



**ADAPTİF PİYASA HİPOTEZİ BAĞLAMINDA GİZLİ
MARKOV MODELİ YAKLAŞIMI:
BORSA İSTANBUL ÖRNEĞİ**

(Doktora Tezi)

Hasan Arda BURHAN

Kütahya - 2018

T.C
KÜTAHYA DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
Ekonometri Anabilim Dalı

Doktora Tezi

**ADAPTİF PİYASA HİPOTEZİ BAĞLAMINDA GİZLİ MARKOV
MODELİ YAKLAŞIMI: BORSA İSTANBUL ÖRNEĞİ**

Danışman:
Doç. Dr. Eylem ACAR

Hazırlayan:
Hasan Arda BURHAN

Kütahya - 2018

Kabul ve Onay

Hasan Arda BURHAN'ın hazırladığı “Adaptif Piyasa Hipotezi Bağlamında Gizli Markov Modeli Yaklaşımı: Borsa İstanbul Örneği” başlıklı doktora tez çalışması, jüri tarafından lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddelerine göre değerlendirilip oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

19/11/2018

Tez Jürisi	İmza	
	Kabul	Red
Doç. Dr. Eylem ACAR (Danışman)		
Prof. Dr. Aydın ÜNSAL		
Prof. Dr. Sema BEHDİOĞLU		
Prof. Dr. Latif ÖZTÜRK		
Dr. Öğr. Üyesi Naciye Tuba YILMAZ SOYDAN		

Doç. Dr. Ayhan KAHRAMAN
Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürü

Yemin Metni

Doktora tezi olarak sunduğum “Adaptif Piyasa Hipotezi Bağlamında Gizli Markov Modeli Yaklaşımı: Borsa İstanbul Örneği” adlı çalışmamın, tarafımdan bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım kaynakların kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

19/11/2018

Hasan Arda BURHAN

Özgeçmiş

1 Ocak 1982 Denizli doğumlu. İlkokulu Denizli Hürriyet İlkokulunda, Orta Okul ve Liseyi Denizli Türk Eğitim Vakfı Anadolu Lisesinde okudu. 2000 yılında liseden mezun oldu. 2000 yılında İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Ekonometri Bölümünü kazandı, 2006 yılında mezun oldu. 2007 yılında İstanbul Üniversitesi İktisat Sosyolojisi Ana Bilim Dalı, Sosyal Yapı Sosyal Değişme Bilim Dalında yüksek lisansa başladı ve 2010 yılında mezun oldu. 2000-2002 yılları arası Migros Ticaret A.Ş., 2004-2006 yılları arası Mondial (Allianz) Assistance ve 2006-2011 yılları arasında Mapfre Genel Yaşam Sigorta'da çalıştı. 2011 yılında İngiltere Essex Üniversitesinde başladığı Sosyoloji doktora eğitimini bırakarak 2012 yılında vatani görevini yerine getirdi. 2013 yılında Kütahya Dumlupınar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Ekonometri Bölümü Yöneylem Araştırması Ana Bilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı ve aynı yıl Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri Ana Bilim Dalında başladığı yüksek lisans eğitimini 2015 yılında tamamladı. Halen Kütahya Dumlupınar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Ekonometri Bölümünde çalışmaya devam etmektedir.

Teşekkür

Görevime başladığım 2013 yılından bu yana pozitif enerjisiyle bana her zaman destek olan, birlikte çalışmaktan gurur duyduğum ve her daim kendisini örnek alacağım danışmanım ve hocam Doç. Dr. Eylem Acar'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez izleme jürimde bulunarak katkılarını ve desteğini esirgemeyen hocam Prof. Dr. Sema Behdioğlu'na ve genç bir akademisyenin nasıl olması gerektiği konusunda kendisini daima örnek alacağım Dr. Öğr. Üyesi Naciye Tuba Yılmaz Soydan'a teşekkürü borç bilirim. Ayrıca tez savunma jürimde bulunarak tecrübeleriyle bana yardımcı olan hocalarım Prof. Dr. Aydın Ünsal ve Prof. Dr. Latif Öztürk'e teşekkürlerimi sunarım.

Yine görevime başladığım süreçten bu yana desteğini ve yardımlarını benden esirgemeyen, bir akademisyenin çalışkan olması, bitmeyen bir enerjiyle her zaman daha ileriye hedeflemesi konusunda bana örnek teşkil eden bölüm başkanımız ve hocam Prof. Dr. Mahmut Zortuk'a teşekkürlerimi sunarım.

Birlikte çalışmayı benim için mutluluk haline getiren bölüm arkadaşlarım Dr. Öğr. Üyesi Seyhat Bayrak Gezdim, Semih Karacan, Neslihan Çilesiz ve Ayşegül Yıldız'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan, evlatları olmaktan gurur duyduğum annem Nevin Burhan, babam Muhsin Burhan'a; yine kalbimizin hep birlikte attığını bildiğim kardeşim Sacide Damla Aslan'a ve desteklerini esirgemeyen tüm aileme teşekkürü borç bilirim.

Hayat arkadaşım, meslektaşım ve güneşim Pınar Özer'e en başta 'ben'i 'biz' yaptığı için, doktora çalışmam sürecinde de verdiği destek, gösterdiği sabır, şefkat ve ilgi için tüm kalbimle teşekkür ederim.

ÖZET

ADAPTİF PİYASA HİPOTEZİ BAĞLAMINDA GİZLİ MARKOV MODELİ YAKLAŞIMI: BORSA İSTANBUL ÖRNEĞİ

BURHAN, Hasan Arda
Doktora Tezi, Ekonometri Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Eylem ACAR
Kasım, 2018, 134 sayfa

Son yıllarda adaptif piyasa hipotezi, finansal literatürde sıklıkla araştırma konusu olan etkin piyasa hipotezine karşılık bir alternatif olarak ele alınmakta ve yoğun ilgi görmektedir. Hipotez, piyasa etkinliği kavramına koşullar ve yatırımcıların etkileşimleri çerçevesinden yaklaşarak, bir piyasada farklı dönemlerde getiri tahmin edilebilirliğinin söz konusu olması halinde yatırımcıların etkin ve etkin olmayan özelliklerin bir arada bulunduğu bir piyasada yer alacaklarını ifade etmektedir. Bu doğrultuda ilgili piyasalar, adaptif piyasa olarak nitelendirilecektir. Bu çalışmanın ilk amacı, günümüzde birçok çalışmaya konu olan adaptif piyasa hipotezinin ülkemiz Borsa İstanbul Hisse Senedi Piyasası için test edilmesidir. Çalışmanın bir diğer amacı ise, elde edilen bilgiler ışığında getiri tahmin edilebilirliğinin tespit edildiği dönemler için gizli Markov modellerinin kullanılabilirliğinin incelenmesidir. Ocak 1988-Aralık 2017 BIST 100 endeksi günlük kapanış verilerinin kullanıldığı uygulamanın birinci kısmında, adaptif piyasa hipotezinin sınanmasında literatürde sıklıkla kullanılan otomatik portmanteau ve genelleştirilmiş spektral testleri yardımıyla hipotez test edilmiş ve getiri tahmin edilebilirliğinin olduğu dönemler belirlenmiştir. Uygulamanın devamında, belirlenen dönemler için kurulan gizli Markov modelinde gözlem serisi olarak BIST 100 endeksi; endeksi etkileyen makroekonomik değişkenlerden Dolar kuru, para arzı ve TÜFE ise durum serisi olarak ele alınmıştır. Gizli Markov modellerine ilişkin değerlendirme ve optimal durum dizilimini bulma problemlerinin çözümü ile, getiri tahmin edilebilirliğinin olduğu dönemlerin son iki ayında gözlem ve durum serilerinin aldıkları değerler tahmin edilmiş ve gerçek değerlerle karşılaştırılmıştır. Çalışmanın birinci bölümünde hisse senedi ve hisse senedi piyasası kavramları ile birlikte etkin ve adaptif piyasa hipotezleri, ikinci bölümde stokastik süreçler ve Markov zincirleri, üçüncü bölümde gizli Markov modelleri ve dördüncü bölümde ise uygulamaya yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Adaptif Piyasa Hipotezi, Gizli Markov Modelleri, Etkin Piyasa Hipotezi, Getiri Tahmin Edilebilirliği, Borsa İstanbul.

ABSTRACT**A HIDDEN MARKOV MODEL APPROACH IN THE CONTEXT OF
ADAPTIVE MARKET HYPOTHESIS: AN EVIDENCE FROM BORSA
ISTANBUL****BURHAN, Hasan Arda****Ph.D. Dissertation, Department of Econometrics****Advisor: Assoc. Prof. Dr. Eylem ACAR****November, 2018, 134 pages**

Adaptive market hypothesis has been attracting growing interest in recent years as an alternative to the efficient market hypothesis, which has been constantly the subject of studies in the financial literature. The hypothesis refers to the concept of market efficiency in terms of conditions and investors' interactions and states that investors will be in a market where effective and ineffective characteristics are combined if there is return predictability in different periods of time. Accordingly, these markets will be referred as adaptive markets. The first aim of this study is to test the adaptive market hypothesis for Borsa Istanbul Stock Market. In this context, another aim of this study is to examine the usability of hidden Markov models (HMM) for the periods that return predictability is determined. In the first step of the application, where the daily closing data of BIST 100 index for the period January 1988-December 2017 are used, the hypothesis is tested and periods with return predictability are determined by automatic portmanteau and generalized spectral tests which are used frequently in the related literature. In continuation of the application, a HMM model has been established for the determined periods by using BIST 100 index as the observation series while US Dollars exchange rate, money supply and consumer price index (CPI) as hidden states and macroeconomic variables that affect the index. The values of observation series and hidden states for the last two months of the periods where the return predictability is present has been estimated by the solutions of evaluation and optimal state sequence problems and compared with the actual values. In the first section of this study, stock and stock market concepts, effective and adaptive market hypothesis are given. The second and third section includes stochastic processes, Markov chains and hidden Markov models. In the last section, the application is given.

Keywords: Adaptive Market Hypothesis, Hidden Markov Models, Effective Market Hypothesis, Return Predictability, Borsa Istanbul.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar LİSTESİ	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
KISALTMALAR	xii
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

HİSSE SENEDİ PİYASASI, ETKİN VE ADAPTİF PİYASA HİPOTEZLERİ

1.1. GİRİŞ.....	5
1.2. HİSSE SENETLERİ VE HİSSE SENEDİ PİYASASI	7
1.3. HİSSE SENEDİ SEÇİMİNDE KULLANILAN KARAR VERME YÖNTEMLERİ	11
1.3.1. Temel Analiz	11
1.3.2. Teknik Analiz	12
1.4. ETKİN PİYASA HİPOTEZİ	13
1.4.1. Güçlü Formda Etkinlik	15
1.4.2. Yarı-Güçlü Formda Etkinlik	17
1.4.3. Zayıf Formda Etkinlik	19
1.4.3.1. Borsa İstanbul'un Zayıf Formda Etkinliğine İlişkin Literatür Taraması	20
1.4.3.2. Etkin Piyasa Hipotezine Yönelik Eleştiriler	24
1.5. ADAPTİF PİYASA HİPOTEZİ	25
1.5.1. Adaptif Piyasa Hipotezinde Getiri Tahmin Edilebilirliği Testleri	28
1.5.1.1. Varyans Oran Testi	29
1.5.1.2. Otomatik Portmanteau Testi	30
1.5.1.3. Genelleştirilmiş Spektral Test	31
1.5.1.4. McLeod-Li Testi	32
1.5.2. Adaptif Piyasa Hipotezine İlişkin Literatür Taraması	32

İKİNCİ BÖLÜM

MARKOV ZİNCİRLERİ

2.1. GİRİŞ	39
2.2. STOKASTİK SÜREÇLER	40

2.2.1. Stokastik Süreçlere İlişkin Genel Kavramlar	40
2.2.2. Durağan Süreçler	42
2.2.3. Durağan Bağımsız Artış Süreçleri	43
2.2.4. Sayma Süreçleri	43
2.2.5. Gaussian Süreçler	43
2.2.6. Martingale Süreçler	44
2.2.7. Brownian Hareket ve Wiener Süreci	44
2.2.8. Markov Süreci	45

2.3. MARKOV ZİNCİRLERİ45

2.3.1. Çoklu Adım Geçiş Olasılıkları Matrisi	46
2.3.2. Markov Zincirlerinde Durumların Sınıflandırılması	48
2.3.3. Denge Durum Olasılıkları	49
2.3.4. Yutucu Markov Zincirleri	51
2.3.5. Ergodik Markov Zincirleri ve Ortalama İlk Geçiş Zamanı	52
2.3.6. Tersinir Markov Zincirleri	53
2.3.7. Sürekli Zamanlı Markov Zincirleri	54

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM GİZLİ MARKOV MODELLERİ

3.1. GİRİŞ57

3.2. GİZLİ MARKOV MODELLERİNİN VARSAYIMLARI 60

3.2.1. Markovyen Varsayım	60
3.2.2. Durağanlık Varsayımı	60
3.2.3. Gözlem Bağımsızlığı Varsayımı	61

3.3. GİZLİ MARKOV MODELLERİNİN ÜÇ TEMEL PROBLEMİ VE ÇÖZÜMLERİ61

3.3.1. Değerlendirme Problemi ve Çözümü	61
3.3.1.1. İleri-Yön Algoritması	63
3.3.1.2. Geri-Yön Algoritması	64
3.3.2. Optimal Durum Dizilimini Bulma Problemi ve Viterbi Algoritması	64
3.3.3. Öğrenme Problemi ve Baum-Welch Algoritması	67

3.4. FARKLI YAPILARDAKİ GİZLİ MARKOV MODELLERİ69

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM BORSA İSTANBUL (BIST) 100 ENDEKSİ İÇİN BİR UYGULAMA

4.1. ARAŞTIRMANIN AMACI VE YÖNTEMİ72

4.2. BIST 100 ENDEKSİ İÇİN ADAPTİF PİYASA HİPOTEZİNİN TEST EDİLMESİ73

4.2.1. Otomatik Portmanteau Testi Sonuçları	75
4.2.2. Genelleştirilmiş Spektral Test Sonuçları	77
4.3. BIST 100 ENDEKSİ VE SEÇİLİ MAKROEKONOMİK DEĞİŞKENLER İÇİN GİZLİ MARKOV MODELİ UYGULAMASI	78
4.3.1. Şubat 1991- Eylül 1993 Dönemi İçin Modelin Kurulması	78
4.3.2. Şubat 1991- Eylül 1993 Dönemi İçin Değerlendirme Probleminin Çözümü	83
4.3.3. Şubat 1991- Eylül 1993 Dönemi İçin Optimal Durum Dizilimini Bulma Probleminin Çözümü	85
4.3.4. Şubat 2008- Ekim 2008 Dönemi İçin Modelin Kurulması	87
4.3.5. Şubat 2008- Ekim 2008 Dönemi İçin Değerlendirme Probleminin Çözümü	90
4.3.6. Şubat 2008- Ekim 2008 Dönemi İçin Optimal Durum Dizilimini Bulma Probleminin Çözümü	91
SONUÇ VE ÖNERİLER	94
EKLER	98
KAYNAKÇA	107
DİZİN	133

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1: Gizli Markov Modellerine İlişkin Uygulama Alanları ve Çalışmalar	57
Tablo 4.1: BIST 100 Getiri Verilerine İlişkin Tanımlayıcı İstatistikler	74
Tablo 4.2: BDS Test İstatistikleri	75
Tablo 4.3: Şubat 1991- Eylül 1993 BIST 100 Gözlem Serisi İçin Sembol Atamaları .	79
Tablo 4.4: Şubat 1991- Eylül 1993 Dolar Kuru Durum Serisi İçin Sembol Atamaları	80
Tablo 4.5: Şubat 1991- Eylül 1993 Para Arzı Durum Serisi İçin Sembol Atamaları ...	80
Tablo 4.6: Şubat 1991- Eylül 1993 TÜFE Durum Serisi İçin Sembol Atamaları	81
Tablo 4.7: Alt Durumlar Kümesine Göre Oluşturulan Yeni Durumlar Kümesi	82
Tablo 4.8: Ağustos 1993 İçin Gözlem Olasılıkları Tahmini	83
Tablo 4.9: Ağustos 1993, Eylül 1993 İçin Gözlem Olasılıkları Tahmini	84
Tablo 4.10: Ağustos 1993, Eylül 1993 İçin Optimal Durum Dizilimi Tahmini	86
Tablo 4.11: Şubat 2008- Ekim 2008 BIST 100 Gözlem Serisi İçin Sembol Atamaları	87
Tablo 4.12: Şubat 2008- Ekim 2008 Dolar Kuru Durum Serisi İçin Sembol Atamaları	87
Tablo 4.13: Şubat 2008- Ekim 2008 Para Arzı Durum Serisi İçin Sembol Atamaları .	88
Tablo 4.14: Şubat 2008- Ekim 2008 TÜFE Durum Serisi İçin Sembol Atamaları	89
Tablo 4.15: Eylül 2008 İçin Gözlem Olasılıkları Tahmini	90
Tablo 4.16: Eylül 2008, Ekim 2008 İçin Gözlem Olasılıkları Tahmini	91
Tablo 4.17: Eylül 2008, Ekim 2008 İçin Optimal Durum Dizilimi Tahmini	92
Tablo 4.18: Şubat 1991-Eylül 1993 ve Şubat 2008-Ekim 2008 Dönemleri İçin Gizli Markov Modeli Uygulamaları Özet Sonuçları	93

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 4.1: BIST 100 Endeksi 1988-2017 Arası Günlük Değerleri	73
Şekil 4.2: BIST 100 Endeksi 1988-2017 Arası Günlük Getirileri.....	74
Şekil 4.3: Otomatik Portmanteau Test Sonuçları	76
Şekil 4.4: Genelleştirilmiş Spektral Test Sonuçları.....	77



KISALTMALAR

AR	Autoregressive
ARCH	Autoregressive Conditional Heteroskedasticity
ARIMA	Autoregressive Integrated Moving Average
BDS	Brock-Dechert-Scheinkman
BIST	Borsa İstanbul
CPI	Consumer Price Index
DJIA	Dow Jones Industrial Average
DJII	Dow Jones Islamic Indices
DJIM	Dow Jones Islamic Market
FIGARCH	Fractionally Integrated Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity
GARCH	Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity
GIVE	Generalized Instrumental Variable Estimation
HMM	Hidden Markov Models
KPSS	Kwiatkowski-Phillips-Schmint-Shin
NYSE	New York Stock Exchange
SPK	Sermaye Piyasası Kurulu
TÜFE	Tüketici Fiyatları Endeksi
US	United States



TEZ METNİ

GİRİŞ

Finansal piyasalar günümüz ekonomik sistemlerinin işleyişinde önemi gittikçe artan bir role sahiptir. Bunun nedeni, finansal piyasaların gerek kamu gerekse özel sektör ölçeğinde fon arz eden ekonomik birimlerden, fon talep eden ekonomik birimlere kaynak transferinin sağlandığı bir platform sunması olarak ifade edilebilir. Bu açıdan kaynak transferinin sağlıklı olması, dolayısıyla ülke ekonomilerinin genel başarıları, finansal piyasalarının etkinliğine büyük ölçüde bağlı olmaktadır. Etkinlik açısından piyasalar, borç veren ve alanlar arası fon transferinin maliyetsiz olmasıyla yönetsel, kaynakların en iyi dağıtımıyla dağıtımsal ve piyasadaki fiyatların mevcut tüm bilgiyi yansıtmasıyla bilgisel etkinlik olmak üzere üç farklı başlık altında değerlendirilmektedir. Ancak literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, piyasa etkinliği kavramının bilgisel etkinlik anlamına geldiği söylenebilmektedir. Zira Malkiel ve Fama (1970)'ya göre etkin piyasa teorisi, herhangi bir zamanda fiyatların piyasadaki mevcut bilgiyi tamamen yansıtmayı yansıtmaması ile ilgilenmektedir.

Küreselleşme ile ülkelerin finansal piyasaları uluslararası hale gelmiştir. Bu durum, dünya üzerindeki piyasaların karşılıklı etkileşimlerini artırarak bütünleşmelerini de kolaylaştırmıştır. Diğer taraftan teknolojik gelişmelerle birlikte her alanda bilgi paylaşımı da hızlanmıştır. Dolayısıyla artan ve hızla paylaşılan bilgi, küreselleşen finansal piyasaların etkinliği üzerinde oldukça önemli bir faktör haline gelmiş ve bu durum, literatürde sıklıkla incelenmiştir. Bu nedenle, etkin piyasa hipotezi, Fama (1965) tarafından ortaya atıldığından bu yana ilgili literatürde çok sayıda çalışmaya konu olmuş ve halen olmaya da devam etmektedir. Hipoteze göre bir piyasa etkin olduğunda, finansal varlıklar tüm bilgiyi içerdiği için yatırımcıların normalden daha fazla bir getiri elde etmesi mümkün olmamakta, çünkü fiyat değişimleri piyasaya gelen yeni bilgiyle birlikte rassal bir şekilde hareket etmekte ve bu nedenle bağımsız olmaktadır. Dolayısıyla piyasadaki elde edilecek getirilerin tahmin edilemez bir özellik taşıyacağı da ifade edilebilmektedir. Ancak öne sürüldüğü tarihten bu yana geçen süre içerisinde çeşitli istatistiksel testlerle oldukça detaylı bir şekilde incelenen etkin piyasa hipotezinin ele alınan herhangi bir finansal piyasa için geçerliliği konusunda halen tam olarak bir fikir birliği bulunmamaktadır.

Piyasa etkinliği konusunda zamanla değişen yaklaşımlar içerisinde Lo (2004), ne sürdüğü adaptif piyasa hipotezi ile finansal piyasaların etkinliğine koşullar ve yatırımcıların etkileşimleri çerçevesinden yaklaşmıştır. Hipoteze göre ne rasyonel ne de irrasyonel olarak tanımlanabilecek olan insan davranışları, doğa gibi evrimsel koşulların hüküm sürdüğü finansal piyasalarda da rekabete uyum gösterenin devamlılığına göre şekillenecek ve bir anlamda doğal seçilimle en uyumlu olanın ayakta kalmasıyla sonuçlanacaktır. Benzer şekilde piyasada kar fırsatlarının yatırımcılar tarafından değerlendirilmesi, bazı yatırımcıların piyasadaki varlıklarına son verecek ve bu durum, yeni fırsatların ortaya çıkmasına neden olacaktır. Dolayısıyla piyasa, fırsatların olmadığı dönemlerde etkinlik yönünde özellik gösterirken, fırsatlar söz konusu olduğuunda etkin olmayan bir yapıda yatırımcıların karşısına çıkacaktır.

Finansal literatürde özellikle son yıllarda etkin piyasa hipotezine karşı önemli bir alternatif yaklaşım haline gelen adaptif piyasa hipotezi, piyasa getirilerinin zaman içindeki bağımlılık (etkin olmama) ve bağımsızlık (etkin olma) arasında dalgalanması, bir diğer tabirle getiri tahmin edilebilirliği çerçevesinde test edilebilmektedir. Bu doğrultuda bir finansal piyasada getiriler, en az üç farklı bağımlılık-bağımsızlık sürecinden geçtiği takdirde, söz konusu piyasa, adaptif piyasa olarak nitelendirilmektedir.

Bu çalışmada öncelikle adaptif piyasa hipotezinin Borsa İstanbul Hisse Senedi Piyasası için geçerliliğinin test edilmesi amaçlanmış olup, sonrasında elde edilen bilgiler ışığında ve incelenen dönem dâhilinde getiri tahmin edilebilirliğinin söz konusu olduğu zaman aralıkları için gizli Markov modellerinin kullanılabilirliği incelenmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde genel olarak piyasa kavramına ve türlerine değinildikten sonra, hisse senedi tanımı, türleri ve özelliklerine yer verilecek olup hisse senedi piyasalarına ilişkin genel bir tanımlamadan sonra Borsa İstanbul ve içeriğinde yer alan pazarlar ile kullanılan endekslere değinilmiştir. Bölümün devamında hisse senedi seçiminde kullanılan karar verme yöntemlerinden söz edilmiştir. Daha sonra etkin piyasa hipotezi ve adaptif piyasa hipotezine ilişkin detaylı açıklamalar, ilgili literatür taramaları ile birlikte verilmektedir.

İkinci blmde gizli Markov modellerinin öncülü olması nedeniyle genel olarak stokastik süreçler ve özelinde daha detaylı olarak Markov zincirlerine ilişkin açıklamalara yer verilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde detaylı olarak gizli Markov modellerine değinilmiş olup, model içeriğindeki temel problemler ve çözüm algoritmalarından bahsedilmiştir. Devamında ise farklı yapılarıdaki gizli Markov modellerine ilişkin genel bilgiler verilmektedir.

Uygulamanın yer aldığı dördüncü bölümde ilk olarak Borsa İstanbul Hisse Senedi Piyasası'nın adaptif piyasa hipotezine uygun özellik gösterip göstermediği, piyasanın temel göstergesi olarak kabul edilen BIST 100 endeksi kapanış verileri kullanılarak otomatik portmanteau ve genelleştirilmiş spektral testleri kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca söz konusu testlerden elde edilen sonuçlara göre getiri tahmin edilebilirliğinin olduğu zaman aralıkları da tespit edilmiştir. Uygulamanın devamında getiri tahmin edilebilirliğinin olduğu zaman aralıkları için, literatürde sıklıkla kullanılan bazı makroekonomik değişkenlerle kurulan bir gizli Markov modeli aracılığıyla tahminler yapılmaktadır. Buna göre, gizli Markov modellerine ilişkin birinci ve ikinci problemlerinin kullanıldığı bu bölümde, öncelikle gözlem serisi olarak belirlenen BIST 100 endeksine ilişkin tahminler elde edilmiş, ikinci problemin çözümü ile birlikte ise gözlemleri üreten durumlar olarak belirlenen makroekonomik değişkenlerin izleyeceği seyir incelenmiştir.



BİRİNCİ BÖLÜM

HİSSE SENEDİ PİYASASI, ETKİN VE ADAPTİF PİYASA HİPOTEZLERİ

1.1. GİRİŞ

Piyasa kavramı, genel bir tabirle alım ve satıma konu olan yer olarak tanımlanmaktadır (Rodoplu, 1996: 63). Piyasalar, alım-satıma konu olan değerlerin niteliğine göre; *reel piyasalar* ve *finansal piyasalar* olarak ikiye ayrılmaktadır (Sarıkamış, vd., 2004: 3).

Finansal piyasalar, genel bir tanımlama ile fon fazlasına sahip olan kişi ya da kurumlardan, fon ihtiyacı olanlara aktarımın yapıldığı platformdur (Mishkin, 2007: 23; Zortuk ve Çelik, 2014: 52). Bir diğer tabirle finansal piyasalar, kıymetli evrak niteliğindeki mali varlıkların alınıp satıldığı piyasalar olarak da tanımlanmaktadır (Sermaye Piyasası Lisanslama Sicil ve Eğitim Kuruluşu, 2017: 1).

İşlevsel açıdan bakıldığında, finansal piyasaların fiyat oluşumu ve varlık değerlendirme için gereken platformu oluşturmak, sermaye temini ve ticari işlemlerin yapılmasını sağlamak ve son olarak muhtemel risklerle ilgili yatırımcılara bir koruma sunmak gibi fonksiyonlarının olduğu söylenmektedir (Bailey, 2005:34; Levinson, 2007: 18-19). Bu doğrultuda finansal piyasaların, fon aktarımı yoluyla ekonominin bütününde üretimin artışına katkı yaparak sermayenin etkin dağılımı için kritik bir önem taşıdığı ifade edilebilir (Mishkin, 2007: 25).

Finansal piyasalar, genel olarak fon arz edenler (tasarruf sahipleri), fon talep edenler (girişimci ve yatırımcılar), finansal araçlar, yatırım ve finansman araçları (menkul kıymetler) ve hukuki ve idari düzen unsurlarından oluşmaktadır (Özerol, 2007: 16-17). Finansal piyasalar farklı şekillerde sınıflandırılabilmeyle birlikte, fon arz ve talep süresine göre finansal piyasaların, *para piyasası* ve *sermaye piyasası* olmak üzere ikiye ayrıldığı söylenebilir (Sermaye Piyasası Lisanslama Sicil ve Eğitim Kuruluşu, 2017: 1).

Para piyasaları, vadesi bir yıl veya daha kısa olan borçlanma araçlarının alınıp satıldığı piyasalar olarak tanımlanır (Levinson, 2007:70). Temel olarak para piyasası araçları hazine bonoları, mevduat sertifikaları, finansman bonoları, repo, çek ve senetlerdir (Yalta, 2011: 52). Para piyasasında işlem gören borçlanma araçları, anonim şirketler ve bankalar tarafından ellerinde atıl kalan fon fazlalarından faiz kazanmak için aktif bir şekilde kullanıldığı için sermaye piyasaları araçlarına göre daha likit ve güvenilir olarak nitelenebilir (Mishkin, 2007: 27).

Sermaye piyasaları ise kısa süreli borçlanma araçlarının uzun süreli borçlanma araçlarına ve bunların da yatırımlara dönüştüğü piyasalar olarak tanımlanmaktadır (Rodoplu, 1996: 65). Genel olarak sermaye piyasası araçları; hisse senetleri, özel sektör tahvilleri, kar ve zarar ortaklığı belgeleri, Euro tahvil (eurobond), gayrimenkul sertifikaları, yatırım fonu katılım payları olarak ifade edilmektedir (Sermaye Piyasası Lisanslama Sicil ve Eğitim Kurulu, 2017: 2). Sermaye piyasalarında fon açığı olan birimler, ihraç ettikleri hisse senedi gibi araçlarla fon ihtiyaçlarını karşılamakta, bu araçları satın alan birimler ise karşılık olarak kar payı ve faiz şeklinde gelir elde etmektedirler (Kaya, t.y.: 2).

Sermaye piyasaları kendi içinde, *birincil* ve *ikincil piyasalar* olarak bölümlendirilir (Rodoplu, 1996: 66). Buna göre birincil piyasalar, borçlanma araçlarını ilk kez ihraç eden ile alıcının doğrudan karşılaştığı piyasalar olarak tanımlanmakta olup, söz konusu satışlar genellikle kapalı kapılar arkasında olmaktadır (Mishkin, 2007: 26). Özellikle Amerika Birleşik Devletleri gibi ülkelerde ise birincil piyasa işlemlerinin büyük bir çoğunluğu yatırım bankaları aracılığıyla düzenlenmekte ve söz konusu kurumların fon arz ve talep edenler arasında aracı görevi görerek yatırımcıları piyasanın yaratacağı risk ve maliyetlerden koruduğu söylenmektedir (Parasız, 2007: 20).

İkincil piyasalar ise borçlanma araçlarının elde tutulmak yerine başka yatırımcılara satıldığı piyasalardır (Özerol, 2007: 20-21). İkincil piyasalar, menkul kıymetlerin likiditesini artırarak birincil piyasaya talep yaratmakta ve böylece piyasanın gelişmesini sağlamaktadır (Yalta, 2011:54). Ayrıca ikincil piyasaların birincil piyasada satılan hisse senedi veya tahvillerin fiyatını kendi içindeki değerine göre belirleme işlevi bulunmakta olup, bu sayede yatırımcıların birincil piyasalarda söz konusu hisse senedi veya tahvillere değerinden daha çok ödeme yapmasını engellemektedir (Mishkin, 2007:27). Dolayısıyla ikincil piyasalar alıcı ve satıcılara likiditenin yanında, fiyatlar ve yatırımların değeri ile ilgili bilgi sağlamaktadır (Parasız, 2007: 21). Birincil piyasalara örnek olarak şirketlerin hisse senedi halka arzı ve özel plasman verilebilirken; menkul kıymet borsaları, döviz, vadeli işlem, opsiyon ve futures piyasaları da ikincil piyasalar olarak nitelendirilebilmektedir (Kaya, t.y.: 3). New York Borsası, New York NASDAQ, Londra Borsası, Tokyo Borsası, Borsa İstanbul (BIST) gibi borsalar ikincil piyasalar için verilebilecek örneklerdir (Parasız, 2009: 79).

İkincil piyasalar işleyiş kurallarına göre kendi içinde *organize olmayan* ve *organize piyasalar* olarak ikiye ayrılmaktadır (Özerol, 2007: 22). Buna göre organize olmayan piyasalar, belirli bir fiziksel mekânın ve kuralların olmadığı, serbest döviz piyasası, serbest altın piyasası gibi tezgâh üstü piyasalar olarak tanımlanmaktadır (Yalta, 2011: 57). Organize piyasalarda ise işlemler belirli bir fiziksel mekânda ve kurallar çerçevesinde gerçekleştirilmekte olup, bu piyasada bir güvence çerçevesinde doğru, hızlı ve sürekli bilgi aktarımı ve şeffaf fiyatlandırma söz konusudur (Aslan ve Terzi, 2013: 20-21). Organize piyasalara örnek olarak hisse senedi ve emtia alım-satım işlemlerinin yapıldığı borsalar gösterilebilir. Çalışmanın kapsamının organize piyasalar içerisinde yer alan hisse senedi piyasasını içermesi nedeniyle ilgili açıklamalar aşağıda verilmektedir.

1.2. HİSSE SENETLERİ VE HİSSE SENEDİ PİYASASI

Genel bir tanımlamayla hisse senedi, ticari bir işletmenin mülkiyetinin bir kısmını temsil eden katılım payları olarak tanımlanmaktadır (Levinson, 2007: 203). Hisse senetleri çoğunlukla devredilebilir bir yapıya sahip olup, ellerinde hisse senedi bulunduranların sorumluluğu, mülkün bölünmüş payı ile sınırlı olmakta ve genel olarak beklenti, söz konusu pay değerinin en yüksek değeri bulmasıdır (Ünsal, vd., 2009: 23; Itoh ve Lapavitsas, 2012:115). Böylece sahipleri açısından fonların servet birikimi için kullanılmasını sağlayan hisse senetleri, firmalar için ise sermaye oluşturmak için başvurulacak birinci yol olarak ifade edilmektedir (Mishkin, 2007: 151; Parasız, 2007: 19).

Hisse senetlerinin yatırımcıyı yalnızca firmaya ortak yapmamakta, bunun yanında yönetime katılma (oy), kar payı ve avansı alma, rüçhan (yeni pay) alma, bedelsiz pay alma, tasfiyeden pay alma ve bilgi edinme gibi hakları da sağlamaktadır (Sermaye Piyasası Kurulu, 2016:2).

Hisse senetlerinin özellikleri ise aşağıdaki gibidir (Aslan ve Terzi, 2013:12):

- Finansmanın hisse senedi ile sağlanması firmaya mali yük getirmemekte ancak ihraç sürecinde kurumlar vergisi yükünü artırmaktadır,
- Hisse senetlerinin faiz ödeme yükümlülüğü bulunmamaktadır,
- Hisse senetlerinin belirli bir vade sınırı bulunmamaktadır,
- Hisse senetlerinin enflasyona karşı koruyucu etkisi bulunmaktadır,
- Yatırımcılar açısından riski örnek olarak tahvillere göre daha yüksektir.

Hisse senedi türleri ise altı farklı başlık altında incelenebilir (Levinson, 2007: 208-209; Conaghan ve Smith, 2014:124; Sermaye Piyasası Kurulu, 2016:2): *Adi hisse senetleri*, yatırımcıyı şirkete ortak yapmakla birlikte, hisse yönetimine ve yöneticilerin ödemelerine ilişkin toplantılarda oy hakkı veren hisse senedi türüdür. Diğer taraftan bazı firmalar, farklı adi hisse senedi grupları çıkararak bir gruba diğerinden daha fazla oy ve/veya temettü hakkı sağlamaktadır. *Nama yazılı hisse senetleri*, isme yazılı olarak çıkarılan hisse senetleridir. Üzerinde yazılan değerden ihraç edilen hisse senetleri *primsiz*, daha yüksek değerden ihraç edilenler ise *primli hisse senetleri* olarak adlandırılmaktadır. Nakit sermaye artırımını ile ihraç edilen hisse senetleri *bedelli*, iç kaynaklarla sermaye artırımını yolu ile ihraç edilen hisse senetleri ise *bedelsiz hisse senetleri* olarak adlandırılmaktadır. *Konvertibl imtiyazlı hisse senetleri*, önceden belirlenmiş bir zaman dilimi içerisinde veya belirli bir fiyattan adi hisse senetlerine dönüştürülebilen hisse senetleridir. *Varantlar*, elinde bulunduran yatırımcıya bir firmanın adi hisse senetlerini gelecek belirli bir zamanda önceden belirlenen bir fiyattan alma olanağı veren senetlerdir.

Gelir açısından bakıldığında piyasada işlem gören ortaklıklara ait hisse senetlerine sahip yatırımcılar, söz konusu ortaklıkların yılsonu karlarından dağıtılan kar payı gelirinin yanı sıra, hisse senetlerinin zaman içinde değerlerinin artması ile sermaye kazancı elde etmektedirler (Sermaye Piyasası Kurulu, 2016:3).

Hisse senetlerinin üç fiyatı bulunmaktadır: Buna göre *nominal fiyat*, hisse senedinin üzerinde yazan fiyatı; *ihraç fiyatı*, hisse senetlerinin firma tarafından çıkarıldığı aşamadaki satış fiyatı; *piyasa fiyatı* ise piyasadaki arz ve talebe göre borsada oluşan fiyatı ifade etmektedir (Aslan ve Terzi, 2013:13).

Hisse senetlerinin fiyatı, piyasada yatırım kararı sürecine etki eden en önemli faktör olarak nitelendirilmektedir (Albeni ve Demir, 2005:2). Bir hisse senedinin fiyatı, özel olarak ait olduğu firmanın nakit akımları, aktif değeri, temettüleri, kazançları vb. değişkenlere bağlı olmakla birlikte, genel anlamda piyasaların bulundukları ülkelerde meydana gelen gelişmelerden de etkilenmektedir (Levinson, 2007:218). Özellikle küreselleşme ve teknolojik gelişmelerle birlikte ülkeler arası etkileşimler artmıştır (Erdoğan, vd., 2005: 391; Koç, 2014:141). Bu durum, piyasaların büyümesini, yeni yatırım fırsatlarının ortaya çıkmasını sağlayarak uluslararası düzeyde alışveriş ve etkileşimlerin küresel ekonominin önemli bir parçası haline gelmesine sebep olmuştur

(Bayrak Gezdim ve Zortuk, 2017: 63). Diğer taraftan riskler de çeşitlenerek yaygın hale gelmiş, böylece piyasaların ve dolayısıyla hisse senedi fiyatlarının söz konusu ülkelerde meydana gelen gelişmelerden daha kolay etkilenmeleri söz konusu olmuştur (Vuran, 2010:155).

Hisse senetlerinin ticareti, organize ve organize olmayan piyasalarda yapılmakta olup; organize piyasalara en iyi örnek olarak borsalar gösterilebilmektedir (Yalta, 2011:55). Borsalar, söz konusu ticaret için kurallı ve kontrollü bir zemin sunmakta ve genel olarak işlevleri, piyasaya likidite sağlamak, mülkiyeti taban yaymak, halkın tasarruflarının firmalara sermaye olarak girmesini sağlamak, firmalar için bankalardan alınan riskli krediler yerine, daha düşük riskli ve uzun vadeli kaynak sağlamak ve kaynakları yatırımlara dönüştürerek ülke ekonomisine katkıda bulunmaktır (Kar ve Ağır, 2006:16; Levinson, 2007:234; Yalta, 2011:55). Dolayısıyla borsaların, bir yandan sermaye arayışındaki firmaların kendilerini değerlendirmeleri için bir fiyatlama mekanizması sunarken, diğer taraftan bulundukları ülkenin ekonomik işlerliği açısından da önemli bir kaynak olarak kabul edildikleri söylenebilir (Geisst, 1982: 6).

Ülkemizde borsaya ilişkin faaliyetlerin başlangıcı, 19. yüzyılın sonlarına dayanmakla birlikte Borsa İstanbul'un kökeni, 1983 yılında yürürlüğe giren yönetmelik ile birlikte 1985 yılında faaliyete başlayan İstanbul Menkul Kıymetler Borsası'na dayanmakta olup bugünkü adını, 30 Aralık 2012'de yürürlüğe giren Sermaye Piyasası Kanunu ile edinmiştir (Alkan, 2016: 350-351).

Borsa İstanbul dahilinde hisse (pay) senedi, borçlanma araçları, vadeli işlem-opşiyon, kıymetli maden-taşlar şeklinde farklı piyasalar yer almaktadır. Bu çalışma içeriği uyarınca önem taşıyan Borsa İstanbul Hisse Senedi Piyasası'nda işlemler, farklı pazarlarda işlem görmektedir. Buna göre Borsa İstanbul içeriğinde yer alan pazarlar: 100 milyon Türk Lirası (TL) ve üzerinde halka açık piyasa değeri olan firmaların işlem gördüğü *yıldız pazar*; 25 ile 100 milyon TL arası halka açık piyasa değeri olan firmaların işlem gördüğü *ana pazar*; 25 milyon TL altında halka açık piyasa değerli ve büyüme-gelişme potansiyeli görülen firmaların işlem görebileceği *gelişen işletmeler pazarı*; gayri menkul, menkul kıymet, girişim sermayesi yatırım ortaklıklarına ait hisse senetleri gibi ürünlerin işlem gördüğü *kolektif yatırım ürünleri ve yapılandırılmış ürünler pazarı*; yukarıda verilen dört pazardan çıkarılan firmalara ait hisse senetlerinin işlem gördüğü

yakın izleme pazarı; yalnızca nitelikli yatırımcılara hisse senedi arz eden, halka arz etmeyen firmaların nitelikli yatırımcılar arasında hisse senetlerinin işlem gördüğü *nitelikli yatırımcı izleme pazarı* ve BIST'te işlem görmeyen ancak halka açık olan firmaların hisse senetlerinin Sermaye Piyasası Kurulu (SPK) tarafından verilen onayla işlem gördüğü *piyasa öncesi işlem platformu* olarak adlandırılmaktadır (Arasan, vd., 2016:83).

