

**ZAMAN SERİLERİNDE KAOS VE FOREX ÜZERİNE
UYGULAMA**

ŞAHİKA GÖKMEN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İSTATİSTİK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2012

ANKARA

Şahika GÖKMEN tarafından hazırlanan “ZAMAN SERİLERİNDE KAOS VE FOREX ÜZERİNE UYGULAMA” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Reşat KASAP
Tez Danışmanı İstatistik Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İstatistik Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Reşat KASAP
İstatistik Anabilim Dalı G.Ü.

Prof. Dr. Yılmaz AKDİ
İstatistik Anabilim Dalı A.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Hülya OLMUŞ
İstatistik Anabilim Dalı G.Ü.

Tarih: 08/06/2012

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Şahika GÖKMEN

ZAMAN SERİLERİNDE KAOS VE FOREX ÜZERİNE UYGULAMA**(Yüksek Lisans Tezi)****Şahika GÖKMEN****GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ****Haziran 2012****ÖZET**

Bu çalışmada, gelişen kaos analizi ve ekonomik yapılarda ortaya çıkan kaotik zaman serilerinin ne oranda kestirilebileceği konusu işlenmiştir. Bilgisayarların gelişimine bağlı olarak, gün geçtikçe kaotik yapılar dikkati çekmekte ve birçok bilimsel verinin davranış şekli gözlenmektedir. Ayrıca yapılan araştırmalar doğrultusunda buradaki çalışmada kaos ile günümüzün en büyük yatırım araçlarından biri olan Forex piyasası birlikte ele alınmıştır. Tezde ilk olarak Forex piyasası hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca burada yatırım yapmak için kullanılan bazı analizlerden bahsedilmiştir. Daha sonraki bölümde ise kaotik yapının belirlenmesi için kullanılan yöntemler ve kaotik yapıya sahip zaman serileri için uygulanabilecek modeller ele alınmıştır. Çalışmada Forex piyasasından alınan EURUSD paritesine ilişkin veride kaotik yapının varlığı araştırılmıştır. Buradan elde edilen sonuca göre seriye uygun model belirlenmiştir.

Bilim Kodu: 205.1.066**Anahtar Kelimeler: Forex Piyasası, Kaos, Doğrusal Olmayan Modeller****Sayfa Adedi: 93****Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Reşat KASAP**

CHAOS IN TIME SERIES AND AN APPLICATION ON FOREX
(M.Sc.Thesis)

Şahika GÖKMEN

GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
Jun 2012

ABSTRACT

In this study, developing chaos analyze and the prediction success of chaotic time series on economic structures, was searched. The structure of chaos has been attentioned and the existence of structure of behaviour of many scientific datas has been observed after the development of computer technology. Additionally in this study, chaos and the Forex market which is one of the biggest financial instruments discussed together toward supported by researches and investigations of many other studies. In thesis, primarily provided information about the Forex market. In addition, some analyzes used to make investment here mentioned. Later, the methods used to determine the chaotic structure and models can be applied to chaotic time series, are discussed. In this view, the presence of chaotic structure on EURUSD data from the Forex market, were discussed. Based on the results, the model appropriate the series were obtained here.

Science Code: 205.1.066

Key Words: Forex Market, Chaos, Nonlinear Models

Number of pages: 93

Advisor: Prof. Doc. Reşat KASAP

TEŞEKKÜR

Tez konusunun seçilmesinde ve çalışmalarım sırasında bilgisini esirgemedi bana yardım ettiği ve beni yönlendirdiği için danışmanım Sayın Prof. Dr. Reşat KASAP'a; çalışmanın yanında moralin ve motivasyonun da gerekliliğini bilen ve her zaman bana destek olan saygıdeğer hocalarıma ve sevgili asistan arkadaşlarıma sonsuz şükranlarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca yüksek lisans programı boyunca her zaman yanımda olan sevgili eşime ve aileme sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	İV
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR.....	VI
İÇİNDEKİLER	VII
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	X
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XII
1. GİRİŞ	1
2. FOREX'İN TANIMI.....	5
2.1. İSTATİSTİK GÖSTERGELER.....	14
2.1.1. Basit hareketli ortalama.....	15
2.1.2. Ağırlıklı hareketli ortalama	19
2.1.3. Üssel hareketli ortalama	19
2.1.4. Bollinger bantları	20
2.1.5. Parabolik SAR.....	21
2.2. SALINIM GÖSTERGELERİ (OSİLATÖRLER).....	23
2.2.1. RSI salınım göstergesi	23
2.2.2. Stokastik salınım göstergesi	24
2.2.3. Momentum salınım göstergesi	25
2.2.4. MACD-hareketli ortalamaların uyum/uyumsuzluğu:	25
3. KAOS.....	27
3.1 KAOTİK SÜREÇLERİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ.....	31
3.1.1. Başlangıç koşullarına hassas bağılılık.....	31

Sayfa

3.1.2. Fraktal geometri	33
3.2. KAOSUN VARLIĞINI TESPİT ETMEK İÇİN YAPILAN ANALİZLER	36
3.2.1. Karşılıklı bilgi yöntemi	37
3.2.2. Gömülü boyut	38
3.2.3. Garip çekiciler	42
3.2.4. Korelasyon integrali	44
3.2.5. BDS testi	47
3.2.6. Poincare kesiti	49
3.2.7. Güç spektrumu (power spectrum)	50
3.2.8. Otokorelasyon fonksiyonu	51
3.2.9. Lyapunov üstelleri	52
3.3. EKONOMETRİK HAREKETLER VE KAOS	58
3.3.1. Dinamik sistemler	61
3.3.2. Doğrusal olmayan zaman serileri için öngörü modelleri	63
4. UYGULAMA	70
4.1. UYGULAMANIN AMACI	70
4.2. UYGULAMANIN KAPSAMI VE KULLANILAN VERİ	71
4.3. UYGULAMADA KAOSUN TESPİTİ	71
4.3.1. Karşılıklı bilgi yöntemi	72
4.3.2. Korelasyon integrali	73
4.3.3. BDS testi	73
4.3.4. Lyapunov üstelleri	75
4.4. VERİNİN MODELLENMESİ	76

Sayfa

5. SONUÇ VE ÖNERİLER	82
KAYNAKÇA	85
ÖZGEÇMİŞ	93

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Bazı Paritelere Karşılık Gelen Para Birimleri.....	6
Çizelge 3.1. Çekici Davranışlarının Eşleşmesi.....	43
Çizelge 3.2. Üç Boyutlu Faz Uzayından Elde Edilebilecek Lyapunov Üstelleri..	57
Çizelge 4.1. Ham Veri İçin BDS Testi Sonuçları.....	74
Çizelge 4.2. Düzgünleştirme Sonrası BDS Testi Sonuçları.....	75
Çizelge 4.3. ARCH-LM Test Sonucu.....	78
Çizelge 4.4. ARCH-GARCH Modelleri.....	79

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Bir zaman serisi ve serinin MA_9 (kırmızı çizgi) ve MA_{14} (mavi çizgi) Hareketli ortalamaları.....	18
Şekil 2.2. Zaman Serisine Ait Bollinger Bandı.....	21
Şekil 2.3.Zaman Serisine Ait Parabolik SAR.....	22
Şekil 3.1. Sierpinski'nin Fraktal Örneği.....	34
Şekil 3.2. Lorenz çekerleri.....	44
Şekil 3.3.Kaotik Harekete İlişkin Korelogram.....	52
Şekil 3.4.Lyapunov Üstelinin Oluşumu.....	54
Şekil 4.1. EURUSD Paritesinin Ele Alınan Tarihler Arasındaki Zaman Serisi Grafiği.....	72
Şekil 4.2. Karşılıklı Bilgi Grafiği.....	72
Şekil 4.3. Korelasyon Boyutu ile Gömülü Boyut Arasındaki Grafik.....	73
Şekil 4.4. EURUSD Paritesinin Ham Verisine Ait Grafik (mavi) ve Hodric-PrescotDüzgünleştirmesi Sonucu Elde Edilen Grafik (yeşil).....	74
Şekil 4.5. Seriyeye Ait Lyapunov Üstellerinin Grafiği.....	76
Şekil 4.6. Ham Verinin Korelogramı (a) ve Birinci Sıra Fark Durağan Serinin Korelogramı(b).....	77
Şekil 4.7. EURUSD Paritesinin Ham Veri Grafiği (a) , ARCH(1) Modeli İle Elde Edilen Öngörü Grafiği (b) ve Her İki Serinin Birlikte Grafiği (c).....	80

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
m	Gömülü Boyut
λ	Lyapunov Üsteli
Kısaltmalar	Açıklama
ARCH	Otoregresif Koşullu Değişen Varyans
CCP	Güncel Kapanış Fiyatı
EURUSD	Euro/Dolar Paritesi
Forex	Foreign Exchange Market
GARCH	Genelleştirilmiş Otoregresif Koşullu Değişen Varyans
i.i.d.	Bağımsız Benzer Dağılımlı
MACD	Hareketli Ortalamaların Uyum/Uyumsuzluğu
NN	En Yakın Komşu
OCP	Eski Kapanış Fiyatı
S	Karşılıklı Bilgi Değeri

1. GİRİŞ

17. yüzyılda Isaac Newton'un matematik ve klasik mekaniğin ilkelerini geliştirmesi bilimsel bir devrim olarak görülmektedir. Daha sonra bilim adamları doğaya daha farklı bakmaya başlamışlardır. Bu sayede gelişen Newton fiziği ile cisimlerin dinamikleri ilk kez basit denklemlerle açıklanmaya çalışılmıştır. 19. yüzyıl başlarında ise Fransız fizikçi Pierre-Simon Laplace, Newton'un bu alandaki çalışmalarının devamını getiren bilim adamı olmuştur[Ayhan, 2012].

Determinizm, özellikle Laplace'dan sonra bilim adamları tarafından yüzyıllarca kullanılmıştır. Ancak 1800'lü yılların sonlarına doğru bilim adamları bazı denklemleri çözmekte başarısızlığa uğramaya başlamıştır. Bunların en göze batan örneği ise matematikteki doğrusal olmayan (nonlinear) denklemler olmuştur. Bu denklemler, başlangıçta "istisna" olarak düşünülüp göz ardı edilmiş olsa da, zamanla yeni bir düşünce biçiminin doğuşuna sebep olmuştur. Bu yeni düşünce biçimi, bilimi determinizmden uzaklaştırmış ve Kaos Teoremi'ne zemin hazırlamıştır[Ayhan, 2012].

Günlük dilde belirsiz ya da rastgele davranışın varlığına işaret eden kaos, içeriğinde kargaşa gibi anlamları da barındırmaktadır. Kaos kavramını ilk olarak kullanan York ve Li isimli bilim adamları bu kavramın, ele alınan bir sistemdeki neden ve sonuçların orantılı olmayışı, doğrusal olmama ve başlangıç koşullarına hassas bağlılık gibi üç ana özellik üzerine kurulu olduğunu ortaya koymuşlardır[Ayhan, 2012]. Tüm bunlara bakılarak, her ne kadar kaos teoremi başlangıçta determinizmi çürütmüş gibi görünmekteyse de aslında temelinde deterministik bir yapı bulunmaktadır. Ancak, kaos teoremindeki determinizmin sanıldığı kadar basit olmadığına dikkat çekmek gerekmektedir. Çünkü burada basit neden-sonuç ilişkilerinden ziyade, küçük olayların çok büyük sonuçlar doğurabilmesi söz konusu olmaktadır.

Böylece temelleri geçtiğimiz yüzyılın başlarına dayanan Kaos Teorisi'nden sonra deterministik olmayan işaretlerin sadece rastgele olabileceği görüşü de değişmiştir. Özellikle son yirmi yılda gerçekleştirilen çalışmalar sonucu, deterministik işaretler ile rastgele işaretler arasında bir yerde kalan kaotik işaretlerin tespit edilmesinde kullanılan araçlar geliştirilmiş ve kaotik yapının varlığı üzerine daha kesin kanıtlar bulunmaya çalışılmıştır.

Yapılan çalışmalar başta iklim ve hava durumu olmak üzere, elektrik devreleri, lazerler, kimyasal tepkimeler, ekonomik hareketler, ekolojideki nüfus, büyüme hareketleri gibi pek çok bilim alanında kaotik davranışın olduğunu ortaya koymuştur. Burada, kaos konusunu içeren tüm bilim dallarının, yapılarını etkileyebilecek çok fazla etkeninin olduğu dikkat çekmektedir. Dış etkenlerin fazlalığı, bir sistemin davranışını kaotik yapan nedenler arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Buna dayanarak, aslında doğadaki hemen hemen tüm sistemlerin kaotik yapıya sahip olduğu düşünülebilmektedir. Bu özelliğe sahip olarak akla ilk gelebilen sistemlerden birisi de Forex piyasası olarak adlandırılan döviz piyasalarıdır. Burada kaos kavramının tanımına ilişkin doğru kabul edilmiş genel bir tanım olmasa dahi, ekonometrik zaman serilerinde kaotik yapının olduğuna dair genel bir görüşün bulunduğu söylenebilmektedir.

Özellikle 1970'lerde birçok ülkenin Bretton Woods (sabit kur) sisteminden dalgalı kur sistemine geçmesiyle Forex piyasası gitgide gelişen bir yapıya sahip olmuştur. Küreselleşmenin de etkisiyle birlikte her geçen gün daha fazla dışa açık hale gelmekte olan bu piyasada herhangi bir ülkede ya da bir ülkenin piyasasında meydana gelen olumsuz bir gelişme ya da herhangi bir devlet başkanının yaptığı küçük bir açıklama dahi, kolaylıkla tüm döviz piyasalarını etkileyebilmektedir. Bu, döviz piyasalarındaki dalgalanmaları ve dolayısıyla da belirsizliği arttırmaktadır.

Teknolojinin de ilerlemesiyle birlikte gelişen Forex piyasası sayesinde, günümüzde dünyadaki birçok kişi, bilgisayarlarda oluşturulan platformlar üzerinden, her an döviz kurlarında meydana gelen gelişmeleri ve buna karşılık gelişen hareketlenmeleri takip etmekte ve Forex piyasasında yatırım yaparak piyasadaki oynaklığı kendileri için

karlı hale getirmeye çalışmaktadır. Ancak aynı zamanda döviz piyasalarında meydana gelen hareketler sonucu yaşanan çalkantılar da, bu yatırımcıların riskten korunma ihtiyaçlarını arttırmaktadır. Böyle piyasalarda, oynaklığın bir risk ölçütü olmasının yanında piyasanın gelecekteki durumuna dair beklentileri yansıttığı da düşünüldüğünde, piyasalarda oluşan bu hareketlerin önceden tahmin edilebilmesi gittikçe önem kazanmaktadır.

Yapılmış olan bu çalışma, Forex piyasasında kaotik yapının varlığının nasıl kanıtlanabileceğini, böyle yapıya sahip sistemlerin yorumlanmasını ve gelecek tahminlerinin nasıl yapılabilceğini kapsamaktadır.

Çalışmanın giriş bölümünde problem hakkında bilgi verildikten sonra, Bölüm 2'de Forex piyasasının tanımı yapılmıştır. Ayrıca Forex piyasasında kullanılan platformlardaki, yatırım kararı vermeyi kolaylaştıran trendi tahmin yöntemleri olan, İstatistik Göstergeler ve Salınım Göstergeleri bazı temel başlıkları ile açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde ise kaos hakkında bilgi verilmiştir. Kaos teorisinin gelişim süreci anlatılmış ve problem hakkında bilgiye ve literatür taramasına yer verilmiştir. Bu bölümün devamında ise, kaotik yapıya sahip sistemlerin bazı temel özelliklerine değinilmiştir. Daha sonra, sistemlerde kaotik yapının varlığından söz edebilmek için yapılan analizlere yer verilmiş, bu analizlerin tanımları ve matematiksel yapıları anlatılmıştır. Ayrıca yine bu bölümde, ekonomi ve kaos arasındaki ilişkiden söz edilmiş ve kaotik yapıya sahip ekonometrik zaman serilerinin gelecek tahminlerinin yapılabilmesi açısından, hangi modellerin kullanılabileceği açıklanmıştır.

Tezin dördüncü bölümünde, tezin uygulamasına yer verilmiştir. Bu bölümde öncelikle, Forex piyasasındaki bir pariteye ait veri kullanılarak önceki bölümde verilmiş olan kaotik yapının varlığını tespit eden analizlerden bazıları uygulanmıştır. Buradan hareketle sistemin yapısına uygun modelleme yöntemine başvurulmuş ve sistemin gelecek hareketlerinin tahmini için uygun model belirlenmiştir. Son olarak ise, elde edilen modelin, verinin gerçek yapısına uygunluğu incelenmiş ve buradaki

sonuçların, ikinci bölümde yer alan trendi tahmin yöntemlerine göre avantajlarından bahsedilmiştir.

Tezin son bölümü olan beşinci bölümde ise sonuç ve öneriler başlığı altında, yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve bazı önerilere yer verilmiştir.

2. FOREX'İN TANIMI

FOREX Piyasası (Foreign Exchange Market veya FX), birçok katılımcı tarafından, önceden belirlenmiş şartlarda (fiyat, zaman, hacim) gerçekleştirilen tüm döviz alım-satım işlemlerinin toplamını ifade etmektedir [Guliyev ve Gurbanzade, 2008]. Bir başka ifadeyle Forex piyasası, bir ülkenin para biriminin satılıp aynı anda başka bir ülkenin para biriminin alınmasıyla yapılan işlemler bütünüdür [Meydan, 2008].

Forex piyasalarında alım/satımı yapılan “ürün” farklı ülkelerin para birimleridir. Örneğin kişi, ABD Doları ile Euro alabilmekte veya Kanada Doları karşılığında Japon Yeni satabilmektedir. Burada fiziksel para ödenmesi söz konusu değildir. Kişi yalnızca kendi arzu ettiği para çifti (parite) ile ilgilenip, sanal olarak ticaret yapmaktadır [Easy-Forex, 2008]. Ticaretten kasıt, düşük bir para birimi alıp, yükseldiğinde satmak ya da yüksek bir para birimini satıp düştüğünde almaktır. Böylece piyasada yer alan kişiler bu yolla kar elde etmeyi amaçlamaktadırlar.

Burada bahsedilen piyasa, ürünlerin alım/satımlarının bir Forex platformu aracılığıyla yapıldığı yerde oluşmaktadır. Dolayısıyla yabancı dövizler için piyasa, alım/satım yapılan yabancı paraları kapsamaktadır. Ülke ekonomilerinde bu gibi yabancı paraların harcanmasıyla döviz piyasaları oluşmuştur. Dolayısıyla, eğer dünya ekonomisinde tek bir para biriminin kullanılıyor olması, bu piyasaya da gerek olmayacağı anlamına gelmektedir.

Döviz ticareti piyasası olarak bilinen Forex piyasası dünyanın en büyük ve en hızlı gelişen piyasasıdır. Bu piyasanın katılımcıları arasında ticari ve merkez bankaları, şirketler, kurumsal yatırımcılar, uluslararası ticaret yapan şirketler, birey ve piyasa arasında aracı işlevi gören broker şirketleri ve bireylerden oluşmaktadır.

Forex piyasasında kar elde etme amaçlı yürütülen tümişlemler, bir ülkenin parası esas alınarak diğer ülke parasının bu esas alınan ülke parası karşısındaki değeri olan pariteler üzerinden yapılmaktadır. Dolayısıyla da piyasada kullanılan pariteler ülkelerin para birimlerinin birlikte yazılmasıyla ifade edilmekte ve çift

olarak fiyatlandırılmaktadır; EURUSD, GBPJPY, USDCHF gibi. Burada ilk döviz birimi temel birim (basecurrency), diğer parite de karşı birim (counter/quotecurrency) olarak adlandırılmaktadır [Meydan, 2008]. Çizelge 1.1’de bazı paritelerin sembolleri ve para birimlerine yer verilmiştir.

Çizelge2.1.Bazı Paritelerin Sembolleri ve Karşılık Gelen Para Birimleri

Sembolleri	Para Birimleri
EURUSD	⇒ Euro / Amerikan Doları
GBPUSD	⇒ İngiliz sterlini / Amerikan Doları
USDJPY	⇒ Amerikan Doları / Japon Yeni
USDCHF	⇒ Amerikan doları / İsviçre Frangı
USDCAD	⇒ Amerikan Doları / Kanada Doları
GBPJPY	⇒ İngiliz Sterlini / Japon Yeni
AUDUSD	⇒ Avustralya Doları / Amerikan Doları

Bu piyasanın yatırımcılar açısından bir avantajı, piyasanın kaldıraç oranına sahip olmasıdır. Buna göre Forex piyasasında küçük bir miktar yatırımla yüksek meblağlar işletilebilmektedir. Bunun sayesinde çok büyük karlar edinilebilmekte ve sermaye riski düşük tutulabilmektedir. Örneğin broker firması 1:200 oranında kaldıraç sağlıyor ise, yatırılan 50\$ ile 10 000\$ değerinde işlem yapılabilir [Meydan, 2008]. Ancak kaldıraç oranı için doğru risk yönteminin kullanılması gerekmektedir. Çünkü yüksek kaldıraç oranı büyük karın yanında büyük zarar da getirebilmektedir.

Forex, Asya, Avrupa, Amerika ve Avustralya olmak üzere 4 bölgesel piyasayı birleştirmektedir. Avrupa Birliği’ndeki 11 ülke ticaret için kendi para birimlerinden vazgeçerek ortak para birimi olan Euro’yu kullanmayı tercih etmişlerdir. Buna göre piyasada gerçekleştirilen işlemlerde en çok kullanılan para birimlerinin başında Amerikan Doları (USD), Avro (EUR), İngiliz Sterlini (GBP), Japon Yeni (JPY), İsviçre Frangı (CHF) gelmektedir. İşlemlerin %70’i Amerikan Doları ile yapılmaktadır [Guliyev ve Gurbanzade, 2008]. Bu para birimlerinin dışında kalanlar ise toplam alım-satımın %2,3’nü kapsamaktadır [Ickes, 2006]. Buna karşılık en çok işlem yapılan para birimleri, genellikle kendi aralarında işleme sokulmaktadır. Aynı

zamanda, Forex piyasasında bir kısım para birimi çiftinde engel söz konusudur. Çünkü bu para çiftlerinde sabit döviz kuru mevcuttur [Easy-Forex, May 2008].

Çoğu alım-satım işleminin birkaç para birimi ile yapılması söz konusudur. Ancak bunun için şöyle bir tahmin yürütülebilir; dünyada 150 ulusal para biriminin olduğu düşünülürse, bütün bu ülkeler birbiri ile alım-satım yapacaklardır. Buradan hareketle, bütün para birimleri bu alım-satımlarda kullanılırsa burada,

$$\frac{n(n-1)}{2} = \frac{150(149)}{2} = 11\ 175 \quad (1.1)$$

dış piyasa söz konusudur. Diğer yandan tek bir para birimi kullanılırsa (vehiclecurrency) tüm bu hareketler için sadece 149 piyasa söz konusudur [Ickes, 2006].

Birçok alanda işlem gördüğünden, Forex piyasasının gerçek hacmine ulaşabilmek çok zordur. Ancak, 2,5 ile 4 trilyon dolar arasında değişen günlük işlem hacmi ile dünyanın en büyük ve en hızlı gelişen piyasası olduğu bilinmektedir [Guliyev& Gurbanzade, 2008]. Dolayısıyla da son derece etkin bir piyasadır. Bu rakam, New York menkul kıymetler borsasının 1987 yılındaki “Kara Pazartesi” günündeki toplam işlem hacmi olan 21 milyar dolardan bile daha yüksektir. Barry W. Ickes (2006), Forex piyasasının yıllık işlem hacminin ise yıllık dünya ticaret hacminden 60 kat, dünya gayrisafı milli hasılasından ise 10-12 kat daha büyük olduğunu söylemektedir.

Elbette ki, BrettonWoods antlaşmasının bırakılmasındaForexpiyasasının işlem hacminin artmasında büyük katkısı olmuştur. Barry W. Ickes (2006) yaptığı çalışmada, BrettonWoods anlaşmasının bırakılması ile özellikle Almanya, İngiltere gibi sanayileşmiş ülkeler başta olmak üzere, tüm ülkelerin döviz alım/satımındaki günlük işlem hacminde %50’ye kadar artış olduğunu göstermiştir. Forexpiyasasındaki bu gelişme, dış ticaretin gelişimine katkı sağlamış, aynı zamandaülkelerin karlılığını da artırmıştır.

Forex piyasasının gelişimi için yapılan bu açıklamalar yine de muhteşem işlem hacmini açıklamak için çok küçüktür. Bunun sebebi Forex piyasası toplamdevrinin sermaye akışını temsil etmesidir. Ancak burada bahsedilen sermaye akışı, “net” sermaye akışıdır.

Forex piyasasının işlem hacminin bu şekilde büyük olması yatırımcılara yüklü hacimde işlem yapabilme olanağı sunmaktadır. Günümüz teknolojik imkanları ile birlikte bu işlemler dünyanın her yerinden, internet üzerinden online olarak ve 24 saat boyunca yapılabilmektedir. Bu imkan, katılımcılar açısından, piyasayı daha cazip ve aktif hale getirmektedir. Çünkü bu sayede yatırımcılar, ekonomik etkisi olması beklenen, gerçekleşecek herhangi bir olaya anında müdahale edebilme avantajına sahiptirler. Aynı zamanda yatırımcıların, hesaplarına anında müdahale edebilme olanağı, istemedikleri bir işlemde kalma zorunluluklarını da ortadan kaldırmaktadır.

Dövizin bu kadar süre içerisinde, bir kayıp söz konusu olmadan nakde çevrilebilmesi veya kullanılmaya hazır hale gelmesi, piyasanın yüksek likidite özelliğine sahip olduğunu göstermektedir. Döviz fiyatları dünyanın her yerinde aynı olduğundan ve piyasa yüksek likidite özelliğine sahip olduğundan dünyanın farklı yerlerinde döviz işlemleri tek fiyatla gerçekleştirilebilmektedir. Halbuki vadeli işlem borsaları gibi birçok piyasada aynı fiyatla sadece sınırlı miktarda alım-satım yapılabilmektedir.

Geleneksel teoride bilgi genelleştirilmiştir. Bir hisse senedi ya da finansal varlığın fiyatlanmasında genel anlamda etkisi olan bilgidir. Bunun yanıdayatırımcı, basit olarak, elindeki bilgi ile satın alma, satma ya da elinde tutma kararı veren kişi olarak tanımlanmaktadır ve yatırımcıda genelleştirilmiştir. Yani 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.

Piyasalar ise birçok farklı yatırım ufkuna, görüşüne, algıya sahip birçok yatırımcıdan oluşmaktadır. Günlük al-sat işlemi yapan bir yatırımcıya göre, kurumsal

yatırımcıların (örneğin sosyal güvenlik fonlarını yöneten bir fon) piyasada göstereceği davranışlar oldukça farklılık gösterebilmektedir.

Likidite, piyasada ancak çok fazla farklı yatırım düşüncesine ve ufkuna sahip yatırımcılar tarafından sağlanabilmektedir. Yatırımcılar, aynı beklentilere sahip olmadıklarından ve eldeki bilgiyi farklı olarak değerlendiklerinden dolayı piyasalarda bir alıcı ve bir de satıcı taraf oluşturmaktadırlar. Yatırımcılardan bir kısmı eldeki veriyi uzun vadeli yatırımdüşüncesi ve beklentisi ile değerlendirip al veya sat kararı verirken, karşısında farklı veya aynı bilgiyi daha kısa vadeli yatırım stratejileri ile bütünleştiren bir başka yatırımcı da al veya sat kararı verebilmektedir. Dolayısı ile böyle bir durumda piyasada likidite oluşmakta ve piyasalarda kararlı davranışlar hakim olmaktadır[Guliyev ve Gurbanzade, 2008].

