrusal-Dışı Modelleme ve Finansal Verilerin Özellikleri

Ekonometri alanında kullanılan ve eşitlik (12)'de gösterilen yapısal modeller genellikle "parametrelerde doğrusal" modeller iken bu yapısal modellerin çok değişkenli analizlerde kullanılmaya elverişli gösterimi ise eşitlik (13)'te yer almaktadır. (Mazıbaşı, 2005: 3).

$$Y = \beta_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + u \quad (12)$$

$$Y = X\beta + u \quad (13)$$

Doğrusal modellerde genellikle hata terimlerinin ( $u$ ), sıfır ortalamaya ve sabit varyansa sahip ( $\sigma^2$ ) normal dağılım özelliği taşıdığı (14) varsayılmaktadır.

$$u_t \approx N(0, \sigma^2) \quad (14)$$

Doğrusal modellerin tahmin edilmesi hususunda oldukça önemli mesafeler kat edilmekte, bu alanda matematiksel olarak güvenilir-güçlü (robust) tahminciler geliştirilmektedir. Ancak, finansal değişkenler arasındaki ilişkilerin birçoğunun doğrusal olmayan özellikler göstermesi doğrusal modellerin finanstaki kullanım alanını daraltmaktadır (Mazıbaşı, 2005: 4).

Campbell vd. (1997), doğrusal olmayan veri üretme süreci ile ilgili olarak, bir serinin bugünkü değerinin doğrusal olmayan bir şekilde hata terimlerinin bugünkü ve geçmiş değerleri ile bağlantılı olduğunu ifade etmektedirler.

$$Y_t = f(u_t, u_{t-1}, u_{t-2}, \dots) \quad (15)$$

Eşitlik (15)'te,  $u_t$  hata terimi bağımsız ve özdeş dağılıma sahip olma (iid= Independent and Identically Distributed: Birbirinden Bağımsız ve Özdeş Dağılan) özelliği göstermekte ve  $f$  ise doğrusal olmayan bir fonksiyonu ifade etmektedir. Campbell vd. (1997) çalışmalarında, doğrusal olmayan bir modelin daha kullanışlı ve daha spesifik bir tanımı eşitlik (16)'daki gibi gösterilmektedir:

$$Y_t = g(u_t, u_{t-1}, u_{t-2}, \dots) + u_t \sigma^2(u_t, u_{t-1}, u_{t-2}, \dots) \quad (16)$$

Eşitlik (16)'ya göre,  $g$  fonksiyonu yalnızca hata teriminin gecikmeli değerlerinin bir fonksiyonudur. Varyans ( $\sigma^2$ ) ise hata teriminin cari dönemdeki değeri ile çarpıldığından varyans terimi olarak ifade edilmektedir. Bu durumda Campbell vd. (1997)'e göre fonksiyon  $g(u_t, u_{t-1}, u_{t-2}, \dots)$  "ortalamada doğrusal olmayan" (non-linear in mean) ve  $\sigma^2(u_t, u_{t-1}, u_{t-2}, \dots)$  ise "varyansta doğrusal olmayan" (non-linear in variance) fonksiyon olarak nitelendirilmektedir.

İktisadi ve finansal uygulamalarda kullanılan modeller doğrusal olup olmadıklarına göre başlıca üç grupta incelenmektedir (Mazıbaşı, 2005: 4):

- 1- Ortalamada ve varyansta doğrusal modeller (linear in mean and variance): Klasik En Küçük Kareler (KEKK) modelleri, ARMA modelleri.
- 2- Ortalamada doğrusal-varyansta doğrusal olmayan modeller: GARCH modelleri.
- 3- Ortalamada ve varyansta doğrusal olmayan modeller: GARCH Hatalı Eşikli Hibrit modeller (Hybrid Threshold Models with GARCH Errors).

Mazıbaş (2005) finans alanında en çok kullanılan modelleri ortalamada doğrusal-varyansta doğrusal olmayan ARCH-GARCH modelleri ve türevleri ile değişim (switching) modelleri olarak görmektedir. Varyansta doğrusal olmayan ARCH tipi modellerin ekonomi, ekonometri ve finans gibi alanlarda kullanımının çok yaygın olmasının sebebi modellerin alandaki verilere uygun olması, bir başka deyişle, bu tip verilerin sahip oldukları bazı özelliklerden ötürü ARCH modelleri ile temsil edilmesinin uygun olması olarak açıklanmaktadır. ARCH tipi modeller kullanılarak yapılan çalışmaların literatürü incelendiğinde, bunların en çok hisse senedi getirileri (veya endeks), enflasyon ve döviz kurları üzerinde yoğunlaştıkları görülmektedir. Bu tür verilerin ARCH tipi modeller için uygun olan özellikleri Aşırı Basıklık, Normal Olmayan Dağılım, Volatilite Kümelenmesi ve Kaldıraç Etkisi olarak sıralanmaktadır.

### **1.2.7. Genel Doğrusal-Dışılık Testleri**

Doğrusal olmayan modeller kurmaya başlamadan analizcinin ilk olarak doğrusallığı test etmesi gerekmektedir. Doğrusal olmayan model, gerçekten doğrusal modelden üstünse kullanılması uygun görülmektedir. Doğrusal olmayan (non-linear) birçok yapı vardır ve bu sebepten ötürü, doğrusallığı (linear) test edebilmek için çeşitli testler geliştirilmektedir.

Bir serinin doğrusal olup olmadığının test edilerek anlaşılması nispeten daha kolay olarak nitelendirilmektedir. Burada çözümü zor olan, eğer seri doğrusal değilse hangi doğrusal olmayan yapının tercih edileceği sorunu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Unutulmaması gereken diğer bir nokta; doğrusal-dışı bir yapıya, doğrusal bir model kurulmak istendiğinde, olması gerekenden fazla sayıda parametre kullanılması gerekmektedir. Ancak bu durumda da belirleme hatası yapılmış olduğu kabul edilmektedir (Kurtuluş, 2008: 14).

Doğrusal dışılık testleri, genel olarak, parametrik ve parametrik olmayan olmak üzere, ikiye ayrılmaktadır (Tsay, 2002: 152). Ayrıca doğrusal dışılığı, alternatif bir model önermeden ele alan Portmanteau Testleri ve belli bir alternatif modele göre düzenlenmiş testler olarak da ikiye ayırmak mümkün gözükmemektedir (Fan ve Yao, 2003: 134).

Doğrusallık hipotezini genel olarak sınanan ve doğrusal dışılığı tespit etmeyi amaçlayan testlerden bazıları BDS (Brock, Dechert ve Scheinkman) Testi, McLeod-Li Testi, RESET Testi, Tsay'in F Testi, Doğrusallık Bispektral Testi, Lagrange Çarpanı Testleri, Tsay'in Yeni F (genel doğrusal olmama) Testi, Keenan Portmanteau Testi, Davies ve Petruccelli'nin Portmanteau Testi vb. olarak literatürde izlenmektedir.

### **1.2.8. Literatür Özeti**

Geçmişten beri menkul kıymetlerin getirilerinin dağılımının Rassal Yürüyüş Modeli olarak da bilinen doğrusal tesadüfi bir süreç izlediği varsayılmaktadır (Jirasakuldech & Emekter, 2011:8).

Aralarında Brock, Dechert, ve Scheinkman (1996), Brock, Hsieh, ve LeBaron (1991), Hsieh (1991), Willey (1992), Duett, Hershberger, ve Pveey (1994), ve Peters (1991; 1992) gibi birkaç ismin yer aldığı, finansal varlıkların getirilerinin yapısının doğrusal olmayan dinamiklerle aynı nitelikte olduğunu ortaya koyan ve hisse senedi getirilerinin davranışlarını modellemede Rassal Yürüyüş modelinin uygun bir model olmayabileceğini düşündüren pek çok çalışma yapıldığı izlenmektedir.

