

**FİNANSAL PİYASALARDA KRIPTO PARA UYGULAMALARI  
ÜZERİNE ÜÇ DENEME**

**Pamukkale Üniversitesi  
Sosyal Bilimler Enstitüsü  
Doktora Tezi  
İktisat Ana Bilim Dalı  
İktisat Programı**

---

**Şencan FELEK**

**Danışman: Prof. Dr. Reşat CEYLAN**

**Temmuz 2023  
DENİZLİ**

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atıfta bulunulduğunu beyan ederim.

İmza  
Öğrenci Adı Soyadı

## ÖNSÖZ

Her aşaması ayrı bir meşakkatli olan doktora eğitiminin artık sonuna geldim. Bu sürecin her aşamasında farklı deneyimler kazanarak çok değerli bilgileri öğrenme imkanım oldu. Yeri geldi heyecanla çalıştım yeri geldi pes ettim ama her zaman yeni bilgiler öğrenme, keşfetme, araştırma isteğim ve akademik hayata olan ilgim ağır bastı. Tabii bu zorlu süreci tek başıma atlatmadım. Bu süreçte hayatımda desteğini, yardımını, anlayışını benden esirgemeyen insanlar oldu. Öncelikle bilgisi, tecrübesi ve fikirleri ile bana yol gösteren, her durumda desteğini benden esirgemeyen, her zaman anlayış gösterip yardımını eksik etmeyen danışman hocam Prof.Dr.Reşat CEYLAN hocama minnettarım.

Doktora tez çalışmamın şekillenmesini sağlayan, çalışmanın uygulama aşamasında önemli katkıları olan, bilgi ve yardımlarını eksik etmeyen Prof.Dr.Tolga OMAV hocama teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmamın her aşamasında değerli bilgileri ile bana yol gösteren Prof.Dr. Mehmet İVRENDİ hocama teşekkür ediyorum. Ayrıca tez savunma jürimde yer alan Doç.Dr.Mustafa Ozan YILDIRIM ve Doç.Dr.Metin TETİK hocalarıma da yapmış oldukları engin katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Lisans eğitiminden doktora eğitiminin sonuna kadar aynı ortamda bulunmaktan mutluluk duyduğum ve her zaman desteklerini hissettiğim Pamukkale Üniversitesi İktisat bölümü öğretim üyelerine teşekkür ederim. Bu süreçte yine aynı ortamda bulunduğum ve birlikte çalıştığım pek çok araştırma görevlisi arkadaşlarıma da teşekkür boyluyum. Bu tez 2022SOBE003 proje numarası ile Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri tarafından projelendirilmiştir. Tezimin projeleneşinde katkısı olan Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Koordinasyon Birimine de ayrıca teşekkürlerimi iletirim. Ayrıca her türlü nazımı, kapisimi çeken ve desteğini benden hiç esirgemeyen kuzenlerim ile en yakınımda olan canım arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca olduğu gibi doktora tez çalışmam sürecinde de yoğun çalışma tempoma katlanan, maddi manevi fedakarlıklarını esirgemeyen, sabırla ve anlayışla bana destek olan ve asla vazgeçmemem için bana güç veren başta annem Zekiye FELEK olmak üzere babam Mehmet FELEK ve abim Mustafa Hakan FELEK ile ailemin diğer üyelerine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezi beni her daim destekleyen, bana inanıp akademik hayatta devam edebilmem için beni motive eden tüm aile üyelerime armağan ediyorum.

## ÖZET

### FİNANSAL PİYASALARDA KRIPTO PARA UYGULAMALARI ÜZERİNE ÜÇ DENEME

FELEK, Şencan

Doktora Tezi

İktisat ABD

İktisat Bilim Dalı

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Reşat CEYLAN

Temmuz 2023, XI+248 sayfa

Kripto paraların finansal piyasalar ile ilişkisinin incelendiği bu çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. Çalışmanın tamamında kripto para değişkenleri olarak piyasaya ilk çıkan ve piyasa değeri yüksek olan Bitcoin, Ethereum ve Litecoin değişkenleri incelenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında, üç kripto para piyasasında zayıf formda piyasa etkinliğinin geçerliliği doğrusal ve doğrusal olmayan birim kök testleriyle incelenmiş olup, güncel analizlere göre bu piyasalarda zayıf formda etkinliğin geçerli olmadığı sonucuna varılmıştır. Çalışmanın ikinci ve üçüncü aşamasında, kripto paraların portföy çeşitlendirme aracı olup olmadığı incelenmiştir. İkinci aşamada kripto paralar ile kıymetli metaller arasındaki ilişki KSS(2006) doğrusal olmayan eşbütünleşme yöntemiyle incelenmiştir. Çalışmada kıymetli metaller olarak altın, gümüş ve platin değişkenleri analize dahil edilmiştir. Çalışmanın sonucunda kripto paralar ile kıymetli metaller arasında uzun dönemde doğrusal olmayan bir eşbütünleşme ilişkisi olduğu ve dolayısıyla kıymetli metaller için kripto paraların portföy çeşitlendiricisi olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca bu piyasalarda yarı-güçlü formda etkinlik geçerli değildir. Çalışmanın üçüncü aşamasında ise kripto paralar ile pay piyasaları arasındaki volatilité ilişkisi CCC-GJR GARCH yöntemiyle incelenerek kripto paraların portföy çeşitliliği test edilmiştir. Pay piyasası değişkenleri olarak, Bist100, Dow Jones ve S&P500 hisse senetleri kullanılmıştır. Ardından bu piyasalar arasındaki ilişkinin yönünü belirlemek için Granger nedensellik testi uygulanmıştır. Yapılan analiz sonucunda kripto paraların dow jones ve S&P500 hisse senetleri ile karşılıklı etkileşimlerinin güçlü olduğu ve bu pay piyasaları için kripto paraların portföy çeşitlendiricisi olabileceği tespit edilmiştir. Çalışmanın tamamında 02/01/2017-29/10/2021 dönemleri arasında beş günlük veriler kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kripto Para, Geleneksel Finansal Varlık, Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Birim Kök Testleri, Doğrusal Olmayan Eşbütünleşme, Sabit Koşullu Korelasyon Genelleştirilmiş Otoresif Koşullu Değişen Varyans

## ABSTRACT

### THREE ESSAYS ON CRYPTOCURRENCY APPLICATIONS IN FINANCIAL MARKETS

FELEK, Şencan

Ph. D. Tesis

Department of Economics

Advisor of Thesis: Prof. Reşat CEYLAN

July 2023, 248 pages

**This study, which examines the relationship of cryptocurrencies with financial markets, consists of three stages. In the whole study, it reflects the Bitcoin, Ethereum and Litecoin variables, which are the first to be released as crypto currency variables and have a high market value. On the first basis of the study, the validity of weak-form market performance in three cryptocurrencies was examined by persistent and non-permanent unit root tests, and there is no weak-form fluency in these markets according to current analysis. In the second and third stages of the study, it shows that cryptocurrencies are not a portfolio diversification tool. The relationship between cryptocurrencies and precious metals in the second stage is handled by KSS(2006) discontinuous cointegration method. In the study, gold, silver and platinum variables as precious metals were included in the analysis. As a result of the study, there is a non-long-term cointegration relationship between cryptocurrencies and precious metals and there is no group diversifier of cryptocurrencies for precious metals. Also, this half-state-strong form efficiency does not apply. In the third stage of the study, the volatility relationship between cryptocurrencies and stock markets was examined with the CCC-GJR GARCH method and the deposit volume of cryptocurrencies was tested. For share server variables, look at Bist100, Dow Jones and S&P500 stocks. Subsequently, the Granger causality test was measured to determine the direction of the relationship between these markets. As a result of the analysis, it has been determined that cryptocurrencies have strong interactions with those above the dow jones and S&P500 sentiment, and that cryptocurrencies can be a portfolio diversifier for these stock markets. In the entire study, five days of content was used between the periods of 02/01/2017-29/10/2021.**

**Keywords:** Cryptocurrency, Traditional Financial Asset, Linear and Nonlinear Unit Root Tests, Nonlinear Cointegration, Fixed Conditional Correlation Generalized Autoregressive Conditional Variance

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
TABLolar DİZİNİ .....	vii
GRAFİKLER DİZİNİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	x
GİRİŞ .....	1

## BİRİNCİ BÖLÜM

### KRİPTO PARA PİYASALARI ETKİN Mİ? DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN BİRİM KÖK TESTİ

1.1. Giriş.....	8
1.2. Teorik Çerçeve.....	13
1.2.1. Piyasa Etkinliğinin Tarihsel Seyri.....	13
1.2.2. Etkin Piyasa Hipotezi .....	16
1.2.2.1. Piyasaların Bilgi Etkinliği.....	20
1.2.2.1.1. Zayıf Formda Etkinlik (Weak Form Efficient).....	22
1.2.2.1.2. Yarı Güçlü Formda Etkinlik (Semi-Strong Form Efficient).....	24
1.2.2.1.3. Güçlü Formda Etkinlik (Strong Form Efficient).....	26
1.2.2.2. Piyasaların Faaliyet Etkinliği.....	27
1.2.2.3. Piyasaların Kaynak Dağıtım Etkinliği.....	28
1.2.3. Etkin Piyasa Hipotezi ile İlgili Kavramlar.....	29
1.2.3.1. Beklenen Getiri veya Adil Oyun (Fair Game) Modeli.....	29
1.2.3.2. Martingale Modeli.....	31
1.2.3.3. Rassal Yürüyüş (Random Walk) Modeli.....	32
1.3. Literatür.....	34
1.4. Ekonometrik Yöntem.....	43
1.4.1. Metodoloji.....	43
1.4.1.1. Doğrusal Birim Kök Testleri.....	47
1.4.1.1.1. Genişletilmiş Dickey Fuller (ADF) Testi.....	47
1.4.1.1.2. Phillips-Perron (PP) Testi.....	48
1.4.1.1.3. Zivot-Andrews Yapısal Kırılmalı Birim Kök Testi.....	49
1.4.1.2. Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi.....	49
1.4.1.2.1. Duruma Bağlı Doğrusal Olmayan Birim Kök Testleri.....	50
1.4.1.2.1.1. Enders ve Granger (1998) Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi.....	50
1.4.1.2.1.2. Kapetones vd., (2003) Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi.....	52
1.4.1.2.1.3. Sollis (2009) Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi.....	53
1.4.1.2.2. Zamana Bağlı Doğrusal Olmayan Birim Kök Testleri.....	55
1.4.1.2.2.1. Leybourne, Newbold ve Vougas (LNV) Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi.....	55
1.4.1.2.2.2. Shahbaz vd., (2018) Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi.....	56
1.4.1.2.2.3. Çorakçı vd., (2017) Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi.....	58
1.4.1.2.3. Hem Zamana Hem De Duruma Bağlı (Hibrid) Doğrusal Olmayan Birim Kök Testleri.....	60
1.4.1.2.3.1. Omay ve Yıldırım (2018) LNV_KSS Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi.....	60

1.4.1.2.3.2. Omay, Emirmahmutoğlu ve Hasanov (2018) Fourier_AESTAR Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi.....	62
1.4.1.2.3.3. Omay, Shahbaz ve Hasanov (2020) Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi .....	64
1.4.1.3. GARCH Birim Kök Testi.....	67
1.4.1.4. Varyans Oran Testi.....	68
1.4.2. Veri Seti ve Ampirik Bulgular.....	69
1.5. Sonuç.....	83

## İKİNCİ BÖLÜM

### KRİPTO PARALAR BİR PORTFÖY ÇEŞİTLİLİĞİ MİDİR? KIYMETLİ METALLER İLE ARASINDA DOĞRUSAL OLMAYAN EŞBÜTÜNLEŞME ANALİZİ

2.1. Giriş.....	91
2.2. Literatür.....	99
2.3. Ekonometrik Yöntem.....	109
2.3.1. Metodoloji.....	109
2.3.2. Veri Seti ve Ampirik Bulgular.....	123
2.4. Sonuç.....	130

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### KRİPTO PARA İLE PAY PİYASALARI ARASINDA VOLATİLİTE İLİŞKİSİ: CCC-GJR GARCH ANALİZİ

3.1. Giriş.....	135
3.2. Literatür.....	138
3.3. Ekonometrik Yöntem.....	151
3.3.1. Metodoloji.....	151
3.3.1.1. Otoregresif Koşullu Değişen Varyans (ARCH) Modeli.....	154
3.3.1.2. Genelleştirilmiş Otoregresif Koşullu Değişen Varyans (GARCH) Modeli.....	158
3.3.1.3. Glosten-Jagannathan-Runkle Otoregresif Koşullu Değişen Varyans (GJR GARCH) Modeli.....	161
3.3.1.4. Sabit Koşullu Korelasyon (CCC GARCH).....	162
3.3.2. Veri Seti ve Ampirik Bulgular.....	167
3.4. Sonuç.....	215
SONUÇ.....	221
KAYNAKÇA.....	234
ÖZGEÇMİŞ.....	247

**ŞEKİLLER DİZİNİ**

Şekil 1.1: Piyasa Etkinlik Formları.....	22
Şekil 2.1: LSTAR ve ESTAR model eğrileri.....	113



## TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1: Literatür Taraması.....	38
Tablo 1.2: Değişkenlerin Düzey Değerlerine Ait İstatistikî Bilgiler.....	70
Tablo 1.3: Değişkenlerin Getiri Değerlerine Ait İstatistikî Bilgiler.....	71
Tablo 1.4: Geleneksel Doğrusal Birim Kök Testleri.....	73
Tablo 1.5: Zivot Andrews Yapısal Kırılmalı Birim Kök Testi.....	74
Tablo 1.6: Duruma Bağlı Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi.....	74
Tablo 1.7: Zamana Bağlı Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi.....	77
Tablo 1.8: Hibrid Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi.....	78
Tablo 1.9: GARCH Birim Kök Testi Sonuçları.....	80
Tablo 1.10: Kripto Paraların Düzey Değerleri için Varyans Oran Testi Sonuçları.....	81
Tablo 1.11: Kripto Paraların Getiri Değerleri için Varyans Oran Testi Sonuçları.....	82
Tablo 1.12: Kripto Para Piyasalarında Etkinliğin Genel Gösterimi .....	87
Tablo 2.1: Literatür Taraması.....	100
Tablo 2.2: Değişkenlere Ait İstatistikî Bilgiler.....	124
Tablo 2.3: Çalışmada Kullanılan Modeller.....	124
Tablo 2.4: ADF Birim Kök Testleri.....	125
Tablo 2.5: PP Birim Kök Testi.....	125
Tablo 2.6: KSS (2003) Birim Kök Testi.....	126
Tablo 2.7: Optimal Gecikme Uzunluğu ve Otokorelasyon Test Sonuçları.....	127
Tablo 2.8: Engle-Granger Eşbütünleşme Testi.....	127
Tablo 2.9: KSS Eşbütünleşme Testi Sonuçları.....	128
Tablo 3.1: Literatür Özeti.....	139
Tablo 3.2: Değişkenlerin Düzey Değerlerine Ait İstatistikî Bilgiler.....	169
Tablo 3.3: Değişkenlerin Getiri Değerlerine Ait İstatistikî Bilgiler.....	170
Tablo 3.4: Çalışmada Kullanılan Modeller.....	171
Tablo 3.5: ADF ve PP Birim Kök Testleri.....	172
Tablo 3.6: Optimal Gecikme Uzunluğu ve Otokorelasyon Test Sonuçları.....	172
Tablo 3.7: Getiri Serileri için ARCH-LM ve LJUNG-Box Q Testi.....	173
Tablo 3.8: Model Belirleme Kriterleri .....	174
Tablo 3.9: Çok Değişkenli GARCH Model Belirleme Kriterleri .....	175
Tablo 3.10: Sabit Korelasyon Test Sonuçları Tse (2000) LM.....	176
Tablo 3.11: Model I için VAR(3)- CCC-GJR GARCH(1,1).....	177
Tablo 3.12: Model II için VAR(3)- CCC-GJR GARCH(1,1).....	179
Tablo 3.13: Model III için VAR(3)- CCC-GJR GARCH(1,1).....	181
Tablo 3.14: Model IV için VAR(9)- CCC-GJR GARCH(1,1).....	182
Tablo 3.15: Model V için VAR(9)-CCC-GJR GARCH(1,1).....	185
Tablo 3.16: Model VI için VAR(10)-CCC-GJR GARCH(1,1).....	187
Tablo 3.17: Model VII için VAR(9)-CCC-GJR GARCH(1,1).....	189
Tablo 3.18: Model VIII için VAR(9)-CCC-GJR GARCH(1,1).....	191
Tablo 3.19: Model IX için VAR(9)-CCC-GJR GARCH(1,1).....	193
Tablo 3.20: Model I için CCC-GJR-GARCH Portmanteau Testi.....	194
Tablo 3.21: Model II için CCC-GJR-GARCH Portmanteau Testi.....	195
Tablo 3.22: Model III için CCC-GJR-GARCH Portmanteau Testi.....	195
Tablo 3.23: Model IV için CCC-GJR-GARCH Portmanteau Testi.....	195
Tablo 3.24: Model V için CCC-GJR-GARCH Portmanteau Testi.....	195
Tablo 3.25: Model VI için CCC-GJR-GARCH Portmanteau Testi.....	196
Tablo 3.26: Model VII için CCC-GJR-GARCH Portmanteau Testi.....	196
Tablo 3.27: Model VIII için CCC-GJR-GARCH Portmanteau Testi.....	196

Tablo 3.28: Model IX için CCC-GJR-GARCH Portmanteau Testi.....	196
Tablo 3.29: Model I için Granger Nedensellik Testi.....	197
Tablo 3.30: Model II Granger Nedensellik testi.....	200
Tablo 3.31: Model III Granger Nedensellik testi.....	201
Tablo 3.32: Model IV Granger Nedensellik testi.....	204
Tablo 3.33: Model V Granger Nedensellik testi.....	206
Tablo 3.34: Model VI Granger Nedensellik testi.....	208
Tablo 3.35: Model VII Granger Nedensellik testi.....	209
Tablo 3.36: Model VIII Granger Nedensellik testi.....	211
Tablo 3.37: Model IX Granger Nedensellik testi.....	213

## GRAFİKLER DİZİNİ

Grafik 1.1: Değişkenlerin Düzey Değerlerinin Zaman İçindeki Değişimi.....	70
Grafik 1.2: Değişkenlerin Getiri Değerlerinin Zaman İçindeki Değişimi.....	71
Grafik 2.1: Aylık kripto para değişimi.....	92
Grafik 2.2: Kıymetli Metaller Aylık Değişim Grafiği.....	95
Grafik 2.3: Kripto Para ve Kıymetli Metaller Aylık Değişimleri.....	96
Grafik 3.1: Değişkenlerin Zaman İçindeki Gelişimi.....	169
Grafik 3.2: Değişkenlerin Getiri Serilerinin Zaman İçindeki Gelişimi.....	170
Grafik 3.3: Model I Koşullu Varyans-Kovaryans Grafikleri.....	199
Grafik 3.4: Model II Koşullu Varyans-Kovaryans Grafikleri.....	201
Grafik 3.5: Model III Koşullu Varyans-Kovaryans Grafikleri.....	202
Grafik 3.6: Model IV Varyans-Koşullu Kovaryans Grafikleri.....	205
Grafik 3.7: Model V Varyans-Koşullu Kovaryans Grafikleri.....	207
Grafik 3.8: Model VI Koşullu Kovaryans Grafikleri.....	209
Grafik 3.9: Model VII Koşullu Kovaryans Grafikleri.....	210
Grafik 3.10: Model VIII Koşullu Kovaryans Grafikleri.....	212
Grafik 3.11: Model IX Koşullu Kovaryans Grafikleri.....	214

## SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

ABD: Amerika Birleşik Devleti  
ADF: Genelleştirilmiş Dickey Fuller  
AESTAR: Asimetrik Üstel Yumuşak Geçişli Otoregresif Model  
AIC: Akaike Bilgi Kriteri  
ALT: Altın  
ARCH: Otoregresif Koşullu Değişen Varyans  
ARDL: Otoregresif Dağıtılmış Gecikme  
BİST: Borsa İstanbul  
BTC: Bitcoin  
CCC: Sabit Koşullu Korelasyon  
cDCC: Düzeltilmiş Dinamik Koşullu Korelasyon  
CEO: Çorakcı, Emirmahmutoğlu ve Omay  
CMEE: Sermaye Piyasası Etkinlik Üssü Endeksi  
DCC: Dinamik Koşullu Korelasyon  
DF: Dickey Fuller  
DOLS: Dinamik En Küçük Kareler  
DWJ: Dow Jones  
EG: Enders ve Granger  
EI: Etkinlik Endeksi  
EKK: En Küçük Kareler  
EPH: Etkin Piyasa Hipotezi  
EST: Üstel Yumuşak Geçiş  
ESTAR: Üstel Yumuşak Geçişli Otoregresif Model  
ETH: Ethereum  
FED: Federal Reserve System (Amerika Merkez Bankası)  
FPE: Son Tahmin Hatası  
FV: Finansal Varlıklar  
GARCH: Genelleştirilmiş Otoregresif Koşullu Değişen Varyans  
GMS: Gümüş  
HQ: Hannan-Quinn  
KP: Kripto para  
KPSS: Kwiatkowski, Phillips, Schmidt ve Shin  
KSS: Kapetanios, Shin ve Shell  
LM: Lagrange Çarpanı  
LNV: Leybourne, Newbold ve Vougas  
LSTAR: Lojistik Dağılımlı Yumuşak Geçişli Otoregresif Model  
LTC: Litecoin  
MTAR: Momentum Eşik Değerli Otoregresif Model  
NLS: Doğrusal Olmayan En Küçük Kareler  
OHE: Omay, Hasanov ve Emirmahmutoğlu  
OSH: Omay, Shahbaz ve Hasanov  
OY: Omay ve Yıldırım  
PLT: Platin  
PP: Phillips-Perron  
S&P: Standart&Poor's  
SADF: Supremum Genelleştirilmiş Dickey Fuller  
SETAR: Kendinden Uyarımlı Eşik Değerli Otoregresif Model  
SIC: Schwarz Bilgi Kriteri

SOR: Shahbaz, Omay ve Roubaud

STAR: Yumuşak Geçişli Eşik Değerli Otoregresif Model

TAR: Eşik Değerli Otoregresif Model

USD: Amerikan Doları

VAR: Vektör Otoregresif Model

VECH- GARCH: Vektör Hata Düzeltme Genelleştirilmiş Otoregresfi Koşullu Değişen Varyans

XMR: Monero

XRP: Ripple

ZA: Zivot Andrews

## GİRİŞ

Para, en genel tanımıyla mal ve hizmetlerin mübadelesini sağlama amacı taşıyan bir değer olarak tanımlanabilir. Tarihin ilk zamanlarında mübadele aracı olarak kullanılan para, zaman içerisinde çok sayıda değişime uğramıştır. Tarih öncesi dönemlerde mal-hizmet alım satım işlemleri takas yöntemiyle yapılıyorken, Lidya medeniyeti ile birlikte ticari işlemler parasal sisteme dönüşmüştür. Zaman içerisinde teknoloji ve bilimin gelişmesiyle birlikte ticari işlemler yerini, değerli madenler, temsili paralar, elektronik ortamda kayıt altında olan banka paraları ve son olarak elektronik paralara bırakmıştır. Dolayısıyla para, tarih boyunca şekli, yöntemi ve işlevi açısından çok sayıda değişime uğramıştır. Ancak para, tarih boyunca ne kadar değişime uğrarsa uğrasın hepsi de “mübadele aracı olma, değer saklama aracı olma ve hesap birimi olma” fonksiyonlarına sahiptir.

Geçmişten günümüze teknoloji ve bilimin hızla gelişmesi, para alanında birçok değişim yaratmasının yanı sıra finansal piyasalarda da değişimlere neden olmuştur. Ülkelerin finansal yapılarını ve piyasalarını etkileyen bu gelişmeler, yatırım ve finansal araçlara yön vermektedir. Teknolojik gelişmeler sonucunda finansal piyasalardaki değişimler, finansal piyasa katılımcılarının ödeme sistemlerine yönelik ihtiyaçlarını artırmıştır. Bu çerçevede yeni alternatif ödeme yöntemleri geliştirilmiştir. Bu alternatif ödeme yöntemleri “EFT, Havale, Kredi Kartı vb.” şeklinde olup dijital ortamda gerçekleşmektedir. Bu alternatif dijital ödeme yöntemlerinin gelişmesinden sonra ilk zamanlarda bu yöntemler cazip gelse de sonraları paranın dijitalleşmesinin işlem maliyetlerinin yüksek olması, para transferi işlemlerinin gecikmeli gerçekleşmesi vb. gibi sorunlara neden olduğu gözlenmiştir. Bu sorunlara çözüm olarak maliyetlerin düşük olduğu ve işlemlerin hızlı bir şekilde gerçekleştirildiği yeni ödeme yöntemlerine ihtiyaç olduğu düşünülmüştür. Dijital paraların neden olduğu bu sorunlar, teknolojinin daha da gelişmesi ve finansal piyasalarda yaşanan krizler, dijital para alanını bir adım ileriye taşıyarak kripto para birimlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu bağlamda 2008 küresel krizinden sonra ortaya çıkan ve Covid-19 krizinden sonra kullanımı daha da yaygınlaşan kripto paralar, 21.yüzyılın ilk çeyreğinde paranın uğradığı son değişim olarak nitelendirilebilir.

İlk kripto para birimi olan Bitcoin (BTC), 2009 yılında Satoshi Nakamoto adlı kişi tarafından ortaya atılmıştır. BTC, temeli Blockchain teknolojisine dayanan, merkezi bir otoriteye bağlı olmayan, işlemlerin anonim gerçekleştiği ve transferlerin aracı kurum

olmadan yapıldığı dijital para birimidir. Akabinde çok sayıda kripto para birimi ortaya çıkmıştır ve Coinmarketcap verilerine göre günümüzde toplam 25.638 adet kripto para vardır. BTC gibi piyasaya giren diğer tüm kripto para birimlerinin de temelinde blockchain teknolojisi yatmaktadır. Blockchain teknolojisi sayesinde kriptolojik bir şifreleme yöntemi ile işlem verilerinin kimliği gizlenmektedir. Ayrıca bu teknoloji ile her bir işlem kendinden önceki işlemleri de kapsamaktadır. Dolayısıyla bu teknoloji sayesinde hem kripto para kullanıcılarına anonim olma imkanı sunulmakta hem de kripto paraların sahtecilik yoluyla çalınmaları önlenmektedir. Bunlara ek olarak, kripto para kullanıcıları, herhangi bir aracı kurum olmadan işlemleri kendileri yaptığı için paranın güvencesini sağlamaktadır. Kripto paralar sahip oldukları bu özellikleri sayesinde geleneksel para birimlerinden farklılaşmaktadır. Dolayısıyla bu çerçevede kripto para piyasaları için “geleneksel paranın fonksiyonlarını taşıyor mu?” sorusu gündeme gelmektedir.

Bazı ekonomik aktörler kripto paraların merkezi bir otoriteye bağlı olmama özelliğinin yenilikçi bir teknoloji olduğunu savunurken bir kısım aktörler merkezsiz para birimlerinin yasa dışı işler için kullanılabilmesi üzerine odaklanmaktadır. Kripto para birimlerine yapılan bu eleştiri ise kripto paraların niteliğine yönelik tartışmaları gündeme getirmiştir. Yani geleneksel para gibi kripto paraların da “mübadele aracı olma, değer saklama aracı olma ve hesap birimi olma” niteliklerine sahip olup olmadıkları tartışma konusu olmuştur.

Bitcoin piyasaya sürüldüğü andan itibaren değerine değer katmış ve işlem hacmi en yüksek kripto para birimi haline gelmiştir. Bitcoin’in peşi sıra piyasaya çok sayıda altcoinlerin girmesi zaman içerisinde kripto paraların popüleritesini artırmış ve kullanım amacını değiştirmiştir. BTC ilk çıktığı zamanlarda ödeme aracı olarak kullanılırken popüleritesinin artması ve piyasadaki işlem hacminin yüksek olması gibi özellikleri nedeniyle bireyler tarafından yatırım amaçlı kullanılmaya başlanmıştır. Kripto paraların yatırım aracı olarak görülmesi, bu para birimlerinin değer saklama aracı niteliğinin önem kazanmasını ve yatırımcıların ilgisini çekmeyi sağlamıştır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte finans alanında yeni bir teknolojik yatırım aracı olarak görülen kripto para birimlerine olan ilginin artması, kullanımlarının kolay olması, gizlilik ve şeffaflığının olması ve hızlı bir şekilde getiri elde edilmesi gibi özellikleri sayesinde bu piyasalar için dijital para borsaları doğmuştur. Bu borsaların doğması kripto paraların kendilerine özgü borsalarının olduğuna ve bu paraların aslında yatırım aracı olarak işlev gördüğüne işaret etmektedir. BTC’in, piyasaya çıktığı ilk zamanlarda alınıp

satılabileceği hiçbir borsa yokken günümüzde dünya üzerinde çok sayıda kripto para borsası bulunmaktadır. Coinmarketcap verilerine göre 11/06/2023 tarihi itibari ile kripto para piyasası için toplam 641 kripto para borsası bulunmaktadır. Bu borsalarda her geçen gün milyarlarca dolarlık işlem hacmi oluşmakta ve binlerce farklı kripto para birimi işlem görmektedir. Kripto para birimlerinin ortaya çıkması ve zaman içerisinde popülaritesinin artması, bu para birimlerinin ödeme aracı olmasının yanı sıra yatırım aracı işlevi görmesi, aslında yeni nesil finansal sistemin kapılarının aralandığını gösterdiğini düşündürmektedir.

Kripto para piyasalarında kendilerine özgü borsaların oluşması, bu piyasada işlem gören varlıkların işlem hacimleri açısından geleneksel finansal varlıkların işlem hacimleri ile rekabet halinde olmasına neden olduğunu göstermektedir. Yani kısa vadede yüksek getiri elde etmek isteyen yatırımcılar geleneksel finansal varlıklar yerine kripto paralara yönelerek geleneksel finansal varlık borsalarının geleceğini tehdit altına alabilirler. Bu bilgiler çerçevesinde yeni bir varlık olarak görülen kripto paralar için portföy çeşitliliği mi yoksa kriz dönemlerinde güvenli bir liman ya da hedge görevi mi gördüğüne dair sorular tartışma konusu olmuştur. Dolayısıyla kripto paraların finansal varlıklar üzerindeki etkisi veya finansal varlıklarla arasındaki ilişkinin araştırılması, hem ne amaçla kullanılabileceğine hem de yatırımcı ve politika aktörlerine bilgi aktarma yönünden önemli bir araştırma konusu olmuştur. Kripto para piyasaları ile ilgili bir diğer önemli konu ise bu piyasalarda etkinliğin geçerli olup olmamasıdır. Kripto para piyasalarında yatırım yapan yatırımcıların bu piyasaların etkinliği konusunda da bilgi sahibi olması gerekmektedir. Çünkü bir piyasanın etkin olması yatırımcıların yatırım kararını etkileyen en önemli etkendir. Kripto paraların geleneksel finansal varlıklara oranla çok yeni olması, piyasada altcoin sirkülasyonunun fazla olması, kripto paraların oynak bir yapıya sahip olduğunu ve geleceğinin tahmin edilmesinin zorlaştığını göstermektedir. Bu durum kripto para piyasalarının etkinliği hakkında bilgi sahibi olunması gerekliliğine dikkat çekmiştir. Dolayısıyla kripto para piyasaları için etkin piyasa hipotezinin geçerliliğinin test edilmesi, kripto para yatırımcılarının yatırım kararlarına yön vermeleri bakımından bilgi sahibi olunmasını sağlaması açısından diğer bir önemli araştırma konusu olmuştur. Bu bağlamda çalışmada 02/01/2017-29/10/2021 dönemleri arasında kripto paraların hangi niteliklere sahip olduğu, bu piyasaların etkinliğinin incelenmesi ve kripto paraların kullanım amacının ne olduğunun tespit edilerek kripto paraların geleceği hakkında bilgi sahibi olunması araştırılmaktadır.



## Çalışmanın Amacı

Çalışmada kripto paraların popülaritesinin artmasıyla birlikte bu paraların yeni bir varlık olarak görülmesi sonucunda kripto paralar “portföy çeşitlendirme aracı olarak kullanılabilir mi, bu piyasalarda etkinlik geçerli mi ve bu paralar geleneksel para birimlerinin fonksiyonlarını taşıyor mu?” sorularına yanıt bulmak amaçlanmaktadır. Bu çerçevede öncelikle kripto para piyasalarının etkinliğinin dinamikleri test edilmektedir. Kripto para piyasası etkinliğinin dinamikleri incelenirken öncelikle kripto para piyasalarında zayıf formda piyasa etkinliğinin geçerliliği test edilmektedir. Bu piyasada zayıf formda etkinlik geçerli ise akabinde getirilerin rassal yürüyüş özelliği gösterip göstermediği test edilmektedir. Kripto para piyasalarında zayıf formda etkinliğin geçerliliği ve getirilerin rassal hareket ettiği tespit edildiğinde bu piyasaların yatırım için uygunluğu konusunda bilgi sahibi olunmaktadır. Kripto para piyasalarının etkinliğinin dinamiklerinin incelenmesinde bir diğer aşama bu piyasalarda hem yarı-güçlü formda etkinliğin geçerliliğinin test edilmesi hem de kripto paraların portföy çeşitlendirme aracı olarak kullanılıp kullanılmayacağına tespit edilmesidir. Ayrıca kripto paralar hakkında bu bilgilerin elde edilmesi ile birlikte bu paraların, geleneksel paraların hangi fonksiyonlarını taşıdığı hakkında da bilgi sahibi olunmaktadır. Bu çerçevede kripto para piyasaları incelenerek bu piyasaların geleceği hakkında bilgi sahibi olunması ve bu bilgiler çerçevesinde politika önerilerinde bulunulması amaçlanmaktadır.

Etkin Piyasa Hipotezi’ne ilişkin çalışmalar incelendiğinde, genellikle geleneksel finansal piyasaların etkinliği üzerine çalışmaların yapıldığı ancak kripto para piyasalarının etkinliği konusunda az sayıda çalışmalar olduğu gözlenmiştir. Ayrıca kripto para piyasaları ile geleneksel finansal varlıklar arasındaki ilişkinin araştırıldığı ve özellikle kripto paraların kıymetli metaller ile arasındaki ilişkinin araştırıldığı çalışmaların da literatürde az sayıda bulunduğu bilinmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalar sonucunda, literatürde çoğu çalışma kripto paraların portföy çeşitlendiricisi olduğu ve bu piyasalarda etkinliğin zaman içerisinde değişebileceği yönünde tespitlerde bulunulmuştur. Literatürde bu alanda çalışmaların az sayıda olması ve analiz aşamasında geleneksel yöntemlerin kullanılmasının kripto para piyasaları hakkında yanlış bilgiler verebileceği düşüncesinden hareketle, bu çalışmada farklı analiz yöntemleri kullanılarak kripto para piyasalarının etkinliği ve portföy çeşitlendiricisi araştırılmıştır. Dolayısıyla bu bilgiler çerçevesinde çalışmanın özgün bir karaktere sahip olması, finans literatüründe kripto para piyasaları hakkındaki bazı boşlukları dolduracağı ve akabinde yapılacak çalışmalara önyak olabileceği düşünülmektedir. Bu

çerçevede çalışmada 02/01/2017-29/10/2021 dönemleri arasında finansal piyasalarda kripto para uygulamaları üzerine üç deneme yapılarak kripto para piyasalarının geleceği hakkında bilgi sahibi olunması amaçlanmıştır.

### **Çalışmanın Aşamaları**

Çalışma, “Finansal Piyasalarda Kripto Para Uygulamaları Üzerine Üç Denemeden” oluşmaktadır. Çalışmada işlem hacmi açısından ilk sıralarda olan ve piyasaya ilk giren kripto para birimlerinden Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH) ve Litecoin (LTC) değişkenleri kullanılmıştır. Çalışmanın birinci denemesinde “Kripto Para Piyasaları Etkin Mi? Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi” adlı çalışma anlatılmaktadır. İlk deneme çalışmasında, BTC, ETH ve LTC piyasalarında zayıf formda piyasa etkinliği hipotezinin geçerliliği doğrusal ve doğrusal olmayan birim kök testleri ile test edilmiştir. Akabinde bu kripto paraların getirilerinin rassal yürüyüş özelliği, varyans oran testi ile test edilmiştir. Çalışmanın sonucunda, analizden elde edilen bulgulara göre yorumlar yapılarak bu piyasaların etkinliği hakkında bilgi verilmiştir.

Çalışmanın ikinci denemesinde, “Kripto Paralar Bir Portföy Çeşitliliği Midir? Kıymetli Metaller ile Arasında Doğrusal Olmayan Eşbütünleşme Analizi” başlıklı çalışma anlatılmıştır. Çalışmanın bu aşamasında kripto para birimi değişkenleri olarak BTC, ETH ve LTC kullanılırken kıymetli metal değişkenlerinden Altın (ALT), Gümüş (GMS) ve Platin (PLT) kullanılmıştır. Burada kripto para birimleri ile kıymetli metaller arasındaki ilişki doğrusal olmayan eşbütünleşme yöntemi ile test edilerek aralarında uzun vadede ilişki olup olmadığı test edilmiştir. Bu test sonucuna göre kripto paraların portföy çeşitliliği hakkında bilgi verilmektedir.

Çalışmanın üçüncü denemesinde ise “Kripto Para ile Pay Piyasaları Arasındaki Volatilite İlişkisi: CCC-GJR GARCH Analizi” başlıklı çalışma anlatılmıştır. Çalışmanın bu aşamasında geleneksel finansal varlıklardan pay piyasaları incelenmiş ve kripto para piyasaları ile pay piyasaları arasındaki volatilité ilişkisi çok değişkenli GARCH yöntemi ile test edilmiştir. Burada da aynı kripto para değişkenleri kullanılmış olup pay piyasalarından, Dow Jones, Bist100 ve S&P500 hisse senedi değişkenleri kullanılmıştır. Üçüncü deneme çalışması sonucuna göre de kripto paraların pay piyasaları için portföy çeşitlendiricisi olması hakkında bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın genelinde analiz yönteminde doğrusal olmayan yöntemlerin kullanılmasının kripto para piyasasının geleceği hakkında daha doğru bilgiler vereceği düşünülmüştür. Çünkü kripto para piyasalarının spekülâtif yapıya sahip olmaları bu

değişkenlerin doğrusal olmayan bir yapıya sahip olmasına neden olabilmektedir. Çalışmada kullanılan bazı analiz yöntemlerinin diğer çalışmalardan farklı olması, kripto para piyasalarının geleceği hakkında daha net bilgilere sahip olabilmemizi sağlaması açısından önemlidir. Dolayısıyla bu çalışmanın finans alanında literatürde önemli bir yer edineceği düşünülmektedir.

### **Çalışmanın Yöntemi**

Çalışmanın ilk denemesi olan kripto para piyasalarının etkinliğinin test edilmesinde, doğrusal ve doğrusal olmayan birim kök testleri, GARCH birim kök testi ve varyans oran testi kullanılmıştır. Doğrusal birim kök testlerinden, Genişletilmiş Dickey Fuller (ADF)-Phillips Peron (PP) ve Zivot-Andrews testleri kullanılmıştır. Doğrusal olmayan birim kök testlerinden, duruma bağlı, zamana bağlı ve duruma ve zamana (Hibrit) bağlı birim kök testleri kullanılmıştır. Duruma bağlı doğrusal olmayan birim kök testleri; Enders ve Granger (1998), Kapetanios vd., (2003), Sollis (2009), zamana bağlı doğrusal olmayan birim kök testleri; Leybourne vd., (1999), Shahbaz vd., (2018), Çorakcıoğlu vd., (2017) ve hem zamana hem duruma bağlı doğrusal olmayan birim kök testleri ise Omay ve Yıldırım (2018) LNV-KSS, Omay vd., (2018) Fourier-AESTAR ve Omay vd., (2020) ESTR-KSS testleridir. Ayrıca GARCH modelinin otoregresif (AR) birim köklü ve parametrelerinin birlikte tahmin edildiği GARCH birim kök testi kullanılmıştır. Son olarak ise varyans oran testi kullanılmıştır.

Çalışmanın ikinci denemesinde, kripto paralar ile kıymetli metaller arasındaki ilişki doğrusal olmayan eşbütünleşme testi ile incelenmiştir. Çalışmada öncelikle 02/01/2017-29/10/2021 dönemleri için serilerin doğrusallık sınaması Kapetanios vd.,(2003) doğrusal olmayan birim kök testi ile test edilerek serilerin doğrusal olmayan bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir. Serilerin doğrusal olmayan yapıya sahip oldukları tespit edildikten sonra Kapetanios vd., (2006) tarafından geliştirilen doğrusal olmayan eşbütünleşme testi yapılmıştır. Kullanılan yöntem ve incelenen dönem kripto para piyasasının portföy çeşitliliği hakkında literatüre katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

Çalışmanın son deneme çalışması olan üçüncü denemede, kripto para piyasası ile pay piyasaları arasındaki volatilité ilişkisi çok değişkenli GARCH modeli ile incelenmiştir. Çalışmada öncelikle değişkenlerin getiri değerleri hesaplanarak bu getirilerin ARCH-GARCH yapısına uygunlukları test edilmiştir. Akabinde asimetric veya simetric GARCH modelleri arasında en uygun model seçimi yapılmış ve sonucunda GJR GARCH yönteminin kullanılması uygun bulunmuştur. Asimetric veya simetric modeller arasında uygun model seçimi yapıldıktan sonra çok değişkenli

GARCH modelleri arasında da çalışma için uygun model hesaplaması yapılmıştır. Çalışmanın bu kısmında ise “Sabit Koşullu Korelasyon (CCC-GARCH) Genelleştirilmiş Otoregresif Koşullu Değişen Varyans ” modelinin uygun olduğu tespit edilmiştir.

Her bir çalışmanın sonucunda o çalışma ile ilgili sonuç kısmına yer verilmiştir. Ancak çalışmanın en son kısmında genel bir sonuç ve politika önerileri de yer almaktadır.

## BİRİNCİ BÖLÜM

### KRİPTO PARA PİYASALARI ETKİN Mİ? DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN BİRİM KÖK TESTİ

#### 1.1. GİRİŞ

Finansal sistemin merkezinde temel ödeme aracı olarak fiziksel paralar yer almaktadır. Ancak teknolojik gelişmeler sonucunda finansal piyasalar ve ödeme sistemleri gelişirken, finansal piyasa katılımcılarının ödeme sistemlerine yönelik ihtiyaçları artmaktadır. Dolayısıyla para, tarih boyunca çok sayıda fiziksel dönüşüm sürecine girmiştir. Bu fiziksel dönüşümün bugün geldiği nokta ise paranın dijitalleşmesidir. Bir diğer deyişle teknolojik gelişmeler, bilgisayar kullanımlarının yaygınlaşması, uluslararası ticaret ve finansın aşırı genişlemesi sonucunda para alanında da yenilikler gözlenmektedir.

Paranın dijitalleşmesinin yaygınlaşması, transferlerde yüksek maliyetlerin ödenmesi, güvenlik sorunu gibi problemlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Dolayısıyla bireyler ödeme işlemlerini güvenli bir şekilde yapabilecekleri ve ödemelerini az maliyetli ve hızlı bir şekilde gerçekleştirebilecekleri alternatif sistem arayışları içerisine girmişlerdir. Bunun ilk örneklerinden olan kripto paraların günümüzde ilk sırayı aldığı gözlenmektedir (Çalışır ve Şanver, 2018:156).

Kripto para; internet aracılığıyla kullanılan, herhangi bir otorite, devlet, şirket tarafından yönetilmeyen, merkezi olmayan para sistemi, takas işlemlerinde kullanılabilen, matematik temelli şifrelenmiş, kriptoloji bilimini kullanan ve günümüzde gittikçe yaygınlaşan dijital ve sanal bir para birimidir.

Bilindiği üzere teknolojik gelişmeler finansal piyasaları etkilemektedir ve bu durum internet üzerinden yapılan finansal alışverişleri artırmaktadır. İnternet üzerinden ve finansal alanlarda yapılan alışverişler güven noktasındaki zayıflıkları göstermektedir. Dolayısıyla bu durumda finansal kurumların aracılık hizmetleri işlem maliyetlerini artırmakta, en küçük işlem miktarını sınırlamakta ve maliyetler artacağı için küçük ödeme işlemleri engellenmektedir. Bunun sonucunda ise daha fazla güvene dayalı bir elektronik ödeme sistemine ihtiyaç doğmaktadır (Nakamoto, 2008:1). Kripto paralar, düşük maliyetli olmaları, bilgi gizliliğinin yüksek olması, güçlü şifreler aracılığı ile hesaptan hesaba aktarılabilmeleri ve herhangi bir merkezi otoriteye bağlı olmamaları açısından ayırt edici özelliklere sahiptir. Bu özellikleri sayesinde kripto paralar kısa sürede kendilerine özgü teknolojik bir model oluşturmuşlardır.

Merkez bankası parasından bağımsız olan ilk dijital para birimi 2008 yılında ortaya çıkan Bitcoin (BTC)'dir. 2009 yılından itibaren Bitcoin'in yanı sıra bir çok kripto para birimleri ortaya çıkmıştır ve binden fazla kripto para çeşidi vardır. Bu çalışmada piyasa değeri açısından önemli olan ve ilk çıkan üç kripto para birimine değinilmektedir. Bunlar Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH) ve Litecoin (LTC)'dir.

Merkezi otoriteden bağımsız olarak üretilen ilk ve kripto para piyasasının en güçlü para birimi olan Bitcoin, 2008 yılında ortaya çıkmış ve BTC olarak ifade edilmektedir. 2008 yılında deneysel olarak başlatılan ve iktisat çalışması olarak literatürde yerini alan Bitcoin sistemi, Satoshi Nakamoto tarafından yayınlanan "Peer to Peer Electronic Cash System" (Eşler Arası Elektronik Nakit Sistemi) adlı çalışması ile ortaya atılmıştır. Bitcoin, herhangi bir merkezi otorite tarafından yönetilmeyen, resmi bir kuruluş ile ilişkisi olmayan, sadece ülkelerin para birimleriyle alınıp satılabilen, internet üzerinden yapılan ve aracı kuruma gerek kalmadan transferi yapılabilen dijital bir para birimidir. Bitcoin, piyasaya çıktığı günden itibaren hem işlem hacmi hem de piyasa değeri açısından değerine değer katmış ve günümüzde daha da yaygınlaşmıştır. Bitcoin, piyasa değeri ve toplam işlem hacmi bakımından Aralık ayı değerlerine göre 959.39 milyar usd piyasa değeri ve %25.60 toplam işlem hacmi ile ilk sırada yer almaktadır. Bitcoin'in bu kadar yaygınlaşmasının arkasında yatan temel nedenler ise; işlem maliyetlerinin çok az olması, kullanım alanlarının artması, küreselleşmesi, blockchain teknolojisi sayesinde güvenli ve anonim olarak değer saklama aracı olmasıdır (Brand, 2016:1).

Blockchain teknolojisi ilk olarak Bitcoin ile ortaya çıkmış ve devrim olarak görülmektedir. Blockchain teknolojisi, kayıtların birbirine kriptografik elementlerle bağlı olarak sürekli büyüyen dağıtık bir veri tabanıdır (Piscini vd., 2017:95). Yani, BlockChain, şifrelenmiş işlem takibi sağlayan dağıtık bir veri tabanıdır. Aracısız her kullanıcı ağa bağlanabilir, yeni işlemler gönderebilir, işlemleri doğrulayabilir ve yeni bloklar oluşturabilir. Bu dağıtık veri tabanında her bir bilgi bloklar halinde, gelişmiş şifreleme algoritmalarıyla, birbirine bağlanarak defter-i kebir kaydedilir. Bu durum ise bireylerin herhangi bir merkeze bağlı olmaksızın işlem yapabilmesini sağlar (Sayın ve Mercan, 2018:702). Defter-i kebir terimi 2'ye ayrılmaktadır. Merkezi defter-i kebir ve Dağıtılmış defter-i kebir. **Merkezi defter-i kebir**; yapılan tüm işlemlerin merkezi bir otorite tarafından kontrol edildiği ve kayıtların tek kopya halinde merkezi bir otorite kontrolünde tutulduğu defterdir. **Dağıtılmış defter-i kebir** ise kripto para birimlerinin temel teknolojisidir. Yani kripto para birimlerinde kayıtlar dağıtılmış defter-i kebir

teknolojisi ile yapılmaktadır. Dağıtılmış defter-i kebir, güvenilir bir merkezi otoriteye ihtiyaç duymadan kişilerin birbirleriyle anonim, doğrudan ve hızlı bir şekilde işlem yapılmasına imkan tanımaktadır. Diğer bir deyişle dağıtılmış defter-i kebir, merkezi olmayan defter tutmaya yani işlemlerin onaylanması ve belgelenmesine izin veren dağıtılmış bir veri tabanıdır. Yapılan işlemler her bir kullanıcıya kopya olarak iletilir, dolayısıyla her bir kullanıcı kontrollerini kendi hesaplarında yaparlar. İşlemlerin doğrulanması her zaman kullanıcılar tarafından sağlanmaktadır.

Blockchain teknolojisinin en güçlü yanı güvenlik düzeyinin yüksek olmasıdır. Blockchain kullanıcılara, işlem sürecini hızlandırması, maliyetleri düşürmesi, güvenliği artırması ve operasyonel işleyişi kolaylaştırması gibi faydalar sağlamaktadır. Kripto paraların yaygınlaşmasıyla alıcı ve satıcı arasında üçüncü taraflara ihtiyacı ortadan kaldıran blockchain teknolojisinin merkezileşmemiş sistemi, transferleri anonim ve çok düşük bir maliyetle gerçekleştirmesinden dolayı finansal sistemde önemli bir değişim meydana getirebilir. Blockchain teknolojisinin en önemli özelliği merkezi olmayan bir doğrulama sistemine sahip olmasıdır. Dolayısıyla bu durum dijital dönüşümün yaşandığı en etkili alanlardan biri olarak gösterilmektedir (Çetinkaya, 2018:16).

Ethereum, Rus asıllı genç bir yazılımcı olan Vitalik Buterin tarafından ortaya atılmıştır. Bitcoin'den sonra hem piyasa değeri hem de işlem hacmi bakımından ikinci büyük kripto para birimidir. Ethereum ilk kez 2015 yılında Kuzey Amerika Bitcoin Konferansında tanıtılmış ve büyük bir ilgiyle karşılanmıştır. Ethereum de Bitcoin gibi blockchain teknolojisiyle çalışmaktadır. Buterin (2014)'e göre, Ethereum "Turing Complete" adında kendine ait programlama diline sahiptir. Ethereum ağında 2 tür hesap vardır. Bunlardan ilki kullanıcı hesapları ikincisi ise akıllı sözleşmelerdir. Kullanıcı hesapları, kullanıcı kontrolünde olan Ethereum bakiyelerini gösteren dış hesaplardır. İkinci tip hesap olan akıllı sözleşmeler, kendi kodu tarafından kontrol edilen hesaplardır. Bu sistemde akıllı sözleşmeler ile Ethereum arasında işlem yapılmasına imkan tanıyan geniş bir uygulama yelpazesi sunulmaktadır (Dhillon vd. 2017:21). Dolayısıyla Ethereum'u ademi merkezîyetçi bir yapıya sahip olan, blockchain teknolojisini kullanarak kripto para birimlerinin ve akıllı sözleşme protokollerinin kullanılabilmesine olanak sağlayan, ayrıca kendini tüm dünyayı kapsayan büyük bir bilgisayar şeklinde tanımlayan işletim sistemidir (Salihoğlu, 2018:71). Ethereum ortaya çıktığı günden itibaren Bitcoin'den sonra ikinci büyük kripto para olarak yer almış ve günümüzde 483.62 milyar usd piyasa hacmi ve %14.42 toplam işlem hacmi olarak hala ikinci sıradaki yerini korumaktadır.

Litecoin, 2011 yılında eski Google çalışanı Charlie Lee tarafından geliştirilmiştir. Litecoin, Bitcoin'e rakip olarak değil daha çok Bitcoin'i tamamlayıcı bir para birimi olarak ortaya çıkmıştır. Litecoin'in ortaya çıkmasının asıl amacı daha küçük işlemleri daha hızlı sürede gerçekleştirmektir. Dolayısıyla Litecoin, Bitcoin'den esinlenerek ortaya çıkmıştır ancak Bitcoin'den farklılıkları vardır. Bu farklılıklardan biri Litecoin'in, dağıtmaya, kopyalamaya ve değiştirmeye izin veren "MIT/X11" lisansına sahip olmasıdır. Aynı zamanda Litecoin'in depolama olanağı diğer kripto para birimlerine kıyasla çok daha fazladır. Bir diğer farklılık ise Litecoin'in, blockchain teknolojisi ile Bitcoin'in aksine daha hızlı bir şekilde blok oluşturabilmesidir. Yani Bitcoin'den dört kat daha hızlı bir sürece sahiptir. Bitcoin'de her işlem için yaklaşık 10 dakika gerekirken bu süre Litecoin'de yaklaşık 2,5 dakikada gerçekleşmektedir. Böylece bir madenci için Litecoin'i kazanmak Bitcoin'e oranla daha kolay olmuş ve işlem maliyetleri daha ucuz gerçekleştirilmiştir (Bhosale ve Mavale, 2018:134). Aralık ayı değerlerine göre Litcoin'in piyasa değeri 11.28 milyar usd ve toplam işlem hacmi %1.11 dir.

Bu açıklamalar çerçevesinde kripto paraların günümüzde çok fazla yaygınlaşmasının nedeni olarak; kripto paraların çalışmasını sağlayan blockchain teknolojisinin oldukça güvenli olması, bu teknolojinin merkezi olmayan doğrulama sistemine sahip olması ve matematik kurallarıyla temellendirilen ve bilgisayar algoritmalarına dayanan güven olarak gösterilebilmektedir.

Kripto paraların günümüzde popüler hale gelmesi ve bu piyasaların işleyişinin, geleneksel finansal piyasaların işleyişinden farklı olması, son zamanlarda ekonomistlerin, akademisyenlerin ve yatırımcıların dikkatini çekmiştir. Piyasaya sürüldüğü günden itibaren hızla büyüyen ve fiyatlarında oynaklıkların çok olduğu kripto paraların tanımı konusunda henüz fikir birliğine varılamamıştır. Bu çerçevede literatürde, kripto paraların sadece spekülasyon amaçlı mı kullanılabilirdiği yoksa portföy çeşitlendiricisi olarak da kullanılabilir mi sorusuna yanıt arayan akademik çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Özellikle son zamanlarda yapılan çalışmalarda kripto paraların, kıymetli metaller ve hisse senedi piyasaları ile benzerliklerinin olduğu, kripto paraların portföy çeşitlendiricisi olarak kullanılabilirdiği ve özellikle kriz dönemlerinde güvenli liman olabilecekleri üzerinde durulduğu gözlenmektedir. Kripto para piyasasının çok yeni olması ve piyasaya sürekli yeni alt coinlerin girmesi, bu piyasaların geleceğinin tahmin edilememesine ve aşırı oynaklığa sahip bir sistem olarak görülmesine sebep olmaktadır. Bu durum ise kripto paraların etkinliği konusuna dikkat



çekmiş ve diğer para piyasaları gibi etkin olup olmaması son zamanlarda tartışılan konu olmuştur.

Piyasada etkinliğin geçerli olup olmadığı bilgisi yatırımcı için önemlidir. Çünkü piyasa etkinliği yatırımcının, yatırım kararını etkilemede en önemli unsurdur. Yatırımcı piyasanın etkinliği konusunda bilgi sahibi olduğunda yaptığı yatırımın sonuçları hakkında bilgi sahibi olur ve bu doğrultuda strateji geliştirir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte finans alanında önemli gelişmeler yaratan kripto para piyasası yatırımcıları için de piyasanın etkinliği konusu oldukça önemlidir.

Literatürde çoğu çalışmada kripto para birimlerinin, paranın değer taşıma aracı niteliği kazandığını ve yatırımcıların, kripto paraları yatırım aracı olarak gördüğü üzerinde durulmuştur. Kripto paraların yatırım aracı olarak görülmesi ise manipülasyona açık bir duruma geldiğini göstermektedir. Ayrıca merkezi bir otoriteye bağlı olmaması da manipülasyonun boyutunu artırabilmektedir. Serbest piyasadaki bir varlığın fiyatında yapay yollarla artış ve azalışlara neden olarak kişisel kazanç sağlanması manipülasyon olduğunu göstermektedir. Piyasadaki herhangi bir varlığın fiyatı, piyasadaki yatırımcıların eylemlerinden bağımsız olarak yapay şekilde belirleniyorsa bu durumda manipülasyonun varlığından söz edilebilir. Piyasadaki bilgi tekelinin varlığı manipülasyonu mümkün kılmaktadır. Herhangi bir varlığa dair geçmiş işlemler, firma içi veya piyasanın güncel durumu hakkında mevcut tüm bilgiler yatırımcılar tarafından ulaşılabilir, bu durumda manipülasyon olma ihtimali zayıflar. Dolayısıyla manipülasyonun olabilmesi için piyasada sınırlı sayıda yatırımcı olması ve yatırımcıların piyasa hakkında bilgi sahibi olmamaları gerekmektedir. İşte bu noktada bu durum kripto para piyasası için yatırımcıların aklına şu soruyu getirmektedir: Kripto para piyasaları etkin midir? Bir piyasanın etkinliğinin test edilmesinde ise “bilgi” önemli bir kavramdır. Dolayısıyla kripto para piyasası yatırımcılarının bilgiye erişimlerinin olması gerekmektedir. Ancak kripto para piyasası, piyasayı ilgilendiren haberlerin öğrenilmesi için herhangi bir merkezi kuruluşa sahip olmadığından mevcut tüm bilgiye yatırımcılar tarafından ulaşılabilmesi mümkün değildir (Özgül, 2021:3). Bu bilgiler çerçevesinde yatırımcıların, kripto para piyasasında yatırım kararlarına yön vermesi ve bu piyasalarda Etkin Piyasa Hipotezinin geçerli olup olmadığı test edilerek literatüre katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

Çalışmanın birinci denemesinin ilk kısmında kripto para birimleriyle ilgili genel bilgi verildikten sonra çalışmanın ikinci kısmında Etkin Piyasa Hipotezi (EPH)’nin teorik çerçevesine ve çalışmanın üçüncü bölümünde de bu alanda yapılan literatür

çalışmalarına yer verilmektedir. Çalışmanın son bölümü olan dördüncü bölümde ise ekonometrik yöntem anlatılarak akabinde çalışmanın sonuçlarına değinilmektedir.

## **1.2. Teorik Çerçeve**

### **1.2.1. Piyasa Etkinliğinin Tarihsel Seyri**

Piyasa etkinliği kavramı, piyasadaki mevcut tüm bilgilerin menkul kıymet fiyatlarına tam olarak yansıtılmasını ifade etmektedir. Piyasa etkinliği en çok finans alanında tartışılan bir konu olmasına rağmen bu kavramın çıkış noktası matematik, fizik ve botanik gibi farklı alanlardır. Finans alanında piyasa etkinliğinin literatüre kazandırılması 19. yüzyıla dayanmaktadır. Ancak öncesinde farklı alanlar için yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Sewell (2011) çalışmasında etkin piyasa hipotezinin temelinin 16. yüzyıla kadar uzandığını belirtmiştir.

Etkinlik kavramının incelenmesi konusunda İtalyan matematikçi Girolamo Cardano 16.yüzyılın önemli isimlerindedir. Cardano (1564) yılında “Şans Oyunları Kitabı (Liber de Ludo Aleae)” adlı çalışması etkinlik kavramının ortaya çıkışı olarak bilinmektedir. Cardano (1564) bu çalışmasını matematik alanında yapmış ve çalışmasında kumar oynamanın en temel ilkesinin “eşit şartlar” olduğunu belirtmiştir. Ayrıca adil bir oyunda kar veya zararların geçmiş performansa bakılarak tahmin edilemeyeceğini de ifade etmiştir. İskoç asıllı botanikçi Robert Brown (1828) çalışmasında rassallık kavramını ortaya çıkarmıştır. Brown (1828), suda dağılmış olan polen tanelerinin davranışlarını mikroskop altında incelemiş ve bu polen tanelerinin rastgele hareket ettiklerini gözlemlemiştir. Yapmış olduğu bu çalışma rassal yürüyüş kavramının çıkış noktası olarak kabul edilmiş ve sonralarında bu rastlantısal hareketler Brownian Hareketi olarak tanımlanmaya başlamıştır. 1863 yılında ise Jules Regnault tarafından yapılan çalışma ile birlikte etkinlik konusundaki araştırmalar finans alanına girmeye başlamıştır. Regnault (1863), herhangi bir menkul kıymetin elde tutulduğu süre ile fiyat değişimleri arasındaki ilişki üzerinde durmuştur. Menkul kıymetin elde tutulma süresi uzadıkça oluşan fiyat değişimlerinden o kadar çok kazanacağı ya da kaybedeceği sonucuna varmıştır (Sewell, 2011:2). Bu çalışmaların dışında bir diğer önemli çalışma ise Gibson (1889) çalışmasıdır. Gibson (1889), finansal piyasalardaki etkinliğin rassal yürüyüşe değinmeden doğrudan belirtildiği ilk çalışma olarak gösterilmektedir. Yazar “Londra, Paris ve New York Borsaları” adlı kitabında yatırımcıların oy verme sürecine katıldıklarını ve verdikleri oylar sayesinde finansal varlıkların fiyatlarını kendi istedikleri gibi belirleyebileceklerini ifade etmiştir. Gibson (1889) bu çalışması ile

piyasadaki akılcı yatırımcıların mevcut piyasaya hakim olabilecekleri sonucuna varmıştır.

1863 yılından itibaren finans alanında piyasa etkinliği araştırılmaya başlanmış olsa da bu alanda yapılan en önemli çalışma 1900'lü yıllarda olmuştur. Sarbonne Üniversitesi'nde 1900 yılında matematik alanında doktora yapan Louis Bachelier, finans piyasalarının etkinliğini incelemiştir. Bachelier'in (1900), "Spekülasyon Teorisi (Speculation Theory)" başlıklı doktora tezinde Fransız borsasını incelemiştir. Bu borsada forward sözleşmeleri ve opsiyonlar üzerinde durarak finansal varlık fiyatlarının hareketlerini modellemiştir. Çalışmanın sonucunda, geçmiş, şimdi ve gelecekteki olayların piyasa fiyatlarına yansıtıldığını ancak genellikle fiyat değişiklikleriyle belirgin bir ilişki göstermediğini ifade etmiştir. Bachelier (1900), kısa dönemde fiyat hareketlerinin rassal oluştuğunu fark etmiştir. Ayrıca çalışmanın sonucunda piyasalardaki bilgi etkinliğinin önemine dikkat çekmiştir. Bachelier (1900) doktora tezinin literatüre farklı alanlarda katkısı bulunmaktadır. Bu katkılardan ilki; Brown (1828) yılında yapmış olduğu ve Brownian hareketi olarak anılan çalışmasının matematiksel altyapısını oluşturmuş ve istatistiksel açıdan ilerlemesini sağlamıştır. Bu çalışmanın literatüre kazandırmış olduğu ikinci katkı, Jules Regnault'un (1863) yılında yayınlamış olduğu kitabından esinlenerek iki yazar birlikte rassal yürüyüş modelini literatüre kazandırması olmuştur. Son olarak diğer katkısı ise literatüre adil oyun "(fair game)" terimini kazandırmıştır. Adil oyun terimi ile piyasada gelecekte oluşacak fiyat hareketlerinin sistematik bir şekilde tahmin edilemeyeceğini ifade etmiştir (Sewell, 2011:2, Pojezny, 2006:19 ve Dimson ve Mussavian, 1998:91-92).

Bachelier (1900) tarafından aslında finans piyasalarının etkinliği konusunda önemli teoriler ortaya atılmıştır. Ancak bu teoriler 1900'lü yılların ortalarına kadar fazla ilgi görmemiştir. Bachelier'in ortaya sürdüğü menkul kıymet fiyatlarının rassal hareket ettiği ve menkul kıymet piyasalarında bilgisel etkinliğin önemli olduğu varsayımları, Alfred Cowles (1933, 1944), Holbrook Working (1934) ve Cowles ve Jones (1937) tarafından yapılan çalışmalar ile literatürde ilgi görmeye başlamıştır. Cowles (1933,1944) ve Cowles ve Jones (1937), yatırımcıların menkul kıymetlerin gelecekteki fiyatlarını önceden tahmin edemediğini ve bundan dolayı normal karın üzerinde bir kar elde edilemeyeceği sonucuna varmışlardır. Working (1934) çalışması ise finansal varlık fiyatları ve bilgi etkinliği üzerinde durmuştur. Çalışmada menkul kıymet getirilerinin loto numaralarına benzer davranışlar gösterdiğini ve vadeli işlemler piyasasının etkin olması durumunda hiçbir yatırımcının, fiyatlarda meydana gelen değişiklikleri başarılı

bir şekilde tahmin edemeyeceğini belirtmiştir (Dimson ve Mussavian, 1998:92, Sewell, 2011:3 ve Verheyden vd., 2013:7).

Milton Friedman (1953) yılında arbitraj nedeniyle yatırımcıların ticaret stratejilerinin ilişkili olduğu durumlarda da etkin piyasa hipotezinin test edilebileceğine dikkat çekmiştir. Bu çerçevede Kendall (1953) etkin piyasa kavramıyla ilgili ilk ampirik bulguları elde etmiştir. Kendall (1953) haftalık veriler ile 22 fiyat serisini analiz etmiş ve bunların rassal hareket ettiği sonucuna ulaşmıştır. Böylece herhangi bir gündeki piyasanın artma ve azalma ihtimalinin bir önceki günden tamamen bağımsız olduğunu belirtmiştir. Ayrıca ampirik varyansın durağan olmama durumunu da ilk test eden yazardır (Sewell, 2011:3). Roberts (1959), Working (1934) ve Kendall (1953) çalışmalarından esinlenerek, rastgele sayı dizisinden oluşturulan zaman serisinin, piyasa yatırımcılarının gelecekteki fiyat seviyelerini tahmin etmek için kullandıkları menkul kıymet fiyatları kaydından ayırt edilemeyeceğini ifade etmiştir. Osborne (1959) çalışmasında, hisse senedi verilerini bir fizikçi açısından incelemiş ve hisse senedi fiyat hareketlerinin, moleküllerin hareketine benzer özelliklere sahip olduğunu tespit etmiştir. Bir fizikçinin bakış açısından hisse senedi fiyatındaki dalgalanmaların ayrıntılı bir analizini yaparak istatistiksel mekanik yöntemlerini borsaya uygulamıştır.

Piyasa etkinliği kavramı öne sürüldüğü günden itibaren etkin piyasa hipotezi ile ilgili literatürde önemli teoriler geliştirilmiştir. Etkin piyasa hipotezi kapsamında çoğu çalışmada rassal yürüyüş ve bilgi etkinliği konusunun önemli olduğuna değinilmiş ve 1960'lı yıllara kadar yapılan çalışmalarda rassal yürüyüş hipotezi ön plana çıkartılmıştır. Bu dönemlerde rekabetçi piyasalarda fiyat oluşumunun daha net anlaşılmasıyla rassal yürüyüş modeli, etkin piyasa hipotezi ile tutarlı olabilecek bir dizi gözlem olarak görülmeye başlanmıştır. Samuelson (1965), fiyat değişimlerinin rassal hareket etmesinin mikroekonomi açısından formüle etmiştir. Samuelson (1965) çalışmasında “Uygun Öngörülen Fiyatların Rassal Dalgalandığının Kanıtı”, rekabetçi piyasalarda her satıcı için bir alıcı vardır görüşü ile başlamıştır. Bir fiyatın artacağından emin olunabilseydi, o fiyat çoktan yükselmiş olurdu. Samuelson bu tarz argümanların, rekabetçi fiyatların fiyat değişikliklerini göstermesi gerektiği gibi sonuçlara varmak için kullanılacağını iddia etmiştir. Kısaca Samuelson (1965), menkul kıymetlerin gelecekteki fiyat değişiklikleri hakkında bir beklenti varsa, bu durumun fiyatlara yansıdığını ve dolayısıyla fiyat hareketlerinin tahmin edilemeyeceğini ileri sürmüştür (Dimson ve Mussavian, 1998:94). Samuelson (1965), ilk defa “etkin piyasa”

kavramının altında yatan ekonomik argümanı açıklamış ve fiyatlardaki değişimlerin rassal hareket ettiğini teorik olarak ispatlamıştır.

Fama ise ilk kez “etkin piyasa” kavramının tam olarak tanımını yapmış ve menkul kıymet fiyatlarını incelediği doktora çalışmasında, fiyat değişimlerinin birbirinden bağımsız olduğunu ve fiyatların rassal yürüyüş izlediğini belirtmiştir. Fama çalışmasında menkul kıymet getirilerinin dağılımını ve serisel bağımlılığını istatistiksel testler kullanarak analiz etmiştir. Etkin piyasa kavramını Fama (1965b), karını maksimize etmek isteyen rasyonel yatırımcıların menkul kıymetlerin gelecekteki fiyatını tahmin etmeye çalıştığı, artı değer sağlayacak bilgilere tüm yatırımcıların ulaşabildiği bir piyasa olarak tanımlamıştır. Akabinde 1967 yılında Roberts, etkin piyasalar hipotezini tanımlayarak piyasa etkinliğini zayıf ve güçlü formlarda etkinlik olarak gruplandırmıştır. Fama (1970), hem Samuelson (1965) hem de Roberts (1967) çalışmalarından esinlenerek piyasa etkinliği bulgularını ve teorileri daha kapsamlı şekilde incelemiştir. Sonuç olarak, piyasa fiyatlarının geçmiş dönem fiyatlarından bağımsız olduğunu ve fiyatlardaki değişimlerin rassal hareket ettiğini belirtmiştir. Dolayısıyla bu etkin piyasa için “fiyatların mevcut bilgileri daima tam olarak yansıttığı bir piyasa” olarak tanımlama yapmıştır (Sewell, 2011:4). Fama’nın yapmış olduğu bu çalışmadan sonra “etkin piyasa” kavramı, finans literatüründe daha fazla yer almış ve bu alanda yapılan çalışmalarda artış olduğu gözlenmiştir.

### **1.2.2. Etkin Piyasa Hipotezi**

Piyasa etkinliği konusu son zamanlarda finans alanında en çok tartışılan konulardan biri olmuştur. Finansal piyasa yatırımcıları açısından finansal varlıkların geçmiş dönem fiyat bilgilerinin, gerçekleşmesi gereken fiyatının ve gelecek fiyat bilgilerinin tam olarak bilinmesi oldukça önemlidir. Ayrıca bu bilgilere erişim imkanının olması da önemlidir. Dolayısıyla finansal piyasaların etkinliği hem finansal piyasaların gelişimi hem de yatırımcılar açısından oldukça önem teşkil etmektedir.

Etkin piyasa hipotezi, 1970 yılında ilk kez Fama tarafından literatüre kazandırılmıştır. Fama (1970) EPH’ni, piyasadaki tüm bilgilerin anında menkul kıymet fiyatlarına yansıdığı bir piyasa olarak tanımlamaktadır. Fama (1970)’nın bu hipotezi, menkul kıymetler ile bilgi arasında korelasyon olduğunu, menkul kıymet fiyatlarının açıklanan yeni bilgilere göre oluştuğunu ve bundan dolayı yatırımcıların mevcut bilgiyi kullanarak anormal getiri elde edemeyecekleri görüşünü savunmaktadır. Dolayısıyla bu görüşe göre bilginin asimetrik kullanımı mümkün değildir (Fama, 1970:383).

Fama piyasa etkinliğini, her bir menkul kıymetlerin gelecekteki piyasa değerlerinin tahmin edilmeye çalışıldığı ve önemli güncel bilgilerin tüm piyasa katılımcılarına maliyetsiz olarak sunulduğu çok sayıda kar maksimizasyoncusunun aktif olarak rekabet ettiği bir piyasa olarak tanımlamaktadır (Chuvakhin, 2001:3). Bu durumda piyasa etkinliğinin iki anlamı bulunmaktadır. Bunlardan ilki, etkin bir piyasada aşırı kar elde etmenin mümkün olmadığı, ikincisi ise menkul kıymet fiyatlarının rasyonel olduğudur (Kulalı, 2016:47). Sears ve Trennepohl (1993)'e göre piyasanın etkin olması durumunda menkul kıymet alım-satım aşamasında tüm piyasa katılımcıları tüm bilgilere maliyetsiz bir şekilde ulaşabilmektedir. Yatırımcılar menkul kıymetlerin gelecekteki fiyat dağılımına bilginin etkileri konusunda aynı fikre sahip olduklarından dolayı, menkul kıymetlerin piyasa fiyatları herhangi bir yatırımcı tarafından kontrol edilememektedir.

Finansal piyasalarda yatırım yapan yatırımcılar menkul kıymet fiyatlarını belirlerken mevcut menkul kıymetten elde edilecek nakit akışı ve akabinde getirebileceği risk unsurunu da dikkate almaktadır. Menkul kıymet değerlemesi yapan yatırımcıların geçmiş, mevcut ve gelecek tüm bilgileri kullanmaları gerektiğinden piyasa etkinliğinin değerlendirilmesinde “bilgi” önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca menkul kıymetlere ilişkin bilgilerde meydana gelen değişikliklerin anında ve tam olarak fiyatlara yansması da gerekmektedir. Bu bilgiler çerçevesinde menkul kıymetlerin fiyatlarının piyasadaki tüm bilgileri dikkate almasını ve piyasadaki bilgi düzeyindeki değişmelerin anında menkul kıymetler fiyatlarına yansmasını varsayan piyasa “Etkin Piyasa Hipotezi” olarak adlandırılmaktadır (Dağlı, 2000:325). Bir piyasanın etkin olması finansal verilerin hızlı bir şekilde entegre olduğunu ve denge fiyatına ulaşabilen piyasa olduğu için de gelişmiş bir piyasa olduğunu göstermektedir. Menkul kıymet piyasalarının etkin olabilmesi için; fiyatların mevcut tüm bilgilerin entegre olmasıyla birlikte oluşan piyasa dengesini yansıtması ve fiyatların yeni bilgi girişlerine anında tepki göstermesi koşullarını sağlaması gerekmektedir. Bu koşullar sağlandığı takdirde piyasaya yeni bilgi girişleri hızlı bir şekilde ve tam olarak menkul kıymet fiyatlarına yansıtılacaktır (Karan, 2004:272). Piyasaların etkinliği ile ilgili Güngör (2003) çalışmasında ise piyasaya her gün yeni bilgilerin geldiği, bu bilgilerin finansal piyasaları da etkilediği ve eğer bir piyasa etkin ise, piyasaya yeni bilgiler girdiği anda menkul kıymet fiyatlarının bu bilgilere anında tepki göstermesinin beklenildiği belirtilmektedir. Genel olarak hipotez piyasa etkinliğini, piyasaya yeni bir bilgi girişi

karşısında menkul kıymet fiyatlarının yeni bilgilere hızlı ve doğru bir şekilde tepki göstermesi ile gerçekleşmesine bağlamaktadır.

Etkin piyasa hipotezine göre, faydasını maksimize etmeyi amaçlayan yatırımcılar, menkul kıymetlerin gelecekteki değerini doğru tahmin edebilmek için birbirleriyle rekabet içerisindeydirler. Çok sayıda alım-satım kararı sonucunda oluşan denge fiyatı, piyasada bulunan tarafların sahip oldukları bilgileri kullanarak bir menkul kıymetin değeri hakkında oluşturdukları fikir birliğinin sonucudur. Bundan dolayı, belirli bir anda gözlemlenen fiyatlar, menkul kıymetlerin gerçek değerinin objektif tahminidir. Piyasaya yeni bir bilgi geldiğinde, yatırımcılar bu yeni bilgiyi doğru tahmin eder ve yorumlar. Piyasaya yeni giren bilgi eğer menkul kıymetlerin değerini etkileyecek nitelikte ise mevcut denge fiyatında hızlı bir değişim meydana gelir. Sonuç olarak bu fiyat, piyasaya yeni bir bilgi ulaşana kadar aynı kalır. Etkin Piyasa Hipotezine göre, yatırımcılar piyasaya ulaşan iyi ve kötü haberlere doğru tepki vermektedirler. Bundan dolayı yatırımcılar rasyonel davranış biçimi göstermektedir. Piyasaya giren yeni bilgiler karşısında değeri hızlı, doğru ve tam olarak değişen menkul kıymet fiyatlarında, aşağı ve yukarı doğru eğilimlerde ters yönlü düzeltme hareketleri gözlenmez (Öncü vd., 2006:5).

Fama (1970) çalışmasında etkin piyasa hipotezinin şu üç varsayımı olduğu belirtilmektedir:

- Yatırımcılar rasyoneldir.
- Faydalarını maksimize etmeyi amaçlamaktadırlar.
- Tam ve eksiksiz bilgilere sahiptirler.

Etkin piyasa hipotezinde borsaların ve menkul kıymetlerin etkinliğinin ölçülmesinde, menkul kıymetlerin fiyatları ve getirilerinin davranışı, temel gösterge olarak incelenmektedir. Bu kapsamda güncel menkul kıymet fiyatlarının mevcut bilgileri tam ve eksiksiz olarak yansıttığı piyasalar etkin olarak adlandırılmaktadır. Bu hipoteze göre yatırımcılar rasyonel davranmakta ve menkul kıymet fiyatları piyasada gerçekleşen haber, bilgi ve beklentileri tam olarak yansıtmaktadır. Piyasada bulunan aktörelere tüm verileri inceleyerek bir fiyat belirlerler ve dolayısıyla piyasa fiyatları mevcut bilgi ve beklentileri içermektedir (Bayraktar, 2012:38).

Etkin piyasa hipotezinin temelinde beklenen fayda teorisi yer almakta ve yatırımcıların rasyonel davranış sergiledikleri varsayımı üzerine kurulmuş bir hipotezdir (Bostancı, 2003:3). Shleifer (2000) çalışmasında rasyonel beklentiler hipotezi üzerine

kurulan etkin piyasa hipotezinin yatırımcı davranışı açısından üç varsayımı bulunduğunu ifade etmektedir. Bunlar (Shleifer, 2000:2):

- Yatırımcılar rasyoneldir ve bundan dolayı menkul kıymetler rasyonel olarak değerlendirilir.

- Yatırımcıların bazılarının rasyonel olmaması durumunda, alım-satımları rassaldır ve bu nedenle rasyonel olmayan yatırımcıların davranışları fiyatları etkilemeden birbirini dışlar.

- Yatırımcılar benzer şekilde irrasyonel davranış sergilerse, piyasadaki rasyonel arbitrajcılar, irrasyonel davranışların fiyatları etkilemesini engeller.

Yatırımcıların rasyonelliği varsayımı için Barberis ve Thaler (2002) çalışmalarında, bu rasyonelliğin iki sonucu olduğunu ifade etmişlerdir. Bu sonuçlardan birincisi, piyasa aktörleri beklentilerini piyasaya gelen yeni bilgilere göre güncellemeleridir. İkincisi ise bu beklentiler çerçevesinde faydalarını maksimize edecek kararlar almalarıdır.

Etkin piyasa hipotezi, yatırımcıların rasyonel davranışının tüm yatırım kararlarında görüldüğünü varsaymaktadır. Yatırımcılar bazen kolay yoldan ve hızlı bir şekilde kazanç elde etme düşüncesiyle hareket edebilirler. Yatırımcılar irrasyonel hareket ettiklerinde ve yatırımcıların yatırım kararları rassal olduğunda, denge fiyatları sapmaya uğrar. İrrasyonel eylemler birbiriyle dengelendiği için bu durum geçici ve kısa vadeli bir sapmadır. İrrasyonel yatırımcıların yaptıkları işlemler, yatırımcılar arasında iletişim olmaması ve işlemlerin birbirine bağlı olmamasından dolayı birbirlerini dengelemektedir. Ayrıca, irrasyonel yatırımcıların yüksek fiyatlı ya da düşük fiyatlı yatırımlara yönelmelerinden dolayı rasyonel yatırımcılara kıyasla daha düşük getiri elde etmektedirler. Dolayısıyla para kaybetmeye, varlıklarının azalmasına ve borsadaki statülerinin düşmesine mahkum olacaklardır. Öte yandan, rasyonel yatırımcıların arbitraja dahil olması fiyatları dengeye getirmekte ve piyasada etkinlik sağlamaktadır. Bu durum kar maksimizasyonu oluşturmaktadır. Etkin piyasa hipotezi açısından, tüm yatırımcılar irrasyonel olsa bile piyasalar her zaman rasyonel ve etkindir (Gupta, vd., (2014:57). Lo (2004), çalışmasında yatırımcıların irrasyonel davranışları ile ilgili EPH'nde piyasa güçlerinin fiyatları rasyonel düzeye getireceğini ve bundan dolayı finansal piyasalar üzerinde irrasyonel davranışların etkisiz olacağını ifade etmektedir.

Finansal piyasalarda etkinlik kavramı üç farklı etkinlik türü olarak incelenmiştir. Bunlar, bilgi etkinliği (information efficiency), faaliyet etkinliği (operational efficiency) ve kaynak dağıtım etkinliğidir (capital allocational efficiency).



### 1.2.2.1. Piyasaların Bilgi Etkinliği:

Etkin Piyasa Hipotezinin temelini oluşturan bili etkinliği kavramı, piyasadaki mevcut tüm bilgilerin anında ve tam olarak menkul kıymet fiyatlarına yansımaları olarak kabul edilmektedir. Ayrıca piyasadaki tüm yatırımcılar aynı bilgiyle hareket etmekte ve dolayısıyla yatırımcılar mevcut bilgileri kullanarak anormal getiri elde edememektedirler. Fiyat değişiklikleri tüm yatırımcıların beklentilerini ve bilgilerini tam içeriyorsa, bu tür değişiklikler tahmin edilemez ve piyasanın bilgi açısından etkin olduğu söylenir (Giglio vd., 2008:1, Kiete & Uloza, 2005:5:, Özdemir, 2022:260). Daniel & Titman, (1999) çalışması da, tüm bu durumların gerçekleşmesinin piyasadaki yatırımcıların rasyonel oldukları varsayımı ile mümkün olduğunu belirtmektedir. Titan (2015), piyasadaki tüm bilgilerin anında menkul kıymet fiyatlarına yansıdığını, bu fiyatların öngörülemez olduğunu ve bilginin boyutunun da önemli olduğunu belirtmektedir. Piyasaların etkinlik seviyeleri farklı bilgi kategorilerinden etkilenmektedir.

Piyasa etkinliğinin değerlendirilmesinde önemli olan “bilgi” kavramını, Fama (1970) çalışmasında zaman ve ulaşılabilirlik faktörleri kapsamında aşağıdaki üç gruba ayırmıştır:

- ✓ Geçmiş döneme ait bilgiler,
- ✓ Kamuya açıklanan tüm bilgiler,
- ✓ Firmaya ait tüm bilgiler.

Fama (1970)'nın üç grupta sınıflandırdığı bu bilgilerin bir kısmının veya tamamının menkul kıymetlerin fiyatlarına yansımaları piyasa etkinliği derecesini ifade etmektedir. Fama (1970), fiyatların piyasaya yansımaları derecesinin ölçülmesi açısından üç grupta incelediği etkinliği türlerinden birincisi; menkul kıymetlerin geçmiş dönemine ait bilgilerin fiyatlara yansımaları olduğu zayıf formda etkinliği (weak form efficient), ikincisi; kamuya açıklanan tüm bilgilerin menkul kıymet fiyatlarına yansımaları olduğu yarı güçlü formda etkinliği (semi-strong form efficient) ve üçüncüsü ise kamuya açıklanan bilgilerin yanında firma içi bilgilerin de menkul kıymet fiyatlarına yansımaları olduğu güçlü formda etkinliği (strong form efficient) dir.

Ancak burada piyasanın etkin olmasının o piyasanın mükemmel olduğu anlamına gelmediğini belirtmek gerekir. Bir piyasanın mükemmel olması için gerekli koşulları Copeland ve Weston, (1988) çalışmasında şu şekilde ifade etmişlerdir (Copeland ve Weston, 1988:332):

➤ Piyasalar sürtünmesizdir; yani, işlem maliyetleri ve vergiler yoktur. Tüm varlıklar mükemmel bir Şekilde bölünebilir, pazarlanabilir ve kısıtlayıcı düzenlemeler yoktur.

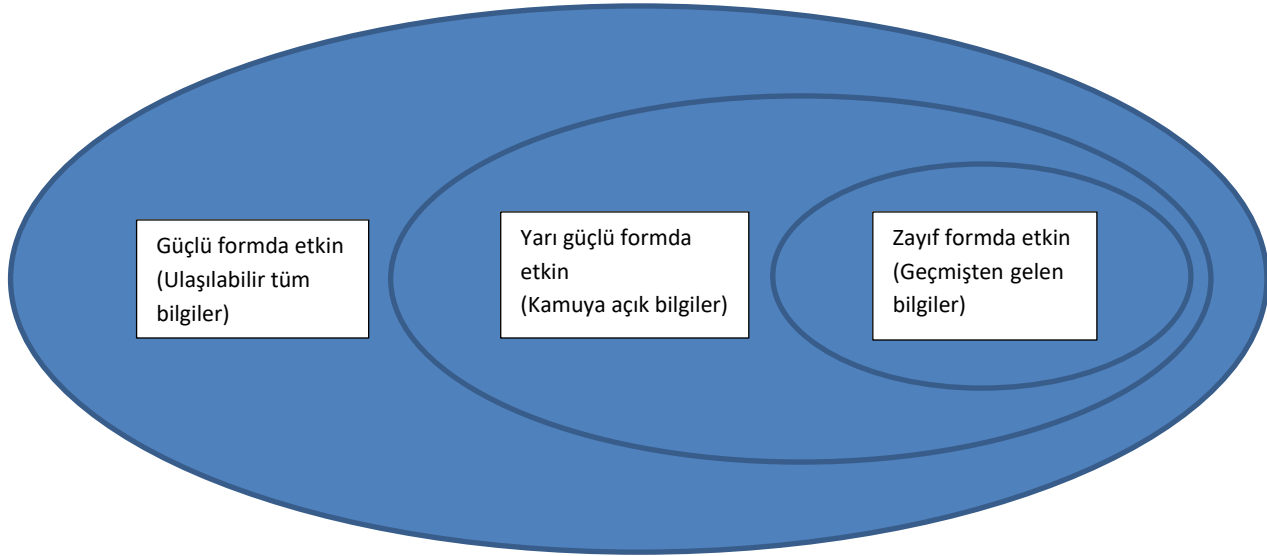
➤ Mal ve menkul kıymet piyasalarında tam rekabet vardır. Bu durum mal piyasasında, tüm üreticilerin mal ve hizmetleri minimum ortalama maliyetle tedarik etmesi ve menkul kıymet piyasalarında tüm katılımcıların fiyat alıcı olması anlamına gelir. Yani bu piyasalarda fiyat veridir ve alıcı ve satıcılar tarafından belirlenemez.

➤ Piyasalarda bilgi etkinliği söz konusudur. Tüm katılımcılar bilgiye maliyetsiz ve aynı zamanda erimektedir.

➤ Tüm katılımcılar rasyoneldir. Katılımcılar faydalarını maksimize etmeye çalışırlar.

EPH piyasaların tam rekabet koşulları varsayımı altında geliştirilmiştir. Tam rekabet piyasası modelinin menkul kıymetler piyasasında fiyat oluşum sürecine uygulanmış Şekli olan EPH, menkul kıymetler piyasasında yatırımcıların menkul kıymet fiyatlarını etkileme özelliği taşıyan bilgilere, cari piyasa fiyatlarını değiştirerek verdikleri tepkinin doğruluğunu, süresini ve hızını açıklamaya çalışır (nc, 2006:5). EPH ile tam rekabet piyasası varsayımları birbirine benzer olsa bile birbirinden farklılıkları bulunmaktadır. Tam rekabet piyasası varsayımı altında, bilgiye anında ve özgürce ulaılacağı, vergi ve işlem maliyetlerinin olmadığı ve yatırımcıların rasyonel olduğu varsayımları eklenmesine rağmen bu koşulların sermaye piyasalarında geçerli olmadığı bilinmektedir. Bu sebeple sermaye piyasalarında farklı etkinlik düzeylerinden bahsedilmektedir (ağlarırmak Uslu, 2002:125).

Fama (1970)'nın üç grupta sınıflandırdığı zayıf formda etkinlik, yarı güçlü formda etkinlik ve güçlü formda etkinlik dereceleri Şekil 1.1'de gösterilmektedir.



Şekil 1.1: Piyasa Etkinlik Formları

#### 1.2.2.1.1. *Zayıf formda etkin (weak form efficient):*

Fiyatların piyasaya yansımaya derecesi açısından üç grupta sınıflandırılan etkinlik türlerinden ilki olan zayıf formda piyasa etkinliği, fiyatların geçmişe ait tüm bilgileri içerdiğini varsaymaktadır. Menkul kıymet yatırımcıların geçmişe ait fiyat hareketlerini, getirileri ve bilgileri kullanarak normal üstü getiri elde edilemeyen piyasalar zayıf formda etkin piyasa olarak adlandırılmaktadır.

Zayıf formda etkin piyasalarda Fama (1965)'nin tabiriyle “piyasayı yenmek”, terminolojik tabiriyle ise “uzun vadede normal üstü getiri elde etmek” mümkün değildir. Bu durumun nedeni ise geçmiş fiyatların gelecek fiyatlar üzerinde bir etkisinin olmamasıdır (Güleç ve Aktaş, 2019:494). Fama (1970) zayıf formda piyasa etkinliğini, menkul kıymet fiyatlarının geçmiş fiyatları ile ilgili tüm bilgilerin cari fiyatlara tam olarak yansıttığı durum şeklinde tanımlamaktadır. Bu piyasalarda katılımcılar yeni bilgilere aynı anda ulaşmaktadırlar. Buna ek olarak kamuya açıklanmamış bazı bilgiler belirli piyasa katılımcıları tarafından önceden bilinmektedir (Bayraktar, 2012:41). Chu vd., (2019) zayıf formda etkin piyasa için, bir piyasanın etkin olup olmadığını belirlemenin en yaygın olarak test edilen formu olduğunu belirtmiştir. Yazarlar çalışmalarında piyasadaki fiyatların mevcut tüm bilgileri yansıttığı fakat geçmişteki fiyatların gelecekteki fiyatları öngörmek için yeterli olmadığını piyasayı “zayıf formda etkin piyasa” olarak tanımlamaktadır (Chu vd., 2019:222). Degutis ve Novickyt (2014), zayıf formda etkin piyasalarda, cari menkul kıymet fiyatının geçmişteki menkul kıymet fiyat değişimleri ile ilgili tüm bilgileri yansıttığını ifade etmişlerdir. Bu bilgiler

geçmişteki fiyatlar ve işlem hacmi gibi verilerdir. Bu bilgilere dayanarak normla üstü kar elde edilmesi imkansızdır ve eğer piyasa zayıf formda etkin ise teknik analiz fazla getiri sağlamaz (Novickyte ve Degutis, 2014:8). Brandfield (2007) çalışmasında, zayıf formda etkin piyasa hipotezinin menkul kıymetlerin cari fiyatlarının, geçmiş fiyatlar ve işlem hacimleri ile ilgili tüm bilgileri tam olarak yansıttığını ifade etmektedir. Bir yatırımcının menkul kıymetlerin gelecekteki fiyatlarını tahmin etmek amacıyla geçmiş fiyatlardan ve işlem hacimlerinden bilgi toplanmasının net marjinal faydası sıfırdır (Brandfield, 2007:252). Maymin, (2011), zayıf formda etkin piyasa hipotezinde geçmişteki fiyatların analizi yapılarak gelecek fiyatların tahmin edilemediği ve fiyatlardaki değişmelerin rassal hareket etmesinden dolayı teknik analizlerin uzun dönemde çalışmadığını belirtmiştir. Fama (1970) çalışmasında etkin piyasa hipotezinde fiyatlar birbirinden bağımsızdır ve menkul kıymet fiyatlarındaki değişimler rassal hareket etmektedir. Dolayısıyla fiyat değişimlerinin rassal hareket etmesi rassal yürüyüş modeline götürmektedir (Fama, 1970: 388-389).

Rassal yürüyüş teorisi menkul kıymet fiyatlarının rastlantısal olarak değiştiğini ve önceden tahmin edilemeyeceğini öne sürmektedir. Rassal yürüyüş teorisinin hareket noktası gelecekteki fiyatların yönünü tahmin etmek için, rekabet içerisinde olan yatırımların bulunduğu mükemmel menkul kıymet piyasasını seçerler. Ayrıca karar alma süreci ile ilgili tüm bilgilerin sıfır maliyetle elde edilebileceğini varsayar. Bu koşulların idealleşmesi ve piyasanın tam rekabet olduğu varsayılırsa, menkul kıymet fiyatları, her daim erişilebilir mevcut bilgilerin piyasa tarafından belirlenen değerini yansıtacaktır. Bu tarz ideal piyasalarda fiyatlar, yeni bilgi geldikçe değişir. Piyasaya gelen yeni bilgiler rassal olarak dağıldıkça, fiyatlar da rassal dağılacaktır. Bu durumda mükemmel piyasalarda fiyat hareketlerinin istatistiki olarak birbirinden bağımsız olduğu söylenebilir (Kıyılar, 1996:21).

Fama (1965b) çalışmasında, zayıf formda etkin piyasada fiyat değişimleri birbirinden bağımsızdır ve getirilerin dağılımı kullanılan mevcut bilgiden bağımsızdır. Bundan dolayı geçmişteki bilgilere dayanarak bir alım satım metodu gerçekleştirmek yatırımcıya kazanç sağlamayacaktır. Sonuç olarak zayıf formda etkin bir piyasada teknik analizin bir faydası olmayacaktır. Bu bilgiler çerçevesinde, piyasada zayıf formda etkinliğin olup olmadığını belirleyebilmek için bazı testler yardımıyla fiyat değişimlerinin birbirinden bağımsız olduğunu test etmek gerekmektedir. Bu testler; regresyon analizi, run (koşu) testi, filtre kuralı testi ve serisel korelasyon testidir.

Regresyon analizi ve seri korelasyon testi, “t” günündeki menkul kıymet fiyat değişimi ile “t-1” gündeki fiyat değişimi arasındaki ilişkiyi araştırır. Daha sonra, korelasyon katsayısı hesaplayarak, hipotez testleriyle “t-1” dönem fiyatlardaki değişimlerin “t” dönem fiyatlardaki değişimleri açıklamak için hipotez testlerini kullanarak istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını test etmektedir. Run testi, fiyat değişimlerinde dönemlerin bulunup bulunmadığını belirlemek için kullanılır. Ayrıca Run testi, hisse senedi fiyat serilerindeki sayıların sadece işaretlerini dikkate alır. Yani fiyat değişimlerinin büyüklüğünü değil sadece yönünü dikkate alan bir tekniktir. Filtre kuralı testi, menkul kıymetin fiyatı belirli bir oranda düştükten sonra yükselmeye başladığında o menkul kıymetin artış eğilimde, belirli bir oranda yükselip akabinde düştüğünde ise menkul kıymetin azalış eğiliminde olduğu düşüncesine dayanır (Eken ve Adalı, 2005:5 ve Kıyılar, 1996:29).

#### **1.2.2.1.2. Yarı Güçlü Formda Etkin (semi-strong form efficient):**

Fiyatların piyasaya yansımaya derecesi açısından üç grupta sınıflandırılan etkinlik türlerinden ikincisi yarı güçlü formda piyasa etkinliğidir. Yarı güçlü formda piyasa etkinliğinde fiyatlar, hem geçmiş tüm bilgileri hem de kamuya açıklanmış kamusal bilgileri içermektedir. Yarı güçlü piyasa etkinliğini test edebilmek için kamuya açık bilgiler ile menkul kıymet fiyatları getirileri takip edilir. Bu piyasalarda tüm bilgi fiyatlandırıldığı için kamuya açık bilgiler kullanılarak yapılan teknik analizlerle normalin üstünde kar elde etmek imkansızdır. Eğer normal üstü kar elde ediliyorsa bu piyasada etkinlik söz konusu değildir.

Yarı güçlü formda piyasa etkinliğinde zayıf formda piyasa etkinliği bilgi kümesine kamuya açık bilgiler de eklendiği için daha büyük bir bilgi kümesi mevcuttur. Bu büyük bilgi kümesi, büyük finansal yayın organları, ekonomik dergi ve gazeteleri, borsa dergileri ve çeşitli yayınlanmış raporlar tarafından kamuya ulaştırılmış bilgileri içermektedir. Bundan dolayı yarı güçlü formda etkinlik zayıf formda etkinliği kapsamaktadır (Atakan, 2008:99 ve Kıyılar, 1996:17). Çoğu yatırımcılar menkul kıymet alım-satım işlemlerinde kamuya ulaştırılan tüm bilgilere güvenirlere. Eğer kamuya menkul kıymetler ile ilgili bir bilgi açıklandığında, fiyatlarda hızla ve açıklanan bilgiyi doğru değerlendiren bir ayarlama gerçekleşiyorsa bu durumda piyasada yarı güçlü formda etkinlik söz konusudur. Bu şartlar altında temel analiz yöntemlerinin faydası olmaz. Zaten fiyatlar temel analize girdi teşkil edebilecek bütün bilgileri yansıtacak düzeyde oluşacaktır. Yarı güçlü piyasa etkinliğinin olması durumunda sadece içerden bilgi sahibi olan bazı yatırımcılar, kısa dönemli fiyat hareketlerinden faydalanarak diğer

yatırımcıların elde edebilecekleri ortalama piyasa karının üzerinde kar elde edebilirler. Dolayısıyla temel analiz ve teknik analiz yöntemlerinin herhangi bir üstünlüğü bulunmamaktadır (Kıyılar, 1996:17-18). Onoh (2016) çalışmasında piyasada yarı güçlü formda etkinliğin geçerli olabilmesi için, menkul kıymet fiyatlarının rassal bir yol izlemesi ve kamuya açık tüm bilgilerin yansıtılması gerektiğini ifade etmiştir. Dolayısıyla yatırımcılar temel ve teknik yöntemlerle normalin üstünde bir kar elde edemeyeceklerdir. Stasiulis (2009), yarı güçlü etkin piyasalarda temel ve teknik yöntemlerin normalin üstünde kar elde edilmesinde faydası olmadığını ve menkul kıymet fiyatlarının piyasada değerlendirilme hızının, yarı güçlü formda etkinlik türünün belirleyicisi olduğunu belirtmiştir. Eğer kamuya bilgiler açıklandıktan sonra yatırımcıların tepkisi gecikmeli oluyorsa veya yatırımcılar tepki vermiyorsa o piyasa yarı güçlü formda etkin piyasadır (Stasiulis, 2009:3-4).

Kamuya açık bilgiler, insanların haberleri okuyarak ve halka açık toplantılara katılarak öğrenebilecekleri her şeyi içerir. Kamu basını, fiyatlar ve işlem hacimleri hakkında tarihsel bilgileri içerdiğinden, zayıf formda bilgi seti yarı güçlü formda bilgi setinin içinde yer alır. Yarı güçlü formda etkinlik hipotezi zayıf formda etkinlik hipotezine benzerdir. Bu etkinlik türünde de menkul kıymetlerin gelecekteki fiyatlarını tahmin etme girişiminde kamuya açık bilgileri analiz etmenin marjinal faydası sıfırdır. Fakat zayıf formda piyasa etkinliğinde marjinal faydası düşük olan yatırımcılar, kamuya açık bilgileri analiz etmede diğer yatırımcıların marjinal faydasının sıfır ya da negatif olduğu yerde uzmanlaşmaya başlar (Brandfield, 2007:259).

Yarı güçlü formda piyasa etkinliğinde piyasaya ulaşan bilgilerin ne kadar hızlı bir şekilde fiyatlara yansıdığı belirlenmesi bu teorinin önemli unsurlarındandır (Öncü, 2006:5). Yani bu bilgilerin yatırımcıya ulaşma süreleri önemlidir. Yarı güçlü formda piyasa etkinliğinin geçerli olabilmesi için bilginin, farklı konumdaki yatırımcılara ulaşma hızı arasında fark olmaması gerekir. Aksi takdirde bilgiye daha önce ulaşan yatırımcılar, bilginin geç ulaşacağı yatırımcılara göre daha büyük avantaj sağlamış olurlar (Kıyılar, 196:50).

Yarı güçlü formda etkinliğin test edilmesinde de zayıf formda etkinliğin test edilmesinde kullanılan regresyon analizi, serisel korelasyon testi, run testi, ve filtre kuralı testi kullanılmaktadır. Ayrıca testlere ek olarak yarı-güçlü formda piyasa etkinliğinin test edilmesi için “olay çalışması” yönteminin de yaygın olarak kullanıldığı söylenebilir. Bu yöntem piyasada oluşmuş bir haberin menkul kıymetlerde meydana getirdiği değişimi irdelemek için kullanılmaktadır (Komşioğlu Yılmaz, 2019:1561).

### 1.2.2.1.3. **Güçlü Formda Etkin (Strong form Efficient):**

Fiyatların piyasaya yansımaya derecesi olarak sınıflandırılan etkinlik türlerinden sonuncusu olan güçlü formda etkin piyasalarda fiyatlar, geçmişe ait fiyat bilgilerini, kamuya açıklanan bilgileri ve diğer firma içi bilgileri içermektedir. Diğer firma içi bilgiler kamuya açıklanmayan özel bilgileri içermektedir. Bu özel bilgiler bazı yatırımcıların bilgileri tüm yatırımcılardan önce öğrendiği bilgilerdir. Mevcut olan tüm bilgileri fiyatlara tamamen yansıtan piyasa güçlü formda etkin bir piyasadır. Bundan dolayı özel bilgiler kullanılarak normalin üstünde kar elde edilemez (Bolak, 1991:150).

Güçlü formda piyasa etkinliği fiyatların, cari değerini belirlemek için tüm bilgilerin yansıtıldığı durum olarak tanımlanmaktadır. Böylece fiyatlar kamuya açıklanmış bilgilerin yanı sıra mikro ve makroekonomiye ait tüm bilgileri de içermektedir. Buna ek olarak, içerden öğrenenlerin ulaştığı bilgiler aynı anda tüm yatırımcılara ulaşmaktadır. Dolayısıyla böyle bir piyasada yatırımcıların hiçbiri menkul kıymet fiyatlarını, diğer yatırımcılara göre daha doğru tahmin edemez. Bundan dolayı güçlü formda etkin piyasalarda teknik ve temel analiz yapılarak normal üstü kar elde edilememektedir. Benzer olarak rekabetçi menkul kıymet piyasalarında yatırımcılar rasyonel beklentilere sahiptir ve menkul kıymetin değeri hakkındaki tüm özel bilgiler fiyatlara yansımaktadır (Bayraktar, 2012:43). Fama (1965) çalışmasında, güçlü formda etkin piyasa için içerden bilenlerin ticareti (insider trading) bile yapılsa piyasayı yenmenin mümkün olmadığını belirtmiştir. Fama (1965) bunun nedeni olarak içerden bilmenin mümkün olmadığını veya içsel bilgilerin de fiyatlandırılmış olabileceği şeklinde ifade etmiştir. Bu bilgiler çerçevesinde ortalama üstü kar elde eden kişi standart sapmalar dahilindedir. Ayrıca ticaret yapmaya devam ettikçe ortalamalar kanununa göre piyasa ortalama karına yaklaşacaktır (Fama, 1965b:34). Şayet şirket içinden bilgi alabilen yatırımcılar özel bilgilere ulaşabiliyorsa, menkul kıymetlerini fiyatlar yükselmeden satın alacaklar ve menkul kıymetlerin fiyatları düşmeye başlamadan önce satacaklardır. Bu durumda yatırımcılar beklenen karın üzerinde verim alırsa, piyasada güçlü formda etkinlik söz konusu değildir. Yani, şirket içinden alınan bilgiler önemli olmaktadır. Ancak piyasa güçlü formda etkin ise bu durumda içerden edinilen bilgilerin önemli olmaması yani, bilgi sahibi olan yatırımcıların sürekli olarak normalin üstünde kar sağlamamaları gerekmektedir (Firth, 1977:128). Zaten piyasa etkin bir şekilde çalışıyorsa piyasaya gelen yeni bilgiler fiyatlara hızlı bir şekilde yansır ve bu durumda yeni bilgilere sahip olmak yatırımcılara ekstra avantaj sağlamaz.