Likidite işlem hacmi ile aynı şey değildir. Bahsedilen alım ve satımların arz ve talebi arasında sağlanan dengedir. Piyasalarda, piyasalar dışında oluşacak bir başka bilgi (genelde politik) uzun vadeli yatırım ufkunu ortadan kaldırabilmektedir. Bu durumda pazardaki tüm yatırımcılar kısa vadeliteknik göstergelerle hareket etmeye başlayacaktır. Buna karşılık uzun vade net olarak görülememektedir ve bilgi ileriye doğru fiyatlamaya konu olamamaktadır. Dolayısı ile piyasa dengesi farklı yatırım ufuklarında olan kişilere bağlıdır. Buna göre kararlı bir piyasa farklı yatırım beklenti ve ufuklarının aynı anda alınıp satıldığı piyasalardır. Bilgi akışı farklı şekilde fiyatlandırılmakta ve bu durum pazarlarda likiditeyi sağlamaktadır.

Buna bağlı olarak Forex piyasasında, döviz piyasasıyla ilgili haberler ve ekonomik olayların ön planda olduğu açıktır. Bunun için gerçek zamanlı bilgi veren ticaret platformları, yatırımcıların beklentileri ve yatırım kararları açısından oldukça önemli yer tutmaktadır. Bu platformların başında REUTERS, DOW JONES, CQG, BLOOMERG, TENFORE gibi haber ajansları yer almaktadır [Guliyev ve Gurbanzade, 2008].

Forex piyasasındaki tüm alım-satımlar bir para çifti ile gerçekleşmektedir. EURUSD (Amerikan dolarına karşı Euro) döviz kuru oranının 1,5000 olduğu varsayılın. Buna

aynı zamanda “cari kur” (anında teslimi olabilen, anlık kur) veya kısaca “oran” da denilmektedir. Eğer bir yatırımcı o tarihte 1 000 Euro alırsa, 1 500 Amerikan doları ödeyecektir. Belirli bir süre sonra, döviz kuru 1,5100 olduğunda, Euro’nun Amerikan dolarına karşı değeri artmış demektir. Aynı yatırımcı 1,0330 Euro olan parasını satıp 1 510 Amerikan doları elde ederek kar yapmış olacaktır[Easy-Forex, May 2008].

Forex piyasasındaki katılımcılar alım ve satım yapılarak kar elde etmeyi amaçlamaktadır. Bu karlar, döviz kuru piyasasındaki paritelerin zamana karşı oluşturduğu dalgalanmalardan (değişimlerden) elde edilmeye çalışılmaktadır. Buna göre, zamana bağlı olarak ortaya çıkan grafiği yanlış okuma, yorumlama ya da beklenmedik olayların ortaya çıkışı gibi durumlarda, beklentinin aksine, zarar elde edilebilir. Ancak piyasaya kuralına göre, “marjin” denen başlangıç yatırımından fazlasını kaybetmek de mümkün değildir. Buna karşılık olarak yapabilecek karın bir sınırı yoktur.

Forex piyasasında aynı zamanda bir “komisyon (spread)” mevcuttur. Bu, alım ve satım arasındaki fiyat farkıdır. Diğer bir deyişle, piyasa düzenleyicisinin alıcılarına sattığı fiyat ile alıcılarının aldığı fiyat arasındaki farktır. Bir yatırımcı, ani bir şekilde bir döviz alıp ve hemen satarsa (döviz kurunda birdeğişim olmadan) bir miktar para kaybeder. Bunun sebebi komisyondur. Herhangi bir an için, örneğin, EURUSD al/sat döviz kuru oranı bankanızda 1,4975/1,5025 olabilir. Bu, 500 pip (1 pip=0,0001’dir yani noktalar arasındaki yüzdendir) komisyon demektir. Böyle bir kurda, onlineForex piyasası için, 5 pip komisyon ile 1,5015/1,5020 gibi genellikle daha yüksek al/sat oranları mevcuttur. Genel olarak düşük komisyonlar Forex yatırımcıları için daha iyidir. Çünkü böylelikle, yapılan bir alım-satımda küçük bir değişim ile kolayca kara geçilebilir [Easy-Forex, May 2008].

Günümüzde Forex piyasası, her çeşit ülkeden alım/satım yapan bireyler veya brokerlar aracılığıyla her an çalışan likit bir piyasa haline gelmiştir. Yatırımcıların yatırımları güncel değişimlere bağlı olarak artıp azalmaktadır. Yani, Forex piyasası

koşulları o an olan olaylara bağlı olarak anında değişiklik göstermektedir. Böylelikle kısa-dönem hareketleri ile yatırımcılar,

- Haftanın 5 günü, günde 24 saat durmaksızın alım/satım yapabilmektedirler.
- Likiditesi yüksek bir piyasa olduğundan birçok döviz kuru çifti ile işlem yapmak mümkündür.
- Böyle oynaklığı yüksek olan piyasalar, yatırımcılara kar yakalama imkanları sunmaktadır.
- Risk kontrolü için standart araçlar mevcuttur.
- Anlık düşüş ve yükselişlerden kar elde edebilme imkanı vardır.
- Çoğu işlem sıfır komisyon ile işlem görmektedir.
- Düşük maliyetli kaldıraç oranları ile işlem yapabilmek mümkündür [Easy-Forex, May 2008].

Buradan da anlaşılabileceği gibi, Forex piyasası yalnızca bir kişinin işleminden etkilenecek bir piyasa değildir. Çünkü Forex piyasasında, hiç kimse fiyatları belirli bir yönde hareket ettirecek kadar güçlü değildir, yani piyasa “tam rekabet piyasasına” çok yakındır. Bunun sebebi şu anda dünyadaki en büyük piyasa olmasıdır.

Forex ticareti yerleşik bir internet platformu ile yapılır ve teslim edilmeyen ticarettir. Yani, para birimleri fiziksel olarak alınıp satılmaz ancak daha çok, üstüne anlaşılan ve çalışılan para birimi sözleşmeleri vardır. Bu sözleşmeler alım-satım yapacak kişi ile ticaret platformu arasında yapılmaktadır. Bu sözleşmeler, her iki tarafın da sorumluluklarını yerine getirmesini görev edinmiştir. Bir taraf belirlenen miktarı satmayı, diğer taraf da almayı görev edinmektedir. Piyasa hareketlerinin %95'i spekülasyon amaçla (para birimi hareketlerinden kar elde etmek gibi) yapılmaktadır. Dolayısıyla para biriminin fiziki olarak ulaşımı açısından, sözleşmeyi gerçekten yerine getirmek için her iki tarafında ayrı bir çabası yoktur. Bundan dolayı, taraflar arasındaki sözleşme, pozisyondan çıkılınca (yani karşıt pozisyonlarla denkleştirince)

sona erer ve tarafların kar veya zararları ile sonuçlanmaktadır [Easy-Forex, May 2008].

Piyasa düzenleyicisi ile alım-satım yapan kişi arasında kabul edilen bu sözleşme aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır:

- Para birimi çifti (alım-satım yapılan parite)
- Ana para tutarı (anlaşması yapılacak nominal tutar)
- Oran (iki para birimi arasındaki döviz kuru)

Piyasa düzenleyici aracı kurum ya da mutemet değildir, müşteriye karşılık gelmektedir. Piyasa düzenleyici müşterinin pozisyonunu, kurallar doğrultusunda riskten korumaktadır. Bunu, birçok müşterinin pozisyonunu denkleştirerek ve bankalar gibi likit sağlayıcılar ve öz kaynakları sayesinde riskten koruyarak yapmaktadırlar. Bankalar, alım/satımı sağlayan platformlar, yani “piyasayı oluşturan” alım/satımı yapan kişiler, Forex piyasasındaki piyasa düzenleyicileri oluşturmaktadır. Bu tanım, müşterilerini belirli bir komisyon karşılığı temsil eden aracı kurumların tanımına karşılık gelmektedir. Tanımı gereği piyasa düzenleyici, Forex piyasasında her zaman yer alan ikili işlemleri yapmakta (al/sat) ve müşterilerin pozisyonlarına karşılık vermektedir. Yani piyasa düzenleyici ve yatırımcı arasında kişisel hiçbir şey söz konusu değildir. Çünkü piyasa düzenleyici, yalnızca yatırımcının karşı pozisyonuna girerek, yatırımcının işlemini desteklemektedir. Buna karşılık bu kişiler al/sat arasındaki fiyat farkından gelir elde ederler [Easy-Forex, May 2008].

Her bir kişinin yatırım davranışı önceki davranışlarından etkilenmektedir. Dolayısı ile piyasadaki risk, önceki risk algıları ile kişiye göre yeniden oluşmaktadır. Geleneksel teoriye göre risk, ortalamadan uzaklaşmak demektir. Ortalamadan uzaklaşma ne kadar sık olur ve yine geri dönüşler ne kadar uzak olursa risk de o kadar fazlalaşacaktır. Dolayısı ile çok fazla sivrilikler (sıçramalar) içeren ve aşağı yukarı dönüşleri fazla olan dağılımlarda oynaklık artacağından risk de fazlalaşacaktır.

Geleneksel teori ile riskin gerçekten nasıl algılandığı tartışmasında Peters (1989) finansal serilerin hiçbir zaman normal dağılmayacağını ve dolayısıyla standart sapmayı almanın en başından anlamsız olduğunu savunmuştur [Edgar, 1989].

Döviz fiyatlarındaki değişimler zaman içinde belirli bir trend (eğim) oluşturmaktadır. Forex piyasasında kullanılan platformlar aracılığıyla, bu trendleri istenilen zaman aralıklarında incelemek mümkündür. Ancak her döviz kuru farklı faktörlerden farklı düzeylerde etkilendiğinden, her döviz kuruna ilişkin grafik de farklı salınımlara sahip olmaktadır. Tüm bunların yatırımcı tarafından incelenebilmesi için, Forex piyasası için geliştirilen programlar aracılığıyla bazı teknik araçlar kullanılabilir. Yatırımcılar da, burada yaptıkları çeşitli zaman serisi analizlerinden faydalananarak kar etme fırsatı yakalayabilmektedirler.

Forex piyasasında “teknik analiz” terimi, sayısız alım-satım tekniklerinin genel bir başlığı olarak ele alınmaktadır. Teknik analistler menkul kıymet, döviz gibi varlıkların fiyatlarını, eski fiyatlarına ve diğer ilişkili özet istatistiklerine bağlı olarak tahmin etmeye çalışmaktadırlar. Analistler, bu değişimlerin piyasanın talep grafiğinden ya da dövizin grafiğinden belirlenebileceğine inanmaktadırlar. Teknik analiz 1800’lerde, yatırım analizinin orijinal formu olması bakımından birçok kişi tarafından dikkate alınmaktadır ve bugün kullanılan tekniklerin birçoğundan 60 yılı aşkın bir süredir faydalanılmaktadır [Brock, Lakonishok, ve LeBaron, 1992].

Bilgi, her farklı yatırımcı üzerinde daha farklı etkiler yaratmaktadır. Kısa vadeli, günlük alım/satım yapan yatırımcılar için temel amaç yalnızca alım/satım yapmaktır. Böyle yatırımcılar yatırımlarını kısa vadeli trendlere göre yapmaktadır. Ayrıca böyle yatırımlar ani davranış ve karar değişikliklerine de maruz kalmaktadır. Dolayısıyla kısa vadeli yatırımcı daha teknik göstergelerle ilgilenmektedir. Bu nedenle teknik analistler uzun vadeli yatırım stratejilerinden ziyade kısa vadeli yatırım stratejileri üzerine odaklı çalışmaktadırlar. Kısa vadeli yatırım kararlarında teknik trendler oldukça sık kullanılmakta ve bu sebeple büyük önem kazanmaktadır.

Bunun tersine uzun vadeli olarak yatırım stratejilerini belirleyen birçok temelanalist ve ekonomist, yatırımlarında farklı ufuk ve beklentilere sahip olabilmektedir. Temel analiz ile daha çok ilgilenen bu yatırımcılar, ekonomik döngüler ile daha çok ilgilenmektedirler. Bu yatırımcılar al/sat kararlarını uzun dönem ekonomik beklentilere göre vermektedirler.

Temel analiz ve teknik analiz bu noktada birbirleri ile çatışmaktadır. Fakat bu durum sadece yatırımcıların ufku ve beklentileri ile açıklanabilmektedir. Çünkü aynı zamanda bu iki yatırımcı profili de haklı görülmektedir. Dolayısıyla hangi bilginin ne ölçüde önemli olduğu ancak ve ancak yatırımcının beklentisi, ufku ve yatırım yapmayı düşündüğü vade ile ilişkilendirilmektedir.

Bu çalışmada, konusu gereği genel adı teknik indikatörler olan matematiksel analizler ele alınacaktır. Teknik indikatörler ise “İstatistik Göstergeler (eğilimi takip eden indikatörler)” ve “Osilatörler” olmak üzere iki başlık altında toplanmaktadır [Meydan, 2008].

2.1. İstatistik Göstergeler

Teknik analiz, kullanılan pariteye ait grafiğin geçmiş bilgilerinden faydalanarak, geleceğindeki fiyat hareketlerini tahmin etme metodu olarak tanımlanmaktadır. Kısacası, “ne olması gerektiği” ile değil gerçekte “ne olduğu” ile ilgilidir. Buna bağlı olarak da, fiyat değişimleri, işlem hacmi ve öncelikli araç olan verinin grafiği incelemeye alınmaktadır. Buna teknik analiz de denmektedir.

Teknik analizin en büyük avantajlarından biri, deneyimli analistlerin aynı anda birçok piyasayı takip edebilmesidir. Teknik analiz üç temel prensip üzerine kurulmuştur [Easy-Forex, May 2008]:

1. Fiyat, gerçekte piyasanın etkilenebileceği düzeydeki enflasyon, faiz oranları, arz ve talep, politik faktörler gibi her şeyin bir yansımasıdır. Buna göre teknik

analiz, bir fiyat değişiminin nedeni ile değil, yalnızca fiyat hareketleri ile ilgilenmektedir.

2. Teknik analiz, önemli olduğu düşünülen market olaylarının işaretlerini incelemektedir. Verilen birçok işaret yüksek ihtimalle iktisadi olarak beklenen bir sonucu üretmektedir. Aynı zamanda bununla birlikte, kendini tekrar eden, tutarlı davranışların işaretleri de incelenmektedir.
3. Forex grafik işaretleri yaklaşık 100 yıldır tanımlanmakta ve ayrılmaktadır. Aynı zamanda birbirini tekrar eden birçok işaret, zaman içinde, analizlerle ilgilenen kişinin psikolojisi üzerinde de küçük değişikliklere yol açmaktadır.

Teknik analizin avantajlarının yanı sıra, bazı dezavantajları da mevcuttur. Bunlardan biri, bugünün fiyatları gelecek fiyatlarını yansıtmadığından, “fiyatlar rassal değildir” yaklaşımının artık zayıf olmasıdır. Ayrıca online olarak alınan sinyallerin, bireylere ulaşma süresi de, ayrı bir tartışma konusudur. Bundan dolayı, teknik analizde çok geç sinyal alan bir yatırımcının, fiyattaki dalgalanmaların 1/3 kadarını kaçırdığı iddia edilmektedir. Aynı zamanda zaman serisi ile ilgilenildiğinden dolayı, kısa dönem için analizler gürültülü olabilmektedirler. Bu da grafiği yanlış okuma ve grafiği yanlış okuma sonucunda da yanlış yatırımlar ile sonuçlanabilmektedir [Easy-Forex, May 2008].

Piyasa için kullanılan istatistiki göstergeler, fiyat değişimi dönemlerinde aşırı düşüş ve yükseliş noktalarını yok etmektedir. Bu indikatörler standart matematiksel formül ve olasılık teorisi kullanılarak hesaplanmaktadır.

2.1.1. Basit hareketli ortalama

Basit hareketli ortalamalar (simple moving average), bir döviz çiftinin belirlenmiş süre içindeki fiyat değişimlerinin ortalamasını ifade etmektedir [Meydan, 2008]. Basit hareketli ortalamanın genel formülü aşağıdaki gibidir;

$$MA = \frac{P_n + P_{n-1} + \dots + P_1}{n} \quad (1.2)$$

Hareketli ortalamalar, trendin “yönünü” tahmin etmek ve fiyatları, hacimdeki dalgalanmaları veya gürültüyü düzgünleştirmek için kullanılmaktadır. Yedi farklı tip hareketli ortalama yöntemi mevcuttur:

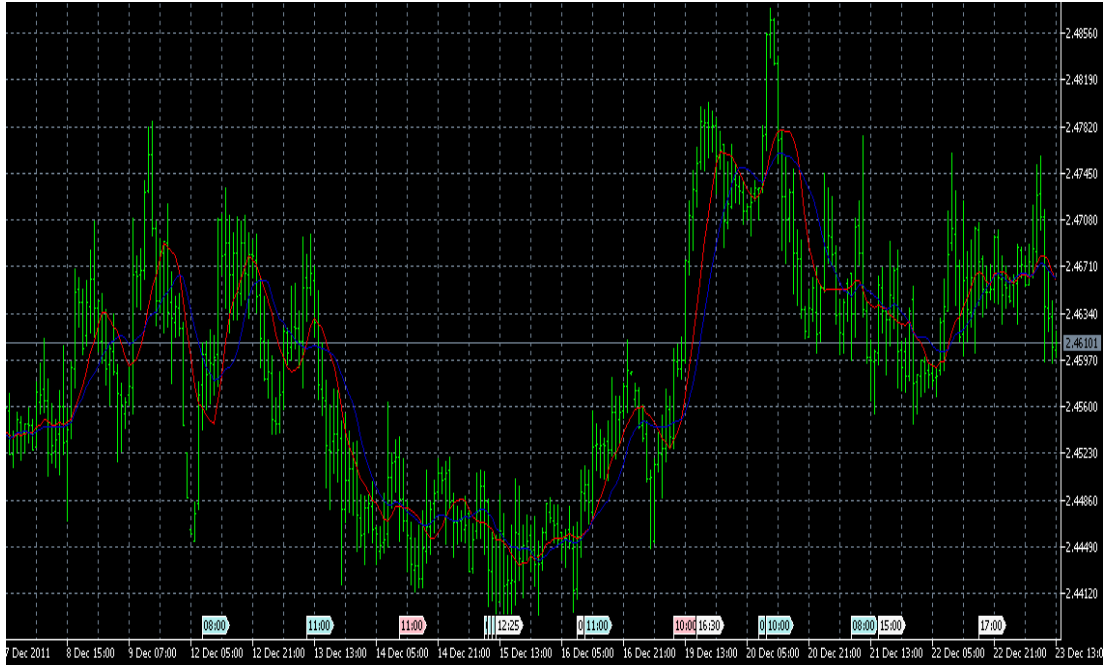
- Basit (aritmetik)
- Üssel
- Zaman serisi
- Ağırlıklandırılmış
- Üçgensel
- Değişken
- Hacim ayarlı

Bu yöntemler arasındaki tek önemli fark, her bir yöntemde geçmiş veriye farklı ağırlıkların verilmesidir. Örneğin, basit hareketli ortalama, belirli bir periyottaki kapanış fiyatlarının toplanıp, o periyottaki veri sayısına bölünmesi ile elde edilirken, ağırlıklı hareketli ortalama, belirli periyotlardaki kapanış fiyatlarına ağırlık verilerek ortalama kapanış fiyatının hesaplanması ile elde edilmektedir.

Burada genel olarak fiyatlar, hareketli ortalamanın üstünde veya altında ise trendin devam edeceği anlamı çıkartılmaktadır. Ancak bunu biraz daha açıklamak istersek, alım/satım kararı için iki temel yöntemden söz edilebilmektedir. İlkinde, fiyat, hareketli ortalama eğrisinin altına düşerse sat emri, üstüne çıkarsa al emri verilmektedir. Diğer yöntemde ise uzun dönem ve kısa dönem hareketli ortalamaları kullanılmaktadır. burada da, kısa dönem hareketli ortalama eğrisi uzun dönem ortalama eğrisinin üstüne çıktığında, fiyatta yükselme eğilimi olacağı yorumu yapılmaktadır. Benzer olarak kısa dönem ortalama eğrisi uzun dönem ortalama eğrisinin altına indiğinde ise fiyatta düşüş eğilimi olacağı yorumu yapılmaktadır. Bu ikinci yöntem “ikili hareketli ortalama” olarak adlandırılmaktadır.

Forex piyasasındaki alım-satım stratejilerinin birçoğu hareketli ortalamalar yöntemine dayanmaktadır [Brock, Lakonishok, ve LeBaron, 1992]. Burada yöntem, kullanılan zaman serisinin uzunluğuna ve uzun dönem ya da kısa dönem yatırım kararına göre uygulanmaktadır. Genel olarak kısa, orta ve uzun vadeyi (tercihe göre ikisini) temsilen iki hareketli ortalama eğrisi çizdirilmektedir. Eğer kısa dönem eğrisi uzun dönemin üstüne çıkarsa, ilgili döviz kurundan alım yapılmakta ve kısa dönem eğrisi, uzun dönem eğrisinin altına inene kadar bu işlemde kalınmaktadır. Hareketli ortalama basit bir yapıya sahiptir ve bu sebepten en sık kullanılan teknik araçlardandır.

İkili hareketli ortalama yöntemi için MA_9 (9 periyotluk) ve MA_{14} (14 periyotluk) uygun zaman periyotları olarak ele alınmaktadır ve bu iki eğrinin kesiştiği yerde, eğilimin değişme sinyali olarak kabul edilir. Aşağıda Şekil 1.1’de bir zaman serisinin MA_9 ve MA_{14} ortalama grafikleri verilmiştir.



Şekil 2.1. Bir zaman serisi ve serinin MA_9 (kırmızı çizgi) ve MA_{14} (mavi çizgi) hareketli ortalamaları

Şekil 1.1.'den de görülebileceği gibi, iki hareketli ortalama eğrisinin kesiştiği noktalardan bir süre sonra, trendin yönünde değişim gerçekleşmiştir. Ancak daha küçük değişimler için de hareketli ortalama eğrileri kesişmiş yani alım/satım sinyali vermiştir. Dolayısıyla, yöntem, her ne kadar eğilimin yönü hakkında doğru ipuçları verse de, bu ipuçlarının geç elde edilmesi bu süre içinde elde edilebilecek karın azalmasına neden olmaktadır. Örneğin şekilde 19 Aralık 10:00 tarihinde bir değişim sinyali yakalanmıştır. Trendin yönündeki değişim, kesişim noktasından çok önce başlamıştır. Buna rağmen yatırımcı bu noktada al emri (yükseliş söz konusu olduğundan alım yapılır) verse, izlediği bu sinyalle, aynı tarihte gece tekrar sinyal olarak işlemden çıkmış olacaktır. Ancak, grafiğe dikkat edilirse eğilimin yönü gerçekte yaklaşık 2,48000 seviyesinde değişime başlamışken, alınan sinyale göre işlem en erken 2,47450 seviyesinde sona erdirilebilmektedir. Aynı durum, trendin başlangıç noktasında da söz konusudur. Burada oluşan farklar da, yatırılan para için oldukça ciddi bir tutar olabilmektedir.

Bunun yanı sıra, 13 Aralık 13:00-16 Aralık 11:00 aralığından da görülebileceği gibi çok küçük değişimler için de al/sat sinyali almak mümkündür. Ancak böyle durağan

bir zamanda, al/sat işlemine girmek, bu kısa dönem için çok düşük kar elde edebilme ihtimaline karşı gelmektedir.

2.1.2 Ağırlıklı hareketli ortalama

Ağırlıklı hareketli ortalama (weighted moving avarage) için örnek olarak, 3 dönemin kapanış fiyatlarını (P) ele alınırsa formül,

$$WMA_3 = (3P_1 + 2P_2 + 1P_3)/(3 + 2 + 1) \quad (1.3)$$

şeklindedir. n dönem için hesaplanmak istenen genel formülasyonu;

$$WMA_t = \frac{\sum_{j=0}^{n-1} (n-j)P_{t-j}}{\sum_{j=1}^n j} = \frac{(n)P_t + (n-1)P_{t-1} + \dots + (1)P_{t-n+1}}{(n + (n-1) + \dots + 1)} \quad (1.4)$$

2.1.3. Üssel hareketli ortalama

Üssel hareketli ortalama (exponential moving avarage) gelecek fiyatlarını daha etkili tahmin etmektedir. Aynı zamanda analiz yapacak kişi için belirli zaman aralığındaki değil, tüm periyottaki değişimi gözlemleme imkanı sunmaktadır.

Örnek olarak 3 dönemin kapanış fiyatlarını (P) ele alınırsa formül,

$$EMA_k = \frac{2}{3}P_3 + \frac{1}{3}EMA_{k-1} \quad (1.5)$$

Şeklinde olmaktadır. Buna göre n dönem için genel formülasyonu ise (1.6)'daki gibidir.

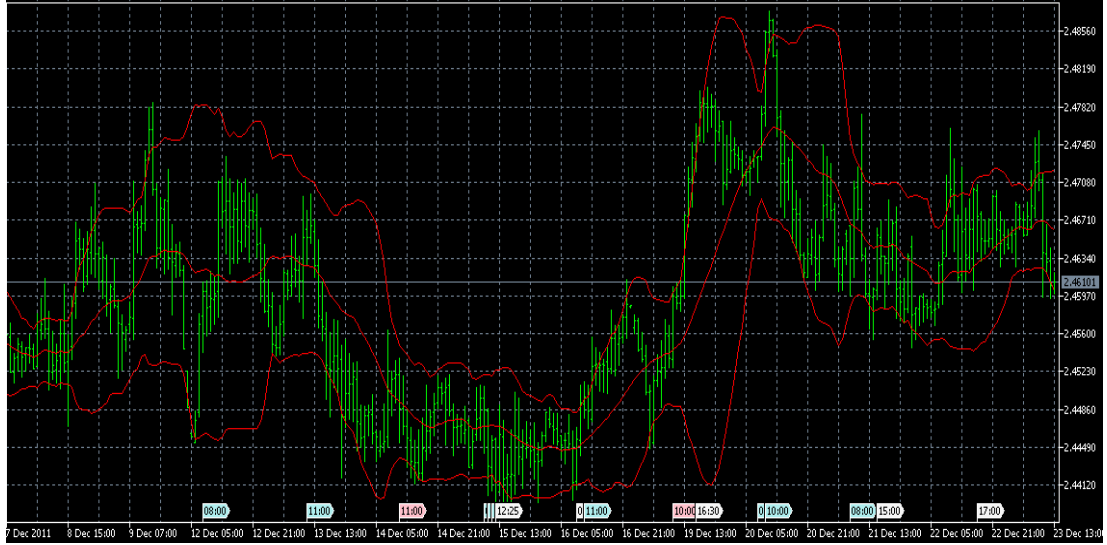
$$EMA_k = \left(\frac{2}{n+1}\right)P_k + \left(1 - \left(\frac{2}{n+1}\right)\right)EMA_{k-1} \quad (1.6)$$

2.1.4. Bollinger bantları

Bollinger bantları genel olarak, fiyatın oynaklığını (hareketliliğini) kapsayan bir aralık olarak tanımlanmaktadır. John Bollinger tarafından 1980 yılında bulunmuştur ve fiyatın yüksekliğini ve derinliğini görelî olarak ölçebilecek şekilde geliştirilmiştir[Easy-Forex, May 2008].