Doğrusal-dışılık literatüründe pek çok zaman Brock-Dechert-Scheinkman (BDS) testi (1996), döviz kurları dahil birçok finansal zaman serisinde doğrusal-dışı bağımlılığı ortaya çıkarmak

için yoğun olarak kullanılmaktadır. Örneğin, DeGrauwe vd. (1993), Brooks (1996), Mahajan ve Wagner (1999).

Brockett, Hinich ve Patterson (1988), hangi zaman serilerinin gerçekten doğrusal süreçler olduğunu ve hangi zaman serilerinin doğrusal zaman serileri modellenmesi için uygun olmadığını belirlemek için istatistikî teknikler sunmaya çalışmışlardır. Bir zaman serisi örneğinin, gözlemlerin doğrusal bir süreçle meydana geldiğine dair hipotezle tutarlı olup olmadığını test etmek için, 10 farklı adi hisse senedinden oluşan günlük zaman serisine “Bispektral Gaussianity” ve doğrusallık testlerini uygulamışlardır. Testlerin sonuçları, günlük getirilerin doğrusal olmayan rassal sürecin ürünü olduğu yönündedir.

Savit (1989) çalışmasında, tahmin hatalarının katlanarak büyümesinden dolayı, finansal varlıkların getirilerinin dağılımlarının doğrusal olmayan deterministik bir kaos tarafından yönetiliyor olabileceğini belirtmiştir. (Kaos, rassal görünümlü fakat özünde deterministik doğrusal-dışı bir süreçtir)

Hsieh (1991), BDS testini Standart & Poors 500 endeksinin getirilerine (temettü hariç) uygulamıştır. 1962–1989 arasındaki haftalık getiriler, 1983-1989 arasındaki aylık getiriler ve 1988 yılındaki 15 dakikalık getiriler yaklaşık olarak birbirine eşit örneklerle bölünmüştür. Sonuçta haftalık, günlük ve 15 dakikalık getirilerin, bağımsız olmadığı, doğrusal olmayan dinamik bir yol izlediği gösterilmiş ve borsanın düşük karmaşık kaotik dinamikler tarafından yönetildiği hipoteziyle tamamen tutarlı bir takım destekleyici kanıtlar bulunmuştur.

Abhyankar, Copeland ve Wong (1995), 1993 yılında UK FTSE-100 (London Stock Exchange) endeksindeki yaklaşık 60,000 adet, dakika dakika anlık getirilerden oluşan, altı aylık bir örneklem kullanarak, doğrusal olmayan bağımlılık ve kaosu varlığını anlık getirilerde test etmişlerdir. Önce “Hinich Bispektral” doğrusallık testi ve BDS testini, daha sonra kaosu test etmek için Nychka vd. ve Lyapunov Üssü’nün yapay sinir ağı yaklaşımını kullanmışlardır. Çalışmanın sonuçları, yüksek frekanslı FTSE getirilerinde doğrusal olmayan bağımlılığın varlığını açıkça göstermektedir. Ancak getirilerin düşük boyutlu bir kaotik süreç niteliğinde olduğu şeklindeki görüşünü destekleyecek çok az delil bulmuşlardır.

Barkoulas ve Travlos (1998), Atina Menkul Kıymetler Borsası’nın hisse senedi getirilerinde deterministik doğrusal-dışı bir yapının varlığını araştırmışlardır. Bu analizde, Atina Menkul Kıymetler Borsası’nda (ASE30) 1988-1990 döneminde satılabilirliği en yüksek 30 hisse senedinden oluşan bir değer-ağırlıklı endeksin kapanış fiyatlarını esas alan Yunan günlük hisse senedi getirileri kullanılarak Korelasyon Boyutu ve Kolmogorov Entropisi kuramlarından faydalanılmıştır. Sonuç olarak; Yunan menkul kıymet getirilerinin davranışının, doğrusal-dışı stokastik bir süreçle tutarlı olabileceğini tespit etmişler ancak kaosu destekleyici nitelikte daha güçlü bir kanıt elde edememişlerdir.

Bozdağ (1998), çalışmasında “BIST endeksinde doğrusal-dışılık olup olmadığını kanıtlamak için “Korelasyon Boyutu” testini uygulamış ve endekslerdeki doğrusal dışılığın kaotik davranışlar gösterip göstermediğini kanıtlamak için “Lyapunov Üssü” testini uygulamıştır. Vardığı sonuçlar; rassal yürüyüş kuramının özel menkul kıymetlerin neredeyse %50’si için geçerli olmadığı ve uzun dönemli hafızaya sahip olduğu; BIST bileşik endeksi ve bireysel hisse senetlerinin stokastik bir davranış göstermediği ve tüm zaman serilerinin deterministik olduğu şeklindedir. Tüm hisse senetlerinin Lyapunov Üsleri pozitiftir. BIST bileşik endeksinin kaotik davranış gösterdiğini ve düşük boyutlu doğrusal olmayan modellerle modellenebileceğini kanıtlamıştır. Son olarak; Rassal Yürüyüş varsayımına dayanan tekniklerin hisse senetlerinin davranışını açıklamada yetersiz kalacağını iddia etmiştir.

Ammermann ve Patterson (2001), dünya çapında altı farklı borsada (New York Dow Jones Industrial Average (DJIA), Tayvan Borsası Ağırlıklı-Hisse Senedi Endeksi (TAIAX), Tokyo Borsası NIKKEI 225 Menkul Kıymetler Bileşik Endeksi, Hong Kong Borsası HANG-SENG Endeksi, Singapur Borsası Singapur Straits Times Industrials Endeksi ve Londra Menkul Kıymetler Endeksi), borsa endekslerinin günlük kapanış değerlerini test etmek amacıyla “Hinich İki Yönlü Spektrumu” ve “Hinich Patterson İstatistiği” kullanırlar. Her bir endeks için Ocak 1982’den Şubat 1993’e kadar gözlemler alınmıştır. Getiri oranları, alım-satım günleri arasında kapanış değerlerindeki logaritmik farklar göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Bütün endeksler ve menkul kıymetler için doğrusal-dışılık durumu gözlemlenmiştir.

Kosfeld ve Robe (2001), 1987 Mart ayının üçüncü haftası ile 1998 Şubat ayının ikinci haftası arasında bankaların hafta ortasındaki getirilerini hesapladıkları çalışmalarında, Almanya’da bulunan sekiz bankanın hisse senedi getirilerinin doğrusallık testini yapmışlar, BDS testi sonuçlarına göre bir bağımlılık tespit etmişler ve getirilerin doğrusal olmadığını göstermişlerdir.

Chu (2003), kaos kuramından çeşitli testleri kullanarak, Shanghai Menkul Kıymetler Endeksi ve Shenzhen Menkul Kıymetler Endeksi’nin günlük getiri verilerinde, kaotik, doğrusal-dışı ve rassal olmayan özelliklerin bulunup bulunmadığını araştırmıştır. R/S analizindeki Hurst Üssü Testi, endeks getiri serilerinin rassal, bağımsız ve özdeş dağıldığı hipotezini reddetmektedir. BDS testi, doğrusal-dışılığa ilişkin kanıt sunarken, tahmini korelasyon boyutları, deterministik kaotik davranışlar için kanıt sunmaktadır.

Appaih-Kusi & Menyah (2003), Antoniou vd. (1997), Willey (1992)’ in de aralarında bulunduğu ve hisse senedi endekslerinin fiyat davranışlarını inceleyen çeşitli çalışmalarda, hisse senetlerinin getiri dinamiklerinin çok karmaşık bir yapı sergilediği ve basit doğrusal stokastik bir model ya da Rassal Yürüyüş modeliyle açıklanamayacağı iddia edilmiştir.