Borsalarda işlem gören hisse senetlerinin fiyatlarına ilişkin genel gidişatın takibi, hisse senedi piyasası endeksleri ile yapılmaktadır. Buna göre endeks değeri, içeriğinde yer alan hisse senetlerinin fiyatlarının belirli bir yöntemle hesaplanan ortalaması olarak tanımlanmaktadır (Yalta, 2011:57). Hisse senedi fiyat endekslerinin işlevleri genel olarak; hisse senetlerinin ve piyasanın belirli bir zaman dilimindeki performanslarının karşılaştırılmasına imkan sağlamak, piyasanın ve genel olarak ekonomik göstergelerin değerlendirilebilmeleri için bir çıkış noktası teşkil etmek ve endekse dayalı yatırım araçlarının (opsiyon, future vb.) geliştirilmesini sağlamak şeklinde ifade edilmektedir (Aslanoğlu, 2008:194).

Bir diğer tabirle, bir borsanın ekonomide barometre görevini yapabilmesi, borsada oluşan fiyat hareketlerinin yönünün toplu bir şekilde izlenmesine bağlı olmakta ve bu görevi de piyasa endeksleri yerine getirmektedir (Dağlı, 2000:190). Dolayısıyla hisse senedi piyasası endeks değeri, bir fiyat göstergesi olmanın yanında, hisse senedi fiyatlarının ulusal ve uluslararası düzeyde yaşanan politik, ekonomik, sosyal olaylardan etkilenen yapısı nedeniyle ilgili olduğu borsa ve dolayısıyla ülkenin genel performansına dair önemli bir değerlendirme faktörü olarak da nitelendirilmektedir (Conaghan ve Smith, 2014:88; Uzun ve Güngör, 2017:3).

Endeksler hesaplama yöntemlerine göre farklılık göstermektedir. Buna göre, endekste yer alan hisse senetleri fiyatlarının aritmetik ortalamasına dayanan *fiyat ağırlıklı endeksler*; hisse senetlerinin başlangıç toplam piyasa değerlerinden elde edilen *değer ağırlıklı endeksler* ve hisse senetlerinin piyasa değerlerinden ya da fiyatlarından bağımsız olan *eşit ağırlıklı (ağırlıklandırılmamış) endeksler* olmak üzere üç farklı hesaplama söz konusudur (Reilly ve Brown, 2012: 126-129).

Borsa İstanbul Hisse Senedi Piyasası içeriğinde de farklı endeksler hesaplanmakta olup, söz konusu endekslerden *BIST 100 endeksi*, yıldız pazar, ana pazar ve kolektif yatırım ürünleri ve yapılandırılmış ürünler pazarında işlem gören ve bunlar

arasından seçilen 100 hisse senedinden oluşmakta; *BIST 50 endeksi*, BIST 100’de söz konusu olan pazarlardan seçilen 50 hisse senedini kapsamakta ve *BIST 30 endeksi*, BIST 100’de söz konusu olan pazarlardan seçilen 30 hisse senedinden oluşmaktadır (Erdoğan, 2017:559).

Bunların dışında Borsa İstanbul Hisse Senedi Piyasası’nda *BIST 100-30*, *BIST Kurumsal Yönetim*, *BIST Tüm*, *BIST Tüm-100* gibi endeksler de hesaplanmaktadır (Gürsoy ve Eroğlu, 2016:18). Söz konusu endeksler içerisinde BIST 100 endeksi, Borsa İstanbul Hisse Senedi Piyasası için temel endeks olarak kullanılmaktadır (Erdoğan, 2017:559).

1.3. HİSSE SENEDİ SEÇİMİNDE KULLANILAN KARAR VERME YÖNTEMLERİ

Bu bölümde, literatürde hisse senedi seçimi için kullanılan karar verme yöntemlerinden temel analiz ve teknik analiz yöntemlerine değinilmektedir.

1.3.1. Temel Analiz

Belirli bir hisse senedinin yatırıma uygun olup olmadığının belirlenmesi, hisse senedi seçiminde önemli bir başlangıç noktasını teşkil etmektedir. Buna göre, hisse senedinin ait olduğu firmaya ilişkin hisse başı kazanç miktarı, gelir beyanı, bilanço gibi halka açık bilgilerin yanı sıra; firmanın faaliyette bulunduğu ülkeye ilişkin kültürel ve politik gidişat, ticari aktiviteler ve daha genel bir tabirle ülke ekonomisinin genel yöneliminin değerlendirilmesi, söz konusu karar aşamasında büyük önem taşımaktadır (Wyss, 2001:131).

İlk olarak 1934 yılında Benjamin Graham ve David Dodd tarafından yapılmış bir çalışma ile adını duyuran temel analiz yöntemi, bir hisse senedinin içsel değerinin tespitinin finansal beyanlara dayanarak yapılması ve söz konusu değeri hali hazırda piyasa değerinden çok daha yüksek olan hisse senedinin güvenli bir yatırım aracı olarak nitelendirilmesi temelinde açıklanmaktadır (Grimm, 2012: 228-229).

Dolayısıyla temel analizde hisse senedi seçimine daha çok firma perspektifinden bakılarak, finansal beyanlar ve genel ekonomik durumun değerlendirilmesiyle gelecekte sağlam nakit akışı sağlayacak firmaların tespit edilmesinin amaçlanmaktadır (Fabozzi ve

Drake, 2009:664). Temel analiz, genel ekonomi analizi, sektör analizi ve firma analizi aşamaları izlenerek yapılmaktadır (Özerol, 2007:78).

1.3.2. Teknik Analiz

Hisse senedi seçiminde kullanılan yöntemlerden bir diğeri olan teknik analizde, geçmiş hisse senedi fiyatları incelenerek düzenli döngü ve trend gibi örüntüler aranmakta ve verilecek kararların zamanlaması, söz konusu özelliklere uygun olarak planlanmaktadır (Mishkin, 2007:164). Temel analiz, fiyat hareketlerinin bir döngü izleyeceği ve buna göre geçmişte oluşan şablonların yeniden ortaya çıkacağı varsayımına dayanarak gelecekle ilgili bir referans noktası oluşturmaktadır (Münyas, 2016:480).

Bu noktada teknik analizin firma durumunu göz ardı ederek, tek başına ya da grup halinde hisse senetlerinin fiyatları ve ticaretlerinin yoğunluğuna odaklandığı ve bu doğrultuda hisse senedi seçimini piyasa arz ve talebine göre değerlendirdiği söylenmektedir (Fabozzi ve Drake, 2009:630). Dolayısıyla, karar verme sürecinde söz konusu hisse senedinin grafik ve tablo gösterimlerinden yola çıkılarak fiyat hareketleri ve çizelge örüntülerinin geçmiş üzerinde durulmakta ve böylece geleceğe yönelik kararlar alınmaktadır (Wyss, 2001:133). Ayrıca teknik analizin hisse senedi fiyat hareketlerine ilişkin değerlendirmeyi, devinme göstergeleri veya hareketli ortalamalar gibi belirli kantitatif özet değerlerden yola çıkarak yaptığı da ifade edilmektedir (Taylor ve Allen, 1992:304).

Teknik analiz perspektifinden bakan bir yatırımcı için piyasaya gelen yeni bir bilgi hemen herkese açık olmamakta, yatırımcılara ancak önceden bilgilendirilen profesyonel kişilerce yayılmakta ve böylece süreç belirli bir zaman aldığı için hisse senedi fiyatları aşamalı olarak yeni bir denge noktasına doğru yönelmekte, bu durum da fiyat hareketlerine ilişkin bir trendin oluşmasına neden olmaktadır (Reilly ve Brown, 2012: 171-172).

Teknik analiz ve temel analiz yöntemlerinin karşılaştırması yapılacak olursa, her iki yöntemin farklılıkları aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Wyss, 2001:133; Münyas, 2016:480):

- Temel analiz hisse senedi piyasasında yer alan hisse senetleri arasından seçime odaklanmakta iken, teknik analiz bir hisse senedinin alım-satım zamanı ile ilgilenmektedir,
- Temel analizde ancak hisse senedinin ait olduğu firmanın temel yapısında bir değişiklik olduğunda alım-satım kararları verilirken, teknik analiz elde edilecek getirilere fiyat hareketlerinin artış veya azalış örüntülerini tahmin ederek odaklanmakta ve buna göre karar verme sürecini yönetmektedir,
- Temel analizde makro ölçekte ekonomik koşullar ve firmaya ilişkin temel göstergeler önem taşımakta iken, teknik analiz söz konusu yapı ve koşulları dikkate almamaktadır.

Hisse senedi fiyatlarında tekrar eden ve öngörülebilir örüntülerin arandığı teknik analiz yönteminin geçmişi 17. Yüzyılda Japon pirinç tüccarlarına kadar uzanmaktadır (Fabozzi ve Drake, 2009: 630). Daha sonrasında özellikle 20. yüzyıldan itibaren görülen teknolojik gelişmelerle birlikte karmaşık matematiksel hesaplamaların ve çizelgelerin bilgisayarlar vasıtasıyla yapılabilmesi, hisse senedi analizlerinde geleneksel fiyat ve miktar verileri ile birlikte temel ekonomik verilerin de dahil olduğu yeni göstergelerin elde edilmesini sağlayarak teknik analiz yönteminde günümüzde de devam eden gelişmelerin ortaya çıkmasına neden olmuştur (Wong, vd., 2003:543).

1.4. ETKİN PİYASA HİPOTEZİ

Etkin piyasa hipotezi çıkış noktasını, 1965 yılında Eugene F. Fama tarafından yazılan makaleden almaktadır. Bu yıldan önceki finansal literatür, her ne kadar hisse senedi fiyatlarının zaman içinde istatistiksel olarak bağımsız olduğuna dair bir yapı oluşturmaya çalışmış olsa da bu varsayımı bir hipotez bağlamında temele oturtan Fama, teknik analiz olarak bilinen çizelgeci bakış açısının her zaman tutarlı bir şekilde kar getiren stratejiler üretemeyeceğini savunmuştur (Read, 2013:102).

Fama (1965)'ya göre, çizelgelerden yola çıkılarak yapılan analizlerde, hisse senedi fiyatlarına dair bir örüntünün anlaşılması halinde bunun geleceğe yönelik tahminler için bir çıkış noktası olabileceği varsayılmaktadır. Ancak hisse senedi fiyatlarına *rassal yürüyüş hipotezi* perspektifinden bakıldığında, birbirini izleyen fiyat

değişimlerinin istatistiksel olarak bağımsız ve özdeş bir dağılım gösteren rassal değişkenler olduğu ifade edilmektedir.

Finansal veriler açısından rassal yürüyüş hipotezi, x_t finansal fiyat serisini ifade etmek üzere;

$$x_t - x_{t-1} = \varepsilon_t \quad (1.1)$$

ile gösterilmekte olup; hipotezde söz konusu serinin birinci farkının rassal olacağı, bir diğer ifadeyle söz konusu serinin, her seferinde bir önceki değerinden başlayan ve birbirleriyle bağlantılı olmayan adımlardan oluşacağı belirtilmektedir (Granger ve Morgenstern, 1963: 2-3).

Finansal açıdan rassal yürüyüş hipotezi ilk başlarda hisse senedi hareketlerinin rassal olmasının, temel analiz içeriğinden yoksun olduğu ve dolayısıyla ekonomik bir gösterge olamayacağı şeklinde yanlış yorumlanmış, ancak daha sonra Samuelson (1965) ve Mandelbrot (1966) tarafından yapılan çalışmalarla söz konusu rassallığın ve dolayısıyla hisse senedi fiyatlarındaki tahmin edilemezliğin ancak iyi bir biçimde işleyen piyasalarda söz konusu olabileceği belirtilmiştir. Buradaki temel çıkış noktası, hisse senedi yatırımlarının bir *adil oyun* olması ve şu anki hisse senedi fiyatının, piyasadaki tüm bilgilere sahip olan yatırımcıların beklentilerini yansıtmaması olarak açıklanmaktadır (Jones ve Netter, 2008:2).

Piyasadaki beklentilerin, tüm bilginin kullanılarak yapıldığı optimal tahminlerle aynı olması ise kaynağını John F. Muth tarafından ileri sürülen *rasyonel beklentiler hipotezinden* almaktadır (Mishkin, 2007:157). Hipotezin öne sürdüğü varsayımlar, bilginin kısıtlı olduğu ve ekonomik sistemin genel olarak söz konusu bilgiyi kullandığı; beklentilerin oluşmasının, ekonomik sistemin yapısıyla ilgili olduğu ve piyasaya ilişkin genel kamusal tahminlerin ekonomik sistemin işleyişi üzerinde bir etkisinin olmadığı şeklinde açıklanmaktadır (Muth, 1961:316).

Hipotez doğrultusunda rasyonel seçim, yatırım kararlarının rasyonaliteye ve mevcut bilgiye dayanarak yapıldığı, beklentilerin yeni bilgilerle güncellendiği bir karar süreci olarak ifade edilmektedir (Aydın ve Ağan, 2017:18). Dolayısıyla bu durum, piyasanın iyi işlediği ve rassal değişkenlerin dağılımına ilişkin yatırımcı beklentilerinin kendi kendilerini yerine getirdiği, bu sebeple beklentileri değiştirmenin gerekli olmadığı bir denge noktasında bulunulduğu şeklinde yorumlanmaktadır (Bray, 1981:579).

Rassal yürüyüş modeli ve rasyonel beklentiler hipotezini ekonometrik tekniklerle genişleten Malkiel ve Fama (1970) ise, aşağıda belirtilen üç maddenin geçerliliği halinde söz konusu piyasanın iyi bir biçimde işleyebileceğini açıklamıştır:

- Hisse senedi ticaretinde işlem maliyetinin olmaması,
- Mevcut tüm bilginin piyasa katılımcılarına ücretsiz bir şekilde açık olması,
- Yine mevcut tüm özel ve kamusal bilginin hisse senedi fiyatlarıyla birleştirilmiş olması, dolayısıyla tüm bilginin hisse senedi fiyatlarının içeriğinde yer alması.

Yukarıda verilen maddelerin geçerliliği halinde, ekonometrik anlamda beklentiler arası otokorelasyon olmayacak, bu durumda da piyasada bir dengeden söz edilebilecektir (Read, 2013:103). Sonuç olarak böyle bir piyasada bir hisse senedinin fiyatı, mevcut tüm bilgiyi tamamen yansıtacak ve bu tür piyasalar *etkin piyasa* olarak adlandırılacaktır (Malkiel ve Fama, 1970:388). Bu doğrultuda etkin piyasa tanımı, kökenini rasyonel beklentiler hipotezinden almakta ve kimi zaman rasyonel piyasalar teorisi olarak da adlandırılmaktadır (Jones ve Netter, 2008:2). Zira etkin piyasa hipotezi, hisse senedi ve diğer menkul kıymetlerin fiyat hareketlerine bir anlamda rasyonel beklentiler hipotezi perspektifinden yaklaşma anlamına gelmektedir (Mishkin, 2007:160).

Etkin piyasa kavramının yanı sıra Malkiel ve Fama, 1970 yılında yayınladıkları çalışmalarında piyasa etkinlikleri arasında ayırım yaparak piyasaları *güçlü*, *yarı-güçlü* ve *zayıf* formda etkin piyasalar olarak tanımlamışlardır (Tıtan, 2015:443).

1.4.1. Güçlü Formda Etkinlik

Genel bir ifadeyle güçlü formda etkin bir piyasada hisse senedi fiyatları, kamusal ve piyasa içi tüm bilgileri yansıtmaktadır (Schmidt, 2011:67). Dolayısıyla bu tür etkinliğin söz konusu olduğu bir piyasada yatırımcıların diğer yatırımcılara göre daha başarılı sonuçlar elde etmesi, bilgi paylaşımında ayrıcalığa sahip olsalar dahi mümkün olmamaktadır; çünkü gizli olanlar da dâhil olmak üzere tüm bilginin yatırımcılara tamamen açık olma ve yayılma durumu söz konusudur (Kettell, 2002:301). Bu durum, güçlü etkin piyasalarda bilgiye monopolistik erişim gücüne sahip olunamaması şeklinde de ifade edilebilir (Malkiel ve Fama, 1970:383). Piyasalara ilişkin güçlü formda etkinliğin incelendiği literatürdeki çalışmaların bazıları aşağıda verilmektedir:

Syed vd. (1989), Wall Street gazetesindeki Heard on the Street başlıklı bölümde verilen piyasaya yönelik içeriden bilgilerin elde edilen getirilerle ilişkisini güçlü formda etkinlik perspektifinden incelemişlerdir. Yaptıkları istatistiksel analizler sonucunda, söz konusu gazetede verilen içeriden bilginin, yayınlandığı gündeki hisse senedi fiyatları üzerinde belirgin bir etkisinin olduğunu, bunun da yatırımcıların normalden fazla getiri sağlayabilmelerine ve dolayısıyla piyasanın güçlü formda etkin olmayan bir piyasa olarak yorumlanabilmesine neden olduğunu belirtmişlerdir.

Back ve Pedersen (1998) çalışmalarında, monopolistik nitelik taşıyan ve piyasa içinden kişilerce elde tutulan bilginin piyasaya yavaş bir şekilde yayıldığını ve bu nedenle piyasanın güçlü formda etkin olmayacağını ileri sürmüşlerdir.

Kara ve Denning (1998) Amerikan piyasalarında yürüttükleri ve binomial olasılıkları kullanarak piyasa içinden kişilerin menkul kıymet alım-satım verilerini inceledikleri çalışmalarında, piyasa içinden kişiler lehine karlılığa dair kanıtlara ulaşmışlar, bu nedenle Amerikan piyasalarının güçlü formda etkin olduğuna dair kurulan hipotezin reddedilmesi gerektiği sonucuna varmışlardır.

Chau ve Vayanos (2008), çalışmalarında piyasanın sürekli işleme doğru yaklaştığı durumda monopolistik nitelikte de olsa içeriden gelen bilginin hemen hisse senedi fiyatlarına yansıdığını; piyasa içinden birinin olmadığı durumda ise söz konusu bilginin uzun ve bölünmüş gözlemler sonrasında fiyatlarda karşılığını bulacağını ortaya koymuşlar ve piyasa güçlü formda etkinliğe yönelse dahi piyasa içinden olan kişilerin karının hiçbir zaman sıfıra gitmeyeceğini belirtmişlerdir.

Potocki ve Świst (2012), Varşova Menkul Kıymetler Borsası WIG 20 endeksinde işlem gören firmalarla ilgilenen ve yatırımcılar topluluğunun erişim olmayan bilgilere sahip olduğu varsayılan 63 finansal kurum tarafından yayınlanan 3270 bildirim ile piyasanın bilgisel olarak güçlü formda etkinliği arasındaki etkileşimi inceledikleri ampirik çalışmalarında yaptıkları analizler sonucunda piyasanın güçlü formda etkin bir piyasa olduğu, yayınlanan bildirimlerin normalden fazla getirilere sebep olmadığını ifade etmişlerdir.

1.4.2. Yarı-Güçlü Formda Etkinlik

Yarı-güçlü formda etkin bir piyasada hisse senedi fiyatları, kamuya açık tüm bilgiyi içermektedir (Schmidt, 2011:67). Dolayısıyla yarı-güçlü formda etkin bir piyasada kamu ile paylaşılan hisse bölünmeleri, yıllık raporlar vb. haberlerin fiyatlara yansımaları hemen görüleceği için yatırımcıların normalden fazla kazançlar elde etmeleri mümkün olmayacaktır (Malkiel ve Fama, 1970:388). Ancak burada önemli nokta, kamuya açık olan bilginin nasıl bir içeriğe sahip olduğu noktasıdır -ki yatırımcıların kamuya açık olsa da söz konusu bilgileri toplama gayreti anlamında farklılıkların ortaya çıkması, bu nedenle hangi bilginin kamusal olarak açık olduğunun belirlenmesinin çelişkilere neden olabilmesi mümkün olmakta, bu nedenle etkinlik temelinde yapılacak çıkarsamaların yanlış olma riski söz konusu olmaktadır (Bailey, 2005:71). Ayrıca, yeni bilginin yalnızca geçmiş hisse senedi fiyat hareketleri değil, kamuya açık tüm bilgiyi de içermesi, yarı-güçlü formda etkinliğin, sonraki bölümde açıklanacak zayıf formda etkinliği de içerdiği şeklinde yorumlanmaktadır (Koyuncu ve Aslan, 2017:20).

Literatürde yarı-güçlü formda etkinlikle ilgili yapılmış çalışmaların bazıları aşağıda verilmektedir:

Goss (1983), Londra metal piyasasının kamuya açık tüm bilgiyi yansıtmayı yansıtmadığını, dolayısıyla yarı-güçlü formda etkin bir piyasa olup olmadığını araştırdığı çalışmada, söz konusu bilginin sahip olunan ve ilgili ticari mallara ilişkin tahmin hatalarınca temsil edildiği varsayılarak sıradan en küçük kareler ve genelleştirilmiş araçsal değişken hesaplayıcısı yöntemleriyle bu varsayımları test etmiş, sonuç olarak piyasanın yarı-güçlü formda etkinlik göstermediği sonucuna varmıştır.

Groenewold ve Kang (1993)'in Avustralya hisse senedi piyasasında yarı-güçlü formda etkinliği test ettikleri çalışmalarında, hisse senedi fiyatları, para arzı, reel devlet harcamaları ve fiyat düzeyi değişkenlerine ilişkin gecikmeli değerlerden oluşan modelde bağımsız değişkenlerin açıklayıcı bir özellik göstermedikleri, bu nedenle elde edilen sonuçların yarı-güçlü formda etkinliği destekler nitelikte olduğu ifade edilmiştir.

Ali ve Mustafa (2001), Karachi hisse senedi piyasası için yarı-güçlü formda etkinlik sınaması yaptıkları çalışmalarında iki Pakistan gazetesinden topladıkları 1998-2000 dönemi finansal piyasa haberlerini piyasa hareketlerine etkilerini incelemişlerdir. Piyasa hareketleri olarak hisse senedi getirileri ve normalden fazla hisse senedi ticaret

yoğunluğu alınmış, bilgi niteliğindeki haber verileri ile korelasyon ve regresyon analizine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak bilginin piyasa hareketleri üzerinde etkisinin olmadığı ve piyasanın yarı-güçlü formda etkinlik belirtisi göstermediği ifade edilmiştir.

Alexakis vd. (2010), 1993-2006 tarihleri için muhasebesel verilerin panel veri analizi ile incelendiği ve Atina hisse senedi piyasasını ele aldıkları çalışmalarında, hisse senedi getirilerinin tahmininde seçili finansal oranları kullanmışlar ve söz konusu oranlara dayanarak yaptıkları getiri analizinin normalden fazla getiriye neden olması sebebiyle Atina borsasında yeni bilginin hemen hisse senedi fiyatlarına yansımadağını, bu nedenle piyasanın yarı-güçlü formda etkin olmadığını tespit etmişlerdir.

Ananthi ve Dinesh (2012), Hindistan milli hisse senedi piyasasındaki CNX Nifty Junior endeksinde yer alan 50 firmaya ait hisse senetlerine ait verilerle yürüttükleri çalışmalarında, bir aracı finans şirketindeki bilgi hareketlerinin endeks üzerindeki etkisini istatistiksel yöntemlerle incelemişler ve söz konusu yeni bilgilerin normalden fazla getiriye neden olduğu, bu nedenle bu endeksle temsil edilen piyasa için yarı-güçlü formda etkinliğin söz konusu olmadığını belirlemişlerdir.

Mînjînă ve Reşceanu (2008), Romanya sermaye piyasasında işlem göre firmalara ilişkin şirket satın alma ve devralma bildirimlerine ilişkin olay çalışması yöntemini kullandıkları analizlerinde, bildirimler ile normalden fazla getiri durumu arasındaki ilişkiyi inceleyerek piyasanın yarı-güçlü formda etkinliğini test etmişler, sonuç olarak yeni bilginin yayılımının 24 gün gibi uzun bir zaman aldığı, bu nedenle de piyasanın yarı-güçlü formda etkin olmadığını ifade etmişlerdir.

Mabakeng ve Sheefeni (2014), 1993-2011 yılları arası nominal döviz kuru verilerini kullanarak Namibya döviz piyasası için kointegrasyon ve Granger nedensellik testleriyle piyasanın yarı-güçlü formda etkinliğini inceledikleri çalışmalarında, tarihi verilerin güncel ve gelecek kurları tahmin etmede kullanışlı olmadığını, bu nedenle söz konusu piyasanın yarı-güçlü formda etkinliğinin doğrulanabileceğini belirtmişlerdir.

Manasseh vd. (2016), bilgi yaratan süreç olarak bedelsiz sermaye artırımını bildirimlerinin Nijerya hisse senedi piyasası üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmalarında 2002-2006 döneminde yayınlanan 121 bildirim olay çalışması analizi ile ele almışlar ve bildirimlerin fiyatlara kısmi yansıma yapması nedeniyle piyasanın yarı-güçlü formda etkin olmadığı sonucuna varmışlardır.

1.4.3. Zayıf Formda Etkinlik

Zayıf formda etkinlik, hali hazırdaki hisse senedi fiyatlarının tarihsel fiyat hareketleri, getiri oranları, ticaret yoğunluğu verileri ve piyasa tarafından üretilen diğer tüm bilgileri yansıtmaması olarak tanımlanmaktadır (Reilly ve Brown, 2012:151). Dolayısıyla piyasaya düşen yeni bir bilgi, hisse senedi fiyatlarının aşağı veya yukarı yönde hareket etmesine neden olsa da bir sonraki fiyat, bundan bağımsız şekilde oluşacak ve yatırımcılar, geçmiş fiyat hareketlerinden yola çıkarak yapacakları analizlerle normalden fazla getiri sağlayacak yatırım stratejileri geliştiremeyeceklerdir (Kettell, 2002:300; Akal, vd., 2014:4). Gelecekte oluşacak hisse senedi fiyat değişimlerinin öngörülemez olması, rassal yürüyüş hipotezi ile zayıf formda etkinliğin ortak noktasını teşkil etmektedir (Mishkin, 2007:164). Bu nedenle, zayıf formda etkinliğin en belirgin örneklerinin rassal yürüyüş hipotezine uygun özellik gösteren modeller ve piyasalar olduğu ifade edilmektedir (Bailey, 2005:70).

Ekonometrik perspektifte rassal yürüyüş, bir serinin birim kök içermesiyle aynı anlama gelmektedir (Zortuk, 2008: 184; Sevüktekin ve Çınar, 2014:320). Dolayısıyla piyasalar için zayıf formda etkinlik sınamalarında *varyans oran testi* gibi yöntemlerin yanı sıra genellikle literatürde yer alan birim kök testleri sıklıkla kullanılmaktadır (Yavuz, 2015:323). Söz konusu birim kök testleri ise genel olarak *Dickey-Fuller*, *Genişletilmiş (Artırılmış) Dickey-Fuller*, *Phillips-Perron*, *Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS)*, *NG-Perron*, *Zivot-Andrews*, *Lumsdaine-Papell*, *Lee-Strazicich* birim kök testleri olarak ifade edilebilir (Sevüktekin ve Çınar, 2014: 325-389; Yavuz, 2015: 293-323).

Piyasaların güçlü ve yarı-güçlü formda etkinliğine ilişkin yapılmış çalışmalarla kıyaslandığında, zayıf formda etkinliğin sınındığı uygulamalar sayıca oldukça fazladır. Bu bağlamda literatürde, Nurunnabi (2012) tarafından yapılan genel bir literatür taramasının yanı sıra, Mobarek ve Fiorante (2014), Lean ve Smyth (2015), Anagnostidis vd. (2016), Zhou vd. (2017), Almujafer vd. (2018) gibi çalışmalar bulunmaktadır.

Diğer taraftan, bu çalışmanın odak noktasını teşkil etmesi nedeniyle literatürde Borsa İstanbul'un zayıf formda etkinliği üzerine yapılmış uygulamalardan bazıları, kısa açıklamaları ile izleyen bölümde verilmektedir.

1.4.3.1. Borsa İstanbul'un Zayıf Formda Etkinliğine İlişkin Literatür Taraması

Alparslan (1989), Ocak 1986 ve Ekim 1988 arası endeks verileri üzerinde uyguladığı otokorelasyon ve Runs (rasgelelik) testlerinin sonucunda piyasada zayıf formda etkinliğin geçerli olduğunu ifade etmiş, ancak ticaret kuralları filtre testlerinin belirli zamanlarda piyasada avantaj elde edilebileceği yönünde sonuç vermeleri nedeniyle genel görünümün zayıf etkinlik konusunda şüpheleri de beraberinde getirebileceğini belirtmiştir.

Ünal (1992), çalışmasında Ocak 1988-Aralık 1991 dönemi için 20 adet hisse senedi kapanış fiyat verilerini ve Runs testi yöntemini kullanarak Borsa İstanbul için zayıf formda etkinlik sınaması yapmış, hisse senetlerinin çoğunluğu için rassal yürüyüş hipotezinin reddedilmesi nedeniyle piyasanın zayıf formda etkin olmadığını ifade etmiştir.

Balaban vd. (1996)'nin, borsa endeks değeri, gecelik faiz oranları, döviz kurları, banka serbest rezervleri, dolaşımdaki para, M1 ve M2 para arzı, rezerv para gibi değişkenlere ilişkin Ocak 1989 ve Temmuz 1995 arası verilerini otoregresif hareketli ortalamalar (ARIMA) modeli kullanarak analize tabi tuttıkları çalışmalarının sonucunda hisse senedi piyasasının zayıf ya da yarı-güçlü formda etkin olmadığı sonucuna varılmıştır.

Özün (1999), yaptığı çalışmada 1987-1998 yılları arası borsa endeks değeri verilerini genişletilmiş lojistik haritalama denklemi ve otoregresif (AR) modeli kullanarak incelemiş, sonuç duyarlılıkları için ise otoregresif koşullu değişen varyans (GARCH) modelinden faydalanmış; sonuç olarak, ifade edildiği üzere o döneme kadarki çalışmaların aksine Borsa İstanbul'un 1987-1998 arasında 1995 ve 1996 yılları hariç olmak üzere zayıf formda etkin bir piyasa özelliği gösterdiğini belirtmiştir.

Özer (2001), 1998-2001 yılları arasında Borsa İstanbul günlük, haftalık ve aylık sektör fiyat endekslerindeki değişimleri incelediği çalışmada, otokorelasyon ve Runs testi aracılığıyla piyasanın zayıf formda etkinliğini test etmiş, analiz sonucuna göre tüm sıklıklar için piyasanın zayıf formda etkin olmadığı sonucuna ulaşmıştır.

Buguk ve Brorsen (2003), endeks verilerini 1992 ve 1999 yılları arasındaki dönem için alarak Genişletilmiş (Artırılmış) Dickey-Fuller birim kök testi, yarı-parametrik olmayan bir test olan Geweke-Porter-Hudak (GPH) parçalı entegrasyon

uygulaması ve varyans oran testleri gerçekleştirmişler, analizlerin büyük çoğunluğunda rassal yürüyüş hipotezinin reddedilememesine rağmen, reddedilen sonuçların da elde edilmesi nedeniyle Balaban vd. (1996)'ın yorumlamasına paralel olarak piyasanın zayıf form ya da yarı-güçlü formda etkin olarak değerlendirilemeyebileceğini ifade etmişlerdir.

Muslumov vd. (2003), GARCH modeli ve 1990-2002 yılları arasındaki endeks verilerini kullanarak zayıf formda etkinlik sınaması yaptıkları çalışmalarında, hisse senedi fiyat hareketlerinin büyük oranda rassal yürüyüş izlediklerini, ancak belirli dönemlerde rassal yürüyüşe rastlandığını ifade etmişler, diğer taraftan bu durumun hisse senetleri arasında bir ayrımı gerektirmediğini belirterek piyasanın zayıf formda etkin olmadığını belirtmişlerdir.

Smith ve Ryoo (2003), hisse senedi fiyatlarının rassal yürüyüş izleyip izlemediğini çoklu varyans oran testi ile sınadıkları çalışmalarında 1991 ve 1998 yılları arasındaki veriler aracılığıyla Yunanistan, Macaristan, Polonya, Portekiz ve Türkiye hisse senedi piyasalarını incelemişler, diğer dört piyasadan farklı olarak yalnızca Borsa İstanbul için rassal yürüyüş, dolayısıyla zayıf formda etkin piyasa hipotezinin geçerli olduğunu belirtmişler, bunun da nedenini diğer piyasalara göre Türkiye'deki piyasanın daha büyük ve likitidesinin yüksek olmasına bağlamışlardır.

Tufan ve Hamarat (2004), Ekim 1987 ve Temmuz 2002 dönemi için meteorolojik bir etmen olarak bulutlu günlerin borsa endeksi üzerinde etkisinin yanı sıra piyasanın zayıf formda etkinliğini de inceledikleri çalışmalarında, birim kök analizi için Genişletilmiş (Artırılmış) Dickey-Fuller testinden faydalanmışlar ve sonuç olarak zayıf formda etkin piyasa niteliğini doğrulayan sonuçlara ulaşmışlardır.

Kahraman ve Erkan (2005), serisel korelasyon testlerinin borsa endeks kapanış fiyatlarının bir, beş, dokuz ve on altı günlük değişimlerine uygulandığı çalışmalarında, incelenen hiçbir dönem için rassal yürüyüş bulgusuna rastlanmadığını ve bu nedenle zayıf formda etkinliğin söz konusu olmadığını ve yatırımcıların özenli bir şekilde hazırlanan yatırım stratejileri ile kar elde edebileceklerini ifade etmişlerdir.

Kılıç (2005), Markov zincirleri yöntemi ve 1987-2004 arası endeks verilerini kullanarak rassal yürüyüş testi yapığı çalışmasında hisse senedi fiyatlarının tüm tarihsel bilgiyi içerdiğini, bu nedenle geçmiş verileri kullanarak gelecek fiyatlarının tahmin

edilemeyeceğini ve sonuç olarak Borsa İstanbul'un zayıf formda etkin bir piyasa olduğunu belirtmiştir.

Taş ve Dursunoğlu (2005)'nin, Dickey-Fuller birim kök ve Runs testi kullanarak Borsa İstanbul endeksi 1995-2004 verileri üzerinde yaptıkları analizler sonucunda, her iki test için de rassal yürüyüş hipotezi reddedilmiş, bu nedenle piyasanın zayıf formda etkin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Eken ve Adalı (2008), Ağustos 1994 ve Temmuz 2005 dönemleri için Borsa İstanbul endekslerine ait verilerle basit ve çoklu regresyon analizi yaptıkları çalışmalarında, Genişletilmiş (Artırılmış) Dickey-Fuller testi sonucunda birim köke rastlanmadığını ifade etmişlerdir. Ancak, regresyon analizleri sonucunda hisse senetlerinin çoğunluğu için hisse senedi fiyatı tahmininin mümkün olmadığını, bu nedenle piyasanın zayıf formda etkin bir piyasa olarak değerlendirilebileceğini belirtmişlerdir. Çalışmada ayrıca literatürde yapılan önceki çalışmalara kıyasla farklı bir sonucun elde edilmesinin nedeni olarak çalışma kapsamındaki dönem için söz konusu olan enflasyon, faiz oranları, döviz kurlarına ilişkin olumlu gelişmeler ve iletişim teknolojisindeki ilerlemelerin piyasa etkinliğine katkı yapması gösterilmiştir.

Duman Atan vd. (2009) tarafından Ocak 2003 – Aralık 2005 dönemi için on beş dakikalık frekansta verilerle yapılan çalışmada kullanılan Genişletilmiş (Artırılmış) Dickey-Fuller ve KPSS birim kök testleri ve bir kesirli bütünleşme tahmin edicisi yöntemi olan Exact Local Whittle (ELW) yöntemi sonucunda, serinin birim kök içermesi nedeniyle piyasada zayıf formda etkinlik özelliğinin olduğu ifade edilmiştir.

Korkmaz ve Akman (2010), 2003 ve 2009 yılları arası endeks verileri üzerinde Genişletilmiş (Artırılmış) Dickey-Fuller birim kök ve koentegrasyon testlerinin uygulandığı çalışmalarında, her iki analiz sonucuna göre piyasada etkinliğe yönelik bir bulguya rastlanmadığını, bu nedenle zayıf formda etkinlik hipotezinin reddedilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Aga ve Kocaman (2011), piyasanın zayıf formda etkinliğin kendilerince geliştirilen ve 20 hisse senedini içeren endeks üzerinden değerlendirildiği çalışmalarında uyguladıkları regresyon analizi sonucunda güncel fiyatların, geçmiş dönem fiyatları kullanılarak tahmin edilemeyeceğini, bu nedenle piyasanın zayıf formda etkin olduğu sonucuna varmışlardır.

Çevik (2012)'in, belirlenen on sektöre ilişkin Ocak 1997 – Mayıs 2011 borsa kapanış verilerinin ele alındığı çalışmasında, öncelikle Genişletilmiş (Artırılmış) Dickey-Fuller, Phillips-Perron ve KPSS birim kök testlerini uygulanmış, ilk iki test sonucunda birim kök görülmezken, KPSS testi sonucunda serinin birim kök içerdiğini tespit edilmiş olup, ek olarak modifiye edilmiş periodogram (MLP), ELW ve doğrulama için yapılan kademeli tümleşik otoregresif koşullu değişen varyans (FIGARCH) yöntemlerinin kullanıldığı analizler sonucunda piyasanın zayıf formda etkin bir piyasa olmadığı ifade edilmiştir.

Daver vd. (2013), Şubat 2007 ve 2013 arası Borsa İstanbul ve TurkDEX endeks verileri üzerinde serisel korelasyon, Runs ve varyans oran testlerinin uygulandığı çalışmalarında her iki endeks için rassal yürüyüş hipotezinin geçerli olduğunu ve bu nedenle hisse senedi piyasalarının zayıf formda etkin piyasalar olarak değerlendirilebileceğini ifade etmişlerdir.

İbicioğlu (2013)'nın hisse senedi piyasasında fiyatların rassal yürüyüş hipotezine uygun olarak oluşup oluşmadığını incelediği çalışmasında Ocak 2002 ve Haziran 2012 günlük ve haftalık frekansta veriler ele alınmış, yapılan birim kök ve varyans oran testleri sonucunda ise fiyatların rassal yürüyüş izlediği bu nedenle piyasanın zayıf formda etkin bir piyasa olduğu belirtilmiştir.

Kapusuzoglu (2013)'nın 1996 – 2012 yılları arası Borsa İstanbul endeks verileri üzerinde Genişletilmiş (Artırılmış) Dickey-Fuller ve Phillips-Perron birim kök testleri ile etkinlik sınaması yaptığı çalışmasında, bilginin fiyatlara tamamen yansımadığını, dolayısıyla piyasanın zayıf formda etkin olarak değerlendirilemeyeceği ifade edilmiştir.

Gozbasi vd. (2014), öncelikle 2002 – 2012 yılları arasındaki endeks verileri için yaptıkları doğrusallık analizinin sonucunda söz konusu veriler için doğrusallık olmadığı sonucuna varmışlardır. Buna uygun olarak çalışmanın devamında doğrusal olmayan birim kök testleri ile analiz gerçekleştirmişler, sonuç olarak endeksin durağan olmayan bir süreç izlediği ve bu nedenle piyasanın zayıf formda etkin bir piyasa olarak nitelendirilebileceğini belirtmişlerdir.

Temel Nalın ve Güler (2015), Brezilya, Rusya, Çin ve Hindistan ile birlikte Türkiye hisse senedi piyasaları için rassal yürüyüş hipotezinin sınıandığı çalışmalarında Genişletilmiş (Artırılmış) Dickey-Fuller ve KPSS birim kök testleri ile birlikte

koentegrasyon ve nedensellik testlerini uygulamışlar, sonuç olarak Rusya ve Çin hariç olmak üzere Türkiye'nin de dâhil olduğu diğer hisse senedi piyasalarında rassal yürüyüş hipotezini kabul etmişler ve bu doğrultuda zayıf formda etkinliğin olduğunu ifade etmişlerdir.

Kılıç ve Buğan (2016), yine endeks verilerinde doğrusallığın sınanıp reddedildiği ve bu nedenle doğrusal olmayan birim kök testlerinin uygulandığı çalışmalarında, rassal yürüyüş hipotezine ilişkin analizlerin farklı sonuçlar vermesinin - önceki literatüre de uygun olarak- yaklaşıma göre değerlendirmelerin değişebileceği ifadesini doğruladığını, ancak yine de daha güncel olan test sonucuna göre piyasada zayıf formda etkinliğin bulunmadığını ifade etmişlerdir.

Malcıoğlu ve Aydın (2016)'ın 2000 ve 2015 arası endeks verileri için doğrusallık analizi yaptıkları çalışmalarının sonucunda, doğrusallığın söz konusu olmadığı ve bu nedenle zayıf formda etkinliğin geçerli olmadığı ve piyasada geçmiş fiyat bilgilerinden hareketle tahmin yapıp normalüstü kazanç elde edilmesinin mümkün olduğu belirtilmiştir.

Yücel (2016)'ın 2000 ve 2015 yılları için endeks verilerinde zayıf formda etkinliğini araştırdığı çalışmasında Genişletilmiş (Artırılmış) Dickey-Fuller ve Phillips-Perron birim kök testlerinin uygulanması sonucunda rassal yürüyüş hipotezinin geçerli olduğu ve bu nedenle piyasanın zayıf formda etkin olarak değerlendirilebileceği ifade edilmiştir.

1.4.3.2. Etkin Piyasa Hipotezine Yönelik Eleştiriler

Yukarıda verilen çalışmalara ilişkin açıklamalardan da anlaşılabileceği üzere, Borsa İstanbul için zayıf formda etkinlik hipotezi konusunda literatürde bir fikir birliği bulunmamaktadır. Ancak benzer durumun, bir anlamda tüm finansal piyasalar için de geçerli olduğu söylenebilir (Lo, 2004:2).

Söz konusu bulgu farklılıkları, kimi araştırmacılarca da belirtildiği üzere incelenen dönemler ve uygulanan analizlerle ilişkilidir. Ayrıca piyasalardaki ani değişimler, belirsizlikler, finansal balonlar, piyasa çöküşleri, kurum içi bilgi taşıyıcılığı ve bedavacı kişilerin (free rider) varlığı gibi faktörler de etkinlik karşısındaki olumsuz

durumlar olarak gösterilmektedir (Kindleberger ve Aliber, 1989:33; Altunöz ve Altunöz, 2017:54).

