

**KRİPTO PARA PİYASASINDAKİ VOLATİLİTENİN
DAVRANIŞSAL FİNANS TEORİSİ AÇISINDAN İNCELENMESİ**

**Pamukkale Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
Doktora Tezi
İşletme Anabilim Dalı
Genel İşletme Doktora Programı**

İbrahim Korkmaz KAHRAMAN

Danışman: Prof. Dr. Dündar KÖK

**Haziran 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

İbrahim Korkmaz KAHRAMAN

ÖN SÖZ

Tez çalışmasını gerçekleştirdiğim süre boyunca kıymetli bilgileriyle beni yönlendiren, sabrını ve emeğini esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Dündar KÖK'e, Prof. Dr. Ender COŞKUN'a ve Prof. Dr. Şaban NAZLIOĞLU'na saygılarımı sunar ve teşekkürü bir borç bilirim. Tez jürisinde bulunan ve değerli katkılarını sunan Prof. Dr. Güven SAYILGAN'a ve Prof. Dr. Mehmet CİHANGİR'e teşekkür ederim. Lisans ve lisansüstü eğitimim boyunca kıymetli bilgileriyle akademik gelişimimi destekleyen Pamukkale Üniversitesi İİBF İşletme bölümü öğretim üyelerine teşekkürlerimi sunarım.

Tez yazım sürecinde tecrübeleri ve dostluklarıyla her zaman yanımda olan Dr. Öğr. Üyesi Ali Ulvi ÖZGÜL'e ve Arş. Gör. Dr. Habib KÜÇÜKŞAHİN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Beni bu dünyaya getiren, bugünlere gelmem için büyük emek veren, bugünkü ben olmamı sağlayan anneme, babama ve kardeşime en içten teşekkürlerimi sunarım.

Doktora sürecinde beni hep destekleyen, cesaretlendiren, sevgisiyle bana güç veren hayat arkadaşım ve sevgili eşim Banu KAHRAMAN'a varlığı için sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

ÖZET

KRİPTO PARA PİYASASINDAKİ VOLATİLİTENİN DAVRANIŞSAL FİNANS TEORİSİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

Kahraman, İbrahim Korkmaz
Doktora Tezi
İşletme Anabilim Dalı
Genel İşletme Doktora Programı
Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Dündar KÖK
Haziran 2023, xii + 158

Hızla gelişen kripto para piyasası, yenilikçi yapısı ve geleneksel finansal sistemleri bozma potansiyeli nedeniyle son yıllarda büyük ilgi görmüştür. Bu piyasa, güvenli ve şeffaf işlemler sağlayan blokzincir teknolojisine dayanmaktadır. Kripto para birimleri, yüksek getiri beklentisi nedeniyle geniş bir yatırımcı kitlesinin ilgisini çekmiştir.

Bu çalışmada, öncelikle kripto para piyasası için uygun bir volatilité modeli belirlenmiştir. Günlük getiri verileri için uygun model; Bitcoin (BTC) için ARMA(1,0)-EGARCH(1,1), Ethereum (ETH) için ise ARMA(1,0)-GARCH(1,1) olduğu, saatlik getiri verileri için ise hem BTC hem de ETH için ARMA(2,1)-EGARCH(1,1) olduğu tespit edilmiştir. Analiz sonuçları, kripto para piyasasında negatif şokların pozitif şoklara kıyasla volatilitéde daha belirgin bir artışa neden olduğu bir kaldıraç etkisine işaret etmektedir.

Belirlenen volatilité yapısına dayalı olarak takvim anomalileri analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, kripto para piyasasında takvim anomalilerinin varlığını ortaya koymakta ve yılın belli aylarında, haftanın belirli günlerinde ve günün belirli saatlerinde potansiyel olarak daha yüksek getiri elde edebileceğini göstermektedir. BTC yatırımcıları en yüksek getiriyi ekim ayında, pazartesi günleri ve 07:00-14:00 ile 19:00-00:00 UTC saatleri arasında elde etmektedir. Buna karşılık, ETH yatırımcıları en yüksek getiriyi nisan ayında, cumartesi günleri ve 19:00-01:00 UTC saatleri arasında elde etmektedir. Aynı zamanda hafta sonları, özellikle pazar günleri daha düşük getirilerle ilişkilendirilmektedir. Çalışma ayrıca, takvim anomalilerin sadece getiride değil aynı zamanda volatilitéde de olduğunu göstermektedir. Ocak ayında ve pazartesi günlerinde önemli ölçüde daha yüksek volatilité olduğunu ortaya koymuştur. Şangay ve Sidney Borsa'nın işlem gördüğü saat aralığı BTC üzerinde en fazla etkiye sahipken, ETH için ise New York Borsası'nın işlem gördüğü saat aralığı önemlidir.

Cross-Sectional Standart Deviation (CSSD) ve Cross-Sectional Absolute Deviation (CSAD) modellerinden elde edilen sonuçlar, kripto para piyasasında belirli bir sürü davranışının gözlenmediğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Blokzincir, Bitcoin, Kripto Para, Volatilité, GARCH, Davranışsal Finans, Haftanın Günü Anomalisi, Yılın Ayı Anomalisi, Günü Saati Anomalisi, Sürü Davranışı

ABSTRACT

AN ANALYSIS OF VOLATILITY IN THE CRYPTOCURRENCY MARKET IN TERMS OF BEHAVIORAL FINANCE THEORY

Kahraman, İbrahim Korkmaz
Doctoral Thesis
Business Administration Department
Business Administration PhD Programme
Adviser of Thesis: Prof. Dr. Dündar KÖK
June 2023, xii + 158 pages

The rapidly developing cryptocurrency market has attracted a great deal of attention in recent years due to its innovative nature and potential to disrupt traditional financial systems. This market is based on blockchain technology, which enables secure and transparent transactions. Cryptocurrencies have attracted the attention of a wide range of investors due to the expectation of high returns.

In this study, we first determine an appropriate volatility model for the cryptocurrency market. The appropriate model for daily return data is ARMA(1,0)-EGARCH(1,1) for Bitcoin (BTC), ARMA(1,0)-GARCH(1,1) for Ethereum (ETH), and ARMA(2,1)-EGARCH(1,1) for both BTC and ETH for hourly return data. The results of the analysis suggest a leverage effect in the cryptocurrency market, where negative shocks cause a more significant increase in volatility than positive shocks.

Based on the identified volatility structure, we analyze calendar anomalies. The results reveal the existence of calendar anomalies in the cryptocurrency market, suggesting potentially higher returns in certain months of the year, on certain days of the week, and at certain times of the day. BTC traders earn the highest returns in October, on Mondays, and between 07:00-14:00 and 19:00-00:00 UTC. In contrast, ETH traders earn the highest returns in April, on Saturdays, and between 19:00-01:00 UTC. At the same time, weekends, especially Sundays, are associated with lower returns. The study also shows that calendar anomalies are not only in returns but also in volatility. It found significantly higher volatility in January and on Mondays. The trading hours of the Shanghai and Sydney stock exchanges have the most impact on BTC, while the trading hours of the New York stock exchange are significant for ETH.

The results obtained from the Cross-Sectional Standard Deviation (CSSD) and Cross-Sectional Absolute Deviation (CSAD) models reveal that no specific herding behavior is observed in the cryptocurrency market.

Keywords: Blockchain, Bitcoin, Cryptocurrency, Volatility, GARCH, Behavioral Finance, Day of the Week Anomaly, Month of the Year Anomaly, Time of the Day Anomaly, Herd Behavior

İÇİNDEKİLER

ÖN SÖZ	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	iv
TABLOLAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

BLOKZİNCİR TEKNOLOJİSİ: TEMEL BİLEŞENLERİ VE İŞLEYİŞ MEKANİZMASI

1.1. Blokzincir ve Dağıtılmış Defter	5
1.2. Blokzincir Türleri.....	7
1.3. Blokzincirin Temel Bileşenleri	9
1.3.1. Blok ve Bloğun Yapısal Karakteri	9
1.3.1.1. Blok Başlığı ve Başlık Yapısı.....	10
1.3.1.2. Hash Fonksiyonu	11
1.3.1.3. Merkle Ağacı	13
1.3.1.4. Zorluk	15
1.3.1.5. Düğüm	16
1.3.2. Çatallanma.....	18
1.3.2.1. Çatallanma Türleri.....	20
1.3.3. Kripto Para Madenciliği	22
1.3.3.1. Madencilik Süreci.....	23
1.3.4. Konsensüs Mekanizmaları (Mutabakat).....	32

1.3.4.1. Emek Kanıtı (Proof of Work - PoW).....	33
1.3.4.2. Sahiplik Kanıtı (Proof of State - PoS)	34
1.3.4.3. Diğer Konsensüs Mekanizmaları.....	34
1.3.5. Kripto Para Cüzdanı	36
1.3.5.1. Genel Anahtar ve Özel Anahtar.....	36
1.3.5.2. Cüzdan Türleri.....	37
1.4. Blokzincir Teknolojisinin Farklı Uygulama Alanları	39
1.4.1. Akıllı Sözleşmeler (Smart Contract)	40
1.4.2. Diğer Uygulama Alanları	41
1.5. Blokzincir Teknolojisinde Güvenlik Sorunu ve Geliştirilen Önlemler.....	42

İKİNCİ BÖLÜM

KRİPTO PARA PİYASALARI: ARAÇLAR, PİYASA KARAKTERLERİ VE DAVRANIŞSAL FİNANS DİNAMİKLERİNE İLİŞKİN LİTERATÜR

2.1. Kripto Paralar	44
2.1.1. Dünyanın İlk Kripto Parası: Bitcoin.....	46
2.1.2. Altcoin.....	48
2.1.2.1. Bitcoin Çatallanması Sonucu Oluşan Altcoinler	49
2.1.2.2. Namecoin (NMC).....	50
2.1.2.3. Litecoin (LTC).....	50
2.1.2.4. Ethereum (ETH)	51
2.1.2.5. Neo (NEO).....	53
2.1.2.6. EOS (EOS)	54
2.1.2.7. Ripple (XRP)	55
2.1.2.8. Stellar (XLM)	58
2.1.2.9. Tezos (XTZ)	58
2.1.2.10. IOTA (MIOTA).....	59

2.1.2.11. Stablecoin	60
2.1.3. Kripto Para Alım-Satım Platformları	61
2.2. Kripto Paraların Özellikleri.....	63
2.3. Kripto Para Piyasasının Davranışsal Finans Dinamiklerine İlişkin Literatür	69
2.3.1. Etkin Piyasa Odaklı Çalışmalar.....	69
2.3.2. Balon Olgusu Odaklı Çalışmalar.....	73
2.3.3. Volatilite (Oynaklık) Odaklı Çalışmalar	75
3.3.4. Davranışsal Finans Odaklı Çalışmalar	81

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

KRİPTO PARA PİYASASINDAKİ VOLATİL YAPININ DAVRANIŞSAL FİNANS DİNAMİKLERİ AÇISINDAN ANALİZİ

3.1. Araştırmanın Amacı	86
3.2. Araştırmanın Varsayımları ve Sınırlılıkları	87
3.3. Veri Seti ve Metodoloji.....	88
3.3.1. Kripto Para Piyasasının Volatilite Yapısında Kullanılan Modeller	92
3.3.2. Takvim Anomalisinin Analizinde Kullanılan Modeller.....	96
3.3.3. Sürü Davranışı Analizinde Kullanılan Modeller.....	101
3.4. Kripto Para Piyasasındaki Volatilitenin Davranışsal Finans Dinamikleri Açısından Analizi	104
3.4.1. Kripto Para Piyasasının Volatilite Yapısı.....	104
3.4.1.1. Ortalama Denklemi.....	104
3.4.1.2. Koşullu Varyans Denklemi	107
3.4.2. Kripto Para Piyasasında Takvim Anomalisi Analizi.....	111
3.4.2.1. Haftanın Günü Anomalisi Bulguları.....	111
3.4.2.2. Yılın Ayı Anomalisi Bulguları	116
3.4.2.3. Günün Saati Anomalisi Bulguları.....	121
3.4.3. Kripto Para Piyasasında Sürü Davranışı Analizi.....	126

3.4.3.1. CSSD Analizi Bulguları	127
3.4.3.2. CSAD Analizi Bulguları.....	129
SONUÇ	134
KAYNAKLAR	141
ÖZ GEÇMİŞ	158



TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1. Blok yapısı	10
Tablo 2. Blok başlığının yapısı	11
Tablo 3. SHA-256 Algoritması çıktı örneği.....	12
Tablo 4. Bitcoin düğümlerinin dağılımları.....	18
Tablo 5. Tahmini Bitcoin ödül yarılanma tablosu	26
Tablo 6. Madencilik havuzları işlemci gücü (hashrate) dağılımı.....	29
Tablo 7. Konsensüs mekanizması karşılaştırması.....	35
Tablo 8. Önemli kripto para birimleri	45
Tablo 9. Bitcoin birimleri.....	47
Tablo 10. Ether birimleri.....	51
Tablo 11. Stablecoinlerin özellikleri	60
Tablo 12. Kripto alım-satım platformları.....	62
Tablo 13. Kripto paraların piyasa bilgileri.....	65
Tablo 14. Değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri	89
Tablo 15. Birim kök testi sonuçları.....	90
Tablo 16. GARCH, EGARCH ve TGARCH koşullu varyans denklemi.....	94
Tablo 17. Ortalama denklem seçimi	106
Tablo 18. Uygun ortalama model denklemi.....	107
Tablo 19. Günlük veriler için GARCH model tahminleri	108
Tablo 20. Saatlik veriler için GARCH model tahminleri	109
Tablo 21. Haftanın günlerine ait tanımlayıcı istatistikler.....	112
Tablo 22. Haftanın günü anomalisi analiz sonuçları.....	114
Tablo 23. Yılın aylarına ait tanımlayıcı istatistik.....	117
Tablo 24. Yılın ayı anomalisi analiz sonuçları.....	119
Tablo 25. BTC saatlik tanımlayıcı istatistik (%).....	122

Tablo 26. ETH saatlik tanımlayıcı istatistik (%).....	123
Tablo 27. Günün saati anomalisi analiz sonuçları	124
Tablo 28. CSSD tanımlayıcı istatistik ve birim kök testi sonuçları	127
Tablo 29. CSSD analiz sonuçları	128
Tablo 30. CSAD tanımlayıcı istatistik ve birim kök testi sonuçları	129
Tablo 31. CSAD analiz sonuçları	130
Tablo 32. CSAD ^{UP} ve CSAD ^{DOWN} analiz sonuçları	132



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Blokzincir yapısı	6
Şekil 2. Genel blokzincir ve özel blokzincir yapılarının temsili	8
Şekil 3. Merkle ağacı yapısı	14
Şekil 4. Zorluk ve işlemci gücü.....	16
Şekil 5. Bitcoin düğümlerinin dağılım haritası	17
Şekil 6. Öksüz (Yetim) blok	19
Şekil 7. Sert Çatallanma (Hard Fork).....	21
Şekil 8. Yumuşak Çatallanma (Soft Fork)	22
Şekil 9. Bitcoin enerji tüketim endeksi	30
Şekil 10. Ethereum enerji tüketim endeksi	31
Şekil 11. Kripto paraların piyasa hakimiyeti	64
Şekil 12. BTC ve ETH günlük fiyat serisi	66
Şekil 13. Bitcoin'in zaman içinde ödül programı	67
Şekil 14. Bitcoin'in yıllara göre ödül programı	67
Şekil 15. Bitcoin blokzincir boyutu	68
Şekil 16. LTC, XRP ve BCH günlük fiyat serisi	91
Şekil 17. BTC, ETH, LTC, XRP ve BCH günlük getiri serisi.....	92
Şekil 18. Haftanın günü BTC ve ETH işlem hacmi (1,000 ABD doları)	113
Şekil 19. Yılın ayı BTC ve ETH işlem hacmi (1,000 ABD doları)	118

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ADF	Augmented Dickey Fuller
AR	Abnormal Return
ARCH	Autoregressive Conditional Heteroskedasticity
ARMA	Autoregressive Moving Average
BCH	Bitcoin Cash
BTC	Bitcoin
CAPM	Capital Asset Pricing Model
CAR	Cumulative Abnormal Return
CSAD	Cross-Sectional Absolute Deviation
CSSD	Cross-Sectional Standart Deviation
DoS	Denial of Service
DoW	Day of the Week
EGARCH	Exponential GARCH
EPH	Etkin Piyasa Hipotezi
ETC	Ethereum Classic
ETH	Ethereum
GARCH	Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity
ICO	Initial Coin Offering
IPO	Initial Public Offering
LTC	Litecoin
MoY	Month of the Year
NMC	Namecoin
PoB	Proof of Burn
PoS	Proof of Stake

PoW	Proof of Work
PP	Phillips – Perron
SHA	Secure Hash Algorithm
TGARCH	Threshold GARCH
ToD	Time of the Day
USDT	Tether
XLM	Stellar
XRP	Ripple
XTZ	Tezos



GİRİŞ

Kripto para piyasası, geleneksel finansal sistemlere meydan okuyarak, yatırım ve ticaret gibi konularda yeni fırsatlar sunarak küresel finansal sistem içinde kendini kabul ettirmiştir. Kripto para birimlerinin temelini oluşturan blokzincir teknolojisi, bankalar ve finans kurumları gibi aracılara ihtiyaç duymadan güvenli ve şeffaf işlemleri kolaylaştıran merkezi olmayan bir dağıtık defter sistemi oluşturmaktadır. Nakamoto (2008) tarafından Bitcoin (BTC)'nin piyasaya sürülmesiyle tanıtılan blokzincir teknolojisi, o zamandan beri her biri kendine özgü özelliklere ve uygulamalara sahip birçok kripto para birimi tarafından benimsenmiştir. Aynı zamanda, teknolojinin sağlamış olduğu güven, değişmezlik ve güvenlik sağlama yeteneği finans, tedarik zinciri, sağlık hizmetleri gibi çeşitli sektörlerden büyük ilgi görmüştür.

Başlangıcından bu yana kripto para piyasası, dolaşımdaki 24,000'den fazla kripto para birimi ve 1 trilyon doları aşan piyasa değeri ile üstel bir büyüme yaşamıştır. Düzenli olarak yeni kripto para birimleri piyasaya sürülmekte ve piyasa değeri sürekli dalgalanmalar yaşamaktadır. 2021'in sonlarına doğru piyasa değeri 3 trilyon dolara yaklaşmıştır. Bu hızlı büyüme, kamu bilincinin artmasına, teknolojik gelişmelere ve kripto para birimlerinin bir ödeme yöntemi olarak daha geniş kabul görmesine yol açmıştır. Bununla birlikte, piyasanın oynaklığı hem düzenleyiciler hem de yatırımcılar arasında endişeye sebep olmakta, gözetim eksikliği ve kripto para birimleriyle ilişkili potansiyel riskler hakkında devam eden tartışmalara neden olmuştur. Kripto para piyasası gelişmeye devam ederken, büyümesini destekleyen faktörleri, karşılaştıkları zorlukları ve küresel ekonomi üzerindeki potansiyel etkilerini anlamak oldukça önemlidir.

Blokzincir teknolojisi, birçok sektörü dönüştürme, işlem yapma, varlıkları yönetme ve bilgi alışverişinde bulunma şeklini değiştirme potansiyeline sahip bir yenilik olarak ortaya çıkmıştır. Kripto para madenciliği, dijital cüzdanlar ve akıllı sözleşmeler de dahil olmak üzere blokzincir teknolojisinin temel bileşenlerini anlamak oldukça önemlidir. Kripto para madenciliği, ağdaki işlemleri doğrulamaya ve güvence altına almaya hizmet ettiği için blokzincir teknolojisinin çok önemli bir yönüdür. Madenciler karmaşık matematiksel problemleri çözmek için yarışır ve bu problemleri başarıyla çözdüklerinde yeni basılan kripto paralarla ödüllendirilirler. Bu süreç yalnızca madencileri ağın bütünlüğünü korumaya teşvik etmekle kalmaz, aynı zamanda yeni

kripto paraların kontrollü bir şekilde çıkarılmasını sağlayarak enflasyonu önlemeye de yardımcı olur. Dijital cüzdanlar veya kripto para cüzdanları da kullanıcılara bu kripto paraları saklamak, yönetmek ve işlem yapmak için güvenli ve kullanışlı bir araç sağladıkları için kripto para ekosisteminde hayati bir rol oynamaktadır. Bu cüzdanlar, kullanıcıların kripto para birimlerine erişmek ve bunları kontrol etmek için kriptografik teknikler kullanır. Dolayısıyla, kripto para birimlerinin benimsenme düzeyi arttıkça, kullanıcı dostu ve güvenli cüzdan çözümlerinin geliştirilmesi kritik bir alan olmaya devam edecektir. BTC'nin ortaya çıkışının ardından, akıllı sözleşmelerin de kripto para birimleri ile uygulanabileceği ortaya çıkmıştır. Kendi kendini yürüten bu sözleşmelerde anlaşma şartları doğrudan doğruya koda yazılıdır. Akıllı sözleşmeler, önceden tanımlanmış koşullar yerine getirildiğinde üzerinde anlaşılan şartları otomatik olarak yürütür ve uygular, böylece araçlara olan ihtiyacı ortadan kaldırır ve anlaşmazlıkları azaltır. Akıllı sözleşmeler, süreçleri kolaylaştırarak ve taraflar arasındaki güveni artırarak çeşitli sektörleri dönüştürme potansiyeline sahiptir.

Kripto para birimleri genellikle blokzincir teknolojisi ile yapılan ilk uygulama alanıdır. Ancak bunlar blokzincirin birçok uygulama alanından sadece birini temsil etmektedir. Dolayısıyla, kripto para piyasasının kapsamlı bir şekilde anlaşılması da bu bağlamda önem arz etmektedir. Dünyanın ilk kripto para birimi olan BTC, kripto para birimlerinin önemli ölçüde genişlemesinin önünü açmış ve her biri kendine özgü özelliklere, kullanım alanlarına ve temel teknolojilere sahip çeşitli altcoinlerin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Öne çıkan altcoinler arasında Ethereum (ETH), Ripple (XRP) ve Litecoin (LTC) gibi kripto paralar bulunmaktadır. BTC dışındaki tüm kripto para birimlerini kapsayan altcoinler, alternatif çözümler sunarak ve finansal sistemdeki belirli ihtiyaçları karşılamayı amaçlamaktadır. Bu altcoinler arasında stablecoinler, kripto para birimlerinde gözlemlenen oynaklığı azaltmanın bir yolu olarak ilgi görmüştür. Dolayısıyla, bir varlığa sabitlenmek ve bu sabit değeri korumak için tasarlanan bu kripto paralar önemli bir gelişme olarak görülmektedir. Aynı zamanda, kripto para alım satım platformları alım satım işlemleri, dönüştürme ve depolamayı kolaylaştırarak kripto para ekosisteminde kritik bir rol oynamaktadır. Ancak bu platformlar, aynı zamanda kripto para birimlerinin özü olan araçları kaldırma iddiasına keskin bir tezatlık oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, kripto para piyasasını mevcut literatür kapsamında inceleyerek, uygun volatilité modelinin belirlenmesine, haftanın günü, yılın ayı ve günün saati gibi

takvim anomalilerinin araştırılmasına ve kripto para piyasasındaki yüksek volatilitenin sürü davranışı kapsamında incelenmesine odaklanılmıştır. Bu amaçla çalışma üç bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde, blokzincir teknolojisine genel bir bakış çerçevesinde sistemin temel bileşenleri ve işleyiş mekanizması tartışılmıştır. Bu kapsamda, blok, çatallanma, kripto para madenciliği, konsensüs mekanizmaları ve kripto para cüzdanları kavramları ele alınmıştır. Ayrıca, blokzincir teknolojisinin alternatif uygulamalarının yanı sıra güvenlik sorunları ve geliştirilen önlemler açıklanmıştır.

İkinci bölümde, kripto para piyasası araçları, piyasa özellikleri ve davranışsal finans dinamikleri hakkında literatüre yer verilmiştir. Bu bölümde dünyanın ilk kripto para birimi olan BTC'ye odaklanarak kripto paralar hakkında bilgi verilmiş ve ardından daha sonra piyasada yer bulan altcoinler tartışılmıştır. Ayrıca, kripto para alım satım platformları ve kripto para özellikleri incelenmiştir. Daha sonra, etkin piyasa hipotezi, balonlar, volatilité ve davranışsal finans ile ilgili olarak kripto para piyasasına ilişkin literatür sunulmuştur.

Üçüncü ve son bölümünde ise, çalışmanın amaçları, varsayımlar ve sınırlılıklara değinilmiş, çalışmada kullanılan veri seti ve metodoloji açıklanmıştır. Çalışmanın amaçları doğrultusunda, kripto para piyasasının volatilité yapısı belirlenmiş, takvim anomalileri haftanın günü, yılın ayı ve günün saati açısından analiz edilmiş ve kripto para piyasasında sürü davranışı analizi yapılmıştır. Bu analizlerden elde edilen bulgular tartışılmış ve yorumlanmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

BLOKZİNCİR TEKNOLOJİSİ: TEMEL BİLEŞENLERİ VE İŞLEYİŞ MEKANİZMASI

Finansal Teknolojiler (FinTech), finansal piyasalar, kurumlar ve finansal hizmetlerin sağlanması üzerinde önemli bir etkiye sahip yeni iş modelleri, uygulamalar, süreçler, ürünler veya hizmetler ile sonuçlanabilecek teknolojik olarak etkinleştirilmiş bir finansal yeniliktir (Schindler, 2017; Hacıoglu, 2019). Blokzincir ve dağıtılmış defter teknolojisinin finansal uygulamaları ve dijital para birimleri gibi yenilikleri içermektedir. Hou vd. (2020) tarafından belirtildiği gibi blokzincir teknolojisi, FinTech dalgasının merkezinde yer almaktadır.

Blokzincir teknolojisi¹, finansal ekosistemi kökten değiştirecek önemli bir güce sahip olduğundan tüm dünyada dikkat çekmiştir. Blokzincir, tüm işlemleri merkezi bir güce sahip aracı onayına gerek kalmadan birçok kullanıcının kendi finansal işlemlerini tamamlamasını sağlayan yeni bir yıkıcı bilgi teknolojisi (Hacıoglu, 2019). Cerecedo Hernández vd. (2019), bu tür teknolojilerdeki büyüme beklentisinin sadece dünyayı değiştirecek yıkıcı bir teknoloji olarak algılanmaması, aynı zamanda sosyal ve ekonomik sistem bağlamında yeni temeller kurmak için bir fırsat olarak görülmesi gerektiğine inanmaktadırlar. Tapscott ve Tapscott (2016), her şeyin internetinin her şeyin defterine ihtiyaç duyacağından bahsetmektedir. Banafa (2017) ise, blokzincirin merkezi olmayan, özerk ve güvenilirlik yeteneklerinin onu Nesnelerin İnterneti (IoT) çözümlerinin temel bir unsuru haline getirdiğini iddia etmektedir.

Blokzincir teknolojisi ilk olarak Bitcoin² işlemlerini kolaylaştırmak için kullanılmak üzere tasarlanmış olsa da bu teknolojinin potansiyeli sanal para birimlerinin çok ötesine uzanmaktadır. Blokzincir kavramı, BTC'nin varlığından önce mevcut "dağıtılmış defter", "ademi merkeziyetçilik" ve "teşvik" olmak üzere üç fikir üzerine kuruludur (Chowdhury, 2018).

¹ Dağıtılmış Defter Teknolojisi (DLT) olarak da adlandırılmaktadır.

² Bitcoin için kullanılan kısaltma BTC'dir. ISO standartlarına göre XBT kısaltması da kullanılmaktadır.

Blokzincir teknolojisi, tüm finansal hizmetler endüstrisinin verileri verimli, güvenli ve şeffaf bir şekilde paylaşarak iş süreçlerinin önemli ölçüde optimize edilmesini sağlar (Hacıoglu, 2019). Bu yeni dijital ekonomik işlem defteri, insanlık için değerli ve önemli olan hemen hemen her şeyi (doğum ve ölüm belgeleri, evlilik belgesi, tapular ve mülkiyet hakları, eğitim dereceleri, mali hesaplar, tıbbi prosedürler, sigorta talepleri, oylar, menşe yiyecek ve kodla ifade edilebilecek diğer her şey) kaydedecek şekilde programlanabilir. Bu platform, gerçek zamanlı olarak hemen hemen her şeye ilişkin dijital kayıtların mutabakatını sağlar (Tapscott ve Tapscott, 2016).

Özünde Blokzincir, kriptografik olarak güvenli, değiştirilmesi son derece zor ve sadece eşler arasında fikir birliği veya anlaşma yoluyla güncellenebilen dijital, değişmez, dağıtılmış bir defter olarak nitelendirilebilir. İşlemleri kronolojik olarak neredeyse gerçek zamanlı olarak kaydeder ve merkezi bir güvenilir aracıya ihtiyaç duymadan değer alışverişinde bulunabilen bir platform görevi görür (Bashir, 2017; Bhattacharyya, 2018). Bu durum blokzinciri, veri tabanından tek bir otoritenin sorumlu olmadığı merkezi olmayan bir konsensüs mekanizması haline getirmektedir (Bashir, 2017). Blokzincir teknolojisi, yalnızca araçları ortadan kaldırmak için değil, aynı zamanda işlem maliyetlerini önemli ölçüde azaltmak, firmaları ağlara dönüştürmek, ekonomik gücü dağıtmak ve hem servet yaratma hem de müreffeh bir gelecek sağlamak için güvenilir ve etkili bir araç sunmaktadır (Tapscott ve Tapscott, 2016).

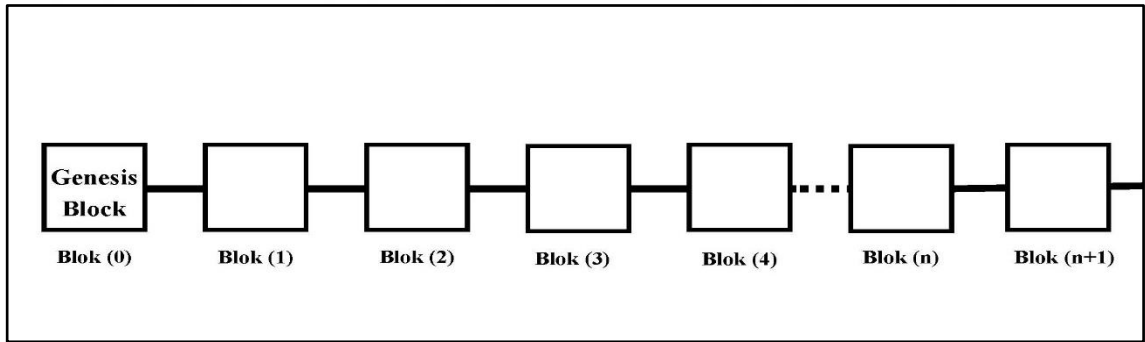
1.1. Blokzincir ve Dağıtılmış Defter

1971’de altın standardının terk edilmesinden ve itibari para sisteminin benimsenmesinden bu yana, merkez bankaları bir kriz durumunda ekonomiler üzerinde önemli bir baskı uygulamak için takdir yetkilerini kullanarak varlık enflasyonuna yol açmış ve gelir adaletsizliğini derinleştirmiştir (Lee, 2015). Blokzincir teknolojisi, insan müdahalesine artık gerek kalmaması nedeniyle geleneksel aracılık süreciyle ilgili sorunların ve verimsizliklerin üstesinden gelmeyi vaat etmektedir. Bu teknoloji “insanlara güvenmekten matematiğe güvenmeye geçişi” temsil eder ve olası insan hatalarını içermemektedir (Nofer vd., 2017; Hacıoglu, 2019).