Aygören (2008), BIST’nin fraktal analizini yaptığı çalışmasında, finansal piyasaların fraktal yapıya sahip olmalarının, finansal piyasaların doğrusal olmayan (nonlinear) sistemler olduğunun bir göstergesi olabileceğini, bu durumda Etkin Piyasalar Hipotezi’nin sorgulanır bir hal alacağını belirtmiştir. Çalışma sonucunda, yatırımcıların BIST’de yatırım yaparken daha doğru karar verebilmeleri için risk değerlemelerinde fraktal analizi bir alternatif olarak düşünebileceklerini ileri sürmüştür.

Lim vd. (2008), yükselen Asya piyasalarının menkul kıymetler borsalarında doğrusal-dışı bağımlılığı ve zayıf formda etkinliği “Hinich Bikorelasyon” Testi kullanarak test etmişler ve bütün serilerde güçlü doğrusal-dışı bağımlılık tespit etmişlerdir.

Beine vd. (2008), Fransız, Alman, Japon, İngiltere ve ABD borsalarında 1973-2003 yılları arasındaki günlük endeks getirilerini kullanarak, bu piyasalarda doğrusal-dışılığın varlığını FIGARCH modeli ile kanıtlamışlardır.

Özer ve Ertokatlı (2010), BIST’da tüm getiri endekslerini kullanarak doğrusal-dışılığı ve kaos teorisini BDS, Hinich Bispectral, Lyapunov Üssü ve NEGM testleri ile test etmişlerdir. Sonuçta doğrusal-dışılığı tespit ederek, BIST’deki endeks serilerinin Rassal Yürüyüş göstermediğini, normal dağılıma uygun olmadığını ve Etkin Piyasa Hipotezini reddettiğini ortaya koymuşlardır.

Özkaya ve Özkaya (2012), BIST’ da 1990 ve 2009 yılları arasındaki günlük getirileri kullanarak yaptıkları çalışmalarında, birim kök testi için ADF, PP ve KPSS testlerini Maksimum Lyapunov Üssü derecesini hesaplayabilmek için Kantz Algoritmasını

kullanmışlar, çalışmanın sonucunda BIST 100 endeksinde doğrusal olmayan yapıyı ve kaosu tespit etmişlerdir.

## **2. BIST 100 (XU100) Endeksi'nin Doğrusal-Dışı Yapılarının Analizi**

Bu bölümde İstanbul Menkul Kıymetler Borsası BIST XU100 endeksinin fiyat verileri kullanılarak, çeşitli istatistiksel ve ekonometrik analizler yapılacaktır. Elde edilen sonuçlara göre BIST'nin doğrusal-dışı dinamikleri ortaya konulmaya çalışılacak ve bu bağlamda Türkiye hisse senetleri piyasasında Rassal Yürüyüş modelinin geçerliliği test edilerek, piyasa etkinliği hususunda görüş oluşturulmaya çalışılacaktır.

### **2.1. Veri Seti ve Araştırma Yöntemi**

Çalışmada EViews 5.1 paket programı kullanılarak, BIST XU100 endeksinin ikinci seans gün sonu kapanış fiyatı verileri istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Borsa İstanbul'dan elde edilen veriler 4 Ocak 1988–20 Temmuz 2011 dönemini kapsamaktadır. BIST XU100 endeksi piyasayı en çok temsil eden ve en çok takip edilen endeks olarak görüldüğü için tercih edilmiştir. Türkiye Sermaye Piyasaları Aracı Kuruluşları Birliği'nin raporuna göre BIST-100 şirketleri ve halka açık piyasa değeri en yüksek 100 şirket, halka açık piyasa değerinin yaklaşık %88'i ile %93,4'ünü temsil etmektedir (<http://www.tspakb.org.tr>).

Çalışmada kullanılan başlıca istatistiksel ve ekonometrik analiz yöntemleri; normalite testleri, birim kök testleri, otokorelasyon testleri, ARMA modeli, ARCH-GARCH modeli ve BDS doğrusallık testidir. Yararlanılan testler literatürde, zaman serisinin özelliklerinin ortaya konulmasında, modellemelerde ve doğrusal-dışılığın tespit edilmesinde kullanılmaktadır.

Fiyat endekslerinden alınan günlük kapanış verilerinin önce logaritmik getirileri hesaplanmıştır. Logaritmik getirilerin tercih edilmesinin nedeni aşırı uç değerlerin olumsuz etkilerinden kaçınma isteğidir. Yine bu sayede enflasyonun getiriler üzerinde meydana getirdiği şişkinliğin giderilerek, serinin normal dağılıma yakınsatılabileceği düşünülmüştür.

Bunun için;

$$r_t = 100 * \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right)$$

(17)

formülü kullanılmıştır. Burada

$r_t$  = Günlük getiri,

$P_t$  = Endeksin gün sonu kapanış rakamı,

$P_{t-1}$  = Endeksin bir önceki gün sonu kapanış rakamı, olarak ifade edilmiştir.

Çalışmanın temel hipotezleri;

**H<sub>11</sub>**: BIST XU100 Endeksi fiyat hareketleri doğrusal bir yapıda hareket etmektedir.

**H<sub>12</sub>**: BIST XU100 Endeksi fiyat hareketleri doğrusal-dışı bir yapıda hareket etmektedir.

**H<sub>21</sub>**: BIST XU100 Endeksi serisinde doğrusal olmayan (non-linear) yapılar (varsa) ARCH (Autoregressive Conditional Heteroskedasticity) etkisinden kaynaklanmaktadır.

$H_{22}$ : BIST XU100 Endeksi serisinde doğrusal olmayan (non-linear) yapılar (varsa) ARCH (Autoregressive Conditional Heteroskedasticity) dışında başka bir nedenden kaynaklanmaktadır.

şeklindedir.

## 2.2. Ampirik Bulgular

Çalışmanın bu bölümünde, analiz kapsamındaki testler, belirlenen dönem için tek tek BIST XU100 endeksi logaritmik getiri serisine uygulanarak, endeksin doğrusal-dışı dinamikleri ortaya çıkarılmaya çalışılacaktır.

### 2.2.1. Normalite Test Sonuçları (1988-2011)

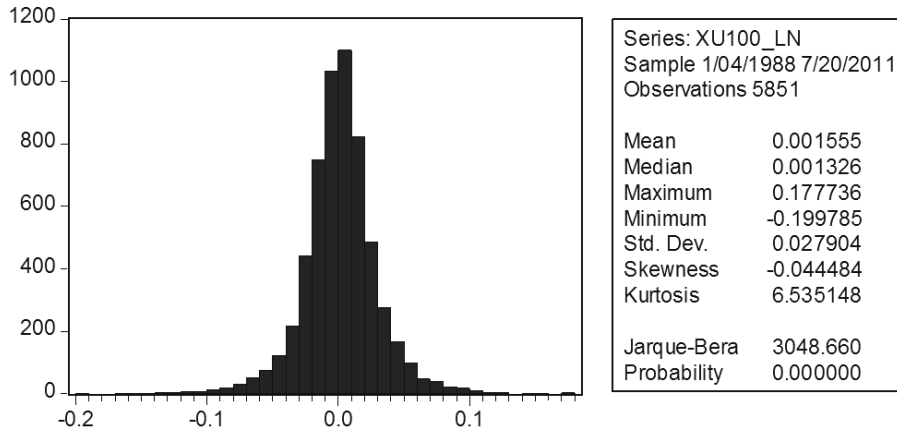
Grafik 1 incelendiğinde BIST XU100 Endeksi günlük kapanış rakamlarından elde edilerek oluşturulan logaritmik getiri serisinin (XU100\_LN) ortalamasının yani günlük getirisinin 0,001555 olduğu, maksimum %17,7736 ile minimum -%19,9785 arasında değişim göstererek yatırımcısına kazandırdığı ve kaybettiği aralık görülmektedir. Aynı zamanda serinin standart sapmasının, yani riskinin ise %2,7904 olarak hesaplandığı grafikte yer almaktadır.