Diğer taraftan zaman içinde etkin piyasa hipotezine karşı farklı eleştirel yaklaşımlar öne sürülmüştür. Örneğin, Grossman ve Stiglitz (1980), piyasanın etkin olması durumunda bilginin bedelinin oldukça pahalı olacağını, ancak bir taraftan da böyle bir piyasada normal üstü kar elde etmek mümkün olmayacağı için yatırımcıların bilgi için yüksek bedel ödemekten ve dolayısıyla yatırım kararı almaktan kaçınacaklarını ve bu nedenle de piyasanın çökeceğini ifade etmişlerdir.

Etkin piyasa hipotezinin gerçekçi olmadığını savunan bu görüşe ek olarak, Campbell vd. (1997), etkin piyasa hipotezinin bir idealleştirme yaklaşımı olup ekonomik olarak gerçekleştirilemez olduğunu belirterek, ancak ve ancak öne sürdükleri *görelî etkinlik* yaklaşımına bir temel teşkil edebileceğini belirtmişlerdir. Bu görüşe göre piyasa etkinliğinin zamanla değişir nitelikte olması nedeniyle kusursuz etkinlik kavramından ölçülen etkinlik kavramına doğru bir geçişin olması gerekmektedir (Zhou ve Lee, 2013: 1649-1650).

Ek olarak, yine 1990'lı yıllarda etkin piyasa hipotezine karşı insan psikolojisi ve davranışını odak noktası olarak alan farklı fikirler gelişmeye başlamıştır (Shiller, 2003:90; Tıtan, 2015:444). Söz konusu eleştiriler, *davranışsal finans* olarak adlandırılan ve temel olarak aşırı tepki ya da aşırı güven gibi irrasyonel ancak tahmin edilebilir yatırımcı davranışlarının incelendiği ekole ilişkin çalışmalarda ortaya konulmaya başlanmıştır (Kim, vd., 2011:868).

Lo ve MacKinley (1999) ise rassal yürüyüş ve dolayısıyla etkin piyasa hipotezinin hisse senedi hareketlerinin stokastik yapısına uygun olmadığını belirterek çalışmalarında varyans oran testlerini kullanmışlar ve hisse senedi fiyatlarının rassal yürüyüş izlemediğini ifade etmişlerdir. Bu yönelimin devamında, Lo (2004) tarafından öne sürülen *adaptif piyasa hipotezi*, etkin piyasa hipotezine karşı bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır.

1.5. ADAPTİF PİYASA HİPOTEZİ

Andrew W. Lo, 2004 yılında yayınlanan çalışmasında, etkin piyasa hipotezine yönelik farklı eleştirilerin içinde, özellikle piyasadaki yatırımcıların tercih ve

davranışlarına yoğunlaşan görüşlerin oldukça önemli bir noktaya temas ettiklerini ifade etmektedir (Lo, 2004:4). Çünkü Lo (2017)'ya göre insan, *Homo sapiens*, ile klasik iktisatta rasyonel davranış ve tercihlerde bulunan insanı tanımlayan *Homo economicus* aynı değildir. Bunun nedenleri ise, rasyonelliğin kolay tanımlanabilir bir kavram olmaması, insan davranışlarının çoğunlukla öngörülemez olması, bilginin elde edilmesi ve yorumlanmasının zor ve maliyetli olabilmesi, kurum ve teknolojilerin hızlı bir şekilde değişmesidir (Farmer ve Lo, 1999:9992).

Yukarıda da belirtildiği üzere, özellikle 1990'lı yıllarda ortaya çıkan davranışsal finans ekolü, yatırımcıların tamamen rasyonel olmasının mümkün olmadığını ve bu nedenle de finansal piyasaların her zaman etkin olmaya zorlanmasının da söz konusu olamayacağını söylemekle birlikte, etkin piyasa hipotezine karşıt yeni bir teori ortaya koyamamıştır (Verheyden, vd., 2013:2). İşte bu noktada adaptif piyasa hipotezi, etkin piyasa hipotezinin tüm davranışsal alternatiflerle uzlaştırılmasıyla elde edilen yeni bir sentez olarak ele alınabilir (Lo, 2004:15).

Adaptif piyasa hipotezi, temelini Herbert A. Simon (1955) tarafından ortaya atılan *sınırlandırılmış rasyonelite* (bounded rationality) kavramından almaktadır. Buna göre bilgi ve yöntem yoksunlukları nedeniyle her bir yatırımcı, karar verme süreçlerinde rasyonel bir şekilde eniyileme (optimizasyon) yaklaşımı göstermek yerine, amaçları doğrultusunda minimum koşulları sağlayacak ilk alternatifi seçeceklerdir (Rahman, vd., 2017:180). Bir diğer tabirle yatırımcılar, karar verme süreci sonunda tatmin edici sonuçlar elde etmek için her zaman rasyonel olmayabilen, sezgisel yollara da başvurabileceklerdir (Verheyden, vd., 2013:3).

Ancak Lo (2004)'nın belirttiği üzere, Simon'un öne sürdüğü teoriye yönelik, bir karar vericinin optimal durumu bilmeden tatmin edici bir çözüme yönelmesini belirleyen etmenin ne olduğu sorusu ise yanıtız kalmaktadır. Bu noktada adaptif piyasa hipotezinin merkezinde yer alan evrimsel bakış açısının söz konusu eksik içeriği tamamladığı ifade edilmektedir (Lo, 2004:17). Finansal piyasalara evrimsel açıdan bakmanın temelinde, piyasaların, piyasa araçlarının, kurumların ve yatırımcıların, bir nevi ekonomik seçim dahilinde dinamik bir etkileşim ve evrimleşme içinde olmaları ve finansal birimlerin, söz konusu yapıda optimizasyon odaklı olmaksızın birbirileri ile rekabet edip sisteme uyum sağlamaları (adapte olmaları) görüşü yer almaktadır (Farmer ve Lo, 1999:9992).

Finansal literatürde adaptif piyasa hipotezinin ortaya çıkışından önce evrimsel yaklaşım, Blume ve Easley (1992), Luo (1995), Arthur vd. (1996), Hirshleifer ve Luo (2001), Lebaron (2001), Farmer (2002), Lebaron (2002) tarafından yapılmış çalışmalarda ele alınmış olsa da ele alınan modellerdeki çıkış noktası adaptif piyasa hipotezine göre çok daha karmaşık davranış analizlerine dayanmaktadır (Brennan ve Lo, 2012:2).

Oysa adaptif piyasa hipotezinde temel alınan davranış modeline göre, karar vericiler süreç içerisinde optimal seçimin ne olduğunu bilmeden, sadece pratik düşünme ve deneme-yanılma yoluyla hareket etmekte, böylece halihazırdaki çevre ve koşullara, deneyimleri sonucunda öğrendikleri ile uyum sağlamaktadırlar (Lo, 2017:182). Söz konusu uyum süreci, önyargı, kayıptan kaçınma, yüksek özgüven, aşırı tepki gibi rasyonelliğe ve etkin piyasa hipotezinin bakış açısına uymayan, diğer taraftan evrim modeline uygun davranışlarla açıklanabilmektedir (Zhou ve Lee, 2013:1650). Çünkü Lo (2017)'ya göre, verilen kararların sonucunda olumsuz bir durumla karşılaşılması, davranışların irrasyonel olduğunu değil, yalnızca uyumsuz (maladaptive) olduğunu göstermekte; süreç içerisinde koşullar değişmedikçe sezgisel yolla verilen söz konusu kararların, karar vericiyi ileride yaklaşık olarak optimal sonuçlara götürmesi mümkün olmaktadır.

Dolayısıyla adaptif piyasa hipotezinin genel çerçevesine göre insanlar, ne kusursuz bir şekilde rasyonel ne de tamamen irrasyonel olarak görülmekte olup; bilakis, zeki, ileri görüşlü, rekabetçi varlıklar olarak yeni ekonomik gerçeklere uyum sağlamaktadırlar (Lo, 2012:24). Bu doğrultuda hipotezin evrimsel bakış açısına uygun olarak doğal seçilim (natural selection) süreci, en güçlü olanın yaşamını sürdürmesine (survival of the fittest) imkan vererek piyasadaki yatırımcı ve ticaret stratejilerinin sayılarını ve birleşimlerini belirlemektedir (Kim, vd., 2011:869). Buna göre, adaptif piyasa hipotezinin içeriğindeki fikirler, aşağıda verildiği gibi özetlenebilir (Butler, 2012:54):

- Bireyler kendi çıkarları doğrultusunda hareket ederler,
- Bireyler hata yapar,
- Bireyler öğrenir ve uyum sağlar,
- Rekabet adaptasyonu ve inovasyonu teşvik eder,
- Piyasa ekolojisi (çevre) doğal seçilim tarafından biçimlendirilir,

- Piyasa dinamikleri evrim tarafından belirlenir.

Etkin ve adaptif piyasa hipotezleri yukarıda maddeler halinde verilen genel çerçeveye göre karşılaştırıldığında; birinci maddenin her iki hipotez için de geçerli olduğu; ikinci ve üçüncü maddelerin ise etkin bir piyasada yatırımcıların rasyonel, piyasanın durağan ve dengede olması nedeniyle etkin piyasa hipotezi için geçerli olamayacağı söylenebilir (Lo, 2005:32). Son üç maddenin ise adaptif piyasa hipotezinin evrimsel bakış açısını tanımladığı açıkça görülmektedir.

Adaptif bir piyasada fiyatlar, çevresel koşullar ve piyasadaki yatırımcılar tarafından belirtildiği kadarıyla bilgiyi içermekte ve kar fırsatları -herhangi bir yerel ekolojik sistemde yemek ve suyun miktarına benzer şekilde- fazla oldukça, rekabet bir o kadar az şiddetli olmaktadır (Lo, 2004:18). Diğer taraftan adaptif piyasada kar fırsatları, yatırımcılar tarafından değerlendirildikçe ortadan kalkacak, dolayısıyla rekabet arttıkça bazı yatırımcılar da devre dışı kalacağı için yeni fırsatlar yaratılmaya devam edilecektir (Urquhart ve Hudson, 2013:130). Ancak bu durum sistemin, evrimsel yapısı gereği nihayetinde ideal bir durağan duruma, diğer bir tabirle etkinliğe doğru gideceği anlamına gelmeyecektir (Lo, 2005:33).

Son yıllarda finansal literatürde ilgi odağı haline gelen adaptif piyasa hipotezi, getirilerin durumunun zaman içinde bağımlılık (dependence) ve bağımsızlık (independence) arasında dalgalanmasının incelenmesi ile değerlendirilmektedir (Ghazani ve Araghi, 2014:53). Bir diğer ifadeyle, bağımlılık ve bağımsızlık için literatürde yer alan bazı testlerle piyasada *getiri tahmin edilebilirliği* incelenmektedir (Soteriou ve Svensson, 2017:7). Bu doğrultuda bir piyasada getiriler, en az üç farklı bağımlılık-bağımsızlık sürecinden geçtiyse, örnek olarak önce bağımlı, yani etkin olmayan özellik, sonra bağımsız ve dolayısıyla etkin özellik, son olarak tekrar bağımlı özellik göstermişse, söz konusu piyasa adaptif piyasa olarak nitelendirilmektedir (Urquhart ve Hudson, 2013:131).

1.5.1. Adaptif Piyasa Hipotezinde Getiri Tahmin Edilebilirliği Testleri

Literatürde adaptif piyasa hipotezi, zamanla değişen getiri tahmin edilebilirliği üzerinden test edilmekte ve sıklıkla kullanılan testler kısa açıklamalarıyla aşağıda verilmektedir.

1.5.1.1. Varyans Oran Testi

İlk olarak Lo ve MacKinlay (1988) tarafından piyasadaki rassal yürüyüşün test edilebilmesi için geliştirilen varyans oran testi, özetle sıfır hipotezi serisel olarak aralarında korelasyon olmayan getirileri ifade eden bir istatistiksel özelliği içermek üzere, k -dönemlik getirinin varyansının, tek dönemlik getirinin varyansının k ile çarpımı kadar olması şeklinde tanımlanmakta ve matematiksel olarak aşağıdaki gibi gösterilmektedir (Zhou ve Lee, 2013:1651):

$$VR(k) = 1 + 2\sum_{j=1}^{k-1}(1 - \frac{j}{k})\hat{p}_j \quad (1.2)$$

Burada $\hat{p}_j$, p_j olarak ifade edilen getirilerin j . sıra otokorelasyonunun tahmin edicisini, k ise gecikme süresini göstermekte; buna göre varyans oran testinin sıfır hipotezi, tüm k değerleri için $VR(k) = 1$ (bir diğer ifadeyle $p_j = 0$) olarak ifade edilmektedir (Kim, vd., 2011:871).

Buna karşılık ampirik uygulamalarda, gecikme süresinin keyfi olarak seçilmesinin uygun olmayabileceği düşüncesi nedeniyle Choi (1999), gecikme sürelerinin optimal değerinin, veriye dayalı bir yöntemle belirlendiği otomatik varyans oran testini öne sürmüştür (Charles, vd., 2012:6). Buna göre getirilerin bağımsız ve özdeş bir şekilde dağıldıkları ve tüm j değerleri için $p_j = 0$ varsayımları altında test istatistiği:

$$AVR(\hat{k}) = \sqrt{\frac{t}{\hat{k}}} \left(\frac{VR(\hat{k}) - 1}{\sqrt{2}} \right) \xrightarrow{d} N(0,1) \quad (1.3)$$

şeklinde ifade edilecektir (Choi, 1999:296).

Getirilerin değişen varyans özelliği gösterdiği, özellikle küçük örneklemelerin söz konusu olduğu durumlarda ise yukarıdaki bağımsız ve özdeş dağılım varsayımının geçersiz olabileceğini belirten çalışmada Kim (2009), wild bootstrap yöntemiyle hali hazırda veri içinde bulunan koşullu ve koşullu olmayan değişen varyansları kopya eden wild bootstrap otomatik varyans oran testini önermektedir. Üç aşamada gerçekleştirilen bu teste göre; öncelikle T gözlem için bootstrap örnekleme hazırlanmakta; sonrasında bu örneklem için yukarıda (1.3) nolu eşitlikte verilen otomatik varyans oran istatistiği hesaplanmakta ve son olarak N çok büyük bir sayı olmak üzere, yukarıdaki ilk iki adım N defa tekrarlanarak otomatik varyans oran istatistiklerinin bootstrap dağılımı oluşturulmaktadır (Zhou ve Lee, 2013:1651).

Ampirik uygulamalarda teste ilişkin yukarıda ifade edilen geliştirmelere karşın, gecikme sürelerinin 2, 4, 8, 16 olarak alınarak varyans oranlarının araştırılmasının alışlageldik bir uygulama olduğu da söylenmektedir (Urquhart ve Hudson, 2013:132).

1.5.1.2. Otomatik Portmanteau Testi

Getiri tahmin edilebilirliği üzerine alternatif bir test, Box ve Pierce (1970) ile Ljung ve Box (1978)'in çalışmaları ile öne sürdükleri portmanteau testi olarak adlandırılmaktadır. Varyans oran testine benzer şekilde, bu testte de sıfır hipotezi tüm j değerleri için $p_j = 0$ varsayımına dayanmakta ve p değerinin seçimi keyfi bir şekilde yapılmaktadır (Ghazani ve Araghi, 2014:54). Bir diğer tabirle sıfır hipotezi, bir zaman serisinde ilk k adet otokorelasyonun sıfıra eşit olduğunu ifade etmekte ve test istatistiği;

$$Q_k = T \sum_{j=1}^k \hat{p}_j^2 \quad (1.4)$$

şeklinde hesaplanmaktadır (Ljung ve Box, 1978:298). Buradaki $\hat{p}_j$ değeri, getiriler için otokorelasyon tahmin edicisi olarak ifade edilebilir.

Ancak bu test, literatürde genel olarak görmezden gelinmiş, sebep olarak da her iki çalışmada öne sürülen yaklaşımın, ancak ve ancak getirilerin bağımsız ve özdeş bir şekilde dağıldıkları şartına bağlı olması öne sürülmüştür (Charles, vd., 2012:6). Bu nedenle Lobato vd. (2001) söz konusu testi değiştirerek koşullu değişen varyansı ele almak için test istatistiğini;

$$Q_k^* = T \sum_{j=1}^k \tilde{p}_j^2 \quad (1.5)$$

şeklinde ifade etmiş, $\tilde{p}_j$ değerlerini ise getiriler değil, koşullu değişen varyansların otokovaryansı olarak almıştır.

Daha sonrasında ise Escanciano ve Lobato (2009), varyans oran testinde olduğu gibi, gecikme sayısının keyfi seçilmemesi ve otomatik olarak belirlenmesi için otomatik portmanteau testini geliştirmişlerdir. Söz konusu seçimin Akaike ve Bayes bilgi kriterlerinin kombinasyonu ile yapıldığı testte, gecikme süresi $\tilde{k} = \min\{k : 1 \leq k \leq d; L_p \geq L_h, h = 1, 2, \dots, d\}$ olmak üzere $L_p = Q_k^* - \pi(k, T, q)$ olup; d , sabit üst sınırı, π , ceza terimini, ve $q = 2,4$ değerini ifade etmekte ve test istatistiği;

$$AQ_k^* = T \sum_{j=1}^{\tilde{k}} \tilde{p}_j^2 \quad (1.6)$$

şeklinde hesaplanmaktadır (Zhou ve Lee, 2013:1651). Otomatik portmanteau istatistiği, serbestlik derecesi bir iken ki-kare dağılımını izlemekte ve 3,84 değerinden büyük olarak hesaplanırsa sıfır hipotezi olan getiri tahmin edilebilirliğinin olmadığı iddiası reddedilmektedir (Kim, vd., 2011:871).

1.5.1.3. Genelleştirilmiş Spektral Test

Yukarıda verilen her iki test, getirilerin kendi geçmişleri arası doğrusal bağımlılıklarını yakalamaya çalışan otokorelasyon temelli (doğrusal) testler olarak belirtilmektedir (Charles, vd., 2012:7). Escanciano ve Velasco (2006) tarafından geliştirilen genelleştirilmiş spektral testte ise, bir zaman serisindeki doğrusal ve doğrusal olmayan bağımlılıkların varlıkları birlikte araştırılmaktadır. Testin, tüm gecikmelerde bağımlılığı gözetmekte ve koşullu değişen varyansa karşı tutarlı sonuç verdiği ifade edilmektedir (Gyamfi, 2018:198). Testin istatistiksel gösterimi, $x \in \mathbb{R}$ için, $\gamma_j(x) = E[Y_t - \mu]e^{ixY_{t-j}}$ ifadesinin koşullu ortalama bağımlılığın doğrusal olmayan bir gösterimi olarak ve $\lambda \in [0,1]$, $\pi = 3.142$ için aşağıda verilmektedir (Gyamfi, 2018:198):

$$H(\lambda, x) = \gamma_0(x)\lambda + 2 \sum_{j=1}^{\infty} \gamma_j(x) [\sin(j\pi \lambda / j\pi)] \quad (1.7)$$

Böylece H 'nin hesaplaması:

$$\hat{H}(\lambda, x) = \gamma_0(x)\lambda + 2 \sum_{j=1}^{n-1} (1 - \frac{j}{n})^{1/2} \hat{\gamma}_j(x) \frac{\sin(j\pi \lambda)}{j\pi} \quad (1.8)$$

olacak ve teste ilişkin dağılım fonksiyonu $H(\lambda, x) = \gamma_0(x)\lambda$ şeklini alacaktır. Test, $\hat{H}(\lambda, x)$ ve $H_0(\lambda, x) = \gamma_0(x)\lambda$ arasındaki farka dayanmakta olup;

$$S_n(\lambda, x) = (\frac{n}{2})^{1/2} [\hat{H}(\lambda, x) - H_0(\lambda, x)] = \sum_{j=1}^{n-1} (n-j)^{1/2} \hat{\gamma}_j(x) \frac{\sqrt{2}}{j\pi} \sin(j\pi \lambda) \quad (1.9)$$

şeklinde ifade edilebilecek ve λ ve x ifadelerinin tüm mümkün değerleri için $S_n(\lambda, x)$ 'nin sifıra uzaklığı için;

$$D_n^2 = \int_R \int_0^1 [S_n(\lambda, x)]^2 W(dx) d\lambda = \sum_{j=1}^{n-1} \frac{(n-j)}{j\pi^2} \int_R [\widehat{\gamma_j(x)}]^2 W(dx) \quad (1.10)$$

olacaktır. Eğer standart normal birikimli dağılım fonksiyonu ağırlık fonksiyonu olarak düzenlenirse, test istatistiği aşağıdaki şekilde ifade edilecektir (Gyamfi, 2018:198):

$$D_n^2 = \sum_{j=1}^{n-1} \frac{(n-j)}{j\pi^2} \sum_{t=j+1}^n \sum_{s=j+1}^n (Y_t - Y_{n-j}^-)(Y_s - Y_{n-j}^-) \exp[-0,5(Y_{t-j} Y_{s-j})^2] \quad (1.11)$$

Söz konusu testte, otomatik varyans oran testine benzer şekilde wild bootstrapping uygulaması söz konusu olmakta, ve eğer elde edilen p değeri 0,05 değerinden küçük ise, doğrusal veya doğrusal olmayan getiri tahmin edilebilirliğinin olmadığı hipotezi reddedilmektedir (Kim, vd., 2011:871). Genelleştirilmiş spektral testin doğrusal olmayan bağımlılık durumunda etkin bir test olduğu ve diğer testlere göre daha çok gözlem gücüne sahip olduğu da ifade edilmektedir (Gyamfi, 2018:198).

1.5.1.4. McLeod-Li Testi

McLeod ve Li (1983) tarafından önerilen McLeod-Li testi, doğrusal olmayan etkilerin incelendiği bir başka testtir. Bir diğer tabirle söz konusu test, doğrusal olmamanın portmanteau testi olarak nitelenmektedir (Urquhart ve Hudson, 2013:133). Testin sıfır hipotezi, getiriler arası bağımsızlığı belirtmekte iken alternatif hipotez ise verilerde doğrusal olmayan etkilerin varlığını iddia etmektedir (Ghazani ve Araghi, 2014:54).

Yukarıda verilen testlerin dışında literatürde kullanılan diğer testler, *Engle LM*, *Brock, Dechert, Schieinkman (BDS) testi* (Urquhart ve Hudson, 2013; Urquhart ve McGroarty, 2016), *zamanla değişen (time-varying) model yaklaşımı* (Noda, 2016), *Domingues-Lobato (DL) testidir* (Khuntia ve Pattanayak, 2018).

1.5.2. Adaptif Piyasa Hipotezine İlişkin Literatür Taraması

Adaptif piyasa hipotezi, finansal literatürde farklı yöntemlerin uygulandığı çeşitli çalışmalara konu olmuş ve olmaya da devam etmektedir. Günümüze değin yapılmış çalışmalardan bazıları ve içeriklerine ilişkin özet bilgiler aşağıda verilmektedir:

Lim ve Brooks (2006), toplam 50 hisse senedi piyasası üzerinde etkinlik sınamaları yaptıkları çalışmalarında, kayan alt örneklem penceresi (moving subsample window) yaklaşımı ile portmanteau çift korelasyon test istatistiklerini kullanmışlar, sonuç olarak söz konusu piyasalarda etkinliğin zaman içinde konjonktürel bir örüntü izledikleri,

bu nedenle bulguların etkin piyasa hipotezi ile değil, adaptif piyasa hipotezi ile uyum içinde olduklarını belirtmişlerdir.

Yine Lim (2007) tarafından aynı yöntemle, bu kez on üç hisse senedi piyasası için yapılan çalışmada, kayan alt örneklem penceresi yaklaşımının piyasalardaki etkin ve etkin olmayan özellik gösteren dönemlerin tespitinde kullanışlı olduğu ifade edilmiş, sonuç olarak ele alınan piyasalarda etkinlik özelliği zamanla değiştiği için yine adaptif piyasa hipotezini doğrular nitelikte bir durumla karşılaşıldığı ifade edilmiştir.

Todea vd. (2009), altı piyasada hareketli ortalamalar stratejisinin karlılığını araştırdıkları çalışmalarında, doğrusal ve doğrusal olmayan testleri kullanmışlar ve sonuç olarak seçilen stratejinin zaman içinde sabit olmadığını, bu doğrultuda piyasaların etkinliğinin zamanla değişerek adaptif piyasa hipotezine uygun özellik gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Kim vd. (2011), Dow Jones endüstriyel ortalama endeksine (DJIA) ilişkin 1900 ve 2009 yılları arası verilerle getiri tahmin edilebilirliğini araştırdıkları çalışmalarında, otomatik varyans oran, otomatik portmanteau ve genelleştirilmiş spektral testlerini kayan alt örneklem pencerelerine uygulamışlar, sonuç olarak tahmin edilebilirliğin zaman içinde dalgalandığını ve çoğunlukla piyasa koşullarınca belirlendiğini, piyasa çöküşleri, ekonomik ve politik krizler süresince değişen niteliklerin dinamik piyasa koşullarını öne süren adaptif piyasa hipotezine uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Alvarez-Ramirez vd. (2012), DJIA endeksine ait 80 yıllık veriler üzerinde entropi yaklaşımı ile göreceli piyasa etkinliğini araştırdıkları çalışmalarında, kullanılan yöntemin piyasa etkinlik derecesinin belirlenmesi için uygun olduğunu ve yapılan analize göre ise piyasanın zaman içerisinde adaptif piyasa hipotezinde belirtilen özelliklere uygun bir şekilde özellik gösterdiğini belirlemişlerdir.

Butler ve Kazakov (2012), deneysel veriler ve makine öğrenmesi metoduyla adaptif piyasa hipotezinin değişken verimliliği ve döngüsel karlılık özelliklerini sınadıkları çalışmalarında kullanılan yöntemin karlılık açısından avantaj sağladığını, buna göre adaptif piyasa hipotezine uygun bir tahmin aracı olarak kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Charles vd. (2012), belli başlı döviz kurlarının 1974 ile 2009 arası değerlerini içeren veri setiyle yaptıkları çalışmada doğrusal ve doğrusal olmayan bağımlılığı

inceleyen otomatik varyans oran, wild bootstrap otomatik varyans oran, genelleştirilmiş spektral ve DL testlerini iki yıllık sabit uzunluktaki kayan alt örneklem pencerelerine uygulamışlar, analizler sonucunda döviz kurlarının getiri tahmin edilebilirliğinin piyasa koşullarına göre zamanla değiştiğini, bunun da adaptif piyasa hipotezi ile aynı doğrultuda olduğunu bulmuşlardır.

Lazar vd. (2012), Türkiye, Rusya, Çekya, Romanya, Polonya ve Macaristan döviz piyasalarında global ekonomik ve finansal krizin piyasa etkinliği açısından sonuçlarını inceledikleri çalışmalarında genelleştirilmiş spektral test yönteminden faydalanmışlar, elde edilen sonuca göre ise zaman içinde etkinlik derecesinde sürekli bir gelişmeden ziyade, doğrusal ve doğrusal olmayan bağımlılıklara ilişkin aralıklı davranış şekillerine rastlandığı için adaptif piyasa hipotezini destekleyen ampirik sonuçlara ulaşıldığını ifade etmişlerdir.

Smith (2012), 15 Avrupa yükselen piyasası için kayan pencere içeriğindeki verilere varyans oran testlerinin uygulandığı ve Borsa İstanbul endeks verilerinin de yer aldığı çalışmada, piyasa etkinliklerinin zamanla değişen özelliklerinin adaptif piyasa hipotezi ile uyumlu olduğu, Borsa İstanbul'un ise özellikle en etkin piyasaların içinde yer aldığını göstermiştir.

Popović vd. (2013), Karadağ MONEX20 endeksine ait 2004-2011 verilerini kullandıkları çalışmalarında, kayan pencere yaklaşımı ve Runs testi aracılığıyla piyasa etkinliğinin zaman içindeki seyrini incelemişler, sonuç olarak adaptif piyasa hipotezini doğrular nitelikte etkinliğin zaman içinde değiştiği bulgusuna ulaşmışlardır.

Verheyden vd. (2013), DJIA, Standart & Poor's 500 (S&P 500), NASDAQ ve Belçika BEL-20 endekslerine ait verilerinden oluşan kayan alt örneklem pencerelerine uyguladıkları varyans oran testleriyle adaptif piyasa hipotezinin içeriğinde yer alan önermeleri incelediklerini belirtmişler, test sonuçlarına göre dinamik ve zamana bağlı etkinliğin söz konusu piyasalar için geçerli olmakla birlikte, hipotezle çelişen etkinlik örüntülerine de rastladıklarını ifade etmişlerdir.

Zhou ve Lee (2013), gayrimenkul yatırım ortaklıkları endeks verilerini içeren kayan pencerelerle öncelikle otomatik varyans oran ve otomatik portmanteau test istatistiklerini hesaplamışlar, daha sonra kurdukları regresyon denkleminde panel veri analizi uygulayarak piyasa koşullarına bağlı getiri tahmin edilebilirliğini incelemişlerdir.

Analizler sonucunda piyasanın adaptif piyasa hipotezine uygun özellik gösterdiğini, değişen etkinlik özelliğinin temel sebebinin ise piyasanın gelişmişlik düzeyi olduğunu belirtmişlerdir.

Lim vd. (2013), DJIA, S&P 500 ve New York hisse senedi piyasası NYSE için 1969 ve 2008 yılları arası verileri içeren kayan pencereleri kullanarak wild bootstrap otomatik varyans oran ve otomatik portmanteau testlerini uygulamışlar, ikinci teste göre piyasalarda getiri tahmin edilebilirliği kabul edilirken, ilk test bu sonucu olumsuzlar nitelikte sonuç vermiştir. Ancak ortaya çıkan zamanla değişen yapının, yine de adaptif piyasa hipotezine uygun olduğu açıklanmıştır.

Urquhart ve Hudson (2013), Amerika, İngiltere ve Japonya hisse senedi piyasalarına ilişkin uzun dönemli tarihsel verilerle adaptif piyasa hipotezinin geçerliliğini inceledikleri çalışmalarında otokorelasyon, varyans oran, McLeod-Li, Engle LM, BDS testlerinden yararlanmışlardır. Özellikle doğrusal testlerin sonucunda her üç piyasanın da adaptif özellik gösterdiği belirlenmiş olup, genel olarak adaptif piyasa hipotezinin hisse senedi getirilerinin davranışlarına ilişkin etkin piyasa hipotezine göre daha iyi bir tanımlama sağladığı belirtilmiştir.

Ghazani ve Araghi (2014), 1999 ve 2013 yılları arasındaki Tahran hisse senedi piyasası endeksi TEPIX verilerini kayan alt örneklem penceresi yaklaşımı ile ele aldıkları çalışmalarında, adaptif piyasa hipotezine ilişkin değerlendirmeleri varyans oran, otomatik portmanteau, genelleştirilmiş spektral ve McLeod-Li testleri vasıtasıyla yapmışlar, sonuç olarak tüm testlerin hipotezi doğrular nitelikte sonuç verdiğini ifade etmişlerdir.

Hiremath ve Kumari (2014), Hindistan'ın Sensex ve Nifty endekslerini inceledikleri çalışmalarında, doğrusal ve doğrusal olmayan Runs, varyans oran, McLeod-Li, ARCH-LM gibi testlerden yararlanarak adaptif piyasa hipotezini test etmişler, doğrusal testlerin zaman içinde değişen etkinlik-etkin olmama özelliklerini ortaya çıkardığını, diğer testlerin ise doğrusal olmayan bağımlılığı işaret ettiğini, dolayısıyla bu sonucun tahmin edilebilirliğin mümkün olması anlamına geldiğini, ancak genel olarak bakıldığında Hindistan piyasalarının tam olarak adaptif olmamakla birlikte halen evrim sürecinde olduğunun söylenebileceğini ifade etmişlerdir.

Hiremath ve Narayan (2016)'ın Hindistan hisse senedi piyasasını ele aldıkları çalışmalarında, genelleştirilmiş Hurst açıklayıcısı yöntemi kayan ve sabit alt örneklem

penceleri içeriğindeki verilere uygulanmış, analiz sonucunda ise piyasanın zaman içinde evrimleştiği ve etkinliğe doğru bir seyir izlediğinin görüldüğüne değinilmiştir. Dolayısıyla elde edilen sonucun, adaptif piyasa hipotezinin dinamik özelliğine uygun olduğu, bu nedenle piyasanın adaptif olarak değerlendirilebileceği belirtilmiştir.

Madhavan ve Arrawatia (2016), G8 ülkelerinin kredi temerrüt takasları ve hazine bonolarınca temsil edilen etkinliklerini adaptif piyasa hipotezi açısından incelemişler ve sonuçları, kayan AR-GARCH filtresi ve R/S (rescaled range) testi kullanarak elde etmişlerdir. Sonuç olarak ülke etkinlik dereceleri arasında farklılıklar olduğu, zamanla değişen bu farklılıkların ise hipotez açısından bir doğrulama anlamı taşıyacağını ifade etmişlerdir.

Noda (2016), Japonya hisse senedi piyasaları TOPIX ve TSE2 için adaptif piyasa hipotezinin geçerliliğini incelediği çalışmasında, zamanla değişen AR modeli kullanmış, her iki piyasada da piyasa etkinliğinin zamanla değiştiğini, TSE2 piyasasındaki etkinliğin çoğu dönemde diğer piyasadan daha az olduğunu ve bu nedenlerden dolayı söz konusu piyasaların hipoteze uygun özellik gösterdiklerini belirtmiştir.

Urquhart ve McGroarty (2016), 1990 ve 2014 yılları arasındaki dönem için global olarak önemli endeksler olarak niteledikleri S&P 500, FTSE100, Japonya NIKKEI225 ve Avrupa EURO STOXX 50'ye ilişkin verilere, iki yıllık kayan alt örneklem penceresi yaklaşımı dahilinde varyans oran ve BDS testlerini uygulamışlar, söz konusu piyasalarda tahmin edilebilirliğinin zaman içinde dalgalandığını ve bazı dönemlerde tahmin edilebilirlik söz konusu iken bazı dönemlerde ise bunun olmadığını ifade etmişler, dolayısıyla incelenen tüm piyasalar için adaptif piyasa hipotezinin geçerli olduğunu bulmuşlardır.

Charles vd. (2017), Dow Jones Islamic Market (DJIM) ve Dow Jones Global (DJG) endekslerinin 1996 ve 2013 yılları arasındaki verilerini ele aldıkları çalışmalarında otomatik varyans oran ve otomatik portmanteau testlerini kullanarak bilgisel açıdan etkinliği adaptif piyasa hipotezi bağlamında incelemişler ve bilgi açısından etkinlik söz konusu olduğunda getiri tahmin edilebilirliğinin derecesi üzerinde durmuşlardır. Sonuç olarak her iki endekste de zamanla değişen getiri tahmin edilebilirliği sonucu bulunmuş, bu da hipoteze uygunluk olarak değerlendirilmiştir.

Al-Khazali ve Mirzaei (2017), 1996 ve 2015 yılları arası Dow Jones Islamic Indices (DJII) verileri için stokastik baskınlık ve ortalama-varyans yaklaşımı ile anomaliler ve etkinlik bağlamında adaptif piyasa hipotezini test ettikleri çalışmalarında, ortaya çıkan takvim anomalilerinin hipotezi destekler nitelikte olduğunu, en önemli bulgu olarak ise etkinlik zamanla daha da kuvvetlendiğini, bu nedenle etkin piyasa hipotezine kıyasla adaptif piyasa hipotezinin takvim anomalilerine çok daha iyi bir açıklama getirdiğini belirtmişlerdir.

Rahman vd. (2017), Bangladeş, Hindistan, Pakistan ve Sri-Lanka piyasalarına ait 1995 ve 2013 yılları arasındaki verilerle yürüttükleri çalışmalarında wild bootstrap otomatik varyans oran testi ve fiyat gecikme ölçüleri yöntemleri ile getiri tahmin edilebilirliğini ve bu doğrultuda adaptif piyasa hipotezini test etmişler ve yukarıda adı geçen piyasalar için söz konusu olan zaman içinde etkinlik değişimi özelliği nedeniyle hipotezi destekler nitelikte çıkarsama yapılabileceğini ifade etmişlerdir.

Gyamfi (2018), Gana hisse senedi piyasa endeksleri olan GSEALSH ve GSEFSII için 2011-2015 verilerini kullanarak getiri tahmin edilebilirliğinin incelendiği çalışmada, genelleştirilmiş spektral, otomatik portmanteau ve wild bootstrap otomatik varyans oran testlerini kayan alt örneklem penceresi yaklaşımı dahilinde kullanmış, sonuç olarak GSEALSH endeksinin diğerine göre daha yüksek derecede tahmin edilebilir olduğunu, genel olarak ise Gana hisse senedi piyasasının adaptif piyasa hipotezine uygun özellik gösterdiğini belirtmiştir.

Khuntia ve Pattanayak (2018), Bitcoin piyasası için adaptif piyasa hipotezinin sınıandığı çalışmalarında, 2010-2017 Bitcoin fiyatlarını veri olarak kullanmışlar, veri özelliklerine uygun olarak niteledikleri DL ve genelleştirilmiş spektral testleri ve kayan alt örneklem penceresi yaklaşımı ile getiri tahmin edilebilirliğini incelemişlerdir. Sonuç olarak ise, Bitcoin piyasasında evrimleşen bir etkinlikten bahsedilebileceğini ve bu özelliğin ise adaptif piyasa hipotezi ile uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.



İKİNCİ BÖLÜM
MARKOV ZİNCİRLERİ

2.1. GİRİŞ

Yönetmel karar verme süreci, karar vericilerin dâhil oldukları organizasyonlar adına önceden belirlenmiş amaçları gerçekleştirme zorunluluğuna dayanmaktadır. Söz konusu süreç, eldeki kaynaklarla ilgili maliyet ya da tasarruf çözümlerini ortaya koymanın yanı sıra, diğer dinamikler üzerindeki etkisi nedeniyle geleceği de şekillendirmektedir (Feinberg ve Schwartz, 2002:1). Çünkü yönetmel karar verme, işlevsel olarak geleceğe yönelik kararlara ilişkin olup, kararın başarısı gelecek öngörüsünün doğruluğu ile bağlantılıdır (Yaralıoğlu, 2010:5). Önceden edinilmiş bilgi ve tecrübenin, en temel özelliği belirsizlik olan gelecek karşısında göstereceği uyum, amaçlarla olan bağlantısı nedeniyle karar verme sürecinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır (Erdoğan, 2003: 1-2). Ancak yönetmel karar verme, gündelik hayatta verilen kararlardan farklı olarak karar verici açısından kurumsal bir sorumluluk taşıma anlamına gelmektedir. Bu nedenle karar vericilerin karar problemlerini bilimsel yaklaşım dâhilinde ele almaları, etkin kararların verilmesini ve böylece amaçların gerçekleştirilmesini sağlayacaktır (Sezen, 2007: 4).

Karar problemlerini bilimsel yaklaşımla ele alınması süreci, problemin belirlenmesi, matematiksel modelin kurulması, doğrulanması ve tahmin için kullanılması ile karar sürecini sonuçlandırması adımlarını içermektedir (Öztürk, 2011: 20). Matematiksel modellerde karar problemi, semboller sistemi ve matematiksel ilişkiler yardımıyla ifade edilmektedir (Taha, 2000:6). Matematiksel modeller değişkenlerin yapısına göre *kesikli* ve *sürekli*; doğal durumlar olarak da adlandırılan kontrol edilemeyen değişken değerlerine ilişkin bilgi düzeyine göre *deterministik* ve *stokastik* (olasılıklı); modelin zaman unsuru içerip içermemesine göre *dinamik* ve *statik* olarak sınıflandırılabilir (Erdoğan, 2003:9; Öztürk, 2004:117). Zaman unsurunun söz konusu olduğu modellerde karar verici, belirli bir zaman noktasında sistemi gözlemleyebilmekte ve verdiği kararlara geleceği etkileyebilmektedir (Puterman, 1994:17). Bu tür modellerde sistem bir devamlılık arz ederek zaman aralıklarında olasılıklı bir biçimde değişebilmekte ve bu nedenle bu tür süreçler *stokastik süreç* adını almaktadır (Öztürk, 2011:723). Böylece zaman unsuru içeren modellerde elde edilen gözlem verilerine ait stokastik süreç hakkında analiz yapılarak genel ilişkin yorumlama söz konusu olmaktadır (Ünsal, 1997: 120).

Verili andaki durumdan bir sonraki andaki duruma geçiş olasılığının sistemin o ana kadarki geçirdiğı sürece değıl, yalnızca şimdiki durumuna bağılı olan stokastik süreçler *Markov zincirleri* olarak ifade edilmektedir (Taha, 2000:725). Markov zincirleri, adını 1856-1922 yılları arasında yaşamış Rus matematikçi Andrei Andreevich Markov'dan almıştır. (Ching, vd. 2013:1). Markov çalışmalarında, sayılar teorisi, olasılık teorisi, diferansiyel denklemler ve istatistik alanında 120'den fazla makale yayınlamış, büyük sayılar kanunu ve merkezi limit teoremini özel sınıflar oluşturan bağımlı rassal değışken sıralarına genişleterek bugün Markov zinciri olarak bilinen stokastik süreçleri bulmuştur (Basharin, vd., 2004:3). Markov zincirlerinin kullanım alanı oldukça geniş olmakla birlikte özellikle üretim planlaması, pazarlama, finans, mühendislik, biyoloji ve istatistik alanlarında daha yaygın olarak kullanıldığı söylenebilir (Bäuerle ve Rieder, 2011:4).

Çalışmanın bu bölümünde, stokastik süreçler ve özelinde daha detaylı olarak Markov zincirlerine ilişkin açıklamalara yer verilecektir.

2.2. STOKASTİK SÜREÇLER

Stokastik süreçler, genel olarak davranışı önceden bütünüyle kestirilemeyen süreçler olarak tanımlanabilir (Öztürk, 2004:117). Diğer taraftan stokastik süreçler, olasılık teorisinin dinamik bölümünü teşkil etmektedir. Meteoroloji, mühendislik, tıp, iktisat gibi farklı bilim dallarında karşılaşılan problemler için temel teşkil eden stokastik süreçler, özellikle finansal modelleme ve aktüerya alanında oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Mathai ve Haubold, 2008:247). Stokastik süreçlere geçmeden önce, verilecek tanımlamaların anlaşılması adına gerekli olduğu düşünülen kavramlara ilişkin bilgiler aşağıda yer almaktadır.

2.2.1. Stokastik Süreçlere İlişkin Genel Kavramlar

Olasılık, sonuçları rasgele ortaya çıkan bir deney olarak düşünüldüğünde, her bir deney sonucu *örnek nokta*; tüm sonuçlarının bir araya gelmesi *örneklem uzayı*; söz konusu örneklem uzayının her bir altkümesi ise *olay* adını almaktadır (Taha, 2000:471).