Dağıtılmış defter, merkezi bir yönetici veya merkezi veri depolama olmadan birden fazla coğrafi konumda çoğaltılan, paylaşılan ve senkronize edilen dijital verilerin

bir mutabakatıdır (Scardovi, 2016; Chowdhury, 2018). Blokzincir teknolojisi, kripto para birimleri de dahil olmak üzere çok sayıda dağıtık ve merkezi olmayan uygulamanın temelini oluşturmaktadır (Goutte vd., 2019). Bu teknolojinin merkezi olmayan güven, maliyet tasarrufu, şeffaflık ve verimlilik gibi çeşitli faydaları öngörülmektedir. Bununla birlikte, ölçeklenebilirlik ve gizlilik gibi aktif bir araştırma alanı olan çeşitli zorlukları da bulunmaktadır (Bashir, 2017).

İşlemler bloklar halinde düzenlenir ve daha sonra önceden oluşturulmuş bloklarla bağlanarak deftere eklenir. Bloklardaki geçerli işlemleri birbirine bağlayan bu süreç blokzincir olarak adlandırılır. Blokzincirde her bir blok, bir önceki bloğun bütünlüğünü, genesis blok olarak adlandırılan ilk bloğa kadar doğrulamaktadır. Bu süreç, blokzincirin tahrif edilmesini önleyerek blokzincirin güvenliğini sağlamaktadır (Cocco ve Marchesi, 2016; Goutte vd., 2019). Daha fazla blok üst üste yığıldıkça, blokzincirdeki herhangi bir işlemi değiştirmek matematiksel olarak gittikçe zorlaşmaktadır (Furneaux, 2018). Şekil 1’de gösterildiği gibi, blokzincir kriptografik prensiplerle birbirine bağlanan ve güvence altına alınan sürekli büyüyen bir kayıt listesi kullanılarak dijital olarak oluşturulur. Bu kayıtlar, bir önceki bloğa bağlanan bir blok oluşturur ve böylece bir zincir oluşturur.



Şekil 1. Blokzincir yapısı

Blok kavramından bahsetmeden önce, her blokzincirin genesis blok³ olarak adlandırılan bir blok içerdiğini belirtmek çok önemlidir. Bir blokzincir çok sayıda bloktan oluşan bir veri yapısıdır ve genesis bloğu diğer tüm bloklar için referans noktası olarak hizmet eder. Bu blok, kendinden önceki hiçbir bloğa referans vermemesi bakımından benzersizdir (Antonopoulos, 2017; Chowdhury, 2018). Genesis bloğu, eşler arası dijital

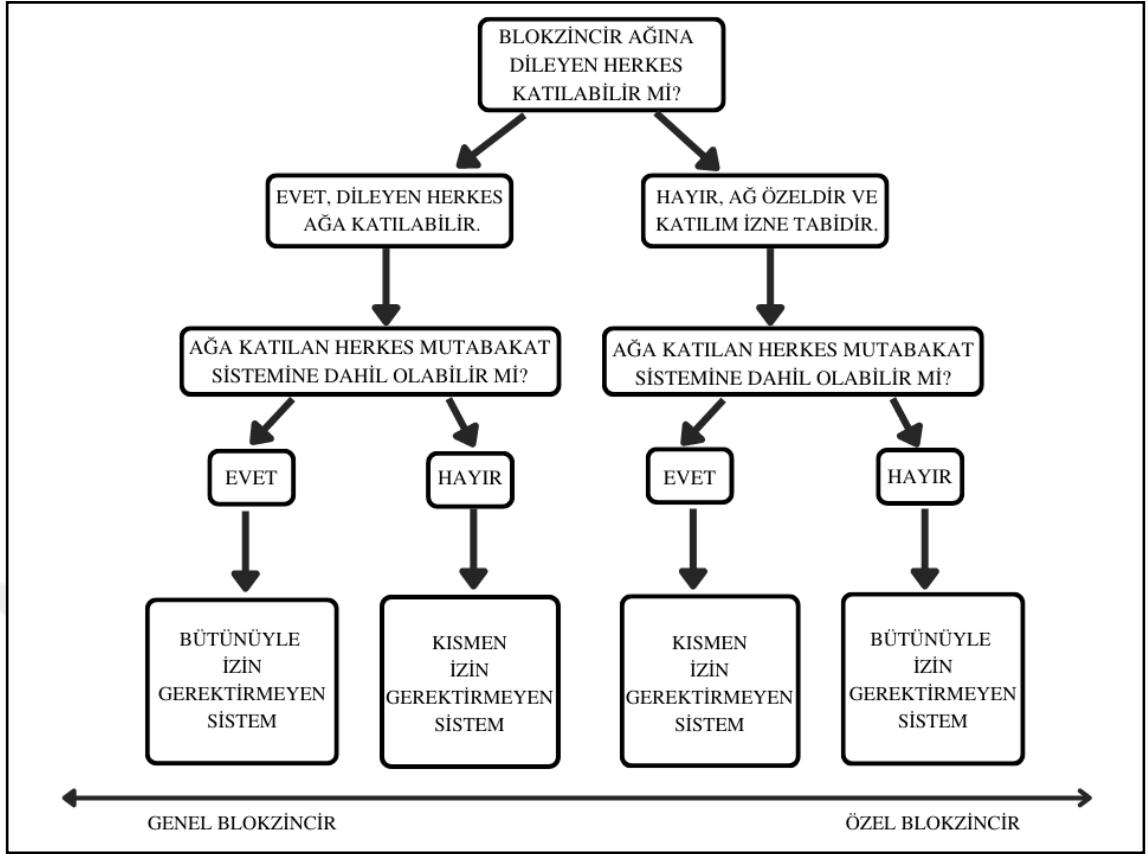
³ Blokların indekslenmesine bağlı olarak “Blok 0” veya “Blok 1” olarak adlandırılmaktadır.

para birimi olan BTC⁴'nin ortaya çıkmasını sağlamıştır (Caetano, 2015). Bir blokzincir, Şekil 1'de gösterildiği gibi, genesis bloğundan en son bloğa kadar uzanan birbirine bağlı bir zincirdir. Ağa bağlı her düğüm, blokzincirin tam bir kopyasını saklamak için başlangıç noktası olarak genesis bloğunu kullanır. Yeni bloklar eklendikçe blokzincirin kopyası sürekli olarak güncellenir ve zincir sürekli olarak büyür. Zincir büyüdükçe ve bağımsız madenciler tarafından daha fazla kopya tutuldukça, dağıtılmış defteri değiştirmek giderek zorlaşır (Caetano, 2015).

1.2. Blokzincir Türleri

Blokzincir teknolojisi, bilginin kalıcı olarak saklanması nedeniyle güven oluşturmaya yardımcı olan bir teknoloji olarak güven sorununu ortadan kaldırmakta, hile yapılmasını engelleyerek herkes için güvenilir bir dünya oluşturmaktadır (Swan, 2015). Blokzincirin izinsiz, izinli veya erişim onayı gerektiren, önceden tanımlanmış bir dizi varlık tarafından kontrol edilen, birden fazla türün bir karışımını gösteren versiyonları bulunmaktadır. Bu türler arasında genel blokzincir, özel blokzincir, yarı özel blokzincir, yan zincir, izin verilen defter, dağıtılmış defter, paylaşılan defter, tamamen özel ve tescilli blokzincir, tokenize blokzincir ve tokenless blokzincir gibi çeşitler yer almaktadır (Bashir, 2017; Chowdhury, 2018). Aşağıda kısaca bahsi geçen blokzincir teknolojisi türlerine değinilmiştir. Genel blokzincir ve özel blokzincir yapılarının temsili Şekil 2'de yer almaktadır.

⁴ Nakamoto BTC'yi 2009 yılında başlatmıştır. İlk işlem bloğu olan genesis bloğuna "The Times 03/Jan/2009 Chancellor on brink of second bailout for banks" yazısını yazarak bloğun o zamandan sonra oluşturulduğunu kanıtlamıştır.



Şekil 2. Genel blokzincir ve özel blokzincir yapılarının temsili

Genel blokzincir (public blockchain), halka açık bir blokzincirdir ve herhangi bir erişim kısıtlaması olmaksızın herkesin karar alma sürecine bir düğüm olarak katılmasına olanak tanır. Bu blokzincir türünde herhangi bir erişim kısıtlaması bulunmamaktadır. İnternet bağlantısı olan herkes katılımcı bir düğüm olarak hareket edebilir, işlem gönderebilir ve doğrulayıcı olarak hizmet verebilir. Bu blokzincir türü, merkezi bir otorite olmadan bağımsız olarak çalışır, tüm kullanıcılar blokzincirin bir kopyasını tutar ve nihai olaylarla ilgili karar verme sürecinde dağıtılmış bir fikir birliği mekanizması kullanır (Bashir, 2017; Chowdhury, 2018). Bu teknolojinin örnekleri arasında Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH) vb. kripto para birimleri yer almaktadır.

Başka bir blokzincir türü olarak özel blokzincir (private blockchain) ise, katılım ve doğrulamaya erişimi kendi aralarında paylaşmaya karar veren bir konsorsiyum veya grup tarafından yönetilir. Merkezi bir otorite mevcuttur ve katılım yalnızca ağ yöneticilerinin davetiyle mümkündür. Bu otorite, kuralları değiştirmek ve işlemleri geri almak gibi yetkilere sahiptir. Özel blokzincir genellikle blokzincir teknolojisiyle ilgilenen

ancak halka açık ağların sunduğu kontrol seviyesinden endişe duyan şirketler tarafından tercih edilir. Esas amaç, özerklikten ödün vermeden hassas verileri herkese açık internete maruz kalmaktan korumaktır. Özel blokzincir ağları maliyetleri düşürmek ve verimliliği artırmak için tercih edilmektedir (Bashir, 2017; Chowdhury, 2018). Bu teknoloji türüne R3 Corda, Quorum, MultiChain vb. örnek olarak verilebilir.

Genel blokzincir ve özel blokzincir en yaygın kullanılan blokzincir teknolojisi türleri olmakla birlikte, yarı özel blokzincir, yan zincir, izin verilen defter, dağıtılmış defter, tamamen özel ve tescilli blokzincir, tokenize blokzincir ve tokenless blokzincir gibi diğer türler de mevcuttur. Her bir tür farklı amaçlar ve kullanım durumları için uygun olabilir (Bashir, 2017).

Uygulama gereksinimleri ve doğası değişebileceğinden, tek bir blokzincir mükemmel değildir. Örneğin, genel bir blokzincir açık erişim ve yönetim sağlar ancak yavaş çalışabilir. Öte yandan özel bir blokzincir çok daha hızlı olabilir, ancak bu teknolojinin özünden ödün verir. Özel blokzincirler bir veya daha fazla merkezi otorite tarafından kontrol edilir, bu da blokzincir teknolojisine kontrolü yeniden getirir. Ancak, hassas verilerle çalışan kuruluşlar bu blokzincirlerden yararlanabilir.

1.3. Blokzincirin Temel Bileşenleri

Bir blokzincirin temel yapı taşı, işlemlerin veya verilerin kayıtlarını içeren bir bloktur. Her blok, bir önceki bloğa referans, zaman damgası ve hash adı verilen benzersiz bir tanımlayıcı gibi blok hakkında önemli bilgiler içeren bir blok başlığına sahiptir. Dolayısıyla, blokzincirin temel bileşenleri başlığında blok, blok yapısı, blok başlığı, hash fonksiyonu, Merkle ağacı, zorluk ve düğüm kavramlarını kapsayan bir blokzincirin temel unsurlarından bahsedilecektir.

1.3.1. Blok ve Bloğun Yapısal Karakteri

Blokzincir, bir ağ içindeki önceki tüm işlemlerin kayıtlarını tutan dağıtılmış bir defter olarak kavramsallaştırılabilir. Veri yapısı, her biri blok olarak adlandırılan sürekli büyüyen, birbirine bağlı bir kayıt listesinden oluşur. Kriptografik prensipler bu blokları birbirine bağlayarak değişmezliklerini sağlar ve düzensiz sıralandığında bile tüm zincirin çökmesine neden olacak değişiklikleri önler (Chowdhury, 2018). Sonuç olarak, işlemler

yeniden yazılamaz ve blokzincirin değişmezliği korunur. Her bloğun geçerli olması için kendinden önceki bloğa referans vermesi gerekir (Tapscott ve Tapscott, 2016).

1.3.1.1. Blok Başlığı ve Başlık Yapısı

Bir blokzincirin her bloğu blok başlığı ve veri yapısı olmak üzere en az iki bileşenden oluşur. Her blok, bir blokzinciri içindeki geçerli işlem gruplarını barındırmak için Merkle ağacına veya benzer veri yapılarına dönüştürülür. Bu işlemler ödemeleri ve yeni BTC üretimini kolaylaştırır. Bununla birlikte, çok düşük veya hiç ücreti olmayan işlemler sonraki bloklardan hariç tutulabilir ve bu da işlemlerin daha hızlı işlenmesi için yeterli ücret gerektirir (Furieux, 2018).

Bir blokzincirde, her biri bir öncekini referans alan yeni blokların eklenmesi, önceki işlemleri tersine çevirmek için gereken çabayı arttırır. Bu süreç, her yeni bloğun zincire entegrasyonunu, blokzinciri içindeki bir bloğu değiştirmek için katlanarak daha zor hale getirir. Bu, örneğin BTC için, tek bir bloğun değiştirilmesi, sonraki tüm bloklar için emek kanıtının yeniden hesaplanmasını gerektirmekte ve manipülasyonu önemli ölçüde engellemektedir (Lee, 2015). Barski ve Wilmer (2014) ve Antonopoulos'a (2017) göre, BTC blok yapısı blok boyutu, blok başlığı, işlem sayısı ve işlem listesi olmak üzere dört bölümden oluşur (bkz. Tablo 1).

Tablo 1. Blok yapısı

Boyut	Alan Adı	Açıklama
4 Byte	Blok Boyutu	Bloğun byte cinsinden boyutu
80 Byte	Blok Başlığı	Blok başlığını oluşturan alanlar
1-9 Byte	İşlem Sayısı	Kaç adet kayıt (işlem) olduğu
Değişmekte	İşlem Listesi	Bloğa kaydedilen işlemler

Kaynak: Antonopoulos (2017: 197)

Blok boyutu farklı blokzincirler arasında değişiklik gösterir. Örneğin, BTC'nin blok boyutu 1 MB olup 500'den fazla işlemi içerirken, Bitcoin Cash (BCH) daha fazla sayıda işlemi desteklemek için 8 MB blok boyutuna sahiptir. Blok yapısının önemli bir bileşeni olan blok başlığı, birkaç farklı alandan oluşur ve blokzincirde önemli bir işlevi vardır.

Her blok, bloğun içeriğini tanımlayan bir başlık içerir (Furieux, 2018). Tablo 2'de bir blok başlığının içeriği görülmektedir. Blok başlığı, blok sürüm numarası, önceki

bloğun hash değeri, zaman damgası⁵, nonce, zorluk seviyesi ve Merkle ağacı kökü dahil olmak üzere bir dizi veriden oluşur. Önceki bloğun hash değeri, bloğun başlığına kaydedilerek, blokzincirin kopmasını neredeyse imkânsız hale getirir. Ayrıca, Merkle ağacı kökü blok içindeki tüm işlemleri verimli bir şekilde özetlemeye yarar. Blok başlığının hash değeri SHA-256 şifreleme algoritması kullanılarak oluşturulurken, blok sürüm numarası bloğun oluşturulmasında kullanılan yazılım sürümüne karşılık gelir. Zaman damgası, saniye cinsinden bloğun oluşturulduğu anı belirtir (Lee, 2015; Antonopoulos, 2017).

Tablo 2. Blok başlığının yapısı

Boyut	Alan Adı	Açıklama
4 Byte	Sürüm	Yazılım/Protokol güncellemelerini takip etmek için sürüm numarası
32 Byte	Hash Değeri	Blokzincirdeki önceki bloğun hash değerine referans
32 Byte	Merkle Ağacı Kökü	Bloktaki işlemlerin Merkle ağacı kökünün hash değeri
32 Byte	Zaman Damgası	Bloğun oluşturulma zamanı (Unix Epoch saniye cinsinden)
4 Byte	Zorluk Hedefi	PoW algoritması hedeflenen zorluk derecesi
4 Byte	Nonce	PoW algoritması için kullanılan sayaç

Kaynak: Antonopoulos (2017: 197)

Blok başlığı belirli bilgiler içerirken, veri yapısı gerçek verileri barındırır. Veri yapısının türü amacına bağlıdır (Chowdhury, 2018). Bir blok başlığı, üç alanda değişmezliği sağlamak için önemli bilgiler içermektedir. Bunlar, bloğun oluşturulma zamanını gösteren bir zaman damgası, veri yapısına bir bağlantı ve bir önceki bloğa bir bağlantıdır. Zaman damgası, blokzincirin manipülasyona karşı direncini artırır (Furieux, 2018).

1.3.1.2. Hash Fonksiyonu

Blokzincirdeki veriler internet verilerinden önemli bir şekilde farklıdır. Uydurma veya geçici olabilen, yayın tarihi ve saati geçmiş ve gelecek bilgiler için kritik olmayan internet verilerinin aksine, blokzincir geçmişe referans verebilen kalıcı verileri depolar

⁵ Bloğun oluşturulduğu zamanı göstermektedir. Unix Epoch zaman formatındadır. 1 Ocak 1970 GMT 00:00 itibaren kaç saniye geçtiğini göstermektedir.

(Tapscott ve Tapscott, 2016). Sonuç olarak, blokzincirin tam olarak korunmasını sağlamak esastır. Tek yönlü bir fonksiyon olarak tasarlanmış matematiksel bir algoritma olan hash fonksiyonu, rastgele boyuttaki verileri sabit boyutlu bir diziye eşler ve tersine çevrilemez (Chowdhury, 2018). Blok başlığının hash değeri her zaman benzersizdir, bu da hash işlevlerini veri güvenliği için kritik hale getirir. Tek bir bloğun değiştirilmesi tüm blokzincirin çökmesine neden olabilir (Furieux, 2018).

Kriptografik hash fonksiyonu blokzincirin mantığı için çok önemlidir. Hash fonksiyonları sayesinde verideki en küçük değişikliği tespit etmek çok kolaydır ve bu da onları blokzincir güvenliği için çok önemli hale getirir. Aynı zamanda, hash fonksiyonları, blokzincir sisteminin güvenliği için ideal kabul edilen özelliklere sahiptir. İdeal hash fonksiyonunun beş temel özelliği bulunmaktadır. Bunlardan ilki, aynı mesajın her zaman aynı hash değeriyle sonuçlanması, ikincisi herhangi bir mesaj için hash değerini hesaplamının hızlı olması, üçüncüsü olası tüm kombinasyonları denemeden hash değerinden bir mesajı yeniden oluşturmanın mümkün olmaması, dördüncüsü bir mesajda yapılan küçük bir değişikliğin hash değerini büyük ölçüde değiştirerek yeni değeri eskisiyle alakasız hale getirmesi, beşincisi aynı hash değerine sahip iki farklı mesaj bulmanın imkânsız olmasıdır. Örneğin, aynı mesaj sürekli olarak aynı hash değerini üreterek blokzincir sistemi için benzersiz bir tanımlayıcı oluşturur. Ek olarak, olası tüm kombinasyonları denemeden bir hash değerinden bir mesaj üretilmemesi, blokzincir sistemi için güvenli bir yapı sağlar.

SHA-256⁶ gibi güvenli hash algoritmaları, veri bütünlüğünü doğrulamak için kullanılabilecek hash değerleri üretir. Tablo 3, SHA-256 algoritması kullanılarak üretilen hash değerlerini göstermektedir.

Tablo 3. SHA-256 Algoritması çıktı örneği

Mesaj	Mesajın Özeti
blokzincir	94bddc04cf4fa84e9a76d619603421a1678048ccd439888f2d8e29a7ae6add5c
Blokzincir	7a4b58bb56a4e8404e37f8e7a97c0882f424ea483d449c9514ed7a9e39e3cdee
BlokZincir	418f71ff91c3c2068cfa254b961bdf16369fc1801696c70e3bd4debb79363fbd

Kaynak: <https://xorbin.com/tools/sha256-hash-calculator>

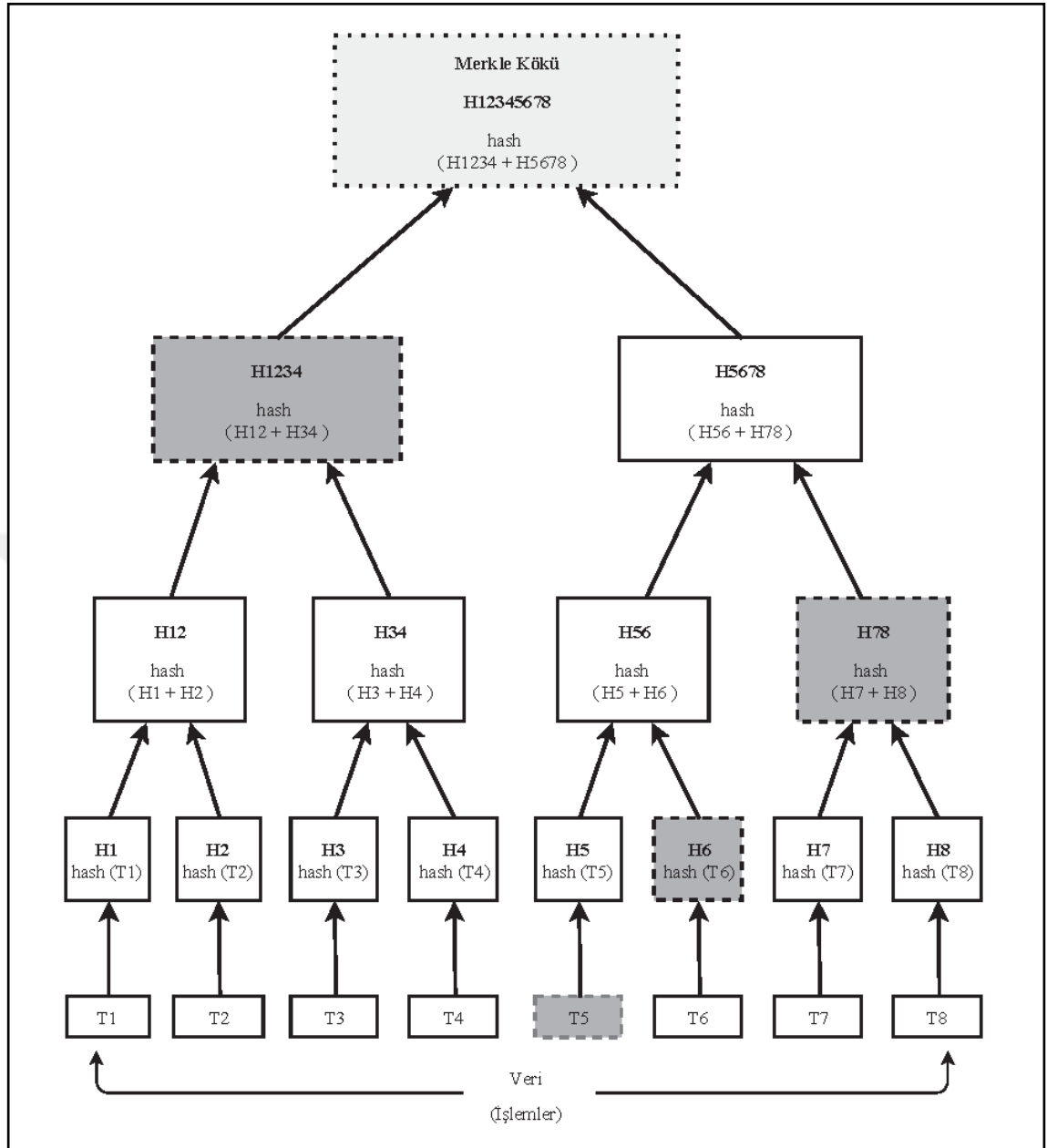
⁶ BTC’de NSA tarafından tasarlanan Secure Hash Algorithm (SHA-256 algoritması) kullanılmaktadır.

Bu tabloda, yalnızca “Blokzincir” kelimesinin harflerinin değiştirilmesinin hash değerini (mesaj özeti) büyük ölçüde değiştirdiği açıkça görülmektedir. Hash fonksiyonları blokzincir ağının güvenliğini sağlar ve başlığın diğer bileşeni olan düğümlerin doğruluğunu korur. Bu bağlamda dijital imzalar, kripto para birimleri ve blokzincir teknolojisi için önemli bir unsur olan şifreleme⁷ ilkeleriyle birlikte kullanılabilir (Tapscott ve Tapscott, 2016; Chowdhury, 2018).

1.3.1.3. Merkle Ağacı

Blokzincirdeki tüm işlemlerin hash değerini özetlemek için kullanılan bir veri yapısı olan Merkle ağacı, işlemlerin verimli bir şekilde doğrulanmasını sağlar ve depolama ihtiyacının azaltılmasını sağlar (Chowdhury, 2018). Böyle bir tasarımı uygulamaya yönelik ilk girişimler B-Money (Dai, 1998) ve Bit Gold (Szabo, 2008) olarak bilinmektedir. Merkle ağacının blokzincirde kullanılması, madencilerin büyük bir veri havuzundaki işlemleri verimli ve güvenli bir şekilde doğrulamasını sağlar (Chowdhury, 2018).

⁷ BTC'nin Elliptic Curve Digital Signature Algorithm (ECDSA) kullandığı birkaç dijital imza algoritması bulunmaktadır.



Şekil 3. Merkle ağacı yapısı

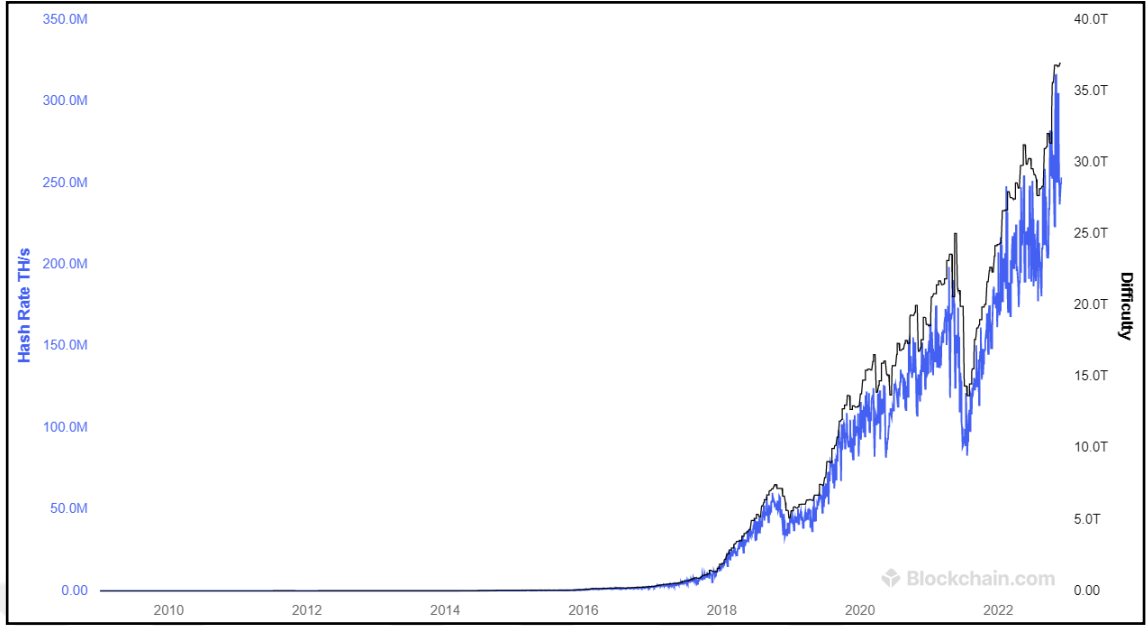
Kaynak: Chowdhury (2018: 46)

Merkle ağacı yapısından türetilen bir değer olan Merkle kökü, esasen bir bloktaki tüm işlemlerin bir hash değeridir (Furieux, 2018). Şekil 3, sekiz işlemten oluşan (T1'den T8'e) bir Merkle ağacını göstermektedir. Merkle ağacı genellikle ikiye bölünebilir şekilde üretilir.

1.3.1.4. Zorluk

Bir bloğun ağ tarafından kabul edilmesi, mevcut hedefe eşit ya da daha küçük bir hash değeri üretilmesine bağlıdır. Daha düşük bir hedef, blok üretimini daha zorlu hale getirir ve zorluk seviyesi, belirli bir hedefin altında bir hash değeri bulmanın zorluğunun bir ölçüsü olarak tanımlanır (Chowdhury, 2018). Örneğin, BTC ödülleri için rekabet, ağdaki madenci sayısına bağlı olarak değişebilir. Bu nedenle, BTC’de zorluk seviyesi her 10 dakikada bir bloğu doğrulayacak şekilde programlanmıştır ve madencilik ödülü olan BTC yaklaşık her dört yılda bir yarıya düşmektedir (Caetano, 2015; Goutte vd., 2019). Zorluk seviyesi, son blokların kabul oranına göre hesaplanır, bloklar 10 dakikadan kısa sürede bulunursa artar ve daha uzun sürerse azalır. Zorluk seviyesi, toplam işlemci gücüne göre her 2,016 blokta (yaklaşık 14 gün) güncellenir (Caetano, 2015).

Ağa daha fazla madenci katıldıkça, blok oluşturma oranı artacaktır. Blok oluşturma oranı arttıkça, telafi etmek için zorluk seviyesinin yükselmesine neden olur ve bu süreç, blok oluşturma oranını etkiler (Chowdhury, 2018). Sonuç olarak, BTC kullanımı genişledikçe ve enerji tüketimi arttıkça zorluk seviyesi de artmaya devam etmektedir. Bununla birlikte, bilgi işlem ekipmanlarındaki gelişmeler ve en verimli madencilerin ödüllendirilmesi zorluk seviyesinin düşmesine katkıda bulunmaktadır (Giungato vd., 2017; Goutte vd., 2019). Şekil 4, genesis bloğundan bu yana BTC ağının hesaplanan zorluk seviyeleri (difficulty) ve işlemci gücü (hashrate) değerlerini göstermektedir.



Şekil 4. Zorluk ve işlemci gücü

Kaynak: <https://www.blockchain.com/explorer/charts/>

Zorluk seviyesi ve işlemci gücünün en düşük olduğu dönem (neredeyse sıfır) rekabetin neredeyse hiç bulunmadığı döneme karşılık gelmektedir. Şekilden görüldüğü üzere rekabet arttıkça, zorluk seviyesi önemli ölçüde artmıştır. 01.12.2022 tarihi itibarıyla BTC zorluk seviyesi en yüksek seviyeye (36,950,494,067,222) ulaşmış, işlemci gücü ise 04.11.2022 tarihinde (272,050,883) en yüksek seviyeye ulaşmıştır.