XU100 endeksinin 5852 gözlemden oluşan zaman serisi verilerine normalite testleri uygulanarak seriye ait hata terimleri olan  $u_t$ 'lerin normal dağılıp dağılmadıkları Jarque-Bera istatistikleri yardımıyla ortaya konulmaya çalışılmıştır. Çünkü bu tür bir zaman serisinde rassal yürüyüş serisine ait hata terimi olan  $u_t$ 'nin normal dağıldığı varsayılmaktadır.

Serinin çarpıklık ölçüsü Skewness değeri “-0,044484” gibi negatif bir değer olarak, hafif sola yatık fakat simetriye uygun bir görüntüdedir. Basıklığı ifade eden Kurtosis değeri ise “6,535148” gibi bir değer almış ve bu değerinde referans değer olan 3'ün üzerinde yer almasından dolayı serinin dağılımının sivri bir görünümde olduğu gözlemlenmiştir.

Üzerinde çalışılan XU100 serisi için Jarque-Bera test istatistiğinin sonucu “3048,660” gibi yüksek bir değer çıkmış ve bu çıkan sonuç ki-kare tablosunda serbestlik derecesi 2 için, %1 anlamlılık düzeyinde, olması gereken “9,21034” rakamı ile karşılaştırılmıştır. Buradan, XU100 logaritmik getiri serisinin Jarque-Bera testi istatistik değeri ki-kare tablosundaki değerden büyük olduğu için, ilgili serinin normal dağılmadığı sonucuna varılmıştır.

Elde edilen bu sonuçlara göre BIST XU100 endeksi logaritmik getirilerinin serisine ait hata terimlerinin normal dağılmadığı dolayısıyla rassal olmadıkları sonucu ortaya çıkarılmıştır.

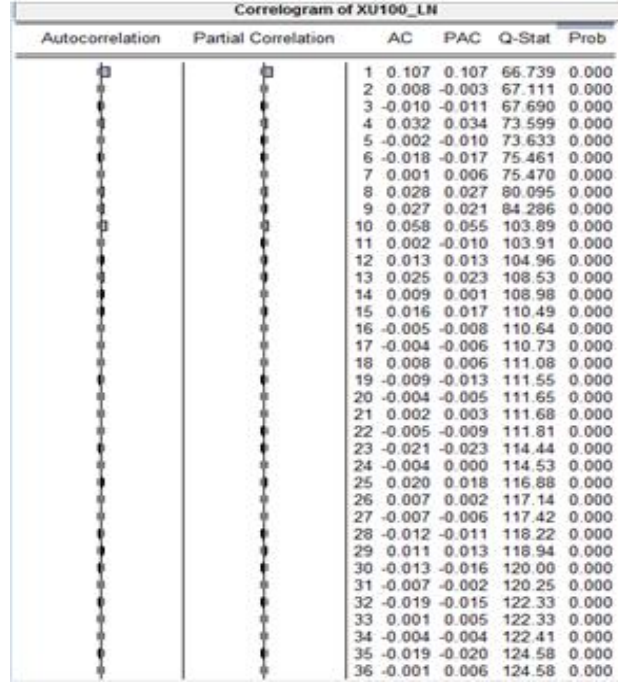


Grafik 1: XU100 Endeksi Dağılım Grafiği (1988-2011)

Grafik 1’de XU100 log-getiri serisinin, normal dağılıma göre sivri olduğu görülmektedir.

### 2.2.2. Otokorelasyon ve Korelogram Test Sonuçları (1988-2011)

Bu bölümde 1988-2011 dönemine ait XU100 Endeksi logaritmik getirilerine ait korelogram grafikleri incelenerek, otokorelasyon (ACF) ve kısmi otokorelasyon (PACF) fonksiyonları ele alınacaktır. Grafik 3’te ilgili serinin 36 gecikme için korelogram grafiği yer almaktadır.



Grafik 2: XU100 Endeksi Korelogram Grafiği (1988-2011)

Grafik 2’de XU100 serisinin korelogramının otokorelasyon AC ve kısmi otokorelasyon PAC değerleri incelendiğinde, ilgili değerlerin birinci gecikmeden itibaren 4, 8, 9 ve 10. gecikmelerinde otokorelasyonun varlığı tespit edilmiştir. Diğer gecikmelerin %95 güven aralığında  $\pm 1,96/76,49 = \pm 0,0256$  kritik sınırları içinde yer aldığı yine grafikten izlenmektedir. Seriyeye ait daha yüksek gecikmeli (60, 72, 100, 250) korelogram grafikleri de ayrıca incelenmiş ve aynı sonuçlar teyit edilmiştir.

### 2.2.3. Durağanlık Analizi İçin Birim Kök Testi Sonuçları (1988-2011)

Bu bölümde oluşturulan XU100 logaritmik getiri endeksi serisine ait birim kök testlerinin sonuçları yer almaktadır:

Tablo 1: XU100 ADF Testi İstatistikleri (1988-2011)

Sıfır Hipotezi: XU100\_LN birim kök içermektedir. Egzojen: Sabit  
Gecikme Uzunluğu: 0 (SIC, MAKS. GEC.=33)

	t-İstatistiği	P.*
Augmented Dickey-Fuller test istatistiği	-68.70401	0.0001
Test kritik değerleri:		
%1 seviye	-3.431288	
%5 seviye	-2.861839	
%10 seviye	-2.566972	



\*MacKinnon (1996) tek taraflı p-değerleri.

Tablo 1'e göre serinin Augmented Dickey-Fuller ADF testi t istatistiği -68,70401 olarak hesaplanmıştır. Bu değer %1, %5, %10 anlamlılık seviyelerinde mutlak değer olarak kritik değerlerden (-3,431288, 2,861839, -2,566972) büyük olduğu için, serinin birim kök içermediğine karar verilmektedir. Bir başka deyişle çalışılan XU100 serisi durağandır. Serinin birim kök içerip içermediği, yine Augmented Dickey-Fuller ADF testi gibi literatürdeki birçok uygulamada kullanıldığı görülen Philips-Peron PP testi ile teyit edilmiştir.

#### 2.2.4. BDS Testi Sonuçları (1988-2011)

Bu bölümde XU100 logaritmik getiri serisine BDS testi uygulanarak, seride bir bağımlılığın olup olmadığı ortaya çıkarılmaya çalışılacaktır. Brock vd. (1993)'e göre, BDS testinde  $\epsilon$  değeri (daha önce "l" mesafe değeri olarak ta bahsedilmişti) çalışılan serinin standart sapmasının 0,5 - 1 ve 1,5 katları alınarak belirlenmektedir. Sonuçlar Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2: XU100 BDS Testi İstatistikleri (1988-2011)

(Standart Sapma= 0,027904) \* 0,5= 0,013952 için;

BDS Testi XU100\_LN  
Örnekleme: 1/04/1988 7/20/2011  
Gözlem Sayısı: 5852

Boyut	BDS İstatistiği	Std. Hata	z-İstatistiği	P.
2	2.27E-05	1.35E-06	16.75048	0.0000
3	1.07E-06	4.39E-08	24.46203	0.0000
4	2.04E-08	1.07E-09	19.06384	0.0000
5	-5.31E-10	2.29E-11	-23.24074	0.0000
6	-7.42E-12	4.53E-13	-16.37529	0.0000

(Standart Sapma= 0,027904) \* 1= 0,027904 için;

Boyut	BDS İstatistiği	Std. Hata	z-İstatistiği	P.
2	9.23E-05	5.31E-06	17.36010	0.0000
3	5.12E-06	3.44E-07	14.88100	0.0000
4	2.00E-07	1.67E-08	11.95235	0.0000
5	-1.73E-08	7.13E-10	-24.32502	0.0000
6	-4.86E-10	2.82E-11	-17.25735	0.0000

(Standart Sapma= 0,027904) \* 1,5= 0,041856 için;

Boyut	BDS İstatistiği	Std. Hata	z-İstatistiği	P.
2	0.000218	1.20E-05	18.21347	0.0000
3	2.89E-05	1.17E-06	24.77382	0.0000
4	2.21E-06	8.56E-08	25.85067	0.0000
5	3.90E-08	5.50E-09	7.079483	0.0000
6	-5.78E-09	3.28E-10	-17.64714	0.0000

Tablo 2 'de yer alan BDS test istatistiği sonuçlarına göre; çalışılan seride bağımlılık olduğu anlaşılmaktadır. Bu sonuca tablonun son sütununda yer alan "p" değerlerine bakılarak karar verilmektedir. Son sütun "p" değerleri 0,01'den küçükse, %1 hata düzeyinde, "Serilerde Bağımlılık Yoktur" temel hipotezi reddedilmekte ve "Serilerde Bağımlılık Vardır" alternatif hipotezi kabul edilmektedir. Tablodan izlendiği üzere "p" değerleri 0,01'den küçüktür ve çalışılan seride bağımlılık vardır.