Alt küme tek bir deney sonucundan meydana geliyorsa *basit olay*; iki veya daha çok olaydan meydana geliyorsa *bileşik olay* adını almaktadır (Can, 2015:604). Ayrıca bir

olayın gerçekleşmesi diğer olay ya da olayların gerçekleşmesini engellemiyorsa *bağdaşır olay*; engelliyorsa *ayrık olay* olarak adlandırılmaktadır (Serper, 2014:226).

Örnek nokta genel olarak w , örneklem uzayı Ω , olaylar kümesi ise F sembolü ile gösterilmektedir (Modica ve Poggiolini, 2013:34).

A, F içerisinde bir olay ve F ise Ω 'e ilişkin olaylar kümesi olarak aşağıda verilen özellikleri taşıyorsa, bir σ -cebiri olarak adlandırılır (Ibe, 2013:2):

- $\emptyset \in F$ ve $\Omega \in F$,
- Eğer $A \in F$ ise $\bar{A} \in F$,
- Eğer $A_1, A_2, \dots \in F$ içerisinde olaylar ise $\bigcup_{n=1}^{\infty} A_n$ ve $\bigcap_{n=1}^{\infty} A_n$ 'nin her ikisi de F içerisinde.

F kümesine ait bir A olayının olasılığı, $P(A) \in [0,1]$ ile ölçülmekte olup, olasılık değerinin sıfır değerini almasına *imkânsız olay*, 1 değerini almasına ise *kesin olay* adı verilmektedir (Modica ve Poggiolini, 2013: 36).

$P(A)$ fonksiyonu, A olayının olasılığı olarak tanımlandığında, olasılık ölçütü olarak P , aşağıdaki Kolmogorov aksiyomlarını sağlamalıdır (Ibe, 2013:2):

- Her $A \in \Omega$ için, $0 \leq P(A) \leq 1$,
- $P(\Omega) = 1$ ve
- F içerisinde yer alan $A_1, A_2, \dots, A_n$ ayrık olaylar kümesi için $P(A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n) = P(A_1) + P(A_2) + \dots + P(A_n)$.

Buna göre (Ω, F, P) üçlüsü, *olasılık uzayı* olarak adlandırılmaktadır (Can, 2015:599).

(Ω, F, P) olasılık uzayı ve $A, B \in F$ şeklinde iki olay verilsin; B olayının bilinmesi durumunda A olayının *koşullu olasılığı*:

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad (2.1)$$

şeklinde ifade edilir (Modica ve Poggiolini, 2013:51).

w, Ω örneklem uzayındaki bir örnek nokta olmak üzere, her bir w için bir reel sayı atayan $X(w)$ fonksiyonuna *rassal değişken* adı verilmektedir (Lefebvre, 2007:8). Kısaca rassal değişken, örneklem uzayındaki bir örnek noktanın R gerçel doğrusu

üzerinde gösterimidir ve genel olarak $X(w)$ fonksiyonu yerine X şeklinde kullanılmaktadır (Ibe, 2013:5).

Buna göre *stokastik süreç*, T indis kümesine ait bir t parametresi ile işaretlenen rassal değişkenler kümesi olarak ifade edilmektedir (Parzen, 1999:22). Stokastik süreç, genel olarak $\{X_t : t \in T\}$ veya $\{X(t) : t \in T\}$ şeklinde gösterilmekte olup, t parametresi zamanı ifade edebileceği gibi, bir adımı da gösterebilir (Can, 2015:611).

$X(t)$ fonksiyonunun aldığı her bir değer stokastik süreç için *durum* olarak; yine aynı fonksiyonun tüm mümkün sonuçlarının yer aldığı küme de *durum uzayı* olarak adlandırılmaktadır (Ibe, 2013:29).

Bu doğrultuda, indis kümesinde yer alan t parametreleri sayılabilir olduğu takdirde *kesikli stokastik süreç* söz konusu olmakta; eğer $(0, \infty)$ veya $(-\infty, \infty)$ aralığında değerler alıyorsa *sürekli stokastik süreç* adını almaktadır (Basu, 2003:1).

Benzer şekilde durum uzayı sonlu veya sayılabilir sonsuz noktaya sahipse *kesikli durum uzayı*; değilse *sürekli durum uzayı* olarak ifade edilmektedir (Cox ve Miller, 2017:14).

Buna göre indis kümesi parametreleri ve durum uzayının özelliklerine göre; kesikli parametrelili kesikli süreç, sürekli parametrelili kesikli süreç, kesikli parametrelili sürekli süreç ve sürekli parametrelili sürekli süreç olmak üzere dört farklı tanımlama yapılabilmektedir (Mathai ve Haubold, 2008: 249-250).

İlgili literatürde yer alan farklı özellikteki bazı stokastik süreçlere ilişkin bilgiler aşağıda verilmektedir.

2.2.2. Durağan Süreçler

(Ω, F, P) olasılık uzayında t_i zamanındaki bir stokastik sürecin değeri $X(t_i)$ şeklinde bir rassal değişken olduğu için, stokastik süreçler birleşik birikimli dağılım fonksiyonları ile ifade edilmektedir. Eğer $X(t)$ kesikli ise olasılık kütle fonksiyonu ile, eğer $X(t)$ sürekli ise olasılık yoğunluk fonksiyonu ile gösterilmektedir (Ibe, 2013:30).

Buna göre $[X(t_1+h), X(t_2+h), \dots, X(t_n+h)]$ ve $[X(t_1), X(t_2), \dots, X(t_n)]$ rassal değişkenlerine ilişkin birleşik dağılım fonksiyonu, tüm zamansal aralık uzunlukları (h)

ve $t_1, t_2, \dots, t_n$ değerleri için aynı ise, söz konusu stokastik sürece *durağan süreç* adı verilmektedir (Mathai ve Haubold, 2008:272).

2.2.3. Durağan Bağımsız Artış Süreçleri

$\{X(t) : t \in T\}$ bir stokastik süreç ve $T [0, \infty)$ aralığında olsun. Birbirinden ayrı bir şekilde $0 = t_0 < t_1 < t_2 < \dots < t_n$ zamanlarda gerçekleşen olayların $X(t_0), X(t_1) - X(t_0), \dots, X(t_n) - X(t_{n-1})$ şeklinde bağımsız rassal değişkenler olarak ifade edildiği stokastik süreçler *bağımsız artış süreçleri* olarak ifade edilmektedir (Basu, 2003:2).

Artışların dağılımı $X(t_i+h) - X(t_i)$, belirli bir zaman olan t_i 'ye değil aralıkların uzunluğuna (h) bağlı ise sürecin *durağan artış sürecine* sahip olduğu ifade edilir, çünkü artışların dağılımı t_0, t_1 gibi zaman noktalarına değil, aralıkların uzunluğuna dayanmaktadır; dolayısıyla bir stokastik sürecin hem bağımsız hem durağan artışı varsa bu süreçlere *durağan bağımsız artış süreçleri* adı verilmektedir (Mathai ve Haubold, 2008:252).

2.2.4. Sayma Süreçleri

$\{X(t) : t \in T\}$ bir stokastik süreç olmak üzere, $X(t), [0, t)$ aralığında gerçekleşen toplam olay sayısını gösteriyorsa bu süreçlere *sayma süreçleri* adı verilmektedir ve söz konusu süreç;

- $X(t) \geq 0$,
- $X(0) \geq 0$,
- $X(t)$ tamsayıdır,
- Eğer $s < t$ ise $X(s) < X(t)$ olmalıdır,
- $X(t) - X(s)$ ifadesi, $[s, t]$ aralığında gerçekleşmiş olay sayısını vermektedir, koşullarını sağlamaktadır (Ibe, 2013:36).

2.2.5. Gaussian Süreçler

Bir $\{X(t) : t \in T\}$ stokastik sürecinde tüm $t_1, t_2, \dots, t_n$ değerleri için $(X(t_1), X(t_2), \dots, X(t_n))$ dağılımı çok değişkenli olarak normal ise, söz konusu stokastik sürece *Gaussian süreç* adı verilmektedir (Basu, 2003:4). Bir Gaussian sürecin ortalaması $m_x(t)$ bir sabit ve bunun otokovaryans fonksiyonu $C_x(t, t+s)$, yalnızca s 'ye bağlı ise, söz konusu

süreç için kesin durağanlığın söz konusu olacağı söylenebilir (Lefebvre, 2007:61). Bir diğer tabirle, çok değişkenli bir normal dağılımın yalnızca kendisinin ortalama vektörü ve varyans-kovaryans matrisi tarafından belirlenmekte olduğu söylenebileceği için bu tür bir süreçte yalnızca ortalama ve varyans-kovaryans fonksiyonlarına ihtiyaç duyulacak ve eğer bir Gaussian sürecin kovaryansı durağan ise, söz konusu süreç, kesin durağan olarak adlandırılacaktır (Mathai ve Haubold, 2008:253).

2.2.6. Martingale Süreçler

Bir $\{X(t) : t \in T\}$ stokastik süreci;

- $X(t_n)$ 'nin beklenen değeri, her $t \in T$ için $E[X(t)] < \infty$ olur,
- $E[X(t_{n+1}) | X(t_1), X(t_2), \dots, X(t_n)] = X(t_n)$, kısaca gelecek değer en iyi tahmini şimdiki değerdir,

özelliklerini taşıyorsa *Martingale süreci* adını almaktadır (Borodin, 2017:27).

2.2.7. Brownian Hareket ve Wiener Süreci

Reel değerli bir stokastik süreç $W = \{W(t), t \geq 0\}$ aşağıdaki üç koşulu sağladığı takdirde *Brownian hareket* olarak adlandırılmaktadır (Mishura ve Shevchenko, 2017:24):

- $W(0) = 0$; kısaca sıfır noktasından başlamaktadır,
- $W(t)$ süreci $t \geq 0$ noktasında süreklidir,
- $W(t)$ süreci durağan ve bağımsız artışa sahiptir,
- Herhangi bir $0 \leq s < t$ için $W(t) - W(s)$ rassal değişkenleri sıfır ortalama ve $\sigma_w^2 = \sigma^2(t-s)$ varyansla bir normal dağılıma sahiptir. Kısaca; $W \sim N(0, \sigma^2(t-s))$ olacaktır.

Yukarıda verilen birinci özelliğe göre $W(0) = 0$ olduğu için, dördüncü özelliğe göre $W(t) = W(t) - W(0) \sim N(0, \sigma^2(t-0)) = N(0, \sigma^2 t)$ olacaktır. Bu durum söz konusu olduğunda Brownian hareket *Wiener süreci* adını almaktadır (Ibe, 2013:260).

Brownian hareket ve Martingale süreçler, özellikle finansal piyasaların modellenmesinde önemli bir kaynak teşkil etmektedir (Lefebvre, 2007:186).

2.2.8. Markov Süreci

Bir stokastik sürecin gelecekteki durumunun geçmişe değil, şimdiki durumuna bağlı olması, *Markov özelliği* olarak adlandırılmaktadır (Borodin, 2017:43). Söz konusu özellik, $X(t_{n+1})$ durumunun, yalnızca $X(t_n)$ durumuna bağlı olup; $X(t_{n-1})$, $X(t_{n-2})$, $\dots$, $X(t_0)$ durumlarından tamamen bağımsız olduğu şeklinde *Markov bağımlılığı* olarak da ifade edilmektedir (Mathai ve Haubold, 2008:258).

Buna göre bir $\{X(t) : t \in T\}$ stokastik sürecinde, zaman ekseninde yer almakta olan $t_0 < t_1 < t_2 < \dots < t_n$ noktaları için $X(t_n)$ rassal değişkeninin değeri $X(t_0)$, $X(t_1)$, $\dots$, $X(t_{n-1})$ verili değerlerinden yalnızca $X(t_{n-1})$ değerine bağlıysa; yani stokastik süreç;

$$P[X(t_{n+1}) = j \mid X(t_n) = i] = p_{ij} \text{ ve } n \geq 0 \quad (2.2)$$

şeklinde Markov özelliği gösteriyorsa, söz konusu sürece *Markov süreci* adı verilmektedir (Durrett, 2016:1). Burada p_{ij} olasılığı, *geçiş olasılığı* olarak adlandırılmakta olup, bu da n . adım ve t_n zamanında sistem i durumunda iken, $(n+1)$. adım ve t_{n+1} zamanında sistemin j durumunda olma koşullu olasılığını göstermektedir (Can, 2015:621). Bu olasılık, aynı zamanda t_n ve t_{n+1} arasında sistemi tanımladığı için *tek adımlı geçiş* olarak da adlandırılmaktadır (Taha, 2000:726).

Markov süreçleri durum uzayının niteliğine göre *kesikli durum Markov süreci* ve *sürekli durum Markov süreci* olarak adlandırılabilen iken; zaman parametrelerinin niteliğine göre *kesikli zamanlı Markov süreci* ve *sürekli zamanlı Markov süreci* olarak da ifade edilebilmektedir (Ibe, 2013:49). Bu doğrultuda kesikli durum Markov süreçleri *Markov zincirleri* olarak bilinmektedir (Modica ve Poggiolini, 2013:175).

2.3. MARKOV ZİNCİRLERİ

Bir Markov sürecinde, gelecekteki bir durumun oluşması yalnızca bir önceki duruma bağlıdır (Taha, 2000:725). Diğer taraftan sistemde bir durumdan diğerine geçiş olasılığının zamandan ve adımlardan bağımsız olması önemli bir noktayı teşkil etmektedir (Basu, 2003:8). Dolayısıyla sistemin şu anki duruma gelinceye kadar hangi adımları takip ettiği değil, bir sonraki adımda gözlemlenmek istenen noktada olma olasılığı, yani p_{ij} geçiş olasılığının değeri önem taşımaktadır (Can, 2015:622). Buna göre

bir kesikli zamanlı Markov süreci, $\{X(t_n), n = 0, 1, 2, \dots\}$ için, aşağıdaki özellikleri sağladığı takdirde *Markov zinciri* olarak adlandırılır (Ibe, 2013:58):

$$P[X(t_n) = j \mid X(t_{n-1}) = i, X(t_{n-2}) = k, \dots, X(t_0) = m] = P[X(t_n) = j \mid X(t_{n-1}) = i] = p_{ij} \quad (2.3)$$

Sistem için söz konusu olan tüm geçiş olasılıkları, matris notasyonu ile gösterilebilmekte ve aşağıda verilen özellikleri taşıdığı takdirde *tek adım geçiş olasılıkları matrisi* olarak ifade edilmektedir (Ching, vd., 2013:3):

- $p_{ij} \geq 0$,
- $\sum_{j=1}^N p_{ij} = 1, i = 1, \dots, N$

Matris gösterimi olarak ifade edilecek olursa $P = p_{ij}$ ($N \times N$) boyutlu tek adım geçiş olasılıkları matrisi;

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{N1} & \cdots & p_{NN} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

şeklinde gösterilmektedir (Taha, 2000:726). Söz konusu matris için gerekli özellikler; kare matris olması, hiçbir geçiş olasılığının negatif olmaması ve tüm satırlar için satır elemanları toplamının bire eşit olması olarak tekrar ifade edilebilir (Öztürk, 2011:725).

Buna göre Markov zincirleri, Markov özelliğini taşıyan ve tek adım geçiş olasılıkları zamandan ve adım sayısından bağımsız olan stokastik süreçler şeklinde tanımlanabilir (Can, 2015:625).

2.3.1. Çoklu Adım Geçiş Olasılıkları Matrisi

Geçiş olasılıkları matrisi, i durumundan j durumuna n adımda hareket edilen süreç için gözlemlenmek istendiği takdirde, n -adım geçiş olasılıkları matrisi ya da diğer bir ifadeyle *çoklu adım geçiş olasılıkları matrisi* söz konusu olmakta ve aşağıdaki gibi gösterilmektedir (Lefebvre, 2007:79):

$$p_{ij}(n) = P[X(t_n) = j \mid X(t_0) = i] ; i = 1, 2, \dots, N \\ j = 1, 2, \dots, N, n = 1, 2, \dots \quad (2.5)$$

Yukarıda verilen olasılık değeri, başlangıçta i durumunda olan sürecin, n -adım sonra j durumunda olma olasılığını ifade etmektedir (Can, 2015:629).

Sistem, başlangıç durumu için ele alınırsa $p_{ij}(0) = P[X(t_0) = j | X(t_0) = i]$ durumu söz konusu olacak, ancak aynı anda hem i hem de j durumunda olunamayacağı için aşağıda yer alan ifadenin eklenmesi zorunlu olacaktır (Winston, 1994:968):

$$p_{ij}(0) = \begin{cases} 1 & \text{eğer } j \neq i \\ 0 & \text{eğer } j = i \end{cases} \quad (2.6)$$

Sistem birinci adım için ele alındığında, (2.5) numaralı eşitliğe göre çoklu adım geçiş olasılığı $p_{ij}(1) = p_{ij}$ olacak ve tek adım geçiş olasılığı şeklinde görünecektir (Modica ve Poggiolini, 2013:172).

Sistemin i . durumdan başlayıp k durumuna ve son olarak k durumundan j durumuna geçtiği iki adımlı süreç için ele alındığında ise iki adım geçiş olasılıkları aşağıdaki şekilde ifade edilebilecektir (Ibe, 2013:60):

$$\begin{aligned} p_{ij}(2) &= P[X(t_2) = j | X(t_0) = i] = \sum_k P[X(t_2) = j | X(t_1) = k | X(t_0) = i] \\ &= \sum_k P[X(t_2) = j | X(t_1) = k, X(t_0) = i] P[X(t_1) = k | X(t_0) = i] \\ &= \sum_k P[X(t_2) = j | X(t_1) = k] P[X(t_1) = k | X(t_0) = i] \\ &= \sum_k p_{ik} p_{kj} \end{aligned} \quad (2.7)$$

Böylece yukarıda verilen Chapman-Kolmogorov eşitlikleri yardımıyla tek adım ve çoklu adım geçiş olasılıkları arasındaki ilişkinin, söz konusu olasılık elemanları türünden ifade edilebileceği görülmektedir (Can, 2015:631). Buna göre çoklu geçiş olasılıklarının genel gösterimi:

Tüm $0 < r < n$ 'ler için,

$$p_{ij}(n) = \sum_k p_{ik}(r) p_{kj}(n-r) \quad (2.8)$$

şeklinde olacaktır (Mathai ve Haubold, 2008:260). Matris gösterimi ile ifade edilecek olursa; $p_{ij}(n)$, P^n çok aşamalı geçiş olasılıkları matrisinin i . satır, j . sütun elemanını göstermek üzere:

$$P^n = \begin{bmatrix} p_{11}(n) & \cdots & p_{1n}(n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{N1}(n) & \cdots & p_{NN}(n) \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

şeklinde ifade edilebilir (Ibe, 2013:61).

Dolayısıyla geçiş olasılıkları matrisleri, matris çarpımı yoluyla ayrı ayrı yazılırsa;

$$p^{(2)} = p^{(1)}p^{(1)}$$

$$p^{(3)} = p^{(2)}p^{(1)}$$

ve genel ifadeyle,

$$p^{(n)} = p^{(n-1)}p^{(1)} = p^n \quad (2.10)$$

şeklinde gösterilir (Taha, 2000:727). Dolayısıyla n -adım geçiş olasılıkları matrisinin P tek adım geçiş adım matrisinin n . kuvveti olduğu söylenebilir (Öz, 2009:21).

2.3.2. Markov Zincirlerinde Durumların Sınıflandırılması

Markov zincirlerinde süreç boyunca gözlemlenecek gelişim, durumların sınıflandırılması yoluyla tanımlanabilmektedir. Buna göre, söz konusu durumlar ve ilgili kavramlar aşağıda verilmektedir:

İki durum, i ve j için *yol* kavramı, i 'den başlayıp j 'de biten geçişlerin dizilimini ifade etmekte ve dizilim içindeki her bir geçiş için meydana gelme olasılığı pozitif olmaktadır (Winston, 1994:972). i durumundan j durumuna bir yol varsa, j durumu i durumu için *ulaşılabilir durum* olarak tanımlanmaktadır ve n adım sayısını göstermek üzere $n > 0$ için $p_{ij}(n) > 0$ anlamına gelmektedir (Ibe, 2013:62).

Eğer her iki i ve j durumlarından karşılıklı olarak birbirilerine ulaşım mümkünse, her iki durum da *iletişimli durumlar* olarak adlandırılmaktadır (Ching, vd., 2013:7). Bu durumda her iki durumun aynı *sınıfta* yer aldığı ifade edilmektedir (Lefebvre, 2007:86).

Eğer bir sınıf, sınıf dışındaki durumlar için ulaşılabilir değilse, söz konusu sınıf için *kapalı iletişimli sınıf* durumu söz konusu olmaktadır (Winston, 1994:973).

Tüm durumların iletişimli olduğu, diğer bir tanımlamayla sadece bir sınıfın söz konusu olduğu Markov zincirleri, *indirgenemez Markov zincirleri* olarak adlandırılmaktadır (Privault, 2013:118).

Bir Markov zincirindeki herhangi bir i durumu için f_i , i durumundan başlayan sürecin tekrar i durumuna gelmesinin olasılığını ifade etmek üzere $f_i = 1$ olduğu takdirde *tekrarlı durum*, $f_i < 1$ olması halinde ise *geçişli durum* söz konusudur (Ching, vd.,

2013:8). Bu doğrultuda, sonlu ve indirgenemez tüm Markov zincirlerinin tekrarlı olduğu söylenebilir (Lefebvre, 2007:89).

Bir zincirde sürecin geldiği herhangi bir i durumundan ayrılması mümkün olmuyorsa, söz konusu duruma *yutucu durum* adı verilmektedir (Ibe, 2013:64). Bir durumdan başlayan zincirin tekrar aynı duruma t olarak ifade edilebilecek zamanın katları halinde $t, 2t, 3t, \dots$ zamanlarında dönmesi söz konusu ise, söz konusu durum *periyodik*, aksi halde *aperiyodik* olarak adlandırılır (Öz, 2009:23).

Yukarıda verilen tanımlamalar dâhilinde bir zincirdeki durumlar tekrarlı, aperiodyk ve iletişimli ise *ergodik durumlar* olarak ifade edilmektedir (Winston, 1994:974).

2.3.3. Denge Durum Olasılıkları

Bir sistem için, $p_i(0) = P[X(t_0) = i]$ olasılığı *başlangıç durum olasılığı* olarak adlandırılmakta olup, adımlar başlamadan sistemin i durumunda olma olasılığını göstermektedir (Ibe, 2013:66). Durum ifadesi $i, 1$ 'den N 'ye kadar doğal sayıları içermesi nedeniyle yukarıda verilen $p_i(0)$ ifadesi, $p(0)$ $1 \times N$ satır vektörünün elemanları olmakta; böylece $p(0)$ satır vektörü:

$$p(0) = [p_1(0), p_2(0), \dots, p_N(0)] \quad (2.11)$$

şeklinde ifade edilmekte ve *başlangıç durum olasılıkları vektörü* adını almaktadır (Can, 2015:640).

n -adım geçiş olasılığı olarak ifade edilen $p_{ij}(n)$, sistemin n -adım sonra başlangıçtaki i durumundan j durumuna gelme koşullu olasılığıdır.

Buna göre $P[X(t_n) = j]$, n -adım sonunda sistemin j durumunda olma olasılığını vermek üzere, n -adımlı süreç için:

$$P[X(t_n) = j] = \sum_{i=1}^N P[X(t_0) = i] p_{ij}(n) \quad (2.12)$$

söz konusu olmaktadır (Ching, vd., 2013:6). Kısaca n -adım olasılık vektörü, başlangıç olasılıkları vektörü ile n -adım geçiş olasılıklarının çarpımı ile elde edilmektedir (Can, 2015:641).

Adım sayısı sonsuza yaklaştıkça n -adım geçiş olasılıkları başlangıçtaki i durumuna bağlı olmayacak olup, $P[X(t_n) = j]$ değeri, başlangıç durumundan bağımsız özellik göstererek sabit bir değere, bir denge durumuna yaklaşmaya başlayacaktır (Ibe, 2013:67). Başka bir ifadeyle, büyük bir sayıyı temsil etmek üzere s sayıda durum içeren ergodik Markov zincirlerinde P geçiş olasılıkları matrisinin kuvveti alındıkça, elde edilen değerlerin değişmemeye doğru gideceği, hatta aynı satır içindeki olasılık değerlerinin birbirine yakınsamaya başlayacağı gözlemlenebilecek olup, bu duruma *sürecin limit davranışı* adı verilmektedir (Winston, 1994:976).

P geçiş olasılıkları matrisindeki satır bazındaki söz konusu yakınsama $\pi = [\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_N]$ vektörü ile ifade edilirse limit davranışı aşağıdaki şekilde gösterilebilir (Privault, 2013:137):

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P[X(n) = j] = \pi_j, n = 1, 2, \dots, N \quad (2.13)$$

Buna göre π vektörü, *denge durum olasılıkları vektörü* adını almaktadır ve aşağıda verilen özellikleri taşımaktadır (Ching, vd., 2013:15):

- $\pi_j \geq 0$
- $\sum_j \pi_j = 1$

n -adım geçiş olasılıkları matrisi (2.9) nolu eşitlikte olduğu gibi yazılabileceği için, denge durum olasılıkları var olduğu takdirde tüm $0 < r < n$ 'ler için;

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P[X(n) = j] = \pi_j = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_k p_{ik}(r) p_{kj}(n-r) = \sum_k \pi_k p_{kj} \quad (2.14)$$

olacaktır (Ibe, 2013:67).

Eşitlikteki son ifade aynı zamanda matris çarpımı formunda, $\pi = \pi P$ şeklinde gösterilebilmektedir (Privault, 2013:131). Dolayısıyla söz konusu matris çarpımının yapılması sonucunda, N bilinmeyen ve N denklemlili doğrusal denklem sistemi elde edilecek olup, Cramer, Gauss-Jordan, Ters Matris vb. yöntemlerle çözümü yapıldığında denge durum olasılık vektörü elde edilebilecektir (Can, 2015: 666-667).

Bir Markov zincirinin ne kadar hızlı bir şekilde denge durumuna ulaşacağına ilişkin genel bir kural bulunmamakla birlikte, adım sayısının az olduğu durumlarda söz konusu dengeye çabuk ulaşılacağı açıktır. Buna göre, adım sayısını gösteren n değeri

ne kadar büyükse, denge durum olasılıklarının gözlemlenmek istenen herhangi bir durumda olma olasılığını doğru bir şekilde göstereceği belirtilebilir (Winston, 1994:978).

2.3.4. Yutucu Markov Zincirleri

Genel bir ifadeyle, en az bir yutucu, bir geçişli durum içerip; yutucu durum hariç başka bir tekrarlı durum içermeyen kesikli zamanlı zincirlere *yutucu Markov zincirleri* adı verilmektedir (Rubino ve Sericola, 2014:55).

Diğer bir gösterimle, herhangi bir geçiş olasılıkları matrisinde;

$$p_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{eğer } j \neq i \\ 1 & \text{eğer } j = i \end{cases} \quad (2.15)$$

şartı söz konusu ise, indislerin eşit olduğu matris elemanları yutucu durumları; bu elemanları içeren matrisle ifade edilen zincirler de yutucu Markov zincirleri olmaktadır (Can, 2015:672).

Yutucu Markov zincirlerinde en genel tabirle sürecin nihai olarak yutucu duruma ulaşma olasılığı ile ilgilenilmektedir (Ibe, 2013:77). Bunun yanı sıra, yutulmadan önce geçişli durumdan başlayan sürecin kaç adım süreceği de yine yutucu Markov zincirleri ile cevap aranan soruları ifade etmektedir (Winston, 1994:985).

Bu soruların yanıtlanabilmesi için ise kanonik form adı verilen bir matris yapısı kullanılmaktadır (Ibe, 2013:77). Buna göre P , $N \times N$ boyutunda bir yutucu Markov zincirinin geçiş olasılıkları matrisini, k yutucu durumların sayısını ve $m = N - k$ yutucu olmayan -geçişli- durumları göstermek üzere kanonik form;

$$P = \begin{bmatrix} I & 0 \\ R & Q \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

şeklinde verilebilir (Rubino ve Sericola, 2014:56). Söz konusu matriste I ifadesi, $k \times k$ boyutunda ve yutucu durumlarla ilişkilendirilen birim matrisi; 0 , $k \times m$ boyutunda ve tüm elemanları sıfır olan matrisi; R , $m \times k$ boyutlu ve geçişli durumlardan yutucu durumlara geçişleri gösteren matrisi; Q ifadesi ise, $m \times m$ boyutlu ve geçişli durumlar arası geçişleri içeren matrisi ifade etmektedir (Can, 2015:674-675). Söz konusu matrisin aşağıda gösterildiği üzere kuvvetleri alındığı takdirde sonuç;

$$\begin{aligned}
P^2 &= \begin{bmatrix} I & 0 \\ R + QR & Q^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I & 0 \\ (I + Q)R & Q^2 \end{bmatrix} \\
P^3 &= \begin{bmatrix} I & 0 \\ R + QR + Q^2R & Q^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I & 0 \\ (I + Q + Q^2)R & Q^3 \end{bmatrix} \\
&\dots \\
P^n &= \begin{bmatrix} I & 0 \\ (I + Q + \dots + Q^{n-1})R & Q^n \end{bmatrix} \tag{2.17}
\end{aligned}$$

şeklinde gösterilebilecektir (Ibe, 2013:77). Yukarıdaki ifadeden görülebileceği üzere, P^n matrisinin içinde, geçişli durumlar arası geçişleri ifade eden Q matrisinin de n . kuvveti elde edilmiş olup; bu durum geçişli durumların süreç sonunda yutulacakları, başka bir ifadeyle Q matrisinin tüm elemanlarının sıfıra yaklaşacakları anlamına gelmektedir (Can, 2015:676). P^n matrisinde geçişli durumlardan yutucu durumlara geçişi ifade eden sol alt bölümün çözümü, aynı zamanda geçişli durumdan başlayan sürecin kaç adım sonra yutulacağı sorusunun yanıtını vermekte olup; söz konusu sorunun çözümü *temel matris* adı verilen $(I - Q)^{-1}$ şeklindeki ifadeyle gösterilebilmektedir (Winston, 1994:987). Sürecin yutucu durumda yutulma olasılığı ise $(I - Q)^{-1}R$ bağıntısının çözümü ile elde edilmektedir (Ibe, 2013:80).

2.3.5. Ergodik Markov Zincirleri ve Ortalama İlk Geçiş Zamanı

Bir Markov zincirinde her bir durum, başka herhangi bir durumdan ulaşılabilir durumda ise, söz konusu zincir *ergodik Markov zinciri* olarak adlandırılmaktadır (Basu, 2003:22). Ergodik zincir içerisinde bir durumdan diğerine tek adımda geçiş zorunluluğu olmayıp; doğrudan olmasa da bir durumdan diğerine geçişin olması ile ilgilenilmektedir (Öz, 2009:29).

Bu doğrultuda, *ortalama ilk geçiş zamanı* kavramı, bir ergodik Markov zincirinde i durumundan herhangi bir j durumuna geçiş için beklenen adım sayısını ifade etmektedir (Winston, 1994:981). Süreç içerisinde iki durumu ifade eden i ve j birbirine eşit olduğu takdirde gözlemlenen durum sürecin tekrar başlangıçtaki duruma gelmesi için gereken adım sayısını gösterecek ve ilk geçiş zamanı, *tekrar zamanı* adını alacaktır (Hillier ve Lieberman, 2015:1396).

Buna göre m_{ij} ilk ortalama geçiş zamanını ifade etmek üzere; süreç i durumunda iken p_{ij} i 'den j 'ye tek adımda geçiş olasılığını, $k \neq j$ olmak üzere p_{ik} ise i 'den k 'ye tek adımda geçiş olasılığını gösteriyorsa; i 'den j 'ye geçiş ortalama $1+m_{kj}$ adımda gerçekleşecek ve:

$$m_{ij} = p_{ij}(1) + \sum_{k \neq j} p_{ik} (1+m_{kj}) \quad (2.18)$$

ifadesi $p_{ij} + \sum_{k \neq j} p_{ik} = 1$ olduğundan $m_{ij} = 1 + \sum_{k \neq j} p_{ik} m_{kj}$ şeklinde yazılacak, çözüm sonucunda ise ortalama ilk geçiş zamanı; $m_{ii} = \frac{1}{\pi_i}$ şeklinde ifade edilecektir (Winston, 1994:981).

2.3.6. Tersinir Markov Zincirleri

$X(n)$ ile ifade edilen bir Markov zincirinde durum dizilimi “... , $X(n+1)$, $X(n)$, $X(n-1)$, ...” ile bir başka durum dizilimi “... , $X(n-1)$, $X(n)$, $X(n+1)$, ...” aynı olasılık dağılımlarına sahipse, söz konusu zincir *tersinir Markov zinciri* olarak adlandırılmaktadır (Levin, vd., 2009:15). Buna göre, başlangıç zamanı n olan, $X(n)$, $X(n-1)$, ... diziliimli $X(n)$ zinciri için denge durum olasılıkları $\pi = [\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots]$, geçiş olasılıkları p_{ij} , tersine sürecin geçiş olasılıkları da p'_{ij} ile gösterilirse;

$$\begin{aligned} p'_{ij} &= P[X(n) = j \mid X(n+1) = i, X(n+2) = i_2, \dots, X(n+k) = i_k] \\ &= P[X(n) = j, X(n+1) = i, X(n+2) = i_2, \dots, X(n+k) = i_k] / P[X(n+1) = i, X(n+2) = i_2, \dots, X(n+k) = i_k] \\ &= P[X(n) = j] P[X(n+1) = i \mid X(n) = j] P[X(n+2) = i_2, \dots, X(n+k) = i_k \mid X(n+1) = i] / \\ &\quad P[X(n+1) = i] P[X(n+2) = i_2, \dots, X(n+k) = i_k \mid X(n+1) = i] \\ &= P[X(n) = j] P[X(n+1) = i \mid X(n) = j] / P[X(n+1) = i] \\ p'_{ij} &= \pi_j p_{ji} / \pi_i \\ \pi_i p_{ij} &= \pi_j p_{ji} \end{aligned} \quad (2.19)$$

elde edilecek ve tersinir Markov zinciri $X(n)$ 'de, i 'den j durumuna gitme oranını gösteren $\pi_i p_{ij}$ değeri ile j 'den i durumuna gitme oranını gösteren $\pi_j p_{ji}$ eşit olacak ve yerel dengeyi ifade edecektir (İbe, 2013: 81-82).

2.3.7. Sürekli Zamanlı Markov Zincirleri

Kesikli zamanlı Markov zincirlerinde sürecin j durumuna geçmeden i durumunda geçirdiği sürenin üzerinde durulmamakta ve genel bir tabirle bir birim olarak kabul edilmektedir (Lefebvre, 2007:109). Ancak bazı durumlarda durumlar arası değişim belirli bir kesikli zaman diliminde olmamakta, aksine sistemin devam süresi sürekli bir rassal değişken olabilmektedir (Ching, vd., 2013:36). Çünkü bu gibi durumlarda stokastik sürecin evrimi sürekli olarak gözlemlenmeyi gerektirmektedir (Hillier ve Lieberman, 2015:1401).

Söz konusu stokastik süreçlerde de gelecek yalnızca şimdiki zaman açısından geçmişe bağlı olmakta; ancak sürekli zamanda herhangi bir sonraki zaman kavramı söz konusu olmadığı için süreç, geçiş olasılıkları yerine geçiş oranları ile ifade edilmektedir (Lanchier, 2017:161).

Buna göre, (Ω, F, P) olasılık uzayında bir stokastik süreç $X = \{X(t), t \in \mathbb{R}^+\}$ koşulunu sağlıyorsa *sürekli zamanlı stokastik süreç* olarak adlandırılmaktadır (Rubino ve Sericola, 2014:65). Bu doğrultuda, tüm $s, t \geq 0$ ve i, j, k negatif olmayan tamsayılar olmak üzere bir sürekli stokastik süreç için;

$$P[X(t+s) = j \mid X(s) = i, X(u) = k, 0 \leq u \leq s] = P[X(t+s) = j \mid X(s) = i] \quad (2.20)$$

eşitliği sağlanıyorsa, bu süreç *sürekli zamanlı Markov zinciri* olarak adlandırılmaktadır (Ibe, 2013:85). Yukarıda verilen ifade, sürecin $t+s$ zamanda i durumundan j durumuna gelmesi için u zamanında k gibi bir durumda olması gerektiği ve bu ilerleyişin her iki tarafının da Markov özelliği gereği birbirinden bağımsız olduğunu göstermektedir (Durrett, 2016:148).

Kesikli zamanlı zincirlerde olduğu gibi, sürekli zamanlı zincirleri de Chapman-Kolmogorov eşitliklerini sağlamakta ve $n \geq r \geq 0$ ve i, j negatif olmayan tamsayılar olmak üzere;

$$p_{ij}(n) = \sum_k p_{ik}(r) p_{kj}(n-r) \quad (2.21)$$

durumu gerçekleşmektedir (Modica ve Poggiolini, 2013:248). Diğer taraftan, yukarıda belirtildiği üzere sürekli Markov zincirlerinde geçiş olasılıkları yerine geçiş oranları kullanılması nedeniyle bu tür zincirlerde örnek olarak sürecin j durumundan ayrıldığı

oranla, j durumuna girdiği oranın birbirine eşit olması gerektiği ifade edilmektedir (Hillier ve Lieberman, 2015:1404).





ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
GİZLİ MARKOV MODELLERİ

3.1. GİRİŞ

Özellikle 1940'lı yıllarda bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerle birlikte, araştırmacıların gerçek yaşam problemlerinin çözümü için deterministik ve stokastik algoritmalar üzerine yaptıkları çalışmaları, ilerleyen yıllarda stokastik yaklaşımların klasik yaklaşımlara nazaran daha önemli hale geldiği bir süreç izlemiştir (Kouemou, 2011:5). Bu doğrultuda *gizli Markov modelleri*, ilk olarak 1960'lı yıllarda L.E. Baum öncülüğünde yapılan çalışmalarla geliştirilmiş olup; konuşma tanıma, karakter tanıma ve makine tercümesi, biyoloji, biyokimya, nöroloji gibi bir çok alanın yanı sıra, finans, ekonomi gibi sosyal bilim dallarındaki çalışmalarda da kullanılmaktadır (Gomez-Lopera, vd., 2017: 350). Gizli Markov modellerine ilişkin literatürde yer alan bazı uygulama alanları ve çalışmalar Tablo 3.1'de verilmiştir:

Tablo 3.1: Gizli Markov Modellerine İlişkin Uygulama Alanları ve Çalışmalar

Uygulama Alanı	Çalışmalar
Konuşma Tanıma	Rabiner, 1989; Bridle, 1990; Yang ve Wang, 1990; Brugnara, vd., 1993; Chien ve Wang, 1997; Nwe, vd., 2003; Najkar, vd., 2010; Vimala ve Radha, 2012; Hoesen vd., 2016
Karakter Tanıma	Agazzi ve Kuo, 1993; Bose ve Kuo, 1994; Elms ve Illingworth, 1995; Kim, vd., 1998; Chan, 2002; Premaratne, vd., 2006; Al-Muhtaseb, vd., 2008; Fischer, vd., 2012; Ahmad, Mahmoud, & Fink, 2016
Biyoloji ve Biyokimya	Baldi, vd., 1996; Burge ve Karlin, 1998; Krogh, vd., 2001; Abecasis ve Wigginton, 2005; Bidargaddi, vd., 2008; Krammer, vd., 2009; Larson, vd., 2013; Cheng ve Mailun, 2015; Kamal, vd., 2017
Nöroloji	Rainer ve Miller, 2000; Otterpohl, vd., 2000; Cassidy ve Brown, 2002; Herbst, vd., 2008; Sukkar, vd., 2011; Seyhan, vd., 2013; Shankle, vd., 2016
Yerbilim	Thyer ve Kuczera, 2003; Aspinall, vd., 2006; Beyreuther, vd., 2008; Zhang, vd., 2012; Charantonis, vd., 2015; Kwon, vd., 2017
Ekonomi	Chib, 1996; Chopin ve Pelgrin, 2004; Wang ve Alba, 2006; Korolkiewicz ve Elliott, 2008; Erlwein, vd., 2010; Silva, vd., 2010; Hocaoglu ve Karanfil, 2011; Date, vd., 2013; Yılmaz ve Can, 2016; Hou, 2017
Finans	Elliott, vd., 1998; Thomas, vd., 2002; Christensen, vd., 2004; Rossi ve Gallo, 2006; Lin, vd., 2009; Zhao, 2011; Langrock, vd., 2012; Maheu ve Yang, 2016

Tablo 3.1'den de görülebileceği üzere oldukça geniş bir yelpazede kullanım alanına sahip olan gizli Markov modelleri, Markov zincirlerine benzemekle birlikte daha esnek olan yapısıyla Markov zincirleri ile modellenemeyen sistemlerin de ele alınmasını sağlamaktadır (Öz, 2009:36). Zira Markov zincirlerinde ele alınan sürece ilişkin durum dizilimlerinin bilinmesi sebebiyle durumların görünür olması söz konusu iken; gizli Markov modelleri, sürecin takip ettiği durum dizilimlerinin bilinmediği, ancak ve ancak süreç dinamiklerinin gözlemlenmesi ile bunların tahmin edilebildiği sistemler için kullanılmaktadır (Ibe, 2013:417).

Dolayısıyla gizli Markov modellerinde durum dizilimlerinin bilinmemesi, modelin gizli olarak ifade edilen niteliğini ortaya çıkarmakta, ancak yukarıda ifade edildiği üzere, gözlem durum dizilimi vasıtasıyla bahsi geçen gizli durumlara ilişkin çıkarsamalar yapılabilmektedir (Alpaydın, 2004:309). Diğer bir tabirle gözlem dizilimi, Q ile gösterilebilecek bir durum dizilimini, gözlem olasılıklarına göre üretmekte ve söz konusu dizilim belirgin olmadığı için gizli olarak nitelenmektedir (Öz, 2009:37).