Bu yöntemde belirli bir zaman dilimi içerisindeki standart sapmalar dikkate alınmaktadır. Dolayısıyla Bollinger bantları esasen oynaklığı ölçen standart sapmayı bu piyasa koşullarında uygulamaktadır. Bantlar 3 çizgiden oluşmaktadır; ortalama çizgi ve bu çizgi kenarlarından geçen alt ve üst sapma çizgileri. Dolayısıyla bant, basit hareketli ortalamadan iki standart sapma genişliğinde noktalar halinde gözükmektedir. Buna göre piyasadaki oynaklık arttığında bantlar açılmaktadır. Bu, serinin ortalamadan uzaklaştığı anlamına gelmektedir. Benzer olarak, daha düşük oynaklığa sahip yani daha durağan periyotlarda ise, bantlar daralmaktadır. Bu durumda bantların kesişmesi, mevcut trende aksi yönde bir düzeltme hareketinin görüleceği sinyalini vermektedir [Guliyev ve Gurbanzade, 2008]. Şekil 1.2’de zaman serisine ait elde edilen Bollinger bandının görünümü verilmiştir.

Bollinger bantları Forex piyasasında en çok kullanılan yöntemlerinden birisidir. Piyasadaki kapanış fiyatlarının bandın üst sınırını aşması, piyasada aşırı alım olduğu ve kapanış fiyatlarının aşağı doğru düşeceği anlamına gelmektedir. Benzer şekilde, kapanış fiyatlarının bandın alt sınırının altına inmesi, piyasada aşırı satım olduğu ve alım doğrultusunda bir yönelim olacağı anlamına gelmektedir.



Şekil 2.2. Zaman Serisine Ait Bollinger Bandı

Şekil 2.2.'de görüldüğü gibi, 19 Aralık 10:00'da başlayan yüksek hacimli kırılmalarda büyük sapma olduğundan bant aralıkları da oldukça geniş olmaktadır. 16 Aralık 21:00-20 Aralık 10:00 aralığına bakıldığında, trend yönünün değişeceği sinyali, bantların daralması ve kapanış fiyatlarının alt veya üst sınırı aşması ile elde edilmiştir. Burada elde edilen sinyaller, hareketli ortalamaya ait sinyallerden biraz daha sağlıklıdır. Çünkü burada yakalanan sinyaller, trendin başlama ve bitiş noktalarına, hareketli ortalamaya göre daha yakındır.

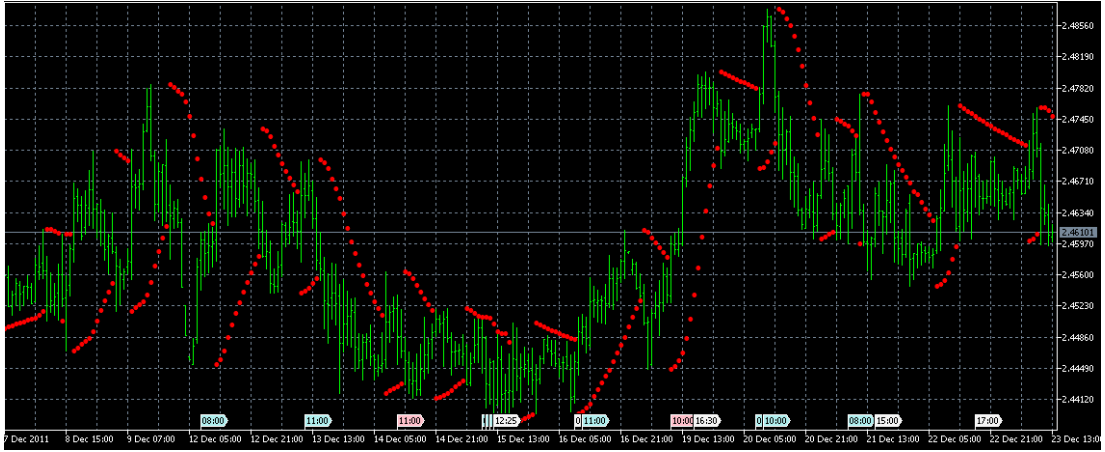
2.1.5. Parabolik SAR

Parabolik SAR (parabolic stop and reversal) indikatöründetrendin yönünü belirlemeye çalışan yöntemlerin aksine, işlem gören pozisyondan en uygun çıkış noktalarının belirlenmesi amaç edilmiştir. Günlük zaman periyodu için formülü,

$$Kapanış_{yarın} = Kapanış_{bugün} + AF(EP_{bugün} - Kapanış_{bugün})$$

Burada AF hızlanma faktörü ($AF=0,20+0,02n$), EP ise günün en yüksek ve en düşük fiyat seviyeleridir [Meydan, 2008]. Buradan hareketle grafiğin altında ve üstünde noktalardan oluşan tek yönlü bir bant izlenmektedir. Döviz kurunun yükseldiği

durumda bant zaman grafiğinin altında yer alırken, kurun düştüğü durumda bant grafiğinin üstünde yer almaktadır. Buradaki bantlar Bollinger bantları gibi eğri şeklinde değildir, noktalardan oluşmaktadır. Bu noktaların sıklığı trendin eğimi hakkında sinyal vermektedir. Buna göre, noktaların sıklığı az ise, eğim yüksektir ve bu durum yatırımcıya yüksek kar getirebilmektedir. Aynı zamanda bantların daralması yani noktaların zaman serisi grafiğine yaklaşması da trend yönünün değişimine işaret ettiğinden alım-satım işlemine girmek için yatırımcıya ipucu vermektedir. Bunun için Şekil 2.3.'de Parabolik SAR grafiğinin örneği yer almaktadır.



Şekil 2.3. Zaman Serisine Ait Parabolik SAR

Şekil 2.3'de görüldüğü gibi, bantların daralmasıyla trendin yönü değişim göstermiştir. 13 Aralık 13:00-16 Aralık 11:00 aralığı hemen hemen durağan bir yapıya sahiptir. Grafikte de bu aralık için oluşan bantlar kısa süreli durumları açıkça göstermektedir. Ayrıca bu aralıkta, hareketlerin eğimi de düşük olduğundan, noktaların sıklığı çok yüksektir. Bunun aksine, 16 Aralık 21:00-20 Aralık 10:00 dönemindeki büyük yükselişte, trendin eğimi de yüksek olduğundan noktaların sıklığı oldukça seyrek ve yükseliş söz konusu olduğundan noktalar grafiğin altında yer almaktadır. Buradan alınan sinyallere göre, 16 Aralık 21:00-20 Aralık 10:00 döneminde, 19 Aralık 08:00'de alım işlemine girilip aynı gün 16:30 da işlemden çıkılmaktadır. Bunun sebebi buradaki bantların küçük trendlere de duyarlı olmasıdır. Dolayısıyla trendin altında yer alan noktalar, 19 Aralık 16:30'da zaman serisi

grafğine ulaşmaktadır. Sonrasında yer alan ufak düşüşte, noktalar sık ve bandın genişliği dardır. Ancak burada işlemde kalmaya devam etmek, yatırımcı için risk taşımaktadır.

2.2. Salınım Göstergeleri (Osilatörler)

Osilatörler, piyasada alıcıların veya satıcıların fazlalığını gösteren sistemdir. Dolayısıyla trendi takip eden yöntemlere göre daha zor bir yapıya sahiptirler. Bunu kullanmaktaki temel amaç, trendin uzama zamanını tahmin etmektir. Çünkü aşırı alım-satım olduğu durumda trend kırılma gösterecektir. Bu durum yatırımcıya, hem yapılmış yatırımın durdurulması hakkında ipucu vermektedir hem de değişen trend yönü ile yeni bir yatırım imkanı sunmaktadır.

Forex programları içinde en sık kullanılan bazı salınım göstergeleri aşağıda verilmiştir:

2.2.1. RSI salınım göstergesi

RSI (görelî güç indeksi – relative strength index) göstergesi aşırı alış ve satış noktalarını belirlemektedir. RSI daha yüksek ve daha düşük kapanış fiyatları arasındaki görelî değişimi ölçmektedir ve bunu döviz kurunun aşırı alım/satımını belirlemek için son kazançların ve kayıpların büyüklüklerini karşılaştırarak yapmaktadır. Bu teknik indikatör Welles Wilder tarafından geliştirilmiştir [Easy-Forex, May 2008].

RSI (1.7)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$RSI = 100 - \left[\frac{100}{1 + RS} \right] \quad (1.7)$$

Burada RSI, N tane yüksek kapanışın ortalamasının N tane düşük kapanış ortalamasına bölünmesiyle elde edilmektedir. N ise, önceden belirlenen periyotun eleman sayısıdır.

RSI eğrisi, döviz kuruna ait zaman serisi grafiğinden ayrı bir grafikte elde edilmektedir. Bu grafik 0-100 arasında değer almaktadır. Çizginin aşırı alım-satım bölgelerine yaklaşması işlem sinyali olarak kabul edilmektedir. Buna göre, RSI'nın 70 üzerine çıkması, aşırı alım bölgesine işaret etmektedir ve yukarı trendin hızlanacağı her an trend değişiminin olabileceği anlamına gelmektedir [Guliyev ve Gurbanzade, 2008].

2.2.2. Stokastiksalınım göstergesi

Stokastik indikatörü genel olarak, bir paritenin kapanış fiyatları ile o fiyatların verilen bir zaman aralığındaki açıklığı ile karşılaştırılmasıdır. Daha açık bir ifadeyle, seçilen bir dönem için kapanış fiyatlarını günlük en yüksek ve en düşük seviyelerine göre ölçen ve fiyatların dönüm noktalarını belirten bir göstergedir. Fiyat değişimine karşı daha hassastır ve RSI'dan daha çok bilgi içermektedir [Meydan, 2008].

Bu indikatörün arkasındaki teori George Lane'nin gözlemlerine dayanmaktadır. Buna göre, fiyat en yüksek fiyata yaklaşma eğilimi gösterdiğinde piyasada yukarı yönlü trend oluşurken; fiyat, düşük fiyata yaklaşma eğiliminde olduğunda ise aşağı yönlü trend oluşmaktadır.

Bu değer, aşağıdaki formülasyondan elde edilmektedir.

$$\%K = 100. \left[\frac{C-L14}{H14-L14} \right] (1.8)$$

Burada C, yakın geçmişteki kapanış fiyatı; L14, 14 dönem öncesindeki en düşük fiyat; H14 ise aynıperiyottaki en yüksek fiyattır. %D olarak adlandırılan üç periyotlu hareketli ortalama %K ile çakıştığında işlem sinyali ortaya çıkmaktadır.

2.2.3. Momentumsalınım göstergesi

Momentum, fiyat seviyesindeki değişimi değil, fiyat değişim oranını ölçmek için düzenlenmiş bir göstergedir. Bu indikatör, belli bir zaman dilimi içerisinde fiyatların değişim hızını ölçmektedir. Salınım göstergeleri içinde en sık kullanılan göstergeler arasında yer almaktadır.

Momentum esasen güncel kapanış fiyatı ile önceden belirlenmiş olan periyottaki eski kapanış fiyatı arasındaki net farkı yansıtmaktadır [Easy-Forex, May 2008]. Momentum M ile gösterilmek üzere (1.9)'da gösterilen formülasyondan elde edilmektedir.

$$M = CCP - OCP \quad (1.9)$$

Burada CCP güncel kapanış fiyatı (currentclosingprice) ve OCP ise eski kapanış fiyatıdır (oldclosingprice). M değeri, sıfır etrafında bir salınım göstermektedir. Buna göre, bu değer pozitif çıkması trendin artış yönünde olacağı, negatif yönde çıkması ise düşüş yönünde olacağı anlamına gelmektedir.

2.2.4. MACD-hareketli ortalamaların uyum/uyumsuzluğu:

MACD iki farklı hareketli ortalama arasındaki ilişkiyi gösteren ve sık kullanılan orta vadeli bir göstergedir. İlk olarak Gerald Appel tarafından, finansal araçlar arasındaki salınımları tespit etmek için geliştirilmiştir [Meydan, 2008]. MACD iki farklı üssel ortalama (EMA) arasındaki farkla hesaplanmaktadır ve 0 çizgisi etrafında dalgalanan iki çizgiden oluşmaktadır. Orta vadeli yatırımlar için kullanılan bir gösterge olduğundan saatlik veya kısa zaman periyotlarına uygulandığında yanlış sonuçlar verebilmektedir.

Tüm bunlardan anlaşılacağı üzere, Forex piyasası bize zaman serileri analizi yapma imkanı sunmaktadır. Döviz kurlarının çok eskiden beri kullanılmasının yanı sıra

Forex piyasası henüz gelişen bir piyasa olduğundan bu piyasa hakkında pek fazla bilimsel araştırma yer almamaktadır. Yapılan çalışmalar ise, stokastik volatilité (oynaklık) modellemesi [Moobinson ve Zaffaroni, 1998, Kumar, 2006, Kalra, 2008], yarı parametrik zaman serisi modelleme [Chen ve Fan, 2006, Bouye ve Salmon, 2009], sinir ağıları [Fırat, 2006, Öztürk, 2008] ve risk ölçümleri [Hyde ve Bredin, 2004, Cumperayot, 2003] konularıyla sınırlı kalmıştır. Oysaki ekonomik zaman serileri, çok fazla değişkenden etkilenen seriler olduğundan, doğrusal olmayan zaman serileri başlığı altında incelenmektedir.

Kaos teorisinin sunduğu doğrusal olmayan analiz yöntemleri dinamik sistemlerin incelenmesinde kullanılmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalarda, zaman içinde değişen herhangi bir büyüklüğün belirli aralıklarla ya da sürekli olarak ölçülmesi ile elde edilen zaman dizileri üzerinde kaos teorisi yöntemleri, genel olarak kısa süreli tahminde veya kaotik ölçütleri ile sistem dinamiğinin farklı koşullardaki değişimleri arasındaki ilişkinin tespit edilmesinde kullanılmıştır. Özellikle kısa süreli tahmin, borsadaki hisse senetleri değişiminden sismik verilere, elektrik fiyat tahminlerinden otomobil motorlarındaki en uygun hava/yakıt oranının hesaplanmasına kadar pek çok alanda uygulanmıştır.

Bu çalışmada ise, Forex piyasası uzun dönemde tahmin edilemeyen, çok fazla dış etkiye açık ve deterministik bir sistem olduğundankaos teorisi ile birlikte incelenecektir. Bunun için sistemden alınan bir verinin kaotik olup olmadığı incelenecek, buna göre de uygun zaman serisi modelleri ile kısa dönem tahminine gidilecektir.

3. KAOS

Yaşamımız boyunca tanık olduğumuz birçok olay bize düzensiz,karmaşık, kuraldışı, rastgelegözükmektedir. Günlük yaşamda bu tipteki olaylara, ‘bilinmezlik, karışıklık, düzensizlik’ anlamına gelen ‘kaos’ adı verilir.Bununla birlikte kaos kavramına standart bir tanım getirilememiştir. Yani doğru kabul edilen genel bir tanımlaması mevcut değildir.

Günlük yaşamda kaos sıkça duyulan bir kelimedir. Özellikle işler içinden çıkılmaz hale geldiğinde sıklıkla kullanılmaktadır. Kaos kavramı aslında bilimsel terminolojiden günlük konuşmaya geçmiş ve dünyadaki farklı dillerden gelen hemen hemen herkesin aşağı yukarı benzer anlamlarda algıladığı nadir kelimelerden biridir. Kaos kelimesi,Yunan mitolojisine kadar dayanmaktadır ve madde var olmadan önceki boşluk, yeraltı dünyasındaki dipsiz çukur anlamlarına gelmektedir. Ancak 19.yy’ın ikinci yarısında modern bilimin oluşması ile Yunancadan gelen kaos kelimesi daha çok “karmaşa” ve “düzensizlik” anlamlarında kullanılmıştır[Serin, 2003]. Bununla birlikte “düzen” anlamına gelen ve yine eski Yunancadan bir kelime olan “kozmos” kelimesi de kaosun zıt anlamlısı olarak ele alınarak bilim terminolojisi içine alınmıştır. Dilimize Fransızcadan geçen kaos kelimesine karşılık gelen iki anlamı mevcuttur [Fırat, 2006]:

1. Evrenin düzene girmeden önceki, biçimden yoksun, uyumsuz ve karışık durumu.
2. Karışıklık, kargaşa.

Bizim bu çalışmada bilimsel anlamda incelediğimiz ve kullandığımız kaos kavramının tanımı ise bilim adamlarının araştırmaları sayesinde,zaman içinde yavaş yavaş ortaya çıkmıştır. Bu tanımların bir kısmı aşağıda yer almaktadır[Bozdağ, 1998]:

- ❖ Rastlantısal davranan, düzgün geometrik yapıya sahip bir düzen – Lorenz (1963)

- ❖ Kurallar tarafından belirlenen kuralsız davranış – Stewart (1989)
- ❖ Periyodu olmayan davranış – Kosko (1993)
- ❖ Çok fazla karmaşık olan bir davranışa ulaştıran denge dışı durum – Rasmussen ve Mosekilde (1988)
- ❖ Kararsızlık yaratan mekanizmalar ile doğrusal olmayan kısıtlar sonucunda ortaya çıkan bir davranış şekli – Mosekilde ve ark. (1988)
- ❖ Genelde doğada ve insan topluluklarında görülen, iyi tanımlanmış, doğrusal olmayan geri beslemelerin yarattığı düzgün olmayan davranış – Stacey (1993)
- ❖ Basit ve iyi tanımlanmış bazı sistemlerin açıkça gösterdikleri karmaşık davranıştır. Bu sistemler periyotsuz ve açık biçimde rassal bir davranış gösterirler – Hilborn (1994)[Bozdağ, 1998]

Burada yer alan tanımlara göre, özellikle dikkat edilmesi gereken nokta, kaotik sistemlerin, tam olarak deterministik sistemler ile tamamen düzensiz ve rastgele sistemlerin arasında yer almasıdır. Kaotik sistemler, tüm girdileri değerlendirip, ona göre nihai bir davranış ortaya koymaktadırlar. Değişkenlerin çok sayıda olması, ortamı kaotik yapan temel etkidir. Buradan hareketle “kaotik” terimi, insanın hesaplayamadığı, son derece karmaşık, ama kendi iç düzenine sahip bir süreç olarak düşünülmektedir. Yani kaos, aslında oldukça karmaşık bir düzendir. Bu durum "deterministik (belirlenici) kaos" olarak adlandırılmaktadır ve “deterministik bir dinamik sistemde düzensiz kaotik hareketlerin ortaya çıkması” olarak tanımlanmaktadır [Polatlı, 2009]. Aynı zamanda nedeni ve seyri bilinmeyen, hesaplanamaz olan "stokastik (rastlantısal) kaos" kavramı da mevcuttur. Lovejoy ve Schetzer (1999) stokastik kaosa, doğrusal olmayan sabit ölçüdeki dinamik sistemlerin sebep olduğunu söylemişlerdir. Bu tanım, evrensel çoklu fraktallara karşılık gelmektedir. Deterministik kaos ile stokastik kaos arasındaki farklardan biri serbestlik dereceleridir. Deterministik kaos için serbestlik derecesi küçük bir sayıdır. Buna karşılık stokastik kaos için serbestlik derecesi sonsuzdur [Yalamova ve ark., 2006]. Fakat bilimin ilgilendiği daha ziyade deterministik kaostur.

Poincare 19.yy sonlarında basit dinamik sistemlerin oluşturdıkları tahmin edilemeyen değişimler ve başlangıç durumuna olan bağıllık ile matematiğe yeni bir bakış açısı getirmiştir [Tosun, 2006]. Bunu takiben Edward Lorenz, kurduğu bir meteoroloji modeli ile Kaos teorisinin oluşumuna doğru gidişi hızlandırmıştır.

Kaotik sistemlerin zaman içinde ürettiği işaretler periyodik ya da yarı periyodik işaretler gibi olmamakla birlikte grafikleri gürültünün grafiği gibi karmaşık görünümlüdür ve ilk bakışta sistemin belli bir düzene göre hareket etmediği izlenimi vermektedir. Oysa kaotik bir sistem, kendi iç düzenine sahip ancak tamamen rassal bir sistemdir. Dolayısıyla da sistem öngörülemez hareketler sergilemektedir.

Düzenli davranışa sahip bir sistemin kaosa sürüklenebilmesi için, parametre değişimi ya da bir parametresinde yapılacak çok küçük bir değişimdahi yeterli olabilmektedir. Bunun yanı sıra, kaosun meydana gelmesi belirli parametrelere bağlı olduğu gibi sisteme de bağlı olabilmektedir [Kantz ve Schreiber, 2004].

Eğer bir oluşumun kaotik özellikler gösterdiği saptanabilirse, bu oluşumun modellenenebilmesi ve böylece yakın gelecek tahminlerinin yapılabilmesi mümkündür. 20.yy'da daha gelişmiş bilgisayarların da yardımıyla diferansiyel denklemlerin nümerik çözümleri olanaklı hale gelmiştir. Böylece, kaotik olarak adlandırılan bir sistemin davranış özelliklerinin sanıldığı kadar belirsizlik ve karmaşa barındırmadığı görülmekle birlikte daha farklı ve anlaşılması zor birtakım özellikleri fark edilmiştir. Günümüzde ise kaos, karmaşık ve düzensiz görünümlü, başlangıç koşullarına hassas bağlı; deterministik, doğrusal olmayan, zamanla değişen sistemlerde ortaya çıkan bir olgudur [Yalamova ve ark., 2006].

Tüm bu tanımların ve bir kısım özelliklerin ortak özellikleri üç temel başlık altında toplanırsa, kaos kavramının en belirgin özellikleri şöyle sıralanabilmektedir [Amilon ve Byström, 1998]:

- ❖ Kaotik hareket, uzun dönem aperiodyik davranışa sahiptir. Bu, $t \rightarrow \infty$ iken sabit noktada durulmayan periyodik yörüngeler veya yarı periyodik yörüngeler olmadığı anlamına gelmektedir.
- ❖ Kaotik hareket, başlangıç koşullarına hassas bağıllık sergilemektedir. Bu, yörünge civarında üstel olarak hızlanan ıraksama demektir.
- ❖ Kaotik hareket, açık bir şekilde deterministiktir. Dolayısıyla, düzensiz davranış sistemin doğrusal olmayan yapısından kaynaklanmaktadır yani, rastgele etkilerden kaynaklanmamaktadır.

Kaos teorisinin sunduğu doğrusal olmayan analiz yöntemleri dinamik sistemlerin incelenmesinde kullanılmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalarda, zaman içinde değişen herhangi bir büyüklüğün belirli aralıklarla ya da sürekli olarak ölçülmesi ile elde edilen zaman serileri üzerinde kaos teorisi yöntemleri, genel olarak kısa süreli tahminde veya kaotik analizleri ile sistem dinamiğinin farklı koşullardaki değişimleri arasındaki ilişkinin tespit edilmesinde kullanılmıştır.

Kaos kavramının ve kaotik sistem özelliklerinin ortaya konmasıyla literatürde kaos olayıyla ilgili çalışmalar genel olarak iki ana bölümde odaklanmıştır. Bunlardan ilki, kaosun ve kaotik davranışın olumsuz olarak algılandığı ve bu tür davranışların görülmemesi arzulanan sistem yapılarında kaotik kontrol çalışmalarıdır[Pehlivan ve ark., 2007]. Kaotik sistemler ile ilgili ikinci ana çalışma alanı ise, ilginç özelliklere sahip kaotik işaretler ve sistemlerden olumlu yönde yararlanma fikri doğrultusunda yapılan çalışmalar olmuştur.

Özellikle 20.yy sonlarında ve 21.yy başlarında fizik ile birlikte kimyasal olayların ve birçok mühendislik problemlerinin arka planlarında kaoskonusunun olduğu görülmektedir. Bununla birlikte ekonomi, sosyoloji, biyoloji, psikoloji ve politika konularında kaosun varlığı konusunda büyük ölçüde fikir birliği oluşmuştur. Bu yöndeki en büyük delil, bu bilim alanlarının tümünün doğrusal olmayan dinamik yapıları barındırmalarıdır. Bu sayede kaos konusu gündeme getirilmiştir. Özellikle son yıllarda teknolojik imkanların da ilerlemesiyle birlikte kaos konusu dikkatleri

üstüne daha çok çekmekte ve çoğu bilimsel verinin davranış şekillerinde kaosu varlığı gözlenmektedir [Serin, 2003].

Kaos alanı, herhangi bir bilim dalının tekelinde olmadığından birçok bilim dalıyla yakın ilişkiye sahiptir. Kaosun ortaya koyduğu yaklaşımlarla bugün mühendislikten tıbbı, biyolojiden bilişime, istatistikten astronomiye kadar pek çok bilim dalında karşılaşılan güçlükler incelenmeye çalışılmaktadır. Tüm bu bilim dallarının yanında, hem anlayamayacağımız kadar karmaşıklığa sahip olduğundan, hem de çok küçük değişimlerle büyük farklılıklar elde edilebildiğinden meteoroloji, kaosu en önemli uygulama alanlarından biri olarak görülmektedir [Kasap ve Kurt, 2011].

3.1 Kaotik Süreçlerin Teknik Özellikleri

Kaos teorisi, başlangıç koşullarına hassas bağıllık (sensitive dependence on initial conditions) ve fraktal geometrik kavramlarına dayanmaktadır. Dolayısıyla bu bölümde, bu kavramlar hakkında bilgi verilecektir.

3.1.1. Başlangıç koşullarına hassas bağıllık

1961 yılında meteoroloji profesörü Edward Lorenz, modelinin verdiği ardışık dizilerden birini uzun uzadıya incelemek istediğinde bir kestirme yola başvurmuştur. Bunun için programı tekrar başa döndürüp çalıştırmak yerine ortaldan bir yerden başlattığı anlatılmaktadır. Makineye başlangıç durumundaki koşulları vermek için daha önce yazıcıdan çıkarmış olduğu dizilere bakıp aynı sayıları klavyeden programa girmiştir ve bir süreliğine oradan uzaklaşmıştır. Ancak bir saat kadar sonra döndüğünde elde ettiği sonuçlar karşısında çok şaşırmıştır. Lorenz yazıcıdan yeni çıkan döküme baktığında, hava durumu bir önceki şekilde yer alan dökümden öyle hızla uzaklaşmıştır ki, bir kaç aylık süre içinde aradaki bütün benzerlik ortadan kalkmıştır. İlk olarak bilgisayarın bozulduğu düşünülmüş olsa da daha sonraları Lorenz gerçeğın farkına varmıştır. Böylece sorunun bilgisayardan değil, bilgisayara

girdiği sayılardan kaynaklandığını fark etmiştir. Çünkü bilgisayar belleğine kaydedilen sayılar altı basamağa sahipken, binde birlik farkın önemli olmayacağını düşünerek elde edilen dökümde Lorenz son üç basamağı atmıştır [Tosun, 2006].

Lorenz bütünüyle deterministik bir model kullanmıştır. Dolayısıyla belirli bir çıkış noktasından hareket edildiğinde hava durumunun tıpatıp aynı gelişmeyi göstermesi gerekmektedir. Buna göre biraz farklı bir çıkıştan hareket edildiğinde de, hava durumunun biraz daha farklı bir gelişme göstermesi gerekecektir. Çünkü buradaki gibi küçük bir sayı hatasının rüzgarın küçük bir esintisinden bir farkı yoktur. Doğal olarak hafif esintiler hava durumunda önemli, büyük ölçekli değişimler oluşturmada yazayılıyıp ortadan yok olmaktadır ya da birbirlerini dengelemektedirler. Oysa Lorenz'inkullandığı denklemler sisteminde küçük hatalardan felaketler doğmaktadır. Burada başlangıç değerlerindeki binde birlik değişimler sonuçta çok büyük ölçüde değişimler ortaya çıkarmıştır. Önceleri bunda herhangi bir sebep bulunamamasından dolayı bu farklılığın sistemin kendi iç dinamiklerinden kaynaklandığı düşünülmüştür [Tosun, 2006].