Novicky (2014) güçlü formda etkin piyasalarda cari menkul kıymet fiyatlarının, olası tüm bilgileri içerdiğini ve bu piyasa etkinliği türünün, içerden öğrenilen bilgilerle işlem yapılırsa bile normal üstü kar elde etmenin imkansız olduğunu ifade etmiştir (Novicky, 2014:8-9). Güçlü formda etkinlik için bilgi seti, özel ve genel tüm bilgileri içerir. Örneğin, ilaç firmaları tarafından istihdam edilen yönetim kurullarının tutanakları ve biyologların raporları özel bilgi setinin bir parçası olmaktadır. Literatürde birçok çalışma, piyasalarda güçlü formda etkinliğin geçerli olmadığını, içerden yatırımcıların menkul kıymetlerin gelecekteki fiyatları hakkında önemli bilgilere sahip olduklarını ve bu yatırımcıların elde ettikleri bilgiler üzerinden ticaret yaptıklarını göstermektedir (Brandfield, 2007:259-260). Bildik (2000), etkinliğin geçerli olduğu bir piyasada özel bilgilerin hiçbir değerinin olmadığını ve yapılan birçok çalışmaya göre herhangi bir menkul kıymet piyasasında güçlü formda etkinliğin geçerli olmadığını belirtmiştir (Bildik, 2000:7).

Fama (1991) çalışmasında, piyasa etkinliği üzerine yeni değerlendirmeler yapmış ve piyasa etkinlik derecelerini ölçmek için gruplandığı testleri yeniden tanımlamıştır. Zayıf formda piyasa etkinlik testlerini, “Getirilerin Tahmin Edilebilirliği Testleri” şeklinde değiştirerek temettü getirileri ve faiz oranları gibi değişkenlerle getirilerin tahmin edilmesi öngörülmüştür. Yarı güçlü piyasa etkinliği testleri yerine “Olay Çalışması Testleri” ve güçlü formda piyasa etkinlik testleri yerine “Özel Bilgi Testleri” başlığını kullanmıştır. Fama (1991), özel bilgi testleri olarak değiştirdiği güçlü formda piyasa etkinliğinin iki şekilde test edilebileceğini belirtmiştir. Bunlardan ilki, içerden öğrenen yatırımcıların ticaretine yönelik testler, ikincisi ise yatırım fonu ve büyük portföylerin yöneticilerine yönelik testlerdir (Fama, 1991:1603).

Yukarıda detaylı bir şekilde anlatılan üç farklı piyasa etkinlik derecelerinin hiçbiri birbirinden bağımsız değildir. Bu durum şekil 1’de de gösterilmiştir. Yani piyasada yarı güçlü formda etkinliğin geçerli olabilmesi için, o piyasanın zayıf formda da etkin olması gerekir. Böylece tüm fiyat hareketleri iyi bir yatırımcının faydalanabileceği şekilde tahmin edilebilir olmalıdır. Aynı şekilde piyasada güçlü formda etkinliğin geçerli olabilmesi için, o piyasanın hem zayıf hem de yarı güçlü formda etkin olması gerekmektedir. Bunun tersi durum olursa tüm bilgiler fiyatlara yansımamış olur (Karan, 2001:269).

### **1.2.2.2. Piyasaların Faaliyet Etkinliği**

Piyasaların faaliyet etkinliği, piyasadaki işlem maliyetlerinin rekabete dayalı olarak belirlenmesidir. Yani bir piyasada işlem maliyetleri rekabete dayalı belirleniyorsa



o piyasada faaliyet etkinliği vardır. Rekabetçi ortamda piyasa yapıcılar ve brokerler kendi faaliyetlerinden normal kar elde edebilirler. Faaliyet etkinliğinin belirlenmesindeki bir kısıt, piyasa yapıcılarının işlem maliyetlerinin sıfır olmasıdır (Baştürk, 2004:7).

Copeland ve Weston (1988), faaliyet etkinliği fon transferinin maliyeti ile ilgili olduğunu ve menkul kıymet piyasasında işlem maliyetleri ne kadar düşükse piyasanın faaliyet açısından o kadar etkin olduğunu belirtmiştir. Menkul kıymet piyasaları, fonların tasarruf sahiplerinden yatırımcılara transfer edilmesini sağlayan aracılardan, hizmetlerine adil bir getiri sağlayan minimum maliyetle faaliyet göstermeleri durumunda bu piyasalar faaliyet açısından etkindir. Barone (1990) piyasada faaliyet etkinliğini, en düşük maliyetle kaynakların etkin bir şekilde kullanılması ve aktarılması şeklinde işleyen piyasa olarak tanımlarken Dimson ve Mussavian (1998), piyasanın işleyişini kolaylaştırmak için kaynakların kullanılış şekli olarak tanımlamaktadır.

Faaliyet etkinliği genel olarak aslında fon arz ve talep edenlerin minimum maliyetle işlemlerini gerçekleştirmesi olarak tanımlanmaktadır. İşlem maliyetleri finansal sistem içerisinde bulunan finansal araçlar tarafından düşürülerek, küçük yatırımcılarında finans sistemi içerisine dahil edilmesine ve finans piyasasından fayda sağlanmasını imkanı hale getirmektedir. İşlem maliyetlerinin yüksek olması finansal sistem içerisinde faaliyet etkinliğinin olmadığını göstermektedir. Menkul kıymet piyasalarında yüksek işlem maliyetleri küçük yatırımcıların piyasalarda etkin rol oynamasını engellemektedir. Küçük yatırımcıların piyasalarda etkin rol oynamasının engellenmesi durumu piyasaların etkinliğini düşürmektedir. Bu sebeple, işlem maliyetlerinin minimum düzeyde tutularak piyasalarda faaliyet etkinliğinin artırılması ve küçük yatırımcıların piyasalarda aktif rol alarak işlem hacmini artırması gerekmektedir (Çağlarırmak Uslu, 2002:20)

### **1.2.2.3. Piyasaların Kaynak Dağıtım Etkinliği**

Kaynak dağıtım etkinliği, piyasalarda her zaman kaynakların optimum dağılımı şeklinde tanımlanmaktadır. Bir piyasada fon maliyetleri kaynak dağılımını uygun bir şekilde sağlanabiliyorsa bu piyasa kaynak dağıtım etkinliği açısından ideal bir piyasadır (Keleş, 2003:5). Kaynak dağıtım etkinliği, etkinliğin olduğu sermaye piyasaları aracılığıyla finansal araçları, tüketim ve yatırım alanlarına verimli bir şekilde dağıtmasıdır. Bu etkinliğin amacı, kaynakların mevcut tüketim ve yatırım alanları arasında optimum bir şekilde dağıtmak ve en yüksek faydayı sağlamaktır (Ertuna, 1991:175).

Rekabete dayalı ekonomilerde piyasaların rolü, kıt kaynakların verimli bir şekilde kullanılmasına liderlik etmek amacıyla kıt kaynakların rekabet edenler arasında dağıtılmasını sağlamaktır. Yani bu durum, kaynakların en fazla istekli olanların kullanımına sunulmasıdır. Bu işlemlerin gerçekleştiği menkul kıymet piyasaları kaynak dağılımı etkinliğine sahiptir (Baştürk, 2004:6). Topaloğlu (2013) ise kaynakların dağıtım etkinliğini, ekonomik işlemlerde, mevcut kaynakların finansal araçlar tarafından yatırımcılar arasında optimal verimli bir şekilde dağıtılması şeklinde tanımlamıştır. Optimal verimlilik, yatırımcının sahip olduğu menkul değerleri ortalamanın üzerinde getiri elde etmesi için yatırımlarını minimum maliyetle gerçekleştirebileceği ve karşılaştığı riski minimum yapabileceği yatırıma yönlendirmesi durumunda elde edeceği kazançtır. Dağıtım etkinliği, bilgi ve faaliyet etkinliğinin varlığına bağlıdır (Topaloğlu, 2013:13-14).

### **1.2.3. Etkin Piyasa Hipotezi ile İlgili Kavramlar**

Etkin piyasa hipotezinde yatırımcılar geçmiş, mevcut ve gelecek tüm bilgileri kullanarak menkul kıymet fiyatlarını bu bilgilere göre düzenlediklerinden dolayı “bilgi” kavramı çok önemlidir. Elde edilen bu bilgi sayesinde piyasa etkinliği belirlenmektedir. Piyasa etkinliğinin olduğu bir piyasada yatırımcılar ulaştıkları yeni bilgileri hızlı ve tam olarak menkul kıymet fiyatlarına yansıtırlar. Bunun yanı sıra etkin bir piyasada menkul kıymet fiyatları birbirinden bağımsız ve rassal hareket etmektedir. Bundan dolayı Fama (1970) çalışmasında EPH’ni rassal yürüyüş hipotezine dayandırmıştır.

Fama (1970), EPH’nin temel varsayımının mevcut tüm bilgilerin menkul kıymet fiyatlarına yansıtılması şeklinde belirtmiştir. Dolayısıyla piyasanın etkin olup olmadığının belirlenebilmesi için bu hipotezin test edilebilir olması gerekmektedir. Hipotezin test edilebilir duruma gelmesi için de Fama (1970) fiyat oluşum sürecinin detaylı olarak açıklanması gerektiğini vurgulamıştır. Fiyat oluşum sürecinin ve bilginin aktarılması için Fama (1970) çalışmasında, “Beklenen Getiri veya Adil Oyun (Fair Game), Martingale ve Rassal Yürüyüş (Random Walk)” modellerini geliştirmiştir. Bu modeller aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

#### **1.2.3.1. Beklenen Getiri veya Adil Oyun (Fair Game) Modeli**

“Fair Game” terimi literatüre ilk kez Louis Bachelier tarafından kazandırılmıştır. 1900 yılında Sorbonne Üniversitesi’nde matematik alanında doktora tezini tamamlayan Louis Bachelier tezinde, “gelecek fiyat hareketlerinin sistematik olarak tahmin edilmesinin mümkün olmadığını ve oyunun adil olduğunu” belirtmiştir (Bachelier, 2006:27). Etkin piyasa hipotezinin geçerli olduğu bir piyasada ise mevcut bilgiler

kullanılarak fiyat tahmini yapılmasında sistematik bir hata olması düşünülemez. Bundan dolayı menkul kıymet piyasaları adil oyun olarak düşünülebilir (Gürel, 2019:33).

Guerrien ve Gun (2011), “Adil Oyun” teorisinin arbitraj imkanının olmaması ve fiyat değişimlerinin öngörülememesi şeklinde iki özelliği olduğunu ifade etmiştir.

Literatürdeki çalışmaların çoğu piyasa denge koşullarının beklenen getiri ile ifade edilebileceği varsayımına dayanmaktadır. Bunun yanı sıra bazı teoriler de menkul kıymetin dengedeki beklenen getirisini o menkul kıymetin riskinin bir fonksiyonu olarak varsaymaktadır (Kıyılar, 1996:9). Fama (1970), etkin bir piyasada fiyatların mevcut bilgiyi tam olarak yansıttığına ilişkin tanımın çok genel olduğunu, fiyatların tam yansıtılmasının ampirik olarak test edilebilir olmadığını ve bundan dolayı fiyat oluşum sürecinin daha detaylı olarak anlatılması gerektiğini ifade etmiştir. Yani tam yansıtmak ile ne anlatılmak istendiği daha net olarak tanımlanmalıdır. Bir olasılık, menkul kıymetler üzerindeki denge fiyatlarının (ya da beklenen getirilerin) “iki parametrelili” Sharpe (1964), Lintner (1965 ve 1975) modelindeki gibi üretildiğini varsaymak olabilir. Bununla birlikte, genel olarak, teorik modeller ve özellikle menkul kıymet piyasası etkinliğinin ampirik testleri bu kadar spesifik olmamıştır. Mevcut çalışmaların çoğu, sadece piyasada dengesi koşullarının beklenen getirileri cinsinden ifade edilebileceği varsayımına dayanmaktadır. Genel olarak, iki parametrelili model gibi teoriler, ilgili bilgi kümelerine bağlı olarak bir menkul kıymetin beklenen getiri dengesinin, menkul kıymetin “riskinin” bir fonksiyonu olduğunu varsayar. Ayrıca farklı teoriler, öncelikle “riskin” nasıl tanımlandığı konusunda farklılık gösterecektir (Fama, 1970:384).

Fama (1970) adil oyun modelini, belli bir zaman aralığındaki fiyat hareketleri ile değil belli bir zaman noktasındaki fiyat ile açıklamıştır. Farklı teoriler riski farklı olarak tanımlasalar bile bütün beklenen getiri teorileri, Fama (1970) çalışmasında olduğu gibi menkul kıymetlerin beklenen getirisinin gerçekleşen getiriye eşit olduğu şeklinde ifade edilmiş ve aşağıdaki gibi denklemlendirilmiştir.

$$E(\tilde{p}_{j,t+1}|\Phi_t)=[1 + E(\tilde{r}_{j,t+1}|\Phi_t)]p_{jt}, \quad (1.1)$$

Denklem 1.1’de;

E: beklenen değer operatörünü

t: zamanı

j: menkul kıymet fiyatını

$p_{j,t}$ : t zamandaki j menkul kıymet fiyatını

$p_{j,t+1}$ : t+1 zamandaki j menkul kıymet fiyatını (Dönem içinde elde edilen herhangi bir nakit girişin yeniden yatırılması şartı ile)

$r_{j,t+1}$ : j menkul kıymetin t+1 dönemdeki getirisini  $[(p_{j,t+1} - p_{j,t}) / p_{j,t}]$

$\Phi_t$ : t dönemde fiyata tam yansıtıldığı varsayılan herhangi bir bilgi kümesini

$P_{j,t+1}$  ve  $r_{j,t+1}$ : t dönemindeki rassal değişkenleri

$E(\tilde{r}_{j,t+1} | \Phi_t)$ : denge durumundaki beklenen getiriyi

ifade etmektedir.

Beklenen getiri modeli,  $\Phi_t$  bilgi kümesinin  $p_{jt}$  fiyatına tam olarak yansıtılmasını ifade etmektedir. Denklem 1.1'deki model şunu anlatır: j menkul kıymetin  $\Phi_t$  bilgi kümesini yansıtan t+1 dönemdeki fiyatı, t dönemdeki fiyatın ( $p_{j,t}$ ),  $\Phi_t$  bilgi kümesini yansıtan bir dönemlik beklenen getirisinin t dönemdeki fiyata katkısı ile gösterilebilir. Beklenen getiri modeline göre, bir menkul kıymetin bir dönem sonraki tahmini fiyatı, bugünkü fiyatı ile menkul kıymetin mevcut tüm bilgileri dahilinde gelecek dönem için beklenen ve menkul kıymetin riskine uygun bir getirinin toplamına eşittir. Denge durumundaki beklenen getirinin değeri yani  $E(\tilde{r}_{j,t+1} | \Phi_t)$ ,  $\Phi_t$  bilgi kümesini tam yansıtan beklenen getiri teorisine uygun olarak belirlenmiştir.  $\Phi_t$  bilgi kümesi, j menkul kıymetin t dönemindeki fiyatının ( $p_{j,t}$ ) oluşumunu tam olarak yansıtır. Sonuç olarak beklenen getiri veya adil oyun modelinde,  $\Phi_t$  bilgi setine dayanarak yeni bir yatırım stratejisini uygulanması ve menkul kıymetin beklenen getirisi üzerinde bir getiri elde edilmesi mümkün olmayacaktır (Kıyılar, 1996:10).

### 1.2.3.2. Martingale Modeli

Martingale modeli, fiyat oluşum sürecini açıklamaya yönelik geliştirilen bir diğer modeldir. Martingale modeli "adil oyun" modelinin özel bir durumudur. Bu model 18. yüzyılda Fransa'da oynanan kumar oyunlarında para koyma stratejisinden türetilmiştir. Martingale modeline göre, oyunda her kaybedildiğinde bir sonraki oyun için bu kaybedilen tutarın iki katı kadar para konulursa, kazanılan ilk oyundan elde edilen getiri en başta ortaya konulan paraya eşit olacaktır. Yani, para koyma strateji ile oynanan kumar oyununda beklenen getiri ortaya ilk konulan paraya veya daha fazlasına eşit olacaktır. Bu durum pratikte uygulanması tavsiye edilebilir bir strateji değildir ancak Martingale modeli, mevcut bilgi seti içindeki gelecekteki en iyi fiyat tahmininin şu anki fiyat olduğunu belirtmektedir. Martingale modeli şu şekilde formüle edilmiştir:

$$E(\tilde{p}_{j,t+1} | \Phi_t) \geq p_{jt}, \text{ veya eşdeğer olarak } E(\tilde{r}_{j,t+1} | \Phi_t) \geq 0 \quad (1.2)$$

2 numaralı denklemde;

E, beklenen değeri,

$p_{j,t}$  ve  $p_{j,t+1}$ , j menkul kıymetin t ve t+1 zamanındaki değeri,

$r_{j,t+1}$  bir dönemli oransal getiri

$\Phi_t$  ise t zamandaki fiyatta yansıtılmış olan bilgi kümesini ifade etmektedir.

Martingale modeli, j menkul kıymetin t zamandaki değerinin ( $p_{j,t}$ ), t zamandaki fiyata yansımış olan bilgi kümesi ( $\Phi_t$ ) kapsamında tahmin yürütülen değer, j menkul kıymetin bugünkü değerine eşit ya da bu değer üstünde olduğunu ifade etmektedir. Yani j menkul kıymetin fiyat serisi bilgi kümesi ile ilgili olarak martingale süreç izler. Bu eşitlikler sağlandığı takdirde ardışık fiyatlar martingale süreci takip etmiş olur. Fiyatlardaki martingale modelinin önemli bir ampirik sonucu vardır. Bireysel menkul kıymetlere odaklanan ve yatırımcıların belli bir menkul kıymeti açığa satma veya t zamanda nakit olarak elinde tutma koşullarını tanımlayan sistem “tek menkul kıymet ve nakit” mekanik ticaret kuralları kümesi olarak düşünülür. O halde,  $\Phi_t$  ye bağlı beklenen getirilerin negatif olmadığı varsayımı, doğrudan sadece  $\Phi_t$ ’deki bilgilere dayanan bu ticaret kurallarının, gelecek dönemde menkul kıymeti her zaman “satıl al elde tut” politikasından daha fazla beklenen kara sahip olamayacağını ima eder (Fama, 1970:386). Yani, piyasadaki yatırımcılar “satıl al elde tut” politikasındaki temel ve teknik analizler gibi çeşitli stratejiler tarafından yenilemeyeceğini ve bu politikadan daha fazla kar elde edilmesinin beklenmesinin mümkün olmadığını söylemektedir.

Karakitsos ve Varnavides (2014) çalışmasında Martingale modelini, eğer piyasada etkinlik söz konusu ise tüm bilgiler bugünün fiyatına yansıtılmıştır ve piyasaya yeni bir bilgi girişi olmadığı sürece geleceğin fiyatı bugünün fiyatına eşittir. Bundan dolayı varlık fiyatları tahmin edilemez (Açık vd., 2018:686).

Martingale modeli rassal yürüyüş ile benzer gözüktüğü de önemli bir noktada farklılıkları vardır. Martingale modelinde, rassal yürüyüş modelinden farklı olarak, gelecekteki fiyat değişimlerinden birbirinin eşi olma şartı aranmaz. Bu çerçeveden bakıldığında, martingale süreçler kısıtlayıcı alt bir martingale olarak rassal yürüyüşleri içine dahil etmekle kalmaz, buna ek olarak finansal piyasalardaki volatilitenin kümelenmesi gibi ampirik bulgularla da uyumludur. Piyasada gerçekleşen yüksek değişimleri yüksek değişimler takip eder ancak etkin bir piyasada bu değişimlerin büyüklüğünün ne kadar olacağı bilinemez. Dolayısıyla bu beklenti ile kazanılacak ek bir getiri olmamaktadır (Çelik, 2007:9).

### 1.2.3.3. Rassal Yürüyüş (Random Walk) Modeli

Rassal yürüyüş modeli, 1950’li yıllarda M.Kendall tarafından ortaya atılmış ve Fama tarafından da geliştirilmiştir. Bir menkul kıymetin cari fiyatının mevcut tüm bilgileri tamamen yansıtmasına dayanan etkin piyasa modeli, ardışık fiyat

değişikliklerinin birbirinden bağımsız olduğu ve ardışık fiyat değişikliklerinin aynı şekilde dağıldığı varsayımına dayandırılmıştır. Bu iki varsayım birlikte “rassal yürüyüş (random walk)” modelini oluşturmaktadır (Kıyılar, 1996:13). Yani fiyat değişimlerinin birbirinden bağımsız ve rassal hareket etmesi, rassal yürüyüş modelinin piyasa etkinliği ile tutarlı olmasını ifade etmektedir. Mesela, bir menkul kıymetin gelecekte fiyatının yükselme veya düşme olasılığı bu menkul kıymetin geçmişten bugüne kadarki fiyatlarının artış ve azalışlarından bağımsızdır (Fama, 1965:56). Cheng ve Deets (1971) çalışmalarında rassal yürüyüş modelini, ekonomik ve istatistiksel olmak üzere iki hipotezden oluştuğunu belirtmiştir. İstatistiksel hipotez, fiyat değişikliklerinin birbirinden bağımsız ve rassal hareket ettiğini, ekonomik görüş ise, piyasanın etkin olması durumunda hiçbir yatırımcının normal üstü kar elde edemeyeceğini varsaymaktadır (Cheng ve Deets, 1971:11). Fama (1970), rassal yürüyüş modelini şu şekilde formüle etmiştir:

$$f(r_{j,t+1}|\Phi_t)=f(r_{j,t+1}) \quad (1.3)$$

1.3 numaralı denklemde  $r_{j,t+1}$  bağımsız rassal değişkeni ve  $j$  menkul kıymetin  $t+1$  zamandaki getirisini ifade etmektedir. Bu denklem bize bağımsız bir rassal değişkenin koşullu ve marjinal olasılık dağılımlarının aynı olduğunu söylemektedir. Ayrıca, yoğunluk fonksiyonu ( $f$ ) tüm  $t$ 'ler için aynı olmalıdır. 1.3 numaralı denklem, adil oyun modelinde belirtilen beklenen getiri denkleminden (1 numaralı denklem) daha fazlasını ifade etmektedir. Örneğin, beklenen getiri modeli,  $j$  menkul kıymetin zamanla beklenen getirisinin sabit olduğu varsayımı ile kısıtlanırsa yeni bir denklem denklem elde edilir. Bu denklem;

$$E(\check{r}_{j,t+1}|\Phi_t) = E(\tilde{r}_{j,t+1}) \text{ şeklinde ifade edilir.} \quad (1.4)$$

Denklem 1.4'de  $r_j$  'nin dağılımının ortalamasının  $\Phi_t$  'den bağımsız olduğunu ve dağılımın ortalaması olan  $E(r_{j,t+1})$  'in zaman içerisinde sabit olduğunu söylemektedir. 1.3 numaralı rassal yürüyüş denklemi ise bunlara ek olarak tüm dağılımın  $\Phi_t$  'den bağımsız olduğunu belirtmektedir. Dolayısıyla bu ifade bize rassal yürüyüş modelinin, beklenen getiri veya adil oyun modelinin bir devamı olduğunu söylemektedir.

Piyasa etkinliği hipotezi, piyasaya yeni bilgi geldiğinde, piyasada herhangi bir önyargı olmadan bu bilgiyi anında ve tam olarak menkul kıymet fiyatlarına yansıtacak şekilde fiyat düzenlemesi yapar ve net spekülörler için risksiz kâr fırsatlarını ortadan kaldırmış olur. Etkin piyasa hipotezi, piyasaya gelen yeni bilgilerin zamanlaması veya önemi hakkında hiçbir iddiada bulunmaz. Menkul kıymet fiyatlarındaki değişikliklerin

rassal yürüyüşü, etkin piyasa hipotezi ile tutarlıdır (Brandfield, 2007:260). Ayrıca rassal yürüyüş modeli zayıf formda piyasa etkinliği ile ilişkilidir. Piyasada zayıf formda etkinliğin geçerli olması durumunda, menkul kıymet fiyatları rassal yürüyüş sürecini takip etmekte ve menkul kıymetlerin gelecekteki fiyatları gerçekleşen yeni bilgilere göre rassal değişmektedir. Dolayısıyla menkul kıymetlerdeki peş peşe gerçekleşen fiyat değişiklikleri birbirinden bağımsız ve menkul kıymetlerin fiyatlarındaki dalgalanmalar tahmin edilemez (Oskoee, 2011:1).

Çalışmanın bu kısmına kadar Fama (1970) tarafından geliştirilen etkin piyasa hipotezine dair genel teorik bilgiler detaylı olarak anlatılmıştır. Kısaca ifade edilecek olursa, bir piyasanın etkin olabilmesi için mevcut tüm bilgilerin menkul kıymet fiyatlarına yansımış olması, fiyatların birbirinden bağımsız olarak rassal hareket etmesi ve yatırımcıların normal üstü kar elde etmemeleri gerekmektedir. Etkin piyasa hipotezi içerisinde en önemli ve finans literatürde en çok üzerinden durulan konu, piyasaların zayıf formda etkin olup olmadığıdır. Bundan dolayı çalışmaya öncelikle kripto para piyasalarının zayıf formda etkin olup olmadığını test etmekte başlanmaktadır.

### 1.3. Literatür

Kripto para piyasaları ve etkin piyasa hipotezi ile ilgili genel bilgiler verildikten sonra çalışmanın bu aşamasında kripto para piyasalarının etkinliği üzerine yapılan çalışmalara yer verilecektir.

Kripto paraların alt temelinden blockchain teknolojisinin olması, kripto paraların merkezi bir otoriteye bağlı olmaması ve bilgisayar algoritmalarına dayanması gibi özellikleri sayesinde günümüzde popüler hale geldiği gözlenmektedir. Kripto paraların popülerliğinin artması her geçen gün yeni altcoinlerin de piyasaya girmesine ve böylece kripto para borsalarının oluşmasına neden olmuştur. Kripto paraların ortaya çıkışından itibaren bu paraların tanımı konusunda fikir birliği sağlanamamıştır. Bu çerçevede kripto para piyasası konusuna ilgili olan araştırmacılar öncelikle kripto paraların tanımı üzerine yoğunlaşmışlardır. Literatürde çoğunlukla kripto paraların tanımı üzerine çalışmalar olduğu gözlenmektedir. Kripto paralar piyasaya girdiği andan itibaren yapılan ilk çalışmalarda kripto paraların bir para birimi olarak kabul edilemeyeceği ve altın gibi kıymetli metallere benzerliklerinin olmadığı belirtilmiştir. Bu durum özellikle Bitcoin için geçerlidir. Yani kripto paraların ilki olan Bitcoin üzerine yapılan ilk çalışmalarda bu sonuçlara varıldığı gözlenmektedir. Ancak kripto para birimleri yaygınlaştıkça ve kripto para borsaları oluştuğunda, kripto para birimlerine bakış açısı değişmiş ve son zamanlarda yapılan çalışmalarda, kıymetli metal ve hisse senedi gibi

finansal varlıklarla benzerlikleri olduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak kripto paraların özellikle kriz dönemlerinde portföy çeşitlendiricisi ve güvenli liman olma özelliklerinin olduğuna dair çalışmalarda bulunmaktadır.

Kripto paraların popülerliğinin artması, piyasaya alt coinlerin girmesi ve varlık olarak görülmesi yatırımcıların dikkatini çekmiştir. Ancak kripto para piyasasında sürekli bir sirkülasyon olması, bu piyasanın spekülasyona açık olması ve kripto para fiyatlarında oynaklığın fazla olması gibi durumlar piyasanın etkinliği konusunda şüphe uyandırmaktadır. Bunu fark eden araştırmacılar, ekonomistler bu piyasanın etkin olup olmadığını test etmeye yönelik çalışmalar yapmaya başlamışlardır. Çünkü bir piyasanın etkinliği hakkında bilgi sahibi olmak yatırımcılar için önemli bir unsurdur. Bu bilgiler çerçevesinde bu çalışmada kripto para piyasasının etkinliği araştırılmıştır. Kripto para piyasalarının etkinliğinin araştırılması aşamasında, etkin piyasa hipotezinin teorik bilgilerinin verildiği kısımda detaylı anlatıldığı gibi, bu piyasalarda genellikle zayıf formda etkinliğin araştırıldığı diğer etkinlik türlerinin bu piyasalar için henüz geçerli olmadığı bilgisine ulaşılmıştır. Dolayısıyla bu çalışmada kripto para piyasalarının etkinliği çerçevesinde bu piyasaların zayıf formda etkin olup olmadığı incelenecektir. Bundan dolayı çalışmanın literatür kısmında kripto paraların zayıf formda etkinliğini araştıran çalışmalara yer verilmiştir. Bu çalışma ile kripto para piyasalarının etkinliği konusunda yatırımcıların bilgi sahibi olması, doğru yatırım kararları almaları, yatırımlarının sonucu hakkında bilgi sahibi olmaları ve bu doğrultuda strateji geliştirmelerini sağlamak amaçlanmaktadır.

Kripto para piyasalarının etkinliği konusunda ilk çalışma Urguhart (2016) tarafından yapılmıştır. Urguhart (2016), Bitcoin piyasasında zayıf formda etkinliğin olup olmadığını incelemiştir. Çalışmada, 01/08/2010-31/07/2016 dönemleri arasında Bitcoin'in USD cinsinden günlük kapanış fiyatları alınarak getirileri hesaplanmıştır. Analize Bitcoin değişkeninin getirisi dahil edilmiştir. Urguhart (2016), BTC piyasasının zayıf formda etkinliğini incelemek için çeşitli rassallık testleri yapmıştır. Bu testlerden ilki, Ljung-Box testidir ve bu test ile getirilerin otokorelasyonunu incelemiştir. İkinci olarak, getirilerin bağımsız olup olmadığını test etmek amacıyla Run testi, üçüncü olarak ise getirilerin rassal yürüyüş özelliği gösterip göstermediğini sınıma için Varyans Oran testini, dördüncü olarak getirilerde seri bağımlılık olup olmadığını test etmek için BDS testi ve son olarak getirilerin uzun hafıza özelliğini test etmek amacıyla R/S Hurst kuvvet testini kullanmıştır. Çalışmanın sonucunda 01/08/2010-31/07/2016 dönemleri arasında BTC getirilerinin etkin olmadığını ancak bu tam dönemi iki dönem



altında incelediğinde (yani 01/08/2010-31/07/2013 ve 01/08/2013-31/07/2016) bazı test sonuçlarının, BTC getirilerinin etkin olduğunu gösterdiğini tespit etmiştir. Böylece Urguhart (2016), BTC'nin başlangıçta etkinsiz olduğunu ancak zamanla etkin bir piyasa olma yolunda ilerlediği sonucuna varmıştır. Urguhart (2016) ile benzer sonuçlara ulaşan bazı çalışmalar Nadarajah ve Chu (2017), Tiwari (2018) ve Hawaldar vd., (2019) dir. Nadarajah ve Chu (2017), Urguhart (2016) çalışmasından esinlenerek aynı dönemler arasında sekiz farklı test yöntemi kullanarak BTC getirilerinin etkinliğini incelemiştir. Urguhart (2016) BTC getirilerinin etkinliğini beş farklı test yöntemiyle incelemelerine karşın Nadarajah ve Chu (2017) bu etkinliği sekiz farklı test yöntemi ile incelemiştir. Farklı test yöntemlerinin kullanılmasının sonucu değiştirebileceği düşünülmüştür. Çalışmalarında, Ljung-Box testi, Run testi, getirilerin bağımsızlığını test etmek amacıyla Bartel's testi, getirilerin rassal yürüyüş özelliği gösterip göstermediğini test etmek amacıyla Will-Bootstrapped Otomatik Varyans Oran testi, Spektral form testi, getirilerin bağımsızlığı için BDS testi, seri korelasyon için Portmanteau testi ve martingale hipotezinin geçerli olup olmadığını test etmek için Genelleştirilmiş Spektral testi kullanmışlardır. Sekiz farklı test ile BTC getirilerinin etkinliğinin incelendiği bu çalışmada BTC getirilerinin zayıf formda etkin olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bariviera (2017), BTC piyasasında bilgi etkinliğini araştırdığı çalışmada, BTC'nin uzun vadeli getiri hafızasını test etmek için R/S Hurst kuvveti yöntemini kullanmıştır. Çalışmada incelenen dönem aralığı 18/08/2011-15/02/2017 dir. Tiwari vd., (2018), 18/07/2010-16/06/2017 dönemleri arasında BTC piyasasında bilgi etkinliğini uzun vadeli bağımlılık tahmincileri yöntemi ile test etmiştir. Test sonuçları, BTC getirilerinde bilgi etkinliğinin olduğunu göstermiştir. Çalışmada uzun vadeli tahminlere dayalı bir etkinlik endeksi oluşturulmuş ve sonucunda BTC getirilerindeki etkinliğin zaman içerisinde değiştiğini belirtmiştir. Hawaldar vd., (2019), kripto para birimlerinin ABD doları karşısında zayıf formda piyasa etkinliğini 2013-2017 dönemleri arasında incelemiştir. Çalışmada ele aldığı kripto para birimleri BTC ve LTC dir. Bu kripto para birimlerinin etkinliğini incelemek için çalışmada, Genişletilmiş Dickey Fuller (ADF), Phillips Perron (PP) ve KPSS birim kök testlerini kullanmıştır. Çalışmanın sonucunda BTC ve LTC piyasalarında zayıf formda etkinliğin olduğu ve BTC ile LTC dolar kurunun rassal yürüyüş özelliği sergilediğine ulaşılmıştır. Kripto para piyasasında etkinliğin geçerli olduğu veya zamanla olabileceği yönündeki bulgulara karşın bu piyasaların etkin olmadığına dair bulguların olduğu çalışmalar da bulunmaktadır. Bu çalışmalardan Latif vd., (2017), BTC ve LTC piyasalarının zayıf formda etkinliğini incelediği

çalışmalarında Dickey-Fuller, DF-GLS, PP, KPSS, ERS ve Ng-Perron gibi birim kök testlerini kullanmıştır. Yaptıkları çalışma sonucunda bu piyasalarda zayıf formda etkinliğin geçerli olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Yazarlar kripto paraların değerinin tümü ile spekülasyon sonucu oluştuğundan dolayı bu piyasada etkinliğin olmadığını belirtmiştir. Bariviera (2017) çalışmasında iki sonuca ulaşmıştır. Bu sonuçlardan birincisi, R/S Hurst yönteminin uzun vadeyi algıladığını, ancak Hurst-DFA yönteminin zaman içinde bilgi verimliliğinde daha net farklılıkları ayırt edebileceği yönünde bir teori ileri sürmüştür. İkinci sonuç ise, günlük getirilerin analize dahil edilen dönemin ilk yarısında kalıcı davranış sergilediği ve bu davranışların 2014 yılından itibaren daha bilgi içerikli olduğu yönündedir. Ayrıca fiyat dalgalanmaları tüm dönem boyunca uzun hafıza özelliği göstermiştir. Bariviera (2017) yapmış olduğu analizler sonucunda BTC piyasasının etkin olmadığı sonucuna ulaşmıştır. Charfeddine ve Maouchi (2018), kripto para piyasalarının etkinliğini incelemek için dört farklı kripto para birimini çalışmasına dahil etmişlerdir. Bu kripto para birimleri BTC, LTC, Ripple (XRP) VE ETH dir. Her bir kripto para birimi için ayrı dönemleri incelemişlerdir. BTC ve LTC için 29/04/2013-01/02/2018, ETH için 08/08/2015-02/02/2018 ve XRP için ise 05/08/2013-30/01/2018 dönem aralıkları baz alınarak her bir kripto para biriminin günlük kapanış fiyatları analize dahil edilmiştir. İlk olarak yarı-parametrik ve non-parametrik yöntemler kullanılmış ve akabinde getiri serileri için yapısal kırılmalı testler yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda ETH getirileri dışında diğer üç kripto para getirilerinde zayıf formda piyasa etkinliğinin geçerli olmadığı tespit edilmiştir.

Literatürde kripto paraların etkinliği üzerinde yapılan çalışmaların sonuçlarının veri setine, uygulanan yönteme, incelenen dönem aralığına göre değiştiği gözlenmektedir. Kripto paraların etkinliği için anlatılan literatür çalışmalarına ek olarak yeni literatür çalışmaları da aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

**Tablo 1.1: Literatür Taraması**

Yazar(lar)	Dönem	Değişkenler	Yöntem	Bulgular
Kurihara ve Fukushima (2017)	17/07/2010-29/12/2016	BTC	ADF	BTC piyasasına etkin piyasa hipotezi geçerli değildir.
Al-Yahyaee vd.,(2018)	18/07/2010-31/10/2017	BTC Altın Usd Endeksi MSCI	MF-DFA yöntemi	BTC piyasasında etkin piyasa hipotezi geçerli değildir.
Caporale vd., (2018)	2013-2017	BTC LTC Ripple Dash	Uzun dönem hafıza özelliği yöntemi (R/S Hursts ve Kesirli Entegrasyon)	Kripto para piyasası süreklilik göstermekte yani geçmiş ve gelecekteki değerleri arasında pozitif ilişki vardır. Aynı zamanda dereceleri açısından zaman içerisinde farklılık göstermektedir. dolayısıyla kripto para piyasası etkin değildir.
Hu vd., (2019)	16/08/2017-16/01/2019	31 farklı kripto para birimi	Panel birim kök testleri	Kripto para piyasaları etkin değildir.
Vidal-Tomas vd., (2019)	2015-2017 2016/2017 2017 Yılları olmak üzere 3 farklı dönem	Tüm altcoinler	Ljung-Box BDS Runs Bartels Portmanteau VRT (çoklu varyans oran testi) DFA (Trendsiz dalgalanma analizi) GS (genelleştirilmiş spektral test) AVR (eild-bootstrapped otomatik varyans oran testi)	Tüm altcoin piyasalarında zayıf formda etkinsizlik hakimdir.
Al-Yahyaee vd.,(2020)	07/08/2015-03/07/2018	BTC ETH Dash LTC Monero (XMR) Ripple (XRP)	MF-DFA Kantil regresyon	Kripto para piyasaları uzun bellek özelliği gösterir. Kripto para birimlerinin etkinliği zamana göre değişmektedir. Likiditenin yükselmesi piyasa etkinliğini artırır ancak volatilitenin yüksek olması kripto paraların etkinliğini zayıflatır.
Palamalia vd., (2020)	Her bir kripto para biriminin farklı dönemleri	On farklı kripto para birimi	Parametrik ve non-parametrik rassal yürüyüş testleri	Piyasada zayıf formda etkinlik ve rassal yürüyüş özelliği geçerli değildir.
Tran ve Leirvik (2020)	29/04/2013-28/02/2019	BTC ETH LTC Ripple EOS	Piyasa verimliliği seviyesini ölçmek için Tran ve Leirvik (2019) tarafından geliştirilen Düzeltilmiş Piyasa Etkinsizliği Büyüklüğü (AMIM) testi kullanılmıştır.	Kripto para piyasası 2017 öncesi etkinsiz ancak 2017-2019 yılları arasında etkin olmaya başlamıştır. Yani kripto para piyasalarında zamanla piyasa etkinliği sağlanmaktadır.
Kang vd. (2021)	16/07/2018-16/07/2019	Çeşitli kripto para birimleri	Runs testi Durbin-watson testi Varyans Lo-Mackinlay testi	Çalışmada incelenen kripto paraların sadece %6.04 ünün zayıf formda etkin piyasa hipotezini karşıladığını göstermektedir. %2.695'i ise yarı güçlü formda piyasa hipotezini karşılamaktadır.
Apopo ve Phiri (2021)	09/01/2009-31/10/2019 30/06/2015-31/10/2019 13/10/2011-31/10/2019 01/08/2017-31/10/2019 03/06/2016-31/10/2019	BTC ETH LTC Bitcoin Cash Ripple	Geleneksel birim kök testleri (ADF-PP-KPSS-DF-GLS-Ng-Perron) KSS Doğrusal olmayan birim kök testi Fourier birim kök testi	Kripto para piyasasında zayıf formda piyasa etkinliği geçerlidir. Ayrıca bu piyasa rassal yürüyüş özelliği taşımaktadır.
Mahalwala (2022)	01/01/2018-31/12/2021	BTC ETH Tether	Regresyon Analizi Birim Kök Testleri Varyans Oran Testi Breusch-Godfrey Serisi Korelasyon LM Testi	Kripto paraların fiyatları öngörülebilirdir. Dolayısıyla bu piyasalarda zayıf formda etkinlik geçerli değildir.
Jun Kim ve Y.Park (2022)	10/11/2017-17/05/2022	15 kripto para birimi	Geleneksel birim kök testleri ile yapısal kırılmalı birim kök testleri Doğrusal olmayan kuantil birim kök testleri	Geleneksel birim kök testlerine göre kripto para piyasası etkindir. Doğrusal olmayan kuantil birim kök testi sonucuna göre ise kripto para piyasasında etkinlik geçerli değildir. Ancak kripto

				paraların fiyat seviyesi yükseldikçe bu piyasalar etkin hale gelir.
Souza ve Carvalho (2023)	12/09/2019-20/08/2021	BTC ETH	ADF KPSS VAR(p)	Birim kök testlerine göre BTC ve ETH piyasalarında zayıf formda etkinlik geçerlidir. VAR(p) sonucuna göre bu piyasalarda zayıf formda etkinlik geçerli değildir.
Erdoğan (2018)		BTC ETH Bitcoin Cash Ripple	Etkinlik Endeksi (EI) Sermaye Piyasası Etkinlik Üssü Endeksi (CMEE)	EI endeks sonuçlarına göre Ripple zayıf formda etkin diğer üç kripto para birimi güçlü formda etkin. CMEE endeks sonuçlarına göre ise dört kripto para birimi de yarı-güçlü formda etkindir.
Yağmur ve Mangır (2020)	01/02/2015-01/11/2019	BTC	SADF	Rassal yürüyüş hipotezi geçerlidir.
Yılmaz ve Akkaya (2020)	29/04/2013-29/02/2020	BTC LTC	ARMA Kruskal Wallis H testleri	Kripto para piyasalarında haftanın günü etkisinin varlığına rastlanmamıştır. Ayrıca bu piyasalarda etkin piyasa hipotezi geçerlidir.
Açıklın ve Sakınç (2022)	02/01/2018-18/08/2021	Yedi kripto para birimi	Regresyon testi Birim kök testleri Run testi Varyans oran testi	Kripto para piyasalarında rassal yürüyüşün geçerli olmadığı ve bu piyasaların zayıf formda etkin olmadığı sonucuna varılmıştır.

Kripto para piyasalarında etkinliğin geçerli olup olmadığı üzerine yapılan çalışmaların bazıları tablo 1.1’de genel itibari ile gösterilmiştir. Tablo 1.1 incelendiğinde kripto paraların etkinliğini test etmek için genellikle regresyon analizi, birim kök testleri ve varyans oran testleri kullanıldığı gözlenmektedir. Ancak bu testlerin yanı sıra etkinliğin test edilmesi için farklı yöntemler de kullanılmıştır. Regresyon analizi, birim kök testleri, run testi ve varyans oranı testi gibi testlerin kullanılarak kripto para piyasalarında etkinliğin incelendiği çalışmalardan Kurihara ve Fukushima (2017), 17/07/2010-29/12/2016 dönemleri arasında günlük veriler kullanarak BTC piyasasında etkinliğin geçerli olup olmadığını ADF birim kök testi ile incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, analize dahil ettikleri dönem içerisinde BTC piyasasının etkin olmadığını ancak bu piyasanın zamanla etkin olabileceğini ve rassal yürüyüş özelliği gösterebileceğini tespit etmişlerdir. Bu çalışmaya benzer bir çalışma da Jun Kim ve Y.Park (2022) tarafından yapılmıştır. Yazarlar çalışmada on beş kripto para birimi için 10/11/2017-17/05/2022 dönemlerinde günlük veriler kullanarak geleneksel birim kök testleri, yapısal kırılmalı birim kök testleri ve doğrusal olmayan kuantil birim kök testleri kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda, geleneksel birim kök testlerine göre bu kripto para piyasalarının zayıf formda etkin olduğu ancak doğrusal olmayan birim kök testleri sonucuna göre bu piyasalarda etkinliğin geçerli olmadığını test etmişlerdir. Buna ek olarak yazarlar, kripto paraların fiyat seviyesi yükseldikçe kripto para piyasalarında etkinliğin geçerli olacağını ifade etmişlerdir. Birim kök testlerini kullanarak kripto para piyasalarında etkinliğin incelendiği ve bu piyasaların etkin

olmadığı sonucuna varan bir diğer çalışma ise Hu vd., (2019) tarafından yapılmıştır. Çalışmada otuz bir farklı kripto para birimi kullanarak 16/08/2017-16/01/2019 dönemleri arası için panel birim kök testi yapılmıştır. Öncelikle kripto para birimleri arasında yatay kesit bağımlılığının varlığı test edilmiştir. Akabinde yapısal kırılma olasılığını da açıklayan ikinci nesil panel birim kök testleri uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda analize dahil edilen kripto para piyasalarının incelenen dönem aralığında etkin olmadığını açıklamışlardır. Apopo ve Phiri (2021), beş farklı kripto para birimi için diğer çalışmalardan farklı olarak geleneksel birim kök testlerinin yanı sıra KSS doğrusal olmayan birim kök testi ve Fourier birim kök testini kullanmışlardır. Ayrıca her bir kripto para birimini ayrı ayrı dönemler için incelemişlerdir. Yazarlar yaptıkları çalışma sonucunda diğer çalışmalardan farklı bir sonuç bulmuşlardır. İnceledikleri dönemler aralığında beş kripto para piyasasında zayıf formda etkin piyasa hipotezinin geçerli olduğunu ve bu piyasaların rassal yürüyüş özelliği gösterdiğini tespit etmişlerdir. Souza ve Carvalho (2023) ise geleneksel birim kök testlerine ek olarak çok değişkenli sistem için vektör otoregresif model (VAR(p)) analizini kullanmışlardır. 12/09/2019-20/08/2021 dönemleri arasında BTC ve ETH değişkenlerini kullanarak bu piyasalarda etkinliğin araştırıldığı çalışmada farklı bir yöntem denenmiş ve bu yöntemi kullanırken (VAR(P)) BTC ve ETH değişkenlerine ek olarak S&P500 hisse senedi analize dahil edilmiştir. Buradaki amaç, VAR modeli kurarak kripto para piyasalarını hisse senedi piyasası ile karşılaştırarak piyasanın etkinliğini test etmektir. Çalışmada birim kök testleri sonucuna göre kripto para piyasalarında zayıf formda etkinlik geçerlidir. Ancak VAR(p) sonucuna göre kripto para ve hisse senedi arasındaki karşılıklı ilişkilerde Granger nedensellik olduğu ve dolayısıyla bu piyasaların etkin olmadığı gözlenmiştir. Regresyon analizi ve çeşitli testler yaparak tüm altcoinleri üç farklı dönemde inceleyen Vidal-Tomas vd., (2019), çalışmanın sonucunda özellikle 2017 yılında tüm altcoinlerin etkisiz olduğunu ve piyasaya yeni altcoinlerin girmesinin etkinliği değiştirmediğini belirtmiştir. Yazarlar çalışmanın sonucuna göre kripto para birimlerinin popülaritesindeki olası bir düşme nedeniyle yakın gelecekte farklı testlerle zayıf formda etkin olma yolunda ilerleyebileceğini iddia etmişlerdir. Runs testi, Durbin-Watson's testi ve Varyans Lo-Mackinlay testini kullanarak çeşitli kripto para birimlerinin etkinliğini inceleyen Kang vd., (2021), 16/07/2018-16/07/2019 dönemlerini analize dahil etmiştir. Çalışmada zayıf formda piyasa etkinliği için rassal yürüyüş testi, yarı-güçlü formda etkinlik için ise olay çalışması yöntemini kullanmıştır. Çalışmada 893 kripto para birimi incelenmiş ve bunların %54'ü zayıf formda piyasa etkinliğini ve %24'ü ise yarı-güçlü

formda piyasa etkinliği hipotezini karşılamaktadır. Kang vd., (2021) diğer çalışmalardan farklı olarak 2017 öncesindeki büyük hacme sahip kripto para birimleri piyasasında zayıf ve yarı-gcl formda etkinliğin daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Mahalwala (2022), BTC, ETH ve Tether kripto para birimlerinin etkinliği için 01/01/2018-31/12/2021 dönemleri arasını analize dahil etmiştir. Çalışmada hem regresyon, varyans oran testleri hem de birim kök testleri kullanılmıştır. Yazar çalışmanın sonucunda kripto para fiyatlarının öngörülebilir olduğunu, normal üstü getiri sağlama fırsatı olduğunu ve bundan dolayı piyasada zayıf formda etkinliğin ve rassal yürüyüş hipotezinin geçerli olmadığını tespit etmiştir. Yine aynı testlerin kullanılarak kripto para piyasalarının etkinliğinin incelendiği son çalışma ise, Açıkalın ve Sakınç (2021) dir. Çalışmada yedi kripto para birimi incelenmiş ve Mahalwala (2022) alışmasına benzer sonuçlar bulunmuştur. Çalışmada incelenen yedi farklı kripto para biriminin etkin olmadığı ve rassal yürüyüş özelliği göstermediği tespit edilmiştir.

Kripto para piyasalarında etkinliğin incelenmesi aşamasında geleneksel yöntemlere ek olarak farklı yöntemlerin kullanıldığı çalışma olan Al-Yahyaee vd., (2018), 18/07/2010-31/10/2017 dönemleri arası için MF-DFA yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada BTC piyasasının etkinliğini altın, hisse senedi ve döviz piyasaları ile kıyaslayarak değerlendirmişlerdir. MF-DFA yaklaşımı ile BTC piyasasının uzun bellek özelliğine sahip olduğunu ve çok yönlülüğünün gcl olduğunu test etmişlerdir. Bu nedenle BTC'nin altın, hisse senedi ve döviz piyasalarına göre daha etkisiz olduğu kanaatine varmışlardır. Al-Yahyaee vd., (2020) alışmasında ise altı farklı kripto para birimi için MF-DFA ve Kantil regresyon analizleri kullanılmıştır. Çalışmada 2015-2018 arası dönemler incelenmiştir ve yine kripto para birimlerinin uzun hafıza özelliği gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır. Ancak bu çalışmada kripto para birimlerinin etkinliğinin zamana göre değişeceğini, likiditenin yükselmesinin piyasa etkinliğini artıracadığını ancak volatilitenin yükselmesinin piyasa etkinliği azaltacadığını savunmuşlardır. Uzun dönem hafıza özelliği yöntemi olan R/S Hurst ve Kesirli Entegrasyon analizlerini kullanarak dört farklı kripto para birimlerinin etkinliğini inceleyen Caporale vd., (2018), 2013-2017 dönemleri arasını incelemiştir. Çalışmanın sonucunda kripto para piyasasının süreklilik gösterdiğini yani geçmiş ve gelecekteki değerleri arasında pozitif ilişki olduğunu, dereceleri açısından zaman içerisinde farklılık gösterdiğini ve bundan dolayı kripto para piyasasının etkin olmadığını belirtmişlerdir.

Parametrik ve non-parametrik rassal yürüyüş testleri kullanarak kripto para piyasalarının etkinliğini inceleyen Palamalia vd., (2020), on farklı kripto para birimini

analize dahil etmiş ve her bir kripto para birimini farklı dönemler arasında incelemiştir. Çalışmada kullanılan parametrik ve non-parametrik testler bilinmeyen yapısal kırılmalara ve asimetric etkilere karşı dayanıklıdır. Yapılan analiz sonucunda kripto para piyasalarında rassal yürüyüş özelliği olmadığı ve günlük kripto para getirileri için zayıf formda etkinliğin geçerli olmadığı gözlenmiştir. Bu durumun asimetric volatilitite kümelenmelerine bağlanabileceği belirtilmiştir. Tran ve Leirvik (2020) ise 2013-2019 dönemleri arasında günlük verileri kullanarak, 2019 yılında geliştirmiş oldukları Düzeltmiş Piyasa Etkinsizliği Büyüklüğü (AMIM) testi ile kripto para piyasasında etkinliği incelemiştir. Analiz sonucuna göre 2017 yılından önce bu piyasalarda etkinlik geçerli değildir ancak 2017-2019 yılları arasında bu piyasalar etkin olmaya başlamıştır. Yani literatürdeki bazı çalışmalar gibi bu çalışmada da kripto para piyasalarında zamanla etkinliğin sağlanabileceği sonucuna varılmıştır. Bu çalışmalara ek olarak Türk yazarların farklı yöntemlerle yapmış oldukları çalışmalardan olan Erdoğan (2018), çalışmasında etkinlik endeksi (EI) ve sermaye piyasası etkinlik üssü endeksi (CMEE) yöntemlerini kullanmıştır. Çalışmasında dört farklı kripto para biriminin etkinliğini incelemiştir. EI endeks yöntemi sonucuna göre, Ripple zayıf formda etkin iken BTC, ETH ve Bitcoin Cash güçlü formda etkindir. CMEE endeks yöntemi sonucuna göre ise dört kripto para birimi de yarı-güçlü formda etkindir. Yağmur ve Mangır (2020), 2015-2019 dönemleri arasında günlük veriler ile BTC'nin etkinliğini test etmişlerdir. BTC'nin etkinliğini test etmek için kullanılan yöntem ise Supremum ADF (SADF) dir. Çalışmada, BTC fiyatlarında ortaya fiyat balonlarının söz konusu olduğu ve dolayısıyla rassal yürüyüş hipotezinin geçerli olduğu sonucuna varmışlardır. Yani yapılan analiz sonucunda bu dönemler arasında BTC piyasasında zayıf formda etkinliğin geçerli olduğu söylenebilmektedir. Bu çalışmada literatürde gösterilen son çalışma olan Yılmaz ve Akkaya (2020), 2013-2020 dönemleri için BTC ve LTC piyasasında etkinliği, ARMA ve Kruskal Wallis H testi ile incelemiştir. Çalışmada kripto para piyasalarında haftanın günü etkisinin varlığına rastlanmadığı ve bu piyasalarda etkin piyasa hipotezinin geçerli olduğu sonucuna varılmıştır.

Literatür çalışmalarına detaylı olarak değindiğimizde, geçmişten günümüze yapılan çalışmalarda aslında kripto paraların piyasaya girdiği ilk zamanlarda bu piyasalarda etkinliğin söz konusu olmadığı ancak zamanla kripto paraların popülaritesi arttıkça ve fiyat düzeyleri yükseldikçe bu piyasaların etkin hale geldiği gözlenmektedir. Ayrıca kripto paraların etkinliği konusu yapılan yöntemlere göre de değişiklik göstermektedir. Literatürde özellikle geleneksel birim kök testleri ile doğrusal olmayan

birim kök testlerinin, kripto paraların etkinliği konusunda farklı sonuçlar doğurduğu gözlenmektedir. Bu bilgilerden yola çıkarak bu çalışmada, hem piyasa hacmi hem de ilk çıkan kripto para birimi olmaları nedeniyle BTC, ETH ve LTC piyasalarının etkinliği geleneksel ve doğrusal olmayan birim kök testleri ile araştırılmıştır. Çalışmanın uzun vadeli bir dönem aralığını baz alması ve literatürde kripto para etkinliği için kullanılmamış yeni doğrusal olmayan birim kök testlerinin bu çalışmada kullanılmasının, çalışmanın sonucunda kripto paraların etkinliği konusunda daha doğru kararlar verileceğini sağlaması açısından literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu çalışmanın, portföy yöneticilerine ve piyasa aktörlerine önemli bilgiler sağlayacağı öngörülmektedir.

#### **1.4. Ekonometrik Yöntem**

##### **1.4.1. Metodoloji**

Fama (1970) çalışmasından sonra finans literatüründe tam olarak yerini alan ve araştırmacılar tarafından ilgi uyandıran EPH kavramı, menkul kıymet fiyatlarının mevcut tüm bilgiyi piyasaya yansıtması gerektiğini ve yatırımcıların normal üstü kar elde etmemeleri gerektiğini savunmaktadır. Bir piyasanın etkin olması yatırımcıların, yatırım kararlarını etkileme açısından en önemli unsurdur. Dolayısıyla menkul kıymet piyasalarının etkinliğinin test edilmesi literatürde önem arz etmektedir.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte paranın dijitalleşmesinde geline son nokta olan kripto para piyasalarının zamanla popüleritesinin artması, fiyat seviyelerinin yükselmesi ve bu paralara yeni bir varlık gözüyle bakılması, kripto para borsalarının oluşmasına neden olmuştur. Kripto paraların yeni bir varlık olarak nitelendirilmesi yatırımcıların ilgisini çekmiş ve bu piyasaların etkinliği üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır.

Bu bilgiler çerçevesinde çalışmada kripto para piyasasında, piyasaya ilk çıkan ve işlem hacmi olarak büyük olan üç kripto para biriminin zayıf formda etkinliğinin ve fiyatların rassal yürüyüş özelliğinin test edilmesi amaçlanmıştır. EPH'nin test edilmesi için literatürde çok sayıda farklı yöntemler kullanılmıştır. Ancak bu alanda kullanılan en yaygın yöntemler; birim kök testleri, varyans oran testi, regresyon analizi ve run testidir. Zaman serileri için de önemli olan birim kök testleri, piyasa etkinliğini test etmek için de önemli bir analizdir. Ayrıca fiyatların rassal yürüyüş özelliğinin test edilmesinde de varyans oran testi önemlidir. Bir piyasanın etkin olduğunu söyleyebilmek için o piyasanın geçmiş fiyat bilgisinden yola çıkarak teknik analizin yapılması mümkün olmamalıdır. Bu piyasalarda fiyat hareketleri rassal yürüyüş özelliği gösterir. Elde



edilen bu bilgilerden yola çıkarak çalışmada, 02/01/2017-29/10/2021 dönemleri arasında beş günlük veriler kullanılarak, kripto para piyasaları için etkinliğin test edilmesinde geleneksel birim kök testleri, doğrusal olmayan birim kök testleri ve otoregresif birim köklü GARCH modeli ile parametrelerin birlikte tahmin edildiği GARCH birim kök testleri kullanılmıştır. Kripto para fiyatlarının rassallığının analizi ise varyans oran testi ile yapılmıştır. Bu analizler sonucunda, kripto para piyasalarının durağanlığı, etkinlik derecesi ve fiyatların rassal hareket edip etmediği hakkında bilgi sahibi olunacaktır.

Çalışmada doğrusal birim kök testleri kapsamında Genişletilmiş Dickey Fuller (ADF)-Phillips Peron (PP) ve Zivot-Andrews testleri kullanılmıştır. Doğrusal olmayan birim kök testleri kapsamında ise duruma bağlı, zamana bağlı ve duruma ve zamana (Hibrit) bağlı birim kök testleri kullanılmıştır. Duruma bağlı doğrusal olmayan birim kök testleri; Enders ve Granger (1998), KSS(2003), Sollis (2009), zamana bağlı doğrusal olmayan birim kök testleri; LNV (1999), SOR (2018), CEO (2017) ve hem zamana hem duruma bağlı doğrusal olmayan birim kök testleri ise OY (2018) LNV-KSS, OHEb (2018) Fourier-AESTAR ve OSHa (2020) ESTR-KSS testleridir.

Literatürde en yaygın kullanılan doğrusal birim kök testlerinden ADF (1979) testi, DF testinin genişletilmiş halidir. DF testi, serilerde otokorelasyon olmadığını varsaymaktadır. Ancak bu durumun her zaman geçerli olmayabileceği ve serilerin otokorelasyonlu olması durumunda birim kök testinin yanlış sonuçlar verebileceği düşünülmüştür. Bu düşünceden yola çıkarak ADF testi geliştirilmiş ve otokorelasyon sorununu ortadan kaldırmak için bağımlı değişkenin gecikmeli değerleri modele eklenmiştir. Bağımlı değişkenin gecikmeli değerlerinin modele eklenmesi ise serbestlik derecesinin azalması gibi soruna neden olmaktadır. Dolayısıyla bu sorundan yola çıkarak PP (1988), parametrik olmayan bir yöntem geliştirerek bu durumu düzeltmeyi amaçlamışlardır. PP testi, bu parametrik olmayan yöntem ile hata terimlerinin heterojenliğine ve zayıf bağımlılığına izin veren daha esnek yapıya sahip bir birim kök testi önermiştir. ADF ve PP testleri serilerin durağanlığını sınarken bu serilerde yapısal değişikliklerin olup olmadığını hesaba katmamaktadır. Ancak iktisadi zaman serilerinde, serilerin birim köklü olması iktisadi olaylarda bir değişiklik yaşandığını gösterebilmektedir. Bu değişiklikler serilerde yapısal kırılmalara neden olabilmektedir. Bu düşünceden yola çıkarak tek ve içsel yapısal kırılmalı birim kök testi olan ZA (1992) testi geliştirilmiştir. Bu bilgiler çerçevesinde çalışmada, doğrusal birim kök testlerinden bu üç test analize dahil edilmiştir.

İktisadi zaman serilerinin zamanla aldıkları değerler doğrultusunda oluşan eğimleri, serilerin doğrusal olmayan bir yapıya sahip olmalarına neden olabilmektedir. Bu durumda seriler doğrusalmış gibi hareket edip analize sadece doğrusal birim kök testleri ile devam edilmesi, seriler hakkında yanlış sonuçlar elde etmemize neden olabilir. Bundan dolayı serilerin doğrusal olmayan bir yapıya sahip olabilecekleri düşüncesiyle çalışmada doğrusal olmayan birim kök testlerinin de yapılması daha doğru sonuçlar elde etmemizi sağlayabilir. Finansal serilerin spekülatif yapıya sahip olması bu serilerin doğrusal olmayan yapıya sahip olabileceği düşüncesinden hareketle çalışmada doğrusal olmayan birim kök testleri de kullanılmıştır. EG (1998) doğrusal olmayan birim kök testi, serilerde asimetric düzeltmelerin olduğunu ve doğrusal birim kök testlerinin, asimetric düzeltme sürecinde durağanlığı test etmede başarılı olamayacaklarını belirtmişlerdir. Bu durumdan yola çıkarak asimetric düzeltme ile durağanlığı test etmeyi amaçladıkları yeni bir doğrusal olmayan birim kök testi geliştirmişlerdir. Ayrıca bu testte rejimler arası geçişin sert olduğu varsayılmaktadır. LNV (1998) doğrusal olmayan birim kök testi ise, EG(1998) testini baz almış ancak rejimler arası geçişin yumuşak olabileceğini varsaymışlardır. Dolayısıyla LNV(1998) çalışmasında serilerin kademeli değişim gösterdiği görüşü hakimdir ve rejimler arası yumuşak geçişler incelenmiştir. KSS(2003) doğrusal olmayan birim kök testi, geleneksel ADF testlerinin, doğrusal yapıya sahip olmayan seriler için yanlış sonuçlar verebileceği düşüncesinden hareket etmiştir. KSS(2003) çalışmasında, ADF testini baz almış ve bu testi genişleterek geçiş fonksiyonunun üstel bir forma sahip olduğunu belirtmiştir. Bu çerçevede alternatif hipotez, üstel yumuşak geçişli otoregresif süreç (ESTAR) ile test edilmiştir. KSS(2003) bu ESTAR sürecin simetrik olduğunu varsaymaktadır. Sollis (2009) ise bu sürecin simetrik olmasından dolayı ortalamaya dönüş esnasında pozitif veya negatif dönüş etkilerinin ayırt edilemediğini ve bundan dolayı ESTAR sürecinin hem simetrik hem de asimetric olarak test edilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Bu çerçevede Sollis(2009) çalışmasında ESTAR modelini genişletmiş ve genişletilmiş ESTAR (AESTAR) modelinde hem üstel hem de lojistik fonksiyonu birlikte kullanmıştır.

Zamana bağlı doğrusal olmayan birim kök testlerinden olan Shahbaz vd., (2018) çalışmasında, literatürde yer alan diğer birim kök testlerinin genellikle serilerin doğrusal olmama durumlarını ve serilerde meydana gelen hem keskin hem de yumuşak yapısal kırılmaların aynı anda birlikte dikkate alınmadığını belirtmişlerdir. Bu durumun tek bir birim kök testinde incelenmesinin daha net sonuçlar verebileceği düşüncesinden

hareketle Shahbaz vd., (2018), serilerde meydana gelen keskin ve yumuşak yapısal kırılmalar ile serilerin doğrusal olmama durumlarının tek bir birim kök altında incelendiği yeni biri birim kök testi geliştirmişlerdir. Birim kök testlerinde serilerdeki yapısal kırılmalar dikkate alınırken bu yapısal kırılmaların kalıcı kırılmalar olduğu varsayılmaktadır. Ayrıca bu yapısal kırılmalar incelenirken literatürde genellikle Fourier fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu çerçevede Çorakcı vd., (2017), bu duruma farklı bir bakış açısı getirerek kırılmaların geçici olabileceğini ve bu geçici yapısal kırılmaların Fourier fonksiyonu yerine üstel yumuşak geçiş (EST) fonksiyonu ile test edilmesinin daha doğru sonuçlar verebileceğini tespit etmişlerdir. Dolayısıyla çalışmalarında geçici yapısal kırılmaları dikkate alarak üstel yumuşak geçiş (EST) fonksiyonunu kullanarak serilerin birim kök sınavasını yapmışlardır.

Hibrit doğrusal olmayan birim kök testlerinden OY(2018), KSS testini genişletmiş ve LNV ile KSS testlerini birlikte kullanarak yeni bir doğrusal olmayan birim kök testi geliştirmişlerdir. OY(2018) çalışmasında, LNV testinin varsaydığı gibi rejimler arası geçişin yumuşak olabileceği düşüncesiyle yumuşak yapısal kırılmaların dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir. Dolayısıyla çalışmalarında alternatif hipotezi test etmek için, yumuşak yapısal kırılmaların olduğu ve doğrusal olmayan parametrenin kullanıldığı bir model geliştirilmiştir. Hibrit doğrusal olmayan birim kök testlerinden olan son iki test ise OEH (2018) ve OSH (2020) testleridir. Bu iki test, diğer birim kök testlerinden farklı olarak modelde çoklu kademeli yapısal kırılmaları dikkate alarak dengeye doğru doğrusal olmayan ayarlamalara izin veren asimetric doğrusal olmayan birim kök testini içermektedir. OEH (2018), çoklu kalıcı yapısal kırılmaları dikkate alarak dengeye doğru doğrusal olmama durumunu asimetric modelle incelerken OSH (2020), geçici çoklu yapısal kırılmaları dikkate alarak dengeye doğru doğrusal olmama durumunu asimetric modelle test etmişlerdir. Her iki birim kök testi de AESTAR model çerçevesinde Fourier fonksiyonu kullanılarak serilerin durağanlığı test edilmiştir. GARCH birim kök testi ise serilerdeki GARCH etkisinin göz ardı edilerek birim kök testi uygulanmasının yanlış sonuçlar vereceği düşüncesiyle otoregresif birim kök içeren GARCH modeli ile parametrelerin birlikte tahmin edildiği farklı bir yaklaşımdır.

Son olarak kripto para piyasalarının rassal yürüyüş özelliği gösterip göstermediği varyans oran testi ile incelenmiştir. Bu test piyasaların rassallığı hakkında önemli bilgi vermektedir. Kripto para piyasasında etkinliğin test edilmesinde kullanılan tüm testlere ilişkin teknik açıklamalar aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmaktadır.

### 1.4.1.1. Doğrusal Birim Kök Testleri

Birim kök testleri, serilerin durağanlığı ve birim kökü hakkında bilgi vermektedir. Literatürde çoğu çalışma serilerin öncelikle birim kök testlerinin yapılması gerektiğini belirtmektedir. Çünkü zaman serileri genellikle hem cari hem de nominal olarak zamanla değişip olgunlaşmakta ve bundan dolayı durağan olmayan yapıya sahip olabilmektedir. Analizin doğru sonuçlar verebilmesi açısından öncelikle serilerin durağanlıklarının test edilmesi gerekmektedir. Birim kök testleri sonucunda seriler birim kök içeriyorsa kripto para piyasasında zayıf formda etkinlik geçerlidir. Ancak seriler durağan ise bu durumda bu piyasada zayıf formda etkinlik söz konusu değildir.

#### 1.4.1.1.1. Genişletilmiş Dickey Fuller (ADF) Testi

ADF testi, zaman serileri analizlerinde durağanlığı test etmek açısından önemli bir testtir ve durağanlığı birim kökün varlığı üzerinden açıklamaktadır. İlk olarak Fuller (1976) tarafından ileri sürülen ADF testi, sonraları Dickey ve Fuller (1979) tarafından geliştirilmiştir. Birim kökün varlığını inceleyen Dickey - Fuller (1979) testi, sistematik ve otoregresif bir model içermektedir. Dickey ve Fuller (1979) bu sistematik ve otoregresif modeli 3 model şeklinde incelemiştir. Bu modeller yalın, sabit ve trend şeklindedir. Aşağıda sırasıyla yalın, sabit ve trend içeren model (I, II, III) detaylıca açıklanacaktır.

Model I:

$$Y_t = \phi Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1.5)$$

Denklem 1.5'de gösterilen  $Y_t$ ; bağımlı değişkenin t zamandaki değeri,  $Y_{t-1}$ ; bağımlı değişkenin t-1 zamandaki değeri,  $\varepsilon_t$ ; ortalaması sıfır ve varyansı değişmeyen hata terimi,  $\phi$ ; parametre katsayısını ifade etmektedir.

Model II:

$$Y_t = \beta_0 + \phi Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1.6)$$

1.6 numaralı denklem sadece sabit terim içermektedir.

Model II:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_{1t} + \phi Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1.7)$$

Denklem 1.7, hem sabit terim hem de trend içermektedir. Yani bu modelde deterministik trend ve stokastik bir yapı bulunmaktadır.

Dickey-Fuller (1979) testinin öne sürdüğü modellerde karşılaşılan bazı sorunlar vardır. Bu sorunlardan ilki, model belirlenirken serbestlik derecesi ve otokorelasyon değerleri küçük alınmaktadır. İkinci sorun ise zaman serisinin birden fazla köke sahip olması halinde istatistiksel sorunlara neden olmasıdır. Ayrıca Dickey-Fuller (1979) testi

hata terimlerinin normal dağıldığı, varyansın sabit olduğu ve aralarında otokorelasyon olmadığı varsayımı üzerine kurulmuştur. Ancak, bu varsayımlar her zaman geçerli olmayabilir. Bundan dolayı analizde çıkabilecek hataların önüne geçmek için bağımlı değişkenin gecikmeli değeri modele eklenerek yeni bir test geliştirmişlerdir. Bu testin adı ise Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) testidir ve bu test otokorelasyon sorununu ortadan kaldırmak için bağımlı değişkenin gecikmeli değeri modele eklenmiştir. ADF testinin yalın, sabit ve sabit-trend modelleri sırasıyla model (I-II-II) şeklinde aşağıda gösterilmektedir.

$$\text{Model I: } \Delta y_t = \rho y_{t-1} + \sum_{m=1}^n \Delta y_{t-m} + v_t \quad (1.8)$$

$$\text{Model II: } \Delta y_t = \beta_0 + \rho y_{t-1} + \sum_{m=1}^n \Delta y_{t-m} + v_t \quad (1.9)$$

$$\text{Model III: } \Delta y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \rho y_{t-1} + \sum_{m=1}^n \Delta y_{t-m} + v_t \quad (1.10)$$

Modellerin hipotezleri şu şekildedir:

$H_0: \rho=1$  (değişkenler birim köklü)

$H_1: \rho < 1$  (değişkenler durağan)

Boş hipotezin reddedilemediği durumda seriler birim köklüdür yani, serideki şokların etkisi devam etmektedir. Boş hipotezin reddedilmesi durumu ise serilerin durağan olduğunu ve serideki beklenmedik şokların zamanla etkisini yitirdiğini ifade etmektedir.

#### 1.4.1.1.2. *Phillips-Perron (PP) Testi*

ADF testi hata terimlerinin normal dağıldığı, varyansın sabit olduğu ve otokorelasyon olmadığı varsayımına dayanmaktadır. Otokorelasyon sorununu ortadan kaldırmak için ADF testinde modele bağımlı değişkenin gecikmeli değeri eklenmiştir. Bu durum ise serbestlik derecesinde azalmaya neden olmaktadır. Bu çerçevede Phillips-Perron (1988) parametrik olmayan birim kök testini önermiştir. PP birim kök testi ile parametrik olmayan yöntemle birlikte hata terimlerinin heterojen bir yapıya sahip olduğu ve zayıf bağımlılık ilişkisi olduğu daha esnek bir birim kök testinin yapılması amaçlanmıştır (Phillips ve Perron, 1988:335).

PP testinin denklemi aşağıdaki gibidir (Phillips ve Perron:338).

$$y_t = \gamma + \Phi y_{t-1} + u_t \quad (1.11)$$

$$y_t = \gamma + \Phi y_{t-1} + \alpha \left( T - \frac{t}{2} \right) + u_t \quad (1.12)$$

Denklem 1.11 ve 1.12 sırasıyla sabit terim ve sabit-trend terimi içeren modellerdir. PP testinin hipotezleri de ADF testi ile aynıdır. Serilerin birim köklü

olduğunu ifade eden boş hipoteze karşın, serilerin durağan olduğunu ifade eden alternatif hipotez test edilmektedir.

#### 1.4.1.1.3. Zivot-Andrews (ZA) Yapısal Kırılmalı Birim Kök Testi

Değişkenlerin durağanlığının sınındığı birim kök testleri sonucunda serilerin birim köklü olması iktisadi olaylarda bir değişiklik yaşandığını ve serilerde yapısal bir değişim olduğunu gösterebilmektedir. Bundan dolayı yapısal kırılmaları dikkate alan birim kök testlerinin yapılmasının daha doğru sonuçlar verebileceği düşünülmektedir. Yapısal kırılmalı birim kök testleri kırılma sayısına ve kırılmaların içsel/dışsal olmasına göre sınırlandırılabilir. Literatürde kırılmanın dışsal olarak kabul edildiği çalışmalara karşın kırılmanın tek ve içsel olarak tahmin edildiği bir yapısal birim kök testi, Zivot – Andrews (1992) tarafından geliştirilmiştir. ZA (1992) birim kök test düzeyde tek kırılma, trendde tek kırılma ve hem düzeyde hem de trendde tek kırılma olmak üzere üç model şeklinde kurulmuştur. Bu modeller aşağıdaki gibidir (Zivot-Andrews, 1992:253):  
Model I:

$$y_t = \delta + \theta DU_t(\phi) + \beta t + \alpha y_{t-1} + \sum_{k=1}^l c_k \Delta Y_{t-k} + v_t \quad (1.13)$$

Model II:

$$y_t = \delta + \beta t + \mu DT_t^*(\phi) + \alpha y_{t-1} + \sum_{k=1}^l c_k \Delta Y_{t-k} + v_t \quad (1.14)$$

Model III:

$$y_t = \delta + \theta DU_t(\phi) + \beta t + \mu DT_t^*(\phi) + \alpha y_{t-1} + \sum_{k=1}^l c_k \Delta Y_{t-k} + v_t \quad (1.15)$$

Model I'deki gölge değişken  $DU_t(\phi)$ , eğer  $t > T\phi$  ise 1'e eşittir.  $t < T\phi$  olduğunda ise  $DU_t(\phi)=0$  dır. Model II'deki gölge değişken  $DT_t^*(\phi)$ , eğer  $t > T\phi$  ise  $t-T\phi$ 'ya eşittir.  $t < T\phi$  olduğunda ise  $DT_t^*(\phi)=0$  dır. ZA yapısal kırılmalı birim kök testi sonucunda çıkan t istatistik değeri ZA kritik değerinden büyükse boş hipotez reddedilemez ve serilerin birim köklü olduğu kabul edilir. Eğer t istatistik değeri ZA kritik değerden küçükse bu durumda boş hipotez reddedilir ve yapısal kırılma altında seriler durağan olarak kabul edilir.

#### 1.4.1.2. Doğrusal Olmayan Birim Kök Testleri

İktisadi zaman serilerinin zaman içerisinde aldıkları değerler sonucunda oluşan eğimleri, serilerin doğrusal olmayan bir yapıya sahip olmalarına neden olabilmektedir. Finansal piyasaların spekülatif hareketlere açık olması, bu piyasalarda işlem yapan yatırımcıların beklentilerinin ve bilgi düzeylerinin farklı olması, yatırımcıların karar alma süreçlerini farklı yönde etkilemektedir. Bundan dolayı ortaya doğrusal olmayan bir yapı çıkabilmektedir.

Doğrusal analizler veri setindeki tüm yapıyı yorumlar. Yani sistemin içsel dinamikleri doğrusal paradigmlar tarafından yönetilmektedir. Sistemin düzensiz tüm hareketleri dışarıdan gelen bazı rassal girdilerle ilişkilendirilir. Doğrusal olmayan analizler ise zamandan bağımsız ve tam olarak kendi içinde karar verecek olan düzensiz bir bilgi setini ortaya çıkarır (Kantz ve Schreiber, 2004:3). Bu bilgiler doğrultusunda çalışmada doğrusal olmayan yapıya sahip seriler için doğrusal birim kök testlerinin yapılmasının yanlış sonuçlar verebileceği düşüncesinden hareketle doğrusal olmayan birim kök testleri de yapılmıştır. Doğrusal olmayan birim kök testlerinden duruma bağlı, zamana bağlı ve hem duruma hem de zamana bağlı (Hibrid) birim kök testleri çalışmaya dahil edilmiştir.

#### 1.4.1.2.1. Duruma Bağlı Doğrusal Olmayan Birim Kök Testleri

##### 1.4.1.2.1.1. *Enders ve Granger (1998) Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi*

Enders ve Granger (1998) çalışmasında, serilerin birim köklü olduğunu ifade eden boş hipotezine karşı asimetric düzenleme ile durağanlığı ifade eden alternatif hipotezi test etmişlerdir. Çünkü diğer birim kök testlerinin, asimetric düzeltme sürecinde serilerin durağanlığının sınanmasında başarılı olamayacağını düşünmüşlerdir. Enders ve Granger (1998), DF birim kök testlerini baz alarak, eşik değerli (TAR) ve momentum eşik değerli otoregresif (MTAR) model yapıları altında asimetric düzeltmeleri sağlamak amacıyla yeni bir doğrusal olmayan birim kök testi geliştirmişlerdir. Geliştirilen yeni birim kök testinin test istatistiği için alternatif hipotezin asimetric düzeltmeleri dikkate alınarak kritik değerler geliştirilmiştir. Enders ve Granger (1998) testinin modelleri çoklu eşik yapıya sahip olduğundan DF testinden daha güçlü olduğu ifade edilmiştir (Enders ve Granger, 1998:304).

Geleneksel DF birim kök testi aşağıdaki gibidir (Enders ve Granger (1998)):

$$\Delta y_t = \rho y_{t-1} + v_t \quad (1.16)$$

Denklem 1.16'da durağanlığı test etmek için amaçlanan  $-2 < \rho < 0$  koşulu altında uygun kritik değerlerin kullanılmasıdır. Düzeltmenin asimetric olması varsayımı altında TAR modelinin yapısı aşağıdaki gibidir:

$$\Delta y_t = \begin{cases} \rho_1 y_{t-1} + v_t & \text{eğer } y_{t-1} \geq 0, \\ \rho_2 y_{t-1} + v_t & \text{eğer } y_{t-1} < 0 \end{cases} \quad (1.17)$$

Denklem 1.17'de  $y_t$  nin durağanlık koşulu  $-2 < \rho_1, \rho_2 < 0$  için genişletilebilir. Eğer seri durağan ise Tong (1983),  $\rho_1, \rho_2$  'nin En Küçük Kareler tahminlerinin asimptotik çok değişkenli normal dağılıma sahip olduğunu öne sürmüştür. Bu sonuç, yüksek

mertebeden otoregresif süreçlere kolaylıkla genelleştirilebilir. Tong (1990)'da TAR modelinin birçok özelliğini geliştirmiştir. Basit bir TAR modeli;

$$\Delta y_t = I_t \rho_1 y_{t-1} + (1 - I_t) \rho_2 y_{t-1} + v_t \text{ şeklindedir.} \quad (1.18)$$

Burada  $I_t$ , Heaviside<sup>1</sup> gösterge fonksiyonudur. Heaviside fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$I_t = \begin{cases} 1 & \text{eğer } y_{t-1} \geq 0 \\ 0 & \text{eğer } y_{t-1} < 0 \end{cases} \quad (1.19)$$

Eğer model, serinin yapısına yakınsıyor ise,  $y_t=0$  uzun dönem dengesini belirtmektedir.  $y_{t-1}$  uzun dönem dengesinin üstüne çıkarsa, bu durumda düzeltme  $\rho_1 y_{t-1}$ ,  $y_{t-1}$  uzun dönem dengesinin altına inerse ise, düzeltme  $\rho_2 y_{t-1}$  olur. Bu durum  $y_{t-1}$ 'in uzun dönem dengesinin altında veya üstünde olması ile düzeltmenin asimetrik olma şeklini ifade etmektedir. TAR modelinde bu durum "derin" hareket olarak açıklanmaktadır. Koşulu ise;  $-1 < \rho_1 < \rho_2 < 0$  dır. Böyle bir durumda uzun dönem dengesinin negatif rejimi pozitif rejimden daha kalıcı olmaktadır.

Modelin MTAR hali ise, Heaviside fonksiyonunu serinin yönelimi yerine serinin yönelim hızını dikkate alır. MTAR modeli altında asimetri ile beraber dengeye yönelim hızı da momentum olarak dikkate alınmaktadır. MTAR modeli aşağıdaki gibidir.

$$\Delta y_t = I_t \rho_1 y_{t-1} + (1 - I_t) \rho_2 y_{t-1} + v_t \quad (1.20)$$

$$I_t = \begin{cases} 1 & \text{eğer } \Delta y_{t-1} \geq 0 \\ 0 & \text{eğer } \Delta y_{t-1} < 0 \end{cases} \quad (1.21)$$

Eğer  $|\rho_1| < |\rho_2|$  ise MTAR modeli  $\Delta y_{t-1} \geq 0$  için çok az bir azalma gösterirken  $\Delta y_{t-1} < 0$  için önemli bir azalma göstermektedir. Bu durum, artışların devam etme eğiliminde olduğu, ancak düşüşlerin model çekicisine doğru hızla geri dönme eğiliminde olduğu anlamına gelmektedir. Bu nedenle momentum modeli, Sichel'in (1993) "keskinlik" kavramını temsil etmek için kullanılabilir.

Modelin hipotezleri;

$H_0: \rho_1 = \rho_2 = 0$  (seri birim kök içerir)

$H_1: \rho_1 \neq \rho_2 \neq 0$  (asimetrik düzenleme ile seri durağandır) şeklindedir.

Burada boş hipotezin reddedilmesi çok değişkenli durumda serinin asimetrik ve simetrik düzeltmesinin yapılabileceğini ifade etmektedir. Hipotezlerin sınaması F-istatistiği ile yapılmaktadır. F istatistiğinin değeri kritik değerden küçük ise serinin birim kök içerdiği, F istatistiği kritik değerden büyük ise serinin durağan olduğu sonucuna ulaşılır.

<sup>1</sup> Heaviside, belirlenen değere kadar aldığı değerler 0 olan, belirlenen değere ulaştığında ve aynı boyut üzerinde devam ederken değeri 1 olan gösterge fonksiyonudur.



#### 1.4.1.2.1.2. *Kapetonies vd., (2003) Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi*

Kapetanios, Shin ve Snell (KSS) tarafından geliştirilen ve KSS(2003) şeklinde tanımlanan ve doğrusal olmayan zaman serilerinin durağanlığını sınavan doğrusal olmayan bir birim kök testidir. KSS(2003), STAR tipi birim kök testidir. Doğrusal olmayan seriler için Genişletilmiş Dickey Fuller gibi geleneksel birim kök testlerinin yapılması, serilerin durağanlığı konusunda yanlış bilgiler verebilmektedir. Bu düşünceden hareketle KSS(2003), ADF tipi birim kök testini geliştirmiş ve geçiş fonksiyonunun üstel bir forma sahip olduğu yeni birim kök testi geliştirmişlerdir. KSS(2003) doğrusal olmayan birim kök testi, serilerin birim köklü olduğu boş hipotezine karşı, doğrusal olmayan ancak durağan üstel yumuşak geçişli otoregresif süreci (ESTAR) ifade eden alternatif hipotezi test etmektedir (Kapetanion vd.,2003:361-364). KSS(2003) tarafından geliştirilen doğrusal olmayan birim kök testinin ESTAR modeli aşağıdaki gibidir:

$$\Delta z_t = \alpha z_{t-d} + \Phi z_{t-d} [1 - \exp(-\theta z_{t-d}^2)] + \varepsilon_t \quad (1.22)$$

Denklem 1.22'de  $\alpha = \beta - 1$  dir.  $\theta$ , geçiş parametresidir ve iki rejim arasındaki geçişin hızını belirleyen parametre olarak adlandırılır.  $\theta$ 'nın pozitif olması ortalamaya dönme hızını etkilediğini göstermektedir. 1.22 numaralı denklemdeki ESTAR modeli  $\alpha = 0$  ve  $d = 1$  kısıtı altında yeniden yazılır.

$$\Delta z_t = \Phi z_{t-1} [1 - \exp(-\theta z_{t-1}^2)] + \varepsilon_t \quad (1.23)$$

Denklem 1.23'de belirtilen model için ADF testi ile durağanlığı sınamak yanlış sonuçlar verebilir. Dolayısıyla KSS(2003)'ün geliştirdiği yeni birim kök testi ile  $\theta$  parametresine odaklanılmıştır. Bu testin hipotezleri aşağıdaki gibidir:

$$H_0: \theta = 0$$

$$H_1: \theta > 0$$

Burada  $\Phi$  parametresi boş hipotez altında tanımlanamadığından dolayı boş hipotezi doğrudan test etmek mümkün değildir. Bu sorunu çözebilmek için Lukkonen vd.,(1988) çalışması ESTAR modeline 1.dereceden Taylor yaklaşımı uygulamışlardır. Bunun sonucunda elde edilen yardımcı regresyon;

$$\Delta z_t = \delta z_{t-1}^3 + \varepsilon_t \text{ şeklinde elde edilir.} \quad (1.24)$$

Denklemin hipotezleri ise;

$$H_0: \delta = 0$$

$$H_A: \delta < 0$$

şeklindedir.  $t$  istatistiğinin KSS(2003) kritik değerlerinden küçük olması durumunda boş hipotez reddedilememektedir. Dolayısıyla serilerin birim köklü olduğu sonucuna

ulaşılmaktadır. Tersine durumda yani t istatistiği KSS(2003) kritik değerlerinden büyük ise boş hipotez reddedilir ve böylece ESTAR durağanlık hipotezi geçerli olmaktadır. Modelde otokorelasyon sorunu olmaması için  $\Delta z_t$  nin gecikmeli değerleri denklemin sağ tarafına bağımsız değişken olarak eklenir. Bu durumda oluşan yeni denklem aşağıdaki gibidir:

$$\Delta z_t = \delta z_{t-1}^3 + \sum_{k=1}^m \rho_k \Delta z_{t-k} + \varepsilon_t \quad (1.25)$$

Taylor açılımı uygulanmasının ardından modelin hipotezini test etmek için kullanılan t-tipi test istatistiği;

$$t_{NL} = \frac{\hat{\delta}}{s.e(\hat{\delta})} \quad \text{şeklindedir.}$$

Burada  $\hat{\delta}$ ,  $\delta$  parametresinin EKK tahmincisidir.  $se(\hat{\delta})$  ise  $\hat{\delta}$  nın standart hatasıdır.  $t_{NL}$  test istatistiği asimptotik normal dağılım göstermektedir. Dolayısıyla standart t tablosu ile karşılaştırılmaz. KSS(2003) tarafından üretilen Monte Carlo simülasyonları sonucunda elde edilen kritik değerler baz alınmaktadır. Bu kritik değerler ham, ortalamadan ve ortalama ve trendden arındırılmış şeklindedir.

#### 1.4.1.2.1.3. *Sollis (2009) Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi*

KSS(2003) testi, serilerin doğrusal olmayan ancak durağan ESTAR süreci olduğunu varsayan alternatif hipotezi test etmekte ve bu sürecin simetrik olduğunu varsaymaktadır. Yani herhangi bir zamanda gerçekleşen sapmadan sonra ortalamaya dönme mekanizması simetridir. Dolayısıyla ortalamaya dönen modeller bu dönüşün simetrik olmasından dolayı negatif veya pozitif dönüş etkileri ayırt edilememektedir. Böyle bir durumda Sollis (2009), ESTAR modeline dayanan birim kök testini geliştirerek alternatif hipotezi, serinin ESTAR sürece sahip olduğunu ve bu sürecin hem simetrik hem de asimmetrik olduğu varsayımına dayandırmıştır. Geliştirilmiş ESTAR modelinde (AESTAR), üssel ve lojistik fonksiyon birlikte kullanılmaktadır. Bu model aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\Delta z_t = G_t(\gamma_1, z_{t-1}) \{S_t(\gamma_2, z_{t-1}) \rho_1 + [1 - S_t(\gamma_2, z_{t-1})]\} z_{t-1} + v_t \quad (1.26)$$

1.26 numaralı denklemde;

$$G_t(\gamma_1, z_{t-1}) = 1 - \exp[-\gamma_1(z_{t-1}^2)], \gamma_1 \geq 0 \quad (1.27)$$

ve

$$S_t(\gamma_2, z_{t-1}) = [1 + \exp(-\gamma_2 z_{t-1})]^{-1}, \gamma_2 \geq 0 \quad (1.28)$$

dır. Burada  $v_t \sim \text{IID}(0, \sigma^2)$  olmaktadır. Bu modelde  $\gamma_1$  iki rejim arasındaki geçiş hızını belirleyen geçiş parametresidir. Modelde  $\rho_1 = \rho_2 = \rho$  ise 1.26 numaralı denklem,

KSS(2003) birim kök testinde kurulan modele eşit olur. Yani ESTAR süreci simetriktir. Kurulan modelde durağanlık olabilmesi için  $\rho_1 < 0$ ,  $\rho_2 > 0$  ve  $\gamma_1 < 0$  olmalıdır.

ESTAR modelinde olduğu gibi AESTAR modeli de yüksek mertebeden dinamikler içermektedir. Bu durumda yeni denklem aşağıdaki gibidir:

$$\Delta z_t = G_t(\gamma_1, z_{t-1}) \{ S_t(\gamma_2, z_{t-1}) \rho_1 + [1 - S_t(\gamma_2, z_{t-1})] \} z_{t-1} + \sum_{m=1}^n K_m \Delta z_{t-m} + u_t \quad (1.29)$$

Modelde boş hipotez  $\gamma_1 = 0$ , alternatif hipotez  $\gamma_1 > 0$  altında birim kök testi yapılır. Ancak boş hipotez  $\gamma_1 = 0$  doğrudan sınanamaz. Çünkü  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  ve  $\gamma_2$  parametreleri tanımlı değildir. KSS (2003) ve Luukkonen vd., (1988) çalışmalarında olduğu Sollis (2009) çalışmasında da birinci dereceden Taylor yaklaşımı kullanılmış ve yardımcı regresyon oluşturulmuştur. Taylor yaklaşımı sonucunda gerçekleştirilen model aşağıda yer almaktadır.

$$\Delta z_t = \phi_1 z_{t-1}^3 + \phi_2 z_{t-1}^4 + \eta_t \quad (1.30)$$

1.30 numaralı denklemde  $\phi_1 = \rho_2^* \gamma_1$ ,  $\phi_2 = \alpha(\rho_2^* - \rho_1^*) \gamma_1 \gamma_2$ ,  $\eta_t = \varepsilon_t + R_t$  ve  $R_t$ , Taylor serisindeki artıktır. Yardımcı regresyon modeli EKK yöntemi ile tahmin edilmektedir. Serilerin birim köklü olduğunu ifade eden  $\phi_1 = \phi_2 = 0$  boş hipotezi, doğrusal olmayan simetrik ve asimetric ESTAR durağanlığı ifade eden alternatif hipotezi  $\phi_1 \neq \phi_2 \neq 0$  şeklinde oluşturulmuştur. Hipotez sınaması F-test istatistiği ile yapılmakta ancak F tablosundaki kritik değerler ile karşılaştırılmamaktadır. Çünkü dağılım standart değildir. Hipotez sınaması sonucunda elde edilen F-test istatistiği, Sollis (2009) tarafından elde edilen kritik değerlerle karşılaştırılmaktadır.

Sollis (2009) çalışmasında  $\phi_2 = 0$ , doğrusal olmayan simetrik ESTAR durağan süreç olan boş hipoteze karşın  $\phi_2 \neq 0$ , doğrusal olmayan asimetric ESTAR süreci olan alternatif hipotez test edilmektedir. Alternatif hipotez  $\phi_2 \neq 0$ , F tablosundaki kritik değerler ile karşılaştırılabilir. Fakat bu testin uygulanabilmesi  $\phi_1$  parametresinin negatif değerler almasına bağlıdır. Bunun nedeni olarak, hesaplanan F test istatistiğinin standart F tablosunda yer alan kritik değerler ile karşılaştırılması gerektiği söylenmektedir.

1.30 numaralı denklemdeki modelin genişletilmiş biçimi aşağıda gösterilmektedir.

$$\Delta z_t = \phi_1 z_{t-1}^3 + \phi_2 z_{t-1}^4 + \sum_{m=1}^n K_m \Delta z_{t-m} + \eta_t \quad (1.31)$$

Sollis (2009) testinde de KSS(2003) testinde olduğu gibi kritik değerler üç farklı şekilde açıklanmıştır. Bu üç farklı kritik değerler, ham, ortalamadan ve ortalama ve trendden arındırılmış şeklindedir.

### 1.4.1.2.2. Zamana Bağlı Doğrusal Olmayan Birim Kök Testleri

#### 1.4.1.2.2.1. Leybourne, Newbold ve Vougas (LNV) Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi

Enders ve Granger (1998) doğrusal olmayan birim kök testleri, makroekonomik zaman serilerinin ekonomide yaşanan şoklara verdikleri farklı tepkilerin anlık olarak değiştiğini varsaymaktadır. Bir diğer ifadeyle bu testte, rejimler arasındaki geçişin sert olduğu tespit edilmektedir. Ancak zaman serilerinin şoklara verdikleri tepkiler kademeli olarak da değişebilir. Yani rejimler arasındaki geçişin yumuşak da olabileceği ve böylece deterministik yapısal değişimin belirtilebileceği durumlarda göz önünde bulundurulmalıdır. Leybourne vd., (1998) bu düşünceden yola çıkarak serilerin kademeli bir değişim gösterdiği görüşünü savunarak rejimler arasındaki yumuşak geçişleri incelemişlerdir. LNV (1998) testi, lojistik fonksiyondan hareketle serilerde geçişlerin, yumuşak yapısal olmasına izin veren birim kök testidir. LNV (1998) testinde üç lojistik yumuşak geçişli otoregresif model incelenmektedir. Bu modeller aşağıda gösterilmektedir (Leybourne vd., 1998:83-86).

$$\text{Model A: } z_t = \alpha_1 + \alpha_2 S_t(\gamma, \tau) + v_t \quad (1.32)$$

$$\text{Model B: } z_t = \alpha_1 + \beta_1 t + \alpha_2 S_t(\gamma, \tau) + v_t \quad (1.33)$$

$$\text{Model C: } z_t = \alpha_1 + \beta_1 t + \alpha_2 S_t(\gamma, \tau) + \beta_2 t S_t(\gamma, \tau) + v_t \quad (1.34)$$

Denklem (1.32)-(1.33)-(1.34) de  $v_t$ , sıfır ortalamaya sahip  $I(0)$  sürecini ifade etmektedir.  $S_t(\gamma, \tau)$ , rejimler arası geçiş kontrol eden  $T$  gözlem sayısına dayanan lojistik yumuşak geçişli fonksiyondur.

$$S_t(\gamma, \tau) = [1 + \exp\{-\gamma(\tau - \tau T)\}]^{-1} \quad \gamma > 0 \quad (1.35)$$

1.35 numaralı denklemdeki lojistik fonksiyonda  $\tau$  parametresi,  $\gamma > 0$  olduğu için geçiş sürecinin orta noktasını belirlemektedir. Çünkü  $S_{-\infty}(\gamma, \tau) = 0$ ,  $S_{+\infty}(\gamma, \tau) = 1$  ve  $S_{T\tau}(\gamma, \tau) = 0.5$  dir.  $\gamma$  parametresi geçiş hızını belirlemektedir.  $\gamma$  parametresi küçük ise yumuşak geçişli lojistik fonksiyonu  $S_t(\gamma, \tau)$ ,  $(0, 1)$  aralığını geçmesi uzun zaman alır. Ters durumda  $\gamma$  parametresi büyük ise yumuşak geçişli lojistik fonksiyonu  $S_t(\gamma, \tau)$ ,  $(0, 1)$  aralığını geçmesi hızlı bir şekilde gerçekleşir.  $\gamma$  parametresi sıfıra eşit ise tüm  $t$  zamanları için  $S_t(\gamma, \tau) = 0.5$  olur. Diğer yandan  $\gamma$ ,  $+\infty$ 'a yakınsar iken  $t = \tau T$  zamanında fonksiyonun değeri anlık olarak 0'dan 1'e değişir. Bundan dolayı eğer  $v_t$ 'nin sıfır ortalamalı ve  $I(0)$ 'da durağan bir süreç olduğunu varsayarsak:

**Model A:**  $y_t$ , başlangıç değeri  $\alpha_1$ 'den son değeri  $\alpha_1 + \alpha_2$ 'ye değişen bir ortalama etrafında durağandır.

**Model B:**  $y_t$ , başlangıç değeri  $\alpha_1$ 'den son değeri  $\alpha_1 + \alpha_2$ 'ye değişen bir ortalama ve sabit bir eğim katsayısı etrafında durağandır.

**Model C:**  $y_t$ , sabit terimin  $\alpha_1$ 'den  $\alpha_1 + \alpha_2$ 'ye değişmesine ilaveten, eğim aynı anda ve aynı geçiş hızında  $\beta_1$ 'den  $\beta_1 + \beta_2$ 'ye değişmektedir. Eğer  $\gamma < 0$  olursa model A ve model C'nin durumunu tersine çevirebilir ancak parametrelerin yorumu aynı kalmaktadır.

Leybourne vd.,(1998) tarafından geliştirilen LNV testinin boş ve alternatif hipotezleri aşağıdaki gibidir:

$$H_0: z_t = \mu, \mu_t = \mu_{t-1} + \varepsilon_t, \mu_0 = \psi$$

$H_1$ : Model A, B veya C

$$H_0: z_t = \mu, \mu_t = k + \mu_{t-1} + \varepsilon_t, \mu_0 = \psi$$

$H_1$ : Model B veya C

Hipotezlerin içinde yer alan  $\varepsilon_t$  ve  $v_t$  sıfır ortalamalı durağan süreci ifade etmektedir.  $k$  sürüklenme terimidir. Bu test istatistikleri iki aşamalı prosedür ile hesaplanmaktadır.

**Aşama 1:** Doğrusal olmayan en küçük kareler (NLS) algoritması kullanarak, tercih edilen modelin yalnızca deterministik bileşeni tahmin edilmektedir ve NLS hata terimleri hesaplanmaktadır. Yani,

$$\text{Model A: } \hat{v}_t = z_t - \hat{\alpha}_1 - \hat{\alpha}_2 S_t(\hat{\gamma}, \hat{t}) \quad (1.36)$$

$$\text{Model B: } \hat{v}_t = z_t - \hat{\alpha}_1 t - \hat{\beta}_1 - \hat{\alpha}_2 S_t(\hat{\gamma}, \hat{t}) \quad (1.37)$$

$$\text{Model C: } \hat{v}_t = z_t - \hat{\alpha}_1 t - \hat{\beta}_1 - \hat{\alpha}_2 S_t(\hat{\gamma}, \hat{t}) - \hat{\beta}_2 t S_t(\hat{\gamma}, \hat{t}) \quad (1.38)$$

**Aşama 2:** En küçük kareler (EKK) regresyonunda  $\hat{\rho}$  ile ilişkili  $t$  oranı ADF test istatistiği ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta \hat{v}_t = \hat{\rho} \hat{v}_{t-1} + \sum_{i=1}^k \hat{\delta}_i \Delta \hat{v}_{t-i} + \hat{\eta}_t \quad (1.39)$$

Denklem 1.39'da gecikmeli fark denklemleri  $\varepsilon_t$ 'deki sabit dinamikleri hesaba katmak için dahil edilmektedir.

LNV testinin tüm modelleri (Model A, B ve C) için kritik değerler vardır. Leybourne vd., (1998)'nin çalışmasında yer alan bu kritik değerler ile test uygulamasıyla elde edilen değerler karşılaştırılarak, serilerin durağanlık yapısı tespit edilmektedir.

#### 1.4.1.2.2.2. *Shahbaz vd., (2018) Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi*

Literatürde mevcut diğer birim kök testleri serilerin durağanlık sınamasında istikrarlı sonuçlar bulma konusunda kısıtlıdır. Bu tarz birim kök testleri genellikle yumuşak ve keskin yapısal kırılmalar, serilerin doğrusal olmama durumları veya her

ikisinin birlikte yer alması gereken durumları dikkate almamaktadır. Bu durumdan yola çıkarak Shahbaz, vd., (2018) çalışmalarında, zaman serilerinde meydana gelen keskin ve yumuşak yapısal kırılmaları ve serilerin doğrusal olmama dinamiklerini tek bir birim kök testinde inceleyen yeni bir doğrusal olmayan birim kök testi geliştirmişlerdir. Shahbaz, vd.,(2018) tarafından geliştirilen bu test SOR(2018) testi olarak tanımlanmıştır. SOR (2018) testi, Leynourne vd., (1998) tarafından geliştirilen lojistik yumuşak geçişli otoregresif (LSTAR) modele dayanan birim kök testinden yola çıkarak iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada, genetik algoritma yoluyla kısıtlanmış doğrusal olmayan optimizasyon algoritması kısıtı kullanılarak modelin deterministik bileşeni tahmin edilmiştir. Bu modelin kalıntıları Model A, B ve C şeklinde hesaplanmaktadır. İkinci aşama ise Enders ve Lee (2012) tarafından hesaplanan test istatistiğini içermektedir. Burada sıradan en küçük kareler regresyonunda  $\hat{\phi}$  ile ilişkili t-oranı hesaplanmaktadır. Her iki aşamaya ait denklemler aşağıda gösterilmektedir (Shahbaz vd., 2018:12-14).

#### Aşama 1:

$$\text{Model A: } \varepsilon_t = z_t - \hat{\alpha}_1 - \hat{\alpha}_2 F_t(\hat{\gamma}, \hat{\tau}) \quad (1.40)$$

$$\text{Model B: } \varepsilon_t = z_t - \hat{\alpha}_1 - \hat{\beta}_1 t - \hat{\alpha}_2 F_t(\hat{\gamma}, \hat{\tau}) \quad (1.41)$$

$$\text{Model C: } \varepsilon_t = z_t - \hat{\alpha}_1 - \hat{\beta}_1 t - \hat{\alpha}_2 F_t(\hat{\gamma}, \hat{\tau}) - \hat{\beta}_2 F_t(\hat{\gamma}, \hat{\tau})t \quad (1.42)$$

Model A, sabit terimde yapısal kırılmayı, Model B, trendin bulunduğu denklemde sabitteki yapısal kırılmayı ve Model C, hem sabit hem de trenddeki yapısal kırılmayı test etmektedir.