Gizli ve gözlemlenen durumlar arasında birebir benzeşme söz konusu olmadığı için gözlemlenen durumlar gizli durumlardan etkilenirken, gözlemlenen durumların gizli durumları etkilemesi mümkün olmamaktadır (Ching, vd., 2013:201). Diğer taraftan gözlemlenen durumlar kesikli ya da sürekli zamanlı olabilmekle birlikte, zamana bağımlı ya da zamandan bağımsız özellik gösterebilir (Vijayabaskar, 2017:2).

Bu özelliklerdeki süreçlerde gözlemlenen durumların altta yatan bir Markov süreciyle olasılıksal olarak ilişkide olması, yukarıda değinildiği üzere gözlemlenen durumların gizli durumlardan sayıca da farklı olmasına yol açabilmekte ve bunun üstesinden gelebilmek için gizli Markov modelleri, iki durum kümesi ve üç olasılık kümesinden oluşan beş ayrı bileşeni içermektedir (Bhar ve Hamori, 2004:16).

Buna göre, $S = \{S_N, N = 1, 2, \dots\}$ bir Markov süreci, $V = \{V_M, M = 1, 2, \dots\}$ S 'nin bir fonksiyonu ve S ise V üzerinden gözlemlenen bir gizli Markov sürecini ifade etmek üzere modelin beş bileşeni;

- $S = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$, N adet durumu içeren sonlu bir küme,
- $V = \{V_1, V_2, \dots, V_M\}$, M adet gözlem sembollerini içeren sonlu bir küme,
- $A = \{a_{ij}\}$, sistemin q_t anında S_i durumundan, q_{t+1} anında S_j durumuna geçiş olasılığını gösteren geçiş olasılıkları kümesi olup $N \times N$ boyutlu bir matris,

- $B = \{b_i(k)\}$, gözlem olasılıkları olup q_t anında S_i durumunda iken V_k gözleminin olasılığı,
- $\pi = \{\pi_i\}$, başlangıç durum olasılıkları olup sistemin S_i durumunda başlama olasılığı

şeklinde ifade edilebilir (Ibe, 2013:419).

Söz konusu gizli Markov modelinde durumların sayısı N olup S kümesi ile gösterilmekte ve gizli nitelik taşımakta olup; her bir duruma ilişkin gözlemler, yani modelin fiziksel çıktıları ise M adet olup, V ile gösterilmektedir (Öz, 2009: 37-38).

Geçiş olasılıkları matrisi $A = \{a_{ij}\}$ için, $\sum_{j=1}^N a_{ij} = 1$, $i = 1, \dots, N$ ve $a_{ij} \geq 0$ koşulları altında;

$$a_{ij} = P[q_{t+1} = S_j | q_t = S_i], 1 \leq i, j \leq N \quad (3.1)$$

söz konusu olup, durum geçiş olasılıkları zaman içinde değişmemekte ve gözlemlerden bağımsız olmaktadır (Bhar ve Hamori, 2004:17).

Gözlem olasılıkları $B = \{b_i(k)\}$ ise $\sum_{k=1}^M b_i(k) = 1$, $i = 1, \dots, N$ ve $b_i(k) \geq 0$ koşulları altında;

$$b_i(k) = P[O_T = V_k | q_t = S_i], 1 \leq i \leq N \text{ ve } 1 \leq k \leq M \quad (3.2)$$

ile ifade edilmektedir (Ching, vd., 2013:202).

Başlangıç durum olasılıkları;

$$\pi = P[q_1 = S_i], 1 \leq i \leq N \quad (3.3)$$

şeklinde gösterilmekte ve N , M , A , B ve π 'nin verili uygun değerleri için gizli Markov modellerinin $O = O_1, O_2, \dots, O_T$ gözlem dizilimini ürettiği belirtilmektedir (Öz, 2009:39). Söz konusu üretim için gerekli olan beş adım ise aşağıda verilmiştir (Yılmaz ve Can, 2016:119):

- Adım 1:* π başlangıç durum dağılımına göre bir $q_1 = S_1$ başlangıç durumu seçilir,
- Adım 2:* t zaman değeri 1 olarak alınır,
- Adım 3:* S_i durumundaki gözlem olasılık dağılımı $b_i(k)$ göz önünde bulundurularak $O_t = V_k$ seçimi yapılır,
- Adım 4:* Geçiş olasılıkları A 'ya göre yeni bir $t+1$ durumuna geçilir,

Adım 5: $t = t+1$ alınır ve eğer gözlem sayısını gösteren T için $t < T$ durumu varsa tekrar üçüncü adıma dönülerek diğer adımlar tekrar edilir; aksi takdirde işlem sonlandırılır.

Böylece basitleştirmek adına bir gizli Markov modeli parametreler kümesi, her bir O_t gözlemi, $V_1, V_2, \dots, V_M$ gözlemlerinden biri olup t , gözlem sayısını ifade etmekte ve;

$$\mathcal{A} = \{ A, B, \pi \} \quad (3.4)$$

ile gösterilmektedir (Ching, vd., 2013:202). Herhangi bir gizli Markov modeli uygulaması için bu üç ifadenin önem sıralaması yapılacak olursa; π başlangıç durum olasılıkları en az önemli, B gözlem olasılıkları gözlem sembolleri ile doğrudan bağlantılı olduğu için en önemli ve A geçiş olasılıkları bazı problemler için önemli olmakla birlikte bazıları için ise az önemli olarak ifade edilebilir (Rabiner ve Juang, 1986:8).

3.2. GİZLİ MARKOV MODELLERİNİN VARSAYIMLARI

Gizli durum dizilimi $Q = \{q_t\}$ için $0 \leq t \leq T$, $q_t \in S$ ele alınsın. Bu doğrultuda, gizli Markov modellerinde matematiksel ve hesapsal amaçlar için bazı varsayımlar kullanılmaktadır (Yılmaz ve Can, 2016:119). Bahsi geçen varsayımlar aşağıda verilmektedir:

3.2.1. Markovyen Varsayım

Markovyen varsayıma göre bir sonraki durum, sadece şu anki duruma bağlı olup geçiş olasılıkları;

$$P[q_{t+1} = S_j \mid q_t = S_i], 1 \leq i, j \leq N \quad (3.5)$$

şeklinde tanımlanır (Jurafsky ve Martin, 2007:197). Uygulamada, her ne kadar analizi birinci dereceye göre zor olsa da, sonraki durumun geçmiş k adet duruma bağlı olup k . *derece gizli Markov modeli* adını alan modeller de söz konusudur (İbe, 2013:421).

3.2.2. Durağanlık Varsayımı

Bu varsayıma göre durum geçiş olasılıkları geçerli durumdan bağımsız olup matematiksel gösterimi, $\forall t_1$ ve t_2 için;

$$P[q_{t+1} = S_j | q_t = S_i] = P[q_{t+1} = S_j | q_{t-1} = S_i] \quad (3.6)$$

şeklinde olacaktır (Öz, 2009:43). Dolayısıyla durum geçiş olasılıkları, geçişin olduğu zamandan da bağımsız olmaktadır (Yılmaz ve Can, 2016:120).

3.2.3. Gözlem Bağımsızlığı Varsayımı

Gözlem bağımsızlığı varsayımına göre hali hazırdaki gözlem, duruma göre diğer gözlemlerden bağımsız olmaktadır (Gales ve Young, 2008:9). Varsayımın matematiksel gösterimi, gözlem dizilimi $O = O_1, O_2, \dots, O_T$ olmak üzere;

$$P[O | q_1, q_2, \dots, q_t, A] = \prod_{t=1}^T P[O_t | q_t, A] \quad (3.7)$$

şeklinde ifade edilebilir (Ibe, 2013:421).

3.3. GİZLİ MARKOV MODELLERİNİN ÜÇ TEMEL PROBLEMİ VE ÇÖZÜMLERİ

Gizli Markov modellerinde, verili gözlemlerle ilgili olarak üç temel probleme cevap aranmaktadır (Alpaydın, 2004:311). Problemlere ilişkin açıklamalar ve çözüm yöntemleri aşağıda verilmiştir:

3.3.1. Değerlendirme Problemi ve Çözümü

Verili $O = O_1, O_2, \dots, O_T$ gözlemleri ve $A = \{A, B, \pi\}$ modeli için gözlem durum dizilimi olasılığının ($P[O|A]$) nasıl hesaplanacağı, değerlendirme problemi olarak adlandırılmaktadır (Kouemou, 2011:8). Gizli durum dizilimi $Q = q_1, q_2, \dots, q_T$ için gözlem durum dizilimi olasılığı;

$$P[O|A] = \sum_Q P[O | Q, A] P[Q | A] \quad (3.8)$$

olarak verilsin (Ibe, 2013:422). Buna göre çözüm için izlenebilecek en doğrudan yol, T uzunluğundaki her bir muhtemel durum diziliminin numaralandırılmasıdır (Rabiner ve Juang, 1986:8). Başlangıç durumu q_1 için gözlem dizilimi olasılığı;

$$P[O | Q, A] = \prod_{t=1}^T P[O_t | q_t, A] \quad (3.9)$$

ile ifade edilmektedir (Rabiner, 1989:262). Yukarıda değinilen varsayımlara uygun olarak gözlemlerin istatistiksel olarak bağımsız olduğu bilindiğine göre, gizli durum dizilimi için yukarıdaki eşitlik;

$$P[O | Q, A] = b_{q_1}(O_1) \cdot b_{q_2}(O_2) \cdot \dots \cdot b_{q_t}(O_t) \quad (3.10)$$

şeklindedir (Yılmaz ve Can, 2016: 120). Dolayısıyla gizli durum dizilimi için olasılıklar aşağıda verilen biçimde gösterilmektedir (Ibe, 2013:422):

$$P[Q | A] = \pi_{q_1} \cdot a_{q_1 q_2} \cdot a_{q_2 q_3} \cdot \dots \cdot a_{q_{T-1} q_T} \quad (3.11)$$

Gizli durum ve gözlem dizilimlerinin aynı anda olma olasılıkları, O ve Q 'nun birleşik olasılığı olarak ifade edilirse,

$$P[O, Q | A] = P[O | Q, A] \cdot P[Q | A] \quad (3.12)$$

şeklinde gösterilebilecek olup, gözlem dizilimi olasılığı ise yukarıda verilen birleşik olasılığın tüm mümkün gizli durum dizilimleri üzerinden toplamı alınarak aşağıda ifade edildiği gibi elde edilmektedir (Rabiner, 1989:262):

$$\begin{aligned} P[Q | A] &= \sum_{\text{tüm } Q} P[O | Q, A] \cdot P[Q | A] \\ &= \sum_{\text{tüm } Q} \pi_{q_1} b_{q_1}(O_1) a_{q_1 q_2} \cdot b_{q_2}(O_2) a_{q_2 q_3} \dots b_{q_t}(O_t) a_{q_{T-1} q_T} \end{aligned} \quad (3.13)$$

Yukarıda verilen eşitlik yorumlandığı takdirde; başlangıç durumu q_1 ve olasılığı π_{q_1} olmak üzere, sistem O_1 gözlemini ($b_{q_1}(O_1)$) olasılığıyla ürettiğinde, bir adım sonra sistem q_1 'den q_2 durumuna ($a_{q_1 q_2}$) olasılığı ile geçerek ($b_{q_2}(O_2)$) olasılığıyla O_2 gözlemini üretecek ve süreç sonunda q_t durumuna ($a_{q_{T-1} q_T}$) olasılığı ile geçerek ($b_{q_t}(O_t)$) olasılığı ile O_t gözlemini üretecektir (Rabiner ve Juang, 1986:9).

Diğer taraftan gözlemlerin T adet ve durumların N adet olduğu bilgisi dahilinde N^T adet mümkün gizli durum diziliminin elde edileceği söylenebilir (Yılmaz ve Can,

2016:121). Bu durumda gizli durum dizilimlerine ilişkin olasılıkları $P[Q | A]$ 'nın hesaplanması, $2TN^T$ adet hesaplama işlemi gerektirecektir (Ibe, 2013:423). Bu durum, T ve N 'nin küçük değerleri için bir sorun teşkil etmemekle birlikte, büyük değerleri için hesaplama zorluğuna yol açacağından, değerlendirme probleminin çözümünde *İleri-Yön ve Geri-Yön algoritmaları* adı verilen teknikler kullanılmaktadır (Rabiner, 1989:262). İzleyen bölümlerde bu iki algoritma detaylı bir biçimde aktarılmıştır.

3.3.1.1. İleri-Yön Algoritması

İleri Yön algoritması, gizli durum dizilim olasılıklarının hesaplanmasında kullanılan bir dinamik programlama tekniği olup, $a_t(i) = P[O = O_1, O_2, \dots, O_t, q_t = S_i | A]$ olasılığı, ilk t adet sembolün ürettiği ve O_t gözleminin kaynağının q_t olduğu *ileri-yön değişkeni* olarak adlandırılmaktadır (Gomez-Lopera, vd., 2017:356). Bir diğer ifade ile ileri-yön değişkeni, $\{O_1, O_2, \dots, O_t\}$ dizilimi gözlemlendikten sonra sistemin t anında S_i durumunda olma olasılığını ifade etmektedir (Ibe, 2013:423). Söz konusu değişken için çözüm yönteminin adımları aşağıda verilmiştir (Rabiner ve Juang, 1986:9):

Adım 1: Başlangıç adımı olarak ifade edilen bu adım, S_i durumu ilk gözlem O_1 birleşik olasılıklarıyla başlamaktadır,

$$a_1(i) = \pi_i b_i(O_1), 1 \leq i \leq N \quad (3.14)$$

Adım 2: Yineleme adı verilen bu aşamada, t zamanında N aşamalı bir süreç olan S_i 'den $t+1$ zamanında nasıl S_j durumuna ulaşıldığı, aşağıdaki gibi gösterilmektedir,

$$\begin{aligned} a_{t+1}(j) &= P[O = O_1, O_2, \dots, O_{t+1}, q_{t+1} = S_j | A] \\ &= [\sum_{i=1}^N a_t(i) \cdot a_{ij}] b_j(O_{t+1}) \end{aligned} \quad (3.15)$$

Adım 3: Sonlandırma adımı ise hesaplanmak istenen olasılık,

$$P[Q | A] = \sum_{i=1}^N a_T(i) \quad (3.16)$$

şeklinde elde edilmektedir.

Sonuç olarak başlangıç ve yineleme adımları sonucunda gizli durum ve başlangıç gözlemlerine ilişkin birleşik olasılıkları hesaplanmakta ve sonlandırma

adımında ise ileri-yön değişkenlerinin toplamı alınarak gizli durum dizilim olasılıkları elde edilmektedir (Ching, vd., 2013:204).

3.3.1.2. Geri-Yön Algoritması

İleri-Yön algoritmasına benzetmekle birlikte, literatürde Geri-Yön algoritmasında terimlerin yorumlanmasının daha zor olduğu ifade edilmektedir (Fraser, 2008:25). Dual bir yöntem olarak ifade edilen bu algoritmada $\beta_t(i)$, modelin t zamanında S_i durumunda olduğu bilgisi dahilinde $\{O_{t+1}, O_{t+2}, \dots, O_T\}$ kısmi gözlem diziliminin olasılığı olup geri-yön *değişkeni* olarak adlandırılmaktadır (Ibe, 2013:427). Buna göre söz konusu olasılık, $\beta_t(i) = P[O_{t+1}, O_{t+2}, \dots, O_T | q_t = S_i | A]$ şeklinde ifade edilmektedir. Algoritmanın adımları aşağıda verilmiştir (Rabiner, 1989: 263):

Adım 1: Başlangıç adımında tüm geri-yön değişkenleri tanımlanır;

$$\beta_T(i) = 1, 1 \leq i \leq N \quad (3.17)$$

Adım 2: Yineleme adımında t zamanında S_i durumunda olmak ve $t+1$ zamanından itibaren gözlem serisini açıklayabilmek için, $t+1$ zamanındaki tüm mümkün S_j durumları; S_i ile S_j arası geçiş (a_{ij}) ve j durumundaki O_{t+1} gözlemi ($b_j(O_{t+1})$) dikkate alınarak hesaba katılmalı, son olarak j durumundan itibaren kalan kısmi gözlem dizilimi ($\beta_{t+1}(j)$) de göz önünde bulundurulmalıdır,

$$\beta_t(i) = [\sum_{j=1}^N a_{ij} b_j(O_{t+1}) \beta_{t+1}(j)], t = T-1, T-2, \dots, 1, 1 \leq i \leq N \quad (3.18)$$

Adım 3: Sonlandırma adımında olasılık değeri,

$$P[Q | A] = \sum_{i=1}^N \beta_1(i) a_1(i) = \sum_{i=1}^N \beta_1(i) \pi_1 b_1(O_1) \quad (3.19)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

3.3.2. Optimal Durum Dizilimini Bulma Problemi ve Viterbi Algoritması

Verili $A = \{A, B, \pi\}$ modeli için $O = O_1, O_2, \dots, O_T$ gözlem durum dizilimini en yüksek olasılıkla ortaya çıkaracak gizli durum dizilimi $Q = q_1, q_2, \dots, q_T$ 'nin

bulunması, optimal durum dizilimini bulma problemi olarak adlandırılmaktadır (Alpaydın, 2004:315). Ancak birçok muhtemel optimallik kriteri söz konusu olabileceği için optimal durum dizilimi kavramının tanımlanması gerekmektedir (Rabiner ve Juang, 1986:10). Eğer optimalliği sağlayacak durum, dizilim olarak değil de ayrı ayrı ele alınacak olursa, her bir t zamanı ve $1 \leq t \leq T$ için S_t durumu, O gözlemi ve A modeli için, $a_t(i)$ kısmi gözlem dizilimini, $\beta_t(i)$ ele alınan bölüm dışındaki gözlem dizilimini ifade etmek üzere;

$$\begin{aligned}\gamma_t(i) &= P[q_t = S_i \mid Q, A] \\ &= P[q_t = a_t(i) \mid \beta_t(i) \mid P[O \mid A]] \\ &= a_t(i) \beta_t(i) / \sum_{i=1}^N a_t(i) \beta_t(i)\end{aligned}\quad (3.20)$$

olacak ve normalizasyon faktörü $\sum_{i=1}^N \gamma_t = 1$ ile ayrı olarak t zamanındaki en iyi q_t gizli durumu;

$$q_t = \arg \max_{1 \leq i \leq N} [\gamma_t(i)], \quad 1 \leq t \leq T \quad (3.21)$$

şeklinde bulunabilecektir (Rabiner, 1989:263). Diğer taraftan, bu yöntem durum geçiş olasılıklarını dikkate almaması nedeniyle anlamsız gizli durum dizilimlerini ortaya çıkarabileceği için, uygulamada *Viterbi algoritmasının* kullanılması tavsiye edilmektedir (Ibe, 2013:431).

Viterbi algoritması bir dinamik programlama tekniği olup, uygulama sonucunda elde edilen en yüksek olasılıklı dizilime *Viterbi yolu* adı verilmektedir (Vijayabaskar, 2017:7). Viterbi algoritmasında, gizli durumlar ayrı ayrı değil, bir bütün olarak ve en yüksek olasılıkla ele alınmaktadır (Kouemou, 2011:10). Öncelikle yardımcı değişken olarak bir $\delta_t(i)$ değişkeni tanımlanmakta ve;

$$\delta_t(i) = \max_{q_1, q_2, \dots, q_{t-1}} P[q_1, q_2, \dots, q_{t-1}, q_t = S_i, O_1, O_2, \dots, O_T \mid A] \quad (3.22)$$

şeklinde gösterilmektedir (Yılmaz ve Can, 2016:122). Burada $\delta_t(i)$ değişkeni, S_i durumunda biten ilk t gözlemin tek bir yol üzerinden en büyük olasılığını vermektedir (Rabiner, 1989:264). Bu nedenle söz konusu olasılık, kısmi gözlem dizilimi için en uygun

gizli durum diziliminin olasılığı olarak ifade edilmektedir (Ibe, 2013:432). Tek bir en iyi durum dizilimi genele yayılırsa;

$$\delta_{t+1}(i) = [\max_t \delta_t(i) a_{ij}] \cdot b_j(O_{t+1}) \quad (3.23)$$

elde edilir ve durum diziliminin elde edilmesi için her bir t ve j için yukarıda verilen ifadenin izlenmesi gerekeceği için bu takip, $\psi_t(j)$ dizilimi ile yapılır (Öz, 2009:57). Algoritmanın adımları aşağıdaki gibi özetlenmektedir (Rabiner,1989:264; Yılmaz ve Can, 2016:123):

Adım 1: Başlangıç adımında değişkenler ifade edilir,

$$\delta_1(i) = \pi_i b_i(O_1), 1 \leq i \leq N \text{ ve } \psi_1(i) = 0 \quad (3.24)$$

Adım 2: Önceki adımda elde edilen $\delta_t(j)$ değerleri, her bir durum için ayrı ayrı durum geçiş olasılıkları ile çarpılır; buradan elde edilen en yüksek değer ile hali hazırdaki durum için geçerli gözlem olasılıkları yine çarpılarak $\psi_{t+1}(j)$ değişkeni için atanan en yüksek değer elde edilir,

$$\delta_t(j) = \max_{1 \leq i \leq N} [\delta_{t-1}(i) a_{ij}] \cdot b_j(O_t), 2 \leq t \leq T \text{ ve } 1 \leq j \leq N \quad (3.25)$$

$$\psi_t(j) = \arg \max_{1 \leq i \leq N} [\delta_{t-1}(i) a_{ij}], 2 \leq t \leq T \text{ ve } 1 \leq j \leq N \quad (3.26)$$

Adım 3: Sonlandırma adımında son gözlem için hesaplanan $\delta_T(i)$ değerlerinden en yüksek olanı seçilir ve

$$P^* = \max_{1 \leq i \leq N} [\delta_T(i)] \quad (3.27)$$

şeklinde ifade edilirken; yukarıda seçilen en yüksek değer geldiği gizli durum dizilimi belirlenir,

$$q^*_T = \arg \max_{1 \leq i \leq N} [\delta_T(i)] \quad (3.28)$$

ve böylece optimal durum dizilimi seçilmiş olur.

Adım 4: Yol veya durum dizilimi geri izlemesi adı verilen son adımda ise üçüncü adımda elde edilen sonuçlardan yola çıkılarak durum dizilimlerine geriye gidilir,

$$q_t^* = \psi_{t+1}(q_{t+1}^*), t = T-1, T-2, \dots, 1 \quad (3.29)$$

böylece en başa dönülerek uygun gizli durum dizisi tanımlanmış olur.

3.3.3. Öğrenme Problemi ve Baum-Welch Algoritması

Öğrenme probleminde amaç, gözlem dizilimi olasılıklarını enbüyükleyerek $\mathcal{A}$ model parametrelerini uygun hale getirmektir (Ching, vd., 2013:207). Bir anlamda yeniden modelleme olarak ifade edilebilecek bu problemde, çıktı olarak istenen gözlem diziliminin tanımlanabilmesi ve gözlem dizilim olasılıklarının enbüyüklenmesi için $\{A, B, \pi\}$ parametrelerinin optimizasyonu üzerinde durulmaktadır (Yılmaz ve Can, 2016:123). Söz konusu optimizasyon problemi için bir optimizasyon kriterinin belirlenmesi ve tanımlanmasında en sık kullanılan yöntemlerden biri, *en büyük olasılık kriteri* olarak ifade edilmekte ve

$$\mathcal{A}^*(i) = \arg \max_{\mathcal{A}} \{P[O | \mathcal{A}]\} \quad (3.30)$$

çözümü ile gösterilmektedir (Kouemou, 2011:10). Ancak, problemin karmaşık yapısı nedeniyle $P[O | \mathcal{A}]$ olasılığını enbüyükleyen bir $\mathcal{A}$ değerinin analitik olarak elde edilebileceği herhangi bir yöntem bulunmamakta, bunun yerine $P[O | \mathcal{A}]$ olasılığının yerel olarak enbüyüklenmesini sağlayan bir parametre seçimi yapılmaktadır (Ibe, 2013:436). *Baum-Welch algoritması*, bu amaçla kullanılan tekrarlı yöntemlerden biridir.

Bir gizli Markov modeli için verili model parametreleri ve gözlem dizilimleri dahilinde tekrarlanan Baum-Welch algoritması, olasılık fonksiyonu yerel maksimum noktasına yakınsayan parametre vektörleri üretmektedir (Fraser, 2008:31). Model parametrelerinin nasıl hesaplandığının gösterilmesi için öncelikle bir $\xi_t(i, j)$ değişkeni;

$$\xi_t(i, j) = P[q_t = S_i, q_{t+1} = S_j | O, \mathcal{A}] \quad (3.31)$$

t anında S_i ve $t+1$ anında ise bir geçişle S_j durumunda olma olasılığını göstermek üzere tanımlanır (Rabiner ve Juang, 1986:11). Buna göre aynı değişken,

$$\begin{aligned}\xi_t(i,j) &= a_t(i) a_{ij} b_j(O_{t+1}) \beta_{t+1}(j) / P[O | A] \\ &= a_t(i) a_{ij} b_j(O_{t+1}) \beta_{t+1}(j) / \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_t(i) a_{ij} b_j(O_{t+1}) \beta_{t+1}(j)\end{aligned}\quad (3.32)$$

$a_t(i)$ t anında S_i durumunda biten ilk t gözlemi; $a_{ij} b_j(O_{t+1})$ $t+1$ anında S_j durumuna geçişi; $P[O | A]$ ise tanımlanan $\xi_t(i,j)$ değişkeni için normalizasyonu sağlayan olasılık değerini göstermektedir (Rabiner, 1989:264). Ayrıca kesirli ifadenin pay bölümünün (3.31)'deki ifadeye eşit olması dolayısıyla $P[O | A]$ ile yapılacak bölüm işleminin, t anında S_i durumundan, $t+1$ anında S_j durumuna geçiş olasılık değerini vereceği söylenebilir (Yılmaz ve Can, 2016:124).

Olasılık değişkeni $\gamma_t(i)$ şeklinde tanımlanırsa;

$$\gamma_t(i) = a_t(i) \beta_t(i) / P[O | A] \quad (3.33)$$

değerinin, tüm gözlem dizilimi ve model için t anında S_i durumunda olma olasılığını gösterir ve bu değer t değeri kadar tekrarlı bir şekilde toplanması ile S_i durumundan yapılacak beklenen geçiş sayısını verir (Ibe, 2013:437). $\xi_t(i,j)$ değişkeni ile bu değişken arasındaki ilişki ise,

$$\gamma_t(i) = \sum_{j=1}^N \xi_t(i,j) \quad (3.34)$$

şeklinde ifade edilmektedir (Öz, 2009:61).

$\xi_t(i,j)$ değişken değerinin t değeri kadar tekrarlı bir şekilde toplanması, S_i durumundan S_j durumuna beklenen geçiş sayısını pay bölümünde, S_i durumundan yapılacak beklenen geçiş sayısı paydada yer almak üzere S_i durumundan S_j durumuna beklenen geçiş sayısı aşağıdaki gibi hesaplanabilecektir (Ibe, 2013:438):

$$\bar{a}_{ij} = \sum_{t=1}^{T-1} \xi_t(i,j) / \sum_{t=1}^{T-1} \gamma_t(i) \quad (3.35)$$

Benzer şekilde, t anında S_j durumunda iken; v_k gözlem sembolü ve S_j durumlu zamanların beklenen sayısının S_j durumlu zamanların beklenen sayısına oranlanması;

$$b_j(k) = \sum_{t=1}^T \gamma_t(j) / \sum_{t=1, O_t=k}^T \gamma_t(j) \quad (3.36)$$

ile ifade edilirse $\gamma_1(i) = \bar{\pi}_i \Rightarrow t = 1$ anında S_i durumunda beklenen sıklığı göstermek üzere bir $A = \{A, B, \pi\}$ modeli için yeniden hesaplanan model $\bar{A} = \{\bar{A}, \bar{B}, \bar{\pi}\}$ ile algoritmanın adımları aşağıdaki gibidir (Rabiner, 1989:265):

Adım 1: Başlangıç adımında $A, A = \bar{A}$ benzerlik fonksiyonu için bir kritik nokta tanımlar,

Adım 2: Gözlem diziliminin daha yüksek olasılıkla üretileceği yeni bir model olan $\bar{A}$ bulunduğu için $P[O | \bar{A}] > P[O | A]$ olur.

Bu doğrultuda yeni model tekrarlı olarak kullanıldığı takdirde, belirli bir limite ulaşana kadar modelden gözlem diziliminin izlenebilme olasılığı geliştirilmektedir (Yılmaz ve Can, 2016:125).

Diğer taraftan hedef fonksiyonun bir çok yerel maksimum değeri olabileceği için algoritmanın global maksimum değerine ulaşması garanti edilememekle birlikte, algoritmanın A 'nın farklı başlangıç değerleri ile defalarca tekrarlanması uygulamada iyi sonuçlar verdiği de belirtilmektedir (Ibe, 2013:438).

3.4. FARKLI YAPILARDAKİ GİZLİ MARKOV MODELLERİ

Gizli Markov modelleri, $B = \{b_i(k)\}$ gözlem olasılıkları dağılımlarının yapısına göre sınıflandırılabilir. Yukarıda verilen açıklamalar için geçerli olan, gözlemlerin kesikli değerlerinin söz konusu olduğu ve dağılımların olasılık kütle fonksiyonu ile gösterildiği modeller *kesikli gizli Markov modelleri* olarak adlandırılmakta; ancak gözlemler için sürekli değerlerin söz konusu olduğu ve dağılımların olasılık yoğunluk fonksiyonu ile gösterildiği modellere ise *sürekli gizli Markov modelleri* adı verilmektedir (Ibe, 2013: 438-439).

Sürekli gizli Markov modelleri, üç aşamalı bir stokastik süreç olarak ifade edilmekte ve genel olarak kesikli modele benzemektedir (Kouemou, 2011:19). Ancak sürekli modellerde, bir vektör nicemleyicisi (vector quantizer) kullanılarak sürekli değerler en yakın kesikli değere dönüştürülmekte ve bunun için de genel olarak Gauss karışım olasılık yoğunluk fonksiyonunun kullanılmaktadır (Zheng ve Gao, 2017:5).

Bir diğer model, *soldan-sağa gizli Markov modelleri* olarak adlandırılmakta olup, modelde sonraki duruma soldan-sağa bir geçişle birlikte durumun kendi kendine geçişi de söz konusu olmaktadır (Ibe, 2013:439). Şu ana kadar incelenmiş ergodik yapıdaki gizli Markov modelinden farklı olarak, bu tür modellerde bir durumdan diğer bütün durumlara geçiş söz konusu olmamakta ve başlangıç durum dizisinin birinci durumdan başlayıp N . durumda sona ermek zorunda olduğu ifade edilmektedir (Hanilçi ve Ertaş, 2007:110).

Hiyerarşik gizli Markov modelleri ise kısaca gizli durumların hiyerarşik yapı olarak kullanıldığı çok aşamalı bir stokastik süreç olarak tanımlanabilir (Nguyen, vd., 2005:956). Fine vd. (1998) tarafından önerilen bu modelde, her bir gizli durum, kendi başına otonom bir olasılıksal model olarak ele alınmakta ve böylece her bir durum hiyerarşik gizli Markov modeli haline gelmektedir.

Bir diğer gizli Markov modeli, Ghahramani ve Jordan (1997) tarafından önerilen *faktöriyel gizli Markov modelleridir*. Gizli Markov modellerinde tek bir kesikli değişkenle temsil edilen durum, faktöriyel modellerde birden fazla katmana ayrılır ve böylece dağılımsal bir yaklaşımla temsil edilebilir (Ibe, 2013:441). Buna göre, her bir katmanın bağımsız dinamiklere sahip olduğu ve gözlem diziliminin her bir katmanın halihazırdaki durumuna bağlı olduğu söylenebilir (Li, vd., 2006:64).

Brand (1996) tarafından önerilen farklı bir model, *eşleştirilmiş gizli Markov modelleri* olarak adlandırılmaktadır. Çoklu gizli Markov modellerinden oluşan bu modelde zamanlar ve zincirler arası eşleştirmeler söz konusu olup, gizli Markov modellerine benzer olarak her bir zincirdeki gözlem dizilimi ancak aynı zincirdeki karşılık gelen duruma bağlı olmaktadır. Diğer taraftan gizli Markov modellerine karşıt olarak belirli bir zamanda sistemin durumu farklı zincirlerde tüm durum değişkenlerini içerebilir (Zhou, vd., 2016:571). En basit haliyle iki gizli Markov modeli zincirinden oluşan bir yapı olarak düşünüldüğünde eşleştirilmiş gizli Markov modelinde yer alan t zamanındaki her bir durum değişkeninin her iki zincirdeki $t-1$ zamanındaki durumlara bağlı olacağı, böylece her iki zincir arası zamansal ilişkinin elde edilebileceği söylenebilir (Ibe, 2013:442).



DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

BORSA İSTANBUL (BİST) 100 ENDEKSİ İÇİN BİR UYGULAMA

4.1. ARAŞTIRMANIN AMACI VE YÖNTEMİ

Bu çalışma iki amaca odaklanmaktadır: İlk olarak Borsa İstanbul Hisse Senedi Piyasası için adaptif piyasa hipotezinin geçerliliği sınanmıştır. İkinci olarak ise önceki analizden elde edilen sonuçlar ışığında, BIST 100 endeksi ile seçili makroekonomik değişkenleri içeren bir gizli Markov modeli uygulamasıyla söz konusu modelin adaptif piyasa hipotezi bağlamında kullanılabilirliği test edilmiştir.

Borsa İstanbul Hisse Senedi Piyasası için temel gösterge olan BIST 100 endeksi kullanılarak adaptif piyasa hipotezinin geçerliliğinin test edilmesi, ilgili literatür takip edilerek zamanla değişen hisse senedi getirilerinin tahmin edilebilirliği perspektifinden değerlendirilmiş olup, bu analiz için otomatik portmanteau ve genelleştirilmiş spektral testlerinden faydalanılmıştır.

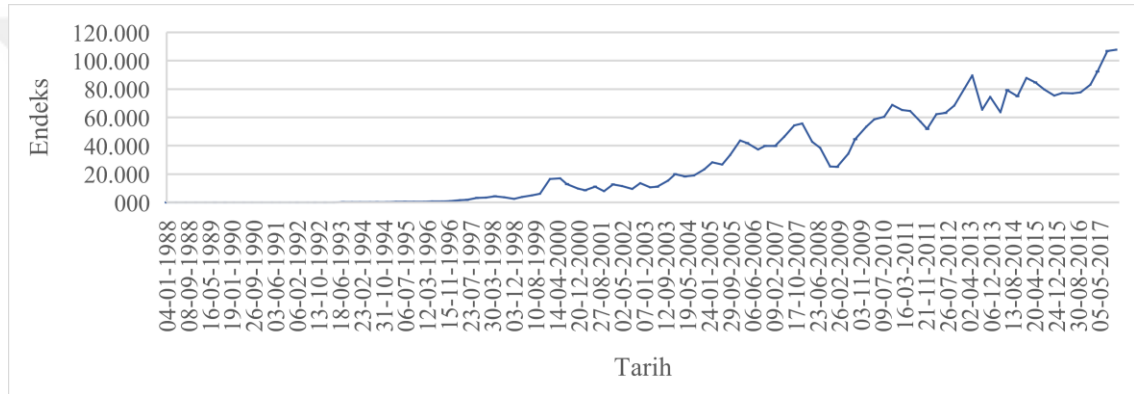
Testler sonucunda elde edilen sonuçları takiben gizli Markov modeli, literatürde hisse senedi getirilerini etkiledikleri ortaya konulan seçili makroekonomik değişkenlerin gizli durumlar olarak, BIST 100 endeksinin ise gözlem serisi olarak kullanılması yoluyla oluşturulmuştur. Hisse senedi getirilerini etkileyen makroekonomik değişkenlere ilişkin oldukça geniş bir literatür bulunmaktadır. Bu nedenle, literatürdeki söz konusu çalışmalar incelenerek, veri bulunabilirliği gözetilerek ve uzman görüşleri dikkate alınarak Amerikan Doları kuru, para arzı (M1) ve tüketici fiyat endeksi (TÜFE) makroekonomik değişkenler olarak çalışmaya dâhil edilmiştir.

Gizli Markov modeli uygulamasında iki ayrı analiz yapılmıştır. Buna göre, incelenen dönemlerin her birinde ilk olarak gizli Markov modellerinin ilk problemi olan değerlendirme problemi için kullanılan İleri-Yön ve Geri-Yön algoritmalarından faydalanılarak BIST 100 endeksindeki değişimin hangi yönde olacağına ilişkin olasılıklar tahmin edilmiştir. Analizin devamında ise gizli Markov modellerinin optimal durum dizilimini bulma probleminin çözümünde kullanılan Viterbi algoritması yoluyla ele alınan her dönem için BIST 100 endeksindeki değişime göre modelde yer verilen makroekonomik değişkenlerin -bir diğer tabirle gizli durumların- alacakları değerler tahmin edilmiştir. Buna göre, her iki analiz sonucunda elde edilen değerler gerçek değerlerle kıyaslanmış ve yorumlanmıştır.

4.2. BIST 100 ENDEKSİ İÇİN ADAPTİF PİYASA HİPOTEZİNİN TEST EDİLMESİ

Uygulamanın adaptif piyasa hipotezinin zamanla değişen getiri tahmin edilebilirliği üzerinden test edildiği ilk bölümünde BIST 100 endeksine ilişkin 4 Ocak 1988 ve 18 Aralık 2017 arası günlük kapanış verileri Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası Elektronik Veri Dağıtım Sistemi'nden elde edilmiş ve endeksin günlük kapanış fiyatlarına ilişkin zaman grafiği aşağıda verilmiştir:

Şekil 4.1: BIST 100 Endeksi 1988-2017 Arası Günlük Değerleri

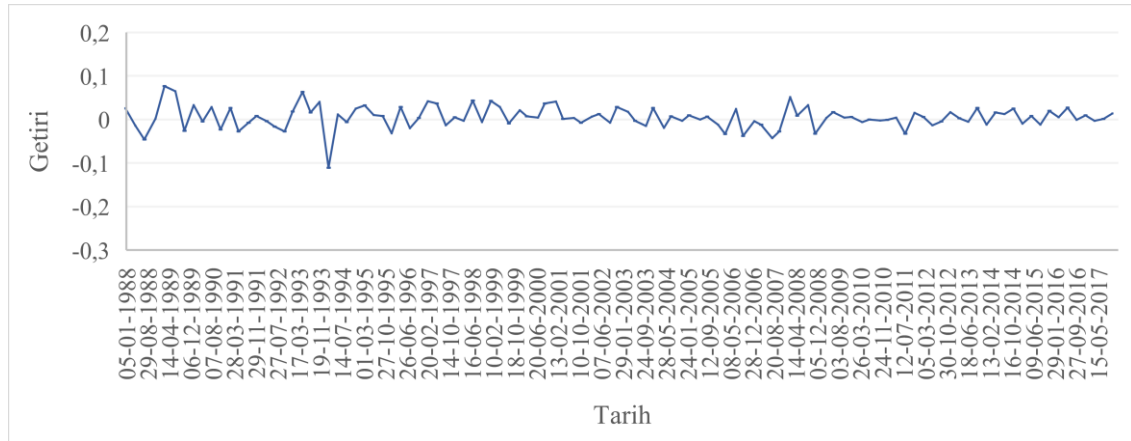


Kaynak: Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası Elektronik Veri Dağıtım Sistemi

Endekse ait kapanış verilerinin getiri verilerine dönüşümü ise her bir verinin birinci farkının doğal logaritması alınarak;

$$r_t = \ln(P_t) - \ln(P_{t-1}) \quad (4.1)$$

formülü ile yapılmıştır (Urquhart ve McGroarty, 2016:43). Formül (4.1) kullanılarak günlük getiri verileri elde edilmiş ve söz konusu verilerin zaman içindeki değişimine ilişkin grafik aşağıda verilmiştir:

Şekil 4.2: BIST 100 Endeksi 1988-2017 Arası Günlük Getirileri

Elde edilen BIST 100 endeksi getiri verilerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler ise Tablo 4.1’de verilmiştir:

Tablo 4.1: BIST 100 Getiri Verilerine İlişkin Tanımlayıcı İstatistikler

Gözlem Sayısı	7485
Ortalama	0.001293
Medyan	0.001148
Standart Sapma	0.025514
Çarpıklık	-0.046280
Basıklık	7.387619
Jarque-Bera	6006.641
Olasılık	0.000000

Yukarıda Tablo 4.1’de verilen sonuçlardan görülebileceği üzere 7485 adet getiri verisi için dağılımın negatif çarpıklığa sahip olduğu görülmektedir. Bu durum, uç değerli negatif getirilerin büyüklüğünün, uç değerli pozitif getirilerin büyüklüğüne kıyasla daha fazla olduğu şeklinde yorumlanmaktadır (Urquhart ve Hudson, 2013:134). Basıklık değerinin ise 3 değerinden yüksek olduğu ve sivri (leptokurtic) özellik gösterdiği görülmektedir. Ayrıca, Jarque-Bera test istatistiğine ve olasılık değerine göre sıfır hipotezi olan normallik varsayımı %1 anlamlılık seviyesinde reddedilmekte, buna göre getirilerin normal dağılıma uymayan özellik gösterdiği anlaşılmaktadır. Dolayısıyla

çalışmada kullanılan verilerin otomatik portmanteau testine uygun olduğu söylenebilir (Charles, vd., 2017:105).

Adaptif piyasa hipotezinin sınanması amacıyla kullanılacak testlerden bir diğeri olan genelleştirilmiş spektral testin, veriler için doğrusal olmayan örüntü gösterme özelliği araması nedeniyle BIST 100 endeks getirileri için uygulanan BDS testine ilişkin sonuçlar ise aşağıda verilmiştir:

Tablo 4.2: BDS Test İstatistikleri

Gözlem Sayısı: 7485				
Boyut	BDS İstatistiği	Standart Hata	z-İstatistiği	Olasılık
2	0.027864	0.001098	25.38240	0.0000
3	0.057807	0.001744	33.15259	0.0000
4	0.079468	0.002076	38.28698	0.0000
5	0.093282	0.002163	43.13280	0.0000
6	0.100378	0.002085	48.14102	0.0000

Tablo 4.2’den görülebileceği üzere tüm boyutlar için olasılık değerleri 0.05’ten küçüktür. Dolayısıyla veri dâhilinde doğrusal olmayan örüntülerin varlığı hipotezi kabul edilmektedir. Bu nedenle veri seti için genelleştirilmiş spektral testin uygulanması mümkün olmaktadır (Gyamfi, 2018:202).