Daha sonra Edward Lorenz 1973'de, doğrusal olmayan 3 eşitliği ve atmosferde ısının yer değiştirmesi ile ilgili kesin ve denklem faktörlerinin yakınlığının da incelenmesini kapsayarak, diferansiyel denklemler cihazının hesaplamalarının sonuçlarını yayınlamıştır. Burada, rastgele elementlerin etkileşimi veya dış kaynaklı şokların girişi dışında, sistemin karşılık olarak bazı düzensiz dalgalanmalar meydana çıkardığını gözler önüne sermiştir. Lorenz araştırmasının devamında şaşırtıcı biçimde tekrar şu sonuca varmıştır; atmosfer koşullarının tahmini için denklemlerin öncelikli koşullarındaki çok küçük bir değişim, sistemin karşılığında dalgalanmalar oluşturacak ve bunların sonucunda çok büyük değişiklikler elde edilecektir. Başlangıç koşullarına hassas bağlılık olarak tanımlanan bu durum kelebek etkisi (butterflyeffect) olarak da adlandırılmaktadır.

Edward Lorenz bu duruma örnek olarak “Mesela bir kelebek Pekin’de uçuyor olsun. Bu kelebeğin uçuşundaki bir kanat çırpışından dolayı bir bulutun hareket etmesi ve New York ’da bir fırtınanın baş göstermesi mümkündür” yorumunu yapmıştır. Bu,

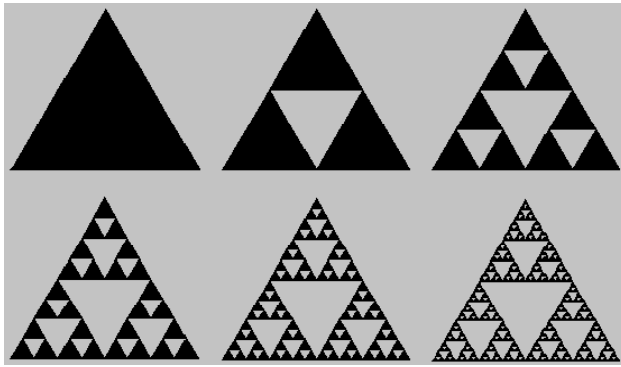
başlangıç koşullarındaki küçük bir değişiklik, sistem çıktılarında uçsuz bucaksız ve önceden kestirilemeyen sonuçlara neden olabileceği anlamına gelmektedir. Çünkü kaos teorisine göre tüm birimler içinde küçük değişiklikler mevcuttur. Dolayısıyla da bu kavram kaotik hareketin temel özelliklerinden biridir. Bu gelişme ile birlikte, birimler içinde küçük değişikliklerin var olduğu değerler analiz edilebilmekte ve kaos ile ilgili olduğu bilinen konular daha iyi organize edilebilmektedir.

Deterministik bir sistemde değişkenlerin başlangıç durumu ve denklemleri biliniyorsa, sistemin sonraki davranışı belirlenebilmektedir. Kaotik sistemlerde, sistemin zaman içindeki gelişimini tam olarak belirleyebilmek için başlangıç değerlerini sonsuz hassasiyetle bilmek gerekmektedir. Teorik olarak sonsuz hassasiyete sahip ölçümler imkansız olduğundan, deterministik olmalarına rağmen kaotik sistemlerde uzun dönemli tahmin yapılamamaktadır. Ancak kaotik sistemlerde kısa süreli tahminler oldukça başarılı biçimde yapılabilmektedir[Yang ve Duan, 2003].

3.1.2. Fraktal geometri

Mandelbrot “fraktal” kavramını, “Parçalar ile bütünün benzer yapısal özellikler gösterdiği geometrik şekiller” olarak ifade etmektedir[Tosun, 2006]. Bu açıdan, fraktal geometri en basit haliyle “Kaos’un geometrisi” olarak tanımlanmaktadır. Kesirli boyutlara sahip şekiller, her ölçekte aynı görüntüyü veren kendine-benzer (self-similar) yapılar, sonsuza kadar süren dallanmalar ve bu dallanmaların ana yapı ile yapısal benzerlik göstermeleridir. Fraktal geometrinin temelini oluşturmaktadır. Fraktal yapılarla gerçel doğanın yapıları kurallarla açıklanmaya çalışılmaktadır. Kendini tekrarlayan bu yapılar, Öklid geometrisi ile anlaşılamamaktadır. Ancak fraktal geometri, bu şekillerin gizemini çözebilmektedir. Bu yapıların basitleştirilmeye çalışılması ve ulaşılmaya çalışılan bu basitlikle kompleks sistemlerin açıklanmaya çalışılması, fraktal yapıların araştırılma sebebini oluşturmaktadır[Tosun, 2006].

Fraktal Şekilleri oluşturma'nın temel ve basit kuralı, alınacak bir kuralın sürekli olarak tekrar edilmesidir. Yani bir kural sabit olarak alınır ve sürekli olarak uygulanırsa fraktal bir şekil elde edilebilmektedir. Bunun için Şekil 3.1.'de görülen Waclaw Sierpinski'nin fraktal yapısı örnek olarak verilebilmektedir. Sierpinski eşkenar bir üçgende kenarortay noktalarından oluşan yeni bir üçgen oluşturmaktadır. Burada oluşan her üçgen için bunu yenileyerek Şekil 3.1.'deki üçgen şekilleri ortaya çıkmaktadır [Peters, 1996].



Şekil 3.1. Sierpinski'nin Fraktal Örneği

Birçok alanda yer alan zaman serileri için fraktal yapılar iseserinin zaman içinde kendine-benzer yapılar göstermesiyle ortaya çıkmaktadır. Fraktal zaman serileri esasen tesadüfi olarak dağılmış zaman serileridir ve deterministik olduklarından bütün özelliklerini kesin periyotlar halinde göstermemektedirler. Dolayısıyla ana yapıya benzeyen yapı şekilleri zaman serisi içinde tesadüfen oluşmaktadır.

Bir seri doğrusal oldukça fraktal boyutu d_1 'e yaklaşmaktadır. Dolayısıyla yüksek sivrilikler içeren, yükseliş ve düşüşlerin fazla olduğu yapılarda bu boyut 2 'ye yaklaşmaktadır hem de kesirli bir sayı olmaktadır. Bu durumda Tonis Vaga'nın kaos teorisini finansal piyasalara uygulamasının nedeni açıklanabilmektedir. Vaga'ya göre piyasalarda risk ve getiri doğrusal olmayan oynak bir yapıya sahiptir [Vaga, 1991]. Bu nedenle iyi bir analiz yapabilmek için sistemin fraktal boyutu ve yapısı önemlidir. Çünkü bu sayede piyasanın bazı şartlarına göre düşük risklerde yüksek getiriler elde edebilmek mümkündür. Benzer olarak Warren Buffet ve George Soros

gibi yatırımcılar da, uzun vadede ortalamaya göre yüksek kar elde etmelerini benzer bir şekilde açıklamışlardır [Tosun, 2006].

Çekiciler kısaca dinamik sistemlerin resimleridirler. Buna göre bir dinamik hareket incelendiğinde fraktal geometri, çalışmaları büyük ölçüde kolaylaştırmaktadır. Örneğin, nokta çekici sistemin zamana göre değişmeden durduğunu ifade ederken garip çekiciler karmaşık olup çoğunlukla ilginç yapılarda şekillenmektedir.

Bir sistemin kaotik yapıya sahip olması sonucu, zaman serisini oluşturan fonksiyon tahmin edilemez bir yapıya sahip olmaktadır. Bu durum, rastgele artıp azalarak değişim gösteren fonksiyonla eşdeğerdir. Sistemdeki her bir farklı kaotik dalgalanma için faz uzayında birbirinden farklı şekiller, diğer bir ifade ile farklı çekiciler oluşmaktadır. Kaos çalışmalarının tarihsel gelişimi çerçevesinde ortaya çıkan önemli çekiciler aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir [Kasap ve Kurt, 2011].

- Lorenz çekicisi
- Rössler çekicisi
- Henon çekicisi

Burada kavramsal açıdan bakıldığında çekiciler iki önemli noktayı içermektedirler. Bunlar, çekicinin bizzat kendisi ve onun formudur. Buna göre bir sistemin davranışı bütünüyle o sistemin çekicisiyle anlaşılmaktadır. Dolayısıyla bir çekici ancak fraktal geometri tarafından tanımlanabiliyorsa o çekiciye garip çekici denmektedir. Kaos çalışmalarının vazgeçilmez kavramı olan garip çekiciler her farklı kaotik zaman serisi için farklı faz uzayı portresine sahiptirler. Kaotik çekicilerde, sistemin faz uzayında ziyaret ettiği noktalardan oluşan bu kümeler düzensiz geometrik yapılar meydana getirmektedirler. Burada oluşan fraktal geometri, sınırlı bir faz uzayı içindeki uzama, katlanma ve hacim küçülmesi sonucu küçük boyutlarda istatistiksel olarak kendine benzer yapılar şeklinde ortaya çıkmaktadır [Öztürk, 2008]. Buna göre, sistem kendine benzer bir tarzda sürekli olarak örülürken, başlangıç koşullarına hassas bağıllık özelliği gereği, sistemin her hali tek olmaktadır. Bu da çekerleri oluşturan eğrilere fraktal bir görünüm kazandırmaktadır. Böylece şekle

yaklaşıldıkça bütünü oluşturarak kurallara uygun yeni ayrıntılarla yüz yüze gelmektedir ve bu durum sonsuza kadar devam etmektedir. Böyle yapılardan oluşan çekerler kesirli boyuta sahip olmaktadır.

Buradan fraktalların özellikleri ile garip çekicilerin özelliklerinin paralellik arz ettiği sonucu çıkarılabilmektedir. Çünkü her ikisinde de sonsuza gitme ve kesirli boyuta sahip olma özellikleri mevcuttur. Ayrıca, fraktallar, garip çekicilerde de olduğu gibi, sabit bir alanda sonsuz uzunluğa veya sonlu bir hacimde sonsuz alana sahip olabilmektedirler [Kasap ve Kurt, 2011]. Bu özelliklerinden dolayı kaotik çekiciler, fraktal boyut ile yakından ilişkili olan korelasyon boyutu ile karakterize edilebilmektedirler.

3.2. Kaosun Varlığını Tespit Etmek İçin Yapılan Analizler

Kaotik sistemler matematiksel olarak genellikle iki şekilde ifade edilebilmektedirler [Yalamova ve ark., 2006]:

- i. Sürekli sistemler için diferansiyel veya kesikli sistemler için fark denklemleriyle,
- ii. Denklemlerin bilinmediği durumlarda deneysel veriyle.

İlk durumda sistemin bir veya birden fazla değişkeni olabilmektedir. Bu değişkenlerden herhangi biri ya da birkaçının zaman serisi denklemlerindeki başlangıç koşulları biliniyorsa, ihmal edilebilir bir hata payıyla ölçülen başlangıç koşulları sistemin gerçek çıkışından çok farklı sonuçlar verene kadar bu denklemler kestirilebilmektedir. Ancak doğadaki doğrusal olmayan dinamik sistemlerin genellikle denklemleri bilinmemektedir. Bunun yerine elimizde genelde bir değişkene ait kaydettiğimiz belirli bir dönemin verileri olmaktadır. Dolayısıyla ikinci durum ile daha sık karşılaşılmaktadır. Böyle zaman serilerinin kaotik olup olmadığını anlamak için de çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

Bu bölümde dinamik sistemin denklemlerinin bilinmemesi durumunda kaotik yapının belirlenmesi için kullanılan araçlardan karşılıklı bilgi yöntemi, gömülü boyut, yanlış en yakın komşular, garip çekiciler, korelasyonintegrali, BDS testi, güç spektrumu ve Lyapunov üstelleri yöntemleri incelenecektir.

3.2.1. Karşılıklı bilgi yöntemi

Fraser ve Swinney (1986) ve Abarbanel (1996)'in önerdiği karşılıklı bilgi yöntemi (mutual information), iki zaman serisinin birbirleri hakkında içerdiği bilgiyi ölçen bir yöntemdir. Burada bir zaman serisi ve onun gecikmiş hali kullanılmaktadır. Eğer bu iki seri birbirinden bağımsız ise, karşılıklı bilgi değeri de sıfır olmaktadır.

Karşılıklı bilgi kavramı esasen optimum bir gecikme değeri belirlemek için ortaya atılmış bir yöntemdir. Zaman serilerindeki gecikmeyi belirlemek için sıklıkla kullanılan otokorelasyon fonksiyonunun aksine doğrusal olmayan ilişkileri de hesaba katmaktadır. Buna göre karşılıklı bilgi yönteminin formülü (2.1) ile ifade edilmektedir.

$$S = - \sum_{ij} p_{ij}(\tau) \ln \frac{p_{ij}(\tau)}{p_i p_j} \quad (2.1)$$

Formülasyondaki S karşılıklı bilgi değeri, farklı τ gecikme değerleri için hesaplanmaktadır. Burada p_i bir zaman serisi değerinin i. aralıkta bulunma olasılığı; $p_{ij}(\tau)$ ise bir gözlemin i. aralığa düşme ve τ zaman sonraki gözlemin ise j. aralığa düşmesinin ortak olasılığı olarak ifade edilmektedir. Burada karşılıklı bilgi fonksiyonunun ilk minimum olduğu τ değeri optimum gecikme değeri olarak alınmaktadır [Yalamova ve ark., 2006].

Karşılıklı bilgi çekici üzerindeki noktalar arasında genel bir bağımlılık ölçütü vermektedir. Doğrusal olmayan sistemlerde artık veriden (redundance) ilgisiz veriye (irrelevance) doğru kayma hakkında iyi bir ölçüt sağlamaktadır. Buna göre karşılıklı

bilgi değeri ne kadar küçükse, ardışık gecikme koordinatlarınınındagöreceli olarak o kadar bağımsız olduğu şeklinde yorumlanmaktadır. Aynı zamanda buradaki veri artıklığı da yine göreceli olarak o kadar az olmaktadır. Bu da çekicinin en iyi şekilde oluşturulduğu anlamına gelmektedir.

3.2.2. Gömülüboyut

Bir zaman serisi analiz edilmeye başlandığında bu serinin geometrik olarak kaç boyutla temsil edilebileceği ve gecikme zamanının nasıl seçileceği bilinmemektedir. Takens'ın Gömülü Teoremi (EmbeddingTheorem) sayesinde bir zaman serisinin ham verisi ve gecikmeli verisi, o dinamik sistemin topolojik yapısını belirleyebilmektedir. Gömülü teoremi bize sistemin s_n vektörüne karşılık gelenevre uzayındakim boyutunu garanti etmektedir [Kantz ve Schreiber, 2004]. Böylece m boyutunda birbirine çok yakın olan iki nokta, m 'nin daha büyük değerlerine sahip bir uzay içinde görünür hale gelmektedir.

Örneğin, eğer çekici aslındaüç boyutlu ise ve iki boyutlu uzayda çizdirilmişse, çeker kendi üzerine katlanmaktadır.Diğer bir ifadeyle kendini kesen bir boyutlu çizgi haline gelmektedir. Buradan elde edilen grafiğin ayırım noktalarında belirsizlik olmaktadır. Bundan dolayı da elde edilen grafik çok fazla bilgi vermemektedir. Çünkü noktaların komşu olduğu diğer noktaların hangileri olduğu belirlenememektedir. Bu belirsizlik, çekicinin üç boyutlu uzay içinde çizdirilmesiyle tamamen çözülmüş olmaktadır. Böylece kesişim noktaları da açık bir şekilde görünür hale gelmektedir. Buradan anlaşılabileceği gibi, sistemin incelendiği boyut arttıkça, sistem daha iyi görülür hale gelmektedir. Buna göre, her bir sistem için bütün bu belirsizliklerin çözüldüğü ideal bir R^m uzayı, gömülü boyutu vermektedir [Kantz ve Schreiber, 2004]. Ancak m 'in üçten büyük boyutlarda olması görsel bir grafik elde etmeyi olanaksız kılmaktadır. Fakat bu durum, kaos analizinin yapılması için bir engel oluşturmamaktadır.

Çekicinin oluşturulacağı faz uzayının eksen sayısına karşılık gelen gömülü boyutu, çekici üzerindeki yörüngelerin birbirleriyle kesişmeyeceği veya üst üste gelmeyeceği şekilde seçilmesi gerekmektedir. Buna göre gömülü boyut m ve zaman gecikmesi τ gömülü parametrelerini optimize etmek için genel olarak iki yaklaşım mevcuttur. Bunlardan ilkinde, gömülü boyutun belirlenmesi için bazı istatistiksel araçlar kullanılmaktadır ve daha sonraki analizler için optimum olabilecek değerlerle alınmaktadır. Diğer yaklaşımda ise, analize yönelik belirli bir değer ile başlanarak m ve τ ile ilgili değerlerin optimum olanına iterasyon ile ulaşılmaktadır. Çoğu pratik kullanımlarda en önemli gömülü parametresi olarak sadece gömülü boyutun (m) veya sadece zaman gecikmesinin (τ) kullanılmasındansa her ikisinin bir ürünü olan $m\tau$ daha çok tercih edilmektedir. Bunun nedeni $m\tau$ 'nın bir gömülü vektör ile ifade edilen bir zaman aralığı olmasıdır [Kantz ve Schreiber, 2004].

m ve τ 'nın ayrı ayrı alındığı varsayıldığında, m 'in tam olarak bilinmesi, ufak sayısal çözümlerle deterministlikten faydalanmak istenildiğinde arzu edilen bir durum olabilmektedir. Ancak eğer m gömülü boyutu durum uzayının güvenilir bir temsili ise, her yeniden elde edilen ve $m' > m$ olan m' boyutu, o kadar da iyi olmamaktadır. Çünkü kaotik veri için çok büyük bir m değerinin seçilmesi fazlalık olacaktır. Bu durum, öngörü gibi yapılan birçok analizin performansının azalmasına sebep olacaktır. Dolayısıyla büyük m her zaman yararlı olmamakla beraber kullanılan çoğu algoritmanın karışması için de bir risk unsuru olmaktadır.

Bir sistemin gömülü boyutunu bulmak için birkaç yöntem mevcuttur. Ancak bunların arasında en sık kullanılan yöntem yanlış en yakın komşular (false nearest neighbours) yöntemidir. Bu yöntem Kennel, Brown ve Abarbanel (1992) tarafından geliştirilmiştir [Kantz ve Schreiber, 2004]. Yöntemdeki temel görüş, verinin gömülü uzayındaki zamana ilişkin yapıları çok farklı olmayan komşuları arasındaki noktaları araştırmaktır. Örneğin, X_a ve X_b faz uzayında birbirine yakın iki nokta ise bu durumun iki nedeni olabilmektedir:

- 1- Bu noktaların bulunduğu yörüngeler dinamik olarak değişerek, noktalar birbirlerine yakınlaşmışlardır.
- 2- Çekici, olması gereken boyuttan daha düşük bir boyutta oluşturulduğu için iz düşüm sonucu, gerçekte birbirinden uzak olması gereken noktalar üst üste gelmişlerdir.

Bir veri setinin gömülü boyutunun m_0 olduğu ve aynı zamanda verinin $m < m_0$ olacak şekilde daha küçük bir gömülü boyutuyla çalışıldığı varsayılmaktadır. Burada m_0 'dan m 'e geçmek, koordinat sistemindeki bazı eksenleri elimine edilerek yapılan bir tahmin olmaktadır. Bundan dolayı tahmin ile elimine edilen koordinatlara ait noktalar güçlü bir şekilde farklılık gösterebilmektedir ve böylece m boyutlu uzayda “yanlış komşular” haline gelebilmektedirler. Dolayısıyla çalışılacak olan istatistikte, zaman serisinin her bir noktası için m boyuttan en yakın komşusu alınmaktadır. Ardından da bu noktanın $m + 1$ boyut ve m boyut arasındaki uzaklığının bir oranı hesaplanmaktadır [Kantz ve Schreiber, 2004].

$$y(k) = [x(k), x(k + T), \dots, x(k + (m - 1)T)] \quad (2.2)$$

Yukarıdaki ifadedey $y(k)$ yeniden yapılandırılmış m boyutlu uzay vektörü, $x(k)$ gözlenen değişken, T zaman gecikmesi ve m ise gömülü boyuttur. Burada m boyutundaki her bir vektör, bir en yakın komşuya ($y^{NN}(k)$) sahip olmaktadır. $y(k)$ ile $y^{NN}(k)$ arasında m boyutundaki öklit farkı $R_m(k)$ olmak üzere;

$$R_m(k)^2 = [x(k) - x^{NN}(k)]^2 + [x(k + T) - x^{NN}(k + T)]^2 + \dots \quad (2.3)$$

$m + 1$ boyuttaolan bu en yakın komşunun farkı $(m + 1)$ 'inci koordinatlarda $x(k + mT)$ ve $x^{NN}(k + mT)$ 'ye bağlı olarak değişmektedir.

$$R_{(m+1)}(k)^2 = R_m(k)^2 + [x(k + mT) - x^{NN}(k + mT)]^2 \quad (2.4)$$

Burada komşuların yanlış olduğu kararı için, Kennel ve ark. (1992) σ/s olacak şekilde bir R_T eşik değerinin gerekli olduğunu öne sürmüşlerdir. Buradaki σ , verilerin ortalama etrafındaki standart sapma değeri ve s , önceden belirlenmiş bir değerdir. Böylece aynı zamanda ortalama olarak σ 'dan daha uzakta bir uzay olmamaktadır. Burada kullanılan eşik değeri, deterministik kaos sonucu oluşacak olan noktalar arası üssel uzaklaşmayı ele alabilecek kadar büyük olmalıdır.

$$\frac{|x(k+mT) - x^{NN}(k+mT)|}{R_m(k)} > R_T \quad (2.5)$$

Buna göre, (2.5)'deki koşul sağlandığında k zamanındaki en yakın komşular yanlış olarak değerlendirilmektedir [Kantz ve Schreiber, 2004]. Koşul sağlanmadığında ise bu noktaya ait olarak hesaplanmış en yakın komşuların doğru olduğu ve bu noktadaki boyutun da, gömülü boyut olduğu kabul edilmektedir. Böylece yanlış en yakın komşular yöntemi ile gömülü boyutunun yanlış komşu sayısı ihmal edilebilir bir seviyeye gelene kadar birer birer arttırılmaktadır. Bu seviyede elde edilen gömülü boyut en uygun gömülü boyut olarak alınmaktadır. Yanlış en yakın komşular algoritması daha yüksek boyutlar için ve tüm nokta çiftleri için tekrarlanmaktadır. Algoritmanın sonlanma koşulu, tüm çekici için, yukarıdaki koşulun sağlanmasının yanı sıra yanlış en yakın komşuların sayısının sıfır olmasıdır [Öztürk, 2008]. Bu durumda çekici, son halini almış ve ortaya çıkmış demektir. Abarbanel ve Lall (1996)'a göre, doğrusal olmayan sistemler için genellikle koordinat boyutu yaklaşık 15 olmaktadır.

Buna karşılık bu metotta, eşik değerinin belirlenmesini sağlayan birçok kural bulunmaktadır. Eşik değerin subjektif seçimi, özellikle zaman serilerinin analizlerinde, farklı gömülü boyut değerlerinin elde edilmesine sebep olmaktadır. Dolayısıyla bu durum yöntem açısından bir dezavantaj oluşturmaktadır.

3.2.3. Garip çekiciler

David Stewart (1989) adlı bilim adamı, “Genel bir dinamik sistem uzun dönemde ne yapar?” sorusuna “Bir çekiciye konumlanır.” yanıtını vermiştir. Hilborn (1994) ise en genel terimlerle çekicinin, iterasyon sayısı sonsuza giderken yörüngenin ulaştığı noktalar kümesi olduğunu belirtmektedir [Bozdağ, 1998]. Buna benzer olarak Ruelle (1994) çekicinin, incelenen sistemi temsil eden noktanın uzun dönemde (geçici oluşumlar ortadan kalktıktan sonra) üzerinde hareket etmekte olduğu küme olduğunu belirtmektedir.

Kısacası dinamik sistemin uzun dönemli davranışının durum uzayında çizdiği geometrik nesneye çekici (attractor) adı verilmektedir. Çekici durum uzayının bir parçasıdır ve çekicinin yanında durum uzayında bulunan diğer tüm noktalar çekiciye yaklaşmaktadırlar. Bunun yanında çok karmaşık olan sistemlerde görüldüğü gibi belirli bir parametre değeri için sistem birden fazla çekiciye sahip olabilmektedir. Böyle bir durumda sistemdeki değişik başlangıç koşulları için değişik çekicilere ulaşılmaktadır [Bozdağ, 1998].

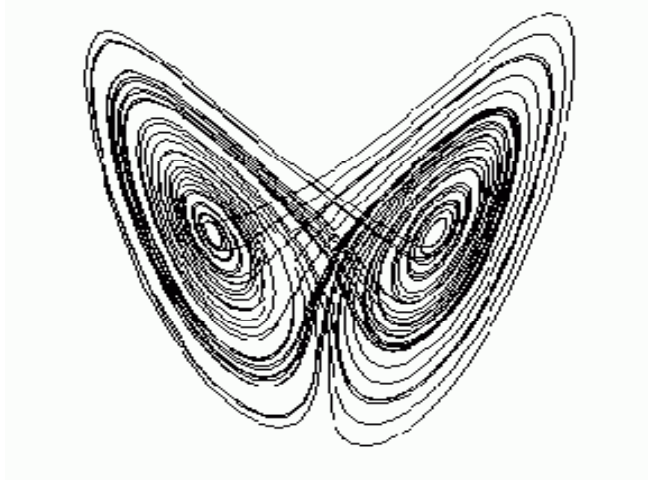
Çekicilerin en önemli özelliklerinden biri dinamik bir sistemin gösterdiği davranış türleri ile çekiciler arasında birebir eşleme yapılabilmesidir. Bu nedenle dinamik sistemin sahip olduğu çekicileri araştırarak göstereceği davranışları belirlemek olanaklıdır. Çizelge2.1’de davranış tipleri ile çekiciler arasındaki ilişki gösterilmektedir [Yavaş, 1985]. Sistemde oluşan akışlar konusunda sözü edilen kuyu, kaynak ve eyer, uzun dönemli davranışlarına bakıldığında durum uzayında yalnızca bir nokta ile gösterilebilmektedir. Bu nedenle bu davranış tiplerinin çekicisi nokta çekici olarak adlandırılmaktadır.

Çizelge3.1. Çekici Davranışlarının Eşleşmesi

Çekici	Davranış Tipi
Nokta Çekici	Denge noktaları (kuyu, kaynak ve eyer)
Periyodik Çekici	Limit çevrimler, yarı periyodik hareketler
Garip Çekici	Bütünüyle rassal görünen davranış

Limit çevirim akışında ise, sistem sürekli aynı değeri almaktadır ve bu nedenle periyodik bir davranışa meydana getirmektedir. Bu davranışın durum uzayındaki geometrik şekli birden fazla noktadan oluşmaktadır. Buna karşılık yarı periyodik davranışın oluşturduğu çekici ise durum uzayında kapalı bir eğri şeklinde olmaktadır. Lorenz, kaotik sistemlerin belirli sınırlar içerisinde değişim gösterdiğini ve bu sınırlar içerisindeki hareketlerinin belirlenemez olduğunu söylemiştir. Evre uzayında zamanda ardışık değerlerin oluşturduğu yörüngeler denge haline gelirken kaotik sistemleri kendi etrafına çeken olasılık odakları oluşmaktadır. Yukarıdaki olasılık odaklarının dışında kalan bu çekici, bütünüyle rassal görünen bir davranışın uzun dönemde durum uzayında oluşturduğu geometrik bir nesnedir. Bir başka ifadeyle bu olasılık odaklarına garip çekiciler (strange attractor) denmektedir. Kaotik davranışın göstergesi olduğu için kaotik çekici adı da kullanılmaktadır.