#### Aşama 2:

$$\hat{\varepsilon}_t = d(t) + \phi_1 \hat{\varepsilon}_{t-1} + v_t \quad (1.43)$$

Denklem 1.43'de  $v_t$ ,  $\sigma^2$  varyans ile durağan bozulmayı,  $d(t)$  ise  $t$ 'nin deterministik fonksiyonudur. Burada başlangıç değerini sabit olduğunu ve  $\varepsilon_t$ 'nin zayıf bir şekilde bağımlı olduğu varsayılmaktadır. Eğer  $d(t)$ 'nin fonksiyonel formu biliniyorsa, denklem 43'ün direkt olarak birim kökün boş hipotezini ( $\phi_1=1$ ) test ettiği tahmin edilmektedir.  $d(t)$ 'nin formu bilinmediği takdirde ise,  $d(t)$  yanlış belirtilirse herhangi bir test  $\phi_1=1$  için sorun teşkil edebilmektedir. Bu birim kök testi Fourier genişlemesi kullanarak olası yaklaşık  $d(t)$  değerini tahmin etmeye dayanmaktadır. Tahmin edilen bu  $d(t)$ 'nin denklemi aşağıdaki gibidir:

$$d(t) = \alpha_0 + \sum_{k=1}^n \alpha_k \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \sum_{k=1}^n \beta_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right), \quad n \leq T/2 \quad (1.44)$$

1.44 numaralı denklemde k belirli bir frekansı, T, gözlem sayısını ve n yaklaşık değer tahmininde yer alan kümülatif sıklık sayısını göstermektedir. Doğrusal olmayan bir eğilimin olduğu durumda  $\alpha_k = \beta_k = 0$ 'ın tüm değerleri, LNV spesifikasyonunun özel bir durumuna dönüşmektedir. Bu aşamada büyük bir n değeri kullanılması aşırı uyum problemine neden olabilmektedir. Bierens (1997), Gallant ve Souza (1991) ve Davies (1977) gibi çalışmalar, Fourier yaklaşımı kullanılarak ampirik açıdan yumuşak kırılmanın fonksiyonel formunu göstermektedir. Burada n değerinin daha küçük olması doğrusal olmayan eğilimin değerlendirilmesini istikrarlı olmasını sağlamaktadır. Son olarak elde edilen denklem aşağıda gösterilmektedir.

$$\Delta \hat{\epsilon}_t = \alpha_0 + \sum_{k=1}^n \alpha_k \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \sum_{k=1}^n \beta_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \phi_1 \hat{\epsilon}_{t-1} + \sum_{i=1}^p \varphi_k \Delta + v_t \quad (1.45)$$

Denklem 1.45'de  $\hat{\epsilon}_t$ 'deki durağan dinamiği hesaba katmak için denklemi test ederken bağımlı değişkenlerin gecikme değerini artırmanın yaygın olarak kullanılan bir uygulama olduğu görülmektedir. Öyleyse, EL test istatistiği değeri Model A'da  $\sigma_{\alpha}$  olarak, Model B'de  $\sigma_{\alpha(\beta)}$  ve Model C'de  $\sigma_{\alpha\beta}$  şeklinde kullanılmaktadır.

SOR (2018) testi için, az sayıda frekans bileşeninin ekonomik verilerde tipik olarak gözlemlenen kırılma türlerini tekrar edip edemeyeceği önemli bir konudur. Bu sorunu takip etmek için, tek bir frekans bileşeni kullanan Bir Fourier yaklaşımı ile başlanmaktadır. Bundan dolayı, yaklaşım için seçilen tek frekans "k" ile gösterilir ve deterministik terimin sinüzoidal bileşeninin genişliği ve yer değiştirmesi  $\alpha_k$  ve  $\beta_k$  ile ölçülmektedir. Dolayısıyla, tek bir k=1 frekansında bile birden fazla yumuşak kırılmaya izin verilmektedir. Fourier dönüşümü sonucunda Model A, B ve C nin birim kök hipotezleri aşağıdaki gibidir:

$H_0$ : Seriler birim kök içermektedir (Doğrusal Durağan Olmayan)

$H_1$ : Doğrusal Olmayan Durağan (Keskin ve Yumuşak Trendleri Eş Zamanlı Değiştiren Doğrusal Olmayan ve Durağan)

#### 1.4.1.2.2.3. Çorakçı vd., (2017) Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi

Çorakçı vd., (2017) tarafından geliştirilen CEO(2017) birim kök testinde, serilerdeki geçici yapısal kırılmalar dikkate alınmıştır. Bu geçici yapısal kırılmaların test edilmesinde ise birim kök çerçevesinde Fourier fonksiyonu yerine üstel yumuşak geçiş (EST) fonksiyonu kullanılmıştır. EST fonksiyonunun dış rejimleri, değişkenin uzun dönemde tutunması için gerekli sabit ortalama değerleri sağlayan simetrik yapılar sahipken, iç rejim, geçici yapısal kırılma davranışı sergiler. Bundan dolayı geçici

yapısal kırılma altında serinin birim kökünün test edilmesi EST tipi fonksiyon kullanılarak yapılmıştır. CEO (2017) testinin modelleri aşağıda gösterilmektedir.

$z_t$ , yumuşak geçişli değişen bir trend fonksiyonu olsun:

$$\text{Model A: } z_t = \alpha_1 + \alpha_2 F_t(\gamma, \tau) + \varepsilon_t \quad (1.46)$$

$$\text{Model B: } z_t = \alpha_1 + \beta_1 t + \alpha_2 F_t(\gamma, \tau) + \varepsilon_t \quad (1.47)$$

$$\text{Model C: } z_t = \alpha_1 + \beta_1 t + \alpha_2 F_t(\gamma, \tau) + \beta_2 F_t(\gamma, \tau)t + \varepsilon_t \quad (1.48)$$

Model A, B ve C'de  $\varepsilon_t$  sıfır ortalamalı  $I(0)$  sürecini ve  $F_t(\gamma, \tau)$ , T örnekleme dayalı EST fonksiyonunu ifade etmektedir.

$$F_t(\gamma, \tau) = 1 - \exp[-\gamma(t - \tau)^2], \gamma > 0 \quad (1.49)$$

Bu modelleme stratejisinde yapısal değişim, ani bir yapısal kırılma yerine farklı rejimler arasında yumuşak bir geçiş olarak modellenmiştir. Bu özelliklerde değişiklik olmaması ve bir anlık yapısal değişiklik sınırlayıcı durumlardır.

A, B ve C modellerine dayalı olarak birim kök testinin hipotezleri aşağıdaki gibidir:

$H_0$ : Birim Kök (Doğrusal, Durağan değil)

$H_1$ : Doğrusal olmayan Durağan (Yumuşak değişen trend ve sabit etrafında durağan)

Leybourne vd., (1998) çalışmasında önerilen test istatistikleri iki aşamalı bir süreçle hesaplanır:

**Aşama 1:** SQP<sup>2</sup> aracılığıyla kısıtlı doğrusal olmayan optimizasyon algoritması kullanarak, tercih edilen modelin yalnızca deterministik bileşeni tahmin edilir ve kalıntılar hesaplanır.

$$\text{Model A: } \hat{\varepsilon}_t = z_t - \hat{\alpha}_1 - \hat{\alpha}_2 F_t(\hat{\gamma}, \hat{\tau}) \quad (1.50)$$

$$\text{Model B: } \hat{\varepsilon}_t = z_t - \hat{\alpha}_1 - \hat{\beta}_1 t - \hat{\alpha}_2 F_t(\hat{\gamma}, \hat{\tau}) \quad (1.51)$$

$$\text{Model C: } \hat{\varepsilon}_t = z_t - \hat{\alpha}_1 - \hat{\beta}_1 t - \hat{\alpha}_2 F_t(\hat{\gamma}, \hat{\tau}) - \hat{\beta}_2 F_t(\hat{\gamma}, \hat{\tau})t \quad (1.52)$$

**Aşama 2:** Sıradan en küçük kareler (OLS) regresyonunda  $\hat{\rho}$  ile ilişkili t oranı ADF istatistiği ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta \hat{\varepsilon}_t = \hat{\rho} \hat{\varepsilon}_{t-1} + \sum_{j=1}^p \delta_j \Delta \hat{\varepsilon}_{t-j} + u_t \quad (1.53)$$

Model A, B ve C'de  $\hat{\rho}$  için test istatistikleri sırasıyla  $\tilde{s}_\alpha$ ,  $\tilde{s}_{\alpha(\beta)}$  ve  $\tilde{s}_{\alpha\beta}$  gösterilmektedir. Bu test istatistikleri CEO (2017) çalışmasında verilmektedir.

<sup>2</sup> Omay ve Emirmahmutoğlu (2017) çalışmasında, "Sequential Quadratic Programming (Ardışık Karesel Programlamanın (SQP)), EST tipi denklemleri tahmin etmede en iyi performansı gösteren algoritma olduğu belirtilmiştir.



Modelin hipotezleri;

$H_0: \rho=0$  (Doğrusal Durağan değil)

$H_1: \rho < 0$  (Doğrusal olmayan trend ve/veya sabit etrafında durağan)

şeklindedir.

### 1.4.1.2.3. Hem Zamana Hem De Duruma Bağlı (Hibrid) Doğrusal Olmayan Birim Kök Testleri

#### 1.4.1.2.3.1. Omay ve Yıldırım (2014) LNV\_KSS Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi

Önceki bölümlerde LNV ve KSS testlerinin metodolojisi detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Omay ve Yıldırım (2014) çalışmalarında KSS testini genişletmiş ve LNV testindeki keskin yapısal kırılma yerine farklı rejimler arasında yumuşak geçişe izin vererek yeni bir test geliştirmişlerdir. Bu testte LNV ve KSS testlerini birleştirerek yapısal kırılmayı dikkate alan doğrusal olmayan birim kök sınaması yapılmıştır. KSS testinden serilerin birim köklü olduğunu ifade eden boş hipoteze karşın alternatif hipotez durağan ancak doğrusal olmayan üssel yumuşak geçişli otoregresif (ESTAR) sürece sahip olduğunu varsaymaktadır. Omay ve Yıldırım (LNV-KSS) testinde ise alternatif hipotez, yapısal kırılma gösteren ve doğrusal olmayan bir parametre kullanılarak incelenmiştir.

Omay ve Yıldırım (2018) tarafında geliştirilen LNV-KSS testinde, LNV (1998) testinde olduğu gibi Model A, B ve C şeklinde üç farklı denklem incelenmiştir. Bu modeller aşağıdaki gibidir:

$$\text{Model A: } z_t = \alpha_1 + \alpha_2 S_t(\gamma, \tau) + v_t \quad (1.54)$$

$$\text{Model B: } z_t = \alpha_1 + \beta_1 t + \alpha_2 S_t(\gamma, \tau) + v_t \quad (1.55)$$

$$\text{Model C: } z_t = \alpha_1 + \beta_1 t + \alpha_2 S_t(\gamma, \tau) + \beta_2 t S_t(\gamma, \tau) + v_t \quad (1.56)$$

Denklem (1.54)-(1.55)-(1.56)'daki her üç modelde bulunan  $v_t$  sıfır ortalamalı  $I(0)$  sürecini ve  $S_t(\gamma, \tau)$ , T ve N boyutunda örneklem büyüklüğüne dayanan lojistik yumuşak geçiş fonksiyonunu ifade etmektedir.

$$S_t(\gamma, \tau) = [1 + \exp\{-\gamma(t - \tau T)\}]^{-1}, \gamma > 0 \quad (1.57)$$

Bu modelleme stratejisinde yapısal değişim, LNV (1998)'deki gibi keskin bir yapısal kırılma yerine farklı rejimler arasında yumuşak bir geçiş olarak modellenmiştir. LNV (1998) çalışmasında da belirtildiği üzere  $S_t(\gamma, \tau)$ , 0 ile 1 arasında sınırlandırılmış sürekli bir fonksiyondur. Böylece STAR modelinde, geçiş fonksiyonunun uç değerleri olan  $S_t(\gamma, \tau)=0$  ve  $S_t(\gamma, \tau)=1$  ile ilişkili iki rejime izin veren rejim değiştirme modeli olarak yorumlanmakta ve bir rejimden diğer rejime geçişin kademeli olduğu belirtilmektedir.  $\gamma$

parametresi bir rejimden diğer rejime geçişin hızını göstermektedir. İki rejim,  $c=\tau$  eşliğine göre  $s_t=\tau$  geçiş değişkeninin büyük ve küçük değerleri ile ilişkilidir.  $\gamma$  parametresi eğer büyük ise  $S_t(\gamma, \tau)$ , 0 ile 1 aralığından hızlı bir şekilde geçer.  $\gamma$  parametresi  $+\infty$ 'a yakınlaşırsa  $t=\tau T$  zamanında bu fonksiyonun değeri 0'da 1'e anlık olarak değer değiştirir. Bundan dolayı eğer  $v_t$ 'nin sıfır ortalamalı ve  $I(0)$ 'da durağan bir süreç olduğunu varsayarsak, model A'da  $z_t$ , başlangıç değeri  $\alpha_1$ 'den son değeri  $\alpha_1+\alpha_2$ 'ye değişen bir ortalama etrafında durağandır. LNV (1998) çalışmasında model B ve C için benzer koşullar detaylıca anlatılmıştır.

Model A, B ve C için hipotezler aşağıdaki gibidir:

$H_0$ : Birim kök (Doğrusal durağan olmayan)

$H_1$ : Doğrusal olmayan durağan (Yumuşak geçişli eğim ve sabit çevresinde doğrusal olmayan ve durağan).

Omay ve Yıldırım (2014), LNV (1998) testini takip ederek bu testte olduğu gibi önerilen test istatistikleri iki aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar aşağıda gösterilmektedir.

**Aşama 1:** doğrusal olmayan ek küçük kareler (NLS) algoritması kullanılarak tercih edilen modelin sadece deterministik bileşenleri tahmin edilir ve NLS artıkları hesaplanır.

$$\text{Model A: } \hat{v}_t = z_t - \hat{\alpha}_1 - \hat{\alpha}_2 S_t(\gamma, \tau) \quad (1.58)$$

$$\text{Model B: } \hat{v}_t = z_t - \hat{\alpha}_1 - \hat{\beta}_1 t - \hat{\alpha}_2 S_t(\gamma, \tau) \quad (1.59)$$

$$\text{Model C: } \hat{v}_t = z_t - \hat{\alpha}_1 - \hat{\beta}_1 t - \hat{\alpha}_2 S_t(\gamma, \tau) - \hat{\beta}_2 t S_t(\gamma, \tau) \quad (1.60)$$

**Aşama 2:** Sıradan ek küçük kareler (EKK) regresyonunda  $\hat{\rho}_i$  ile ilişkili t oranı KSS test istatistiği ile hesaplanır.

$$\Delta \hat{v}_t = \hat{\rho} \hat{v}_t^3 + \sum_{j=1}^k \hat{\delta}_j \Delta \hat{v}_{t-j} + \hat{\eta}_t \quad (1.61)$$

1.61 numaralı denklemde belirtilen  $\rho$  için boş ve alternatif hipotezler aşağıdaki gibidir:

$H_0$ :  $\rho=0$ , Doğrusal, durağan olmayan

$H_1$ :  $\rho<0$ , Doğrusal olmayan, durağan

İki aşamalı test istatistikleri hesaplandıktan sonra test sonuçları Omay ve Yıldırım (2014) çalışmasında belirtilen kritik değerler ile karşılaştırılarak yorumlanmaktadır.

**1.4.1.2.3.2. Omay, Emirmahmutoğlu ve Hasanov (2018) Fourier\_AESTAR Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi**

Omay vd., (2018) tarafından geliştirilen ve Fourier AESTAR olarak adlandırılan birim kök testi, hem kademeli yapısal kırılmalara hem de denge seviyesine doğru asimetrik doğrusal olmayan ayarlamalara izin veren yeni bir birim kök testidir. Bu testin küçük örneklem özellikleri, Monte-Carlo simülasyonları aracılığıyla incelenmiştir. Omay vd., (2018) çalışmasında bu testin, serilerin deterministik bileşenlerinde çoklu kademeli kırılmalara ve dengeye doğru doğrusal olmayan ayarlamalara izin verirken, ayarlama hızının ise dengeden sapmaların hem işaretine hem de boyutuna bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Bu testin elde edilme süreci aşağıda gösterilmektedir.

$$z_t = \phi(t) + u_t \quad (1.62)$$

Burada  $\phi(t)$ , deterministik doğrusal olmayan eğim fonksiyonu ve  $u_t$ , eğimden sapmalardır. Denklem 1.62, herhangi bir parametreyi tanıtmadan, boş ve alternatif hipotez altında deterministik eğim fonksiyonuna izin vermesi açısından önemli bir özelliğe sahiptir. Omay vd.,(2018) çalışmasında,  $\phi(t)$  eğim fonksiyonu için yaygın olarak kullanılan iki spesifikasyon ele alınmıştır. Bunlardan ilki, modelin deterministik bileşenini modellemek için lojistik geçiş fonksiyonunun, ikincisi ise Fourier fonksiyonunun incelenmesidir. Lojistik eğim fonksiyonları aşağıda Model A, B ve C şeklinde gösterilmektedir.

$$\text{Model A: } \phi(t) = \alpha_1 + \alpha_2 S_t(\gamma, \tau) + u_t \quad (1.63)$$

$$\text{Model B: } \phi(t) = \alpha_1 + \beta_1 t + \alpha_2 S_t(\gamma, \tau) + u_t \quad (1.64)$$

$$\text{Model C: } \phi(t) = \alpha_1 + \beta_1 t + \alpha_2 S_t(\gamma, \tau) + \beta_2 t S_t(\gamma, \tau) + u_t \quad (1.65)$$

Burada  $S_t(\gamma, \tau)$ , T örneklemeine dayalı lojistik yumuşak geçiş fonksiyonudur.

$$S_t(\gamma, \tau) = [1 + \exp\{-\gamma(t - \tau T)\}]^{-1}, \gamma > 0 \quad (1.66)$$

Bu çalışmada, LNV (1998) testinin anlatıldığı bölümde lojistik yumuşak geçiş fonksiyonu ile ve model A, B ve C denklemleri için detaylı açıklamalar yapılmıştır. Dolayısıyla burada tekrardan bu bilgilere yer verilmemiştir. Ampirik literatürde lojistik fonksiyonların yaygın olarak kullanıldığı ve zaman serilerindeki yapısal kırılmaları iyi yakaladığı kanıtlanmıştır. Ancak burada genellikle tek yapısal kırılmalar dikkate alınmaktadır. Model C’de gösterilen lojistik fonksiyonun tek bir kırılmaya izin verdiği ve bunun dezavantaj oluşturabileceği gözlenmiştir. Ayrıca zaman serilerinin birden fazla kırılmaya maruz kalabileceği ve dolayısıyla tek kırılmaya izin veren testlerin yanlış sonuçlar doğurabileceğinden yola çıkarak Fourier fonksiyonu dikkate alınmıştır.

Fourier fonksiyonu, birden fazla kırılmaya izin veren ve serinin deterministik bileşenini yakalayan bir fonksiyondur. Çoklu kırılmalar için aşağıdaki model göz önünde bulundurulmaktadır:

$$\phi(t) = \alpha_0 + \delta t + \sum_{k=1}^n a_k \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \sum_{k=1}^n b_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + u_t; n < \frac{T}{2} \quad (1.67)$$

Denklem 1.67'de n, yaklaşımdaki kümülatif frekansların sayısı, k, yaklaşım için seçilen frekansı ve  $a_k$  ile  $b_k$ , eğim fonksiyonunun sinüzoidal bileşenlerinin genişliği ve yer değiştirmesini ölçtüğünü ifade etmektedir. Çok zayıf koşullar altında denklem 1.67'deki yeterince uzun Fourier serileri, bilinmeyen sayıda bilinmeyen form kırılmasına sahip herhangi bir fonksiyona herhangi bir doğruluk derecesine yaklaşabilir. n=1'den başlayarak, yaklaşımın doğruluğu ek frekanslar eklenerek iyileştirilebilir ve n=T/2'ye ulaştığında çok daha iyi olmaktadır.

Denklem 1.67'de verilen eğim fonksiyonu kırılma durumu içermemektedir. Aslında bu fonksiyon tüm k'lar için  $a_k=b_k=0$  altında geleneksel doğrusal modele indirgenmektedir. Ayrıca yapısal bir kırılma olması durumunda en az bir frekans bileşeni olması gerekir. Sonuç olarak, serinin doğrusal olmayan bileşenler içerip içermediği kolayca test edilebilir. Özellikle  $a_1=b_1=1$  boş hipotezinin reddedilmesi, seride yapısal bir kırılma olduğu anlamına gelmektedir.

Verilen bilgiler doğrultusunda serilerdeki kademeli kırılmalara yaklaşmak için Fourier yaklaşımının kullanılmasının daha uygun olduğu gözlenmektedir. Fourier fonksiyonunu inceledikten sonra testin ikinci aşaması olan dengeye doğru doğrusal olmayan ayarlamaların modellenmesi anlatılacaktır.

Denklem 1.62'de verilen doğrusal olmayan eğim fonksiyonuna doğru sapmaların ayarlama hızının dengeden sapmaların hem işaretine hem de boyutuna bağlı olduğu varsayılmaktadır. Özellikle Sollis (2009)'da olduğu gibi asimetrik ESTAR (AESTAR) doğrusal olmama özelliğini kullanarak dengeye doğru ayarlama modellenmektedir.

Denge seviyesinden sapmalar için aşağıda gösterilen AESTAR modeli göz önünde bulundurulmaktadır:

$$\Delta u_t = G_t(\theta_1, u_{t-1}) \{F_t(\theta_2, u_{t-1}) \rho_1 + (1 - F_t(\theta_2, u_{t-1})) \rho_2\} u_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1.68)$$

$$G_t(\theta_1, u_{t-1}) = 1 - \exp(-\theta_1(u_{t-1}^2)), \quad \theta_1 > 0 \quad (1.69)$$

$$F_t(\theta_2, u_{t-1}) = [1 + \exp(-\theta_2 u_{t-1})]^{-1}, \quad \theta_2 > 0 \quad (1.70)$$

Burada  $\varepsilon_t \sim i.i.d(0, \sigma^2)$  dır.

Denklem 1.68’de lojistik geçiş fonksiyonu  $F_t(\theta_2, u_{t-1})$ , serinin ortalama ve/veya eğimindeki kademeli kırılmayı yöneten  $S_t(\gamma, \tau)$  fonksiyonuna benzer.  $u_t$  sıfır ortalamalı bir değişken olduğundan,  $F_t(\theta_2, u_{t-1})$ , fonksiyonuyla ilişkili iki rejim,  $u_t$  dengeden sapmanın pozitif ve negatif gerçekleştirmeleri tarafından belirlenir. Üstel geçiş fonksiyonu  $G_t(\theta_1, u_{t-1})$ , sıfır ile bir arasında sınırlanmış simetrik olarak U-şekilli bir fonksiyondur.  $G_t(\theta_1, u_{t-1})$  fonksiyonuyla ilişkili rejimler, dengeden sapma işaretine bakılmaksızın,  $u_t$  dengeden sapmanın küçük ve büyük mutlak değerleri tarafından belirlenir.

Modelin hipotezleri;

$$H_0: \theta_1=0$$

$$H_1: \theta_1>0 \text{ şeklindedir.}$$

Ancak, boş hipotez altında  $\theta$  parametresi, bilinmeyen parametrelerin varlığından dolayı tanımlanamadığı için denklem 1.68’e 1.dereceden Taylor yaklaşımı uygulanmıştır. 1.dereceden Taylor yaklaşımı uygulandıktan sonra denklem aşağıdaki gibi olmaktadır:

$$\Delta u_t = G_t(\theta_1, u_{t-1})\{F_t(\theta_2, u_{t-1})\rho_1 + (1 - F_t(\theta_2, u_{t-1}))\rho_2\}u_{t-1} + \sum_{j=1}^p \delta_j \Delta u_{t-j} + \varepsilon_t \quad (1.71)$$

Burada  $\varepsilon_t \sim \text{i.i.d}(0, \sigma^2)$ .

#### **1.4.1.2.3.3. Omay, Shahbaz ve Hasanov (2020) Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi**

OEH(2018) çalışması serilerdeki kademeli yapısal kırılmalara ve dengeye doğru doğrusal olmayan ayarlamalara izin veren yeni bir test geliştirmişlerdir. Serilerdeki kademeli yapısal kırılmaları modellemek için öncelikle Fourier ve LSTAR modellerini kullanmışlar ve akabinde bu modeller için AESTAR doğrusal olmama özelliğini kullanarak dengeye doğru ayarlama modellenmiştir. Buna karşın Omay vd., (2020) çalışması ise diğer çalışmada olduğu gibi aynı anda dengeye doğru asimetric dinamik doğrusal olmayan ayarlamaya izin veren yeni bir test geliştirmişlerdir. Ancak burada serilerdeki kademeli yapısal kırılmalar yerine geçici yapısal kırılmalar dikkate alınmıştır. Omay vd., (2020) çalışması, çalışmanın devamında OSH (2020) olarak nitelendirilecektir.

Serilerin deterministik bileşenlerindeki geçici kademeli yapısal değişiklikleri modellemek için, kademeli olarak değişen eğim fonksiyonları takip edilmiştir. Çalışmanın başlangıç modelleri aşağıda gösterildiği gibidir:

$$\text{Model A: } z_t = \alpha_1 + \alpha_2 S_t(\gamma, \tau) + u \quad (1.72)$$

$$\text{Model B: } z_t = \alpha_1 + \beta_1 t + \alpha_2 S_t(\gamma, \tau) + u_t \quad (1.73)$$

$$\text{Model C: } z_t = \alpha_1 + \beta_1 t + \alpha_2 S_t(\gamma, \tau) + \beta_2 t S_t(\gamma, \tau) + u_t \quad (1.74)$$

Bu modellerde  $u_t$ , eğimden sapmaları ve  $S_t(\gamma, \tau)$ , üstel yumuşak geçiş fonksiyonunu ifade etmektedir. Üstel yumuşak geçiş fonksiyonu;

$$S_t(\gamma, \tau) = 1 - \exp[-\gamma(t - \tau T)^2], \gamma > 0 \quad (1.75)$$

Denklem 1.75'de  $S_t(\gamma, \tau)$  geçiş fonksiyonu süreklidir, 0 ile 1 arasında sınırlıdır ve 0 etrafında simetriktir.  $\gamma$  parametresi rejimler arası geçiş hızını ifade etmektedir.  $\tau$  parametresi geçiş orta noktasının zamanlamasını  $t=\tau T$  olduğunda  $S_t(\gamma, \tau)=0$  olarak belirler. Bu parametre  $t<\tau T$  ve  $t>\tau T$  olduğu zaman ise  $S_t(\gamma, \tau)=1$  olarak belirler. Geçiş fonksiyonunun bu özellikleri, serinin deterministik bileşenlerindeki yapısal değişikliklerin geçici olduğunu ima eder. Denklem 1.72'deki Model A, eğim göstermeyen serilerin ortalamasındaki geçici kırılmaları modellemek için uygundur. Model A'da  $S_t(\gamma, \tau)=1$  olursa bu durumda  $z_t=(\alpha_1+\alpha_2)+u_t$ 'ye düşer. Eğer  $S_t(\gamma, \tau)=0$  olursa  $z_t=\alpha_1+u_t$  olur. Bu, serinin ortalamasının  $(\alpha_1+\alpha_2)$  başlangıç değerinden kademeli olarak  $t=\tau T$  çevresinde  $\alpha_1$ 'e değiştiği ve  $t>\tau T$  olduğunda yeniden  $(\alpha_1+\alpha_2)$  değerine geldiği anlamına gelir. Denklem 1.73'de verilen Model, yalnızca serinin ortalamasında geçici bir kırılmaya izin verirken, trendin eğimi örnek periyodu boyunca ( $\beta_1$ 'de) sabit kalır. Diğer taraftan, denklem 1.74'de verilen Model C, serinin hem ortalamasında hem de trendinde eşzamanlı geçici değişikliklere izin verir. Bu modelde, eğim ilk değeri olan  $\beta_1+\beta_2$ 'den  $\beta_1$ 'e kayar ve sonra tekrar  $\beta_1+\beta_2$ 'ye döner. Trenddeki kaymalar, serinin ortalamasındaki kaymalarla eşzamanlı olarak gerçekleşmektedir. Son olarak,  $\alpha_1$  ve  $\alpha_2$  parametrelerinin ( $\beta_1$  ve  $\beta_2$ ) göreceli değerleri, serinin ortalamasındaki (trend) değişikliklerin boyutunu belirler.

OEH(2018) çalışmasında da belirtildiği gibi dengeye doğru ayarlama aynı zamanda sapmanın işaretine de bağlıdır. Denklem 75'de verilen doğrusal olmayan trend fonksiyonuna doğru sapmaların ayarlanma hızının dengeden sapmaların hem işaretine hem de boyutuna bağlı olduğu varsayılmaktadır. Bu tür doğrusal olmayan dinamikler, asimetrik ESTAR (AESTAR) modeli kullanılarak modellenmiştir. Bu model aşağıda gösterilmektedir.

$$\Delta u_t = G_t(\theta_1, u_{t-1})\{F_t(\theta_2, u_{t-1})\rho_1 + (1 - F_t(\theta_2, u_{t-1}))\rho_2\}u_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1.76)$$

$$G_t(\theta_1, u_{t-1}) = 1 - \exp(-\theta_1(u_{t-1}^2)), \quad \theta_1 > 0 \quad (1.77)$$

$$F_t(\theta_2, u_{t-1}) = [1 + \exp(-\theta_2 u_{t-1})]^{-1}, \quad \theta_2 > 0 \quad (1.78)$$

Burada  $\varepsilon_t \sim \text{i.i.d.}(0, \sigma^2)$  dır.

Denklem 1.77'deki üstel geçiş fonksiyonu  $G_t(\theta_1, u_{t-1})$ , serinin ortalama ve/veya trendindeki kademeli kırılmayı yöneten  $S_t(\gamma, \tau)$  fonksiyonuna benzer.  $G_t(\theta_1, u_{t-1})$  fonksiyonuyla ilişkili rejimler, dengeden sapmanın işaretine bakılmaksızın, dengeden sapmaların büyük ve küçük mutlak değerleri tarafından belirlenir. Lojistik geçiş fonksiyonu  $F_t(\theta_2, u_{t-1})$ , ile arasında sınırlanmış sürekli bir fonksiyondur.  $u_t$ , sıfır ortalamalı bir değişken olduğundan,  $F_t(\theta_2, u_{t-1})$  fonksiyonuyla ilişkili iki rejim,  $u_t$ 'nin dengeden sapmalarının pozitif ve negatif değerleri tarafından belirlenir. Lojistik geçiş fonksiyonu  $F_t(\theta_2, u_{t-1})$ 'nin geçiş hızı,  $\theta_2$  parametresi tarafından belirlenir.  $\theta_2$  küçük değerler aldığından rejimler arası geçiş oldukça yavaş gerçekleşir. Ancak  $\theta_2 \rightarrow +\infty$  ise rejimler arası geçiş ani olur. Sınırlayıcı durumda  $\theta_2=0$ ,  $F_t(\theta_2, u_{t-1})=0,5$  ve bu yüzden AESTAR ilk olarak Kapetanios, Shin ve Snell (2003) tarafından ele alınan simetrik ESTAR modeline dönüşür.

AESTAR modeli, doğrusal olmayan dinamikleri görmek için  $u_{t-1}$ 'in 0'dan  $-\infty$ 'a hareket ettiğini ima eder.  $u_{t-1} \rightarrow -\infty$  iken, lojistik fonksiyon  $F_t(\theta_2, u_{t-1}) \rightarrow 0$ 'a eğimlidir. Böylece denklem 1.76 aşağıdaki gibi dönüşür:

$$\Delta u_t = G_t(\theta_1, u_{t-1})\rho_1 u_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1.79)$$

Bu durumda geçiş;

$$\Delta u_t = \varepsilon_t \quad (1.80)$$

dış geçiş;

$$\Delta u_t = \rho_1 u_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1.81)$$

şeklinde gerçekleşir. Çünkü üstel fonksiyon  $G_t(\theta_1, u_{t-1})$ ,  $u_{t-1} \rightarrow +\infty$  iken 0'dan 1'e hareket eder. Yukarıda verilen AESTAR sürecinin global durağanlığı,  $\theta_1 > 0$ ,  $\rho_1 < 0$  ve  $\rho_2 < 0$  olmasını gerektirir.  $\rho_1 \neq \rho_2$  ise, pozitif ve negatif sapmalar değişen hızlarda dengeye doğru ayarlanacaktır. Bu aynı zamanda doğrusal olmayan çekiciye yönelik ayarlamasının sadece sapmanın işaretine değil aynı zamanda boyutuna da bağlı olduğu anlamına gelmektedir.

Diğer taraftan,  $\rho_1 = \rho_2$  ise, AESTAR modeli dengeye doğru simetrik ESTAR ayarını azaltır. Bu durumda, dengeye yönelik ayarlama, sapmaların işaretine bakılmaksızın yalnızca dengeden sapmaların boyutuna bağlı olacaktır. Dengeye yönelik ayarlama, sapmaların işaretine bağlı olmayıp sadece boyuta bağlıysa bu durumda ayarlama, aşağıdaki süreç kullanılarak modellenir:

$$\Delta u_t = G_t(\theta_1, u_{t-1})\rho u_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1.82)$$

Modelin hipotezleri;

$$H_0: \theta_1=0$$

$$H_1: \theta_1>0 \text{ şeklindedir}$$

Yukarıdaki hipotezler erilerin birim köklü olduğunu varsayan boş hipoteze karşın ESTAR ve AESTAR tipi durağanlığı varsayan alternatif hipotezin test edileceğini göstermektedir. Ancak, boş hipotez altında  $\theta$  parametresi, bilinmeyen parametrelerin varlığından dolayı tanımlanamadığı için denklem 1.76'ya 1.dereceden Taylor yaklaşımı uygulanmıştır. 1.dereceden Taylor yaklaşımı uygulandıktan sonra denklem aşağıdaki gibi olmaktadır:

$$\Delta u_t = \varphi_1 u_{t-1}^3 + \varphi_2 u_{t-1}^4 + \sum_{j=1}^{p-1} \delta_j \Delta u_{t-j} + \vartheta_t \quad (1.83)$$

Denklem 1.83'de  $\varphi_1 = \theta_1 \rho_2$ ,  $\varphi_2 = \frac{1}{4} \theta_1 \theta_2 (\rho_1 - \rho_2)$  ve  $\vartheta_t$ , Taylor yaklaşımından kaynaklanan hata teriminin yanı sıra orijinal  $\varepsilon_t$  hata terimlerini ifade etmektedir. Bu durumda, birim kökün boş hipotezi denklem 1.83'deki yardımcı regresyon kullanılarak  $H_0: \varphi_1=\varphi_2$  test edilerek AESTAR durağanlığına karşın test edilebilir.

#### 1.4.1.3. *GARCH Birim Kök Testi*

Finansal zaman serilerinde GARCH'ın yaygınlığı göz önüne alındığında, zaman serileri analizinin temelini oluşturan birim kök testleri ile etkileşiminin incelenmesi önem arz etmektedir. Dolayısıyla literatürde bu durumu dikkate alan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Seo (1999) tarafından geliştirilen GARCH birim kök testi, GARCH etkisi gösteren değişkenlere diğer birim kök testlerinin uygulanmasının yanlış sonuçlar doğuracağı düşüncesiyle geliştirilmiş ve GARCH modelinin otoregresif (AR) birim köklü ve parametlerin birlikte tahmin edildiği farklı bir yaklaşım olarak literatüre kazandırılmıştır. Seo (1999) sonuçları, bir Dickey Fuller (DF) test denklemi ve bir GARCH sürecinin ortak Maksimum Likelihood (ML) tahmini altında, birim kök hipotezi için t istatistiğinin asimptotik dağılımının standart olmayan DF dağılımı ile standart normal dağılımın bir karışımı olduğunu göstermektedir. Bu ilgili dağılımlara eklenen ağırlıklar, GARCH etkisinin gücünü temsil eden bir sıkıntı parametresi ( $\rho$ ) tarafından yakalanır. Seo (1999), GARCH etkisi arttıkça ve  $\rho$ , alt sınırı olan 0'dan üst sınırı olan 1'e doğru hareket ettikçe, ML t istatistiğinin asimptotik dağılımının DF'dan standart normal dağılıma doğru hareket ettiğini göstermektedir. GARCH etkisi arttıkça, testlerin gücü önemli ölçüde artmaktadır (Cook, 2008:110). İlk olarak  $\{y_t\}_{t=0}^T$  zaman serisi için aşağıdaki DF test denklemi göz önünde bulundurulur:



$$\Delta y_t = d_t + \beta y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1.84)$$

Denklem 1.84'de  $d_t$  deterministik bileşendir. Bu deterministik bileşen ya bir sabiti ( $d_t = \alpha_0$ ) ya da bir sabit ve doğrusal trendi ( $d_t = \alpha_0 + \alpha_1 t$ ) ifade eder. DF birim kök testi denklem 1.84'deki  $\beta$ 'nin t istatistik değerine dayanır. Bu denklemde  $\varepsilon_t$  hatasının bir GARCH süreci olması ve bu durumun ihmal edilmesi durumunda DF testinde bozulmalar meydana gelebilir. Seo (1999) bu aşamada GARCH etkisinin ihmal edilmesinin aksine, GARCH sergileyen değişkenlerdeki birim kök hipotezini incelerken, birim kök test denklemi ve GARCH sürecinin birlikte tahmin edilmesi gerektiğini öne sürmüştür. Seo (1999)'un simülasyon çerçevesinin ardından ve GARCH (1,1) süreci dikkate alınarak denklem 1.84'ü revize edilmiş versiyonu aşağıdaki şekilde verilmektedir:

$$\Delta y_t = d_t + \beta y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1.85)$$

$$h_t^2 = \phi_0 + \phi_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \phi_2 h_{t-1}^2 \quad (1.86)$$

$$\varepsilon_t = h_t v_t \quad (1.87)$$

$$v_t \sim N(0,1) \quad (1.88)$$

Birim kök hipotezi daha sonra burada  $t_\beta$  olarak gösterilen  $\beta$  için ML t oranı ile incelenir. Seo (1999) çalışması  $t_\beta$ 'nin asimptotik dağılımının, standart olmayan DF dağılımı ile standart normalin bir akışı olduğunu göstermektedir. Dağılımın DF'den standart normale doğru hareket etme derecesi, sıkıntı parametresi  $\rho$  ile ölçülen GARCH etkisinin gücüne bağlıdır. Bu durum Seo (1999)'un asimptotik argümanlarının sonlu örneklem uygunluğu ve GARCH parametrelerinin alternatif değerleri ile alternatif kovaryans matrisi tahmin edicilerinin kullanılmasının bir sonucu olarak  $t_\beta$ 'nin sonlu örneklem dağılımındaki potansiyel değişikliklerle ilgilidir. İncelenen iki kovaryans matrisi tahmincisi, standart ML kovaryans matrisi tahmincisi ve Bollerslev Wooldridge güçlü kovaryans matrisi tahmincisidir.

Denklem 1.86'da  $\phi_1$  ARCH etkisini  $\phi_2$  ise GARCH etkisinin parametreleridir.  $t_\beta$  ve  $t_\beta(bw)$  test istatistik değerleri, Monte Carlo simülasyonu yapılarak  $\phi_1$  ve  $\phi_2$  parametrelerinin değerlerine göre hesaplanmıştır.

#### 1.4.1.4. Varyans Oran Testi

Varyans oran testi, Lo ve Mackinlay (1988) tarafından rassal yürüyüş hipotezini test etmek amacıyla geliştirilmiştir. Bu test, serilerde değişen varyansa da izin vermekte ve normal dağılım göstermeyen seriler için de kullanılabilir. Varyans oran testi, eğer seri rassal yürüyüş gösteriyorsa, bu durumda q-periyot farkının varyansı, bir

periyot farkının varyansının q katı kadar olması gerektiğini varsaymaktadır. Sabit varyans durumunda varyans oran testi aşağıdaki gibi tanımlanır (Açıkalin ve Sakınç, 2022:188-189).

$$VAR(q) = \frac{\sigma_c^2(q)}{\sigma_a^3(q)} \quad (1.89)$$

Varyansın sabit olması durumunda normal test istatistiği Z(q) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$Z(q) = \frac{VAR(q)-1}{[\phi(q)]^{1/2}} \sim N(0,1) \quad (1.90)$$

$$\phi(q) = \frac{2(2q-1)(q-1)}{3q(nq)} \sim N(0,1) \quad (1.91)$$

Değişen varyans durumunda ise varyans oran testi;

$$Z^*(q) = \frac{VAR(q)-1}{[\phi^*(q)]^{1/2}} \sim N(0,1) \quad (1.92)$$

$$\phi^*(q) = \sum_{j=1}^{q-1} \left[ \frac{2(q-j)}{q} \right]^2 \hat{\sigma}(j) \quad (1.93)$$

$$\hat{\sigma}(j) = \frac{\sum_{t=j+1}^{nq} (P_t + P_{t-1} - \hat{\mu})^2 (P_{t-j} - P_{t-j-1} - \hat{\mu})^2}{\sum_{k=1}^{nq} (P_t + P_{t-1} - \hat{\mu})^2} \quad (1.94)$$

Varyans oran testi için hipotezler;

$H_0: \sigma_1 = \sigma_2$  (Varyanslar arasında anlamlı bir fark yok yani rassal yürüyüş vardır)

$H_1: \sigma_1 \neq \sigma_2$  (Varyanslar arasında anlamlı bir fark var yani rassal yürüyüş yoktur)

şeklindedir.  $H_0$  hipotezinin reddedilmesi durumunda serilerin rassal yürüyüş özelliği göstermediği söylenebilmektedir.

#### 1.4.2. Veri Seti ve Ampirik Bulgular

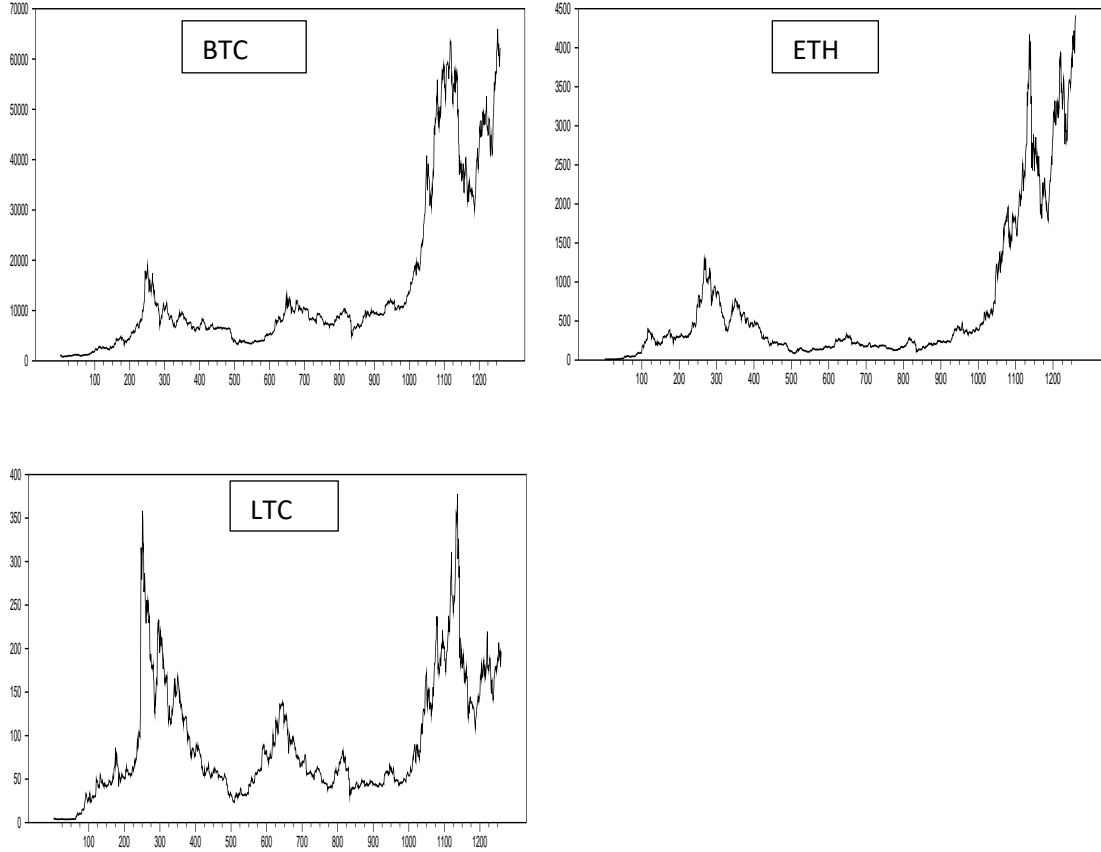
Kripto para piyasalarında EPH'nin geçerliliği, 02/01/2017-29/10/2021 dönemine ait beş günlük veriler kullanılarak doğrusal birim kök testleri, doğrusal olmayan birim kök testleri ve iki içsel yapısal kırılmalı GARCH birim kök testleri ile sınanmıştır. Ayrıca kripto para piyasalarında fiyatların rassal yürüyüş özelliği gösterip göstermediği de varyans oran testi ile incelenmiştir. Çalışmada kripto para piyasalarının etkinliğinin incelenmesi çerçevesinde kullanılan değişkenler Bitcoin, Ethereum ve Litecoin'dir. Bu değişkenler hem piyasa değeri açısından ilk sıralarda yer almaları hem de ilk çıkan kripto para çeşidi olmaları açısından çalışmaya dahil edilmiştir. Analizde kullanılan tüm değişkenlerin logaritmik formu ve getiri değerleri analize dahil edilmiştir. Çalışmada her bir değişkenin getirileri  $R_t = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right)$  formülü ile hesaplanmıştır. Burada  $R_t$  herhangi bir t dönemindeki getiri değeri,  $P_t$  değişkenin t dönemindeki değeri ve  $P_{t-1}$  her bir değişkenin bir önceki dönem değerini ifade etmektedir. Değişkenlerin düzey ve getiri

değerlerine ait istatistiki bilgiler ve zaman içindeki değişim grafikleri sırasıyla Tablo 1.2 ve 1.3 ile grafik 1.1 ve 1.2’de gösterilmektedir.

**Tablo 1.2: Değişkenlerin Düzey Değerlerine Ait İstatistiki Bilgiler**

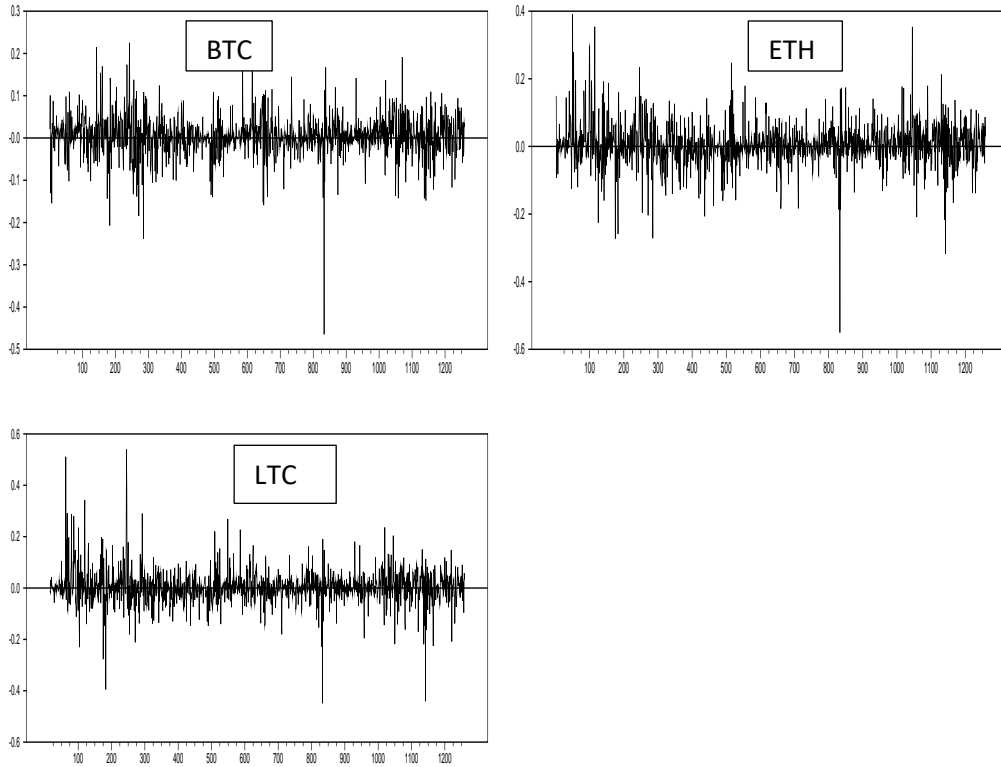
	BTC	ETH	LTC
Mean	9.063595	5.795609	4.176648
Median	9.028916	5.643976	4.116895
Maximum	11.09730	8.392706	5.933276
Minimum	6.656414	2.125670	1.312252
Std.Dev.	0.998825	1.228996	0.920734
Skewness	0.015427	-0.180977	-1.177867
Kurtosis	2.975570	3.741667	5.197045
Jarque-Bera	0.081314	35.75672	544.7656
Probability	0.960159	0.000000	0.000000
Sum	11420.13	7302.467	5262.577
Sum Sq.Dev.	1256.042	1901.634	1067.319
Observations	1260	1260	1260

**Grafik 1.1: Değişkenlerin Düzey Değerlerinin Zaman İçindeki Değişimi**



**Tablo 1.3: Değişkenlerin Getiri Değerlerine Ait İstatistik Bilgiler**

	BTC	ETH	LTC
Mean	0.003264	0.004978	0.002973
Median	0.002999	0.001738	0.000981
Maximum	0.225119	0.391381	0.539843
Minimum	-0.464730	-0.550732	-0.449062
Std.Dev.	0.049428	0.067544	0.071182
Skewness	-0.708492	-0.092513	0.504899
Kurtosis	11.62759	10.43754	12.84249
Jarque-Bera	4010.084	2903.634	5135.374
Probability	0.00000	0.000000	0.00000
Sum	4.109288	6.267036	3.743233
Sum Sq.Dev.	3.073404	5.739310	6.374209
Observations	1259	1259	1259

**Grafik 1.1: Değişkenlerin Getiri Değerlerinin Zaman İçindeki Değişimi**

Tablo 1.2 ve 1.3, Bitcoin, Ethereum ve Litecoin değişkenlerine ait sırasıyla düzey ve getiri değerlerine ait tanımlayıcı istatistiklerini göstermektedir. Tablo 1.2’de Bitcoin serisine ait çarpıklık (Skewness) katsayısı pozitif ve basıklık (Kurtosis) katsayısı 3’den küçüktür. Ethereum ve Litecoin serilerine ait çarpıklık katsayıları negatif ve basıklık katsayıları 3’den büyüktür. Dolayısıyla tablo 1.2’ye göre Bitcoin serisi sağa çarpık iken Ethereum ve Litecoin serileri sola çarpıktır. Ayrıca Ethereum ve

Litecoin değişkenlerinin basıklık değerlerinin 3'den büyük olması bu serilerin sivri olma özelliğine sahip olduğunu göstermektedir. Değişkenlerin normal dağılıp dağılmadığını test eden Jargue-Bera test istatistiği sonuçlarına göre ise Bitcoin'in düzey değerlerinde serilerin normal dağıldığını ifade eden boş hipotezin reddedilemediği yani Bitcoin'in normal dağılıma uyduğu gözlenmektedir. Ethereum ve Litecoin serilerinin ise normal dağılıma uymadığını tespit edilmiştir. Simons & Laryea, (2005) çalışmasına göre serilerin normal dağılımı, zayıf formda etkin piyasa hipotezinin temel varsayımlarından biridir. Bu durum, Jargue-Bera test istatistiğinin "H0:Seriler normal dağılmıştır" boş hipotezinin reddedilmesi durumunda serilerin zayıf formda etkin olmadığını göstermektedir. Tablo 1.2 sonuçlarına göre Bitcoin serisi için zayıf etkinlik koşulunun sağlandığı ancak Ethereum ve Litecoin serileri için zayıf etkinlik koşulunun sağlanmadığı gözlenmektedir.

Tablo 1.3'de ise Bitcoin ile Ethereum getiri serileri için çarpıklık katsayısı negatif Litecoin getiri serisi için çarpıklık katsayısı pozitifdir. Bitcoin ile Ethereum getirileri sola çarpık iken Litecoin getiri sağa çarpıktır. Kripto paraların basıklık katsayıları incelendiğinde ise, her üç kripto para getirilerinin basıklık değerlerinin 3'den büyük olduğu dolayısıyla Bitcoin, Ethereum ve Litecoin getiri serilerinin leptokurtik (çok sivri ve şişman kuyruklu) dağılıma sahip oldukları tespit edilmiştir. Kripto paraların getiri değerlerinin tanımlayıcı istatistiklerinin verildiği tablo 1.3'e göre en fazla getiriyi sağlayan kripto para birimi %0.539 ile Litecoin'dir. Çalışmada incelenen kripto paralar içerisinde getirisi en fazla oynaklığa (standart sapma) sahip olan kripto para birimi de 0.0711 ile Litecoin'dir. Oynaklığı en düşük olan değişken ise Bitcoin'dir. Bitcoin getirisinin oynaklığının düşük olması Bitcoin'in, diğer kripto para birimlerine kıyasla daha yerleşik piyasa olduğunu göstermektedir. Çünkü getirilerin daha düşük standart sapmaya sahip olması daha iyi likiditeyi göstermektedir (Noda, 2019:4). Değişkenlerin normallik dağılımlarının incelendiği Jargue-Bera test istatistiği sonuçlarına göre ise her üç kripto para biriminin de normallik dağılımına uymadığını gözlenmektedir. Dolayısıyla bu durum Bitcoin, Ethereum ve Litecoin getirilerinin zayıf formda etkinlik koşulunu sağlamadığını göstermektedir.

Kripto para piyasalarında zayıf formda piyasa etkinliğini test etmek için uygulanan doğrusal forma sahip geleneksel birim kök testleri ile yapısal kırılmalı birim kök test sonuçları sırasıyla tablo 1.4 ve 1.5'de gösterilmektedir.

**Tablo 1.4: Geleneksel Doğrusal Birim Kök Testleri**

			ADF		PP	
			Düzyey	Getiri	Düzyey	Getiri
BTC	Sabitli	t-istatistik	-1.06601	-35.8643	-1.1130	-35.9341
		Olasılık	(0.7309)	(0.0000)*	(0.7127)	(0.0000)*
	Sabitli-Trendli	t-istatistik	-1.70057	-35.8506	-1.8219	-35.9211
		Olasılık	(0.7508)	(0.0000)*	(0.6937)	(0.0000)*
ETH	Sabitli	t-istatistik	-2.12323	-35.2290	-2.1165	-35.4116
		Olasılık	(0.2356)	(0.0000)*	(0.2382)	(0.0000)*
	Sabitli-Trendli	t-istatistik	-2.08860	-35.2273	-2.1413	-35.4064
		Olasılık	(0.5511)	(0.0000)*	(0.5215)	(0.0000)*
LTC	Sabitli	t-istatistik	-2.61584	-34.3938	-2.6259	-34.4356
		Olasılık	(0.0900)	(0.0000)*	(0.0879)	(0.0000)*
	Sabitli-Trendli	t-istatistik	-2.41533	-34.4100	-2.4607	-34.4488
		Olasılık	(0.3713)	(0.0000)*	(0.3478)	(0.0000)*

\*ADF ve PP test istatistiği kritik değerleri: Sabitli için %1, %5, %10 da sırasıyla; -3.435, -2.863, -2.567. Sabitli-Trendli için %1, %5, %10 da sırasıyla; -3.965, -3.413, -3.128 dir.

Tablo 1.4 incelendiğinde ADF ve PP test istatistiği sonuçlarına göre her üç kripto para biriminin düzey değerlerinde H0 hipotezinin reddedilemediği yani serilerin birim köklü olduğu gözlenmektedir. İncelenen her bir kripto para biriminin getiri değerlerine yapılan ADF ve PP test sonuçları ise t istatistik değerlerinin kritik değerlerden büyük olduğunu dolayısıyla H0 hipotezinin reddedildiğini ve üç kripto para biriminin getirilerinin durağan olduğunu göstermektedir. ADF ve PP test sonuçları Bitcoin, Ethereum ve Litecoin serilerinin düzey değerlerinin birim köklü olması ancak getiri değerlerinin durağan olması bu piyasalarda zayıf formda piyasa etkinliğinin geçerli olduğunu göstermektedir.

Çalışmada incelenen dönem içerisinde yapısal kırılmaları da dikkate alarak durağanlığı test eden Zivot-Andrews yapısal kırılmalı birim kök testi sonuçları tablo 1.5'de verilmiştir. Tablo 1.5 incelendiğinde her bir kripto para biriminin düzey değerlerinde hem sabitli hem de sabitli-trendli modelde t-istatistik değerlerin kritik değerlerden küçük olduğu dolayısıyla boş hipotezin reddedilemediği tespit edilmiştir.

**Tablo 1.5: Zivot Andrews Yapısal Kırılmalı Birim Kök Testi**

			Zivot-Andrews	
			Düzy	Getiri
BTC	Sabitli	t-istatistik	-2.83536	-36.3099
		Kırılma tarihi	25/07/2018	19/12/2017
	Sabitli-Trendli	t-istatistik	-3.10489	-36.4353
		Kırılma tarihi	08/01/2018	19/12/2017
ETH	Sabitli	t-istatistik	-4.23460	-24.3809
		Kırılma tarihi	30/07/2018	10/01/2018
	Sabitli-Trendli	t-istatistik	-3.81650	-24.3838
		Kırılma tarihi	17/02/2020	17/12/2018
LTC	Sabitli	t-istatistik	-2.97752	-34.8176
		Kırılma tarihi	11/06/2018	19/12/2017
	Sabitli-Trendli	t-istatistik	-3.02843	-34.8637
		Kırılma tarihi	21/02/2018	19/12/2017

\*ZA test istatistiği kritik değerleri: Sabitli için %1, %5, %10 da sırasıyla; -5.34, -4.93, -4.58. Sabitli-Trendli için %1, %5, %10 da sırasıyla; -5.57, -5.08, -4.82dir.

Tablo 1.5’de kripto paraların getiri değerleri incelendiğinde ise %1, %5, %10 anlamlılık düzeyinde t-istatistik değerleri kritik değerlerden büyüktür. Dolayısıyla boş hipotez reddedilerek yapısal kırılmalı durağan süreci ifade eden alternatif hipotez reddedilememektedir. Zivot-Andrews yapısal kırılmalı birim kök testi sonucuna göre düzey değerlerinin birim köke sahip olması ve getiri değerlerinde boş hipotezin reddedilerek serilerin yapısal kırılmalı durağan sürece sahip olması bu piyasalarda zayıf formda etkinliğin geçerli olduğunu göstermektedir.

Kripto para piyasasında etkin piyasa hipotezinin geçerliliğini doğrusal formda birim kök testleri ile inceledikten sonra doğrusal olmayan formda birim kök testleri ile de incelemek gerekmektedir. Bu çerçevede duruma bağlı, zamana bağlı ve hibrid doğrusal olmayan birim kök testleri bulunmaktadır. Duruma bağlı, zamana bağlı ve hibrid doğrusal olmayan birim kök testi sonuçları sırasıyla tablo (1.6)-(1.7)-(1.8)’de gösterilmektedir.

**Tablo 1.6: Duruma Bağlı Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi**

Test	Model	BTC		ETH		LTC	
		Düzy	Getiri	Düzy	Getiri	Düzy	Getiri
<b>Enders &amp; Granger (1998)</b>	Sabit	7.1217***	1290.05	15.8315***	1257.183	8.151327***	1190.662
	Sabit-Trend	2.9528	1289.999	5.76568*	1257.117	6.071781*	1191.624
<b>KSS(2003)</b>	Sabit	1.9265	-9.8660***	1.4965	-11.709***	0.01607	-10.842***
	Sabit-Trend	0.1694	-9.8589***	-0.4426	-11.700***	-1.28872	-10.828***
<b>Sollis (2009)</b>	Sabit	2.7238	13.784***	1.8645	12.0338***	3.22157	16.9167***
	Sabit-Trend	1.4520	13.7761***	0.4691	12.0272***	3.04347	16.9914***

\*Enders&Granger test istatistiği kritik değerleri: Sabitli için %1, %5, %10 da sırasıyla; 6.41, 4.56, 3.74. Sabitli-Trendli için %1, %5, %10 da sırasıyla; 8.12, 6.08, 5.15 dir.

\*\*KSS(2003) test istatistiği kritik değerleri: Sabitli için %1, %5, %10 da sırasıyla; -3.48, -2.93, -2.66. Sabitli-Trendli için %1, %5, %10 da sırasıyla; -3.93, -3.40, -3.13 dür.

\*\*\*Sollis(2009) test istatistiği kritik değerleri: Sabitli için %1, %5, %10 da sırasıyla; 6.236, 4.557, 3.725. Sabitli-Trendli için %1, %5, %10 da sırasıyla; 8.344, 6.292, 5.372 dir.

Çalışmada incelenen dönemler arasında analize dahil edilen kripto paraların etkinliğinin ve durağanlığının sınanması için duruma bağlı doğrusal olmayan birim kök testlerinden öncelikle Enders ve Granger (1998) tarafından geliştirilen birim kök testi kullanılmıştır. Akabinde farklı yapılara sahip olan duruma bağlı doğrusal olmayan birim kök testlerinden KSS(2003) ve Sollis (2009) tarafından geliştirilen birim kök testleri kullanılmıştır. Tablo 1.6 incelendiğinde Enders ve Granger (1998) test sonuçları Bitcoin, Ethereum ve Litecoin'in düzey değerlerinde sabitli durumda test istatistik değerlerinin %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyinde, Enders ve Granger (1998) kritik değerlerinden büyük olduğunu göstermektedir. Bu durumda  $H_0$  boş hipotezi reddedilerek üç kripto para birimi için sabitli durumda birim kök içermediği yani durağan olduğu söylenebilmektedir. Değişkenlerin düzey değerlerinin sabit-trendli sonuçlarına bakıldığında ise Bitcoin'in test istatistik değerinin kritik değerlerden küçük olduğu dolayısıyla birim kök içerdiği gözlenmektedir. Ethereum test istatistik değeri ise %10 anlamlılık düzeyinde kritik değerden büyüktür. Dolayısıyla Ethereum %10 anlamlılık düzeyinde sabit-trendli modelde durağandır. Benzer şekilde Litecoin'de %10 anlamlılık düzeyinde durağandır. Her üç kripto para biriminin getiri değerlerine uygulanan Enders ve Granger (1998) birim kök testi sonuçları ise hem sabitli hem de sabitli-trendli modelde test istatistik değerlerinin kritik değerlerden büyük olduğunu dolayısıyla bu, kripto paraların getiri değerlerinde birim kök olmadığını göstermektedir. Çalışmada incelenen üç kripto para biriminin düzey değerlerinin sabitli modelde durağan olduğu, ETH ve LTC'nin sabit-trendli modelde de %10 anlamlılık düzeyinde durağan olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca sabit-trendli modelde her üç değişken %1 ve %5 anlamlılık düzeyinde birim köke sahiptir. ETH ve LTC değişkenlerinin, sabit-trendli modele göre %10 anlamlılık düzeyinde, hem düzeyde hem de getiri değerlerinde durağan olması, %1 ve %5 anlamlılık düzeyinde de her üç kripto para biriminin birim köke sahip olması bu piyasalarda zayıf formda etkinliğin geçerli olduğu konusunda net bir bilgi vermemektedir. Tablo 1.6'da gösterilen bir diğer duruma bağlı doğrusal olmayan birim kök testi olan KSS(2003) sonuçlarına göre, değişkenlerin düzey değerlerinin analize dahil edilmesi durumunda sabitli ve sabitli-trendli modelde test istatistik değerlerinin KSS(2003) kritik değerlerinden küçük olduğu gözlenmektedir. Bu durum değişkenlerin düzey değerlerinin birim kök içerdiğini yani durağan olmadığını ifade etmektedir. Çalışmada incelenen kripto para birimlerinin getiri değerleri analize dahil edildiğinde ise KSS(2003) doğrusal olmayan birim kök testi sonuçları, her bir kripto para birimi getirilerinin test istatistik değerlerinin kritik değerlerden büyük



olduğunu dolayısıyla birim kök içermediğini göstermektedir. Dolayısıyla değişkenlerin düzey değerlerinin birim köklü olup getiri değerlerinin durağan olması, hem sabit hem de sabitli-trendli modelde bu piyasalarda zayıf formda piyasa etkinliğinin geçerli olduğunu göstermektedir. Duruma bağlı doğrusal olmayan birim kök testlerinden son uygulanan Sollis (2009) test sonuçları ise, değişkenlerin düzey değerlerinde sabitli ve sabitli-trendli modelde her üç kripto para birimi test istatistiklerinin kritik değerlerden küçük olduğunu göstermektedir. Bu durum serilerin düzey değerlerinde birim kök olduğunu yani durağan olmadığını ifade etmektedir. Kripto paraların getiri değerleri analize dahil edildiğinde ise her bir kripto paranın getiri değerlerinin test istatistikleri kritik değerlerden büyüktür. Dolayısıyla kripto paraların getirileri değerleri durağanlaşmıştır. Bu test sonucuna göre de serilerin düzey değerlerinin birim köklü olup getiri değerlerinin durağan olması, bu piyasalarda zayıf formda etkin piyasa hipotezinin geçerli olduğu sonucunu göstermektedir. Kısaca tablo 1.6'da belirtilen duruma bağlı doğrusal olmayan birim kök testleri sonucuna göre KSS(2003) ve Sollis (2009) test sonuçları serilerin düzey değerlerinin birim köklü olduğunu ancak getiri değerlerinin durağan olduğunu ve bundan dolayı bu piyasalarda zayıf formda piyasa etkinliğinin geçerli olduğunu göstermektedir. Enders ve Granger (1998) sonuçlarına göre ise, değişkenlerin düzey değerlerinin sabitli modelde durağan olduğu, sabit-trendli modelde ise %1 ve %5 anlamlılık düzeyinde birim köklü olduğu tespit edilmiştir. Bu değişkenlerin getiri değerleri ise hem sabitli hem de sabit-trendli modelde durağandır. Dolayısıyla Enders ve Granger (1998) test sonuçları kripto para piyasalarının etkinliği konusunda doğru sonuç verememektedir. Sabitli model için yorumlayacak olursak bu piyasalarda etkinliğin geçerli olmadığı ancak sabitli-trendli modele göre yorumlarsan bu piyasalarda etkinliğin geçerli olduğu sonucuna varılabilir.

Çalışmada kullanılan doğrusal olmayan birim kök testlerinden zamana bağlı doğrusal olmayan birim kök testleri olan LNV(1998), SOR(2018) ve CEO(2017) test sonuçları tablo 1.7'de gösterilmektedir. Tablo 1.7'de ilk olarak LNV(1999) test sonuçları incelendiğinde, serilerin düzey değerlerinde model A, model B ve model C için serilerde birim kök olduğu dolayısıyla serilerin düzey değerlerinin durağan olmadığı tespit edilmiştir. Serilerin getiri değerleri modele dahil edildiğinde ise model A, model B ve model C için serilerin test istatistik değerlerinin kritik değerlerden büyük olduğu dolayısıyla kripto paraların getiri serilerinin durağan olduğu gözlenmektedir. Serilerin düzey değerlerinin birim köklü fakat getiri değerlerinin durağan olması bu piyasalarda zayıf formda piyasa etkinliğinin geçerli olduğunu göstermektedir.

**Tablo 1.7: Zamana Bağlı Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi**

Test	Model	BTC		ETH		LTC	
		Düzyey	Getiri	Düzyey	Getiri	Düzyey	Getiri
LNV (1998)	Model A	-2.5595	-24.872***	-3.5862	-24.127***	-1.9530	-24.561***
	Model B	-2.9140	-20.771***	-4.1427	-19.708***	-3.2861	-19.884***
	Model C	-3.1433	-20.749***	-3.0229	-19.625***	-3.9725	-19.839***
SOR (2018)	Model A	-2.10300 (1)	-25.1223 (6)	-2.9091 (2)	-24.2849 (3)	-2.5019 (3)	-24.728 (8)
	Model B	-3.11174 (3)	-25.2569 (6)	-2.6320 (3)	-24.4135 (3)	-2.7855 (3)	-24.845 (5)
	Model C	-2.53039 (6)	-25.3079 (6)	-2.5576 (1)	-24.5231 (3)	-2.9778 (3)	-24.893 (3)
CEO (2017)	Model A	-2.30447	-18.92979***	-4.07225*	-19.78848***	-4.34256**	-19.77496***
	Model B	-3.92988	-18.92881***	-3.79139	-19.78984***	-3.84563	-19.77638***
	Model C	-3.98556	-17.96905***	-3.79096	-19.76453***	-3.84563	-19.48687***

\*LNV(1998) test istatistiği kritik değerleri: Model A için %1, %5, %10 da sırasıyla; -4.685, -4.103, -3.797. Model B için %1, %5, %10 da sırasıyla; -5.141, -4.565, -4.277. Model C için %1, %5, %10 da sırasıyla; -5.420, -4.825, -4.552 dir.

\*\*CEO(2017) test istatistiği kritik değerleri: Model A için %1, %5, %10 da sırasıyla; -4.810, -4.271, -3.976. Model B için %1, %5, %10 da sırasıyla; -5.328, -4.766, -4.494. Model C için %1, %5, %10 da sırasıyla; -5.592, -5.036, -4.738 dir.

Zamana bağlı doğrusal olmayan birim kök testlerinden SOR (2018) test sonuçları, elde edilen frekans değerlerine göre model A, model B ve model C için serilerin düzeyde test istatistik değerlerinin kritik değerlerden küçük olduğu dolayısıyla birim kök olduğu ancak getirilerinde test istatistik değerlerinin kritik değerlerden büyük olduğu ve böylece birim kök olmadığı yani serilerin getiri değerlerinin durağan olduğunu belirtmektedir. SOR(2018) test sonuçları da her bir model için kripto para piyasalarında zayıf formda piyasa etkinliğinin geçerli olduğunu göstermektedir. Zamana bağlı doğrusal olmayan birim kök testlerinden son olarak uygulanan CEO(2017) test sonuçlarına göre ise, Bitcoin'in düzey değerleri için model A, B ve C'de birim kök vardır. Ethereum'un düzey değerleri için model A'ya göre %10 düzeyinde durağan olduğu ancak model B ve C'de birim köklü olduğu gözlenmektedir. Litecoin düzey değeri ise model A'da %5 anlamlılık düzeyinde durağandır. Model B ve C'de bu seri birim köke sahiptir. Tablo 1.7'de serilerin getiri değerleri analize dahil edildiğinde test istatistik değerlerin kritik değerlerden büyük olduğu ve bu serilerin birim kök içermediği yani durağan olduğu gözlenmektedir. CEO(2017) test sonuçları, bu piyasaların etkinliğinin analizde kullanılan modele ve baz alınan anlamlılık düzeyine göre değiştiğini belirtmektedir. Kısaca zamana bağlı doğrusal olmayan birim kök testlerinde LNV(1998) ve SOR (2018) sonuçlarına göre kripto para piyasalarında etkinliğin geçerli olduğu ancak CEO (2017) sonuçlarının bu piyasalarda etkinliğin kullanılan modele göre değiştiğini ifade etmektedir.

Hibrid doğrusal olmayan birim kök testleri olan OY(2018) LNV-KSS, OHEb(2018) Fourier-AESTAR ve OSHA(2020) ESTAR-KSS test sonuçları tablo 1.8'de

gösterilmiştir. Tablo 1.8’de ilk olarak OY(2018) LNV-KSS test sonuçları incelendiğinde, model A için Bitcoin’in düzey değerinin test istatistiği %1, %5 ve %10 kritik değerlerden küçüktür. Dolayısıyla model A’da Bitcoin’in düzey değerlerinde birim kök vardır, Ethereum test istatistik değeri %10 kritik değerden, Litecoin test istatistik değeri ise %1, %5 ve %10 kritik değerden büyüktür. Serilerin düzey değerlerinde model A için Ethereum ve Litecoin piyasalarında birim kök olmadığı yani serilerin durağan olduğu gözlenmektedir. Model B incelendiğinde, Bitcoin düzey değerinin test istatistiği %5 anlam düzeyinden büyüktür. Bu durum model B de Bitcoin’in düzey değerinin durağan olduğunu göstermektedir. Ethereum test istatistiği tüm kritik değerlerden küçüktür dolayısıyla birim kök vardır. Litecoin test istatistik değeri ise tüm kritik değerlerden büyüktür. Bundan dolayı Litecoin serisi için birim kök olmadığı yani durağan olduğu söylenebilmektedir. Değişkenlerin düzey değerlerinin alındığı son model olan model C’de ise Bitcoin ve Litecoin serilerinin test istatistik değerleri tüm kritik değerlerden büyüktür ve bu serilerde birim kök yoktur. Model C de Bitcoin ve Litecoin serileri durağandır. Ethereum serisinin test istatistik değeri ise %5 anlam düzeyinden büyüktür. Dolayısıyla Ethereum serisi için de birim kök olmadığı sonucuna varılabilir. OY(2018) LNV-KSS test sonuçlarında kripto para birimlerinin getiri değerleri incelendiğinde ise tüm modellerde her bir serinin test istatistik değerlerinin tüm kritik değerlerden büyük olduğu gözlenmektedir. Bu durum, kripto paraların getiri serilerinin durağan olduğunu ancak bu piyasalarda zayıf formda etkin piyasa hipotezinin geçerli olup olmadığının analizde kullanılan modele bağlı olarak değiştiğini ifade etmektedir.

**Tablo 1.8: Hibrid Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi**

		BTC		ETH		LTC	
Test	Model	Düzyey	Getiri	Düzyey	Getiri	Düzyey	Getiri
OY (2018) LNV-KSS	Model A	-2.66194	-13.8698	-3.6236 <sup>e</sup>	-11.9287	-5.26445 <sup>***</sup>	-11.9287
	Model B	-4.46344 <sup>***</sup>	-13.9812	-2.3298	-12.0880	-4.86937 <sup>***</sup>	-12.0880
	Model C	-6.09609 <sup>***</sup>	-13.9939	-4.6297 <sup>**</sup>	-11.0384	-6.71616 <sup>***</sup>	-11.0384
OEhb (2018)	Sabit	0.3463 (3)	-9.8922 (3) <sup>***</sup>	-0.7881 (3)	-11.7888 (1) <sup>***</sup>	-1.45111 (3)	-10.8981 (3) <sup>***</sup>
	Sabit-Trend	-2.230 (1)	-9.8820 (3) <sup>***</sup>	-2.1730 (1)	-11.6791 (1) <sup>***</sup>	-2.46487 (1)	-10.9210 (3) <sup>***</sup>
OSHa (2020) ESTR-KSS	Model A	-1.19970	-11.7137	-0.16136	-11.2579	-4.11888 <sup>**</sup>	-10.6600
	Model B	-5.15301 <sup>***</sup>	-13.9476	-3.57660	-10.8356	-2.95528	-10.9078
	Model C	-5.15977 <sup>***</sup>	-13.9514	-3.59857 <sup>*</sup>	-10.8483	2.93195	-10.9281

<sup>e</sup>OY(2018) LNV-KSS test istatistiği kritik değerleri: Model A için %1, %5, %10 da sırasıyla; -4.412, -3.801, -3.489. Model B için %1, %5, %10 da sırasıyla; -4.757, -4.180, -3.879. Model C için %1, %5, %10 da sırasıyla; -4.969, -4.370, -4.053 dür.

<sup>\*\*</sup>OEhb(2018) test istatistiği kritik değerleri: Sabit için %1, %5, %10 da k=1 için sırasıyla; 9.99, 7.67, 6.59, k=3 için sırasıyla; 8.08, 5.84, 4.86. Sabit-trend için %1, %5, %10 da k=1 için sırasıyla; 11.21, 8.70, 7.51, k=3 için sırasıyla; 9.78, 7.31, 6.15 dir.

<sup>\*\*\*</sup>OSHa(2020) ESTR-KSS test istatistiği kritik değerleri: Model A için %1, %5, %10 da sırasıyla; -4.453, -3.841, -3.518. Model B için %1, %5, %10 da sırasıyla; -4.748, -4.147, -3.846. Model C için %1, 5, %10 da sırasıyla; -4.423, -3.715, -3.374 dür.

Hibrid doğrusal olmayan birim kök testlerinden OEHB(2018) test sonuçlarına göre de değişkenlerin düzey değerlerinde hem sabitli hem de sabitli-trendli de test istatistik değerleri kritik değerlerden küçüktür. Dolayısıyla  $H_0$  hipotezi reddedilememektedir ve serilerin düzey değerlerinde birim kök vardır. Kripto paraların getiri değerleri analize dahil edildiğinde ise sabitli ve sabitli-trendli modelde test istatistik değerleri tüm kritik değerlerden büyüktür ve  $H_0$  hipotezi reddedilmektedir. Dolayısıyla getiri serilerinde birim kök yoktur yani seriler durağandır. OEHB(2018) test sonuçları da serilerin düzeyde birim köklü olması ve getiri değerlerinde durağan olması, bu piyasalarda zayıf formda etkinliğin geçerli olduğunu göstermektedir. Hibrit doğrusal olmayan birim kök testlerinden son olarak uygulanan OSHA(2020) ESTAR-KSS test sonuçları ise, model A için Bitcoin ve Ethereum kripto paralarının düzey değerlerinin test istatistiklerinin kritik değerlerden küçük olduğunu ve  $H_0$  hipotezinin reddedilemediğini göstermektedir. Dolayısıyla model A için serilerin düzey değerlerinde birim kök olduğu yani serilerin durağan olmadığı tespit edilmiştir. Ancak Litecoin değişkeninin test istatistik değeri %5 kritik değerden büyüktür. Bu durumda  $H_0$  hipotezi reddedilmekte ve bu seride birim kök olmadığı yani serinin durağan olduğu gözlenmektedir. Model B sonuçlarına göre sadece Bitcoin değişkeninin test istatistik değerinin kritik değerlerden büyük olduğu, Ethereum ve Litecoin değişkenlerinin test istatistik değerlerinin kritik değerlerden küçük olduğu gözlenmektedir. Bu sonuç, Bitcoin değişkeninin düzeyde durağan olduğunu gösterirken Ethereum ve Litecoin değişkenlerinde birim kök olduğunu göstermektedir. Model C de ise, Bitcoin serisine ait test istatistik değeri tüm kritik değerlerden büyüktür ve  $H_0$  reddedilmektedir. Bu durum Bitcoin serisinin düzeyde durağan olduğunu göstermektedir. Ethereum test istatistik değeri %10 kritik değerden büyüktür ve  $H_0$  reddedilmektedir. Böylece Ethereum serisinin durağan sonucuna varılmıştır. Son olarak değişkenlerin düzey değerlerinin incelendiği model C'de, Litecoin test istatistik değerinin kritik değerlerden küçük olduğu ve dolayısıyla  $H_0$  hipotezinin reddedilemediği gözlenmektedir. Bu durum Litecoin serisinde birim kök olduğunu yani serinin durağan olmadığını ifade etmektedir. OSHA(2020) ESTAR-KSS test sonuçlarında kripto paraların getirilerinin hesaplandığı durumda ise, her bir modelde de kripto para getiri serilerinin test istatistik değerlerinin tüm kritik değerlerden büyük olduğu ve  $H_0$  hipotezinin reddedildiği tespit edilmiştir. Böylece kripto paraların getiri serileri durağandır. OSHA(2020) test sonuçları da serilerin düzey değerlerinde durağanlık durumunun kullanılan modele göre değiştiğini

ve bundan dolayı bu piyasalarda etkinliğin geçerli olup olmadığının kullanılan modele göre belirlenebileceğini göstermiştir.

Son olarak GARCH birim kök testleri tablo 1.9'da gösterilmiştir. GARCH birim kök testinde Schwarz bilgi kriterinin Akaike bilgi kriterine göre daha güçlü sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak ise AIC bilgi kriterinin yüksek boyutlu gerçekliğe sahip bilinmeyen bir model bulmaya ve dolayısıyla AIC'deki modellerin gerçek modeller olmadığı, SIC kriterinin sadece gerçek moodellerle karşılaştığı söylenebilir. AIC, tahmin edilen herhangi istatistiksel modelin uyum iyiliğinin göstergesi olarak adlandırılırken SIC, farklı sayıda parametreye sahip bir grup parametrik model arasında seçim yapmaktadır. Dolayısıyla SIC bilgi kriterleri AIC bilgi kriterlerine göre daha tutarlıdır. Bundan dolayı çalışmada SIC bilgi kriteri dikkate alınarak test sonuçlarına ulaşılmıştır.

**Tablo 1.9: GARCH Birim Kök Testi Sonuçları**

GARCH Birim Kök Test Sonuçları	
<i>BTC Düzey</i>	<i>BTC Getiri</i>
-2.80373	-20.31604
<i>ETH Düzey</i>	<i>ETH Getiri</i>
-3.11455	-19.39905
<i>LTC Düzey</i>	<i>LTC Getiri</i>
-3.75782	-21.12161

GARCH (1,1) için %5 anlam düzeyinde değişkenlerin düzey ve getiri sonuçları için  $t_{\beta}$  kritik değerleri sırasıyla -2.732 ve -2.822 dir.  $t_{\beta}(bw)$  kritik değerleri ise düzey ve getiri sonuçları için sırasıyla -2.756 ve -2.846 dir.

Tablo 1.9 incelendiğinde üç kripto para değişkeninin düzey değerlerinin test istatistik sonuçları %5 anlam düzeyinde kritik değerden büyük olduğu gözlenmektedir. Dolayısıyla GARCH birim kök testi sonuçlarına göre değişkenler düzey değerlerinde durağandır. Bir piyasada etkinliğin geçerli olabilmesi için değişkenlerin düzey değerlerinde birim köklü, getiri değerlerinde ise durağan olmasını bekleriz. Bu test sonucuna göre değişkenlerin düzey değerlerinde durağan çıkması bu piyasalarda zayıf formda etkinliğin geçerli olmadığını göstermektedir. Bu sonuç finansal piyasalar için özellikle kripto para piyasaları için yapılacak analizlerde GARCH etkisinin gözardı edilmemesi gerektiğini göstermektedir.

Piyasaların zayıf formda etkinliğini ve rassal yürüyüş özelliğini ölçmek için kullanılan diğer yöntem olan varyans oran testi sonuçları ise tablo 1.10 ve 1.11'de gösterilmektedir. Tablo 1.10 değişkenlerin düzey değerlerine uygulanan varyans oran testi sonuçlarını, tablo 1.11 ise değişkenlerin getiri değerlerine uygulanan varyans oran testi sonuçlarını göstermektedir. Tablo 1.10 incelendiğinde Bitcoin için  $H_0$  hipotezinin reddedilemediği yani varyanslar arasında anlamlı bir fark olmadığı sonucuna varıldığı gözlenmektedir. Bu durum Bitcoin fiyat hareketinin rassal yürüyüş özelliği gösterdiğini

belirtmektedir. Ethereum değişkeninin varyans oran testi sonuçları ise  $H_0$  hipotezinin %5 anlam düzeyinde reddedildiğini ve varyanslar arasında anlamlı bir fark olduğunu göstermektedir. Ethereum piyasasında fiyat hareketlerinin rassal yürüyüş göstermediği sonucuna varılmıştır.

**Tablo 1.10: Kripto Paraların Düzey Değerleri için Varyans Oran Testi Sonuçları**

<b>Bitcoin</b>							
	Varyans oranı	Std.Hata	z-istatistik	Olasılık	Max  z  (20 periyod)	Joint Test	Olasılık
2	0.989504	0.036540	-0.287241	0.7739		1.636232	0.3491
5	1.057183	0.078962	0.724182	0.4690			
10	1.124827	0.119295	1.046368	0.2954			
20	1.273185	0.166960	1.636232	0.1018			
<b>Ethereum</b>							
	Varyans oranı	Std.Hata	z-istatistik	Olasılık	Max  z  (20 periyod)	Joint Test	Olasılık
2	1.007475	0.038224	0.195552	0.8450		2.893975	0.0151
5	1.107556	0.082652	1.301313	0.1932			
10	1.222347	0.121549	1.829285	0.0674			
20	1.487004	0.168282	2.893975	0.0038			
<b>Litecoin</b>							
	Varyans oranı	Std.Hata	z-istatistik	Olasılık	Max  z  (20 periyod)	Joint Test	Olasılık
2	1.031451	0.049950	0.629646	0.5289		1.441170	0.4769
5	1.104154	0.097061	1.073079	0.2832			
10	1.140165	0.135976	1.030805	0.3026			
20	1.264656	0.183640	1.441170	0.1495			

Tablo 1.10'da son olarak Litecoin değişkeni için varyans oran testi sonuçları incelendiğinde,  $H_0$  hipotezinin reddedilemediği, dolayısıyla varyanslar arasında anlamlı bir fark olmadığı ve fiyat hareketlerinin rassal yürüyüş özelliği gösterdiği tespit edilmiştir.

Çalışmada incelenen kripto paraların getiri değerlerinin varyans oran testi sonuçlarının gösterildiği tablo 1.11 incelendiğinde ise üç kripto para biriminin getiri değerlerinde  $H_0$  hipotezinin reddedildiği yani varyansları arasında anlamlı bir fark olduğu gözlenmektedir. Kripto paraların getiri değerlerinin varyans oran testi sonuçlarına göre bu kripto paraların fiyat hareketlerinin rassal yürüyüş özelliği göstermediği tespit edilmiştir. Varyans oran testine göre Ethereum dışında diğer kripto paraların düzey değerlerinde rassal yürüyüş özelliği gösterdiği ancak getiri değerlerinin rassal yürüyüş özelliği göstermediği, dolayısıyla Bitcoin ve Litecoin piyasalarında zayıf formda etkinliğin geçerli olduğu sonucuna varılmıştır.

**Tablo 1.11: Kripto Paraların Getiri Değerleri için Varyans Oran Testi Sonuçları**

<b>Bitcoin</b>							
	<b>Varyans oranı</b>	<b>Std.Hata</b>	<b>z-istatistik</b>	<b>Olasılık</b>	Max $ z $ (2 periyod)	<b>Joint Test</b>	<b>Olasılık</b>
2	0.483704	0.062761	-8.226395	0.0000		8.226395	0.0000
5	0.203617	0.116041	-6.862963	0.0000			
10	0.095743	0.154526	-5.851798	0.0000			
20	0.050438	0.196638	-4.828972	0.0000			
<b>Ethereum</b>							
	<b>Varyans oranı</b>	<b>Std.Hata</b>	<b>z-istatistik</b>	<b>Olasılık</b>	Max $ z $ (2 periyod)	<b>Joint Test</b>	<b>Olasılık</b>
2	0.477319	0.059944	-8.719493	0.0000		8.719493	0.0000
5	0.200749	0.112422	-7.109387	0.0000			
10	0.100437	0.150729	-5.968093	0.0000			
20	0.053142	0.193688	-4.888566	0.0000			
<b>Litecoin</b>							
	<b>Varyans oranı</b>	<b>Std.Hata</b>	<b>z-istatistik</b>	<b>Olasılık</b>	Max $ z $ (2 periyod)	<b>Joint Test</b>	<b>Olasılık</b>
2	0.506061	0.059452	-8.308233	0.0000		8.308233	0.0000
5	0.213390	0.110944	-7.090136	0.0000			
10	0.100628	0.150866	-5.961379	0.0000			
20	0.052059	0.196792	-4.816975	0.0000			

## 1.5. SONUÇ

Paranın tarih boyunca finansal dönüşüm sürecine girerek dijitalleşmesi, teknolojinin gelişmesi, bilgisayar kullanımının artması ve uluslararası ticaret ve finansın aşırı genişlemesi sonucu paranın dijitalleşme süreci gerçekleşmiştir. Paranın dijitalleşmesi, transferler maliyetlerinin yüksek olmasına ve güvenlik sorunu gibi durumların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu aşamada bireyler ödemelerini daha az maliyetle ve hızlı bir şekilde gerçekleştirebilecekleri, ödemelerini güven ortamında yapabilecekleri alternatif sistem arayışına girmişlerdir. Ayrıca 2008-2009 finansal kriz sonrasında finans piyasalarının çökmesi insanların finans sektörüne bakış açısını değiştirmiş bankalara duyulan güven azalmıştır. Dolayısıyla daha fazla güvene dayalı bir elektronik ödeme sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaçlar ve gelişmeler çerçevesinde yeni bir dijital para kavramı ortaya çıkmıştır. Bu yeni dijital para kavramı ise kripto para birimleri olarak adlandırılmaktadır.

İlk kripto para birimi 2008 yılında Satoshi Nakamoto tarafından yayınlanan “Peer to Peer Elektronik Cash System” (Eşler Arası Elektronik Nakit Sistemi) adlı çalışma ile ortaya atılmıştır ve Bitcoin olarak adlandırılmıştır. Bitcoin merkezi otoriteden bağımsız olarak üretilen, internet ortamından yapılan ve üçüncü kişilere ihtiyaç duymadan düşük maliyetle ve hızlı bir şekilde transferlerin yapılmasına imkan tanıyan bir kripto para birimidir. Zaman içerisinde Bitcoin’in kabul edilebilirliğinin artması kripto para dünyasında çok sayıda yeni kripto paraların ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Kripto paralar piyasa çıktığı günden itibaren hem piyasa değeri hem de işlem hacmi bakımından oldukça değerlendirilmiş ve günümüze kadar yaygınlaşmıştır. Özellikle 2019 yılında başlayan Covid-19 sürecinde para alanında dijitalleşme hız kazanmış ve kripto paralarda ani artışlar gözlenmiştir. Kripto paraların popüleritesinin artması ve zamanla çok sayıda alt coinlerin piyasaya girmesi yatırımcıların ve araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Çoğu yatırımcı ve araştırmacılar kripto para fiyatlarının oynaklıklarının yüksek olduğuna değinmişler ancak bu paraların tanımı konusunda fikir birliği sağlanamamıştır. İlk zamanlarda kripto para birimlerine spekülasyon amaçlı kullanılabileceği bakış açısı geçerliken son zamanlarda kripto paralara, finansal varlıklar için portföy çeşitlendiricisi olabileceği, kriz dönemlerinde güvenli liman olabileceği şeklinde bir bakış açısı gelişmiştir. Bu çerçevede literatürde kripto paraların varlık olarak görülebilmesi üzerine çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Hem yatırımcılar hem de araştırmacılar açısından ilgi konusu olan kripto para piyasalarının



yeni bir varlık olarak nitelendirilebileceği, bu piyasaların geleceğinin tahmin edilememesi ve bu piyasaya sürekli yeni alt coinlerin girmesi, kripto para piyasalarında etkinliğin geçerli olup olmadığı konusunu gündeme getirmiştir. Eğer bu piyasalar yeni bir varlık sınıfı olarak nitelendirilebiliyorsa bu durumda piyasanın etkinliği yatırımcı açısından oldukça önemlidir. Dolayısıyla bu çerçevede kripto para piyasalarında etkin piyasa hipotezinin geçerli olup olmadığı test edilmesi gerekmektedir.

Fama (1970) tarafından geliştirilen ve finans literatüründe yer alan “Etkin Piyasa Hipotezi (EPH)”, piyasadaki tüm bilgilerin anında ve tam olarak menkul kıymet fiyatlarına yansıdığı bir piyasa olarak tanımlanmaktadır. EPH’nin geçerli olduğu piyasalarda özellikle bilgi etkinliği oldukça önemlidir. Menkul kıymet fiyatlarının açıklanan yeni bilgilere göre oluştuğunu ve bundan dolayı yatırımcıların mevcut bilgiyi kullanarak normal üstü kar elde edemeyecekleri savunulmaktadır. Fama (1970), EPH’ni yatırımcıların rasyonel olması, faydalarını maksimize etmeyi amaçlamaları ve bilgilerin tam ve doğru olması varsayımına dayandırmaktadır. Ayrıca piyasada etkinliğin geçerli olabilmesi için fiyatların rassal hareket etmesi gerekmektedir.

Fama (1970), finansal piyasalarda etkinliği “bilgi etkinliği, faaliyet etkinliği ve kaynak dağıtım etkinliği” olmak üzere üç farklı etkinlik olarak incelemiştir. Bilgi etkinliği, piyasadaki mevcut tüm bilgilerin anında ve tam olarak menkul kıymet fiyatlarına yansımastır. Faaliyet etkinliği, piyasadaki işlem maliyetlerinin rekabete dayalı olarak belirlenmesidir. Kaynak dağıtım etkinliği ise piyasalarda kaynakların her zaman optimum dağılımı şeklinde tanımlanmaktadır. Fama, ayrıca bilgi etkinliğini üç grupta incelemiştir. Bunlardan birincisi “zayıf formda piyasa” etkinliğidir. Bu etkinlik türü menkul kıymetlerin geçmiş bilgilerinin fiyatlara yansımış olduğu durumu ifade etmektedir. İkincisi “yarı-güçlü formda piyasa” etkinliğidir. Yarı güçlü formda piyasa etkinliği, kamuya açıklanan tüm bilgilerin menkul kıymet fiyatlarına yansımış olduğu durumdur. Üçüncüsü ise “güçlü formda piyasa” etkinliğidir. Bu etkinlik türü ise kamuya açıklanan bilgilerin yanısıra firma içi bilgilerin de menkul kıymet fiyatlarına yansımış olduğu durumdur. Bu bilgiler çerçevesinde piyasanın etkin olup olmadığının belirlenebilmesi için bu hipotezin test edilebilir olması gerekmektedir. Hipotezin test edilebilir olması için de fiyat oluşum sürecinin detaylı şekilde açıklanması gerekmektedir. Fama (1970), fiyat oluşum sürecini ve bilginin aktarılması için “beklenen getiri, martingale ve rassal yürüyüş” modellerini geliştirmiştir.

Bu bilgiler çerçevesinde kripto para piyasalarının etkinliğinin araştırıldığı bu çalışmada, literatürde en çok üzerinde durulan piyasa etkinliği olması ve özellikle kripto

para piyasaları için henüz diğer etkinlik türlerinin geçerli olmaması bilgisinden yola çıkarak, kripto para piyasaları için zayıf formda piyasa etkinliğinin geçerliliği incelenmiştir. Bu doğrultuda çalışmada, kripto para piyasalarında zayıf formda etkinliğin geçerli olup olmadığı ve bu piyasaların rassal yürüyüş özelliği gösterip göstermediği, doğrusal, yapısal kırılmalı, doğrusal olmayan ve genelleştirilmiş otoregresif değişen varyanslı birim kök testleri ile varyans oran testi kullanılarak incelenmiştir. Kripto para piyasalarında zayıf formda etkinliğin incelenmesi için çalışmada kullanılan değişkenler Bitcoin, Ethereum ve Litecoin'dir. Bu değişkenler, piyasaya ilk çıkan ve piyasa değeri ile işlem hacmi açısından ilk sıralarda yer alan kripto para birimleridir. Çalışmada 02/01/2017-29/10/2021 dönemleri arasında bu üç kripto para piyasalarının etkinliği incelenmiştir.

Doğrusal birim kök testleri kapsamında Genişletilmiş Dickey Fuller (ADF)-Phillips Peron (PP) ve Zivot-Andrews (ZA) testleri kullanılmıştır. Doğrusal olmayan birim kök testleri kapsamında duruma bağlı, zamana bağlı ve duruma ve zamana (Hibrit) bağlı birim kök testleri kullanılmıştır. Duruma bağlı doğrusal olmayan birim kök testleri; Enders ve Granger (1998), KSS(2003), Sollis (2009), zamana bağlı doğrusal olmayan birim kök testleri; LNV (1999), SOR (2018), CEO (2017) ve hem zamana hem duruma bağlı doğrusal olmayan birim kök testleri ise OY (2018) LNV-KSS, OHEb (2018) Fourier-AESTAR ve OSHA (2020) ESTR-KSS testleridir. Ayrıca genelleştirilmiş otoregresif değişen varyans birim kök testi olan GARCH birim kök testi kullanılmıştır.

Çalışmada öncelikle serilerin tanımlayıcı istatistiklerine değinilmiştir. Ayrıca üç kripto paraların hem düzey değerleri hem de getiri değerleri incelenmiştir. Serilerin tanımlayıcı istatistik sonuçlarına göre BTC düzey değeri için zayıf formda etkinlik koşulunun sağlandığı ancak ETH ve LTC düzey değerleri için zayıf formda etkinliğin sağlanmadığı tespit edilmiştir. Çalışmada uygulanan doğrusal birim kök testlerinden ADF ve PP test sonuçlarına göre, her üç kripto para biriminin düzey değerlerinde birim kök olduğu ancak getiri değerlerinde durağan olduğu gözlenmiştir. ZA yapısal kırılmalı birim kök testi sonuçlarına göre ise üç kripto para birimin düzeyde birim köklü olduğu ancak getiri değerlerinin yapısal kırılmalı durağan süreci ifade ettiği tespit edilmiştir. Bir piyasada zayıf formda etkinliğin geçerli olabilmesi için serilerin düzeyde birim köklü, getiri değerlerinde (yani birinci farklarında) ise durağan olması beklenmektedir. Çalışmada uygulanan doğrusal birim kök testleri sonucunda göre kripto para piyasalarında zayıf formda etkinliğin geçerli olduğu söylenebilmektedir.

Doğrusal olmayan birim kök testlerinden EG (1998) test istatistik sonuçlarına göre sabitli modelde BTC, ETH ve LTC değişkenleri düzeyde durağandır. Sabit-trendli modelde ise BTC düzey değerlerinin birim köke sahip olduğu, ETH ve LTC'nin %1 ve %5 anlamlılık düzeyinde birim köklü olduğu tespit edilmiştir. Ancak %10 anlamlılık düzeyinde ETH ve LTC düzey değerinde durağandır. Üç kripto para biriminin getiri değerlerinin ise hem sabitli hem de sabit-trendli modelde durağan olduğu tespit edilmiştir. Duruma bağlı doğrusal olmayan birim kök testlerinden KSS (2003) ve Sollis (2009) test sonuçlarına göre, her üç kripto para biriminin düzey değerlerinin birim köke sahip olduğu, getiri değerlerinin ise durağan olduğuna ulaşılmıştır. Zamana bağlı doğrusal olmayan birim kök testlerinden LNV (1998) ve SOR (2018) test sonuçları da, her üç kripto para biriminin düzey değerlerinin birim köke sahip olduğunu ancak getiri değerlerinin durağan olduğunu göstermektedir. Hibrid doğrusal olmayan birim kök testlerinden OEHb(2018), test sonuçları her üç kripto para biriminin düzeyde birim köklü olduğunu ancak getiri değerlerinde serilerin durağan olduğunu göstermektedir. OSHa(2020) test istatistiğinde, model C'nin kullanılması durumunda %5 anlamlılık düzeyinde tüm kripto para birimleri düzey değerlerinde birim köke sahiptir. Getiri değerlerinde seriler durağanlaşmaktadır. OY (2018) test sonuçları ise diğer birim kök test sonuçlarından farklı olarak model C'de her üç kripto para biriminin düzey değerleri birim köklü değildir. Yani seriler model C'de düzeyde durağandır.

Kripto para piyasasında zayıf formda piyasa etkinliğinin geçerli olabilmesi için serilerin düzeyde birim köklü olması ancak getiri değerlerinde durağan olması gerekmektedir. Çalışmada yapılan doğrusal ve doğrusal olmayan test sonuçlarına göre üç kripto para biriminin düzeyde birim köklü olduğu ancak getiri değerlerinde durağanlaştığı gözlenmektedir. Ancak EG (1998), OY (2018), CEO(2017) ve OSHb(2020) test sonuçları, serilerin düzeyde durağan olduğu durumları tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu dört doğrusal olmayan birim kök testleri dışında diğer birim kök testleri sonuçlarına göre kripto para piyasalarında zayıf formda piyasa etkinliğinin geçerli olduğu sonucuna varılmıştır. EG (1998), OY(2018), CEO(2017) ve OSHb(2020) test sonuçları ise kripto para piyasalarında zayıf formda etkinliğin analizde kullanılan modele ve baz alınan anlamlılık düzeyine göre değiştiği sonucunu ortaya koymuştur. Bu durum BTC, ETH ve LTC piyasalarında 02/01/2017-29/10/2021 dönemleri arasında zayıf formda etkinliğin geçerli olmadığını ifade etmektedir. Zamana ve duruma bağlı (Hibrid) doğrusal olmayan test sonuçları bu dönemler arasında BTC, ETH ve LTC değişkenlerinde meydana gelen yapısal kırılmaların geçici ve rejimler arası geçişin

yumuşak olduğunu, ayrıca bu değişkenlerde asimetrik etkilerin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Bu sonuç, değişkenlerin hibrid doğrusal olmayan testlere karşı duyarlı olduğunu ve finansal verilerin analizlerinde hibrid testlerinin kullanılmasının daha güvenilir sonuçlar verebileceğini belirtmektedir. Hibrid doğrusal olmayan birim kök testlerinin hem duruma hem de zamana bağlı testleri içermesi, kullanılan tekniğin etkinliği ve doğruluğunun daha güvenilir olduğunu göstermektedir. Bu test yöntemi hem asimetrik etkileri dikkate alması hem de yapısal kırılmalarda iki farklı durumu yakalaması açısından önemlidir. Yani Hibrid doğrusal olmayan birim kök testi sonucu, kripto para piyasalarının hem duruma hem de zamana bağlı olaylara karşı duyarlı olduğunu göstermektedir. Yapısal kırılma açısından yakalanan iki farklı durum; para politikası kararları ve krizlerdir. Çalışmada incelenen dönemler arasında kullanılan kripto para piyasalarında meydana gelen yapısal kırılmalar, hem para politikası kararları hem de ülkelerde yaşanan krizler sonucunda gerçekleşmektedir.

Birim kök testlerinden son olarak uygulanan GARCH birim kök testi ise çalışmada uygulanan diğer birim kök testlerinin tersi bir sonuç vermiştir. GARCH birim kök testi sonucuna göre değişkenler düzeyde durağandır. Dolayısıyla bu piyasalarda etkinlik söz konusu değildir. Bu sonuç çalışmada kullanılan üç kripto para biriminin kendilerine ait bir yapıda olduklarını ve öngörülebilir olduklarını göstermektedir. Getiri değerlerinin ise yüksek olması diğer birim kök testlerine göre bu testin daha güçlü sonuçlar verdiğini göstermektedir. Dolayısıyla özellikle kripto para piyasaları için yapılacak analizlerde GARCH etkisinin dikkate alınmasının daha doğru sonuçlara ulaştıracağı söylenebilir.

02/01/2017-29/10/2021 dönemleri arasında BTC, ETH ve LTC piyasalarında zayıf formda etkinliğin geçerli ve geçersiz olduğunu tespit eden çalışmaların tablolaştırılmış hali aşağıda gösterilmektedir.

**Tablo 1.12: Kripto Para Piyasalarında Etkinliğin Genel Gösterimi**

Testler	Zayıf formda etkinlik geçerli	Zayıf formda etkinlik geçerli değil
Doğrusal birim kök testleri	ADF PP ZA	
Doğrusal olmayan birim kök testleri	KSS (2003)	
	Sollis (2009)	
	LNV (1998)	
	SOR (2018)	
	OEHB (2018)	
		EG (1998)
		CEO (2017)
Volatilité durumunu dikkate alan birim kök testi		OY (2018) LNV-KSS
		OSHa (2020) ESTR-KSS
		GARCH Birim Kök Testi

Serilerin rassal yürüyüş özelliği gösterip göstermediğini sınyan varyans oran testi sonuçları ise serilerin düzey değerlerinde BTC ve LTC için boş hipotezin reddedilemediğini, ETH değişkeni için boş hipotezin reddedildiğini göstermektedir. Serilerin getiri değerlerinin varyans oran testi sonucuna göre ise her üç kripto para biriminin boş hipotezinin reddedildiği yani varyanslar arasında anlamlı bir fark olduğu tespit edilmiştir. Varyans oran testi sonuçlarına göre serilerin düzey değerlerinde ETH dışında diğer değişkenlerin rassal yürüyüş özelliği gösterdiği ancak getiri değerlerinin rassal yürüyüş özelliği göstermediği tespit edilmiştir. Dolayısıyla varyans oran testi sonucuna göre BTC ve LTC piyasalarında zayıf formda etkinliğin geçerli olduğu ve bu piyasalarda fiyatların rassal hareket ettiği söylenebilmektedir.