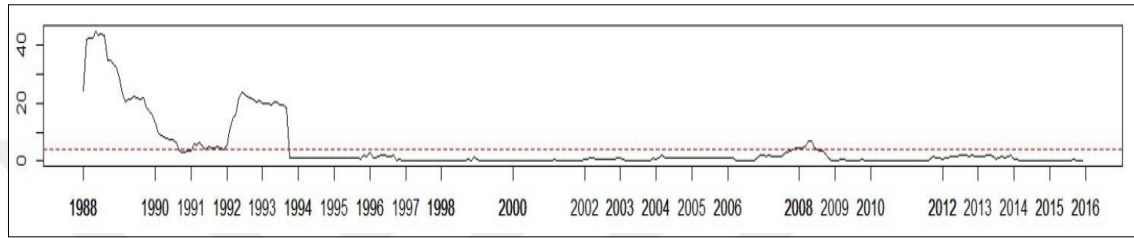
Bu doğrultuda çalışmanın devamında, Borsa İstanbul Hisse Senedi Piyasası için adaptif piyasa hipotezinin geçerliliğinin incelendiği testler ve elde edilen sonuçlara yer verilecektir. Diğer taraftan bu çalışmada kullanılan testlere ilişkin literatürde doğrudan bir kıyaslama bulunmamakta olup, her testin çıkış noktaları ve konuya yaklaşımları açısından farklı avantajlar taşıdığı ifade edilmektedir (Urquhart ve Hudson, 2013:135).

4.2.1. Otomatik Portmanteau Testi Sonuçları

BIST 100 endeksi için adaptif piyasa hipotezi geçerliliğinin testi, yukarıda ifade edildiği üzere zamanla değişen getiri tahmin edilebilirliği perspektifinden yapılmış olup analizde kullanılan getiri verileri iki yıllık kayan alt örneklem penceresi yaklaşımına göre ele alınmıştır. Kayan alt örneklem penceresi yaklaşımı, hisse senedi getiri tahmin

edilebilirliğindeki zamanla değişimlerin yakalanmasını ve dolayısıyla piyasanın hangi zaman diliminde tahmin edilebilir, hangi zaman diliminde tahmin edilemez olduğunu göstermesi açısından önem taşımaktadır (Gyamfi, 2018:198). Analizler R paket programı kullanılarak yapılmıştır. Buna göre ilk adımda yapılan otomatik portmanteau testi sonucuna ilişkin grafik aşağıda verilmiştir:

Şekil 4.3: Otomatik Portmanteau Test Sonuçları



Şekil 4.3'te, otomatik portmanteau test istatistiklerinin %5 anlamlılık düzeyinde kritik değer olan ve yatay eksene paralel kesikli çizgiyle belirtilen 3.84'e göre aldıkları değerler görülmektedir. Buna göre BIST 100 endeks getirileri Urquhart ve Hudson (2013) tarafından ifade edilen en az üç dönemlik farklı özellik göstermekte ve zamanla değişen getiri tahmin edilebilirliği açıkça görülmektedir. Bu nedenle BIST 100'ün temel gösterge olmasından yola çıkılarak Borsa İstanbul için adaptif piyasa hipotezinin geçerli olduğunu ve adaptif piyasa olarak nitelendirilebileceğini söylemek mümkün olmaktadır.

Getiri tahmin edilebilirliği açısından Şekil 4.3 incelendiğinde, özellikle Ocak 1988 ve Ocak 1991, Şubat 1991 ve Eylül 1993 dönemleri arasında yüksek derecede tahmin edilebilirlik görüntüsü söz konusu iken; Şubat 2008'e kadar test istatistiklerinin küçük değerler aldığı, bu nedenle tahmin edilebilirliğin olmadığı ifade edilebilmektedir. Şubat 2008 ve Ekim 2008 arası yine getiri tahmin edilebilirliğinden bahsedilebilmekte; Kasım 2008'den günümüze kadar ise, 2012-2014 yılları arasındaki artışa rağmen 3.84'ten küçük test istatistiklerinin görülmesi nedeniyle getiri tahmin edilebilirliğinin söz konusu olmadığı söylenebilmektedir.

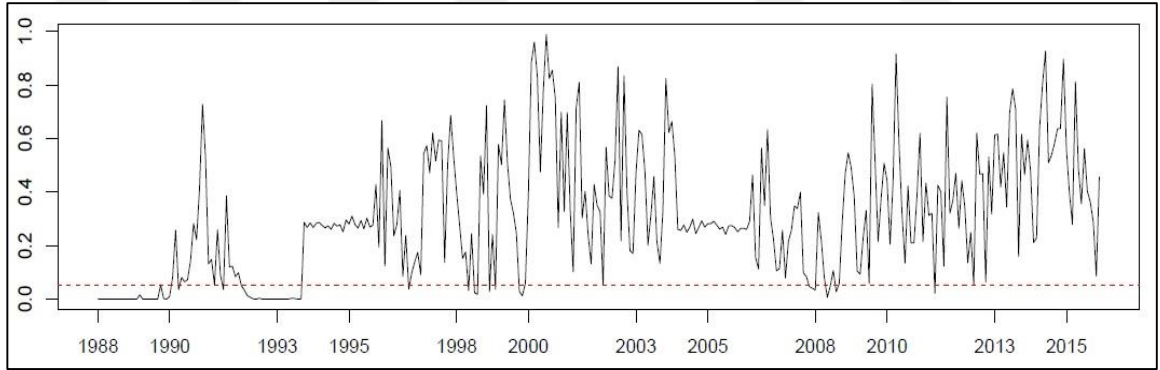
Getiri tahmin edilebilirliğinin olduğu dönemlerde Türkiye'deki genel finansal görünüm incelendiğinde, 1988-1993 döneminde Türk Lirasının aşırı değerlendiği, ithalatın artarken ihracatın yavaşlaması nedeniyle dış ticaret açığının genişlediği,

dolayısıyla cari açığın da giderek büyüdüğü görülmüştür (Şahin, 2009:213). Finansal piyasalarda bozulan istikrar sonucunda ise o dönemki adıyla İstanbul Menkul Kıymetler Borsası'nda hızlı bir düşüş yaşanmıştır (Hatiboğlu ve Aysan, 1994:51). Diğer taraftan Türkiye'de 1980'li yılların başından itibaren uygulanan finansal liberalizasyon, 1989 yılında sermaye hareketlerinin üzerinden kısıtların kaldırılmasıyla devam etmiş, tüm bu gelişmeler, Türkiye'deki finansal piyasaların kısa vadede spekülâtif kazançlara açık hale gelmesine neden olmuştur (Boratav, 2013:174-186). Benzer şekilde 2001 ve 2008 krizlerinden sonra Ekim 2008'e kadar hızla artan cari açık nedeniyle ülke ekonomisini kırılgan hale gelmiş, yine bu durum Türkiye finansal piyasalarını benzer kazançlar açısından elverişli hale getirmiştir (Yeldan, 2009:21; Boratav, 2013:213).

4.2.2. Genelleştirilmiş Spektral Test Sonuçları

Borsa İstanbul Hisse Senedi Piyasası için adaptif piyasa hipotezinin sınıandığı bir diğer test olan genelleştirilmiş spektral teste ilişkin sonuç, Şekil 4.4'te verilmektedir.

Şekil 4.4: Genelleştirilmiş Spektral Test Sonuçları



Genelleştirilmiş spektral testte yatay eksene paralel kesikli çizgi ile belirtilen 0.05 değerine göre test sonuçları verilmekte olup, burada da söz konusu değerin altında kalan dönemler için getiri tahmin edilebilirliğinden söz edilebilmektedir. Şekil 4.4'ten görülebileceği üzere 1988-2017 yılları arasında getiri tahmin edilebilirliği adına farklı nitelikteki dönemlerden bahsedilebileceğinden, hisse senedi piyasası adaptif piyasa hipotezine uygun özellik göstermektedir.

Buna göre getiri tahmin edilebilirliğinin otomatik portmanteau testine yakın sonuçlar verdiği görülmekte olup; Ocak 1988- Ocak 1990 döneminin yanı sıra, Ocak 1992-Ekim 1993 ve Aralık 2007-Aralık 2008 arası belli dönemlerde söz konusu olmaktadır.

Test sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, otomatik portmanteau testinin geliştirilmiş spektral testte görülen tahmin edilebilir dönemlerin büyük kısmını içerdiği açıkça görülmektedir. Bu nedenle ilgili dönemlerde Türkiye'deki finansal görünümle ilgili yapılacak değerlendirmelerin bölüm 4.2.1.'dekine benzer şekilde olacağı söylenebilir.

4.3. BIST 100 ENDEKSİ VE SEÇİLİ MAKROEKONOMİK DEĞİŞKENLER İÇİN GİZLİ MARKOV MODELİ UYGULAMASI

Bu bölümde uygulaması yapılan iki testin ortak olarak getiri tahmin edilebilirliği sonucunu verdiği dönemler için gizli Markov modeliyle analizleri yapılmıştır. Getiri tahmin edilebilirliğinin olduğu dönemler Şubat 1991-Eylül 1993 ve Şubat 2008-Ekim 2008 olarak belirlenmiştir. Analiz yapılan her bir dönem için son iki ay verileri kullanılmayarak her bir dönemin son iki ayı tahmin edilmiş ve gerçek değerlerle karşılaştırılması yapılarak yorumlanmıştır.

4.3.1. Şubat 1991- Eylül 1993 Dönemi İçin Modelin Kurulması

Kullanılan gizli Markov modelinde Dolar kuru, para arzı (M1) ve tüketici fiyat endeksi (TÜFE) değişkenleri modelin durumlarını, BIST 100 endeks değeri ise gözlem serisini ifade etmektedir. Uygulama verileri Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası Elektronik Veri Dağıtım Sistemi'nden elde edilmiş olup, tüm değişkenler adına veri elde edilebilirliği gözetilerek veri aralığı 1991-2017 yılları aylık verileri olarak belirlenmiştir. Söz konusu uygulamanın analizleri Matlab paket programı ile yapılmıştır.

Analizlerin başlangıcında her bir dönem için bir önceki aya göre gözlem ve durum verilerine ilişkin değişim oranları;

$$\frac{(\text{mevcut aya ilişkin değer} - \text{önceki aya ilişkin değer}) \times 100}{\text{önceki aya ilişkin değer}} \quad (4.2)$$

formülü ile hesaplanmış olup, böylelikle bu değerlerle her bir durum ve gözlem serisi için değişim oran serileri elde edilmiştir.

Dört gruba ayrılan her bir seride öncelikle pozitif (artış) ve negatif (azalış) değerlere ilişkin aritmetik ortalamalar hesaplanmış, gruplar daha sonra seri dâhilindeki değerlerin ortalama altı, sıfır ile artış veya azalış ortalamaları arası ve ortalama üstü olmalarına göre elde edilmiş, bu doğrultuda her bir gruba ayrı ayrı sembol atamaları yapılmıştır. Durumlar için belirlenen her bir sembolün, ele alınan durum için alt durumları ifade ettiği ayrıca söylenebilir.

İlk olarak ele alınan Şubat 1991- Eylül 1993 BIST 100 gözlem serisine ilişkin pozitif değerlerinin ortalaması 14.55919, negatif değerlerin ortalaması ise -8.37184 olarak elde edilmiştir. Söz konusu dönem için oluşturulan gruplar ve sembolleri Tablo 4.3'te verilmektedir.

Tablo 4.3: Şubat 1991- Eylül 1993 BIST 100 Gözlem Serisi İçin Sembol Atamaları

Değişim Oran Değerleri	Sembol Atamaları
$\text{Değişim Oranı} \geq 14.55919$	A1
$0 \leq \text{Değişim Oranı} < 14.55919$	A2
$-8.37184 < \text{Değişim Oranı} < 0$	A3
$\text{Değişim Oranı} \leq -8.37184$	A4

Tablo 4.3'te verilen gruplandırmaya göre gözlem serisi (A1, A2, A3, A4) şeklinde belirlenmiş olup, A1 serideki pozitif değerlerin ortalamasından fazla artışı, A2 sembolü ortalamadan daha az artışı göstermekte iken; A3, serideki negatif değerlerin ortalamasından daha az azalışı ve A4 sembolü ise ortalamadan daha fazla azalışı göstermektedir. Bu doğrultuda A1 ve A2 sembollerinin pozitif değişimleri, A3 ve A4 sembollerinin ise negatif değişimleri gösterdiği ifade edilebilmektedir.

Durumlardan ilki olan Dolar kuru için Şubat 1991- Eylül 1993 döneminde negatif değişim söz konusu olmayıp pozitif değerlerin ortalaması 4.422869 olarak elde edilmiştir. Buna göre oluşturulan gruplar ve sembolleri Tablo 4.4'te verilmektedir.

Tablo 4.4: Şubat 1991- Eylül 1993 Dolar Kuru Durum Serisi İçin Sembol Atamaları

Değişim Oran Değerleri	Sembol Atamaları
Değişim Oranı ≥ 4.422869	B1
$0 \leq$ Değişim Oranı < 4.422869	B2

Dolar kuru durum serisi (B1, B2) şeklinde oluşturulmuş olup B1 ve B2, serideki pozitif değişimleri ifade etmektedir. Buna göre B1, serideki pozitif ortalamadan fazla artışı, B2 ise pozitif ortalamadan az artışı göstermektedir.

Bir diğer durum olan para arzı değişkeninin Şubat 1991- Eylül 1993 dönemi pozitif değerlerinin ortalaması 7.172406, negatif değerlerinin ortalaması ise -5.59508'dir. Bu doğrultuda oluşturulan grup ve atanan semboller, Tablo 4.5'te verilmiştir:

Tablo 4.5: Şubat 1991- Eylül 1993 Para Arzı Durum Serisi İçin Sembol Atamaları

Değişim Oran Değerleri	Sembol Atamaları
Değişim Oranı ≥ 7.172406	C1
$0 \leq$ Değişim Oranı < 7.172406	C2
$-5.59508 <$ Değişim Oranı < 0	C3
Değişim Oranı ≤ -5.59508	C4

Tablo 4.5'e göre para arzı durum serisi (C1, C2, C3, C4) şeklinde belirlenmiş olup C1, serideki pozitif ortalamadan fazla artışı, C2 ise pozitif ortalamadan az artışı göstermektedir. C3 negatif ortalamadan az azalışı ve C4 ise negatif ortalamadan fazla azalışı ifade etmektedir. Önceki gruplandırmalara benzer şekilde C1 ve C2 pozitif, C3 ve C4 ise negatif değişimleri işaret etmektedir.

Son durum olan TÜFE değişkenine ilişkin serinin pozitif değerlerinin ortalaması 4.390244 olup, Dolar kuru değişkenin benzer şekilde bu seride de negatif yönde değişim bulunmamaktadır. Buna göre gruplar ve sembolleri Tablo 4.6'da verilmiştir:

Tablo 4.6: Şubat 1991- Eylül 1993 TÜFE Durum Serisi İçin Sembol Atamaları

Değişim Oran Değerleri	Sembol Atamaları
Değişim Oranı ≥ 4.390244	D1
$0 \leq$ Değişim Oranı < 4.390244	D2

Tablo 4.6’da verilen TÜFE durum serisi (D1, D2) şeklinde oluşturulmuş olup D1 ve D2, serideki pozitif değişimleri gösterirken; D1, ortalamadan fazla artışı, D2 ise ortalamadan az artışı belirtmektedir. Buna göre her bir durum için alt durumlar (B1, B2), (C1, C2, C3, C4) ve (D1, D2) olarak belirtilebilir.

Ancak her durum için belirlenen alt durumların birbirileri arasında geçiş mümkün olmakla birlikte, bir alt durumun diğer bir alt durum kümesine geçişi mümkün olmamaktadır. Bu nedenle Öz (2009) ve Yılmaz (2015) tarafından belirtildiği üzere durumlara ait alt durumlar arası geçişin sağlanması için bir düzenlemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda alt durum kombinasyonlarını içeren yeni bir durumlar kümesinin oluşturulması gerekmektedir. Buna göre oluşturulan yeni durumlar kümesi, aşağıda yer alan Tablo 4.7’de verilmektedir:

Tablo 4.7: Alt Durumlar Kümesine Göre Oluşturulan Yeni Durumlar Kümesi

Dolar Alt Durumlar	Kuru Alt Durumlar	Para Arzı TüFE Alt Durumlar	Ortak Durum Sembolü	Dolar Alt Durumlar	Kuru Alt Durumlar	Para Arzı TüFE Alt Durumlar	Ortak Durum Sembolü
B1	C1	D1	X1	B3	C1	D1	X33
B1	C1	D2	X2	B3	C1	D2	X34
B1	C1	D3	X3	B3	C1	D3	X35
B1	C1	D4	X4	B3	C1	D4	X36
B1	C2	D1	X5	B3	C2	D1	X37
B1	C2	D2	X6	B3	C2	D2	X38
B1	C2	D3	X7	B3	C2	D3	X39
B1	C2	D4	X8	B3	C2	D4	X40
B1	C3	D1	X9	B3	C3	D1	X41
B1	C3	D2	X10	B3	C3	D2	X42
B1	C3	D3	X11	B3	C3	D3	X43
B1	C3	D4	X12	B3	C3	D4	X44
B1	C4	D1	X13	B3	C4	D1	X45
B1	C4	D2	X14	B3	C4	D2	X46
B1	C4	D3	X15	B3	C4	D3	X47
B1	C4	D4	X16	B3	C4	D4	X48
B2	C1	D1	X17	B4	C1	D1	X49
B2	C1	D2	X18	B4	C1	D2	X50
B2	C1	D3	X19	B4	C1	D3	X51
B2	C1	D4	X20	B4	C1	D4	X52
B2	C2	D1	X21	B4	C2	D1	X53
B2	C2	D2	X22	B4	C2	D2	X54
B2	C2	D3	X23	B4	C2	D3	X55
B2	C2	D4	X24	B4	C2	D4	X56
B2	C3	D1	X25	B4	C3	D1	X57
B2	C3	D2	X26	B4	C3	D2	X58
B2	C3	D3	X27	B4	C3	D3	X59
B2	C3	D4	X28	B4	C3	D4	X60
B2	C4	D1	X29	B4	C4	D1	X61
B2	C4	D2	X30	B4	C4	D2	X62
B2	C4	D3	X31	B4	C4	D3	X63
B2	C4	D4	X32	B4	C4	D4	X64

Tablo 4.7 incelendiğinde alt durumlara göre yeni durum değişkenlerinin alacağı semboller görülmektedir. Dolayısıyla Şubat 1991- Eylül 1993 ve Şubat 2008-Ekim 2008 dönemlerinin ele alındığı analizde yer alan herhangi bir ay için Dolar kuru, para arzı ve TÜFE için ilgili pozitif ortalamalarından fazla artış olması halinde yeni durum değişkeni X1 ile ifade edilecektir. Benzer bakış açısı, diğer yeni durum değişkenleri için de geçerli olmaktadır. Buna göre tüm yeni durum değişkenleri, gözlem değişkeni için belirleyici alt

durumları içermesi nedeniyle gizli Markov modelindeki gizli durumlar olarak adlandırılmaktadır.

Böylece Şubat 1991- Eylül 1993 dönemi için her bir ayda oluşan durumun, Markovyen varsayıma uygun olarak yalnızca bir önceki ayda gerçekleşen duruma bağlı olması nedeniyle geçiş olasılıkları matrisi elde edilmiş olup, söz konusu matris EK-1’de verilmiştir. Tablo 4.7’de yer alan 64 adet yeni durum değişkenine bağlı olarak 64x64 boyutunda bir matris elde edilmesi gerekmekte iken ele alınan dönem için gerçekleşmeyen yeni durumların söz konusu olması ve bu durumların tablodan çıkarılması nedeniyle matris 12x12 boyutunda elde edilmiştir.

Gözlem olasılıkları ise geçiş olasılıkları matrisinin durumlarına göre oluşmakta, kısaca herhangi bir gizli durum oluştuğunda buna karşılık olarak yukarıda ifade edilen A1, A2, A3, A4 gözlemlerinden biri ortaya çıkmakta ve böylece gözlem olasılıkları matrisi elde edilmektedir. Gözlem olasılıkları matrisi EK-2’de verilmiştir. Bir diğer önemli bileşen olan başlangıç durum olasılıkları ise model içeriğindeki durumlar arası herhangi bir üstünlük olmadığı için birbirilerine eşit olarak alınmıştır.

4.3.2. Şubat 1991- Eylül 1993 Dönemi İçin Değerlendirme Probleminin Çözümü

Şubat 1991- Eylül 1993 dönemi için değerlendirme probleminin çözümü, verili A1, A2, A3, A4 gözlemleri ile geçiş, gözlem ve başlangıç durum olasılıkları için gözlem durum dizilimi olasılıklarının hesaplanmasını içermektedir.

Daha önce de ifade edildiği üzere ele alınan dönemin son iki ayı analize dâhil edilmeyerek tahmin edilmiş ve gerçek verilerle kıyaslandığı için ele alınan ilk dönemde Ağustos 1993 ve Eylül 1993 aylarına ilişkin tahminler yapılmıştır. Buna göre Ağustos 1993 dönemi için gözlem olasılıkları Tablo 4.8’de verilmektedir:

Tablo 4.8: Ağustos 1993 İçin Gözlem Olasılıkları Tahmini

Gözlem Sembolü	Olasılık
A1	0.5
A2	0.25
A3	0.25
A4	0

Tablo 4.8’de görülebileceği üzere 1993 yılı Ağustos ayı için ortalama üzeri artışı sembolize eden A1 gözlemi 0.5 ile en yüksek olasılık değerine sahip olmakta, bunu takiben pozitif ortalama altı artış ve negatif ortalama altı azalışı gösteren A2 ve A3 gözlemlerinin ise 0.25 olasılık değerleriyle ortaya çıkacağı tahmin edilmiştir. Söz konusu dönem için negatif ortalama üstü azalış olasılığının sıfır olması, bu gözlemin oluşmayacağı anlamına gelmektedir. Elde edilen tahminler, EK-5’te verilen gerçek gözlem ile karşılaştırıldığında söz konusu dönemde pozitif ortalama altı artış gerçekleştiği gözlenmiştir. Buna göre yapılan tahminin gerçek değerle birebir örtüşmemekle birlikte aynı yönde ve yakın bir sonucu içerdiği söylenebilmektedir.

Ağustos 1993 dönemi için A4 olasılığı, sıfır olması nedeniyle analizin devamına dâhil edilmemiş olup, Ağustos 1993, Eylül 1993 dönemi için yapılan gözlem olasılıkları tahmin sonuçları Tablo 4.9’da verilmektedir:

Tablo 4.9: Ağustos 1993, Eylül 1993 İçin Gözlem Olasılıkları Tahmini

Gözlem Sembolü	Olasılık	Gözlem Sembolü	Olasılık
A1, A1	0.4750	A2, A3	0.1125
A1, A2	0.1625	A2, A4	0.25
A1, A3	0.1125	A3, A1	0.4750
A1, A4	0.25	A3, A2	0.1625
A2, A1	0.4750	A3, A3	0.1125
A2, A2	0.1625	A3, A4	0.25

Tablo 4.9 incelendiğinde farklı olasılık değerleri elde edilmiş olup Eylül 1993 ayı için en yüksek olasılık değerlerinin her bir gözlem sembolü için A1 olduğu görülmektedir. Buna göre EK-5’te verilen gerçek verilerle kıyaslama yapıldığında Ağustos 1993, Eylül 1993 için A2, A1 olan gerçek değere karşılık elde edilen sonucun tutarlılığa yakın olduğu görülmektedir. Dolayısıyla EK-5’te verilen gerçekte oluşan durum Ağustos 1993 için pozitif ortalama altı artış ve Eylül 1993 için pozitif ortalama üstü artış iken, tahmin sonucunda Ağustos 1993 için pozitif ortalama üstü artış ve Eylül 1993 için pozitif ortalama üstü artış şeklinde gerçeğe yakın bir tahmine ulaşıldığı ifade edilebilir.

4.3.3. Şubat 1991- Eylül 1993 Dönemi İçin Optimal Durum Dizilimini Bulma Probleminin Çözümü

Şubat 1991- Eylül 1993 dönemi için optimal durum dizilimini bulma probleminin çözümü ise, verili gözlem durum dizilimini en yüksek olasılıkla ortaya çıkaracak gizli durum diziliminin bulunmasını amaçlamaktadır. Buna göre bölüm 4.3.2.'de tahmin yapılan ilk dönem olan Ağustos 1993 için A1 gözleminin gerçekleşme olasılığı en yüksek değer olduğu görülmüştü. Söz konusu gözlemi ortaya çıkaran gizli durumların belirlendiği optimal durum dizilimini bulma probleminin çözümüne göre A1 gözlemi için gizli durumların X25 olduğu ve bu yeni durum değişkeninin içeriğindeki alt durumların B2, C3, D1 olduğu görülmektedir.

Buna göre 1993 yılı Ağustos ayı için Dolar kurunun pozitif ortalamanın altında artış göstereceği, para arzının negatif ortalamanın altında azalış göstereceği ve TÜFE'nin ise pozitif ortalamanın üzerinde artış göstereceği tahmin edilmiştir. EK-6'da verilen gerçek verilere bakıldığında X22 durumunun, bir diğer tabirle B2, C2, D2 alt durumlarının gerçekleştiği görülmektedir.

Tahmin ve gerçekleşen değerler kıyaslandığında dolar kuru için pozitif ortalama altı artışın doğru tahmin edildiği, para arzına ilişkin tahminin gerçek değerden farklılık gösterdiği ve TÜFE değerinin gerçeğe yakın olarak artış şeklinde ancak ortalama üstü yerine ortalama altı olarak tahmin edildiği söylenebilmektedir.

Ağustos 1993, Eylül 1993 dönemi için yapılan optimal durum dizilimini bulma problemi tahmini Tablo 4.10'da verilmektedir:

Tablo 4.10: Ağustos 1993, Eylül 1993 İçin Optimal Durum Dizilimi Tahmini

Gözlem Sembolü	Optimal Durum Dizilimi Tahmini	Alt Durumlar
A1, A1	X25, X22	B2, C3, D1 – B2, C2, D2
A1, A2	X25, X17	B2, C3, D1 – B2, C1, D1
A1, A3	X25, X25	B2, C3, D1 – B2, C3, D1
A1, A4	X25, X22	B2, C3, D1 – B2, C2, D2
A2, A1	X25, X22	B2, C3, D1 – B2, C2, D2
A2, A2	X25, X17	B2, C3, D1 – B2, C1, D1
A2, A3	X25, X25	B2, C3, D1 – B2, C3, D1
A2, A4	X25, X22	B2, C3, D1 – B2, C2, D2
A3, A1	X25, X22	B2, C3, D1 – B2, C2, D2
A3, A2	X25, X17	B2, C3, D1 – B2, C1, D1
A3, A3	X25, X25	B2, C3, D1 – B2, C3, D1
A3, A4	X25, X22	B2, C3, D1 – B2, C2, D2

Bölüm 4.3.2’de, Ağustos ve Eylül ayları için birlikte yapılan tahminde en yüksek olasılıklar, Ağustos ayı için gerçekte A2’nin söz konusu olduğu bilgisi dâhilinde, tahmin bazında Ağustos ayı ister A1, A2 ya da A3 olsun, Eylül ayında A1 gözleminin gerçekleşeceğini gösteren dizilere ait olduğu belirlenmişti. Eylül ayı için gerçekteki durum dizilimi, B2, C2, D1 olup, Tablo 4.10’dan görülebileceği üzere benzer bir durum, optimal durum dizilimini bulma problemi için de geçerlidir. Yapılan analize göre Ağustos ayı A1, A2 ya da A3’den biri olsa dahi Eylül ayı için X22 durumu, yani B2, C2, D2 alt durumları tahmin edilmiştir.

Buna göre tahmin sonuçları gizli durumlar için EK-6’da verilen gerçek verilerle kıyaslandığında, Dolar kurunun Eylül ayında pozitif ortalama altında artış göstereceği şeklindeki tahminin doğru olduğu, benzer şekilde para arzında pozitif ortalama altında artış tahmininin de gerçeğe uygun olduğu, TÜFE için pozitif ortalama altında artış tahmininin ise gerçekte pozitif ortalama üstü artış olarak gerçekleştiği söylenebilmektedir.

Bu doğrultuda adaptif piyasa hipotezine göre tahmin edilebilirliğin mümkün olduğu Şubat 1991-Eylül 1993 dönemi için yapılan gizli Markov modeli analizinde, tahminlerin gerçeğe oldukça yakın bir şekilde sonuç verdiği söylenebilmektedir.

4.3.4. Şubat 2008- Ekim 2008 Dönemi İçin Modelin Kurulması

Bu kısımda diğer bir tahmin edilebilir dönem olan Şubat 2008-Ekim 2008 BIST 100 gözlem serisine ilişkin tahminler yapılmıştır. Söz konusu dönemde pozitif değerlerinin ortalaması 6.862312, negatif değerlerin ortalaması ise -8.9751 olarak elde edilmiştir. Söz konusu dönem için oluşturulan gruplar ve sembolleri Tablo 4.11’de yer almaktadır:

Tablo 4.11: Şubat 2008- Ekim 2008 BIST 100 Gözlem Serisi İçin Sembol Atamaları

Değişim Oran Değerleri	Sembol Atamaları
$\text{Değişim Oranı} \geq 6.862312$	A1
$0 \leq \text{Değişim Oranı} < 6.862312$	A2
$-8.9751 < \text{Değişim Oranı} < 0$	A3
$\text{Değişim Oranı} \leq -8.9751$	A4

Tablo 4.11’de ifade edilen gruplandırmaya göre gözlem serisi (A1, A2, A3, A4) şeklinde belirlenmiş olup, önceki uygulamadakine benzer şekilde A1 serideki pozitif değerlerin ortalamasından fazla artışı, A2 sembolü ortalamadan daha az artışı göstermektedir. A3, serideki negatif değerlerin ortalamasından daha az azalışı ve A4 sembolü ise negatif ortalamadan daha fazla azalışı göstermekte ve bu doğrultuda A1 ve A2 sembollerinin pozitif değişimleri, A3 ve A4 sembollerinin ise negatif değişimleri ifade etmektedir.

İlk durum olan Dolar kuru için Şubat 2008- Ekim 2008 döneminde pozitif değerlerin ortalaması 6.971529 iken negatif değerlerin ortalaması ise -2.47719 olarak elde edilmiştir. Buna göre oluşturulan gruplar ve sembolleri Tablo 4.12’te verilmektedir.

Tablo 4.12: Şubat 2008- Ekim 2008 Dolar Kuru Durum Serisi İçin Sembol Atamaları

Değişim Oran Değerleri	Sembol Atamaları
$\text{Değişim Oranı} \geq 6.971529$	B1
$0 \leq \text{Değişim Oranı} < 6.971529$	B2
$-2.47719 < \text{Değişim Oranı} < 0$	B3
$\text{Değişim Oranı} \leq -2.47719$	B4

Tablo 4.12’den görülebileceği üzere, Dolar kuru durum serisi (B1, B2, B3, B4) şeklinde oluşturulmuş olup B1 ve B2, serideki pozitif; B3 ve B4 ise negatif değişimleri ifade etmektedir. Buna göre B1, serideki pozitif ortalama dan fazla artışı, B2 ise pozitif ortalama dan az artışı göstermektedir. B3, negatif ortalama dan az azalışı ve B4 ise negatif ortalama dan fazla azalışı ifade etmektedir.

Modeldeki ikinci durum olan para arzı değişkeninin Şubat 2008-Ekim 2008 dönemi pozitif değerlerinin ortalaması 4.908061, negatif değerlerinin ortalaması ise -1.6306’dır. Bu doğrultuda oluşturulan grup ve atanan semboller, aşağıda verilen Tablo 4.13’te yer almaktadır:

Tablo 4.13: Şubat 2008- Ekim 2008 Para Arzı Durum Serisi İçin Sembol Atamaları

Değişim Oran Değerleri	Sembol Atamaları
$\text{Değişim Oranı} \geq 4.908061$	C1
$0 \leq \text{Değişim Oranı} < 4.908061$	C2
$-1.6306 < \text{Değişim Oranı} < 0$	C3
$\text{Değişim Oranı} \leq -1.6306$	C4

Tablo 4.13’e göre para arzı durum serisi (C1, C2, C3, C4) şeklinde elde edilmiş olup C1, serideki pozitif ortalama dan fazla artışı, C2 ise pozitif ortalama dan az artışı göstermektedir. C3 negatif ortalama dan az azalışı, C4 ise negatif ortalama dan fazla azalışı ifade etmektedir. Önceki gruplandırmalara benzer şekilde C1 ve C2 pozitif, C3 ve C4 ise negatif değişimleri işaret etmektedir.

Modeldeki üçüncü ve son durum olan TÜFE değişkenine ilişkin serinin pozitif değerlerinin ortalaması 1.292083 olup, negatif değerlerin ortalaması ise -0.29948’dir. Söz konusu değerler için atanan gruplar ve sembolleri Tablo 4.14’te verilmektedir:

Tablo 4.14: Şubat 2008- Ekim 2008 TÜFE Durum Serisi İçin Sembol Atamaları

Değişim Oran Değerleri	Sembol Atamaları
$\text{Değişim Oranı} \geq 1.292083$	D1
$0 \leq \text{Değişim Oranı} < 1.292083$	D2
$-0.29948 < \text{Değişim Oranı} < 0$	D3
$\text{Değişim Oranı} \leq -0.29948$	D4

Tablo 4.14’te verilen TÜFE durum serisi (D1, D2, D3, D4) şeklinde oluşturulmuştur. Yukarıda ifade edilen ayrımlara benzer şekilde D1 ve D2, serideki pozitif değişimleri gösterirken, D3 ve D4 negatif değişimleri göstermektedir. D1, pozitif ortalamadan fazla artışı, D2 pozitif ortalamadan az artışı belirtmektedir. D3, negatif ortalamadan az azalışı, D4 ise negatif ortalamadan fazla azalışı ifade etmektedir

Dolayısıyla alt durumlar (B1, B2, B3, B4), (C1, C2, C3, C4) ve (D1, D2, D3, D4) olarak belirtilebilir. İlk döneme ilişkin uygulamaya benzer şekilde alt durum kombinasyonlarını içeren yeni bir durumlar kümesinin kullanılması gerekmekte olup yeni durumlar kümesi için yine bölüm 4.3.1’de verilen Tablo 4.7 kullanılmıştır.

Tablo 4.7 incelendiğinde alt durumlara göre yeni durum değişkenin alacağı semboller görülebilmektedir. Bu doğrultuda analiz dâhilindeki dönem için her bir ayda oluşan durumun, yine Markovyen varsayıma uygun olarak yalnızca bir önceki ayda gerçekleşen duruma bağlı olması nedeniyle geçiş olasılıkları matrisi elde edilmiş olup, söz konusu matris EK-3’te verilmiştir. Ele alınan dönem için gerçekleşmeyen yeni durumların söz konusu olması ve bu durumların tablodan çıkarılması nedeniyle matris 6x6 boyutunda elde edilmiştir.

Analizin devamında gözlem olasılıkları matrisi elde edilmiş olup EK-4’te verilmiştir. Başlangıç durum olasılıkları, model içeriğindeki durumlar arası herhangi bir üstünlük olmadığı için bu döneme ilişkin analizde de birbirilerine eşit olarak alınmıştır.

4.3.5. Şubat 2008- Ekim 2008 Dönemi İçin Değerlendirme Probleminin Çözümü

Şubat 2008-Ekim 2008 dönemi için değerlendirme probleminin çözümü, bölüm 4.3.2’de yapıldığı gibi, verili A1, A2, A3, A4 gözlemleri ve geçiş, gözlem, başlangıç durum olasılıkları için gözlem durum dizilimi olasılıklarının hesaplanmasını içermektedir.

Ele alınan dönemin son iki ayı analize dâhil edilmeden tahmin edilmekte ve gerçek verilerle kıyaslanmaktadır. Bu nedenle analizde Eylül 2008 ve Ekim 2008 aylarına ilişkin tahminler yapılmıştır.

Buna göre 2008 yılı Eylül dönemi için gözlem olasılıkları Tablo 4.15’te verilmektedir:

Tablo 4.15: Eylül 2008 İçin Gözlem Olasılıkları Tahmini

Gözlem Sembolü	Olasılık
A1	0
A2	0
A3	0
A4	1

Tablo 4.15’ten görülebileceği üzere 2008 yılı Eylül ayı için A1, A2, A3 gözlemleri için olasılıklar sıfır olarak tahmin edilmiştir. Dolayısıyla, söz konusu dönem için bu gözlemlerin oluşmayacakları ifade edilebilir. Bu durumda olasılığı 1 olarak tahmin edilen A4 gözleminin gerçekleşmesi beklenirken, gerçekleşen gözlemin de, EK-7’de verildiği üzere A4 olduğu görülmüştür. Dolayısıyla Eylül 2008’de, Ağustos 2008’e göre negatif ortalamanın üzerinde azalış gerçekleştiği ve yapılan tahminin gerçek değerle birebir örtüşmekte olduğu söylenebilmektedir.

Eylül 2008 dönemi için A1, A2, A3 gözlem olasılıklarının sıfır olması nedeniyle analizin devamına dahil edilmemiş olup, Eylül 2008 ve Ekim 2008 ayları için yapılan tahmin sonuçları Tablo 4.16’da verilmektedir:

Tablo 4.16: Eylül 2008, Ekim 2008 İçin Gözlem Olasılıkları Tahmini

Gözlem Sembolü	Olasılık
A4, A1	0
A4, A2	0
A4, A3	0
A4, A4	1

Tablo 4.16'ya göre, ilk üç gözlem olan A4, A1; A4, A2 ve A4, A3'ün gerçekleşme olasılığı sıfır olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla yapılan tahmine göre ele alınan her iki dönemde de negatif ortalama üzerinde azalış gerçekleşmesi beklenmektedir. Yani Ekim 2008 döneminde de Eylül 2008'e göre negatif ortalamanın altında azalış beklenmektedir. EK-7'de verilen gerçekleşen gözleme bakıldığında, söz konusu dönemde negatif ortalamanın altında azalış gerçekleştiği için elde edilen tahminle sonucun birebir örtüşmekte olduğu söylenebilir.

4.3.6. Şubat 2008- Ekim 2008 Dönemi İçin Optimal Durum Dizilimini Bulma Probleminin Çözümü

Şubat 2008- Ekim 2008 dönemi için optimal durum dizilimini bulma probleminin çözümünde, verili gözlem durum dizilimini en yüksek olasılıkla ortaya çıkaracak gizli durum diziliminin bulunmasını amaçlamaktadır. Bölüm 4.3.5'te verilen değerlendirme probleminin çözümünde Eylül 2008 için A4 gözleminin gerçekleşme olasılığı "1", diğer gözlemler için olasılıklar "0" değerinin almıştır. Optimal durum dizilimini bulma probleminin çözümüne göre A4 gözlemi için gizli durumların X21 olduğu ve bu yeni durum değişkeninin içeriğindeki alt durumların B2, C2, D1 olduğu Tablo 4.7'den görülmektedir.

Buna göre 2008 yılı Eylül ayı için Dolar kurunda ve para arzında pozitif ortalamanın altında artış görüleceği, TÜFE'de ise pozitif ortalamanın üzerinde artış görüleceği tahmin edilmiştir. EK-8'de yer alan gerçek verilere bakıldığında X18 durumunun, bir diğer tabirle B2, C1, D2 alt durumlarının gerçekleştiği görülmektedir. Tahmin ve gerçekleşen değerler kıyaslandığında Para arzı ve TÜFE için gerçeğe yakın bir şekilde artışın tahmin edilebildiği ancak pozitif ortalamaya göre durumunun farklı olduğu görülmektedir. Dolar kuru tahmininin ise gerçekleşen durumla birebir örtüşerek

pozitif ortalamanın üzerinde artış şeklinde tahmin edildiği söylenebilmektedir. 2008 yılı Eylül ve Ekim ayları için yapılan optimal durum dizilimini bulma problemi tahmini Tablo 4.17’de verilmektedir:

Tablo 4.17: Eylül 2008, Ekim 2008 İçin Optimal Durum Dizilimi Tahmini

Gözlem Sembolü	Optimal Durum Dizilimi Tahmini	Alt Durumlar
A4, A4	X21, X21	B2, C2, D1 – B2, C2, D1

Bölüm 4.3.5’te, 2008 yılı Eylül ve Ekim ayları için A4, A4 gözlem olasılığı bir olarak elde edilmişti. Bu nedenle Tablo 4.17’de yalnızca söz konusu gözlem için yapılan durum dizilimi tahmini yer almaktadır. Yapılan analize göre Ekim ayında B2, C2, D1 alt durumlarının tahmin edildiği görülmektedir. Söz konusu ay için EK-8’de verilen gerçekleşen durumlar ise B1, C4, D1 şeklindedir. Buna göre tahmin sonuçları gizli durumlar için gerçek verilerle kıyaslandığında, Dolar kurunun Ekim ayında pozitif ortalama altında artış göstereceği şeklindeki tahminin gerçekleşene yakın olduğu, para arzında tahminin gerçekleşene örtüşmediği, TÜFE için pozitif ortalama üstünde artış tahmininin ise gerçeğe birebir örtüştüğü söylenebilir.