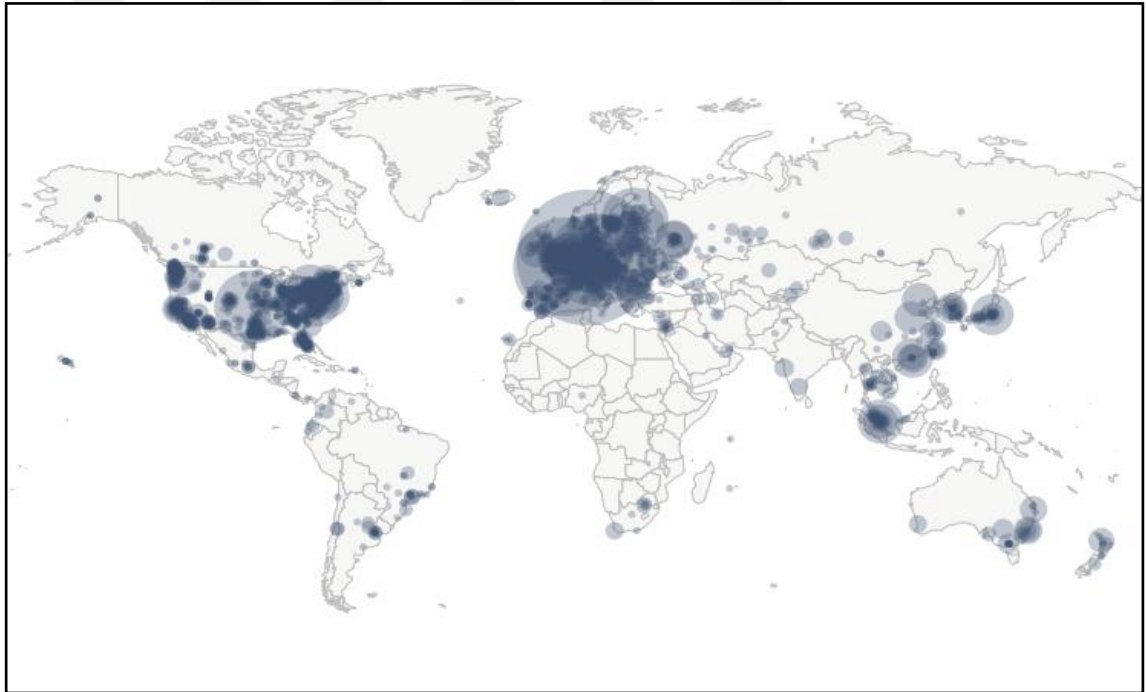
1.3.1.5. Düğüm

Blokszincir teknolojisinde düğümlerin (nodes), özellikle çift harcama sorununun çözümünde kullanılması önemlidir. Aynı anda birden fazla kripto para transferiyle karakterize edilen çift harcama, blokszincir ağında potansiyel bir güvenlik riski oluşturur. Bu sorunu çözmek için blokszincir ağı, eklenen her işlemi doğrulayarak korur. Düğümler, aynı işlem birden fazla kez gerçekleşirse hileli girişimleri tespit edebilir. Nakamoto (2008), BTC blokszincirinde çift harcama sorununu düğümlerin yardımıyla çözmüştür.

Düğümler, blokszincir teknolojisi için dağıtılmış bir sistemde gerçekleşen işlemler ve bloklarla ilgili bilgilerin yayılmasını kolaylaştıran bağımsız bilgisayarlar olarak tanımlanabilir. Tüm düğümler birbirlerine mesaj gönderebilir ve alabilir. Düğümler dürüst, hatalı veya kötü niyetli olabilir. Dağıtık sistem tasarımındaki ana zorluk, düğümler

arasındaki koordinasyon ve hata toleransında yatmaktadır. Dağıtık sistem, düğüm arızalarını ve kopan ağ bağlantılarını telafi etmeli ve istenen sonucu elde etmek için çalışmaya devam etmelidir (Bashir, 2017).

Tam düğümler, bağımsız olarak oluşturdıkları ve doğruladıkları tüm işlemlerin (ilk bloktan bilinen en son bloğa kadar) güncel bir kopyasını tutmaktadırlar (Antonopoulos, 2017). Tüm düğümlerin aynı veri kopyasına sahip olmasını sağlamak konsensüs mekanizmaları aracılığıyla gerçekleşir (Bashir, 2017). BTC örneğinde, bir blokzincir, madencilik sürecine katılan coğrafi olarak uzak düğümler tarafından tipik olarak eşler arası bir ağda depolanan tüm işlemlerin kaydını⁸ tutar. Rosenfeld (2012) bir blokzincirin uzunluğunun çift harcamaya karşı daha fazla koruma sağladığını öne sürmektedir. Şekil 5, dünya genelindeki BTC düğümlerinin ısı haritasını göstermektedir.



Şekil 5. Bitcoin düğümlerinin dağılım haritası

Kaynak: <https://bitnodes.io/>

⁸ 06.12.2022 tarihi itibarıyla, Bitcoin tüm işlemlerinin kaydını tutan blokzincirin boyutu (blockchain size) 441.5 GB büyüklüğündedir.

Tablo 4'te en fazla BTC düğüm sayısına sahip ilk 10 ülkenin listesi (07.12.2022 itibariyle) yer almaktadır.

Tablo 4. Bitcoin düğümlerinin dağılımları

Sıralama	Ülke	Düğüm Sayısı (Oran)
1	Bilinmiyor	8,537 (%56.50)
2	ABD	1,830 (%12.11)
3	Almanya	1,335 (%8.84)
4	Fransa	417 (%2.76)
5	Hollanda	366 (%2.42)
6	Kanada	295 (%1.95)
7	Finlandiya	231 (%1.53)
8	İngiltere	227 (%1.50)
9	Rusya	164 (%1.09)
10	Singapur	132 (%0.87)

Kaynak: <https://bitnodes.io/>

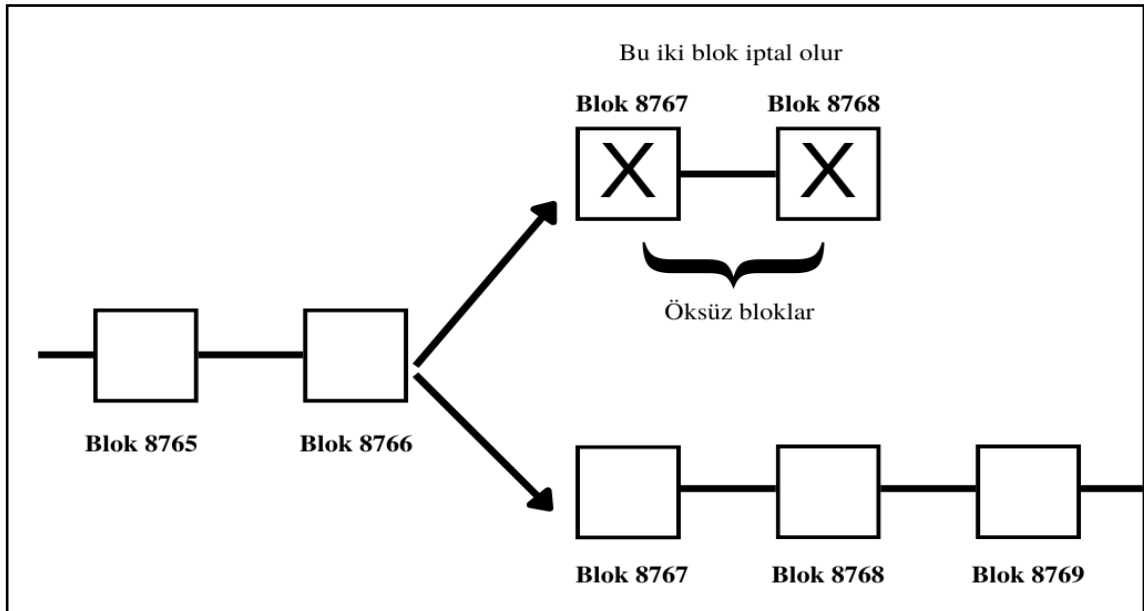
Dünya genelinde 15,110 erişilebilir düğüm bulunmaktadır. Bu düğümlerin 1,830'u (%12.11) ABD'de ve 1,335'i (%8.84) Almanya'da bulunmaktadır. Türkiye'deki düğüm sayısı ise 9 (%0.06) olup, 48. sırada yer almaktadır. BTC blokzinciri, katılımcıların anonim olarak işlem yapabilmelerini sağlamak üzere tasarlanmıştır. Yaklaşık 8,537 düğüm (%56.50) anonim katılımı tercih etmekte, böylece düğümlerin gerçek kimlikleri ve işlemlerin gizliliği korunmaktadır. Ayrıca, blokzincir ağının merkezi olmayan yapısı, merkezi kontrol olmadan düğümler arasında bilgi akışına izin vererek anonimliği daha da artırır. Bu anonimlik, kullanıcıların BTC'nin kritik bir yönü olan güvenli ve özel işlemler gerçekleştirmesini sağlar.

1.3.2. Çatallanma

Dağıtılmış bir sistem olarak, iki düğüm aynı anda geçerli bir blok bildirdiğinde, farklı işlemlere sahip iki blokzincir (çatallanma) oluşabilir (Bashir, 2017; Chowdhury, 2018). Çatallanma, blokzincirinde depolanan bilgilerin bütünlüğünü tehlikeye atabileceğinden tüm blokzincir sistemi için potansiyel bir tehdit oluşturur (Corbet vd., 2020). Hata düzeltmeleri veya büyük sürüm güncellemeleri de blokzincirde çatallanmaya neden olabilir. Yeni düğümler bir sürüm güncellemesi uyguladıkça, sonuç bir çatallanma ve değişiklik olabilir. Ağ, protokol ve yazılımdaki değişiklikleri bu şekilde kabul eder veya reddeder ve birden fazla yazılım sürümünün blokzincir aracılığıyla gelişmesine izin verir (Caetano, 2015). Çatallanma, protokolün bir değişiklik gerektirmesi veya bir işlemi

doğrulamak için yeni bir kuralın oluşturulması gibi çeşitli nedenlerle meydana gelebilir (Chowdhury, 2018). Çatallanma ile ilgili başka bir durum ise, tüm kripto paraların madencilik kapasitesinin önemli bir yüzdesini kontrol edebilen bir saldırganın “%51 saldırısı” gerçekleştirmesidir. Eğer saldırgan, blokzincir madencilik kapasitesinin yarısından fazlasını kontrol ediyorsa, önceki birkaç bloğu yeniden hesaplayabilir ve zincirde yeni bir çatall oluşturabilir. Genel olarak, belirli bir işlemi içeren altı onay veya altı bloğun, blokzincirin değiştirmesini pratik olarak imkânsız hale getirdiği kabul edilir. Henüz bir blokta yer almayan bir işlem, işlemler için bir depolama alanı olarak hizmet veren Mempool⁹ adlı bir depoda saklanır (Furieux, 2018).

Ağıdaki bu tür çatallanmalar belirsizliğe yol açarak hangi bloğun kabul edileceğinin öngörülememesine neden olur. Bu belirsizlik, hangi blokzincirin kabul edileceğinin bilinmemesiyle ilişkilidir. Biais vd. (2019), madencilerin En Uzun Zincir Kuralı’nın (LCR) basit kurallarını takip ettiği koşullarda belirsizliği çözdüklerinden bahsetmektedir. Zincire sonraki bloklar eklendikçe belirsizlik ortadan kalkar ve zincir uzarken diğer bloklar öksüz kalır ya da terk edilir (Bashir, 2017; Chowdhury, 2018). Şekil 6’daki gibi ana zinciri temsil eden bloklar ilerlerken öksüz bloklar iptal edilir.



Şekil 6. Öksüz (Yetim) blok

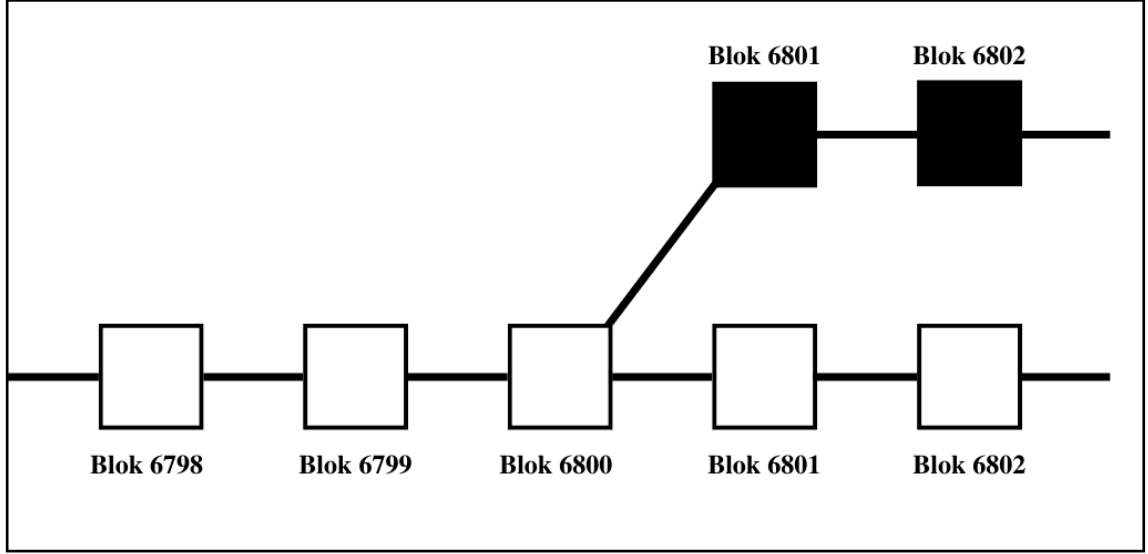
⁹ <https://mempool.space/tr/>

1.3.2.1. Çatallanma Türleri

Çatallanma, sert çatallanma (hard fork) ve yumuşak çatallanma (soft fork) olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Chowdhury (2018), ayrıca geçici çatallanmadan (temporary fork) bahsetmektedir. Geçici çatallanma, madenciler tarafından keşfedilen blokların aynı anda ortaya çıkmasıyla oluşan bir durumdur.

1.3.2.1.1. Sert Çatallanma (Hard Fork)

Blokszincirde blokların oluşumundaki sorunları ele almak ve düzeltmek için insan müdahalesi gerektiren süreç sert çatallanmadır. Sert çatallanma, protokoldeki bu değişiklik, daha önce geçersiz sayılan blokları veya işlemleri geçerli kılar ve blokszincir oluşumuna doğrudan bir insan müdahalesini temsil eder (Chohan, 2017; Chohan, 2019). Sert çatallanma, blokszincirin önceki sürümünden kalıcı bir sapma ile sonuçlanır ve tüm kullanıcıların veya düğümlerin en son protokol yazılımına yükseltilmesini zorunlu kılar (Destefanis vd., 2018). Bu güvene dayalı faaliyet, katılımcıların düzeltilmiş sürümü gönüllü olarak benimsemelerini, diğer sürümleri kabul etmeyi bırakmayı ve yeni blokszincirde ilerlemeyi kabul etmelerini gerektirir (Goutte vd., 2019). Sert çatallanma uygulamasının en önemli nedenleri, eski kod sürümlerindeki önemli güvenlik risklerini düzeltme, yeni işlevler ekleme ve işlemleri tersine çevirmektir (Destefanis vd., 2018). En iyi bilinen sert çatallanma olan Bitcoin Cash (BCH), maksimum blok boyutu sınırını 1 MB'den 8 MB'ye çıkararak günlük işlemlerin yaklaşık 250,000'den 1 milyona neredeyse dört katına çıkmasını sağlamıştır (Furieux, 2018). Şekil 7'de sert çatallanma durumunu gösteren bir zincir örneği gösterilmektedir.

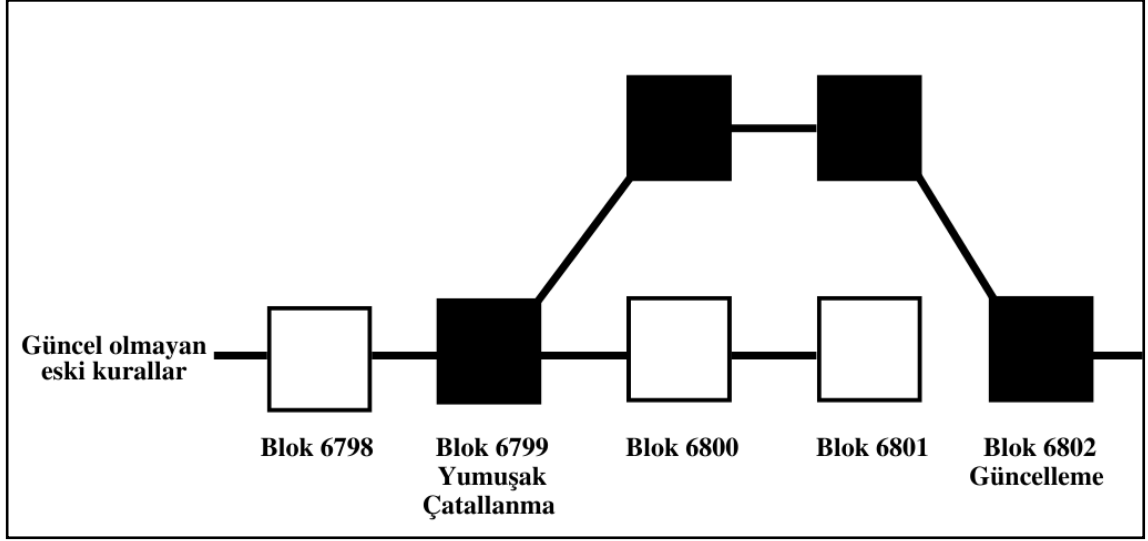


Şekil 7. Sert Çatallanma (Hard Fork)

1.3.2.1.2. Yumuşak Çatallanma (Soft Fork)

Furieux (2018) yumuşak çatallanmanın üç olası sonucunu tanımlamaktadır. Bu sonuçlar, madencilerin tamamının hemfikir olduğu ve gerçek bir çatallanma olmadığı, sadece bir yazılım değişikliği olduğu durum; madencilerin çoğunun aynı fikirde olduğu ve yeni zincirle devam ettikleri durum; madencilerin çoğunun aynı fikirde olmadığı ve eski zincirle devam ettikleri durumdur. Örneğin, BTC’de Segregated Witness (SegWit)¹⁰ adı verilen ve daha düşük işlem ücretleri ve ek teknik avantajlar sağlayan bir yumuşak çatallanma sunmuştur (Furieux, 2018). Yumuşak çatallanma durumunu gösteren bir zincir örneği Şekil 8’de yer almaktadır.

¹⁰ Adresler “bc1” ile başlar ve geleneksel Bitcoin adresinin “1” ile başlayan 34 karakterinden ziyade genellikle 42 karakter uzunluğundadır.



Şekil 8. Yumuşak Çatallanma (Soft Fork)

1.3.3. Kripto Para Madenciliği

Kripto para madenciliği, blokzincir sisteminin bütünlüğünü ve güvenliğini korumaya hizmet ettiği için bir kripto para protokolünün çok önemli bir yönüdür (O'Dwyer ve Malone, 2014). Bu merkezi olmayan sistemde bilgi, her biri verilerin kaydını tutan çok sayıda (potansiyel olarak sonsuz) bilgisayara yayılır. Sonuç olarak, tek bir kayıt tutucu tarafından manipülasyon neredeyse imkânsız hale gelir. Geleneksel merkezi kayıt tutma sistemlerinin yerini blokzincir sisteminde çok sayıda rekabetçi kayıt tutucu¹¹ alır. Finans, bilgisayar bilimi ve kriptografi gibi farklı disiplinleri kapsadığı için madenciliğin anlaşılması oldukça karmaşık bir süreçtir (Berentsen ve Schär, 2018; Goutte vd., 2019).

Kripto para madenciliği, sistemi dolandırıcılık faaliyetlerine ve çift harcama saldırılarına karşı koruduğu için blokzincir sisteminin sürdürülebilirliği için çok önemlidir. Madencilik genellikle blokları doğrulama, kripto para yaratma süreci ya da basitçe bir teşvik sistemi olarak tanımlansa da yalnızca yeni kripto para üretmeye değil, aynı zamanda merkezi bir otoritenin yokluğunda blokzincir sisteminin güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamaya da hizmet eder (Lee, 2015; Antonopoulos, 2017; Bashir, 2017; Chowdhury, 2018; Goutte vd., 2019).

¹¹ Blokzincir ağında madenciler olarak adlandırılır.

Goutte vd. (2019), kripto para madenciliğinin üç temel işlevini tanımlamaktadır. Bu işlevler; yeni kripto para birimlerinin oluşturulması, işlem doğruluğunun onaylanması ve işlemlerin bloklara eklenmesidir. Tüm işlemlerin doğrulanması ve onaylanmasının ardından düğümler arasında senkronizasyon gerçekleşir, yeni bloklar eskilerine bağlanır ve blokzincir oluşturulur. Antonopoulos (2017), BTC bağlamında kripto para madenciliğini açıklamakta ve bunu iki ana hedefe bağlamaktadır. BTC'nin mutabakat kurallarına göre madenciler tarafından tüm işlemlerin doğrulanması, böylece geçersiz veya hatalı biçimlendirilmiş işlemlerin reddedilerek işlem güvenliğinin sağlanması ve her blokta bir merkez bankasının yeni para basmasına benzer şekilde yeni BTC'lerin üretilmesidir.

1.3.3.1. Madencilik Süreci

Madenciler¹², istedikleri işlemleri seçme özgürlüğüne sahiptirler. Madencilik süreci, matematiksel bulmacaları çözmek ve diğer madencilerle rekabet etmek için işlem verilerini içeren blokla ilişkili kriptografik hash fonksiyonlarını kullanmayı gerektirir. Bir madenci gerekli hash değerini bulduktan sonra bloğu emek kanıtını doğrulaması için yayımlar. Bu doğrulama işlemi aynı zamanda blokzincire kalıcı olarak yerleştirilmek üzere hazırlanan işlemleri de onaylar.

Kripto para madenciliği, hem blokzincire yeni işlemlerin doğrulanmasını ve eklenmesini hem de yeni kripto para birimlerinin oluşturulmasını ve dağıtılmasını kapsar. Farklı kripto para birimlerine bağlı olarak değişmekle birlikte, madenciler ağ kullanıcıları tarafından gerçekleştirilen işlemleri doğrular ve çeşitli bilgiler içeren yeni blok başlıkları oluşturur. Bir madenci geçerli bir hash değerini bulduğunda, tamamlanan bloğu doğrulama ve blokzincire dahil edilmesi için ağa yayımlar. Ağ bloğu kabul ederse, madenci yeni basılan kripto para birimleri ve bloğa dahil edilen işlem ücretleri şeklinde bir ödül alır ve bu da bir teşvik görevi görür. Sonuç olarak madencilik yeni blokların oluşturulmasına ve zincirin uzamasına katkı sağlar.

¹² Bitcoin protokolünde yer almak isteyen düğümler “Bitcoin Core” adlı bir yazılım yüklerler. Bu yazılım düğümlere madencilik operasyonlarında yer alma yeteneği sağlar.

Yaygın madencilik yaklaşımları arasında solo madencilik, madencilik sözleşmeleri (bulut madenciliği) ve madencilik havuzları bulunmaktadır (Bhaskar ve Chuen, 2015; Lee, 2015; Goutte vd., 2019).

Solo Madencilik: Madencilerin benzersiz hash değerini bireysel olarak çözmeye çalıştıkları bir yöntemdir ve bu sayede elde edilen ödül, tamamen hesaplama gücüne sahip olan kişiye verilir. Lee'ye (2015) göre, tek başına bir madencinin bloğu çözmesi için gereken ortalama süre yaklaşık 2,290 yıl iken, Goutte vd. (2019) bu sürenin 868,808 yıl olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmalar, zaman içinde zorluk arttıkça çözme süresinin de buna bağlı olarak uzadığını göstermektedir. Sonuç olarak, solo madencilik kripto para madenciliği için ideal bir yöntem olarak görülmemektedir.

Madencilik Sözleşmeleri (Bulut Madencilik): Kripto para madenciliğine dahil olmanın bir başka yolu da bulut madenciliği sözleşmelerinin kullanılmasını içerir. Bu performans sözleşmeleri belirli bir süre için oluşturulur ve zorluk seviyesi kârlılığı belirlemede önemli bir faktördür. Goutte vd. (2019), bu tür sözleşmeleri üç farklı modelde sınıflandırmaktadır. Madencilik yazılımı yüklü özel sunucular kurmak, bir bulut madencilik hizmet sağlayıcısına ait bir makineyi kiralamak ve özel bir fiziksel veya sanal kurulum olmadan belirli bir miktarda hash gücünü kiralamaktır.

Madencilik Havuzları: Bu havuzlar, madencilik için kaynakları birleştirmek için oluşturulan gruplardır. Havuz oluşturma'nın temel motivasyonu kaynakları bir araya getirerek daha yüksek hash gücü elde etmektir. Madencilik havuzunun bir parçası olmanın avantajı, havuzda toplanan hesaplama gücü nedeniyle bir bloğun çok daha hızlı çıkarılma olasılığını artırmasıdır. Bununla birlikte, havuz operatörü tarafından alınan ücret dikkate değer bir dezavantajdır. Farklı madencilik havuzlarının hash oranındaki farklılıklar, farklı havuzların genellikle farklı ödeme politikalarına ve ücretlere sahip olmasına bağlanabilir (Salimitari vd., 2017; Goutte vd., 2019). Ek olarak, madencilik havuzları, hesaplama gücünü bir havuz operatörü altında merkezileştirdikleri ve BTC sisteminin orijinal tasarımından saptıkları için ademi merkezîyetçilik kavramıyla çelişmektedir. Havuzlara katılan çok sayıda madenci, saldırganlar için hedef oluşturabilir ve potansiyel olarak büyük miktarda bilgi ve varlığı tehlikeye atabilir. Ayrıca, merkezi olarak yönetilen madencilik havuzları, ağa saldırmak için gücü kötüye kullanabilir (Goutte vd., 2019).

Lee (2015) madencilik sürecini etkileyen faktörleri madencilik ekipmanı maliyeti, enerji tüketimi-kaynak israfı (elektrik maliyeti) ve zorluk olarak üç kategoride sınıflandırmaktadır. Goutte vd. (2019), bir ABD doları değerinde BTC madenciliğinin, bir ABD doları değerinde altın madenciliğinden üç kat daha fazla enerji tükettiğini ileri sürmektedir. Krause ve Tolaymat (2018), 2016-2018 yılları arasında çıkarılmış dört kripto para birimi (BTC, ETH, LTC ve XMR) için yapılan madencilik faaliyetlerinin 3-15 milyon ton karbondioksit emisyonundan sorumlu olduğunu belirtmektedir. Goutte vd. (2019) de toplam enerji giderlerini hesaplarken soğutma maliyetlerini göz önünde bulundurmanın önemini vurgulamaktadır. Madencilik süreci ile ilgili zorluk, madenciliğin kârlılığını ve dolayısıyla madencilik piyasasına girme veya çıkma teşviklerini belirleyen bir kWh elektriğin fiyatıdır (Antonopoulos, 2017). Bir diğer zorluk ise, muazzam miktarda kaynak tüketmesine rağmen madencilik faaliyetlerinin vergi veya istihdam açısından ekonomilere önemli bir katkıda bulunmamasıdır (Goutte vd., 2019).

1.3.3.1.1. Madencilikte Ödül Mekanizması

Bir blok oluşturulduktan sonra, en hızlı çözümü bulan madenci, yeni basılan kripto para birimi, ücretler veya her ikisinden de ödül olarak almaktadır (Chowdhury, 2018). Bir blok bulma süreci, madencilerin elde ettiği işlem ücretlerine ek olarak belirli sayıda yeni basılmış BTC ödülü ile karakterize edilir (Lee, 2015). Bu nedenle, kripto para madenciliği bu ödülleri kazanmak amacıyla yürütülmektedir. Kasım 2022 itibarıyla, blokzincire eklenen her blok için ödül miktarı yeni oluşturulan 6.25 BTC'dir. Ancak, 21 milyon¹³ BTC limitine ulaşıldığında, başka ödüller mevcut olmayacak ve madenciler yalnızca işlem ücretleri kazanabileceklerdir.

BTC protokolü, her 210,000 blokta (yaklaşık 4 yılda bir) blok ekleme ödülünün yarıya indirileceğini öngörmektedir. İlk BTC bloğu 2009 yılında Satoshi Nakamoto tarafından üretilmiş ve başlangıçta blok ödülü 50 BTC olarak belirlenmiştir. İlk yarılanma işlemi 28 Kasım 2012'de gerçekleşmiş ve ödül 25 BTC'ye düşmüştür. İkinci yarılanma 9 Temmuz 2016'da gerçekleşerek ödül 12.5 BTC'ye; 11 Mayıs 2020'de gerçekleşen üçüncü yarılanma ile ise ödül 6.25 BTC'ye düşmüştür. Bir sonraki yarılanma ile ödülün

¹³ Üretimin her dört yılda bir yarılanmasına bağlı olarak 21 milyon BTC'nin tamamının 2140 yılına kadar üretileceği öngörülmektedir.

3.125 BTC'ye düşeceği ve bu yarılanmanın Ağustos 2024'te gerçekleşmesi beklenmektedir. Tablo 5, tahmini BTC yarılanma düzeylerini göstermektedir.

Tablo 5. Tahmini Bitcoin ödül yarılanma tablosu

Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	Blok Aralığı	Ödül
3 Ocak 2009	28 Kasım 2012	1 – 209,999	50
28 Kasım 2012	9 Temmuz 2016	210,000 – 419,999	25
9 Temmuz 2016	11 Mayıs 2020	420,000 – 629,999	12.5
11 Mayıs 2020	Ağustos 2024	630,000 – 839,999	6.25
Ağustos 2024	Temmuz 2028	840,000 – 1,049,999	3.125
Temmuz 2028	Mayıs 2032	1,050,000 – 1,259,999	1.5625
Mayıs 2032	Nisan 2036	1,260,000 – 1,469,999	0.78125
Nisan 2036	Mart 2040	1,470,000 – 1,679,999	0.390625
Mart 2040	Şubat 2044	1,680,000 – 1,889,999	0.1953125
Şubat 2044	Ocak 2048	1,890,000 – 2,099,999	0.09765625
Ocak 2048	Aralık 2051	2,100,000 – 2,309,999	0.04882813
Aralık 2051	Ekim 2055	2,310,000 – 2,519,999	0.02441406
Ekim 2055	Eylül 2059	2,520,000 – 2,729,999	0.01220703
Eylül 2059	Ağustos 2063	2,730,000 – 2,939,999	0.00610352
Ağustos 2063	Temmuz 2067	2,940,000 – 3,149,999	0.00305176
Temmuz 2067	Haziran 2071	3,150,000 – 3,359,999	0.00152588
Haziran 2071	Mayıs 2075	3,360,000 – 3,569,999	0.00076294
Mayıs 2075	Mart 2079	3,570,000 – 3,779,999	0.00038147
Mart 2079	Şubat 2083	3,780,000 – 3,989,999	0.00019073
Şubat 2083	Ocak 2087	3,990,000 – 4,199,999	0.00009537
Ocak 2087	Aralık 2090	4,200,000 – 4,409,999	0.00004768
Aralık 2090	Kasım 2094	4,410,000 – 4,619,999	0.00002389
Kasım 2094	Eylül 2098	4,620,000 – 4,829,999	0.00001192
Eylül 2098	Ağustos 2102	4,830,000 – 5,039,999	0.00000596
Ağustos 2102	Temmuz 2106	5,040,000 – 5,249,999	0.00000298
Temmuz 2106	Haziran 2110	5,250,000 – 5,459,999	0.00000149
Haziran 2110	Mayıs 2114	5,460,000 – 5,669,999	0.00000075
Mayıs 2114	Nisan 2118	5,670,000 – 5,879,999	0.00000037
Nisan 2118	Şubat 2122	5,880,000 – 6,089,999	0.00000019
Şubat 2122	Ocak 2126	6,090,000 – 6,299,999	0.00000009
Ocak 2126	Aralık 2129	6,300,000 – 6,509,999	0.00000005
Aralık 2129	Kasım 2133	6,510,000 – 6,719,999	0.00000002
Kasım 2133	Ekim 2137	6,720,000 – 6,929,999	0.00000001

Tabloda yarılanmanın başlangıç ve bitiş tarihi, blok aralığı (hangi bloklar arasında meydana geldiği), ödül miktarı bilgileri yer almaktadır. Yukarıda da bahsedildiği gibi, Nakamoto (2008) toplam BTC üretimini 21 milyon adetle sınırlandırmıştır. Bu noktada, BTC ağı tamamen işlem ücretleriyle sürdürülecektir (Barski ve Wilmer, 2014).