Çalışmada doğrusal ve doğrusal olmayan birim kök testlerinden elde edilen sonuçlar, literatürde yapılan birçok çalışma ile aynı sonuçların olduğunu göstermektedir. Kripto para piyasalarında etkinliğin incelendiği ilk çalışma Urguhart (2016), çalışmasında ele aldığı dönemler arasında BTC piyasasında etkinliğin olmadığını ancak zamanla bu piyasanın etkin olma yolunda ilerleyebileceğini belirtmektedir. Tran ve Leirvik (2020) ve Jun Kim ve Y.Park (2022) çalışması da Urguhart (2016) ile aynı sonuçları elde etmiş ve çalışmalarında inceledikleri kripto para piyasalarında zaman içerisinde etkinliğin gerçekleşeceğini ifade etmişlerdir. Ayrıca Jun Kim ve Y.Park (2022), kripto paraların fiyat seviyesi yükseldikçe bu piyasaların etkin hale geleceğini belirtmiştir. Akabinde yapılan Nadarajah ve Chu (2017), Hawaldar vd.,(2019), Kang vd., (2021), Apopo ve Phiri (2021) ve Souza ve Carvalho (2023) çalışmaları ise kripto para fiyatlarının rassal yürüyüş özelliği gösterdiğini ve bu piyasalarda zayıf formda etkinliğin geçerli olduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışmada da yapılan analizler ve incelenen dönemler arasında BTC, ETH ve LTC fiyatlarının rassal yürüyüş özelliği gösterdiği ve bu piyasalarda zayıf formda etkin piyasa hipotezinin geçerli olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucu literatürde yapılan çalışmaları desteklemektedir. Bu çerçevede kripto paraların popülaritesinin artmasının, kripto para borsalarının oluşmasının, varlık olarak nitelendirilmesinin ve fiyat seviyelerinin yükselmesinin, bu piyasaları etkin hale getirebileceği söylenebilmektedir.

Çalışmada uygulanan GARCH birim kök testi sonuçları ise literatürde Kurihara ve Fukushima (2017), Al-Yahyaee vd.(2018), Caporale vd. (2018), Hu vd.(2019), Vidal-Tomes (2019), Palamalia vd.(2020) ve Mahalwala (2022) çalışmaları ile uyumludur. Bu çalışmaların her biri geleneksel birim kök testlerinin dışında farklı analiz yöntemleri kullanarak kripto para piyasalarında etkinliğin geçerli olmadığını

tespit etmişlerdir. Bu çalışmada da kripto para birimlerinin volatilité durumlarını dikkate alarak GARCH birim kök testi yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda da diğér birim kök testlerine göre farklı bir sonuç elde edilmiştir. Doğrusal olmayan birim kök testlerinden EG (1998), OY (2018), CEO(2017) ve OSHb(2020)'de elde edilen sonuçlar gibi GARCH birim kök testi sonucuna göre de bu piyasalarda etkinliğin incelenen dönem aralığına ve uygulanan ekonometrik yöntemle göre değıştığını söylemek mümkündür.

Kısaca sonuç olarak BTC, ETH ve LTC piyasalarında 02/01/2017-29/10/2021 dönemleri arasında çoğu doğrusal ve doğrusal olmayan birim kök testleri sonucuna göre bu piyasalarda zayıf formda etkinlik geçerlidir. Ancak Hibrid doğrusal olmayan birim kök testleri ve bu piyasalardaki volatilité etkisinin dikkate alınmasıyla uygulanan GARCH birim kök testleri bu piyasalarda zayıf formda etkinliğin geçerli olmadığını göstermektedir. Bu durum kripto para piyasalarının para politikası çerçevesinde faiz kararlarından ve krizlerden etkilendiğini göstermektedir. Çalışmada incelenen 02/01/2017-29/10/2021 dönemleri için uygulanan bu test sonuçları BTC, ETH ve LTC piyasalarının, krizlere ve faiz kararları sonucunda piyasaya yansıyan bilgilere anında tepki verdiğini göstermektedir. Yatırımcıların kripto para ile işlem yapabilmeleri için rezerv paraya ihtiyaçları vardır. Bu rezerv para küresel ekonominin ihtiyacından daha fazla olması gerekmektedir. Çünkü kripto para üzerinde talep oluşması için likidite bolluğuna ihtiyaç vardır. Dolayısıyla parasal genişleme ile yaratılan likidite bolluğu uzun dönemde kripto para değerinde artış sağlamaktadır. Nitekim 2000 li yıllardan sonra küresel çapta uygulanan politikalara bakıldığında dünya konjonktürünün kripto paraların ortaya çıkmasına ve değerlerinin artmasına uygun zemin hazırladığı söylenebilmektedir. 2000 yılından sonra Amerika Merkez Bankası'nın (FED) genişleyici para politikası uygulaması, 2008 küresel kriz ve 2019 covid krizi sürecinde de tüm ülkelerin genişleyici para politikası uygulamaları faiz oranlarının sürekli düşmesine ve piyasalarda yüksek likidite oluşmasına neden olmuştur. Piyasalarda yüksek likiditenin olması ise faiz oranlarının düşük seyretmesinden dolayı yatırımcıları, kripto para gibi alternatif yatırım araçlarına yönlendirmiştir. Kısaca, kriz dönemlerinde ülke merkez bankalarının genişleyici para politikası uygulamaları kripto paraların değerinin artmasını sağlamıştır.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar neticesinde kripto para piyasaları ile ilgili çalışmaların yapılmasında geleneksel birim kök testleri yerine özellikle Hibrid doğrusal olmayan ve GARCH birim kök testlerinin uygulanmasının daha güvenilir sonuçlar

verebileceği ve bundan dolayı ileriki çalışmalarda farklı kripto para birimleri için güncel zaman dilimleri de dikkate alınarak bu testlerin uygulanması tavsiye edilmektedir.

## İKİNCİ BÖLÜM

### KRİPTO PARALAR BİR PORTFÖY ÇEŞİTLİLİĞİ MİDİR? KIYMETLİ METALLER İLE ARASINDA DOĞRUSAL OLMAYAN EŞBÜTÜNLEŞME ANALİZİ

#### 2.1. Giriş

Teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte finansal piyasalarda da yaşanan gelişmeler, para alanında birçok yenilik sağlamıştır. Eski çağlarda para, daha çok nakit olarak ödeme yöntemi şeklinde kullanılırken teknolojinin gelişmesi parayı zamanla dijital ödeme yöntemine dönüştürmüştür. Bu dijital ödeme yöntemleri ilk zamanlarda kredi kartı, eft, havale vb. şeklindedir. Ancak paranın dijitalleşmesi, ödeme yöntemleri alanında yenilikler getirmesine rağmen işlem maliyetlerinin yüksek olması, işlemlerin gecikmeli gerçekleşmesi gibi sorunları da beraberinde getirmiştir. Eft, kredi kartı, havale gibi ödeme yöntemlerinin paranın transfer edilmesinde gecikmelere ve yüksek işlem maliyetlerine neden olması, paranın nakit dolaşımını düşürmüştür. Yani dolaşımdaki nakit para miktarı azalmıştır.

Paranın dijitalleşmesinin yaygınlaşması ile birlikte işlem maliyetlerinin yüksek olması, güvenlik sorunu ve işlemlerin gecikmeli gerçekleşmesi gibi sorunlar bireyleri alternatif ödeme yöntemleri arayışına yönlendirmiştir. Ayrıca bu sorunlara ek olarak 2008 yılından yaşanan Mortgage krizi ve akabinde meydana gelen 2010 Avrupa borç krizi, finansal piyasaların zayıflıklarını ortaya çıkarmış ve bu dönemlerde finansal piyasaların başarısız olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla bu durum bireylerin finansal piyasalara olan güvenini sarsmıştır. Bu bilgiler çerçevesinde hem dijital ödeme yöntemlerinin yaygınlaşması ile yaşanan sorunlar hem de yaşanan krizler sonrasında finansal piyasalara olan güvenin sarsılması, yeni ödeme yöntemlerine ihtiyaç duyulmasına neden olmuştur. Bu ihtiyaç doğrultusunda işlem maliyetlerinin daha düşük olduğu, işlemlerin hızlı ve şeffaf bir şekilde gerçekleştiği ve herhangi bir otoriteye bağlı olmayan yeni bir ödeme yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen yeni ödeme yöntemi günümüzde kripto para birimleri olarak finansal piyasalarda yerini almıştır.

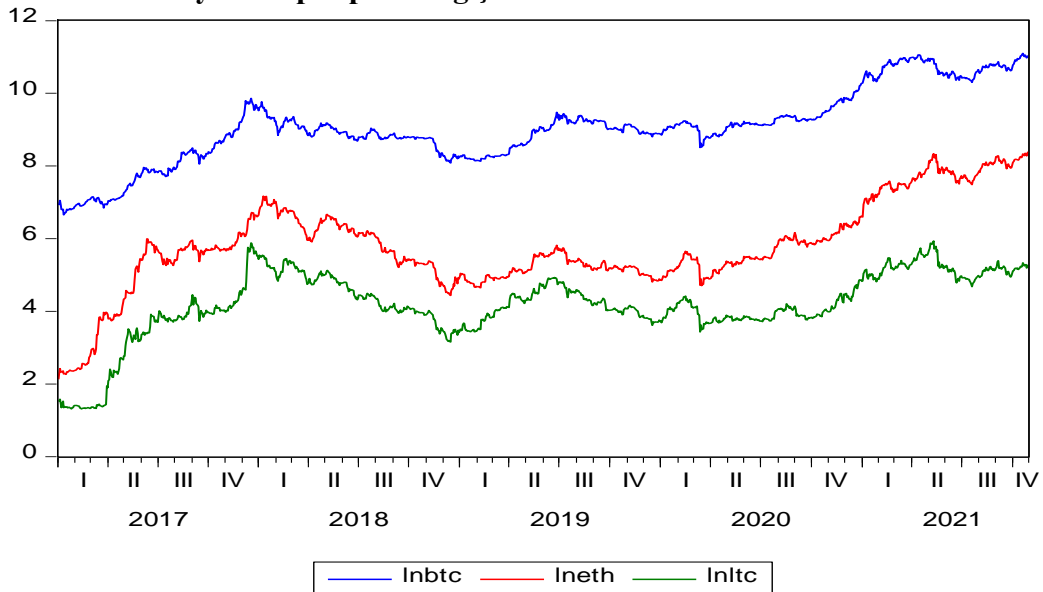
Kripto para birimlerinin ilki 2008 yılında Satoshi Nakamoto tarafından Bitcoin (BTC) adı altında ortaya çıkmıştır. Jin Lim ve Masih (2017) çalışmasında, Bitcoin'in Nakamoto tarafından 2008 Mortgage krizi esnasında piyasaya sürülmesinin geleneksel finansal sistemin tartışılabilir yanlarına karşı üretilmiş bir fikir olarak görülebileceğine değinmiştir. Hem parasal sistemdeki yüksek transfer ücretlerinin düşürülmesi hem de klasik paranın enflasyon üreten mekanizmasına bir çözüm getirilmesi açısından önemli



bir yenilik olduğu üzerinde durmuşlardır (Moro ve Kajtazi, 2017:4). Bitcoin'in temelinde yatan en önemli özelliği Blockchain teknolojisine sahip olmasıdır. Blockchain teknolojisi, güvenlik düzeyi yüksek olan bir teknolojidir ve işlem maliyetlerini düşük ve hızlı bir şekilde gerçekleştirmesi gibi avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca blockchain merkezi olmayan bir doğrulama sistemine sahiptir. Dolayısıyla bu durum dijital dönüşüm alanında önemli bir adım olarak görülmektedir. Bu bilgiler çerçevesinde bitcoin, merkezi otoriteye bağlı olmayan, aracı kurumlara ihtiyaç olmadan alıcı ve satıcı arasında ödemelerin yapılabildiği, işlem maliyetlerinin düşük ve hızlı bir şekilde gerçekleştirildiği kripto para birimi olarak tanımlanmaktadır. Bitcoin, bu özellikleri sayesinde piyasaya sürüldüğü andan itibaren değerine değer katmış ve günümüzde işlem hacmi en yüksek kripto para birimi haline gelmiştir. Bitcoin'in değerinin artmasıyla birlikte çeşitli kripto para birimleri de piyasaya girmiş ve kripto paraların popülaritesi artmaya başlamıştır. Bitcoin'den sonra piyasaya giren ilk kripto para birimleri Ethereum ve Litecoin'dir. Bu çalışmada da hem ilk çıkan hem de piyasa değeri açısından ilk sırada yer alan Bitcoin, Ethereum ve Litecoin kripto para birimleri analize dahil edilmiştir.

Çalışmada ele alınan üç kripto para birimlerinin logaritması alınarak aylık değişimleri Grafik 2.1'de gösterilmektedir. Grafik 2.1 incelendiğinde 2017:1-2021:10 yılları arasında aylık kripto para birimlerinde meydana gelen düşüş ve artışların genel olarak aynı anda gerçekleştiği gözlenmektedir. Yani Bitcoin'de bir artış gerçekleştiğinde Ethereum ve Litecoin'de de artış gerçekleşmektedir.

**Grafik 2.1: Aylık kripto para değişimi**



Kripto para birimlerinin popülaritesinin artması, yatırımcıların bu alanlara yönelmesi bu para birimlerinin yeni bir yatırım aracı olarak görülüp görülemeyeceği konusuna dikkat çekmiştir. Ancak bir varlığın yatırım aracı olabilmesi için öncelikle o piyasasın, Fama (1970) tarafından geliştirilen “Etkin Piyasa Hipotezi” kavramına uygun hareket etmesi gerekmektedir. Birinci deneme çalışmasında, incelenen üç kripto para birimin etkinliği konusuna değinilmiş olup bu üç kripto para piyasalarında etkinliğin uygulanan analize göre değişiklik göstereceği vurgulanmıştır. Ancak yapılan birçok analiz sonucunda bu piyasaların genellikle zayıf formda etkin olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla birinci deneme çalışmasında Bitcoin, Ethereum ve Litecoin kripto para piyasalarında, çalışmada uygulanan çoğu ekonometrik yöntemle göre zayıf formda etkinliğin geçerli olduğu tespit edildiği için bu çalışmada üç kripto para birimin yeni bir yatırım aracı olarak görülebileceği düşüncesiyle hareket edilmiştir.

Kripto para birimleri yeni bir varlık olmalarına rağmen özellikle son zamanlarda ekonomistlerin, politika yapımcılarının ve yatırımcıların fazlasıyla ilgisini çekmektedir. Ali vd. (2014) tarafından kripto paraların popülaritesinin artması üç nedene bağlanmıştır. Birincisi, kripto paraların herhangi bir merkezi otoriteye bağlı olmamaları, ikincisi, kripto para birimlerinin yeni bir varlık olarak işlem görmesi, üçüncü olarak ise mevcut ödeme sistemlerine ve uluslararası transferlere göre işlem maliyetlerinin düşük olmasıdır.

Kripto paraların tanımı konusunda tam bir fikir birliği olmamakla birlikte çoğunlukla kripto paraların değer saklama aracı olarak görülebileceği üzerinde durulmuştur. Bu bağlamda son zamanlarda yapılan çalışmalarda kripto paraların altınla benzerliklerinin olduğu ve kripto paraları varlık olarak değerlendirmenin doğru olduğu vurgulanmaktadır. Dolayısıyla kripto paraların yeni bir yatırım aracı olarak kabul edilebileceği ve geleneksel varlıklarla birlikte yatırımcıların portföylerine dahil edilebileceği öne sürülmektedir (Kamisli, 2019:320). Altının tarih boyunca önemli bir yatırım aracı olmasının yanı sıra portföy çeşitlendirmede de önemli bir yeri bulunmaktadır. Bitcoin ile altın arasındaki benzerlikler göz önüne alındığında Bitcoin’in de altın gibi hedge veya güvenli bir liman olup olmadığı tartışılmaktadır. Bitcoin’i yatırım aracı olarak gören tüm yatırımcılar Bitcoin ile diğer yatırım araçları arasındaki korelasyon ilişkisine bakmanın doğru olduğunu belirtmişlerdir (Bouri, vd. 2017:5063).

Son yıllarda kripto para piyasasında ani artışların yaşanması, kripto paraların yüksek volatiliteden dolayı risklerinin yüksek olmasının yanı sıra yüksek getiri sağladıkları için bu varlıkların cazip hale geldiği görüşünü desteklemektedir. Bazı

ekonomistler bu artışları spekülâtif olarak tanımlamakta ve bu piyasalarda balonların oluştuğuna dikkat çekmektedir. Bu balonların bulaşıcı olduğu ve finansal istikrarı zayıflatabileceği üzerinde de durulmaktadır. Bundan dolayı, yeni bir varlık olarak nitelendirilen kripto paraların özelliklerini ve dinamiklerini anlamak önemlidir. Bunun için ise kripto para piyasaları ile geleneksel finansal varlıklar arasındaki aktarımları belirlemek için yeni yöntemlerle çalışmalar yapılmasının literatüre katkısı olması yönünden önemlidir (Peng, 2018:7).

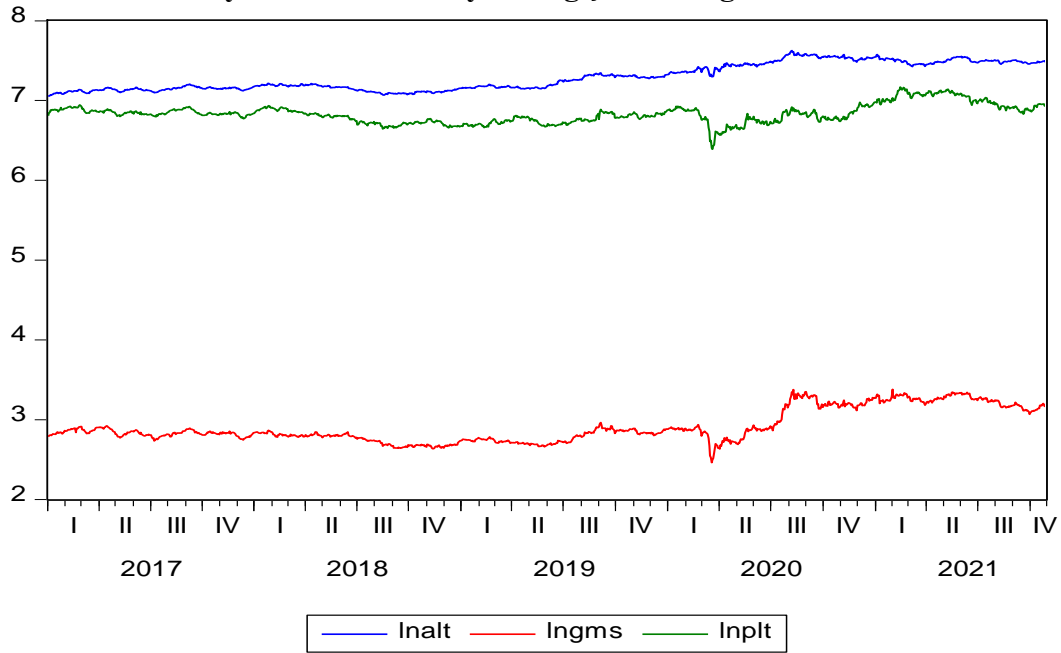
Kripto para birimlerinin popülaritesinin artması yatırımcıların değerli metallerdeki pozisyonlarını satarak yatırım amaçlı kripto para satın alma eğiliminde bulunmalarına neden olmuştur. Bu durum, çeşitli kripto para birimlerinin çalışmasına izin veren yüksek teknik ve karmaşık sistem tarafından yönlendirilen farklı kripto para birimlerinin kırılğan ve spekülâtif doğası göz önüne alındığında, çeşitli yatırım riskleri sunmaktadır. Kripto para birimlerinin değişken doğasına atfedilen önemli bir neden, kripto para birimlerine hayat veren sunucular ve internet dahil olmak üzere bilgisayar sistemlerine güç sağlamak ve bakımını yapmak için çok fazla enerji gerektirmesidir. Son enerji krizi altında kripto para piyasasının işleyişi için bu tür enerji gereksinimleri, yalnızca gerçek ekonomileri değil, uluslararası finansal piyasaları da etkileyen ek riskler doğurmaktadır. Aksine, başta altın ve gümüş olmak üzere değerli metallere, uzun süredir ekonomik enerji depoları olarak bilinmektedir. Olası herhangi bir para birimi, finansal veya teknolojik krize karşı bağışık kaldıkları ve doğal korunma yeteneğine sahip oldukları düşünülmektedir. Ancak, gümüş ve altın gibi bu değerli metallere çoğu kendilerini önemli bir ekonomik ve stratejik kaynak olarak sunduğundan, getirileri uluslararası ekonomideki büyüme eğilimlerini yansıtmakta ve bu da faiz oranları gibi bazı makroekonomik temellerin değişmesine neden olabilmektedir. Böyle bir durum, piyasa katılımcılarının ve yatırımcıların yatırım risklerinden korunmak için kripto para birimleri gibi alternatif varlıkları dahil ederek yatırım stratejilerini değiştirmelerine neden olabilir (Rehman ve Vo, 2020:1). Ancak kripto paralar yeni bir varlık türü oldukları için risk veya portföy yönetimi açısından beklenen faydanın sağlanabilmesi için getiri performanslarının belirlenmesi ve diğer finansal varlıklarla aralarındaki ilişkinin incelenmesi gerekmektedir.

Yatırımcıların sadece kripto paralar gibi alternatif yatırımlara yatırım yapmaları portföyün riskini artırabilir. Hisse senedi, tahvil gibi geleneksel varlıklar dışında yatırımcıların, yatırım yapmak için tercih edecekleri diğer varlıklar kıymetli metallere dir. Dolayısıyla kıymetli metallere yatırımcılar için iyi bir alternatiftir. McCown ve Shaw,

(2017)'ye göre kıymetli metaller ekonomik değeri yüksek ve doğal yolla oluşan varlıklardır. Dolayısıyla finansal varlık olarak portföylerde yer almaktadırlar ve hisse senetleri ile düşük korelasyona sahiptirler. Bundan dolayı yatırımcılar için çeşitlendirme imkanı sunmaktadır. Aynı zamanda kıymetli metaller yatırımcıları enflasyona karşı ve portföyün değerini döviz kurlarındaki oynaklıklara karşı korumaktadır.

Yatırımcılar için önemli yatırım kaynakları olan kıymetli metallere altın, gümüş ve platin değişkenlerinin logaritmaları alınarak aylık olarak değişimleri grafik 2.2'de gösterilmektedir. Çalışmada yatırım amaçlı en çok kullanılan ve yüzdesel fark olarak ilk sıralarda yer alan finansal varlıklar ele alınmaktadır. Kripto para birimlerinde olduğu gibi kıymetli metallere de meydana gelen düşüşler ve artışlar aynı anda gerçekleşmektedir. Grafik 2.2 incelendiğinde 2020 yılının ilk zamanlarında kıymetli metallere aynı anda bir düşüş gerçekleştiği gözlenmektedir. Özellikle gümüş ve platindeki düşüş altına oranla daha fazladır.

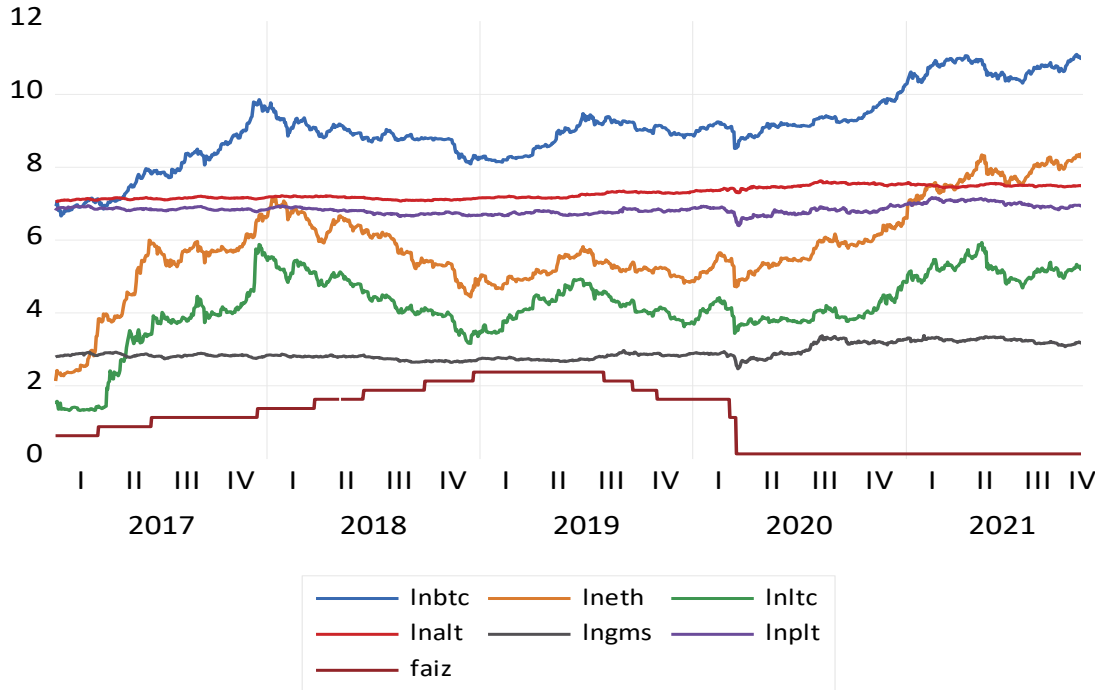
**Grafik 2.2: Kıymetli Metaller Aylık Değişim Grafiği**



Grafik 2.1 ve 2.2 birlikte incelendiğinde 2020 yılına kadar kripto paralar ile kıymetli metalleredeki değişimlerin birbirini takip etmediği ancak 2020 yılının ilk aylarından itibaren her iki türde de meydana gelen değişimlerin birlikte hareket ettikleri gözlenmektedir. Grafik 2.3 incelendiğinde 2020 yılının ilk aylarında kripto para birimlerinde ani bir düşüş gerçekleşirken aynı düşüş kıymetli metallere de

gözlenmektedir. 2020 yılından itibaren hem kripto para birimlerinde hem de kıymetli metallerdeki değişimler genel olarak aynı yönde hareket etmektedir.

**Grafik 2.3: Kripto Para ve Kıymetli Metaller Aylık Değişimleri**



Grafik 2.3'e kıymetli metaller ile kripto para değişkenleri dışında Amerika Merkez Bankası (FED)'in politika faiz oranı dahil edilmiştir. Aslında analize döviz kuru, faiz gibi diğer değişkenlerin de eklenmesi kripto paralar ile kıymetli metaller arasındaki ilişkiyi açıklamaya yardımcı olabilmektedir. Ancak çalışmada incelenen dönemler arasında döviz kuru ve faiz değişkenlerinin doğrusal yapıya sahip olmaları ve kripto paraların sadece kıymetli metallere arasındaki ilişkinin incelemesini amaçlanmasından dolayı çalışmaya döviz kuru ve faiz değişkenleri eklenmemiştir. Faiz oranlarının kıymetli metaller ve dolayısıyla da kripto paralar üzerindeki etkisi sadece grafiksel olarak incelenmiştir. Grafik 2.3'de görüldüğü gibi Covid-19 krizinden sonra FED politika faizini sabit tutması ve faizlerin artmayacağı beklentisi kıymetli metallere olan ilgiyi artırmıştır. Faiz oranlarındaki düşüş yatırımcıları portföy değişikliğine yöneltmiştir. Faiz oranlarının düşük ve sabit seyrettiği dönemlerde kıymetli metallerde artış gözlenmektedir. Kıymetli metallerin riski düşük ancak getirisi de düşük varlıklardır. Dolayısıyla kıymetli metaller ile kripto paraların birlikte hareket etmeleri, faiz oranlarının düşük olduğu ve artmayacağı beklentisi çerçevesinde yatırımcıları, portföy değişikliğine giderken kripto paralara daha fazla ağırlık vermelerine neden olmuştur. Grafik 2.3'de de görüldüğü üzere faizlerin düşük veya sabit olduğu

dönemlerde, kripto paralar ile kıymetli metaller aynı anda artış/azalış gösteriyorlar ancak kripto paralardaki artış/azalışlar kıymetli metallere oranla daha fazladır. Bu iki varlığın birlikte hareket etmeleri, kripto paraların kıymetli metaller için portföy çeşitlendiricisi olamayacağı ve bundan dolayı portföye ikisinin de dahil edilmesinin mantıklı olmadığı söylenebilmektedir.

Buraya kadar değinilen bilgiler doğrultusunda literatürde öncelikli olarak Bitcoin'in altın ile benzerlikleri olduğu ve bundan dolayı yeni bir varlık olarak görülebileceği üzerinde durulmuştur. Böylece Bitcoin'in yeni bir yatırım aracı olabileceği ve yatırımcıların portföyelerine dahil edebilecekleri alternatif yatırım aracı olduğu belirtilmiştir. Dolayısıyla Bitcoin bir portföy çeşitlendiricisi olarak kullanılabilir. Bunlara ek olarak Bitcoin'in kriz dönemlerinde altın gibi hedge veya güvenli liman olma özelliğinin olduğu da tespit edilmiştir. Özellikle Covid-19 salgını esnasında ödeme yöntemi olarak nakit paranın kullanılmaması, ödemelerin kredi kartı, eft, havale vs., şeklinde yapılması ve bu süreçte finansal piyasalara olan güvenin azalması bireyleri, yatırımcıları kripto para piyasasına yönlendirmiştir. Aslında bu Covid-19 krizi sürecinde kripto para piyasası paranın hem değişim aracı olma hem de servet saklama aracı olma özelliği olarak kullanılmıştır. Dolayısıyla aslında Bitcoin ile başlayıp daha sonra diğer kripto para birimleri üzerine de yapılan literatür çalışmaları, kripto para birimlerinin yeni bir yatırım aracı olabileceğini göstermekte ancak bir varlığın yatırım aracı olabilmesi için o piyasada "etkinliğin" geçerli olması gerektiğini de belirtmektedir.

Fama (1970) tarafından geliştirilen "Etkin Piyasa Hipotezi (EPH)" kavramına ilişkin tüm detaylar birinci deneme çalışmasında anlatılmıştır. Bu çalışmada da kısaca değinecek olursak EPH, yatırımcıların rasyonel olduğu ve maksimum kara ulaşmak isteyen piyasa katılımcılarının, menkul kıymetlerin gelecekteki değerini doğru tahmin edebilmek için rekabet içerisinde oldukları ve tüm katılımcıların mevcut bilgilere tam ve anında ulaşabildikleri piyasalar olarak tanımlanmaktadır. Fama (1970) EPH'ni, zayıf formda, yarı-güçlü formda ve güçlü formda etkinlik olmak üzere üç grupta incelemiştir. Zayıf formda etkinlik, yatırımcıların, menkul kıymetlerin geçmiş fiyat hareketlerini, getirilerini ve bilgilerini kullanarak normal üstü kar elde edemedikleri piyasalardır. Zayıf formda etkinliğin geçerli olduğu bir piyasada, geçmiş fiyatların gelecek fiyatlar üzerinde bir etkisi olmadığı için uzun dönemde bu piyasalarda normal üstü kar elde edilemez. Bu durumda teknik analiz işe yaramayacaktır. Bu piyasalarda fiyatlar rassal yürüyüş özelliği göstermektedir. Bir piyasanın zayıf formda etkinliğinin test

edilmesinde genel olarak birim kök testleri, koşu testi, filtre kuralı testi, varyans oran testi gibi yöntemler kullanılmaktadır. Yarı-güçlü formda etkinlik ise, fiyatların hem geçmiş tüm bilgileri hem de kamuya açıklanmış tüm bilgileri içerdiği piyasalardır. Bu piyasalarda da normal üstü kar elde edilemez. Zaten piyasadaki fiyatların oluşumunda hakla açıklanan bilgiler değerlendirilmiştir. Bilgiler açıklandığında fiyatlara gecikmesiz olarak yansımakta ve böylece yeni fiyatlar oluşmaktadır. Yani piyasaya giren bilgiler fiyatları güncellemiştir. Dolayısıyla hiçbir yatırımcı bu bilgileri kullanarak normal üstü kar elde edemez. Zayıf formda etkinlikte olduğu gibi bu piyasa etkinliğinde de temel analiz işe yaramamaktadır. Yarı-güçlü formda etkinliğin test edilmesinde farklı çalışmalara ek olarak eşbütünleşme ve/veya nedensellik testleri de kullanılmaktadır. Eğer değişkenler arasında bir eşbütünleşme ve/veya nedensellik ilişkisi çıkarsa bu durum o piyasada yarı-güçlü formda etkinliğin geçerli olmadığını göstermektedir. Çünkü verilerden faydalanılarak gelecekte oluşacak fiyatlar tahmin edilebilmektedir. Güçlü formda etkinlik ise, kamuya açıklanan bilgilere ek olarak şirket içi bilgilerin de fiyatlara yansıdığı piyasalardır.

Çalışmanın genelinde kripto para piyasalarında zayıf formda ve yarı-güçlü formda etkinliğin geçerli olup olmadığı test edilmiştir. Kripto para birimleri herhangi bir merkezi otoriteye bağlı olmadığı için bu piyasalarda güçlü formda etkinliğin test edilmesi mümkün değildir. Dolayısıyla çalışmanın ilk denemesinde öncelikle kripto para piyasalarında zayıf formda etkinliğin geçerli olup olmadığı test edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda bu piyasalarda etkinliğin, bazı testlere göre değiştiği vurgulansa da genel olarak birçok doğrusal ve doğrusal olmayan birim kök testlerine göre kripto para piyasalarında zayıf formda etkinliğin geçerli olduğu tespit edilmiştir. Doğrusal olmayan birim kök testi olan KSS (2003) sonucuna göre BTC, ETH ve LTC piyasalarında zayıf formda etkinliğin geçerli olduğu gözlenmiştir. Bu piyasalarda etkinliğin geçerli olması kripto para birimlerinin yeni bir yatırım aracı olarak kullanılabileceğini düşündürmüş ve diğer finansal varlıklarla arasındaki ilişkinin test edilerek bu piyasalarda yarı-güçlü formda etkinliğin geçerli olup olmadığı tespit edilmek istenmiştir. Verilen bilgiler ve incelenen grafik 2.3 çerçevesinde yatırımcıların portföylerine geleneksel finansal varlıklara ek olarak alternatif varlıkları da eklemelerinin değişkenler arasında bir eşbütünleşme ilişkisi olabileceği ve dolayısıyla kripto paraların bir portföy çeşitlendiricisi olarak kullanılmayacağı düşüncesiyle bu çalışmada çeşitli kripto paralar ile kıymetli metaller arasındaki ilişki doğrusal olmayan eşbütünleşme testi yapılarak araştırılmaktadır. Çalışmada KSS (2003) doğrusal olmayan birim kök testi sonucunda

etkinliğin geçerli olmasından yola çıkarak doğrusal olmayan eşbütünleşme analizi olarak KSS(2006) testi uygulanmıştır. Değişkenler arasında doğrusal olmayan eşbütünleşme testi sonucuna göre de bu piyasalarda yarı-güçlü formda etkinliğin geçerli olup olmadığı tespit edilmektedir. Çalışmanın ikinci kısmında bu alanda yapılan literatür çalışmalarına yer verilmektedir. Üçüncü bölümde metodoloji ve ekonometrik yöntem anlatıldıktan sonra akabinde çalışmanın sonuçlarına yer verilmektedir.

## 2.2. Literatür

Son zamanlarda kripto para birimlerine olan ilginin artması ve kripto para birimlerinde meydana gelen dalgalanmalar, bu para birimlerinin etkileri konusunda araştırmaların yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Kripto paraların ilki olan Bitcoin'in yeni bir para sistemi mi yoksa bir emtia mı ya da benzer şekilde bir yatırım aracı olup olmadığı tartışma konuları arasındadır. Kripto paraların tanımı üzerine çalışmalar literatürde oldukça fazladır. Bununla birlikte son literatür artık daha çok kripto para birimlerinin döviz temerrütleri, madencilik manipülasyonu ve para politikası ve merkez bankaları üzerine etkileri gibi operasyonel yönlerine odaklanmaktadır. Yermack; 2014, Dyhrberg; 2016, Klein, vd.; 2018 çalışmaları genellikle kripto paraların tanımlanması üzerinedir. Yermack (2014), kripto paraları varlık olarak değerlendirirken, Bitcoin'in fiat para birimlerinin çoğuyla ilgili olmadığı için bir para birimi olarak kabul edilemeyeceğini vurgulamaktadır. Ayrıca değişken yapısı, portföy çeşitlendirme ve risk yönetimi amacıyla yararlılığını sınırlı hale getirir. Bunun yanı sıra Dyhrberg (2016) çalışmasında birçok kripto para biriminin davranışının doğası gereği değişken olmasına rağmen, bu oynaklığın dolar ve altın ile benzerlikler paylaştığını ve bundan dolayı yalnızca yatırım için bir varlık olarak değil, aynı zamanda bir değişim aracı olarak riskten korunma yeteneklerini sergilediğini savunmaktadır (Rehman & Vo: 2020:2). Gonzalez vd., (2021) çalışmalarında farklı ekonomik koşullar altında kripto para birimi ile altın gibi kıymetli metallerin getirileri arasındaki karşılıklı bağımlılığın araştırılmasının önemli olduğuna değinmişlerdir. Yazarlar, kripto para birimlerinin altın gibi finansal varlıklarla arasındaki korelasyonun yüksek olması durumunda yatırımcıların genel riskten korunmak için kripto para biriminde kısa vadeli bir pozisyon ve altın gibi finansal varlıkta ise uzun vadeli bir pozisyondan oluşan riskten korunma portföyü oluşturabileceklerini ifade etmişlerdir. Eğer aralarındaki korelasyon düşük ise, yerleşik bir portföye göre bir kripto para biriminde uzun vadeli pozisyon eklemek potansiyel olarak risk-ödül oranında iyileşmeyi sağlayacak daha fazla portföy çeşitliliğine yol açacaktır. Bazı çalışmalarda, kripto para birimlerinin diğer varlıklarla



olan bağlantısının zamanla değişebileceği belirtilmektedir. Bu sorunun ise Covid-19 pandemisinden etkilenen dönem gibi ekonomik kriz dönemlerinde kripto para piyasasının değişken yapıya sahip olmasından kaynaklandığı belirtilmektedir. Yazarlara göre ekonomik kriz dönemlerinde kripto paralar ile kıymetli metaller arasındaki korelasyon çok düşük ve istikrarlı ise kripto para birimi, yatırımcılara piyasa karışıklığı geçene kadar nakitlerini tutmaları için bir varlık sağlayarak güvenli bir liman oluşturabilirler. Yani bir kriz döneminde kripto paraların diğer varlıklarla bağımlılığı değişirse, yatırımcılar için riskten korunma, portföy çeşitliliği ve hatta güvenli liman olarak yatırım stratejileri etkilenebilir. Gonzalez vd., (2020a) ve Jareno vd., (2020) çalışmalarında kripto para birimleri ile altın gibi kıymetli metaller arasındaki potansiyel karşılıklı bağımlılığın piyasa katılımcıları için önemli etkilere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Yazarlara göre bu bağımlılık yatırımcıların karar verme sürecini etkileyebilmektedir.

Yeni finansal varlık olarak kabul edilen kripto paraların, son zamanlarda özellikle Covid-19 sonrasında kripto paraların getirisinin artmasıyla birlikte diğer finansal varlıklarla olan ilişkilerinin incelenmesi önemli hale gelmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada kripto paraların geleneksel finansal varlıklarla olan ilişkisi incelenerek portföyler için çeşitlendirme aracı olarak kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmaktadır. Ancak kripto para piyasası çok yeni bir durum olduğundan finans literatürü alanında yapılan çalışmaların sayısı kısıtlıdır. Yukarıda anlatılan literatür çalışmalarına ek olarak yeni literatür çalışmaları da aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

**Tablo 2.1: Literatür Taraması**

Yazar(lar)	Dönem	Değişkenler	Yöntem	Bulgular
Briere vd.(2015)	2010-2013	BTC Geleneksel varlıklardan; Hisse senetleri Tahviller Sabit para birimi Alternatif yatırım araçlarından; Emtia, hedge fonları, gayrimenkul	Korelasyon analizi	BTC portföy çeşitlendiricisi olarak kullanılabilir.
Dyhrberg (2016)	2010-2015	BTC FTSE100 Euro/Usd GBP/Usd	Asimetrik GARCH	BTC portföy çeşitlendiricisi olarak kullanılabilir. BTC hedge enstrümanı olabilir.
Bouri vd., (2017)	2010-2015	BTC Hisse senedi endeksleri Emtia endeksi Dolar endeksi Petrol Altın Tahvil	Dinamik Korelasyon Koşullu	Aralık 2013 döneminden önce BTC'nin güvenli bir liman ve hedge olduğu ancak bu dönemden sonra sadece portföy çeşitlendiricisi olduğu tespit edilmiştir.

Baur vd.(2017)	2010-2015	BTC ABD hisse senedi endeksi Döviz kuru Değerli metaller Emtialar Enerji Tahvil	Korelasyon analizi	BTC hem kriz dönemlerinde hem de normal dönemlerde çeşitlendirme aracı olarak kullanılabilir.
Moro ve Kajtazi (2017)	2012-2017	BTC-CNY fiyat endeksi Çin piyasasında işlem gören hisse senetleri Küresel hedge fon endeksi Asya piyasası hisse senedi USD-CNY döviz kuru	CVAR	Her iki piyasa için de BTC portföy çeşitlendiricisi olarak kullanılmaktadır.
Corbet vd. (2018)	2013-2017	BTC, LTC, Ripple Çeşitli finansal varlıklar Altın Döviz kuru	Zaman ve frekans boyutu yöntemi	BTC, LTC ve Ripple kripto para birimleri portföy çeşitlendiricisidir.
Giudici ve Hashish (2018)	2016-2018	BTC Döviz kuru Petrol Hisse senedi Altın	VAR	BTC portföy çeşitlendiricisidir.
Rehman ve Apergis (2018)	2012-2017	BTC, ETH Altın, bakır, gümüş, brent petrol, doğal gaz, ham petrol ve buğday	Balcılar vd.(2016) tarafından önerilen doğrusal olmayan bir çerçevede niceliklerdeki nedenselliği ölçen yeni bir metodolojik yaklaşım	BTC ve ETH portföy çeşitlendiricisidir.
Guesmi vd.(2018)	2012-2018	BTC Hisse senedi Altın Petrol	GARCH	BTC'nin portföye dahil edilmesiyle portföy riskinin azalabileceği ve portföy çeşitlendirici olabileceği tespit edilmiştir.
Rehman (2020)	2013-2018	BTC Altın, gümüş, bakır, buğday, platin ve paladyum	VAR COVAR ΔCOVAR	BTC'nin değerli metallerle birlikte portföye dahil edilmesi gerektiği ve böylece portföy çeşitlendiricisi olarak kullanılabilceği belirtilmiştir. Ayrıca BTC riskten korunda görevi de görmektedir.
Rehman ve Vo (2020)	2017-2019	BTC, ETH, LTC, Dash, Monero ve Ripple Altın, gümüş, bakır, platin, paladyum ve nikel	Kuantil Çapraz Spektral	Çalışmada incelen kripto para birimleri portföy çeşitlendiricisi olarak kullanılabilir.
Ghorbel ve Jeribi (2021)	2016-2020	BTC, ETH, Dash, Monero ve Ripple S&P500, Nasdaq, VIX, Petrol fiyatları ve altın	BEKK-GARCH DCC-GARCH	Finansal istikrarın olduğu dönemlerde bu kripto para birimlerinin çeşitlendirme avantajı sunacağı ancak kriz dönemlerinde güvenli bir liman olamayacağı vurgulanmıştır.
Gonzalez vd.(2021)	2015-2020	Oniki farklı kripto para birimi ile altın	NARDL	
Fasanya vd.,(2021)	2010-2020	BTC Altın, gümüş, platin, paladyum ve ABD ekonomik politika belirsizliği	Dinamik yayılma ve parametrik olmayan niceliksel nedensellik yaklaşımı	BTC ile kıymetli metaller arasında güçlü bir ilişki vardır. Ancak bu ilişki ekonomik politika belirsizliklerine karşı hedge veya güvenli liman işlevi görememektedir.
Öztürk vd.,(2018)	2013-2018	BTC Altın, Nasdaq, S&P500, Nikkei225, Bloomberg emtia endeksi, petrol ve ABD 10 yıllık bono faizi	Johansen Eşbütünlüme testi	BTC portföy çeşitlendirme aracı olarak kullanılabilir.
Kamisli (2019)	2011-2019	BTC Altın, gümüş, platin, paladyum, rutenyum, rodyum, iridyum, osmiyum ve renyum	Asimetrik nedensellik analizi	BTC ile değerli metaller arasında orta ve uzun vadeli nedensellik ilişkisi olduğu yatırımcıların yatırım yapma konusunda BTC ile değerli metaller arasındaki ilişkiyi dikkate almaları belirtilmiştir.
Okuyan ve Deniz (2019)	2015-2019	BTC ve ETH Hisse senedi endeksleri, altın, gümüş, platin	Korelasyon analizi	BTC ve ETH portföy çeşitlendirme aracı olarak kullanılabilir.
Salihoğlu ve Göv (2021)	2010-2021	BTC Altın, gümüş ve ham petrol	Maki eşbütünlüme ve DOLS yöntemi	BTC portföy çeşitlendirme aracıdır ancak güvenli bir liman değildir.

Literatürde kripto para birimlerinin portföy çeşitlendirme aracı olarak kullanılıp kullanılmayacağına test edilmesinde çeşitli analiz yöntemleri kullanılmıştır. Bu farklı analiz yöntemleri sonucunda elde edilen sonuçlar tablo 2.1’de genel itibari ile anlatılmıştır. Kripto paraların tanımı üzerine yapılan ilk çalışmalar aslında çoğunlukla korelasyon analizi şeklindedir. Kripto paraların geleneksel finansal varlıklarla aralarındaki korelasyon ilişkisi test edilerek bu kripto paraların varlık olarak nitelendirilip nitelendirilemeyeceği hakkında bilgi sahibi olunmaktadır. Kripto paraların varlık olarak değerlendirilebileceği düşüncesi yaygınlaştıkça bu durumu test etmek için farklı yöntemlerinde kullanılmasının doğru sonuçlar vereceği düşünülmüştür. Bu çerçevede tablo 2.1’de verilen literatür çalışmasında öncelikle kripto paralar ile geleneksel finansal varlıklar arasındaki ilişkiyi korelasyon analizi yöntemi ile test eden çalışmaları detaylı bir şekilde inceleyelim. Bitcoin’in hem geleneksel finansal varlıklar ile hem de alternatif yatırım araçları arasındaki ilişkiyi inceleyen Briere vd., (2015), 2010-2013 dönemleri arasında haftalık verileri kullanarak korelasyon analizi yapmışlardır. Çalışmada hem geleneksel varlıkları hem de alternatif varlıkları içeren çeşitli portföye sahip bir ABD yatırımcısı açısından Bitcoin yatırımı analiz edilmiştir. Geleneksel varlıklar olarak; hisse senetleri, tahviller, sabit para birimi, alternatif yatırım araçlarından ise; emtia, hedge fonları, gayrimenkul gibi portföyleri kullanmışlardır. Çalışmada ele alınan dönem boyunca, yüksek volatiliteye sahip Bitcoin’in getirisinin yüksek olduğu ve diğer finansal varlıklarla korelasyonunun oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum Bitcoin yatırımının çeşitlendirme için kullanılabileceğini göstermiştir. Buna ek olarak yazarlar, Bitcoin’in küçük bir oranının bile dahil edilmesinin portföy çeşitlendirmesinin risk-getiri dengesini önemli ölçüde iyileştirebileceğini ifade etmişlerdir. Kripto paralar ile geleneksel finansal varlıklar arasındaki ilişkiyi korelasyon analizi ile test eden bir diğer çalışma ise Baur vd.,(2017)’dir. Baur vd., (2017) çalışmalarında, 2010-2015 dönemleri arasında günlük verileri kullanarak hisse senetleri, emtia, tahvil gibi değişkenlere değerli metaller ve enerji değişkenlerinin de eklenmesinin gerektiğini belirtmişlerdir. Çalışmada Bitcoin ile ABD hisse senedi endeksleri (S&P500, S&P600), döviz kuru (EUR/USD, AUD/USD, JPY/USD, GBP/USD, CNY/USD, HUF/USD), değerli metaller (Altın, Gümüş), emtialar (ticaret ağırlıklı ABD dolar endeksi), enerji (WTI, HH) ve tahviller (ABD kurumsal tahvil endeksi, ABD hazine tahvil endeksi, ABD Yüksek Getirili Şirket Tahvili Endeksi) değişkenleri kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda Bitcoin’in hem normal hem de finansal stres dönemlerinde geleneksel varlık sınıflarıyla arasında

korelasyon olmadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla Bitcoin'in geleneksel varlıklarla arasındaki korelasyonun düşük olması Bitcoin'in bir çeşitlendirme aracı olarak kullanılabilmesini iddia etmişlerdir. Aynı zamanda bu durumun portföy çeşitlendirmesi açısından kullanımını kolaylaştırırken, mikro bakımından riskli varlığın makro bakış açısına göre riski düşürdüğünü de iddia etmişlerdir. Korelasyon analizi yöntemi ile Bitcoin'in portföy çeşitliliğinin test edildiği bir diğer çalışma ise Bouri vd., (2017) tarafından yapılmıştır. Ancak bu çalışma diğer iki çalışmadan farklı olarak hem kullanılan yöntem dinamik koşullu korelasyon yöntemidir hem de incelenen dönem iki alt döneme ayrılmıştır. Bouri vd. (2017), çalışmalarında 2010-2015 dönemleri arasında günlük verileri kullanarak Bitcoin ile majör hisse senedi endeksleri, emtia endeksi, dolar endeksi, petrol, altın ve tahvil arasındaki ilişkiyi dinamik koşullu korelasyon modelini kullanarak tahmin etmişlerdir. Yazarlar, Bitcoin'in genel olarak emtialarda ve özellikle enerji emtialarında günlük hareketlere karşı çeşitlendirici, hedge veya güvenli liman olarak hareket etme yeteneğini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. İncelenen dönemi, Aralık 2013 Bitcoin çöküş öncesi ve sonrası olarak 2'ye ayırmışlardır. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre, tüm dönemlerde Bitcoin enerji emtiaları için önemli bir hedge ve güvenli bir limandır. Ayrıca bu durumun enerji dışı emtialar için de mevcut olup olmadığı incelenmiş ve enerji emtiaları genel emtia endeksinden hariç tutulduğunda önemsiz sonuçlar gösterdiği tespit edilmiştir. Çalışmadan elde edilen son bulgu ise, Bitcoin'in hedge ve emtialara karşı güvenli liman özelliklerinin sadece Aralık 2013 Bitcoin çöküşünden öncesi dönemde mevcut olduğu, çöküş sonrası dönemde Bitcoin'in sadece portföy çeşitlendiricisi olmasıdır.

Kripto paraların portföy çeşitliliğinin test edilmesinde kullanılan diğer yöntem ise kripto paralar ile geleneksel finansal varlıklar arasındaki volatilitenin incelendiği GARCH tipi yöntemlerdir. Bu değişkenler arasındaki volatilitenin düşük veya yüksek olması durumuna göre kripto paraların çeşitliliği hakkında karar verilebilmektedir. Kripto paralar ile geleneksel finansal varlıklar arasındaki volatilitenin ilişkisinin incelendiği ilk çalışma Dyhrberg (2016) çalışmasıdır. Dyhrberg (2016), Bitcoin'in döviz portföyleri ve hisse senedi için hedge enstrümanı olarak kullanılıp kullanılamayacağını 2010-2015 dönemleri arasında günlük verilerle incelemiştir. Yazar çalışmada, FTSE100 hisse senedi endeksi, Euro/Dolar ve GBP/Dolar arasındaki ilişkiyi asimetric GARCH metodu kullanarak araştırmış ve aralarında sıfıra yakın ilişki bulmuştur. Dolayısıyla yazar çalışmanın sonucunda Bitcoin'in iyi bir portföy çeşitlendiricisi olabileceğini ve altına benzer şekilde hedge enstrümanı olabileceğini vurgulamıştır.

Dyhrberg (2016) çalışmasından yola çıkarak Guesmi vd., (2018), Bitcoin ile finansal varlıklar arasındaki volatilité yayılımı ve koşullu çapraz etkilerini GARCH yaklaşımı ile test etmişlerdir. Bu çalışmada 2012-2018 dönemleri arasında günlük veriler kullanılarak hisse senedi değişkenlerine ilaveten altın ve petrol değişkenleri de eklenmiştir. Bitcoin, hisse senedi, altın ve petrol değişkenlerini kullandıkları çalışmada değişkenler arasında önemli bir getiri ve oynaklık yayılmalarının doğrulandığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, Bitcoin pazarındaki kısa bir pozisyonun tüm farklı finansal varlıklar için risk yatırımının korunmasına izin verdiği sonucunu gözlemlemişlerdir. Son olarak, Bitcoin'in altın, petrol ve hisse senetlerinden oluşan portföye dahil edilmesiyle portföy riskinin azalabileceğini göstermişlerdir. Tablo 2.1'de gösterilen kripto para birimleri ile geleneksel finansal varlıklar arasındaki volatilité yayılımının incelendiği son çalışma olan Ghorbel ve Jeribi (2021), çalışmalarında 2016-2020 dönemleri arasında beş önemli kripto para birimi (Bitcoin, Dash, Ethereum, Monero ve Ripple) ile Amerikan endeksleri (S&P500, Nasdaq ve VIX), petrol fiyatları ve altın fiyatları arasındaki ilişkiyi BEKK-GARCH ve DCC-GARCH modeli ile test etmişlerdir. Bu çalışmayı diğer GARCH tipi çalışmalardan ayıran en önemli özellik, değişkenler arasında volatilité ilişkisinin çok değişkenli GARCH modelleri ile incelenmesidir. BEKK-GARCH modeli sonuçlarına göre, kripto para birimleri ile finansal varlıklar arasındaki volatilité yayılımı düşüktür. DCC-GARCH modeli sonuçlarına göre ise, Bitcoin vadeli işlemlerin başlatılmasında önemli bir etkiye sahiptir. İstikrarın olduğu dönemlerde, kripto para birimleri ile finansal varlıklar arasında düşük dinamik koşullu korelasyon ve yüksek pozitif değerde kripto para birimleri arasında korelasyon süreklilik göstermektedir. Ayrıca Covid-19 öncesinde ABD yatırımcıları için Bitcoin ve altının koruma olarak kabul edildiği ifade edilmektedir. Yazarlar çalışmanın sonucuna göre kripto para birimlerinin yatırımcılar için istikrarlı dönemlerde çeşitlendirme avantajları sunabileceğini ancak bu varlıkların kriz dönemlerinde güvenli bir liman olmayacağını vurgulamışlardır.

Kripto para birimleri ile geleneksel finansal varlıklar arasındaki ilişkinin incelenmesinde kullanılan diğer farklı yöntemler CVAR, VAR ve COVAR testleridir. Bitcoin'in portföy çeşitlendirme aracı olup olmadığını CVAR yöntemi ile test eden Moro ve Kajtazi (2017), Çin piyasası için 2012-2017 dönemleri arasında günlük verileri kullanarak Bitcoin'in çeşitlendirme ve performansını artırma kapasitesini incelemişlerdir. Çalışmada CVAR metodolojisini kullanmışlar ve Bitcoin'in Çin'de işlem gören finansal varlıklarla ilişkisinin düşük düzeyde istatistikî olarak anlamlı

olduğu ancak batıda işlem gören geleneksel varlıklarla arasında negatif ya da herhangi bir korelasyon çıkmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Giudici ve Hashish (2018), VAR analizini kullanarak 2016-2018 dönemleri arasında günlük veriler ile geleneksel finansal varlıklarla Bitcoin arasındaki ilişkiyi test etmişlerdir. Ampirik sonuçlar, oldukça güçlü görünen farklı döviz piyasalarındaki bitcoin fiyatları arasındaki korelasyon yapısının iyi tanımlanabildiğini, buna karşın Bitcoin fiyatlarının döviz kurları, petrol, hisse senedi ve altın arasındaki korelasyonlarının düşük olduğunu göstermiştir. Rehman (2020) ise Bitcoin ile değerli metaller arasındaki risk yayılımı ve aşırı bağımlılığı incelemiştir. Bu çerçevede VAR, COVAR ve  $\Delta$ COVAR gibi farklı yöntemler kullanmıştır. Rehman (2020), Bitcoin ile değerli metaller arasındaki aşırı bağımlılık ve risk yayılımını 2013-2018 dönemleri arasında günlük verileri kullanarak incelemektedirler. Çalışmada değerli metaller olarak, altın, gümüş, bakır, buğday, platin ve paladyum değişkenlerini kullanarak VAR, COVAR ve  $\Delta$ COVAR testlerini yapmışlardır. Analiz bulguları, altının Bitcoin için diğer varlıklara kıyasla riskten korunma kabiliyetinin ve güvenli bir yatırım olduğunu doğrulamakta ve bu nedenle Bitcoin ile bir portföye dahil edilmesini önermektedir. Ayrıca Bitcoin'den değerli metal piyasasına doğru bir yayılma olduğunu ancak değerli metallerden Bitcoin'e doğru yayılma açısından gümüşün, herhangi bir aşağı yönlü risk yayılmasına karşı duyarsız olduğunu göstermektedir. Yukarı ve aşağı yönlü  $\Delta$ COVAR değerlerinde asimetrisinde rapor edildiği bu çalışmada, piyasalardan herhangi birinde getirilerdeki aşırı değişikliklerin diğer piyasadaki aşırı getirileri etkileme potansiyeline sahip olduğu gösterilmiştir. Dolayısıyla yazarlar çalışmanın sonucunda, Bitcoin'in değerli metallerle birlikte bir portföye dahil edilmesi gerektiğini bireysel yatırımcı ve fon yöneticileri için, aşırı aşağı yönlü fiyat hareketlerine karşı riskten korunma ile getiri sağlayan optimal bir portföyün formüle edilmesinde çıkarımlara sahip olabileceklerini iddia etmişlerdir.

Kripto para birimlerinin yeni bir varlık olarak görülmesinin ve portföy çeşitliliği, riskten korunma veya güvenli bir liman aracı olma özelliklerinin birbirinden farklı tekniklerle test edildiği ve bitcoin dışında diğer kripto para birimlerinin de portföy çeşitliliğinin incelendiği diğer çalışmalar incelendiğinde, bunların başında ilk olarak Corbet vd., (2018)'e ait çalışma gelmektedir. Corbet vd.(2018), 2017 yılı itibariyle piyasa getirisi açısından yüksek olan üç kripto para birimi (Bitcoin, Ripple ve Litecoin) ile altın ve hisse senetleri gibi finansal varlıklar arasındaki ilişkiyi zaman ve frekans boyutu yöntemi ile analiz etmişlerdir. Analize dahil edilen finansal varlık değişkenleri; MSC GSCI Toplam Getiri Endeksi, ABD doları geniş döviz kuru, S&P500 Endeksi,

COMEX kapanış altın fiyatı, VIX ve Markit ITTR110 endeksidir. Yapılan çalışma sonucunda yazarlar, kripto para birimlerinin geleneksel finansal varlıklardan izole edildiğini ve kısa yatırım ufkuna sahip yatırımcılar için portföy çeşitlendirmesi olarak kullanılabileceğini tespit etmişlerdir. Balcılar vd. (2016) tarafından önerilen yeni bir metodolojik yaklaşım kullanılarak kripto paraların portföy çeşitliliğini test eden Rehman ve Apergis (2018), 2012-2017 dönemleri arasında kripto paralar ile emtia vadeli işlemler arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışmada doğrusal olmayan bir çerçevede niceliklerdeki nedenselliği ölçmek için, Balcılar vd.(2016) tarafından önerilen yeni metodolojik yaklaşımı kullanmışlardır. Kripto para olarak Bitcoin ve Ethereum değişkenleri ile emtia vadeli işlemler olarak altın, bakır, gümüş, brent petrol, doğal gaz, ham petrol ve buğday değişkenleri kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgular, niceliklerin çoğunda hem ortalama hem de oynaklık açısından kripto para birimlerinden emtia vadeli işlemlerine doğru önemli bir nedensellik olduğu yönündedir. Dolayısıyla bu sonuçların, hem kripto para birimlerinin hem de emtia vadeli işlemlerinin tek başına ya da bir portföydeki geleneksel hisse senetleri dahil olmak üzere yatırımcılar için önemli sonuçlar doğurduğunu ifade etmişlerdir. Kripto para birimleri ile değerli metallere arasındaki ilişkinin incelendiği bir diğer farklı yöntem ise kuantil çapraz spektral yöntemidir. Rehman ve Vo (2020), kuantil çapraz spektral yaklaşımı ile 2017-2019 dönemleri arasında günlük verileri kullanarak kripto para birimlerinin portföy çeşitliliğini sınımlamışlardır. Çalışmada kripto para olarak Bitcoin, Ethereum, Litecoin, Dash, Monero ve Ripple değişkenleri, değerli metallere olarak Altın, Gümüş, Bakır, Platin, Paladyum ve Nikel değişkenleri kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda kısa vadede bakır, hem aşırı piyasa koşullarında hem de tüm kripto para birimlerine sahip yatırımcılar için maksimum çeşitlendirme fırsatları sağladığı vurgulanmıştır. Ancak orta ve uzun vadeli yatırım dönemleri için aşırı pozitif getiri dağılımı altındaki değerli metallere, aşırı negatif kripto para getirileri ile bütünleşmemekte ve bunun da yatırımcılar için çeşitlendirme fırsatları anlamına geldiği vurgulanmaktadır. Piyasa değeri açısından ilk sıralarda olan ve ilk çıkan kripto para birimleri dışında diğer altcoinlerin de portföy çeşitliliğinin test edilmesinin önemini vurgulayan Gonzalez vd., (2021) çalışmasında, Ocak 2015-Haziran 2020 dönemleri için önemli olan on iki farklı kripto para birimini analize dahil etmiştir. Çalışmada bu on iki kripto para birimi ile altın getirileri arasındaki asimetric karşılıklı bağımlılıklar NARDL yöntemi ile incelenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında kripto paralar ile altın arasında dinamik döngüsel bağlantı analiz edilmiştir. Sonucunda, tüm kripto para birimlerinin aynı davranmadığı, örneğin

Tether'in altın ile korelasyonunun düşük olduğunu ve Tether'in riskten korunma olarak değil de portföy çeşitlendirmesi olarak daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında Covid-19 dönemi iki alt dönem ayrılarak kriz dönemlerinde kripto para birimlerinin bağımlılığının değişip değişmediği incelenmiştir. İlk dönem Covid-19 krizinin ilk başlangıç dalgası olan Ocak 2020-Haziran 2020 arasındadır. İkinci dönem ise krizin merkez üssü olan Mart 2020-Haziran 2020 arasındadır. Bu dönemler içerisinde kripto para birimlerinin korelasyonunun yüksek olduğu ve altın getirisi ile eşbütünleşik getiriye sahip olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın son aşamasında ise sadece korelasyonu değil aynı zamanda eşbütünleşmeyi, kısa ve uzun dönem asimetriyi ve altın ile kripto para arasındaki ilişkinin sürekliliği inceleyerek altın ile kripto para arasındaki bağımlılık NARDL tekniği ile analiz edilmiştir. Çalışmanın sonucunda, kripto para birimlerinin, çoğu kripto para birimi getirisinin olumlu değişikliklerden çok olumsuzza daha fazla yanıt verdiği ve altın getirileri ile daha fazla kalıcılık sergilediği Covid-19 döneminde altın getirilerine kısa vadeli olduğu kadar uzun vadeli bir asimetrik tepki geliştirdiği tespit edilmiştir. Çalışmada tablo 2.1'de anlatılan yabancı literatür çerçevesinde son çalışma dinamik yayılma ve parametrik olmayan niceliksel nedensellik yaklaşımının kullanıldığı Fasanya vd., (2021)' aittir. Fasanya vd., (2021), 20/07/2010 – 26/06/2020 tarihleri arası dönem için Bitcoin, kıymetli metaller (gümüş, altın, platin ve paladyum) ve ABD Ekonomik Politika Belirsizliği arasındaki ilişkiyi günlük veriler kullanarak dinamik yayılma ve parametrik olmayan niceliksel nedensellik yaklaşımı analizi ile incelemişlerdir. Çalışmada, Bitcoin ile kıymetli metaller arasında güçlü bağlantı olduğu ancak bu bağlantının ekonomik politika belirsizliklerine karşı hedge veya güvenli liman işlevi göremeyebileceği tespit edilmiştir.

Kripto paralar ile geleneksel finansal varlıklar arasındaki ilişkinin test edildiği Türkçe çalışmalarda ise genellikle eşbütünleşme, korelasyon ve nedensellik testlerinin kullanıldığı gözlenmektedir. Bu çerçevede eşbütünleşme testini kullanarak kripto paraların portföy çeşitliliğini sınavan Öztürk vd. (2018), çalışmasında 2013-2018 dönemleri arasında Bitcoin ile altın, nasdaq, S&P500, nikkei225, Bloomberg emtia endeksi, petrol ve ABD 10 yıllık bono faizi arasındaki ilişkiyi test etmişlerdir. Çalışmalarında Johansen Eşbütünleşme analizini kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda, Bitcoin'in altın dışında diğer yatırım araçları ile uzun vadeli bir ilişkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu durumun Bitconomi olarak adlandırıldığı ve Bitcoin'in diğer geleneksel varlıklarla olan ilişkisizliğinin mikro açıdan taşıdığı risklere



rağmen makro bazda portföylerin riskini düşürebileceğini ifade etmişlerdir. Dolayısıyla Bitcoin'in portföy çeşitlendirme aracı olarak kullanılabilmesine değişmiştir. Eşbütünleşme analizi kullanarak kripto paraların çeşitlendirme aracı olup olmadığını araştıran bir diğer çalışma ise Salihoğlu ve Göv (2021) tarafından yapılmıştır. Salihoğlu ve Göv (2021), Bitcoin ile altın, gümüş ve ham petrol fiyatları arasındaki uzun dönemli ilişkiyi inceleyerek, Bitcoin'in alternatif bir yatırım aracı olup olamayacağını araştırmışlardır. Çalışmada 18/07/2010-17/01/2021 dönemleri arası haftalık veriler kullanılarak Maki eşbütünleşme testi ve dinamik en küçük kareler (DOLS) yöntemi kullanılmıştır. Maki eşbütünleşme testi sonucuna göre Bitcoin ile altın, gümüş ve ham petrol fiyatlarının yapısal kırılma altında uzun dönemde birlikte hareket ettikleri, dolayısıyla Bitcoin ile aralarında eşbütünleşme ilişkisinin olduğu tespit edilmiştir. Dinamik en küçük kareler (DOLS) yöntemi sonucuna göre ise altının uzun dönemde Bitcoin'i pozitif yönde etkilediği ve altından Bitcoin'e doğru Granger nedensellik olduğuna ulaşılmıştır. Gümüş ve ham petrolün ise uzun dönemde Bitcoin'i negatif etkilediği, gümüş ve ham petrol ile Bitcoin arasında Granger nedensellik olmadığı tespit edilmiştir. Yazarlar yaptıkları çalışma sonucunda, yatırımcıların portföylerine Bitcoin'i dahil edebilecekleri fakat Bitcoin'in güvenli bir liman olarak görülemeyeceğini belirtmişlerdir. Değerli metallere altın, gümüş gibi değişkenlerin dışında diğer metallere analize dahil edilerek kripto para birimleri arasındaki ilişkinin incelenmesi gerektiğini belirten Kamisli (2019), çalışmada Bitcoin ile değerli metallere arasındaki nedensellik ilişkisini 2011-2019 dönemleri için günlük verileri kullanarak frekans alanı yaklaşımında asimetric nedensellik analizi ile test etmiştir. Çalışmada değerli metallere olarak altın, gümüş, platin, paladyum, rutenyum, rodyum, iridyum, osmiyum ve renyum değişkenleri kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, tüm değerli metallere Bitcoin'e farklı frekanslarda nedensellik bulunduğu, renyum ve rutenyum fiyatlarındaki artışların tüm frekanslarda Bitcoin fiyatlarındaki artışların nedeni olduğu bulunmuştur. Bunlara ek olarak Bitcoin fiyatının farklı frekanslarda ve asimetric yapılarında sadece iridyum, osmiyum ve renyum fiyatlarına neden olduğu ve hemen hemen tüm frekanslarda Bitcoin fiyatındaki artışlardan iridyum fiyatlarındaki düşümlere kadar nedensellik olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla çalışma sonucuna göre yazar, Bitcoin ve değerli metallere arasında genellikle orta ve uzun vadeli nedensellik ilişkisinin olduğunu, bu bağlamda yatırımcılara kısa yatırım ufku için bu varlıklara yatırım yapmaları ve Bitcoin ile altın, paladyum, platin, renyum ve rutenyum portföy tahsis kararları arasındaki ilişkileri dikkate almalarının önerilebileceğini ifade etmiştir. Kripto para birimlerinin portföy

çeşitlendirme aracı olma özelliğini inceleyen literatür çalışmalarından sonuncusu Okuyan ve Deniz (2019) çalışmasıdır. Yazarlar çalışmalarında, Bitcoin ve Ethereum ile geleneksel portföyleri temsilen seçilmiş ülkelerin hisse senedi endeksleri ve kıymetli madenler olarak altın, gümüş, platin arasındaki korelasyon ilişkisini 2015-2019 dönemleri için analiz etmişlerdir. Analizden elde edilen bulgulara göre Bitcoin ve Ethereum ile diğer finansal varlık getirileri arasında pozitif ve anlamlı bir korelasyon ilişkisi elde edilememiştir. Bu bulgunun kripto paraların geleneksel portföyleri çeşitlendirmek için iyi bir finansal seçenek olabileceğini vurgulamışlardır.

Genel olarak bakıldığında kripto paralar ile değerli metaller arasındaki ilişkinin incelenmesine yönelik çalışmalar çok nadir bulunmaktadır. Literatürde bu alanda yapılan çalışmalar çoğunlukla yabancı çalışmalardır ve bu çalışmalarda da genellikle kripto para birimleri ile geleneksel finansal varlıklar arasında bir ilişki tespit edilememiştir. Dolayısıyla ekonomistler tarafından bu durum kripto paraların bir portföy çeşitlendiricisi olabileceği üzerinde durulmuştur. Bu alanda yapılan yerli çalışmalar ise çok sınırlı sayıdadır. Yapılan bazı çalışmalar sonucunda kripto para birimleri ile geleneksel finansal varlıklar arasında bir ilişki bulunamamasına karşın çalışmada incelenen dönemler arasında kripto para ve değerli metallerin grafiksel dağılımında (grafik 2.3) birlikte hareket etmelerinden dolayı aralarında ilişki olabileceği düşüncesinden yola çıkılarak bu çalışmada daha geniş bir veri seti ve farklı analiz teknikleri kullanılarak bu değişkenler arasındaki ilişkinin yeniden araştırılması düşünülmüştür. Ayrıca değişkenler arasında bir ilişki çıkması durumunda da bu piyasaların yarı-güçlü formda etkinliği konusunda bilgi sahibi olunması amaçlanmıştır. Dolayısıyla çalışmanın, bu çerçevede literatüre katkı sağlayabileceği öngörülmektedir.

### **2.3. Ekonometrik Yöntem**

#### **2.3.1. Metodoloji**

İktisadi zaman serilerinin zamanla almış oldukları değerler doğrultusunda oluşan eğimleri, doğrusal olmayan bir forma sahip olabilmektedir. Özellikle finansal piyasalarda, yapısal ve davranışsal seçimler etkili olabilmektedir. Yani, piyasanın spekülative hareketlere açık olması, finansal piyasalarda işlem gören yatırımcıların bu piyasaya ait beklentilerinin ve bilgi düzeylerinin farklı olması yatırımcıların karar alma sürecini farklı yönde etkilemektedir. Dolayısıyla ortaya doğrusal olmayan bir süreç çıkabilmektedir. Kripto para piyasasının da spekülative ve kırılabilir yapısı göz önüne alındığında serilerin doğrusal olmama durumlarının olabileceği düşünüldüğünden bu

çalışmada kripto paralar ile kıymetli metallere arasındaki ilişki doğrusal olmayan eşbütünleşme testi ile incelenmiştir. Ancak öncelikle çalışmada doğrusal olmayan eşbütünleşme tekniğinin kullanılabilmesi için serilerin doğrusallık sınavının yapılması analiz sonuçlarının doğru tespit edilmesi açısından önemlidir (Zeytinoğlu, 2020:53-54).

Çalışmanın temel amacı kripto paralar ile kıymetli madenlerin uzun dönemde birlikte hareket edip etmediklerini test etmektir. Bu çerçevede yapılan analizden elde edilmek istenen bulgu, kripto paralar ile kıymetli metallere arasında bir ilişki olup olmadığı, kripto paraların geleneksel portföyleri çeşitlendirme amaçlı kullanılıp kullanılmayacağına dair bir sonuç elde etmektir. Literatürde son zamanlarda yapılan çalışmalara bakıldığında, zaman serisi analizlerindeki yapısal kırılmaların ve serilerin doğrusal olmamaları durumuna dikkat çekilmektedir. Dolayısıyla yapılan ekonometrik çalışmalarda, öncelikle serilerin doğrusal olup olmamalarının araştırılmasının önemli olduğuna dikkat çekilmiştir. Literatürde çeşitli doğrusallık testleri olmasına rağmen genellikle serilerin doğrusal olup olmaları Luukkonen vd.(1988), Harvey ve Leybourne(2007) ve Harvey vd.(2008) doğrusallık testleri yardımıyla araştırılmaktadır (Güriş, 2016:35). Bu testlere ek olarak Kapetanios vd.(2003) birim kök testi de serilerin doğrusal olup olmadığı konusunda bilgi vermektedir. Çünkü Kapetanios(2003) birim kök testi, birim kök var boş hipotezine karşılık doğrusal olmayan ancak durağan üstel yumuşak geçişli otoregresif (ESTAR) süreci ifade eden alternatif hipotezi test etmektedir. Dolayısıyla Kapetanios vd.(2003) bir diğer adıyla KSS(2003) birim kök testinde boş hipotezin reddedilmesi serilerin doğrusal olmayan formda olduğunu göstermektedir. Bu bilgiler çerçevesinde kripto para ve kıymetli metallere piyasasının spekülasyon ve kırılabilir yapısı dikkate alınarak analizde kullanılan değişkenlerin doğrusal olmayabileceği düşüncesinden ve KSS(2003) birim kök testinin alternatif hipotezinin doğrusal olmayan durağan ESTAR süreci test etmesinden yola çıkarak bu çalışmada KSS(2003) birim kök testi kullanılarak serilerin doğrusallık sınavı yapılmaktadır. Analizde kullanılan tüm seriler için doğrusallık testine ilişkin teknik açıklamalar aşağıdaki gibi sunulmaktadır:

Doğrusal olmayan modeller varyansta ve ortalamada doğrusal olmayan şekilde 2'ye ayrılmaktadır. Bu çalışmada ortalamada doğrusal olmayan modellere yer verilmektedir. Literatürde eşik değerli otoregresif model (TAR), kendinden uyarımlı eşik değerli otoregresif model (SETAR) ve yumuşak geçişli eşik değerli otoregresif model (STAR) gibi çok sayıda ortalamada doğrusal olmayan modeller bulunmaktadır.

KSS(2003) birim kök testinin temeli STAR tipi modele dayandığından çalışmada sadece STAR tipi model açıklanmaktadır.

STAR tipi model rejimler arası geçişin yumuşak olduğu ve geçiş fonksiyonunun uç değerlerinin 0 ile 1 arasında ilişkili iki rejime izin veren bir rejim değiştirme modelidir. Diğer yandan STAR modelinde geçiş fonksiyonu 0 ile 1 arasında değerler alan sürekli bir fonksiyondur (Dijk vd., 2002:3).

STAR modelinde rejimler arası geçişin yumuşak olma özelliği vardır. Bundan dolayı geçiş fonksiyonu yerine eşik değerin kullanıldığı ve rejimler arası geçişin sert olduğu SETAR tipi modelden farklılaşmaktadır. Diğer yandan STAR modelin TAR modelinden farklı olduğu durum da bulunmaktadır. TAR modelinde geçiş maliyeti eşik tüm ekonomik ajanlar için homojen iken STAR modelinde maliyet heterojen yapıya sahiptir (Terasvirta ve Anderson, 1992:121 ve Anderson, 1997:466).

Tek değişkenli STAR modeli ve iki rejimli STAR modeli aşağıdaki gibi gösterilmektedir Franses ve Dijk, 2000:72-73, Dijk vd., 2002:2-4 ve Hasanov ve Omay, 2007:4).

$$z_t = \beta z_{t-1} + \Phi z_{t-1} G(s_t; \gamma, c) + \varepsilon_t \quad (2.1)$$

$$z_t = (\Phi_{0,1} + \Phi_{1,1}z_{t-1} + \dots + \Phi_{p,1}z_{t-p}) (1 - G(s_t; \gamma, c)) + (\Phi_{0,2} + \Phi_{1,2}z_{t-1} + \dots + \Phi_{p,2}z_{t-p}) G(s_t; \gamma, c) + \varepsilon_t \quad (2.2)$$

veya

$$z_t = \Phi_1' x_t (1 - G(s_t; \gamma, c)) + \Phi_2' x_t G(s_t; \gamma, c) + \varepsilon_t \quad (2.3)$$

Burada  $x_t = (1, \tilde{x}_t')$ ,  $\tilde{x} = (z_{t-1}, \dots, z_{t-p})$  ve  $\Phi_i = (\Phi_{i,0}, \Phi_{i,1}, \dots, \Phi_{i,p})'$ ,  $i=1,2$  dir. Denkleminde yer alan  $G(s_t, \gamma, c)$  fonksiyonu geçiş fonksiyonudur.  $G(s_t, \gamma, c)$  geçiş fonksiyonu 0 ile 1 arasında sınırlandırılmış sürekli bir fonksiyondur. Modelde yer alan  $s_t$  değişkeni geçiş değişkeni,  $\gamma$  bir rejimden diğerine geçişi sağlayan düzgünleştirme ya da eğim parametresidir. Yani geçiş yumuşaklığını ve hızını temsil eder. Yumuşak geçişli modellerin geçiş fonksiyonlarında geçiş ve eşik değer parametresi yer almaktadır. Geçiş parametresi geçiş hızını, eşik değer parametresi ise geçiş noktasını göstermektedir. Bir rejimden diğer rejime geçiş parametresi yüksekse geçiş hızı yüksektir. Yani geçişin gerçekleşmesi çok zaman almaz.  $\varepsilon_t$  sıfır ortalamalı, sabit varyanslı fark denklemdir.  $c$  parametresi ise rejimler arası eşik değerdir. STAR modelinde geçiş değişkeni  $s_t$ 'nin gecikmeli içsel değişken olduğu yani belirli bir  $d > 0$  tamsayı için  $s_t = z_{t-d}$  olduğu varsayılır. Burada  $d \geq 1$  gecikme parametresidir. Modelde  $G(s_t, \gamma, c)$  geçiş fonksiyonu ile rejimler arası geçiş yumuşak olmaktadır. Geçiş fonksiyonunun  $G(s_t, \gamma, c)$ , 0-1 arasında değer almasının yanı sıra iki rejime de izin veren yani  $G(s_t, \gamma, c) = 0$  ve  $G(s_t, \gamma, c) = 1$

olduğu durumlarda vardır. Bu durum rejimler arası geçişin yumuşak olduğu modelde geçiş fonksiyonunun uç değerleri ile ilişkilidir (Dijk vd. 2002:2-3 ve Hasanov ve Omay, 2007:4).

STAR modelinde, yumuşak geçişli eşik değerli modelleri açıklayan geçiş fonksiyonları olarak 2 tür model kullanılmaktadır. Bunlar; lojistik dağılımlı yumuşak geçişli otoregresif model (LSTAR) ve üstel dağılımlı yumuşak geçişli otoregresif model (ESTAR) olarak açıklanmaktadır.

LSTAR model gösterimi aşağıdaki gibidir:

$$G(s_t, \gamma, c) = (1 + \exp\{-\gamma(s_t - c)\})^{-1}, \quad \gamma > 0 \quad (2.4)$$

Bu denklemde eşik değer  $c$  parametresi geçiş değişkeni  $s_t$  ye eşit olduğu durumda ( $s_t=c$ ) geçiş fonksiyonu  $G(s_t, \gamma, c)=0.5$  olmaktadır.  $c$  parametresi  $s_t$  ile birlikte arttıkça geçiş fonksiyonunun 0 ile 1 arasında monoton olarak değişmesi iki rejim arasında eşik olarak yorumlanır.  $s_t < c$  ise geçiş fonksiyonu 0'a yaklaşır.  $s_t > c$  ise geçiş fonksiyonu 1'e yaklaşır.  $\gamma \rightarrow 0$  olduğunda lojistik fonksiyon bir sabite (yani 0.5) yaklaşırken  $\gamma=0$  olduğunda LSTAR modeli  $\frac{\phi_j = (\phi_{1j} + \phi_{2j})}{2}$ ,  $j=0,1,\dots,p$ , parametreleriyle doğrusal bir AR modeline indirgenir.

LSTAR modelinde iki rejim,  $s_t$  geçiş değişkeninin  $c$ 'ye göre büyük ve küçük değerleriyle birleştirilir. Bu tip rejim değiştirme örneğinin LSTAR rejimlerinin ekonominin genişleme ve durgunluklarla ilgili olduğu konjonktür dalgalanması asimetrisini modellemek için uygun olabilir. Bunun ampirik uygulamaları için Terasvirta ve Anderson (1992) ve Skalin ve Terasvirta (2001) çalışmalarına bakılabilir. Bazı uygulamalarda, rejimler  $s_t$ 'nin  $c$ 'ye göre mutlak değerce küçük ve büyük değerleriyle ilişkilendirilecek şekilde geçiş fonksiyonunu belirtmek daha uygundur. Bu ise üstel fonksiyon kullanılarak yapılabilir (Dijk vd., 2000:4)..

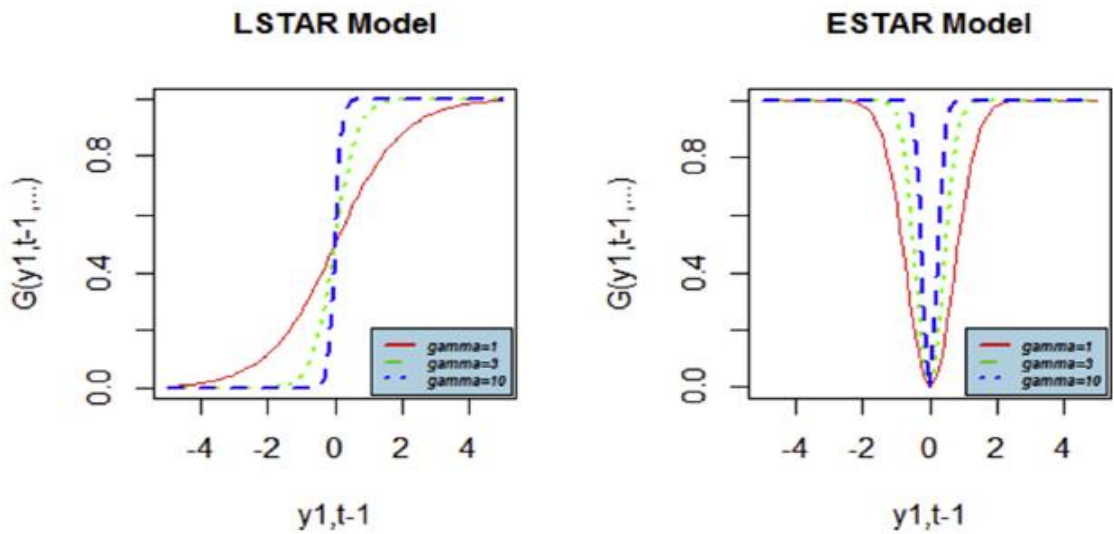
ESTAR model gösterimi aşağıdaki gibidir:

$$G(s_t, \gamma, c) = 1 - \exp\{-\gamma(s_t - c)^2\}, \quad \gamma > 0 \quad (2.5)$$

Üstel fonksiyon hem  $s_t \rightarrow -\infty$  hem de  $s_t \rightarrow +\infty$  olduğunda geçiş fonksiyonu  $G(s_t, \gamma, c) \rightarrow 1$  ve  $s_t=c$  olduğunda ise  $G(s_t, \gamma, c)=0$  özelliğini taşır. Bu durumda üstel dağılımlı yumuşak geçişli otoregresif model (ESTAR) oluşur. Düzgünleştirme parametresi  $\gamma \rightarrow 0$  olduğunda geçiş fonksiyonu 0,  $\gamma \rightarrow \infty$  olduğunda ise geçiş fonksiyonu 1 gibi sabit bir değere eşittir. Bu durum rejimler arası geçişin sert olmasına yol açmaktadır ki bu da SETAR modelini oluşturmaktadır. LSTAR modelinde,  $\gamma \rightarrow 0$  iken doğrusal fonksiyon,  $\gamma \rightarrow \infty$  iken SETAR modeli oluşmaktadır. ESTAR modelinde,  $\gamma \rightarrow 0$  veya  $\gamma \rightarrow \infty$  gibi her

iki durumda da model doğrusal fonksiyon özelliği oluşturmaktadır. Dolayısıyla ESTAR modeli SETAR modelini içermez. Bunun istenmeyen bir durum olduğu düşünülürse ikinci dereceden lojistik fonksiyon kullanılabilir (Dijk vd., 2000:4).

Terasvirta ve Anderson (1992) çalışmasında, LSTAR modelinde ayarlama davranışı asimetriktir. Ekonominin daralma ve genişleme dönemlerinin farklı dinamiklere sahip olduğunu ve dinamiklerdeki geçişin yumuşak olduğunu belirtilmektedir. ESTAR modelinde ise ayarlama davranışı simetriktir. Bu modelde ekonominin genişleme ve daralma dönemleri birbirine benzerdir ve sadece rejimler arası geçiş dinamikleri farklıdır. ESTAR modelinde ekonominin genişleme ve daralma dönemlerinin her ikisinde de ayarlama dinamikleri aynı olduğu için  $\gamma=0$  ve  $\gamma \rightarrow \infty$  olduğunda doğrusal modeli,  $s_t=c$  ise orta rejimi temsil etmektedir.  $s_t=c$  iken yani orta rejimde değişkenlerin davranışı birbirinden farklıdır. Bu iki farklı rejimde bir şok olması durumunda tekrar ortalamaya dönme hızı birbirinden farklı değil ise bu durumda ESTAR modelinin kullanımı uygundur (Dijk vd., 2000:4).



Kaynak: Umer vd., 2017:4

**Şekil 2.1: LSTAR ve ESTAR model eğrileri**

STAR modelinin tahmin aşamaları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır (Terasvirta, 1994:210-213, Franses ve Dijk, 2000:100-103, Dijk vd., 2000:11-12 ve Rodriguez ve Sloboda, 2005:141-142).

- Doğrusal bir AR modeli belirlenir. Gecikme uzunluğu ise Akaike bilgi kriteri (AIC) veya Schwarz bilgi kriteri (SIC) ile belirlenmektedir. Ancak SIC bilgi kriteri kullanılırsa artıklar arasındaki otokorelasyon Ljung ve Box (1978) gibi bir test ile sınanmalıdır. Aksi durumda göz ardı edilen otokorelasyon doğrusallık hipotezinin reddedilmesine yol açabilir.

- Doğrusal AR modeli için gecikme uzunluğu belirlendikten sonra gecikme parametresi  $d$  nin farklı değerleri için doğrusallığın boş hipotezi test edilir ve boş hipotezin reddedildiği gecikme parametresi  $d$  bulunur.

- Doğrusallığın reddedildiği gecikme parametresi bulunduğundan sonra uygun geçiş değişkeni seçilerek LSTAR ya da ESTAR modelleri arasında seçim yapılır.

Doğrusallığın STAR modeline karşı test edilmesi, STAR modellerin oluşturulmasına yönelik ilk adımı oluşturmaktadır. Doğrusallığı ifade eden boş hipotez 2.3 nolu denklemdeki iki rejimli STAR modelinin rejimlerindeki otoregresif parametrelerin eşitliği olarak ifade edilmektedir. Böylece hipotezler aşağıdaki gibidir:

$$H_0: \Phi_1 = \Phi_2$$

$$H_A: \Phi_{1,j} \neq \Phi_{2,j}$$

Burada boş hipotez iki rejim için de parametrelerin aynı olmasını belirtmektedir. Denklemde  $\gamma$  ve  $c$  parametreleri boş hipotez altında tanımlanamazlar. Böyle bir durumda test karmaşık duruma gelir. Gayri resmi olarak, STAR modeli boş hipotez tarafından kısıtlanmayan fakat boş hipotez doğru olduğunda verilerden bir bilgi elde edilemeyen parametreler içerir.  $\Phi_1 = \Phi_2$  boş hipotezi,  $\gamma$  ve  $c$  geçiş fonksiyonundaki parametreleri kısıtlamaz ancak  $H_0$  geçerli olduğunda, olasılık  $\gamma$  ve  $c$  geçiş parametrelerinin değerlerinden etkilenmez. Böyle bir durumda tanımlanamayan sorunlu parametrelerin varlığını göstermenin alternatif yolu, doğrusallığı gösteren boş hipotezin farklı şekillerde formüle edilebileceğini belirtmektedir. İki rejimli STAR modelinde  $H_0: \Phi_1 = \Phi_2$  boş hipotezinin yanı sıra alternatif olarak  $H'_0: \gamma=0$  hipotezi de geçiş fonksiyonlarının her biri için doğrusal modele yol açar. Yani  $H'_0: \gamma=0$  hipotezi ile de doğrusal model sınanabilir. Eğer  $H'_0$  hipotezi kullanılırsa, lokasyon parametresi  $c$  ve  $\Phi_1, \Phi_2$  parametreleri tanımlanamayan parametrelerdir.

STAR modelinde boş hipotez altında tanımlanamayan parametreler sorunu ilk olarak Davies (1977;1987) tarafından ele alınmıştır. Bu tür tanımlanamayan parametrelerin varlığının temel sonucu klasik olabilirlik oranı, Lagrange çarpanı ve Wald istatistiklerinin asimptotik boş dağılımını elde etmek için geleneksel istatistiksel teorinin mevcut olmamasıdır. Bunun yerine, bu test istatistikleri genellikle analitik ifadelerin bulunmadığı ancak simülasyon yoluyla elde edilmesi gereken standart olmayan dağılımlara sahip olma eğilimindedir.

STAR modelinde doğrusallığın test edilmesi sorunu ilk olarak Lukkonen vd., (1988a)'da ele alınmıştır. Bu soruna çözüm olarak  $G(s_t; \gamma, c)$  geçiş fonksiyonunu uygun bir Taylor serisi yaklaşımıyla değiştirmek olduğunu önermişlerdir. Çalışmada yeniden

parametrelendirilen denklemde, tanımlama sorununun artık çözülebildiği ve doğrusallığın boş hipotez altında standart bir asimptotik  $\chi^2$  dağılımı ile bir Lagrange çarpanı istatistiği aracılığıyla test edilebileceği öne sürülmüştür.

Taylor serisi uygulanmış LSTAR modeli denklem 2.6'da gösterilmektedir (Umer vd., 2017:4):

$$\Delta z_t = \beta z_t + \sum_{i=1}^3 \Phi_i z_t s_t^i + v_t \quad (2.6)$$

Burada  $\Delta z_t = z_t - z_{t-1}$  1.dereceden farkı alınmış değişken,  $\Phi_i = (\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3)$  yardımcı regresyon parametreleri ve  $v_t$  ilk hata terimi  $\varepsilon_t$  ile Taylor açılımından kaynaklanan hatayı birleştiren hata terimidir.

Yukarıdaki doğrusal olmayan STAR modelinin yardımcı regresyonlarında doğrusallığı test eden boş hipotez aşağıdaki gibidir.

$$H_0 : \Phi_1 = \Phi_2 = \Phi_3$$

Burada boş hipotez asimptotik  $\chi^2$  dağılımı ile Lagrange çarpanı (LM) test istatistiği kullanılarak doğrusal olmayan STAR modellerine karşı test edilebilir.

Bir zaman serisinin doğrusal olmadığını doğruladıktan sonraki adım, geçiş değişkenini ayarlayarak uygun geçiş fonksiyonu  $G(s_t; \gamma, c)$  formunu seçmek ve uygun doğrusal olmayan STAR tipi modeli belirlemektir. STAR modelinin spesifikasyonu, 2.6 nolu denklem bağlamında bir dizi hipotez testi temelinde yapılabilir.

$$H_1: \Phi_3 = 0$$

$$H_2: \Phi_2 = 0 \mid \Phi_3 = 0$$

$$H_3: \Phi_1 = 0 \mid \Phi_2 = \Phi_3 = 0$$

LSTAR modeline karşı doğrusallık testi,  $H_1$  ve  $H_2$  boş hipotezinin test edilmesine eşdeğerken, ESTAR modeline karşı doğrusallık testi  $H_3$  hipotezine dayanmaktadır. LSTAR ve ESTAR modelleri arasında seçim yapmak için karar Terasvirta (1994) tarafından önerilmiştir. Terasvirta (1994)'e göre;

- $H_1$  reddedildiğinde **LSTAR** modeli,
- $H_1$  reddedilmeyip  $H_2$  reddedilirse **ESTAR** modeli,
- $H_1$  ve  $H_2$  reddedilmeyip  $H_3$  reddedilirse **LSTAR** modelinin seçilmesi uygundur.

Uygun model seçildikten sonra model, doğrusal olmayan en küçük kareler methodu kullanılarak tahmin edilebilir (Umer vd., 2017:4).

STAR tipi modeller ile ilgili genel bilgi verildikten sonra çalışmanın bu aşamasında STAR tipi birim kök testi olan KSS(2003) birim kök testinin metodolojisine yer verilmektedir. KSS(2003) birim kök testinin alternatif hipotezi serilerin doğrusal



olmayan ancak durağan ESTAR modeline sahip olduğunu belirtmesinden dolayı çalışmada serilerin doğrusallık sınaması KSS(2003) doğrusal olmayan birim kök testi ile yapılmaktadır.

STAR tipi birim kök testi olan KSS(2003), Taylor açılımının kullanıldığı yeni bir birim kök testi geliştirmiştir. Doğrusal formda olmayan seriler için yapılan geleneksel birim kök testleri sonucunda durağan bir seriye ilişkin, birim köklü olduğuna dair yanlış karar verilebilir. Dolayısıyla birim kök sorununu çözmek için fark alma işlemi yapılır ve sonuç olarak gereksiz bir veri kaybına uğranabilir. Doğrusal olmayan serilere ilişkin yapılan geleneksel birim kök testlerinin doğru sonuçlar vermeyebileceği düşüncesiyle KSS(2003) ADF tipi birim kök sürecini geliştirerek, geçiş fonksiyonunun üstel bir forma sahip olduğu yeni bir birim kök testini öne sürmüşlerdir. Böylece geleneksel birim kök testleri sonucunda seriye ilişkin birim köklü çıkması durumunda gereksiz fark alarak bilgi kaybının önlenmesi sağlanmıştır. KSS(2003) birim kök testinde alternatif hipotezin geçerli olması halinde, pozitif ve negatif şokların etkisi zaman serisi üzerinde aynı olacaktır. Yani serinin kendisine vereceği bir şoka tepkisi simetrik olacaktır. KSS(2003) testinin boş hipotezi serinin birim köke sahip olduğunu, alternatif hipotez ise doğrusal olmayan ancak durağan üstel yumuşak geçişli otoregresif süreç (ESTAR) olduğunu ifade etmektedir (Kapetanios vd., 2003:361-364, Hepsağ ve Akçalı, 2018: 78-79).

Modelin hipotezi aşağıdaki gibidir:

$H_0$ : Birim kök

$H_A$ : Doğrusal olmayan durağan ESTAR süreç

KSS(2003) birim kök testinin tek değişkenli STAR (1) modeli aşağıdaki gibidir (Kapetanios vd., 2003:359-361).

$$z_t = \beta z_{t-1} + \Phi z_{t-1} G(\theta; z_{t-d}) + \varepsilon_t \quad (2.7)$$

Denklemden  $\beta$  ve  $\Phi$  bilinmeyen parametrelerdir.  $\varepsilon_t \sim iid(0, \sigma^2)$  yani ortalaması sıfır, sabit varyanslı iid sürece sahip hata terimidir.  $\theta$  rejimler arası geçiş hızını belirleyen parametredir.  $\theta$ 'nın pozitif olması ortalamaya dönme sürecinin hızını da göstermektedir.  $G(\theta; z_{t-d})$  geçiş fonksiyonudur.  $z_t$  değişkeninin sıfır ortalamalı stokastik süreç olduğu varsayılmaktadır. STAR modelinde kabul edilen üstel geçiş fonksiyonu aşağıdaki denklemlerle gösterilmektedir:

$$G(\theta; z_{t-d}) = 1 - e^{-\theta(z_{t-d}-c)^2} \quad (2.8)$$

veya

$$G(\theta; z_{t-d}) = 1 - \exp(-\theta z_{t-d}^2) \quad (2.9)$$

Denklemden gecikme parametresi  $d \geq 1$  ve  $\theta \geq 0$  olduğu varsayılmaktadır. Üstel geçiş fonksiyonu 0 ile 1 arasında sınırlandırılmıştır. Yani  $G: \mathbb{R} \rightarrow [0, 1]$  özelliğine sahiptir.

$$G(0) = 0; \lim_{x \rightarrow +\infty} G(x) = 1 \quad (2.10)$$

Bu bilgiler çerçevesinde 2.9 numaralı denklem 2.7 numaralı denklemde yerine yazıldığında, ESTAR modeli elde edilmektedir. Elde edilen ESTAR modeli denklem 2.11 de gösterilmektedir.

$$z_t = \beta z_{t-1} + \Phi z_{t-1} [1 - \exp(-\theta z_{t-d}^2)] + \varepsilon_t \quad (2.11)$$

Model uygun parametreler kullanılarak yani  $\theta \geq 0$ ,  $d=1$  şeklinde 1.derece farkı alınarak yeniden yazılabilir:

$$\Delta z_t = \alpha z_{t-1} + \Phi z_{t-1} [1 - \exp(-\theta z_{t-1}^2)] + \varepsilon_t \quad (2.12)$$

2.12 numaralı denklemde  $\alpha = \beta - 1$  dir. Rejimler arası geçiş hızını belirleyen parametre  $\theta$ 'nın pozitif olması, ortalamaya dönme hızının etkinliğini göstermektedir. 1.derece farkı alınarak oluşturulan yeni modelde  $\alpha \geq 0$  varsayımında,  $\Phi < 0$  ve  $\alpha + \Phi < 0$  olması gerekmektedir. Bu durumda süreç durağan olmaktadır. Dolayısıyla bu şartlar altında süreç birim kök izleyebilir veya orta rejimde  $z_{t-d}^2$  küçük ise patlayan süreç olabilir. Ters durumda yani orta rejimde  $z_{t-d}^2$  büyük ise süreç durağan dinamiklere sahiptir ve sonuç olarak geometrik olarak ergodiktir. KSS (2003) çalışmasında yazarlar, ADF testinin bu tür durağan alternatifine karşı gücünün düşük olabileceğini iddia etmişler ve böyle bir ESTAR süreçlerine karşı güce sahip olacak şekilde tasarlanmış alternatif bir test geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri test sonuçları ise durağan ESTAR sürecinin alternatif hipotezi altında ADF testinden daha güçlü olduğu tespit edilmiştir.

$z_t$  nin orta rejimde birim kök sürecini takip ettiğini varsayarsak 2.12 numaralı denklemde  $\alpha = 0$  kısıtını uygularız. Boş hipotez  $\alpha = 0$ ,  $\theta = 0$  doğrusal birim kökün özel halini test ederken alternatif hipotez  $\alpha = 0$ ,  $\theta > 0$  doğrusal olmayan durağan süreci test etmektedir. Bu durumda ise  $-2 < \Phi < 0$  koşulu geçerlidir. Uygulamada gecikme parametresi  $d$ 'nin değerinin doğru belirlenebilmesi için teorik açıklamaların yeterli olmadığı görülmektedir. Yapılan çalışmalarda genel olarak uygun gecikme parametresi  $d$ , uyum iyiliğini maksimize eden  $d = (1, 2, \dots, d_{\max})$  yapıya göre seçilmektedir. Ampirik çalışmalara uygun olarak yapılan çalışmalarda genel olarak  $d=1$  alınmaktadır.  $\alpha = 0$  ve  $d=1$  olduğunda özel ESTAR modeli 13 numaralı denklemdeki gibidir.

$$\Delta z_t = \Phi z_{t-1} [1 - \exp(-\theta z_{t-1}^2)] + \varepsilon_t \quad (2.13)$$

Denklem 2.13'de geleneksel ADF testi ile durağanlığı sınamak yanıltıcı sonuçlar verebilir. Dolayısıyla KSS(2003)'ün geliştirdiği yeni test ile  $\theta$  parametresine odaklanılmıştır. Dolayısıyla hipotezler aşağıda gösterildiği gibidir:

$$H_0: \theta = 0$$

$$H_A: \theta > 0$$

2.13 numaralı denklemde  $\Phi$  parametresi tanımlanmadığında boş hipotez test edilemez. Bu sorunu çözebilmek için Lukkonen vd.,(1988) çalışması izlenerek t-tipi test istatistiği türetilir. ESTAR modeline 1.dereceden Taylor yaklaşımı uygulandıktan sonra elde edilen yardımcı regresyon denklem 2.14'de gösterilmektedir.

$$\Delta z_t = \delta z_{t-1}^3 + \varepsilon_t \quad (2.14)$$

Denklem 2.14'de hipotezler  $\delta$  üzerinden kurulur. Modelin hipotezleri şu şekildedir:

$$H_0: \delta = 0$$

$$H_A: \delta < 0$$

Denklem 2.14'de  $z_{t-1}^3$  değişkeni doğrusal olmayan ESTAR durumunu ifade etmektedir. Ayrıca modelde otokorelasyon sorunu olmaması için  $\Delta z_t$  nin gecikmeli değerleri denklemin sağ tarafına bağımsız değişken olarak eklenebilmektedir. Sonuç olarak otokorelasyon sorununa karşı denklem yeniden yazılırsa aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$\Delta z_t = \delta z_{t-1}^3 + \sum_{k=1}^m \rho_k \Delta z_{t-k} + \varepsilon_t \quad (2.15)$$

Taylor açılımı uygulandıktan sonra modelin hipotezini test etmek için kullanılan t-tipi test istatistiği aşağıdaki gibidir:

$$t_{NL} = \frac{\hat{\delta}}{s.e(\hat{\delta})}$$

Burada  $\hat{\delta}$ ,  $\delta$  parametresinin EKK tahmincisidir.  $se(\hat{\delta})$  ise  $\hat{\delta}$  nın standart hatasıdır.  $t_{NL}$  test istatistiği asimptotik olarak normal dağılmadığından standart t tablosu ile karşılaştırılması mümkün değildir. Bundan dolayı KSS(2003) tarafından üretilen Monte Carlo simülasyonları sonucunda elde edilen kritik değerler kullanılmaktadır. KSS(2003) tarafından üretilen bu kritik değerler ham, ortalamadan ve ortalama ve trendden arındırılmış şeklindedir.

Taylor açılımı uygulandıktan sonraki hipotezlerin test edilmesi sonucunda  $t_{NL}$  test istatistiği KSS(2003) kritik değerden küçük ise boş hipotez reddedilmemektedir. Yani seriler birim köklüdür. Ancak  $t_{NL}$  test istatistiği KSS(2003) kritik değerden daha

büyükse bu durumda boş hipotez reddedilir. Dolayısıyla doğrusal olmayan ancak durağan ESTAR sürecinin geçerli olduğu tespit edilmektedir.

Çalışmada kullanılan değişkenlere ilişkin yukarıda bahsedilen doğrusallık testlerinin sonuçları veri seti ve ampirik bulgular başlığı altında detaylı verilmiştir. KSS(2003) birim kök testinin sonucuna göre çalışmada kullanılan tüm değişkenler için boş hipotez reddedilmiş dolayısıyla tüm değişkenlerin doğrusal olmayan durağan ESTAR sürece sahip olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla analize doğrusal olmayan eşbütünleşme tekniğine izin veren KSS (2006) eşbütünleşme testi ile devam edilecektir. Ancak KSS eşbütünleşme testinin yapılabilmesi için öncelikle Engle-Granger eşbütünleşme testinin yapılması gerekmektedir.