Bu doğrultuda adaptif piyasa hipotezine göre tahmin edilebilirliğin mümkün olduğu Şubat 2008-Ekim 2008 dönemi için yapılan gizli Markov modeli analizinde, tahminlerin yine gerçeğe oldukça yakın bir şekilde sonuç verdiği söylenebilmektedir. Tahmini yapılan tüm dönemler için elde edilen sonuçlar aşağıda verilen Tablo 4.18’de özetlenmektedir:

Tablo 4.18: Şubat 1991-Eylül 1993 ve Şubat 2008-Ekim 2008 Dönemleri İçin Gizli Markov Modeli Uygulamaları Özet Sonuçları

Şubat 1991 - Eylül 1993 Dönemi		
	Ağustos 1993 Tahmin Değeri	Ağustos 1993 Gerçekleşen Değer
BIST 100 Endeksi	Pozitif Ortalama Üstü Artış	Pozitif Ortalama Altı Artış
Dolar Kuru	Pozitif Ortalama Altı Artış	Pozitif Ortalama Altı Artış
Para Arzı	Negatif Ortalama Altı Azalış	Pozitif Ortalama Altı Artış
TÜFE	Pozitif Ortalama Üstü Artış	Pozitif Ortalama Altı Artış
Şubat 2008 - Ekim 2008 Dönemi		
	Eylül 2008 Tahmin Değeri	Eylül 2008 Gerçekleşen Değer
BIST 100 Endeksi	Pozitif Ortalama Üstü Artış	Pozitif Ortalama Üstü Artış
Dolar Kuru	Pozitif Ortalama Altı Artış	Pozitif Ortalama Altı Artış
Para Arzı	Pozitif Ortalama Altı Artış	Pozitif Ortalama Altı Artış
TÜFE	Pozitif Ortalama Altı Artış	Pozitif Ortalama Üstü Artış
	Ekim 2008 Tahmin Değeri	Ekim 2008 Gerçekleşen Değer
BIST 100 Endeksi	Negatif Ortalama Altı Azalış	Negatif Ortalama Altı Azalış
Dolar Kuru	Pozitif Ortalama Altı Artış	Pozitif Ortalama Üstü Artış
Para Arzı	Pozitif Ortalama Altı Artış	Negatif Ortalama Altı Azalış
TÜFE	Pozitif Ortalama Üstü Artış	Pozitif Ortalama Üstü Artış

Tablo 4.18’den görülebileceği üzere, BIST 100 endeksi, Dolar kuru ve TÜFE değişken değerlerinin gizli Markov modeli kullanılarak oldukça tutarlı biçimde tahmin edildiği; ancak para arzı değişkeni için yapılan tahminlerin bazı dönemlerde diğer değişkenlere nazaran daha farklı sonuç verdiği görülmektedir. Dolayısıyla, büyük oranda tutarlılığın sağlanmış olması, adaptif piyasa hipotezi bağlamında gizli Markov modellerinin kullanılabilirlik açısından olumlu bir görünüm sergilediği şeklinde yorumlanabilmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Kusursuz bir finansal piyasada, borç verenler ve borç alanlar arası fon transferinin maliyetsiz olması durumunda yönetimsel etkinlikten; kaynakların optimum paylaşımı söz konusu olduğunda ise dağıtımsal etkinlikten bahsedilmektedir. Bilgisel etkinlik durumunda ise piyasadaki fiyatların tüm bilgiyi tamamen ve anında yansıtması söz konusudur. Bu doğrultuda etkin piyasa hipotezinin, bilgisel açıdan etkinliği vurguladığı ifade edilmektedir. Dolayısıyla yönetimsel ve/veya dağıtımsal açıdan etkin olmayan bir piyasanın, etkin piyasa hipotezini doğrular nitelikte özellik göstermesi mümkün olmaktadır. Etkin piyasa hipotezinin, bilgisel etkinliğe ek olarak rassal yürüyüş modelini ve piyasadaki yatırımcıların rasyonel olarak hareket edeceği varsayımını temel alan ve bu nedenle yatırımcıların geçmiş fiyatlardan hareketle normalden fazla getiri elde edemeyeceğini savunan bir yaklaşım olduğu söylenebilir. Ortaya atıldığından bu yana finansal literatürde geniş bir yelpazede araştırmalara konu olan etkin piyasa hipotezi, günümüze kadar gerek bilgisel yaklaşımı, gerekse insan rasyonelliği varsayımı açısından farklı eleştirilere maruz kalmıştır.

Adaptif piyasa hipotezi, söz konusu eleştiriler dahilinde karşıt bir hipotez olarak öne sürülen ve piyasayı gerek koşullar, gerekse yatırımcılar açısından farklı bir perspektifte ele alan bir yaklaşım olarak ifade edilebilir. Son yıllarda birçok çalışmaya konu olan adaptif piyasa hipotezi, temel olarak insan davranışının ne kusursuz bir şekilde rasyonel ne de tamamen irrasyonel olduğunu, piyasaların ise evrimsel bakış açısına ve dolayısıyla rekabet koşullarına göre en uyumlu olanın yaşamını sürdürmesine imkân verdiğini belirtmektedir. Piyasadaki fiyatların koşullar ve yatırımcılarca belirlendiği kadar bilgi içerdiği bir ortamda normalden fazla getiri fırsatları için girilen rekabet, yatırımcıları ayakta kalmaya itecek, böylece yeni fırsatlar yaratılmaya devam ederken, bazı fırsatlar ve yatırımcılar da ortadan kalkacaktır. Bu doğrultuda, literatürde adaptif piyasa hipotezinin sınırdışı çalışmaları, hipotezin en önemli noktası olan normalden fazla getiri için rekabeti, dolayısıyla getiri tahmin edilebilirliğinin test edilmesini odak noktası olarak almıştır.

Her ne kadar öne sürüldüğü 2004 yılından bu yana birçok araştırmaya konu olsa da, adaptif piyasa hipotezinin yalnızca ülkemiz Borsa İstanbul Hisse Senedi Piyasası için incelendiği bir çalışma henüz literatürde yer almamaktadır. Bu doğrultuda tezin ilk amacı,

Borsa İstanbul Hisse Senedi Piyasası için söz konusu hipotezin sınanmasıdır. Adaptif piyasa hipotezinin getiri tahmin edilebilirliği üzerinden değerlendirilmesine uygun olarak bu çalışmanın bir diğer amacı, incelenen dönem dahilinde getiri tahmin edilebilirliğinin söz konusu olduğu zaman aralıkları için yine literatürde bu hipotez bağlamında uygulaması bulunmayan gizli Markov modellerinin kullanılması olarak ifade edilebilir.

Çalışmada ilk olarak Borsa İstanbul Hisse Senedi Piyasası'nın adaptif piyasa hipotezine uygun özellik gösterip göstermediği, hipotezin sınanmasında literatürde sıklıkla kullanılan otomatik portmanteau ve genelleştirilmiş spektral testlerinin piyasanın temel göstergesi olarak kabul edilen BIST 100 endeksine ilişkin 4 Ocak 1988 ve 18 Aralık 2017 arası günlük kapanış verilerine uygulanmasıyla incelenmiştir. Uygulanan testler, zaman içinde endeks değerlerindeki değişimin yakalanması, dolayısıyla piyasanın hangi zaman aralıklarında tahmin edilebilir hangi zaman aralıklarında tahmin edilemez olduğunun belirlenmesi için literatürde önerilen iki yıllık kayan altörneklem penceresi yaklaşımı dahilinde ele alınmıştır.

İlk olarak uygulanan otomatik portmanteau testinin sonucuna göre, ele alınan dönemde Borsa İstanbul Hisse Senedi Piyasası'nın, adaptif piyasa hipotezinin geçerliliğini kanıtlayan en az üç farklı getiri tahmin edilebilirliği sağlayan dönemi içerdiği görülmüştür. Buna göre piyasada, Ocak 1998-Ocak 1991, Şubat 1991-Eylül 1993 ve Şubat 2008-Ekim 2008 dönemlerinde getiri tahmin edilebilirliğinin söz konusu olmaktadır.

Adaptif piyasa hipotezinin sınıandığı bir diğer test olan genelleştirilmiş spektral testin sonucuna göre ise Ocak 1988-Ocak 1990, Ocak 1992-Ekim 1993 ve Aralık 2007-Aralık 2008 dönemleri için Borsa İstanbul Hisse Senedi Piyasası'nda getiri tahmin edilebilirliği söz konusudur. Sonuç olarak uygulamanın birinci bölümünden elde edilen test sonuçlarına göre Borsa İstanbul Hisse Senedi Piyasası'nın adaptif piyasa hipotezini doğrular özellik gösterdiği ifade edilebilir.

Elde edilen sonuçlara tarihsel olarak bakıldığında, Türkiye'de 1980'li yılların başından itibaren uygulanan finansal liberalizasyon politikaları, 1989 yılında sermaye hareketlerinin üzerinden kısıtların kaldırılmasıyla devam etmiştir. Diğer taraftan getiri tahmin edilebilirliğinin söz konusu olduğu 1988, 1993 ve 2008 yıllarında Türkiye ekonomisi, dış ticaret açığıyla birlikte cari açığın da genişlediği, finansal piyasalarda

istikrarın bozulduğu süreçler yaşamıştır. Bu doğrultuda tüm bu gelişmelerin, Türkiye'deki finansal piyasaların kısa vadede spekülasyon kazançlara açık hale gelmesine neden olduğu söylenebilir.

Çalışmanın diğer bir amacını teşkil eden, ele alınan zaman diliminde getiri tahmin edilebilirliğinin olduğu dönemler için gizli Markov modeli uygulamasının yapıldığı ikinci bölümde, BIST 100 endeksini etkileyen değişkenler literatür taraması ve uzman görüşleri dikkate alınarak Dolar kuru, para arzı (M1) ve TÜFE olarak belirlenmiştir. Buna göre kurulan gizli Markov modelinde BIST 100 endeks değişkeni modelin gözlemi oluşturmakta iken Dolar kuru, para arzı (M1) ve TÜFE değişkenleri ise modelin durumları olarak belirlenmiştir. Önceki uygulamadan elde edilen sonuçlara istinaden otomatik portmanteau testinin diğer testlerdeki getiri tahmin edilebilirliğinin olduğu dönemleri de içermesi nedeniyle, söz konusu dönemler veri elde edilebilirliği de gözetilerek Şubat 1991-Eylül 1993 ve Şubat 2008-Ekim 2008 olarak belirlenmiştir. Ele alınan her iki dönem için son iki ay verileri kullanılmamış olup, bu aylar için gözlem ve durum değişkenleri tahmin edilerek gerçek verilerle kıyaslanmıştır. Uygulamada kullanılan veriler ise 1991-2017 yılları arası aylık verileri olarak belirlenmiştir.

Gözlem ve durum değişkenlerine ilişkin serilerin değişim oranlarının belirlenmesiyle düzenlemeleri ve sembol atamalarının yapılmasını takiben geçiş, gözlem ve başlangıç durum olasılıkları hesaplanmıştır. Devamında gizli Markov modelinin birinci problemi olan değerlendirme probleminin çözümü yapılmış olup Ağustos 1993 ve Ağustos, Eylül 1993 ayları için BIST 100 endeks tahminleri elde edilmiştir. Sonraki adımda gizli Markov modelinin ikinci problemi olan optimal durum diziliminin bulunması probleminin çözümü yapılmış olup, Ağustos 1993 ve Ağustos, Eylül 1993 ayları için gizli durumlar olarak belirlenen değişkenlere ilişkin tahminler elde edilmiştir.

Benzer işlemler getiri tahmin edilebilirliğinin tespit edildiği Şubat 2008-Ekim 2008 dönemi için de yapılmış olup, Eylül 2008 ve Eylül, Ekim 2008 ayları için gözlem ve durum değişkenlerine ilişkin tahminler yapılmıştır. Sonuç olarak uygulamada elde edilen tahmin değerlerinin gerçek verilerle büyük oranda örtüşmesi sebebiyle gizli Markov modellerinin adaptif piyasa hipotezi bağlamında ve getiri tahmin edilebilirliğinin olduğu dönemlerde uygulanabilir alternatif bir yöntem olarak değerlendirilebileceği söylenebilir.

Adaptif piyasa hipotezinin sınındığı ve bu bağlamda gizli Markov modelinin kullanıldığı bu çalışma, yalnızca Borsa İstanbul Hisse Senedi Piyasası için literatürde henüz bir uygulamanın yapılmamış olması nedeniyle önem taşımaktadır. Diğer taraftan ilerleyen süreçte bu çalışmada kullanılan testler dışında ilgili literatürde yer alan diğer testlerin kullanılması, konuyla ilgilenecek araştırmacıların daha geniş bir yelpazede kıyaslama yapmasını mümkün kılacaktır. Ayrıca getiri tahmin edilebilirliğinin söz konusu olduğu dönemlerin, finansal krizler gibi piyasa koşulları bağlamında da değerlendirilebileceği, durum değişkenleri olarak alınan makroekonomik göstergelerde ve ele alınan endekslerde, ülkelerde çeşitlendirmeye gidilerek yine bu çalışmada yapılan uygulamanın farklı açılardan genişletilebileceği söylenebilir.





EKLER

EK-1: Şubat 1991-Eylül 1993 Geçiş Olasılıkları Matrisi

	X2	X5	X6	X9	X10	X13	X17	X18	X21	X22	X25	X29
X2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
X5	0	0.25	0.25	0	0.25	0	0	0.25	0	0	0	0
X6	0	0	0.5	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0
X9	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
X10	0.333333	0.666667	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X13	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X17	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0.5	0	0	0
X18	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0.4	0.2	0	0.2
X21	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0.25	0.25	0.25	0
X22	0	0	0	0	0	0	0.5	0.25	0	0.25	0	0
X25	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
X29	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

EK-2: Şubat 1991-Eylül 1993 Gözlem Olasılıkları Matrisi

	A1	A2	A3	A4
X2	0	0	1	0
X5	0	0.2	0.4	0.4
X6	0	0.5	0	0.5
X9	1	0	0	0
X10	0.333333	0	0.333333	0.333333
X13	0	1	0	0
X17	0.5	0	0	0.5
X18	0.4	0.4	0.2	0
X21	0	0.5	0.25	0.25
X22	0.5	0.25	0.25	0
X25	1	0	0	0
X29	0	1	0	0

EK-3: Şubat 2008-Ekim 2008 Geçiş Olasılıkları Matrisi

	X18	X21	X40	X42	X61	X63
X18	0	1	0	0	0	0
X21	0	1	0	0	0	0
X40	0	0	0	1	0	0
X42	0	0	0	0	0	1
X61	0	0	1	0	0	0
X63	1	0	0	0	0	0

EK-4: Şubat 2008-Ekim 2008 Gözlem Olasılıkları Matrisi

	A1	A2	A3	A4
X18	0	0	0.5	0.5
X21	0	0	0	1
X40	0	0	1	0
X42	0	0	1	0
X61	0	0	1	0
X63	1	0	0	0

EK-5: Şubat 1991-Eylül 1993 Gözlem Serisi, Değişim ve Sembolleri

Tarih	BIST 100 Endeks	Değişim	Gözlem Sembolü
1991-01	35.95		
1991-02	50.22	39.68706537	A1
1991-03	46.75	-6.904963409	A3
1991-04	42.06	-10.04206774	A4
1991-05	37.17	-11.62678018	A4
1991-06	36.16	-2.7074472	A3
1991-07	33.86	-6.351881729	A3
1991-08	33.90	0.097764441	A2
1991-09	29.45	-13.1144547	A4
1991-10	27.02	-8.238204573	A3
1991-11	33.06	22.31854945	A1
1991-12	42.10	27.34973225	A1
1992-01	47.59	13.04798514	A2
1992-02	41.66	-12.46418201	A4
1992-03	38.41	-7.786985864	A3
1992-04	39.05	1.649758048	A2
1992-05	35.29	-9.625151638	A4
1992-06	36.52	3.497287808	A2
1992-07	42.54	16.4799989	A1
1992-08	40.74	-4.244040867	A3
1992-09	42.19	3.563166234	A2
1992-10	38.24	-9.368482296	A4
1992-11	35.80	-6.359235138	A3
1992-12	39.33	9.85325675	A2
1993-01	41.23	4.82639503	A2
1993-02	53.22	29.07071222	A1
1993-03	57.72	8.471501963	A2
1993-04	69.26	19.98569826	A1
1993-05	79.43	14.67991493	A1
1993-06	101.34	27.58432819	A1
1993-07	104.27	2.888348426	A2
1993-08	105.35	1.042020226	A2
1993-09	137.52	30.53120018	A1

EK-6: Şubat 1991-Eylül 1993 Durum Serileri, Değişim ve Sembolleri

Tarih	Dolar Kuru	Değişim	Gözlem Sembolü
1991-01	2990.461		
1991-02	3136.915	4.897343	B1
1991-03	3535.914	12.71948	B1
1991-04	3787.188	7.106353	B1
1991-05	3977.377	5.021895	B1
1991-06	4212.853	5.920384	B1
1991-07	4373.28	3.808038	B2
1991-08	4503.499	2.977606	B2
1991-09	4642.221	3.080314	B2
1991-10	4836.443	4.183821	B2
1991-11	4942.762	2.198283	B2
1991-12	5049.88	2.167171	B2
1992-01	5311.946	5.189547	B1
1992-02	5663.101	6.610658	B1
1992-03	6087.846	7.500227	B1
1992-04	6416.692	5.401674	B1
1992-05	6702.417	4.452848	B1
1992-06	6875.821	2.587179	B2
1992-07	6938.443	0.910758	B2
1992-08	7087.464	2.147762	B2
1992-09	7265.983	2.518805	B2
1992-10	7552.341	3.941074	B2
1992-11	8106.991	7.344081	B1
1992-12	8343.237	2.914108	B2
1993-01	8694.378	4.208679	B2
1993-02	9031.602	3.878645	B2
1993-03	9367.877	3.723321	B2
1993-04	9539.074	1.827493	B2
1993-05	9960.69	4.419876	B2
1993-06	10539.54	5.811394	B1
1993-07	11164.26	5.92737	B1
1993-08	11623.14	4.110212	B2
1993-09	11858.55	2.025413	B2

EK-6: Şubat 1991-Eylül 1993 Durum Serileri, Değişim ve Sembolleri (Devamı)

Tarih	Para Arzı	Değişim	Gözlem Sembolü
1991-01	29336		
1991-02	28976	-1.22716	C3
1991-03	27978	-3.44423	C3
1991-04	29884	6.812496	C2
1991-05	29552	-1.11096	C3
1991-06	32991	11.63711	C1
1991-07	33331	1.030584	C2
1991-08	35398	6.201434	C2
1991-09	38129	7.715125	C1
1991-10	39479	3.540612	C2
1991-11	38581	-2.27463	C3
1991-12	46793	21.28509	C1
1992-01	39462	-15.6669	C4
1992-02	41672	5.600324	C2
1992-03	43757	5.00336	C2
1992-04	45494	3.969651	C2
1992-05	46091	1.312261	C2
1992-06	49965	8.405112	C1
1992-07	53016	6.106274	C2
1992-08	56956	7.431719	C1
1992-09	60712	6.594564	C2
1992-10	63506	4.602056	C2
1992-11	66000	3.927188	C2
1992-12	78341	18.69848	C1
1993-01	69748	-10.9687	C4
1993-02	74809	7.256122	C1
1993-03	79288	5.987248	C2
1993-04	80798	1.90445	C2
1993-05	95306	17.95589	C1
1993-06	91043	-4.47296	C3
1993-07	97362	6.940676	C2
1993-08	103839	6.652493	C2
1993-09	106684	2.739818	C2

EK-6: Şubat 1991-Eylül 1993 Durum Serileri, Değişim ve Sembolleri (Devamı)

Tarih	TÜFE	Değişim	Gözlem Sembolü
1991-01	586.4		
1991-02	618.2	5.42292	D1
1991-03	645.2	4.367519	D2
1991-04	687.5	6.556107	D1
1991-05	710.4	3.330909	D2
1991-06	731.4	2.956081	D2
1991-07	741	1.312551	D2
1991-08	770.5	3.981107	D2
1991-09	817.4	6.086957	D1
1991-10	871.3	6.594079	D1
1991-11	917	5.245036	D1
1991-12	957	4.36205	D2
1992-01	1046.7	9.373041	D1
1992-02	1099.4	5.034872	D1
1992-03	1152.9	4.866291	D1
1992-04	1196.2	3.755746	D2
1992-05	1206.7	0.87778	D2
1992-06	1212.6	0.488937	D2
1992-07	1228.6	1.319479	D2
1992-08	1275.5	3.817353	D2
1992-09	1370.5	7.44806	D1
1992-10	1474.1	7.559285	D1
1992-11	1546	4.877552	D1
1992-12	1588.3	2.736093	D2
1993-01	1672.3	5.288673	D1
1993-02	1738.8	3.976559	D2
1993-03	1821.7	4.767656	D1
1993-04	1901.6	4.386013	D2
1993-05	1991.4	4.722339	D1
1993-06	2027.9	1.832881	D2
1993-07	2126.9	4.881898	D1
1993-08	2183.7	2.670553	D2
1993-09	2305.8	5.591427	D1

EK-7: Şubat 2008-Ekim 2008 Gözlem Serisi, Değişim ve Sembolleri

Tarih	BIST 100 Endeks	Değişim	Gözlem Sembolü
2008-01	48662.1		
2008-02	44680.26	-8.18264	A3
2008-03	41450.2	-7.22927	A2
2008-04	42216.69	1.849181	A3
2008-05	41536.57	-1.61102	A3
2008-06	38311.21	-7.7651	A3
2008-07	36798.95	-3.94731	A1
2008-08	41168.99	11.87544	A4
2008-09	37103.31	-9.87558	A4
2008-10	28118.82	-24.2148	A4

EK-8: Şubat 2008-Ekim 2008 Durum Serileri, Değişim ve Sembolleri

Tarih	Dolar Kuru	Değişim	Gözlem Sembolü
2008-01	1.170436		
2008-02	1.188171	1.515252	B2
2008-03	1.232376	3.720403	B2
2008-04	1.296714	5.220654	B4
2008-05	1.246995	-3.83423	B3
2008-06	1.2278	-1.53932	B3
2008-07	1.209952	-1.45364	B4
2008-08	1.172667	-3.08157	B2
2008-09	1.23	4.889142	B2
2008-10	1.47	19.5122	B1

EK-8: Şubat 2008-Ekim 2008 Durum Serileri, Değişim ve Sembolleri (Devamı)

Tarih	Para Arzı	Değişim	Gözlem Sembolü
2008-01	71699184.3		
2008-02	73098078.2	1.95106	C1
2008-03	78129288.6	6.882822	C2
2008-04	79783986.7	2.117897	C4
2008-05	78117282.6	-2.08902	C2
2008-06	81221441.3	3.973716	C3
2008-07	81103275.6	-0.14549	C4
2008-08	79287064.3	-2.23938	C1
2008-09	86910365.9	9.614811	C1
2008-10	85129999.7	-2.04851	C4

EK-8: Şubat 2008-Ekim 2008 Durum Serileri, Değişim ve Sembolleri (Devamı)

Tarih	TÜFE	Değişim	Gözlem Sembolü
2008-01	12795.97		
2008-02	12960.55	1.286186	D2
2008-03	13085.08	0.960839	D1
2008-04	13304.51	1.676948	D1
2008-05	13503.05	1.492276	D4
2008-06	13455.19	-0.35444	D2
2008-07	13532.69	0.575986	D3
2008-08	13499.6	-0.24452	D2
2008-09	13560.56	0.451569	D2
2008-10	13913.24	2.600778	D1



KAYNAKÇA

- ABECASIS, Gonalo R. ve Janis, E. WIGGINTON, (2005), "Handling Marker-Marker Linkage Disequilibrium: Pedigree Analysis with Clustered Markers", **The American Journal of Human Genetics**, Sayı: 77(5), ss. 754-767.
- AGA, Mehmet ve Berna, KOCAMAN, (2011), "Efficient Market Hypothesis and Emerging Capital Markets: Empirical Evidence from Istanbul Stock Exchange". **Journal of Financial Markets Research**, Sayı: 3, ss. 44-57.
- AGAZZI, Oscar E. ve Shyh-shiaw, KUO, (1993), "Hidden Markov Model Based Optical Character Recognition in the Presence of Deterministic Transformations", **Pattern Recognition**, Sayı: 26(12), ss. 1813-1826.
- AHMAD, Irfan, , Sabri A., MAHMOUD ve Gernot A., FINK, (2016), "Open-Vocabulary Recognition of Machine-Printed Arabic Text Using Hidden Markov Models", **Pattern Recognition**, Sayı: 51, ss. 97-111.
- AKAL, Mustafa, Erhan, BİRGİLİ ve Sedat, DURMUSKAYA, (2012), "İMKB30, İMKB100, DOLAR ve AVRO Futures Piyasalarının Etkinliğinin Testi", **Business and Economics Research Journal**, Sayı: 3(4), ss. 1-20.
- ALBENİ, Mesut ve Yusuf, DEMİR, (2005), "Makro Ekonomik Göstergelerin Mali Sektör Hisse Senedi Fiyatlarına Etkisi (İMKB Uygulamalı)", **Muğla Üniversitesi SBE Dergisi**, Sayı: 14, ss. 1-18.
- ALEXAKIS, Christos, Theophano, PATRA ve Sunil, POSHAKWALE, (2010), "Predictability of Stock Returns Using Financial Statement Information: Evidence on Semi-Strong Efficiency of Emerging Greek Stock Market", **Applied Financial Economics**, Sayı: 20, ss. 1321-1326.
- ALİ, Salman Syed ve Khalid, MUSTAFA, (2001), "Testing Semi-Strong Form Efficiency of Stock Market", **The Pakistan Development Review**, Sayı: 40(4), ss. 651-674.
- ALKAN, Ufuk, (2016), "Türkiye'de Borsacılık Faaliyetleri ve Borsa İstanbul", **Finansal Piyasalar ve Kurumlar: Yeni Düzenlemeler Perspektifinde Finansal Araçlar, Faaliyetler ve Kurumlar**, Turgay, MÜNYAS, (Ed.). Ekin Basım Yayın Dağıtım, Bursa, ss. 347-376.

- AL-KHAZALI, Osamah ve Ali, MIRZAEI, (2017), "Stock Market Anomalies, Market Efficiency and the Adaptive Market Hypothesis: Evidence from Islamic Stock Indices", **Journal of International Financial Markets, Institutions & Money**, Sayı: 51, ss. 190-208.
- AL-MUHTASEB, Husni A., Sabri A., MAHMOUD ve Rami S., QAHWAJI, (2008), "Recognition of Off-Line Printed Arabic Text Using Hidden Markov Models, **Signal Processing**, Sayı: 88(12), ss. 2902-2912.
- ALMUJAMED, Hesham I., Suzanne G. M., FIFIELD ve David M., POWER, (2018), "An Investigation of the Weak Form of the Efficient Markets Hypothesis for the Kuwait Stock Exchange", **Journal of Emerging Market Finance**, Sayı: 17(1), ss. 1-28.
- ALPARSLAN, Selim Murat, (1989). "Test of Weak Form Efficiency in Istanbul Stock Exchange", Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, **İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi**, Ankara.
- ALPAYDIN, Ethem, (2004), **Introduction to Machine Learning**, The MIT Press, Cambridge.
- ALTUNÖZ, Utku ve Hasip, ALTUNÖZ, (2017), **Davranışsal Ekonomi (Nörofinans): Kavram-Teori-Uygulama**. Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- ALVAREZ-RAMIREZ, Jose, Eduardo, RODRIGUEZ ve Gilberto, ESPINOSA-PAREDES, (2012), "Is the US Stock Market Becoming Weakly Efficient Over Time? Evidence from 80-Year-Long Data, **Physica A**, Sayı: 391, ss. 5643-5647.
- ANAGNOSTIDIS, Panagiotis, Christos, VARSAKELIS ve Christos J., EMMANOUILIDES, (2016), "Has the 2008 Financial Crisis Affected Stock Market Efficiency? The Case of Eurozone", **Physica A**, Sayı: 447, ss. 116-128.
- ANANTHI, M. ve Subbaraj, DINESH, (2012), "Testing the Semi-Strong form Efficiency of Indian Stock Market with Respect to the Information Content of Profit Booking Announcement", **International Journal of Multidisciplinary Research**, Sayı: 2(1), ss. 137-148.
- ARASAN, Oğulcan, Adalet, HAZAR ve Şenol, BABUŞÇU, (2016), "BISTech Geçiş ve Varantlara Etkisi", **Kara Harp Okulu Bilim Dergisi**, Sayı: 26(1), ss. 77-112.

<http://www.borsaistanbul.com/urunler-ve-piyasalar/piyasalar/pay-piyasasi>
(20.08.2018)

ARTHUR, W. Brian, John H., HOLLAND, Blake, LEBARON, Richard, PALMER ve Paul, TAYLOR, (1996), "Asset Pricing Under Endogenous Expectation in an Artificial Stock Market", **Santa Fe Institute Working Papers**, Sayı: 96(12), ss. 1-29, Santa Fe, <http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/ahlp96.pdf>, (10.08.2018)

ASLAN, Nurdan ve Nuray, TERZİ, (2013), **Küresel Finans**, Türkmen Kitabevi, İstanbul.

ASLANOĞLU, Suphi, (2008), "İMKB-100 Endeksi ile Emisyon Hacmi, Döviz Kuru ve Faiz Oranları Arasındaki İlişki: Ampirik Bir Analiz", **Muhasebe ve Finansman Dergisi**, Sayı: 37, ss. 192-205.

ASPINALL, Willy, P., Roberto, CARNIEL, Olivier, JAQUET, Gordon, WOO ve Thea, HINCKS, (2006), "Using Hidden Multi-State Markov Models with Multi-Parameter Volcanic Data to Provide Empirical Evidence for Alert Level Decision-Support", **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, Sayı: 153(1-2), ss. 112-124.

ATAN, Sibel Duman ve Zeynel Abidin, ÖZDEMİR, (2009), "Hisse Senedi Piyasasında Zayıf Formda Etkinlik: İMKB Üzerine Ampirik Bir Çalışma", **Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, Sayı: 24(2), ss. 33-48.

AYDIN, Üzeyir ve Büşra, AĞAN, (2017), **Davranışsal Finans: Finansal Yatırım Kararlarının Davranışsal Temeli**, Ekin Basım Yayın Dağıtım, Bursa.

BACK, Kerry ve Hal, PEDERSEN, (1998), "Long-Lived Information and Intraday Patterns", **Journal of Financial Markets**, Sayı: 1, ss. 385-402.

BAILEY, Roy E., (2005). **The Economics of Financial Markets**, Cambridge University Press, New York

BALABAN, Ercan, H. Baturalp, CANDEMİR ve Kürşat, KUNTER, (1996), **Stock Market Efficiency in a Developing Economy: Evidence from Turkey**, The Central Bank of the Republic of Turkey, Ankara.

- BALDI Pierre, Søren, BRUNAK, Yves, CHAUVIN ve Anders, KROGH, (1996), "Naturally Occurring Nucleosome Positioning Signals in Human Exons and Introns", **Journal of Molecular Biology**, Sayı: 263(4), ss. 503-510.
- BASHARIN, Gely P., Amy N., LANGVILLE ve Valeriy A., NAUMOV, (2004). "The Life and Work of A. A. Markov", **Linear Algebra and its Applications**, Sayı: 386 ss. 3-26.
- BASU, Adhir K., (2003), **Introduction to Stochastic Processes**, Alpha Science International Ltd., Oxford.
- BÄUERLE, Nicole ve Ulrich, RIEDER, (2011), **Markov Decision Processes with Applications to Finance**, Springer, New York.
- BAYRAK GEZDİM, Seyhat ve Mahmut, ZORTUK, (2017), "The impact of FDI on economic growth in transition countries: a panel quantile regression approach", **Applied Economics for Development: Empirical Approaches to Selected Social and Economic Issues in Transition Economies**, Mahmut, ZORTUK, (Ed.), Vernon Press, Delaware, ss. 63-78.
- BEYREUTHER, Moritz., Roberto, CARNIEL ve Joachim, WASSERMANN, (2008). "Continuous Hidden Markov Models: Application to automatic earthquake detection and classification at Las Canãdas caldera, Tenerife", **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, Sayı: 176(4), ss. 513-518.
- BHAR, Ramaprasad ve Shigeyuki, HAMORI, (2004), **Hidden Markov Models: Applications to Financial Economics**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- BIDARGADDI, Niranjan. P., Madhu, CHETTY ve Joarder, KAMRUZZAMAN, (2008), "Hidden markov models incorporating fuzzy measures and integrals for protein sequence identification and alignment", **Genomics, Proteomics & Bioinformatics**, Sayı: 6(2), ss. 98-110.
- BLUME, Lawrence ve David, EASLEY, (1992), "Evolution and market behavior", **Journal of Economic Theory**, Sayı: 58(1), ss. 9-40.
- BORODIN, Andrei N., (2017), **Stochastic Processes**. Birkhäuser, Basel.

- BOSE, Chinmoy B. ve Shyh-Shiaw, KUO, (1994), "Connected and degraded text recognition using hidden Markov model", **Pattern Recognition**, Sayı: 27(10), ss. 1345-1363.
- BOX, George E. P. ve David A., PIERCE, (1970), "Distribution of residual autocorrelations in autoregressive-integrated moving average time series models", **Journal of the American Statistical Association** , Sayı: 65, ss. 1509-1526.
- BRAND, Matthew, (1996), "Coupled Hidden Markov models for modeling interacting processes", **MIT Media Laboratory for Perceptual Computing / Learning and Common Sense Technical Report**, Sayı: 405, s.y.
- BRAY, Margeret, (1981), "Futures trading, rational expectations and the efficient market hypothesis", **Econometrica**, Sayı: 49(3), ss. 575-596.
- BRENNAN, Thomas J. ve Andrew W., LO, (2012), "An evolutionary model of bounded rationality and intelligence", **PLOS ONE**, Sayı: 7(11), ss. 1-8.
- BRIDLE, John S., (1990), "Alpha-nets: A recurrent ‘neural’ network architecture with a hidden Markov model interpretation", **Speech Communication**, Sayı: 9(1), ss. 83-92.
- BRUGNARA, Fabio, Daniele, FALAVIGNA ve Maurizio, OMOLOGO, (1993), "Automatic segmentation and labeling of speech based on hidden Markov models", **Speech Communication**, Sayı: 12(4), ss. 357-370.
- BUGUK, Cumhur ve B. Wade, BRORSEN, (2003), "Testing weak-form market efficiency: Evidence from the Istanbul stock exchange", **International Review of Financial Analysis**, Sayı: 12, ss. 579-590.
- BURGE, Christopher B., ve Samuel, KARLIN, (1998), "Finding the genes in genomic DNA", **Current Opinion in Structural Biology**, Sayı: 8(3), ss. 346-354.
- BUTLER, Matthew R., (2012), "Computational Intelligence for Analysis Concerning Financial Modelling and the Adaptive Market Hypothesis", Yayınlanmamış Doktora Tezi, **University of York**, York.
- BUTLER, Matthew ve Dimitar, KAZAKOV, (2012), "Testing implications of the adaptive market hypothesis via computational intelligence", **IEEE Conference**

on Computational Intelligence for Financial Engineering & Economics Bildiri Kitabı, IEEE, 29-30 Mart 2012, New York, ss. 1-8.

CAMPBELL, John. Y., Andrew W. LO ve A. Craig, MACKINLAY, (1997), **The Econometrics of Financial Markets**, Princeton University Press, New Jersey.

CAN, Tuncay, (2015), **Yöneylem Araştırması: Nedensellik Üzerine Diyaloglar 1**. Beta Basım Yayım Dağıtım, İstanbul.

CASSIDY, Michael J., ve Peter, BROWN, (2002), "Hidden Markov based autoregressive analysis of stationary and non-stationary electrophysiological signals for functional coupling studies", **Journal of Neuroscience Methods**, Sayı: 116(1), ss. 35-53.

CHAN, Khue Hiang, (2002), "An off-line oriental character recognition system (OOCRS): synergy of distortion modeling, hidden Markov models and vector quantization", **Pattern Recognition**, Sayı: 35(5), ss. 1007-1023.

CHARANTONIS, Anastase Alexandre, Fouad, BADRAN ve Sylvie, THIRIA, (2015), "Retrieving the evolution of vertical profiles of Chlorophyll-a from satellite observations using Hidden Markov Models and Self-Organizing Topological Maps", **Remote Sensing of Environment**, Sayı: 163, ss. 229-239.

CHARLES, Amélie, Olivier, DARNÉ, ve Jae H. KIM, (2012), "Exchange-rate return predictability and the adaptive markets hypothesis: Evidence from major foreign exchange rates", **Journal of International Money and Finance**, Sayı: 31(6), ss. 1607-1626.

CHARLES, Amélie, Olivier, DARNÉ, ve Jae H. KIM, (2017), "Adaptive markets hypothesis for Islamic stock indices: Evidence from Dow Jones size and sector-indices", **International Economics**, Sayı: 151, ss. 100-112.

CHAU, Minh ve Dimitri, VAYANOS, (2008), "Strong-form efficiency with monopolistic insiders", **The Review of Financial Studies**, Sayı: 21(5), ss. 2275-2306.

CHENG, Jade Yu ve Thomas, MAILUN, (2015), "Ancestral population genomics using coalescence hidden Markov models and heuristic optimisation algorithms", **Computational Biology and Chemistry**, Sayı: 57, ss. 80-92.

- CHIB, Siddhartha, (1996), "Calculating posterior distributions and modal estimates in Markov mixture models", **Journal of Econometrics**, Sayı: 75(1), ss. 79-97.
- CHIEN, Jen-Tzung ve Hsiao-Chuan WANG, (1997), "Telephone speech recognition based on Bayesian adaptation of hidden Markov models", **Speech Communication**, Sayı: 22(4), ss. 369-384.
- CHING, Wai-Ki, Ximin, HUANG, Michael K., NG ve Tak-Kuen, SIU, (2013), **Markov Chains: Models, Algorithms and Applications**, Springer, New York.
- CHOI, In, (1999), "Testing the random walk hypothesis for real exchange rates", **Journal of Applied Econometrics**, Sayı: 14(3), ss. 293-308.
- CHOPIN, Nicolas ve Florian, PELGRIN, (2004), "Bayesian inference and state number determination for hidden Markov models: an application to the information content of the yield curve about inflation", **Journal of Econometrics**, Sayı: 123(2), ss. 327-344.
- CHRISTENSEN, Jens H. E., Ernst, HANSEN ve David, LANDO, (2004), "Confidence sets for continuous-time rating transition probabilities", **Journal of Banking & Finance**, Sayı: 28(11), ss. 2575-2602.
- CONAGHAN, Daniel ve Dan, SMITH, (2014), **Para Kitabı: Finans Dünyasının Nasıl Çalıştığıyla İlgili Bilmeniz Gerekenler**, Duran, Cem, (Çev.), NTV Yayınları, İstanbul.
- COX, David Roxbee, ve Hilton David, MILLER, (2017), **The Theory of Stochastic Processes**, CRC Press, Florida.
- ÇEVİK, Emrah İsmail, (2012), "İstanbul menkul kıymetler borsasında etkin piyasa hipotezinin uzun hafıza modelleri ile analizi: Sektörel bazda bir inceleme", **Journal of Yasar University**, Sayı: 26(7), ss. 4437-4454.
- DAĞLI, Hüseyin, (2000), "Hisse senedi piyasa endeksleri ve Türkiye", **Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, Sayı: 3(4), ss. 189-206.
- DATE, Paresh, Rogemar, MAMON ve Anton, TENYAKOV, (2013), "Filtering and forecasting commodity futures prices under an HMM framework", **Energy Economics**, Sayı: 40, ss. 1001-1013.

- DAVER, Gizay, Merve, KARACAER ve Hülya, ÜNLÜ, (2013), "Testing of BIST and TURKDEX: Random walk and market efficiency", **International Journal of Economics and Finance Studies**, Sayı:5(2), ss. 10-22.
- DURRETT, Rick, (2016), **Essentials of Stochastic Processes**, Springer, Cham.
- EKEN, Hasan ve Sait, ADALI, (2008), "Piyasa etkinliği ve İMKB: Zayıf formda etkinliğe ilişkin ekonometrik bir analiz", **Muhasebe ve Finansman Dergisi**, Sayı:37, s.y.
- ELLIOTT, Robert J., William C., HUNTER, ve Barbara M., JAMIESON, (1998), "Drift and volatility estimation in discrete time", **Journal of Economic Dynamics and Control**, Sayı: 22(2), ss. 209-218.
- ELMS, AJ. ve John, ILLINGWORTH, (1995), "Combination of HMMs for the representation of printed characters in noisy document images", **Image and Vision Computing**, Sayı: 13(5), ss. 385-392.
- ERDOĞAN, Namık Kemal, (2017), "BIST 100 endeksinin çokfraktallı eğimden arındırılmış dalgalanma analizi", **Journal of Current Researches on Business and Economics**, Sayı: 7(2), ss. 555-564.
- ERDOĞMUŞ, Şenol, (2003), **Karar Kuramına Giriş: Ders Notları**. Eskişehir.
- ERDOĞMUŞ, Şenol, Muzaffer, KAPANOGLU ve Eylem, KOÇ, (2005), "Evaluating high-tech alternatives by using analytic network process with BOCR and multiactors", **Evaluation and Program Planning**, Sayı: 28, ss. 391-399.
- ERLWEIN, Christina, Fred Espen, BENTH ve Rogemar, MAMON, (2010), "HMM filtering and parameter estimation of an electricity spot price model", **Energy Economics**, Sayı: 32(5), ss. 1034-1043.
- ESCANCIANO, Juan Carlos, ve Ignacio N. LOBATO, (2009), "An automatic portmanteau test for serial correlation", **Journal of Econometrics**, Sayı: 151(2), ss. 140-149.
- ESCANCIANO, Juan Carlos ve Carlos, VELASCO, (2006), "Generalized spectral tests for the martingale difference hypothesis", **Journal of Econometrics**, Sayı: 134(1), ss. 151-185.

- FABOZZI, Frank J., ve Pamela Peterson, DRAKE, (2009), **Finance-Capital Markets, Financial Management and Investment Management**, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- FAMA, Eugene F., (1965), "The behavior of stock-market prices", **The Journal of Business**, Sayı: 38(1), ss. 34-105.
- FARMER, J. Doyne, (2002), "Market force, ecology and evolution", **Industrial and Corporate Change**, Sayı: 11(5), ss. 895-953.
- FARMER, J. Doyne, ve Andrew W. LO, (1999), "Frontiers of finance: Evolution and efficient markets", **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, ss. 9991-9992
- FEINBERG, Eugene A. ve Adam, SCHWARTZ, (2002), **Handbook of Markov Decision Processes: Methods and Applications**. Springer US, New York.
- Finansal Piyasalar, (2017), **Sermaye Piyasası Lisanslama Sicil ve Eğitim Kuruluşu**.
- FINE, Shai, Yoram, SINGER ve Naftali, TISHBY, (1998) "The hierarchical hidden Markov model: Analysis and applications", **Machine Learning**, Sayı: 32, ss. 41-62.
- FISCHER, Andreas, Andreas, KELLER, Volkmar, FRINKEN ve Horst, BUNKE, (2012), "Lexicon-free handwritten word spotting using character HMMs", **Pattern Recognition Letters**, Sayı: 33(7), ss. 934-942.
- FRASER, Andrew M., (2008), **Hidden Markov Models and Dynamical Systems**, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia.
- GALES, Mark ve Steve, YOUNG, (2008), **The Application of Hidden Markov Models in Speech Recognition**, now Publishers Inc., Massachusetts.
- GEISST, Charles R., (1982), **A Guide To The Financial Markets**, Macmillan Press. London.
- GHAHRAMANI, Zoubin ve Michael I., JORDAN, (1995), "Factorial Hidden Markov Models", **Advances in Neural Information Processing Systems**, s.y., ss. 473-478.