#### 2.2.5. ARMA Süreci Sonuçları (1988-2011)

Şimdi XU100 logaritmik getiri serisinde tespit edilen bağımlılığın ARMA modeli ile açıklanıp açıklanamayacağı test edilecektir. Bunun için önce seriye en uygun ARMA modelini belirlemek gerekmektedir. Serinin Grafik 3'te yer alan korelogram grafiğinden de yararlanılarak çeşitli alternatif ARMA süreçleri tekli ve çoklu regresyonlar kullanılarak denenmiştir. Denenen ARMA modelleri, öncelikle t istatistiklerinin kritik değer 1,96'dan büyük olmasına yani katsayıların anlamlı olmasına göre seçilmiştir.

**Tablo 3: ARMA (1,10) Süreci İstatistikleri**

Bağımlı Değişken: XU100\_LN  
 Metot: En Küçük Kareler  
 Örneklem (düzeltilmiş): 1/06/1988 7/20/2011  
 Gözlem Sayısı: 5850 düzeltmelerden sonra  
 Yakınsama 4 iterasyon sonra sağlandı  
 Geri Dönük Tahmin: 12/23/1987 1/05/1988

Değişken	Katsayı	Std. Hata	t-İstatistiği	P.
C	0.001552	0.000428	3.625755	0.0003
AR(1)	0.105830	0.013007	8.136458	0.0000
MA(10)	0.056422	0.013061	4.319867	0.0000
R-kare	0.014510	Ortalama bağımlı değişk.		0.001551
Düzeltilmiş R-kare	0.014173	S.D. bağımlı değişken		0.027905
S.H. regresyon	0.027706	Akaike bilgi kriteri		-4.333788
SSR	4.488443	Schwarz kriteri		-4.330366
Log olabilirlik	12679.33	F-istatistiği		43.04374
Durbin-Watson ist.	1.998775	P(F-istatistiği)		0.000000

Tablo 5'te sonuçları yer alan ARMA (1,10) modelinin seriyi en iyi açıklayan ARMA süreci olduğuna; modelin F-istatistiğinin anlamlı olması, en düşük Akaike (AIC) ve Schwarz Bilgi Kriteri (SBC-SIC) değerlerine sahip olması, kalıntıların hata kareleri toplamının (SSR) küçük olması, Log olabilirliğinin (Log Likelihood) olabildiğince yüksek olması ile en yüksek R<sup>2</sup> (belirlenim katsayısı) değerine sahip olmasına bakılarak karar verilmiştir.

Correlogram of Residuals					
Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	0.001	0.001	0.0030		
2	-0.004	-0.004	0.1212		
3	-0.017	-0.017	1.7618	0.184	
4	0.034	0.034	8.7082	0.013	
5	-0.005	-0.005	8.8302	0.032	
6	-0.020	-0.020	11.066	0.026	
7	0.001	0.002	11.069	0.050	
8	0.026	0.024	14.992	0.020	
9	0.019	0.018	17.018	0.017	
10	0.001	0.003	17.026	0.030	
11	-0.011	-0.011	17.789	0.038	
12	0.011	0.010	18.508	0.047	
13	0.025	0.024	22.078	0.024	
14	0.004	0.005	22.163	0.036	
15	0.015	0.017	23.533	0.036	
16	-0.005	-0.006	23.674	0.050	
17	-0.004	-0.006	23.758	0.069	
18	0.009	0.009	24.225	0.085	
19	-0.011	-0.011	24.957	0.096	
20	-0.005	-0.005	25.128	0.121	
21	0.003	0.003	25.190	0.154	
22	-0.002	-0.005	25.221	0.193	
23	-0.022	-0.022	27.969	0.141	
24	-0.004	-0.003	28.076	0.173	
25	0.022	0.021	30.937	0.124	
26	0.006	0.005	31.149	0.150	
27	-0.007	-0.006	31.435	0.175	
28	-0.014	-0.014	32.565	0.175	
29	0.013	0.012	33.621	0.177	
30	-0.014	-0.015	34.787	0.176	
31	-0.003	-0.001	34.844	0.210	
32	-0.020	-0.017	37.184	0.172	
33	0.005	0.002	37.332	0.201	
34	-0.002	-0.003	37.355	0.236	
35	-0.020	-0.019	39.595	0.199	
36	0.003	0.006	39.646	0.233	

**Grafik 3:** ARMA(1,10) Süreci Korelogram Grafiği

Yukarıda Grafik 3'te çalışılan seri için belirlenen ARMA(1,10) modelinin 36 gecikmeli korelogram grafiği yer almaktadır.

Şimdi ARMA(1,10) modelinin kaydedilen kalıntılara tekrar BDS testi uygulanarak ilgili seride yer alan bağımlılığın devam edip etmediğinin araştırılması gerekmektedir.

**Tablo 4: ARMA(1,10) Süreci Kalıntılarının BDS Testi İstatistikleri**

(Standart Sapma= 0,027705) \* 0,5= 0,0138525 için;

BDS Testi RESIDARMA

Örnekleme: 1/04/1988 7/20/2011

Gözlem Sayısı: 5852

Boyut	BDS İstatistiği	Std. Hata	z-İstatistiği	P.
2	2.09E-05	1.35E-06	15.51474	0.0000
3	1.90E-07	4.35E-08	4.364494	0.0000
4	8.01E-08	1.06E-09	75.89516	0.0000
5	-5.18E-10	2.24E-11	-23.07413	0.0000
6	-7.19E-12	4.42E-13	-16.26312	0.0000

(Standart Sapma= 0, 027705) \* 1= 0,027705 için;

Boyut	BDS İstatistiği	Std. Hata	z-İstatistiği	P.
2	0.000101	5.22E-06	19.35469	0.0000
3	9.15E-06	3.35E-07	27.29020	0.0000
4	2.77E-07	1.62E-08	17.10752	0.0000
5	-1.68E-08	6.86E-10	-24.46867	0.0000
6	-4.68E-10	2.69E-11	-17.36358	0.0000

(Standart Sapma= 0, 027705) \* 1,5= 0,0415575 için;

Boyut	BDS İstatistiği	Std. Hata	z-İstatistiği	P.
2	0.000221	1.17E-05	18.86207	0.0000
3	3.17E-05	1.14E-06	27.90814	0.0000
4	2.22E-06	8.26E-08	26.89013	0.0000
5	-1.36E-08	5.26E-09	-2.576952	0.0100
6	-5.50E-09	3.11E-10	-17.69990	0.0000

Tablo 4 'te yer alan BDS test istatistiği sonuçlarına göre; ARMA(1,10) modeli uygulanan serinin kalıntılarında da (residuals) bağımlılık olduğu anlaşılmaktadır. Tabloda görüldüğü gibi "p" değerleri bir boyut haricinde tüm boyutlarda 0,01'den küçüktür ve çalışılan serideki bağımlılığın doğrusal olmayan bir bağımlılık olduğu ortaya konmuştur. Böylece çalışmanın  $H_{11}$  temel hipotezi reddedilecek ve alternatif  $H_{12}$  hipotezi kabul edilecektir.