Engle-Granger Eşbütünleşme testlerinin yapılabilmesi için değişkenlerin aynı düzeyde ve I(1)'de durağan olmaları gerekmektedir. Bu çerçevede değişkenlerin yapısına uygun olarak, klasik doğrusal birim kök testleri, yapısal kırılmalı birim kök testleri ve doğrusal olmayan birim kök testleri uygulanabilmektedir. Bu çalışmada Genişletilmiş Dickey Fuller (ADF), PhillipsPerron (PP) geleneksel birim kök testleri ve KSS(2003) doğrusal olmayan birim kök testleri uygulanmıştır. Geleneksel birim kök testi sonuçlarına göre tüm değişkenlerin sabit ve sabit/trendli modelde I(1) düzeyinde durağan olduğu gözlenmektedir. Test sonuçları veri seti ve ampirik bulgular başlığı altında tablo halinde gösterilmektedir. Serilerin I(1) düzeyinde durağanlaşması durumu Engle-Granger eşbütünleşme testinin yapılmasına imkan tanımaktadır.

Engle-Granger (1987) testi 2 aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada birinci dereceden durağan olan iki değişken arasında bir regresyon kurulur, ikinci aşamada ise bu regresyondan elde edilen hata terimleri ile bir otoregresif model kurulur ve bu hata terimlerinin durağanlık sınaması yapılır (Yılancı, 2009:208). Kurulan birinci ve ikinci aşama regresyonları aşağıdaki denklemlerle gösterilmiştir (Kapetanios vd., 2006:1-3):

$$z_t = \beta' x_t + \varepsilon_t \quad (2.16)$$

$$\Delta \varepsilon_t = \delta \varepsilon_{t-1} + u_t \quad (2.17)$$

2.17 numaralı denklemde başlangıçta  $\varepsilon_t$  iid, sıfır ortalamalı sonlu varyansa sahip bir süreç izlemektedir. Denklemdeki durağan durumda  $\delta = 0$  olması, hata terimlerinin birim kök içerdiğini ve bundan dolayı değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisinin bulunmadığını göstermektedir.  $\delta < 0$  olması ise değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi olduğunu göstermektedir. Eşbütünleşme varlığını test etmek için en yaygın yaklaşım Engle-Granger (1987) iki aşamalı testtir. İlk aşamada 2.16 numaralı denklemde  $\beta$  tahmincisi EKK ile tahmin edilir, ikinci aşamada ise 2.17 numaralı

denklemdaki yardımcı regresyon kullanılarak  $\delta < 0$  alternatif hipoteze karşılık  $\delta = 0$  boş hipotezi test edilmektedir.  $\epsilon_t$  serisi regresyon eşitliğinden tahmin edildiği için hata terimlerinin durağanlık sınaması Engle-Granger (1987)'in kritik değerlerine göre yapılmaktadır.

$$\Delta \hat{\epsilon}_t = \delta \hat{\epsilon}_{t-1} + v_t \quad (2.18)$$

2.16 numaralı denklemden elde edilen hata terimi,  $\hat{\epsilon}_t = z_t - \hat{\beta}' x_t$  dir.  $\hat{\beta}$  ,  $\beta$  parametresinin EKK tahmincisidir. Hata düzeltme modeline dayalı alternatif test yaklaşımı, 2.16 numaralı denklemdaki regresyona 1.fark dönüşümü uygulamaktır. Akabinde ise 1.fark uygulanmış modeli 2.17 numaralı denklemle birleştirerek yeni bir regresyon elde edilmektedir. Elde edilen yeni model 2.19 numaralı denklemde gösterilmektedir.

$$\Delta z_t = \beta' \Delta x_t + \delta \epsilon_{t-1} + v_t \quad (2.19)$$

Denklem 2.19'da  $\delta = 0$  ise sadece birinci farkını içeren doğrusal bir regresyona dönüşür ve değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi olmadığını gösterir. Bundan dolayı hem boş hipotez  $\delta = 0$  hem de alternatif hipotez  $\delta < 0$  için tek taraflı t istatistiği kullanılması yeterli olmaktadır.

$$\Delta z_t = \beta' \Delta x_t + \delta \hat{\epsilon}_{t-1} + v_t \quad (2.20)$$

Engle-Granger eşbütünleşme testinde boş hipotez eşbütünleşme ilişkisinin olmadığını varsaymaktadır. Eğer bu modelde  $\delta < 0$  ise bu durumu test etmek için KSS(2006), Engel-Granger eşbütünleşme testini geliştirerek bu testi alternatif hipotez altında hata düzeltme mekanizmasına doğrusal olmayan ayarlamaların varlığına izin veren alternatif bir test geliştirmişlerdir. Yani KSS(2006) testi, küresel durağan yumuşak geçişli otoregresif (STAR) süreci izleyen bir eşbütünleşmenin varlığını tespit etmek için yeni bir test geliştirmişlerdir. Yazarlar çalışmada öncelikle genel VAR modeli oluşturmuşlardır. Akabinde ortaya çıkan tek denklemlilikli koşullu VAR modeline ESTAR hata düzeltme mekanizmasını yerleştirmişler ve son olarak alternatif hipotez altında hata düzeltme mekanizmasına doğrusal olmayan eşbütünleşme testine izin veren genelleştirilmiş doğrusal olmayan ESTAR hata düzeltme modelini uygulamışlardır.

KSS (2006) çalışmasında, eşbütünleşme yok boş hipotezine karşın, durağan ESTAR eşbütünleşme olduğunu ifade eden alternatif hipotezi test etmişlerdir. Çalışmalarında doğrusal olmayan STAR hata düzeltme modeli temel alınarak, Engle-Granger (1987) ve Balke-Fomby (1997) tarafından geliştirilen artıklara dayalı iki aşamalı test süreci izlenmektedir. Çalışmada iki test istatistiği hesaplanmıştır. Bu testlerden birincisi, doğrusal olmayan ESTAR hata düzeltme regresyonundan doğrudan

elde edilen t-tipi test istatistiği  $t_{NLECM}$ , ikincisi ise doğrusal eşbütünleşme için Engle-Granger (1987) istatistiğinin doğrusal olmayan analogu olan  $t_{NLEG}$  testidir. Yapılan Monte Carlo simülasyonları Engle-Granger (1987) testinin performansı ile karşılaştırılmış ve Monte Carlo deneylerinin Engle-Granger'a göre daha iyi sonuçlar verdiği ve üstün güç özelliklerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Özellikle  $t_{NLECM}$  testinin, eşbütünleşik bir regresyonda parametre tahmincilerinin zayıf içsel olması durumunda, doğrusal ve doğrusal olmayan Engle-Granger (1987) testlerinden daha üstün olduğu tespit edilmiştir (Kapetanios vd., 2006:1-3).

KSS (2006) testinde, modele dahil edilecek deterministik bileşenlere göre 2.21 ve 2.22 numaralı denklemlerle ifade edilen regresyonlardan biri dikkate alınmaktadır (Kapetanios vd., 2006:9).

$$z_t^* = \gamma_2' x_t^* + \epsilon_t \quad (2.21)$$

$$z_t^+ = \gamma_2' x_t^+ + \epsilon_t \quad (2.22)$$

2.21 ve 2.22 numaralı denklemlerde ifade edilen \* üst indisi değişkenlerin ortalamadan arındırılmış halini, + üst indisi ise değişkenlerin hem ortalamadan hem de trendden arındırıldığını göstermektedir. KSS testinde alternatif hipotez altında hata terimlerinin üstel düzgün geçişli otoregresif sürece uygunluk durumu sınanır.

Yapılan analiz sonucunda eğer boş hipotez reddedilirse bu durumda doğrusal olmayan eşbütünleşme ilişkisi olduğunu varsayan alternatif hipotezi test eden model, KSS(2006) tarafından aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$\Delta \epsilon_t = G(\epsilon_{t-1}) + v_t \quad (2.23)$$

2.23 numaralı denklemde  $G(\cdot)$  çeşitli fonksiyonel formları,  $G(\epsilon_{t-1})$  özel bir durum olarak 2.17 numaralı denklemdeki doğrusal modeli içerecek şekilde analiz edilmektedir. Modelde  $G(\cdot)$ 'nın üstel yumuşak geçişli otoregresif (ESTAR) fonksiyonel formunu takip ettiği özel bir duruma odaklanılmaktadır. KSS(2003) çalışmasında belirtildiği üzere, denklemde  $G(\cdot)$  geçiş fonksiyonu, hata düzeltme modeline doğrusal olmayan yapıyı katmaktadır.  $G(\cdot)$ , farklı fonksiyonel formlar ile modelde yer alsın bile KSS(2003) çalışmasında ESTAR formuna sahip olduğu varsayılmaktadır. Çünkü hata düzeltme katsayısının yorumlanması, lojistik dağılımlı fonksiyon (LSTAR) kullanıldığında zor olmaktadır.

Geçiş fonksiyonu  $G(\cdot)$ 'nın üstel formda yazılışı 2.24 numaralı denklemde gösterilmektedir.

$$G(\epsilon_{t-1}) = \gamma \epsilon_{t-1} (1 - e^{-\theta \epsilon_{t-1}^2}) \text{ veya } G(\epsilon_{t-1}) = \gamma \epsilon_{t-1} [1 - \exp(-\theta \epsilon_{t-1}^2)] \quad (2.24)$$

Hata terimleri, üstel düzgün geçişli otoregresif modelde 2.25 numaralı denklemdeki gibi gösterilmektedir.

$$\varepsilon_t = \beta \varepsilon_{t-1} + \gamma \varepsilon_{t-1} [1 - \exp(-\theta \varepsilon_{t-1}^2)] + v_t \quad (2.25)$$

Denklemde  $\theta \geq 0$  kısıtı altında 1.derece farkı alınarak hata terimleri STAR modelinde 2.26 numaralı denklemdeki gibi gösterilmektedir.  $v_t$  ise iid sıfır ortalamalı sonlu varyans özelliğine sahiptir.

$$\Delta \varepsilon_t = \alpha \varepsilon_{t-1} + \gamma \varepsilon_{t-1} [1 - \exp(-\theta \varepsilon_{t-1}^2)] + v_t \quad (2.26)$$

Denklem 2.26'da  $\alpha = \beta - 1$  dir. KSS(2003) çalışmalarında  $\varepsilon_t$  nin,  $\theta > 0$  ve  $-2 < \gamma < 0$  olduğu sürece geometrik olarak ergodik veya global durağan olduğu ifade edilmektedir. 2.26 numaralı denklemde eşbütünleşme ilişkisinin olmadığını ifade eden boş hipotez altında  $\alpha = 0$  ve  $\theta = 0$  eşitlikleri sınanırken, doğrusal olmayan eşbütünleşme ilişkisinin olduğunu ifade eden alternatif hipotez  $\alpha = 0$ ,  $\theta > 0$  ve  $-2 < \gamma < 0$  eşitliklerini sınamaktadır. Burada her iki hipotez altında  $\alpha = 0$  dır. Dolayısıyla modeli yeniden yazarak 2.27 numaralı denklemi elde edebiliriz.

$$\Delta \varepsilon_t = \gamma \varepsilon_{t-1} [1 - \exp(-\theta \varepsilon_{t-1}^2)] + v_t \quad (2.27)$$

Denklemde eşbütünleşme ilişkisinin olmadığını gösteren boş hipotez  $\theta = 0$ , doğrusal olmayan eşbütünleşme ilişkisi olduğunu gösteren alternatif hipoteze karşı  $\theta > 0$  ve  $-2 < \gamma < 0$  test edilmektedir. Boş hipotez altında  $\gamma$  parametresi tanımlanamadığından hipotez doğrudan sınanamaz. Dolayısıyla Kapetanios vd.(2006) bu sorunu çözmek için Luukkonen vd.(1988)'in uyguladıkları yöntemi izlemişlerdir ve 2.27 numaralı denkleme birinci dereceden Taylor yaklaşımını uygulamışlardır. 2.27 numaralı denklem, uygulanan Taylor yaklaşımı sonrasında 28 numaralı denkleme dönüşmüştür.

$$\Delta \varepsilon_t = \mu \varepsilon_{t-1}^3 + \xi \quad t=1,2,\dots,T \quad (2.28)$$

Hata terimleri arasında otokorelasyon sorunu olması durumunda 2.28 numaralı denklem revize edilerek 2.29 numaralı denkleme dönüşebilmektedir.

$$\Delta \varepsilon_t = \mu \varepsilon_{t-1}^3 + \sum_{i=1}^k \rho_i \Delta \varepsilon_{t-i} + \xi_t \quad (2.29)$$

KSS (2006) testinde tanıtılan  $t_{NEG}$  test istatistiği hesaplanırken 2.29 numaralı regresyon tahmin edilmektedir. Modelin temel hipotezleri aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$H_0 : \mu = 0$$

$$H_A : \mu < 0$$

2.29 numaralı denklemde, değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi olmadığını gösteren boş hipotez  $\mu = 0$ , değişkenler arasında doğrusal olmayan eşbütünleşme ilişkisi

olduğunu gösteren, yani hata terimlerinin üstel düzgün geçişli otoregresif modele uygunluk gösterdiğini belirten alternatif hipoteze karşı  $\mu < 0$ , aşağıda gösterilen t istatistiği kullanılarak test edilmektedir:

$$t = \frac{\hat{\mu}}{se(\hat{\mu})}$$

Bu t istatistiği, asimptotik olarak normal dağılmadığından dolayı, uygun kritik değerleri Kapetanios vd.(2006) simülasyonlar ile elde etmişlerdir.

### 2.3.2. Veri Seti ve Ampirik Bulgular

Kripto paraların geleneksel portföyleri çeşitlendirme amaçlı kullanılıp kullanılmayacağına araştırıldığı bu çalışmada, 02/01/2017-29/10/2021 dönemleri arasında günlük veriler kullanılarak çeşitli kripto paralar ile kıymetli metaller arasındaki eşbütünlük ilişkisi incelenmektedir. Kripto para olarak piyasa getirisi açısından ilk sıralarda yer alan Bitcoin, Ethereum ve Litecoin değişkenleri ve kıymetli metaller olarak piyasa hacmi bakımından ilk sırada yer alan Altın, Gümüş ve Platin değişkenleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan kıymetli metallerden altın, tarih boyunca talebi en fazla olan önemli bir yatırım aracıdır. Altın talebinin önemli bir kısmı kuyumculuk sektörü ile merkez bankalarının rezerv ihtiyaçlarından kaynaklıdır. Altın, portföy çeşitlendirmede en önemli yatırım aracı olmasının yanı sıra kamu sektöründen özel sektöre kadar ekonomideki tüm yatırımcıların yatırım portföylerinde güvenli liman olma ve riskten korunma için de iyi bir seçenek olmuştur (Bouoiyour vd., 2019:6087 ve Jin vd., 2019:11-12). Bir diğer önemli kıymetli metal olan gümüş ise, altına oranla arzı daha fazla olan ve bundan dolayı fiyatı altından daha düşük olan önemli bir yatırım aracıdır. Ekonominin özellikle kriz dönemlerinde yatırım portföylerinde daha çok gümüşe yer verilmektedir (Fasanya vd., 2021:2). Bouoiyour vd., (2019)'a göre gümüşün iyi bir yatırım aracı olmasının dışında pil üretiminden tıbbi uygulamalara kadar endüstrilerde yaygın olarak kullanıldığına ve bundan dolayı emtia olarak gümüşe yönelik önemli bir seviyede talep oluşturulduğuna değinmiştir. Gümüşün fiyatı altına göre daha dalgalıdır ancak gümüş daha az likittir (Bouoiyour vd., 2019:6087). Platin, kimyasal özellikleri ve dünyada nadir bulunması açısından önemli bir kıymetli metal türüdür. Platin, takıdan sağlığa, otomotivden kimya sektörüne kadar çok geniş alanlarda kullanılmaktadır. Üretilen platinin büyük çoğunluğu endüstriyel alanda kullanılmaktadır. Çoğu nikel yataklarının en değerli madenlerindedir (Ganz, 2011:96-98). Özellikle petrol ve kimya endüstrilerinde platin esas olarak bir katalizör olarak kullanılır. Platin, nitrik asit ve benzin üretiminde kritik bir rol oynar. Ayrıca platin,



gübre, patlayıcı ve plastik üretiminde de kullanılır. Çok geniş kullanım alanı olan platin bu özelliği sayesinde aslında altında daha değerli bir madendir (Spurga, 2006:47-48). Kıymetli metallerin bu özellikleri ve piyasa hacimleri açısından ilk sırada yer almalarından dolayı çalışmada altın, gümüş ve platin değişkenleri kullanılmıştır. Analizde kullanılan değişkenler, investing.com ve Yahoo Finance sitelerinden elde edilmiş olup bu değişkenler logaritmaları alınarak analize dahil edilmiştir. Değişkenlere ait istatistiksel bilgiler Tablo 2.2’de gösterilmektedir.

**Tablo 2.2: Değişkenlere Ait İstatistiksel Bilgiler**

	<b>BTC</b>	<b>ETH</b>	<b>LTC</b>	<b>ALT</b>	<b>GMS</b>	<b>PLT</b>
Mean	9.063595	5.795609	4.176648	7.290625	2.909746	6.831362
Median	9.028916	5.643976	4.116895	7.205635	2.836854	6.828820
Maximum	11.09730	8.392706	5.933276	7.626327	3.380927	7.169735
Minimum	6.656414	2.125670	1.312252	7.049697	2.462576	6.390073
Std.Dev.	0.998825	1.228996	0.920734	0.164610	0.208116	0.117011
Skewness	0.015427	-0.180977	-1.177867	0.387980	0.790139	0.405297
Kurtosis	2.975570	3.741667	5.197045	1.562872	2.260874	3.557226
Jarque-Bera	0.081314	35.75672	544.7656	140.0412	159.7883	50.79699
Probability	0.960159	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Sum	11420.13	7302.467	5262.577	9186.187	3666.280	8607.516
Sum Sq.Dev.	1256.042	1901.634	1067.319	34.11442	54.52994	17.23755
Observations	1260	1260	1260	1260	1260	1260

Çalışmada on beş ayrı model kurulacak olup bu modeller (Model I,II,III,...,XV) aşağıdaki denklemlerle ifade edilmektedir. Kurulan modeller öncelikle her bir kripto para ile kıymetli metaller arasındaki ilişkiyi tek tek inceleyecek şekilde kurulmuştur. Akabinde kurulan modeller her bir kripto para birimi arasındaki ilişkiyi incelemeye yöneliktir.

**Tablo 2.3: Çalışmada Kullanılan Modeller**

Model I: $\ln btc = F(\ln alt)$	Model X: $\ln btc = F(\ln eth)$
Model II: $\ln btc = F(\ln gms)$	Model XI: $\ln btc = F(\ln ltc)$
Model III: $\ln btc = F(\ln plt)$	Model XII: $\ln eth = F(\ln btc)$
Model IV: $\ln eth = F(\ln alt)$	Model XIII: $\ln eth = F(\ln ltc)$
Model V: $\ln eth = F(\ln gms)$	Model XIV: $\ln ltc = F(\ln btc)$
Model VI: $\ln eth = F(\ln plt)$	Model XV: $\ln ltc = F(\ln eth)$
Model VII: $\ln ltc = F(\ln alt)$	
Model VIII: $\ln ltc = F(\ln gms)$	
Model IX: $\ln ltc = F(\ln plt)$	

Analize öncelikle serilerin durağanlık sınaması yapılarak başlanmaktadır. Çünkü zaman serileri genellikle durağan değildir ve durağan olmayan seriler ile çalışılması sahte regresyon sorununa yol açabilmektedir. Dolayısıyla değişkenler arasında anlamlı ilişki elde edilebilmesi için serilerin durağanlık sınaması yapılmaktadır. Literatürde çeşitli durağanlık testleri kullanılmakla birlikte bu çalışmada Genişletilmiş Dickey Fuller (ADF) ve PhillipsPerron (PP) birim kök testleri kullanılmaktadır. Çalışmada kullanılan durağanlık testlerine ilişkin sonuçlar tablo 2.4 ve 2.5’de gösterilmektedir.

Tablo 2.4 ve 2.5’de ADF ve PP birim kök testleri sonuçlarına göre sabit modelde %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyinde Bitcoin, Ethereum, Altın ve Gümüş değişkenleri düzeyde birim köke sahip iken Litecoin ve Platin değişkenlerinin düzey değerleri %10 anlamlılık düzeyinde durağan olduğu gözlenmektedir. Sabit ve sabit-trendli modelde ise %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyinde tüm değişkenler ADF ve PP testlerinde düzeyde durağan olmadıkları yani birim köke sahip oldukları ancak değişkenlerin birinci derece farkları alındığında durağan hale geldiği gözlenmektedir. Sonuç olarak çalışmada kullanılan birim kök testleri sonucuna göre sabit ve sabit-trendli modelde tüm değişkenlerin birinci derece farkları alındığında durağan olduğu gözlenmektedir.

**Tablo 2.4: ADF Birim Kök Testleri**

Değişkenler	(sabit)		(sabit ve trendli)	
	Düzye Hali	Birinci Farkı	Düzye Hali	Birinci Farkı
Btc	-1,066	<b>-35,864</b>	-1,701	<b>-35,851</b>
Eth	-2,123	<b>-35,229</b>	-2,089	<b>-35,227</b>
Ltc	-2,616	<b>-34,394</b>	-2,415	<b>-34,410</b>
Alt	-1,154	<b>-36,334</b>	-2,102	<b>-36,321</b>
Gms	-1,389	<b>23,274</b>	-2,315	<b>-23,270</b>
Plt	-2,607	<b>-35,766</b>	-2,795	<b>-35,755</b>
<b>Anlamlılık Düzeyi</b>	<b>Kritik Değerler</b>			
1%	-3,433	-3,433	-3,963	-3,963
5%	-2,859	-2,859	-3,408	-3,408
10%	-2,567	-2,567	-3,124	-3,124

**Tablo 2.5: PP Birim Kök Testi**

Değişkenler	(sabit)		(sabit ve trendli)	
	Düzye Hali	Birinci Farkı	Düzye Hali	Birinci Farkı
Btc	-1,098	<b>-35,895</b>	-1,776	<b>-35,882</b>
Eth	-2,116	<b>-35,329</b>	-2,126	<b>-35,325</b>
Ltc	-2,627	<b>-34,441</b>	-2,464	<b>-34,453</b>
Alt	-1,091	<b>-36,487</b>	-1,938	<b>-36,473</b>
Gms	-1,267	<b>-37,604</b>	-2,139	<b>-37,596</b>
Plt	-2,585	<b>-35,786</b>	-2,775	<b>-35,774</b>
<b>Anlamlılık Düzeyi</b>	<b>Kritik Değerler</b>			
1%	-3,420	-3,420	-3,960	-3,960
5%	-2,860	-2,860	-3,410	-3,410
10%	-2,570	-2,570	-3,130	-3,130

Çalışmada standart birim kök testleri yapıldıktan sonra çalışmanın bu aşamasında doğrusal olmayan birim kök testi olan KSS (2003) testi sonuçlarına yer verilmektedir. Tablo 2.6 her bir değişkene ait KSS birim kök testi sonuçlarını göstermektedir.

**Tablo 2.6: KSS (2003) Birim Kök Testi**

Değişkenler	Düzy Hali	Birinci Farkı
Btc	1,929	-5,222(7)*
Eth	1,516	-5,017(10)*
Ltc	0,066	-4,164(6)*
Alt	1,291	-4,106(5)*
Gms	0,289	-3,760(5)*
Plt	0,055	-5,086(3)*
<b>Anlamlılık Düzeyi</b>	<b>Kritik Değerler</b>	
1%	-3,48	
5%	-2,93	
10%	-2,66	

\*, \*\* ve \*\*\*, sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyini, parantez içindeki değerler ise gecikme uzunluklarını belirtmektedir.

Tablo 2.6’da KSS(2003) test sonuçları, her bir değişkenin düzey değerinde test istatistik değerlerinin KSS (2003) kritik değerlerinden küçük olduğu dolayısıyla serilerin birim köklü olduğunu test eden boş hipotezin kabul edildiğini göstermektedir. Yani değişkenleri KSS (2003) birim kök testi sonuçlarına göre düzeyde birim köke sahiptir. Değişkenlerin birinci derece farkları alındığında ise test istatistiklerinin kritik değerlerden büyük olduğu bundan dolayı da boş hipotezin reddedildiği gözlenmektedir. Dolayısıyla serilerin doğrusal olmayan ama durağan olan yumuşak geçişli otoregresif sürece sahip olduğu tespit edilmektedir.

Kripto para ve kıymetli metaller piyasasının spekülative ve kırılğan yapısı dikkate alınarak analizde kullanılan değişkenlerin doğrusal olamayabileceği düşüncesinden ve KSS(2003) birim kök testinin alternatif hipotezinin doğrusal olmayan durağan ESTAR süreci test etmesinden yola çıkarak yapılan KSS(2003) birim kök testi sonuçlarına göre de değişkenlerin doğrusal olmayan durağan sürece sahip olduğu tespit edilmektedir. Dolayısıyla çalışmanın bu aşamasından sonra analize doğrusal olmayan eşbütünleşme analizi ile devam edilmektedir.

Eşbütünleşme analizine geçmeden önce modellerin uygun gecikme düzeyleri sonuçlarına tablo 2.7’de yer verilmektedir. Literatürde uygun gecikme uzunluğunun tespiti konusunda yaygın olarak kullanılan testler, Akaike Bilgi Kriteri (AIC), Schwarz Bilgi Kriteri(SIC), Hannan-Quinn Bilgi Kriteri(HQ) ve Son Tahmin Hatası(FPE) testleridir. Bu çalışmada ise on beş model için uygun gecikme uzunluğu Akaike Bilgi

Kriteri (AIC) ve Son Tahmin Hatası(FPE) testlerine göre elde edilmiştir. Bu gecikme uzunlukları ve otokorelasyon sonuçları tablo 7’de gösterilmektedir.

**Tablo 2.7: Optimal Gecikme Uzunluğu ve Otokorelasyon Test Sonuçları**

Test türü	Optimal Gecikme Uzunluğu (AIC) ve (FPE)	LM-Type Test For Autocorrelation		
		LM statistic	p-value:	Df
Model I	8	6,964641	0,1378	4
Model II	5	1,428637	0,8392	4
Model III	5	2,765355	0,5978	4
Model IV	5	2,227542	0,6940	4
Model V	5	0,468507	0,9765	4
Model VI	5	2,8669705	0,5799	4
Model VII	7	3,844184	0,4275	4
Model VIII	5	2,605921	0,6258	4
Model IX	5	1,946494	0,7456	4
Model X	4	4,424430	0,3516	4
Model XI	5	3,197344	0,5254	4
Model XII	4	4,424430	0,3516	4
Model XIII	2	3,926354	0,4161	4
Model XIV	5	3,197344	0,5254	4
Model XV	2	3,926354	0,4161	4

Her bir model için tespit edilen uygun gecikme uzunlukları tablo 2.7’de gösterildiği gibidir. Elde edilen bu gecikme uzunlukları sonucunda tüm modellerde otokorelasyon sorunu olmadığı tespit edilmektedir.

Tablo 2.4 ve 2.5’de belirtilen birim kök testleri sonucuna göre tüm değişkenlerin I(1) düzeyinde durağan olduğu tespit edildikten sonra analize Engle-Granger eşbütünlük testi ile devam edilmiştir. Eşbütünlük testi sonuçları Tablo 2.8’de gösterilmektedir.

**Tablo 2.8: Engle-Granger Eşbütünlük Testi**

	EG Test İstatistiği
Model I	-1,540 (0)
Model II	-2,198 (0)
Model III	-2,013 (0)
Model IV	-2,018 (0)
Model V	-2,859 (0)
Model VI	-2,832 (0)
Model VII	-2,443 (0)
Model VIII	-2,742 (0)
Model IX	-2,837 (0)
Model X	-1,993 (1)
Model XI	-1,037 (3)
Model XII	-2,460 (1)
Model XIII	-1,831 (1)
Model XIV	-2,340 (0)
Model XV	-2,391 (1)
<b>Kritik Değerler (%5)</b>	<b>-3,17</b>

Parantez içerisindeki değerler gecikme uzunluklarını göstermektedir.

Tablo 2.8 incelendiğinde tüm modeller için Engle-Granger test istatistikleri %5 kritik değerden küçük olduğu dolayısıyla kurulan modellerde değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi olmadığı sonucuna varılmaktadır. Yani, model I için Bitcoin ile altın arasında, model II için Bitcoin ile gümüş arasında, model III için Bitcoin ile platin arasında uzun dönemli bir ilişki bulunamamıştır. Benzer şekilde diğer modellerde de Ethereum ile ayrı ayrı altın, gümüş ve platin arasında, Litecoin ile ayrı ayrı altın, gümüş ve platin arasında uzun dönemli bir ilişki bulunamamıştır. Model X-XV arasında ise her üç kripto para biriminin kendi aralarındaki eşbütünleşme ilişkisine bakılmaktadır. Model X için Bitcoin ile Ethereum, model XI için Bitcoin ile Litecoin, model XII için Ethereum ve Bitcoin, model XIII için Ethereum ve Litecoin, model XIV için Litecoin ve Bitcoin, model XV için ise Litecoin ve Ethereum arasında uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisi olmadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu aşamadan sonra doğrusal olmayan uzun dönemli eşbütünleşme ilişkisi olduğunu varsayan alternatif hipotezin test edilmesini sağlayan KSS(2006) eşbütünleşme testi uygulanacaktır. Tablo 2.9’da KSS(2006) eşbütünleşme testi sonuçlarına yer verilmektedir.

**Tablo 2.9: KSS Eşbütünleşme Testi Sonuçları**

	<b>KSS Test İstatistiği</b>
Model I	-7,422(8)
Model II	-5,544(3)
Model III	-6,530(2)
Model IV	-6,872(9)
Model V	-5,328(3)
Model VI	-5,329(3)
Model VII	-4,374(5)
Model VIII	-3,791(5)
Model IX	-3,662(4)
Model X	-4,773(6)
Model XI	-6,321(2)
Model XII	-3,830(8)
Model XIII	-4,536(6)
Model XIV	-6,351(2)
Model XV	-4,966(4)
<b>Kritik Değerler *, **, ***</b>	<b>(-4,26), (-3,71), (-2,85)</b>

Parantez içerisindeki değerler gecikme uzunluklarını göstermektedir. \*, \*\*, \*\*\* sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyini ifade etmektedir.

Tablo 2.9’da yer alan tüm seriler ortalama ve trendden arındırılmıştır. Dolayısıyla KSS(2006) da belirtilen ham veri, ortalamadan ve ortalama-trendden arındırılmış kritik değerlerden durum 1 kritik değerleri yani ham değerler dikkate alınmaktadır. Model I,II,III,IV,V,VI,VII,X,XI,XII,IVX,XV için test istatistik değerleri %1 anlamlılık düzeyinde, model IIIIV ve XII için test istatistik değerleri %5 anlamlılık

düzeyinde ve model IX için test istatistik değerleri %10 anlamlılık düzeyine mutlak değerce kritik değerlerden büyüktür. Dolayısıyla değişkenler arasında uzun dönemde doğrusal olmayan bir eşbütünleşme ilişkisi olduğu ve bu ilişkinin uzun dönem dengeye doğrusal olmayan bir şekilde yakınsadığı sonucuna varılmaktadır. Yani her bir kripto para birimi ile ayrı ayrı kıymetli metaller arasında uzun dönemli doğrusal olmayan eşbütünleşme ilişkisi olduğu tespit edilmektedir. Bunlara ek olarak her bir kripto para birimi arasındaki eşbütünleşme ilişkisi incelendiğinde de Bitcoin, Ethereum ve Litecoin arasında uzun dönem eşbütünleşme ilişkisi olduğu ve uzun dönem dengeye doğrusal olmayan şekilde yakınsadığı gözlenmektedir.

## 2.4. SONUÇ

Teknoloji ve bilimin zaman içerisinde gelişmesi, hem para alanında hem de finansal piyasalarda birçok yeniliği beraberinde getirmiştir. Teknolojinin gelişmesinin sonucunda finansal piyasalardaki yenilikler, özellikle ödemelerin dijital ortamda gerçekleşmesine yöneliktir. Bu çerçevede öncelikle “EFT, kredi kartı, havale vb.” gibi alternatif ödeme yöntemleri geliştirilerek ödemelerin dijital ortamdaki yapılması sağlanmıştır. Bu sayede paranın dijitalleşme süreci başlamıştır. Akabinde teknolojinin bir adım daha ileriye gitmesi, paranın dijitalleşmesini geliştirerek ödemelerin daha az maliyetle ve hızlı bir şekilde gerçekleşmesini sağlayan yeni dijital ödeme yöntemlerinin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu yeni dijital ödeme yöntemlerinin günümüzde geldiği nokta ise kripto paralardır.

İlk olarak 2008 yılında Satoshi Nakamoto tarafından Bitcoin üretilmiş ve Bitcoin’in kabul edilebilirliğinin artmasıyla birlikte piyasaya yeni kripto para birimleri girmeye başlamıştır. Bitcoin’den sonra piyasaya giren ilk kripto para birimi ise Ethereum’dur. Ethereum, “Turing Complete” adında kendine ait bir programlama diline sahip olarak Bitcoin’den farklılaşmaktadır. Ethereum’dan sonra ise Litecoin kripto para birimi piyasaya çıkmıştır. Bundan dolayı hem işlem hacmi hem de piyasaya çıkış zamanları açısından çalışmada bu üç kripto para birimi incelenmiştir.

Kripto paralar çıktığı günden itibaren piyasa değeri ve işlem hacmi bakımından değerine değer katmış ve günümüzde popüleritesi artmış yeni bir dijital ödeme yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle 2019 yılında başlayan Covid-19 sürecinde para alanında dijitalleşme hız kazanmış ve kripto paralarda ani artışlar gözlenmiştir. Bu artışların yükselerek devam etmesi 2021 yılı ilk çeyreğine kadar sürmüştür. Bazı ekonomistler çalışmalarında kripto paralarda özellikle Bitcoin’de gözlenen bu ani artışların bir balon olabileceğini, bu durumun mikro riskinin oldukça yüksek olduğunu ve yükselen fiyat hareketlerinin olumsuz sonuçlanma ihtimallerinin olduğunu belirtmişlerdir. Keza 2021 yılı ilk çeyrekte itibaren Bitcoin piyasasının çökmesi ile birlikte balon patlamış ve ekonomistlerin bu artışları bir balona benzetmesi görüşü desteklenmiştir.

Kripto para birimleri çoğunlukla değer saklama aracı olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda son zamanlarda yapılan çalışmalarda kripto paraların altınla benzerliklerinin olduğu ve kripto paraları yeni bir varlık olarak değerlendirmenin mümkün olduğu vurgulanmaktadır. Dolayısıyla kripto paraların yeni bir yatırım aracı olarak kabul edilebileceği ve geleneksel finansal varlıklarla birlikte yatırımcıların

portföylerine dahil edilebileceği öne sürülmektedir. Yatırımcılar için önemli yatırım kaynaklarından biri geleneksel finansal varlıklar içerisinde kıymetli metallerdir. Kıymetli metaller ekonomik değeri yüksek ve doğal yolla oluşan varlık olmaları, hisse senetleri ile düşük korelasyona sahip olmaları açısından finansal varlık portföylerinde yer almaktadırlar. Dolayısıyla yatırımcılar için portföy çeşitlendiricisi olarak kullanılmaktadırlar. Kripto paraların değer saklama aracı olarak görülmesi ve popülaritesinin artması yatırımcıların değerli metalleri satarak kripto para satın alma eğiliminde bulunmalarına neden olmuştur. Yatırımcıların sadece kripto para birimlerine yatırım yapmaları, kripto paraların kırılabilir ve spekülasyon doğası göz önüne alındığında, portföyün riskini artırabilmektedir. Bundan dolayı piyasa katılımcılarının ve yatırımcıların, yatırım riskinden korunmak için kripto para birimlerinin geleneksel finansal varlıklarla birlikte portföye dahil edilmesi gerektiği üzerinde durulmuştur.

Literatürde yapılan çalışmalar göz önüne alındığında yatırımcıların portföylerine geleneksel finansal varlıklara ek olarak kripto para gibi alternatif varlıkları da eklemelerinin bu varlıklar arasında uzun dönemli bir ilişki olabileceğini düşündürmüştür. Özellikle Covid-19 sonrasında kripto paraların getirisinin artmasıyla birlikte kıymetli metallere aralarındaki ilişkinin önemli olduğu düşünülmektedir. Bu bilgiler çerçevesinde, finansal piyasalarda kripto para uygulamaları üzerine yapılan üç deneme çalışmasından ikincisi olan bu çalışmada, kripto paralar ile kıymetli metaller arasındaki ilişki incelenerek kıymetli metaller ile alternatif varlıklar arasında ilişkinin olup olmadığı, ilişki varsa kripto paraların portföy çeşitlendiricisi olarak kullanılıp kullanılmayacağı test edilmiştir. Ayrıca kripto para birimlerinin yeni bir varlık olarak görülebilmesi için bu piyasaların etkin olması gerektiğinden çalışmadan elde edilen bulgulara göre bu piyasaların etkinliği konusunda da bilgi sahibi olunacaktır. Bu çerçevede kripto para değişkenlerinden piyasa değeri ve işlem hacmi olarak ilk sıralarda yer alan Bitcoin, Ethereum ve Litecoin, kıymetli metal değişkenleri olarak Altın, Gümüş ve Platin değişkenleri 02/01/2017-29/10/2021 dönemleri arası çalışmaya dahil edilmiştir. Çalışmada on beş ayrı model kurulmuş olup her bir kripto para birimi ile kıymetli metaller arasındaki ve kripto paralarında kendi aralarındaki ilişki doğrusal olmayan eşbütünleşme (KSS) testi ile incelenmiştir. Öncelikle çalışmada her bir serinin doğrusallık sınaması KSS(2003) doğrusal olmayan birim kök testi ile yapılmış ve incelenen tüm değişkenlerin ele alınan dönemler arasında doğrusal olmadığı sonucuna varılmıştır. Değişkenlerin doğrusal olmadığı tespit edildikten sonra akabinde doğrusal olmayan eşbütünleşme (KSS 2006) testi yapılmıştır. Ancak KSS (2006) testinin



yapılabilmesi için öncesinde Engle-Granger eşbütünleşme testinin yapılması gerekmektedir. Engle-Granger eşbütünleşme testi için tüm değişkenlerin  $I(1)$  düzeyinde durağan olması gerekmektedir. Bu çerçevede ADF birim kök testi ile PP birim kök testleri yapılmış ve tüm değişkenlerin düzeyde durağan olmadığı  $I(1)$  düzeyinde durağan olduğu gözlenmiştir. Akabinde Engle-Granger eşbütünleşme testi yapılarak her bir modelde de değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi bulunmamıştır. Dolayısıyla son aşamada alternatif hipotezi test eden yani değişkenler arasında doğrusal olmayan eşbütünleşme ilişkisi olduğunu test eden KSS (2006) testi yapılmıştır. Sonuç olarak her bir model için değişkenler arasında uzun dönem eşbütünleşme ilişkisi olduğu bulunmuştur. KSS (2006) doğrusal olmayan eşbütünleşme sonuçlarına göre Model I-IX için kripto paralar ile kıymetli metaller arasında tek tek ilişkinin incelenmesi sonucunda uzun dönem dengeye doğrusal olmayan bir şekilde yakınsadığı tespit edilmiştir. Aynı şekilde Model X-VX arası için de kripto para birimlerinin kendi aralarındaki ilişkinin incelenmesi sonucunda da uzun dönem dengeye doğrusal olmayan şekilde yakınsama olduğu sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla çalışmadan elde edilen bulgulara göre, BTC, EHT ve LTC kripto para birimleri ile altın, gümüş ve platin değerli metalleri arasında uzun dönemde doğrusal olmayan bir eşbütünleşme ilişkisi çıktığı ve kripto para birimlerinin değerli metallere alternatif portföy çeşitlendirme aracı olarak kullanılamayacağı tespit edilmiştir. Kripto paralar kıymetli metaller için portföy çeşitlendiricisi değildir ancak birlikte hareket etmelerinden dolayı kripto paralar değer saklama aracı olarak kullanılabilir. Çalışmanın bu bölümünde grafik 2.3’de belirtildiği gibi kripto para ile kıymetli metaller arasındaki artış/azalışlar özellikle kriz dönemlerinde aynıdır. Kriz dönemlerinde FED’in genişleyici para politikası uygulaması ve faiz oranlarının düşmesi yatırımcıları alternatif yatırımlara yönlendirmektedir. Aynı zamanda faiz oranlarının artmayacağı beklentisi de bu alternatif yatırımlara olan talebi artırmaktadır. Kıymetli metallerin riski düşük fakat getirisi de düşüktür. Dolayısıyla kıymetli metaller ile kripto paraların da birlikte hareket ettikleri sonucuna ulaşıldığından yatırımcıların özellikle kriz dönemlerinde kıymetli metallerden çok kripto paralara yöneldiği söylenebilir. Her iki varlığın birlikte hareket etmelerinden dolayı iki varlığı aynı anda portföye dahil etmek mantıklı değildir. Değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisinin olması ise piyasalarda yarı-güçlü formda etkinliğin geçerli olmadığını göstermektedir. Çalışmada değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi olması sonucundan hareketle kripto para piyasalarında yarı-güçlü formda etkinliğin geçerli olmadığı sonucuna varılabilmektedir. Bu piyasalarda yarı-güçlü formda etkinliğin

geçerli olmaması birinci deneme çalışmasının sonucunu da desteklemektedir. Zaten bir piyasada yarı-güçlü formda etkinliğin geçerli olmaması durumunda o piyasada zayıf formda etkinliğinde geçerli olmadığını göstermektedir.

Çalışma sonuçlarının literatürde yapılan diğer çalışmaların sonuçlarını desteklemediği gözlenmektedir. Literatürde ele alınan Giudici & Apergis (2018), Rehman (2020), Rehman & Vo (2020) ve Ghorbel & Jeribi (2021) çalışmalarında kripto paralar ile geleneksel finansal varlıklar arasındaki korelasyonun düşük olduğu, aralarında eşbütünleşme ilişkisi olmadığı ve dolayısıyla kripto paraların portföy çeşitlendiricisi olarak kullanılabilceğini tespit ederlerken bu çalışmada kripto paralar ile kıymetli metaller arasında bir eşbütünleşme ilişkisi olduğu ve portföy çeşitlendiricisi olarak kullanılamayacağı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda kripto paralar ile kıymetli metaller arasındaki ilişki genellikle aralarındaki korelasyon ilişkisine bakılarak sınımlanmaktadır. Bunun yanı sıra çalışmalarda VAR, COVAR, GARCH yaklaşımı gibi analizler de kullanılmıştır. Ancak yapılan çalışmaların hepsinde bu varlıkların serilerinin doğrusal olduğu varsayılarak geleneksel analizler ile test edilmiştir. Ancak finansal ve iktisadi piyasalarda, yapısal ve davranışsal seçimler etkili olduğu için yatırımcıların sübjektifliği, seçimlerin doğrusal olmamasına neden olabilmektedir. Finansal piyasalarda işlem gören yatırımcıların piyasaya ait beklentilerinin ve piyasa hakkındaki bilgilerinin farklı olması, piyasanın spekülative hareketlere açık olması yatırımcıların karar alma sürecini farklı yönde etkileyebilmektedir. Dolayısıyla bu gibi nedenlerden dolayı serilerin doğrusal olmaması gibi bir süreç ortaya çıkabilmektedir. Bunlara ek olarak Covid-19 süreci de bir şok olduğu için değişkenlerin doğrusallık durumunu etkileyebileceği düşünülmektedir. Belirtilen bu tür durumlardan dolayı literatürden farklı olarak bu çalışmada öncelikle serilerin doğrusallık sınaması yapılmıştır. Çünkü eğer değişkenler doğrusal olmayan forma sahipse ve bu durumda doğrusal testler altında çalışılırsa, analiz sonuçları sapmalı olabilmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada öncelikle serilerin doğrusallık sınamasının yapılmasının ve serilerin doğrusal olmadığını tespit edilmesi sonucunda doğrusal olmayan yöntemlerle çalışmaya devam edilmesinin daha doğru sonuçlar verebileceği yönünde bilgi vereceği düşünülmektedir. Akabinde literatürde yapılan analizlerden farklı olarak bu çalışmada yapılan doğrusal olmayan eşbütünleşme testinden elde edilen sonuçlara göre kripto paralar ile kıymetli metallerin uzun dönemde dengeye ulaşmada doğrusal olmayan bir şekilde birlikte hareket ettikleri ve bundan dolayı kripto paraların yatırımcılar için portföy çeşitlendiricisi olamayacağı yönünde de katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Literatüre katkı sağlayabileceği bir diğer sonuç ise kripto para piyasalarında yarı-güçlü formda etkinliğin geçerli olmadığı yönündedir.

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### KRİPTO PARA İLE PAY PİYASALARI ARASINDA VOLATİLİTE İLİŞKİSİ: CCC-GJR GARCH ANALİZİ

#### 3.1. Giriş

Tarih boyunca insanlar, ödeme yöntemi olarak farklı yöntemler kullanmışlardır. Öncelikle takas olarak başlayan ödeme işlemlerinde, teknolojinin gelişmesiyle birlikte alternatif ödeme yöntemleri geliştirilmiştir. Geçmişten günümüze teknoloji ve bilimin hızlı bir şekilde gelişmesi beraberinde, finansal piyasaların da gelişmesine katkı sağlamış ve alternatif ödeme yöntemleri geliştirilmiştir. Bu alternatif ödeme yöntemleri nakit para, kredi kartı, eft, havale vb. şeklinde gerçekleşmiştir. Ancak finansal teknolojilerin gelişmesi birçok alanda yeniliklere neden olduğu gibi para alanında da farklı ödeme yöntemlerinin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu yeni ödeme yöntemleri günümüzde dijital para olarak yerini almaktadır. Paranın dijitalleşmesinin yaygınlaşması, transferlerde maliyetlerin yüksek olmasına, işlemlerin gecikmeli olarak gerçekleşmesine ve güven sorunu gibi problemlere neden olmuştur. Bunlara ek olarak 2008 yılında küresel çapta yaşanan finansal kriz ile birlikte finansal sistem içerisindeki zayıflıklar ortaya çıkmış ve birçok ülkenin para birimi değer kaybetmiştir. Bu çerçevede finansal piyasalara olan güven azalmıştır. Paranın dijitalleşmesi sürecinde ortaya çıkan olumsuzluklar ve küresel kriz sonrasında finansal piyasalara olan güvenin azalması sonucunda yeni ödeme yöntemlerine ihtiyaç duyulmuştur. Dolayısıyla bu çerçevede ilk kripto para birimi olan Bitcoin, 2008 yılında Satoshi Nakamoto tarafından ortaya atılmıştır.

Bitcoin, herhangi bir finansal aracı olmadan ödeme yapılabilen, online ödeme fırsatı tanıyan, merkezi bir otoriteye bağlı olmayan, işlem maliyetlerinin düşük ve hızlı bir şekilde gerçekleştirildiği ilk kripto para birimidir. Zaman içerisinde bitcoin dışında ethereum, litecoin, ripple, tether vs gibi çeşitli kripto para birimleri de ortaya çıkmıştır. Bitcoin ile adını duyuran kripto para birimleri zaman içerisinde finans piyasasında önemli bir yer edinmeye başlamışlardır. Ayrıca kripto para birimlerinin, geleneksel para birimlerinin yatırım ve tasarruf aracı olma gibi özelliklerini taşıyıp taşımadığı da günümüzde tartışma konusu olmuştur.

Finansal yatırımcılar tarafından yatırım amaçlı kullanılan kripto para birimlerinin temelinde yatan en önemli özelliği blockchain teknolojisine sahip olmasıdır. Blockchain teknolojisinin en güçlü yanı güvenlik düzeyinin yüksek olmasıdır. Blockchain kullanıcılara, işlem maliyetlerini düşürmesi ve süreci

hızlandırması, operasyonel işleyişi kolaylaştırması ve güvenliği artırması gibi faydalar sağlamaktadır. Blockchain teknolojisinin merkezileşmemiş sistemi, kripto paraların alıcıları ve satıcıları arasında üçüncü taraflara ihtiyacı ortadan kaldıran ve transferleri anonim ve düşük bir maliyetler gerçekleştiren bir sistemdir. Dolayısıyla blockchain teknolojisi finansal sistemde önemli bir değişime neden olabilmektedir. Blockchain teknolojisinin merkezi olmayan bir doğrulama sistemine sahip olması bu teknolojinin en önemli özelliğidir. Dolayısıyla bu durum dijital dönüşümün yaşandığı en etkili alanlardan biri olarak gösterilmektedir (Çetinkaya, 2018:16). Kripto paraların temelinde yatan bir diğer önemli özellik ise bilgi gizliliğinin yüksek olmasıdır. Bitcoin kullanıcıları, kripto paralarını özel bir dijital cüzdanda depolamaktadır. Bu dijital cüzdanların kişisel bir kimliği yoktur. Ayrıca dijital cüzdanlar bir adres, özel bir şifre ve ortak bir şifreden oluşmaktadır. Bilgi gizliliğinin yüksek olması kripto paraların popülerliğini artıran temel nedenlerden biridir. Kripto paraların işlem maliyetlerinin düşük olması, kullanımının kolay olması, bilgi gizliliğinin yüksek olması ve işlemlerin hızlı bir şekilde gerçekleşmesi gibi avantajları sayesinde kripto paralar, kısa sürede finans piyasasında önemli bir yer edinmiş ve kendilerine özgü teknolojik bir model oluşturmuşlardır. Bir diğer ifadeyle, blockchain teknolojisinin merkezi olmayan doğrulama sistemine sahip olması, matematik kurallarıyla temellendirilmesi ve bilgisayar algoritmalarına dayanmasından dolayı bu teknolojinin oldukça güvenli olması kripto para birimlerinin popülerliğinin artmasına yardımcı olmuştur.

Kripto paraların popülaritesinin artması, kolay kullanım özelliğine sahip olmaları ve hızlı bir şekilde getiri elde etme imkanı sağlaması dijital para borsalarının doğmasına neden olmuştur. Kripto paralar, usd veya diğer para birimleri karşılığında sanal piyasalar üzerinden satın alınabilmektedir. Kripto paraların kendilerine özgü borsalarının oluşması bu paraların yatırım aracı gibi işlev gördüğünü göstermektedir. İşlem hacimleri bakımından ise tahvil, hisse senedi gibi geleneksel yatırım araçlarının ve borsaların geleceği hakkında endişe uyandırmaktadır. Çünkü, yatırımcılar kısa vadede yüksek getiri elde etmek isteyebilirler ve bundan dolayı menkul kıymetler yerine kripto paralara yönelebilmektedir (Kılıç ve Çütcü, 2018:238-239).

Kripto paraların ilki olan Bitcoin, 22 Mayıs 2010 da Laszlo Hanyecz'in pizza siparişi sonucu reel ekonomiyle tanışmıştır. Bu durum Bitcoin için ilk sipariştir ve Laszlo iki pizza için 10.000 Bitcoin ödemiştir. 5 Ekim 2009 da ise New Liberty Standart isimli borsa Bitcoin döviz kurunu 1 usd = 1.309,03 Bitcoin'e eşitlemiştir. Akabinde 9 Şubat 2011 de Bitcoin 1:1 oranında Amerikan doları ile

pariteye ulaşmıştır. Bu tarihten itibaren Bitcoin’de çok fazla volatilité meydana gelmiş olmasına rağmen 2017 yılında Bitcoin fiyatlarında ciddi artışlar gözlenmiş ve 20.089 ABD doları seviyesine gelmiştir. 2018 yılında ise yine Bitcoin volatilitesinde meydana gelen düşüşler sonucunda 3.225,30 ABD doları seviyesine gerilemiştir. 3 Ocak 2019 tarihi itibari ile Bitcoin, finansal piyasalardaki yerinin 10 yılını geride bırakmış olmaktadır. Bitcoin’in bu 10 yıllık süreci çok sayıda Bitcoin borsalarının oluşmasına neden olmuştur. İlk Bitcoin borsası Temmuz 2010’da Mt.Gox adı ile kurulmuştur. Akabinde 26 Ocak 2015’de Coinbase, regülasyona tabi ilk borsa olarak ABD’de 25 eyalette işlem görmüş ve 11 Aralık 2017’de Bitcoin vadeli işlemleri Chicago Borsası’nda başlamıştır. Zamanla meydana gelen Bitcoin ve diğer altcoinlerin değerindeki artış sonucunda kripto paraların popüleritesinin artması, Bitcoin borsalarının oluşmasını sağlamıştır. Bu borsalar, yatırımcıların farklı para birimleri ya da diğer altcoinler ile Bitcoin alım-satımı yapabildikleri dijital borsalardır. 2019 yılında kripto paraların işlem gördüğü kripto para borsa sayısı 285 iken 2020 yılı itibari ile Coingecko verilerine göre 535 kripto borsası bulunmaktadır. En büyük 3 kripto para borsası ise Coinbase Exchange, Bybit ve FTX’dir (Azimov ve Alkan, 2019:173-Coingecko.com, 2022).

Finansal piyasalarda kripto paraların günümüzde geldiği nokta göz önünde bulundurulduğunda, geleneksel finansal varlıklar üzerindeki etkisi ya da onlarla olan ilişkisi bakımından araştırmaların yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Yatırımcı açısından risk ve getiri unsuru düşünülerek, kripto paraların global bir varlık olarak kısa ve uzun dönemdeki fiyat hareketliliğinin ve geleneksel finansal varlıklar ile ilişkilerinin düzeyinin ve yönünün tespit edilmesi, piyasa otoritelerinin yanı sıra akademik araştırmacıların da ilgisini çekmiştir. Dolayısıyla geleneksel finansal varlıkların değer/fiyat ilişkisinden çok farklı bir yapıya sahip olan kripto paraların, geleneksel finansal varlıklarla ilişkisinin incelenmesi, hem akademi alanına hem de yatırımcı ve politika otoritelerine bilgi aktarma yönünden önemli bir araştırma konusu olmuştur. Bu bilgiler çerçevesinde çalışmada, kripto paralar ile finansal varlıklar arasındaki volatilité ilişkisi incelenerek kripto paraların etkilediği veya etkilendiği finansal varlıklar hakkında bilgi edinilmesi amaçlanmaktadır.

İncelenen bu bilgiler çerçevesinde çalışmaya dahil edilen kripto para birimi değişkenleri; Bitcoin, Ethereum ve Litecoin, geleneksel finansal varlık göstergeleri olarak pay piyasalarına ait hisse senedi değişkenleri ise Bist100, Dow Jones ve S&P500 dür. Çalışmada, kripto para birimleri ile geleneksel finansal varlıklar arasındaki

volatilite ilişkisi incelenerek kripto paraların geleneksel finansal varlık piyasaları için portföy çeşitlendiricisi olup olmayacağını tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Dolayısıyla bu çerçevede kripto para birimleri ile geleneksel finansal varlıklar arasındaki volatilite ilişkisi, Çok Değişkenli Asimetrik Genelleştirilmiş Otoregresif Değişen Varyans analizi ile test edilmektedir. Deneme bir çalışması sonucunda GARCH birim kök testinin piyasalardaki etkinlik sonucunu değiştirdiği gözlemlendiğinden kripto para piyasaları için GARCH etkisinin dikkate alınması gerektiğini belirtmiştik. Dolayısıyla çalışmanın bu aşamasında GARCH yönteminin türevleri kullanılmıştır. Çalışmada her bir finansal varlık getirisi ile kripto para getirileri arasındaki ilişki, iki değişkenli VAR modeli kurularak ayrı ayrı test edilmiştir. Kurulan iki değişkenli VAR modellerine çok değişkenli asimetrik GARCH modellerinden biri olan sabit koşullu korelasyon asimetrik genelleştirilmiş otoregresif değişen varyans (CCC-GJR-GARCH) modeli uygulanmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında bu alanda yapılan literatür çalışmalarına, üçüncü kısımda çalışmada kullanılan analizlerin metodolojisi ile çalışmanın analiz sonuçlarına ve son kısmında çalışmada yapılan analiz sonucunda elde edilen bulguların yorumlama ve politika önerilerine yer verilmektedir.

### 3.2. Literatür

Kripto paraların ortaya çıkışından günümüze kadar olan süreçte, literatürde yapılan çalışmaların genellikle kripto paraların tanımı üzerine olduğu gözlenmektedir. Bu açıdan öncelikle kripto paraların ilki olan Bitcoin üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bitcoin ilk çıktığı zamanlarda yapılan çalışmalarda öncelikle Bitcoin'in tanımına ve geleceği hakkında değerlendirmelere yer verilmiştir. Zamanla Bitcoin dışında farklı kripto paraların ortaya çıkmasıyla bu alana ilgi artmış ve literatürde kripto paralar üzerine daha fazla çalışmalar yapılmıştır. Literatürde, kripto paraların tanımı üzerinde yapılan çalışmalara ek olarak son zamanlarda "kripto paralar, yeni bir para sistemi mi yoksa geleneksel yatırım araçlarına alternatif olabilecek yeni bir yatırım aracı mı?" sorusu tartışma konusu olmuştur. Kripto paralar ile ilgili bu sorulara yönelik yapılan çalışmalarda çoğu yazarlara göre kripto paraların varlık olarak değerlendirilebileceği ve değişim aracı olarak riskten korunma yeteneği sergileyebileceği üzerinde durulmuştur. Bu doğrultuda literatürde yer alan Yermack (2014), Kristoufek (2015), Dyhrberg (2016), Klein vd., (2018), Bouri vd., (2018) gibi bazı çalışmalar genellikle kripto paraların tanımı üzerinedir. Yermack (2014), Kristoufek (2015) ve Klein vd. (2018) çalışmalarında Bitcoin'in bir para birimi olarak kabul edilemeyeceği, altın ile benzerliklerinin olmadığı sadece varlık olarak nitelendirilebileceğini

belirtmişlerdir. Dyhrberg (2016) ile Bouri vd. (2018) çalışmaları ise Bitcoin'in sadece varlık olarak değil aynı zamanda riskten korunma yeteneği de sergilediği yönündedir. Bu çalışmalara ek olarak, Bouri vd., (2016) ile Corbet vd., (2018) çalışmalarında, kripto paraların popülaritesinin artmasıyla birlikte kripto para borsalarının oluşması ve geleneksel borsalara rakip olabilme düşüncesiyle araştırmacıların, kripto paraların portföy yönetiminde kullanılabilmeleri, volatilité modellemeleri, kripto paralarda balon oluşumu ve diğer piyasalarla ilişkileri üzerine odaklandıklarına değinmişlerdir. Bu bilgiler doğrultusunda çalışmada kripto paraların çeşitli hisse senedi varlıkları için portföy çeşitliliği olarak kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmış ve dolayısıyla çalışmanın bu aşamasında kripto paralar ile çeşitli hisse senedi varlıkları arasındaki ilişkileri inceleyen literatür çalışmalarına yer verilmektedir.

**Tablo 3.1: Literatür Özeti**

Yazar(lar)	Dönem	Değişkenler	Yöntem	Bulgular
Wijk (2013)	19/07/2010-13/06/2013	BTC Kapanış Fiyatları, Dow Jones endeksi, FTSE100, Nikkei225, Euro/Usd, Yen/Usd, Brent Petrol Fiyatı, WTI Oil, CMCI Oil	ARDL	-Dow Jones endeksi Bitcoin fiyatları üzerinde kısa ve uzun dönemde etkilidir. -Euro/Usd ve WTI petrol fiyatları Bitcoin fiyatları üzerinde sadece kısa dönemde etkilidir. -FTSE100, Nikkei225 ve Yen/Usd ise Bitcoin fiyatları üzerinde etkisi yoktur.
Baek ve Elbeck (2014)	19/07/2010-17/02/2014	Bitcoin Getirisi, S&P500 Endeksi	Korelasyon Regresyon	-Bitcoin, S&P500 endeksine göre 26 kat daha fazla volatilitéye sahip ve Bitcoin piyasasının spekülâtif bir yapısı vardır. -Bitcoin fiyatını etkileyen tek unsur sadece Bitcoin'in günlük en düşük ve en yüksek fiyat farkının aylık değişimidir.
Briere vd.(2015)	23/07/2010-27/12/2013	Bitcoin getirisi, Geleneksel Varlık Değişkenleri: Euro, Yen, Gelişmiş hisse senedi Gelişmekte olan hisse senedi, Gelişmiş kamu tahvili, Gelişmekte olan kamu tahvili, Dünya enflasyon bağlantılı tahviller, Dünya şirket tahvilleri, Alternatif Yatırım Değişkenleri: Altın, Petrol Gayrimenkul, Hedge fonları	Korelasyon-Regresyon	Bitcoin'in volatilitesi ve getirisi yüksek. Bitcoin'in diğer finansal varlıklarla korelasyonu oldukça düşük ve dolayısıyla Bitcoin bir portföy çeşitlendiricisidir.
Georgoula vd. (2015)	27/10/2014-12/01/2015	Bitcoin fiyatı S&P500	Destek Vektör Makineleri	Bitcoin ile S&P500 endeksi arasında negatif ilişki olduğu ve S&P500 endeksi düşüşe geçtiğinde yatırımcılara hisse senetlerini satarak Bitcoin alabilecekleri önerilmiştir.
Dyhrberg (2016)	1/07/2010-22/05/2015	Bitcoin Fiyatı FTSE Endeksi EUR/USD GBP/USD	Threshold GARCH	Değişkenler arasında sıfıra yakın ilişki bulunmuştur. Bitcoin FTSE ve hem kısa hem uzun dönemde ABD dolarına karşı riskten korunma olarak kullanılabilir. Bitcoin iyi bir portföy çeşitlendiricisi ve



				hedge enstürümanıdır.
Gangwal (2016)	02/07/2010-02/08/2016	Bitcoin S&P500, Barclays Tahvil Endeksi, Ham Petrol, MXEF, Altın, BDI (Baltın Kuru Yük Endeksi), Gayrimenkul	Varyans-Kovaryans Matris	Bitcoin yeni bir varlık olarak nitelendirilmiş ve portföylere Bitcoin'in dahil edilmesinin daha yüksek bir Sharpe oranı sağladığı tespit edilmiştir. Çalışmada bu durumun Bitcoin getirilerinin yüksek oynaklığını dengelediği anlamına gelmektedir. Dolayısıyla Bitcoin iyi bir portföy çeşitlendiricisidir.
Cermak (2017)	18/08/2010-17/03/2017	Bitcoin fiyat endeksi, Şangay Birleşik Borsa Endeksi, Nikkei225, S&P500, Avrupa Hissesi50, CNY/USD, EUR/USD, JPY/USD, Altın Ons Fiyatı, ABD-Çin-Japonya-Almanya 3 aylık bankalararası faiz oranı ile 10 yıllık devlet tahvil faiz oranı	GARCH	-Bitcoin'in bir önceki günün getirisi bugünkü Bitcoin volatilitisini etkiliyor. -Önceki günün Bitcoin volatilitesi bugünkü Bitcoin volatilitisini etkiliyor. -Çin, ABD, ve AB makroekonomik değişkenleri Bitcoin'in bir sonraki günün volatilitisini tahmin etmede önemlidir. -Japonya'nın makroekonomik değişkenlerinin Bitcoin'in bir sonraki günün volatilitisini tahmin etmede başarılı değildir. -Altın fiyatları Bitcoin volatilitisini tahmin etme gücü zayıftır. -CNY'de meydana gelen pozitif bir volatilitite şoku Bitcoin volatilitisini düşürmektedir. Çalışmada Bitcoin'in Çin'de güvenli liman olduğu ve CNY tutmanın riskli olduğu durumlarda Çin halkının fiat para birimini Bitcoin'e çevirmesinin Bitcoin işlem hacmini artırarak Bitcoin volatilitesinin azalmasını sağladığı belirtilmiştir.
Estrada (2017)	15/09/2010-13/04/2017	Bitcoin, S&P500, VIX, Blockchain Google Trendleri	Granger Nedensellik	-Bitcoin fiyatı ile S&P500 ve VIX endeksleri arasında nedensellik yok. -Bitcoin fiyat oynaklığından S&P500 endeksine tek yönlü nedensellik var. -Bitcoin fiyat oynaklığı ile VIX endeksi arasında çift yönlü nedensellik var.
Klein vd.(2018)	01/07/2011-31/12/2017	Bitcoin, Altın, Gümüş, WTI, S&P500, MSCI Endeksleri, MSCI Gelişmekte olan Piyasa 50 Endeksi için ham petrol	FIAPARCH, GARCH, BEKK GARCH	-Bitcoin altın ve gümüşe daha duyarlıdır. -Bitcoin ile altın farklı özelliklere sahiptir. -Altın, finansal piyasalar açısından önemli iken Bitcoin bir hedge enstürümanı olarak portföyün bir parçası olamaz. Dolayısıyla Bitcoin diğer varlıklar gibi güvenli bir liman değildir.
Tiwari vd.(2019)	07/08/2015-15/06/2018	Ripple, Dash, Stellar, Litecoin, Ethereum, Bitcoin, S&P500 endeksi	Kopula-ADCC-EGARCH	Altı kripto para ile S&P500 endeksi arasında korelasyon ilişkisinin düşük olduğu ve kripto para birimlerinin S&P500 borsa riskine karşı hedge olarak hizmet etmektedir. -S&P500 borsa riskine karşı en etkili hedge Litecoin'dir. Tüm kripto para birimleri portföy çeşitlendiricisidir.
Dahr vd., (2019)	01/01/2012-31/05/2018	BRICS Hisse Senedi Endeksi, DJEM Endeksi, S&P500 Endeksi, VIX Bitcoin Getirisi	TVP-VAR	-Bitcoin getirisinin volatilitate aktarımı BRICS ülkelerinde önemli bir piyasa getiri şoku değildir. -Bitcoin getirisi hisse senedi volatilitesine kaykısı daha azdır.
Al Janabi vd.,(2019)	19/07/2010-31/01/2018	Bitcoin, G7 Ülke Borsaları, Altın Fiyatı, Emtia	LVar, GARCH, EGARCH, GJR-GARCH, APARCH	-Bitcoin G7 ülkelerinin hisse senedi portföyünün risk-getiri dengesini iyileştirmede faydalıdır. -Bitcoin sadece uzun dönemde daha iyi performans göstermektedir.
Kumar (2020)	05/01/2015-24/04/2020	Bitcoin Fiyatı, Altın Fiyatı, NSE50,	DCC-GARCH, cDCC-GARCH	-Bitcoin hisse senedi piyasasına karşı güvenli bir limandır. -Bitcoin diğer finansal piyasalardan

		DJIA, CAC40, SSE		kaynaklanan şoklardan etkilenmektedir. -Bitcoin portföy çeşitlendiricisi ve riskten korunma olarak kullanılabilir.
Maghyreh ve Abdoh (2020)	18/08/2011-01/01/2020	Bitcoin, FTSE100, S&P500, DAX30, Şangay A Hisseleri	Kantil Çapraz Spektral Yaklaşımı, Dalgacık Uyum Modeli, Nicel Nedensellik	-Bitcoin getirileri ile S&P500 endeksi arasında uzun dönemde sağ kuyruk bağımlılığı vardır. -Getiri dağılımının farklı niceliklerinde Bitcoin için belirlenen finansal varlıkların her birinden Bitcoin'e doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi vardır. -Bitcoin portföy çeşitliliği sağlamaktadır.
Gil-Alana vd.,(2020)	07/05/2015-05/10/2018	Bitcoin,Ethereum, Ripple, Litecoin,Stellar, Tether S&P500, S&P GSCI Emtia Toplam Getirisi, VIX, S&P Tahvil Endeksi, S&P GSCI Altın Toplam Getirisi, ABD Nominal Dolar Endeksi	Kesirli Entegrasyon ve Kesirli Eşbütünleşme Testi	Altı kripto para ile hisse senetleri arasında eşbütünleşme ilişkisi yoktur. -Kripto paralar bağımsız bir finansal varlık olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. -Altı kripto para birimi yatırımcılar için önemli bir yatırım alternatifidir. Dolayısıyla alrı kripto para portföy çeşitliliği sağlamaktadır.
Cabarcos vd.,(2021)	04/01/2016-30/09/2019	Bitcoin Fiyatları, S&P500 Endeksi, VIX, S&P500 Duyarlılık Endeksi	GARCH EGARCH	-Bitcoin volatilitesi spekülative dönemlerde kararsızdır. -İstikrarlı dönemlerde S&P500 ve VIX getirileri Bitcoin volatilitisini etkilemektedir. -Bitcoin güvenli bir liman olarak kullanılabilir.
Mariana vd.,(2021)	01/07/2019-06/04/2020	DCC-GARCH cDCC-GARCH	Bitcoin, Ethereum, S&P500, Altın	-Covid-19 sürecinde Bitcoin ve Ethereum günlük getirileri S&P500 getirisi ile negatif korelasyon eğilimindedir. -Her iki kripto para biriminin de güvenli liman özelliği bulunmaktadır. -Ethereum Bitcoin'den daha iyi bir güvenli liman olabilmektedir.
Nguyen (2022)	01/01/2016-01/01/2021	Bitcoin, S&P500 getirileri	VAR-GARCH	-Covid-19 gibi belirsizliğin yüksek olduğu dönemlerde hisse senedi getirileri Bitcoin getirilerini önemli ölçüde etkilemektedir. -Hisse senedi piyasasında meydana gelen şokların kriz dönemlerinde Bitcoin'in volatilitisini etkilemektedir.
Kılıç ve Çütü (2018)	02/02/2012-06/03/2018	Bitcoin Fiyatları, BİST100 endeksi	Engle-Granger ve Gregory- Hansen Eşbütünleşme Testi, Toda-Yamamoto ve Hacker-Hatemi Nedensellik Testi,	-Her iki eşbütünleşme testi sonuçlarına göre Bitcoin ile BİST100 endeksi arasında ilişki yoktur. -Toda-Yamamoto nedensellik analizine göre Bist100 endeksinden Bitcoin fiyatlarına doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi vardır. -Bitcoin portföy çeşitlendirmede yatırımcı açısından risk oluşturmaktadır ve dolayısıyla portföy çeşitlendiricisi olamaz.
Gürsoy ve Tunçel (2020)	19/07/2010-10/01/2020	Bitcoin, BİST100, Bovespa, Invsaf40, Merval, S&P500	Toda-Yamamoto Nedensellik Testi	-Bitcoin'den S&P500 hisse senedine doğru tek yönlü nedensellik vardır. -Invsaf40 ve Merval endekslerindeki hareketlilik Bitcoin fiyatlarını etkilemektedir.
Sivrikaya vd., (2021)	19/07/2010-16/02/2018	Bitcoin getirileri, Dow Jones hisse senedi getirileri	Bivariate-GARCH	-Belirsizliğin yüksek olduğu dönemlerde Bitcoin, hisse senedi gibi tepki vermektedir. -Her iki değişkenin getirileri arasındaki ilişki sürdürülebilir değildir.
Camgöz (2021)	30/06/2016-31/05/2021	Bitcoin Fiyatları, G7 ve BRICS+T ülkelerine ait hisse senedi endeksleri	BEKK-GARCH	-Bitcoin'in hisse senedi endeksleri ile arasındaki korelasyon ilişkisi düşüktür. Dolayısıyla portföy çeşitlendirmesi açısından önemli avantaj sağlamaktadır. -Uluslararası yatırımcılar açısından Bitcoin içeren portföyle dah üstün risk-getiriye sahiptir.
Koy vd.,(2021)	10/03/2016-11/06/2019	Bitcoin, S&P500, Nasdaq100, Dow Jones endeksi	GARCH, EGARCH, TGARCH	-Piyasada asimetric etki bulunmaktadır. -Kripto para yatırımcılarının, kripto para piyasaları ile eş zamanlı ABD borsalarını

				da takip etmelidirler. -Portföy çeşitlendirmesinde iki piyasanın ilişkisi dikkate alınmalıdır.
Karabulut ve Sarı (2022)	2013/01-2021/05 aylık veri	Bitcoin, BİST100, NSE30, HNX30, NIKKEI225, OMCX20	VAR Granger Nedensellik	-NIKKEI225 ve OMCX20 borsalarından Bitcoin'e doğru tek yönlü nedensellik vardır. -VAR analizi sonucuna göre NIKKEI225 ve OMCX20 borsalarında meydana gelen bir artış Bitcoin'de düşüşe neden olmaktadır. -Bitcoin bu iki borsa için portföy çeşitliliği özelliğine sahiptir.
Kılıç (2022)	27/07/2017-13/02/2022 haftalık veri	Bitcoin ile BİST30 vadeli işlem piyasası, Altın ve Döviz vadeli işlem piyasası	DCC-GARCH	-Bitcoin ile BİST30 vadeli işlemler piyasası arasında negatif yönlü karşılıklı volatilité etkileşimi vardır. -Altın ve Döviz vadeli işlemler piyasasından Bitcoin'e doğru tek yönlü volatilité etkileşimi vardır. -Bitcoin ile vadeli işlemler piyasası birbirlerinin ikame yatırım araçlarıdır. Dolayısıyla Bitcoin portföy çeşitlendiricisi olarak kullanılabilir.

Zamanla kripto paralara olan ilginin artması ve özellikle 2019 yılında başlayıp 2020 yılında tüm dünyayı etkisi altına alan Covid-19 krizi sürecinde dijital ödeme yöntemlerine geçişin zorunlu kılınması, kripto paraların piyasa değerinin yükselmesine ve işlem hacimlerinin artmasına neden olmuştur. Bu çerçevede geleneksel finansal varlıklar ile kripto paralar arasındaki ilişkinin incelenmesi sonucunda kripto paraların geleneksel yatırım araçlarına alternatif yeni bir yatırım aracı olup olamayacağı konusu hem akademik araştırmacılarının hem de yatırımcı ve politika yapımcılarının ilgisini çekmiştir. Bu doğrultuda literatürde kripto paraların portföy çeşitliliği olarak kullanılmasının araştırılmasında farklı analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Korelasyon-regresyon analiz yöntemini kullanarak Bitcoin ile S&P500 endeksi arasındaki volatilitéyi inceleyen Baek ve Elbeck (2014), çalışmasında 19/07/2010-17/02/2014 arası günlük verileri kullanmıştır. Yazarların çalışmadan elde ettikleri bulgulara göre, Bitcoin volatilitesi S&P500 volatilitesine göre 26 kat daha fazladır. Ayrıca Bitcoin piyasası spekülâtif bir yapıya sahiptir. Bunlara ek olarak çalışmada, Bitcoin fiyatını etkileyen tek unsurun Bitcoinin günlük en düşük ve en yüksek fiyat farkının aylık değişimi olduğu vurgulanmıştır. Korelasyon-regresyon analizini kullanarak Bitcoin'in volatilitésinin çok yüksek olduğu ve portföy çeşitlendiricisi olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşan bir diğer çalışma ise Briere vd.(2015) çalışmasıdır. Yazarlar çalışmada, 23/07/2010-27/12/2013 arası haftalık verileri kullanarak geleneksel varlık değişkenleri olarak hisse senetleri, tahviller, sabit para birimi ile alternatif yatırım değişkenleri olarak hedge fonları, gayrimenkul ve emtia kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda Bitcoin volatilitésinin yüksek olduğu ve dolayısıyla getirisinin yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca Bitcoin'in diğer finansal varlıklarla korelasyonu oldukça düşüktür. Bundan dolayı Bitcoin portföy çeşitlendiricisi olarak kullanılabilir. Yazarların çalışmadan elde ettikleri son bulgu ise, Bitcoin'in küçük bir oranının dahil edilmesinin bile portföylerin risk-getiri dengesini olumlu etkileyebileceği yönündedir. Varyans-kovaryans matrisleri incelenerek, hisse senedi, tahvil, ham petrol, MXEF, altın, Baltık kuru yük endeksi ve gayrimenkul gibi uluslararası yatırımcı portföylerine Bitcoin'in eklenmesinin ortaya çıkaracağı etkinin analiz edildiği Gangwal(2016) çalışmasında, Bitcoin yeni bir varlık olarak nitelendirilmiştir. Çalışmada 02/07/2010-02/08/2016 arası günlük veriler kullanılmıştır ve analize dahil edilen bu dönem boyunca portföylere Bitcoin'in dahil edilmesinin daha yüksek bir keskinlik oranı (Sharpe ratio) sağladığı belirtilmiştir. Yazar bu durumun, Bitcoin getirilerinin yüksek oynaklığını dengelediği anlamına geldiğini ifade etmiştir. Yani çalışmada Bitcoin'in daha etkin portföyler oluşturabileceğine imkan tanıdığına ve dolayısıyla portföy çeşitlendirmesi olarak kullanılabilirliğine değinilmiştir.

Literatürde kripto para piyasası ile geleneksel finansal varlıklar arasındaki ilişkinin incelenmesinde farklı analizlerin kullanıldığı bir diğer yöntem, zaman serisi tekniğine dayalı yapılan çalışmalardır. Bu çerçevede Wijk (2013), 19/07/2010-13/06/2013 arasında beş günlük verileri kullanarak Bitcoin fiyatları ile çeşitli geleneksel finansal yatırım araçları arasındaki ilişkiyi ARDL yöntemi ile test etmiştir. Çalışmada, Bitcoin kapanış fiyatları, Dow Jones hisse senedi endeksi, FTSE100 endeksi, Nikkei225 hisse senedi endeksi, Euro/Usd, Yen/Usd, Brent petrol fiyatı, WTI Oil ve CMCI Oil değişkenleri kullanılmıştır. Yapılan analiz sonucunda Dow Jones endeksinin Bitcoin fiyatları üzerinde kısa ve uzun dönemde anlamlı etkisi olduğu ancak Euro/Usd ile WTI Petrol fiyatlarının sadece kısa dönemde anlamlı etkisi olduğu tespit edilmiştir. FTSE100, Nikkei225 ve Yen/Usd değişkenlerinin ise Bitcoin fiyatları üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı gözlenmektedir. Zaman serisi tekniğine dayalı bir yöntem olan Granger nedensellik testinin yapıldığı çalışmalardan biri olan Estrada (2017), Bitcoin ile S&P500, VIX ve Blockchain Google Trend değişkenleri arasındaki ilişkiyi, 15/09/2010-13/04/2017 tarihleri arasında günlük verileri kullanarak incelemiştir. Analiz sonucunda Bitcoin fiyatı ile S&P500 ve VIX endeksleri arasında Granger nedensellik olmadığı, Bitcoin fiyat oynaklığından S&P500 endeksine tek yönlü nedensellik olduğu ve Bitcoin fiyatında gerçekleşen volatilité ile VIX endeksi arasında karşılıklı nedensellik olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada elde edilen son bulgu ise bir varlığın volatilitésini

anlamak için diğer varlığın volatilitesini incelemenin her iki varlık hakkında bilgi vereceği yönündedir.

Zaman serisi tekniğine dayalı yapılan analizlerden biri olan genelleştirilmiş otoregresif koşullu değişen varyans modeli (GARCH) ve bu modelin türevleri, finansal piyasalar üzerine yapılan çalışmalar için yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemlerden biri olan asimetrik GARCH (TGARCH) methodunu çalışmasında kullanan Dyhrberg (2015), Bitcoin ile FTSE100, EUR/USD ve GBP/USD arasındaki incelemiştir. Çalışmada 19/07/2010-22/05/2015 arası günlük veriler kullanılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen bulgular, değişkenler arasında sıfıra yakın ilişki olduğu yönündedir. Yazar çalışmada, Bitcoin'in FTSE100 hisse senetlerine ve kısa dönemde de Amerikan dolarına karşı riskten korunma aracı olarak kullanılabilceğini, dolayısıyla Bitcoin'in iyi bir portföy çeşitlendiricisi ve hedge enstürümanı olabileceğini belirtmiştir. GARCH methodunu kullanarak yapılan bir diğer çalışmada Cermak (2017), 18/08/2010-17/03/2017 arasında günlük verileri kullanarak Bitcoin ile çeşitli ekonomik ve finansal göstergeler arasındaki ilişkiyi test etmiştir. Çalışmada Bitcoin fiyat endeksi, Shanghai Stock Index, Nikkei225, S&P500, Euro Stock50, CNY/USD, EUR/USD, JPY/USD, Altın ons fiyatı, ABD-Çin-Japonya-Almanya 3 aylık bankalar arası faiz oranı ile 10 yıllık devlet tahvil faiz oranı değişkenleri kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgular, Bitcoin'in bir önceki günün getirisinin bugünün Bitcoin oynaklığını etkilediği ve önceki günün Bitcoin oynaklığının bugünün Bitcoin oynaklığını etkilediği yönündedir. Ayrıca, Çin, ABD ve AB'nin makroekonomik açıklayıcı değişkenlerinin, Bitcoin'in bir sonraki günün oynaklığını tahmin etmede önemli olduğunu ancak Japonya'nın makroekonomik değişkenlerinin Bitcoin'in bir sonraki günkü oynaklığını tahmin etmek için uygun olmadığını tespit etmişlerdir. Analiz sonucunda elde edilen son tespitler ise, altın fiyatlarının Bitcoin oynaklığını tahmin etmede zayıf bir etken olduğu ve CNY'de meydana gelen pozitif bir oynaklık şokunun Bitcoin oynaklığını düşürdüğü yönündedir. Dolayısıyla yazar çalışmasında, Bitcoin'in Çin'de güvenli liman olarak hareket ettiğini ve CNY tutmanın riskli olduğu durumlarda Çin halkının fiat para birimini Bitcoin'e çevirmesinin Bitcoin'in işlem hacmini artırarak Bitcoin oynaklığının azalmasını sağladığını belirtmiştir. GARCH methodunun türevleri olan çok değişkenli GARCH modellerinin kullanıldığı çalışmada Klein vd. (2018), Bitcoin'in altın, gümüş ve dünya borsaları üzerinde etkisini FIAPARCH, GARCH ve BEKK GARCH yöntemi ile incelemiştir. Bu kapsamda 01/07/2011-31/12/2017 arası günlük verileri kullanarak Bitcoin, altın, gümüş fiyatları, WTI, S&P500, MSCI endeksleri ve MSCI

Emerging Markets 50 ekdeksi için ham petrol değişkenleri analize dahil edilmiştir. Analiz sonucunda Bitcoin'in hisse senedi endekslerinden ziyade altın ve gümüşe daha duyarlı olduğuna, Bitcoin ile altının farklı özelliklere sahip olduklarına, altın finansal piyasalar açısından önemli iken Bitcoin bir hedging enstürümanı olarak portföyün bir parçası olamayacağına ve dolayısıyla Bitcoin'in diğer varlıklar gibi güvenli bir liman olamayacağına değinmişlerdir. Tiwari vd., (2019), 07/08/2015-15/06/2018 arasında günlük verileri kullanarak Ripple, Dash, Stellar, Litecoin, Ethereum ve Bitcoin gibi altı kripto para kapanış fiyatları ile S&P500 hisse senedi endeksi arasındaki ilişkiyi kopula-ADCC-EGARCH motodu ile test etmişlerdir. Yazarlar bu analiz ile altı kripto para ve S&P500 hisse senedi endeksi arasındaki zamanla değişen korelasyonları incelemişlerdir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgulara göre, zamanla değişen korelasyonların çok düşük olduğu ve bu durumun da kripto para biriminin S&P500 borsa riskine karşı bir hedge varlık olarak hizmet ettiği tespit edilmiştir. Elde edilen diğer bulgular ise, oynaklıkların her iki piyasada da negatif şoka pozitif şoktan daha fazla tepki verdiği ve S&P500 endeksi riskine karşı en etkili hedge varlığın Litecoin olduğu yönündedir. Dolayısıyla tüm bu sonuçlar çerçevesinde yazarlar, kripto para biriminin portföy çeşitlendirmesinde önemli unsurlardan biri olabileceğini vurgulamışlardır. Bitcoin ile G7 ülkelerinin borsaları, altın fiyatları ve emtiaları arasındaki ilişkiyi asimetrik GARCH modelleri inceleyen Al Janabi vd., (2019) çalışmalarında, LVar, GARCH, EGARCH, GJR GARCH ve APARCH yöntemlerini kullanmışlardır. 19/07/2010-31/01/2018 arası günlük veriler ile yapılan çalışmadan elde edilen ampirik sonuçlar, Bitcoin'in G7 ülkelerinin hisse senedi portföyünün risk-getiri dengesini iyileştirmede faydalı olduğunu ve Bitcoin'in sadece uzun dönemli pozisyonlara izin verildiğinde daha iyi performans gösterdiğini kanıtlamaktadır. Zaman içinde değişen koşullu korelasyonları ölçmek için geliştirilen DCC-GARCH ve cDCC-GARCH methodunu kullanan Kumar (2020) çalışmada, 05/01/2015-24/04/2020 arasında günlük veriler kullanarak dünya borsaları, altın ve bitcoin arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Altın fiyatı, Bitcoin fiyatı ve dünya borsaları olarak NSE50, DJIA, CAC40 ve SSE hisse senedi endekslerinin getiri değerleri analize dahil edilmiştir. Analiz sonucunda Bitcoin ve altının hisse senedi piyasasına karşı güvenli bir liman olduğu ancak Covid-19 sürecinde bu iki varlık arasında altının daha iyi güvenli liman olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca DCC-GARCH sonucu Bitcoin'in diğer finansal piyasalardan kaynaklanan şoklardan etkilendiğini ve yatırımcı açısından Bitcoin'i riskten korunma veya portföy çeşitlendiricisi olarak kullanmanın daha iyi olduğunu göstermektedir.

DCC-GARCH ve cDCC-GARCH yönteminin kullanıldığı bir diğer çalışmada Mariana vd., (2021), Bitcoin ve Ethereum'un hisse senetleri için güvenli liman sınavasını 01/07/2019-06/04/2020 arası veriler ile test etmişlerdir. Çalışmada Bitcoin, Ethereum, S&P500 ve altın fiyat değişkenleri kullanılmıştır. Yazarlar çalışmada yaptıkları analiz sonucunda, her iki kripto para biriminin güvenli liman olarak uygun olduğunu, Covid-19 sürecinde Bitcoin ve Ethereum günlük getirilerinin S&P500 getirisi ile negatif korelasyon eğiliminde olduğunu ve Ethereum'un Bitcoin'den daha iyi bir güvenli liman olabileceğini tespit etmişlerdir. Piyasalar arasında asimetrik volatilitiyi test eden Cabarcos vd.,(2021), çalışmalarında 04/01/2016-30/09/2019 dönemleri arasında günlük verileri kullanarak Bitcoin ile diğer finansal varlıklar arasındaki volatilitiyi yayılımlarını GARCH ve EGARCH methodu ile incelemişlerdir. Çalışmadan kullanılan değişkenler, S&P500 endeksi, VIX endeksi, S&P500 duyarlılık endeksi ve Bitcoin fiyatları kullanılmıştır. Çalışmada her bir değişkenin getiri değerleri hesaplanmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgular, Bitcoin oynaklığının spekülasyon dönemlerinde daha kararsız olduğu ve istikrarlı dönemlerde S&P500, VIX getirilerinin ve duyarlılığının Bitcoin oynaklığını etkilediği yönündedir. Yani çalışmada Bitcoin'in genellikle güvenli liman olarak kullanılabileceği belirtilmiştir. GARCH modelleri ve türevleri ile yapılan çalışmalara ek olarak VAR modeli kurularak yapılan GARCH modelleri de bulunmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan VAR-GARCH methodunun kullanıldığı Nguyen (2022), Covid-19 ve diğer kriz dönemlerinde borsanın Bitcoin üzerindeki etkisini 01/01/2016-01/01/2021 arası haftalık veriler ile incelemiştir. Analiz sonuçlarına göre, Covid-19 gibi belirsizliğin yüksek olduğu dönemlerde S&P500 getirileri Bitcoin getirilerini önemli ölçüde etkilemektedir. Ayrıca araştırmada, S&P500 piyasasında meydana gelen şokların Covid-19 gibi diğer kriz dönemlerinde de Bitcoin'in oynaklığını etkilediği yönünde sonuçlar bulunmuştur.

Literatürde finansal piyasalar üzerine farklı yöntemlerin uygulandığı çalışmalar incelendiğinde ise destek vektör makineleri, zamanla değişen parametre vektör otoregresyonu (TVP-VAR), kantil çapraz spektral yaklaşımı, dalgacık uyum modeli, nicel nedensellik testi, kesirli entegrasyon ve kesirli eşbütünlük methodlarının kullanıldığı çalışmalar da dikkat çekmektedir. Destek vektör makine yönteminin uygulandığı Georgoula vd. (2015) çalışmasında, 27/10/2014–12/01/2015 arası günlük veriler kullanılarak Bitcoin ile S&P500 endeksi arasındaki ilişki incelenmiştir. Yapılan analiz sonucunda Bitcoin fiyatları ile S&P500 endeksi arasında negatif ilişki olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla yazarlar çalışmada elde ettikleri bulgulara göre S&P500

endeksi düşüğe geçtiğinde yatırımcılara hisse senetlerini satarak Bitcoin alabileceklerini önermişlerdir. Dahır vd., (2019), çalışmalarında, zamanla değişen parametre vektör otoregresyon (TVP-VAR) modeli ile Bitcoin ve hisse senedi piyasası arasındaki dinamik bağlantıyı incelemeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarında 01/01/2012-31/05/2018 arasında günlük verileri kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre, Bitcoin getirisinin oynaklık aktarımı BRICS ülkelerinde önemli bir piyasa getirisi şoku kaynağı değildir. Ayrıca Bitcoin getirisinin hisse senedi piyasası bilgisinin oynaklığına daha az katkı sağladığı belirtilmiştir. Maghyreh ve Abdoh (2020) ise çalışmada kantil çapraz spektral yaklaşımı, dalgacık uyum modeli ve nicel nedensellik testini kullanarak Bitcoin'in çeşitli hisse senetleri için portföy çeşitlendiricisi olup olmadığını test etmişlerdir. Çalışmada 18/08/2011-01/01/2020 dönemi günlük veriler ile Bitcoin, FTSE100, S&P500, DAX30 ve Şangay A hisseleri değişkenleri kullanılmıştır. Analiz sonucunda, Bitcoin getirileri ile S&P500 endeksi arasında uzun dönemde sağ kuyruk bağımlılığının olduğu ve getiri dağılımının farklı niceliklerinde Bitcoin için belirlenen finansal varlıklardan ten yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu belirlenmiştir. Ayrıca elde edilen bulgular neticesinde Bitcoin'in belirli getiri miktarlarında ve zaman frekanslarında finansal çeşitlilik sağlayabileceği öne sürülmüştür. Farklı methodların kullanıldığı bir diğer çalışma ise Gil-Alana vd., (2020)'ye aittir. Yazarlar çalışmada, 07/05/2015-05/10/2018 dönemi arasında günlük verileri kullanarak Bitcoin'in yeni finansal varlık olarak değerlendirilip değerlendirilmeyeceğini test etmişlerdir. Bu çerçevede çalışmada altı farklı kripto para değişkenleri ile (Bitcoin, Ethereum, Ripple, Litecoin, Stellar ve Tether) S&P500 endeksi, S&P GSCI Emtia toplam getirisi, VIX, S&P tahvil endeksi, S&P GSCI altın toplam getirisi ve ABD nominal dolar endeksi arasındaki ilişki kesirli entegrasyon ve eşbütünleşme testi ile analiz edilmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgular, altı kripto para ile hisse senetleri arasında eşbütünleşme ilişkisi olmadığını, kripto paraların bağımsız bir finansal varlık olarak değerlendirilmesi gerektiğini ve yatırımcılar için önemli bir yatırım alternatifi olarak görülebileceğini göstermektedir. Yazarlar elde edilen bulgular neticesinde kripto paraların hisse senedi endeklerinden bağımsız hareket etmesinden dolayı portföy çeşitliliği olabileceği yönünde öngöründe bulunmuşlardır.

Türkiye'de yapılan çalışmalar incelendiğinde eşbütünleşme ve nedensellik analizlerinin kullanıldığı Kılıç ve Çütcü (2018) çalışmasında, kripto paraların geleneksel finansal varlıklara alternatif olma olasılığını, 02/02/2012-06/03/2018 tarihleri arasında günlük verileri kullanarak incelemişlerdir. Bitcoin ile Bist100 endeksi



değişkenlerinin kullanıldığı çalışmada değişkenler arasındaki ilişki Engle-Granger Eşbütünleşme testi ve Gregory-Hansen Eşbütünleşme testi ile Toda-Yamamoto ve Hacker-Hatemi Granger nedensellik analizi ile test edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda her iki eşbütünleşme testine göre Bitcoin ile Bist100 endeksi arasında bir ilişki olmadığı sadece Toda-Yamamoto nedensellik analizi sonucunda Bist100 endeksinden Bitcoin fiyatlarına doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre Bitcoin'in portföy çeşitlendirmede yatırımcı için riskli olabileceği ve bundan dolayı Bitcoin'in geleneksel yatırım araçlarına alternatif bir yatırım aracı olamayacağı belirtilmiştir. Nedensellik testlerinden Toda-Yamamoto testlerinin kullanıldığı çalışmada Gürsoy ve Tunçel (2020), kripto para ile çeşitli finansal varlıklar arasındaki ilişkiyi 19/07/2010-10/01/2020 arası günlük veriler ile incelemişlerdir. Çalışmada Bitcoin, Bist100, Bovespa, Invsaf40, Merval ve S&P500 hisse senedi değişkenleri kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda Bitcoin'den S&P500 hisse senedine doğru nedensellik ilişkisi olduğu ancak diğer hisse senedi piyasalarına doğru bir nedenselliğin olmadığı tespit edilmiştir. Ek olarak Invsaf40 ve Merval endekslerindeki hareketliliğin Bitcoin fiyatlarını da etkilediği sonucuna varılmıştır. Bitcoin'in portföy çeşitlendiriciliğinin geleneksel ekonometrik yöntemlerle sınındığı bir diğer çalışma Karabulut vd., (2022)'ye aittir. Karabulut vd. (2022), Bitcoin ile Danimarka, Japonya, Türkiye, Nijerya ve Vietnam borsa endeksleri arasında ilişkiyi eşbütünleşme testi, Granger nedensellik testi ve VAR analizi ile incelemişlerdir. Çalışmada 2013:01-2021:05 arası aylık veriler ile Bist100, NSE30, HNX30, NIKKEI225 ve OMCX20 değişkenleri kullanılmıştır. Yapılan analiz sonucunda sadece Danimarka ve Japonya borsalarından Bitcoin'e doğru tek yönlü nedensellik olduğunu ve VAR analizi sonucuna göre de bu iki ülkenin borsalarında meydana gelen bir artışın Bitcoin'de düşüşe neden olduğunu tespit etmişlerdir. Bu bulgulara göre analize dahil edilen borsa endeksleri ile Bitcoin arasında portföy çeşitliliğine gidilerek riskin minimuma indirilmesinin faydalı olacağı vurgulanmıştır.

Genellikle finansal piyasalar üzerine yapılan çalışmalarda değişkenler arasında volatilitelik durumunu inceleyen GARCH ve türevleri modellerinin kullanıldığı çalışmalardan bir olan Koy vd., (2021), çalışmalarında 10/03/2016-11/06/2019 arası günlük verileri kullanarak Bitcoin'in volatilitate yapısında ABD borsa endeks getirilerinin varlığını araştırmışlardır. Bitcoin ile S&P500, Nasdaq100 ve Dow Jones Industrial değişkenleri için GARCH, EGARCH ve TARARCH modelleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, analize dahil edilen üç endeksin de Bitcoin'in volatilitelerini açıklamada

anlamli olduğunu ve olumsuz Şokların volatiliteni olumlu Şoklardan daha fazla etkilediğini gstermektedir. Yani piyasada asimetrik etki olduğu gzenmektedir. Yazarlar çalışmadan elde edilen bulgulara gbre, kripto para yatırımcılarının, kripto para piyasaları ile eş zamanlı ABD borsalarını da takip etmelerini ve portfgy eşitlendirmesinde iki piyasanın ilişkisini dikkate almalarını önermişlerdir. Çok değişkenli GARCH methodlarından biri olan CCC-GARCH yönteminin kullanıldığı Sivrikaya vd., (2021) alışmasında, ABD dow jones piyasasında işlem gbre hisse senedi getirileri ile bitcoin getirileri ve belirsizlikleri arasındaki ilişkiyi, 19/07/2010-16/02/2018 yılları arası gnlük verileri kullanarak incelemişlerdir. Çalışmada, farklı risk iştahının ve getirilerde belirsizliklerin yüksek olduğu dönemlerde bitcoin ve dow jones hisse senedi getirilerinin verdiği tepkiler karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda bitcoin getirisinin riskten kaçınılan veya yüksek belirsizliğin olduğu dönemlerde hisse senedi gibi tepki verdiğini, ancak iki getiri arasındaki ilişkinin sürdürülebilir olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Diğer taraftan, ABD borsa yatırımcıları tüm örneklem dönemi boyunca riskten kaçınma davranışını gsterirken, Bitcoin yatırımcıları aynı davranışı gstermemektedir. Camgöz (2021) ise Bitcoin'in gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin hisse senetleri piyasalarıyla arasındaki ilişkiyi ortaya koymayı amaçladığı çalışmasında G7 ve BRICS+T ülkelerine ait hisse senedi endeksleri ile Bitcoin fiyatlarını BEKK-MGARCH yöntemi ile hesaplamıştır. Çalışmada 30/06/2016-31/05/2021 arası gnlük veriler kullanılmıştır. Çalışmada, Bitcoin'in hisse senedi piyasalarıyla arasındaki korelasyon ilişkisinin düşük olduğu ve portfgy çeşitlendirmesi açısından önemli avantaj sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca uluslararası yatırımcılar açısından Bitcoin içeren portfgylerin daha üstün risk-getiriye sahip olduğu da tespit edilmiştir. Çok değikenli GARCH modellerinden olan ve koşullu korelasyonların zamanla değiştiğini varsayan DCC-GARCH modeli, Kılıç (2022) alışmasında kullanılmıştır. Kılıç (2022), Bitcoin ile Bist30 vadeli işlemler piyasası, altın ve döviz vadeli işlemler piyasası arasındaki ilişkiyi, 27/07/2017-13/02/2022 dönemi haftalık verileri kullanarak test etmiştir. Çalışmada, tüm piyasalarda volatilitenin kalıcı olduğu, Bitcoin ile Bist30 vadeli işlemler piyasası arasında karşılıklı volatilitite etkileşimi olduğu, altın ve döviz vadeli işlemler piyasasından ise Bitcoin'e doğru tek yönlü volatilitite yayılımı olduğu tespit edilmiştir. Döviz vadeli işlemler piyasasından Bitcoin'e olan volatilitite etkileşimi pozitif yönlü, altın vadeli işlemler piyasasından Bitcoin'e volatilitite etkileşimi ve Bitcoin ile Bist30 vadeli işlemler piyasasındaki volatilitite etkileşimi negatif yönlüdür. Çalışmadan elde edilen bulgulara gbre, Bitcoin ile vadeli işlemler piyasasının birbirlerinin ikame yatırım

araçları olduğu ve Bitcoin yatırımcısının vadeli işlemler piyasasındaki değişimleri takip etmesi gerektiği söylenebilmektedir.

Çalışmada yapılan literatür araştırması sonuçlarına göre kripto paralar ile çeşitli finansal varlıklar arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmaların son zamanlarda arttığı görülmektedir. Geçmiş dönemlerde çoğunlukla kripto paraların tanımı üzerine çalışmalar yapılırken son zamanlarda kripto paraların finansal varlıklara alternatif yatırım aracı olup olamayacağının ve kripto paralar ile finansal varlıklar arasındaki volatilité ilişkisinin belirlenmesinin önem kazandığı gözlenmektedir. Literatürde genellikle Bitcoin'in portföy çeşitliliği üzerine çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar çoğunlukla Bitcoin'in portföy çeşitliliği, hedge enstürümanı ve riskten korunma olarak kullanılabileceği yönündedir. Ancak piyasa değeri açısından en önemli kripto para biriminin Bitcoin olmasının yanısıra diğer kripto para birimlerinin de bu açıdan incelenmesi kripto para piyasasının daha iyi anlaşılması açısından önemli olabilir. Kripto para piyasalarının portföy çeşitliliğinin sınanması aşamasında kullanılan GARCH modellerinin, literatürde az sayıda çalışmada uygulanan VAR temelli kurulmasının ve dolayısıyla çalışmada çok değişkenli GARCH modellerinin kullanılmasının daha doğru bilgiler vereceği öngörülmektedir. Ayrıca finansal piyasalarda asimetric etkinin olduğu tespit edildiğinden çok değişkenli asimetric GARCH modellerinin uygulanması gerekmektedir. Literatürde çoğunlukla sadece Bitcoin üzerine araştırmaların yapılması, tek bir analiz olarak sadece asimetric GARCH modellerinin uygulanmasının, çok değişkenli GARCH modelleri uygulanırken asimetric etkinin göz önünde bulundurulmaması bu çalışmanın temelini oluşturmuştur. Bu çerçevede çalışmada, Bitcoin dışında diğer kripto para birimlerinin de portföy çeşitliliğinin sınanmasının, çok değişkenli GARCH modeli kurulurken VAR modeli üzerinden kurulmasının ve piyasalarda asimetric etkinin göz önünde bulundurulması açısından literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Literatüre katkı sağlayabileceği düşünülen bir diğer konu ise, değişkenlerin volatiliteleri arasındaki ilişkinin yönünün belirlenmesidir. Açıklanan bu bilgiler doğrultusunda çalışmada, çeşitli finansal varlıklar ile farklı kripto paralar arasındaki volatilité ilişkisi 02/01/2017-29/10/2021 dönemleri arası için beş günlük veriler kullanılarak CCC-GJR GARCH yöntemi ile test edilmiştir. Ardından bu piyasalar arasındaki ilişkinin yönünü test etmek amacıyla Granger nedensellik testi yapılmıştır.

### 3.3. Ekonometrik Yöntem

#### 3.3.1. Metodoloji

Finansal piyasalar üzerine literatürde yapılan çoğu ampirik çalışmalarda genellikle finansal varlıklarda meydana gelen volatilitenin tanımlanmasında varlıkların fiyat değerlerinin kullanıldığı ancak volatilitenin ölçülmesi ve modellenmesinde varlıkların getiri değerlerinin daha fazla kullanıldığı belirtilmektedir. Bu çerçevede Campbell vd. (1997), finansal varlıklardaki volatilitenin varlıkların getiri değerlerinin kullanılarak ölçülmesinin bazı önemli avantajlara sahip olduğunu ifade etmektedir. bu avantajlardan ilki yatırımcılar açısından finansal piyasaların tam rekabetçi piyasa olarak değerlendirildiği ve bundan dolayı yatırımların büyüklüğünün fiyat değişimlerini etkilemediği yönündedir. Getiri değerlerinin kullanılmasının diğer bir avantajı ise, finansal varlık getiri değerlerinin fiyat değerlerine göre düzeyde durağan olma gibi bazı istatistiksel özelliklere sahip olmasıdır.

İktisadi zaman serilerinde tahmin edilen modellemelerde belli başlı istatistiksel varsayımlar bulunmaktadır. Bunlar; elde edilen modellere ait hata terimlerinin istatistiksel olarak bağımsız benzer olasılık (i.i.d) dağılımlarına sahip olduğu, normallik dağılımına uygunluk gösterdiği, otokorelasyon sorunu ve değişen varyans sorunu olmadığı yani varyansın sabit olduğu yönündeki varsayımlardır. Ancak finansal piyasalar için yapılan çalışmalarda finansal varlık serilerinin çoğunlukla kendine has istatistiksel özelliklere sahip olduğu ve çoğu finansal varlık getirilerinin belirtilen varsayımlara uymadığı gözlenmektedir. Bir diğer ifadeyle finansal varlık getirileri, normal dağılım özelliği göstermediği, kalın kuyruklu ve sola çarpık olduğu, getirilerin zaman içerisinde bağımsız olmadığı gibi kendine has istatistiksel özelliklere sahiptir. Bunlara ek olarak finansal varlık modellerinde hata terimi varyanslarının sabit olmadığı, zaman içerisinde değişebildiği yani modelde değişen varyans sorunu olduğu gözlenmektedir. Finansal varlıklar için yapılan çalışmalarda tespit edilen sabitlik varsayımının sağlanamadığı durumlar için Engle (1982) otoregresif koşullu değişen varyans (ARCH) modelini ve Bollerslev (1986) ise genelleştirilmiş otoregresif koşullu değişen varyans (GARCH) modelini geliştirmişlerdir.