Garip çekiciler söz konusu olduğunda bir parçacığın, bir garip çekiciye çekildiğinde, kaçmak için bir yolu yoktur ve bununla beraber parçacığın çekici içindeki hareketi belirli düzenlemelerle belirtilmiştir. Ancak aynı zamanda parçacık kendi rastgele hareketine devam etmektedir. Buna örnek bilinen Lorenz çekerleri Şekil 3.2’de gösterilmektedir. Şekilde Lorenz çekicisi uzun dönemli hareketine devam ederken iki durağan durumdan birine yaklaşmakta ve buradan sonsuz periyodik hareketine devam etmektedir. Diğer bir ifadeyle buradaki denge durumlarında çakılı kalmaktadır.



Şekil 3.2.Lorenz Çekerleri

Bu tip çekicilerde sistemin elemanları, birer çekirdek gibi görünen iki büyük olasılık kümesi arasında gidip gelmektedirler. Sisteme ait birimlerin, bu olasılık kümeleri içinde veya çevresinde nasıl bir davranış göstereceği bilinmezken, sistem tamamen belli sınırlar içinde hareket etmektedir. Buna göre sistemin sadece hangi olasılıklar içinde hareket edeceği bellidir ve kesin hareket rotası önceden belirlenememektedir.

WarrenBuffet ve Peter Lynch gibi, ekonomik sistemlerde uzun vade stratejisini yayan ve piyasalarda çok yüksek gelirler elde eden bazı yatırımcıların karları da Lorenz Çekicisindeki bu duruma benzetilmektedir [Tosun, 2006]. Uzun vadede piyasa ya da menkul kıymet gelirlerinin bu iki noktaya çekileceğini tahmin eden yatırımcılar bu stratejiye göre karar vermekte ve kazanç sağlamaktadırlar. İleriki bölümlerde bu durumayrıntılı olarak açıklanacaktır.

3.2.4. Korelasyon integrali

Dinamik sistemlerin karmaşıklığını göstermek için değişik boyut tanımları mevcuttur. Bunların içinde pratikte en yaygın kullanılanı korelasyon boyutudur (correlationdimension). Korelasyon boyutunun tercih edilmesinde genel olarak iki sebep gösterilmektedir. Birincisi, benzerlik boyutu, karşılıklı bilgi boyutu gibi diğer boyutlara göre çekiciyi daha ince ayrıntıda ölçeklerle araştırmasıdır. İkinci sebep ise,

korelasyon integralinin diğer boyutlara göre daha kolay ve hızlı biçimde hesaplanabilmesidir [Öztürk, 2008].

Bir çekici kaotik ise, başlangıçta birbirine yakın olan komşu yörüngeler zaman içinde üssel olarak birbirinden uzaklaşmakta ve bu yörüngeler üzerindeki noktalar dinamik olarak ilişkisiz hale gelmektedirler. Bu noktalar rasgele görünseler bile, hepsi aynı çekici üzerinde yer aldığı için faz uzayında birbirleri ile ilişkili olarak konumlanmaktadır. Korelasyon boyutu hesabında, çekici üzerindeki noktaların zaman bilgisinin aksine uzaysal ilişkisi göz önüne alınmaktadır (Williams, 1997). Buna göre faz uzayında birbirine yakın olan noktalar için, yüksek seviyede korelasyon söz konusu olmaktadır.

Bahsedilen tarzdaki geometrik bir nesnesin kendine benzerliğini ölçmenin değişik yolları mevcuttur. Pratikte veri noktalarını barındıran sonlu bir örnekten tekrar yapılandırılması gereken bir geometrik objeye ilişkin yapılan işlemlerin ve tanımın bazı hataları içermesi kaçınılmayan bir durum olmaktadır. Buna göre Grassberger ve Procaccia (1983) tarafından “korelasyon integrali (boyutu)” fikri oluşturulmuştur. İlişkiyi ölçtüğünden dolayı bu kavrama “ilişki boyutu” da denmektedir.

Korelasyon integrali üç boyutlu korelasyona dayanan bir yöntemidir. ε yarıçapına sahip bir alan veya hacim içinde kalan noktaların sayılması ile elde edilmektedir. Korelasyon integrali de, ε yarıçapı içinde kalan toplam nokta sayısının $N(N-1)$ değerine bölünmesi ile elde edilmektedir. Burada N , veri kümesindeki toplam nokta sayısı olarak alınmaktadır [Öztürk, 2008]. Buna göre korelasyon integralinin değişik ε yarıçapları için hesaplanması ve log-log koordinat sistemine işaretlenmesi sonucu elde edilen noktaların oluşturduğu doğrunun eğimi hesaplanmaktadır.

Çekici üzerindeki bir noktanın $\{x_t\}_1^T$ seti dikkate alınsın. $C(l) = \lim_{T \rightarrow \infty} C^T(l)$ korelasyon integrali olmak üzere,

$$C(l) = \frac{2}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N \theta(l - |x_i - x_j|) \quad (2.6)$$

Burada θ , Heaviside fonksiyonu olarak da bilinen ve sadece iki değer alabilen ikili eşik fonksiyonudur ve (2.7)'deki gibi tanımlanmıştır.

$$\theta = \begin{cases} x_i - x_j < 0, & \text{ise } 0 \\ x_i - x_j > 0, & \text{ise } 1 \end{cases} \quad (2.7)$$

(2.6) formülünün en dıştaki döngüsünde, gömülü boyutu artırılarak yeni $C(l)$ ve l değerleri elde edilmektedir. Böylece $C(l)$, l 'den küçük olan $|x_t - x_s|$ uzaklığına sahip (x_t, x_s) çiftinin toplam sayısını ölçmektedir. Uygulamada $\ln(l)$ 'ye karşı $\ln C(l)$ 'nin grafiğinin eğimi olan d , korelasyon boyutu olarak kullanılmaktadır [Amilon ve Byström, 1998]. Genel olarak gömülü boyutu arttıkça $C(l)$ küçülmektedir ve buna karşılık olarak korelasyon boyutu büyümektedir. Belirli bir aşamadan sonra ise gömülü boyutunun artırılması korelasyon boyutunu etkilememektedir. Buna göre gömülü boyutu, çekici boyutundan büyük olduğu sürece oluşturulan çekicinin korelasyon boyutu gerçek çekicinin korelasyon boyutuna sahip olacaktır. Yüksek derecede deterministik veya kaotik sistemlerde de gömülü boyutu arttıkça korelasyon boyutu artmakta veya bir noktadan sonra sabit hale gelmekte yani, asimptotik olarak belirli bir değere yaklaşmaktadır [Fırat, 2006]. Aksi halde eldeki veri kümesinin rastgele ve düzensiz olduğu yorumu yapılmaktadır.

Kaotik çekicilerde periyodik olmayan hareketin gerekliliği olan yörüngelerin kesişmemesi şartının sağlanması için, hem faz uzayının hem de çekicinin boyutunu 2'den büyük olması gerekmektedir. Öklid geometrisine ait nesnelerin boyutları tam sayılarla gösterilirken, tüm ölçüm seviyelerinde aynı kendine benzer yapıyı gösteren geometrik nesnelerin (fraktal yapılar) boyutları kesirli olmaktadır. Buna göre, korelasyon boyutu periyodik bir sistem için bire eşit çıkmaktadır. Bunun aksine kaotik bir sistem için korelasyon boyutu ise kesirli bir sayı olabilmektedir. Ayrıca teoride rastgele bir sistemin korelasyon boyutunun sonsuz olduğu belirtilmektedir [Öztürk, 2008]. Bu özelliğinden dolayı korelasyon boyutu rastgele sistemlerle kaotik sistemleri birbirinden ayırmak için kullanmak mümkündür.

Korelasyon boyutunun ölçümü kaosu test etmek için oldukça yararlı olmasının yanı sıra korelasyon boyutunun örnekleme özellikleri hala bilinmemektedir [Barnett, 1998]. Bunun yanı sıra yüksek dereceli kaos söz konusu iken korelasyon boyutu çok büyük olacaktır ve bunu büyük hacimli verilerden tahmin etmek de çok zor olacaktır. Dolayısıyla Grassberger ve Procaccia (1983), korelasyon boyutunun yalnızca düşük dereceli kaos ile yüksek dereceli kaosu birbirinden ayırabildiğini belirtmişlerdir.

3.2.5. BDS testi

Varson ve Doran (1995) kaosu rastgele ve doğrusal olmama durumundan Grassberger ve Procaccia'nın korelasyon integrali boyutu ile ayırt etmeyi denemişlerdir. Ancak bu metodun dezavantajları, çok uzun veri setine ihtiyaç duyması ve bir istatistik testi kurmamasıdır. Bundan dolayı Brock, Dechert ve Scheinkman (1987) uzamsal korelasyonun ölçüsü ile ilgili olan bir test istatistiğini yani, BDS testini önermişlerdir. Bu test, “bağımsız benzer dağılımlı (i.i.d.)” hipotezlerinden sapmaları belirlemede kullanılabilir ve Grassberger ve Procaccia (1983)'nin korelasyon integraline dayanmaktadır [Amilon ve Byström, 1998]. BDS testi, yokluk hipotezinin doğruluğu altında test istatistiğinin dağılımı bilinmediğinden doğrusal olmama veya kaos için doğrudan bir test istatistiği sağlamamaktadır. Ancak bu testi, kaotik hareketin varlığı hakkında dolaylı bir kanıt olarak kullanmak mümkündür [Barnett, 1998].

BDS testi varsayımı olmaması, uygulamasının kolaylığı ve teorik sebeplerden dolayı en fazla kullanılan doğrusallık testidir. Test istatistiği farklı boyutlarda korelasyon integralinin hesaplanması ile elde edilmektedir. Korelasyon integralinin doğrusallığa karşı aşırı duyarlı olması, bu testi güçlü kılmaktadır. Korelasyon integralinin bulunması parametrik olmayan bir yöntemdir. Buna karşılık test istatistiği ortalaması sıfır, varyansı bir olan normal dağılıma sahip olmaktadır [Aktaş ve Kozoğlu, 2007].

$$C_m^T(l) = [C_1^T(l)]^m \quad (2.8)$$

Brock, Dechert ve Scheinkman (1987), bağımsız benzer dağılımlı ayrılışın doğru istatistiksel ölçümünü yapmak için bir $V_m^T(l)$ normalleştirme faktörü türetmişlerdir. Bu normalleştirme faktörü, farklı boyutlardaki korelasyon integralinin karmaşık bir faktörüdür. Buradan yararlanılarak elde edilen BDS istatistiği (2.9)'deki gibi gösterilmiştir:

$$W_m^T(l) = \sqrt{T} \frac{[C_m^T(l) - [C_m^T(l)]^m]}{V_m^T(l)} \quad (2.9)$$

Burada, $T \rightarrow \infty$ iken, $l > 0$ ve $m > 1$ için boşluk hipotezi altında dağılım $N(0,1)$ dağılımına yakınsamaktadır [Amilon ve Byström, 1998].

Burada yapılan test işleminde yokluk hipotezinin ret edilmesinde, kabul edememenin sebepleri hakkında herhangi bir bilgiye sahip olunmadığı gerçeğinden dolayı test, sıkıntıya sahiptir. Buna karşılık, testin yokluk dağılımının BDS testinin bağımsız aynı dağılımlı hataları ile parametrik modelin genel bir bölümünden tahmin edilen artıklara uygulanmasından etkilenmediğinin Brock ve Potter ve de Lima tarafından gösterilmesi ise bu testi avantajlı kılan bir diğer unsur olmaktadır [Brock ve Potter, 1993].

$$x_t = f(x_{t-1}, \dots; \alpha) + u_t \quad (2.10)$$

Burada α bir parametre vektörüdür ve u_t hata terimleri bağımsız benzer dağılımlıdır. Yokluk hipotezinin reddedilmesi geçmiş ve gelecekteki hata terimleri arasında bir bağlantı olduğunu ve bu bağlantının doğrusal olmadığını göstermektedir [Aktaş ve Kozoğlu, 2007]. Ayrıca tahmin edilmiş artıklarda $\hat{v}_t = \ln(\hat{u}_t^2)$ dönüşümü teste uygulandığında, hepsi değilse bile bilinen ARCH-tipi modellerin çoğunu kapsayan u_t bağımsız benzer dağılımlı olmaktadır. Kısacası burada anahtar fikir olarak, dönüşümlerin, bağımsız benzer dağılımlı hata eklenmiş bir model meydana getirmesi olarak ele alınmaktadır [Amilon ve Byström, 1998].

Kaotik bir süreçte, koşullu ortalama doğrusal olmamaktadır. BDS testinde yokluk hipotezini test etmek için veriye uygun doğrusal modellere karşı doğrusal olmayan modellerin öngörülebilirliği araştırılmaktadır. Bu durumda hipotezlerinin reddininkaos, değişen koşullu varyans, durağansızlık, basit doğrusal otokorelasyon gibi farklı sebepleri olabilmektedir [Amilon ve Byström, 1998]. Kısacası, boşluk hipotezinin bağımsız aynı dağılıma sahip olduğu belirtilmesine rağmen alternatif hipotezin doğrusal olmayan bir süreç mi yoksa kaotik bir süreç mi olduğu tam olarak belli değildir. BDS testinin, hipotezin reddedilmesi için farklı sebepler arasındaki ayrımı yapmamasından dolayı Hsieh (1991), doğrusal olmama durumunu açıklayabilen modelin türünü belirleyebilmek için, farklı doğrusal ve doğrusal olmayan filtreler ile ilk filtre veriyi oluşturmuştur. Buna göre bir zaman serisinin kaotik bir süreç olup olmadığı hakkında yorum yapabilmek için, seride yapılabilecek tüm düzgünleştirmeler adimsal olarak yapılmakta ve her adımda BDS testi yinelenmektedir. Tüm düzgünleştirmelere rağmen reddedilen yokluk hipotezi ile elde edilen bu doğrusal olmayan yapının “kaotik olabileceği” yorumu yapılmaktadır. Çünkü tüm düzgünleştirmelere rağmen hala doğrusal olmayan yapıda olan bir sistemin bu davranışının ancak ve ancak kaotik yapıya sahip olmasından kaynaklanabileceği savunulmaktadır.

3.2.6. Poincare kesiti

Faz uzayında bütün yörüngelere karşılık gelen eğriler planına Poincare kesit denmektedir. Dinamik bir sistemin faz uzayındaki davranışı, faz uzayı belirli bir düzlemle kesilerek (Poincare kesit), yörüngelerin bu düzlemi kestiği noktaların oluşturduğu bir geometrik harita şeklinde de ifade edilebilmektedir. Bundan dolayı Poincare kesit, faz uzayı boyutunun bir eksiğine sahip olmaktadır. Buna göre, örneğin, zaman serilerinde üç boyutlu olarak elde edilen poincare kesitler, ancak dört boyutlu faz uzayında yeniden oluşturularak elde edilebilmektedir.

Elde edilen Poincare kesitindeki noktaların dağılımı tek ve küçük bir bölgede sonlu sayıda ise sistemin zaman içinde oluşturduğu hareketin periyodik, kapalı bir

eğrişeklinde ise hareketin yarı periyodik, belirli alanlarda yoğunlaşmış kümeler halinde ise hareketin kaotik olduğu yorumu yapılmaktadır [Yılmaz ve Güler, 2006].

3.2.7. Güç spektrumu (powerspectrum)

Herhangi bir $f(t)$ zaman serisi fonksiyonu, periyodik bileşenlerin üst üste gelmesi ile oluşturulabilmektedir. Bu bileşenlerin oransal büyüklüklerinin belirlenmesi spektral analiz olarak adlandırılmaktadır [Yavaş, 1985]. Burada $f(t)$ periyodik ise, spektrum frekansları, tam frekansların tam katları olan hareketlerin doğrusal bileşimi olarak ifade edilmektedir. Böyle diziler Fourier dizisi olarak adlandırılmaktadır. Ancak $f(t)$ periyodik değilse, sürekli frekanslı hareketlerin bir bileşimi ile ifade edilebilmektedir. Bu bileşime de Fourier dönüşümü denmektedir.

T periyot için oluşan güç spektrumu, $1/T$ temel frekans olmak üzere, gitgide zayıflayan piklerden oluşmaktadır. Buna göre Fourier dizisi (2.11) şeklinde gösterilmektedir.

$$f(t) = f(t + nT), 1/T = \omega_0/2\pi$$

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} a_n e^{i\omega_0 t_n}$$

$$f(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} a(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad (2.11)$$

Burada a_n , n frekanslı bileşenin genişliğidir. Bu bileşenin kaotik olduğunu gösteren en önemli ölçüt, bu bileşene ait güç spektrumunun geniş bantlı yapıya sahip olmasıdır [Kasap & Kurt, 2011].

Geniş güç spektrumu kaosu bir işareti olarak düşünülebilmektedir. Fakat tek başına kaosu tanımlamakta yetersiz olmaktadır. Bu nedenle doğrusal analizler yapmak geniş güç spektrumuna sahip sinyaller için iyi bir analiz olarak görülmemektedir. Bunun

başlıca sebebi, kararsız dinamik sistemlere ait sinyallerin bir özelliğinin periyodik bir durumunun olmamasıdır. Ancak yine de sinyaldeki kararsızlığın veya değişimin kaynağını açıklayabilecek gizli bir periyodik durumu araştırmak için, spektral analiz ilk olarak uygulanabilecek yöntemlerden biri olmaktadır [Yılmaz ve Güler, 2006].

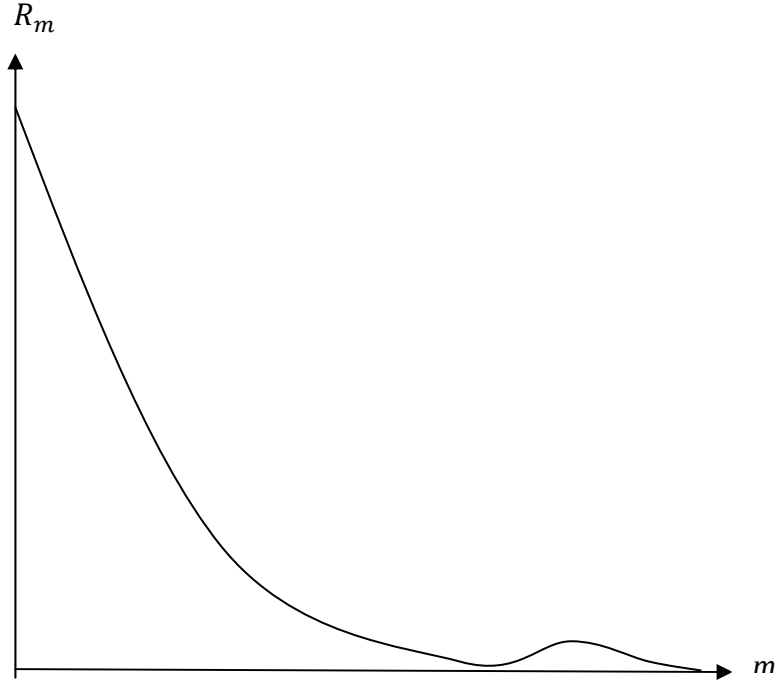
3.2.8. Otokorelasyonfonksiyonu

Bir zaman serisi bazen tekrar eden şekiller içerebilmekte ya da önceki değerleri ile sonraki değerleri arasında bazı ilişkiler olabilmektedir. Bu ilişkiyi ölçen istatistiksel bir araç olarak otokorelasyon (öz ilişki) fonksiyonu ele alınmaktadır[Williams, 1997]. Otokorelasyon, kısaca, kovaryansın varyansa bölünmesiyle elde edilebilmektedir.

Sistemin otokorelasyon değerinin yüksek olması, serinin geçmiş ve gelecek değerleri arasında yüksek ilişki olduğu anlamına gelmektedir.

$$R_m = \frac{\sum_{t=1}^{N-m} (x_t - \bar{x})(x_{t+m} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^N (x_t - \bar{x})^2} \quad (2.12)$$

(2.12) formülünde x_t zaman serisinin herhangi bir t anındaki değerini, $\bar{x}$ zaman serisinin ortalamasını, m gecikme sabitini, N ise zaman serisinin uzunluğunu ifade etmektedir. Otokorelasyon katsayısının (R_m), gecikme değerine (m) göre değişiminin grafiği “korelogram (ilişki tablosu)” olarak adlandırılmaktadır. Şekil 3.3’de kaotik bir harekete ilişkin korelogramın örneği yer almaktadır.



Şekil 3.3.Kaotik Harekete İlişkin Korelogram

Kaotik yapıya sahip serilerin başlangıç koşullarına hassas bağıllık göstermesi özelliğinden dolayı, böyle yapılarda geçmiş ile gelecek değerleri arasındaki ilişki çok zayıf olmaktadır. Buna göre Şekil 3.3’de görüldüğü gibi gecikme arttıkça sıfıra yakınsayan otokorelasyon değerlerine sahip seriler geçmiş ile gelecek değerleri arasındaki ilişkinin çok zayıf olduğu serilerdir. Dolayısıyla da böyle serilerin kaotik yapıya sahip oldukları söylenebilmektedir.

3.2.9. Lyapunov üstelleri

Şimdiye kadar kaotik yapıyı tespit etmek için kullanılan araçlar çekicinin kaotik olup olmaması hakkında yorum yapmışlardır. Ancak hiçbir yöntem bir çekicinin kaotik olduğunu kanıtlamak için tam anlamıyla yeterli olmamaktadır. Buna karşılık çekicinin en az bir pozitif Lyapunov üsteline sahip olması sistemin kaotik olduğunun en büyük ve kesin kanıtı olarak kabul edilmektedir [Fırat, 2006].

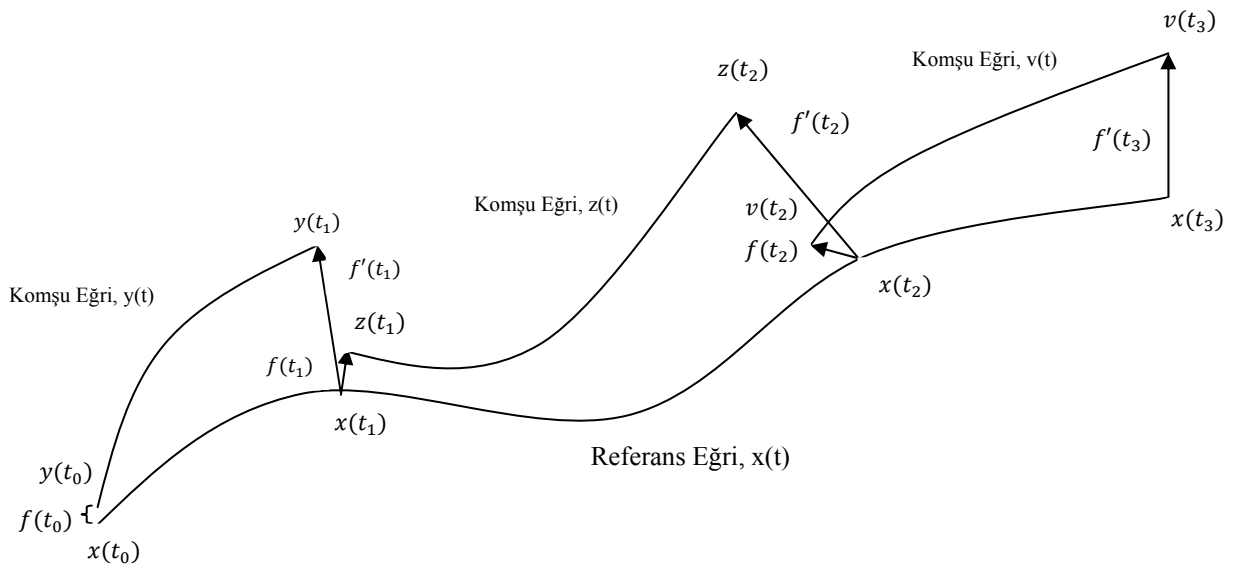
Bir sistemden elde edilen Lyapunov üstelleri, dinamik bir sistemin davranışını belirlemekte ve çekicinin faz uzayında oluşturduğu noktaların gerilme (ıraksama) ve katlanmalarının (yakınsama), diğer bir ifade ile birbirlerinden uzaklaşmalarının ve birbirlerine yakınlaşmalarının, etkilerini ölçmeye imkan vermektedir. Elde edilen üsteller “öngörülemezlik” gibi kavramlara denk düşen topolojik nitelikler için bir ölçü oluşturmaktadır [Kasap ve Kurt, 2011]. Bu tanımlamalar altında Lyapunov üstellerinin, diğer yöntemlerden daha kesin bir biçimde kaosu varlığını ortaya koyduğu görülmektedir.

Dinamik sistemler üzerinde Lyapunov üstellerini hesaplamayı öncelikle Wolf, Swift, Swinney ve Vastano önermiştir [Barnett, 1998]. Bunun ardından Brock ve Sayers regresyondan direk bir hesaplama yöntemini bulmuşlardır. Ancak bu yöntem uzun veri gerektirdiğinden ve gürültüye aşırı duyarlı olduğundan Nychka, Ellner, Gallant ve McCaffrey sinir ağıları modellerini içeren regresyon yöntemini önermişlerdir [Barnett, 1998]. Burada, önerilen bütün yöntemlerde, sistemde baskın olan Lyapunov üstelinin pozitif olup olmadığı test edilmiştir. Çünkü sistemden elde edilen Lyapunov üstellerinden en az birinin pozitif bulunması, sistemin başlangıç koşullarından çok küçük bir farkla yola çıkıldığında, sistemin asıl yörüngesinden ıraksama gösterdiği yani, yapının kaotik olduğu anlamına gelmektedir.

Lyapunov üstellerinin kaotik yapının güçlü bir kanıtı olmasının yanı sıra bir sistemde stokastik veya kaotik yapıdan hangisinin baskın olduğuna karar verilmesinde de belirleyici bir role sahiptir. Kaotik sistemlerin periyodik olmayan hareketler göstermesinin nedeni, faz uzayındaki eğrilerinin hemen hemen aynı başlangıç koşullarında farklı üstel artış oranlarına sahip olmalarıdır. Dolayısıyla Lyapunov üstelleri bu gibi kaotik yapıların başlangıç koşullarına hassas bağıllığını temel alan bir ölçüm yöntemi olmaktadır. Eckmann ve Ruelle’ye göre (1985) sistemdeki en büyük Lyapunov üsteli λ_1 olmak üzere, bu üstel başlangıç koşullarına hassas bağımlılığın ölçüsünü vermekte ve faz uzayı içindeki komşu eğrilerin yerel ayrılma derecelerinin bir ortalaması olmaktadır. Kısacası, Şekil 3.4’de görüldüğü gibi Lyapunov üstelleri, faz uzayında birbirine çok yakın iki başlangıç noktasındaki hareketlerin zaman içinde birbirlerine olan yakınsama ve ıraksamalarını ifade eden

üstel faktörlerdir. Böyle bir sistemden elde edilen en büyük Lyapunov üstelinin özellikleri şunlardır [Öztürk, 2008]:

1. N boyutlu bir sistemde, en hızlı büyüyen boyutun ortalama büyüme hızını vermektedir.
2. Çekici üzerindeki ortalama tahmin edilebilirlik göstergesidir.
3. Sistemin küçük değişiklikler karşısındaki hassasiyetinin ortalama bir ölçütüdür.
4. Çekicinin tümü ele alınarak ölçüldüğü için hesaplamaya nereden başlandığı önemli olmamaktadır.
5. Verinin ya da koordinat sisteminin dönüşümünden etkilenmeyen değişmez bir ölçüttür.



Şekil 3.4. Lyapunov Üstelinin Oluşumu

Zaman serilerinden Lyapunov üstellerinin hesaplanması için geliştirilen metotlar genel olarak iki gruba ayrılmaktadır:

- ❖ Jakobian tabanlı metotlar ve
- ❖ Direk metotlar.