### 2.2.6. GARCH Süreci Sonuçları (1988-2011)

Logaritması alınmış mevcut veri setinin kendi seviyesinde durağan olduğuna karar verildikten sonra, çalışılan BIST XU100 endeksi getiri serisinde ARCH etkisinin bulunup bulunmadığını test etmek amacıyla ARCH-LM (ARCH-Lagrange Multiple) testi uygulanmıştır. Ancak ARCH-LM testinin ilk adımı ortalama denkleme karar vermektir. Ortalama denklemin tespiti için 72. gecikmeye (lag) kadar bütün Box-Jenkins ARMA (Autoregressive Moving Average) modelleri denenerek en iyi açıklama gücüne sahip ARMA(1,10) modelinin ortalama denklem olarak kabul edildiği daha önce belirtilmişti. Buna göre XU100 logaritmik getiri serisi için kurulan bu denklemde ARCH etkisinin varlığı ARCH-LM testi ile araştırılarak test sonuçları Tablo 5'te gösterilmiştir.

**Tablo 5: ARCH-LM Testi Sonuçları (Model Belirlenmeden Önce)**

ARCH-LM Testi:

F-istatistiği	511.5722	P. F(1,5847)	0.000000
Göz.*R-kare	470.5751	P. Ki-Kare(1)	0.000000

ARCH etkisinin varlığını test etmek için Engle (1982) tarafından önerilen ARCH-LM testinden, tahmin edilen regresyonun (ARMA(1,10)) hatalarının karelerinin Göz.\*R<sup>2</sup> değeri 470.5751, F-istatistiğinin değeri 511.5722 bulunarak kritik değerden çok büyük oldukları ve bunların olasılık değerlerinin de 0,0 olduğu Tablo 5'te görülmektedir. Bu sonuçlardan açıkça, eşit varyanslılığı ifade eden sıfır hipotezinin reddedileceği söylenebilir. Engle (1982), ARCH-LM testinde,  $H_0: \beta_1=\beta_2=\dots=\beta_n=0$  boş hipotezinin reddedilmesinin ARCH etkisinin varlığını göstereceğini söylemektedir. Diğer bir deyişle, çalışılan seride ARCH etkisi vardır ve bu etki giderilmelidir.

ARCH etkisinin varlığı kabul edildikten sonra sıra uygun ARCH modeli tipi seçimine gelmiştir. Buna göre, ARMA(1,10) süreci ile birlikte çeşitli ARCH ve GARCH modelleri denenmiş, z istatistikleri 1,96'dan küçük olduğu için katsayıları uymayanlar elenmiştir.

Katsayıları uygun olanlar arasından korelogram, Log Olabilirlik, AIC, SBC ve R<sup>2</sup> kriterlerine bakılarak GARCH(3,1) modeli seçilmiştir. Ancak bu modelin de  $\alpha_2$  katsayısının istatistikî olarak anlamsız olmasından dolayı aşağıdaki Tablo 6'da sonuçları yer alan GARCH (0,2) modelinin yine aynı kriterler dikkate alınarak en uygun model olduğuna karar verilmiştir.

**Tablo 6: GARCH (0,2) Modeli İstatistikleri**

Bağımlı Değişken: XU100\_LN

Metot: ML - ARCH (Marquardt) - Normal dağılım

Örneklem (düzeltilmiş): 1/06/1988 7/20/2011

Gözlem Sayısı: 5850 düzeltmelerden sonra

Yakınsama 9 iterasyon sonra sağlandı

MA GD. Tahmin: 12/23/1987 1/05/1988, Varyans GD. Tahmin: AÇIK

GARCH = C(4) + C(5)\*RESID(-1)^2 + C(6)\*RESID(-2)^2

	Katsayı	Std. Hata	z-İstatistiği	P.
C	0.001653	0.000339	4.874552	0.0000
AR(1)	0.117437	0.012462	9.423774	0.0000
MA(10)	0.036631	0.008081	4.533196	0.0000
Varyans Denklemi				
C	0.000372	7.87E-06	47.32515	0.0000
RESID(-1)^2	0.267677	0.016908	15.83132	0.0000
RESID(-2)^2	0.285744	0.018991	15.04631	0.0000
R-kare	0.013990	Ortalama bağımlı değişk.		0.001551
Düzeltilmiş R-kare	0.013147	S.D. bağımlı değişken		0.027905
S.H.regresyonun	0.027721	Akaike bilgi kriteri		-4.496133
SSR	4.490809	Schwarz kriteri		-4.489288
Log olabilirlik	13157.19	F-istatistiği		16.58383
Durbin-Watson ist.	2.021306	P(F-istatistiği)		0.000000

Şimdi seriye tekrar ARCH-LM testi uygulanarak, serideki ARCH etkisinin giderilip giderilmediği kontrol edilmelidir. ARCH-LM testinin sonuçları Tablo 7'da gösterilmiştir.

Tablo 7: ARCH-LM Testi Sonuçları (Model Belirlendikten Sonra)

ARCH Testi:

F-istatistiği	0.552846	P. F(1,5847)	0.457187
Göz.*R-kare	0.552983	P. Ki-Kare(1)	0.457101

Tablo 7’de görüldüğü üzere ARCH-LM testi ile ARCH etkisinin kalktığı F-istatistiği değerinin kritik değerden küçük oluşuna ve “P (Prob.)” ile  $R^2$  değerlerine bakılarak gözlemlenmiştir.

Şimdi GARCH(0,2) modelinin kalıntıları (residuals) kaydedilerek bu kalıntılara tekrar BDS testinin uygulanması suretiyle ilgili seride bir bağımlılığın olup olmadığının anlaşılmasına çalışılacaktır.

Tablo 8: GARCH (0,2) Modeli Kalıntılarının BDS Testi İstatistikleri

(Standart Sapma= 0,027709) \* 0,5= 0,0138545 için;

BDS Testi RESIDGARCH

Örnekleme: 1/04/1988 7/20/2011

Gözlem Sayısı: 5852

Boyut	BDS İstatistiği	Std. Hata	z-İstatistiği	P.
2	2.26E-05	1.29E-06	17.53141	0.0000
3	-3.13E-07	4.14E-08	-7.570532	0.0000
4	-3.67E-08	9.99E-10	-36.74506	0.0000
5	-5.08E-10	2.11E-11	-24.00912	0.0000
6	-7.02E-12	4.14E-13	-16.93534	0.0000

(Standart Sapma= 0, 027709) \* 1= 0,027709 için;

Boyut	BDS İstatistiği	Std. Hata	z-İstatistiği	P.
2	0.000100	5.15E-06	19.46928	0.0000
3	7.32E-06	3.31E-07	22.13132	0.0000
4	2.77E-07	1.60E-08	17.38092	0.0000
5	-1.67E-08	6.75E-10	-24.74559	0.0000
6	-4.64E-10	2.64E-11	-17.56230	0.0000

(Standart Sapma= 0, 027709) \* 1,5= 0,0415635 için;

Boyut	BDS İstatistiği	Std. Hata	z-İstatistiği	P.
2	0.000226	1.17E-05	19.31255	0.0000
3	3.28E-05	1.13E-06	28.98448	0.0000
4	2.19E-06	8.24E-08	26.63056	0.0000
5	4.40E-08	5.25E-09	8.382757	0.0000
6	-5.53E-09	3.10E-10	-17.80851	0.0000

Tablo 8’de yer alan BDS test istatistiği sonuçlarına göre; GARCH(0,2) modelinin kalıntılarında (residuals) bağımlılığın olduğu anlaşılmaktadır. Tabloda görüldüğü gibi “p” değerleri bütün boyutlarda 0,01’den küçüktür ve seride bağımlılık vardır. Burada seride bağımlılık yoktur temel hipotezi bütün boyutların tamamında reddedildiği için seride bağımlılık vardır şeklindeki alternatif hipotez kabul edilmiştir.