Finansal varlıkların kendilerine özgü bazı istatistiksel özelliklere sahip olduklarının tespit edilmesinin yanı sıra son zamanlarda literatürde yapılan çalışmalarda, finansal piyasaların spekülasyon ve kırılabilir bir yapıya sahip olduğu ve dolayısıyla finansal varlık değişkenlerinin doğrusal olmayan bir yapıya sahip olabileceği vurgulanmaktadır. Kripto paraların finansal varlık olarak işlev gördüğü göz

önüne alındığında kripto para piyasalarının da finansal piyasalar gibi kırılğan ve spekülâtif bir yapısı olabileceği ve bundan dolayı her iki piyasaya ait değişkenlerin doğrusal olmayan bir özellik sergileyebileceği düşünülmektedir. Bu bilgiler çerçevesinde doğrusal zaman serisi modellerinin finansal değişkenleri açıklamada yetersiz kalabileceği düşüncesinden hareketle literatürde doğrusal olmayan modellerin kullanımının uygun olduğuna dikkat çekilmektedir. Dolayısıyla öncelikle finansal varlık ve kripto para değişkenlerinin bazı istatistiki bilgilerinin test edilmesi gerekmektedir. Bu bilgiler çerçevesinde çalışmada ARCH modellerinin kullanılabilmesi için değişkenlerin bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu özellikler; çarpıklık (Skewness) değerinin negatif, basıklık (Kurtosis) değerinin 3'den büyük olması ve normal dağılıma sahip olmaması gerektiği şeklindedir. ARCH modeli kurulmadan önce değişkenlerin bu istatistiki yapılarının incelenmesi sonucunda belirtilen özelliklere sahip olduğu tespit edilir ise bu durumda seriler doğrusal modellerle test edilememektedir. Dolayısıyla değişkenlerin modellenmesinde doğrusal olmayan yöntemlerin kullanılmasının gerektiği belirtilmektedir (Uğurlu, 2014:718). Mandelbrot (1963), Fama (1965), Engle (1982), Cont (2001) ve Brooks (2008) çalışmalarında finansal değişkenler için kurulan modellerde hata terimlerinin sabitlik varsayımını sağlamaması yani değişen varyans sorunu olması, normal dağılıma sahip olmaması, kalın kuyrukluluk, volatilité kümelenmesi, asimetri ve kaldıraç etkisi gibi özelliklere sahip olmasından dolayı değişkenlerin doğrusal modellerle modellenemeyeceğine değinmişlerdir. Fama (1965) çalışmasında finansal varlık getirilerinin normal dağılım özelliği göstermediğini, serilerin ampirik dağılımının normal dağılıma göre daha kalın kuyruklu (excess of kurtosis), aşırı basıklı (leptokurtosis) olduğunu ve sola çarpık görünüme sahip olduğunu belirtmektedir. Dolayısıyla, yazar çalışmasında yüksek negatif değerlerin risk yönetimi ve portföy seçiminde daha etkili olduğunu ifade etmektedir. Mandelbrot (1963), zaman serilerinde hata terimlerinin değişen varyansa sahip olmasını volatilitéde kümelenme olarak tanımlamaktadır. Yazar çalışmasında, finansal getirilerde oluşan büyük dalgalanmaları büyük, küçük dalgalanmaları küçük dalgaların takip ettiğini ifade etmektedir. Bu durum değişkenlerde volatilité kümelenmeleri olduğunu göstermektedir. Bu bilgilere ek olarak finansal getirilerde kaldıraç etkisinin olduğu yani finansal piyasalarda meydana gelen negatif şokun volatilité üzerinde etkisinin pozitif şoklardan daha fazla olduğu üzerinde durulmaktadır. Dolayısıyla bu bilgiler çerçevesinde finansal ve kripto para getirilerinin modellenmesinde doğrusal olmayan modellerin kullanımının

uygun olduğu ve bu çerçevede ARCH-GARCH modellerinin kullanılabilceği tespit edilmektedir.

Çalışmada kripto paraların volatilitte yapısında çeşitli finansal varlıkların getirilerinin varlığı araştırılmaktadır. Bir diğer deyişle çalışmanın temel amacı kripto para birimi getirileri ile finansal varlıkların getirileri arasındaki volatiliteleri analiz etmektir. Bu çerçevede değişkenler arasındaki ilişki VAR-CCC-GJR GARCH modeli ile test edilmektedir. CCC-GJR GARCH modeline geçmeden önce değişkenlerin getirileri hesaplanarak her bir değişkenin getirisinin birim kök testleri yapılmıştır. Akabinde analiz için kurulan modellerin GARCH yapısına uygun olup olmadığı ARCH etkisinin varlığı sınanarak belirlenmektedir. Dolayısıyla çalışmaya getirileri hesaplanan değişkenler arasında kurulan her bir model için ARCH-LM testi yapılarak devam edilmiştir. ARCH etkisi olduğu test edilen modeller için GARCH modeli kurulabilecektir. Volatilitte tahminlerinde en uygun model seçiminde hem simetrik hem de asimetric koşullu değişen varyans modelleri kullanılmıştır. Simetrik koşullu değişen varyans modelleri, otoregresif koşullu değişen varyans (ARCH), genelleştirilmiş otoregresif koşullu değişen varyans (GARCH), ARCH-M ve GARCH-M modelleridir. Literatürde asimetric koşullu değişen varyans modelleri, Glosten-Jagannathan-Runkle (1993) tarafından olumlu ve olumsuz şokların volatilitte üzerindeki etkisinin farklı olduğunu varsayan (GJR-GARCH), eşik değerli genelleştirilmiş otoregresif koşullu değişen varyans (TGARCH), üstel genelleştirilmiş otoregresif koşullu değişen varyans (EGARCH), doğrusal olmayan asimetric genelleştirilmiş otoregresif koşullu değişen varyans (NGARCH) ve asimetric üslü genelleştirilmiş otoregresif koşullu varyans (APGARCH) olarak çeşitli modeller bulunmaktadır. Çalışmada finansal getiriler arasındaki asimetricliği test etmek amacıyla GJR GARCH modeli test edilmiş olup en uygun model seçiminde GARCH-GJR GARCH-IGARCH-EGARCH-FIGARCH karşılaştırması yapılmış ve çalışma için en uygun modelin GJR GARCH olduğuna karar verilmiştir. Simetrik ve asimetric modeller arasında uygun model seçimi yapıldıktan sonra çok değişkenli GARCH modelleri arasında, çalışma için uygun model hesaplaması yapılmıştır. Bu çerçevede de çalışma için en uygun modelin CCC-GJR GARCH olduğu tespit edildiği için çalışmada değişkenlerin getirileri arasındaki volatilitelik CCC-GJR GARCH modeli ile test edilmiştir.

Çalışmada piyasa değeri açısından önemli olan üç kripto para birimi (Bitcoin, Ethereum ve Litecoin) ile S&P500, Dow Jones, ve Bist100 değişkenleri 02/01/2017-29/10/2021 dönemleri için beş günlük veriler ile test edilmiştir. Çalışmada öncelikle her

bir değişkenin getirileri hesaplanmıştır. Getiri serilerini 3.1 ve 3.2 numaralı denklemdaki formül yardımıyla hesaplıyoruz.

$$KP = \log\left(\frac{KP_t}{KP_{t-1}}\right) \quad (3.1)$$

$$FV = \log\left(\frac{FV_t}{FV_{t-1}}\right) \quad (3.2)$$

Denklem 3.1’de ifade edilen KP, analizde ele alınan üç kripto para birimini temsil ederken denklem 3.2’de ifade edilen FV ise her bir finansal varlıkları temsil etmektedir. Çalışmada incelenen 6 değişkenin her birinin getirileri denklem 3.1 ve 3.2 yardımıyla hesaplandıktan sonra her bir getiri değişkenlerinin durağanlık sınaması Genişletilmiş Dickey Fuller (ADF) ve PhillipsPerron (PP) birim kök testleri ile test edilmiştir. ADF ve PP birim kök testlerinin boş hipotezi birim kök olduğu yani değişkenlerin durağan olmadığı varsayımına dayanmaktadır. ADF ve PP hipotezleri aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

#### **ADF ve PP Birim kök testi hipotezleri:**

$H_0$ : Birim kök var

$H_A$ : Birim kök yok

Değişkenlerin durağanlık sınaması yapıldıktan sonra çalışmanın bu aşamasında analizde kullanılan tüm modellere ilişkin testlerin teknik açıklamaları verilmektedir.

#### **3.3.1.1. Otoregresif Koşullu Değişen Varyans (ARCH) Modeli**

Simetrik koşullu değişen varyans modelinin ilki olan ARCH modeli Engle (1982) tarafından geliştirilmiş ve bu modelde getiri serilerinin geğmiş değerlerinin de modellendiğini belirten ilk model olarak literatüre kazandırılmıştır. Engle (1982) ARCH modelini, zaman serilerinde varyansın sabitlik varsayımının sağlanamadığı durumlarda uygulanabilen önemli bir model olduğunu ifade etmektedir. Engle (1982)’ ye göre ARCH modelinin temelinde, koşullu varyansa sahip hata terimlerinin geğmiş dönem hata terimlerinin karelerinin fonksiyonu olduğu yatmaktadır. Buna ek olarak yazar çalışmasında ARCH modelinde değişen varyansın modele bağımsız değişken olarak eklenmesi gerektiğini de belirtmektedir. Modelde koşulsuz varyans sabit, koşullu varyans ise değişken yapıya sahiptir.

ARCH modelinin, finansal varlıkların getirilerinde meydana gelen şoklar ( $\epsilon_t^2$ ) otokorelasyonsuz ancak bağımlı olmalıdır. Ayrıca koşullu değişen varyans modelleri de bağımlılığı hedeflemektedir. Dolayısıyla bu modelde şokların bağımlılığı şokların geğmiş değerlerinin karelerinin alındığı fonksiyon ile açıklanmaktadır (Kazova, 2021:4). Ayrıca Engle (1982) çalışmasında ARCH modelinin tahmininde en küçük

kareler yöntemi yerine maksimum benzerlik yönteminin kullanılmasına ve böylece tam etkin tahminciler elde edileceğine dikkat çekmektedir.

Engle (1982) ARCH (p) modeli sürecini aşağıdaki gibi modellemektedir.

1.dereceden otoregresif süreç

$$y_t = \theta y_{t-1} + \varepsilon_t \text{ şeklindedir.} \quad (3.3)$$

3.3 numaralı denklemde  $\varepsilon_t$ , sabit varyanslı  $V(\varepsilon_t) = \sigma^2$  ile beyaz gürültü sürecidir.  $\theta y_{t-1}$ ,  $y_t$  nin koşullu ortalaması iken koşulsuz ortalaması 0 dır. Açıkçası, zaman serisi modellerinden kaynaklanan tahminlerdeki büyük gelişme, koşullu ortalamanın kullanılmasından kaynaklanmaktadır.  $y_t$  nin koşullu varyansı  $\sigma^2$  iken koşulsuz varyansı  $\frac{\sigma^2}{1-\theta^2}$  dir. Değişkenlerin geçmiş değerlerine ait ek bilgilerin tahmin varyansını etkilemesine izin verilmesi durumunda gerçek süreçler için daha iyi tahmin aralıkları beklenebilir. Bunun için daha genel bir model tahmin edilir. Granger ve Andersen (1978) çalışmasında koşullu varyansın, değişkenlerin geçmiş bilgilerine bağlı olmasına izin veren bir model geliştirmiş ve geliştirmiş olduğu bu modeli çift doğrusal model olarak tanımlamıştır (Engle, 1982:987-988). Model basit bir şekilde aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$y_t = \varepsilon_t y_{t-1} \quad (3.4)$$

Bu denklemde koşullu varyans  $\sigma^2 y_{t-1}^2$ , koşulsuz varyans ise ya sıfır ya da sonsuzdur. Bu sorun küçük bir genellemeyle ortadan kaldırılabilir. Burada tercih edilen model,

$$y_t = \varepsilon_t h_t^{1/2} \quad (3.5)$$

$$h_t = \alpha_0 + \alpha_1 y_{t-1}^2 \quad (3.6)$$

Denklemde  $V(\varepsilon_t) = 1$  ve  $h_t$  koşullu varyanstır. Dolayısıyla modelin adı otoregresif koşullu değişen varyans (ARCH) olarak tanımlanmaktadır. Tam olarak bilineer model değildir ancak 1'e çok yakındır. Normallik varyansını eklendiğinde ve t zamanında mevcut olan  $\psi_t$  bilgi setinin tanımlanması sonucunda koşullu yoğunluk,

$$y_t | \psi_{t-1} \sim N(0, h_t), \quad (3.7)$$

$$h_t = \alpha_0 + \alpha_1 y_{t-1}^2 \quad (3.8)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Varyans fonksiyonunu daha genel ifadeyle belirtecek olursak,

$$h_t = h(y_{t-1}, y_{t-2}, y_{t-3}, \dots, y_{t-p}, \alpha) \quad (3.9)$$

şeklinde yazılacaktır. Bu denklemde p, ARCH parametresi iken  $\alpha$ , bilinmeyen parametre vektörüdür. ARCH modeli  $y_t$ 'nin ortalamasının  $x_t \beta$  olarak verildiğini varsayar. Bu bilgi kümesi  $\psi_t$ 'ye dahil edilen gecikmeli içsel ve dışsal değişkenlerin



doğrusal bir kombinasyonu ile  $\beta$  bilinmeyen parametrelerin bir vektörü olarak varsayılarak elde edilir. Bu durumda ARCH modeli aşağıdaki gibidir.

$$y_t | \psi_{t-1} \sim N(x_t\beta, h_t), \quad (3.10)$$

$$h_t = h(\varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}, \varepsilon_{t-3}, \dots, \varepsilon_{t-p}, \alpha) \quad (3.11)$$

$$\varepsilon_t = y_t - x_t\beta. \quad (3.12)$$

Varyans fonksiyonu cari ve gecikmeli x'leri içerecek şekilde genişletildiğinde,

$$h_t = h(\varepsilon_{t-1}, \dots, \varepsilon_{t-p}, x_t, x_{t-1}, \dots, x_{t-p}, \alpha) \quad (3.13)$$

veya daha basit şekilde

$$h_t = h(\psi_{t-1}, \alpha) \quad (3.14)$$

şekilde yazılabilmektedir. Bu bilgiler çerçevesinde Engle (1982) tarafından geliştirilen ARCH modelini p. dereceden regresyon modeli aşağıdaki gibidir.

$$y_t | \psi_{t-1} \sim N(x_t\beta, h_t), \quad (3.15)$$

$$h_t = \sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \alpha_2 \varepsilon_{t-2}^2 + \alpha_3 \varepsilon_{t-3}^2 + \dots + \alpha_q \varepsilon_{t-q}^2. \quad (3.16)$$

Model en basit haliyle ifade edilirse,

$$h_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 \quad (3.17)$$

şeklinde olacaktır.

$$\varepsilon_t = y_t - x_t\beta \quad (3.18)$$

Denklemden yer alan  $x_t\beta$  koşullu ortalamayı,  $\alpha$  ve  $\beta$  denklemdeki bilinmeyen parametre vektörlerini,  $h_t$  koşullu varyansı, p ARCH sürecindeki mertebeyi ifade etmektedir.

ARCH modelinde tahmin sonuçlarının olumlu olabilmesi için parametrelerin bazı koşulları sağlaması gerekmektedir. Modelin basit haliyle ARCH (1) modeli için bu koşullar aşağıda belirtildiği gibidir.

$$h_t = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 \quad (3.19)$$

Denklemden belirtilen  $\alpha_0 > 0$ ,  $\alpha_1 \geq 0$  durumunda kovaryans durağandır (Engle, 1982:993).

ARCH modeli, analize dahil edilen değişkenlerin getirileri hesaplanarak test edilmektedir. Değişkenlerin getirileri ile hesaplanan ARCH modelinin tahmin sonucunda elde edilen modelde otokorelasyon sorunu olmaması gerekmektedir. Enders (2014), modelde otokorelasyon olup olmadığına, otokorelasyon (ACF) ve kısmi otokorelasyon (PACF) ile hataların karelerinin otokorelasyon fonksiyonları incelenerek karar verileceğini belirtmektedir. Bu bağlamda McLeod ve Li (1983) tarafından geliştirilen Q(m) Ljung-Box test istatistiği artıklarda otokorelasyon sorununun kontrolü için kullanılabilir. ARCH modelinin tahmin edilebilmesi için kalıntılarda ARCH etkisinin olması gerekmektedir. Bundan dolayı analizde kurulan modellerde ARCH etkisi olup olmadığı da test edilmesi gerekmektedir. ARCH etkisinin varlığını test

etmek için ise Engle (1982) tarafından geliştirilen Lagrange Çarpanı (LM) testi kullanılmaktadır. Bu bilgiler çerçevesinde ARCH-LM testi, 3.17 numaralı denklemden elde edilen hata terimlerinin kareleri denklem 3.19'daki gibi yeniden modellenerek test edilmektedir. Uygun modeller test edildikten sonra yardımcı regresyon denklemi 3.20 numaralı denklemden gösterilmektedir.

$$y_t = \gamma + \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_q y_{t-q} + u_t \quad (3.20)$$

$$\hat{u}_t^2 = \gamma + \alpha_1 \hat{u}_{t-1}^2 + \alpha_2 \hat{u}_{t-2}^2 + \dots + \alpha_q \hat{u}_{t-q}^2 + v_t \quad (3.21)$$

Denklem 3.20'de belirtilen yardımcı regresyonda (q) gecikme uzunluğuna sahip koşullu varyans modelinde hataların ARCH etkisinin varlığının sınındığı hipotezler aşağıdaki gibidir.

$$H_0 = \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_q = 0 \quad \text{ARCH etkisi yoktur}$$

$$H_A = \text{en az bir } \alpha_i > 0 \quad \text{ARCH etkisi vardır}$$

ARCH etkisinin test edildiği hipotezlere bakıldığında boş hipotez ARCH etkisinin olmadığını alternatif hipotez ise ARCH etkisinin olduğunu varsaymaktadır. Dolayısıyla boş hipotez reddedilirse kurulan modelde ARCH etkisi bulunduğu söylenmektedir. ARCH-LM test istatistiği,  $LM = T \cdot (R_{\hat{\epsilon}_t}^2)$  şeklindedir. LM istatistiği q serbestlik dereceli ki-kare ( $\chi^2_q$ ) dağılımına sahiptir. Hesaplanan test istatistiği ki-kare test istatistiğinden büyük ise boş hipotez reddedilir ve ARCH etkisinin olduğu tespit edilir. ARCH etkisinin olduğu tespit edildikten sonra kurulan regresyon modeli ile yardımcı regresyon denklemleri tahmin edilebilmektedir.

Finansal serilerde meydana gelen pozitif ve negatif şoklar volatilité üzerinde farklı etkiler göstermektedir. Fakat ARCH modeli simetrik bir model olduğundan pozitif ve negatif şokların volatilité üzerindeki etkisi aynı olmaktadır. ARCH modeli hatalarda meydana gelen şoklara karşı gecikmeli tepki vermektedir. Dolayısıyla bu model volatilitéyi daha büyük tahmin edebilmektedir. Buna ek olarak ARCH modelinin sadece koşullu varyansın otoregresif yapısına dayanması durumu, koşullu varyansı modellemede gecikme sayısının fazla kullanılması gerektiğinde durağanlık sorununa neden olmaktadır. ARCH modelinin bu kısıtlayıcı özellikleri nedeniyle Bollerslev (1986), ARCH modelindeki otoregresif yapıya hareketli ortalama yapısını da ekleyerek yeni bir model geliştirmiştir. Bu modelin adı genelleştirilmiş otoregresif koşullu değişen varyans (GARCH) modelidir (Tsay, 2010:119).

### 3.3.1.2. Genelleştirilmiş Otoregresif Koşullu Değişen Varyans (GARCH)

Bollerslev (1986) tarafından geliştirilen GARCH modeli, esnek gecikme yapısına sahip olmasının yanı sıra daha fazla geçmiş bilgi kullanarak geçmişin etkilerini daha iyi yansıtılmaktadır. Dolayısıyla GARCH modelinde varyansın geçmişe ait değerleri cari dönem değerlerinin belirlenmesinde etkilidir. Buna ek olarak GARCH modelinde, koşullu varyans hem hata terimlerinin gecikmeli değerlerinin karesinden hem de varyansın gecikmeli değerlerinden etkilenmektedir. Bundan dolayı GARCH modeli, koşullu varyansı da modele dahil etmektedir (Cromwell vd., 1994:). Bollerslev (1986)'da geliştirmiş olduğu GARCH modeli ile koşullu varyansı daha az parametreyle en iyi şekilde modellemeyi amaçlamıştır. Bollerslev (1986) tarafından geliştirilen GARCH (p,q) modeli aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$\varepsilon_t | \psi_{t-1} \sim N(0, h_t), \quad (3.22)$$

$$h_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{i=1}^p \beta_i h_{t-i} \quad (3.23)$$

$$h_t = \alpha_0 + A(L)\varepsilon_t^2 + B(L)h_t$$

$$\varepsilon_t = y_t - x_t\beta \quad (3.24)$$

Yukarıdaki denklemde sabit terim  $\alpha_0$ , ARCH katsayısı  $\alpha_i$  ve GARCH katsayısı  $\beta_i$  dir. 3.23 numaralı denklemde  $\sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2$  ifadesi ARCH modelini yansıtırken,  $\sum_{i=1}^p \beta_i h_{t-i}$  ifadesinin eklenmesiyle birlikte süreç GARCH modelini yansıtmaktadır. Dolayısıyla GARCH modelinde koşullu varyans  $h_t$ 'nin hem hata terimlerinin geçmiş dönem değerlerine hem de kendi geçmiş dönem değerlerine bağlı olduğu gözlenmektedir. GARCH (p,q) modelinde p, modelin otoregresif kısmının gecikme uzunluğunu, q ise gecikmeli hata terimlerinin karelerinin uzunluğunu ifade etmektedir. Eğer p=0 olursa süreç ARCH modeline dönüşecektir ve p=q=0 olması durumunda da  $\varepsilon_t$  beyaz gürültü sürecini izlemektedir (Bollerslev, 1986: 309). GARCH modelinin temel bir özelliği koşullu varyansın bir ARMA modeline sahip olmasıdır. 3.23 numaralı denklemde bağımlı değişken  $y_t$ ,  $x_t$  bağımsız değişken vektörünü ve  $\beta$  bilinmeyen parametre vektörünü temsil etmektedir.  $\varepsilon_t$ 'nin koşullu ve koşulsuz ortalamaları ve beklenen değeri 0, koşullu varyansı ise  $h_t$  dir. Dolayısıyla  $\varepsilon_t$ 'nin koşullu varyansı 3.23 numaralı denklemde belirtilen  $h_t$  ile ifade edilen bir ARMA sürecidir (Enders, 2015:129).

GARCH modelinde koşullu varyansın anlamlı olabilmesi için bazı kısıtlar vardır. Bunlar:

$$\begin{aligned}
& p \geq 0, & q > 0 \\
& \alpha_0 > 0, & \alpha_i \geq 0 \quad i=1,2,\dots,q, \\
& \beta_i \geq 0, & i=1,2,\dots,p \text{ şeklindedir.}
\end{aligned}$$

3.23 numaralı denklemde belirtilen ARCH parametre değeri  $\alpha$ , piyasada oluşan şokların mevcut volatilité üzerindeki etkisini göstermekte olup kısa dönem etkileri yansıtmaktadır. GARCH parametre değeri  $\beta$  ise finansal getiri serisinde meydana gelen bir şokun finansal getirinin oynaklığı üzerindeki etkisini göstermektedir ve uzun dönem etkileri yansıtmaktadır. ARCH katsayısı GARCH katsayısından küçük (yani  $\alpha < \beta$ ) ise uzun dönem etkilerin kısa dönem etkilerinden daha baskın olduğunu, ARCH katsayısı GARCH katsayısından büyük (yani  $\alpha > \beta$ ) ise kısa dönem etkilerin uzun dönem etkilerinden daha baskın olduğunu göstermektedir (Omay, 2008:94).

GARCH modelinde parametrelerin anlamlı olmasının yanı sıra koşullu varyansın durağanlık koşulunun da sağlanması gerekmektedir. Yani;

$$h_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{i=1}^p \beta_i h_{t-i} \quad (3.25)$$

3.25 numaralı denklemdeki koşul ( $\alpha + \beta < 1$ ) sağlanırsa modelin durağan olduğu söylenmektedir (Bollerslev, 1986:311).  $\alpha + \beta$  ifadesi finansal getiri serilerinin geçmiş dönem volatilitélerinin, cari dönem volatilitesi üzerindeki etkisini ifade etmektedir.  $\alpha + \beta$  değeri çoğunlukla 1'e yakındır dolayısıyla bu durum şokların finansal varlık getirilerindeki volatilitéye etkisinin daha fazla olduğunu göstermektedir (Bollerslev, 1986:311 ve Gazda ve Vyrost, 2003: 18).

ARCH modelinde tahmin edilen modelde ARCH etkisinin varlığı sınıandığı gibi GARCH modelinde de tahmin edilen modelin anlamlılığını ölçmek için ARCH LM ve otokorelasyon testleri yapılmaktadır. ARCH-LM testi sonucunda ARCH etkisi giderilmediyse farklı gecikme uzunluklarıyla yeni GARCH modeli tahmin edilmesi gerekmektedir.

Lamoureux ve Lastrapé (1990) çalışmasında, ARCH ve GARCH modelleri volatilitenin koşullu olmasından dolayı volatilitéyi olduğundan fazla göstermesi durumunda öngörü performansının düştüğünü, dolayısıyla da tahmin edilen modelin yetersiz kaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca Hamilton ve Susmel (1994)'e göre bu modellerin en önemli eksikliklerinden biri de piyasalarda asimetric etkilerin ortaya çıkması durumuyla örtüşmemeleridir. Bunlara ek olarak Franses ve Dijk, (2000) çalışmasında ARCH-GARCH modellerinin en büyük eksikliğini, varyansın sabit etki varsayımına sahip olmasına dayandırmışlardır. GARCH modelinde hata terimlerinin kareleri denkleme ilave edildiğinden hata terimleri ve şokların işaretleri oynaklık

üzerinde aynı etkiye sahiptir. Yani pozitif ve negatif şokların varyansa ve oynaklığa etkisi aynıdır. Ancak finansal zaman serilerinde genel olarak negatif şokların, volatilitiyi pozitif şoklara oranla daha fazla artırdığı gözlenmektedir. Finansal varlıklara ait zaman serilerinin koşullu varyansının tepkisi geçmiş dönem getiriye göre asimetric yapıdadır (Franses ve Dijk, 2000:135-136).

Finansal varlıklardaki asimetric etki ilk kez Black (1976) çalışmasında kaldıraç etkisi olarak tanımlanmaktadır. Black (1976), ekonomide kriz dönemlerinde, hisse senedi getirilerinde düşüşler olacağını ve bundan dolayı şirketlerin faaliyetlerine devam edebilmesi için daha fazla borçlanmak zorunda kalacaklarına ve şirketlerin kaldıraç oranlarının artacağına değinmiştir. Bunun sonucu olarak ise hisse senetlerinin daha riskli olacağını belirtmiştir. Francq ve Zakoian (2019) ise, finansal varlık getirilerinde olumsuz haberlerin volatilité üzerinde olumlu haberlere oranla daha belirgin bir etki meydana getirdiğini, hisse senedi getirileri ile gelecekteki volatiliteleri arasında güçlü bir negatif korelasyon olduğunu belirtmişlerdir. Hisse senedi getirilerinde meydana gelen negatif bir şok firmanın borcuna oranla özkaynak değerini yükseltmektedir yani firmanın kaldıraç oranı artmaktadır. Dolayısıyla firmanın kaldıraç oranı arttıkça hisselerini elinde bulundurmanın riski de artmaktadır. Yazarlar çalışmalarında volatilitédeki bu eğilimi kaldıraç etkisi olarak tanımlamakta ve getiriler azaldığında volatilitéde artışı, getiriler arttığında ise volatilitédeki düşüşü kaldıraç etkisi olarak nitelendirmişlerdir.

ARCH-GARCH modellerinin bu eksiklikleri karşısında koşullu volatilitiyi tahmin etmeye yönelik GARCH modelinin uzantısı olan yeni modeller geliştirilmiştir. Bu modeller asimetriyi test etmek amacıyla asimetric koşullu volatilité modelleridir. Literatürde asimetriyi modele katmak için kaldıraç etkisini içeren modeller geliştirilmiştir. Bu modeller, Nelson (1991) tarafından geliştirilen EGARCH modeli, Glosten vd., (1993) tarafından geliştirilen GJR GARCH modeli ve Zakoian (1994) tarafından geliştirilen TGARCH modelidir. Çalışmada yapılan tahmin sonuçları, analizde kurulan modeller için en uygun asimetric koşullu volatilité modelinin GJR-GARCH olduğunu göstermektedir. Elde edilen bu tahmin sonucuna göre olumlu - olumsuz haberlerin volatilité üzerindeki etkisi GJR GARCH modeli ile araştırılmıştır. Dolayısıyla çalışmanın bu kısmında GJR GARCH modeli anlatılmaktadır.

### 3.3.1.3. Glosthen-Jagannathan-Runkle Otoregresif Koşullu Değişen Varyans (GJR GARCH) Modeli

Literatürde, eşik değerli genelleştirilmiş otoregresif koşullu varyans modeli olarak TGARCH ve GJR GARCH olmak üzere iki yöntem bulunmaktadır. TGARCH ve GJR GARCH birbirine benzer nitelikte olup GJR GARCH koşullu varyansı modellerken TGARCH koşullu standart sapmayı modellemektedir. Dolayısıyla bu özelliği ile GJR GARCH, TGARCH modelinden farklıdır (Zakoian, 1994:933).

Glosthen-Jagannathan-Runkle (1993) tarafından geliştirilen bu model, pozitif ve negatif şokların volatilité üzerindeki asimetrik etkilerini test etmek için alternatif bir yöntem sunmaktadır. GJR-GARCH modeli, GARCH modeline kaldıraç etkisini belirleyen parametreyi ekleyerek asimetrik volatilitéyi test etmektedir. Bu çerçevede GJR-GARCH(p,q) modelinin koşullu varyans denklemi aşağıda gösterildiği gibidir.

$$\sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{i=1}^q \gamma_i I_{i,t-i} \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^p \beta_j \sigma_{t-j}^2 \quad (3.26)$$

Koşullu varyans denklemi için Franses ve Dijk (2000) çalışmasında GJR GARCH (1,1) modelini farklı şekilde göstermiştir. Bu gösterim;

$$h_t = \omega + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 (1 - I[\varepsilon_{t-1} > 0]) + \gamma_1 \varepsilon_{t-1}^2 I[\varepsilon_{t-1} > 0] + \beta_1 h_{t-1} \quad (3.27)$$

şeklindedir.

3.26 numaralı denklemdeki  $I_{t-i}$  0 ile 1 değerini alan kukla değişken olup;

$$I_{t-i} = \begin{cases} 1 & \varepsilon_{t-i} < 0 \text{ Negatif Şok} \\ 0 & \varepsilon_{t-i} \geq 0 \text{ Pozitif Şok} \end{cases} \quad (3.28)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

3.26 numaralı denklemde gösterilen koşullu varyans denkleminde hata terimleri incelendiğinde,  $\varepsilon_{t-i} < 0$  durumu  $i$  dönem önceki negatif haberlerin,  $\varepsilon_{t-i} \geq 0$  durumu ise  $i$  dönem önceki pozitif haberlerin göstergesidir. GJR-GARCH modelinde pozitif ve negatif haberlerin koşullu varyans denklemi üzerinde asimetrik etkisi farklıdır. Bu modelde koşullu varyansın pozitif olma kısıtları vardır. Bunlar:

- $\omega > 0$
- $\alpha_i > 0$
- $\beta_j \geq 0$
- $(\alpha_i + \gamma_i) \geq 0$
- $\gamma \neq 0$  ve  $\gamma > 0$

şeklindedir.

3.29 numarada gösterilen kısıtlardan  $\alpha_i$ , koşullu varyans üzerindeki pozitif şokların etkisini ve  $(\alpha_i + \gamma_i)$ , koşullu varyans üzerindeki negatif şokların etkisini ifade

etmektedir. Modelde  $\gamma \neq 0$ , ise asimetric etkinin oduğunu ve  $\gamma > 0$  olması durumu kaldıraç etkisinin olduğunu yani negatif şokların volatilité üzerinde etkisinin pozitif şoklardan daha fazla olduğunu göstermektedir.

Sürecin kovaryans durağan koşulu ise;

$$\sum_{i=1}^q \left( \alpha_i + \frac{1}{2} \gamma_i \right) + \sum_{j=1}^p \beta_j < 1 \quad (3.30)$$

şeklinde ifade edilmektedir (Glosten vd.,1993, Franses ve Dijk 2000, Nugroho, vd., 2019, Wang ve Wu 2012).

### 3.3.1.4. Sabit Koşullu Korelasyon (CCC GARCH)

ARCH-GARCH tipi modeller tek değişkenli modellerdir. Bu modeller tek değişkenli finansal varlıkların volatilité hareketlerini incelemektedir. Bir diğér ifadeyle ARCH GARCH tipi modelleri tek değişkenli olup otoregresif koşullu değişen varyans modellerini tahmin etmektedir. Ancak Francq ve Zakoian, (2019)'a göre zamansal veya eşzamanlı bağımlılık gösteren birden fazla finansal varlık serisi olduğunda, bunları çok değişkenli sürecin bileşenleri olarak birlikte analiz etmek daha etkili sonuçlar verecektir. Bu çerçevede tek değişkenli model olan ARCH-GARCH yapısı, farklı finansal varlıklar arasındaki koşullu varyans ve kovaryans arasındaki zaman bağımlılığını dikkate alamadığından model yetersiz kalmaktadır. Franses ve Dijk (2000b), şokların haber olarak yorumlanması ve belirli haber öğelerinin aynı anda çeşitli varlıkları etkilediği gerçeği dikkate alındığında, farklı finansal varlıkların volatilitésinin zaman içinde birlikte hareket ettiğini belirtmişlerdir. Dolayısıyla, var olan bağlantılardan faydalanmak için birden fazla finansal zaman serisinin volatilitésini birlikte tanımlamak için çok değişkenli modellerin tercih edilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Çok değişkenli modeller için alternatif bir motivasyon, finansal ekonominin önemli bir konusunun çeşitli varlıklardan portföylerin oluşturulmasıdır. Varlıklar arasındaki kovaryanslar, karar probleminde önemli rol oynamaktadır. Bu koşullu kovaryansların zamanla değişen davranışlarını modellemek için çok değişkenli GARCH modelleri kullanılabilir (Franses ve Dijk, 2000b:200). Bunnag (2015) ise bir portföydeki petrolün gelecekteki getirilerinin hareketindeki bağımlılığı tahmin etmenin önemli olduğunu ve bu durumu çok değişkenli modeller aracılığıyla test etmenin, tek değişkenli modellerin tahmin sonuçlarına göre daha güvenilir olduğunu belirtmiştir. Dolayısıyla bu bilgiler çerçevesinde birden fazla finansal varlıkları modelleyebilmek için çok değişkenli otoregresif koşullu değişen varyans (Multivariate GARCH) modelleri geliştirilmiştir. Bunlara ek olarak Hepsağ ve Akçalı (2016), ARCH-GARCH

modellerinin birden fazla finansal varlığın volatilitésinin modellenmesinde yetersiz kaldığını, özellikle birçok ülkenin finansal piyasalarının birbiriyle ilişkili olmasının finansal piyasalarda işlem göre varlıkların da birbirleriyle ilişki içerisinde olmasını sağladığını belirtmektedir. Dolayısıyla finansal piyasalardaki bu özelliklerin varlığında çok değişkenli modellemelerin daha geçerli ampirik sonuçlar ortaya koyduğu gözlenmektedir. Bundan dolayı çok değişkenli GARCH modelleri, portföy seçimi, risk yönetimi, varlık fiyatlama ve opsiyon fiyatlama gibi çeşitli alanlarda daha rasyonel kararların alınmasında etkin bir araç olarak kullanılmaktadır (Hepsağ ve Akçalı, 2016:57).

İlk olarak, çok değişkenli GARCH modelinin hangi özelliğinin uygulanması gerektiği belirlenmelidir. Çok değişkenli GARCH modelleri hem koşullu varyansların ve kovaryansların dinamiklerini ifade edecek kadar esnek olmalıdır hem de çok değişkenli GARCH modelinde parametre sayısı modelin boyutuyla birlikte hızlı şekilde arttığından, model tahminini basitleştirmek ve parametrelerin kolay yorumlanabilmesi için tanımlama tutumlu olmalıdır. Ancak tutumluluk parametre sayısını azaltabilir ve dolayısıyla kovaryans matrisindeki ilgili dinamikler yakalanamayabilir. Bundan dolayı, çok değişkenli GARCH modeli tanımlanırken tutumluluk ve esneklik arasında denge sağlanması gerekmektedir. Bunlara ek olarak çok değişkenli GARCH modellerinin sağlaması gereken bir diğer özellik ise kovaryans matrisinin pozitif tanımlı olması gerektiğidir (Bunnag, 2015:107).

Çok değişkenli GARCH modellerinden Vektör Hata Düzeltme Otoregresif Koşullu Varyans (VECH GARCH) modeli ilk kez Bollerslev vd.(1988) tarafından geliştirilmiştir. VECH parametrizasyonu olarak tanımlanan bu model ile çok değişkenli finansal varlıklar arası koşullu kovaryans matrisinin modellenmesi amaçlanmıştır. VECH GARCH modelinde tahmin edilen parametre sayısının fazla olması modelin uygulanmasını zorlaştırmaktadır. Bu çerçevede yazarlar aynı çalışmasında, hesaplanan parametre sayısını azaltarak VECH GARCH modelini basitleştirerek yeni bir model geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu model Diagonal VECH (Köşegen GARCH) modeli olarak adlandırılmaktadır. Diagonal VECH modelinin, koşullu varyans matrisinin pozitif tanımlı olması koşulunu her zaman karşılayamaması gibi yetersiz olduğu durumlar bulunmaktadır. Bundan dolayı bu sorunu düzeltebilmek amacıyla, Engle ve Kroner (1995) tarafından BEKK GARCH modeli geliştirilmiştir. Bu model ile koşullu varyans matrisinin pozitif tanımlı olma koşulu garantilenmiştir. Ayrıca BEKK GARCH modelinin farklı finansal varlık getirileri ve volatiliteler arasındaki ilişkiyi açıklamada



daha etkili bir yöntem olduğu tespit edilmiştir. VECH GARCH, Diagonal VECH GARCH ve BEKK GARCH modelleri sadece koşullu varyansları dikkate almaktadır. Bunlara ek olarak koşullu varyansların yanı sıra koşullu korelasyonları da dikkate alan çok değişkenli GARCH modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerin başında Bollerslev (1990) tarafından geliştirilen sabit koşullu korelasyon (CCC GARCH) modeli yer almaktadır. CCC GARCH modeli koşullu korelasyon katsayılarının sabit olduğunu ifade etmektedir. Böylece bu modelde tahmin edilen parametre sayısı azalış göstererek tahmin aşamasının kolaylaştırılması amaçlanmaktadır. Koşullu varyanslarla birlikte koşullu korelasyonların da dikkate alındığı bir diğer çok değişkenli GARCH modeli ise dinamik koşullu korelasyon (DCC GARCH) modelidir. Bu model Tse ve Tsui (2000) ile Engle ve Sheppard (2001) tarafından geliştirilmiştir (Sattary, 2014:30 ve Yıldırım, 2022:78). DCC-GARCH modeli koşullu korelasyonların sabit olmadığını zamana bağlı olarak değişebileceğini öngörmektedir. Tse ve Tsui (2000) tarafında önerilen DCC-GARCH modeli, koşullu varyans matrisini tanımlarken Engle ve Sheppard (2001) DCC-GARCH modelini, koşullu korelasyonlar matrisini izleyerek tanımlamaktadır. Daha sonrasında Aielli (2013), DCC-GARCH modelinin büyük sistem tahmincilerinin tutarsız olabileceğini dolayısıyla DCC-GARCH modelinin korelasyon parametrelerinin geleneksel yorumunun yanıltıcı sonuçlar verebileceği düşüncesiyle cDCC GARCH modelini geliştirmiştir. cDCC GARCH modeli “Corrected Dynamic Conditional Correlation” olarak tanımlanmaktadır. cDCC model DCC modele göre daha az sayıda ek hesaplama içermektedir (Aielli, 2013:282-283).

Çok değişkenli GARCH modeli genel olarak aşağıdaki denklemdeki gibi gösterilmektedir (Özdemir, 2020:38 ve Fransen ve Dijk, 2000b:200):

$$y_t = \mu + \varepsilon_t \quad (3.31)$$

$$\varepsilon_t | \psi_{t-1} \sim N(0, \mathbf{H}_t) \quad (3.32)$$

$$\varepsilon_t = z_t \mathbf{H}^{1/2} \quad (3.33)$$

Denklem (3.31), (3.32) ve (3.33) ‘de;

$y_t$  : Nx1 boyutlu bağımlı değişken vektörü

$\mu$  : Nx1 boyutlu ortalama denklem vektörü

$\varepsilon_t$  : Nx1 boyutlu hata terimi vektörü

$\mathbf{H}_t$  : NxN boyutlu pozitif tanımlı koşullu kovaryans matrisini

$\psi_{t-1}$  : t-1 dönemindeki tüm bilgi kümesini

$z_t$  :  $E(z_t) = 0$  ve  $\text{Var}(z_t) = I_N$  olan Nx1 boyutlu bağımsız ve özdeş dağılan standartlaştırılmış rassal değişken vektörünü temsil etmektedir.

Denklem 3.33 ve  $z_t$  'nin bu özelliklerinden  $E[\varepsilon_t|\Omega_{t-1}]=0$  ve  $E[\varepsilon_t\varepsilon_t'|\Omega_{t-1}]=\mathbf{H}_t$  olduğu sonucu çıkmaktadır. Modeli tamamlamak için koşullu kovaryans matrisi  $H_t$  için bir parametrelendirmenin belirtilmesi gerekmektedir. Tek değişkenli GARCH modellerinde olduğu gibi çok değişkenli GARCH modelleri de  $H_t$ 'nin,  $\varepsilon_{t-1}$ ,  $i=1,2,\dots,q$  gecikmeli şoklara ve  $\mathbf{H}_{t-i}$ ,  $i=1,2,\dots,p$  gecikmeli koşullu kovaryans matrislerine bağlı olmasına izin vermektedir. Denklemde yer alan ortalama denklemler vektörü  $\mu$  sabit değerler alabileceği gibi ARMA ve VARMA süreçlerini de takip edebilir.

Bollerslev (1990) tarafından geliştirilen CCC GARCH modeli koşullu varyansla birlikte koşullu korelasyon matrisini de tahmin etmektedir. Model, daha az parametre ile koşullu varyans-kovaryans matrisinin modellenemediği, koşullu korelasyonların zamanla değişmediği yani sabit olduğu varsayımlarını içermektedir. Yani CCC GARCH modelinde koşullu varyanslar değişirken koşullu korelasyon sabit olmaktadır.

$y_t$ ,  $N \times 1$  boyutunda zaman serisi vektörü ise CCC GARCH modeli aşağıdaki gibi türetilmektedir.

$$y_t = E(y_t | \psi_{t-1}) + \varepsilon_t \quad (3.34)$$

$$\text{Var}(\varepsilon_t | \psi_{t-1}) = H_t \quad (3.35)$$

Denklem 3.34 ve 3.35'de  $\psi_{t-1}$ ,  $t-1$  dönemindeki tüm bilgiler tarafından üretilen  $\sigma$  alanıdır ve  $H_t$ , tüm  $t$  dönemleri için pozitif tanımlıdır. Denklem 3.34'deki formülasyonun hem koşullu hem de koşulsuz değişen varyanslılığına izin verilmektedir.  $h_{ijt}$ ,  $H_t$  matrisinin  $ij$ 'inci elemanını,  $\varepsilon_{it}$  ve  $y_{it}$  sırasıyla  $\varepsilon_t$  ve  $y_t$  'nin  $i$ 'inci elemanını göstermektedir.  $t-1$  döneminde  $y_{it}$  ve  $y_{jt}$  tutarlılığın sabit ölçüsü koşullu korelasyonu aşağıdaki denklem tarafından verilmektedir.

$$\rho_{ijt} = \frac{h_{ijt}}{\sqrt{h_{iit}h_{jtt}}} \quad (3.36)$$

3.36 numaralı denklemde tüm  $t$ 'ler için koşullu kovaryans  $-1 \leq \rho_{ijt} \leq 1$  aralığındadır. Genel olarak bu tutarlılık ölçüsü  $H_t$ 'de olduğu gibi zamanla değişecektir. Bununla birlikte bazı uygulamalarda, zamanla değişen koşullu kovaryanslar, karşılık gelen iki koşullu varyansın çarpımının kareköküyle orantılı olarak alınabilir ve koşullu korelasyonlar zaman içinde sabit kalır.

$$h_{ijt} = \rho_{ijt} \sqrt{h_{iit}h_{jtt}}, j=1,2,\dots,N, \quad i=j+1,\dots,N \quad (3.37)$$

Sabit koşullu korelasyon modelinin ilginç bir özelliği, koşullu kovaryansların tahmin sürecinin basitleştirilmesi ve çıkarımlarının kolaylaştırılmasıdır. Bu çerçevede koşullu kovaryansları yeniden aşağıda gösterildiği gibi yazabiliriz:

$$h_{iit} \equiv \omega_i \sigma_{i,t}^2, \quad i=1,2,\dots,N \quad (3.38)$$

Denklem 3.38’de tüm t’ler için  $\sigma_{i,t}^2 > 0$  ve  $\omega_i$  zamanla değişim göstermeyen pozitif katsayıdır. Denklem 3.37 ve 3.38’i dikkate alarak koşullu kovaryans matrisi  $H_t$ ,  $H_t = D_t \Gamma D_t$  (3.39) olarak yazılabilmektedir. Burada  $D_t$ ,  $\sigma_{1t}, \dots, \sigma_{Nt}$  elemanlarından oluşan  $N \times N$  boyutunda stokastik diagonal matrisi,  $\Gamma$  ise  $\rho_{ij} \sqrt{\omega_i \omega_j}$  elemanlarından oluşan  $N \times N$  boyutundaki matrisi ifade etmektedir.

CCC GARCH modelinde her bir finansal varlık getirisine ait koşullu varyans  $h_{it}$ ,  $i=1,2,\dots,m$  tek değişkenli GARCH modelini takip etmektedir. Bu modeller aşağıda gösterildiği gibi tanımlanmaktadır:

$$h_{i,t} = \omega_i + \sum_{j=1}^q \alpha_{ij} \varepsilon_{i,t-j}^2 + \sum_{j=1}^p \beta_{ij} h_{i,t-j} \quad (3.40)$$

Denklem 3.40’da  $\alpha_{ij}$ , ARCH etkisini ya da i getirisi üzerindeki bir şokun kalıcılığını temsil etmektedir.  $\beta_{ij}$  ise GARCH etkisini ve  $\sum_{j=1}^q \alpha_{ij} + \sum_{j=1}^p \beta_{ij}$  uzun dönem kalıcılığını göstermektedir (Bunnag, 2015:18).

CCC GARCH modelinde parametreler log likelihood yöntemi ile tahmin edilmektedir. Koşullu normallik varsayımı altında, denklem 3.31’deki genel değişen varyans modeli için log likelihood fonksiyonu, başlangıç koşullarından bağımsız olarak aşağıdaki gibi gösterilmektedir (Bollerslev, 1990:500):

$$\ln(L) = -\frac{TN}{2} \ln(2\pi) - \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T (\ln |H_t| + \varepsilon_t' H_t^{-1} \varepsilon_t) \quad (3.41)$$

Denklem 41’de  $L$ ,  $\varepsilon_t$  ve  $H_t$ ’deki tüm bilinmeyen parametreleri göstermektedir. Denklemde log likelihood fonksiyonunun değerlendirilmesinde, her bir t dönemleri için  $N \times N$  boyutlu  $H_t$  matrisinin tersini gerektirdiğinden,  $\ln(L)$ ’nin yinelemeli yöntemlerle maksimizasyonu, orta büyüklükteki T ve N için bile oldukça zorlaşmaktadır. Denklem 3.36’deki kovaryansların hesaplanmasında korelasyonların zaman içinde sabit olması varsayımı bu karmaşıklığı önemli ölçüde azaltmıştır. Bu varsayım sayesinde  $\ln(L)$  hesaplamaları kolaylaşmaktadır:

$$\begin{aligned} \ln(L) &= -\frac{TN}{2} \ln(2\pi) - \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \ln |D_t \Gamma D_t| - \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \varepsilon_t' (D_t \Gamma D_t)^{-1} \varepsilon_t \\ &= -\frac{TN}{2} \ln(2\pi) - \frac{T}{2} \ln |\Gamma| - \sum_{t=1}^T \ln |D_t| - \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \tilde{\varepsilon}_t' \Gamma^{-1} \tilde{\varepsilon}_t \end{aligned} \quad (3.42)$$

Burada  $\tilde{\varepsilon}_t = D_t^{-1} \varepsilon_t$ ,  $N \times 1$  boyutlu standartlaştırılmış hata terimlerinin vektörüdür. Üçüncü terim olan  $\varepsilon_t$ ’den  $\tilde{\varepsilon}_t$ ’ye dönüşümden kaynaklanan bir Jacobian terimi dışında, denklem 3.42’deki log likelihood fonksiyonu, zamanla değişmeyen  $\Gamma$  kovaryans matrisi ile koşullu normal  $\tilde{\varepsilon}_t$  için log likelihood fonksiyonuna eşdeğerdir. Ancak denklem 3.42’deki log likelihood fonksiyonu parametrelerde hala tam olarak doğrusal değildir ve

denklem 3.41'deki genel değişen varyanslı log likelihood fonksiyonunda olduğu gibi yinelemeli bir maksimizasyon tekniğine ihtiyaç vardır. Bunun yanı sıra, denklem 3.42, denklem 3.4 ile karşılaştırıldığında 3.42 numaralı denklemin değerlendirilmesi oldukça kolaydır ve dönüşümden sonra  $H_t$  matrisinin T kez tersini almak yerine sadece bir kez tersini almak yeterli olacaktır. Ayrıca  $\ln|D_t|$ ,  $\ln\sigma_1$ ,  $\ln\sigma_2$ , ...,  $\ln\sigma_{N,t}$  toplamına eşittir ve bu durum çözüm aşamasının kışalmasına katkıda bulunmaktadır (Bollerslev, 1990: 500).

Standartlaştırılmış hata terimleri vektörü  $\tilde{\varepsilon}_t$ ,  $\Gamma$ 'nın log likelihood tahmininden elde edilmektedir.

$$\hat{F} = \Gamma^{-1} \sum_t \tilde{\varepsilon}_t \tilde{\varepsilon}_t' \quad (3.43)$$

Her bir koşullu kovaryansların log likelihood tahminleri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\hat{\rho}_{ij} = \sum_t \tilde{\varepsilon}_{it} \tilde{\varepsilon}_{jt} (\sum_t \tilde{\varepsilon}_{jt}^2)^{-1/2} (\sum_t \tilde{\varepsilon}_{it}^2)^{-1/2} \quad (3.44)$$

$\Gamma$  simetrik bir matristir ve hesaplanan parametre sayısı  $\frac{1}{2N(N+1)}$  'e eşit olmaktadır.  $\frac{1}{2N(N+1)}$  parametrelerini  $\hat{F}$  log likelihood fonksiyonunda yerine konulduğunda aşağıdaki denklem elde edilmektedir.

$$\ln(L) = -\frac{TN}{2} [1 + \ln(2\pi) - \ln T] - \sum_{t=1}^T \ln |D_t| - \frac{T}{2} \ln \left| \sum_{t=1}^T \tilde{\varepsilon}_t \tilde{\varepsilon}_t' \right| \quad (3.45)$$

Ancak, bilgi matrisi  $D_t$  ve  $\Gamma$  'nın parametreleri arasında blok köşegen olmadığından standart log likelihood teknikleri ile asimptotik kovaryans matrisinin bir tahminini elde edebilmek için denklem 3.45'in türevleri yerine denklem 3.42'nin türevlerinin alınması gerekmektedir (Bollerslev, 1990:500).

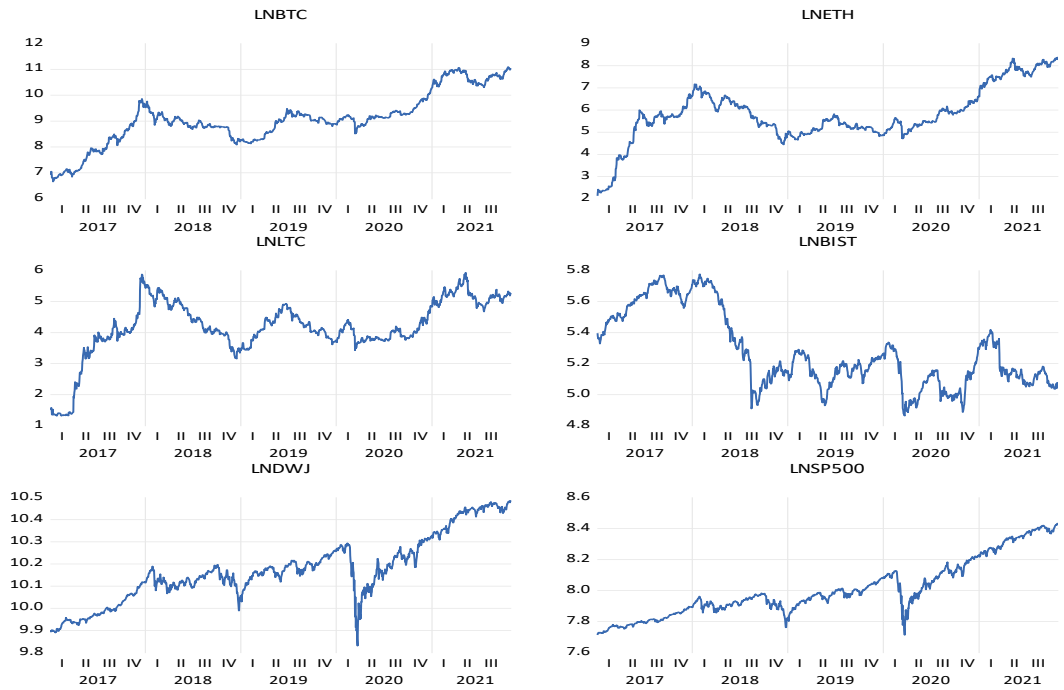
### 3.3.2. Veri Seti ve Ampirik Bulgular

Kripto paraların, finansal piyasalar için portföy çeşitlendirici, hedge veya güvenli liman olarak hareket etme eğiliminde olup olmadığının araştırıldığı bu çalışmada, kripto para ve çeşitli finansal varlık getirileri ile belirsizlikleri arasındaki volatilité ilişkisi incelenmektedir. Çalışmada bu bağlamda çok değişkenli GARCH modeli kullanılmıştır. Çok değişkenli VAR-GARCH modeli ilk kez Ling ve McAleer (2003) tarafından geliştirilmiş ve geleneksel çok değişkenli GARCH modellerine göre önemli avantajlara sahip olduğu belirtilmiştir. VAR-GARCH modelinde hesaplama ve tahminlerde daha az karmaşıklıklar yaşandığından bu model, farklı finansal seriler arasında karşılıklı koşullu etkileri ve volatilité geçişkenliğini açıklamada daha esnek bir süreç izlemektedir (Chang vd., 2011:1448-1449). Bu çerçevede çalışmada VAR-CCC GJR GARCH modeli kullanılmıştır. Ardından kripto para ile çeşitli finansal varlık

getirileri arasındaki oynaklıkların birbirini etkileyip etkilemediğini test etmek amacıyla Granger Nedensellik analizi yapılmıştır. 02/01/2017-29/10/2021 dönemleri arasında kapsayan çalışmada beş günlük veriler kullanılmaktadır. Kripto para olarak piyasa değeri açısından önemli olan Bitcoin, Ethereum ve Litecoin değişkenleri ile finansal varlık değişkenleri olarak Bist100, Dow Jones ve S&P500 kullanılmaktadır. Çalışmada incelenen finansal varlık değişkenlerinden S&P500, Standart&Poor's tarafından yapılmakta ve ABD'nin 500 büyük firmasını kapsamaktadır. Amerikan hisse senedi piyasasının yaklaşık %75'ini kapsadığı için bu çalışmaya dahil edilmiştir. Dow Jones endüstri endeksi, ABD'nin en önemli hisse senedi endekslerinden biridir. New York Menkul Kıymetler Borsası ve Nasdaq Borsası üzerinde işlem göre 30 büyük şirketin finansal performanslarını gösteren endekstir. Bist100 endeksi ise, Borsa İstanbul'da işlem gören piyasa ve işlem hacmi bakımından en yüksek 100 hisse senedinin performanslarını ölçmek için kullanılan temel göstergedir. Aynı zamanda Türk borsasının göstergesi olarak kabul edilir. Bist100 endeksi tüm büyük yatırımcılar tarafından dikkatle takip edilir. Çünkü borsanın düşme ve yükselme yorumları Bist100 endeksi dikkate alınarak yapılmaktadır. Ayrıca Türkiye, kripto para piyasalarına en çok yatırım yapan ülkelerden biridir. Bu bilgilere dayanarak çalışmada detayları verilen üç hisse senedi kullanılmıştır. Çalışmada Dow Jones ve S&P500 hisse senetleri dolar cinsinden incelenmiştir ancak Bist100, TL cinsinden analize dahil edilmiştir. İncelenen dönemler arasında dolar kuru çok yüksek olmadığından Bist100 endeksinin dolar ile arasında pek fark bulunmamaktadır. dolayısıyla analizde değişkenlerden birinin TL değerinin USD olması sonuçları pek fazla etkilememektedir. Çalışmada incelenen kripto para değişkenleri ise hem piyasa değeri açısından ilk sıralarda yer alan hem de ilk çıkan kripto para çeşidi olmaları açısından çalışmaya dahil edilmiştir. Analizde kullanılan tüm değişkenler logaritmik formda analize dahil edilmiştir. Çalışmada öncelikle her bir değişkenin getirileri  $R_t = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right)$  formülü ile hesaplanmıştır. Burada  $R_t$  herhangi bir t dönemindeki getiri değeri,  $P_t$  değişkenin t dönemindeki değeri ve  $P_{t-1}$  her bir değişkenin bir önceki dönem değerini ifade etmektedir. Değişkenlerin düzey ve getiri değerlerine ait istatistiksel bilgiler ve zaman içindeki değişim grafikleri sırasıyla Tablo 3.2 ve 3.3 ile Şekil 3.1 ve 3.2'de gösterilmektedir.

**Tablo 3.2: Değişkenlerin Düzey Değerlerine Ait İstatistik Bilgiler**

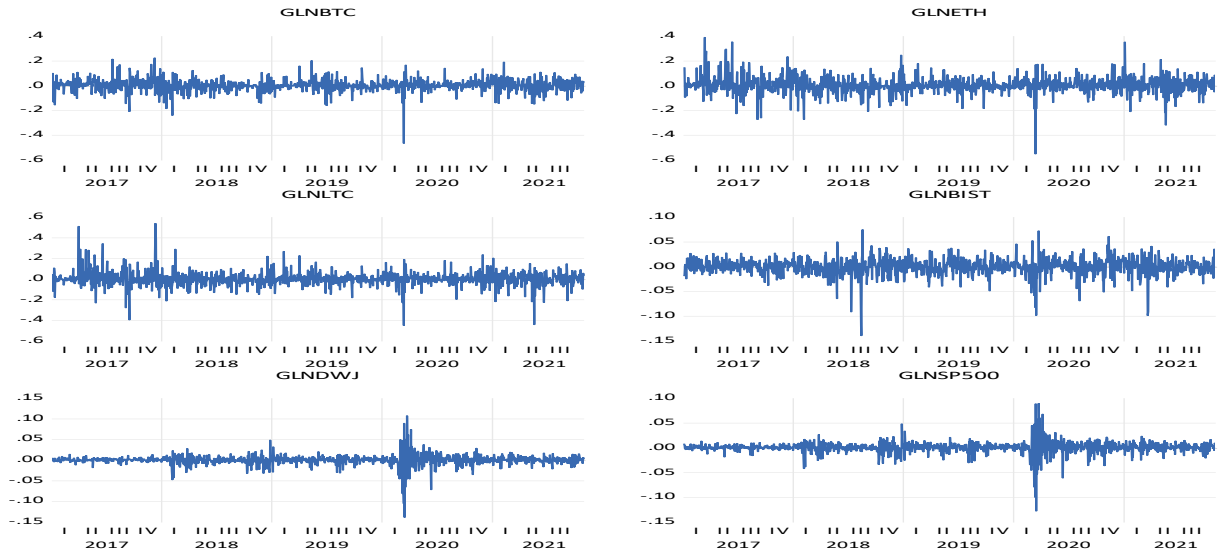
	BTC	ETH	LTC	BİST100	DWJ	S&P500
Mean	9.063595	5.795609	4.176648	5.278321	10.17386	8.009706
Median	9.028916	5.643976	4.116895	5.195728	10.16140	7.965000
Maximum	11.09730	8.392706	5.933276	5.776995	10.48625	8.434980
Minimum	6.656414	2.125670	1.312252	4.863603	9.830483	7.713070
Std.Dev.	0.998825	1.228996	0.920734	0.243661	0.149536	0.185465
Skewness	0.015427	-0.180977	-1.177867	0.588862	0.304320	0.700124
Kurtosis	2.975570	3.741667	5.197045	2.120527	2.559198	2.538266
Jarque-Bera	0.081314	35.75672	544.7656	113.4266	29.64938	114.1293
Probability	0.960159	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Sum	11420.13	7302.467	5262.577	6650.684	12819.06	10092.23
Sum Sq.Dev.	1256.042	1901.634	1067.319	74.74772	28.15233	43.30605
Observations	1260	1260	1260	1260	1260	1260

**Grafik 3.1: Değişkenlerin Zaman İçindeki Gelişimi**

**Tablo 3.3: Değişkenlerin Getiri Değerlerine Ait İstatistik Bilgiler**

	BTC	ETH	LTC	BİST100	DWJ	S&P500
Mean	0.003264	0.004978	0.002973	-0.000254	0.000472	0.000573
Median	0.002999	0.001738	0.000981	0.000000	0.000554	0.000702
Maximum	0.225119	0.391381	0.539843	0.074722	0.107643	0.089683
Minimum	-0.464730	-0.550732	-0.449062	-0.139177	-0.138418	-0.12765
Std.Dev.	0.049428	0.067544	0.071182	0.017201	0.012645	0.012056
Skewness	-0.708492	-0.092513	0.504899	-1.283684	-1.206513	-1.17423
Kurtosis	11.62759	10.43754	12.84249	11.65382	29.07651	25.93151
Jarque-Bera	4010.084	2903.634	5135.374	4274.300	35976.31	17874.75
Probability	0.00000	0.000000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Sum	4.109288	6.267036	3.743233	-0.319435	0.594703	0.721272
Sum Sq.Dev.	3.073404	5.739310	6.374209	0.372219	0.201151	0.182844
Observations	1259	1259	1259	1259	1259	1259

Bir serinin ARCH-GARCH tipi bir modelle modellenebilmesi için serinin çarpıklık (Skewness) değerinin negatif, basıklık (Kurtosis) değerinin 3'den büyük olması ve Jarque-Bera test istatistiğine göre normallik dağılımına uymaması gerekmektedir. Tablo 3.3'de getirisi hesaplanmış değişkenlerin istatistik değerlerine bakıldığında Litecoin dışında diğer tüm değişkenlerin çarpıklık (Skewness) değeri negatiftir. Basıklık (Kurtosis) değeri tüm değişkenlerde 3'den büyüktür ve Jarque-Bera istatistiği sonucuna göre tüm değişkenler normal dağılıma uymamaktadır. Litecoin değişkeninin sadece çarpıklık (Skewness) değeri sağa çarpık çıkmış olup basıklık (Kurtosis) değerine göre değişkenin sivri bir seri olduğu ve normal dağılmadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla litecoin için de ARCH-GARCH tipi modellemenin uygun olduğunu söylemek mümkündür.

**Grafik 3.2: Değişkenlerin Getiri Serilerinin Zaman İçindeki Gelişimi**

Getiri serileri sıfır ortalama etrafında dağılım göstermekte ve belirli dönemlerde yığınlar oluşturduğu gözlenmektedir. Bu yığınlar volatilité kümelenmesi olarak adlandırılmaktadır. Belirli dönemlerde oluşan bu yığınlar küçük değişimleri küçük,

büyük değişimleri ise büyük değişimlerin izlediğini ifade etmektedir. Şekil 3.2 incelendiğinde, 2017-2021 dönemleri arasında BTC, ETH ve LTC getirinde sürekli dalgalanmaların olmasının yanı sıra 2020 yılının ilk aylarında bu üç kripto para getirilerinde ciddi düşüşler yaşadığı gözlenmektedir. 2018 yılında piyasa değeri ile birlikte getirisinde de ani düşüşlerin olduğu bir diğer değişken Bist100 değişkenidir. Şekil 3.2’de 2017-2021 yılları arasında Bist100 getiri şekli incelendiğinde, S&P500 ve Dow Jones hisse senedi getiri şekillerine kıyasla Bist100 getirisinde daha fazla dalgalanmaların olduğu ve özellikle 2018 yılında keskin artış/azalışların olduğu gözlenmektedir. Bunun yanı sıra 2020 yılının ilk ayları itibariyle Dow Jones ve Sp&500 getiri değişkenleri ile birlikte tüm değişkenlerde keskin dalgalanmaların olduğu gözlenmektedir. Bunun nedeni olarak, 2019 yılının Aralık ayında Çin’in Wuhan kentinde başlayıp 2020 yılında tüm dünyayı etkisi altına alan Covid-19 salgınının, sağlık alanında krizin başlamasına ve beraberinde ekonomik krizi de tetiklemesine neden olması söylenebilir.

Çalışmada her bir finansal değişken ile kripto paralar arasında ayrı ayrı iki değişkenli model olmak üzere dokuz model kurulmuştur. Bu modeller (Model I,II,...,IX) şeklinde Tablo 3.4’de gösterildiği gibidir. Tüm modeller getiri değerleri hesaplanan değişkenler arasında kurulmuştur. Bundan dolayı tablo 3.4’de gösterilen modellerdeki değişkenler “g” ile ifade edilmektedir.

**Tablo 3.4: Çalışmada Kullanılan Modeller**

Model I: gbist=F(gbtc)
Model II: gbist =F(geht)
Model III: gbist =F(glte)
Model IV: gdwj=F(gbtc)
Model V: gdwj =F(geht)
Model VI: gdwj =F(glte)
Model VII: gsp500=F(gbtc)
Model VIII: gsp500=F(geht)
Model IX: gsp500=F(glte)

Finansal varlık ve kripto para getiri serilerine ait zaman içinde gelişim grafikleri, değişkenlerin durağan olduğu yani birim köke sahip olmadığını göstermektedir. Ancak durağanlık sınavasının istatistiksel olarak test edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada Genişletilmiş Dickey Fuller (ADF) ve PhillipsPerron (PP) birim kök testleri kullanılmıştır. Değişkenlerin durağanlık testlerine ilişkin sonuçlar tablo 3.5’de gösterilmektedir. Tablo 3.5’de belirtilen ADF ve PP birim kök testleri sonuçları kripto para ve finansal varlık getiri oranlarının düzey değerlerinde yani I(0) da birim kök içermediğini dolayısıyla düzeyde durağan olduğunu göstermektedir.



**Tablo 3.5: ADF ve PP Birim Kök Testleri**

Değişkenler	(sabit) Düzy Hali	(sabit ve trendli) Düzy Hali	(sabit) Düzy Hali	(sabit ve trendli) Düzy Hali
gbtc	-35.86434 (0.0000)*	-35.85061 (0.0000)*	-35.93415 (0.0000)*	-35.92116 (0.0000)*
geth	-35.22904 (0.0000)*	-35.22736 (0.0000)*	-35.41162 (0.0000)*	-35.40648 (0.0000)*
gltc	-34.39383 (0.0000)*	-34.41004 (0.0000)*	-34.43568 (0.0000)*	-34.44884(0.0000)*
gdwj	-10.70139 (0.0000)*	-10.69797 (0.0000)*	-43.17366 (0.0000)*	-43.15893 (0.0000)*
gs&p50	-10.41823 (0.0000)*	-10.43260 (0.0000)*	-44.02436 (0.0000)*	-44.02944 (0.0000)*
gbist	-19.78546 (0.0000)*	-19.78022 (0.0000)*	-29.36949 (0.0000)*	-29.35873 (0.0000)*
<b>Anlamlılık Düzy</b>	<b>Kritik Değerler</b>			
1%	-3.435336	-3.965357	-3.435336	-3.965357
5%	-2.863629	-3.413387	-2.863629	-3.413387
10%	-2.567932	-3.128729	-2.567932	-3.128729

Analizin ilk aşamasında her bir model için ayrı ayrı VAR modeli tahmin edilmekte ve akabinde modellerin gecikmeleri ve model seçim aşamaları tahmin edilerek analiz için en uygun model tercihi yapılmaktadır. Kurulan VAR modellerinde gecikme sayıları AIC, FPE, LR, HQ ile BIC ve uygun model seçimleri AIC, HQ ve BIC bilgi kriterlerine göre belirlenmektedir. VAR model denklemleri aşağıda gösterilmekte olup, dokuz model için belirlenen uygun gecikme uzunlukları ve otokorelasyon sonuçları da tablo 3.6'da gösterilmektedir.

Her bir finansal varlık getirileri ile kripto para getirileri arasında kurulan VAR modeli;

$$y_t = \omega_j + \sum_{i=1}^{n-1} \phi_{j,i} y_{t-i} + v_t \quad (3.46)$$

Burada  $y_t$ ,  $y_t = (y_t, x_t)'$  tarafından verilen  $2 \times 1$  boyutlu değişkenler vektörü,  $\omega_j$ ,  $j=1,2$  için  $2 \times 1$  boyutlu sabit terim vektörü,  $\phi_{j,i}$ ,  $j=1,2$ ,  $i=1,2,\dots,n$  için  $2 \times 2n$  boyutlu katsayılar matrisini ve  $v_t = (v_{1t}, v_{2t})'$ ,  $2 \times 1$  boyutlu hata terimleri vektörünü göstermektedir.

**Tablo 3.6: Optimal Gecikme Uzunluğu ve Otokorelasyon Test Sonuçları**

Test türü	Optimal Gecikme Uzunluğu	LM-Type Test For Autocorrelation		
		LM statistic	p-value:	Df
Model I	3	1.936782	0.7474	4
Model II	3	2.820340	0.5883	4
Model III	3	2.562935	0.6334	4
Model IV	9	3.288525	0.5108	4
Model V	9	4.628367	0.3276	4
Model VI	10	1.660983	0.7978	4
Model VII	9	6.029722	0.1969	4
Model VIII	9	2.144597	0.7092	4
Model IX	9	7.281046	0.1218	4

AIC, FPE, LR, HQ ve BIC bilgi kriterlerine göre dokuz ayrı model için belirlenen gecikme uzunlukları sonucuna göre tüm modellerde otokorelasyon sorunu olmadığı tespit edilmektedir.

Getiri serilerinde ARCH etkisinin varlığının ARCH-LM testi ile sınılanması bir ön koşuldur. Bu test değişen varyansın varlığı durumunda uygulanmaktadır. Eğer ARCH-LM testinin boş hipotezi reddedilirse modelde ARCH etkisinin olduğu tespit edilmektedir. Ayrıca getiri serilerinin artıklarına uygulanan Ljung-Box Q istatistiklerine de bakılarak otokorelasyon ve değişen varyans sorunu olup olmadığının test edilmesi gerekmektedir. Ljung-Box (Q) standartlaştırılmış hata terimlerinin otokorelasyon içerip içermediğini ve Ljung-Box ( $Q^2$ ) değişen varyans olup olmadığını test etmektedir. ARCH-LM ve Ljung-Box Q testleri sonucunda modelde, ARCH etkisi ve değişen varyans sorunu varsa GARCH modellerinin kurulmasına geçilebilmektedir. Tablo 3.7’de ARCH-LM testi ve Ljung-Box Q istatistik değerleri gösterilmektedir.

**Tablo 3.7: Getiri Serileri için ARCH-LM ve LJUNG-Box Q Testi**

	ARCH-LM (5)	Q(20)	Q(50)	Q <sup>2</sup> (20)	Q <sup>2</sup> (50)
<b>Model I</b>	37.7248 (0.0000)	23.093 (0.284)	55.076 (0.289)	213.79 (0.000)	276.86 (0.000)
<b>Model II</b>	35.7019 (0.0000)	22.885 (0.294)	55.301 (0.281)	212.98 (0.000)	27.55 (0.000)
<b>Model III</b>	35.0500 (0.0000)	24.322 (0.229)	56.969 (0.232)	211.52 (0.000)	274.22 (0.000)
<b>Model IV</b>	89.0290 (0.0000)	33.033 (0.033)	69.045 (0.038)	1669.6 (0.000)	1779.6 (0.000)
<b>Model V</b>	88.1546 (0.0000)	32.663 (0.037)	66.782 (0.056)	1652.4 (0.000)	1750.0 (0.000)
<b>Model VI</b>	88.2284 (0.0000)	25.944 (0.168)	60.148 (0.154)	1595.1 (0.000)	1687.6 (0.000)
<b>Model VII</b>	90.8311 (0.0000)	34.559 (0.023)	75.412 (0.012)	1633.5 (0.000)	1784.2 (0.000)
<b>Model VIII</b>	92.6382 (0.0000)	34.570 (0.023)	74.644 (0.014)	1652.6 (0.000)	1790.7 (0.000)
<b>Model IX</b>	86.8342 (0.0000)	30.802 (0.058)	68.995 (0.039)	1544.1 (0.000)	1679.5 (0.000)

Tablo 3.7 incelendiğinde, ARCH-LM (5) testi sonuçlarına göre tüm modellerde ARCH etkisinin olmadığını varsayan boş hipotez reddedilmektedir. Yani tüm modellerde ARCH etkisi olduğu tespit edilmiştir. Otokorelasyon sorunu olup olmadığını test eden Q istatistikleri sonuçlarına göre ise model (I,II,III ve VI)’da 20 ve 50 gecikmede otokorelasyon sorunu olmadığı, Model (IV, V, VII, VIII ve IX)’de %5 anlam düzeyinde 20 ve 50 gecikmede otokorelasyon olduğu gözlenmektedir. Modelde değişen varyans olup olmadığını gösteren  $Q^2$  istatistikleri sonuçlarına göre ise tüm gecikmelerde modellerde değişen varyans sorunu olduğu gözlenmektedir. Bu bilgiler çerçevesinde çalışmada yapılan testler sonucunda analizde kurulan dokuz modelde ARCH etkisi ve değişen varyans sorunu olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu durum çok değişkenli GARCH modellerinin kurulmasına imkan tanımaktadır.

Tablo 3.8’de elde edilen uygun gecikmeli VAR modelleri ile dokuz model için ayrı ayrı model seçim aşamaları tahmin edilmiş olup bu modellerin AIC, BIC ve HQ değerleri tablo 3.8 ve 3.9’da gösterilmektedir. Tablo 3.8, farklı GARCH modellerinin tahmin aşamalarına yer verirken tablo 3.9, çok değişkenli GARCH modellerinin seçim aşamalarını belirtmektedir.

**Tablo 3.8: Model Belirleme Kriterleri**

		AIC	BIC	Shibata	HQ
MODEL I	GARCH (1,1)	-5.561202	-5.532580	-5.561264	-5.550445
	<b>GJR GARCH (1,1)</b>	<b>-5.568526</b>	<b>-5.535815</b>	<b>-5.568607</b>	<b>-5.556232</b>
	EGARCH (1,1)	-5.494585	-5.457785	-5.494687	-5.480754
	IGARCH (1,1)	-5.554216	-5.529683	-5.554262	-5.544995
	FIGARCH (1,1)	-5.562329	-5.529617	-5.562409	-5.550034
MODEL II	GARCH (1,1)	-5.563891	-5.535268	-5.563953	-5.553133
	<b>GJR GARCH (1,1)</b>	<b>-5.571774</b>	<b>-5.539062</b>	<b>-5.571854</b>	<b>-5.559479</b>
	EGARCH (1,1)	-5.442719	-5.405919	-5.442821	-5.428888
	IGARCH (1,1)	-5.557426	-5.532892	-5.557471	-5.548205
	FIGARCH (1,1)	-5.564875	-5.532164	-5.564956	-5.552581
MODEL III	GARCH (1,1)	-5.562469	-5.533847	-5.562531	-5.551712
	<b>GJR GARCH (1,1)</b>	<b>-5.570256</b>	<b>-5.537544</b>	<b>-5.570336</b>	<b>-5.557961</b>
	EGARCH (1,1)	-5.438571	-5.401770	-5.438672	-5.424740
	IGARCH (1,1)	-5.555164	-5.530630	-5.555209	-5.545943
	FIGARCH (1,1)	-5.563266	-5.530554	-5.563346	-5.550971
MODEL IV	GARCH (1,1)	-6.738241	-6.709508	-6.738303	-6.727439
	<b>GJR GARCH (1,1)</b>	<b>-6.753169</b>	<b>-6.720331</b>	<b>-6.753250</b>	<b>-6.740824</b>
	EGARCH (1,1)	-6.608428	-6.571485	-6.608530	-6.594540
	IGARCH (1,1)	-6.739311	-6.714682	-6.739356	-6.730052
	FIGARCH (1,1)	-6.741311	-6.708473	-6.741392	-6.728966
MODEL V	GARCH (1,1)	-6.742600	-6.713867	-6.742663	-6.731799
	<b>GJR GARCH (1,1)</b>	<b>-6.756791</b>	<b>-6.723954</b>	<b>-6.756873</b>	<b>-6.744447</b>
	EGARCH (1,1)	-6.696228	-6.659285	-6.696330	-6.682340
	IGARCH (1,1)	-6.743676	-6.719048	-6.743722	-6.734418
	FIGARCH (1,1)	-6.745949	-6.713111	-6.746030	-6.733604
MODEL VI	GARCH (1,1)	-6.758391	-6.729639	-6.758453	-6.747582
	<b>GJR GARCH (1,1)</b>	<b>-6.775214</b>	<b>-6.742355</b>	<b>-6.775295</b>	<b>-6.762861</b>
	EGARCH (1,1)	-6.631948	-6.594982	-6.632051	-6.618051
	IGARCH (1,1)	-6.759749	-6.735105	-6.759795	-6.750484
	FIGARCH (1,1)	-6.762696	-6.729837	-6.762777	-6.750343
MODEL VII	GARCH (1,1)	-6.813057	-6.784324	-6.813120	-6.802256
	<b>GJR GARCH (1,1)</b>	<b>-6.825587</b>	<b>-6.792749</b>	<b>-6.825668</b>	<b>-6.813242</b>
	EGARCH (1,1)	-6.679403	-6.642460	-6.679506	-6.665515
	IGARCH (1,1)	-6.814324	-6.789695	-6.814370	-6.805065
	FIGARCH (1,1)	-6.816979	-6.784141	-6.817060	-6.804634
MODEL VIII	GARCH (1,1)	-6.818663	-6.789930	-6.818725	-6.807861
	<b>GJR GARCH (1,1)</b>	<b>-6.831224</b>	<b>-6.798387</b>	<b>-6.831306</b>	<b>-6.818880</b>
	EGARCH (1,1)	-6.683651	-6.646709	-6.683754	-6.669763
	IGARCH (1,1)	-6.819933	-6.795304	-6.819978	-6.810674
	FIGARCH (1,1)	-6.822529	-6.789691	-6.822610	-6.810184
MODEL IX	GARCH (1,1)	-6.831831	-6.803098	-6.831893	-6.821029
	<b>GJR GARCH (1,1)</b>	<b>-6.846015</b>	<b>-6.813177</b>	<b>-6.846096</b>	<b>-6.833670</b>
	EGARCH (1,1)	-6.705469	-6.668527	-6.705572	-6.691581
	IGARCH (1,1)	-6.833343	-6.808715	-6.833389	-6.824085
	FIGARCH (1,1)	-6.836419	-6.803582	-6.836501	-6.824075

Tablo 3.8’de belirtilen tüm modeller için en küçük AIC, BIC ve HQ bilgi kriteri değerleri GJR-GARCH modeli tarafından verilmektedir. Dolayısıyla analizde incelenen dokuz model için olumlu ve olumsuz haberlerin volatilité üzerinde asimetric etkiye sahip olduğunu belirten GJR-GARCH modelinin uygun olduğu gözlenmektedir. Bundan dolayı çok değişkenli GARCH modellerinin seçim aşamasında çalışmada incelenen dokuz model için GJR-GARCH değerleri dikkate alınarak en uygun model tespit edilmektedir. Çok değişkenli GARCH model seçim aşamasında en uygun model seçimine, hem AIC, BIC ve HQ gibi bilgi kriterlerine hem de Tse (2000) LM testi sonuçlarına bakarak karar verilebilmektedir. Tse (2000), getiri serileri arasındaki koşullu korelasyonların sabit olduğunu varsaymaktadır. Bunu test etmek için Lagrange Çarpanı (LM) testini kullanmıştır. Tse (2000) testinin hipotezleri aşağıdaki gibidir:

$$H_0 : h_{ij,t} = \rho_{ij} \sqrt{h_{ii,t} h_{jj,t}} \quad (\text{sabit korelasyon var})$$

$$H_A : h_{ij,t} \neq \rho_{ij,t} \sqrt{h_{ii,t} h_{jj,t}} \quad (\text{sabit korelasyon yok})$$

Burada  $h_{ii}$  ve  $h_{jj}$  koşullu varyanstır. LM test istatistiği boş hipotez altında  $K(K-1)/2$  serbestlik derecesiyle  $\chi^2$  dağılmaktadır. Tse (2000) LM testinde boş hipotezin reddedilmesi durumunda koşullu korelasyonların sabit olmadığı sonucuna varılmaktadır.  $H_0$ 'ın reddedilmesi durumunda koşullu korelasyonların sabit olmadığını varyasyon DCC modelleri kullanılmaktadır. Tablo 3.9, AIC, BIC ve HQ bilgi kriterlerini, tablo 3.10 ise Tse (2000) LM testi sonuçlarını göstermektedir.

**Tablo 3.9: Çok Değişkenli GARCH Model Belirleme Kriterleri**

		AIC	BIC	Shibata	HQ
MODEL I	<b>CCC-GARCH</b>	<b>0.011915</b>	<b>0.060982</b>	<b>0.011735</b>	<b>0.030357</b>
	DCC (ENGLE)	0.015095	0.072340	0.014851	0.036611
	DCC (TSE ve TSUI)	0.015098	0.072343	0.014853	0.036613
	cDCC	0.015096	0.072340	0.014851	0.036611
MODEL II	<b>CCC-GARCH</b>	<b>0.012398</b>	<b>0.061465</b>	<b>0.012217</b>	<b>0.030839</b>
	DCC (ENGLE)	0.015577	0.072822	0.015332	0.037092
	DCC (TSE ve TSUI)	0.015579	0.072824	0.015334	0.037094
	cDCC	0.015577	0.072822	0.015332	0.037092
MODEL III	<b>CCC-GARCH</b>	<b>0.012433</b>	<b>0.061500</b>	<b>0.012253</b>	<b>0.030875</b>
	DCC (ENGLE)	0.015612	0.072857	0.015368	0.037128
	DCC (TSE ve TSUI)	0.015615	0.072860	0.015371	0.037131
	cDCC	0.015613	0.072858	0.015368	0.037128
MODEL IV	<b>CCC-GARCH</b>	<b>0.011015</b>	<b>0.060271</b>	<b>0.010833</b>	<b>0.029532</b>
	DCC (ENGLE)	0.014211	0.071677	0.013964	0.035815
	DCC (TSE ve TSUI)	0.014214	0.071680	0.013967	0.035817
	cDCC	0.014211	0.071677	0.013964	0.035815
MODEL V	<b>CCC-GARCH</b>	<b>0.011517</b>	<b>0.060773</b>	<b>0.011335</b>	<b>0.030034</b>
	DCC (ENGLE)	0.014712	0.072178	0.014465	0.036316
	DCC (TSE ve TSUI)	0.014712	0.072178	0.014464	0.036315
	cDCC	0.014712	0.072178	0.014465	0.036316
MODEL VI	<b>CCC-GARCH</b>	<b>0.011529</b>	<b>0.060818</b>	<b>0.011347</b>	<b>0.030059</b>
	DCC (ENGLE)	0.014728	0.072231	0.014480	0.036346
	DCC (TSE ve TSUI)	0.014731	0.072234	0.014483	0.036349
	cDCC	0.014728	0.072231	0.014480	0.036346
MODEL VII	<b>CCC-GARCH</b>	<b>0.010953</b>	<b>0.060210</b>	<b>0.010771</b>	<b>0.029470</b>
	DCC (ENGLE)	0.014149	0.071615	0.013902	0.035752
	DCC (TSE ve TSUI)	0.014152	0.071618	0.013905	0.035756
	cDCC	0.014149	0.071615	0.013902	0.035752
MODEL VIII	<b>CCC-GARCH</b>	<b>0.011461</b>	<b>0.060718</b>	<b>0.011279</b>	<b>0.029978</b>
	DCC (ENGLE)	0.014658	0.072124	0.014410	0.036261
	DCC (TSE ve TSUI)	0.014659	0.072125	0.014412	0.036262
	cDCC	0.014657	0.072123	0.014410	0.036261
MODEL IX	<b>CCC-GARCH</b>	<b>0.011462</b>	<b>0.060718</b>	<b>0.011280</b>	<b>0.029979</b>
	DCC (ENGLE)	0.014659	0.072125	0.014412	0.036262
	DCC (TSE ve TSUI)	0.014661	0.072127	0.014414	0.036265
	cDCC	0.014659	0.072125	0.014412	0.036262

Tablo 3.9'da gösterilen model belirleme kriterlerine göre dokuz model için test edilen çok değişkenli GARCH modellerinin AIC, BIC, Shibata ve HQ bilgi kriterleri karşılaştırıldığında analiz için en uygun modelin Diagonal BEKK olduğu gözlenmektedir. Ancak Diagonal BEKK sadece koşullu varyansları dikkate almaktadır. Bu çalışmada koşullu varyansların yanı sıra koşullu korelasyonları da dikkate alan çok değişkenli GARCH modellerinin kullanımı amaçlandığı için çok değişkenli GARCH

modelleri arasında en uygun model seçimi yapılmaktadır. Dolayısıyla bu çerçevede AIC, BIC, Shibata ve HQ bilgi kriterleri karşılaştırılarak analiz için en uygun modelin CCC-GARCH olduğu tespit edilmiştir.

**Tablo 3.10: Sabit Korelasyon Test Sonuçları Tse (2000) LM**

Tse (2000) LM Testi	Student t Dağılımı
MODEL I	0.66486 (0.4148)
MODEL II	1.78923 (0.1810)
MODEL III	2.17023 (0.1407)
MODEL IV	1.36807 (0.2421)
MODEL V	2.01605 (0.1556)
MODEL VI	1.01695 (0.3132)
MODEL VII	0.74679 (0.3874)
MODEL VIII	1.37430 (0.2410)
MODEL IX	0.57355 (0.4488)

Tablo 3.10’da verilen Tse (2000) LM testi sonuçlarına göre tüm modeller için boş hipotez reddedilmemiştir. Yani, test edilen tüm modeller için koşullu korelasyonların sabit olduğu dolayısıyla modelleme aşamasında en uygun modelin CCC GJR GARCH olduğu tespit edilmiştir. Hem model belirleme kriterleri hem de Tse(2000) LM testi sonuçlarına göre çalışma için en uygun yapı CCC GJR GARCH modeli olduğundan çalışmanın bu aşamasında volatilité etkileşimlerini test etmek amacıyla VAR-CCC-GJR GARCH modeli ile devam edilecektir.

CCC-GJR GARCH modelinde ortalama ve varyans denklemleri ile koşullu korelasyonların tahmin aşamasında student-t dağılımı kullanılmıştır. Buna ek olarak Bollerslev (1990) çalışmasına göre tahmin edilecek olan VAR-GARCH modelinin varsayımları altında Berndt vd.(1974) çalışmasında, asimptotik kovaryans matrisi katsayılarının tutarlı olmasını sağlamak amacıyla sayısal optimizasyon algoritması BHHH (Berndt, Hall, Hall ve Hausman (1974)) methodunun kullanılmasının uygun olduğuna değinmektedirler (Omay, 2008:91). BHHH algoritmasında, doğrusal olmayan yapısal ekonometrik modeller için maksimum olasılık ve minimum mesafe tahmin edicileri belirtilmiştir. İlgili olabilirlik ve mesafe fonksiyonunun yerel maksimumuna yakınsamayı sağlayan bir teorem kanıtlanmıştır. Her iki tahminci için de çıkarım teknikleri geliştirilmiştir. Maksimum olabilirlik teoremi ve algoritması, tahmin edicinin kovaryans matrisinin, olabilirlik fonksiyonunun gradyanının kovaryans matrisine eşit

olduğu temel istatistiksel ilişkiye dayanır. Bu algoritma, önceki algoritmalarından çok daha az hesaplama gerektirir ve diğerlerinin aksine yakınsaması garanti edilir (Berndt, vd., (1974)). Bu çerçevede çalışmada optimizasyon methodu olarak BHHH kullanılmıştır. Çalışmanın ilk aşamada her model için gecikme uzunlukları belirlenerek otokorelasyon sorunu giderilmiştir. Akabinde dokuz model için, modellerin gecikme uzunluklarına göre VAR- CCC-GJR GARCH modeli kurulmuştur. Her model için ayrı ayrı kurulan CCC-GJR GARCH modelleri sonucunda tahmin edilen koşullu ortalama, koşullu varyans ve koşullu korelasyon tahmin sonuçları elde edilmiştir. Tahmin edilen koşullu ortalama, koşullu varyans ve sabit koşullu korelasyon katsayı sonuçları tablo 3.11’de gösterilmektedir.

**Tablo 3.11: Model I için VAR(3)- CCC-GJR GARCH(1,1)**

	gbist	gbtc
<b>Ortalama Denklemi</b>		
Sabit	-0.000324 (0.00048) [-0.6806]	0.003140 (0.00140) [2.2453]
gbist(-1)	0.177151 (0.02825) [6.26992]	0.095327 (0.08295) [1.1492]
gbist(-2)	0.084066 (0.02853) [2.9464]	0.130105 (0.8376) [1.5532]
gbist(-3)	-0.098294 (0.02823) [-3.4814]	-0.099862 (0.08289) [-1.2047]
gbtc(-1)	0.009106 (0.00963) [0.9454]	-0.012323 (0.02828) [-0.4357]
gbtc(-2)	0.023999 (0.00961) [2.4961]	0.017946 (0.02823) [0.63579]
gbtc(-3)	0.007242 (0.00963) [0.7517]	0.044239 (0.02829) [1.5640]
<b>Varyans Denklemi</b>		
Sabit	0.139455 [2.515] {0.0120}	2.151834 [1.917] {0.0554}
$\alpha$	0.000488 [0.0255] {0.9796}	0.075381 [2.427] {0.0154}
$\beta$	0.871398 [23.22] {0.0000}	0.807191 [11.34] {0.0000}
$\gamma$	0.146595 [3.580] {0.0004}	0.067316 [0.8544] {0.3930}
$\alpha+\beta+0.5*\gamma$	<b>0.94518</b>	<b>0.91623</b>
<b>Kovaryans Denklemi</b>		
$\rho$	<b>0.048192</b> [1.729] {0.0840}	

() parantez içerisindeki değerler standart hata

[] parantez içerisindeki değerler t-değerleri

{ } parantez içerisindeki değerler prob değerleri

Tablo 3.11, model I için hesaplanan gecikme uzunluğu ile kurulan VAR(3)-CCC-GJR GARCH(1,1) modelini göstermektedir. Koşullu ortalama denkleminde bist100 endeksi getirisinin bağımlı, bitcoin getirisinin bağımsız değişken olduğu ilk denkleminde Bitcoin getirisine ait tahmin edilen katsayıların toplamı 0.0403 olarak elde edilmiştir. Bitcoin getirisinin bağımlı, bist100 endeksi getirisinin bağımsız değişken olduğu ikinci denkleminde ise bist100 endeksi getirisine ait katsayıların toplamı 0.1255 olarak elde edilmiştir.

Koşullu varyans denkleminde ise Bist100 denkleminde ait ARCH ( $\alpha$ ) parametre değeri 0.000488 olarak hesaplanmıştır. GJR GARCH modelinde  $\alpha$  parametresi pozitif haberlerin getiri volatilitesi üzerindeki etkisini göstermektedir.  $\alpha$  parametresi GJR GARCH modelindeki pozitif olma koşulunu sağlamaktadır ancak bu parametre istatistiksel olarak anlamsızdır. Bist100 getirisinin GARCH ( $\beta$ ) parametre değeri 0.8713 olarak hesaplanmış olup istatistiksel olarak anlamlıdır. Ayrıca GJR GARCH modelinde  $\beta$  katsayısının sıfırdan büyük olma koşulunu da sağlamaktadır. Negatif haberlerin getiri volatilitesi üzerindeki etkisini gösteren  $\alpha+\gamma$  katsayı değeri 0.1470 olarak hesaplanmış olup sıfırdan büyük eşit olma koşulunu sağlamaktadır.  $\gamma$  katsayısı 0.1465 olarak hesaplanmıştır ve bu katsayının sıfırdan farklı olması asimetrik etkinin olması koşulunu sağlamaktadır. Dolayısıyla Bist100 piyasasında asimetrik etki olduğu söylenebilmektedir. Ayrıca bu katsayının pozitif olması piyasada kaldıraç etkisinin olduğunu ifade etmektedir. Yani BİST100 piyasasında, olumsuz şokların volatilitenin üzerinde etkisinin olumlu şoklardan daha fazla olduğunu göstermektedir. Sürecin kovaryans durağanlığını ifade eden  $\alpha+\beta+(0.5*\gamma)$  katsayı değeri 0.94518 olup 1'den küçük olma koşulunu sağlamaktadır. Bu katsayı 1'den küçük olduğu için süreç kovaryans durağandır. Bitcoin denkleminde ise pozitif şokların getiri volatilitesi üzerindeki etkisini ifade eden  $\alpha$  katsayı değeri 0.075, negatif şokların getiri volatilitesi üzerindeki etkisini gösteren  $\alpha+\gamma$  katsayısı 0.1426, asimetrik etki olduğunu gösteren  $\gamma$  katsayısı 0.0673 ve  $\beta$  katsayı değeri 0.8071 olarak hesaplanmıştır. GJR GARCH modeli için Bitcoin piyasasında da kısıt koşulları sağlanmaktadır.  $\gamma$  katsayısı sıfırdan farklı ve pozitif olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı olmaması Bitcoin piyasasında asimetrik etkinin olmadığını göstermektedir. Bitcoin piyasasında  $\alpha$  katsayısının sıfırdan büyük olması bu piyasada pozitif haberlerin volatilitenin üzerinde etkisinin olduğunu göstermektedir. Sürecin kovaryans durağanlığını test eden katsayı değeri ise 0.91623'dür. Bu katsayının 1'den küçük olması Bitcoin piyasasında sürecin kovaryans durağan olduğunu belirtmektedir.

Sabit koşullu korelasyon parametresi  $\rho$ , pozitif (0.0481) ve %10 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır. Bu katsayının sıfıra çok yakın olması Bist100 ile Bitcoin getirileri arasındaki ilişkinin zayıf olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.12, model II için VAR(3)- CCC-GJR GARCH(1,1) modeli kurularak elde edilen koşullu ortalama, koşullu varyans ve sabit koşullu korelasyon denklemi tahmin sonuçlarını göstermektedir.

**Tablo 3.12: Model II için VAR(3)- CCC-GJR GARCH(1,1)**

	<b>gbist</b>	<b>geth</b>
<b>Ortalama Denklemi</b>		
Sabit	-0.000299 (0.00048) [-0.6270]	0.004606 (0.00191) [2.4073]
gbist(-1)	0.177928 (0.02831) [6.2839]	0.104309 (0.11348) [0.9191]
gbist(-2)	0.084393 (0.02861) [2.9494]	0.207932 (0.11467) [1.8132]
gbist(-3)	-0.09646 (0.02832) [-3.4065]	-0.056215 (0.11349) [-0.4953]
geth(-1)	0.006984 (0.00709) [0.9849]	0.001752 (0.02842) [0.0616]
geth(-2)	0.014175 (0.00707) [2.0050]	0.047815 (0.02833) [1.68760]
geth(-3)	0.000863 (0.00707) [0.1219]	0.008734 (0.02835) [0.3080]
<b>Varyans Denklemi</b>		
Sabit	0.131536 [2.398] {0.0166}	3.020610 [1.662] {0.0968}
$\alpha$	0.004353 [0.2226] {0.8239}	0.095651 [3.076] {0.0021}
$\beta$	0.871647 [22.82] {0.0000}	0.847200 [12.48] {0.0000}
$\gamma$	0.146112 [3.602] {0.0003}	-0.008456 [-0.1452] {0.8846}
$\alpha+\beta+\gamma$	<b>0.949056</b>	<b>0.938623</b>
<b>Kovaryans Denklemi</b>		
$\rho$	<b>0.047589</b> [1.646] {0.1001}	

() parantez içerisindeki değerler standart hata

[] parantez içerisindeki değerler t-değerleri

{ } parantez içerisindeki değerler prob değerleri

Tablo 3.12’de Bist100 getirisinin bağımlı ethereum getirisinin bağımsız değişken olduğu koşullu ortalama denklemde ethereum getirisine ait tahmin edilen katsayıların toplamı 0.0220 olarak elde edilmiştir. Ethereum getirisinin bağımlı Bist100 getirisinin bağımsız değişken olduğu ikinci denklemde ise Bist100 getirisine ait katsayıların toplamı 0.2560 olarak elde edilmiştir.



Koşullu varyans denklemi sonuçlarına göre Bist100 denklemine ait  $\alpha$  katsayısı 0.004353 ve istatistiksel olarak anlamsızdır.  $\alpha$  parametresi sıfırdan büyük olma koşulunu sağlamaktadır ancak istatistiksel olarak anlamsız olduğu için pozitif haberlerin getiri volatilitesi üzerinde etkisi bulunmamaktadır.  $\alpha+\gamma$  katsayı değeri 0.1504 olarak hesaplanmıştır.  $\alpha+\gamma \geq 0$  koşulunu sağladığı için BİST100 piyasasında negatif şokların getiri volatilitesi üzerinde etkisi bulunmaktadır.  $\gamma$  parametresi sıfırdan farklı olma koşulunu sağlamaktadır ve katsayı değeri 0.1461 olarak hesaplanmıştır. BİST100 piyasasında asimetrik etki bulunmaktadır. Ayrıca bu katsayı sıfırdan büyük olduğu için piyasada kaldıraç etkisi vardır. BİST100 piyasasında, olumsuz şoklar volatilité üzerinde olumlu şoklardan daha fazla etki göstermektedir.  $\beta$  parametre değeri 0.8716 ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Sürecin kovaryans durağanlığı katsayısı 0.9490 ve 1'den küçüktür. Dolayısıyla bu piyasada süreç kovaryans durağandır. Ethereum getirisinin bağımlı Bist100 getirisinin bağımsız değişken olduğu durumda ise  $\alpha$  parametre katsayısı 0.0956,  $\beta$  parametre katsayısı 0.8472,  $\alpha+\gamma$  katsayısı 0.0871,  $\gamma$  katsayısı -0.0084 ve  $\alpha+\beta+(0.5*\gamma)$  katsayısı 0.9386 olarak hesaplanmıştır.  $\alpha$  ve  $\beta$  parametreleri istatistiksel olarak anlamlıdır.  $\alpha$  parametresinin sıfırdan büyük olması Ethereum piyasasında pozitif haberlerin getiri volatilitesi üzerinde etkisi olduğunu göstermektedir.  $\gamma$  katsayısı negatif ancak istatistiksel olarak anlamsızdır. Bundan dolayı Ethereum piyasasında asimetrik etki olmadığı gözlenmektedir. Ayrıca bu modelde  $\alpha+\gamma \geq 0$  kısıtı sağlanmasına rağmen  $\gamma$  katsayısı istatistiksel olarak anlamsız olduğu için  $\alpha+\gamma$  katsayısı yorumlanamamaktadır. Son olarak  $\alpha+\beta+(0.5*\gamma)<1$  olması sürecin kovaryans durağan olduğunu göstermektedir.

Sabit koşullu korelasyon parametresi  $\rho$ , model II için 0.0475 ve istatistiksel olarak anlamsızdır. Bu durum Bist100 ile ethereum piyasası arasında korelasyon ilişkisinin bulunmadığını göstermektedir.

Model III için VAR(3)- CCC-GJR GARCH(1,1) modeli kurularak elde edilen koşullu ortalama, koşullu varyans ve sabit koşullu korelasyon denklemi tahmin sonuçları tablo 3.13'de gösterilmektedir.

**Tablo 3.13: Model III için VAR(3)- CCC-GJR GARCH(1,1)**

	gbist	gltc
<b>Ortalama Denklemi</b>		
Sabit	-0.000261 (0.00048) [-0.5485]	0.002964 (0.00201) [1.4742]
gbist(-1)	0.177177 (0.02829) [6.2627]	0.096432 (0.11973) [0.8053]
gbist(-2)	0.085522 (0.02860) [2.9901]	0.306793 (0.12105) [2.5344]
gbist(-3)	-0.098204 (0.02834) [-3.4656]	-0.197435 (0.11993) [-1.6462]
gltc(-1)	0.007759 (0.00670) [1.1575]	0.028611 (0.02837) [1.0085]
gltc(-2)	0.011004 (0.00670) [1.6436]	0.010940 (0.02834) [0.38609]
gltc(-3)	0.003746 (0.00671) [0.5585]	0.001190 (0.02839) [0.04193]
<b>Varyans Denklemi</b>		
Sabit	0.139135 [2.447] {0.0145}	5.267505 [1.421] {0.1557}
$\alpha$	0.003659 [0.1821] {0.8555}	0.118528 [2.010] {0.0447}
$\beta$	0.869115 [22.77] {0.0000}	0.802736 [7.619] {0.0000}
$\gamma$	0.146367 [3.604] {0.0003}	-0.053470 [-1.001] {0.3171}
$\alpha+\beta+\gamma$	<b>0.945958</b>	<b>0.894529</b>
<b>Kovaryans Denklemi</b>		
$\rho$	0.059605 [2.180] {0.0294}	

() parantez içerisindeki değerler standart hata

[] parantez içerisindeki değerler t-değerleri

{ } parantez içerisindeki değerler prob değerleri

Koşullu ortalama denklemi incelendiğinde Bist100 getirisinin bağımlı litecoin getirisinin bağımsız değişken olduğu denklem için litecoin getirisine ait tahmin edilen katsayıların toplamı 0.0225, Litecoin getirisinin bağımlı Bist100 getirisinin bağımsız değişken olduğu ikinci denklemde ise Bist100 getirisine ait katsayıların toplamı 0.2057 olarak elde edilmiştir.

Koşullu varyans denklem tahmin sonuçları incelendiğinde ilk olarak Bist100 modeli için  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$  parametreleri sırasıyla 0.003659, 0.869115 ve 0.146367 olarak hesaplandığı gözlenmektedir.  $\alpha$  parametresi istatistiksel olarak anlamsız iken  $\beta$  ve  $\gamma$  parametreleri istatistiksel olarak anlamlıdır. Model I ve II'de olduğu gibi model III'de de BİST100 piyasasında pozitif şokların volatilité üzerinde etkisi bulunmamaktadır.  $\gamma$  parametresinin sıfırdan farklı ve pozitif olması bu piyasada asimetrik etki ve kaldıraç

etkisi olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla Bist100 piyasasında olumsuz haberlerin volatilité üzerinde etkisi olumlu haberlerden daha fazladır.  $\alpha+\gamma$  katsayı değeri 0.1500 olup  $\alpha+\gamma \geq 0$  koşulunu sağladığı için bu piyasada negatif şokların getiri volatilitesi üzerinde etkisinin bulunduğu tespit edilmiştir. Sürecin kovaryans durağanlığı katsayısı 0.9459 ve 1'den küçüktür. Dolayısıyla bu piyasada süreç kovaryans durağandır. Litecoin modeli için  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  ve  $\alpha+\gamma$  katsayıları sırasıyla 0.1185, 0.8027, -0.0534 ve 0.0651 olarak hesaplanmıştır.  $\alpha$  ve  $\beta$  katsayıları istatistiksel olarak anlamlı ve kısıt koşullarını karşılamaktadır. Litecoin piyasasında pozitif şokların volatilité üzerinde etkisinin 0.1185 ve negatif şokların volatilité üzerinde etkisinin ise 0.0651 olduğu tespit edilmiştir. Bu piyasada asimetrik etki bulunmamaktadır. Sürecin kovaryans durağanlığını sınavan  $\alpha+\beta+(0.5*\gamma)$  katsayı değeri 0.8945 olarak hesaplanmıştır. Bu katsayı değerinin 1'den küçük olması sürecin kovaryans durağan olduğunu belirtmektedir.