Jacobian tabanlı metotlarda ilk olarak veriye uygun bir model oluşturulmaktadır. Burada, Lyapunov üstellerinin hesaplanmasında model eşitliklerine ait Jacobian matrisleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler, dinamik sistemin eşitliklerinin bilindiği durumlar için tasarlanmıştır [Yılmaz ve Güler, 2006]. Gencay ve Dechert'in yapay sinir ağları tabanlı algoritması [Gencay ve Dechert, 1992], Abarbanel ve arkadaşlarının doğrusal olmayan çok terimli yaklaşımlar yöntemi [Abarbanel ve ark., 1991] buna verilecek başlıca örneklerdendir. Ancak gerçek dünyada, genellikle dinamik sistemlerin denklemleri bilinmemektedir. Bu açıdan, bu yöntem daha az kullanışlı olmaktadır.

Direk metotlarda ise veriye uygun bir model olmaksızın faz uzayında oluşturulan çekicilere ait eğrilerin ıraksama ve yakınsama durumları mevcut veriden direk olarak hesaplanmaktadır. Zaman serisinden direkt olarak Lyapunov üstellerinin hesaplanmasına yönelik ilk çalışmalar Wolf ve arkadaşlarına aittir [Yılmaz ve Güler, 2006]. Dechert ve Gencay (1992) da kaosu oluşturan denklemlerin bilinmediği durumda Lyapunov üstelinin tahmini için bir algoritma önermişlerdir [Yalamova ve ark., 2006].

Buna göre bir sistemin dinamik yapısını ortaya koyan denklem bilinmediğinde sistemin yapısı (2.13) 'deki gibi diferansiyel denklem ile ifade edilmektedir. Bu ifade aynı zamanda dinamik model olarak adlandırılmaktadır.

$$\dot{x} = f(x) \quad (2.13)$$

Böyle bir ifadenin çözümü eğrilerden oluşan geniş bir aileyi oluşturmaktadır. Belirli başlangıç koşulu ile ya da bir eğrinin geçtiği bir nokta yardımıyla özel bir çözüm olan bir eğri bulunmaktadır. Başlangıç koşulu olarak x_0 ile $x_0 + \eta_0$ gibi iki ayrı başlangıç ele alınmaktadır. Buradan η_0 çok küçük bir fark vektörüdür. Böylece eldeki

diferansiyellerin integrali ile çizilen iki başlangıç noktasına ait bu iki ayrı yörünge uzun bir süre boyunca hemen hemen aynı yoldan ilerlemektedir. Eğer bu sistem kaotik bir yapıyasahipse gelecekte zaman ekseninde, çok küçük olabilecek bir aralık içerisinde iki yörünge aniden birbirlerinden uzaklaşacaktır [Serin, 2003].

Burada d_0 iki başlangıç noktası arasındaki uzaklığı göstermek üzere, sonraki bir t zamanında iki eksen arasındaki uzaklık (2.14)'deki gibi ifade edilmektedir. Buradan yola çıkarak sistemin en büyük Lyapunov üsteli olan λ ise (2.15) formülasyonunda gösterilmektedir.

$$d(t) = d_0 e^{\lambda t} \quad (2.14)$$

$$\lambda = \frac{1}{t_N - t_0} \sum_{k=1}^N \log_2 \frac{d(t_k)}{d(t_{k-1})} \quad (2.15)$$

Bir sistemden hesaplanan Lyapunov üstellerinin farklı yorumlamaları mevcuttur. Burada her bir boyuttaki uzaklaşma ve yaklaşma λ_i ile ifade edildiğinden, sistemdeki her bir birim için hesaplanan herhangi bir pozitif üstel değeri sistemin kaotik olduğunun bir göstergesi olmaktadır. Çünkü bu, sistemin, başlangıç koşullarında çok küçük bir değişme yapıldığında, referans sistem ile aralarında ıraksama olduğu anlamına gelmektedir. Buna göre bir garip çekicide en azından bir pozitif Lyapunov üstelinin bulunması gerekmektedir. Eğer sistemdeki λ değerleri negatif ise başlangıç koşullarına hassas bağlılık söz konusu değil demektir yani, sistemler birbirine yakınsamaktadır. Dolayısıyla sistem düzenli periyodik hareketlere sahip olmaktadır ve öngörülebilir yapıdadır [Kantz ve Schreiber, 2004].

Burada hesaplanan Lyapunov üstelleri tüm birimlerin yanı sıra faz uzayının boyutu kadar da hesaplanabilmektedir. Faz uzayında her bir boyuttaki ıraksama ve yakınsamayı bir λ temsil ettiğinden, m boyutlu dinamik bir sisteme ait Lyapunov üstelleri, λ_1 en büyük Lyapunov üsteli olmak üzere, $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m$ şeklinde sıralı olarak elde edilmektedir. Bu durumda herhangi bir sistemde en büyük Lyapunov üsteli $\lambda_1 > 0$ ise davranış kaotik, $\lambda_1 < 0$ ise davranış kararlı sabit nokta, $\lambda_1 = 0$

ise davranış kararlı limit döngü (periyodik) şeklinde olmaktadır. Gürültüye sahip sistemler için ise $\lambda_1 = \infty$ olduğu kabul edilmektedir.

Genel olarak, sisteme ait üstellerden en az birinin pozitif olması, incelenen doğrusal olmayan dinamik sistemin kaotik olduğunu göstermekte yeterli olmaktadır. Üç boyutlu bir faz uzayında karşılaşılan Lyapunov üstelleri Çizelge 3.2'deki gibi özetlenebilmektedir [Yavaş, 1985].

Çizelge 3.2. Üç Boyutlu Faz Uzayından Elde Edilebilecek Lyapunov Üstelleri

$(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$
$(-, -, -)$: sabit nokta
$(0, -, -)$: limit daire (simit)
$(0, 0, -)$: yarı periyodik tor
$(+, 0, -)$: kaotik hareket-garip çekici

Çizelge 3.2'de görülebileceği gibi Lyapunov üstelleri, dinamik sistem çekicilerinin tiplerini karakterize etmeye yardımcı olmaktadır. Buna göre düzenli periyodik hareketler negatif (-) en büyük Lyapunov üsteli ile ifade edilmektedir. Çünkü buradaki dallanma noktaları, sınırlı ve düzenli hareketlere karşılık gelmektedir. Buradaki diğer üstel ise sıfır olmaktadır. Bunun yanındagarip çekiciye ait spektrumun $(+,0,-)$ gibi olması ise şöyle açıklanmaktadır: “+ üstel” çekicinin kaotik yapıda olduğunu, “0 üstel” bir hareket boyunca üstelden daha yavaş bir değişme olduğunu ve “- üstel” ise, uzayın çekicisinin sabit bir noktaya doğru daraldığını ifade etmektedir. Bu şekilde devam edilerek daha büyük boyutlarda Lyapunov spektrumlarının üstelleri oluşturulabilmektedir [Kasap ve Kurt, 2011].Sonuç olarak sisteme ait Lyapunov üsteli, hem kaosun varlığına işaret etmektedir hem de kaosun şiddetinin belirlenmesini sağlamaktadır.

3.3. Ekonometrik Hareketler ve Kaos

Doğadaki birçok olay, uygulama kolaylığı nedeniyle doğrusal sistemler tarafından açıklanmaya çalışılmıştır. Ancak doğadaki çoğu olay doğrusal değildir. Yani, sistem davranışlarındaki küçük bir değişiklik, sistem sonuçlarındaki değişikliklerin sadece basit bir fonksiyonu olmamaktadır. Bundan dolayı bu tip durumları açıklayabilmek için kaotik sistemler kullanılmaktadır.

Doğrusal olmayan sistemler için kaosun kullanılması önemli nedenle tercih edilmektedir. Bunlardan ilki, kaotik bir sistemin, deterministik olmayan birçok düzenli davranışın bir toplamı olmasıdır. Son yıllarda, araştırmacılar kaotik bir sistemi doğru biçimde bozarak sistemin çok sayıdaki düzenli davranışlarından birini sürdürmesinin de mümkün olduğunu göstermişlerdir. Dolayısıyla çok farklı davranışlar arasında hızla gidip gelebildikleri için son derece esnek olmaları, kaotik sistemlerin önemli bir özelliği olmaktadır [Kasap ve Kurt, 2011].

İkinci olarak ise, kaos önceden kestirilememekle birlikte, deterministik bir yapıya sahiptir. Diğer bir ifade ile biri diğerine oldukça benzeyen iki kaotik sisteme, aynı sinyal verildiğinde çıkışın kestirilmesi mümkün olmamakla birlikteki sistem aynı sonuca da ulaşabilmektedir. Bu özelliği sayesinde kaos şimdiden iletişim teknolojilerinde ilginç değişikliklerin yapılmasına katkı sağlamıştır [Kasap ve Kurt, 2011].

Ancak kaos konusunun neye yarayacağı konusunda bazı bilim adamları, kaosun güvenilir ve kontrol edilemez olduğunu, bundan dolayı kullanılamayacağını savunmaktadırlar. Gerçekten de kaotik bir sistemin uzun zaman sonunda nasıl davranacağını tahmin etmek mümkün değildir. Bu yüzden de şimdiye kadar birçok bilim dalında kaos konusu göz ardı edilmiştir. Ancak son zamanlarda bu stratejinin dar görüşlü olduğuna inanılmaktadır. Buna bağlı olarak; kaosun yönetilebilir ve kullanılabilir olmasının yanı sıra çok değerli olduğu da gösterilmeye çalışılmaktadır.

Bir asırdan daha uzun süredir kaos, öncelikli olarak birkaç kişi tarafından çalışılmıştır. Bu alanda çalışmaya başlayan birkaç bilim adamı tüm uygulamaların temelini oluşturan bazı kuramlar ortaya koymuşlardır. Ancak özellikle son 20 yılda kaos ve doğrusal olmayan sistemler konusunda pek çok akademik dergi yayın hayatında başlamış ve farklı disiplinlerden birçok bilim adamı tarafından çalışılır hale gelmiştir. Bu durum, lazerlerin gücünün artırılmasında, hisse senedi getirilerinin yapısının belirlenmesinde, kimyasal reaksiyonlardaki salınımların denetlenmesinde, düzensiz kalp atışlarının düzenli hale getirilmesinde, güvenli bir iletişim için elektronik mesajların şifrelenmesinde ve daha pek çok alanda kaos konusunun uygulanmasına olanak sağlamıştır [Kasap ve Kurt, 2011].

Son zamanlarda makroekonomik zaman serileri üzerinde yapılan birçok çalışmada ise, genel olarak doğrusal olmama, daha özel olarak da kaos konusu odak noktası olmuştur [Barnett, 1998]. Bunun başlıca sebebi kaotik yapıların, konjonktür dalgalanmalarındaki radikal değişiklikleri çok iyi temsil etmesidir. Kaos, aynı zamanda farklı makroekonomik yapısal yaklaşımlarının birleşmesine de yardımcı olmuştur. Bu konuda Grandmont (1985), en klasik ekonomik modellerin bile farklı parametre değerleri için durağan sonuçlar (klasik ekonomi tanımlaması) ya da dalgalanmalar veya kaos gibi çok daha karmaşık sonuçlar (çoğunlukla Keynezyen ekonominin tanımlaması) üretebildiğini göstermiştir [Barnett, 1998].

Makroekonomik verilerin oluşturduğu sürecin doğrusal olmayan bağımlılık içerdiğinde genel bir fikir birliği mevcuttur. Ancak buna rağmen bütün makroekonomik verilerde kaos olduğu konusunda bir fikir birliği henüz mevcut değildir. Bunun sebebi tüm makroekonomik zaman serileri üzerinde yapılan çalışmaların fikir ayrılıklarına sebep olmasıdır. Örneğin, Brock ve Sayers (1988), Frank ve Stengos (1988) ve Frank, Gencay ve Stengos (1988) Amerika, Kanada ve bazı uluslararası makroekonomik zaman serilerinde kaosun varlığını bulamamışlardır. Ancak Frank ve Stengos (1989) bu alandaki çalışmalarını geliştirerek, 1975-1986 yılları arasındaki gümüş fiyatlarını kullandıkları çalışmada korelasyon integrali testinde düşük seviyede kaos olduğunu ispat etmişlerdir. Diğer yandan, Barnett ve Chen (1988) Amerika Divisia parasal toplamına ilişkin (talep-

yanlı) veride kaostun varlığını başarılı bir şekilde ispatlamışlardır. Bu sonuç, DeCoster ve Mitchell (1991,1994) tarafından doğrulanmıştır [Barnett, 1998]. Wang ve ark. (2004) ise, yaptıkları çalışmada hisse senetlerinin günlük değişimlerdeki karmaşık dinamik davranışları incelemişlerdir[Öztürk, 2008].

Finansal ekonomideki döviz kurları ve hisse senedi getirileri gibi finansal değişkenlerin stokastik süreçler tarafından tanımlanabildiği ve bu ekonomik sistemlerin doğrusal olduğu yaygın varsayımlardandır. Ancak önceden de bahsedildiği gibi, çeşitli çalışmalar finansal zaman serilerinde farklı doğrusal olmayan bağımlılıkların olabileceğini göstermiştir [Amilon ve Byström, 1998].Borsa gibi ekonometrik zaman serilerinde gözlenebilen kırılma ve patlamaların oluşturduğu yüksek frekans, normal dağılımlı bir doğrusal modelde tutarsız davranışın bir örneği olarak ele alınmaktadır. Bu konuda Campbell, Lo ve MacKinlay şöyle demektedirler [Barnett, 1998].

“Çoğu ekonomik durum doğrusal olmayabilir. Deneylerden elde edilen kanıtlar ve tesadüfi iç gözlemlere göre, yatırımcıların davranışları riske göre belirlenmektedir ve beklenen getiri doğrusal değildir. Dolayısıyla opsiyon, tahvil gibi birçok finansal sözleşmenin konu olduğu durumda yapılar doğrusal değildir. Bundan dolayı finansal ekonometrinin doğal sınırlarında doğrusal olmayan modelleme vardır”.

Bunun nedeni doğrusal olmayan modellerin, hem stokastik, hemde deterministik olabilen bu tür davranışları açıklayabilmesidir.Diğer yandan, kaotik bir süreç, deterministik ve aynı zamanda tamamen rassal olduğundan davranışının ayırt edilmesi olanaksızdır. Dolayısıyla kaotik sistemler de doğrusal olmayan modellerle açıklanmaya çalışılmaktadır. Sistemdeki deterministliğin ve rassallığınmodel içinde üretilmesi, ekonomideki genel durumlardan farklı olan kaotik modeller açısından oldukça önemli olmaktadır.

Çoğu zaman serileri, durağanlığı takip eden periyotlarda çok büyük oynaklığa sahip davranışlar sergilemektedir. Böyle durumlarda sabit varyans varsayımı açık olarak sağlanmamaktadır. Zaman değişimli varyansı tespit etmek için, koşullu varyans eski hata karelerinin doğrusal bir fonksiyonu olarak modellendirilebilmektedir.Bu açıdan

Engle (1982)'ın otoregresif koşullu değişen varyans (ARCH) modeli doğrusal olmayan stokastik modellere örnek olabilmektedir.

Doğrusal modellerde açıklayıcı gücün eksikliği birçok araştırmacının finansal ekonomide kaos çalışmalarına önderlik etmiştir [Scheinkmann ve LeBaron, 1989, Peters E. , 1991, Larrain, 1991, Hsieh, 1991]. Buna karşılık sistemin kendi uzantılarının bir fonksiyonu olması için hesaba katılan koşullu varyans ile Bollerslev (1986)'ın genelleştirilmiş ARCH modeli (GARCH) sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca Hsieh (1991) de, başta doğrusal olmayan stokastik modeller olmak üzere özellikle GARCH modelleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Çünkü burada kullanılan modeller faiz oranı modellemeye ve borsadaki oynaklığı açıklamada doğrusal modellere göre daha başarılı olmaktadır.

3.3.1. Dinamik sistemler

Dinamik Sistemler sistem içindeki değişkenleri zaman içerisinde değişen sistemlerdir. Dolayısı ile zaman içinde davranışları değişen yapılardır. Zaman içerisinde kendini yenileyen sistemler olmalarından dolayı özellikle ekonomi, ekonometri ve finansal ekonomi disiplinleri için inceleme alternatifini oluşturmaktadırlar.

Günümüz dünyasında finans ve ekonominin gerçek yaşama dair bilgileri sistematize etme amacı dolayısı ile bu durum bir dinamik sistem olarak adlandırılabilir. Dinamik Sistemlerin amacı sistemlerin uzun dönemli davranışlarının karakterize edilmesine yöneliktir. Örneğin bir Ekonomi ele alınırsa; mevcut Ekonominin durumu; $(t-1)$ anındaki yapılan yatırım, tüketim ve tasarruf harcamaları ile sözkonusu t döneminde yapılan harcamalar ile açıklanmaya çalışılmaktadır. Yani ilk duruma karşı bir bağıllık söz konusu olmaktadır. Burada X_0 , düşünülen fonksiyondaki ilk değişken olduğunda, ilk durumda karşımıza $f(X_0)$ olarak çıkacaktır. Burada ikinci veri birinci veriden türeyecek ve bu (2.16)'daki gibi böyle devam edecektir.

$$X_0, f(X_0), f(f(X_0)), f(f(f(X_0))), \dots \quad (2.16)$$

Dinamik sistemleri çeşitli şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Genel olarak matematiksel literatürde yapılan ayırımda kesikli ve sürekli dinamik sistemler olarak sınıflandırılmaktadır. Bir diğer sınıflandırma çeşidi ise otonom ve otonom olmayan dinamik sistemler ayırımıdır. Kaos teorisi açısından en uygun ayırım isedoğrusal ve doğrusal olmayan sistemler ayırımıdır [Tosun, 2006].

Bir sistemin davranışını açıklayan fonksiyon doğrusal ise o halde sistem de doğrusal olmaktadır. Burada, sistemin içerisindeki veri ne kadar değişirse sonuç da yine aynı oranda değişmektedir. Kısacası sistem belli bir oranda değişmektedir yani, X_t / X_{t-1} oranı değişmemektedir. Burada sağladığı işlem ve yorum kolaylığından dolayı bir ekonomik sistemi çözümleyebilmek için ekonomistler ve finansçılar, çözüm bölgesinde doğrusallaştırılmış denklemlere öncelik vermektedirler. Ancak dinamik sistemi tanımlayan fonksiyonlardan en az birisi doğrusal değilse, bu sistem doğrusal olmayan dinamik sistem olarak adlandırılmaktadır. Bu durumda ise X_t / X_{t-1} oranı her seferinde farklı değerlere sahip olmaktadır ve değişkenin değişim miktarı ile sistemin verdiği tepki miktarı her zaman farklılık göstermektedir.

İktisat teorisi genelde iktisadi değişkenler arasında doğrusal olmayan ilişkilerin daha uygun olduğunu varsaymaktadır. Özellikle ekonomik analizlerde doğrusal olmayan dinamik sistemlerden yararlanılması, sistemin analizinde ve modellenmesinde daha doğru sonuçlar vermektedir. Çünkü bu tip sistemler doğrusal sistemlere göre gerçeğe daha yakın sonuçlar üretebilmektedir. Ancak doğrusal modellerin daha basit açıklama biçimleri olduğundan, bilimsel analizlerde genellikle doğrusal yöntemler kullanılmaktadır. Böylece araştırılan sistemler doğrusal matematiksel denklem sistemleri ile açıklanmaya çalışılmaktadır. Gerçekte ise ekonomik sistem doğrusal olmayan sistemlerden oluşmaktadır. Başlangıç durumunda oluşan bir değer sonuçta oluşan değeri büyük ölçüde etkilemektedir. Bu sebeple doğrusal olmayan sistemlerde uzun vadede bir dinamik sistemin davranışının tahmin edilemeyeceği varsayılmaktadır. Buradan da anlaşılacağı üzere, ekonomik veriler açısından

doğrusal modellerin önemi olduğu gibi doğrusal olmayan modellerin açık bir şekilde doğrusal modellerden üstün olduğu bilim adamları tarafından gösterilmiştir [Fan ve Yao, 2003].

80'li yılların ortalarından beri bazı ekonomistler, özellikle ekonomik ve finansal zaman serilerinde doğrusal olmama ve kaos için testler yapmaya çalışmışlardır [Torkamani ve ark., 2007]. Burada doğrusal olmayan sistemlerin en ilgi çekici özelliği kaotik hareketleri gösterebilme yeteneği olmuştur. Çoğu ekonomik veri böyle rastgele ve deterministik bir davranışa sahip olduğundansabit ortalama ve varyanslı değildirler. Bundan dolayı çoğu ekonomik zaman serilerinin modellenmesinde bilinen doğrusal yöntemler yeterli olmamaktadır. Bunun için doğrusal olmayan yöntemler ortaya atılmıştır. Bu yöntemlerden en çok bilineni Engle (1982) tarafından ortaya atılan otoregresif koşullu değişen varyans (ARCH) [Kızılsu ve ark., 2001].

ARCH yönteminin Engle (1982) tarafından ortaya atılmasından sonra bu yöntemin türevleri de önerilmeye başlanmıştır. Bunlardan en önemlisi, uygulamada oldukça geniş yer bulan genelleştirilmiş ARCH (GARCH) modelidir [Bollerslev, 1986]. Diğer bazı modeller ise üstel GARCH (EGARCH) modeli (Pagan ve Schwert, 1990), ARCH-M modeli, Eşiksel ARCH (TGARCH), Bileşke ARCH (C-ARCH) ve Asimetrik Bileşke ARCH (AC-ARCH).

3.3.2. Doğrusal olmayan zaman serileri için öngörü modelleri

Çalışmada kaotik hareketi modelleyebilmek için kullanılabilecek olan doğrusal olmayan modellerin teorik kısmı bu bölümde verilecektir. Ekonometrik zaman serilerindeki doğrusal olmayan yapı başta olmak üzere, aynı zamanda bu tip serilerdeki değişen varyansı da modelleme imkanı sunan ARCH tipi modellerden ARCH ve GARCH modelleri başlıklar halinde sunulmuştur. Diğer ARCH tipi türev modeller ise özetlenmiştir.

ARCH Modeli

Bilinen zaman serileri modellemeleri artıkların sabit varyanslı olduğu varsayımını kabul etmektedir. Buna karşılık Engle (1982 ve 1983), İngiltere enflasyon verilerini inceleyerek artıkların varyansının sabit olmadığını göstermiştir [Kızılsu ve ark., 2001]. Dolayısıyla incelenen verinin bu varsayımı sağlamaması durumunda Engle'in yapmış olduğu çalışmalar sonucunda ortaya çıkan ARCH modeliliteratüre geçmiştir.

ARCH modeli, varyansın gecikmeli öngörü hatalarının karelerinin bir fonksiyonu olarak değişmesine izin vermiştir. Bu nedenle ARCH modelleri, tahmin sürecindeki değişen varyansı regresyonla birleştirmeye uygun bir tanımlamadır [Gökçe, 2001]. Burada aynı zamanda, regresyon artıkları da otokorelasyonlu olmaktadır. Bunun yanı sıra ARCH modelinin en önemli özelliği, sürecin sıfır ortalamalı, sabit koşulsuz varyanslı ve en önemlisi, geçmişten bağımsız ve sabit olmayan koşullu varyansa sahip olmasıdır. Artıkların varyansının sabit olmadığı durumda, otoregresif hareketli ortalama (ARMA) modelleri kullanılarak tahmin yapılabilir.

Engle (1982)'in geliştirdiği bu yöntemi anlamak için koşullu öngörü varyansının koşulsuz öngörü varyansından daha üstün olduğunu bilmek gerekmektedir. Buradan, koşullu öngörünün koşulsuz öngörüye göre daha küçük bir varyansa sahip olduğu noktasına ulaşılmaktadır. Buna ulaşmak AR(1) modeli,

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.17)$$

Burada hata terimleri (ε_t), $V(\varepsilon_t) = \sigma^2$ ile beyaz gürültü sürecine sahiptir. Ayrıca y_t 'nin koşulsuz ortalaması sıfır iken koşullu ortalaması $b_0 + b_1 y_{t-1}$ 'dir. Burada y_t 'nin koşullu varyansı σ^2 ve koşulsuz varyansı ise $\sigma^2 / (1 - b_1^2)$ olmaktadır. $1 / (1 - b_1^2) > 1$ olduğundan dolayı, koşulsuz öngörü koşullu öngörüye göre daha büyük bir varyansa sahiptir. Bu yüzden koşullu öngörü tercih edilmektedir [Karaahmetoğlu, 2006].

ARCH modeli olarak adlandırılan bu model için birinci dereceden durağan otoregresif model (2.18)'deki gibidir.

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.18)$$

(2.18) modelinde $Y_t = y_t$ verilmişken Y_{t+1} 'in koşullu varyansı,

$$V(Y_{t+1}|Y_t = y_t) = E[(Y_{t+1} - b_0 - b_1 y_t)^2 | Y_t = y_t] = E_t \varepsilon_{t+1}^2 \quad (2.19)$$

olmak üzere bu değer σ^2 sabitine eşit olmaktadır. Buna göre Engle (1982), artıkların karelerini (2.20)'deki gibi otoregresif yapıda modelleyerek koşullu varyansı tahmin edebilmektedir.

$$\hat{\varepsilon}_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \hat{\varepsilon}_{t-1}^2 + \dots + \alpha_q \hat{\varepsilon}_{t-q}^2 + v_t \quad (2.20)$$

Burada v_t , σ^2 varyanslı ve sıfır ortalamalı beyaz gürültü sürecine sahiptir. Eğer $\alpha_1 = \dots = \alpha_q = 0$ ise tahmin varyansı α_0 olup sabittir. Aksi halde Y_t 'nin koşullu varyansı (2.20)'deki gibi ifade edilmektedir. Buna göre t değerleri verilmiş iken $(t+1)$ anındaki koşullu varyansın öngörüsü,

$$E_t(\hat{\varepsilon}_{t+1}^2) = \alpha_0 + \alpha_1 \hat{\varepsilon}_t^2 + \dots + \alpha_q \hat{\varepsilon}_{t+1-q}^2 \quad (2.21)$$

olacaktır. Bu modele q dereceden ARCH modeli denmektedir [Yalçın, 2008].

ARCH modelinin parametre tahinlerini direk olarak bu modelin parametre tahminlerinden elde etmek uygun değildir. Dolayısıyla $\{Y_t\}$ 'nin tanımladığı ARMA modeli ile koşullu varyans aynı anda en çok olabilirlik ile tahmin edilmektedir [Engle, 1982]. Bu tahmin yapılırken, (2.20) denkleminde verilen tanımlama yerine, çarpımsal koşullu değişen varyans modeli kullanılmaktadır. Buna göre Engle (1982) tarafından önerilen çarpımsal model,

$$\varepsilon_t = v_t \sqrt{\alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2} \quad (2.22)$$

şeklindedir. Burada v_t , sıfır ortalama ve σ^2 varyanslı beyaz gürültü sürecine sahip olmaktadır. Aynı zamanda ε_{t-1} ile kovaryansı sıfırdır.

Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta, ε_t 'nin koşullu varyansı olan σ_t^2 'nin negatif olmasına engel olmaktır. Bunun yanında koşullu varyansın modellenildiği otoregresif yapının durağan olması için $0 \leq \alpha_1 < 1$ kısıtlaması sağlanmalıdır [Kutlar, 2000].

Buradan özetle yukarıda tanımlanmaya çalışılan ARCH(1) modeli genişletilerek, aşağıdaki ARCH (q) modeline ulaşılabilmektedir.

$$\begin{aligned} \varepsilon_t &= v_t \sqrt{h_t} \\ h_t &= \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 \end{aligned} \quad (2.23)$$

Burada da yine koşullu varyans negatif olamayacağından, $i > 0$ için $\alpha_0 > 0$ ve $\alpha_i \geq 0$ koşulları sağlanmalıdır. Ayrıca otoregresif sürecin durağanlığı için $\sum_{i=1}^q \alpha_i < 1$ olmalıdır.