1.3.3.1.2. Madencilik Donanımları

Kripto para madenciliği, genellikle madencilik donanımı veya madencilik teçhizatı olarak bilinen özel bir bilgisayar sistemi gerektirir (Narayanan vd., 2016). Donanım ve yazılım hususlarının yanı sıra, madencilik operasyonlarının verimliliğini etkileyen önemli faktörler arasında elektrik maliyeti, iklim ve ağ hızı bulunmaktadır (Goutte vd., 2019). İdeal olarak, soğutma maliyetinin düşük olacağı bir iklimde ve ucuz elektrik maliyeti olan yerlerde madencilik donanımları kurulmalıdır. Ayrıca, hızlı ve istikrarlı bir ağ bağlantısı da madenciler için hayati önem taşımaktadır (Bhaskar ve Chuen, 2015; Goutte vd., 2019).

Kripto para madenciliğinin rekabetçi yapısı, diğer madencilerle rekabet edebilmek için güçlü donanımlar gerektirmektedir. Madenciler, sistemlerini sürekli olarak geliştirmek ve uzmanlaşmak zorunluluğundadırlar. Tapscott ve Tapscott'a (2016) göre, çoğu madencilik donanımı üç ila altı aylık bir kullanım ömrüne sahiptir. Bu nedenle, elektrik maliyetlerinin yüksek olduğu bölgelerde madencilik yapmak enerji ve donanım israfına yol açabilir. Günümüzde kripto para madenciliği özel madencilik donanımları tarafından yapılmaktadır (Goutte vd., 2019). Kripto para madencileri tarafından kullanılan dört ana donanım kategorisi bulunmaktadır (Lee, 2015; Goutte vd., 2019):

- CPU (Merkezi İşlem Birimi): Birinci Nesil Madencilik
- GPU (Grafik İşleme Birimi): İkinci Nesil Madencilik
- FPGA (Alan Programlanabilir Kapı Dizisi): Üçüncü Nesil Madencilik
- ASIC (Uygulamaya Özgü Entegre Devre): Dördüncü Nesil Madencilik

Başlangıçta, kripto para (BTC) madenciliği CPU kullanılarak yapılmıyordu. Ancak, zorluk seviyesi arttıkça ve CPU madenciliği uygulanamaz hale geldikçe, kripto para madenciliğinde GPU, FPGA ve ASIC donanımlarını içeren yöntemler kullanılmaya başlandı. Günümüzde çoğu kripto para madenciliği ASIC cihazlarıyla donatılmış madencilik donanımı tarafından yürütülmektedir. Özellikle BTC madenciliğinde, ASIC çipleri sadece madencilik amaçlı tasarlanmakta ve üretilmektedir. Bu sayede, yalnızca BTC madenciliği için tasarlanmış enerji tasarruflu ASIC'lerle büyük ölçüde paralel bir

BTC çözücünün oluşturulmasına yol açmıştır (Tapscott ve Tapscott, 2016). Bununla birlikte, ASIC'ler, özel ve zaman alıcı imalatlar nedeniyle tedarik etmenin oldukça maliyetli olması dezavantajını da sunmaktadır (Taylor, 2013; Goutte vd., 2019).

1.3.3.1.3. Madencilik Havuzları

Zaman içinde madencilik oldukça karmaşık ve maliyetli bir uğraş haline gelmiştir (Furneaux, 2018). Bireysel madenciler için yeni bloklardan ödül kazanmak için gerekli emek kanıtını keşfetmek giderek daha zor hale gelmiştir (Caetano, 2015). Bu nedenle, madencilik havuzları¹⁴ kripto para madenciliğinde popüler hale gelmiştir. Bu havuzlar, madencileri bir araya getirmekte ve madencilerin artan zorluk seviyelerine karşı etkili bir şekilde rekabet etmelerini sağlayarak ödül dağıtım düzenlemelerini yapan şirketler tarafından yönetilmektedir.

Madencilik havuzları, kripto para madenciliğinde yaygın olarak kullanılan bir kavram haline gelmiştir. Bu havuzlar, çok sayıda madencinin bir blok oluşturmaya katkıda bulunmasına ve elde edilen ödüllerin aralarında paylaşılmasına¹⁵ olanak sağlar. Ağ açısından, madencilik havuzu tek bir madencilik düğümü olarak işlev görür ve bu düğümdeki yüzlerce hatta binlerce bireysel madenci için hash değerini hesaplar (Barski ve Wilmer, 2014). Herhangi bir madenci, büyük veya küçük, profesyonel veya amatör, madencilik havuzlarına katılabilir (Antonopoulos, 2017). Bu şekilde, madencilerin blok ödülleri elde etmek için yıllarca beklemek yerine daha düzenli kripto para kazanma olanakları sağlanır. Bashir (2017) solo madenciliğin artık çok kârlı olmadığını hesaplamıştır; Ekim 2016 dönemindeki zorluk faktörü ile bir kullanıcı günde yaklaşık 0.01366887 BTC (yaklaşık 8\$) kazanabilmektedir. Ancak, bu kazanç çok düşük bir yatırım getirisidir.

Günümüzde Çin, kripto para madenciliği sektörüne, özellikle de BTC madenciliğine hâkim durumdadır. Ülkenin işlemci gücünün (hashrate), küresel toplamın %70'inden fazlasını oluşturduğu tahmin edilmektedir (Kaiser vd., 2018; Delgado-

¹⁴ Birçok ticari madencilik havuzu bulunmaktadır. Bu havuzlar, kullanımı kolay web arayüzleri aracılığıyla madencilik hizmeti sözleşmeleri sunmaktadır.

¹⁵ Coinwarz (www.coinwarz.com) birçok kripto paranın karlılığını değerlendirmek için kullanışlı bir web sitesidir. Coinwarz web sitesi, hash oranları, zorluk seviyeleri, elektrik maliyetleri ve blok ödüllerine dayalı gelecekteki kazançları hesaplamak için çeşitli araçlar sunmaktadır.

Mohatar vd., 2019). Önemli madencilik gücüne sahip diğer ülkeler arasında İzlanda, Gürcistan, Rusya, Estonya, Kanada, Venezuela ve ABD bulunmaktadır. Kripto para madenciliği, madencilik ekipmanlarının soğutulmasını kolaylaştıran soğuk iklimleri nedeniyle bu ülkelerde popülerdir. Örneğin, 2018 yılında İzlanda'daki madencilik şirketlerinin hanelerden daha fazla elektrik tükettiği bildirilmiştir (Zuckerman, 2018).

Madencilik süreci daha merkezi hale geldikçe (örneğin, tek bir madencilik havuzu Bitcoin ağının %51'inden fazlasını kontrol ettiğinde), önemli sorunlar ortaya çıkabilir. Bu merkezileşme çift harcama saldırılarına yol açabilir ve bazı madencilik havuzlarının ağ üzerinde aşırı kontrol sahibi olması nedeniyle mutabakatı etkileyebilir (Bashir, 2017). 2014'ün başlarında GHash.io madencilik havuzu, ağın %42'sini kontrol ediyordu. %51'e yaklaştıkça, birçok madenci havuzun büyüklüğüyle ilgili endişelerini dile getirmiş ve havuzun küçültülmesi çağrısında bulunmuştur. Sonuç olarak, çok sayıda madenci 24 saat içinde havuzdan ayrılarak havuzun büyüklüğünü %38'e düşürmüştür (Caetano, 2015). Madencilik havuzları arasında işlemci gücü (hashrate) geçişi de mümkündür. Tablo 6, 5 Aralık 2022 itibarıyla en büyük madencilik havuzları arasındaki hashrate dağılımını göstermektedir.

Tablo 6. Madencilik havuzları işlemci gücü (hashrate) dağılımı

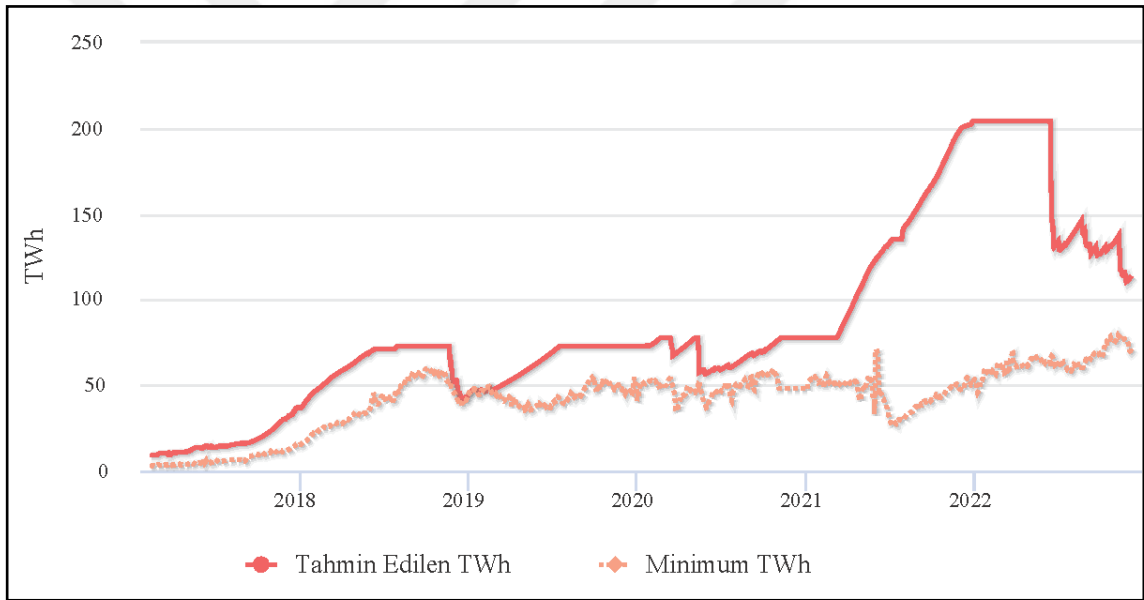
Madencilik Havuzu	Blok Sayısı	Yüzde
F2Pool	24,961	15.69
AntPool	21,696	13.64
Poolin	18,157	11.41
ViaBTC	14,223	8.94
SlushPool	6,865	4.32
Huobi.pool	5,622	3.53
BTC.com	5,435	3.42
1THash&58COIN	3,118	1.96
OKEExPool	2,432	1.53
BTC.TOP	2,060	1.01
Bilinmeyen	49,073	30.85

Kaynak: <https://www.blockchain.com/explorer/charts/pools>

F2Pool, AntPool ve Poolin, 3 yıllık dönem içerisinde (yaklaşık %40.74) en çok blok çıkaran madencilik havuzlarıdır.

1.3.3.1.4. Madencilik Enerji Maliyetleri

Enerji maliyetleri, kripto para madenciliğinde büyük önem taşımaktadır. Emek kanıtı (PoW) tabanlı kripto para madenciliği, önemli miktarda enerji tüketmekte ve BTC'nin başlangıcından bu yana yenilenebilir enerji uzmanlarının eleştirilerine maruz kalmaktadır. PoW, blokzincir güvenliğinin ayrılmaz bir parçası olmasına rağmen, genellikle muazzam bir enerji israfı olarak görülmektedir (NewScientist, 2017; Coppola, 2018). Alternatif olarak, daha az enerji tüketen yöntemler önerilmiştir, ancak bu yöntemler hala güvenlik protokolleriyle ilgili endişeler barındırmaktadır. PoW'un ana avantajı, çift harcama endişelerini güvenli bir şekilde ele alabilmesidir (Vranken, 2017; Goutte vd., 2019). BTC ve ETH enerji tüketim endeksi Digiconomist (2022)¹⁶ tarafından sağlanmıştır ve sırasıyla Şekil 9 ve Şekil 10'da yer almaktadır.



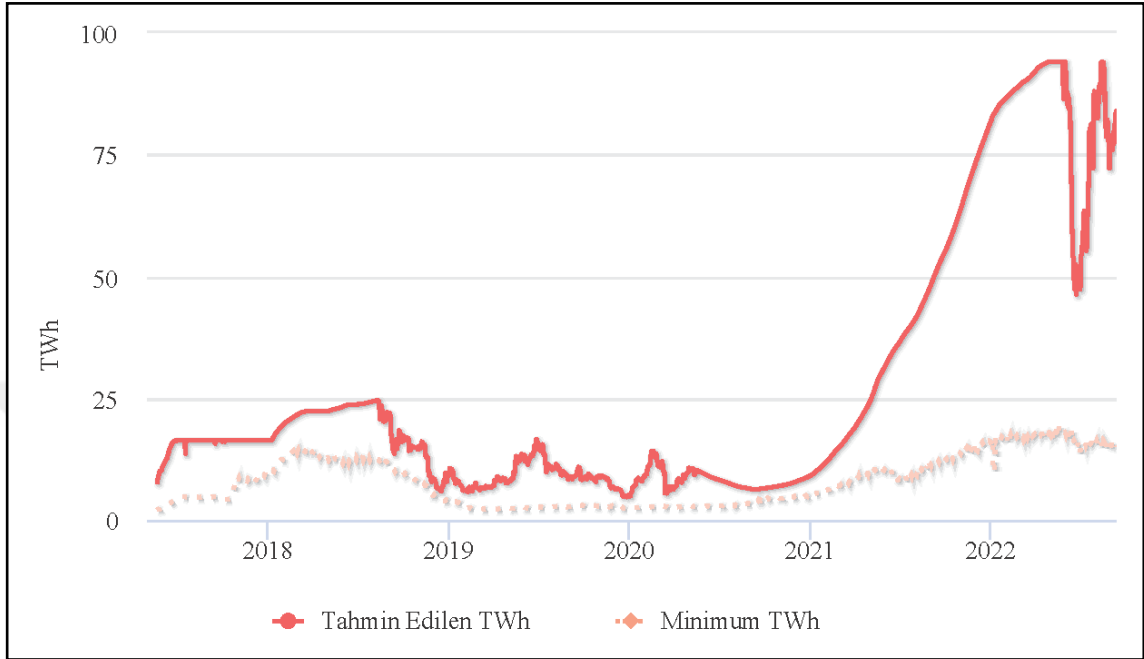
Şekil 9. Bitcoin enerji tüketim endeksi

Kaynak: <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>

Şekil 9, en yüksek enerji tüketiminin (46 ile 204 TWh arasında) 2022 yılının ilk altı ayında gerçekleştiğini göstermektedir. 23 Mayıs 2022 itibarıyla ise enerji tüketimi 64 ile 204 TWh arasında değişmektedir. Bu veriler, BTC madenciliğinin toplam elektrik tüketimini son derece yüksek seviyelere çıkardığını ortaya koymaktadır. Krause ve

¹⁶ <https://digiconomist.net/>

Tolaymat (2018) tarafından yapılan bir araştırmaya göre, 1 dolar değerinde BTC madenciliği için gereken enerji, aynı değerde bakır, altın veya platin madenciliği için gereken miktarın iki katından fazladır.



Şekil 10. Ethereum enerji tüketim endeksi

Kaynak: <https://digiconomist.net/ethereum-energy-consumption>

Digiconomist (2022) tarafından sağlanan ETH verileri, BTC'ye kıyasla hem toplam hem de işlem başına daha düşük enerji tüketimi göstermektedir. En yüksek tahmini enerji tüketimi 13 Ağustos 2022 tarihinde, 16 ile 93 TWh arasındadır. Digiconomist'in kurucusu De Vries (2019), kripto para madenciliği için gereken enerjinin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanamayacağını ileri sürmektedir. Bevand (2017) ise Digiconomist'in tahminlerinin aşırı yüksek olduğu eleştirisini getirmektedir.

Kripto para madenciliğinin, özellikle de BTC'nin, küresel ısınmayı potansiyel olarak 2°C arttırabileceği, çoğu madencilik operasyonunun fosil yakıtlardan elde edilen enerjiyi kullandığı, böylece hava kirliliğini artırdığı ve insan sağlığını olumsuz etkilediği belirtilmektedir (Goutte vd., 2019). Ayrıca Goutte vd., (2019), kripto para sisteminin enerji maliyetlerinin mevcut finansal sistemin güvenlik maliyetleriyle karşılaştırıldığında daha az olduğunu belirtirken, Barski ve Wilmer (2014) enerji maliyetleri ve çevresel etkiler hesaplanırken finansal sistemin güvenlik maliyetlerinin de dikkate alınması

gerektiğini vurgulamaktadır. Tapscott ve Tapscott (2016), merkezi olmayan bir sistemin maliyetini enerji maliyeti olarak tanımlamaktadır. En belirgin çözüm, madenciliği, bol, ucuz ve yeşil enerjinin olduğu bölgelere taşımaktır. Nitekim, madenciliğin enerji maliyeti sistemin önemli bir bileşeni olsa da yenilenebilir enerji kaynaklarının araştırılması, kripto para madenciliğinin çevresel etkileri göz önünde bulundurularak sürdürülebilir bir şekilde yürütülmesini sağlamak için çok önemlidir.

1.3.4. Konsensüs Mekanizmaları (Mutabakat)

Kripto para birimleri ve blokzincirin kritik bir yönü olan konsensüs mekanizmaları, blok oluşturmada belirli bir süreci takip etmektedir. Bu süreç, tüm düğümlerin çoğunluk değeri üzerinde anlaşmaya varmasına dayanır. Bu bağlamda çoğunluk, mevcut oyların yarısından en az bir fazlasını gerektiren, her düğüm tarafından kullanılan oyları kabul eder (Chowdhury, 2018). Bir işlem belirli sayıda düğüm tarafından onaylanırsa (örneğin, $2n$ düğümden oluşan bir ağ için $n+1$), işlem ağ tarafından geçerli kabul edilir ve konsensüs sağlanmış sayılır.

Daha önce de belirtildiği gibi blokzincir, merkezi bir otorite tarafından yönetilmeyen dağıtılmış bir defter sistemidir. Bizans Generalleri Sorunu (BFT)¹⁷ adı verilen durumda, bazı düğümler haksız ekonomik faydalar elde etmek için hatalara neden olabilir. BFT'nin yokluğunda, bir düğüm yanlış işlemler gönderebilir ve blokzincirin güvenilirliğini zayıflatabilir. Bu nedenle, bu soruna çözüm bulmak blokzincir için hayati önem taşımaktadır (Bashir, 2017).

En yaygın konsensüs mekanizmaları PoW ve PoS'tur. Bunların dışında Yanma Kanıtı (Proof of Burn), Otorite Kanıtı (Proof of Authority), Devredilen Bahis Kanıtı (Delegated Proof of Stake), Geçen Zamanın Kanıtı (Proof of Elapsed Time), Önem Kanıtı (Proof of Importance) gibi çok sayıda başka konsensüs mekanizması da bulunmaktadır. Aşağıda yoğunlukla tercih edilen iki temel mekanizmanın ayrıntılı bir açıklamasını ve diğerlerine kısa bir genel bakış sunmaktadır.

¹⁷ Bizans Generalleri Sorunu (BFT), dağıtık sistemlerde güvenilirlik ve iş birliği konusundaki zorlukları temsil eden bir kavramdır. Bu sorun, farklı komutanlardan oluşan Bizans generallerinin bir şehri ele geçirme stratejisini koordine etmeleri gerekirken, bazı komutanların hatalı veya yanıltıcı bilgileri diğerlerine iletebileceği durumları açıklamak için kullanılmaktadır.

1.3.4.1. Emek Kanıtı (Proof of Work - PoW)

Blokzincirde en yaygın ve kabul gören konsensüs mekanizmalarından biri olan Emek Kanıtı (Proof of Work - PoW), ağ koordinasyonunu ve veri güvenliğini sağlamaktadır. Bu mekanizma, katılımcı düğümlerin veya madencilerin belirli bir hash değeri bulmak için hesaplama gücü harcamasını gerektirir. PoW, bir sonraki bloğu oluşturmak için belirlenmiş bir liderin yokluğunda, madencilerin enerji ve zaman pahasına tek seferlik liderler olarak seçilmelerini sağlar (Chowdhury, 2018). Bu sistem, çözülmesi zor ancak doğrulanması kolay bir matematiksel problemin çözülmesine ve bir sonraki bloğu kimin oluşturacağını belirlenmesine olanak tanıyan bir “ağda konsensüs mekanizması” olarak işlev görür. Böylece, katılımcılar problemi ilk çözenin bir sonraki bloğu oluşturacağı konusunda hemfikirdir (Tapscott ve Tapscott, 2016). Böyle bir konsensüs mekanizmasının kurulması, ağın önerilen değeri kabul etmeden önce yeterli hesaplama kaynaklarının harcanmışına dair kanıtlara sahip olmasına dayanır (Bashir, 2017). BTC’de Nakamoto (2008), diğer birçok kripto para biriminin temelini oluşturan PoW sistemini benimsemiştir.

Bir blokzincir konsensüs mekanizmalarından PoW, hedef ve zorluk gibi iki önemli öge içermektedir. Hedef, blok başlığının hash değerini kabul etmek için belirlenmiş bir sayıdır. Zorluk ise, belirli bir hedefin altında hash değeri bulmanın zorluğunu ölçen parametredir. Zorluğu ayarlayarak, protokol blok oluşturma hızını kontrol eder. Hash değerini bulan ve ağda yayınlayan ilk madenci bir ödül alır (Caetano, 2015; Chowdhury, 2018).

Bu sistem, enerji ve zaman açısından yüksek maliyetleri nedeniyle saldırganların ağda spam saldırıları düzenlemesini zorlaştırmaktadır. Blokzincirin değiştirilmesini önleyen kriptografik prensipler de aynı kısıtlamayla çalışır. Saldırganlar bilgileri değiştirmeye çalıştığında (yüksek hesaplama gücü gereksinimi nedeniyle), eski blokların değiştirilmesi neredeyse imkânsız hale gelir (Chowdhury, 2018). Zincire daha fazla blok eklendikçe, her işlem için onay sayısı artar. Bir işlem ne kadar çok onay alırsa, blokzincirin değiştirilmesi de o kadar zor olur (Caetano, 2015). Bu konsensüs mekanizmasını kullanan kripto para birimleri arasında Bitcoin (BTC), Litecoin (LTC), Monero (XMR) vb. yer almaktadır.

1.3.4.2. Sahiplik Kanıtı (Proof of State - PoS)

PoW mekanizmasının en büyük dezavantajı, önemli miktarda enerji tüketmesidir (Chowdhury, 2018). BTC, düşük enerji verimliliği nedeniyle sıklıkla eleştirilen PoW tabanlı konsensüs mekanizması nedeniyle sürdürülemez olarak kabul edilmektedir (O'Dwyer ve Malone, 2014). PoW potansiyel saldırganları etkili bir şekilde tespit etse de enerji endişelerine yanıt olarak alternatif yöntemler araştırılmaktadır (Vranken, 2017). Sahiplik kanıtı (Proof of State - PoS) bu sorunları ele almak için geliştirilmiştir ve muhtemelen PoW'a en yaygın alternatiftir (Chowdhury, 2018). PoS aynı zamanda daha çevre dostudur (Furieux, 2018).

PoS mekanizması, bir sonraki bloğu hangi madencinin oluşturacağını belirlemek için çeşitli rassal yöntemler kullanır (Chowdhury, 2018). PoS, karmaşık hesaplamalara olan ihtiyacı ortadan kaldırır ve yalnızca kripto para biriminde sahiplik kanıtı gerektirir (Furieux, 2018). Örneğin, bir kripto para biriminde %5 sahipliği olan bir kullanıcının ortalama bir işlem hacmi oluşturma olasılığı %5'tir (Lee, 2015). Bu şekilde, kullanıcılar kripto para biriminde minimum bir hisseye sahip olsalar bile madencilik yoluyla ödüller kazanabilirler (Furieux, 2018). Sonuç olarak, gerçek dünya enerjisi ya da kaynağı boşa harcanmaz. PoS, Peercoin gibi kripto para birimlerinde PoW'a bir alternatif olarak kullanılmaktadır (Reed, 2014; Lee, 2015).

1.3.4.3. Diğer Konsensüs Mekanizmaları

BTC madenciliğinin yüksek enerji tüketimi ve büyük madencilik havuzlarının gelecekteki potansiyel merkezileşme ve kontrolü gibi dezavantajları, Devredilen Bahis Kanıtı (Delegated Proof of Stake - DPoS) konsensüs mekanizmasının geliştirilmesine yol açmıştır (Konstantopoulos, 2018). DPoS, her bir paydaş düğümün doğrulama yetkisini oylama yoluyla diğer düğümlere devredebildiği bir yöntemdir (Bashir, 2017). İtibar sistemleri ve gerçek zamanlı oylama kullanan DPoS, sınırlı güvenilir taraflardan oluşan bir panel kullanmaktadır. Seçim süreci, güvenilmeyen tarafların her yinelemede değişen rastgele atanmış bir sırayla yalnızca güvenilir taraflar paneli tarafından oluşturulan bloklara katılmasını önler. Normal şartlar altında DPoS blokzincirinde çatallanma yaşanmaz çünkü delegeler blok oluşturmak için rekabet etmek yerine iş birliği yapar

(Chowdhury, 2018). EOS, DPoS konsensüs mekanizmasını kullanan en önemli blokzincirlerden biridir.

Bir başka konsensüs mekanizması olan Yanma Kanıtı (Proof of Burn - PoB), madencilerin mevcut kripto paraları önceden belirlenmiş, geçersiz bir yakma adresine göndermelerini gerektirir. Gönderilen kripto paralar yakılarak kripto para arzı belirli bir miktarda azaltılır. Bu durum, sistemin mevcut değerinin daha küçük bir miktara (yakılan kripto para birimine eşit) bölünmesine ve diğer tüm kripto para birimi sahiplerine göreceli bir servet transferine neden olur. Yakma adresine en yüksek miktarda kripto para gönderen katılımcı, bloğu oluşturma ve işlem ücretlerini toplama hakkını kazanır. PoB, madencilik ekipmanları yerine yakılmış kripto para birimleri şeklinde kaynaklara ihtiyaç duyar (Goutte vd., 2019).

Başka bir konsensüs mekanizması olan Önem Kanıtı (Proof of Importance – PoI), yalnızca bir kullanıcının sistemdeki sahipliğine değil, aynı zamanda kullanıcının kripto para birimlerinin kullanımını ve hareketini izleyerek güven ve önem seviyelerini de belirler. Örneğin PoI, NEM’de kullanılan konsensüs mekanizmasıdır (Bashir, 2017). Chowdhury (2018) farklı konsensüs mekanizmalarını sürdürülebilirlik, kullanılabilirlik ve güvenlik açısından karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırmmanın bir kısmı, Tablo 7’de sunulmaktadır.

Tablo 7. Konsensüs mekanizması karşılaştırması

Konsensüs mekanizması	Sürdürülebilirlik	Kullanılabilirlik	Güvenlik
PoW	Sürdürülebilir değil	Yüksek	Yüksek
PoS	Sürdürülebilir	Düşük	Orta
PoB	Kısmen Sürdürülebilir	Yüksek	Yüksek

Kaynak: Chowdhury (2018: 20)

Tablo 7’ye göre PoW sürdürülebilir değildir, PoB ise enerji maliyetleri nedeniyle eleştirilen PoW tabanlı kripto para birimlerinin yerini alabileceği için kısmen sürdürülebilirdir. PoS ise daha düşük enerji tüketimi nedeniyle sürdürülebilir kabul edilmektedir. Kullanılabilirlik açısından, PoW ve PoB daha kullanıcı dostu iken, PoS düşük kullanılabilirliğe sahiptir. Güvenlik açısından PoW ve PoB en güvenli yöntemler olarak kabul edilirken, PoS daha az güvenli kabul edilmektedir (Chowdhury, 2018).

1.3.5. Kripto Para Cüzdanı

Madencilik ve diğer yöntemlerle elde edilen kripto paraların nerede saklanacağı, işlevselliği açısından bir zorluk teşkil etmektedir. Kripto paralarla ilgili yaygın bir yanlışlık, cüzdanların kripto paraları içerdiği yönündedir. Ancak gerçekte, cüzdanlar sadece anahtarları saklamakta ve anahtarlık görevi görmektedir (Antonopoulos, 2017). Kripto para cüzdanlarında, genel ve özel anahtar olmak üzere iki anahtar bulunmaktadır. Bu anahtarlar, kripto para gönderme ve almada çok önemli bir rol oynamaktadır. Bir kripto para cüzdanı, özel bir anahtar kullanarak bir işlemin kilidini açabilir veya işlemin tekrar kilitleneceği adresi referans alarak bir işlem oluşturabilir. Böylece, bir kripto para cüzdanı blokzincirdeki bir işlemin kilidini açabilir ve kilitleyebilir. Ayrıca, cüzdan zaten kilitlenmiş olan blokzincirde mevcut işlemleri inceleyebilir ve bir bakiye oluşturabilir (Furieux, 2018). Kripto para cüzdan programları, ağ üzerinde işlem oluşturma, yeni adresler üretme, blokzinciri tarama ve işlem geçerliliğini doğrulama gibi işlemleri gerçekleştirmek için bir kişiye, üçüncü tarafa veya merkezi bir kuruma güvenilmesini gerektirmez (Barski ve Wilmer, 2014).

1.3.5.1. Genel Anahtar ve Özel Anahtar

İnternete birden fazla cihaz veya erişim noktasına ve farklı takma adlar altında çeşitli e-posta adreslerine sahip olmaya benzer şekilde, herkes birden fazla genel-özel anahtar setine sahip olabilir (Tapscott ve Tapscott, 2016). Özel anahtar¹⁸, temelde kullanıcılar tarafından gizli tutulan rastgele üretilmiş bir sayıdır, genel anahtar ise herkese açıktır ve özel anahtar sahibi tarafından paylaşılır (Bashir, 2017). Bu anahtarlar genellikle cüzdan dosyasında saklanır ve cüzdan yazılımı tarafından yönetilir. Genel anahtar şifrelenmiş mesajları almak için kullanılır ve alıcı özel anahtarı kullanarak mesajın şifresini çözebilir. Antonopolus (2017), genel anahtarı bir banka hesap numarasına, özel anahtarı ise bir PİN koduna benzetmektedir.