Son olarak model III için  $\rho$  parametre katsayısı 0.0596 ve %5 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu sonuçlara göre Bist100 ile Litecoin piyasası arasında zayıf yönlü korelasyon ilişkisinin bulunduğunu göstermektedir.

Tablo 3.14, model IV için elde edilen gecikme uzunluklarıyla kurulan VAR-CCC-GJR GARCH modeli tahmin sonuçlarını göstermektedir. Model IV'de bağımlı değişken dow jones hisse senedi bağımsız değişken ise bitcoin olarak incelenmektedir. Dow jones getirisi denkleminde bitcoin getirisine ait tahmin edilen katsayıların toplamı 0.0437 olarak elde edilmiştir. Bitcoin getirisinin bağımlı dow jones getirisinin bağımsız değişken olduğu ikinci denkleminde ise dow jones getirisine ait katsayıların toplamı -0.2974 olarak elde edilmiştir.

**Tablo 3.14: Model IV için VAR(9)- CCC-GJR GARCH(1,1)**

VAR(9)	gdwj	gbtc
Ortalama Denklemi		
Sabit	0.000315 (0.00034) [0.9403]	0.003207 (0.00142) [2.2648]
gdwj(-1)	-0.11581 (0.02872) [-4.0326]	-0.007189 (0.12126) [-0.0592]
gdwj(-2)	0.085445 (0.02876) [2.9708]	-0.039422 (0.12143) [-0.3246]
gdwj(-3)	0.037936 (0.02850) [1.3309]	-0.023788 (0.12034) [-0.1976]
gdwj(-4)	-0.07848 (0.02819) [-2.7845]	-0.025204 (0.11901) [-0.2117]
gdwj(-5)	-0.000664 (0.02826) [-0.0234]	0.126848 (0.11930) [1.0632]

gdwj(-6)	-0.124660 (0.02819) [-4.4219]	-0.08332 (0.111903) [-0.7000]
gdwj(-7)	0.151408 (0.02837) [5.3361]	0.050612 (0.11980) [0.4224]
gdwj(-8)	-0.06905 (0.02840) [-2.4312]	-0.301251 (0.11992) [-2.5121]
gdwj(-9)	0.130952 (0.02832) [4.6237]	0.005216 (0.11958) [0.0436]
gbtc(-1)	-0.00517 (0.00686) [-0.7538]	-0.009424 (0.02896) [-0.3254]
gbtc(-2)	0.025706 (0.00684) [3.7561]	0.027063 (0.02890) [0.9365]
gbtc(-3)	0.006160 (0.00685) [0.8990]	0.045074 (0.02893) [1.5580]
gbtc(-4)	0.009022 (0.00686) [1.3150]	0.020717 (0.02897) [0.7152]
gbtc(-5)	0.005478 (0.00686) [0.7983]	-0.034339 (0.02897) [-1.1853]
gbtc(-6)	0.020632 (0.00685) [3.0116]	0.025214 (0.02893) [0.8716]
gbtc(-7)	0.007324 (0.00685) [1.0686]	0.042405 (0.02892) [1.4663]
gbtc(-8)	-0.015837 (0.00685) [-2.3122]	-0.02849 (0.02901) [-0.9822]
gbtc(-9)	-0.009578 (0.00687) [-1.3938]	0.003207 (0.00142) [2.2648]
<b>Varyans Denklemi</b>		
Sabit	0.034720 [3.304] {0.001}	1.764615 [1.706] {0.088}
$\alpha$	0.065629 [1.966] {0.0495}	0.065643 [2.306] {0.0213}
$\beta$	0.795255 [18.97] {0.0000}	0.834667 [11.97] {0.0000}
$\gamma$	0.226289 [3.145] {0.0017}	0.059756 [0.9000] {0.3683}
$\alpha+\beta+\gamma$	<b>0.974029</b>	<b>0.930187</b>
<b>Kovaryans Denklemi</b>		
$\rho$	<b>0.102309</b> [10.01] {0.0002}	

() parantez içerisindeki değerler standart hata

[] parantez içerisindeki değerler t-değerleri

{ } parantez içerisindeki değerler prob değerleri

Tablo 3.14’de dow jones hisse senedi ile bitcoin arasındaki koşullu varyans ve sabit koşullu korelasyon tahmin sonuçlarına göre Dow jones hisse senedi getirisinin bağımlı değişken olduğu ilk denklemde  $\alpha$  katsayısı 0.0656 olarak hesaplanmış ve istatistiksel olarak %5 düzeyinde anlamlı çıkmıştır. Bu durum dow jones piyasasında pozitif şokların volatilité üzerinde etkisi olduğunu ifade etmektedir.  $\beta$  katsayısı 0.7952

olup %1 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Asimetrik etki parametresi  $\gamma$  katsayısının değeri pozitif (0.2262), sıfırdan farklı ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu katsayının sıfırdan farklı olması Dow Jones piyasasında asimetrik etki olduğunu, sıfırdan büyük olması bu piyasada kaldıraç etkisi olduğunu ve olumsuz şokların volatilité üzerinde olumlu şoklardan daha fazla etkili olduğunu göstermektedir. Negatif şokların volatilité üzerinde etkisini temsil eden  $\alpha+\gamma$  katsayı değeri 0.2919 dur. Bu katsayı da sıfırdan büyük olduğu için GJR GARCH koşulunu sağlamaktadır. Sürecin kovaryans durağanlığını temsil eden  $\alpha+\beta+(0.5*\gamma)$  katsayı değeri ise 0.9740 olarak hesaplanmış olup 1'den küçük olduğu için süreç kovaryans durağandır. Bitcoin getirisinin bağımlı değişken olduğu diğer modelde ise  $\alpha$  parametre katsayısı pozitif (0.0656) ve %5 anlam düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Dolayısıyla bu piyasada pozitif şokların volatilité üzerinde etkisi bulunmaktadır.  $\beta$  parametre katsayısı 0.8346 ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu katsayının sıfırdan büyük olması GJR GARCH koşulunu sağlamaktadır. Asimetrik etki parametresi  $\gamma$  (0.0597) olarak hesaplanmış ancak istatistiksel olarak anlamlı değildir. Dolayısıyla Bitcoin piyasasında asimetrik etki yoktur.  $\alpha+\gamma$  katsayısının 0.1253 olarak hesaplanması bu piyasada negatif şokların getiri volatilitesi üzerinde etkisi olduğunu göstermektedir.  $\alpha+\beta+(0.5*\gamma)$  katsayısı ise 0.930 dur. Bu katsayı 1'den küçük olduğu için süreç kovaryans durağandır.

Tablo 3.14'de sabit koşullu korelasyon sonuçlarına göre ise  $\rho$  katsayısı 0.1023 ve %1 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Dolayısıyla Dow Jones piyasası ile Bitcoin piyasası arasında bir korelasyon ilişkisi olduğu ancak bu ilişkinin orta düzeyde olduğu söylenebilmektedir.

Tablo 3.15, Dow Jones getirileri ile Ethereum getirileri arasında VAR- CCC- GJR GARCH modeli ile kurulan koşullu ortalama, koşullu varyans ve sabit koşullu korelasyon denklemi tahmin sonuçlarını göstermektedir. Model V'de Dow Jones piyasasında Ethereum getiri katsayısı 0.0169 olarak tahmin edilmiştir. Ethereum piyasasında ise, Dow Jones getiri değerleri -0.1647 olarak tahmin edilmiştir.

**Tablo 3.15: Model V için VAR(9)- CCC-GJR GARCH(1,1)**

	gdwj	geth
<b>Ortalama Denklemi</b>		
Sabit	0.000375 (0.00034) [1.1165]	0.004084 (0.00195) [2.0950]
gdwj(-1)	-0.11074 (0.02879) [-3.8466]	-0.01745 (0.16695) [-0.1045]
gdwj(-2)	0.08422 (0.02877) [2.9270]	0.077103 (0.16686) [0.4620]
gdwj(-3)	0.03816 (0.02851) [1.3384]	-0.00595 (0.16535) [-0.0359]
gdwj(-4)	-0.07745 (0.02828) [-2.7385]	-0.00479 (0.16402) [-0.0292]
gdwj(-5)	0.002006 (0.02837) [0.0707]	0.09751 (0.16452) [0.5927]
gdwj(-6)	-0.11742 (0.02829) [-4.1506]	-0.125206 (0.16405) [-0.7632]
gdwj(-7)	0.15393 (0.02845) [5.4115]	0.11567 (0.16496) [0.7012]
gdwj(-8)	-0.06869 (0.02851) [-2.4097]	-0.22077 (0.16531) [-1.3355]
gdwj(-9)	0.13144 (0.02839) [4.6302]	-0.08082 (0.16462) [-0.4909]
geth(-1)	-0.00483 (0.00501) [-0.9660]	0.00741 (0.0290) [0.2555]
geth(-2)	0.01905 (0.00500) [3.8075]	0.04780 (0.02902) [1.6471]
geth(-3)	0.004739 (0.00503) [0.9417]	0.012143 (0.02918) [0.4161]
geth(-4)	0.006757 (0.00503) [1.3425]	0.05157 (0.02919) [1.7670]
geth(-5)	0.000703 (0.00504) [0.1393]	-0.000877 (0.02925) [-0.0300]
geth(-6)	0.00627 (0.00504) [1.2462]	-0.01003 (0.02920) [-0.3437]
geth(-7)	0.003854 (0.00504) [0.7655]	0.00937 (0.02920) [0.3209]
geth(-8)	-0.01303 (0.00503) [-2.5925]	0.039157 (0.02915) [1.3433]
geth(-9)	-0.00659 (0.00504) [-1.3091]	0.02700 (0.02920) [0.9246]
<b>Varyans Denklemi</b>		
Sabit	0.034237 [3.158] {0.0016}	3.004016 [1.554] {0.1203}
$\alpha$	0.062700 [1.679] {0.0934}	0.086810 [3.089] {0.0021}
$\beta$	0.793334 [17.05] {0.0000}	0.852113 [12.00] {0.0000}
$\gamma$	0.234240 [3.342] {0.0009}	-0.001054 [-0.0170] {0.9864}

$\alpha+\beta+\gamma$	0.973154	0.938395
<b>Kovaryans Denklemi</b>		
$\rho$	0.11119	
	[4.114]	
	{0.0000}	

() parantez içerisindeki değerler standart hata

[] parantez içerisindeki değerler t-değerleri

{ } parantez içerisindeki değerler prob değerleri

Dow jones hisse senedi ile Ethereum piyasalarına ait koşullu varyans tahmin sonuçları incelendiğinde, dow jones getirisinin bağımlı değişken olduğu modelde  $\alpha$  parametre değerinin 0.062,  $\beta$  parametre değerinin 0.793 ve  $\gamma$  parametre değerinin 0.234 olduğu tespit edilmiştir.  $\alpha$  parametresi %10 anlam düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu ve  $\beta$  ile  $\gamma$  parametrelerinin %1 anlam düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu gözlenmektedir. Dow jones piyasasında pozitif şokların volatilité üzerinde etkisi olduğu, bu piyasada asimetric etki ve kaldıraç etkisi olduğu tespit edilmiştir.  $\alpha+\gamma$  katsayı değeri 0.296 olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla hem  $\gamma$  katsayısının sıfırdan büyük olması hem de  $\alpha+\gamma$  katsayısının  $\alpha$  katsayısından daha büyük olması Dow jones piyasasında olumsuz haberlerin volatilité üzerinde etkisinin olumlu haberlerden daha fazla olduğunu göstermektedir. Sürecin kovaryans durağan olduğunu sınavan  $\alpha+\beta+(0.5*\gamma)$  katsayının değeri (0.973), 1'den küçük olduğu için süreç kovaryans durağandır. Ethereum piyasasının tahmin sonuçlarına baktığımızda ise  $\alpha$  değerinin 0.086,  $\beta$  değerinin 0.852 ve  $\gamma$  değerinin -0.001 olduğunu görebiliriz.  $\gamma$  parametresi sıfırdan farklı ancak istatistiksel olarak anlamsız olduğu için Ethereum piyasasında asimetric etki yoktur.  $\alpha$  değerinin pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı olması pozitif şokların volatilité üzerinde etkisi olduğunu göstermektedir. Negatif şokların volatilitéye etkisini gösteren katsayı ( $\alpha+\gamma$ ) değeri 0.0857 dir.  $\gamma$  katsayısının istatistiksel olarak anlamlı olmaması ve  $\alpha$  katsayısının  $\alpha+\gamma$  katsayısında büyük olması bu piyasada pozitif şokların volatilité üzerinde etkisinin olduğunu göstermektedir.  $\alpha+\beta+(0.5*\gamma)$  katsayı değeri 1'den küçük (0.938) ve süreç kovaryans durağandır.

Sabit koşullu korelasyon parametresi tahmin sonuçlarına göre  $\rho$  katsayısının 0.1111 ve %1 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu dolayısıyla Dow jones piyasası ile Ethereum piyasası arasında orta yönlü bir korelasyon ilişkisi olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3.16, dow jones ve litecoin piyasaları arasındaki koşullu ortalama, koşullu varyans ve sabit koşullu korelasyon denklemi tahmin sonuçlarını göstermektedir. Dow jones denkleminde tahmin edilen litecoin getirileri katsayılarının toplamı 0.0177 ve

litecoin denkleminde dow jones getirilerinin katsayıları toplamı 0.1757 olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 3.16: Model VI için VAR(10)-CCC-GJR GARCH(1,1)**

	gdwj	gltc
<b>Ortalama Denklemi</b>		
Sabit	0.000418 (0.00034) [1.2455]	0.002762 (0.00204) [1.3559]
gdwj(-1)	-0.11058 (0.02887) [-3.8305]	-0.040811 (0.17544) [-0.2326]
gdwj(-2)	0.091395 (0.02881) [3.1727]	0.17262 (0.17506) [0.9860]
gdwj(-3)	0.048798 (0.02885) [1.6916]	0.031248 (0.17530) [0.1782]
gdwj(-4)	-0.07600 (0.02847) [-2.6693]	-0.09778 (0.17303) [-0.5651]
gdwj(-5)	-0.00397 (0.02829) [-0.1406]	0.04513 (0.17193) [0.2625]
gdwj(-6)	-0.12741 (0.02829) [-4.5044]	-0.017873 (0.17190) [-0.1039]
gdwj(-7)	0.155915 (0.02844) [5.4829]	0.089271 (0.17281) [0.5165]
gdwj(-8)	-0.07224 (0.02874) [-2.5138]	-0.22447 (0.17465) [-1.2852]
gdwj(-9)	0.12339 (0.0285) [4.3168]	-0.01397 (0.17370) [-0.0804]
gdwj(-10)	-0.03387 (0.0286) [-1.1832]	0.23242 (0.17400) [1.3358]
gltc(-1)	-0.00253 (0.00475) [-0.5330]	0.03768 (0.02888) [1.3050]
gltc(-2)	0.01298 (0.00475) [2.7313]	0.02099 (0.02889) [0.7266]
gltc(-3)	0.003022 (0.00477) [0.6334]	-0.00660 (0.02900) [-0.2278]
gltc(-4)	0.000717 (0.00476) [0.1506]	0.06635 (0.02891) [2.2949]
gltc(-5)	0.001308 (0.00476) [0.2746]	-0.03763 (0.02895) [-1.2998]
gltc(-6)	0.008406 (0.00476) [1.7661]	-0.02387 (0.02892) [-0.8253]
gltc(-7)	0.007615 (0.00475) [1.6020]	0.02699 (0.02888) [0.9344]
gltc(-8)	-0.000511 (0.00476) [-0.1074]	-0.00320 (0.02891) [-0.1109]
gltc(-9)	-0.006216 (0.00476) [-1.3070]	-0.01511 (0.02890) [-0.5229]
gltc(-10)	-0.007015 (0.00476) [-1.4749]	0.031395 (0.02890) [1.0862]
<b>Varyans Denklemi</b>		
Sabit	0.033448	4.623653



	[3.421] {0.0006}	[1.547] {0.1220}
$\alpha$	0.063548 [1.848] {0.0649}	0.109044 [2.145] {0.0322}
$\beta$	0.791466 [19.49] {0.0000}	0.822361 [9.801] {0.0000}
$\gamma$	0.240555 [3.340] {0.0009}	-0.047322 [-0.9284] {0.3534}
$\alpha+\beta+\gamma$	<b>0.975292</b>	<b>0.907743</b>
<b>Kovaryans Denklemi</b>		
$\rho$	<b>0.12005</b> [4.550] {0.0000}	

() parantez içerisindeki değerler standart hata

[] parantez içerisindeki değerler t-değerleri

{ } parantez içerisindeki değerler prob değerleri

Dow Jones getirisinin bağımlı değişken olduğu modelde koşullu varyans tahmin sonuçları, Dow Jones getirisinin  $\alpha$  parametresinin 0.063,  $\beta$  parametresinin 0.791 ve  $\gamma$  parametresinin 0.240 olduğunu göstermektedir. Model IV ve V’de olduğu gibi Model VI’da da Dow Jones piyasasında tüm katsayılar istatistiksel olarak anlamlı ve GJR GARCH koşullarını sağlamaktadır. Bu piyasada asimetrik etki ve kaldıraç etkisi vardır. Pozitif şokların volatilité üzerinde etkisi olduğu ve negatif şokların volatilité üzerinde etkisini gösteren parametre ( $\alpha+\gamma$ ) değerinin 0.304 olduğu tespit edilmiştir. Ancak hem  $\gamma$  parametresinin pozitif olması hem de  $\alpha+\gamma$  parametre değerinin  $\alpha$  parametre değerinden büyük olması bu piyasada olumsuz şokların volatilitéyi olumlu şoklardan daha fazla etkilediğini göstermektedir. Bunlara ek olarak yine bu modelde de süreç kovaryans durağandır. Litecoin getirisinin tahmin sonuçları ise, bu piyasada asimetrik etki olmadığı dolayısıyla piyasada sadece pozitif şokların volatilité üzerinde etkisi olduğunu belirtmektedir.  $\gamma$  katsayısı negatif (-0.047) ve istatistiksel olarak anlamsız ve  $\alpha+\gamma$  katsayısı 0.061 olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla bu piyasada sadece pozitif şoklar volatilitéyi etkilemektedir. Son olarak  $\alpha+\beta+(0.5*\gamma)$  katsayı değeri 1’den küçük olduğu için süreç kovaryans durağandır.

Sabit koşullu korelasyon katsayısı pozitif (0.1200) olarak hesaplanmış ve %1 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Dow Jones piyasası ile Litecoin piyasası arasındaki korelasyon ilişkisi orta düzeydedir.

Son olarak, kalan üç modelde bağımlı değişkenin bir başka hisse senedi değişkeni olan S&P500 getirileri ile Bitcoin, Ethereum ve Litecoin getirileri arasında kurulan modellerin tahmin sonuçları sırasıyla tablo 3.17, 3.18 ve 3.19’da gösterilmektedir. Tablo 3.17’de, S&P500 ve Bitcoin getirilerinin modellendiği koşullu ortalama, koşullu varyans ve sabit koşullu korelasyon tahmin sonuçlarına yer

verilmektedir. Koşullu ortalama denkleminde, S&P500 piyasası için bitcoin getirilerine ait tahmin edilen katsayıların toplamının 0.0341, bitcoin piyasası için S&P500 getirilerine ait katsayıların toplamının -0.3749 olarak hesaplandığı tahmin sonuçlarına yer verilmektedir.

**Tablo 3.17: Model VII için VAR(9)-CCC-GJR GARCH(1,1)**

	<b>gsp500</b>	<b>gbtc</b>
<b>Ortalama Denklemi</b>		
Sabit	0.000432 (0.00032) [1.3447]	0.003266 (0.00142) [2.3003]
gsp500(-1)	-0.14648 (0.02873) [-5.0988]	-0.03590 (0.12707) [-0.2825]
gsp500(-2)	0.067728 (0.02891) [2.3423]	-0.06222 (0.12789) [-0.4865]
gsp500(-3)	0.061085 (0.02861) [2.1350]	-0.02336 (0.12654) [-0.1846]
gsp500(-4)	-0.07927 (0.02837) [-2.7942]	-0.015813 (0.12549) [-0.1260]
gsp500(-5)	-0.006542 (0.02845) [-0.2299]	0.13796 (0.1258) [1.0964]
gsp500(-6)	-0.11188 (0.02839) [-3.9416]	-0.09825 (0.12555) [-0.7825]
gsp500(-7)	0.158054 (0.02850) [5.5456]	0.07972 (0.12606) [0.6324]
gsp500(-8)	-0.05390 (0.02862) [-1.8834]	-0.31595 (0.12660) [-2.4957]
gsp500(-9)	0.14285 (0.02840) [5.0304]	-0.04115 (0.12561) [-0.3276]
gbtc(-1)	-0.00254 (0.00656) [-0.3873]	-0.008074 (0.02901) [-0.2782]
gbtc(-2)	0.02250 (0.00654) [3.4390]	0.027571 (0.02894) [0.9527]
gbtc(-3)	0.000765 (0.00655) [0.1168]	0.045434 (0.02895) [1.5692]
gbtc(-4)	0.008005 (0.00655) [1.2213]	0.021298 (0.02899) [0.7346]
gbtc(-5)	0.002827 (0.00655) [0.4314]	-0.035107 (0.02899) [-1.2110]
gbtc(-6)	0.021694 (0.00654) [3.3160]	0.025416 (0.02894) [0.8783]
gbtc(-7)	0.00459 (0.00655) [0.7025]	0.027615 (0.02895) [0.9538]
gbtc(-8)	-0.01444 (0.00654) [-2.2091]	0.044573 (0.02893) [1.5407]
gbtc(-9)	-0.00922 (0.00656) [-1.4061]	-0.02791 (0.02903) [-0.9615]
<b>Varyans Denklemi</b>		
Sabit	0.037686 [3.441] {0.0006}	1.788917 [1.683] {0.0927}

$\alpha$	0.117503 [2.347] {0.0191}	0.066053 [2.275] {0.0231}
$\beta$	0.748337 [16.93] {0.0000}	0.833292 [11.61] {0.0000}
$\gamma$	0.229316 [2.865] {0.0042}	0.059273 [0.8906] {0.3733}
$\alpha+\beta+\gamma$	<b>0.980499</b>	<b>0.928981</b>
<b>Kovaryans Denklemi</b>		
$\rho$	<b>0.12367</b> [4.547] {0.0000}	

() parantez içerisindeki değerler standart hata

[] parantez içerisindeki değerler t-değerleri

{ } parantez içerisindeki değerler prob değerleri

S&p500 hisse senedi ile bitcoin arasındaki koşullu varyans ve sabit koşullu korelasyon tahmin sonuçlarına göre S&P500 hisse senedi piyasasına ait pozitif şokların volatiliteye etki parametresi olan  $\alpha$  katsayı değeri 0.117,  $\beta$  katsayı değeri 0.748 ve piyasada asimetrik etkiyi gösteren parametre  $\gamma$  katsayı değeri 0.229 olarak hesaplanmış olup üç parametre de istatistiksel olarak anlamlıdır ve GJR GARCH koşulunu sağlamaktadırlar.  $\gamma$  parametresi sıfırdan farklı ve pozitiftir. Bu durum S&P500 piyasasında asimetrik etki ve kaldıraç etkisi bulunduğu anlamına gelmektedir. Negatif şokların volatilité üzerinde etkisini gösteren katsayı ( $\alpha+\gamma$ ) değeri 0.346 dır. Yani bu piyasada olumsuz şoklar volatilitéyi olumlu şoklardan daha fazla etkilemektedir. Sürecin kovaryans durağanlığını gösteren  $\alpha+\beta+(0.5*\gamma)$  katsayısı 0.980 olup 1'den küçük olma koşulunu sağlamaktadır. Dolayısıyla süreç kovaryans durağandır. Bitcoin getirisi için  $\alpha$  parametre katsayısı 0.066,  $\beta$  parametre katsayısı 0.833 ve  $\gamma$  parametre katsayısı 0.059 olarak tahmin edilmiştir.  $\gamma$  parametresi sıfırdan farklı, pozitif ancak istatistiksel olarak anlamlı değildir. Dolayısıyla Bitcoin piyasasında asimetrik etki bulunmamaktadır. Sürecin kovaryans durağan koşulu ( $\alpha+\beta+(0.5*\gamma)>1$ ) katsayısı 0.928 olarak hesaplanmış ve dolayısıyla süreç kovaryans durağan sonucu elde edilmiştir.

Sabit koşullu korelasyon sonuçlarına göre  $\rho$  katsayısı pozitif (0.1236) olarak hesaplanmış olması ve %1 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı çıkması, S&P500 piyasası ile bitcoin piyasası arasında orta yönlü bir korelasyon ilişkisi olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.18'de S&P500 ve Ethereum getirilerinin modellendiği tahmin sonuçları bulunmaktadır. Koşullu ortalama denklem tahmin sonuçları, S&P500 piyasasında ethereum getirilerine ait katsayıların toplamının 0.0142, Ethereum piyasasında S&P500 getirisine ait katsayıların toplamının -0.2366 olduğunu göstermektedir.

**Tablo 3.18: Model VIII için VAR(9)-CCC-GJR GARCH(1,1)**

	<b>gsp500</b>	<b>geth</b>
<b>Ortalama Denklemi</b>		
Sabit	0.000476 (0.00032) [1.4791]	0.004132 (0.00195) [2.1145]
gsp500(-1)	-0.14208 (0.02879) [-4.9353]	-0.05717 (0.17485) [-0.3269]
gsp500(-2)	0.064621 (0.02892) [2.2343]	0.124755 (0.17566) [0.7102]
gsp500(-3)	0.05789 (0.02860) [2.0243]	0.00920 (0.17371) [0.0529]
gsp500(-4)	-0.08070 (0.02846) [-2.8358]	-0.01610 (0.17284) [-0.0931]
gsp500(-5)	-0.00258 (0.02855) [-0.0906]	0.09015 (0.17342) [0.5198]
gsp500(-6)	-0.10289 (0.02847) [-3.6145]	-0.12283 (0.17289) [-0.7104]
gsp500(-7)	0.16008 (0.02856) [5.6060]	0.148738 (0.17344) [0.8575]
gsp500(-8)	-0.05522 (0.02871) [-1.9234]	-0.26337 (0.17439) [-1.5103]
gsp500(-9)	0.14117 (0.02846) [4.9606]	-0.15001 (0.17284) [-0.8679]
geth(-1)	-0.00347 (0.00478) [-0.7268]	0.009106 (0.02906) [0.3133]
geth(-2)	0.017194 (0.00478) [3.5961]	0.045923 (0.02904) [1.5814]
geth(-3)	0.002425 (0.00480) [0.5046]	0.012530 (0.02918) [0.4293]
geth(-4)	0.007535 (0.00481) [1.5681]	0.051764 (0.02918) [1.7736]
geth(-5)	-0.000936 (0.00482) [-0.1944]	-0.001250 (0.02925) [-0.0427]
geth(-6)	0.006762 (0.00481) [1.4062]	-0.00949 (0.02920) [-0.3252]
geth(-7)	0.001699 (0.00481) [0.3533]	0.008693 (0.02920) [0.2977]
geth(-8)	-0.01192 (0.00480) [-2.4845]	0.04063 (0.02914) [1.3941]
geth(-9)	-0.00503 (0.00481) [-1.0479]	0.027369 (0.02920) [0.9373]
<b>Varyans Denklemi</b>		
Sabit	0.037190 [3.540] {0.0004}	2.984302 [1.517] {0.1294}
$\alpha$	0.132363 [2.377] {0.0176}	0.084902 [3.070] {0.0022}
$\beta$	0.735383 [17.13] {0.0000}	0.853987 [11.81] {0.0000}

$\gamma$	0.236948 [2.929] {0.0035}	-0.000501 [-0.00796] {0.9936}
$\alpha+\beta+\gamma$	<b>0.986221</b>	<b>0.938639</b>
<b>Kovaryans Denklemi</b>		
$\rho$	<b>0.12582</b> [4.693] {0.0000}	

() parantez içerisindeki değerler standart hata

[] parantez içerisindeki değerler t-değerleri

{ } parantez içerisindeki değerler prob değerleri

Koşullu varyans tahmin sonuçları incelendiğinde, S&P500 hisse senedi piyasasına ait  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\alpha+\beta$  ve  $\alpha+\beta+(0.5*\gamma)$  katsayı değerleri sırasıyla 0.132, 0.735, 0.236, 0.369 ve 0.986 olarak hesaplanmıştır. Tüm katsayılar istatistiksel olarak anlamlı ve GJR GARCH koşulunu sağlamaktadır. S&P500 piyasasında asimetric etki ve kaldıraç etkisi bulunmaktadır. Pozitif şokların volatilité üzerinde etki katsayısı 0.132 iken negatif şokların volatilité üzerinde etki katsayısı 0.369 dur. Yani bu piyasada volatilité üzerinde olumsuz şokların etkisi daha fazladır. Ayrıca süreç kovaryans durağandır. Ethereum getirisine ait  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\alpha+\gamma$  ve  $\alpha+\beta+(0.5*\gamma)$  katsayı değerleri sırasıyla 0.084, 0.853, -0.0005, 0.0844 ve 0.938 olarak tahmin edilmiştir.  $\gamma$  parametresi negatif ve istatistiksel olarak anlamsız olduğu için bu piyasada kaldıraç etkisi bulunmamaktadır. Son olarak süreç kovaryans durağandır

Sabit koşullu korelasyon ( $\rho$ ) katsayısı pozitif (0.1258) ve %1 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır. Bundan dolayı, S&P500 piyasası ile ethereum piyasası arasında orta derecede korelasyon ilişkisi olduğunu söyleyebiliriz.

Tablo 3.19 ise son model olan S&P500 ile Litecoin getirilerinin modellendiği Model IX tahmin sonuçlarını göstermektedir. Koşullu ortalama denklemi tahmin sonuçlarına göre S&P500 piyasasında Litecoin getirilerinin katsayıları toplamı 0.01910, Litecoin piyasasında S&P500 getirilerinin katsayıları toplamı 0.1052 olduğu gözlenmektedir.

**Tablo 3.19: Model IX için VAR(9)-CCC-GJR GARCH(1,1)**

	<b>gsp500</b>	<b>gltc</b>
<b>Ortalama Denklemi</b>		
Sabit	0.000491 (0.00032) [1.5309]	0.002989 (0.00204) [1.4640]
gsp500(-1)	-0.14453 (0.02864) [-5.0464]	-0.02615 (0.18232) [-0.1434]
gsp500(-2)	0.07654 (0.02889) [2.6498]	0.192035 (0.18387) [1.0444]
gsp500(-3)	0.05905 (0.02856) [2.0679]	0.126807 (0.18180) [0.6975]
gsp500(-4)	-0.07512 (0.02841) [-2.6442]	-0.13684 (0.18085) [-0.7566]
gsp500(-5)	-0.00990 (0.02849) [-0.3477]	-0.00544 (0.18135) [-0.0300]
gsp500(-6)	-0.10702 (0.02841) [-3.7664]	-0.05375 (0.18087) [-0.2971]
gsp500(-7)	0.157324 (0.02853) [5.5149]	0.127834 (0.18159) [0.7039]
gsp500(-8)	-0.06697 (0.02870) [-2.3335]	-0.22990 (0.18269) [-1.2584]
gsp500(-9)	0.139548 (0.02845) [4.9049]	-0.10521 (0.18110) [-0.5809]
gltc(-1)	-0.00234 (0.00454) [-0.5154]	0.036339 (0.02892) [1.2566]
gltc(-2)	0.011031 (0.00455) [2.4262]	0.019451 (0.02894) [0.6721]
gltc(-3)	0.001526 (0.00455) [0.3355]	-0.007590 (0.02894) [-0.2622]
gltc(-4)	0.001499 (0.00454) [0.3298]	0.06679 (0.02892) [2.3091]
gltc(-5)	0.000866 (0.00454) [0.1906]	-0.038534 (0.02893) [-1.3320]
gltc(-6)	0.006957 (0.00453) [1.5344]	-0.02086 (0.02886) [-0.7228]
gltc(-7)	0.006763 (0.00454) [1.4906]	0.026711 (0.02888) [0.9248]
gltc(-8)	-0.000614 (0.00454) [-0.1351]	0.0000593 (0.02892) [-0.0205]
gltc(-9)	-0.00658 (0.00454) [-1.4497]	-0.01269 (0.02889) [-0.4394]
<b>Varyans Denklemi</b>		
Sabit	0.035057 [3.497] {0.0005}	4.731183 [1.507] {0.1322}
$\alpha$	0.121218 [2.438] {0.0149}	0.109769 [2.100] {0.0360}
$\beta$	0.744506 [18.70] {0.0000}	0.819952 [9.266] {0.0000}
$\gamma$	0.239853 [3.103]	-0.048317 [-0.9434]

	{0.0020}	{0.3456}
$\alpha+\beta+\gamma$	<b>0.98565</b>	<b>0.905563</b>
<b>Kovaryans Denklemi</b>		
$\rho$	<b>0.12700</b>	
	[4.792]	
	{0.0000}	

() parantez içerisindeki değerler standart hata

[] parantez içerisindeki değerler t-değerleri

{ } parantez içerisindeki değerler prob değerleri

Model IX'a ait ilk model için koşullu varyans tahmin sonuçları, S&P500 hisse senedi piyasasına ait  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\alpha+\gamma$  ve  $\alpha+\beta+(0.5*\gamma)$  katsayılarının sırasıyla 0.121, 0.744, 0.239, 0.361 ve 0.985 olarak tahmin edildiğini göstermektedir. S&P500 piyasasında asimetrik etki ve kaldıraç etkisi bulunmakta olup bu piyasada olumsuz haberler volatilitiyi olumlu haberlerden daha fazla etkilemektedir. Litecoin piyasasına ait  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\alpha+\gamma$  ve  $\alpha+\beta+(0.05*\gamma)$  katsayılar ise sırasıyla 0.109, 0.819, -0.048, 0.061 ve 0.905 dir.  $\alpha$  ve  $\beta$  parametreleri istatistiksel olarak anlamlı ancak  $\gamma$  parametresi istatistiksel olarak anlamsızdır. Dolayısıyla bu piyasada kaldıraç etkisi bulunmamaktadır. Model IX için her iki piyasada da süreç kovaryans durağandır.

Sabit koşullu korelasyon ( $\rho$ ) katsayısı model IX için de pozitif (0.1270) ve %1 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır. Dolayısıyla model IX için, S&P500 piyasası ile litecoin piyasası arasında orta yönlü bir korelasyon ilişkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Çalışmada incelenen dokuz ayrı model için koşullu ortalama, koşullu varyans ve sabit koşullu korelasyon katsayıları incelendikten sonra modellerde otokorelasyon sorununun varlığını sınavan Q istatistiği ile modellerin volatilitiyi tahminlemede başarılı olup olmadıklarını test eden Hosking'in portmanteau testi yapılmıştır. Model I için bu testin sonuçları tablo 3.20'de gösterilmektedir.

**Tablo 3.20: Model I için CCC-GJR-GARCH Portmanteau Testi**

Gecikme	Hosking Portmanteau		Li ve McLeod Portmanteau	
	Q	Q <sup>2</sup>	Q	Q <sup>2</sup>
5	14.4546 (0.8067)	26.6813 (0.0851)	14.4700 (0.8058)	26.6733 (0.0853)
10	38.5403 (0.5360)	55.4009 (0.0338)	38.5225 (0.5368)	55.3221 (0.0343)
20	76.9507 (0.5758)	72.7165 (0.6477)	76.9860 (0.5747)	72.9082 (0.6417)
50	171.941 (0.9251)	181.068 (0.8002)	172.666 (0.9193)	181.888 (0.7878)

Tablo 3.20'de gösterilen model I için her iki portmanteau test sonuçlarına göre Q istatistiği modelde otokorelasyon sorunu olmadığını ve Q<sup>2</sup> istatistiği ise modellerin volatilitiyi tahminlemede başarılı olduklarını göstermektedir. Diğer modeller için hesaplanan portmanteau test sonuçları tablo (3.21)-(3.28) arasında gösterilmektedir.

**Tablo 3.21: Model II için CCC-GJR-GARCH Portmanteau Testi**

Gecikme	Hosking Portmanteau		Li ve McLeod Portmanteau	
	Q	Q <sup>2</sup>	Q	Q <sup>2</sup>
5	14.6876 (0.7939)	18.7280 (0.4087)	14.6950 (0.7935)	18.7361 (0.4082)
10	29.1873 (0.8966)	38.7045 (0.4377)	29.2271 (0.8956)	38.7008 (0.4378)
20	64.0902 (0.9029)	64.2801 (0.8678)	64.2272 (0.9008)	64.4509 (0.8644)
50	171.119 (0.9314)	196.448 (0.5178)	171.629 (0.9275)	196.400 (0.5187)

**Tablo 3.22: Model III için CCC-GJR-GARCH Portmanteau Testi**

Gecikme	Hosking Portmanteau		Li ve McLeod Portmanteau	
	Q	Q <sup>2</sup>	Q	Q <sup>2</sup>
5	14.6190 (0.7977)	9.00626 (0.9595)	14.6243 (0.7974)	9.03690 (0.9588)
10	34.0684 (0.7335)	17.1921 (0.9985)	34.0714 (0.7334)	17.2994 (0.9984)
20	72.4421 (0.7137)	31.0158 (0.9999)	72.4893 (0.7123)	31.4405 (0.9999)
50	165.243 (0.9653)	143.219 (0.9987)	166.076 (0.9615)	144.098 (0.9985)

Model I,II ve III için tüm gecikmelerde otokorelasyon sorunu olmadığı ve %1 anlamlılık düzeyinde modellerin volatilité tahminlemede başarılı oldukları sonucuna ulaşılmıştır.

**Tablo 3.23: Model IV için CCC-GJR-GARCH Portmanteau Testi**

Gecikme	Hosking Portmanteau		Li ve McLeod Portmanteau	
	Q	Q <sup>2</sup>	Q	Q <sup>2</sup>
5	36.1206 (0.0148)	27.1549 (0.0761)	36.1005 (0.0149)	27.1361 (0.0764)
10	74.6251 (0.0007)	38.4998 (0.4468)	74.4776 (0.0007)	38.5345 (0.4453)
20	105.198 (0.0310)	99.0420 (0.0541)	105.198 (0.0310)	98.8880 (0.0553)
50	211.241 (0.2792)	225.729 (0.0859)	211.663 (0.2724)	225.674 (0.0863)

**Tablo 3.24: Model V için CCC-GJR-GARCH Portmanteau Testi**

Gecikme	Hosking Portmanteau		Li ve McLeod Portmanteau	
	Q	Q <sup>2</sup>	Q	Q <sup>2</sup>
5	34.2995 (0.0241)	29.3747 (0.0439)	34.2853 (0.0242)	29.3553 (0.0442)
10	63.3967 (0.0106)	42.5870 (0.2802)	63.3232 (0.0108)	42.6099 (0.2793)
20	94.8066 (0.1235)	92.1292 (0.1309)	94.8641 (0.1227)	93.0731 (0.1317)
50	197.681 (0.5330)	202.237 (0.4032)	198.324 (0.5202)	202.427 (0.3996)



**Tablo 3.25: Model VI için CCC-GJR-GARCH Portmanteau Testi**

Gecikme	Hosking Portmanteau		Li ve McLeod Portmanteau	
	Q	Q <sup>2</sup>	Q	Q <sup>2</sup>
5	28.9318 (0.0891)	14.9409 (0.6660)	28.9256 (0.0892)	14.9487 (0.6654)
10	54.8715 (0.0588)	34.9471 (0.6113)	54.8327 (0.0592)	34.9674 (0.6104)
20	87.0920 (0.2751)	58.0352 (0.9559)	87.1682 (0.2732)	58.2749 (0.9536)
50	203.539 (0.4171)	142.505 (0.9989)	203.750 (0.4130)	143.961 (0.9985)

Model IV, V ve VI tabloları incelendiğinde, model IV için her iki portmanteau testine göre 20 ve 50 gecikmede %1 anlam düzeyinde otokorelasyon sorunu olmadığı ve tüm gecikmelerde %1 düzeyinde modellerin volatilité tahminlemede başarılı oldukları gözlenmektedir. Model V için de 20 ve 50 gecikmede otokorelasyon sorunu olmadığı ve modellerin volatilité tahminlemede tüm gecikmelerde %1 anlam düzeyinde başarılı oldukları tespit edilmiştir. Model VI için ise %1 anlam düzeyinde tüm gecikmelerde otokorelasyon sorunu olmadığı ve modellerin volatilité tahminlemede başarılı oldukları sonucu elde edilmiştir.

**Tablo 3.26: Model VII için CCC-GJR-GARCH Portmanteau Testi**

Gecikme	Hosking Portmanteau		Li ve McLeod Portmanteau	
	Q	Q <sup>2</sup>	Q	Q <sup>2</sup>
5	34.1032 (0.0254)	21.4396 (0.2578)	34.0850 (0.0255)	21.4369 (0.2579)
10	69.1603 (0.0028)	33.5485 (0.6753)	69.0404 (0.0029)	33.5958 (0.6732)
20	106.067 (0.0272)	76.5124 (0.5264)	106.021 (0.0274)	76.5702 (0.5245)
50	220.180 (0.1562)	202.693 (0.3945)	220.421 (0.1535)	202.981 (0.3890)

**Tablo 3.27: Model VIII için CCC-GJR-GARCH Portmanteau Testi**

Gecikme	Hosking Portmanteau		Li ve McLeod Portmanteau	
	Q	Q <sup>2</sup>	Q	Q <sup>2</sup>
5	31.8476 (0.0449)	17.6495 (0.4789)	31.8402 (0.0450)	17.6563 (0.4785)
10	55.3782 (0.0536)	30.8885 (0.7867)	55.3491 (0.0539)	30.9368 (0.7849)
20	95.5617 (0.1130)	76.6545 (0.5218)	95.5643 (0.1130)	76.6535 (0.5219)
50	214.697 (0.2264)	172.881 (0.9007)	214.924 (0.2231)	173.578 (0.8939)

**Tablo 3.28: Model IX için CCC-GJR-GARCH Portmanteau Testi**

Gecikme	Hosking Portmanteau		Li ve McLeod Portmanteau	
	Q	Q <sup>2</sup>	Q	Q <sup>2</sup>
5	26.8034 (0.1408)	9.70024 (0.9412)	26.8021 (0.1409)	9.72196 (0.9406)
10	53.7909 (0.0712)	27.5199 (0.8954)	53.7416 (0.0719)	27.5669 (0.8942)
20	93.2441 (0.1477)	46.7904 (0.9980)	93.2244 (0.1480)	47.0957 (0.9978)
50	219.432 (0.1648)	118.345 (0.9999)	219.299 (0.1663)	120.128 (0.9999)

Tablo (3.26)-(3.27)-(3.28) sonuçlarına göre model VII için her iki portmanteau testine göre 50 gecikmede otokorelasyon sorunu olmadığı ve tüm gecikmelerde modellerin volatilitate tahminlemede başarılı oldukları gözlenmektedir. Model VIII için tüm gecikmelerde otokorelasyon sorunu olmadığı ve modellerin volatilitate tahminlemede başarılı oldukları tespit edilmiştir. Model IX için ise %1 anlam düzeyinde tüm gecikmelerde otokorelasyon sorunu olmadığı ve modellerin volatilitate tahminlemede başarılı oldukları sonucuna ulaşılmıştır.

Çalışmada incelenen tüm modeller için her iki piyasa arasındaki ilişkinin yönü ve anlamlılığını incelemek amacıyla Granger nedensellik testi yapılmaktadır. Yani çalışmanın bu aşamasında her bir modelde incelenen iki piyasanın volatilitelerinin birbirini etkileyip etkilemediğini test etmek amacıyla Granger nedensellik testi yapılmıştır. İstatistiki olarak anlamlı çıkan Granger nedensellik testi sonuçlarının bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni ne yönde etkilediğini belirtmek amacıyla gecikmelere ait katsayıları toplanarak köşeli parantez içinde gösterilmiştir.

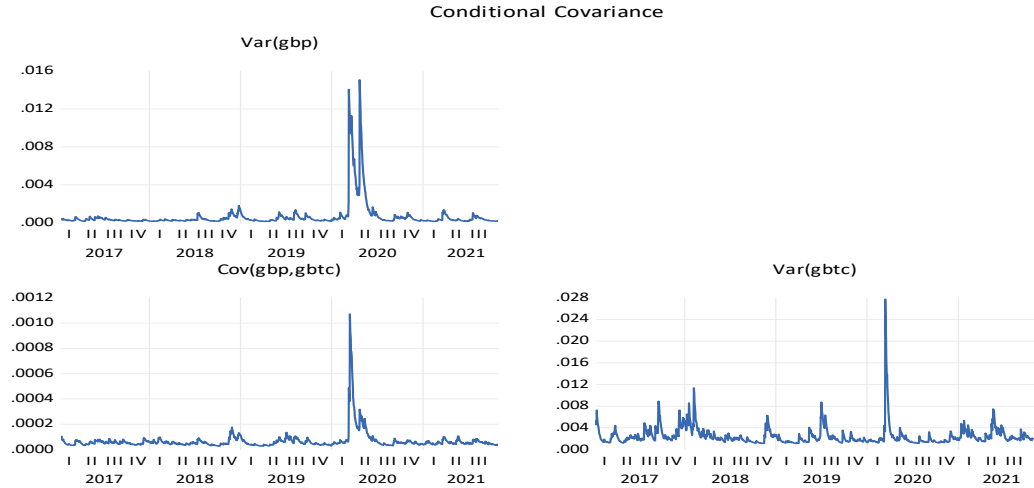
**Tablo 3.29: Model I için Granger Nedensellik Testi**

Hipotez	İstatistiki değerler	
	(-)	(+)
$h_{gbist} \rightarrow gbist$		[0.3849] (0.0001) $\{\chi^2 32.9539\}$
$gbist \rightarrow h_{gbist}$	[-0.0041] (0.0000) $\{\chi^2 746.8980\}$	
$h_{gbtc} \rightarrow gbist$		[0.0804] (0.0017) $\{\chi^2 28.1611\}$
$gbist \rightarrow h_{gbtc}$	[-0.0052] (0.0001) $\{\chi^2 36.5374\}$	
$h_{gbist} \rightarrow gbtc$		[2.9784] (0.3987) $\{\chi^2 2.9541\}$
$gbtc \rightarrow h_{gbist}$	[-0.000394] (0.0000) $\{\chi^2 27.3207\}$	
$h_{gbtc} \rightarrow gbtc$	[-0.0696] (0.0077) $\{\chi^2 19.1640\}$	
$gbtc \rightarrow h_{gbtc}$	[-0.0015] (0.0353) $\{\chi^2 15.0579\}$	
$h_{gbtc} \rightarrow h_{gbist}$	[-0.0011] (0.0000) $\{\chi^2 50.3126\}$	
$h_{gbist} \rightarrow h_{gbtc}$	[-0.0249] (0.0025) $\{\chi^2 16.4443\}$	

Model I için elde edilen Granger nedensellik testi sonuçlarına göre, BİST100 volatilitésinin BİST100 getirileri üzerinde ve BİST100 getirisinin kendi volatilitésini üzerinde etkisi olduğu gözlenmektedir. BİST100 volatilitésini, kendi getirisini pozitif, BİST100 getirisi ise volatilitésini negatif yönde etkilemektedir. Sonuç olarak, BİST100 getirisinden kendi volatilitésine ve BİST100 volatilitésinden kendi getirisine doğru çift yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu tespit edilmiştir. Bitcoin volatilitésinin BİST100

getirisi üzerinde etkisi olduğu ve bu etkinin pozitif yönlü olduğu tespit edilmiştir. BİST100 getirisinin ise bitcoin volatilitesi üzerinde etkisi negatif yönlüdür. Bitcoin volatilitesi ile BİST100 getirisi arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur. BİST100 ile Bitcoin kovaryansları incelendiğinde ise kovaryansın BİST100 getirisi üzerinde önemli bir etkisi olduğu ve bu etkinin negatif yönlü olduğu gözlenmektedir. BİST100 getirisinden kovaryansa doğru ise anlamlı bir etki olduğu ve bu etkinin negatif yönlü olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu etki çok zayıf düzeydedir. Sonuç olarak kovaryansdan BİST100 getirisine ve BİST100 getirisinden kovaryansa doğru bir çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. BİST100 volatilitesinin bitcoin getirisi üzerinde anlamlı etki bulunamamıştır. Ancak bitcoin getirisinin BİST100 volatilitesi üzerinde %1 düzeyinde anlamlı etkisi olduğu gözlenmektedir. Bu etki negatif yönlü olmakla birlikte çok zayıf düzeydedir. Dolayısıyla Bitcoin getirisinden BİST100 volatilitesine doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi vardır. Bitcoin volatilitesinin bitcoin getirisi ve bitcoin getirisinin kendi volatilitesi üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmaktadır. Her iki yönlü etki negatiftir. Dolayısıyla bu durumda da çift yönlü nedensellik ilişkisi olduğu tespit edilmiştir. BİST100 ve Bitcoin kovaryanslarının bitcoin getirisi üzerinde %10 anlam düzeyinde pozitif yönlü etkisi ve bu etkinin güçlü düzeyde olduğu sonucuna varılmıştır. Bitcoin getirisinin ise kovaryansları üzerinde negatif yönlü anlamlı etkisi olduğu ancak bu etkinin çok zayıf düzeyde olduğu gözlenmektedir. Sonuç olarak aralarında tek yönlü nedensellik ilişkisi vardır. Son olarak her iki piyasanın volatiliteleri arasındaki nedensellik ilişkisi incelendiğinde, BİST100 volatilitesinin bitcoin volatilitesi üzerinde ve Bitcoin volatilitesinin BİST100 volatilitesi üzerinde anlamlı etkisi bulunmakla birlikte bu etki negatif yönlüdür. Ancak negatif yönlü bu etki zayıf düzeydedir. Özetle, Granger nedensellik analizi iki varlığın birlikte hareketinin, Bitcoin oynaklığından BİST100 getirisine ve BİST100 getirisinde Bitcoin oynaklığına, Bitcoin oynaklığından Bist100 oynaklığına ve Bist100 oynaklığından Bitcoin oynaklığına, iki varlığın kovaryansından Bitcoin ve Bist100 getirisine, Bitcoin ve Bist100 getirisinden kovaryanslarına doğru karşılıklı olduğunu ortaya koymaktadır. Aşağıda model I'e ait koşullu varyans-kovaryans grafikleri gösterilmektedir.

### Grafik 3.3: Model I Koşullu Varyans-Kovaryans Grafikleri



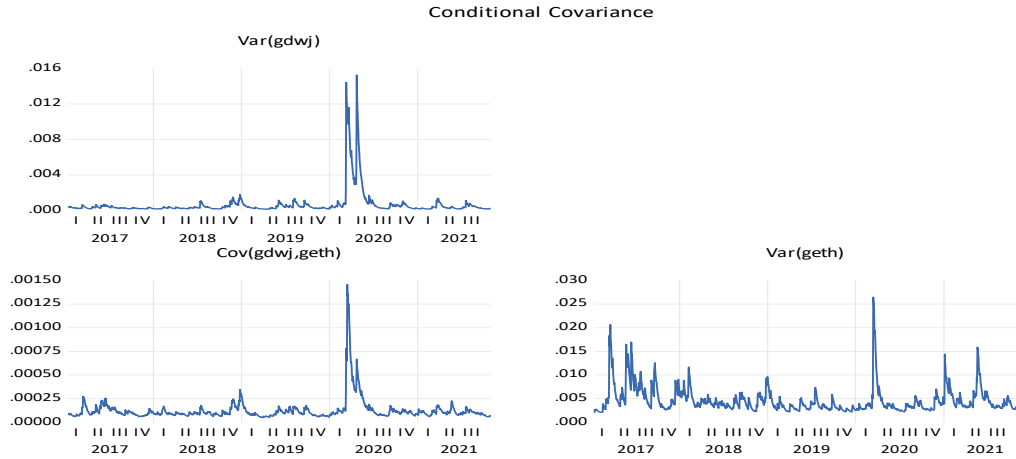
Model II'ye ait Granger nedensellik testi sonuçları tablo 3.30'da gösterilmektedir. Model II'de elde edilen koşullu varyans ve kovaryans sonuçlarına göre Bist100 volatilitesinde Bist100 getirisine doğru pozitif yönlü anlamlı bir etki olduğu tespit edilmiştir. Bist100 getirilerinin Bist100 volatilitesi üzerindeki etkisi ise anlamlı ancak negatif yönlüdür. Bist100 getirisinin kendi volatilitesi üzerindeki bu negatif etki oldukça zayıftır. Model II için, Bist100 getirisi ile Bist100 volatilitesi arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi olduğu tespit edilmiştir. Ethereum volatilitesinin Bist100 getirisi üzerinde etkisi istatistiksel olarak anlamlı değildir. Bist100 getirisinin ise ethereum volatilitesi üzerinde negatif yönlü anlamlı bir etkisi olduğu ancak bu etkinin zayıf düzeyde olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak Ethereum volatilitesi ile Bist100 getirisi arasında, Bist100 getirisinden Ethereum volatilitesine olmak üzere tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Bist100 ile Ethereum kovaryanslarının Bist100 getirisi üzerinde anlamlı etkisi olmadığı ancak Bist100 getirisinin kovaryanslarının üzerinde negatif yönlü zayıf düzeyde etkisi olduğu gözlenmektedir. Dolayısıyla aralarında tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunmaktadır.

**Tablo 3.30: Model II Granger Nedensellik testi**

Hipotez	İstatistikî değerler	
	(-)	(+)
$h_{gbist} \rightarrow gbist$		0.4407 (0.0001) $\{\chi^2 32.9081\}$
$gbist \rightarrow h_{gbist}$	-0.0046 (0.0000) $\{\chi^2 750.3126\}$	
$h_{geth} \rightarrow gbist$		0.0554 (0.4022) $\{\chi^2 4.0284\}$
$gbist \rightarrow h_{geth}$	-0.0114 (0.0047) $\{\chi^2 15.0202\}$	
$h_{gbist} \rightarrow geth$	-3.2344 (0.3564) $\{\chi^2 3.2375\}$	
$geth \rightarrow h_{gbist}$	-0.00042 (0.0000) $\{\chi^2 36.1550\}$	
$h_{geth} \rightarrow geth$		0.3888 (0.5279) $\{\chi^2 0.3983\}$
$geth \rightarrow h_{geth}$		0.0015 (0.0058) $\{\chi^2 7.6122\}$
$h_{geth} \rightarrow h_{gbist}$	-0.0006 (0.0000) $\{\chi^2 26.7335\}$	
$h_{gbist} \rightarrow h_{geth}$	-0.0807 (0.0587) $\{\chi^2 9.0964\}$	

Bist100 volatilitésinin ethereum getirisi üzerinde anlamlı etkisi olmadığı ancak ethereum getirisinin Bist100 volatilitésini üzerinde negatif yönlü zayıf düzeyde anlamlı etkisi olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla Ethereum getirisinden Bist100 volatilitésine doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ethereum volatilitésinin Ethereum getirisi üzerinde anlamlı etki bulunmamaktadır. Ethereum getirisinin Ethereum volatilitésini üzerinde pozitif yönlü anlamlı etki olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu etki zayıf ölçüdedir. Ethereum getirisi ile Ethereum volatilitésini arasında tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Bist100 ve ethereum kovaryanslarının Ethereum getirisini etkilemez iken, ethereum getirisi kovaryanslarını negatif yönde zayıf bir şekilde etkilemektedir. Sonuç olarak aralarında tek yönlü nedensellik ilişkisi vardır. Son olarak her iki piyasanın volatiliteleri arasındaki nedensellik ilişkisi incelendiğinde, Bist100 volatilitésini Ethereum volatilitésini ve Ethereum volatilitésini Bist100 volatilitésini negatif yönde ve zayıf düzeyde etkilemektedir. Her iki varlığın volatiliteleri arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Özetle, Granger nedensellik analizi iki varlığın birlikte hareketinin, Ethereum getirisinden Bist100 oynaklığına, Bist100 getirisinden Ethereum oynaklığına ve bu iki varlığın getirilerinden kovaryanslarına kadar gözlemlenebileceğini ortaya koymaktadır. Aşağıda model II'ye ait koşullu varyans-kovaryans grafikleri gösterilmektedir.

### Grafik 3.4: Model II Koşullu Varyans-Kovaryans Grafikleri



Tablo 3.31 Model III' ait Granger nedensellik testi sonuçlarını göstermektedir. Bist100 volatilitesinde Bist100 getirisine doğru pozitif, Bist100 getirisinden Bist100 volatilitesine doğru negatif yönlü anlamlı etki olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla aralarında karşılıklı nedensellik etkisi bulunduğu söylenebilmektedir. Bist100 getirisinin kendi volatilitesi üzerindeki etkisi oldukça zayıftır. Litecoin volatilitesinin Bist100 getirisi ve Bist100 getirisinin litecoin volatilitesi üzerinde bir etkisi olmadığı dolayısıyla aralarında nedensellik ilişkisi bulunmadığı tespit edilmiştir. Bist100 ile litecoin kovaryanslarının, Bist100 getirisi ile arasındaki nedensellik ilişkisi incelendiğinde aralarında Bist100 getirisinden kovaryansa doğru tek yönlü nedensellik olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ancak Bist100 getirisinin kovaryansları üzerindeki etkisi oldukça zayıftır.

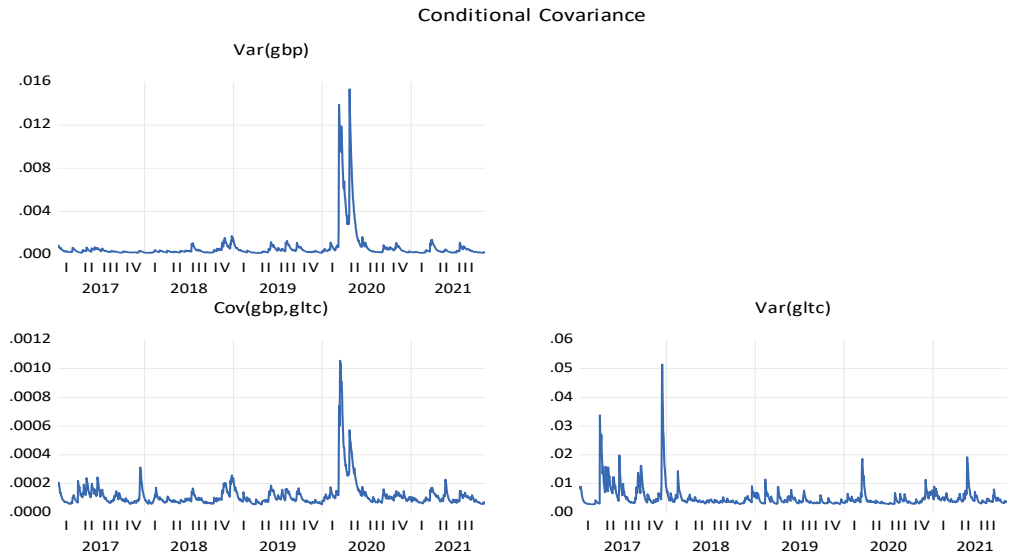
**Tablo 3.31: Model III Granger Nedensellik testi**

Hipotez	İstatistikî değerler	
	(-)	(+)
$h_{gbist} \rightarrow gbist$		0.5613 (0.0000) $\{\chi^2 33.7593\}$
$gbist \rightarrow h_{gbist}$	-0.0043 (0.0000) $\{\chi^2 763.5569\}$	
$h_{gltc} \rightarrow gbist$		0.0848 (0.6623) $\{\chi^2 3.2447\}$
$gbist \rightarrow h_{gltc}$	-0.000099 (0.4173) $\{\chi^2 4.9885\}$	
$h_{gbist} \rightarrow gltc$	-0.1869 (0.3358) $\{\chi^2 3.3862\}$	
$gltc \rightarrow h_{gbist}$	-0.00028 (0.0000) $\{\chi^2 24.1243\}$	
$h_{gltc} \rightarrow gltc$	-0.1409 (0.0550) $\{\chi^2 9.2560\}$	
$gltc \rightarrow h_{gltc}$		0.0109 (0.0000) $\{\chi^2 252.4533\}$
$h_{gltc} \rightarrow h_{gbist}$	-0.00060 (0.5790) $\{\chi^2 2.8747\}$	
$h_{gbist} \rightarrow h_{gltc}$	-0.1268 (0.5495) $\{\chi^2 3.0499\}$	

Bist100 volatilitésinin litecoin getirisi üzerinde etkisinin anlamlı olmadığı ancak litecoin getirisinin Bist100 volatilitési üzerinde etkisinin anlamlı olduğu, bu etkinin negatif yönlü ancak zayıf düzeyde olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak, Bist100 volatilitési ile litecoin getirisi arasında tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Litecoin volatilitésinin litecoin getirisi üzerinde negatif yönlü bir etki olduğu, litecoin getirisinin litecoin volatilitési üzerinde ise pozitif yönlü etkinin olduğu tespit edilmiştir. Her iki durumda da etki zayıf düzeydedir. Aralarında çift yönlü nedensellik ilişkisi vardır. Bist100 ve litecoin kovaryanslarının, litecoin getirisi üzerinde etkisi bulunmamaktadır. Litecoin getirisinin ise kovaryansları üzerinde etkisi negatif yönlü ve zayıf düzeydedir. Elde edilen bulgulara göre aralarında Litecoin getirisinden kovaryanslarına doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi olduğu gözlenmektedir.

Hem Bist100 hem de litecoin piyasalarının volatiliteleri arasındaki nedensellik ilişkisi incelendiğinde, Bist100 volatilitésinin litecoin volatilitési üzerinde ve litecoin volatilitésinin Bist100 volatilitési üzerinde anlamlı bir etki bulunmadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla her iki piyasanın volatiliteleri arasında bir nedensellik ilişkisi bulunamamıştır. Özetle, Granger nedensellik analizi sonuçlarına göre analize dahil edilen Bist100 ve Litecoin varlıklarının sadece Litecoin getirisinden Bist100 volatilitésine ve Litecoin getirisi ile Bist100 getirisinden kovaryanslarına doğru tek yönlü hareket ettikleri gözlenmektedir. Aşağıda model III'e ait koşullu varyans-kovaryans grafikleri gösterilmektedir.

**Grafik 3.5: Model III Koşullu Varyans-Kovaryans Grafikleri**



Model IV için elde edilen Granger nedensellik testi sonuçları tablo 3.32'de gösterilmiştir. Dow Jones volatilitésinin Dow Jones getirileri üzerinde etkisinin anlamlı,

negatif ve orta düzeyde olduğu gözlenmektedir. Dow jones getirilerinin dow jones volatilitesi üzerindeki etkisinin ise negatif ancak zayıf düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak dow jones getirisi ile dow jones volatilitesi arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu tespit edilmiştir. Bitcoin volatilitésinin dow jones getirisi üzerinde pozitif yönlü anlamlı bir etkisi olduğu ancak dow jones getirisinin bitcoin volatilitesi üzerinde negatif yönlü anlamlı bir etkisi olduğu gözlenmektedir. Her iki durum için de etkiler oldukça zayıftır ve aralarında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Dow jones ile bitcoin kovaryansları incelendiğinde ise kovaryansın, dow jones getirisi üzerinde negatif yönlü önemli bir etkiye sahip olduğu, dow jones getirisinin kovaryansları üzerinde ise negatif yönlü ancak zayıf bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak kovaryansdan dow jones getirisine ve dow jones getirisinden kovaryansa doğru çift yönlü nedensellik ilişkisi olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3.32 Model IV'e ait Granger nedensellik testi sonuçlarını göstermektedir. Dow Jones volatilitésinden Dow Jones getirisine, Dow Jones getirisinden Dow Jones volatilitésine doğru istatistiksel olarak anlamlı bir etki bulunmaktadır. Bu etki negatif yönlü olup Dow Jones volatilitesi kendi getirisini önemli ölçüde düşürürken Dow Jones getirisi kendi volatilitésini önemsiz ölçüde düşürmektedir. Dow Jones volatilitesi ile getirisi arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. Dow Jones getirisinin kendi volatilitesi üzerindeki etkisi oldukça zayıftır. Bitcoin volatilitesi Dow Jones getirisini artırırken Dow Jones getirisi Bitcoin volatilitésini düşürmektedir. Aralarında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. Dow Jones ile Bitcoin kovaryansları, Dow Jones getirisini pozitif Dow Jones getirisi ise kovaryanslarını negatif yönde etkilemektedir. Ancak Dow Jones getirisinin kovaryansları üzerindeki etkisi oldukça zayıftır. Bu sonuca göre de aralarında karşılıklı nedensellik ilişkisi bulunduğu tespit edilmiştir.



**Tablo 3.32: Model IV Granger Nedensellik testi**

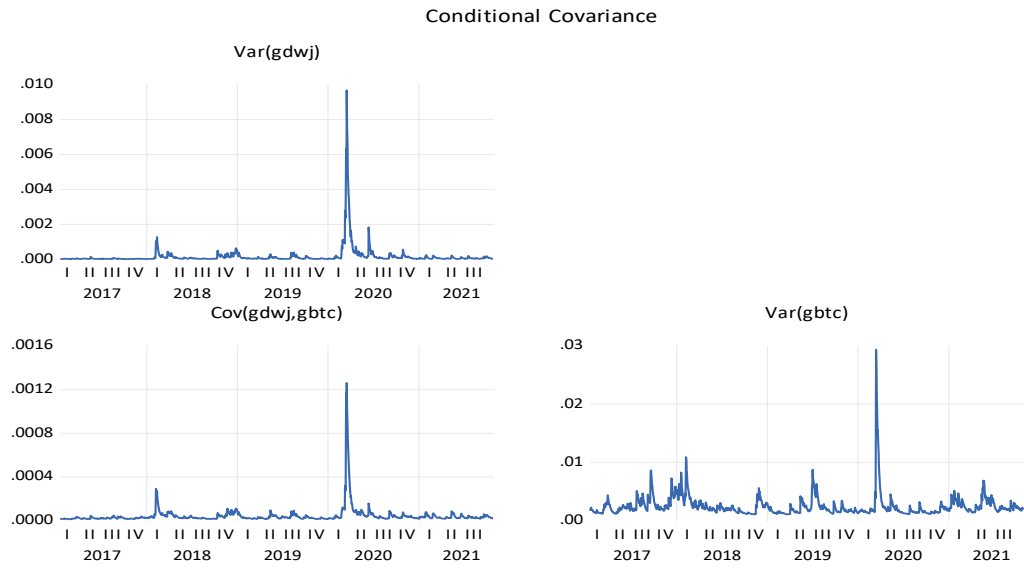
Hipotez	İstatistikî değerler	
	(-)	(+)
$h_{gdwj} \rightarrow gdwj$	-1.2871 (0.0000) $\{\chi^2 238.4133\}$	
$gdwj \rightarrow h_{gdwj}$	-0.0080 (0.0000) $\{\chi^2 980.1054\}$	
$h_{gbtc} \rightarrow gdwj$		0.262 (0.0000) $\{\chi^2 115.5880\}$
$gdwj \rightarrow h_{gbtc}$	-0.0305 (0.0000) $\{\chi^2 186.1719\}$	
$h_{gdwj} \rightarrow gbtc$		0.5227 (0.0017) $\{\chi^2 29.7902\}$
$gbtc \rightarrow h_{gdwj}$	-0.00040 (0.0000) $\{\chi^2 92.5184\}$	
$h_{gbtc} \rightarrow gbtc$	-0.0783 (0.0091) $\{\chi^2 18.7346\}$	
$gbtc \rightarrow h_{gbtc}$	-0.00168 (0.0071) $\{\chi^2 19.3743\}$	
$h_{gbtc} \rightarrow h_{gdwj}$	-0.00215 (0.0000) $\{\chi^2 93.7761\}$	
$h_{gdwj} \rightarrow h_{gbtc}$		0.0188 (0.0000) $\{\chi^2 141.4512\}$

Dow jones volatilitésinin bitcoin getirisi üzerinde ve bitcoin getirisinin dow jones volatilitésini üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etki vardır. Aralarında karşılıklı nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. Dow Jones volatilitésini Bitcoin getirisini pozitif yönde etkilerken Bitcoin getirisi Dow Jones volatilitésini zayıf ölçüde etkilemektedir. Bitcoin volatilitésinin bitcoin getirisi üzerinde ve Bitcoin getirisinin Bitcoin volatilitésini üzerinde etki negatif yönlüdür. Dolayısıyla Bitcoin volatilitésini ile getirisi arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi olduğu tespit edilmiştir. Dow jones ve bitcoin kovaryanslarının, bitcoin getirisi üzerinde %10 düzeyinde anlamlı bir etkisi olduğu ve bu etkinin pozitif yönlü güçlü bir etki olduğu tespit edilmiştir. Yani bu iki varlığın kovaryansları Bitcoin getirisini önemli ölçüde artırmaktadır. Bitcoin getirisinin kovaryansları üzerindeki etkisi de anlamlı ve pozitif yönlüdür ancak çok zayıf bir etkiye sahiptir. Kovaryansları ile bitcoin getirileri arasında çift yönlü nedensellik olduğu sonucuna varılmaktadır.

Model IV için her iki piyasanın volatiliteleri arasındaki nedensellik ilişkisi incelendiğinde, bitcoin volatilitésinin dow jones volatilitésini üzerinde anlamlı ve negatif yönlü etkisi olduğu ancak etkinin zayıf olduğu gözlenmektedir. Dow jones volatilitésinin bitcoin volatilitésini pozitif yönde anlamlı bir şekilde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Yani her iki piyasanın volatiliteleri arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi olduğu ancak bu ilişkinin zayıf etkilere sahip olduğu tespit edilmiştir. Özetle Granger nedensellik testi sonuçları, Dow Jones volatilitésinden Bitcoin getirisine ve Bitcoin getirisinden Dow Jones volatilitésine, Bitcoin volatilitésinden Dow Jones getirisine ve

Dow Jones getirisinden Bitcoin volatilitesine, Bitcoin volatilitesinde Dow Jones volatilitesine ve Dow Jones volatilitesinde Bitcoin volatilitesine doğru karşılıklı nedensellik olduğunu göstermektedir. Ayrıca hem Bitcoin hem de Dow Jones getirileri ile bu iki varlığın kovaryansları arasında da karşılıklı nedensellik vardır. Elde edilen bu bulgulara göre, Dow Jones piyasası ile Bitcoin piyasası arasında karşılıklı ilişki olduğu gözlenmektedir. Aşağıda model IV'e ait koşullu varyans-kovaryans grafikleri gösterilmektedir.

**Grafik 3.6: Model IV Varyans-Koşullu Kovaryans Grafikleri**



Tablo 3.33, model V'e ait Granger nedensellik testi sonuçlarını göstermektedir. Dow Jones volatilitésinin Dow Jones getirileri üzerinde önemli bir negatif etkiye sahip olduğu gözlenmektedir. Dow Jones getirileri ise Dow Jones volatilitésini negatif yönde ancak zayıf düzeyde etkilemektedir. Aralarında çift yönlü nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. Ethereum volatilitésinin Dow Jones getirisini pozitif yönde etkilediği ancak Dow Jones getirisinin Ethereum volatilitésini negatif yönde etkilediği gözlenmektedir. Her iki durum için de etkiler oldukça zayıftır ve aralarında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Dow Jones ile Ethereum kovaryansları incelendiğinde ise kovaryansın, Dow Jones getirisi üzerinde ve Dow Jones getirisinin kovaryansları üzerinde etkisinin negatif yönlü olduğu tespit edilmiştir. Dow Jones getirisinin kovaryansları üzerindeki etkisi oldukça düşük iken bu iki varlığın kovaryansları Dow Jones getirisini önemli ölçüde düşürmektedir. Sonuç olarak kovaryansdan Dow Jones getirisine ve Dow Jones getirisinden kovaryansa doğru çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunmaktadır.

**Tablo 3.33: Model V Granger Nedensellik testi**

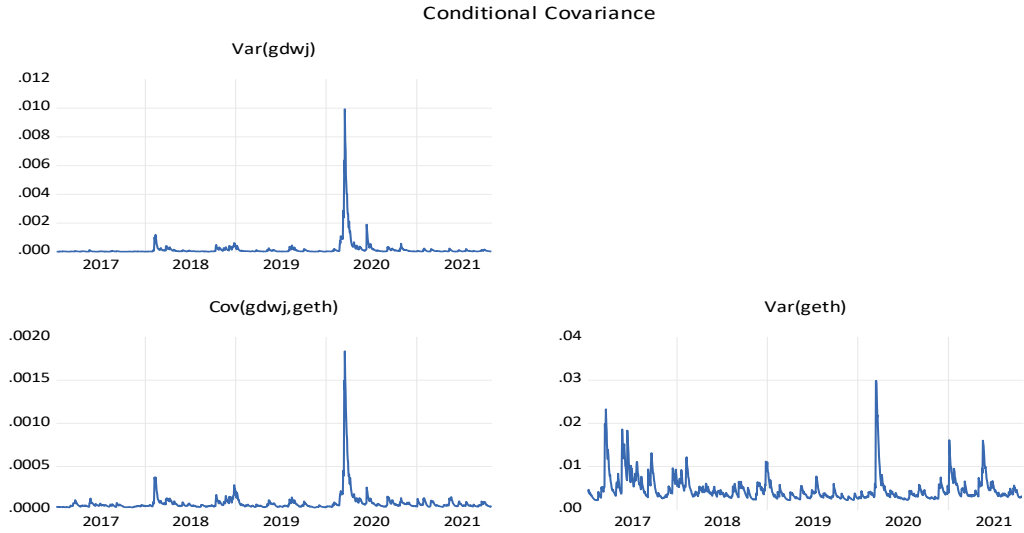
Hipotez	İstatistik değ�erler	
	(-)	(+)
$h_{gdwj} \rightarrow gdwj$	-1.2450 (0.0000) $\{\chi^2 263.0647\}$	
$gdwj \rightarrow h_{gdwj}$	-0.0080 (0.0000) $\{\chi^2 1072.357\}$	
$h_{geth} \rightarrow gdwj$		0.0917 (0.0000) $\{\chi^2 62.5205\}$
$gdwj \rightarrow h_{geth}$	-0.0429 (0.0000) $\{\chi^2 126.0052\}$	
$h_{gdwj} \rightarrow geth$	-2.8901 (0.0880) $\{\chi^2 9.5801\}$	
$geth \rightarrow h_{gdwj}$	-0.000251 (0.0000) $\{\chi^2 83.6107\}$	
$h_{geth} \rightarrow geth$		0.4787 (0.5009) $\{\chi^2 0.4529\}$
$geth \rightarrow h_{geth}$		0.00108 (0.0186) $\{\chi^2 5.5428\}$
$h_{geth} \rightarrow h_{gdwj}$	-0.00207 (0.0000) $\{\chi^2 52.6864\}$	
$h_{gdwj} \rightarrow h_{geth}$		0.0552 (0.0000) $\{\chi^2 64.4759\}$

Dow jones volatilitenin ethereum getirisi üzerinde negatif yönlü %10 düzeyinde anlamlı bir etkisi olduğu ve Dow Jones volatilitenin Ethereum getirisini önemli  l de azalttığı tespit edilmiştir. Ethereum getirisinin dow jones volatilitesi üzerinde de negatif yönlü anlamlı bir etki vardır ancak bu etki çok zayıf düzeydedir. Ethereum volatilitenin ethereum getirisi üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı, ethereum getirisinin ise kendi volatilitesi üzerinde %5 düzeyinde anlamlı etkisi olduğu gözlenmektedir. Bu etki ise pozitif yönlü ancak çok zayıf düzeydedir. Ethereum getirisi ile volatilitesi arasında tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. Dow jones ve ethereum kovaryanslarının, ethereum getirisi üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı, ethereum getirisinin kovaryansları üzerinde anlamlı ancak zayıf bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Kovaryansları ile bitcoin getirileri arasında tek yönlü nedensellik bulunmaktadır.

Model V için her iki piyasanın volatiliteleri arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi gözlenmekte olup, ethereum volatilitenin dow jones volatilitisini negatif ancak zayıf düzeyde etkilediği, dow jones volatilitenin ethereum volatilitisini pozitif ancak zayıf düzeyde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Yani her iki piyasanın volatiliteleri arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi olduğu ancak bu ilişkinin zayıf etkilere sahip olduğu tespit edilmiştir. Özetle, Granger nedensellik analiz sonucu Dow Jones ve Ethereum varlıklarının, Dow Jones volatilitesinden Ethereum getirisine ve Ethereum getirisinden Dow Jones volatilitesine, Ethereum volatilitesinden Dow Jones getirisine ve Dow Jones getirisinden Ethereum volatilitesine doğru olmak üzere birlikte hareket

ettiklerini göstermektedir. Ayrıca bu iki varlığın volatiliteleri de birlikte hareket etmektedir. Yani Dow Jones piyasası ile Ethereum piyasasındaki gelişmeler birbirinin nedeni olmaktadır. Aşağıda model V'e ait koşullu varyans-kovaryans grafikleri gösterilmektedir.

**Grafik 3.7: Model V Varyans-Koşullu Kovaryans Grafikleri**



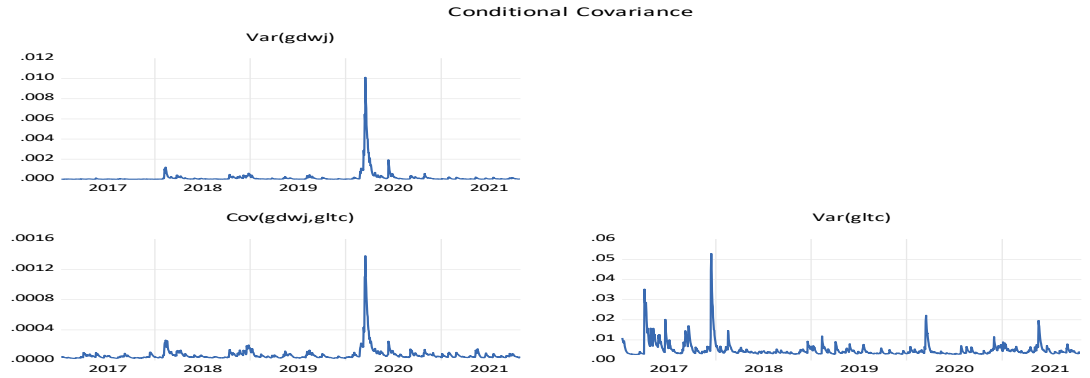
Dow jones piyasasına ait son model olan model VI için elde edilen Granger nedensellik testi sonuçları tablo 3.34'de gösterilmektedir. Dow jones volatilitésinin dow jones getirileri üzerinde etkisinin anlamlı, negatif ve orta düzeyde olduğu gözlenmektedir. Dow jones getirilerinin dow jones volatilitési üzerindeki etkisi ise negatif ancak zayıf düzeydedir. Dow jones getirisi ile dow jones volatilitési arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu tespit edilmiştir. Litecoin volatilitésinin dow jones getirisi üzerinde ve Dow Jones getirisinin Litecoin volatilitési üzerinde etkisi olmadığı ve dolayısıyla aralarında nedensellik ilişkisi olmadığı gözlenmektedir. Dow jones ile litecoin kovaryansları arasındaki nedensellik ilişkisi incelendiğinde ise kovaryansın, dow jones getirisi üzerinde negatif yönlü ve önemli bir etkiye sahip olduğu gözlenmektedir. Yani bu iki varlığın kovaryansları Dow Jones getirisini önemli ölçüde düşürmektedir. Dow jones getirisinin kovaryansları üzerinde etkisi ise negatif yönlü ancak oldukça zayıf bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak aralarında çift yönlü nedensellik ilişkisi olduğu tespit edilmiştir.

**Tablo 3.34: Model VI Granger Nedensellik testi**

Hipotez	İstatistikî değerler	
	(-)	(+)
$h_{gdwj} \rightarrow gdwj$	-1.1617 (0.0000) $\{\chi^2 233.3316\}$	
$gdwj \rightarrow h_{gdwj}$	-0.0094 (0.0000) $\{\chi^2 1005.877\}$	
$h_{gltc} \rightarrow gdwj$		0.03128 (0.3844) $\{\chi^2 9.5932\}$
$gdwj \rightarrow h_{gltc}$	-0.01460 (0.1277) $\{\chi^2 13.8522\}$	
$h_{gdwj} \rightarrow gltc$	-2.6933 (0.0356) $\{\chi^2 11.9402\}$	
$gltc \rightarrow h_{gdwj}$	-0.000271 (0.0000) $\{\chi^2 50.2881\}$	
$h_{gltc} \rightarrow gltc$	-0.1045 (0.0515) $\{\chi^2 9.4172\}$	
$gltc \rightarrow h_{gltc}$		0.00894 (0.0000) $\{\chi^2 224.2484\}$
$h_{gltc} \rightarrow h_{gdwj}$	-0.000057 (0.4001) $\{\chi^2 5.1306\}$	
$h_{gdwj} \rightarrow h_{gltc}$	-0.0272 (0.1828) $\{\chi^2 7.5503\}$	

Dow Jones volatilitésinin Litecoin getirisi üzerinde negatif yönlü ve güçlü bir etkisi vardır. Yani, Dow Jones volatilitésini Litecoin getirisini önemli ölçüde azaltmaktadır. Litecoin getirisinin Dow Jones volatilitésini üzerinde negatif yönlü ancak çok zayıf düzeyde etkisi olduğu tespit edilmiştir. Litecoin volatilitésini Litecoin getirisini %10 anlam düzeyinde etkilediği, bu etkinin negatif yönlü ancak zayıf düzeyde olduğu sonucuna varılmıştır. Litecoin getirisinin ise kendi volatilitésini pozitif yönde çok zayıf düzeyde etkilediği tespit edilmiştir. Litecoin getirisi ile volatilitésini arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. Dow Jones ve Litecoin kovaryanslarının, Litecoin getirisi üzerinde %5 düzeyinde anlamlı, negatif yönde ve güçlü bir etkisi olduğu, Litecoin getirisinin kovaryansları üzerinde ise anlamlı, negatif ancak zayıf bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Kovaryansları ile Litecoin getirileri arasında çift yönlü nedensellik bulunmaktadır.

Model VI için her iki piyasanın volatiliteleri arasında nedensellik ilişkisi bulunmamaktadır. Özetle, Granger nedensellik testi sonucuna göre, Dow Jones volatilitésinden Litecoin getirisine ve Litecoin getirisinden Dow Jones volatilitésine doğru birlikte hareket etmektedirler. Ayrıca bu iki varlığın kovaryansları Dow Jones ve Litecoin getirilerini önemli ölçüde düşürmektedir. Aşağıda Model VI'ya ait koşullu kovaryans grafikleri gösterilmektedir.

**Grafik 3.8: Model VI Koşullu Kovaryans Grafikleri**

Bir diğer hisse senedi olan S&P500 hisse senedi ile bitcoinin modellendiği model VII için elde edilen Granger nedensellik testi sonuçları tablo 3.35’de gösterilmektedir. S&P500 volatilitenin S&P500 getirileri üzerinde orta düzeyde önemli bir etkisinin olduğu ve bu etkinin negatif yönde olduğu tespit edilmiştir. S&P500 getirilerinin S&P500 volatilitesi üzerindeki etkisi de anlamlı, negatif ancak zayıf düzeydedir. S&P500 getirisi ile S&P500 volatilitesi arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu tespit edilmiştir. Bitcoin volatilitenin S&P500 getirisi üzerinde pozitif yönlü anlamlı bir etkisi olduğu ve S&P500 getirisinin bitcoin volatilitesi üzerinde ise negatif yönlü anlamlı bir etkisi olduğu gözlenmektedir. Her iki durum için de etkiler oldukça zayıftır ve aralarında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur. S&P500 ile bitcoin kovaryansları arasındaki nedensellik ilişkisine bakıldığında ise kovaryansın, S&P500 getirisi üzerinde pozitif ve güçlü bir etkisi var iken, S&P500 getirisinin kovaryansları üzerinde etkisi negatif ve zayıftır. Sonuç olarak kovaryansdan S&P500 getirisine ve S&P500 getirisinden kovaryansa doğru çift yönlü nedensellik ilişkisi olduğu tespit edilmiştir.

**Tablo 3.35: Model VII Granger Nedensellik testi**

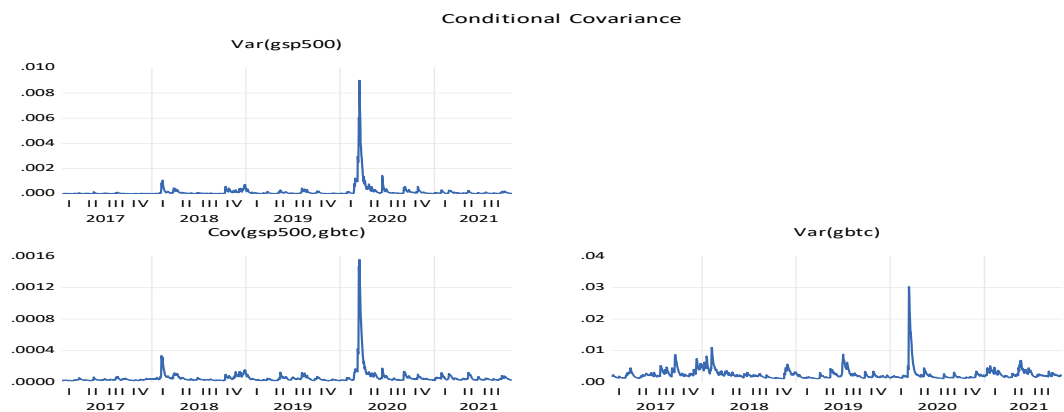
Hipotez	İstatistiki değerler	
	(-)	(+)
$h_{gsp500} \rightarrow gsp500$	-1.0769 (0.0000) $\{\chi^2 202.2863\}$	
$gsp500 \rightarrow h_{gsp500}$	-0.00989 (0.0000) $\{\chi^2 1061.575\}$	
$h_{gbtc} \rightarrow gsp500$		0.2622 (0.0000) $\{\chi^2 92.6359\}$
$gsp500 \rightarrow h_{gbtc}$	-0.0338 (0.0000) $\{\chi^2 181.5060\}$	
$h_{gsp500} \rightarrow gbtc$	-0.09513 (0.0013) $\{\chi^2 30.4871\}$	
$gbtc \rightarrow h_{gsp500}$	-0.000413 (0.0000) $\{\chi^2 94.2010\}$	
$h_{gbtc} \rightarrow gbtc$		0.19473 (0.8001) $\{\chi^2 0.0641\}$
$gbtc \rightarrow h_{gbtc}$	-0.00116 (0.0004) $\{\chi^2 12.4207\}$	

$h_{gbtc} \rightarrow h_{gsp500}$	-0.000613 (0.0000) $\{\chi^2 102.3664\}$	
$h_{gsp500} \rightarrow h_{gbtc}$		0.02018 (0.0000) $\{\chi^2 167.8842\}$

S&P500 volatilitésinin bitcoin getirisi üzerinde ve bitcoin getirisinin S&P500 volatilitésini üzerinde anlamlı ve negatif yönlü bir etki olduğu ancak etkilerin zayıf olduğu gözlenmektedir. Bitcoin volatilitésinin bitcoin getirisi üzerindeki anlamlı bir etkisi olmadığı, bitcoin getirisinin kendi volatilitésini üzerindeki anlamlı ancak negatif yönlü zayıf etkisi olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla Bitcoin getirisinden kendi volatilitésine doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. S&P500 ve bitcoin kovaryanslarının, bitcoin getirisi üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı ancak Bitcoin getirisinin kovaryansları üzerindeki negatif yönlü, zayıf düzeyde etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Kovaryansları ile bitcoin getirileri arasında tek yönlü nedensellik bulunmaktadır.

Model VII için her iki piyasanın volatiliteleri arasındaki nedensellik ilişkisi incelendiğinde, S&P500 volatilitésinin bitcoin volatilitésini pozitif yönde anlamlı bir şekilde etkilerken bitcoin volatilitésini S&P500 volatilitésini negatif yönde anlamlı şekilde etkilemektedir. Her iki durumda da etki zayıf düzeydedir ve aralarında çift yönlü nedensellik bulunmaktadır. Özetle, Granger nedensellik testi, bu iki varlığın birlikte hareketinin S&P500 volatilitésinden Bitcoin getirisine ve Bitcoin getirisinden S&P500 volatilitésine, Bitcoin volatilitésinden S&P500 getirisine ve S&P500 getirisinden Bitcoin volatilitésine kadar karşılıklı olarak gözlemlenebileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca bu iki varlığın zayıf düzeyde de olsa volatiliteleri birbirini etkilemektedir. Son olarak Model VII’de iki varlığın kovaryansları sadece S&P500 getirisini önemli ölçüde artırmaktadır. Aşağıda model VII’ye ait koşullu kovaryans grafikleri gösterilmektedir.

**Grafik 3.9: Model VII Koşullu Kovaryans Grafikleri**



S&P500 hisse senedi ile ethereum getirisinin modellendiği model VIII için elde edilen Granger nedensellik testi sonuçları tablo 3.36’da gösterilmektedir. S&P500 volatilitésinin S&P500 getirileri üzerinde ve S&P500 getirilerinin S&P500 volatilitésini üzerinde negatif yönlü anlamlı bir etki olduğu ve S&P500 volatilitésinin kendi getirisi üzerindeki etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir. S&P500 getirisi ile S&P500 volatilitésini arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. Ethereum volatilitésinin S&P500 getirisi üzerinde pozitif yönlü anlamlı bir etkisi olduğu ve S&P500 getirisinin ethereum volatilitésini üzerinde ise negatif yönlü anlamlı bir etkisi olduğu gözlenmektedir. Her iki durum içinde etkiler oldukça zayıftır ve aralarında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur. S&P500 ile ethereum kovaryansları arasındaki nedensellik ilişkisi sonuçlarına göre ise kovaryansın, S&P500 getirisi üzerinde pozitif ve önemli bir etkiye sahip olduğu ancak S&P500 getirisinin kovaryansları üzerinde etkisinin negatif yönlü ancak zayıf olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak kovaryansdan S&P500 getirisine ve S&P500 getirisinden kovaryansa doğru çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunmaktadır.

**Tablo 3.36: Model VIII Granger Nedensellik testi**

Hipotez	İstatistikî değerler	
	(-)	(+)
$h_{gsp500} \rightarrow gsp500$	-1.1894 (0.0000) $\{ \chi^2 209.5577 \}$	
$gsp500 \rightarrow h_{gsp500}$	-0.01140 (0.0000) $\{ \chi^2 1028.752 \}$	
$h_{geth} \rightarrow gsp500$		0.09340 (0.0000) $\{ \chi^2 56.0948 \}$
$gsp500 \rightarrow h_{geth}$	-0.04844 (0.0000) $\{ \chi^2 128.7721 \}$	
$h_{gsp500} \rightarrow geth$	-3.7941 (0.0356) $\{ \chi^2 11.9404 \}$	
$geth \rightarrow h_{gsp500}$	-0.0002923 (0.0000) $\{ \chi^2 81.3339 \}$	
$h_{geth} \rightarrow geth$		0.46603 (0.5209) $\{ \chi^2 0.4121 \}$
$geth \rightarrow h_{geth}$		0.000869 (0.0579) $\{ \chi^2 3.5966 \}$
$h_{geth} \rightarrow h_{gsp500}$	-0.00258 (0.0000) $\{ \chi^2 56.7079 \}$	
$h_{gsp500} \rightarrow h_{geth}$		0.07948 (0.0000) $\{ \chi^2 78.3318 \}$

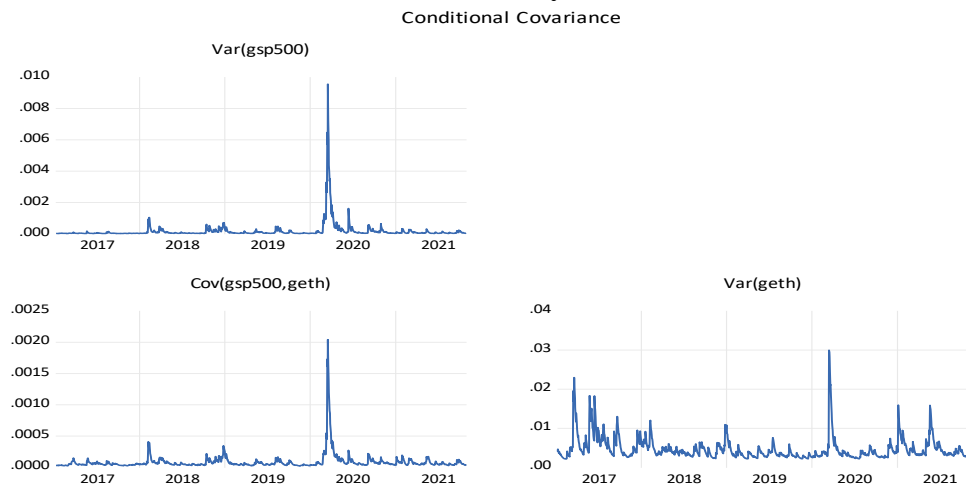
S&P500 volatilitésinin ethereum getirisi üzerinde %5 anlam düzeyinde güçlü ancak negatif yönlü bir etki olduğu, ethereum getirisinin S&P500 volatilitésini üzerinde ise negatif yönlü zayıf bir etki gözlenmektedir. Ethereum volatilitésinin ethereum getirisi üzerinde ve ethereum getirisinin ethereum volatilitésini üzerine anlamlı bir etki olmadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla Ethereum getirisi ile kendi volatilitésini arasında



nedensellik ilişkisi yoktur. S&P500 ve ethereum kovaryanslarının, ethereum getirisi üzerinde anlamlı etki olmadığı, ethereum getirisinin kovaryansları üzerinde negatif yönlü zayıf düzeyde etkisinin olduğu gözlenmektedir. Kovaryansları ile ethereum getirileri arasında tek yönlü nedensellik vardır.

Model VIII için her iki piyasanın volatiliteleri arasındaki nedensellik ilişkisi tahmin sonuçlarına göre ise S&P500 volatilitésinin ethereum volatilitésini pozitif yönde anlamlı bir şekilde etkilediği ve ethereum volatilitésinin S&P500 volatilitésini negatif yönde anlamlı şekilde etkilediği sonucuna varılmıştır. Her iki durumda da etki zayıf düzeydedir ve aralarında çift yönlü nedensellik bulunmaktadır. Özetle, Granger nedensellik analizi, S&P500 volatilitésini ile Ethereum getirisi, Ethereum volatilitésini ile S&P500 getirisi arasında karşılıklı nedenselliğin olduğunu tespit etmiştir. Aynı zamanda bu iki varlığın volatiliteleri de birbirini etkilemektedir. Model VIII’de iki varlığın kovaryansları sadece S&P500 getirisini önemli ölçüde etkilememektedir. Aşağıda model VIII’ye ait koşullu kovaryans grafikleri gösterilmektedir.

### Grafik 3.10: Model VIII Koşullu Kovaryans Grafikleri



Son model olan S&P500 ile litecoin getirilerinin modellendiği model IX’a ait Granger nedensellik sonuçları tablo 3.37’de gösterilmektedir. S&P500 volatilitésinin S&P500 getirileri üzerinde ve S&P500 getirilerinin S&P500 volatilitésini üzerinde etkilerinin negatif yönlü zayıf düzeyde olduğu tespit edilmiştir. S&P500 getirisi ile S&P500 volatilitésini arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Litecoin volatilitésinin S&P500 getirisi üzerinde ve S&P500 getirisinin Litecoin üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamaktadır. Dolayısıyla aralarında nedensellik ilişkisi yoktur. S&P500 ile litecoin kovaryansları arasındaki nedensellik ilişkisine bakıldığında ise kovaryansın, S&P500 getirisi üzerinde pozitif bir etkisi olup, S&P500 getirisinin

kovaryansları üzerinde negatif etkisi vardır. Her iki durumda da etkiler çok zayıftır. Sonuç olarak kovaryansdan S&P500 getirisine ve S&P500 getirisinden kovaryansa doğru çift yönlü nedensellik ilişkisi olduğu tespit edilmiştir.

**Tablo 3.37: Model IX Granger Nedensellik testi**

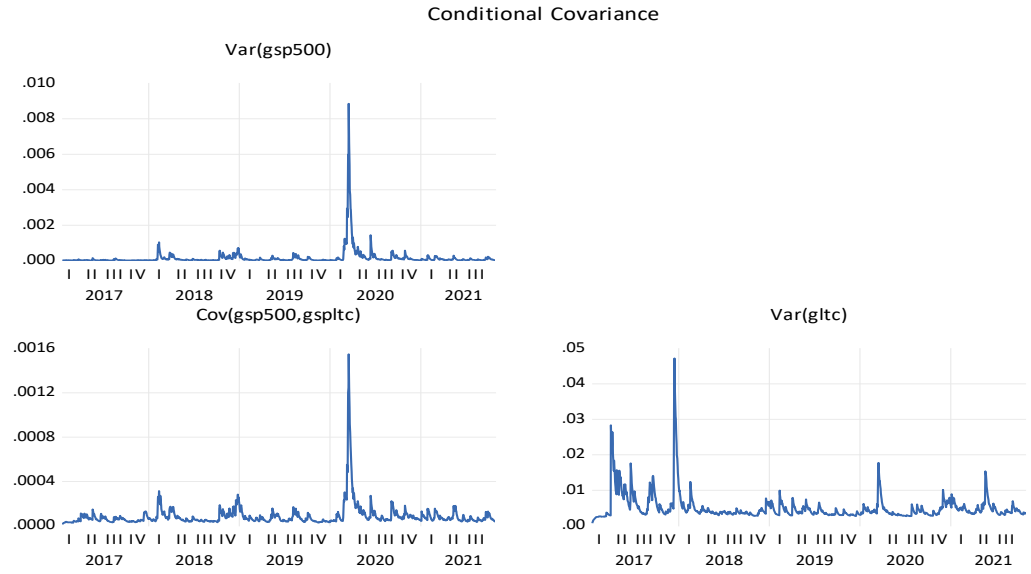
Hipotez	İstatistikî değerler	
	(-)	(+)
$h_{gsp500} \rightarrow gsp500$	-0.4119 (0.0000) $\{\chi^2 229.2543\}$	
$gsp500 \rightarrow h_{gsp500}$	-0.01221 (0.0000) $\{\chi^2 989.7698\}$	
$h_{gltc} \rightarrow gsp500$		0.02699 (0.5020) $\{\chi^2 8.3220\}$
$gsp500 \rightarrow h_{gltc}$	-0.02097 (0.1703) $\{\chi^2 12.8339\}$	
$h_{gsp500} \rightarrow gltc$	-3.30393 (0.0189) $\{\chi^2 13.5346\}$	
$gltc \rightarrow h_{gsp500}$	-0.000335 (0.0000) $\{\chi^2 51.2978\}$	
$h_{gltc} \rightarrow gltc$	-0.1238 (0.0453) $\{\chi^2 9.7242\}$	
$gltc \rightarrow h_{gltc}$		0.00932 (0.0000) $\{\chi^2 219.9862\}$
$h_{gltc} \rightarrow h_{gsp500}$	-0.000665 (0.4307) $\{\chi^2 4.87971\}$	
$h_{gsp500} \rightarrow h_{gltc}$	-0.03854 (0.2009) $\{\chi^2 7.27589\}$	

S&P500 volatilitésinin litecoin getirisi üzerinde negatif yönlü ve güçlü bir etkisi bulunmaktadır. Yani S&P500 volatilitésini Litecoin getirisini önemli ölçüde düşürmektedir. Litecoin getirisinin S&P500 volatilitésini üzerinde de negatif ancak zayıf düzeyde etki bulunmaktadır. Litecoin volatilitésinin litecoin getirisi üzerinde negatif, litecoin getirisinin litecoin volatilitésini üzerine pozitif etkisi olduğu ve her iki etkininde zayıf düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla Litecoin getirisi ile kendi volatilitésini arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi vardır. S&P500 ve litecoin kovaryansları, litecoin getirisi üzerinde negatif yönde ve önemli etkiye sahipken, litecoin getirisi kovaryansları üzerinde negatif yönlü ancak zayıf düzeyde etkiye sahiptir. Kovaryansları ile litecoin getirileri arasında çift yönlü nedensellik vardır.

Model IX için her iki piyasanın volatiliteleri arasındaki nedensellik ilişkisi tahmin sonuçlarına göre ise S&P500 volatilitésinin litecoin volatilitésini ve litecoin volatilitésinin S&P500 volatilitésini anlamlı yönde etkilemediği sonucuna varılmıştır. Her iki piyasanın volatiliteleri arasında nedensellik ilişkisi bulunmamaktadır. Özetle, Granger nedensellik analizi sonuçları, bu iki varlığın hareketinin sadece S&P500 volatilitésinden Litecoin getirisine ve Litecoin getirisinden S&P500 volatilitésine kadar olduğunu göstermektedir. Buna ek olarak bu iki varlığın kovaryansları Litecoin

getirisini önemli ölçüde düşürdüğü de gözlenmektedir. Aşağıda model IX'a ait koşullu kovaryans grafikleri gösterilmektedir.

**Grafik 3.11: Model IX Koşullu Kovaryans Grafikleri**



### 3.4. SONUÇ

Paranın fiziksel dönüşüme uğradığı ve finansal piyasalarda ödeme yöntemlerinin gelişerek farklı dijital ödeme yöntemlerinin ortaya çıkmasında gelinen son nokta kripto para birimleridir. Kripto para birimleri, işlemleri düşük maliyetle ve hızlı bir şekilde gerçekleştirmesi, temelinde blockchain teknolojinin bulunması ve aracı kuruma ihtiyaç olmadan işlemlerin bireyler tarafından gerçekleştirilmesi gibi avantajları sayesinde değerine değer katarak günümüzde popüleritesi artmış dijital para birimleri olarak görülmektedir. Ayrıca bu para birimlerinin yeni bir varlık olarak değer görmesi ise geleneksel finansal varlıklara alternatif yeni bir yatırım aracı olup olmadığı tartışma konusu olmuştur. Bu bilgiler çerçevesinde “finansal piyasalarda kripto para uygulamaları üzerine üç deneme” tez çalışmasının üçüncüsü olan bu çalışmada kripto para birimleri pay piyasaları arasındaki volatilité ilişkisi incelenmiştir.

Kripto paralar ile finansal varlıklar arasındaki volatilité ilişkisinin incelendiği bu çalışmada kurulan dokuz modelden ilk üç model Bist100 piyasasına aittir. Bist100 ile her bir kripto paranın ayrı ayrı incelendiği model I,II,III tahmin sonuçlarına göre, üç modelde de Bist100 piyasasında volatilité üzerinde asimetric etki olduğu yani negatif şokların volatilitéyi pozitif şoklardan daha fazla etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Ancak Bist100 piyasası için modellenen bu üç modelde kripto para piyasalarında asimetric etki olmadığı gözlenmiştir. İncelenen üç kripto para piyasasında sadece pozitif şokların volatilité üzerinde etkisi olduğu tespit edilmiştir. Model I için, kovaryans denklemi sonucunda sabit koşullu korelasyon katsayısının pozitif ancak düşük olduğu dolayısıyla Bist100 ile Bitcoin arasında kovaryans ilişkisinin zayıf olduğu sonucuna varılmıştır. Model II için, Bist100 ile Ethereum arasındaki sabit koşullu korelasyon katsayısı anlamlı değildir. Yani Bist100 ile Ethereum arasında kovaryans ilişkisi bulunmamaktadır. Model III için ise Bist100 ile Litecoin arasındaki sabit koşullu korelasyon katsayısı da pozitif ve oldukça düşüktür. Dolayısıyla bu piyasalar arasında bir korelasyon ilişkisi var ancak bu değer sifira yakın olduğu için pozitif yönlü zayıf bir korelasyon ilişkisi olduğu söylenebilmektedir. Son olarak tüm modellerde her bir piyasada süreç kovaryans durağandır.