GARCH Modeli

ARCH modelleme sürecinde koşullu varyansın belirlenebilmesi için uzun gecikme yapılarının modele alınmasından kaynaklanan bazı problemlerle karşılaşılmaktadır. Bunlardan en belirgin parametre hatalarının pozitif olma kısıtının sağlanma durumudur [Kızılsu ve ark., 2001]. Bu sebeple gecikme yapılarına kısıtlar konarak, uzunlukların doğrusal olarak azalmalarını sağlayabilecek ve benzeri sorunları çözmeye izin verebilecek ARCH sınıfı yeni modeller oluşturulmuştur. Bu açıdan önerilen modellerden en sık kullanılanı genelleştirilmiş otoregresif koşullu değişen varyanslılık (GARCH) modelidir [Bollerslev, 1986].

Burada öngörü hata varyansının her zaman otoregresif bir süreç olmadığını öne süren Bollerslev, Engle'in ortaya attığı ARCH(q) modelini ARMA süreci olarak GARCH (Genelleştirilmiş Otoregresif Koşullu Değişen Varyans) modeline genişletmiştir. GARCH(1,1) modeli,

$$h_t = \sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \hat{\varepsilon}_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 \quad (2.24)$$

şeklindedir [Fan ve Yao, 2003]. Burada h_t anlık uyarlanmış varyans, α_0 uzun dönem ortalama değer, $\alpha_1 \hat{\varepsilon}_{t-1}^2$ bir önceki dönemdeki oynaklık hakkında bilgi, $\beta_1 \sigma_{t-1}^2$ bir önceki dönemdeki modelden elde edilen uyarlanmış varyansdır. Ayrıca varyansın tanımlı olması için, $\alpha_1 + \beta_1 < 1$ olması gerekmektedir [Enders, 2004].

Bollerslev (1986)'e göre ε_t kesikli zaman stokastik süreci olmak üzere, GARCH(1, 1) tanımından genişletilen GARCH(p, q) süreci,

$$\varepsilon_t = v_t \sqrt{h_t}$$

$$h_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{i=1}^p \beta_i h_{t-i} \quad (2.25)$$

olarak verilmektedir. Burada sağlanması gereken koşullar ise,

$$\begin{aligned} p &\geq 0, & q &< 0 \\ \alpha_0 &> 0, & \alpha_i &\geq 0, & i &= 1, \dots, q \\ \beta_i &\geq 0, & i &= 1, \dots, p \\ \sum_{i=1}^{\max(q,p)} (\alpha_i + \beta_i) &< 1 \end{aligned} \quad (2.26)$$

Ekonomi alanında bu davranışı görebilmek için kullanılan doğrusal olmayan zaman serileri modellerinin tipik temsilcileri, otoregresif koşullu değişen varyans (autoregressive conditional heteroscedastic) modeli (ARCH) ve genelleştirilmiş otoregresif koşullu değişen varyans modelidir (GARCH) [Bozdağ, 1998]. Bu metodların avantajı model yapısının soyut bilgileri için daha az

gerekliliklere sahip olmasıdır. Bundan dolayı yaklaşık 30 yıldır, zaman serileri çalışmalarında düşük dereceli kaotik dinamik sistemlerin araştırmalarında bu modellemeler kullanılmaktadır.

Türev Modeller

Bu alanda geliştirilen ilk model olan ARCH'dan sonra bazı türevleri de ortaya atılmıştır. ARCH ile birlikte uygulamada yaygın olarak kullanılan EGARCH, TGARCH, C-GARCH ve AC-GARCH gibi modeller de mevcuttur. Engle (1995)'da ifade edilen bu modellerin ortalamadaki uzantıları ile diğer benzeri türevlerini içeren modeller burada verilmeyecektir [Fan ve Yao, 2003].

Sistemdeki ARCH etkisi ve ARCH-LM Testi

Bir seride koşullu değişen varyansın yani, ARCH etkisinin varlığı, tahmin işlemlerine başlanmadan önce gösterilmelidir. Diğer bir ifade ile zaman içinde değişen varyansın modellenebilmesi için öncelikle, ARCH etkisinin olup olmadığının sınanması gerekmektedir. Bu ise birtakım test işlemleri gerektirmektedir. Sistemdeki ARCH etkisi, White testi, Gold-Field Quant ve ARCH-LM testi, gibi pek çok yaklaşım kullanılarak test edilebilmektedir. Bu çalışmada ise sadece Engle tarafından önerilen ARCH-LM testine yer verilecektir [Yalçın, 2008].

Bilindiği gibi asimptotik durumda, en küçük kareler ve en çok olabilirlik tahmin edicileri birbirine yakınsamaktadır. Ancak en çok olabilirlik yöntemi kullanılarak, ARCH artıklarına sahip bir doğrusal regresyon modelinin, daha etkin tahminler vereceği kabul edilmektedir [Engle, 1982]. Literatürde ARCH etkisini tespit edebilen birçok ölçüt olmasına rağmen burada sadece Engle (1982) tarafından önerilen ARCH-LM testine yer verilecektir.

Bunun için öncelikle $Y_t = X_t\beta + \varepsilon_t$ regresyon modeli ele alındığında β parametre vektörünün EKK tahmin edicisi $\underline{b} = (X'X)^{-1}X'Y$ olmak üzere artıklar ise $\hat{\varepsilon}_t = Y_t - X_t\underline{b}$ şeklinde olmaktadır.

Söz konusu ARCH-LM yöntemine göre artıkların karesi için AR(p) modeli ele alınmaktadır.

$$\hat{\varepsilon}_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i \hat{\varepsilon}_{t-i}^2 + v_t \quad (2.27)$$

Burada p, otoregresif modelin gecikme uzunluğunu göstermektedir. Uygun gecikme uzunluğu için Campbell-Perron yaklaşımı veya AIC (Akaike Bilgi Kriteri) ya da SIC (Schwartz Bilgi Kriteri) gibi kriterler kullanılabilir.

Buna göre, ARCH modeli için kurulan hipotez “ARCH etkisi yoktur” hipotezi,

$$H_0: \alpha_1 = \dots = \alpha_p = 0$$

$$H_1: \text{en az bir } \alpha_i > 0, i = 1, 2, \dots, p \quad (2.28)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada T, gözlem sayısı, p, kısıt sayısıdır ve ARCH etkisinin araştırıldığı gecikme sayısıdır [Yalçın, 2008].

Yokluk hipotezinin doğru olduğu varsayımı altında TR^2 değeri asimptotik olarak serbestlik derecesi p olan ki-kare dağılımına sahiptir ($TR^2 \sim \chi_p^2$) [Engle, 1982]. Elde edilen ki-kare değeri tablo değerinden büyük ise yokluk hipotezi ret edilmektedir. Bu, varyansın zamanla değişmekte olduğu anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, elde edilen sistem için, değişen varyansı modelleyebilen ARCH tipi modellerin kullanılması gerekmektedir.

4. UYGULAMA

Çalışmanın bu bölümünde, Forex piyasasından alınan bir veri grubunda kaotik yapının varlığı incelenecektir. Ele alınan sistemde kaotik yapının varlığı durumunda, doğrusal olmayan modelleme yöntemlerinden uygun olanı kullanılarak yatırımcılara al/sat önerisi sunulacaktır.

Çalışmada, kaotik yapının tespiti için karşılıklı bilgi yöntemi, korelasyon integrali, BDS testi ve son olarak da, kaotik yapının varlığı hakkında kesin bir kanıt olabilen Lyapunov üstelleri kullanılacaktır. Sistemin kaotik yapıda çıkması durumunda ise, başlıca doğrusal olmayan modelleme yöntemleri olan Engle (1982)'in ARCH ve Bollerslev (1986)'in GARCH modelleri ile sistem modellenecektir. Buna göre, sistemin kaotik olmasından yola çıkılarak oluşturulan doğrusal olmayan modelin yatırımcılara ışık tutması hedeflenmiştir.

4.1. Uygulamanın Amacı

Çalışmada, Forex piyasasında bulunan pariteler arasından kapanış fiyatları alınarak, kullanılan basit ortalama yöntemlerinin aksine sistemin doğrusal olmayan yapısından yararlanarak yatırımcının alım/satım konusunda daha iyi karar verebilmesini sağlayan uygun model belirlenmeye çalışılacaktır. Burada kullanılan modelin, sistemin kaotik yapısı ile ilgili olduğu göstermeye çalışılacaktır.

Döviz piyasalarındaki belirsizlik ve bu piyasaların ekonomik ve sosyal birçok olaydan etkilenmesi sistemin örülü bir düzen içinde olmasının yanı sıra tamamen öngörülemez, yani kaotik, olmasını sağlamıştır. Bunun gibi kaotik sistemlerde, sadece trendin yönünü tahmin etme girişi, al/sat kararı açısından büyük risk taşımaktadır. Dolayısıyla, burada kullanılan yöntemler, dış etkilere karşı oldukça duyarlı olan ve bundan dolayı yüksek volatiliteye sahip bir yapıda olan döviz piyasalarında yetersiz kalmaktadır.

Yüksek volatiliteye sahip döviz piyasasının bu yapısının kaotik davranıştan kaynaklandığı bilim adamlarınca kabul edilmektedir. Bu durum, sistemlerde uzun dönem tahminlerin yapılmasına engel olmaktadır. Dolayısıyla, sistemin kendi yapısına ait kullanılan uygun model ile yatırımcılara kısa dönemde nokta tahmini yapma imkanı sunulmaktadır

4.2. Uygulamanın Kapsamı ve Kullanılan Veri

Uygulamadakullanılan veri, Forex piyasası için yapılmış programın (Meta Trader) son sürümünden alınmıştır. Ayrıca, kaotik yapının tespiti için, veri grubunun zaman frekanslarının küçük olması sistemin gerçek yapısını ortaya koyacağından günlük veriler tercih edilmiştir. Buna göre çalışmada, en sık işlem gören parite olduğundan dolayı EURUSD paritesinin 04.01.1999-20.12.2011 tarihlerine ait 3184 kapanış değerleri kullanılmıştır.

Uygulamada, birçok kaos analizi için VRA (Visual Recurrence Analysis) paket programı kullanılırken en son modelleme aşamasında E-Views paket programından faydalanılmıştır.

4.3. Uygulamada Kaosun Tespiti

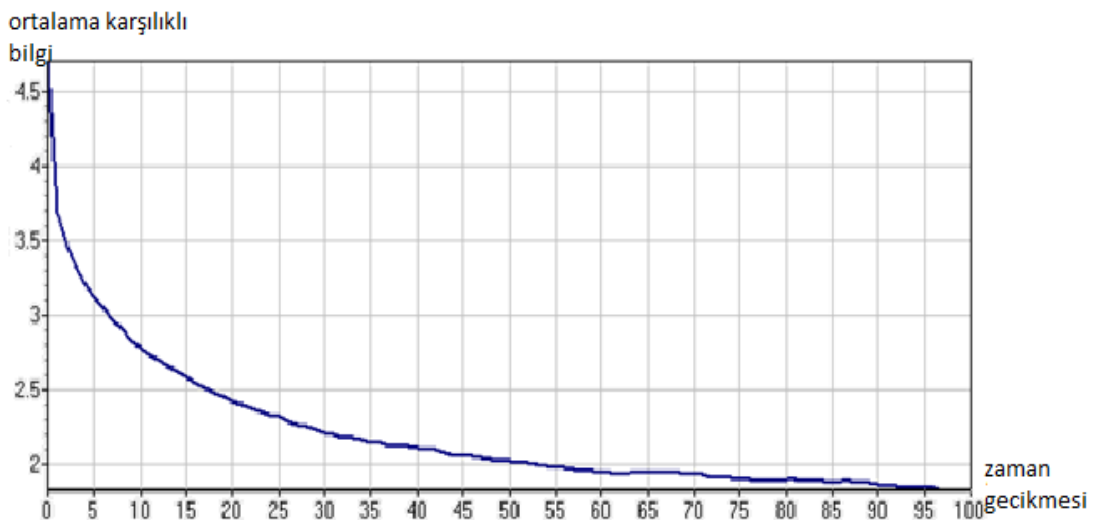
Elde edilen veriye ilişkin zaman serisi grafiği;



Şekil 4.1. EURUSD Paritesinin Ele Alınan Tarihler Arasındaki Zaman Serisi Grafiği

Şekilde yatay eksen zaman (birim sayısı), dikey eksen ise paritenin aldığı değerleri ifade etmektedir. Şekilden görüldüğü üzere, düşüş yönünde hafif bir trend ile başlayan seri, bunun ardından, bir süre boyunca artan trend sergilemiştir. Serinin son kısmında ise ortalamada durağan sayılabilecek bir seri mevcuttur. Ancak genel olarak bakıldığında, seri, oynak bir yapıya sahip olup, ortalamada ve varyansta durağan dışıdır.

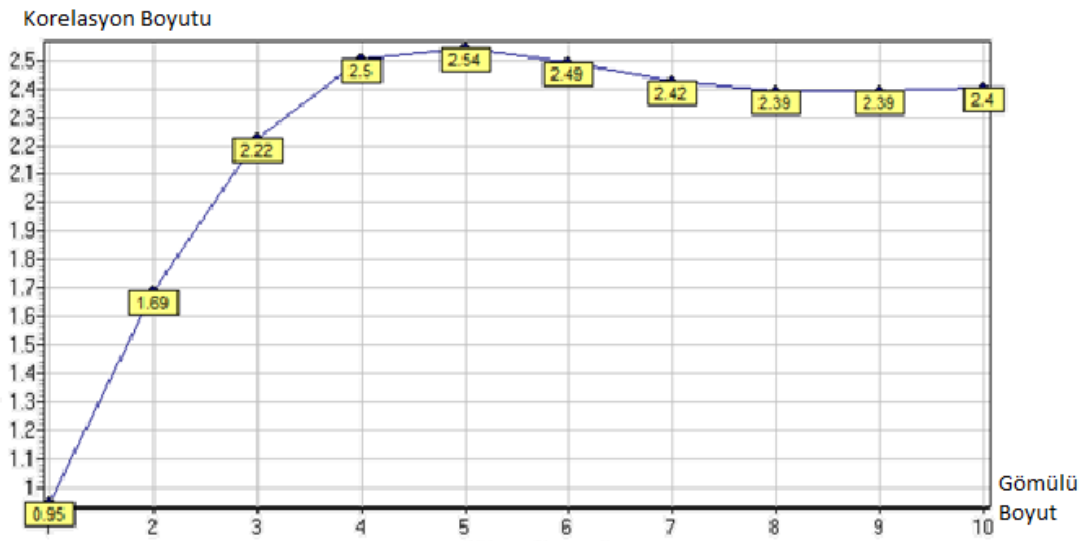
4.3.1. Karşılıklı bilgi yöntemi



Şekil 4.2. Karşılıklı Bilgi Grafiği

Karşılıklı bilgi grafikleri, zaman serisinin geçmiş değerleri ile gelecek değerleri arasında ilişki olup olmadığını ortaya koyar. Yukarıdaki grafikteki gibi sıfıra yakınsayan zaman serileri kaotik zaman serileridir denebilir. Çünkü zaman ilerledikçe, başlangıç koşullarından büyük bir sapma mevcuttur.

4.3.2. Korelasyon integrali



Şekil 4.3. Korelasyon Boyutu ile Gömülü Boyut Arasındaki Grafik

Kaotik sistemler için korelasyon boyutu genel olarak birden büyük ve kesirlidir. Bu özelliğiyle, kullandığımız zaman serisinin kaotik olduğunu söyleyebiliriz.

Korelasyon boyutundan kaotik serinin tespiti için bir diğer bakış açısı da, grafiğin bir değere kadar artıp, bir süre sonra bir değere yakınsamasıdır. Verimizin bu özelliği de sağladığı açık bir şekilde görülmektedir.

4.3.3. BDS testi

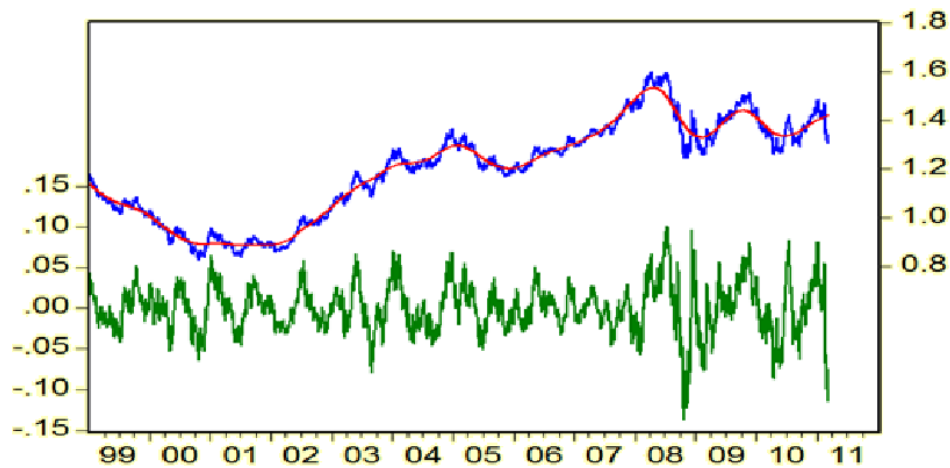
BDS testinin aslında zaman serilerinde doğrusal olmama durumunu ortaya koyduğu belirtilmiştir. BDS testine bakılarak zaman serisinin tam olarak kaotik bir harekete sahip olunduğu söylenemez. Ancak gerekli düzeltmelere rağmen yapılan BDS

testinde, serinin hala doğrusal olmadığı sonucu elde ediliyorsa, bu serinin muhtemelen kaotik olduğu söylenir.

Çizelge 4.1. Ham Veri İçin BDS Testi Sonuçları

Boyut (m)	BDS İstatistiği	Z İstatistiği	p Değeri
2	0,201955	244,2209	0,0000
3	0,343938	263,2835	0,0000
4	0,443203	286,7908	0,0000

İlk olarak ham veriye BDS testi yapılmıştır. Burada görüldüğü gibi yapılan testte “verilerin bağımsız ve benzer dağılımlı olduğu” hipotezi, p değeri $<0,05$ olduğundan, oldukça güçlü bir şekilde reddedilmiştir. Bunun üzerine düzgünleştirme yapıp tekrar test işlemine geçilmelidir. Bu açıdan incelenecek zaman serisinin, eğilim bileşeninden ayrıştırılarak durağan hale getirilmesidir. Hem mevsimsel etkilerden arındırılmış zaman serilerinin trend hemde devresel hareketlerin bileşenlerine ayrıştırılması ve varyansın durağanlaştırılması için çeşitli yöntemler geliştirilmişse de en fazla kullanılan teknik, Hodrick-Prescott tarafından geliştirilen ve kendi ismini taşıyan filtre olmaktadır [Alp ve ark., 2011]. Bu açıdan veriye Hodrick-Prescott düzgünlestirmesi yapılarak veri sıfır etrafında belirli bir bant aralığına alınmış ve yeni grafiği Şekil 4.4’deki gibi olmuştur.



Şekil 4.4. EURUSD Paritesinin Ham Verisine Ait Grafik (mavi) ve Hodrick-Prescott Düzgünlestirmesi Sonucu Elde Edilen Grafik (yeşil)

Elde edilen yeni veri seti için tekrar BDS testi yapılmıştır. Bu testin sonuçları Çizelge 4.2’de görülmektedir. Testten elde edilen sonuçlara göre yapılan düzgünleştirmeye rağmen yokluk hipotezi yine çok büyük Z değerleri ile (yani güçlü bir şekilde) ret edilmiştir.

Çizelge4.2. Düzgünleştirme Sonrası BDS Testi Sonuçları

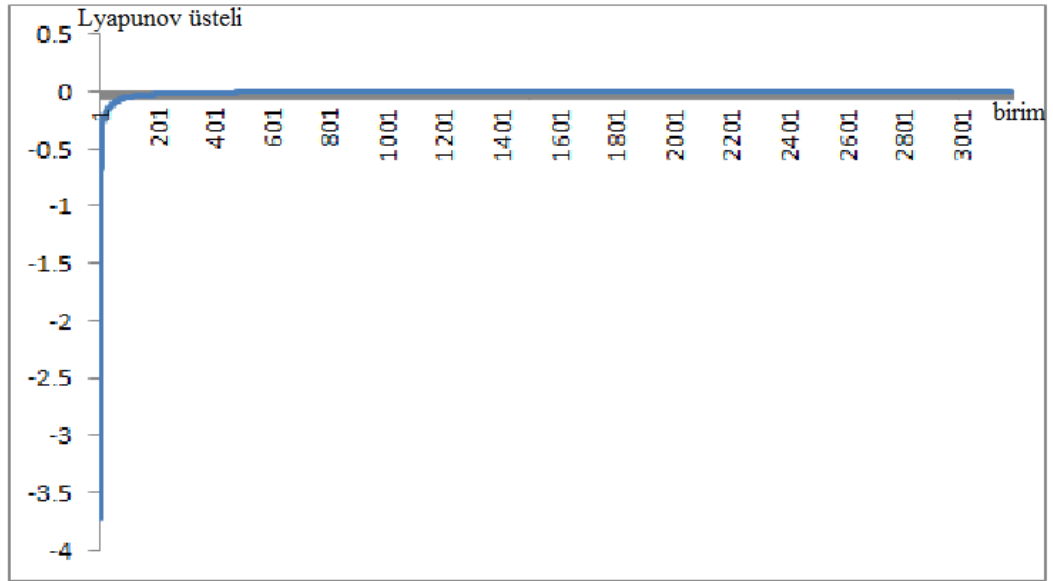
Boyut (m)	BDS İstatistiği	Z İstatistiği	p Değeri
2	0,208057	247,6723	0,0000
3	0,354190	266,7623	0,0000
4	0,456787	290,6653	0,0000

Burada yapılan düzgünleştirmelere rağmen hipotezi kabul edemediğimizden serinin doğrusal olmayan bu serinin muhtemelen kaotik yapıda olduğu söylenebilmektedir.

4.3.4. Lyapunov üstelleri

Bilindiği gibi kaotik hareketin varlığına ilişkin en iyi kanıt Lyapunov üsteli olmaktadır. Burada seri için en büyük Lyapunov üsteli bulunarak genel bir yorum yapılabileceği gibi, serideki her bir birim için de Lyapunov üsteli hesaplanabilmektedir. Seri içinde bir tek pozitif Lyapunov üstelinin olması dahi kaotik hareketin varlığını göstermeye kanıttır.

Buna göre seri için elde ettiğimiz en büyük Lyapunov üsteli 0,001511’tür. Aynı zamanda küçükten büyüğe sıralanmış bu üstellerin grafiği ise Şekil 4.5’de yer almaktadır. Grafikte dikey eksen hesaplanan Lyapunov üstellerini ifade ederken, yatay eksen birimleri göstermektedir. En büyük Lyapunov üstelinin pozitif olmasının yanı sıra, grafikten de birçok pozitif Lyapunov üstelinin varlığı görülebilmektedir. Aynı zamanda Lyapunov üstelleri üstel olarak artış göstermektedir. Tüm bunlar EURUSD paritesine ait serinin açık bir şekilde kaotik yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

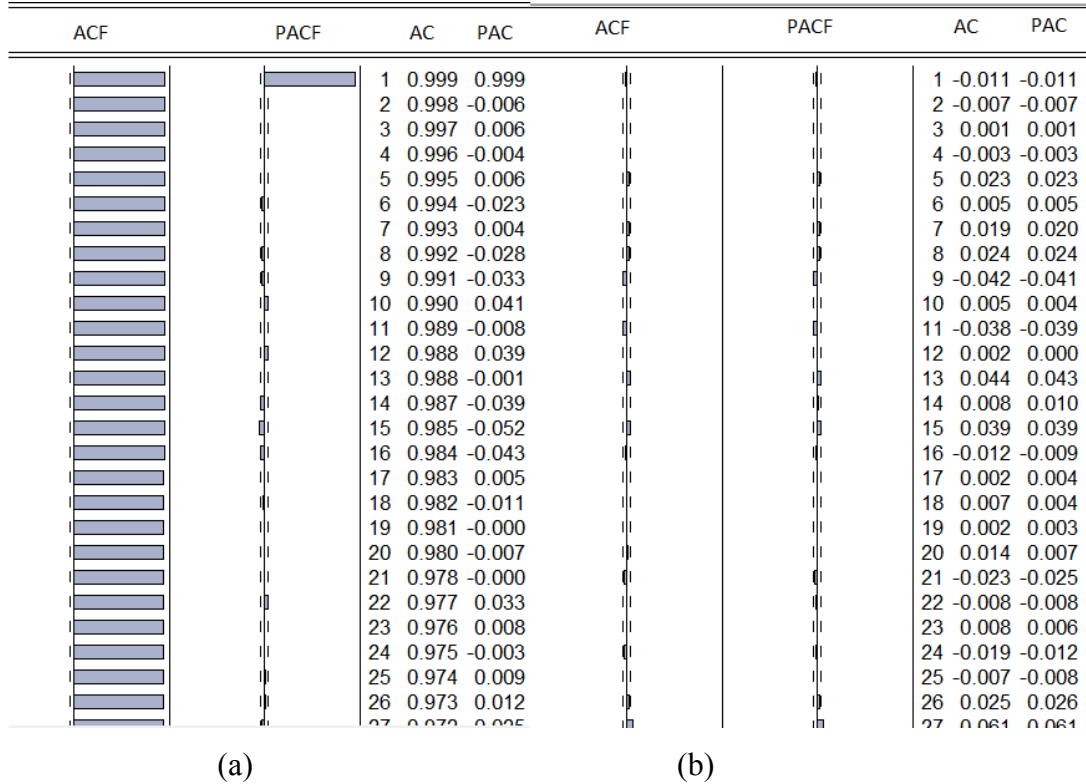


Şekil 4.5. Seriyeye Ait Lyapunov Üstellerinin Grafiği

4.4. Verinin Modellenmesi

Kaotik serilerin bir özelliği de doğrusal olmayan yapıya sahip olmalarıdır. Buna göre kaotik bir veriyi modelleyebilmek için doğrusal olmayan modeller tercih edilmektedir. Bu açıdan seri için öncelikle birinci dereceden otoregresif model bulunmalıdır. Ardından bu modelin hatalarına dayanarak doğrusal olmayan modelleme yöntemlerinin kullanılıp kullanılamayacağı ARCH-LM testi ile sınanmaktadır.

Zaman serilerinin modelleme işlemi için öncelikle serinin durağanlığına bakılmaktadır. EURUSD paritesine ait serinin durağanlığına korelogramlar ile karar verilmiştir. Korelogramlardan (Şekil 4.6-a) anlaşılacağı üzere, seri durağan yapıya sahip olmamaktadır. Bununla birlikte Şekil 4.6-b'deki korelograma bakılarak, serinin birinci sıra fark durağan bir yapıya sahip olduğu söylenebilmektedir. Buna göre seriyi modelleyebilmek için birinci sıra fark serisi ele alınmaktadır.



Şekil 4.6. Ham Verinin Korelogramı (a) ve Birinci Sıra Fark Durağan Serinin Korelogramı (b)

Elde edilen durağan serinin birinci derece otoregresif modelinden, serinin doğrusal olmayan modellere uygunluğu sınanmak bakımından Engle tarafından önerilen ARCH-LM testine yer verilecektir. Bu test ile “ARCH etkisi yoktur” hipotezi test edilmektedir. Elde edilen istatistik değeri tablo değerinden büyük ise yokluk hipotezi ret edilmektedir.