Böylece BIST XU100 endeksinin 1988-2011 dönemine ait getiri serisi için seçilen en uygun ARMA ve GARCH modellerinin kalıntılarında da bir bağımlılığın olduğu ortaya çıkarılmıştır. Daha öncede belirtildiği gibi BDS testi ARMA süreci kalıntılarında bağımlılık bulduğundan, seride tespit edilen bu bağımlılığın doğrusal (linear) bir bağımlılık olmadığı anlaşılmaktadır.

O halde ilgili seride doğrusal-dışı bir bağımlılığın (non-linearity) BDS testi ile tespit edildiği tekrar hatırlanmalıdır.

Bu noktadan hareketle, BDS testi GARCH modeli kalıntılarında bağımlılık bulduğu için, tespit edilen bu doğrusal-dışı (nonlinear) bağımlılık ARCH türü doğrusal-dışı bir bağımlılık da değildir. Bu durumda bağımlılığın yapısal kırılma ile açıklanmaya çalışılabileceği, yada ARCH türü olmayan doğrusal-dışı (non-linear) bir bağımlılıktan, ilgili seride yer alması muhtemel olan spekülasyon veya kaostan ileri gelmekte olduğu öne sürülebilir.

Bu sonuçlardan sonra çalışmanın; bağımlılık serinin yapısındaki ARCH (Auto Regressive Conditional Heteroskedacity) etkisinden kaynaklanmaktadır şeklindeki  $H_{21}$  temel hipotezi reddedilecek, bağımlılık serinin yapısındaki ARCH etkisinden değil başka bir nedenden kaynaklanmaktadır şeklindeki  $H_{22}$  alternatif hipotezi ise kabul edilecektir.

BDS test istatistiğinin ARMA ve GARCH süreci sonrasındaki değerlerine bakıldığında doğrusal bir modellemeye göre doğrusal olmayan bir modellemenin daha iyi sonuç vereceği iddia edilebilir. Etkin Piyasa Teorisi düşünüldüğünde fiyatların tahmin edilemeyeceği, serinin değerlerinin birbirinden bağımsız doğrusal bir yapıda olduğu hipotezine karşın bu çalışma sonucunda bir bağımlılığın olduğu gösterilmektedir.

## **Sonuç**

İktisadi ve finansal verilerin analizinde kullanılan klasik ekonometrinin ana konularından bir tanesi hiç şüphesiz doğrusal regresyon analizi olarak karşımıza çıkmaktadır. Buna göre temel ekonometri doktrininde doğrusallık varsayımının sağlandığı kabul edilmekte ve bu varsayım altında ekonomik analizler gerçekleştirilmektedir. Fakat gerçek hayatta çeşitli piyasalardan elde edilen veriler analiz edildiğinde birçok verinin bu varsayımı doğrulamadığı görülmektedir. Sözü edilen bu durum sebebiyle doğrusal-dışı modellemelerin gelişimine ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda bu konuda çeşitli ilerlemeler gözlemlenmektedir.

Piyasaların hareketini açıklamaya çalışan Rassel Yürüyüş, Finansal Varlıkları Fiyatlama Modeli (CAPM) ve Arbitraj Fiyatlama Teorisi (APT) gibi popüler yaklaşımlar doğrusal modellerdir. Yani bu teoriler piyasaların doğrusal olduğu noktasından hareket eden yaklaşımlardır. Oysa yine literatür incelendiğinde piyasaların çok defa doğrusal-dışı dinamiklerin etkisi altında olduğu ve doğrusal olmayan davranışlar sergilediğine dair pek çok çalışmaya rastlanmaktadır.

Yapılan bu çalışmada; BIST XU100 endeksinin logaritmik getirilerinden elde edilen seride bir takım testler ve analizler vasıtasıyla bir bağımlılığın varlığı ortaya konulmuş bulunmaktadır. Aynı zamanda bu bağımlılığın, ilgili kriterlere göre seçilen doğrusal ARMA süreci kalıntılarında da görülmesinden dolayı doğrusal-dışı olduğu da anlaşılmıştır. Yine doğrusal olmayan bu bağımlılığın ARCH etkisinden kaynaklanıp kaynaklanmadığını görmek amacıyla da ARCH-GARCH tipi en uygun model, gerekli kriterler vasıtasıyla seçildikten sonra, seçilen modelin kalıntılarında da bağımlılığın varlığı gözlemlenmiştir. Böylece bu çalışmada BIST XU100 Endeksi'nde tespit edilen doğrusal-dışı bağımlılığın ARCH türü olmayan doğrusal-dışı bir bağımlılıktan, yapısal kırılmadan, spekülasyon balondan veya kaostan kaynaklanabileceği ileri sürülmektedir. Konu ile ilgili literatür değerlendirildiğinde benzer sonuçların bir çok piyasada ortaya çıktığı görülmektedir.

Sonuç olarak; bugüne kadar ekonomi ve finans alanında yapılan ampirik çalışmalarda ele alınan zaman serilerinin, doğrusal olduğu kabul edilerek modeller kurulmuş ve çeşitli analizler yapılmıştır. Ancak bu yaklaşım reel piyasa dinamiklerini ve ekonomiyi tam olarak temsil etmemekte böylece çıkan sonuçlar hem piyasaları ve hem de ekonomiyi doğru

yönlendirememektedir. Son dönemde çeşitli ülkelerde ve piyasalarda yapılan çalışmalarla birlikte bu çalışmada da doğrusal-dışı yapıların BIST özelinde de geçerli olduğu ve bundan sonra yapılacak analizlerin bu yönde düzenlenmesi gerektiği ortaya konmuştur.

### **Kaynaklar**

- ABHYANKAR, Abhay, Laurance COPELAND, Woon K. WONG (1995), "Nonlinear Dynamics in Real-Time Equity Market Indices: Evidence from the United Kingdom", *The Economic Journal*, No.105, pp.864-880.
- AÇIKGÖZ, Şenay (2007), "İktisadi Büyümenin Kaynakları: Doğrusal Olmayan Dinamiklik, Oynaklık Ve Yapısal Değişim", *Gazi Üniversitesi SBE, Ankara*.
- AMMERMAN, Peter A. & Douglas M. PATTERSON (2003), "The Cross-Sectional and Cross-Temporal Universality of Nonlinear Serial Dependencies: Evidence from World Stock Indices and the Taiwan Stock Exchange", *Pacific-Basin Finance Journal*, No. 11, pp. 175-195.
- APPIAH-KUSI, Joe & Kojo MENYAH (2003), "Return Predictability in African Stock Markets," *Review of Financial Economics*, 12, 247-270.
- AYGÖREN, Hakan (2008), "İMKB'nin Fraktal Analizi", *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt:23, Sayı:1, ss:125-134
- BARKOULAS, John T. & Nickolaos TRAVLOS (1998), "Chaos in an Emerging Capital Market? The Case of the Athens Stock Exchange", *Applied Financial Economics*, 8, pp.231-243.
- BEINE, Michel, Gunther CAPELLE-BLANCHARD & Hélène RAYMOND (2008), "International Nonlinear Causality Between Stock Markets", *The European Journal of Finance*, Volume 14, Issue 8.
- BİRGİLİ, Erhan (1994), "Tasarrufların Yönlendirilmesinde Hisse Senedi Verimlilik Analizi ve Değerlendirilmesi", *Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi SBE, İzmir*.
- BOZDAĞ, Erhan (1998), "Kaos Analizi: Bir Finansal Sektör Uygulaması", *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.
- BROCK, William Allen, David A. HSIEH & Blake LEBARON (1991), "Nonlinear Dynamics, Chaos and Instability: Statistical Theory and Economic Evidence", *Cambridge: MIT Press*.
- BROCK, William Allen, W. Davis DECHERT, Jose Alexandre SCHINKMAN & Blake LEBARON (1996), "A Test for Independence Based on the Correlation Dimension," *Econometric Reviews* 15, 197-235.
- BROCKETT, Patrick L., Melvin J. HINICH & Douglas M. PATTERSON (1988), "Bispectral-Based Tests for the Detection of Gaussianity and Linearity in Time Series", *Journal of American Statistical Association*, Vol. 83, No.403, p: 657-664.
- BROOKS, Chris (1996), "Testing for Nonlinearity in Daily Sterling Exchange Rates", *Applied Financial Economics*, 6, 307-317.
- CAMPBELL, Y. John, Andrew W. LO & A. Craig MACKINLAY (1997), "The Econometric of Financial Markets", *Princeton University Press*.
- CHU, Patrick K. K. (2003), "Study on the Non-Random and Chaotic Behavior of Chinese Equities Markets", *Review of Pacific Basin Financial Markets and Policies*, Volume: 6, No: 2, 199-222.
- COHEN, Bernice (1997), "The Edge of Chaos" *John Wiley & Sons Inc., Chichester*.
- DE GRAUWE, Paul, Hans DEWACHTER, & Mark EMBRECHTS (1993), "Exchange Rate Theory: Chaotic Models of Foreign Exchange Markets" *Oxford: Blackwell*.