Genel anahtar ve özel anahtar arasında matematiksel bir ilişki bulunmaktadır. Özel anahtar sahibi genel anahtarı kolayca oluşturabilir. Aktarılan kripto paranın sahipliği, genel anahtar ve imzanın sunulmasıyla doğrulanır ve dijital imzalar aracılığıyla

¹⁸ Bitcoin özel anahtarı genellikle 51 karakter içermektedir ve örnekte olduğu gibi 5 ile başlamaktadır.
Örnek: 5Jd54v5mVLvyRsJDGTFbTZFGvwLosYKayRosbLYMxZFBLEpCS7

kripto para birimleri için güvenli bir temel sağlar (Antonopoulos, 2017). Günümüzde mevcut olan tüm hesaplama gücüyle, kaba kuvvet yöntemlerini kullanarak bir BTC adresinin özel anahtarını bulmak mümkün değildir. Ancak bu anahtarlar bilgisayarlarda ve ağlarda saklandığından hacklenmeye, donanım arızalarına ve kaybolmaya karşı savunmasızdır (Caetano, 2015).

1.3.5.2. Cüzdan Türleri

Bilgisayarlarda, cep telefonlarında ve tabletlerde çeşitli kripto para cüzdanları¹⁹ kullanılabilir (Lee, 2015; Furneaux, 2018). Farklı kaynaklarda farklı isimlerle tanımlansa da kripto para cüzdanları temel olarak sıcak cüzdan (hot wallet) ve soğuk cüzdan (cold wallet) olarak sınıflandırılabilir (Chowdhury, 2018). Sıcak cüzdanlar internete bağlı olan web cüzdanları ya da yazılım cüzdanlarıdır. Önleyici tedbirlere rağmen, bu cüzdanlar dış saldırılardan kaynaklanan potansiyel tehditlerle karşı karşıya kalabilir. Bu riski azaltmak için internete bağlı olmayan soğuk cüzdanlar geliştirilmiştir. Soğuk cüzdanlar, harici depolama ortamlarını kullanarak özel anahtarları bilgisayar korsanlarının erişemeyeceği bir yerde güvenli bir şekilde saklar.

1.3.5.2.1. Sıcak Cüzdan (Hot Wallet)

Sıcak ve soğuk cüzdan türleri, kendi içlerinde farklı şekillerde kategorize edilebilir. Antonopoulos (2017), cüzdanları masaüstü, mobil, web, donanım ve kâğıt cüzdanları olarak sınıflandırırken, Bashir (2017) kâğıt, donanım, çevrimiçi ve mobil cüzdanlar olarak gruplandırmaktadır. Bunun yanı sıra, bazı cüzdan türleri kullanılabilirlikten ziyade güvenliğe öncelik verir; örneğin, fonların ele geçirilmesini engellemek için hem çevrimiçi hem de çevrimdışı kullanım için tasarlanan ve genellikle kripto para alım satım platformları, şirketler ve büyük miktarlarda kripto para depolayan kuruluşlar tarafından kullanılan çoklu imzalı cüzdanlar gibi. Bir diğer özel cüzdan türü ise, sadece alma amaçlı olan ve özel anahtarlara sahip olmayan cüzdanlardır. Bu cüzdanlar, adres oluşturmak için yalnızca ortak anahtarları içerirler (Chowdhury, 2018). En yaygın sıcak cüzdan türlerinin temel özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

¹⁹ <https://bitcoin.org/en/choose-your-wallet> adresinde birçok cüzdan seçeneği mevcuttur.

Web Cüzdanı (Çevrimiçi Cüzdan): Web cüzdanları, çevrimiçi bankalara benzer şekilde çalışır ve kullanıcıların hesaplarına erişmek için bir veya daha fazla kimlik doğrulama yöntemi oluşturmasını gerektirir. Kullanıcıların cüzdanlarını yönetmeleri ve ödeme yapma ve alma gibi çeşitli işlemleri gerçekleştirmeleri için bir web arayüzü sunarlar (Bashir, 2017). Birçok web cüzdanı, hesap girişi sırasında SMS yoluyla gönderilen bir kod talep ederek kullanıcıların kimliklerini doğrular. Diğer iki faktörlü kimlik doğrulama yöntemleri arasında e-posta onayı ve mobil uygulama onayı bulunmaktadır.

Yazılım Cüzdanı (Mobil Cüzdan): Yazılım cüzdanı, genel ve özel anahtarları bir bilgisayarda veya mobil cihazda saklayan bir uygulamadır. Bu cüzdanlar, web sitesinin kapanması, şirketin iflas etmesi veya siber suçlara maruz kalma gibi çok sayıda güvenlik riski taşır (Caetano, 2015). Tipik olarak internete bağlı olan yazılım cüzdanları harici saldırılara karşı savunmasızdır. Saldırganlar anahtarları elde edemeseler bile yazılım veritabanını tehlikeye atabilir ya da sabit sürücüye zarar vererek kullanıcıların hesaplarına erişememesine neden olabilirler. Furneaux (2018), yazılım cüzdanlarını tam düğüm cüzdanları (tüm blokzincirin indirildiği), ince düğüm cüzdanları (işlemlerin başka bir tam düğüme bağlanarak gerçekleştirildiği) ve çevrimiçi cüzdanlar (işlem verilerinin tipik olarak senkronize edilmediği ve yalnızca çevrimiçi cüzdan sitesinden erişilebildiği) olarak sınıflandırmaktadır.

1.3.5.2.2. Soğuk Cüzdan (Cold Wallet)

Kripto para bağlamında soğuk cüzdan, kripto paraların çevrimdışı olarak saklandığı ve özellikle büyük miktarlar için gerekli bir güvenlik önlemi sağlayan bir sistemi ifade eder. Örneğin, bir kripto para alım satım platformu tipik olarak anında para çekme imkânı sunar ve yüzlerce kripto para birimini temsil edebilir. Kripto para alım satım platformu, bütün kripto paraların ele geçirilme olasılığını en aza indirmek için kripto paraların çoğunu soğuk bir cüzdanda tutarak bu riski ortadan kaldırmaya çalışır. Yalnızca beklenen para çekme işlemlerini karşılamak için gereken miktar sunucuda tutulurken, kalan miktarlar çevrimdışı olarak saklanır. Soğuk cüzdanlar genellikle çok imzalı bir cüzdan içerir ve bu da bilgisayar korsanlarının fonlara müdahale etmesini son derece zorlaştırır. Yaygın soğuk cüzdan türleri aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Kâğıt Cüzdan:²⁰ Kâğıt cüzdan, fiziksel hırsızlığı önlemek için güvenli bir şekilde saklanması gereken özel anahtarların basılı bir deposudur. En güvenli yöntemlerden biri olan kâğıt cüzdanlar yalnızca çevrimiçi saldırı riskini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda anahtarların dijital varlığını da ortadan kaldırır. Yazılım, bir QR kodu oluşturarak numaranın cüzdandan okunmasını sağlamaktadır. Kripto para saklamak için uzun vadeli ve düşük teknoloji bir araç olarak görülse de, oldukça güvenli bir araç sunmaktadır (Antonopoulos, 2017).

Donanım Cüzdanı:²¹ Donanım cüzdanı, özel anahtarların cihazdan asla ayrılmadığı ve blokzincir yazılımıyla iletişim kurmak için özel olarak tasarlandığı bir cüzdan türüdür. Bu cüzdanlar, kripto para birimlerini harcamak için dijital imza oluşturur ve web veya yazılım cüzdanlarına kıyasla daha güvenlidir. Ayrıca, bilgisayarların USB bağlantı noktalarını kullanarak ağa bağlanırlar.

Beyin Cüzdanı: Özel anahtarlar genellikle 256 bit uzunluğunda olduğundan, sıradan bir bireyin ezberlemesi zordur. Beyin cüzdanı, özel anahtarların bellekte bulunduğu bir cüzdan türüdür. Ancak, kaba kuvvet saldırılarına karşı savunmasız olabileceğinden parolanın yeterince güçlü olması çok önemlidir. Kullanıcılara yüksek entropi derecesine sahip bir şifre seçmeleri tavsiye edilir (Goodin, 2012).

1.4. Blokzincir Teknolojisinin Farklı Uygulama Alanları

Blokzincir teknolojisi sadece kripto para piyasasında değil, aynı zamanda çeşitli ekonomik ve sosyal alanda da kullanılmaktadır. Swan (2015), blokzincir uygulamalarını “Blokzincir 1.0: Kripto Para Birimi”, “Blokzincir 2.0: Akıllı Sözleşmeler” ve “Blokzincir 3.0: Para birimi, ekonomi ve pazarların dışındaki uygulamalar” olarak üç kategoriye ayırmıştır. Bu konuyla ilgili temel bilgiler aşağıda verilmektedir.

²⁰ Kâğıt cüzdanlar, çeşitli servis sağlayıcılar aracılığıyla çevrimiçi olarak, örneğin <https://bitcoinpaperwallet.com/> veya <https://www.bitaddress.org/> gibi adreslerden oluşturulabilir.

²¹ Trezor ve Ledger, piyasada en yaygın olarak kullanılan iki donanım cüzdanıdır.

1.4.1. Akıllı Sözleşmeler (Smart Contract)

Blokzincir teknolojisi BTC'nin ortaya çıkmasıyla birlikte büyük ilgi görmüştür. Daha sonra, temel teknoloji olan blokzincirin akıllı sözleşmeler için oldukça uygun olduğu tespit edilmiştir.

Akıllı sözleşmeler, kişiler ve kuruluşlar arasındaki yazılı sözleşmelerin karşılıklı anlaşma ile uygulanmasını ve yürütülmesini sağlayan bilgisayar programlarıdır. Kendi kendine yürüyen bu sözleşmeler blokzincirde saklanır ve birincil amaç, kötü niyetli veya kaza sonucu oluşan istisnaları en aza indirmek ve güvenilir araçlara olan ihtiyacı azaltırken ortak sözleşme koşullarını (ödeme koşulları, hacizler, gizlilik ve hatta yaptırımlar gibi) yerine getirmektir. Sosyal sözleşmeler de dahil olmak üzere akıllı sözleşmeler, sözleşmeye uygunluğu sağlamak için eşsiz yöntemler sunmaktadır (Tapscott ve Tapscott, 2016; Bashir, 2017). Bu programlar blokzincirde saklanır ve herkes tarafından güvenli bir şekilde kullanılabilir.

Akıllı sözleşmelerin finansal hizmetler sektörüne getirebileceği maliyet tasarrufu avantajları nedeniyle, işlem maliyetini azaltarak ve karmaşık sözleşmeleri basitleştirerek bunları resmileştirmek ve uygulamak için çeşitli araştırma çalışmaları yapılmaktadır (Bashir, 2017). Ayrıca, mülkiyet devrinin halka açık olması nedeniyle, akıllı sözleşmeler hükümetin ve şirketlerin rolünü yeniden şekillendirme potansiyeline sahiptir (Caetano, 2015). En basit akıllı sözleşme, iki taraf arasında yarınki sıcaklığına ilişkin bir bahis olabilir (Swan, 2015). Bu sözleşme, önceden belirlenmiş bir kaynaktan yarının sıcaklık verilerini kontrol eden ve emanet olarak tutulan kripto para miktarını kaybeden taraftan kazananın hesabına aktaran bir yazılım programı tarafından otomatik olarak yürütülebilir.

Bitcoin blokzincirinden daha esnek bir platforma ihtiyaç duyulduğunu fark eden Buterin (2013), açık kaynaklı bir proje olarak Ethereum'u tanıttı. Ethereum'un tanıtılmasıyla birlikte akıllı sözleşmeler de hayatımıza girdi. Ethereum'un geliştirilmesi, Bitcoin benzeri protokoller için alternatif bir seçenek oluşturmayı amaçlamaktadır. Ethereum, blokzincir kavramını genişleterek, kullanıcıların yalnızca işlem verilerini doğrulamak, depolamak ve çoğaltmak yerine bilgisayar programları yazmasına ve çalıştırmasına olanak tanır. Yalnızca kripto para birimlerinin değil aynı zamanda gayrimenkul, emtia, müzik hakları ve diğer sayısallaştırılabilir değerlerin işlenmesi için

yeni bir yaklaşım sunması amaçlanmaktadır (Goutte vd., 2019). En bilinen akıllı sözleşme platformu Ethereum'dur. Bitcoin dağıtık veri depolama olarak kabul edilirse, Ethereum²² dağıtık bir bilgisayar olarak kabul edilir. Bitcoin, bireylerin finansal kurumlar veya bankalar gibi araçlar olmadan para alışverişi yapabilmesini sağlarken, Ethereum'un tasarımı varlık kayıtları, oylama, yönetim, Nesnelerin İnterneti (IoT) ve daha fazlası gibi çok çeşitli kullanım durumlarını etkileyebilir.

1.4.2. Diğer Uygulama Alanları

Günümüzde blokzincir uygulamaları Bitcoin'den oldukça farklılık göstermektedir. Nakamoto (2008) tarafından önerilen ilk uygulama herkese açık, düzenleme gerektirmeyen ve takma isimle kullanılabilen bir sistem içermekteydi. Ancak, mevcut uygulamalar belirli görevleri yerine getirmek için özel olarak tasarlanmıştır. Örneğin, Bitcoin ve Ethereum gibi uygulamaların yeterince hızlı olmaması, üst düzey protokoller oluşturmak için Lightning Network²³ gibi çözümlerin önerilmesine yol açmıştır (Poon ve Dryja, 2016). Blokzincir uygulamalarının ilk örnekleri kripto para birimleridir ve Bitcoin bu teknolojinin kullanılmasında öncü olmuştur. Bununla birlikte, Bitcoin'in başarısından sonra oluşturulan birçok kripto para biriminin başarısız olduğu da göz önünde bulundurulması gereken bir gerçektir.

Blokzincir uygulamaları farklı kategorilerde kullanılabilir. Finansal hizmetler, akıllı mülkiyet, ticaret ve değişim, blokzincir teknolojisinden yararlanabilecek alanlardan bazılarıdır. Bu teknoloji araçları ortadan kaldırarak varlıkların daha iyi oranlarda ve daha düşük ücretlerle takas edilmesini sağlar. Ayrıca IoT ve AI gibi teknolojileri kullanarak akıllı şehir uygulamalarına da katkıda bulunabilir. Gıda güvenliği, ilaç güvenliği, soğuk zincir izleme ve menşe takibi blokzincirin diğer önemli kullanım alanlarıdır. Blokzincir teknolojisi ayrıca sağlık hizmetleri, finansal işlemler, evlilik kaydı, doğum belgesi kaydı, noter ve devlet belge kayıtları ile ilgili çeşitli hizmetlerin sunulmasını sağlar. Tıbbi verilerin veya bakım sistemlerinin paylaşılmasına yönelik platformlar da oluşturulabilir. Eğitim sektöründe, blokzincir teknolojisi artan eğitim kurumu sayısının yarattığı

²² Akıllı sözleşmeler, Ethereum Sanal Makinesi (EVM) aracılığıyla katılımcı düğümlerin bilgisayarlarında çalışır.

²³ Lightning Network, zincir dışı mikro ödemelerin kolaylaştırılması ve ana blokzincir üzerindeki yükün hafifletilmesiyle Bitcoin işlemlerinin ölçeklenebilirliği, hızı, maliyeti ve gizliliği ile ilgili zorlukları azaltmayı amaçlamaktadır.

zorluklara çözüm sunma kapasitesine sahiptir. Ayrıca, ücretler ve finansman blokzincir teknolojisi kullanılarak ayarlanabilir. Siber güvenlik açısından, bir blokzincire yazılan bilgiler kalıcı olarak orada kalır ve bu da onu güvenlik uygulamalarının geliştirilmesine katkıda bulunan güçlü bir özellik haline getirir (Swan, 2015).

1.5. Blokzincir Teknolojisinde Güvenlik Sorunu ve Geliştirilen Önlemler

Blokzincir teknolojisi merkezi olmayan özelliği nedeniyle, ağdaki madenci sayısı arttıkça hile yapmanın yararının da azaldığı bir sistemdir. Güvenlik önlemleri, ağda tek bir hata noktası olmadan yerleştirilmiş ve sadece gizliliği sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda tüm faaliyetler için doğruluk ve inkâr edilemezliği de sağlamaktadır. Doğal olarak, temel teknolojinin sağlam ve karmaşık olması, blokzinciri çalıştırmak için yazılan program kodlarının güvenlik seviyesinin de yüksek olacağı anlamına gelir. Buna karşılık, bilgisayar korsanlığı, kimlik hırsızlığı, dolandırıcılık, siber zorbalık, kimlik avı, spam, kötü amaçlı yazılım, fidye yazılımı gibi çeşitli güvenlik tehditleri toplumdaki bireylerin güvenliğini zayıflatmaktadır. Ancak Bitcoin, sonsuza kadar süren güvenli bir işlem sağlayarak işlemin bütünlüğünü garanti altına alır (Tapscott ve Tapscott, 2016; Furneaux, 2018; Corbet vd., 2020).

Teorik olarak saldırılara açık olmasına rağmen, blokzincir teknolojisi bunları önlemek için çeşitli mekanizmalara sahiptir. En yaygın saldırı türü, ağı büyük miktarda işlem gücüyle ele geçirmeyi ve çift harcamaı kabul etmeyi veya onayları engellemeyi içeren %51 saldırısıdır²⁴ (Lee, 2015). Bitcoin'in ilk tasarımında madencilik havuzları düşünülmemiştir, bu da ağ hash gücünün yarısından fazlasının kontrol edilmesi durumunda çift harcama ve işlemlerin sansürlenmesi olasılığını artırmaktadır (Kroll vd., 2013). Ancak, ağ kötü amaçlı blokları hızlı bir şekilde reddedebileceğinden bu saldırının gerçekleştirilmesinin mümkün olmadığı savunulmaktadır. Diğer bir saldırı türü olarak, bir kullanıcının aynı anda iki işlemi yayınlaması ve iki kat harcama yapmayı denemesi olarak adlandırılan yarış saldırılarıdır. Bu durumda, herhangi bir onay almadan bir işlemin kabul edilmesi halinde, bu şekilde iki kat harcama yapmak mümkündür. Başka bir saldırı ise, bir madencinin bir işlemi yeni bir blokta önceden oluşturduğu ve bloğu

²⁴ Çoğunluk saldırısı olarak da bilinen %51 saldırısı, merkezi olmayan blokzincir sistemlerinde, özellikle de PoW konsensüs mekanizmalarını kullanan kripto para birimlerinde görülen bir güvenlik açığıdır. Bu tür bir saldırı, bir kişi ya da grup ağıın %50'sinden fazlasının kontrolünü ele geçirdiğinde ortaya çıkar ve böylece blokzinciri çeşitli şekillerde manipüle etme olasılığı ortaya çıkar.

yayınlanmadan önce paraları harcama durumudur; bu tehlike, Finney saldırıları olarak adlandırılır (Caetano, 2015).

Nakamoto (2008) bu saldırılara karşı koymak için blokzincir güvenliğinin kullanıcılar ve madenciler tarafından büyük ölçüde kullanılmasından kaynaklandığını öne sürmüştür. Önceden de bahsedildiği gibi çift harcama sorunu, düğümler aracılığıyla çözülür ve en uzun zincir genellikle en güvenli zincir olarak kabul edilir. Uzun zincire saldırmak, kısa zincire saldırmaktan daha fazla hesaplama gücü gerektirdiğinden, zincir ne kadar uzun olursa, güvenlik de o kadar yüksek olacaktır.



İKİNCİ BÖLÜM

KRİPTO PARA PİYASALARI: ARAÇLAR, PİYASA KARAKTERLERİ VE DAVRANIŞSAL FİNANS DİNAMİKLERİNE İLİŞKİN LİTERATÜR

Tarihin en şiddetli krizlerinden biri olarak kabul edilen 2008 global krizi, reel ekonomi ve finansal piyasalardaki birtakım gelişmelere bir tepki olarak, teknoloji ile finans arasında yeni bir köprü kurulmasına fırsat veren birçok projenin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır (Goutte vd., 2019). Bu projelerden en dikkat çekenini ise kripto paraların ortaya çıkmasıdır. Kripto para birimleri daha çekici hale geldikçe, ademi merkezîyetçilik, özerklik, değişmezlik ve güvensizlik gibi özellikleri, kripto para piyasasının geleneksel finansın parasal sistemleriyle olan farklılıklarını vurgulamak için kullanılmıştır (Chohan, 2017). 2008 mali krizi, blokzincir teknolojisi ve bu teknolojinin ilk ürünü olan BTC ve diğer kripto para birimlerinin oluşturulması için bir motivasyon kaynağı haline gelmiştir. Kriz, ABD doları veya İngiliz sterlini gibi itibari para birimlerine veya sadece hükümete olan inançla oluşturulan ve desteklenen para birimlerine karşı güvensizliği artırmıştır. Blokzincir teknolojisi için bir kırılma noktası olan bu kriz, blokzincir teknolojisi yatırımlarında keskin bir artışa yol açmıştır (Hacıoglu, 2019).

2.1. Kripto Paralar

Kripto paralar, geleneksel finansal sisteme meydan okuyan yeni bir dijital para biçimidir (Corbet vd., 2020). Kripto paralar, paranın evriminde takas sistemleri arasında belki de en gelişmiş aşamayı temsil etmektedir (Chohan, 2017). Teknoloji ve finansın kesiştiği bir noktada ortaya çıkan kripto paralar (Goutte vd., 2019), ilk olarak Nakamoto (2008) tarafından tanıtılan Bitcoin (BTC) ile küresel bir fenomen haline gelmiştir ve BTC hala en popüler kripto para birimi olarak kabul edilmektedir. Merkezi olmayan ve kriptografi kullanarak bir taraftan diğerine para transferi yapabilen dijital varlıklar olan kripto para birimleri, geleneksel para birimlerine kolayca dönüştürülebilme yetenekleri sayesinde yatırımcılar için de son derece çekicidir (Corbet vd., (2020).

21 Kasım 2022 tarihi itibarıyla, internet üzerinden kullanılabilen kripto para birimi sayısı 21,806'dır (CoinMarketCap, 2022). BTC, piyasa değeri açısından en büyük kripto para birimi olup, ETH ise BTC'den sonra en yüksek piyasa değerine sahip kripto para birimi olarak bilinmektedir. Tablo 8'de, kuruluş tarihleri, kurucuları, hash algoritmaları ve konsensüs mekanizmaları gibi önemli bilgileri içeren bazı önemli kripto para birimleri listelenmiştir.

Tablo 8. Önemli kripto para birimleri

Yıl	İsim	Kurucu	Hash	Konsensüs
2009	Bitcoin	Satoshi Nakamoto	SHA-256	PoW
2011	Namecoin	Vincent Durham	SHA-256	PoW
2011	Litecoin	Charlie Lee	Scrypt	PoW
2012	Peercoin	Sunny King	SHA-256	PoW/PoS
2013	Dogecoin	Palmer & Markus	Scrypt	PoW
2013	Ripple	Larsen & McCaleb	ECDSA	RPCA
2014	Dash	Duffield & Hagan	X11	PoW/Service
2014	NEO	Hongfei & Zhang	SHA-256	dBFT
2014	Monero	Monero Core Takımı	CryptoNight	PoW
2014	Stellar	Ripple Sert Çatallanması	ECDSA	SCP
2015	Ethereum	Vitalik Buterin	Ethash	PoW
2015	EthereumClassic	Ethereum Sert Çatallanması	Ethash	PoW
2015	Tether	van der Velde	Omnicores	PoW
2016	Zcash	Zooko Wilcox	Equihash	PoW
2017	Bitcoin Cash	Bitcoin Sert Çatallanması	SHA-256	PoW
2017	EOS	Dan Larimer	SHA-256	DPoS

Kaynak: Chowhury (2018: 216-217)

Lansky (2018), bir varlığın kripto para olarak sınıflandırılabilmesi için yerine getirmesi gereken altı koşuldan bahsetmektedir. İlk koşul, sistemin merkezi bir otorite gerektirmemesi ve dağıtılmış fikir birliğiyle korunması iken, ikinci koşul, kripto paraların ve sahipliklerinin genel bir bakış sağlaması, üçüncü koşul, yeni kripto para birimlerinin oluşturulup oluşturulamayacağı, dördüncü koşul, kripto para birimlerinin mülkiyetinin kriptografik olarak kanıtlanabilir olması, beşinci koşul, sistemin, şifreleme birimlerinin sahipliğinin değiştirildiği işlemleri gerçekleştirmesine izin vermesi, altıncı ve son koşul ise, aynı kriptografik birimlerin sahipliğinin değiştirilmesi için iki farklı talimatın aynı anda girilmesi durumunda, sistemin sadece en fazla birini gerçekleştirmesidir.

Lee (2015), başarılı bir kripto para birimi için ekosistem, teşvikler ve tanımlama şartlarını ele almıştır. Başarılı bir kripto para birimi, ilk başarısını sürdürebilmeli ve ağ etkisinden yararlanabilmelidir. Kripto parayı kullanan insan sayısı arttıkça, kripto para o

kadar değerli hale gelecektir. Değerli hale geldikçe, madencilik ödülü artacak ve daha fazla madenci ağa katılacaktır.

2.1.1. Dünyanın İlk Kripto Parası: Bitcoin

Bitcoin²⁵, blokzincir teknolojisinin ilk uygulamasıdır ve kriptografik prensipler kullanılarak oluşturulmuştur. Bu sanal para birimi, dağıtılmış ve merkezi olmayan bir ortamda blokzincir ve emek kanıtı mekanizması tarafından tasarlanmıştır (Chowdhury, 2018). Blokzincir, her bir işlemin kayıtlarını tutar ve belirli bir Bitcoin'e sahip olduğunu iddia eden birinin iddiasının doğru olup olmadığını gösterir. Bitcoin, Nakamoto (2008)²⁶ tarafından önerilen ve geliştirilen dünyanın ilk uygulanan kripto para birimi olarak öne çıkmaktadır. Öncesinde, David Chaum'un Ecash, Adam Back'in Hashcash, Nick Szabo'nun Bit Gold ve Wei Dai'nin B-Money önerileri gibi kriptografik prensiplere dayalı para birimi geliştirme çalışmaları da yapılmıştır.

18 Ağustos 2008 tarihinde Nakamoto, bitcoin.org alan adını kaydetti ve daha sonra 31 Ekim'de "Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system" adlı makalesini yayınladı. 3 Ocak 2009'da Nakamoto, 50 Bitcoin ödüllü blokzincirin ilk bloğu olan genesis bloğunu²⁷ oluşturdu. Bu blok, blokzincirini oluşturacak sonraki blokların bağlanması için "Blok 0" olarak da tanımlanır. Bitcoin'in ilk destekçilerinden ve katkıda bulunanlardan biri olan Hal Finney, yayımlandığı gün Bitcoin yazılımını indirdi ve 12 Ocak 2009'da dünyanın ilk Bitcoin işlemi olarak Nakamoto'dan 10 Bitcoin aldı. 22 Mayıs 2010'da Hanyecz, Bitcoin ile dünyadaki ilk alışverişi gerçekleştirdi ve 10,000 Bitcoin karşılığında iki pizza satın alımına yardımcı oldu. Aynı ayın ilerleyen saatlerinde, ilk Bitcoin ATM'si Vancouver'daki kahve dükkanında kullanıma girdi (Lee, 2015).

Bitcoin, Goutte vd. (2019) belirttiği gibi, coğrafi sınırlamalardan, ulusal kimliklerden veya ekonomik durumdan bağımsız olarak dünyanın her yerinden insanlar arasında değer alışverişi yapma imkânı sağlar. Herhangi bir kişiye, herhangi bir miktarda ve neredeyse anında gönderilebildiğinden, Bitcoin doğal olarak uluslararası bir para

²⁵ Bitcoin'in teknik inceleme raporu (white-paper) <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> adresinden indirilebilir.

²⁶ Satoshi Nakamoto'nun e-postaları ve forum yazıları Satoshi Nakamoto Enstitüsü'nün web sitesinde (<http://satoshi.nakamotoinstitute.org>) arşivlenmiştir.

²⁷ Bitcoin genesis blok hash değeri:

00000000019d6689c085ae165831e934ff763ae46a2a6c172b3f1b60a8ce26f

birimidir (Barski ve Wilmer, 2014). Barski ve Wilmer (2014), Bitcoin'in önceki para birimlerinden önemli bir farkının bir şirket (veya şirket ürünü) olmaması olduğuna dikkat çekerler. Bunun yerine, Bitcoin sadece dijital işlemlerin nasıl ele alınması gerektiğini belirleyen bir protokol ağıdır. Bu nedenle, herkes Bitcoin'in kurallarını okuyabilir ve uygulayabilir, ancak hiç kimse sahip olamaz veya değiştiremez.

Bitcoin, geleneksel finansal ağlardan (Paypal, Visa, Western Union gibi) daha ucuz, hızlı ve sansüre dayanıklı bir yapıya sahiptir. Örneğin, kredi kartı işlemlerinde ortalama %3-%4 oranında ücret alınırken (uluslararası para transferlerinin ortalama maliyeti %8.5 iken), bir Bitcoin işlemi %1'den daha az maliyetlidir. Ayrıca, uluslararası para transferleri günler sürebilirken, Bitcoin işlemleri yaklaşık 10 dakika içinde gerçekleşir. Bitcoin ağı aracısızdır, bu nedenle hesapları dondurma, bağışları engelleme gibi kısıtlamalar mümkün değildir (Brito vd., 2014).

Ayrıca, Bitcoin protokolü öngörülebilir ancak azalan oranda aşamalı olarak yeni Bitcoin üretmek için tasarlanmıştır. Bitcoin transferleri ağ üzerinden anında yayınlanırken, uygulamada bir işlemin onaylanması için ortalama olarak 10 dakikalık bir gecikme bulunmaktadır. Bu nedenle, kullanıcılar genellikle bir işlemin onaylandığını düşünmeden önce altı onay beklerler, ancak her kullanıcının işleminin onaylandığına karar vermek için beklemek istediği süreyi kendisi belirleyebilir (Lee, 2015).