- GHAHRAMANI, Zoubin ve Michael I., JORDAN, (1997), "Factorial Hidden Markov Models", **Machine Learning**, Sayı: 29, ss. 245-273.
- GHAZANI, Majid Mirzaee ve Mansour Khalili, ARAGHI, (2014), "Evaluation of the adaptive market hypothesis as an evolutionary perspective on market efficiency: Evidence from the Tehran stock exchange", **Research in International Business and Finance**, Sayı: 32, ss. 50-59.
- GOMEZ-LOPERA, Juan Francisco, José, MARTINEZ-AROZA, Ramon, R., ROMAN-ROLDAN, R. M., ROMAN-GALVEZ ve David, BLANCO-NAVARRO, (2017), "The evaluation problem in discrete semi-hidden Markov models", **Mathematics and Computers in Simulation**, Sayı: 137, ss. 350-365.
- GOSS, Barry A., (1983), "The semi-strong form of efficiency of the London metal exchange", **Applied Economics**, Sayı: 15, ss. 681-689.
- GOZBASI, Onur, Ilhan, KUCUKKAPLAN ve Saban, NAZLIOGLU, (2014), "Re-examining the Turkish stock market efficiency: Evidence from nonlinear unit root tests", **Economic Modelling**, sayı:38, ss. 381-384.
- GRANGER, Clive W.J, ve Oskar, MORGENSTERN, (1963), "Spectral analysis of New York stock market prices", **Kyklos**, Sayı: 16(1), ss. 1-27.
- GRIMM, Richard C., (2012), "Fundamental analysis as a traditional austrian approach to common stock selection", **The Quarterly Journal of Austrian Economics**, Sayı: 15(2), ss. 221-236.
- GROENEWOLD, Nicolaas ve Kuay Chin, KANG, (1993), "The semi-strong efficiency of the Australian share market", **The Economic Record**, Sayı: 69(207), ss. 405-410.
- GROSSMAN, Sanford J. ve Joseph E., STIGLITZ, (1980), "On the impossibility of informationally efficient markets", **The American Economic Review**, Sayı: 70(3), ss. 393-408.
- GÜRSOY, Samet ve Ömer, EROĞLU, (2016), "Yükselen ekonomilerin pay piyasaları arasında getiri ve volatilité yayılımı: 2006-2015 yılları arasında yapılmış bir analiz", **Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, Sayı: 3(5), ss. 16-33.

- GYAMFI, Emmanuel Numapau, (2018), "Adaptive market hypothesis: Evidience from Ghanaian stock market", **Journal of African Business**, Sayı: 19(2), ss. 195-209.
- HANİLÇİ, Cemal ve Figen, ERTAŞ, (2007), "Sürekli saklı Markov modelleri ile metinden bağımsız konuşmacı tanıma parametrelerinin incelenmesi", **Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Sayı: 12(1), ss. 109-114.
- HERBST, Joshua A., Stephan, GAMMETER, David, FERRERO ve Richard H. R., HAHNLOSER, (2008), "Spike sorting with hidden Markov models", **Journal of Neuroscience Methods**, Sayı: 174(1), ss. 126-134.
- HILLIER, Frederick S. ve Gerald J., LIEBERMAN, (2015), **Introduction to Operations Research**, McGraw-Hill Education, New York.
- HIREMATH, Gourishankar S. ve Jyoti, KUMARI, (2004), "Stock returns predictability and the adaptive market hypothesis in emerging markets: evidence from India", **SpringerPlus**, Sayı: 3(428), ss. 1-14.
- HIREMATH, G Gourishankar S. ve Seema, NARAYAN, (2016), "Testing the adaptive market hypothesis and its determinants for the Indian stock markets", **Finance Research Letters**, Sayı: 19, ss. 173-180.
- HIRSHLEIFER, David ve Guo Ying, LUO, (2001), "On the survival of overconfident traders in a competitive securities market", **Journal of Financial Markets**, Sayı: 4(1), ss. 73-84.
- HOCAOGLU, Fatih Onur ve Fatih, KARANFİL, (2011), "Examining the link between carbon dioxide emissions and the share of industry in GDP: Modeling and testing for the G-7 countries", **Energy Policy**, Sayı: 39(6), ss. 3612-3620.
- HOESEN, Devin, Cil Hardianto, SATRIAWAN, Dessi Puji, LESTARI ve Masayu Leylia KHODRA, (2016), "Towards Robust Indonesian Speech Recognition with Spontaneous-Speech Adapted Acoustic Models", **Procedia Computer Science**, Sayı: 81, ss. 167-173.
- HOU, Chenghan, (2017), "Infinite hidden markov switching VARs with application to macroeconomic forecast", **International Journal of Forecasting**, Sayı: 33(4), ss. 1025-1043.

- IBE, Oliver C., (2013), **Markov Processes for Stochastic Modelling**, Elsevier, Massachusetts.
- İBİCİOĞLU, Mustafa, (2013), "İstanbul menkul kıymetler borsası zayıf form etkin bir piyasa mıdır?", **Finans Politik & Ekonomik Yorumlar**, Sayı: 50(577), ss. 35-44.
- ITOH, Makoto ve Costas, LAPAVITSAS, (2012), **Para ve Finansın Ekonomi Politikası**, Öncel, Tuncel, (Çev.), Yordam Kitap, İstanbul.
- JONES, Steven L.ve Jeffry M., NETTER, (2008), "Efficient Capital Markets", **Library of Economics and Liberty**, [http://www.econlib.org/library/Enc/Efficient Capital Markets.html](http://www.econlib.org/library/Enc/Efficient%20Capital%20Markets.html) (20.09.2018)
- JURAFSKY, Daniel ve James H., MARTIN, (2007), **Speech and Language Processing: An introduction to natural language processing, computational linguistics and speech recognition**, Prentice Hall, New Jersey.
- KAHRAMAN, Derya ve Mehmet, ERKAN, (2005), "İstanbul Menkul Kıymetler Borsası'nda tesadüfî yürüyüş testi", **Yönetim ve Ekonomi**, Sayı: 12(1), ss. 11-19.
- KAMAL, Md. Sarwar, Linkon, CHOWDHURY, Mohammad Ibrahim, KHAN, Amira S., ASHOUR, João Manuel R. S., TAVARES ve Nilanjan, DEY, (2017), "Hidden Markov model and Chapman Kolmogorov for protein structures prediction from images", **Computational Biology and Chemistry**, Sayı: 68, ss. 231-244.
- KAPUSUZOĞLU, Ayhan, (2013), "Testing weak form market efficiency on the Istanbul stock exchange", **International Journal of Business Management and Economic Research**, Sayı: 4(2), ss. 700-705.
- KAR, Muhsin ve Hüseyin, AĞIR, (2006), "Menkul kıymet piyasaları, finansal kalkınma ve ekonomik büyüme: Türkiye örneği", **İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Mecmuası**, Sayı: 56(1), ss. 13-46.
- KARA, Ahmet ve Karen Craft, DENNING, (1998), "A model and empirical test of the strong form efficiency of US capital markets: More evidence of insider trading profitability", **Applied Financial Economics**, Sayı: 8, ss. 211-220.

- KAYA, Vedat, (T.Y.), "Finansal Sistemin Unsurları, Finansal Sistem ve Önemi", **ErzurumTeknikÜniversitesi**, http://erzurum.edu.tr/Content/Yuklemeler/Personel/Vedat_KAYA/PARA_1.UNITE9389.pdf (23.08.2018).
- KETTELL, Brian, (2002), **Economics for Financial Markets**, Butterworth-Heinemann, Woburn.
- KHUNTIA, Sashikanta ve Jamini Kanta, PATTANAYAK, (2018), "Adaptive market hypothesis and evolving predictability of bitcoin", **Economic Letters**, Sayı: 167, ss. 26-28.
- KILIÇ, Süleyman Bilgin, (2005), "Test of the weak form efficient market hypothesis for the Istanbul stock exchange by Markov chains methodology", **Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, Sayı:14(1), ss. 333-342.
- KILIÇ, Yunus ve Mehmet Fatih, BUĞAN, (2016), "The efficient market hypothesis: Evidence from Turkey", **International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences**, Sayı: 6(10), ss. 262-272.
- KIM, Jae H., (2009), "Automatic variance ratio test under conditional heteroskedasticity", **Finance Research Letters**, Sayı: 6(3), ss. 179-185.
- KIM, Jae H., Abul, SHAMSUDDIN ve Kian-Ping, LIM, (2011), "Stock return predictability and the adaptive market hypothesis: Evidence from century-long U.S. data", **Journal of Empirical Finance**, Sayı: 18, ss. 868-879.
- KIM, Sang Kyoon, Se Myung, PARK, Jong Kook, LEE ve Hang Joon, KIM, (1998), "On-line recognition of Korean characters using ART neural network and hidden Markov model", **Journal of Systems Architecture**, Sayı: 44(12), ss. 971-984.
- KINDLEBERGER, Charles P., ve Robert ALIBER, (1989), **Manias, Panics and Crashes: A History of Financial Crises**, John Wiley & Sons, Inc, New Jersey.
- KOÇ, Eylem, (2014), "The use of rough set theory in determining the preferences of the customers of an insurance agency", **European Journal of Business and Management**, Sayı: 6(22), ss. 141-148.

- KORKMAZ, Murat ve G., AKMAN, (2010), "Testing the weak form market efficiency on Istanbul stock exchange", **Trakia Journal of Sciences**, Sayı: 8(3), ss. 39-49.
- KOROLKIEWICZ, Malgorzata W. ve Robert J., ELLIOTT, (2008), "A hidden Markov model of credit quality", **Journal of Economic Dynamics and Control**, Sayı: 32(12), ss. 3807-3819.
- KOUEMOU, Guy Leonard, (2011), "History of theoretical basics of hidden markov models", (Der.), **Hidden Markov Models, Theory and Applications**, Dymarski P., (Ed.), InTech, Rijeka, ss. 5.
- KOYUNCU, Tuğba ve Alper ASLAN, (2017), "Etkin piyasa hipotezi ve gelişmiş borsalar üzerine bir uygulama: Panel veri analizi", **Kapadokya Akademik Bakış**, Sayı: 1(1), ss. 17-30.
- KRAMMER, Eva-Maria, Mirco S., TILL, Pierre, SEBBAN ve Matthias, ULLMANN, (2009), "Proton-transfer pathways in photosynthetic reaction centers analyzed by profile hidden markov models and network calculations", **Journal of Molecular Biology**, Sayı: 388(3), ss. 631-643.
- KROGH, Anders, Björn, LARSSON, Gunnar von, HEIJNE ve Erik L.L., SONNHAMMER, (2001), "Predicting transmembrane protein topology with a hidden markov model: application to complete genomes", **Journal of Molecular Biology**, Sayı: 305(3), ss. 567-580.
- KWON, Moonhyuk, Hyun-Han, KWON ve Dawei, HAN, (2017), "A spatial downscaling of soil moisture from rainfall, temperature, and AMSR2 using a Gaussian-mixture nonstationary hidden Markov model", **Journal of Hydrology**, Sayı: 564, ss. 1194-1207.
- LANCHIER, Nicolas, (2017), **Stochastic Modeling**, Springer, Cham.
- LANGROCK, Roland, Iain L., MacDONALD ve Walter, ZUCCHINI, (2012), "Some nonstandard stochastic volatility models and their estimation using structured hidden Markov models", **Journal of Empirical Finance**, Sayı: 19(1), ss. 147-161.

- LARSON, Jessica I., Curtis, HUTTENHOWER, John, QUACKENBUSH ve Guo-Cheng, YUAN, (2013), "A tiered hidden Markov model characterizes multi-scale chromatin states", **Genomics**, Sayı: 102(1), ss. 1-7.
- LAZAR, Dorina, Alexandru, TODEA ve Diana, FILIP, (2012), "Martingale difference hypothesis and financial crisis: Empirical evidence from European emerging foreign exchange markets", **Economic Systems**, Sayı: 36, ss. 338-350.
- LEAN, Hooi Hooi ve Russell SMYTH, (2015) "Testing for weak-form efficiency of crude palm oil spot and future markets: new evidence from a GARCH unit root test with multiple structural breaks", **Applied Economics**, Sayı: 47(16), ss. 1710-1721.
- LEBARON, Blake, (2001), "Empirical regularities from interacting long-and short-memory investors in an agent-based stock market", **Ieee Transactions On Evolutionary Computation**, Sayı: 5(5), ss. 442-455.
- LEBARON, Blake, (2002), "Short-memory traders and their impact on group learning in financial markets", **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Sayı: 99(3), ss. 7201-7206.
- LEFEBVRE, Mario, (2007), **Applied Stochastic Processes**, Springer, New York.
- LEVIN, David Asher, Yuval, PERES ve Elizabeth Lee, WILMER, (2009), **Markov Chains and Mixing Times**, American Mathematical Society, Rhode Island.
- LEVINSON, Mark, (2007), **Finansal Piyasalar Kılavuzu**, Ege, İlhan, (Çev.), Adres Yayınları, Ankara.
- LI, Zhinong, Yongyong, HE, Fulei, CHU, Jie, HAN ve Wei, HAO, (2006), "Fault recognition method for speed-up and speed-down process of rotating machinery based on independent component analysis and Factorial Hidden Markov Model", **Journal of Sound and Vibration**, Sayı: 291, ss. 60-71.
- LIM, Kian-Ping, (2007), "Ranking market efficiency for stock markets: A nonlinear perspective", **Physica A**, Sayı: 376, ss. 445-454.

- LIM, Kian-Ping ve Robert D., BROOKS, (2006), "The evolving and relative efficiencies of stock markets: Empirical evidence from rolling bivariate test statistics", **SSRN Working Paper**, <https://ssrn.com/abstract=931071> (12.08.2018).
- LIM, Kian-Ping, Weiwei, LUO ve Jae H., KIM, (2013), "Are US stock index returns predictable? Evidence from automatic autocorrelation-based tests", **Applied Economics**, Sayı: 45, ss. 953-962.
- LIN, Shih-Kuei, Shin-Yun, WANG ve Pei-Ling, TSAI, (2009), "Application of hidden Markov switching moving average model in the stock markets: Theory and empirical evidence", **International Review of Economics & Finance**, Sayı: 18(2), ss. 306-317.
- LJUNG, Greta M., ve George E.P., BOX, (1978), "On a measure of lack of fit in time series models", **Biometrika**, Sayı: 65(2), ss. 297-303.
- LO, Andrew W., (2004), "The adaptive markets hypothesis: Market efficiency from an evolutionary perspective", **Journal of Portfolio Management**, Sayı: 30, ss. 15-29.
- LO, Andrew W., (2005), "Reconciling efficient markets with behavioral finance: The adaptive markets hypothesis", **Journal of Investment Consulting**, Sayı: 7(2), ss. 21-44.
- LO, Andrew W., (2012), "Adaptive markets and the new world order", **Financial Analysts Journal**, Sayı: 68(2), ss. 18-29.
- LO, Andrew W., (2017), **Adaptive Markets: Financial Evolution at the Speed of Thought**, Princeton University Press, New Jersey.
- LO, Andrew W. & A. Craig, MacKINLAY, (1988), "Stock market prices do not follow random walks: Evidence from a simple specification test", **The Review of Financial Studies**, Sayı: 1(1), ss. 41-66.
- LO, A. W. ve A. Craig, MacKINLAY, (1999), **A Non-Random Walk Down Wall Street**, Princeton University Press, New Jersey.

- LOBATO, Ignacio, John C., NANKERVIS ve N.E., SAVIN, (2001), "Testing for autocorrelation using a modified Box-Pierce Q test", **International Economic Review**, Sayı: 42(1), ss. 187-205.
- LUO, Guo Ying, (1995), "Evolution and market competition", **Journal of Economic Theory**, Sayı: 67(1), ss. 223-250.
- MABAKENG, Mukela Engelbrecht Peter ve Johannes Peyavali Sheefeni, SHEEFENI, (2014), "Investigating the semi-strong efficiency in Namibia's foreign exchange market", **Global Journal of Contemporary Research in Accounting, Auditing and Business Ethics**, Sayı: 1(3), ss. 168-181.
- MADHAVAN, Vinodh ve Rakesh, ARRAWATIA, (2016), "Relative efficiency of G8 sovereign credit default swaps and bond scrips: An adaptive market hypothesis perspective", **Studies in Microeconomics**, Sayı: 4(2), ss. 1-24.
- MAHEU, John M. ve Qiao, YANG, (2016), "An infinite hidden Markov model for short-term interest rates", **Journal of Empirical Finance**, Sayı: 38, ss. 202-220.
- MALCIOĞLU, Gürkan ve Mücahit, AYDIN, (2016), "Borsa İstanbul'da piyasa etkinliğinin analizi: Harvey doğrusallık testi", **Journal of Accounting, Finance and Auditing Studies**, Sayı: 2(1), ss. 112-123.
- MALKIEL, Burton G. ve Eugene F. FAMA (1970), "Efficient capital markets: A review of theory and empirical work", **The Journal of Finance**, Sayı: 25(2), ss. 383-417.
- MANASSEH, Charles O., Chokwuka Kenneth, OZUZU ve Jonathan E., OGBUABOR, (2016), "Semi strong form efficiency test of the Nigerian stock market: Evidence from event study analysis of bonus issues", **International Journal of Economics and Financial Issues**, Sayı: 6(4), ss. 1474-1490.
- MANDELBROT, Benoit, (1966), "Forecasts of future prices, unbiased markets and Martingale models", **Journal of Business**, Sayı: 39(1), ss. 242-255.
- MATHAI, Arakaparambil Mathai ve Hans J., HAUBOLD, (2008). **Special Functions for Applied Scientists**, Springer, New York.

- McLEOD, A. Ian, ve Wai Keung, LI, (1983), "Diagnostic checking ARMA time series models using squarred-residual autocorrelations", **Journal of Time Series Analysis**, Sayı: 4(4), ss. 269-273.
- MINJINĂ, Dragoş Ioan ve Oana, REŞCEANU, (2008), "Testing the semi-strong form of the efficient market hypothesis on public offers for acquisition/takover in the pharmaceutical and the aliminium sectors of the Romanian capital market", **International Conference on Financial Innovation and Competition in European Union**, Bucharest: Finance, Insurance, Banking and Stock Exchange Faculty Financial and Monetary Research Centre, 28 Kasım 2008, Bükreş, ss. 127-134.
- MISHKIN, Frederic S., (2007), **The Economics of Money, Banking and Financial Markets**, Pearson Education Inc., Boston.
- MISHURA, Yuliya ve Georgiy, SHEVCHENKO, (2017), **Theory and Statistical Applications of Stochastic Processes**, John Wiley & Sons, New Jersey.
- MOBAREK, Asma ve Angelo, FIORANTE, (2014), "The prospects of BRIC countries: Testing weak-form market efficiency", **Research in International Business and Finance**, Sayı: 30, ss. 217-232.
- MODICA, Giuseppe ve Laura, POGGIOLINI, (2013), **A First Course in Probability and Markov Chains**, John Wiley & Sons Ltd., West Sussex.
- MUSLUMOV, Alovzat, Guler, ARAS ve Bora, KURTULUS, (2003), "Evolving market efficiency in Istanbul stock exchange", **Istanbul Technical University Selected Articles**, s.y., ss. 271-291.
- MUTH, John F., (1961), "Rational expectations and the theory of price movements", **Econometrica**, Sayı: 29(3), ss. 315-335.
- MÜNYAS, Turgay, (2016), "Sermaye Piyasası Teknik Analiz Yöntemleri", **Finansal Piyasalar ve Kurumlar: Yeni Düzenlemeler Perspektifinde Finansal Araçlar, Faaliyetler ve Kurumlar**, Turgay, MÜNYAS, (Ed.), Ekin Basım Yayın Dağıtım, Bursa, ss. 480-541.

- NAJKAR, Negin, Farbod, RAZZAZI ve Hossein, SAMETI, (2010), "A novel approach to HMM-based speech recognition systems using particle swarm optimization", **Mathematical and Computer Modelling**, Sayı: 52(11-12), ss. 1910-1920.
- NALIN, Halime Temel ve Sevinç, GÜLER, (2015), "Testing the random walk hypothesis: An application in the BRIC countries and Turkey", **The Romanian Economic Journal**, Sayı: 55, ss. 129-148.
- NGUYEN, Nam Trung, Dinh, PHUNG, Svetha, VENKATESH ve Hung, BUI, (2005), "Learning and detecting activities from movement trajectories using the hierarchical hidden Markov model", **Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision**, IEEE, 20-25 Haziran 2005, San Diego, ss. 955-960.
- NODA, Akihiko, (2016), "A test of the adaptive market hypothesis using a time-varying AR model in Japan", **Finance Research Letters**, Sayı: 17, ss. 66-71.
- NURUNNABI, Mohammad, (2012), "Testing weak-form efficiency of emerging economies: a critical review of literature", **Journal of Business Economics and Management**, Sayı: 13(1), ss. 167-188.
- NWE, Tin Lay, Say Wei, FOO ve Liyanage C. De SILVA, (2003), "Speech emotion recognition using hidden Markov models", **Speech Communication**, Sayı: 41(4), ss. 603-623.
- OTTERPOHL, Jens R., John D., HAYNES, Frank, EMMERT-STREIB, Günter H., VETTER ve Klaus Richard, PAWELZIK, (2000), "Extracting the dynamics of perceptual switching from 'noisy' behaviour: An application of hidden Markov modelling to pecking data from pigeons", **Journal of Physiology-Paris**, Sayı: 94(5-6), ss. 555-567.
- ÖZ, Ersoy, (2009), "Saklı Markov Modelleri ve Finansal Bir Uygulama", Yayınlanmamış Doktora Tezi, **Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü**, İstanbul.
- ÖZER, Hatice, (2001), "The Distributional Properties and Weak Efficiency in Istanbul Stock Exchange: A Sectoral Analysis", Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. **Bilkent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü**, Ankara.
- ÖZEROL, Hakan, (2007), **Piyasaları Okumak: Finansal Piyasalarda Tahmin Yöntemleri**, Elma Yayınevi, Ankara.

- ÖZTÜRK, Ahmet, (2011), **Yöneylem Araştırması**, Ekin Basım Yayın Dağıtım, Bursa.
- ÖZTÜRK, Latif, (2004), "Monte-Carlo simulasyon metodu ve bir işletme uygulaması", **Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları**, s.y., ss. 116-122.
- ÖZÜN, Alper, (1999), "Chaos theory, non-linear behaviour in stock returns, thin trading and market efficiency in emerging markets: The case of Istanbul stock exchange", **The ISE Review**, Sayı: 3(9), ss. 41-75.
- PARASIZ, İlker, (2007), **Finansal Kurumlar ve Piyasalar**, Ezgi Kitabevi, Bursa.
- PARASIZ, İlker, (2009), **Para Banka ve Finansal Piyasalar**, Ezgi Kitabevi, Bursa.
- PARZEN, Emanuel, (1999), **Stochastic Processes**, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia.
- POPOVIĆ, Saša, Ana, MUGOŠA ve Andrija, ĐUROVIĆ, (2013), "Adaptive markets hypothesis: Emprical evidence from Montenegro equity market", **Economic Research**, Sayı: 26(3), ss. 31-46.
- POTOCKI, Tomasz ve Tomasz, ŚWIŚT, (2012), "Emprical test of the strong form efficiency of the Warsaw stock exchange: The analysis of WIG20 index shares", **South-Eastern Europe Journal of Economics**, Sayı: 2, ss. 155-172.
- PREMARATNE, Hemakumar Lalith, Eric, JÄRPE ve Josef, BİGUN, (2006), "Lexicon and hidden Markov model-based optimisation of the recognised Sinhala script", **Pattern Recognition Letters**, Sayı: 27(6), ss. 696-705.
- PRIVAULT, Nicolas, (2013). **Understanding Markov Chains: Examples and Applications**, Springer, New York.
- PUTERMAN, Martin L., (1994), **Markov Decision Processes: Discrete Stochastic Dynamic Programming**, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- RABINER, Lawrence R., (1989), "A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition", **Proceedings of the IEEE**, Sayı: 77(2), ss. 257-286.
- RABINER, Lawrence R. ve Biing Hwang, JUANG, (1986), "An introduction to hidden markov models", **IEEE ASSP Magazine**, Sayı: 3(1), ss. 4-16.

- RAD, Hossein, (2016), "Pairs trading and market efficiency using an adaptive market hypothesis framework: A pitch", **Accounting and Management Information Systems**, Sayı: 15(1), ss. 178-185.
- RAHMAN, Md. Lutfur, Doowon, LEE ve Abul, SHAMSUDDIN, (2017), "Time-varying return predictability in South Asian equity markets", **International Review of Economics and Finance**, Sayı: 48, ss. 179-200.
- RAINER, Gregor ve Earl K., MILLER, (2000), "Neural ensemble states in prefrontal cortex identified using a hidden Markov model with a modified EM algorithm", **Neurocomputing**, Sayı: 32-33, ss. 961-966.
- READ, Colin, (2013), **The Efficient Market Hypothesis: Bachalier, Samuelson, Fama, Ross, Tobin and Shiller**, Palgrave Macmillan, Hampshire.
- REILLY, Frank K. ve Keith C., BROWN, (2012), **Investment Analysis & Portfolio Management**, South-Western Cengage Learning, Ohio.
- RODOPLU, Gültekin, (1996), "2000'li yıllara doğru Türk sermaye piyasası", **Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi** , Sayı: 1(1), ss. 63-75.
- ROSSI, Alessandro ve Giampiero M., GALLO, (2006), "Volatility estimation via hidden Markov models", **Journal of Empirical Finance**, Sayı: 13(2), ss. 203-230.
- RUBINO, Gerardo ve Bruno, SERICOLA, (2014), **Markov Chains and Dependability Theory**, Cambridge University Press, New York.
- SAMUELSON, Paul A., (1965), "Proof that properly anticipated prices fluctuate randomly", **Industrial Management Review**, Sayı: 6, ss. 41-49.
- SARIKAMIŞ, Cevat, Ali, CEYLAN, Nurhan, AYDIN ve Metin, COŞKUN, (2004), **Sermaye Piyasaları ve Finansal Kurumlar**, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- SCHMIDT, Anatoly B., (2011), **Financial Markets and Trading: An Introduction to Market Microstructure and Trading Strategies**, John Wiley & Sons Inc., New Jersey.
- Sermaye Piyasası Araçları, (2016), **Sermaye Piyasası Kurulu**
- SERPER, Özer, (2014), **Uygulamalı İstatistik**, Ezgi Kitabevi, Bursa.

- SEVÜKTEKİN, Mustafa ve Mehmet, ÇINAR, (2014), **Ekonometrik Zaman Serileri Analizi**, Dora Yayıncılık, Bursa.
- SEYHAN, Seyit Sabri, Ferda Nur, ALPASLAN ve Mustafa, YAVAŞ, (2013), "Simple and complex behavior learning using behavior hidden Markov model and CobART", **Neurocomputing**, Sayı: 103, ss. 121-131.
- SEZEN, Hayrettin Kemal, (2007), **Yöneylem Araştırması**, Ekin Basım Yayın Dağıtım, Bursa.
- SHANKLE, William R., Gregory. E., ALEXANDER, William H., BATCHELDER ve Ronald C., PETERSEN, (2016), "Predicting alzheimer's disease in asymptomatic subjects using a hierarchical hidden markov model, a wordlist memory task, and the mayo aging study", **Alzheimer's & Dementia**, Sayı: 12(7), ss. 1062-1063.
- SHILLER, Robert J., (2003), "From efficient markets theory to behavioral finance", **Journal of Economic Perspectives**, Sayı: 17(1), ss. 83-104.
- SILVA, Edmundo G. de S. e, Luiz F. L. LEGEY ve, Edmundo A. de S. e SILVA, (2010), "Forecasting oil price trends using wavelets and hidden Markov models", **Energy Economics**, Sayı: 32(6), ss. 1507-1519.
- SIMON, Herbert A., (1955), "A behavioral model of rational choice", **The Quarterly Journal of Economics**, Sayı: 69(1), ss. 99-118.
- SMITH, Graham, (2012), "The changing and relative efficiency of European emerging stock markets", **The European Journal of Finance**, Sayı: 18(8), ss. 689-708.
- SMITH, Graham ve Hyun-Jung, RYOO, (2003), "Variance ratio tests of the random walk hypothesis for European emerging stock markets", **The European Journal of Finance**, Sayı: 9, ss. 290-300.
- SOTERIOU, Andreas ve Louise, SVENSSON, (2017), "Testing the Adaptive Market Hypothesis on the OMXS30 Stock Index: 1986-2014", Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, **Jönköping University International Business School**, Jönköping.
- SUKKAR, Rafid, Bradley, WYMAN, Elyse, KATZ, Yanwei, ZHANG ve David, RAUNIG, (2011), "Modeling Alzheimer's disease progression using hidden markov models", **Alzheimer's & Dementia**, Sayı: 7(4), ss. 147.

- SYED, Azmat A., Pu, LIU ve Stanley D., SMITH, (1989), "The exploitation of inside Information at the Wall Street journal: A test of strong form efficiency", **The Financial Review**, Sayı: 24(4), ss. 567-579.
- TAHA, Hamdy, (2000), **Yöneylem Araştırması**, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- TAŞ, Oktay ve Salim, DURSUNOĞLU, (2005), "Testing random walk hypothesis for Istanbul stock exchange", International Trade and Finance Association 15th International Conference Proceedings, **International Trade and Finance Association**, Mayıs 2005, İstanbul.
- TAYLOR, Mark P., Hellen, ALLEN, (1992), "The use of technical analysis in the foreign exchange market", **Journal of International Money and Finance**, Sayı: 11, ss. 304-314.
- THOMAS, Lyn. C., David E., ALLEN ve Nigel, MORKEK-KINGSBURY, (2002), "A hidden Markov chain model for the term structure of bond credit risk spreads", **International Review of Financial Analysis**, Sayı: 11(3), ss. 311-329.
- THYER, Mark ve George, KUCZERA, (2003), "A hidden Markov model for modelling long-term persistence in multi-site rainfall time series", **Journal of Hydrology**, Sayı: 275(1-2), ss. 27-48.
- TIĞAN, Alexandra Gabriela, (2015), "The efficient market hypothesis: Review of specialized literature and empirical research", **Procedia Economics and Finance**, Sayı: 32, ss. 442-449.
- TODEA, Alexandru, Maria, ULICI ve Simona, SILAGHI, (2009), "Adaptive markets hypothesis: Evidence from Asia-Pacific financial markets", **The Review of Finance and Banking**, Sayı: 1(1), ss. 7-13.
- TUFAN, Ekrem ve Bahattin, HAMARAT, (2004), "Do cloudy days affect stock exchange returns: Evidence from Istanbul stock exchange", **Journal of Naval Science and Engineering**, Sayı: 2(1), ss. 117-126.
- URQUHART, Andrew ve Robert, HUDSON, (2013), "Efficient or adaptive markets? Evidence from major stock markets using very long run historic data", **International Review of Financial Analysis**, Sayı: 28, ss. 130-142.

- URQUHART, Andrew ve Frank, McGROARTY, (2016), "Are stock markets really efficient? Evidence of the adaptive market hypothesis", **International Review of Financial Analysis**, Sayı: 47, ss. 39-49.
- UZUN, Uğur ve Bener, GÜNGÖR, (2017), "Borsa endeksleri ile ülkelerin seçilmiş markoekonomik göstergeleri arasındaki ilişkinin uluslararası boyutta incelenmesi", **Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, Sayı: 17(4), ss. 1-30.
- ÜNAL, Mustafa, (1992), "Weak Form Efficiency Tests in Istanbul Stock Exchange", Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, **Bilkent Üniversitesi İşletme Enstitüsü**, Ankara.
- ÜNSAL, Aydın, (1997), "Zaman serilerinde Regresyon ve Varyans Analizi Yöntemleri İle Mevsimsel Dalgalanmaların Araştırılması ve Bir Uygulama", **Ekonomik Yaklaşım**, Sayı: 8(26), ss. 119-130.
- ÜNSAL, Aydın, Erginbay, UĞURLU ve İlker SAKINÇ, (2009), "Ownership identity and firm performance in manufacturing companies in Turkey: a multinomial logit model approach", **International Journal of Economics and Finance**, Sayı: 1(2), ss. 23-34.
- VERHEYDEN, Tim, Filip Van den, BOSSCHE, Lieven de, MOOR, (2013), "Towards a new framework on efficient markets: A rolling variance ratio test of the adaptive market hypothesis", **Research in International Business and Finance**, Sayı: 34, ss. 294-308.
- VIJAYABASKAR, Mahalingam Shanmugiah, (2017), "Introduction to hidden markov models and its applications in biology", **Hidden Markov Models: Methods and Protocols**, David R., WESTHEAD ve Mahalingam Shanmugiah, VIJAYABASKAR, (Ed.), Springer, New York, ss. 2.
- VIMALA, Chinnaraj ve Venkatachalam, RADHA, (2012), "Speaker Independent Isolated Speech Recognition System for Tamil Language using HMM", **Procedia Engineering**, Sayı: 30, ss. 1097-1102.

- VURAN, Bengü, (2010), "IMKB 100 endeksinin uluslararası hisse senedi endeksleri ile ilişkisinin eşbütünleşim analizi ile belirlenmesi", **İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi**, Sayı: 39(1), ss. 154-168.
- WANG, Peiming ve Joseph D., ALBA, (2006), "A zero-inflated negative binomial regression model with hidden Markov chain", **Economics Letters**, Sayı: 92(2), ss. 209-213.
- WINSTON, Wayne. L., (1994), **Operations Research: Applications and Algorithms**, Duxbury Press, California.
- WONG, Wing-Keung, Meher, MANZUR ve Boon-Kiat, CHEW, (2003), "How rewarding is technical analysis? Evidence from Singapore stock market", **Applied Financial Economics**, Sayı: 13(7), ss. 543-551.
- WYSS, B. O'Neill, (2001), **Fundamentals of the Stock Market**, McGraw-Hill, New York.
- XIE, Yi, Shensheng, TANG, Chenghua, TANG ve Xiangnong, HUANG, (2012), "An efficient algorithm for parameterizing HsMM with Gaussian and Gamma distributions", **Information Processing Letters**, Sayı: 112, ss. 732-737.
- YALTA, Yasemin, (2011), "Finansal Piyasalar ve Finansal Kurumlar", **Türkiye Bilimler Akademisi**, s.y., <http://www.acikders.org.tr/mod/resource/view.php?id=1301> (17.08.2018).
- YANG, Wu-Ji ve Hsiao-Chuan, WANG, (1990), "Finite register length effects in a hidden Markov model speech recognizer", **Speech Communication**, Sayı: 9(3), ss. 239-245.
- YARALIOĞLU, Kaan, (2010), **Karar Verme Yöntemleri**, Detay Yayıncılık, Ankara.
- YAVUZ, Nilgün Çil, (2015), **Finansal Ekonometri**. Der Yayınları, İstanbul.
- YILMAZ, Naciye Tuba, (2015). "Türkiye'ye Gelen Doğrudan Yabancı Sermaye Yatırımları Üzerine Gizli Markov Modeli Uygulaması", Yayınlanmamış Doktora Tezi, **Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü**, İstanbul.

- YILMAZ, Naciye Tuba ve Tuncay, CAN, (2016), "The analysis of foreign direct investment with hidden markov model: Evidence from Turkey", **International Journal of Economic Perspectives**, Sayı: 10(2), ss. 117-133.
- YÜCEL, Öykü, (2016), "Finansal piyasa etkinliği: Borsa İstanbul üzerine bir uygulama", **International Review of Economics and Management**, Sayı: 4(3), ss. 107-123.
- ZHANG, Hao, Weidong, ZHANG, Ahmet, PALAZOGLU ve Wei, SUN, (2012), "Prediction of ozone levels using a Hidden Markov Model (HMM) with Gamma distribution", **Atmospheric Environment**, Sayı: 62, ss. 64-73.
- ZHAO, Zhibiao, (2011), "Nonparametric model validations for hidden Markov models with applications in financial econometrics", **Journal of Econometrics**, Sayı: 162(2), ss. 225-239.
- ZHENG, Boyuan ve Xianwen, GAO, (2017), "Sucker rod pumping diagnosis using valve working position and parameter optimal continuous hidden Markov model", **Journal of Process Control**, Sayı: 59, ss. 1-12.
- ZHOU, Haitao, Jin, CHEN, Guangming, DONG, Hongchao, WANG ve Haodong, YUAN, (2016), "Bearing fault recognition method based on neighbourhood component analysis and coupled hidden Markov model", **Mechanical Systems and Signal Processing**, Sayı: 66-67, ss. 568-581.
- ZHOU, Jian ve Jin Man, LEE, (2013), "Adaptive market hypothesis: Evidence from the REIT market", **Applied Financial Economics**, Sayı: 23(21), ss. 1649-1662.
- ZHOU, Jian, Gao-Feng, GU, Zhi-Qiang, JIANG, Xiong, XIONG, Wei, CHEN, Wei, ZHANG ve Wei-Xing, ZHOU, (2017), "Computational experiments successfully predict the emergence of autocorrelations in ultra-high-frequency stock returns", **Computational Economics**, Sayı: 50(4), ss. 579-594.
- ZORTUK, Mahmut, (2008), "Türkiye'de tüketici ve toptan fiyat indeksleri arasındaki nedensellik ilişkisi: 1986-2004", **Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi**, Sayı: 20, ss. 181-190.
- ZORTUK, Mahmut ve Yunus, ÇELİK, (2014), "The relationship between bank loans and economic growth in Turkey: 1955-2010", **Alphanumeric Journal**, Sayı: 2(2), ss. 51-60.

DİZİN

A

Adaptif Piyasa Hipotezi, v, 2, 3, 27, 28, 29, 30, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 76, 77, 80, 81, 82, 83, 93, 100, 101, 103, 104, 105, 106

B

Bağımlılık, 2, 30, 34, 36
Bağımsızlık, 2, 30
Baum-Welch algoritması, 70
BIST 100, v, vii, ix, x, xi, xiii, 3, 11, 76, 77, 79, 80, 81, 84, 85, 94, 101, 104, 105, 106, 110, 114, 124
Birincil piyasa, 6
Borsa, iii, iv, v, vi, vii, viii, xiv, 2, 3, 7, 9, 11, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 36, 76, 80, 81, 82, 104, 105, 106, 117, 133, 140, 142
Borsa İstanbul, iii, iv, v, vi, viii, xiv, 2, 3, 7, 9, 11, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 36, 76, 80, 81, 82, 104, 105, 106, 117, 133, 142
Brownian hareket, 47, 48

Ç

Çoklu Adım Geçiş Olasılıkları Matrisi, 50

D

Değerlendirme Problemi, 64, 66, 76, 90, 98, 99, 106
Denge Durum Olasılıkları, 53, 54, 57
Doğal Seçim, 2, 29
Dolar kuru, v, 84, 85, 86, 89, 92, 93, 94, 95, 99, 100, 101, 105
Durağan Bağımsız Artış Süreçleri, 46
Durum Serisi, v, 86, 88, 95, 97

E

Endeks, 10, 11, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 36, 37, 80, 81, 84, 104, 105, 106
Etkin Piyasa Hipotezi, v, 1, 2, 3, 16, 22, 26, 27, 28, 29, 35, 37, 39, 103, 123

Evrimsel, 2, 28, 29, 30, 103

F

Finansal Piyasalar, 1, 2, 5, 26, 27, 48, 82, 105

G

Geçiş Olasılıkları Matrisi, 49, 50, 51, 53, 54, 55, 90, 97
Genelleştirilmiş Spektral Test, v, 3, 33, 35, 36, 40, 76, 80, 82, 83, 104
Geri-Yön Algoritması, 67
Getiri Tahmin Edilebilirliği, v, 2, 3, 30, 32, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 77, 81, 82, 83, 84, 103, 104, 105, 106
Gizli Markov Modeli, 76
Gözlem Olasılıkları, 61, 62, 63, 69, 72, 90, 91, 97, 98
Gözlem Serisi, v, 3, 67, 76, 84, 85, 94
Güçlü Formda Etkinlik, 16, 18

H

Hisse Senedi, v, 2, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 34, 35, 37, 38, 40, 76, 81, 83, 141
Hisse Senedi Piyasası, v, 7, 10, 13, 18, 19, 21, 24, 34, 35, 37, 38, 40, 83

İ

İkincil Piyasa, 6, 7
İleri-Yön Algoritması, 67

M

Markov Süreci, 48, 49, 61
Markov Zincirleri, vi, 3, 23, 43, 48, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 58, 61
Martingale Süreçler, 48

O

Optimal Durum Dizilimini Bulma Problemi, 68, 76, 92, 93, 99, 100

Otomatik Portmanteau Testi, 32, 80, 81,
83, 104, 105

Ö

Öğrenme Problemi, 70

P

Para Arzı, v, 18, 21, 76, 84, 86, 89, 92,
93, 95, 99, 100, 101, 105

Para piyasası, 5

R

Rassal Yürüyüş, 14, 20, 21, 22, 23, 24,
25, 26, 27, 30, 103

Rekabet, 28, 30, 103

S

Sayma Süreçleri, 46

Sembol Atamaları, xi, 85, 86, 88, 94,
95, 97

Sermaye Piyasası, 5, 6, 19, 137

Sınırlandırılmış Rasyonallite, 28

Stokastik Süreçler, vi, 3, 43, 45, 46, 49,
57

T

Teknik Analiz, 11, 12, 13, 14

Temel Analiz, 11, 12, 13, 14

TÜFE, v, xi, xiv, 76, 84, 86, 88, 89, 92,
93, 96, 97, 99, 100, 101, 105, 113,
116

V

Viterbi Algoritması, 68, 77

W

Wiener Süreci, 48

Wild Bootstrap Otomatik Varyans Oran
Testi, 31, 39

Y

Yarı-Güçlü Formda Etkinlik, 18

Yutucu Markov zincirleri, 55

Z

Zayıf Formda Etkinlik, 20, 21, 22, 24,
26