ARCH-LM testinin sonucu Çizelge 4.3’de yer almaktadır. Elde edilen kritik değere göre, 0,01 anlamlılık düzeyinde dahi yokluk hipotezi ret edilmektedir. Yani, sistemde ARCH etkisi bulunmaktadır. Bu, varyansın zamanla değişmekte olduğu anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, elde edilen doğrusal olmayan sistem için, değişen varyansı modelleyebilen ARCH tipi modellerin kullanılması gerekmektedir.

Çizelge 4.3. ARCH-LM Test Sonucu

F İstatistiği	13,94526
P Değeri	0,00000

EURUSD serisi için uygulanan ve istatistiksel olarak anlamlı bulunan ARCH-GARCH modelleri ve modellerin standart hataları Çizelge 4.3’de verilmiştir. Çizelgeden elde edilen sonuçlara göre, seri için en uygun model, en az hataya sahip olan ARCH(1) modeli olmaktadır. Ayrıca bu modelin her iki katsayısı sıfırdan büyük olmakla birlikte $\hat{\epsilon}_{t-1}^2$ ’nin katsayısı 0 ile 1 arasında yer almaktadır. Dolayısıyla model, gerekli şartları sağlamaktadır.

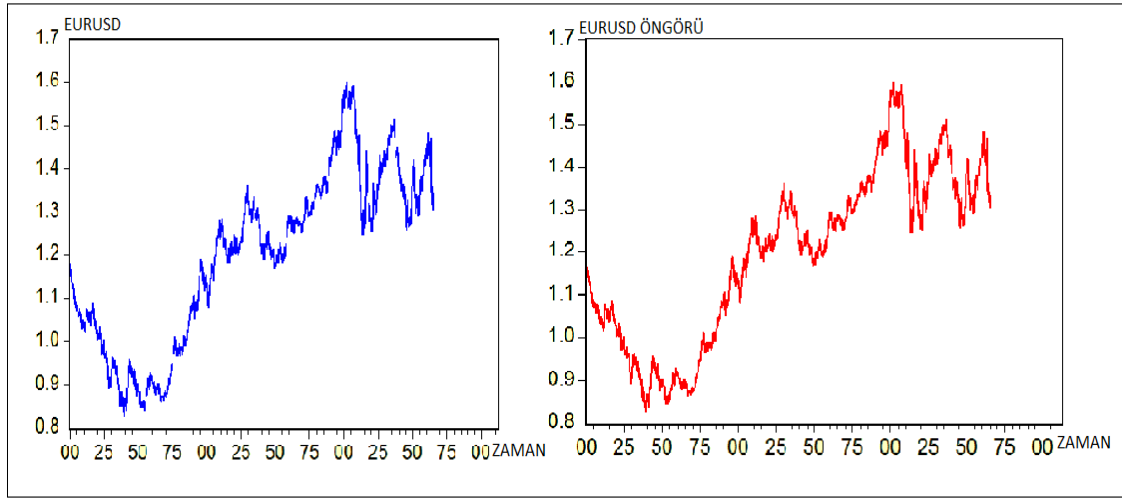
Çizelge 4.4. ARCH-GARCH Modelleri

MODEL	BAĞIMSIZ DEĞİŞENLER	KATSAYI	P DEĞERİ	STANDART HATA
ARCH(1)	Sabit	5,62E-05	0,0000	0,008255
	$\hat{\varepsilon}_{t-1}^2$	0,183257	0,0000	
ARCH(2)	Sabit	5,03E-05	0,0000	0,008256
	$\hat{\varepsilon}_{t-1}^2$	0,157208	0,0000	
	$\hat{\varepsilon}_{t-2}^2$	0,108885	0,0000	
ARCH(3)	Sabit	4,38E-05	0,0000	0,008258
	$\hat{\varepsilon}_{t-1}^2$	0,124748	0,0000	
	$\hat{\varepsilon}_{t-2}^2$	0,095605	0,0000	
	$\hat{\varepsilon}_{t-3}^2$	0,149015	0,0000	
GARCH(1,1)	Sabit	0,000177	0,0000	0,010612
	$\hat{\varepsilon}_{t-1}^2$	0,249493	0,0000	
	σ_{t-1}^2	-0,110993	0,0805	

Elde edilen modelin açık yazımı;

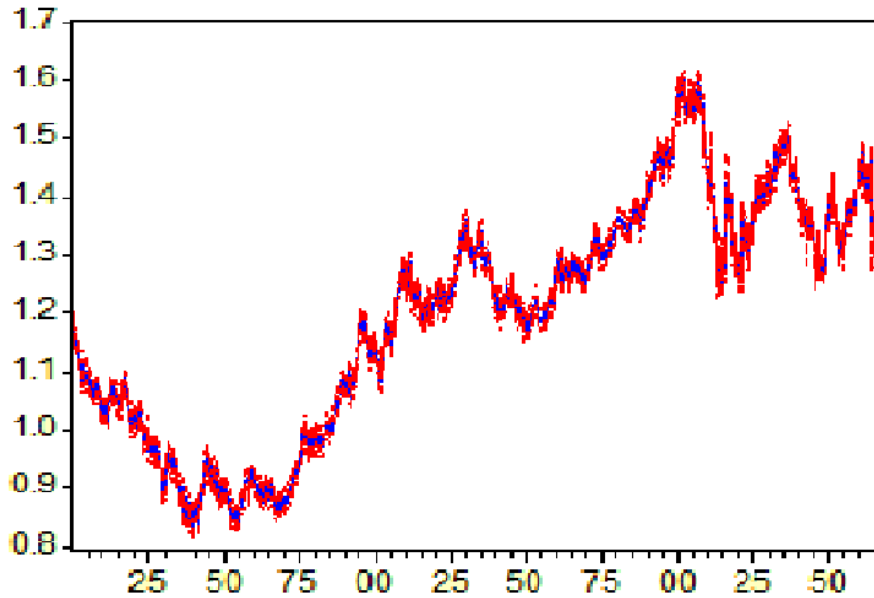
$$\hat{\varepsilon}_t^2 = 5,62E - 05 + 0,183275\hat{\varepsilon}_{t-1}^2$$

Bu modelin EURUSD paritesini öngörmedeki başarısını gözlemlemek için, serinin, modelden elde edilen öngörünün ve her iki serinin birlikte grafikleri Şekil 4.7’de verilmiştir.



(a)

(b)



(c)

Şekil 4.7. EURUSD Paritesinin Ham Veri Grafiği (a) , ARCH(1) Modeli İle Elde Edilen Öngörü Grafiği (b) ve Her İki Serinin Birlikte Grafiği (c)

Şekil 4.7-c’de kırmızı çizgi ARCH(1) modelinin öngörü grafiğini, mavi çizgi ise ham veriye ait grafiği göstermektedir. Buna göre örneğin, 20.12.2011 tarihinde EURUSD paritesinin kapanış değeri gerçekte 1,305400 olarak gerçekleşmişken, kaotik yapıya sahip bu sistemin ARCH(1) modeli ile tahmini sonucu bu değer 1,305559 olarak tahmin edilmiştir. Bu modelin ortaya koyduğu nokta tahmini, yatırımcıya gün içerisinde işlemten çıkabileceği anlık seviyeyi belirlemesi açısından bilgi verici olabilmektedir. Ayrıca, bu model sayesinde yatırımcı işleme gireceği seviye ile

tahmini yapılan kapanış seviyesini karşılaştırarak hem kısa zamanlı yatırımlarda karını tahmin edebilme hem de bu tahmini karlara göre yatırım yapacağı döviz çiftini seçebilme imkanını bulabilmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yukarıda anlatılmış olan çalışma, son birkaç yıl içinde yapılmış uygulamalı ve bilgisayar destekli bir çalışmadır. Bu çalışmada döviz piyasalarındaki belirsizlik ve dışa açıklıktan dolayı, trendi tahmin eden yöntemlerin sunduğu yatırım önerilerinin yetersiz kaldığı vurgulanmaktadır. Çünkü bu durum, döviz kurlarının gelecekteki değerlerini tahmin ederek yatırım yapmak isteyenler açısından riskinartmasına sebep olmaktadır.

Gerçekte, başta ekonometrik zaman serileri olmak üzere doğadaki birçok sistem kaotik yapıya sahip olmaktadır. Bu yapıya sahip sistemler, belirli bir düzen içinde hareket ederken davranışları tamamen rassal olmaktadır. Bu durum, sistemlerin davranışlarındaki küçük bir değişikliğin, sistem sonuçlarında çok büyük değişiklikler meydana getirmesine neden olmaktadır. Bundan dolayı bu tip yapıları açıklayabilmek için kaotik sistemler kullanılmaktadır. Kaotik yapıya sahip zaman serilerinde özellikle uzun dönem tahminleri imkansız görülmektedir. Bunun sebebi kaotik sistemlerin uzun dönemdeki davranışlarının tahmin edilememesidir. Bundan dolayı kaotik yapıya sahip sistemlerde yalnızca kısa dönem tahminlerinin yapılması daha çok tercih edilmektedir. Bu tahminler için ise, kaotik sistemlerin bir özelliği olan, doğrusal olmayan yapının modellenmesinde kullanılan yöntemler tercih edilmektedir.

Durağan olmayan stokastik bir sistem ile karşılaştırıldığında kaotik bir sistemin gelecek tahmin hatalarının daha küçük olması ihtimali mevcuttur. Örneğin, ekonometrik zaman verilerinde ekonomik göstergelerin yükselebilecekleri ve düşebilecekleri bir sınır mevcuttur. Bu veriler, elbette tutarlı bir sistemin ya da mekanizmanın bir görüntüsü olması nedeni ile hareket alanı da belirli sınırlar içerisinde olmalıdır. Birçok kaynaktan gelen zaman verileri için de benzer yapı ya da düşünce şekli söz konusu olabilmektedir.

Bundan dolayı özellikle EURUSD paritesi gibi dış etkenlere açık döviz kurlarında, serinin trendinin yönü her zaman bilgi verici olmamaktadır. Çünkü bunun gibi

yüksek volatilitéye sahip sistemlerde, trendin yönü uzun dönem tahmini için yeterli olmamaktadır. Dolayısıyla uzun dönem yatırımlar da birçok yatırımcı tarafından tercih edilmemekte ya da yüksek riske maruz kalınmaktadır. Yapılan araştırmalara göre, serinin dış etkenlere açıklığının ve yüksek volatilitéye sahip olmasının altında sistemin kaotik yapısı bulunmaktadır.

Bu çalışmada, Forex piyasasının EURUSD paritesinin günlük kapanış değerlerinin kaotik yapıya sahip olup olmadığı incelenmiştir. Bunun için 3. Bölüm’de ele alınan, kaosun tespiti için yapılan analizler arasından, Fraser ve Swinney (1986)’ın ve Abarbanel (1996)’ın geliştirdiği Karşılıklı Bilgi Yöntemi, Kennel, Brown ve Abarbanel (1992)’in geliştirdiği Yanlış En Yakın Komşular Yöntemi, Grassberger ve Procaccia (1983)’nın ortaya attığı Korelasyon İntegrali, Brock, Dechert ve Scheinkman (1987)’in ortaya koyduğu BDS Testi ile kaosun varlığında kesin bir kanıt olarak kabul edilen ve Wolf, Swift, Swinney ve Vastaro’nun geliştirdiği Lyapunov Üstelleri Yöntemi veri setine uygulanmıştır. Bu yöntemlerin uygulanması sonunda, Karşılıklı Bilgi Yöntemi, Yanlış En Yakın Komşular Yöntemi, Korelasyon İntegrali ve BDS Testi ile kaotik yapının varlığı sadece yorumsal olarak ortaya konmuşken, Lyapunov Üstellerine göre serideki kaotik yapının varlığı kesin olarak söylenilebilmektedir.

Kaotik yapıya sahip olduğu gösterilmiş olan EURUSD paritesi için, Forex piyasasında kullanılan trendi tahmin yöntemlerinin aksine, sistemin doğrusal olmama özelliğinden yararlanılarak nokta tahmin yöntemine gidilmiştir. Bunun için doğrusal olmayan modellerden ARCH-GARCH modelleri veri setine uygulanmış ve oldukça başarılı bir sonuç alınmıştır. Başarılı sonuç alınmasının bir sebebi de, EURUSD paritesi gibi ekonomik zaman serilerinin, dışa açık olmaları ve volatilitésinin yüksek olması gibi, kaotik yapının da temelini oluşturan bu özelliklerinin, ARCH-GARCH gibi sistemdeki değişen varyansı modele katabilen modeller ile daha iyi açıklanabilmesidir.

Elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, çalışma kapsamındaki zaman aralığında Forex piyasasından alınan EURUSD paritesinde kaotik yapının var olduğu

ve dolayısı ile sistemin başlangıç koşullarındaki çok küçük bir değişimin sistem çıktılarında çok büyük farklılıklara sebep olabileceği görülmüştür. Bundan dolayı, sistemde uzun dönem parite değerleri tahmin edilememekle birlikte, sistemin dışa açıklığına bağlı olarak trendi tahmin yöntemleri de yatırımcılar için yanıltıcı sonuçlar verebilmektedir. Dolayısıyla, kaotik sistemlerin doğrusal olmayan yapıya sahip olmaları ve aynı zamanda sistemin oynak yapısını ortaya koyabilmeleri açısından ARCH-GARCH modellerinden uygun olanı seriye uygulanmıştır. Yapılan bu uygulamaya bağlı olarak, Forex gibi yatırım araçlarında, sistemin ortaya konulan kaotik yapısından dolayı, trendi tahmin eden yöntemlerin aksine doğrusal olmayan modeller kullanılarak nokta tahmini yapılması daha faydalı bulunmuştur.

Genel olarak, birçok prensipten gelen kaos konusundaki görüşlerin de kesinlikle dikkate alınması gerekmektedir. Aslında meteoroloji, psikoloji, tıp, endüstri, politika, ekonomi ve diğer başka alanlarla ilgili birçok olayın arkasında yine kaosun bulunduğu ya da bulunması gerektiği düşüncesi oldukça hakimdir. Elbette kaos konusu tek başlık altında toparlanabilecek homojen bir konu değildir. Bu konu daha çok yeni anlaşılmaya başlanan bir organizasyonun genel bir adı gibidir. Dolayısıyla başta ekonometrik zaman serilerinde olmak üzere kaos konusunda yapılan çalışmalar geliştirilmelidir. Buna bağlı olarak kaotik yapıların modellenmesi için kullanılan doğrusal olmayan modeller de çeşitlendirilebilir.

KAYNAKÇA

Abarbanel, H. D. , " Analysis of Observed Chaotic Data", *Springer Study Edition*, U.S.A. (1996).

Abarbanel, H., Brown, R., & Kennel, M. , "Lyapunov Exponents in Chaotic Systems: Their Importance and Their Evaluation Using Observed Data", *International Journal of Modern Physics*, 1347-1375 (1991).

Aktaş, H., & Kozoğlu, M. , "Haftanın Günleri Etkisinin İstanbul Menkul Kıymetler Borsası'nda GARCH Modeli ile Test Edilmesi", *Finans Politik & Ekonomik Yorumlar* , 37-45 (2007).

Alp, H., Başkaya, Y., Kılınç, M., & Yüksel, C. , "Türkiye İçin Hodrick-Prescott Filtresi Düzgünleştirme Parametresi Tahmini", *Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası Ekonomi Notları*, (2011).

Amilon, H., & Byström, H. , "The Search for Chaos and Nonlinearities in Swedish Stock Index Returns", *Working Papers, Department of Economics, Lund University*, 220 (1998).

Barnett, W. A. , "Martingales, Nonlinearity and Chaos", *Department of Economics, Campus Box* (1998).

Bollerslev, T. , "Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity", *Journal of Econometrics*, 307-327 (1986).

Bouye, E., & Salmon, M. , "Dynamic Capula Quantile Regressions and Tail Area Dynamic Dependence in Forex Market", *The European Journal of Finance* , 721-750 (2009).

Bozdağ, C. E. , "Kaos Analizi: Bir Finansal Sektör Uygulaması", Doktora Tezi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, Mayıs 1998.

Brock, W., & Potter, S. , "Nonlinear Time Series and Macroeconometrics", *Handbook of Statistics*, 195-229 (1993).

Brock, W., Dechert, W., & Scheinkmann, J. , "A Test for Independence based on the Correlation Dimension", *Wisconsin Madison - Social Systems* (1987).

Brock, W., Lakonishok, J., & LeBaron, B. , "Simple Technical Trading Rules and the Stochastic Properties of Stock Returns", *The Journal of Finance*, 1731-1764 (1992).

Chen, X., & Fan, Y. , "Estimation of Capula-Based Semiparametric Time Series Models", *Journal of Econometrics*, 307-335 (2006).

Cumperayot, P. J. , "Dusting off the Perception of Risk and Returns in Forex Markets", *Exchange Rate Economics* (2003).

Easy-Forex, "Forex at Eye Level a Quick Guide to Currency Trading", *Easy-Forex Trading Platform* (May 2008).

Edgar, P. , "Fractal Structure in the Capital Markets" *Financial Analysts Journal* (Temmuz-Ağustos 1989).

Enders, W. , "Applied Econometric Time Series", *United States of America: John Wiley and Sons* (2004).

Engle, R. F. , "Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation", *Econometrica* 987-1007 (1982).

Fan, J., & Yao, Q. , "Nonlinear Time Series Nonparametric and Parametric Methods", *Springer* , U.S.A. (2003).

Fırat, U. , "Kaotik Zaman Serilerinin Yapay Sinir Ağlarıyla Kestirimi: Deprem Verisi Durumu", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Anabilim Dalı*, İstanbul (2006).

Frank, M., & Stengos, T. , "Some Evidence Concerning Macroeconomic Chaos", *Journal of Monetary Economics*, 423-438 (1988).

Frank, M., Gencay R., & Stengos, T. , "International Chaos", *European Economic Review*, 1569-1584 (1988).

Fraser, A., & Swinney, H. , "Independent Coordinates for Strange Attractors from Mutual Information", *Physical Review A* , 1134-1140 (1986).

Gencay, R., & Dechert, W. , "An Algorithm for the n Lyapunov Exponents from Noisy Chaotic Time Series", *Physica D*, 142-157 (1992).

Gökçe, A. , "İstanbul Menkul Kıymetler Borsası Getirilerindeki Volatilitenin ARCH Teknikleri ile Ölçülmesi", *Gazi Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, 35-58 (2001).

Grassberger, P., & Procaccia, I. , "Characterization of Strange Attractors", *Physical Review Letters*, 346-349 (1983).

Guliyev, E., & Gurbanzade, Ş. , "Forex A'dan Z'ye Uluslararası Döviz Piyasası Alfabetesi", *Mega Basım*, İstanbul (2008).

Hsieh, D. , "Chaos and Nonlinear Dynamics: Application to Financial Markets", *Journal of Finance*, 1839-1877 (1991).

Hyde, S., & Bredin, D. , "Forex Risk: Measurement and Evaluation Using Value at Risk", *Journal of Business Finance and Accounting*, 1389-1417 (2004).

Ickes, B. W. , "The Foreign Exchange Market", *Econ Papers*, 434 (2006).

İnternet: Ayhan, İ. , TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi Psikoloji Köşesi, "Laplace Şeytanı, Kaos ve Kelebek Etkisi", <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/gelisim/psikoloji/deneme.htm> , (Mayıs 2012).

İnternet: Polatlı, A. , "Kaotik Sistemler", <http://www.makaleler.com/bilim-makaleleri/kaotik-sistemler.htm> , (2009, Ekim 20)

Kalra, S. , "Global Volatility and Forex Returns in East Asia", *IMF Working Paper*, 08/208 (2008).

Kantz, H., & Schreiber, T. , "Nonlinear Time Series Analysis", *United Kingdom: Cambridge University Press* (2004).

Karaahmetoğlu, A. (2006). Opsiyon Fiyatlamasında Otoregresif Koşullu Değişen Varyans Modellerinin Kullanımı. *Yüksek Lisans Tezi* . İstanbul: *Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*.

Kasap, P., & Kurt, D. , "Karmaşanın Bilimi Kaos", *Nobel Yayınevi* , Ankara (2011).

Kennel, M., Brown, R., & Abarbanel, H. , "Determining Embedding Dimension for Phase-Space Reconstruction Using a Geometrical Construction", *Physics Review*, 340-353 (1992).

Kızılsu, S., Aksoy, S., & Kasap, R. , "Bazı Makro Ekonomik zaman Dizilerinde Değişen Varyanslılığın İncelenmesi", *Gazi Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, 1-18 (2001).

Kosko, B. , "Fuzzy Thinking", *Harper Collins Publishers* , London (1993).

Kumar, S. S. , "Forecasting Volatilite-Evidence From Indian Stoch and Forex Markets", *Indian Institue of Management Kozhikode*(2006).

Kutlar, A. , "Ekonometrik Zaman Serileri", *Gazi Kitabevi* , Ankara (2000).

Larrain, M. , "Testing Chaos and nonlinearities in T-Bill Rates", *Financial Analysts Journal*, 51-62 (1991).

Lorenz, E. , "Deterministic Non-Periodic Flow", *Journal of Atmospheric Sciences* , 20 (1963).

Lovejoy, S., & Schertzer, D. , "Stochastic Chaos, Symmetry and Scale Invariance", *ECO-TEC: Architecture of the In-between*, 80-99 (1999).

Meydan, M. , "Forex Piyasası Uluslararası Döviz Piyasalarında İnternet Üzerinden İşlem", *Elma Yayınevi* , İstanbul (2008).

Moobinson, P., & Zaffaroni, P. , "Nonlinear Time Series With Long Memory: A Model For Stochastic Volatility", *Journal of Statistical Planning and Inference*, 359-371 (1998).

Mosekilde, R., Aracil, J., & Allen, P. , "Instabilities and Chaos in Nonlinear Dynamic Systems", *System Dynamics Review*, 1-2 (1988).

Öztürk, A. , "Doppler İşaretlerinin Kaotik Ölçütlerle Sınıflandırılması", Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı* , Konya (2008).

Pagan, A., & Schwert, G. , "Alternative Models for Conditional Stock Volatility", *Journal of Econometrics*, 267-290 (1990).

Pehlivan, İ., Uyaroğlu, Y., Yalçın, M., & Ferikoğlu, A. , "Sprott_94_A Kaotik Sisteminin Senkronizasyonu ve Bilgi Gizlemede Kullanılması", *Uluslararası Katılımlı Bilgi Güvenliği ve Kriptoloji Konferansı* ,Ankara: Bildiriler Kitabı, 230-237 (2007).

Peters, E. , "A Chaotic Attractor for the S&P 500", *Financial Analysts Journal*, 55-62 (1991).

Peters, E. E. , "Chaos and Order in The Capital Markets", *John Wiley and Sons* , U.S.A. (1996).

Rasmussen, D., & Mosekilde, W. , "Bifurcations and Chaos in a Generic Management Model", *European Journal of Operational Research*, 80-88 (1988).

Ruelle, D. , "Rastlantı ve Kaos", *TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları*, Sayı 7, Ankara (1994).

Scheinkmann, J., & LeBaron, B. , "Nonlinear Dynamics and Stock Returns", *Journal of Business*, 311-337 (1989).

Serin, T. , "Kaotik Yapılarda Lyapunov Üstellerinin Tahmini", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* , Ankara (2003).

Stacey, R. D. , "Strategy as Order Emerging from Chaos", *Long Range Planning*, 10-17 (1993).

Stewart, I. , "Does God Play Dice: The New Mathematics of Chaos", *Blackwell Publishing*, U.K. (1989).

Torkamani, M., Mahmoodzadeh, S., & Lucas, C. , "Chaos Theory and Application in Foreign Exchange Rates vs Iranian Rial", *International Journal of Human and Social Sciences* , 130-135 (2007).

Tosun, T. , "Türev Araçlar, Kaos Teorisi ve Fraktal Yapıların Vadeli İşlem Zaman Serilerinde Uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, *T.C. Marmara Üniversitesi Bankacılık ve Sigortacılık Enstitüsü Sermaye Piyasası ve Borsa* , İstanbul (2006).

Vaga, T. , "The Coherrent Market Hypothesis", *Financial Analysts Journal* (1991).

Varson, P., & Doran, P. , "The Search for Evidence of Chaos in FTSE-100 Daily Returns", *European Financial Management*, 201-210 (1995).

Williams, G. P. , "Chaos Theory Thamed", *Taylor & Francis Publisher* , London (1997).

Yalamova, R., Qi, L., Wang, L., Chen, Y., Mathews, S., & Gong, G. , "Detecting Chaos in Financial Time Series", *Tech. Print* (2006).

Yalçın, Y. , "Türkiye'deki Finansal serilerin Oynaklık Yapısı", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri Anabilim Dalı* , Ankara (2008).

Yang, H., & Duan, X. , "Chaotic Characteristics of Electricity Price and Its Forecasting Model", *Canadian Conf. On Electrical and Computer Eng.*, 659-662 (2003).

Yavaş, Ö. , "Lineer ve Lineer Örgü Titreşimleri ve Örgülerde Kaos Analiz", Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Mühendisliği Ana Bilim Dalı*, Ankara (1985).

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

EKLER

Ek 1: Ham veriye ait BDS testi sonuçları

Boyut	BDS İstatistik	Std. Hata	z-İstatistiği	p-değeri
2	0.201955	0.000827	244.2209	0.0000
3	0.343938	0.001306	263.2835	0.0000
4	0.443203	0.001545	286.7908	0.0000
5	0.512305	0.001600	320.2436	0.0000
6	0.560170	0.001532	365.6583	0.0000

Raw epsilon 0.311928

Pairs within epsilon 7114099. V-statistic 0.703060

Triples within epsilon 1.67E+10 V-statistic 0.517610

Boyut	$C(m,n)$	$c(m,n)$	$C(1,n-(m-1))$	$c(1,n-(m-1))$	$c(1,n-(m-1))^k$
23518279.	0.696054	3552994.	0.702921	0.494099	
3	3491459.	0.691182	3550527.	0.702875	0.347244
4	3469329.	0.687234	3548153.	0.702848	0.244031
5	3449760.	0.683788	3545779.	0.702820	0.171482
6	3431854.	0.680667	3543426.	0.702796	0.120497

Ek 2: Hodric-Prescot Dönüşümünden sonra yapılan BDS testi sonuçları

Boyut	BDS İstatistik	Std. Hata	z-İstatistik	p-değeri
2	0.208057	0.000840	247.6723	0.0000
3	0.354190	0.001328	266.7623	0.0000
4	0.456787	0.001572	290.6653	0.0000
5	0.528771	0.001628	324.8682	0.0000
6	0.579230	0.001560	371.4184	0.0000

Raw epsilon	0.312706			
Pairs within epsilon	7117253.	V-statistic	0.703372	
Triples within epsilon	1.67E+10	V-statistic	0.518418	

Boyut	$C(m,n)$	$c(m,n)$	$C(1,n-(m-1))$	$c(1,n-(m-1))$	$c(1,n-(m-1))^k$
2	3551855.	0.702696	3554938.	0.703306	0.494639
3	3546678.	0.702114	3552840.	0.703333	0.347923
4	3541504.	0.701531	3550742.	0.703361	0.244744
5	3536335.	0.700948	3548644.	0.703388	0.172176
6	3531168.	0.700365	3546546.	0.703415	0.121135

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GÖKMEN, Şahika
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 24.06.1985 Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 252 62 86
 e-mail : sahika_pilavci@hotmail.com

Eğitim Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/ İstatistik Bölümü	2012
Lisans	Gazi Üniversitesi/ İstatistik Bölümü	2008
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Ekonometri Bölümü (çift ana dal)	2008
Lise	Turhan Tayan Anadolu Lisesi	2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2011-	Gazi Üniversitesi/ Ekonometri Bölümü	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Şiir-deneme yazma, kitap okuma, puzzle yapma, bilgisayar