Tablo 9. Bitcoin birimleri

İsim	Kısaltma	Ondalık (BTC)
Megabitcoin	MBTC	1,000,000
Kilobitcoin	kBTC	1,000
Hectobitcoin	hBTC	100
Decabitcoin	daBTC	10
Bitcoin	BTC	1
Decibitcoin	dBTC	0.1
Centibitcoin	cBTC	0.01
Millibitcoin	mBTC	0.001
Microbitcoin	µBTC	0.000001
Finney	-	0.0000001
Satoshi	Sat	0.00000001
Millisatoshi	Msat	0.0000000001

Kaynak: Bashir (2017: 198)

Tablo 9 BTC birimlerinin nasıl daha küçük birimlere bölündüğünü göstermektedir. Lee (2015), Bitcoin'in yaygın bir hesap birimi haline gelmesinin önündeki en büyük engelin, çoğu mal için BTC fiyatlarının dört veya daha fazla ondalık basamakta verilmesini gerektirmesini gördüğünü belirtmektedir. Tüketiciler için ondalık sayıların anlaşılması zor olabilir. Örneğin, bir kavanoz salça 0.01694 BTC, bir çikolata 0.00529 BTC ve bir paket çay 0.05255 BTC fiyatlarının tüketicilerin alışık olmadığı bir fiyatlandırma biçimi olduğu söylenebilir. Blokzincire kaydedilebilen en küçük BTC birimine "satoshi" denir. BTC birimi, büyük tam sayılar yerine alt birim hassasiyeti vermek için 10^8 değerini temsil edecek şekilde seçilmiştir. Bitcoin birimleri, 1/10 (desibitcoin, dBTC), 1/100 (centibitcoin, cBTC), 1/1000 (milibitcoin, mBTC) ve 1/1000000 (mikrobitcoin, μ BTC²⁸) olarak tanımlanmaktadır.

2.1.2. Altcoin

Blokzincir teknolojisinin ilk uygulaması olan Bitcoin, dünyanın ilk kripto para birimi olma özelliğini taşımaktadır. Bu teknoloji, Ethereum ve Ripple da dahil olmak üzere yeni nesil kripto paraların geliştirilmesine ilham olmuştur (Chowdhury, 2018). Bashir (2017), alternatif zincirlerin (alternative chains) merkezi olmayan bir blokzincir platformu kurmayı amaçlayan projeler için kullanıldığını, yeni bir kripto para birimi geliştirmeyi amaçlayanlar altcoin²⁹ olarak adlandırıldığını belirtmektedir. Chowdhury (2018) ise altcoinleri, Bitcoin'in kaynak kodunun bir kısmını içeren kripto para birimleri olarak tanımlamaktadır.

Bitcoin'in başarısından sonra birçok altcoin projesi başlatılmıştır. İlk altcoin projesi olan Namecoin 2011 yılında tanıtılmış ve daha sonraki yıllarda birçok farklı altcoin projesi ortaya çıkmıştır. Bunlar arasında bazıları başarılı olmuş, bazıları ise kısa süre içinde ortadan kaybolan dolandırıcılık olayları ile ilişkilendirilmiştir. Şu anda piyasada belirli bir değere sahip binlerce altcoin bulunmaktadır. Çoğu Bitcoin kaynak kodunun çatallanmasıdır, ancak bazıları orijinal yazılımdır. Bazı altcoinler gizlilik, farklı

²⁸ Mikrobitcoin (μ BTC)'e bit de denilmektedir.

²⁹ AlternativeCoin kısaltılmasıdır.

madencilik türleri, blok sürelerindeki değişiklikler ve dağıtım şemaları gibi farklı özellikler³⁰ sunmaktadır (Bashir, 2017).

Altcoinler, çeşitli amaçlarla geliştirilmektedir. Örneğin, çevrimiçi toplulukları hedefleyen oyunlar gibi veya finansal kazanç amaçlı olarak tasarlanmış çeşitli altcoin projeleri mevcuttur. Aynı zamanda, sadece eğlence veya deneysel amaçlar için oluşturulmuş önemli bir altcoin serisi de vardır (Lee, 2015). Lee (2015), altcoinlerin değerlendirilmesinde piyasa değerinin ölçüt olarak kullanılmasının mantıklı olduğunu belirtmektedir. Yüksek bir piyasa değeri³¹, altcoin'e daha fazla kişinin ilgi gösterdiğini gösterir. Ancak, piyasa değerinin kolayca manipüle edilebileceği de unutulmamalıdır. Günümüzde piyasada birçok altcoin mevcuttur ve bu çalışmada, literatürde en çok bahsedilen (önemli görülen) altcoinler sunulmaktadır.

2.1.2.1. Bitcoin Çatallanması Sonucu Oluşan Altcoinler

Bitcoin Cash (BCH), 1 Ağustos 2017 tarihinde, Bitcoin (BTC)'in 478,558 bloğunda meydana gelen sert çatallanma³² sonucu ortaya çıkmıştır. Bu çatallanma sonucunda blokzincirde daha yüksek boyutlu bloklara izin vermesi, Bitcoin'den ayrılan en önemli özelliklerinden biridir. Bitcoin'in blok boyutunu arttırmak için bir kod değişikliği yapılmış ve 1 MB olan blok boyutu 8 MB'a çıkarılmıştır. Bu sayede, Bitcoin sahipleri de Bitcoin Cash sahibi olmuştur ve her iki kripto para birimi arasında eşit bir bölünme gerçekleşmiştir (Larson, 2017).

Bitcoin Gold (BTG), 24 Ekim 2017 tarihinde Bitcoin (BTC)'nin 491,407 bloğunda meydana gelen sert çatallanma ile oluşturulmuştur. ASIC yerine GPU madenciliğini kullanarak, daha yaygın bir madencilik işlevselliği sunmayı amaçlamaktadır. GPU madenciliği, herkesin ağa katılabildiği standart bilgisayarlarla

³⁰ Örneğin, Bitcoin'de Emek Kanıtı (PoW) kullanılırken, Peercoin'de Sahiplik Kanıtı (PoS) kullanılır. Bitcoin için bloklar her 10 dakikada bir üretilirken, Litecoin için bu süre 2.5 dakikadır. Bitcoin'de üretilebilecek maksimum sınır 21 milyon iken, Dogecoin'de maksimum sınır yoktur ve dolayısıyla sınırsız bir üretim kapasitesi vardır.

³¹ Piyasa değeri verileri için CoinMarketCap (<https://coinmarketcap.com/>) kullanılabilir.

³² Çatallanma konusu başlığında tartışıldığı gibi kripto para birimleri bağlamında çatallanma, belirli bir kripto para biriminin mevcut blokzincirini temel alan yeni bir blokzincir oluşturma sürecini ifade etmektedir. Benzer şekilde, bir sert çatallanma da farklı değerlere ve kullanıcılara sahip olabilen iki farklı kripto para biriminin oluşturulmasına neden olabilir. Bu durum, her biri kendine özgü özelliklere sahip iki ayrı kripto para biriminin ortaya çıktığı duruma yol açabilir.

madencilik yapmayı mümkün kılmaktadır (Wirdum, 2017). Bitcoin Cash'e benzer şekilde, çatallanma sırasında Bitcoin sahipleri Bitcoin Gold'a sahip olmuştur. Ancak, 2018 yılında gerçekleşen bir %51 saldırısı sonucunda, ağda çift harcama yapılmış ve yaklaşık 18.6 milyon dolar değerinde kripto para çalınmış olabileceği tahmin edilmektedir (Wilmoth, 2018).

Bitcoin Private (BTCP), 28 Şubat 2018 tarihinde Bitcoin'in 511,346 bloğunda meydana gelen sert çatallanmayla ortaya çıkmıştır. BTCP, kullanıcılara genel veya özel adresler oluşturma seçeneği sunarak, iki adres türünde işlemler yapabilme imkânı vermektedir (Brutman vd., 2018). Ağdaki düşük bir hash oranına sahip kripto para birimlerinin kırılabilirliğini göstermek için %51 saldırısı yapılmış olsa da bu saldırı eğitim amacıyla gerçekleştirilmiş ve ağda önemli bir hasar meydana gelmemiştir (Teodoro, 2018).

2.1.2.2. Namecoin (NMC)

Namecoin (NMC), Nisan 2011 tarihinde oluşturulan ilk altcoin olup, merkezi olmayan bir ad sunucusu³³ oluşturmak amacıyla tasarlanmıştır. Bashir (2017) tarafından ifade edildiği gibi, Namecoin'in asıl amacı, bir altcoin üretmek değil, gelişmiş ademi merkeziyet, sansür direnci, gizlilik, güvenlik ve hızlı ademi merkeziyetçi adlandırma sağlamaktır. Namecoin kullanıcıları, alan adlarını özel anahtarları aracılığıyla kontrol edebilir veya satabilirler. Ayrıca, birleştirilmiş madenciliği (merged mining) uygulayan ilk altcoindir (Caetano, 2015). Kalodner vd. (2015) tarafından yapılan araştırma, 120,000'den fazla alan adının kaydedildiğini, ancak sadece 28'inin kullanıldığını ortaya koymuştur.

2.1.2.3. Litecoin (LTC)

Litecoin (LTC), Namecoin'den hemen sonra, Ekim 2011'de piyasaya sürülen bir altcoindir. Kripto para biriminin ilk zamanlarında Bitcoin'e altın benzetmesi yapılırken, Litecoin'e gümüş benzetmesi yapılmıştır. Hash üretim hızını sınırlamak ve büyük ölçekli

³³ Geleneksel internet alan adlarına (URL'ler) alternatif olarak kriptografik olarak güvenli, merkezi olmayan alan adları sağlanmaktadır. Bu yaklaşım, geleneksel DNS sistemine olan bağımlılığı azaltırken kullanıcıların alan adları üzerinde kontrol sahibi olmalarını sağlamaktadır.

özel donanım saldırılarını maliyetli hale getirmek amacıyla Scrypt adı verilen konsensüs mekanizmasını kullanmaktadır. Bu yaklaşım, yüksek performanslı ASIC kullanan büyük havuzlar yerine bireysel bilgisayarlarla çalışan küçük madencilerin birleşmesini kolaylaştırmaktadır. Sonuç olarak, daha merkezi olmayan bir madencilik ağı oluşmaktadır (Caetano, 2015). Litecoin, Bitcoin'e kıyasla 2.5 dakika ile dört kat daha hızlı blok üretim süresine sahiptir (Chowdhury, 2018). Ayrıca, daha hızlı blok oluşturma süresi nedeniyle her 3.5 günde bir zorluk ayarlaması yapılmakta ve üretilebilecek maksimum arz miktarı 84 milyon olarak sınırlandırılmıştır (Bashir, 2017). Bu nedenle, Litecoin daha merkezi olmayan bir madencilik ağı oluşmasını sağlar.

2.1.2.4. Ethereum (ETH)

Nakamoto (2008) tarafından ortaya atılan orijinal konsept, Bitcoin'in işlemlerini doğrulamak ve madencilere ödül olarak vermek üzerine kurulmuştur. Ethereum ise, madencilik olmadan toplam dolaşımdaki arzın önemli bir bölümü oluşturulmuştur. Ether (ETH), Ethereum'un yerel kripto para birimidir ve işlemler ile akıllı sözleşmeler için ücret olarak kullanılmaktadır. Blokzincirin başlangıcında toplam 12 milyon ETH önceden çıkarılmıştır. Bu birimlerin her biri kendine has bir isim³⁴ taşımaktadır ve bazıları bilgisayar bilimi ve kripto para dünyasındaki önemli kişilerin isimlerini taşımaktadır (Chowdhury, 2018). Tablo 10'da Ether'e karşılık gelen değerler (Ether birimleri) listelenmektedir.

Tablo 10. Ether birimleri

İsim	Wei Değeri	Wei
Wei	1 wei	1
Kwei (babbage)	1e3 wei	1,000
Mwei (lovelace)	1e6 wei	1,000,000
Gwei (shannon)	1e9 wei	1,000,000,000
Microether (szabo)	1e12 wei	1,000,000,000,000
Milliether (finney)	1e15 wei	1,000,000,000,000,000
Ether	1e18 wei	1,000,000,000,000,000,000

Kaynak: Chowdhury (2018: 99)

Kullanıcılar, Bitcoin protokolünde olduğu gibi sadece işlem yapmakla kalmayıp Ethereum'da istedikleri karmaşık işlemleri oluşturarak merkezi olmayan uygulamalar

³⁴ Ether'in ana birimine Wei Dai adını taşıyan "wei" denilmektedir.

oluşturmak için bir platform görevi görür. Ethereum blokzinciri³⁵, EVM'yi³⁶ çalıştıran ve aynı talimatları uygulayan birçok düğüm tarafından korunur ve güncellenir. Ethereum'da harici hesaplar (EOA) ve sözleşme hesapları olmak üzere iki tür hesap vardır³⁷. Ethereum'un özellikle öne çıkan özelliği akıllı sözleşmelerdir. Akıllı sözleşmeler Ethereum'dan kaldırılrsa, geriye sadece Bitcoin'in işlevlerini taklit etmek kalır (Chowdhury, 2018).

Bir işlemin maliyetinde Ethereum tarafından sunulan yeni bir konsept olan “gaz” veya “kripto para yakıtı³⁸” olarak adlandırılan bir ölçüm kullanılmaktadır (Bashir, 2017). İşlem ücreti, kullanılan gazın “Gwei” denilen gaz fiyatı³⁹ ile çarpımıdır. İşlemin ne kadar hızlı yapılması istendiğine bağlı olarak, ödenmesi gereken gaz fiyatı değişebilir (Furneaux, 2018). Ethereum protokolü, madencilik zorluğunu dinamik olarak ayarlar ve Bitcoin'in 10 dakikalık blok oluşturma süresine göre daha hızlı bir üretim yaklaşımı benimser (ağın ortalama olarak her 15 saniyede bir blok üretecek şekilde). Bu durum, Ethereum'un blokzincirinde saniyede 15 işlem yapılmasına yardımcı olmaktadır. Ethereum'da, bloğu oluşturan başarılı madenci, Bitcoin gibi bloğu oluşturmak için bir ödül ve işlemlerin doğrulanması için ödenen ücretleri alır. Gerçek dünya benzetmesi olarak kullanılan “gaz”, sözleşmelerden ilham alınarak tasarlanmıştır. Bu nedenle, bu ücret, akıllı sözleşmelerin hareketini yönlendiren kripto para yakıtı olarak görev yapmaktadır. Madenciler, kullanıcılara Ether karşılığında gaz satmaktadır.

Ethereum, madencilik öncesi kripto paraların yaygınlaştırılması ve ICO aracılığıyla satılması nedeniyle eleştirilmektedir (Chowdhury, 2018). DAO saldırısından sonra, sorunu hafifletmek için sert çatallaştırma önerilmiştir. Bu nedenle, şu anda iki farklı Ethereum blokzinciri bulunmaktadır. Bunlardan biri Ethereum Classic (ETC) olarak

³⁵ Ethereum, Ethereum Sanal Makinesi (EVM) adı verilen sanal bir makine kullanmaktadır.

³⁶ Ethereum Sanal Makinesi (EVM), Ethereum blokzincirinin önemli bir bileşenidir. Ethereum platformunda akıllı sözleşmelerin yürütülmesinden sorumludur.

³⁷ Harici hesaplar (EOA'lar), Ethereum ağında Ether ve diğer tokenleri gönderip alabilmeleri açısından geleneksel banka hesaplarına benzetilebilir, bununla birlikte ağ üzerinde akıllı sözleşmeler oluşturmak için de kullanılabilirler. Sözleşme hesapları ise, akıllı sözleşmelerle ilişkilendirilen ve harici hesaplar tarafından tetiklendiğinde işlem gerçekleştirebilen hesaplardır.

³⁸ Kripto para yakıtı veya gaz, Ethereum blokzincirinde bir işlemi veya akıllı sözleşmeyi gerçekleştirmek için gereken hesaplama ölçüsünün birimini ifade etmek için kullanılan bir terimdir. Gaz, Ethereum ağının kripto para birimi olan Ether (ETH) birimleri cinsinden ifade edilmektedir. İşlemi gerçekleştiren madencilere ya da doğrulayıcılara işlem ücretlerini ödemek için kullanılmaktadır. Gaz fiyatı, piyasa arz ve talebine göre belirlenir ve işlemin karmaşıklığına ve aciliyetine göre değişmektedir.

³⁹ <https://www.ethgasstation.info/> adresi güncel ve geçmiş gaz fiyatı ile ilgili ayrıntıları vermektedir.

adlandırılırken, diğeri Ethereum (ETH) olarak adlandırılmaktadır (Bashir 2017). Ethereum denildiğinde genellikle Ethereum (ETH) anlaşılmaktadır.

Ethereum, birçok yönden Bitcoin ile benzer bir yapıya sahiptir. Bitcoin'in tasarımını yakından takip eder ve işlevlerinin çoğunu taklit eder. Ancak, Bitcoin ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde geliştirdiği performanslar açısından farklılıklar gösterir. Chowdhury (2018), bu farklılıkları şu şekilde özetler:

- Bitcoin'de blok oluşturma süresi 10 dakika iken, Ethereum'da bu süre 14-15 saniyedir.
- Ethereum genellikle tutarlı bir oranda yeni kripto paralar üretirken, Bitcoin için bu oran dört yılda bir yarıya düşmektedir.
- Ethereum, madencilikte ASIC'lerin avantajını azaltan Ethash algoritmasını kullanırken, Bitcoin Hashcash benzeri bir emek kanıtı kullanarak ASIC'lerin kullanımını teşvik etmektedir.
- İşlem ücretleri de farklılık gösterir. Ethereum'da işlem ücretleri genellikle Bitcoin'e göre daha düşüktür. 8 Aralık 2022'de Ether için ortalama işlem ücreti 0.38\$ iken, Bitcoin için 1.14\$ olarak gerçekleşmiştir.
- Ethereum, nakit harcamaya ve karşılığında değişim almaya daha benzer olan Bitcoin'in UTXO sisteminin aksine, hesaplardan borçlandırılan ve başka bir hesaba yatırılan bir muhasebe sistemi kullanmaktadır.

2.1.2.5. Neo (NEO)

Ethereum'un akıllı sözleşme özelliklerinin başarısıyla birlikte birçok platform da bu özellikleri kullanılabilir hale getirmiştir. Örneğin, NEO, merkezi olmayan uygulamaların ölçeklenebilir bir ağını oluşturmak için tasarlanmış bir blokzincir platformudur (NEO, 2015). İlk olarak AntShares adıyla Çin'de açık kaynaklı bir blokzincir projesi olarak başlamış ve 2017 yılına kadar bu isimle devam etmiştir. Daha sonra, tüm AntShares'ler NEO olarak yeniden adlandırılmıştır (Garner, 2018). NEO'nun amacı, akıllı sözleşmelerin her zaman yasal olarak geliştirilebildiği bir blokzincir oluşturmaktır. Ayrıca, Çin'de Ethereum'a bir yanıt olarak kabul edilmektedir (Creatonics, 2019).

Bu blokzincirde, NEO ve NeoGas olarak bilinen iki kripto para bulunur. NEO, ağı yönetirken, NeoGas, akıllı sözleşmelere güç veren operasyonel kripto paradır. Bitcoin, Ethereum ve diğer birçok kripto paranın aksine, NEO'nun minimum birimi 1'dir ve alt bölümlere ayrılmaz. Ağın genesis bloğunda 100 milyon kripto para üretilmiştir. Başlangıçtaki toplam GAS⁴⁰ miktarı sıfırdı. Yeni blok üretim oranının artmasıyla birlikte, yaklaşık 22 yılda 100 milyonluk toplam limite ulaşacaktır. Her blok arasında geçen süre yaklaşık 15-20 saniyedir, dolayısıyla her yıl ortalama 2 milyon blok üretilir. İlk GAS üretimi blok başına 8 kripto para ve yılda (2 milyon blok) blok başına 1 GAS azalır. Düşüş blok başına sadece 1 GAS'a kadar devam eder ve bu oran 22 yıllık dönüm noktasına kadar değişmez. Bu durumda, ilk yılda GAS'ın %16'sı, ilk 4 yılda %52'si ve ilk 12 yılda %80'i oluşur (Chowdhury, 2018).

Geliştirme aşamasındaki NEO'da üç gelişmiş özellik bulunmaktadır. İlk özellik, ihtiyaç duyulan özel-genel blokzincir bağlantılarını sağlamayı amaçlayan Neox; ikinci özellik, dosya ve veri depolama tesisini desteklemeyi hedefleyen NeoFS; üçüncü ve son özellik ise blokzincirini kuantum hesaplama gücüne karşı korumayı amaçlayan NeoOS'dur (Chowdhury, 2018). NEO blokzincirinde kullanılan konsensüs mekanizması, Bitcoin ve Ethereum'dan farklıdır. Büyük ölçekli katılımı temin etmek için özel olarak oluşturulmuş bir algoritma olan dBFT kullanılarak vekaleten oy kullanma yoluyla gerçekleştirilir. Kripto para sahipleri, destekledikleri gruba oy vererek blokzincirde yeni bloklar oluşturmaya izin verilen grubu seçebilirler (Zhang, 2014). dBFT algoritması, blokzincirin güvenliği ve kullanılabilirliğini için gerekli olan mekanizmaları sağlar. NEO blokzinciri, Ethereum'dan farklı olarak, akıllı sözleşmelerin⁴¹ yürütülmesinde validasyon, fonksiyon ve uygulama sözleşmeleri içermektedir.

2.1.2.6. EOS (EOS)

Akıllı sözleşmelerin sağlamasıyla tanınan bir başka blokzincir EOS'tur. EOS, merkezi olmayan uygulamaların (Dapps) kurulumu için bir akıllı sözleşme platformu ve

⁴⁰ NEO, işlemleri ve akıllı sözleşmelerin yürütülmesini sağlamak için çift token sistemi kullanan bir blokzincir platformudur. NEO platformunun 2016 yılında piyasaya sürülmesinin ardından, henüz hiç GAS üretilmediği için başlangıçta toplam GAS miktarı sıfırdı. Ancak, daha fazla NEO sahibi sahip oldukları varlıklar aracılığıyla GAS üretmeye başladıkça, toplam GAS arzı kademeli olarak artmıştır. Üretilen GAS miktarı, elde tutulan NEO miktarı ve elde tutma süresiyle orantılıdır.

⁴¹ NEO Smart Contract 2.0 olarak adlandırılmaktadır.

merkezi olmayan bir işletim sistemi olarak çalışmaktadır. EOS.IO ve kripto para birimi EOS adında iki bileşen içerir. Madencilik kavramı yoktur, ancak blok üretimi adını verdiği bir kavramı kullanır. Bir blok üreticisi yeni bloklar üretir ve her blok için yeni kripto paraların oluşmasıyla ödüllendirilir. İşlem ücretleri yerine enflasyon kullanır ve kaynakları kullanmak için bir miktar kripto para yatırılması gerekir. Bu miktar, kaynaklar serbest bırakılana kadar kilitlidir ve serbest bırakıldıktan sonra kullanıcılar tüm kripto paraları geri alabilirler. Enflasyon oranı sistem tarafından belirlenir ve EOS sahipleri oy kullanarak değiştiremezler. Sistem her yıl %5⁴² enflasyon oluşturmaktadır. Yeni oluşturulan kripto paraların varlığı nedeniyle, mevcut EOS fiyatı dolaylı olarak değer kaybedebilir. EOS ağı, EOS sahipleri ve blok üreticileri olmak üzere iki grup düğümden oluşur. Akıllı sözleşmeleri gerçekleştirmek için bir WebAssembly (Wasm) sanal makinesi kullanır ve EOS işletim sistemi, düşük sayıda işlem gecikmesi olan çok sayıda kullanıcıyı yönetebilecek bir platform sağlamayı amaçlar (Chowdhury, 2018; Grigg, 2018; Floyd, 2018).

2.1.2.7. Ripple (XRP)

Ethereum'dan farklı olarak Ripple, dijital bir ortamda merkezi olmayan bir şekilde para transferi hedefine sadık kalarak Bitcoin'in özgün amacını sürdürmektedir. Ripple gibi diğer hizmetler, blokzincir teknolojisini kullanarak fiat para birimlerinin transferini kolaylaştırır, ancak transfer edilen para birimleri doğası gereği hala kontrol edilirler. Ripple, dağıtılmış bir ödeme protokolü ve gerçek zamanlı ödeme sistemi olarak tanımlanabilir. Bankalar ve banka dışı finansal hizmet sağlayıcılarının müşterilerinin fonlarını veya varlıklarını küresel olarak anında aktarmak için bu protokolü kullanmalarına izin verir. Bu kurumların rolü, müşterilerin Ripple'ı kullanmasına yardımcı olmak için sadece aracı olmaktır. Protokol ile minimum bir ücret karşılığında herhangi bir boyuttaki küresel işlemleri yapmak mümkündür ve fiat para birimleri, kripto para birimleri, emtialar ve diğer özel birimleri temsil eden farklı simgeleri destekler. Ripple Labs tarafından oluşturulmasına rağmen, şirketin varlığı olmadan da çalışabilir (Chowdhury, 2018; Furneaux, 2018).

⁴² %1 blokzincirini işletmekten sorumlu blok üreticilerine finansman sağlarken, geri kalan %4 İşçi Teklif Fonu'na (Worker Proposal Fund) ödenmektedir.

XRP, Ripple protokolünün kripto para birimidir. Ripple protokolü kullanıcılarının XRP'yi bir değer deposu veya bir değişim aracı olarak kullanmaları gerekmemektedir. Ancak her Ripple hesabının 20 XRP gibi küçük bir rezervi olması gerekmektedir. XRP'nin tamamı, genesis bloğunda önceden çıkarılmıştır ve bu, dağıtılmış defter hesabının oluşturulması sırasında 100 milyar XRP üretildiği anlamına gelmektedir. Bu tasarım, kripto para madenciliğine izin vermemektedir ve dolayısıyla sert bir çatallanma daha fazla kripto para üretmeyi zorlamadığı sürece, 100 milyardan fazla XRP'ye sahip olma şansı olmayacaktır. Protokol, küçük bir işlem maliyeti talep etmektedir ve bu miktar kimseye verilmez (yok edilir), dolayısıyla XRP azalmaktadır (Chowdhury, 2018). İşlem maliyeti, ağın yüküne göre artacak şekilde tasarlanmıştır ve 25 Kasım 2022 itibariyle 99,989,214,572 XRP mevcuttur ve geri kalanlar yok edilmiştir. Yeni XRP üretilmediğinden, bu kripto para daha az yaygın hale gelir ve sahiplerine daha fazla değer sağlar (Schwartz vd., 2014).

XRP'nin işlevlerinden biri, özellikle nadiren işlem gören iki döviz çifti arasında işlem yaparken, para birimlerini doğrudan döviz kuru olmadığında köprülemek için kullanılmasıdır. XRP, diğer para birimlerine karşı serbestçe alınıp satılabilir ve bu sayede piyasa fiyatı oluşur. Ripple protokolünün temel amacı gerçek zamanlı işlemler sağlamaktır. Bu amaçla, RippleNet'in üst düzey bileşenleri olan xCurrent, XRapid ve xVia kullanılmaktadır (Chowdhury, 2018).

RippleNet: Mevcut sınır ötesi bankacılık işlemlerinin verimsizliğinin üstesinden gelmek ve sınır ötesi uluslararası ödemelerin gerçekleştirilmesi için tasarlanmış bir ağıdır. Ripple'ın dağıtılmış finansal teknolojisini kullanarak ödeme gönderme ve alma işlemleri gerçekleştiren küresel bankalar ve finans kurumlarının ağıdır. Gerçek zamanlı ve düşük maliyetli ödemeler gerçekleştirmek amaçlanmıştır (Chowdhury, 2018). RippleNet ekosistemi, ağ üyeleri (bankalar, finans kurumları ve ödeme sağlayıcıları) ve ağ kullanıcıları (şirketler, tüketiciler gibi) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Ağ kullanmanın dört faydası tanımlanmaktadır: dünyanın herhangi bir yerine para gönderme ve alma imkânı sağlaması, gerçek zamanlı işlem yapabilme özelliği, hata riskini azaltması ve işlem maliyetlerini düşürmesidir.

xCurrent: RippleNet üyeleri arasında sınır ötesi ödemelerin hızlı bir şekilde çözülmesi ve uçtan uca izlenmesi için tasarlanmış bir kurumsal çözümdür. Bu çözüm dört

anahtar bileşenden oluşmaktadır: Messenger, Validator, ILP Ledger ve FX Ticker. Messenger, işlem yapan bankalar arasında bağlantı kurarak yararlanıcılar arasında işlem gerçekleştirmeyi sağlar. Validator, bir ödeme talebinin kriptografik olarak doğrulanmasını sağlar. ILP Ledger, farklı defterler ve ödeme ağları arasında birlikte çalışmayı mümkün kılar. FX Ticker ise herhangi bir defter çifti arasındaki döviz kurunu belirler (Mark, 2018).

XRapid: Nadir bulunan iki döviz kuru çifti arasında uygun eşleşme bulunamaması durumunda gecikme şansı (ihtimali)⁴³ ortaya çıktığı bir durumda devreye giren bir çözümdür. XRapid'in piyasaya sürülmesiyle birlikte XRP köprü para birimi olarak kullanılmakta ve gecikme olasılığı ortadan kaldırılmaktadır. Bir finans kurumu, ilk olarak kaynak ve hedef ortakların dijital varlık borsalarına bağlanır. Daha sonra, kaynak para birimi, son ödemeyi güçlendirmek için gerekli likiditeyi sağlamak için XRP'ye dönüştürülür. Bu işlemin tamamlanmasıyla saniyeler içinde XRP, ikinci dijital varlık borsasındaki hedef para birimine dönüştürülür. İşlem uçtan uca izlenir ve sonuç olarak xCurrent'e göre daha ucuz ve daha hızlı bir sınır ötesi ödeme gerçekleştirilir (Chowdhury, 2018).

xVia: RippleNet üyelerinin kolayca ödeme göndermelerini ve alıcılarını yönetmelerini sağlayan bir yazılımdır. xVia, işletmelerin ödeme akışlarını yönetmek için bir arayüz sağlar. Bu arayüz, bir kuruluşun farklı ödeme kanalları üzerinden yapılan ödemeleri yönetmesini sağlar. Örneğin, bir kuruluşun müşterileriyle banka hesapları, kredi kartları ve diğer ödeme kanalları arasında geçiş yapması gerekiyorsa, xVia bu işlemi kolaylaştırır. Bu sayede kuruluşlar, sınır ötesi ödemeleri daha hızlı ve daha uygun maliyetle yapabilirler. xVia, RippleNet ağındaki bankalar, finans kurumları ve ödeme sağlayıcıları tarafından kullanılabilir (Schwartz vd., 2014).

⁴³ Sınır ötesi ödeme işlemleri bağlamında gecikme şansı (ihtimali), likidite eksikliği veya uygun bir döviz çiftinin bulunmaması nedeniyle bir gecikme veya başarısızlık olasılığını ifade etmektedir. Geleneksel ödeme sistemlerinde, bir para birimini diğerine dönüştürme süreci birden fazla aracı içerebilir ve tamamlanması birkaç gün sürebilir, bu da önemli gecikmelere ve yüksek işlem maliyetlerine neden olabilir. XRapid, talep üzerine likidite sağlamak ve gerçek zamanlı sınır ötesi ödemeleri kolaylaştırmak için kullanılmaktadır. Dolayısıyla, finans kurumları XRapid'i kullanarak gecikme riskini ortadan kaldırabilir.

2.1.2.8. Stellar (XLM)

Blokszincir teknolojisi kullanarak kripto para (veya token⁴⁴) alışverişi yapmak için dağıtılmış bir defter olan Stellar'ın amacı, düşük maliyetli finansal hizmetlere erişim sağlamak için açık bir finansal sistem haline gelmektir. Örnek olarak havale, mikro ödeme, mobil şube ve mobil para gibi hizmetler bulunmaktadır. Eşler arası ağı, birden çok sunucudan oluşur ve her 2-5 saniyede bir birbirleriyle iletişim kurarlar. Her bir sunucu, ağdaki tüm işlemleri kaydeden defterin kopyasını tutar. Defter birkaç saniyede bir güncellenir ve protokol işlem için en iyi döviz kurunu belirler. Stellar, Ripple ile benzer bir teknolojiye sahiptir. Protokol, aslında Ripple protokolünde meydana gelen sert çatallanmadır ve diğer kripto para birimlerine göre daha merkezi bir yapıya sahiptir (Chowdhury, 2018).