- DUETT, Edwin H., Robert A. HERSHBERGER & Vivek PANDEY (1994), "Testing for the Nuances Of Deterministic Chaos In The Insurance Industry," Working Paper, Mississippi State University and Mississippi University of Women.
- ENGLE, Robert F. (1982), "Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of U.K. Inflation", *Econometrica*, 50, 987- 1008.
- FAMA, Eugene (1965), "Random Walks in Stock Prices", *Financial Analysts Journal* (September – October), Vol.21, No:5.
- FAMA, Eugene, Lawrence FISHER, Michael C. JENSEN & Richard ROLL (1969), "The Adjustment of Stock Prices to New Information" *International Economic Review*, Vol. 10, No. 1, pp. 1-21.
- FAMA, Eugene (1970), "Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work" , *The Journal of Finance*, Vol:25, No:2, p: 383-417.
- FAN, Jianqing, Qiwei YAO (2003), "Nonlinear Time Series: Nonparametric and Parametric Methods", New Jersey, Springer-Verlag, New York.
- FRANSES, Philip Hans & Dick Van DIJK (2000), "Non-linear Time Series Models In Empirical Finance", Cambridge University Press.
- GRANGER, Clive W. J. & Timo TERÄSVIRTA (1993), "Modelling Nonlinear Economic Relationships", Oxford University Press.
- HANSEN, Lars Peter, & T. J. SARGENT (1980), "Formulating and Estimating Dynamic Linear Rational Expectations", *Journal of Economic Dynamics and Control*, 2, pp: 7-46.
- HANSEN, Lars Peter & Kenneth J. SINGLETON (1982), "Generalized Instrumental Variables Estimation Of Nonlinear Rational Expectations Models", *Econometrica*, Vol. 50, No:5.
- HSIEH, David A. (1991), "Chaos and Nonlinear Dynamics: Application to Financial Markets," *Journal of Finance* 46, 1839-1877.
- JIRASAKULDECH, Benjamas & Riza EMEKTER (2011), "Non-Linear Dynamics and Chaos Behaviours In The REIT Industry", *Journal of Real Estate Portfolio Management*, 18(1), pp: 57-77.
- KANALICI, Hülya (1997), "Hisse senedi Fiyatlarının Tespiti ve Tesir Eden Faktörler", Sermaye Piyasası Kurulu Yayınları, Ankara.
- KARA, Rukiye (2006), "Nonlinear Dinamik Sistemlerde Kaos, Dallar ve Fraktaller", İstanbul Teknik Üniversitesi FBE, İstanbul.
- KARADUMAN, Hasan Ağan (2007), "İktisatta Doğrusal-Olmayan Zaman Serisi Modelleri: Kuram Ve Türkiye Uygulaması", Yıldız Üniversitesi SBE, İstanbul.
- KARAGÖZ, Murat (2006), "Makro-Ekonomik Zaman Serilerinde Doğrusal-Dışı Davranışlar: Türkiye Örneği" , TÜİK İstatistik Araştırma Sempozyumu Bildirileri, Devlet İstatistik Enstitüsü, Ankara.
- KARAŞİN, Gültekin (1987), "Sermaye Piyasası Analizleri", SPK Yayınları, II. Baskı, Özkan Mat. San., Ankara.
- KENKÜL, Erhan (2006), "Hisse Senedi Getiri Modellemesinde Geometrik Brownian Hareket Süreçleri ve Eğitim Gereklilerinin Belirlenmesi", Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- KOSFELD, Reinhold & Sophie ROBE (2001), "Testing the Nonlinearities in German Bank Stock Returns", *Empirical Economics*, 26, 581-597.



- LIM, Kian-Ping, Robert D. BROOKS & Melvin J. HINICH (2008), “Nonlinear Serial Dependence And The Weak-Form Efficiency Of Asian Emerging Stock Markets”, *Journal of International Financial Markets Institutions and Money*, Volume 18, Issue 5, December 2008, Pages 527–544.
- MAHAJAN, Arvind & Andrew J. WAGNER (1999), “Nonlinear Dynamics in Foreign Exchange Rates”, *Global Finance Journal*, 10, 1-23.
- MAZIBAŞ, Murat (2005), “İMKB Piyasalarındaki Volatilitenin Modellenmesi ve Öngörülmesi: Asimetrik GARCH Modelleri ile bir Uygulama” VII. Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu, İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Ekonometri Bölümü, İstanbul.
- ÖNALAN, Ömer (1996), “Hisse Senedi Fiyat Değişimlerinin Stokastik Süreç Olarak Analizi”, Marmara Üniversitesi, Yayınlanmamış Doktora Tezi, YÖK: 53632.
- ÖZER, Gökhan & Cengiz T. ERTOKATLI (2010), “Chaotic Processes of Common Stock Index Returns: An Empirical Examination on Istanbul Stock Exchange Market”, *African Journal of Business Management*, Vol: 4, No: 6, pp. 1140-1148.
- ÖZKAYA, Ata & Rabia ÖZKAYA (2012), “Uncovering the Chaotic Behavior of ISE 100 Stock Market Index”, *African Journal of Business Management* Vol. 6 (7), pp. 2727-2737, 22 February, 2012.
- PETERS, Edgar E. (1991), “Chaos and Order in the Capital Markets,” John Wiley and Sons.
- PETERS, Edgar E. (1992), “R/S Analysis Using Logarithmic Returns: A Technical Note”, *Financial Analysts Journal*, 81-82.
- SAVIT, Robert (1989), “Nonlinearities and Chaos Effects in Option Prices,” *Journal of Futures Markets*”, 9(6), 507-518.
- SCHEINERMAN, Edward R. (2012), “Invitation to Dynamical Systems”, Dover Publications, Reprint Edition, Meniola.
- SCHEINKMAN, Jose & Blake LEBARON (1989), “Nonlinear Dynamics and Stock Returns,” *Journal of Business*, 62, 311-337.
- TINIC S.M., R.R. West (1979), “Investing in Securities: An Efficient Markets Approach” Addison-Wesley Educational Publishers Inc, Boston.
- TSAY, Ruey S. (2002), “Analysis of Financial Time Series”, Wiley Interscience, John Wiley and Sons Inc. Publications, New Jersey.
- WILLEY, Thomas (1992), “Testing for Nonlinear Dependence in Daily Stock Indices,” *Journal of Economics and Business*, 44, 63-76.