Model IV-V ve VI da incelenen finansal varlık değişkeni dow jones hisse senedir. Dow jones hisse senedi ile her bir kripto paranın ayrı ayrı incelendiği bu modellerin tahmin sonuçlarına göre, Dow jones hisse senedi piyasasında her üç model için asimetric etki olduğu ve negatif şokların volatilité üzerinde etkisinin pozitif şoklardan daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Kripto para piyasaları için ise bu

sonuç geçerli değildir. İlk üç modelde de belirtildiği gibi kripto para piyasalarında volatilité üzerinde asimetric etki bulunmamaktadır. Bu piyasalarda sadece pozitif şokların volatilité üzerinde etkisi bulunmaktadır. Her modelde piyasalar için süreç kovaryans durağandır. Kovaryans denklemi tahmin sonuçları ise, her model için incelenen piyasalar arasında koşullu korelasyon ilişkisi olduğu ve bu ilişkinin pozitif yönlü olduğunu göstermektedir. Ancak sabit koşullu korelasyon katsayısı sifira yakın bir değer olduğu için bu ilişkinin zayıf düzeyde olduğu söylenebilmektedir.

Çalışmada incelenen son üç model olan S&P500 hisse seneti getirileri ile kripto para getirileri arasındaki volatilité tahmin sonuçları, her üç modelde de S&P500 piyasasında asimetric etki olduğunu ve volatilité üzerinde negatif şokların pozitif şoklardan daha fazla etkisi olduğunu göstermektedir. Yine bu modellerde de kripto para piyasasında asimetric etki bulunmamaktadır. Her bir model için sabit koşullu korelasyon katsayısı pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu sonuç, piyasalar arasında pozitif yönlü korelasyon ilişkisi olduğunu ancak bu ilişkinin zayıf düzeyde olduğunu göstermektedir. Ayrıca son üç model için de piyasalarda süreç kovaryans durağandır.

Tüm modeller için test edilen Granger nedensellik sonuçlarını ilk üç model için incelediğimizde, Bist100 volatilitésinin kendi getirisi üzerinde anlamlı, pozitif ancak düşük düzeyde etkisi var iken bitcoin getirisi üzerinde etkisinin olmadığı gözlenmektedir. Bitcoin volatilitésinin kendi getirisi üzerinde etkisi negatif, Bist100 getirisi üzerinde pozitif yönlü etkisi bulunmaktadır. Yani bitcoin volatilitésini Bist100 getirisini artırıyor. Bitcoin getirisinin ise hem kendi volatilitésini hem de Bist100 volatilitésini üzerindeki etkisi negatiftir. Bitcoin getirisi kendi volatilitésini ve Bist100 volatilitésini düşürmektedir. Bist100 getirisi hem kendi volatilitésini hem de bitcoin volatilitésini negatif yönde etkilemektedir. Değişkenlerin getirileri ile volatiliteleri arasındaki nedensellik ilişki sonucuna göre, Bitcoin volatilitésini ile Bist100 getirisi arasında karşılıklı nedensellik olduğu, Bitcoin getirisi ile Bist100 volatilitésini arasında ise Bist100 getirisinden Bitcoin volatilitésine doğru tek yönlü nedensellik olduğu tespit edilmiştir. Her iki piyasanın volatiliteleri arasındaki nedensellik sonucu incelendiğinde Bitcoin volatilitésinden Bist100 volatilitésine doğru karşılıklı nedenselliğin olduğu gözlenmektedir. Her iki piyasanın volatiliteleri arasındaki ilişki negatif yönlüdür. Son olarak iki değişkenin kovaryansları ile Bist100 getirisi ve Bitcoin getirisi arasındaki ilişki incelendiğinde, kovaryans ile Bist100 getirisi arasında negatif yönlü karşılıklı nedensellik ilişkisi olduğu tespit edilmiştir. Bu iki getirinin kovaryansın Bist100 getirisi

üzerindeki etkisi önemli düzeydedir. Kovaryans ile Bitcoin getirisi arasında da karşılıklı nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. Kovaryans Bitcoin getirisinin nedenidir ve etkisi pozitif ve güçlüdür.

Bist100 ile ethereum piyasası arasındaki nedensellik sonucu ise ethereum volatilitésinin kendi getirisi üzerinde etkisinin olmadığını ancak ethereum getirisinin kendi volatilitésini üzerinde pozitif yönlü etkisi olduğunu göstermektedir. Bist100 volatilitésinin ethereum getirisi üzerinde etkisi yok iken ethereum getirisi Bist100 volatilitésini çok düşük düzeyde düşürmektedir. Dolayısıyla bu piyasalar arasında tek yönlü nedensellik ilişkisi olduğu söylenebilir. Ayrıca ethereum volatilitésinin Bist100 getirisinin nedeni olmadığı ancak Bist100 getirisinin ethereum volatilitésinin nedeni olduğu ve aralarındaki ilişkinin negatif yönlü olduğu da elde edilen sonuçlardır. Yani aralarında tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. Bist100 volatilitésini kendi getirisini artırırken Bist100 getirisi kendi volatilitésini düşürmektedir. Bist100 ile ethereum kovaryanslarının Bist100 getirisi ile Ethereum getirisini etkilemediği tespit edilmiştir. Her iki piyasanın volatiliteleri arasındaki ilişkiye baktığımızda ise Bist100 volatilitésinin ethereum volatilitésini düşürdüğü ve Ethereum volatilitésinin Bist100 volatilitésini düşürdüğü yönünde karşılıklı nedensellik ilişkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Model II için değişkenlerin getirileri ve volatiliteleri arasında tek yönlü nedensellik ilişkisi olduğu sadece her iki değişkenin volatiliteleri arasında karşılıklı nedensellik olduğu söylenebilmektedir.

Bist100 piyasasına ait son model olan model III için tahmin sonuçlarına göre, Bist100 volatilitésini ile litecoin getirisi arasında tek yönlü nedensellik ilişkisi olduğu ve bu ilişkinin Litecoin getirisinden Bist100 volatilitésine doğru olmak üzere negatif yönlü olduğu tespit edilmiştir. Litecoin volatilitésini ile Bist100 getirileri ve Bist100 getirisi ile litecoin volatilitésini arasında bir nedensellik ilişkisi bulunamamıştır. Ayrıca bu değişkenlerin kovaryansları ile Bist100 getirisi ve Litecoin getirisi arasında nedensellik olmadığı Bist100 getirisi ile Litecoin getirisinin kovaryanslarının nedeni olduğu sonucuna varılmıştır. Bu ilişkinin yönü negatif olup getiriler kovaryansı düşük düzeyde etkilemektedir. Dolayısıyla aralarında tek yönlü nedensellik ilişkisi olduğu söylenebilmektedir. Her iki piyasanın volatiliteleri arasında ise anlamlı bir etki bulunamamıştır.

Hisse senedi değişkeni olan dow jones ile kripto paralar arasında kurulan model IV,V,VI için tahmin sonuçları incelendiğinde, bitcoin volatilitésini ile dow jones getirisi arasında çift yönlü nedensellik olduğu, bitcoin volatilitésinin dow jones hisse senedi

getirilerini artırdığı ve dow jones hisse senedi getirilerinin bitcoin volatilitelerini düşürdüğü gözlenmektedir. Dow jones volatilitesi ile bitcoin getirisi arasında da karşılıklı nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. Dow Jones volatilitesi Bitcoin getirisini artırırken Bitcoin getirisi Dow Jones volatilitelerini düşürmektedir. Dow jones ve bitcoin getirilerinin kovaryansları ile dow jones getirisi arasında çift yönlü nedensellik bulunmuştur. Kovaryans dow jones getirisini pozitif yönde etkilerken dow jones getirisi kovaryanslarını negatif yönde etkilemektedir. İki değişkenin kovaryansları ile bitcoin getirisi arasında da çift yönlü nedensellik ilişkisi olduğu ve bu ilişkinin pozitif yönlü olduğu sonucuna varılmıştır. Kovaryans, Bitcoin getirisini önemli ölçüde artırmaktadır. Son olarak her iki piyasanın volatiliteleri arasındaki ilişkiye baktığımızda, bitcoin volatilitesi dow jones volatilitelerini düşürürken dow jones volatilitesi bitcoinin volatilitelerini artırmaktadır. Dolayısıyla aralarında çift yönlü nedensellik olduğu sonucuna varılmıştır.

Model V için, ethereum volatilitesi dow jones getirisini artırırken dow jones getirisi ethereum volatilitelerini düşürmektedir ve aralarında çift yönlü nedensellik ilişkisi vardır. Dow jones volatilitesi ile ethereum getirisi arasında da çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Dow Jones volatilitesi Ethereum getirisini önemli ölçüde düşürmektedir. Ethereum getirisi dow jones volatilitelerini zayıf düzeyde negatif yönde etkilemektedir. İki değişkenin kovaryansları ile dow jones getirisi arasında çift yönlü nedensellik tespit edilmiştir. Kovaryans Dow Jones getirisini negatif yönde ve önemli düzeyde etkilemektedir. Kovaryans ile ethereum getirisi arasında ise Ethereum getirisinden kovaryansa doğru tek yönlü nedensellik bulunmuştur. Dow jones ile ethereum volatiliteleri karşılaştırıldığında çift yönlü nedensellik olduğu, ethereum volatilitelerinin dow jones volatilitelerini düşürdüğü ancak dow jones volatilitelerinin ethereum volatilitelerini düşürdüğü tespit edilmiştir.

Dow jones piyasasına ait son model olan dow jones ile litecoin modeli sonuçları, litecoin volatilitesi ile dow jones getirisi arasında nedensellik ilişkisi olmadığı tespit edilmiştir. Dow jones volatilitesi ile litecoin getirisi arasında ise çift yönlü nedensellik vardır. Dow Jones volatilitesi Litecoin getirisini önemli ölçüde düşürmektedir. Dow jones ile litecoin kovaryansları ile dow jones getirisi arasında çift yönlü nedensellik vardır. Kovaryans dow jones getirisini önemli ölçüde etkilemektedir. Kovaryansın litecoin üzerinde de çift yönlü nedensellik ilişkisi tespit edilmiş olup bu etki güçlü ve negatiftir. Dow jones ile litecoin volatiliteleri arasında ise nedensellik ilişkisi bulunmamaktadır. Model IV, V ve VI için kısaca Bitcoin piyasasının Dow Jones

piyasası ile etkileşim halinde olduğu ve bu değişkenlerin getiri ile volatiliteleri arasında karşılıklı nedensellik olduğu tespit edilmiştir. Ethereum piyasası ile Dow Jones piyasası arasında da karşılıklı etkileşim bulunmaktadır. Bu iki varlığın birlikte hareketleri hem getirilerinden volatilitelerine doğru hem de volatilitelerinden getirilerine doğrudur. Buna ek olarak iki varlığın hareketi hem Dow Jones piyasasından Bitcoin piyasasına hem de Bitcoin piyasasından Dow Jones piyasasına doğru olduğu söylenebilmektedir. Litecoin piyasası ile Dow Jones piyasası arasında ise sadece Dow Jones volatilitelerinden Litecoin getirisine ve Litecoin getirilerinden Dow Jones volatilitelerine doğru ilişki bulunmaktadır.

Model VII, VIII, IX, S&P500 hisse senedi getirisi ile kripto para getirileri modellerini göstermektedir. S&P500 volatilitesi ile kendi getirisi arasında çift yönlü nedensellik bulunmuş olup S&P500 volatilitesi kendi getirisini düşürmektedir. Bitcoin volatilitesi ile S&P500 getirisi arasında çift yönlü nedensellik bulunmuştur. Bitcoin volatilitesi S&P500 getirisini artırırken S&P500 getirisi bitcoin volatilitelerini düşürmektedir. S&P500 volatilitesi ile bitcoin getirisi arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi olup, S&P500 volatilitelerinin bitcoin getirisini düşürdüğü, bitcoin getirilerinin de S&P500 volatilitelerini düşürdüğü tespit edilmiştir. S&P500 ile bitcoin kovaryanslarının bitcoin getirileri ile aralarında çift yönlü nedensellik, kovaryans ile Bitcoin getirisi arasında ise tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. Kovaryans, S&P500 getirisini önemli ölçüde artırırken Bitcoin getirisi üzerinde etkisi bulunmamaktadır. S&P500 getirisi ve bitcoin getirisi kovaryansı negatif yönde etkilemektedir. İki piyasanın volatiliteleri arasında da çift yönlü nedensellik ilişkisi gözlenmektedir. S&P500 volatilitesi bitcoin volatilitelerini artırırken bitcoin volatilitesi S&P500 volatilitelerini düşürmektedir.

Model VIII'de, ethereum volatilitelerinin S&P500 getirisini artırdığı ve S&P500 getirilerinin ethereum volatilitelerini düşürdüğü ve aralarında çift yönlü nedensellik olduğu tespit edilmiştir. S&P500 volatilitesi ile ethereum getirisi arasında da çift yönlü nedensellik ilişkisi olduğu ve bu ilişkinin negatif olduğu tespit edilmiştir. S&P500 volatilitesi Ethereum getirisini önemli ölçüde düşürmektedir. S&P500 ve ethereum kovaryansları ile S&P500 getirileri arasında çift yönlü, ethereum getirileri arasında ise tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. Kovaryans, S&P500 getirisini önemli ölçüde artırırken S&P500 getirisi kovaryansı negatif etkilemektedir. Ayrıca ethereum getiri de kovaryansı negatif etkilemektedir. Ancak kovaryansın Ethereum getirisi üzerinde bir etkisi yoktur. Her iki piyasanın da volatiliteleri arasındaki ilişki



incelendiğinde, çift yönlü nedensellik olduğu, S&P500 volatilitésinin ethereum volatilitésini artırdığı ancak ethereum volatilitésinin S&P500 volatilitésini düşürdüğü tespit edilmiştir.

Model IX için, litecoin volatilitésini ile S&P500 getirisi arasında nedensellik ilişkisi olmadığı ancak S&P500 volatilitésini ile Litecoin getirisi arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi olduğu tespit edilmiştir. S&P500 volatilitésinin Litecoin getirisini önemli ölçüde düşürmektedir. Bu değişkenlerin kovaryansları ile S&P500 ve litecoin getirileri arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Kovaryans S&P500 getirisini artırırken litecoin getirisini önemli ölçüde düşürmektedir. Son olarak S&P500 ile litecoin volatilitésini arasında nedensellik ilişkisi bulunmadığı sonucuna varılmıştır. Özetle model VII, VIII ve IX için Bitcoin ve Ethereum piyasaları ile S&P500 piyasaları arasında hem getiri hem de volatilité açısından karşılıklı etkileşim olduğu ve bu iki varlığın hareketinin hem hisse senedi piyasasından kripto para piyasasına hem de kripto para piyasasından hisse senedi piyasasına doğru olduğu gözlenmektedir. Litecoin piyasasında ise sadece S&P500 volatilitésinden Litecoin getirisine doğru karşılıklı etkileşim bulunmaktadır.

Sonuç olarak hem CCC-GARCH tahmin sonuçları hem de Granger nedensellik sonuçları birlikte incelendiğinde 02/01/2017-29/10/2021 dönemleri arasında kripto paraların Dow Jones ve S&P500 hisse senetleri ile hem aralarında korelasyon ilişkisi olduğu ancak bu ilişkinin zayıf düzeyde olduğu hem de nedensellik ilişkisi olarak karşılıklı etkileşimleri olduğu gözlenmektedir. Bu değişkenlerin kendi kovaryansları ile aralarındaki ilişkinin güçlü olduğu tespit edilmiştir. Ancak Bist100 piyasasının Ethereum dışında diğer kripto paralar ile de korelasyon ilişkisinin olduğu ve bu ilişkinin zayıf olduğu tespit edilmiştir. Ethereum ile Bist100 arasında korelasyon ilişkisi yoktur. Kripto paralar S&P500 ve Dow Jones hisse senedi piyasalarıyla daha fazla etkileşim halinde iken Bist100 piyasası ile etkileşimi daha düşüktür. Yapılan çalışma çerçevesinde kripto paraların çoğunlukla hisse senedi gibi davrandığı, iki varlığın çoğu zaman birlikte hareket ettiği gözlenmektedir. Bunlara ek olarak değişkenlerin sabit koşullu korelasyon katsayıları oldukça düşük çıkmıştır ve aralarındaki korelasyon ilişkisinin zayıf olduğu tespit edilmiştir. Değişkenler arasında korelasyon ilişkilerinin zayıf olması ve hisse senetleri ile karşılıklı etkileşimleri olması, kripto paraların bir portföy çeşitlendiricisi olabileceğini göstermektedir.

## SONUÇ

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte birçok alanda dijitalleşmeye geçilmesi ve bu dijitalleşmenin en çok yansıdığı alan olan finansal piyasalarda yeni ödeme yöntemlerine ihtiyaç duyulması, günümüzde kripto para piyasalarının türemesine neden olmuştur. Kripto paraların ilki olan Bitcoin, başlangıçta sadece bir ödeme aracı olarak görülmekteydi. Ancak zamanla kripto paralardaki fiyat değişimlerinin yüksek olması ve yatırımcıların bu yüksek fiyat değişimlerinden getiri elde etmek istemeleri, kripto paralara olan ilgiyi artırmış ve bu paralar popüler hale gelmiştir. Kripto paraların popülaritesinin artması bu paralara yeni bir yatırım aracı olarak bakılmasını sağlamıştır.

Fiyat değişimlerinin yüksek olmasından dolayı yatırımcıların fazlasıyla ilgisini çeken kripto paralar, aslında çok yeni olmaları ve volatilitelerinin yüksek olmasından dolayı riskli bir yatırım aracıdır. Bunun yanı sıra bitcoin ve diğer kripto paraların zaman içerisinde yaşadığı hızlı gelişimi, artan popülaritesi ve önemli bir finansal büyüklüğe sahip olması bu paraların alternatif bir yatırım aracı olarak düşünülmesini sağlamıştır. Tabii ki bu durum yatırımcıları özellikle kriz dönemlerinde kripto para piyasasına yatırım amaçlı yönlendirmiştir. Ancak kripto paraların yeni bir varlık olarak nitelendirilip portföy çeşitliliği olup olamayacağını belirleyebilmek için geleneksel finansal varlıklarla aralarındaki ilişkiyi araştırmak, risklerini ve faydalarını doğru tahmin etmek gerekmektedir. Bu sayede portföylerde dijital likidite biçimlerinin çeşitlendirilmesi ya da riskten korunma ve güvenli liman olma seçeneklerinin artırılması sağlanabilir.

Aynı zamanda Modern Portföy yönetiminde aralarında negatif korelasyon olan veya korelasyonları çok düşük olan finansal varlıkların belirlenmesi ve bunların yeni bir varlık olarak görülerek varlık sepetine eklenmesi son derece önemlidir. Ancak zaman ilerledikçe entegrasyonu artan finansal piyasalarda negatif veya düşük korelasyonlu varlık bulmak zorlaşmaktadır. Bundan dolayı piyasada henüz yeni olan kripto paraların geleneksel finansal varlıklarla olan ilişkisinin incelenmesi ve kripto paraların finansal piyasalardaki yerinin ve geleceğinin tespit edilmesi oldukça önemlidir. Bu bilgiler çerçevesinde çalışmada “Finansal Piyasalarda Kripto Para Uygulamaları Üzerine Üç Deneme” çalışması yapılarak kripto paraların finansal piyasalardaki yeri ve önemi incelenmiştir.

Çalışmada kripto para piyasaları ile ilgili şu bilgilere ulaşılmış amaçlanmıştır.

- Kripto paralar geleneksel paranın fonksiyonlarını taşıyor mu? Eğer taşıyorsa hangi fonksiyonları taşıyor?

- Kripto para piyasalarında “Etkin Piyasa Hipotezi” geçerli midir?
- Kripto paralar portföy çeşitlendiricisi olarak kullanılabilir mi?

Yukarıda belirtilen bilgilerin elde edilebilmesi için bu çalışmada üç farklı konu ve yöntem üzerinde durulmuştur. Bu çalışmanın birinci deneme çalışması “Kripto Para Piyasaları Etkin mi? Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Birim Kök Testleri” başlıklı çalışmadır.

Çalışmanın birinci denemesinde kripto para piyasalarında zayıf formda etkinliğin geçerli olup olmadığı, doğrusal ve doğrusal olmayan birim kök testleri ile varyans oran testi yapılarak incelenmiştir. 02/01/2017-29/10/2021 dönemleri arasında beş günlük veriler kullanılmıştır. Çalışmada hem piyasaya ilk çıkan hem de işlem hacmi açısından ilk sıralarda yer alan üç kripto para değişkeni analize dahil edilmiştir. bu kripto para değişkenleri; Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH) ve Litecoin (LTC)'dir. Bir piyasada etkinliğin geçerli olabilmesi için yapılan birim kök testleri sonucunda, değişkenlerin düzey değerlerinin birim köklü ancak getiri değerlerinin durağan çıkması gerekmektedir. Çalışmada da uygulanan doğrusal birim kök testleri sonucuna göre değişkenlerin düzey değerleri birim köklü ancak getiri değerleri durağanlaşmaktadır. Dolayısıyla geleneksel doğrusal birim kök testi sonuçlarına göre BTC, ETH ve LTC piyasalarında zayıf formda piyasa etkinliği geçerlidir. Doğrusal olmayan birim kök testlerinden KSS (2003), Sollis (2009), LNV (1999), SOR (2018) ve OHEb(2020) test sonuçlarına göre bu kripto para piyasalarında zayıf formda piyasa etkinliği hipotezi geçerlidir. Çalışmada uygulanan diğer doğrusal olmayan birim kök testleri; EG (1998), OY (2018), CEO (2017) ve OSHb (2020) sonuçlarına göre ise bu kripto para piyasalarında zayıf formda etkinlik uygulanan yöntem, kullanılan modele ve baz alınan anlamlılık düzeyine göre değişmektedir. GARCH birim kök testi sonucuna göre ise değişkenlerin düzey değerleri durağan çıkmakta ve bundan dolayı bu piyasalarda zayıf formda etkinlik geçerli değildir. Son olarak uygulanan kripto para fiyatlarının rassal yürüyüş özelliği gösterip göstermediğini sınavan varyans oran testi sonucuna göre BTC ve LTC piyasalarında fiyatların rassal hareket ettiği tespit edilmiştir.

Çalışmada elde edilen bulgu, kripto para piyasalarında etkinliğin uygulanan yöntem, baz alınan döneme ve modele göre değiştiği yönündedir. Bu bulgular, literatürde kripto para piyasalarında etkinliğin geçerli olduğu veya zaman içerisinde geçerli olabileceği yönünde tespitlerde bulunan bir çok çalışma ile örtüşmektedir. Bu çalışmaların ortak fikri; kripto para piyasalarının zaman içerisinde etkinliğinin gerçekleşeceği yönündedir. Jun Kim ve Y.Park (2022) çalışmasında belirtildiği gibi

kripto paralar ilk çıktığı zamanlarda bu piyasalarda etkinlik söz konusu değil iken zaman içerisinde fiyat seviyelerinin yükselmesi sonucunda piyasalarda etkinliğin gerçekleştiği gözlenmektedir. Çalışmadan elde edilen bir diğer önemli bulgu ise kripto para verilerinde fiyat oynaklıklarının yüksek olmasından dolayı volatilitelerinin yüksek olması ve dolayısıyla GARCH tipi analizlerin kullanılmasının bu piyasalar için daha doğru sonuçlar vereceği yönündedir.

Çalışmada uygulanan doğrusal olmayan birim kök testlerinden Hibrid doğrusal olmayan birim kök testi sonuçları, kripto para piyasalarında etkinliğin kullanılan yöntemle, modele ve baz alınan anlamlılık düzeyine göre değiştiğini ifade etse de bu test sonuçları net bilgi vermemektedir. Bundan dolayı incelenen dönemler arasında kripto para piyasalarında zayıf formda etkinliğin geçerli olmadığı sonucuna varılmaktadır. Yani çalışmada kripto para piyasalarının geçici, yumuşak yapısal kırılmalara ve asimetrik etkilere karşı duyarlı olduğu, dolayısıyla Hibrid doğrusal olmayan testlerin bu piyasalarda etkinliğin geçerli olmadığı yönünde bilgi verdiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar kripto para piyasaları için özellikle Hibrid doğrusal olmayan testlerin ve GARCH tipi birim kök testlerinin daha güvenilir sonuçlar verebileceğini göstermektedir. Ayrıca Hibrid doğrusal olmayan birim kök testi sonucu, kripto para piyasalarının hem duruma hem de zamana bağlı olaylara karşı duyarlı olduğunu ve anında tepki verdiğini belirtmektedir. Yapısal kırılmaları ve asimetrik etkiyi dikkate alan Hibrid doğrusal olmayan test sonuçları ile yapısal kırılmaların hem para politikası kararlarından hem de krizlerden kaynaklı olabileceği tespit edilmiştir. Yani kripto para piyasaları, çalışmada incelenen dönemler arasında merkez bankası kararlarından ve ülkelerde yaşanan krizlerden anında etkilenmektedir. Yatırımcıların kripto para ile işlem yapabilmesi için ekonomide, küresel ekonominin ihtiyacından daha fazla likiditeye gereksinim vardır. Literatürde, parasal genişleme ile piyasada likiditenin artırılması sonucunda kripto paraların da değerinde artış olduğuna değinilmiştir. Zira geçmiş tarihte kriz dönemleri incelendiğinde, 2000’li yıllardan sonra FED’in genişleyici para politikası uygulaması ve akabinde tüm dünyayı etkisi altına alan 2008 küresel kriz ve 2019 covid krizi sürecinde de tüm ülkelerin genişleyici para politikası uygulamaları piyasalarda likidite bolluğu oluşmasını sağlamıştır. Genişleyici para politikası uygulaması ile faiz oranlarının sürekli düşmesi ve bunun sonucunda yüksek likiditenin oluşması, bireyleri alternatif yatırım araçlarına yönlendirmiştir. Ancak 2008 küresel krizden dolayı finansal piyasalara olan güvenin azalması farklı alternatif araçlara ihtiyaç olduğunu ortaya çıkarmıştır. İşte bu esnada ortaya çıkan kripto para birimleri uygulanan

genişleyici para politikası sonucunda oluşan likidite bolluğu sayesinde ilerleyen zamanlarda kripto paralarının değerinin artmasına imkan sağlamıştır. Ayrıca Mnif ve Jarboi (2021) çalışmasında, FED'in genişleyici para politikası uygulamasının özellikle Covid-19 krizi sürecinde para basmak olarak algılandığından paraların değerinin korunması yönünde tereddütler meydana getirdiğine değinmiştir. Bireyler kriz dönemlerinde sahip oldukları değerleri korumak için ise alternatif yatırım araçları olarak kripto para birimlerine yönelmişlerdir. FED'in para politikalarında uyguladığı değişiklikler kripto para varlıklarının değerini etkilemiş ve bu varlıkların fiyatlarını FED politika duyurularına duyarlı hale getirmiştir.

Bir piyasada EPH'nin geçerli olması o piyasadaki varlık fiyatlarının mevcut varlıklarla ilgili her türlü bilgiyi içerdiğini ve bundan dolayı bu bilgileri kullanarak yatırımcıların anormal kar elde edemeyeceklerini gösterir. Bir diğer ifadeyle, etkin bir piyasada geçmiş fiyatların, teknik ve temel analiz tekniği ile ya da herhangi bir özel bilgiye ulaşarak anormal kar sağlaması mümkün değildir. Ayrıca geçmiş fiyat hareketlerinden yola çıkarak gelecek fiyatlar belirlenemez. Dolayısıyla bu piyasalarda incelenen dönemler arasında aslında anomali gözlenmediği söylenebilir. Kripto para piyasalarının ilk ortaya çıktığı zamanlarda yapılan çalışmalar sonucunda kripto para piyasalarında anomali gözlemlendiği saptanmıştır. Ancak hem bu çalışmada uygulanan bazı test sonuçlarına göre hem de son zamanlarda yapılan çalışmalarda kripto para piyasalarında etkinliğin tespit edilmesi ile birlikte anomali olmadığı gözlenmiştir. Bunun da nedeni olarak, kripto paraların ve altında yatan blockchain teknolojisinin neredeyse tüm dünya genelinde kabul edilmesi, bunları anlatan kaynak sayılarının her geçen gün artması ve bundan dolayı tüm yatırımcıların aynı bilgiye sahip olması gösterilebilir. Ayrıca kripto para ve blockchain teknolojisinin tanıtımının ve bu alanda yapılan çalışmaların artması sayesinde kripto paraların geleceği hakkında da net bilgilere sahip olunabilmektedir. Çalışmanın bu aşamasında kripto para piyasalarında etkinliğin geçerli olduğunu test eden analiz sonuçlarına göre bu piyasalarda, geçmiş fiyat hareketlerine bakılarak gelecek fiyatlar tahmin edilemez ve yatırımcılar normal üstü kar elde edemez. Kripto para piyasalarının etkinliğinin tespit edilmesi yatırımcıların yatırım kararlarını etkinlemede en önemli unsurdur. Ayrıca bu piyasalarda anomali gözlenmemesi ise kripto paraların spekülasyon varlığından uzaklaşıp bir değer saklama aracı olarak görülmesini sağlamaktadır. Kripto para piyasalarında etkinliğin geçerli olması bu piyasaların şoklar karşısında duyarlı olduğunu ve para birimlerinin hareketlerinin birbirine bağlı olduğunu göstermektedir. Ancak bu durum

etkinliğin sürdürülebilirliği konusunda net bir bilgi vermemektedir. Çünkü finansal piyasalarda değişkenlerin volatiliteleri yüksektir. Finansal piyasalardaki volatilitenin artması beraberinde riskin de artmasına neden olur. Bu durum volatilitenin modellenmesinin gerekli olduğunu göstermektedir. Riskin bir ölçüsü olan volatilitenin modellenmesi, yatırımcılara, riske karşı tutumları konusunda fayda sağlamaktadır. Ülke ekonomilerinde yaşanan ani ve hızlı değişimler volatilitenin artmasına neden olmaktadır. Bu değişimlerin neden olacağı beklenmedik olaylara karşı da korunabilmek için volatilitenin tahmininin iyi bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bundan dolayı değişkenlerin ARCH-GARCH etkilerinin dikkate alınarak analize GARCH ve türevlerinin eklenmesinin sonuçları değiştirebileceği düşünülmektedir. Çalışmada bu durum tespit edilmiş olup uygulanan GARCH birim kök testi bulgularının kripto para piyasalarında etkinliğin geçerliliği konusunda sonuçları değiştirdiği gözlenmiştir. Bu durum kripto para piyasalarında volatilitenin durumlarının incelenmesi ve bu çerçevede uygulanan analizlerin daha doğru sonuçlara ulaştırabileceğini göstermektedir.

Etkin bir piyasada yatırımcı rasyonel hareket etmektedir. Dolayısıyla modern portföy teorisinin belirttiği gibi yatırımcı, riskini minimize etmeyi ve beklenen getiriyi maksimize etmeyi amaçlamaktadır. Bundan dolayı bir varlığın alternatif yatırım aracı olarak yatırım portföyünde yer alabilmesi için öncelikle portföye sağlayacağı katkının tespit edilmesi gerekmektedir. Baur ve Lucey (2010), portföye dahil edilen varlığın taşınması gereken bazı özelliklerin olduğunu belirtmiştir. Bu özellikler aşağıdaki gibi açıklanmıştır:

- *Risken Korunma*: Portföye dahil edilen alternatif varlığın diğer varlıklarla arasındaki korelasyonun, ekonominin hem normal dönemlerinde hem de kriz dönemlerinde ya negatif olması ya da hiç olmaması gerekmektedir.
- *Güvenli Liman*: Ekonominin kriz dönemlerinde portföye eklenecek alternatif finansal varlığın portföydeki diğer yatırım araçlarıyla arasında korelasyon ilişkisinin negatif yönlü olması ya da korelasyon ilişkisinin hiç olmaması gerekmektedir.
- *Portföy Çeşitlendirme Aracı*: Portföye dahil edilecek alternatif yatırımların portföydeki diğer yatırımlarla arasında bir korelasyon ilişkisinin olması ancak bu korelasyonun çok yüksek olmaması ve pozitif yönlü bir ilişkinin olması beklenir.

Bu bilgiler çerçevesinde birinci deneme çalışması sonuçlarından elde edilen bulgular ışığında çalışmanın ikinci denemesinde kripto paraların portföy çeşitliliği olup olmayacağı ve bu piyasalarda zayıf formda etkinliğin geçerli olduğunu test eden analiz sonuçlarına istinaden yarı-güçlü formda etkinliğin geçerliliği de test edilmiştir. Kripto para piyasalarının etkin olması, bu paraları yeni bir varlık olarak gören yatırımcıları bu piyasalarda yatırım yapmaya ve portföyelerine kripto varlıkları dahil etmelerine teşvik edebilmektedir. Son zamanlarda yapılan çalışmalar sonucunda özellikle Bitcoin'in altınla benzerliklerinin olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla Bitcoin ve diğer bazı kripto paraların yeni bir varlık olarak nitelendirilebileceği düşüncesi herkesin ilgisini çekmiştir. Buradan hareketle çalışmada kripto paralar ile geleneksel finansal varlıkların bir alternatifi olan kıymetli metaller arasındaki ilişki “Kripto Paralar Portföy Çeşitliliği midir? Kıymetli Metaller ile Arasında Doğrusal Olmayan Eşbütünleşme Analizi” başlıklı çalışma ile incelenmiştir. 02/01/2017-29/10/2021 dönemleri arasında beş günlük veriler baz alınarak yapılan bu çalışmada kripto para değişkenleri olarak BTC, ETH ve LTC ile kıymetli metal değişkenleri olarak altın, gümüş ve platin kullanılmıştır. Çalışmada öncelikle değişkenlerin doğrusallığı KSS (2003) doğrusal olmayan birim kök testi ile test edilmiş olup tüm değişkenlerin doğrusal olmayan bir yapıya sahip oldukları tespit edilmiştir. Ardından her bir kripto para değişkeni ile kıymetli metal değişkenleri arasında ayrı ayrı model kurularak aralarında KSS (2006) doğrusal olmayan eşbütünleşme analizi yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, kripto paralar ile kıymetli metal değişkenleri arasında uzun dönemde doğrusal olmayan eşbütünleşme ilişkisi olduğu ve uzun dönemde dengeye ulaşmada doğrusal olmayan bir şekilde hareket ettikleri tespit edilmiştir. Ayrıca değişkenler arasındaki korelasyon ilişkisinin de oldukça yüksek olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla bu çalışmadan elde edilen bulgulara göre BTC, ETH ve LTC değişkenleri altın, gümüş ve platin gibi kıymetli metaller için portföy çeşitlendiricisi olarak kullanılamamaktadır. Buna ek olarak incelenen dönemler arasında kripto paralar kıymetli metaller için güvenli liman veya riskten korunma görevi de görememektedir. Bu durum kripto paraların merkezi bir otoriteye bağlı olmamasından dolayı bireylerin, bu piyasaların kıymetli metaller piyasası kadar güvenilir olmadığını düşünmelerinden kaynaklandığı söylenebilir. Değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisinin çıkması bu piyasalarda yarı-güçlü formda etkinliğin geçerli olmadığını da göstermektedir. Bu sonuç ilk çalışmada kripto para piyasalarında zayıf formda etkinliğin geçerli olmadığı yönündeki sonuçları da desteklemektedir. Zaten bir piyasada yarı-güçlü formda etkinlik geçerli değil ise o piyasada zayıf formda etkinlik de

geçerli değildir. Deneme iki çalışma sonucuna göre kripto paralar portföy çeşitlendiricisi değildirler ancak birlikte hareket etmelerinden dolayı kripto para piyasalarına yatırım yapmak isteyen yatırımcıların kıymetli metal piyasalarını takip etmeleri gerekmektedir. Bu sonuç çalışmada, incelenen dönemler arasında kullanılan kıymetli metallerin değerinin artması/azalması BTC, ETH ve LTC değerlerinin de artması/azalması anlamına gelmektedir. Deneme iki çalışmasında grafiklerde de gözlemlendiği gibi kıymetli metaller ile kripto paraların artış ve azalışları özellikle kriz dönemlerinde aynı andadır. Bu durum kriz dönemlerinde FED'in genişleyici para politikası uygulayarak faiz oranlarını düşürmesinden kaynaklanmaktadır. Çünkü faiz oranları düştükçe yatırımcılar getirisi yüksek alternatif yatırımlara yönelmektedir. Dolayısıyla bu çerçevede kıymetli metallerin değerinde artışlar meydana gelebilmektedir. Özellikle de altın ile BTC arasındaki ilişki çok güçlü görülmektedir. Çalışmada kıymetli metaller ile kripto paraların temelde uzun dönemde birlikte hareket etmeleri kripto paraların kıymetli metaller için portföy çeşitlendiricisi olarak kullanılamayacağı gerektiği kararına varıldı. Bu paraların kıymetli metallerle birlikte hareket etmeleri sadece değer saklama aracı olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Kripto paralar kıymetli metaller piyasası için uzun dönemde portföy çeşitlendiricisi değildir ancak kısa dönemde portföy çeşitlendiricisi olup olmadığı bilinmemektedir. Bunun tespit edilebilmesi için ilerleyen çalışmalarda farklı analizler kullanılarak kripto paraların kısa dönemde portföy çeşitliliğinin araştırılması amaçlanmaktadır. İkinci deneme çalışmasından elde edilen bulgular bu alanda literatürde yapılan çalışmaların sonuçlarını desteklemediğini göstermektedir. Sadece kıymetli metallerle kripto paralar arasındaki ilişkinin incelenmesine yönelik literatür sayısının çok az olmasıyla birlikte yapılan çalışmalar sonucunda kripto paraların kıymetli metallere alternatif portföy çeşitlendiricisi olabileceği vurgulanmıştır. Ancak bu çalışmada tam tersi sonuç elde edilmiştir. Bu durum kullanılan yöntem, baz alınan dönem ve sadece önemli bazı kıymetli metallerle arasındaki ilişkinin incelenmesinden kaynaklı olabilir. Dolayısıyla bu bulguların literatüre katkı sağlaması açısından önemli olabileceği düşünülmektedir.

Kıymetli metaller piyasası için portföy çeşitlendiricisi olamayacağı tespit edilen kripto paraların, finansal piyasaların bir diğer önemli ayağı olan pay piyasaları için de portföy çeşitlendiricisi olup olmayacağının araştırılması önem arz etmektedir. Çünkü kripto paralar eğer yeni bir varlık olarak görülüyorsa ve portföye dahil edilmek isteniyorsa bu durumda pay piyasaları ile olan ilişkisinin de belirlenmesi önemlidir. Kripto paraların fiyat hareketliliğinin yüksek olduğu ve bundan dolayı volatilitelerinin



de yüksek olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla pay piyasaları ile arasındaki ilişki incelenirken volatilitelerine bakılmasının daha doğru sonuçlar vereceği düşünülmektedir. Bu çerçevede çalışmanın üçüncü deneme aşamasında kripto paralar ile pay piyasaları arasındaki volatiliteler ilişkisi incelenmiştir. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda kripto para piyasalarının hisse senedi, emtia, tahvil gibi geleneksel varlıklarla arasındaki korelasyon ilişkisinin oldukça düşük olduğu ve bundan dolayı bu piyasalar için iyi bir çeşitlendirme aracı olabileceği üzerinde durulmuştur.

Volatiliteler, varlık fiyatlarında meydana gelen değişimlerden kaynaklanan dalgalanmalardır. Varlığın riskini belirleyen en büyük parametre fiyat değişkenliğidir. Bu parametre varlık değerlendirme, yatırım tercihi ve risk yönetimi gibi konularda temel girdiler olarak gösterilmektedir. Volatilitenin sabit bir birim olmayıp zamanla değişen bir risk ölçüsü olması volatilitenin modellenmesinde karşılaşılan en büyük zorluktur. Dolayısıyla bu sorunu çözebilmek için koşullu varyans modelleri geliştirilmiştir. Koşullu varyans modellerinin ilki olan ARCH etkisi, finansal piyasalarda meydana gelen şokların benzer şoklara neden olma eğiliminde olduğunu ifade etmektedir. Finansal piyasalarda sıkça karşılaşılan bir diğer durum ise asimetrik volatiliteler etkisidir. Asimetrik volatiliteler, negatif şokların volatiliteler üzerinde etkisinin pozitif şoklardan daha fazla olduğunu ifade etmektedir. Tersine asimetrik etki ise pozitif şokların volatiliteler üzerinde etkisinin negatif şoklardan daha fazla olduğunu söylemektedir. Bunlara ek olarak Black (1976) ve Christie (1982), varyansın getiri ile ters orantılı olduğunu ve bu durumun kaldıraçtan kaynaklı olduğu için asimetrik etkiye kaldıraç etkisi de denilebileceğini belirtmişlerdir. Fiyat-volatiliteler ilişkisinin finansal varlıklar için önemli bir konu olduğu ve finansal piyasalarda asimetrik etkinin volatiliteler üzerinde büyük etkileri olduğunun bilinmesinden yola çıkılarak bu çalışmada kripto paralar ile pay piyasaları arasındaki volatiliteler ilişkisi CCC-GJR GARCH yöntemi ile test edilmiştir.

Çalışmada 02/01/2017-29/10/2021 dönemleri arasında beş günlük veriler kullanılmıştır. Kripto para değişkenleri BTC, ETH, LTC ve pay piyasası değişkenleri Dow Jones, BIST100 ve S&P500 hisse senetleridir. Çalışmanın bu aşamasında öncelikle kripto para ve pay piyasalarında simetrik veya asimetrik GARCH metodlarından hangisinin geçerli olduğu test edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda bu piyasalarda asimetrik GARCH yöntemi olan GJR-GARCH yönteminin geçerli olduğu tespit edilmiştir. Akabinde çalışmada incelenen modeller için çok değişkenli GARCH yöntemlerinden hangisinin uygun olduğu araştırılmış ve bu çalışma için CCC-GJR GARCH yönteminin çalışma için uygun olduğu tespit edilmiştir. Çalışmadan elde

edilen ilk bulgu pay piyasalarında asimetrik etki olduğu ancak kripto para piyasalarında ters asimetrik etki olduğu yönündedir. Yani kripto para piyasalarında pozitif şokların volatilité üzerinde etkisi fazla iken pay piyasalarında negatif şokların volatilité üzerinde etkisi pozitif şoklardan fazladır. Kripto para piyasalarında ters asimetrik etkinin geçerli olması, volatilité bakımından geleneksel finansal varlıklardan farklı olduğunu göstermektedir. Burada devreye davranışsal finans teorisi girmektedir. Davranışsal finans teorisi, yatırımcıların farklı bilgilere farklı zamanlarda ulaştıklarını ve bu bilgileri farklı açılardan değerlendirdiklerini ifade etmektedir. Bu teori yatırımcıların, yatırım kararlarının psikolojik ve duygusal faktörlerden etkilendiğini belirtmektedir. Baur ve Dimpfl (2018) bu durumun piyasadaki gürültücü yatırımcıların (noise trader) fazlasıyla yaygın olmasından kaynaklandığını iddia etmektedir. Gürültücü yatırımcılar piyasanın yükseliş dönemlerinde yeterince şiştiğini düşünürler ve bundan dolayı satış gerçekleştirmeye başlarlar. Bu durum ise irrasyonel yatırım davranışdır ve “kaçırma korkusu (fear of missing out/FOMO)” olarak açıklanmaktadır. Rasyonel yatırımcı volatilité dönemlerinde gürültücü yatırımcıların aksine daha stabil bir çizgide yatırım yapmaktadır. Kripto para piyasalarında ters asimetrik etkinin geçerli olması yani pozitif şokların volatilitéyi daha fazla etkilediğinin göstergesidir. Bu durum, piyasaların yükseliş dönemlerinde gürültücü yatırımcılar tarafından domine edildiğinin bir göstergesidir (Baur vd., 2018:148-151). Ayrıca kripto para piyasalarında ters asimetrik etkinin, pay piyasalarında ise asimetrik etkinin geçerli olması yatırımcıların yaş gurupları ile de ilgili olabilir. Kripto para piyasası yatırımcıları genellikle risk seven, anlık yüksek getirilerden haz duyan, yüksek riski göze alabilen, kolay yoldan para kazanma düşüncesinde olan genç nesildir. Dolayısıyla bu piyasalarda pozitif haberlerin volatilitéyi daha fazla etkilemesi, genç nesil yatırımcılarının riski göze alarak anlık kararla bu piyasalarda gerçekleşen pozitif haberlere göre yatırımlarını artırmasından kaynaklanabilmektedir. Pay piyasası yatırımcıları ise yüksek riski sevmeyen daha geleneksel ve garantici olan nesildir. Dolayısıyla geleneksel varlık yatırımcıları bu piyasalarda meydana gelen negatif haberlere anında tepki vermektedir. Bu durum ise pay piyasalarında negatif haberlerin volatilitéyi daha fazla etkilemesine neden olmaktadır. Elde edilen ikinci bulgu ise pay piyasaları ile kripto paralar arasındaki korelasyon ilişkisinin zayıf yönde olmasıdır. Bist100 ile her bir kripto para arasındaki korelasyon ilişkisi yok denecek kadar düşük iken dow jones ve S&P500 hisse senetleri ile her bir kripto para birimi arasındaki korelasyon ilişkisi zayıf düzeydedir. Finansal varlıklar arasındaki korelasyonun düşük veya negatif olması incelenen varlıkların

portföy çeşitlendirme aracı olarak kullanılabilceğini göstermektedir. Dolayısıyla bu bulgulara göre pay piyasalarına alternatif olarak kripto paralar portföy çeşitlendiricisi olarak kullanılabilir.

Her iki piyasanın volatiliteler ve getirileri arasındaki ilişkinin yönünü test etmek için yapılan Granger nedensellik test sonuçlarına göre ise kripto para değişkenleri, Dow Jones ve S&P500 hisse senetleri ile daha fazla etkileşim halindedir. Her bir kripto para değişkenlerinin getirileri ile Dow Jones ve S&P500 hisse senedi volatiliteleri arasında karşılıklı nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. Aynı zamanda her bir kripto para değişkenlerinin volatiliteleri ile hisse senetlerinin getirileri arasında da karşılıklı nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. Kripto para değişkenleri, BIST100 hisse senedi ile ise daha az etkileşim halindedirler. Bunun nedeni olarak, BIST100 hisse senedinin daha küçük kapsamlı şirketleri içermesi ve çoğunlukla Türkiye’de kullanılan bir hisse senedi olması olarak gösterilebilir. Dow Jones ve S&P500 hisse senetleri dünya çapında kullanılan ve daha büyük kapsamlı firmaları içermesinden dolayı kripto para birimlerinin bu hisse senetleri ile daha fazla etkileşimde olmaları doğal karşılanabilir. Yani sonuç olarak kripto paraların genellikle hisse senedi gibi davrandığı ve iki varlığın birlikte ters yönlü hareket ettiği tespit edilmiştir. Çalışmadan çıkarılacak sonuca göre üçüncü deneme çalışmasında değişkenler arasında korelasyonlarının düşük olması, karşılıklı nedensellik ilişkisi olması ve kripto paraların hisse senedi gibi davranması, bu kripto paraların portföy çeşitlendiricisi olabileceğini göstermektedir. Böylece yatırımcı piyasa riskini de düşürebilmektedir. Elde edilen bu bulgular doğrultusunda kripto paraları portföylerinde bulduran yatırımcılara, portföy çeşitlendirmesinde kripto para ile özellikle Dow Jones ve S&P500 piyasaları arasındaki ilişkiyi dikkate almaları ve bu hisse senedi piyasalarındaki gelişmeleri yakından takip etmeleri önerilmektedir.

Görüldüğü üzere analize ARCH-GARCH etkileri dahil edildiğinde sonuçlar değişmektedir. Kripto paraların etkin olduğu sonucuna varılan doğrusal birim kök testleri ile KSS (2003) gibi bazı doğrusal olmayan birim kök testleri ve varyans oran testleri baz alınarak kripto paraların portföy çeşitliliğinin sınaması için yapılan doğrusal olmayan eşbütünleşme sonuçlarına göre kripto paraların portföy çeşitlendiricisi olamayacağı sonucuna varılmıştır. Ancak çalışmaya volatiliteler etkisi dahil edildiğinde uygulanan GARCH ve türevi yöntemlerine göre sonuçlar değişmiştir. Hisse senetleri için bu kripto paraların portföy çeşitlendiricisi olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır. Çalışmanın bu kısmı, hem finansal piyasalar için hangi analizin daha doğru

sonuçlar verebileceği hem de kripto paraların portföy çeşitlendiricisi olarak kullanılabilmesi yönünde sonuçları ile literatüre katkı sağlaması öngörülmektedir.

Çalışmanın sonuçlarını özetleyecek olursak; kripto para piyasasında ilk çıkan ve işlem hacmi olarak ilk sıralarda yer alan üç kripto para piyasasında zayıf formda piyasa etkinliğinin geçerli olması uygulanan ekonometrik yöntemlere göre değişmektedir. Kripto paraların etkin olduğunu söyleyen birim kök testi sonuçları dikkate alınrsa, bu durumda kripto paraların literatürde de belirtildiği gibi yeni bir varlık olarak nitelendirilebileceği söylenebilmektedir. Alternatif yatırım aracı olabileceği görüşünden yola çıkarak bu kripto para birimlerinin geleneksel finansal varlıklar için bir portföy çeşitlendiricisi olup olamayacağının test edilmesi sonucunda kripto paraların altın, gümüş ve platin için portföy çeşitlendiricisi olamayacağı ancak dow jones ve S&P500 hisse senetleri için portföy çeşitlendiricisi olabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu piyasalarda zayıf formda etkinliğin geçerli olması ve hisse senetleri piyasası için portföy çeşitlendiricisi olması kripto paraların spekülasyon varlık olarak değil de değer saklama aracı olarak görülmesini sağlayabilir. Ayrıca kripto paraların ilki olan BTC, piyasaya ilk çıktığında pizza alışverişinde ödeme aracı olarak kullanılmış ve zamanla hem altcoinlerin çıkması hem de bu paralara olan ilginin artması ile birlikte bazı ülkelerin kendi kripto para birimlerini üretmek için alım satım hizmetlerinde kullanmaları kripto paraların değişim aracı olma özelliği taşımalarını sağlamıştır. Örneğin Rusya, Japonya, Estonya ve İsveç gibi ülkeler, kendi kripto para birimlerini üretmek için çalışmalar yapmaya başladıklarını açıklamışlardır. Buna ek olarak JP Morgan ve Facebook da kendi kripto paralarını üretmek için adım attıklarını duyurmuştur. Dubai, Venezuela, Senegal ve Tunus gibi ülkeler ise kendi kripto paralarını üretmişler ve alım-satım işlemlerinde ürettikleri kripto paralarını değişim aracı olarak kullanmışlardır. Dünyanın en büyük vadeli işlemler borsası olan CME ve CBOE borsaları BTC'yi listelemişlerdir. Ayrıca Microsoft, Overstock ve PriceWaterHouseCooper gibi önemli ve büyük kurumlar BTC'yi ticari işlemlerde tanımaya başlamışlardır. Türkiye'de 11. Kalkınma Planı'nda blockchain tabanlı yerel kripto paranın çıkarılması konusunda adımların atılacağına değinmiştir. Son zamanlarda da Türkiye'de dahil olmak üzere birçok ülke bankaları artık blockchain teknolojisine adapte olma çalışmaları yapmakta ve kripto para ödemelerini kabul etmektedir. Dolayısıyla bu durum kripto paraların geleneksel paranın fonksiyonlarında değişim aracı olma özelliğini de taşıdığını göstermektedir.

Kripto para piyasalarında etkinliğin geçerli olmadığını belirten GARCH birim kök testi dikkate alınrsa eğer, bu durum kripto paraların kendilerine ait spekülasyon bir

yapıya sahip olduğunu ve öngörülebilir olduklarını göstermektedir. Bu durum ise kripto paraların değer saklama aracı olmasından çok spekülasyon bir varlık olduğunu göstermektedir. GARCH birim kök testi sonucuna göre BTC, ETH ve LTC piyasalarında geçmiş bilgiler kullanılarak normalüstü kar elde edilebilmektedir. Geçmiş tarihe bakıldığında ise aslında bu piyasalarda 2019-2020 döneminde yatırımcıların normalden fazla kar elde ettiği de bilinmektedir. Hisse senetleri için portföy çeşitlendiricisi olması ise kripto paraların, Dow Jones ve S&P500 hisse senetleri ile ikame olduklarını ve bu hisse senedi piyasaları takip edilerek kripto paralar için öngörülebilir bulunabileceğini belirtmektedir.

Çalışmaya başlarken ulaşılmaya çalışılan üç sorunun da cevabı belirlenmiştir. Çalışmada incelenen 2017-2021 dönemleri arasında ve uygulanan yöntemler neticesinde BTC, ETH ve LTC kullanılan yöntemlere göre hem değişim aracı hem de değer saklama aracı olma özelliği gösterebilmektedir. Ayrıca bu kripto para piyasaları uygulanan bazı ekonometrik yöntemlere göre zayıf formda etkindir. Son olarak ise çalışmada incelenen kripto paralar hisse senetleri piyasası için portföy çeşitlendiricisi olarak kullanılabilir.

Çalışmanın sonucunda bazı yöntemlere göre kripto para piyasalarının etkin olduğu ve bu paraların portföy çeşitlendiricisi olarak kullanılabilirliği tespit edilmiş olsa da bu durumun sürdürülebilirliği konusunda endişeler bulunmaktadır. Bu durum ise kripto paraların geleceği hakkında belirsizliklerin olması ve volatilitelerinin yüksek olmasından dolayı tam olarak insanların güvenini kazanamamasından kaynaklı olduğu söylenebilir. Ayrıca kripto para piyasalarında değişkenlerin volatilitelerinin önemli olduğundan volatiliteleri içeren ekonometrik yöntemlerin kullanılması daha doğru sonuçlara ulaştıracaktır. Kripto paraların merkezi bir otoriteye bağlı olmaması, işlemlerin hızlı ve düşük maliyetle gerçekleşmesi, aracı kuruma gerek olmadan bireylerin işlemleri kendilerinin yapması ve blockchain teknolojisine sahip olması gibi avantajları bulunmaktadır. Ancak bu avantajların yanında yasal düzenlemelerin olmaması ve bundan dolayı kaçakçılık, kara para aklama gibi yasal olmayan işlemlerde kullanılması, düzenleyici ve denetleyici kurumun olmamasından dolayı bu piyasalarda manipülasyonun fazla olması gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlarından dolayı kripto paraların portföylerdeki yeri sınırlıdır. Dolayısıyla bu aşamada politika yapıcılar ve düzenleyici otoriteler devreye girerek tespit edilen ilişkinin varlığını dikkate almaları gerekmektedir. Çünkü bu bağlamda politika yapıcıların kripto paraların finansal değişkenler ve makroekonomik göstergeler ile

ilişkilerini takip ederek yatırımcıların güvenini artırabilecek politikalar oluşturmaları piyasa için bir ihtiyaç durumuna gelmiştir. Ayrıca kripto paraların ve kullanıcıların sayısında her geçen gün artış olması, blockchain teknolojisinin ve kripto paraların geleceğin parası ve hayatımızın bir parçası olacağı göz ardı edilemez bir durumdur. Bu doğrultuda ülkelerin hızlı bir şekilde büyüyen kripto para piyasasına yönelik uyumlaştırıcı politikalar geliştirmeleri gerekmektedir. Ancak bu geliştirilecek politikalar ülkelerin tek başına yapacakları düzenlemeler olmamalıdır. Bu piyasalara yönelik geliştirilecek politikaların uluslararası düzeyde olması gerekmektedir. Uluslararası düzeyde yasal düzenlemelerin yapılması kripto para piyasalarının büyüme hızlarını yakalaması, yatırımcıların korunması için ülkeler arasında düzenleyici ve denetleyici işbirliklerinin artırılması finansal istikrarın sürdürülebilirliği için oldukça önemli bir koşuldur.

Ülkelerin blockchain teknolojisini keşfetmeye başlamaları, çoğu ülkelerin kripto para birimlerini kabul etmesi ve kendi kripto paralarını çıkarmak için çalışmalar yapmaları, kendi kripto paralarını çıkaran ülkelerin ticari işlemlerde değişim aracı olarak kullanmaya başlaması, Türkiye'nin de 11. Kalkınma Planı'nda blockchain tabanlı kripto para düzenlemelerinin yapılacağını duyurması gibi adımlar kripto paraların kabul edilebilirlik oranının arttığını ve geleceğin parası olduğunu göstermektedir. Buna neden olan en önemli durumlardan biri aslında blockchain teknolojisinin keşfedilmeye başlanmasıdır. Dünyanın önde gelen finans kuruluşlarının işlemlerini blockchain teknolojisi üzerinden yapmak için bütçelerinden AR-GE için önemli bir pay ayırdığı bilinmektedir. Blockchain teknolojisinin keşfedilmesi ve kullanılmaya başlanması aslında ülkeler için yeni iş kollarının ortaya çıkmasını sağlayarak istihdam açısından önemli fırsatlar sunma potansiyeline sahiptir.

Araştırmada incelenen dönemlerin ve elde edilen bulguların kripto paralar ile ilgili yapılacak çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Çalışmada geniş bir dönem aralığında piyasada en çok işlem gören belli başlı kripto para, kıymetli metal ve pay piyasası verileri güncel yöntemlerle incelenmiştir. İlerleyen çalışmalarda son yıllar da baz alınarak farklı kripto para ve finansal varlık değişkenlerinin analize dahil edilerek güncel ekonometrik yöntemler kullanarak, kripto paraların finansal piyasalardaki yeri hakkında geniş çaplı bir bilgi elde edilmesi amaçlanmaktadır.

## KAYNAKÇA

- Açık, A., Baran, E. & Ayaz, İ.S. (2018). “Hisse Senedi Fiyatlarında Etkinlik: Konteyner Şirketleri Üzerine Bir Araştırma”, *SETSCI Conference Indexing System, ISAS 2018-Winter 2<sup>nd</sup> International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies*, Vol:3, 685-689.
- Açıkalın, S. & Sakınç, İ. (2022). “Zayıf Form Etkinlik ve Kripto Para Piyasası”, *Maliye ve Finans Yazıları*, 117, 177-196.
- Aielli, G. P. (2013). “Dynamic Conditional Correlation: On Properties and Estimation”, *Journal of Business & Economic Statistics*, 31(3), 282-299.
- Al Janabi, M. A., Ferrer, R., & Shahzad, S. J. H. (2019). “Liquidity-Adjusted Value-At-Risk Optimization of a Multi-Asset Portfolio Using a Vine Copula Approach”, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 536, 122579.
- Ali, R., Barrdear, J., Clews, R., & Southgate, J. (2014). “Innovations in Payment Technologies and the Emergence of Digital Currencies”, *Bank of England Quarterly Bulletin*, Q3.
- Al-Yahyaee, K. H., Mensi, W., & Yoon, S. M. (2018). “Efficiency, Multifractality, and The Long-Memory Property of the Bitcoin Market: A Comparative Analysis with Stock”, Currency, and Gold Markets. *Finance Research Letters*, 27, 228-234.
- Al-Yahyaee, K., Mensi, W., Ko, H. & Yoon, S. (2020). “Why Cryptocurrency Markets are Inefficient: The Impact of Liquidity and Volatility”, *North American Journal of Economics and Finance*, 52(4),2-22.
- Anderson, H.M. (1997). “Transaction Costs and Nonlinear Adjustment Towards Equilibrium in the US Treasury Bill Market”, *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 59, 465-484.
- Apopo, N. & Phiri, A. (2021). “On the (in)Efficiency of Cryptocurrencies: Have They Taken Daily or Weekly Random Walks?”, *Heliyon*, 7, 1-10.
- Atakan, T. (2008). “İstanbul Menkul Kıymetler Borsası’nda Haftanın Günü Etkisi ve Ocak Ayı Anomalilerinin ARCH-GARCH Modelleri ile Test Edilmesi”, *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 37(2), 98-110.
- Azimov, J. ve Alkan, U. (2019). “Bitcoin Fiyatları ile Çin ve Rusya’nın Seçilmiş Finansal Göstergeleri Arasındaki İlişkinin Ekonometrik Açından İncelenmesi”, *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 6(10), 165-187. <https://www.coingecko.com/> (Erişim Tarihi: 14/06/2022).
- Bachelier, L. (1900). “Théorie de la spéculation”, *In Annales scientifiques de l’École normale supérieure*, Vol. 17, pp. 21-86.
- Baek C., Elbeck M. (2014). “Bitcoin’s as an Investment or Speculative Vehicle? A First Look”, *Applied Economics Letters*, 22(1), ss:30-34.
- Barberis, N., Shleifer, A. & Vishny, R. (1998). “A Model of Investor Sentiment”, *Journal of Financial Economics*, Vol:49, 307-343.
- Bariviera, A. F. (2017). “The Inefficiency of Bitcoin Revisited: A Dynamic Approach”, *Economics Letters*, 161, 1-4.
- Barone, E. (1990). The Italian Stock Market Efficiency Calender Anomalies, *Journal of Banking and Finance*, 14(2-3), 483-510.
- Baştürk, F. H. (2004). *F/K Oranı ve Firma Büyüklüğü Anomalilerinin Bir Arada Ele Alınarak Portföy Oluşturulması ve Bir Uygulama Örneği*, Anadolu Üniversitesi Yayını, Eskişehir.
- Baur, D. G., Hong, K., & Lee, A. D. (2018). “Bitcoin: Medium of Exchange or Speculative Assets?”, *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 54, 177-189.

- Baur, D.G., Dimpfl, T. ve Kuck, K. (2018). "Bitcoin, gold and the US Dollar—A replication and extension", *Finance Research Letters*, 25, 103–110.
- Bayraktar, A. (2012). "Etkin Piyasalar Hipotezi", *Aksaray Üniversitesi İİBF Dergisi*, Cilt:4, Sayı:1, ss:37-47.
- Berndt, E. R., Hall, B. H., Hall, R. E., & Hausman, J. A. (1974). "Estimation and Inference in Nonlinear Structural Models", In *Annals of Economic and Social Measurement*, Vol:3, Issue:4, pp. 653-665, NBER.
- Bhosale, J. & Mavale, S. (2018). "Volatility of Select Crypto-Currencies: A Comparison of Bitcoin, Ethereum and Litecoin", *Annual Research Journal of SCMS, Pune*, Vol:6, pp:132-141.
- Bierens, H. J. (1997). "Testing the Unit Root with Drift Hypothesis against Nonlinear Trend Stationarity, with an Application to the US Price Level and Interest Rate", *Journal of Econometrics*, 81, 29–64.
- Bildik, R. (2000). *Hisse Senedi Piyasalarında Dönemsellikler ve İMKB Üzerine Ampirik Bir Çalışma*, Yayınlanmış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Black, F. (1976). "Studies of stock market volatility changes", *1976 Proceedings of the American statistical association business and economic statistics section*.
- Bolak, M. (1991). *Sermaye Piyasası Menkul Kıymetler ve Portföy Analizi*, Birinci Baskı, İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş..
- Bollerslev, T. (1986). "Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity", *Journal of econometrics*, 31(3), 307-327.
- Bostancı, F. (2003). *Davranışçı Finans*, Sermaye Piyasası Kurulu Yayınları, Yeterlilik Etüdü, Yayın No:157, Ankara.
- Bouoiyour, J., Selmi, R. ve Wohar, M.E. (2019). "Safe havens in the face of Presidential election uncertainty: A comparison between Bitcoin, oil and precious metals", *Applied Economics*, 51(57), 6076-6088.
- Bouri, E., Jalkh, N., Molnár, P., & Roubaud, D. (2017). "Bitcoin for Energy Commodities Before and After the December 2013 Crash: Diversifier, Hedge or Safe Haven?", *Applied Economics*, 49(50), 5063–5073.
- Brand, W. (2016). *Bitcoin for Dummies*, New Jersey: John Wiley & sons.
- Brandfield, J. (2007). *Introduction to the Economics of Financial Markets*, Oxford University Press.
- Briere, M. Oosterlinck, K. & Szafarz, A. (2015). "Virtual Currency, Tangible Return: Portfolio Diversification with Bitcoin", *Journal of Asset Management*, 16, 365-373.
- Brooks, C. (2008). *Introductory econometrics for finance*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Brown, R. (1828). "A Brief Account of Microscopical Observations Made in the Months of June, July and August 1827, On the Particles Contained in the Pollen of Plants; and on the General Existence of Active Molecules in Organic and İnorganic Bodies", *The philosophical magazine*, 4(21), XXVII, 161-173.
- Bunnag, T. (2015). "Hedging Petroleum Futures with Multivariate GARCH Models", *International Journal of Energy Economics and Policy*, 5(1), 105-120.
- Buterin, V. (2014). "Ethereum: A Next-Generation Smart Contract and Decentralized Application Platform", *White-Paper.3(37),2-1*.  
<https://fermatslibrary.com/s/ethereum-a-next-generation-smart-contract-and-decentralized-application-platform>



- Camgöz, M. (2021). “Alternatif Bir Yatırım Aracı Olarak Bitcoin: Uluslararası Hisse Senedi Portföylerinde Daha Üstün Bir Risk-Getiri Etkinliği Mümkün Mü?”, *Journal of Business and Trade*, 2(2), 102-119.
- Campbell, J. Y., Lo, A. W., & MacKinlay, A. C. (1997). *The Econometrics of Financial Markets*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Caporale, G. M., Gil-Alana, L., & Plastun, A. (2018). “Persistence in the Cryptocurrency Market”, *Research in International Business and Finance*, 46, 141–148.
- Cardano, G. (c. 1564), *Liber de Ludo Aleae*. First published (in Latin) in Vol. 1, *Opera Omnia* edited by Charles Spon, Lyons, 1663. Translated into English by Sydney Henry Gould in *Cardano: The Gambling Scholar* by Oystein Ore, Princeton University Press, Princeton, NJ, 1953. Reprinted in *The Book on Games of Chance*, Holt, Rinehart and Winston, New York, 1961.
- Cermak, V. (2017). “Can Bitcoin Become a Viable Alternative to Fiat Currencies? An Empirical Analysis of Bitcoin’s Volatility Based on a GARCH Model”, *Economics Student Theses And Capstone Projects*, 67.
- Chang, C. L., McAleer, M., & Tansuchat, R. (2010). “Analyzing and Forecasting Volatility Spillovers, Asymmetries and Hedging in Major Oil Markets”, *Energy Economics*, 32(6), 1445-1455.
- Charfeddine, L. & Maouchi, Y. (2018). “Are Shocks on the Returns and Volatility of Cryptocurrencies Really Persistent?”, *Finance Research Letters*, 28, pp. 423-430.
- Cheng, P., L. & Deets, M., K. (1971). “Portfolio Returns and the Random Walk Theory”, *The Journal of Finance*, 26(1), 11-30.
- Chu, J., Zhang, Y. & Chan, S. (2019). “The Adaptive Market Hypothesis in the High Frequency Cryptocurrency Market”, *International Review of Financial Analysis*, 64, 221-231.
- Chuvakhin, N. (2001). “Efficient Market Hypothesis and Behavioral Finance is a Compromise in Sight”, *Graziadio Business Report*, 2-5.
- Cont, R. (2001). “Empirical Properties of Asset Returns: Stylized Facts and Statistical Issues”, *Quantitative finance*, 1(2), 223.
- Cook, S. (2008). “Joint Maximum Likelihood Estimation of Unit Root Testing Equations and GARCH processes: Some Finite-Sample Issues”, *ScienceDirect, Mathematics and Computers in Simulation*, 77, 109-116.
- Copeland, T.E. & Weston, J.F. (1988). *Financial Theory and Corporate Policy*, 2nd edition, Addison-Wesley.
- Corbet, S., Meegan, A., Larkin, C., Lucey, B., & Yarovaya, L. (2018). “Exploring the Dynamic Relationships between Cryptocurrencies and other Financial Assets”, *Economics Letters*, 165, 28–34.
- Cowles, 3rd, A. (1933). “Can Stock Market Forecasters Forecast?”, *Econometrica*, 1(3), 309–324.
- Cowles, 3rd, A. & Jones, H. E. (1937). “Some a Posteriori Probabilities in Stock Market Action”, *Econometrica* 5(3), 280–294.
- Cowles, A. (1944), “Stock Market Forecasting”, *Econometrica* 12(3/4), 206–214.
- Cromwell, J.B., Labys, W. C. & Terraza, M., (1994). “Univariate Tests for Time Series Models”, *Sage Publications, London*.
- Çağlarırnak Uslu, N. (2002). *Finansal Piyasalarda Etkinlik ve Etkinliğin Zayıf Formda Test Edilmesi*, (Basılmamış Doktora Tezi), Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.

- Çalışır, M. & Şanver, C. (2018). Kripto Paralar ve Para & Maliye Politikalarına Muhtemel Yansımaları, *IBANESS Conference Series*, Tekirdağ.
- Çelik, T. T. (2007). *Etkin Piyasa Hipotezi ve Gelişmekte Olan Hisse Senedi Piyasalarında Eşhareketlilik*, (Basılmamış Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Çetinkaya, Ş. (2018). “Kripto Paraların Gelişimi ve Para Piyasalarındaki Yerinin Swot Analizi ile İncelenmesi”, *Uluslararası Ekonomi ve Siyaset Bilimleri Akademik Araştırmalar Dergisi*, 2(5), 11-21.
- Çorakçı, A., Emirmahmutoğlu, F. & Omay, T. (2017). “PPP Hypothesis and Temporary Structural Breaks”, *Economics Bulletin*. 37/3, 1541- 1548.
- Dağlı, H. (2000). *Sermaye piyasası ve portföy analizi*, Derya Kitabevi, Trabzon.
- Dahir, A. M., Mahat, F., Noordin, B. A. A., & Ab Razak, N. H. (2019). “Dynamic Connectedness Between Bitcoin and Equity Market Information Across BRICS Countries: Evidence from TVP-VAR Connectedness Approach”, *International Journal of Managerial Finance*.
- Daniel, K. & Titman, S. (1999). “Market Efficiency in an Irrational World”, *Financial Analysts Journal*, 55(6), 28-40.
- Degutis, A. & Novickyte, L. (2014). “The Efficient Market Hypothesis: A Critical Review of Literature and Methodology”, *Ekonomika*, 93(2), 7-23.
- Dhillon, V., Metcalf, D. & Hooper, M. (2017). *Blockchain Enabled Applications: Understand the Blockchain Ecosystem and How to Make it Work for You*, First Edition, e-book, Florida.
- Dickey, D. A. & Fuller, W. A. (1979). “Distribution of the Estimators for Auto Regressive Time Series with a Unitroot”, *Journal of the American Statistical Association*, 74/366, 427 - 431.
- Dimson, E. & Mussavian, M. (1998). “A Brief History of Market Efficiency”, *European Financial Management*, 4(1), 91–193.
- Dyhrberg, A. H. (2016). “Bitcoin, Gold and the Dollar—A GARCH Volatility Analysis”, *Finance Research Letters*, 16, 85–92.
- Eken, H., & Adalı, S. (2008). “Piyasa Etkinliği ve İMKB: Zayıf Formda Etkinliğe İlişkin Ekonometrik Bir Analiz”, *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, (37).
- Enders, W. & Granger, C. W. J. (1998). “Unit-Roottests and Asymmetric Adjustment with an Example Using the Termstructure of Interest Rates”, *Journal of Business and Economic Statistics*, 16/3, 304-311.
- Enders, W., & J. Lee. 2012. “A Unit Root Test Using a Fourier Series to Approximate Smooth Breaks”, *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 74 (4): 574–599.
- Enders, W. (2015). *Applied Econometric Time Series*. Fourth Edition.
- Engle, R. F. (1982). “Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation”, *Econometrica: Journal of the econometric society*, 987-1007.
- Engle, R.F. & Granger, C. W. J. (1987). “Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing”, *Econometrica*, 55(2), ss.251-276.
- Engle, R. F., & Kroner, K. F. (1995). “Multivariate Simultaneous Generalized ARCH”, *Econometric Theory*, 11(1), 122-150.
- Engle, R. F. & Sheppard, K. (2001). “Theoretical and Empirical Properties of Dynamic Conditional Correlation Multivariate GARCH”, *National Bureau of Economic Research*, No:8554.
- Erdoğan, N. K. (2018). “New Approaches to the Measurement of Market Efficiency and Market Efficiency Analysis of Crypto Currencies”, *Journal of Current Researches on Business and Economics*, 8(2), 289-300.

- Ertuna, İ.Ö. (1991). *Yatırım ve portföy analizi*. Boğaziçi Üniversitesi Matbaası, İstanbul.
- Estrada J.C.S. (2017). “Analyzing Bitcoin Price Volatility”, *University of California, Berkeley*, pp. 1-49
- Fama, E. F. (1965b). “The Behavior of Stock-Market Prices”, *Journal of Business*, 38(1), 34–105.
- Fama, E. F. (1970). “Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work”, *The Journal of Finance*, 25(2), 383–417.
- Fama, E. F. (1991). “Efficient capital markets: II”, *The Journal of Finance*, 46(5), 1575–1617.
- Fasanya, İ.O., Oliyide, J.A., Adekoya, O.B. & Agbatogun, T. (2021). “How does Economic Policy Uncertainty Connect with the Dynamic Spillovers between Precious Metals and Bitcoin Markets?” *Resources Policy*, 72, 1020077, 1-17.
- Firth, M. (1977). “Tests of the Efficient-Markets Theory”, *The Valuation of Shares and the Efficient-Markets Theory*, 117-139.
- Francq, C., & Zakoian, J.M. (2019). “GARCH Models: Structure, Statistical Inference And Financial Applications”, *John Wiley & Sons*.
- Franses, P.H., & Van Dijk, D. (2000b). “Non-Linear Time Series Models in Empirical Finance”, *Cambridge University Press*.
- Friedman, M. (1953). “The Case for Flexible Exchange Rates, in M. Friedman (ed.), *Essays in Positive Economics*”, *University of Chicago Press, Chicago*, pp.157–203.
- Gallant, A.R. (1981). ““On the Bias in Flexible Functional Forms and an Essentially Unbiased Form.” The Flexible Fourier Form’, *Journal of Econometrics*, 15: 211–245.
- Gangwal, S. (2016). “Analyzing the Effects of Adding Bitcoin to Portfolio”, *International Journal of Economics and Management Engineering*, 10(10), 3519-3532.
- Ganz, D. L. (2011). “The Essential Guide to Investing in Precious Metals”, *Wisconsin USA: Krause Publications*.
- Gazda, V. & Vyrost, T. (2003). “Application of GARCH Models in Forecasting the Volatility of the Slovak Share Index (SAX)”, *Economics Focus, BIATEC*, Vol:XI.
- Georgoula, I., Pournarakis, D., Bilanakos, C. Sotiropoulos, D. N., & Giaglis, G. M. (2015). “Using Time-Series and Sentiment Analysis to Detect the Determinants of Bitcoin Prices”, *Mediterranean Conference on Information Systems*, Samos, Greece, 1-12.
- Ghorbel, A. & Jeribi, A. (2021). “Investigating the Relationship between Volatilities of Cryptocurrencies and Other Financial Assets”, *Decisin in Economics and Finance*.
- Gibson, G. (1889). “The Stock Markets of London”, *Paris and New York*, (G.P. Putnam’s Sons, New York).
- Giglio, R., Matsushita, R. & Da Silva, S. (2008). “The Relative Efficiency of Stock Markets”, *Economics Bulletin*, 7(6), 1-12.
- Gil-Alana, L.A., Abakah, E.J.A. & Rojo, M.F.R., (2020). “Cryptocurrencies and Stock Market Indices. Are They Related”, *Research in International Business and Finance*, Vol:51, 101063.
- Giudici, P., & Hashish, I. A. (2018). “What determines Bitcoin exchange prices? A network VAR Approach”, *Finance Research Letters*, 28, 309–318.

- Glosten, L. R., Jagannathan, R., & Runkle, D. E. (1993). "On the Relation between the Expected Value and the Volatility of the Nominal Excess Return on Stocks", *The journal of finance*, 48(5), 1779-1801.
- Gonzalez, M. O., Jareno, F., & Skinner, F. S. (2020a). "Nonlinear Autoregressive Distributed Lag Approach: An Application on the Connectedness between Bitcoin Returns and the Other Ten Most Relevant Cryptocurrency Returns", *Mathematics*, 8 (5), 810, 1-22.
- Gonzalez, M.O., Jareno, F., & Skinner, F.S. (2021). "Asymmetric Interdependencies between Large Capital Cryptocurrency and Gold Returns During the Covid-19 Pandemic Crisis", *Internetenal Review of Financial Analysis*, 76, 101773, 1-16.
- Guerrien B. & Gun O. (2011). "Efficient Market Hypothesis: What are we talking about?", *Real-world Economics Review*, No.66, 58-64.
- Guesmi, K., Saadi, S., Abid, I., & Ftiti, Z. (2018). "Portfolio diversification with virtual currency: Evidence from Bitcoin", *International Review of Financial Analysis*, 63, 431–437.
- Gupta, E., Bedi, P. & Lakra, P., (2014). "Efficient Market Hypothesis vs Behavioural Finance", *IOSR Journal of Business and Management*, Vol:16, Issue:4, Ver. IV, April, 56 – 60.
- Güleç, T. C. & Aktaş, H. (2019). "Kripto Para Piyasasında Spekülatif Fiyat Balonlarının Analizi", *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 149-164.
- Güngör, B. (2003). "Finans Literatüründe Anomali Kavramı Ve Etkin Piyasalar Hipotezi," *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt17, Sayı1-2, s. 111.
- Gürel, C.A. (2019). *Gelişmekte Olan Döviz Piyasalarında Etkin Piyasalar Hipotezinin Test Edilmesi Üzerine Bir İnceleme*, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Güriş, B., Tıraşoğlu, B.Y. & Tıraşoğlu, M. (2016). "Türkiye’de Satın Alma Gücü Paritesi Geçerli Mi?:Doğrusal Olmayan Birim Kök Testleri", *Social Sciences Research Journal*, Vol:5, Issue:4, 30-42.
- Gürsoy, S., & Tunçel, M. B. (2020). "Kripto Paralar ve Finansal Piyasalar Arasındaki İlişkinin İncelenmesi: Bitcoin ve Seçili Pay Piyasaları Arasında Yapılmış Nedensellik Analizi (2010-2020)", *Third Sector Social Economic Review*, 55(4), 2126-2142.
- Harvey, D.I., & Leybourne, S.J. (2007). "Testing for Time Series Linearity", *Royal Economic Society and Oxford University Press are Collaborating with JSTOR to Digitize, Preserve and Extend access to The Econometrics Journal*, Vol:10, No:1, pp:149-165.
- Harvey, D.I. & S.J. Leybourne & B. Xiao (2008), "A Powerful Test for Linearity When the order of Integration is Unknown", *Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics*, 12(3), 1-24.
- Hasanov, M. & Omay, T. (2007). "Are the Transition Stock Markets Efficient? Evidence from Non-Linear Unit Root Tests", *Central Bank Review*, 2, 1-12.
- Hawaladar, I.T., Rajesha, T.M. & Souza, L.J.D. (2019). "Testing the Weak Form of Efficiency of Cryptocurrencies: A Case Study of Bitcoin and Litecoin", *International Journal of Scientific & Technology Research*, 8(9), 2301-2305.
- Hepsağ, A., & Akçalı, B. Y. (2016). "Analysis of Volatility Spillovers Between the Bank Stocks Traded In Istanbul Stock Exchange and New York Stock Exchange", *Eurasian Econometrics, Statistics & Emprical Economics Journal*, 1, 54-72.

- Hepsağ, A. & Akçalı, B.Y. (2018). “Zayıf Formda Piyasa Etkinliğinin Asimetrik Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi İle Analizi: G-7 Ve E-7 Ülkeleri Örneği”, *BDDK Bankacılık ve Finansal Piyasalar*, Cilt:9, Sayı:2, 73-90.
- Hu, Y., A.Valera, H.G. & Oxley, L., (2019). “Market Efficiency of the Top Market-Cap Cryptocurrencies: Further Evidence from a Panel Framework”, *Finance Research Letters*, 31, 138-145.
- Jareno, F., Gonzalez, M. O., Tolentino, M., & Sierra, K. (2020). “Bitcoin and Gold Price Returns: A Quantile Regression and NARDL Analysis”, *Resources Policy*, 67, 101666, 1-14.
- Jin, J., Yu, J., Hu, Y. ve Shang, Y. (2019). “Which one is more informative in determining price movements of hedging assets? Evidence from Bitcoin, gold and crude oil markets”, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 527, 121121.
- Jun Kim, M. & Y.Park, Sung, (2022). “Testing for market efficiency in cryptocurrencies: evidence from a non-linear conditional quantile framework”, *Applied Economics Letters*, Routledge Taylor & Francis Group, 1-7.
- Kamisli, M. (2019), “Blockchain Economics and Financial Market Innovation”, *Springer Nature Switzerland AG*, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-25275-5\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-030-25275-5_16)
- Kang, H.J, Lee, S.G & Park, S.Y., (2021). “Information Efficiency in the Cryptocurrency Market: The Efficient-Market Hypothesis”, *Journal of Computer Information Systems*, <https://doi.org/10.1080/08874417.2021.1872046>, 1-10.
- Kantz, H. & Schreiber, T. (2004). “Nonlinear time series analysis (2nd ed.)”. *Cambridge, UK ; New York: Cambridge University Press*.
- Kapetanios G., Shin Y. & Snell A. (2003). “Testing for a Unit Root in the Nonlinear STAR Framework”, *Journal of Econometrics*, 112, 359-379.
- Kapetanios, G., Shin, Y. & Snell, A. (2006) “Testing for Cointegration in Nonlinear Smooth Transition Error Correction Models”, *Econometric Theory*, 22(2), 279-303.
- Karabulut, T., & Sarı, S. S. (2022). “Nüfusa Oranla Kripto Para Yatırımcısı En Çok ve En Az Olan Ülkelerin Borsa Endeksi ile Bitcoin Arasındaki İlişkinin İncelenmesi”, *Alanya Akademik Bakış*, 6(2), 2319-2332.
- Karakitsos, E., & Varnavides, L. (2014). *Maritime Economics: A Macroeconomic Approach*, Springer, London.
- Karan, M.B. (2004). *Yatırım Analizi ve Portföy Yönetimi*. Ankara: Gazi Kitabevi.
- Kazova, F. (2021). *Kriptopara Birimlerinin Volatilite Yapılarının Karşılaştırılmalı Analizi*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Akdeniz Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya.
- Keleş, P.B (2003). *Etkin Pazar Kuramı ve İstanbul Menkul Kıymetler Borsası'nın Zayıf Formda Etkinliğinin Test Edilmesi*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Kendall, M. G. (1953). “The Analysis of Economic Time-Series-Part I: Prices”, *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)* 116(1), 11–25.
- Kılıç, Y., & Çütücü, İ. (2018b). “Bitcoin Fiyatları ile Borsa İstanbul Endeksi Arasındaki Eşbütünlük ve Nedensellik İlişkisi”, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 13(3), 235-250.
- Kılıç, E. (2022). “Bitcoin ile Vadeli İşlemler Piyasası Arasındaki İlişkinin Analizi”, *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, 21(3), 1457-1470.

- Kıyılar, M. (1996). *Etkin Pazar Kuramı ve Etkin Pazar Kuramının İMKB’de İrdelenmesi-Test Edilmesi*, (Basılmamış Doktora Tezi), İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Kiete, K. & Uloza, G. (2005). “The Information Efficiency of The Stock Markets In Lithuania and Latvia”, *Stockholm School of Economics in Riga Working Paper*, (75).
- Klein, T., Thu, H. P., & Walther, T. (2018). “Bitcoin is not the New Gold—A Comparison of Volatility, Correlation, and Portfolio Performance”, *International Review of Financial Analysis*, 59, 105–116.
- Komşuoğlu Yılmaz, N. (2019). “ARCH ve GARCH Modelleriyle Standard&Poors 500 Endeksinde Rassal Yürüyüş ve Piyasa Etkinliğinin Analizi”, *İşletme Araştırmaları Dergisi Journal of Business Research-Türk*, 11(3), 1559-1574.
- Koy, A., Yaman, M., & Mete, S. (2021). “Kripto Paraların Volatilité Modelinde ABD Borsa Endekslerinin Yeri: Bitcoin Üzerine Bir Uygulama”, *Finansal Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, 13(24), 159-170.
- Kristoufek, L. (2015). “What are The Main Drivers Of The Bitcoin Price? Evidence From Wavelet Coherence Analysis”. *PLOS ONE*, 10(4), 1-15.
- Kulalı, İ. (2016). “Etkin Piyasalar Hipotezi ve Davranışsal Finans Çatışması, Finans ve Bankacılık Çalışmaları Dergisi”, *IJFBS*, Cilt:5, Sayı:2, Özel Sayı ISSN: 2147-4486, ss:46-57.
- Kumar, A.S. (2020). “Testing Safe Haven Property of Bitcoin and Gold during Covid-19 : Evidence from Multivariate GARCH Analysis”, *Economics Bulletin*, Vol:40, Issue:3.
- Kurihara, Y. & Fukushima, A. (2017). “The Market Efficiency of Bitcoin: A Weekly Anomaly Perspective”, *Journal of Applied Finance & Banking*, 7(3), 57-64.
- Lamoureux, C. G., & Lastrapes, W. D. (1990). “Persistence in Variance, Structural Change, and the GARCH Model”, *Journal of Business & Economic Statistics*, 8(2), 225-234.
- Latif, S., Reeza, M., Azri, M., Amin, M. & Mohammad, A. (2017). “Testing the Weak form of Efficient Market in Cryptocurrency”, *Journal Engineering and Applied Sciences*, 12(9), 2285-2288.
- Leybourne, S., Newbold, P. & Vougas, D. (1998). “Unit Roots and Smooth Transitions”, *Journal of Time Series Analysis*, 19/1, 83-97.
- Ling, S. & McAleer, M., (2003). “Asymptotic Theory for a Vector ARMA–GARCH Model”, *Econometric Theory*, 19, 278–308.
- Lintner, J. (1965). “Security Prices, Risk, and Maximal Gains From Diversification”, *The journal of finance*, 20(4), 587-615.
- Lintner, J. (1975). “The Valuation of Risk Assets and the Selection of Risky Investments in Stock Portfolios and Capital Budgets”. In *Stochastic optimization models in finance*, pp. 131-155, Academic Press.
- Lo, A., W. & MacKinlay, A., C. (1988). “Stock Market Prices do not Follow Random Walks: Evidence From a Simple Specification Test”, *The review of financial studies*, 1(1), 41-66.
- Lo, Andrew W. (2004). “The Adaptive Markets Hypothesis: Market Efficiency from an Evolutionary Perspective”, *Journal of Portfolio Management*, Forthcoming, pp:1-33, [http://papers.ssrn.com\\_id=602222.pdf](http://papers.ssrn.com_id=602222.pdf), 17.03.2011.
- López-Cabarcos, M. Á., Pérez-Pico, A. M., Piñeiro-Chousa, J., & Šević, A. (2021). “Bitcoin Volatility, Stock Market and Investor Sentiment. Are They Connected?”, *Finance Research Letters*, 38, 101399.

- Luukkonen, R., Saikkonen, P. & Terasvirta, T. (1988). "Testing Linearity Against Smooth Transition Autoregressive Models", *Biometrika*, 75(3), ss.491–499.
- Maghyereh, A. & Abdoh, H. (2020). "Tail Dependence between Bitcoin and Financial Assets: Evidence from a Quantile Cross-Spectral Approach", *International Review of Financial Analysis (ELSEVIER)*, 71, 101545.
- Mahalwala, R. (2022). "Examining the Weak-Form Market Efficiency in Cryptocurrency Market", *International Journal of Advances in Engineering and Management (IJAEM)*, Vol:4, Issue:5, pp:1328-1335.
- Mandelbrot, B. (1963). "The Variation of Certain Speculative Prices", *The Journal of Business*, Vol. 36, No: 4, pp. 394-419.
- Mariana, C. D., Ekaputra, I. A., & Husodo, Z. A. (2021). "Are Bitcoin and Ethereum safe-havens for stocks during the COVID-19 pandemic?", *Finance research letters*, 38, 101798.
- Maymin, Philip Z. (2011). "Markets are Efficient if and Only if P=NP", *Algorithmic Finance*, Vol. 1, No. 1, NYU Poly Research Paper, (pp.1-12).
- McCown, J. R., & Shaw, R. (2017). "Investment Potential and Risk Hedging Characteristics of Platinum Group Metals", *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 63, 328–337.
- Mnif, E., & Jarboui, A. (2021). "Covid-19, Bitcoin Market Efficiency, Herd Behaviour", *Review of Behavioral Finance*, 13 (1), 69-84.
- Moro, A., & Kajtazi, A. (2017). "Bitcoin, Portfolio Diversification and Chinese Financial Markets", Available at SSRN 3062064.
- Nadarajah, S., & Chu, J. (2017). "On the Inefficiency of Bitcoin", *Economics Letters*, 150, 6-9.
- Nakamoto, S. (2008). "Bitcoin: A Peer-To-Peer Electronic Cash System", *Decentralized business review*, 21260.
- Nelson, D.B. (1991), "Conditional Heteroskedasticity in Asset Returns: A New Approach", *Econometrica*, 59, 347-370.
- Nguyen, K. Q. (2022). "The Correlation between the Stock Market and Bitcoin during COVID-19 and other Uncertainty Periods", *Finance research letters*, 46, 102284.
- Noda, A. (2021). "On the Evolution of Cryptocurrency Market Efficiency", *Applied Economics Letters*, 28(6), 433-439.
- Nugroho, D. B., Kurniawati, D., Panjaitan, L. P., Kholil, Z., Susanto, B., & Sasongko, L. R. (2019). "Empirical Performance of GARCH, GARCH-M, GJR-GARCH and log-GARCH Models for Returns Volatility", In *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1307, No. 1, p. 012003, IOP Publishing.
- Okuyan, A. & Deniz, D. (2019). "Kripto Paraların Geleneksel Finansal Varlıklarla İlişkisi", *II.International Conference on Empirical Economics and Social Sciences (ICEESS'19)*, 108-114.
- Omay, T. (2008). "Enflasyon ve Büyüme Belirsizliklerinin Enflasyon ve Büyüme ile Olan İlişkileri: Türkiye Örneği", *Çankaya Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Dergisi*, 10, 81-108.
- Omay, T., & Yıldırım, D. (2014). "Nonlinearity and Smooth Breaks in Unit Root Testing", *Econometrics Letters*, 1/1, 1-9
- Omay, T., Emirmahmutoglu, F. & Hasanov, M. (2018). "Structural Break, Nonlinearity, and Asymmetry: A Re-Examination of PPP Proposition". *Journal Applied Economics*, 50/12, 1289-1308.

- Omay, T., Shahbaz, M., & Hasanov, M. (2020). "Testing PPP Hypothesis under Temporary Structural Breaks and Asymmetric Dynamic Adjustments", *Applied Economics*, 52/32, 3479-3497.
- Onoh, J. O. (2016). "Semi-Strong Market Efficiency Studies of the Nigerian Capital Market Using Dividend Announcements", *Journal of Business and African Economy*, 2(1), 22-42.
- Osborne, M. F. M. (1959). "Brownian Motion in the Stock Market", *Operations Research*, 7(2), 145-73.
- Oskooe, S., A., P. (2011). "The Random Walk Hypothesis in Emerging Stock Market- Evidence from Nonlinear Fourier Unit Root Test", *In Proceedings of the World Congress on Engineering*, 1, 1-5.
- Öncü, S., Aktaş, H., Kargın, S., Aktaş, R. & Kayalı, N. (2006). "Yatırımcıların Anormal Fiyat Değişimlerine Tepkisi: Gün İçi Verilerle İMKB Üzerine Bir İnceleme", *X. Ulusal Finans Sempozyumu*, Kuşadası-Aydın, 01-04 Kasım, ss. 1-17.
- Özdemir, M. (2022). "Etkin Piyasa Hipotezinin Yapısal Kırılmaları ve Doğrusal Olmayan Birim Kök Testleri ile Analizi: Borsa İstanbul Üzerine Bir Uygulama", *Ekoist: Journal of Econometrics and Statistics*, 37, ss:257-282.
- Özdemir, M.O. (2020). *Finansal Zaman Serilerindeki Oynaklığın Çok Değişkenli GARCH Modelleri ile Analizi*, (Basılmamış Doktora Tezi), Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Anabilim Dalı, İZMİR.
- Özgül, İ. (2021). *Kripto Para Piyasalarında Türk Lirası İşlemlerine Dair Piyasa Etkinliğinin Ölçülmesi*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Öztürk Başaran M., Arslan, H., Kayhan, T. & Uysa, M. (2018) "Yeni Bir Hedge Enstrümanı Olarak Bitcoin: Bitconomi", *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt-Sayı: 11(2): 217-232.
- Palamalai, S., Kumar, K.K., & Maity, B. (2020). "Testing the Random Walk Hypothesis for Leading Cryptocurrencies", *Borsa İstanbul Review*, 21-3, 256-268.
- Peng, Y., Albuquerque, P. H. M., Camboim de Sá, J. M., Padula, A. J. A., & Montenegro, M. R. (2018). "The Best of Two Worlds: Forecasting High Frequency Volatility for Cryptocurrencies and Traditional Currencies with Support Vector Regression", *Expert Systems with Applications*, 97, 177-192.
- Phillips, P. & Perron, P. (1988). "Testing for a Unit Root in Time Series Regression", *Biometrika*, 75, 335-346.
- Piscini, E., Dalton, D., & Kehoe, L. (2017). "Blockchain & Cyber Security", *Let's Discuss*. Available online: [https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ie/Documents/Technology/IE\\_C\\_Blockchainan CyberPOV\\_0417.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ie/Documents/Technology/IE_C_Blockchainan%20CyberPOV_0417.pdf) (accessed on 3 March 2021).
- Pojezny, N. (2007). "Value creation in European equity carve-outs", *Springer Science & Business Media*, Vol:62.
- Regnault, J. (1863). "Calcul Des Chances et Philosophie De La Bourse", *Pilloy*.
- Rehman, M. U., & Apergis, N. (2018). "Determining the predictive power between cryptocurrencies and real time commodity futures: Evidence from quantile causality tests", *Research Policy*, 66, 603-616.
- Rehman, M.U. & Vo, X.V. (2020). "Cryptocurrencies and Precious Metals: A Closer Look from Diversification Perspective", *Resources Policy*, (66), <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101652>



- Rehman, M.U. (2020). "Do Bitcoin and Precious Metals do Any Good Together? An Extreme Dependence and Risk Spillover Analysis", *Research Policy*, 68, 1-16.
- Roberts, H. (1967). "Statistical Versus Clinical Prediction of the Stock Market", *Unpublished manuscript*.
- Roberts, H.V. (1959). "Stock-Market 'Patterns' and Financial Analysis: Methodological Suggestions", *The Journal of Finance*, 14(1), 1-10.
- Rodriguez, G. & Sloboda, M.J. (2005). "Modeling Nonlinearities and Asymmetries in Quarterly Revenues of the US Telecommunications Industry", *Structural Change and Economic Dynamics*, 16, 137-158.
- Salihoğlu, E. (2018). *Merkez Bankası Para Politikaları ve Elektronik Para İlişkisi: Türkiye Uygulaması*, (Basılmamış Doktora Tezi), Marmara Üniversitesi, Bankacılık ve Sigortacılık Enstitüsü, Bankacılık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Salihoğlu, E. & Göv, A. (2021). "Dijital Emtia Olarak Bitcoin'e Yatırım Portföyünde Yer Verilmeli Mi?: Bitcoin'in Altın, Gümüş ve Petrol Fiyatları İle İlişkisi Üzerine Bir İnceleme", *İktisadi İdari ve Siyasal Araştırmalar Dergisi*, 6(16), 538-554.
- Samuelson, P. A. (1965). "Proof That Properly Anticipated Prices Fluctuate Randomly", *Industrial Management Review*, 6(2), 41-49.
- Sattary, A. (2014). *Petrol Fiyatları ile Hisse Senedi Getirileri Arasında Oynaklık Geçişkenliğinin Analizi ve Portföy Yönetimine Yansımaları*, (Basılmamış Doktora Tezi), Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri Anabilim Dalı, Erzurum.
- Sayın, K.Ş. & Mercan, E. (2018). "Kripto Para Birimleri: Vergilendirilmesi ve Dünyadaki Uygulamaları", *Journal of Social and Humanities Sciences Research*, Vol:5, Issue:20, pp:701-711.
- Sears, R. S. & Trennepohl, G.L. (1993). *Investment Management*, The Dryden Press.
- Seo, B. (1999). "Distribution theory for unit root tests with conditional heteroskedasticity", *Journal of Econometrics* 91, 113-144.
- Sewell, M. (2011). "History of the Efficient Market Hypothesis", *UCL Department of Computer Science*, Research Note RN/11/04, 1-14.
- Shahbaz, M., Omay, T. & Roubaud, D. (2018). "Sharp and Smooth Breaks in Unit Root Testing of Renewable Energy Consumption", *The Journal of Energy and Development*, Vol:44, No:1/2, pp:5-40.
- Sharpe, W. F. (1964). "Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk", *The Journal of Finance*, 19(3), 425-442.
- Shleifer, A. (2000). *Inefficient Markets: A Introduction to Behavioral Finance*, Oxford University Press, Oxford.
- Sichel, D. E. (1993), "Business Cycle Asymmetry: A Deeper Look," *Economic Inquiry* 3, 1. 224-236.
- Simons, D. N., & Laryea, S. (2005). "Testing The Efficiency of African Markets", *Available at SSRN 874808*.
- Sivrikaya, A., İren, P. & Umay, T. (2021). "The Relationship between Stock Returns, Bitcoin Returns, and Risk Aversion: Evidence from a Multivariate GARCH Model", *Sosyoekonomi*, 29(47), 107-118.
- Sollis, R. (2009). "A Simple Unit Root Test against Asymmetric STAR Nonlinearity with an Application to Real Exchange Rates in Nordic Countries", *Economic Modelling*, 26: 118- 125.
- Souza, O.T. & França Carvalho, J.V. (2022). "Market Efficiency Assessment for Multiple Exchanges of Cryptocurrencies", *Revista de Gestão*, (ahead-of-print). <https://www.emerald.com/insight/2177-8736.htm>.

- Soyu Yıldırım, E. (2022). *Türkiye CDS Priminin Belirleyicileri Üzerine Üç Deneme*, (Basılmamış Doktora Tezi), Aksaray Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, AKSARAY.
- Spurga, R. C. (2006). "Commodity fundamentals: How to trade the precious metals, energy, grain and tropical commodity markets", Hoboken, N.J: John Wiley & Sons.
- Stasiulis, D. (2009). "Semi-Strong Form Efficiency in the CEE Stock Markets", *Rigas Ekonomikas Augstskola Stockholm School of Economics*, Riga.
- Terasvirta, T. & H.M. Anderson (1992). "Characterizing Nonlinearities in Business Cycles Using Smooth Transition Autoregressive Models", *Journal of Applied Econometrics*, 7, 119-136.
- Terasvirta, T. (1994). "Specification, Estimation, and Evaluation of Smooth Transition Autoregressive Models", *Journal of the American Statistical Association*, 89, 208-218.
- Ťiřan, A.G. (2015). "The efficient market hypothesis: Review of specialized literature and empirical research", *Procedia Economics and Finance*, 32, 442-449.
- Tiwari, A. K., Jana, R. K., Das, D., & Roubaud, D. (2018). "Informational Efficiency of Bitcoin—An Extension". *Economics Letters*, 163, 106-109.
- Tiwari, A.K., Raheem, I.D. & Kang, S.H., (2019). "Time-Varying Dynamic Conditional Correlation Between Stock and Cryptocurrency Markets Using the Copula-ADCC-EGARCH Model". *Physica A* 535, 122295.
- Tong, H. (1983). *Threshold Models in Non-Linear Time Series Analysis*. New York: Springer-Verlag.
- Tong, H., (1990). "Nonlinear Time Series: A Dynamical Systems Approach", *Oxford University Press*, London
- Topaloğlu, G. (2013). *İMKB'de Etkin Piyasa Hipotezinin A-Figarch Model ile Testi: Sektör Endeksleri Üzerine Uygulama*, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak.
- Tran, V. & Leirvik, T., (2020). "Efficiency in the Markets of Cryptocurrencies", *Finance Research Letters*, 15, s101-382.
- Tsay, R. S. (2005). *Analysis of Financial Time Series*, John Wiley & Sons.
- Tse, Y.K. & Tsui, A. (2000). "A Multivariate GARCH Model With Time-Varying Correlations". Available at SSRN 250228.
- Tse, Y.K. (2000). "A Test for Constant Correlations in a Multivariate GARCH Model", *Journal of Econometrics*, forthcoming.
- Uğurlu, E. (2014). "Modelling volatility: Evidence from the Bucharest stock exchange", *Journal of Applied Economic Sciences (JAES)*, 9(30), 718-720.
- Umer, M.U., Sevil, T. & Sevil, G. (2017). "Forecasting Performance of Smooth Transition Autoregressive (STAR) Model on Travel and Leisure Stock Index", *The Journal of Finance and Data Science xx, KeAi Advancing Research Evolving Science*, 1-11.
- Urquhart, A. (2016). "The inefficiency of Bitcoin", *Economics Letters*, 2016: 148: 80-82.
- van Dijk, D., Terasvirta, T. ve Franses, P.H. (2000). "Smooth Transition Autoregressive Models - A Survey of Recent Developments", *Econometric Institute Research Report*, 23/A, 1-55.
- van Dijk, D., Terasvirta, T. ve Franses, P.H. (2002) "Smooth Transition Autoregressive Models - A Survey of Recent Developments", *Econometric Reviews*, 21(1), ss.1-47.

- Van Wijk D. (2013). "What can be expected from the BitCoin", *Erasmus Universiteit Rotterdam*. Available from: <https://thesis.eur.nl/pub/14100/Final-version-Thesis-Dennis-van-Wijk.pdf>.
- Verheyden, T., Van den Bossche, F. & De Moor, L. (2013). "Towards a New Framework on Efficient Markets: A Rolling Variance Ratio Test of the Adaptive Markets Hypothesis". *Research in International Business and Finance*, 34, 294-308.
- Vidal-Tomas, D. & Ibanez, A., (2018). "Semi-strong efficiency of Bitcoin", *Finance Research Letters*, 27, 259-265.
- Wang, Y., & Wu, C. (2012). "Forecasting Energy Market Volatility Using GARCH Models: can Multivariate Models Beat Univariate Models?", *Energy Economics*, 34(6), 2167-2181.
- Working, H. (1934). "A Random-Difference Series for Use in the Analysis of Time Series", *Journal of the American Statistical Association*, 29(185), 11-24.
- Yağmur, A. & Mangır, F. (2020). "Bitcoin Piyasasında Rassal Yürüyüş Hipotezi", *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 18(2), 161-175.
- Yermack, D. (2015). "Is Bitcoin a real currency? An economic appraisal", *In Handbook of digital currency*, pp. 31-43, Academic Press.
- Yılanıcı, V. (2009). "Fisher Hipotezinin Türkiye için Sınanması: Doğrusal Olmayan Eşbütünleşme Analizi", *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, Cilt:23, Sayı:4, 205-213.
- Yılmaz, F. & Akkaya, G.C. (2020). "Kripto Para Piyasalarında Etkinlik; Haftanın Günü Etkisi: Bitcoin ve Litecoin Örneği", *Girişimcilik İnovasyon ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi*, 4(8), 166-178.
- Zakoian, J. M. (1994). "Threshold Heteroskedastic Models", *Journal of Economic Dynamics and Control*, 18(5), 931-955.
- Zeytinoğlu, A. (2020). "Doğrusal Olmayan Koentegrasyon Testleri: Fiyat Köpüğü Olgusu Üzerine Bir Uygulama", (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Üniversitesi.
- Zivot, E. & Andrews, D. W. K. (1992). "Further Evidence on the Great Crash, the Oil-Price Shock and the Unit-Root Hypothesis", *Journal of Business & Economic Statistics*, 10, 251-270.