XLM, Stellar'ın kripto para birimidir. Genesis bloğunda yüzde yüzü önceden oluşturulmuştur (100 milyar XLM). XLM, döviz kurları arasında köprü işlevi görür ve eşleşen bir döviz kuruna (USD/GBP gibi) ihtiyaç duyar. Eşleşen bir döviz kurunun olmaması durumunda XLM devreye girer ve ödemeyi çözmek için USD/XLM ve XLM/GBP gibi köprüler oluşturur. Ağda oluşabilecek Denial of Service (DoS) saldırılarını önlemek için her işlemde küçük bir ücret (0.00001 XLM gibi) alınır. Ripple'dan farklı olarak, bu ücreti ortadan kaldırmak yerine, enflasyon havuzu olarak adlandırılan bir havuza konulur ve her yıl %1 oranında XLM sahiplerine bırakılır. Federated Byzantine Agreement (FBA) adı verilen bir konsensüs mekanizması, esnek güvenlik, merkezi olmayan kontrol, düşük gecikme süresi ve güvenlik gibi dört özellik sunar (Bashir, 2017). Bu mekanizma, Ripple'ın Byzantine Agreement (BA) algoritmasının sınırlamalarını çözmeyi amaçlar (Mazieres, 2015).

2.1.2.9. Tezos (XTZ)

Tezos, blokszincirin durumunu merkezi olmayan bir fikir birliği ile yönetmenin yanı sıra protokolün ve düğümlerin zaman içinde nasıl gelişeceği konusunda da fikir

⁴⁴ Kripto para birimleri ve tokenlar, blokszincir teknolojisine dayanan dijital varlıklardır. Tokenlar blokszincirde belirli bir varlığı veya faydayı temsil etmek üzere oluşturulmaktadır. Altın veya gayrimenkul gibi fiziksel bir varlıktan, belirli bir platforma veya uygulamaya erişim gibi belirli bir hizmet veya işleve kadar her şeyi temsil etmek için kullanılabilir. Tokenlar genellikle ICO'lar veya diğer kitle fonlama mekanizmaları aracılığıyla oluşturulur ve dağıtılır. Özetle, tokenlar bir blokszincirde belirli bir varlığı veya faydayı sağlamak üzere tasarlanmaktadır.

birliği sağlayan bir sistemdir. Tezos, Bitcoin protokolündeki sınırlamaların çözümü için geliştirilmiştir. Bu sınırlamalar arasında sert çatallanmalardan kaynaklanan sorunlar, madencilik gücünün merkezileşmesi, maliyet ve sınırlı komut dosyası oluşturma yeteneği gibi konular yer alır. Tezos blokzinciri, geleneksel blokzincirlerinden farklı olarak bir tohum protokolünden (seed protocol) başlar. Konsensüs mekanizması PoS algoritmasına dayanmaktadır (Bashir, 2017).

2.1.2.10. IOTA (MIOTA)

Nesnelerin İnterneti (IoT), tedarik zinciri, ađ bağlantısı, siber güvenlik, özel ađ ve blokzincir çerçevesi olmak üzere altı alanı tanımlamaktadır (Chowdhury, 2018). IOTA, Nesnelerin İnterneti (IoT) için tasarlanmış bir dağıtılmış defterdir ve IoT cihazları⁴⁵ arasında güvenli iletişim ve ödemeler sağlar. İşlemler hızlı, ücretsiz ve ölçeklenebilirdir (Popov, 2018). Tangle kullanılarak çift harcama sorunu çözülür ve işlemlerin onayını alması zorunlu hale getirilerek, IOTA kullanıcıları madencilere dönüştürülür. Bu nedenle, işlem yapma ve işlemleri doğrulama eylemi bu platformda birleştirilir. Yeni bir işlem gönderen her makinenin (ađ üyesi), doğrulanmadan önce ağdaki diğer iki işlemi doğrulaması gerekmektedir. Bu yaklaşım, bir doğrulama ağı üzerinden fikir birliğine varılmasını sağlar. Tangle, madencilik ihtiyacını ortadan kaldırdığından, ađ lansmanından hemen sonra MIOTA serbest bırakılmıştır. Bu nedenle, IOTA’da işlemlerin doğrulanması görevinin yeni kripto para oluşturmakla bir ilişkisi yoktur ve rolü sadece uzlaşma koşulunu yerine getirmekle sınırlıdır (Chowdhury, 2018).

Buraya kadar kripto paralardan (Bitcoin ve Altcoin) bahsedilmiştir. Ancak 21 Kasım 2022 tarihi itibarıyla CoinMarketCap (2022) verilerine göre yaklaşık 21,806 adet kripto para bulunmaktadır. Bu kripto paralar arasında kripto para, token, altcoin, stablecoin gibi farklı isimlendirmelerle anılanlar bulunmaktadır. Kripto para piyasasında her geçen gün yeni kripto paralar ortaya çıkarken, bazıları da başarısızlık nedeniyle tedavülden kalkmaktadır. Bu nedenle, kripto para piyasası içerisinde yer alan (hepsinden bahsetmek mümkün değildir) literatürde en çok kullanılan kripto para birimlerinden bahsedilmiştir.

⁴⁵ IOTA’da, iki IoT cihazı arasındaki iletişime “makine-makine (M2M) iletişimi” denilmektedir.

2.1.2.11. Stablecoin

Birçok piyasa katılımcısı, kripto paraların oynaklığını olumlu bir özellik olarak görür. Kripto para piyasasındaki oynaklık, bir hata olarak değil, bir özellik olarak tanımlanmaktadır. Stablecoin, kripto para piyasasındaki oynaklığı başarılı bir şekilde yöneterek, daha geniş bir kripto para varlığının kabul edilmesine yardımcı olabilir (Hileman, 2019). Kripto paranın fiyatını belirleyen şey, çoğunlukla değişken arz ve talep koşullarıdır. Ancak, çoğu stablecoin, dünyanın önde gelen rezerv para birimi olan ABD dolarına eşit olacak şekilde tasarlanmıştır. Örneğin, en büyük stablecoin olan Tether'in (USDT) bir ABD dolarına eşit olması amaçlanmıştır. ABD doları dışında, diğer istikrar kriterleri de diğer itibari para birimleri (örneğin Euro), emtialar (örneğin altın) veya enflasyon (örneğin G10 ortalama ülke enflasyonu) olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bugüne kadar birçok stablecoin tasarımı geliştirilmiş ve piyasaya sürülmüştür. Ancak, stablecoin genel olarak varlığa dayalı ve algoritmik olmak üzere iki ana kategoriye ayrılabilir. Varlığa dayalı stablecoin, döviz kuru istikrarını desteklemek amacıyla yedekte tutulduğu bir tasarımdır. Varlığa dayalı tasarımların aksine, algoritmik stablecoin, arz ile talebi dinamik olarak eşleştirerek döviz kuru istikrarını korumayı amaçlayan yazılım kodunda ifade edilen bir dizi kural kullanmaktadır. Algoritmik stablecoin sahip olduğu potansiyel avantajlar daha fazla ölçeklenebilirlik ve daha güçlü benimsenme teşviklerini içerebilir (Hileman, 2019).

9 Aralık 2022 tarihi itibarıyla piyasa değeri bakımından en büyük stablecoin, yaklaşık 65 milyar dolarlık piyasa değeri ile Tether (USDT)'dir ve kripto para piyasasında üçüncü en büyük kripto para konumundadır. Tablo 11, kripto para piyasasının önemli bir parçası olan stablecoin piyasa değeri ve 24 saatlik işlem hacmi gibi çeşitli özelliklerini (piyasa değerine göre ilk beş) 9 Aralık 2022 tarihi itibarıyla listelemektedir.

Tablo 11. Stablecoinlerin özellikleri

Stablecoin	Sembol	Piyasa değeri	24 saatlik işlem hacmi	Dolaşımdaki arz miktarı
Tether	USDT	65,712,933,576\$	27,649,220,034\$	65,707,694,611
USD Coin	USDC	42,822,783,252\$	2,429,609,352\$	42,823,018,243
Binance USD	BUSD	22,061,716,742\$	6,330,793,391\$	22,058,109,538
Dai	DAI	5,871,533,160\$	158,788,663\$	5,872,196,872
Pax Dollar	USDP	946,022,054\$	1,507,257\$	945,642,940

Kaynak: <https://coinmarketcap.com/view/stablecoin/>

2.1.3. Kripto Para Alım-Satım Platformları

Kripto para alım-satım platformları⁴⁶, müşterilerin geleneksel fiat paraları veya diğer dijital para birimlerini kullanarak kripto para ticareti yapmalarına olanak tanır. Kullanıcılar, kripto paraları cüzdanlarına gönderebilir veya dünya genelindeki ATM'lerden para çekmek için kullanabilecekleri anonim ön ödemeli kartlara dönüştürebilir (Chowdhury, 2018). Kripto para satış makineleri, genellikle "ATM"⁴⁷ olarak adlandırılır ve satın almanın en kolay yolu olarak kabul edilir. Kullanıcılar kolaylıkla nakit para ekleyerek anında kripto para elde edebilirler. Kripto para alım-satım platformları, Bitcoin ve altcoin elde etmenin popüler bir yoludur. Ancak, kullanıcılar genellikle banka transferleri gerçekleştirirken bir zaman gecikmesi yaşayabilirler (Ulm, 2014).

Kripto para birimleri için nakit para ile ticaret de bir seçenektir. Örneğin, LocalBitcoins⁴⁸ gibi pazar yerleri, kişileri şahsen veya çevrimiçi olarak buluşturarak kripto para birimlerini satın almak veya satmak isteyenleri bir araya getirmeyi amaçlar. Bu seçenek, kripto para birimlerine veya alım-satım platformlarına erişimi sınırlı veya hiç olmayan ülkelerde daha yaygın olarak kullanılır (Lee, 2015). Goutte vd. (2019), kripto para piyasasında iki tür alım-satım platformundan bahseder. Birincisi, alıcılar ve satıcılar arasındaki tüm işlemlerin tamamen dijital olarak gerçekleştiği ve sadece kripto para işlemlerini kabul eden alım-satım platformlarıdır. İkincisi ise, kredi kartı veya banka havalesi gibi fiat para transferlerine izin veren ve kripto paraların fiat para birimleriyle ticaretini kolaylaştıran alım-satım platformlarıdır.

Kripto para araçlarının çeşitlenmesi ve kripto para birimlerinin sahipliğine yönelik artan ilgi göz önüne alındığında, kripto para alım-satım platformlarının sayısı giderek artmaktadır. 9 Aralık 2022 tarihi itibarıyla dünya çapında 530'dan fazla kripto para alım-satım platformu bulunmaktadır (CoinMarketCap, 2022). Faaliyette olan büyük ve tanınmış kripto para platformlarının bazıları Tablo 12'de yer almaktadır.

⁴⁶ Kripto para borsaları (Cryptocurrency Exchanges) olarak da adlandırılmaktadır.

⁴⁷ Dünya genelinde (9 Aralık 2022 tarihi itibarıyla) toplam 38,880 adet kripto para ATM'si bulunmaktadır. Kripto para ATM'leri dünyanın birçok ülkesinde (ABD'de 34,241, Kanada'da 2,698, İspanya'da 270, Polonya'da 214, Türkiye'de 17) kuruludur. CoinATMRadar (<https://coinatmradar.com/>) güncel ATM'lerin kurulu olduğu yerleri ve bilgileri yayınlamaktadır.

⁴⁸ <https://localbitcoins.com/>

Tablo 12. Kripto alım-satım platformları

Alım-Satım Platformu	İşlem Hacmi (24 Saat)	Kaç Kripto Para İşlemi
Binance	11,436,326,595\$	383
Coinbase Exchange	1,048,981,941\$	237
OKX	638,066,760\$	351
Huobi	532,175,167\$	623
Kraken	494,249,922\$	217
KuCoin	286,091,614\$	773
Bybit	275,997,246\$	334
Bitfinex	171,579,751\$	191
Bitstamp	105,349,207\$	71
Gemini	22,143,701\$	113

Kaynak: <https://coinmarketcap.com/rankings/exchanges/>

Kripto para alım-satım platformları büyük ölçüde geleneksel finansın düzenleyici alanının dışında yer alır ve hırsızlık, yanlış uygulama, dolandırıcılık ve ani kapanma kayıpları gibi önemli risklere maruz kalmaktadır (Goutte vd., 2019). Mt. Gox ve Quadriga CX, bu durumun en önemli örnekleridir.

Mt. Gox: Bitcoin'in 2009 yılında başlamasından kısa bir süre sonra, çevrimiçi alım-satım platformları arasında öncü konumdaydı. 2010 yılında Bitcoin'i piyasaya sunan ilk alım-satım platformu olarak hizmet verdi (Caetano, 2015). Mt. Gox, dünya çapındaki Bitcoin işlemlerinin %70'ini gerçekleştiriyordu. Ancak, Şubat 2014'te platform, ticaretini durdurdu, web sitesini ve hizmetlerini kapattı. Bu, kripto para piyasasında paniğe yol açtı. İki ay sonra şirket tasfiye işlemlerine başladı (Goutte vd., 2019). Müşterilere ve şirkete ait yaklaşık 850,000 BTC kayboldu ve Mt. Gox, hırsızlık ve dolandırıcılık gibi nedenlerle iflas etti (Chohan, 2018). Kaybolma nedenleri arasında hırsızlık, dolandırıcılık, kötü yönetim veya bunların bir kombinasyonu olduğu ortaya çıktı (Goutte vd., 2019). Ancak, Mt. Gox'un yalnızca bir finansal aracı olduğu ve Bitcoin ticareti yapan birçok düzenlenmemiş alım-satım platformlarından biri olduğunu unutulmamalıdır. Mt. Gox, Bitcoin sisteminin bir parçası değildi (Lee, 2015).

Quadriga CX: Kripto para alım-satım platformu olan Quadriga CX, Kanada'da en büyük işlem hacmine sahip bir platform olarak bilinmektedir. Kurucusu Gerald Cotten, Aralık 2018'de Hindistan'da bir yetimhane inşa ederken Crohn hastalığına bağlı komplikasyonlar nedeniyle hayatını kaybetmiştir. Platformun tüm varlıklarına tam erişim

hakkı sadece kurucuda bulunuyordu. Bu durum, anahtar insan riskinin, geleneksel finans firmalarıyla ilişkilendirilen kripto para piyasasında da geçerli olduğunu göstermektedir (Chohan, 2019; Goutte vd., 2019).

Kripto para alım-satım platformları, geleneksel finansın düzenleyici alanının dışında yer alan Mt. Gox ve Quadriga CX gibi iki büyük platformun yanı sıra, hırsızlık, dolandırıcılık, ani kapanmalar ve düzenleyici eylemler gibi bir dizi riskle karşı karşıyadır (Chohan, 2018). Bu tür yanlış uygulamalar insan davranışlarına (açgözlülük, rekabetçilik) dayandığından, kripto para birimlerinin itibarını zedeleyebilmektedir. En üst düzey alım-satım platformları, dolandırıcılık projelerinin yüksek riski nedeniyle herhangi bir yeni kripto para birimini kabul etmekte çok seçicidir (Goutte vd., 2019). Kripto para alım-satım platformları arasında işlem gören ve genellikle birkaç saat, bazen günler ve haftalar süren fiyatlarda büyük ve tekrarlayan sapmalar olabilir. Ayrıca, fiyat sapmaları ülkeler veya bölgeler arasında çok daha büyüktür (Makarov ve Schoar, 2020).

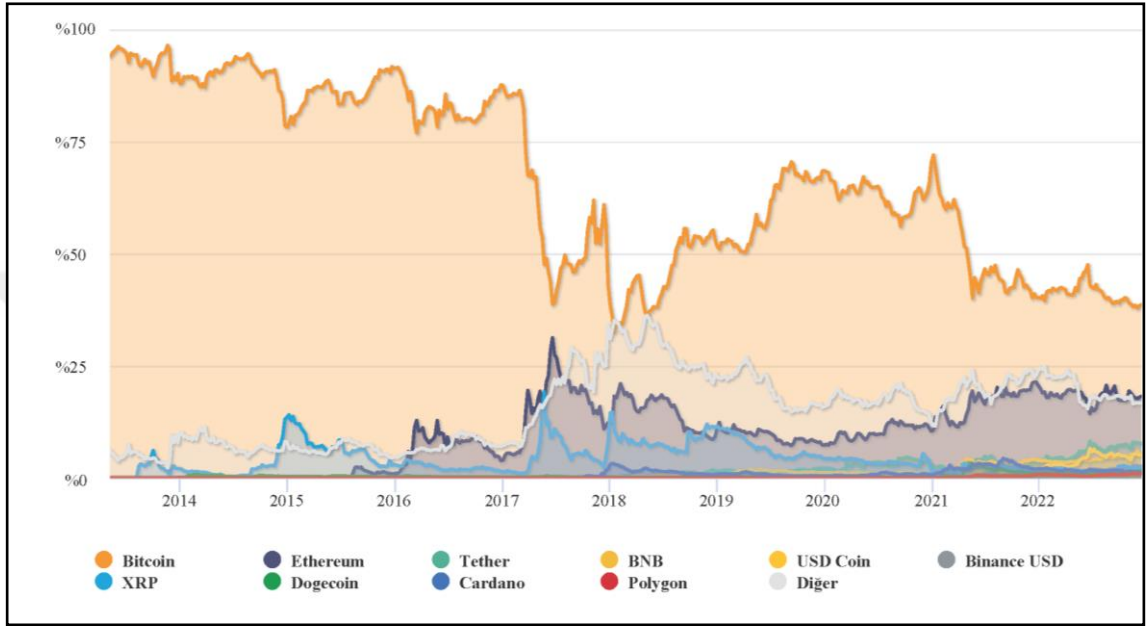
2.2. Kripto Paraların Özellikleri

Bitcoin'in ilk kez sunduğu blokzincir teknolojisi, finansal işlemlerde aracılara olan ihtiyacı ortadan kaldıracak özelliklere sahiptir (Brito vd., 2014). 2015 ve 2016 yılları, blokzincir teknolojisinin dikkat çekmeye başladığı zamanlardır. Böylece, Ethereum ve akıllı sözleşmelerin gelişimiyle birlikte, diğer birçok platformun ortaya çıktığı yeni bir dönem başlamıştır (Chowdhury, 2018). Bu çalışmanın amacına uygun olarak, bu başlıkta kripto paraların özelliklerine değinilecektir.

Kripto para birimlerinin hangi yatırım sınıfına ait olduğuna karar vermek zor olabilir. Sıklıkla “para birimi”, “dijital nakit”, “sanal para birimi”, “elektronik para birimi”, “dijital altın” ve daha yaygın olarak “kripto para birimi” kullanılmaktadır. Kripto paralar bazen emtia olarak kabul edilirken, bazen de menkul kıymet olarak sınıflandırılabilir. Kristjanpoller ve Minutolo (2018), oynaklığın⁴⁹ kripto paraların ayrılmaz bir parçası olduğunu ve bunun da pay senetlerine benzer şekilde çalışma

⁴⁹ Kripto para piyasası, birçok kripto para biriminin değerinde hızlı ve öngörülemeyen dalgalanmalara neden olabilen yüksek oynaklığıyla bilinmektedir. Bu sorunu çözmek için, değerlerini ABD doları, başka bir para birimi, bir emtia veya bir varlık sepeti gibi istikrarlı bir varlığa sabitleyen stablecoinler potansiyel bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Tether (USDT), özellikle kripto para piyasasının oynaklığı için geliştirilmiş bir stablecoin örneğidir.

olasılığını azalttığını belirtmektedir. Bununla birlikte, kripto paraların ne olduğu konusunda bir fikir birliği bulunmamaktadır. Corbet vd. (2020), kripto paraları oynaklıkları, kalıcılıkları, yoğun kuyruk davranışları ve spekülasyon balonlarına karşı savunmasızlıklarından dolayı finansal varlık olarak nitelendirmektedir. Dolayısıyla, kripto paralar alternatif yatırım aracı olarak değerlendirilebilir.



Şekil 11. Kripto paraların piyasa hakimiyeti

Kaynak: <https://coinmarketcap.com/charts/>

Bitcoin, kripto para birimleri arasında en popüler olanıdır ve hatta bütün sektörü ifade etmek için bile tek başına Bitcoin terimi kullanılmaktadır. Şekil 11’de görüldüğü gibi, 17 Kasım 2013’te Bitcoin, toplam piyasa değerinin yaklaşık %96’sını temsil ederken, özellikle 2017 yılında hızla yükselen diğer kripto para birimlerinin (örneğin, Ethereum, 2016 yılı başlarında %1 piyasa hakimiyetine sahipken, 18 Haziran 2017’de %31 piyasa hakimiyetine sahip oldu) de piyasada önemli bir pay sahibi olduğu görülmektedir. Bu nedenle, Bitcoin’in pazar payı 14 Ocak 2018’de %32 seviyelerine düşmüş, 11 Aralık 2022 itibarıyla ise, Bitcoin %38, Ethereum %18 ve Tether %7 piyasa hakimiyetine sahiptir. Dolayısıyla, piyasa hakimiyetindeki bu tür dalgalanmalar, kripto para birimleri arasındaki rekabetin bir göstergesidir.

Tablo 13. Kripto paraların piyasa bilgileri

İsim	Kısaltma	Fiyat (\$)	Piyasa Değeri (\$)	İşlem Hacmi (24 saat)	Dolaşımdaki Arz Miktarı
Bitcoin	BTC	16,958.96	325,977,551,783	19,200,393,444\$	19,222,656
Ethereum	ETH	1,282.51	156,955,317,890	6,064,427,192\$	122,373,866
Tether	USDT	1.00	65,365,355,020	26,016,833,189\$	65,362,681,003
BNB	BNB	290.13	46,411,951,203	868,264,233\$	159,970,178
USD Coin	USDC	1.00	43,174,797,561	2,409,107,479\$	43,172,503,842
Binance USD	BUSD	1.00	22,165,016,779	6,428,275,172\$	22,158,529,771
Ripple	XRP	0.3911	19,667,727,174	753,411,843\$	50,290,028,663
Dogecoin	DOGE	0.09893	13,125,517,488	742,812,034\$	132,670,764,300
Cardano	ADA	0.3192	10,994,878,868	191,457,237\$	34,446,609,258
Polygon	MATIC	0.9203	8,038,354,238	336,138,824\$	8,734,317,475
Polkadot	DOT	5.61	6,409,665,643	252,805,321\$	1,141,076,649
Dai	DAI	1.00	5,685,906,935	200,638,549\$	5,685,893,617
Litecoin	LTC	76.82	5,511,517,510	464,235,188\$	71,742,381
Shiba Inu	SHIB	0.000009249	5,078,254,845	107,986,137\$	549,063,278,876,302
TRON	TRX	0.05429	5,002,031,288	173,276,030\$	92,128,903,972

Kaynak: <https://coinmarketcap.com/>

Tablo 16, 2 Aralık 2022 tarihi itibarıyla toplam piyasa kapitalizasyonu yaklaşık 413 milyar dolar olan ve dolayısıyla kripto para birimlerinin toplam piyasa değerinin⁵⁰ yaklaşık %49'unu temsil eden kripto para birimlerinin çeşitli özelliklerini içermektedir. Tabloda piyasa değeri, 24 saatlik işlem hacmi ve dolaşımdaki arz miktarı yer almaktadır. BTC'nin piyasa kapitalizasyonu 325 milyar dolar iken ETH ikinci en büyük kripto para birimi olarak 156 milyar dolarlık bir piyasa kapitalizasyonuna sahiptir.

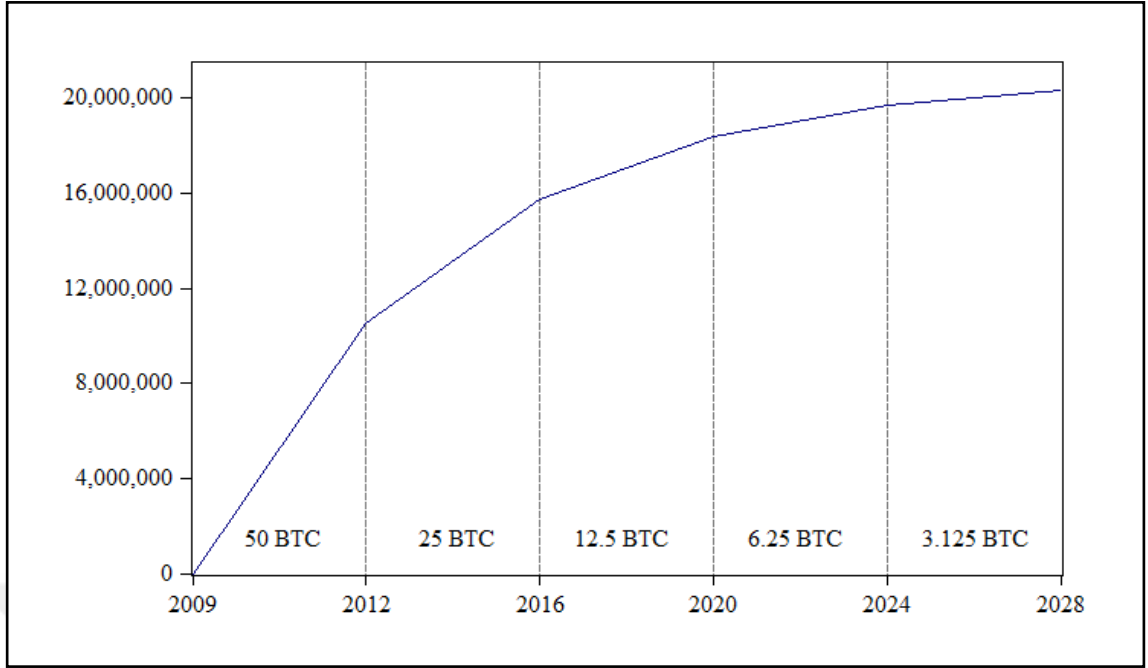
⁵⁰ 22,013 kripto para biriminin toplam piyasa değeri yaklaşık 842 milyar dolardır.



Şekil 12. BTC ve ETH günlük fiyat serisi

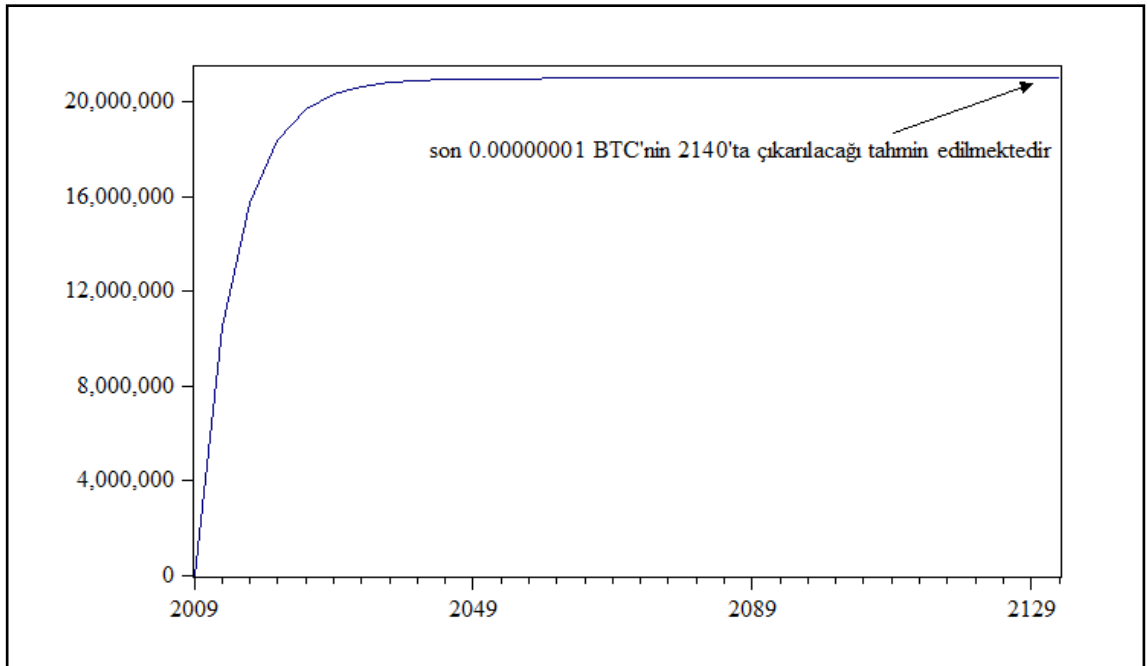
Kripto para piyasasında, 2017 yılının ilk çeyreğine kadar fiyatlar istikrarlı bir şekilde artarken, 2017 yılının sonuna kadar kripto para birimlerinin fiyatlarında hızlı ve önemli bir büyüme gerçekleşmiş, 2018 yılıyla birlikte fiyatlar tekrar düşmeye başlamıştır. 2021 yılına gelindiğinde ise kripto para birimleri tekrar fiyat artışı yaşamıştır. Şekil 12’de, BTC ve ETH’nin günlük fiyat serileri sunulmuştur. BTC için tüm zamanların en yüksek değeri 10 Kasım 2021’de 68,789.63\$ ile gerçekleşirken, ETH için tüm zamanların en yüksek değeri 16 Kasım 2021’de 4,891.70\$ ile gerçekleşmiştir. Ayrıca, BTC için ilk döviz kuru New Liberty Standart tarafından 2009 yılında hesaplanmış⁵¹ ve yayınlanmıştır. 1 ABD dolarını, 1 BTC çıkarmanın ortalama maliyetine bölen basit bir hesaplamadır (Caetano, 2015). 13 Aralık 2022 itibarıyla Bitcoin için en çok işlem gören ulusal para birimleri sırasıyla ABD doları (%70.29), Japon Yeni (%9.79), Kore Wonu (%7.30), Euro (%6.86), İngiliz Sterlini (%1.38) ve Türk Lirası (%1.32) olarak gerçekleşmiştir (Coinhills, 2022).

⁵¹ New Liberty Standart tarafından yayınlanan ilk oran 1 ABD doları için yaklaşık 1,309.03 BTC’dir.



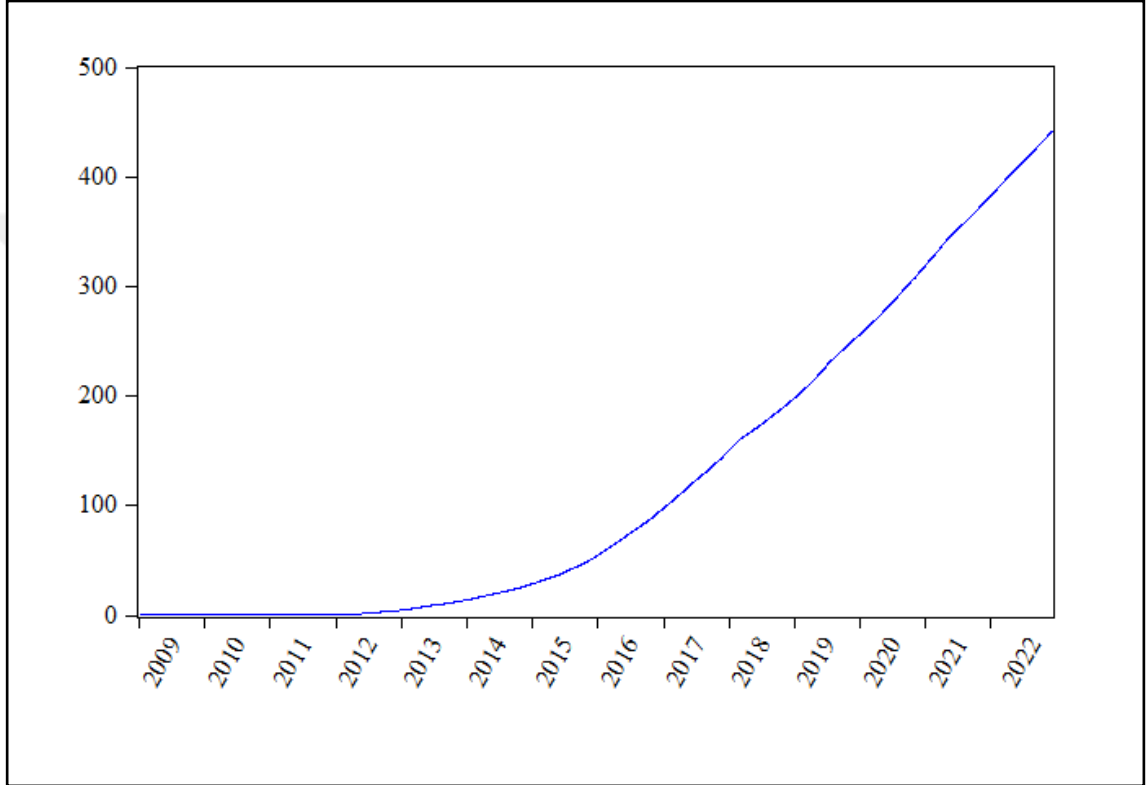
Şekil 13. Bitcoin'in zaman içinde ödül programı

Şekil 14, ödül programı kapsamında dolaşımdaki toplam BTC sayısını göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi, dolaşımdaki miktar zaman içinde artmakta ancak hızı yavaşlamaktadır. Çünkü Şekil 13'te gösterildiği gibi, blok ödülü düzenli aralıklarla yarılanmaktadır. Bu yarılanma süreci tahmini olarak her dört yılda bir gerçekleşir.



Şekil 14. Bitcoin'in yıllara göre ödül programı

BTC ağında madencilik yapmanın ödülü şu anda 6.25 BTC olup, bu da 13 Aralık 2022 tarihi itibarıyla yaklaşık 110,000 ABD dolara eşdeğerdir. Plana göre 21 milyon BTC'nin tamamı dağıtılacaktır ve 13 Aralık 2022 itibarıyla yaklaşık 19 milyon adet BTC dağıtılmıştır. Bu, çıkarılacak olan tüm BTC'lerin yaklaşık %90'ının zaten çıkarılmış olduğu anlamına gelmektedir. Benzer şekilde, ödül dağıtımının 2140 yılında sona ereceği tahmin edilmektedir.



Şekil 15. Bitcoin blokzincir boyutu

Şekil 15, Bitcoin blokzincirinin zaman içindeki büyümesini göstermektedir. 13 Aralık 2022 itibarıyla BTC blokzincirinin mevcut boyutu yaklaşık 442 GB'dir. Mevcut blokzincirine yaklaşık her 10 dakikada yeni bloklar eklenmektedir ve bir günde yaklaşık 144 blok üretilmektedir. Dolaşımdaki Bitcoin arzı gün içerisinde değişebilmektedir. Blokzincirin boyutu uzun vadeli kullanım için sorunlara neden olabilir. Bu durum yalnızca blokzincirdeki ağ trafiğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda yazılımı indirmek isteyenlerin kullanımını da zorlaştırır çünkü yeni kullanıcıların tüm blokzincirini indirmeleri gerekmektedir (Lee, 2015).

2.3. Kripto Para Piyasasının Davranışsal Finans Dinamiklerine İlişkin Literatür

Bitcoin, 2009 yılında oluşturulduğundan bu yana, kripto paralar finans alanında en popüler varlıklardan biri haline gelmiştir. Bu yeni varlıkla ilgili farklı alanlarda birçok teorik ve ampirik çalışma ortaya çıkmıştır. Corbet vd. (2019), akademik literatürdeki ilk tartışmaların kripto para birimlerinin yeni bir para birimi olup olmadığı ve finansal sistemdeki rolü hakkında olduğunu belirtmektedir. Merediz-Solà ve Bariviera (2019), yaptıkları bibliyometrik incelemede, makalelerin çoğunun etkin piyasa, volatilité, portföy optimizasyonu ve balon gibi kripto para birimlerinin finansal özelliklerine odaklandığını tespit etmişlerdir. Bu bağlamda yapılan literatür incelemesi sonucunda ilgili konularda yapılan çalışmaları, etkin piyasa, balon, volatilité ve davranışsal finans alt başlıklarında özetlenmektedir.

2.3.1. Etkin Piyasa Odaklı Çalışmalar

Geleneksel finans, bireylerin, şirketlerin ve piyasaların rasyonel olduğunu varsayar ve yatırımcıların, risk ve getiriye göre tüm alternatifleri değerlendirerek rasyonel davrandıkları noktasından hareket eder. Etkin piyasa hipotezi (EPH), fiyat hareketlerinin rastgele ve öngörülemez olduğunu, çünkü yeni bilgilerin fiyatlara hemen yansımaları öngörür. Başka bir deyişle, etkin bir piyasada, yatırımcılar anormal getiri elde edemez çünkü fiyatlar halihazırda piyasada bulunan bütün bilgileri yansıtmaktadır (Hidajat, 2019). Fama (1970), fiyatlar geçmiş fiyatların içerdiği bilgileri yansıtıyorsa zayıf formda etkin, fiyatlar kamuya açık tüm bilgileri yansıtıyorsa yarı güçlü formda etkin ve fiyatlar kamuya açık tüm bilgilere ilave özel bilgileri de yansıtıyorsa güçlü formda etkin olmak üzere üç farklı tür etkinliği tanımlamaktadır. Pay senedi piyasaları ve emtia piyasalarında EPH araştırmaları yaygın olarak yapılmıştır. Son zamanlarda ise kripto paralar ve özellikle Bitcoin için EPH araştırmaları artmıştır. Corbet vd.'ne (2019) göre etkinliğin derecesi, araştırılan örneklem süresi, verilerin kalitesi, veri sıklığı, kullanılan yöntem, araştırılan kripto para türü, vade ve likidite gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik arz etmektedir.

BTC'nin etkin piyasa hipotezine ilişkin temel çalışmalardan birisi Jakub (2015) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, BTC fiyatının tüm piyasa göstergelerinden

bağımsız olduğu ve içeriden öğrenenlerin ticaretinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Urquhart (2016) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise, BTC getirilerin örneklemin bütününde önemli ölçüde etkin olmadığı ortaya konulmuştur. Ancak, örneklem iki alt örnekleme bölündüğünde, bazı testler BTC'nin son dönemde etkin olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, BTC'nin etkin olmayan bir piyasada olduğu ancak etkin bir piyasaya doğru ilerleme sürecinde olabileceği sonucuna ulaşılmıştır. İlerleyen süreçte Nadarajah ve Chu (2017), Urquhart (2016) tarafından yapılan çalışmayı sekiz farklı test kullanılarak tekrarlanmış ve BTC getirilerinin aslında piyasa açısından etkin olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Benzer şekilde, Kurihara ve Fukushima (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, BTC getirilerinin gelecekte rastgele olacağını ve örnek döneminin ikinci yarısında anomalilerin ortadan kalktığı görülmüştür. Bu nedenle, piyasanın zaman içinde daha etkin hale gelme olasılığının var olduğu belirtilmiştir. Nan ve Kaizoji (2019) tarafından yapılan bir başka benzer çalışma, BTC'nin rastgele yürüyüş gösterdiğini ve FX serisi ile entegre olduğunu göstermektedir. Sonuçlar, zayıf formda ve yarı güçlü formda piyasa etkinliğinin göstergesi olarak yorumlanmıştır.

Lo (2005) tarafından yapılan çalışmada piyasaların zaman içinde geliştiği ve etkin piyasanın farklı zamanlarda derece olarak değiştiği ileri sürülmüştür. Bu değişimlerin olaylar ve yapısal değişiklikler nedeniyle gerçekleştiği belirtilmektedir. Khuntia ve Pattanayak (2020) çalışmasında, gün içi BTC getirilerinin zaman içindeki değişimine ve olayların gerçekleşmesine uyum sağlayabileceği ifade edilmektedir. Bu açıdan uzun hafıza özelliğinin tüm çalışma dönemi boyunca var olduğu ve zamanla dalgalandığı sonucuna varılmaktadır. Bundi ve Wildi (2019) tarafından yapılan çalışma, BTC'nin ilk günlerde etkin olmamasına rağmen, veri dönemi sonunda etkin piyasaya dönüştüğünü göstermiştir. Tiwari vd. (2018) çalışmasında ise, Nisan-Ağustos 2013 ve Ağustos-Kasım 2016 dönemleri dışında piyasanın büyük ölçüde etkin olduğu belirtilmektedir. Khuntia ve Pattanayak (2018) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, önemli olayların etkin veya etkin olmayan dönemlerle çakıştığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle, "BTC fiyat hareketi, EPH çerçevesinde ya etkin ya da etkin değildir" söyleminin pratikte doğru olmadığı, davranışsal önyargıların varlığı ve olayların gerçekleşme durumunun etkinliği değiştirebileceği belirtilmektedir.

Vidal-Tomás ve Ibañez (2018) Bitstamp ve Mt. Gox'taki günlük BTC fiyat getirilerinin yarı güçlü etkinliğini para politikası ve BTC haberlerini içeren bir olay

çalışması aracılığıyla incelemişlerdir. Sonuçlar, BTC getirilerinin hem olayın gerçekleştiği gün (AR₀) hem de bir zaman aralığında olumsuz durumlara hızlı bir şekilde yanıt verdiğini göstermektedir. Olumlu olayların önemli olduğu gözlenmiştir. Olumsuz olaylar ise durumu piyasadan (Bitstamp veya Mt. Gox) bağımsız olarak etkilemektedir. 2016-2017 yıllarında BTC'nin olağanüstü performansı ile bağlantılı olarak, yatırımcılar olumlu haberlere daha hızlı yanıt vermektedirler. Aynı zamanda, BTC'nin sadece kendi haberlerine yanıt vermesine rağmen uluslararası para politikasına yanıt vermediğini bulgulamışlardır. Başka bir deyişle, BTC merkez bankalarının politikalarından etkilenmeden, sadece kendine ait belirli bir haberin sonucuna bağlı hareket etmektedir. Alvarez-Ramirez vd. (2018) ise, BTC fiyatı düştüğünde getirilerin rastgele olduğunu, ancak tersine fiyatlar artarken getirilerin çok yüksek dalgalanmalar sergilediğini göstermiştir. Bu çalışma açısından özellikle, BTC'nin fiyatlar düştüğünde daha etkin bir piyasa özelliği gösterdiği raporlanmıştır.

Kristoufek (2018) çalışmasında BTC'yi hem USD hem de CNY piyasalarını inceleyerek, her iki piyasanın da 2010-2017 arasında çoğunlukla etkin olmadığına dair kanıtlar bulmuştur. Bu bulguya göre piyasalar, yalnızca balon benzeri fiyat artışlarının ardından soğuma sürecinde etkindir. Piyasanın derinleşmesi genellikle artan etkinliğe ve dolayısıyla BTC fiyatındaki istikrara yol açmaktadır. Cheah vd. (2018) BTC'nin bu açıdan yatırımcıların spekülasyon kâr elde etmesine olanak sağladığını, Kyriazis (2019a) ise son yıllarda etkin olmaya yönelik durumun spekülasyon için daha az kârlı yatırım stratejilerine yol açabileceğinden bahsetmektedirler. Aggarwal (2019) başka bir çalışmada, günlük BTC getirilerinin rastgele yürüyüş modelini takip etmediğini, ayrıca olumlu haberlerin olumsuz haberlere göre daha yüksek etkiye sahip olduğunu bulmuştur. Jiang vd. (2018) ise piyasanın etkin olmadığını raporlayan çalışmada, getiri serilerinin tüm örneklem dönemi boyunca güçlü bir kalıcılık gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır. Bu sonucu, BTC'nin gelişmekte olan bir piyasa olması, yatırımcıların mantıksız davranışları ve makul bir fiyatlandırma mekanizmasının bulunmamasıyla ilişkilendirmişlerdir.

Kripto para birimlerinin etkinliği üzerine yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğu, piyasadaki hakimiyeti nedeniyle BTC'ye odaklanmıştır. Bununla birlikte, altcoinlerin etkinliğinin araştırıldığı çalışmalar da bulunmaktadır. Altcoinleri de dikkate alan temel çalışmalardan biri, Caporale vd. (2018) tarafından yapılmıştır. Dört ana kripto para birimini (BTC, LTC, XRP ve DASH) analiz ettikleri çalışmalarında, geçmiş ve

gelecek değerler arasında pozitif bir ilişki olduğu ve zaman içinde değiştiği sonucuna ulaşılmıştır. Dolayısıyla, kripto para piyasasında anormal getiri elde etmek mümkündür. Burggraf ve Rudolf'un (2021) çalışması, kripto para birimlerinin beklenenden daha etkin bir piyasaya sahip olduğunu ve yüksek riskin daha yüksek getiri sağladığını göstermektedir.

Başka bir çalışmada, Kristoufek ve Vosvrda (2019), piyasa değeri 0.5 Milyar ABD dolarının üzerinde olan kripto paraları incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlar, ilk çıkan kripto paraların (tarihsel olarak en eskilerinin) dönem boyunca etkin olmadığını göstermektedir. Ancak, çoğu kripto para Temmuz 2017 ile Haziran 2018 arasında etkin bulunmuştur. En az etkin olanlar ETH ve LTC iken, DASH en etkin kripto para birimidir. Le Tran ve Leirvik (2020) özellikle 2017'den önce kripto paraların çoğunlukla etkin olmadığını, ancak 2017-2019 döneminde zamanla daha etkin hale geldiğini göstermişlerdir. Ortalama olarak, LTC en etkin kripto para birimi iken, XRP en az etkin kripto para birimidir. Aslan ve Sensoy (2020) ise BTC, ETH, XRP ve LTC gibi en yüksek piyasa değerine sahip kripto para birimlerinin zayıf formda etkinliğini gün içi verileri (1, 5, 10, 15, 30 ve 60 dakika) kullanarak araştırmıştır. Gün içi verilerin frekansları U-şeklinde bir kalıp sergilemektedir. Dolayısıyla, piyasa etkinliğini en üst düzeye çıkaran optimal bir gün içi örnekleme frekansı bulunmaktadır. Özellikle, 1 veya 60 dakika bazında işlem yaparak seçilen kripto paralardan anormal getiriler elde edilebildiği görülmüştür. Ancak, 5 veya 10 dakikalık frekanslarda emir veren yatırımcıların piyasanın üzerinde getiri elde etme olasılığı düşüktür.

Hashemi Joo vd. (2020) piyasa değeri açısından en büyük üç kripto para birimi olan BTC, ETH ve XRP için hem olumlu hem de olumsuz haberlerin anormal getirilerini ve kümülatif anormal getirilerini incelemiş, olayın gerçekleştiği gün (0. gün), yüksek anormal getiriler gözlemlemiştir. Ancak, olaydan sonraki 6 gün için CAR, kripto para piyasasının etkin olmadığını göstermektedir. Olumsuz olaylar için CAR'lar olumlu olaylardan daha büyük ve bu, piyasanın olumsuz olaylara olumlu olaylara göre daha güçlü bir tepki verdiğini göstermektedir. Özellikle, ETH olumlu olaylardan 6 gün sonra (0,6), neredeyse %15 CAR'a sahiptir. Bu durum, piyasanın en çok ETH ile ilgili haberlere tepki göstermektedir. XRP'nin, olumsuz olaylardan 6 gün sonra (0,6), %30'dan fazla CAR'a sahiptir ve bu durum, piyasanın en çok XRP için olumsuz haberlere tepki göstermektedir.

Vidal-Tomás vd. (2019a) tarafından yapılan bir çalışmada, seçilen tüm altcoinlerin 2015-2017, 2016-2017 ve 2017 dönemleri için zayıf formda etkin olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca, zayıf formda etkin olmamanın en büyük kripto para birimlerinin (BTC, ETH ve XRP) performansından kaynaklandığı görülmüştür. Ancak, eşit ağırlıklı piyasada etkin olmama durumunun tüm altcoinlerin fiyat davranışından kaynaklandığı belirtilmiştir. Sensoy (2019) tarafından yapılan bir çalışmada ise BTC/USD ve BTC/EUR piyasalarının 2016 başından itibaren gün içi seviyesinde daha fazla bilgi açısından etkin hale geldiği ve örnek dönemde BTC/USD piyasasının BTC/EUR piyasasından biraz daha etkin olduğu gösterilmiştir. Bu durumda, BTC/EUR piyasalarının gün içi seviyesinde daha kârlı bir yatırım fırsatı sağladığı söylenebilir. Ayrıca, likidite ile BTC fiyatlarının etkinliği arasında pozitif bir ilişki bulunurken, volatilité ile negatif bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

EPH uzun zamandır finans alanında önemli bir tartışma konusu olmuştur ve kripto para piyasası ile ilgili önemli bir akademik ilgi uyandırmıştır. Kripto para piyasasının etkinliğini inceleyen ampirik çalışmalar, piyasa etkinliğinin belirli bir dereceye kadar mevcut olduğunu gösteren kanıtlarla birlikte farklı bulgular ortaya koymaktadır. Bazı çalışmalar kripto para piyasasının etkin olduğunu öne sürerken, bazıları ise etkin olmadığını bulmuştur. Bu çalışmaların bir kısmı, geleneksel finansal varlıklara kıyasla doğası gereği daha yüksek derecede yenilik ve karmaşıklık sergileyen teknolojik ürünler olarak kripto paraların ayırt edici özelliğini vurgulamaktadır. Bazı çalışmalar kripto para piyasasının, kamuya açık bilgilerin varlık fiyatlarına hızla dahil edildiği, ancak özel bilgilerden veya piyasa anomalilerinden yararlanma fırsatlarının mevcut olduğunu savunmaktadır. Kripto para piyasasının etkin olmamasının nedenleri arasında, yeni ve hızla gelişen bir piyasa olması, kripto para birimlerinin geleceği hakkındaki belirsizlik, yatırımcıların ilgili riskleri ve ödülleri tam olarak anlamalarını zorlaştıran piyasasının karmaşık ve teknolojik bir ürün olması gibi nedenler gösterilmektedir. Özetle, kripto para piyasasında EPH'ne ilişkin sonuçlar farklılaşmaktadır.

2.3.2. Balon Olgusu Odaklı Çalışmalar

Yukarıda bahsedildiği gibi, EPH yatırımcıların rasyonel olduğunu ve piyasada fiyatların temel değerine yakın olduğunu varsaymaktadır. Bu durum, bir bakıma piyasada balonların ve çökmelerin meydana gelmeyeceğini ima etmektedir (Abreu ve

Brunnermeier, 2003). Balonlar, bir varlığın fiyatının hızla artması ve bu varlığın gerçek değerinden uzaklaşması durumunda ortaya çıkmaktadır (Phillips ve Yu, 2011). Son dönemde, kripto para piyasasına kamuoyunun ve medyanın ilgisinin artması nedeniyle (Corbet vd., 2019), hızlı fiyat artışının yaşandığı dönemler ve ardından keskin düşüşlerin yaşandığı ve spekülasyonun arttığı gözlenmiş, bu nedenle kripto para piyasasının spekülatif balonlar sergileyip sergilemediğini araştıran çalışmalar yapılmıştır. Cheah ve Fry (2015) tarafından yapılan çalışmada, BTC'nin spekülatif balonlara eğilimli olduğu rapor edilmiştir. Cheung vd. (2015), BTC'nin içsel bir değerinin olmaması sonucunda balonların oluşabileceğinden bahsetmektedir. Hafner (2020) ve Gronwald (2021) ise, kripto para birimlerinin temel değerini ölçmenin zorluğunu ve spekülatif balonların test edilmesindeki sorunları vurgulamaktadır. Çalışmada, kripto para birimlerinin temel değerinin belirlenmesinin zor olduğu ve dolayısıyla balon terimi kullanılırken dikkat edilmesi gerektiği konusunda uyarılarda bulunmaktadır.

Hencic ve Gouriéroux'e (2015) göre, BTC/USD döviz kuru bağlamında balonlar, spekülatif ticaretten kaynaklanabilir ancak trendin BTC'nin temel değerini temsil edip etmediğini söylemek zordur. Çalışmada ayrıca, büyük BTC sahiplerinin spekülatif davranışlarına karşı daha iyi korunması için gözetim ihtiyacının olduğu vurgulanmaktadır. Geuder vd. (2019), BTC'nin ortak ve tekrarlayan bir özelliği olarak balon davranışını vurgulamaktadır. Ancak Fendi vd. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, 2018'den 2019'a kadar olan BTC verileri incelendiğinde, spekülatif balonun varlığına dair önemli bir ampirik kanıt bulunamamış ve BTC'nin bir para biriminden ziyade bir yatırım aracı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Cerecedo Hernández vd. (2019), balonların sadece BTC gibi tek bir varlıkta değil, aynı zamanda tüm kripto para piyasasında mevcut olabileceğini ortaya koymuştur. Çalışmada, ETH için 2 aydan uzun süren 10, XRP için 1 aydan uzun süren 7, BCH için 6 ve EOS için 1 aydan uzun süren 7 balon tespit edilmiştir. Fry ve Cheah (2016), BTC ve XRP için balon kanıtını tespit etmiştir. Çalışmada özellikle, Mart 2013'te BTC yazılımındaki teknik bir aksaklık, Ekim 2013'te yasadışı Silk Road web sitesinin kapatılması ve Çin Halk Bankası'nın finans kurumlarının BTC kullanmasını yasaklamasının balon oluşumunda etkili olduğu rapor edilmiştir. Corbet vd.'de (2018) BTC ve ETH için benzer sonuçlar rapor etmiştir. Agosto ve Cafferata (2020), yapılan birim kök testleri sonucunda BTC, ETH, XRP, LTC ve XLM gibi beş kripto para

biriminde, özellikle 2017 yılının ortası ve sonunda ve 2018 başında, balon kanıtı bulmuşlardır. Benzer şekilde, Cagli (2019), XEM dışındaki tüm kripto para birimlerinin (BTC, ETH, XRP, LTC, XLM, DASH ve XMR) balon davranışı sergilediğini ve aralarında çift yönlü önemli ilişkiler olduğunu ortaya koymuştur. Başka bir çalışmada Enoksen vd. (2020), 2017 ve 2018 yılı başlarında sekiz kripto para birimi (BTC, ETH, XRP, LTC, XMR, DASH, XEM ve DOGE) için birden fazla balon dönemi tespit etmişlerdir. Çalışmada, yüksek volatilité, işlem hacmi ve işlem sayısının balonların varlığı ile olumlu ilişkide olduğu görülmüştür. Bu durumda, bilgisiz yatırımcıların yüksek belirsizliği algıladıklarında balon olasılığının arttığı, ancak profesyonel yatırımcıların yüksek belirsizliği algıladıklarında daha ihtiyatlı olup balon olasılığını azalttıkları sonucuna varılmıştır. Fry (2018) ise, BTC ve ETH fiyatlarının önemli kısmında balonların bulunduğunu, ancak XRP'nin fiyatlarının bir balon olduğuna dair hiçbir kanıt bulunmadığını ortaya koymuştur.

2.3.3. Volatilité (Oynaklık) Odaklı Çalışmalar

Finansal zaman serileri genellikle, büyük getirilerin büyük getirileri, küçük getirilerin küçük getirileri takip etme eğiliminde olduğu volatilité kümelenmesi (volatility clustering veya volatility pooling) eğilimi sergilerler (Brooks, 2014). Finansal varlıkların getirileri zaman içinde değişen volatilité (oynaklık) eğilimindedir, dolayısıyla piyasalar belirli dönemlerde daha sakin, diğer dönemlerde ise daha çalkantılı olabilir. Yüksek volatilité seviyeleri sadece büyük kazançları değil, aynı zamanda büyük kayıpları da beraberinde getirir ve daha büyük riskler oluşturur. Kripto para birimleri ise, geleneksel finansal varlıkların aksine, çatallanma, fiyat manipölasyonu, hacklenme gibi birçok ek risk kaynakları ile karşılaşmaktadır ve bu da volatilitéye katkıda bulunmaktadır (Corbet vd., 2019). Örneğin, Bazán-Palomino (2021), BTC çatallanmasının volatilitéye katkısının, bir çatallanmanın ortaya çıkmasından sonraki ilk iki ayda daha güçlü ve sonrasında düşük olduğunu bulmuştur.

Bouri vd. (2019) genel olarak, BTC'nin fiyat oynaklığındaki şokların kalıcı olduğunu ve serinin uzun bellek özelliği taşıdığını tespit etmiştir. Cermak (2017), BTC'nin para birimi olarak işlevini yerine getiremediğini ve bu duruma fiyat oynaklığının en büyük engel olduğunu belirtmektedir. Baur ve Dimpfl (2017), BTC'nin oynaklığının ABD doları, euro ve Japon yenine kıyasla aşırı yüksek (30 kat daha büyük)

olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, yüksek oynaklık seviyelerinin piyasada güvenilir bir takasın mümkün olmasını engellediği, değer deposu ve hesap birimi işlevlerini olumsuz yönde etkilediğini belirtmektedir. Chu vd. (2017), kripto para birimlerinin aşırı oynaklık özelliklerinin risk arayan yatırımcılar için ilginç hale geldiğini rapor etmiştir. Goutte vd. (2019), kripto para birimlerinin yaşayabileceği aşırı oynaklığın genellikle düzenleme eksiklikleri ve siber suçlarla ilişkili olduğunu belirtmiştir. Liu ve Tsyvinski (2021) ise oynaklığın kripto para piyasasına özgü faktörlerle belirlendiğini ek olarak yatırımcının da zaman serisi momentum etkisi gibi davranışlarına bağlı olarak oynaklığa katkıda bulunduğunu belirtmiştir.

Kripto para piyasasında (özellikle BTC) oynaklığı ele alan temel çalışmalardan biri Dyhrberg (2016) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, BTC'nin risk yönetiminde faydalı olabileceği ve riskten kaçınan yatırımcılar için ideal olabileceği bulunmuştur. BTC'nin altın ve ABD doları arasında bir nitelikte sınıflandırılabilmesi; Baur vd. (2018) ise BTC'nin altın ve ABD dolarına kıyasla belirgin bir şekilde farklı getiri, oynaklık ve korelasyon özellikleri sergilediğini göstermektedir. BTC'nin aşırı getirileri ve oynaklık özellikleri, altın veya ABD dolarından çok yüksek spekülasyon bir varlığa benzemektedir. Başka bir çalışmada, Telli ve Chen (2020) BTC'nin tüm zaman serilerinde altından daha güçlü kalıcılığa sahip olduğunu belirtmişlerdir. Buradan hareketle BTC'nin altından daha riskli olduğu tespitinde bulunmuşlardır. Aynı çalışmada, altın getirileri tahmin edilemezken, BTC getirilerinin tahmin edilebilir olduğu bulunmuştur. Klein vd. (2018) ise, fiyat artışlarının oynaklığın artmasına neden olduğunu ve BTC'nin başka hiçbir geleneksel varlık gibi olmadığını raporlamışlardır.

Kripto para birimlerine yönelik büyük ilgi göz önüne alındığında, volatilitiyi etkili bir şekilde tahmin etmek için uygun modellerin seçilmesi kritik önem taşımaktadır. Köchling vd.'ne (2020) göre, tek bir GARCH benzeri modeli kesin olarak iyi bir tahmin aracı olarak seçmek zor bir iştir. Bu konuyla ilgili ilk çalışmalardan birisi Katsiampa (2017) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, BTC'nin oldukça spekülasyon olduğu belirtilmiş ve en iyi modelin koşullu varyansın hem kısa hem de uzun vadeli bileşenlerini dahil etmenin önemini vurgulayan AR-CGARCH modeli olduğu ortaya konmuştur. Chu vd. (2017) ise çeşitli GARCH sınıfı modelleri kullanarak en çok işlem gören yedi kripto para biriminin (BTC, DASH, LTC, MAID, XMR, DOGE, XRP) oynaklığını araştırdıkları çalışmada, IGARCH ve GJRARCH modellerinin oynaklığı modellemede en iyi uyumu

sağladığını göstermişlerdir. Peng vd. (2018), geleneksel GARCH modelini makine öğrenimi yaklaşımıyla birleştirdikleri çalışmalarında, ortalama ve varyans denklemlerini Support Vector Regression (SVR) kullanarak tahmin etmişler ve sonuçları GARCH, EGARCH ve GJRARCH modelleriyle karşılaştırmışlar, elde edilen sonuçlar, SVR-GARCH modellerinin diğer modellerden daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, Klein vd. (2018) BTC fiyat artışlarının volatilitiyi arttırdığını ve BTC'nin başka hiçbir geleneksel varlıkla benzemediğini raporladıkları çalışmalarında, log-likelihood ve bilgi kriterleri açısından en uygun modelin FIAPARCH olduğunu tespit etmişlerdir.

Ngunyi vd. (2019), GARCH tipi modeller arasında doğrudan bir tercihi garanti etmemekle birlikte, asimetrik GARCH modellerinin uzun bellek özelliği ve kalın kuyruk dağılımları nedeniyle genel olarak tüm kripto para birimleri için daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Gyamerah (2019) ise çoğu kripto para biriminin zaman serilerinin leptokurtik olduğu için, GARCH tipi modellerde Normal Inverse Gaussian (NIG) dağılımının kullanılmasının en uygun olacağını ifade etmektedir. Ayrıca, getiri oynaklığının değerlendirildiği üç farklı GARCH modeli (GARCH, IGARCH ve TGARCH) kullanılarak yapılan çalışmada, BTC getiri serilerinde zamana bağlı değişkenliği tahmin etmek için en uygun model olarak TGARCH belirlenmiştir. Dolayısıyla, yatırımcıların aynı miktarda iyi ve kötü haberlere vermiş oldukları tepki farklıdır. Benzer şekilde, Franke vd. (2019) beş ARIMA-GARCH modeli arasında hem değerlendirme kriterlerine hem de parametre tahminlerinin önemine göre, ARIMA-TGARCH modelinin diğer modellerden daha iyi performans gösterdiğini rapor etmişlerdir.

Bouoiyour ve Selmi (2016) tarafından yapılan çalışmaya göre, BTC fiyatı pozitif şoklara (iyi haberler) tepki göstermek yerine negatif şoklara (kötü haberler) daha fazla tepki göstermektedir. Benzer şekilde, Zhou (2021), BTC oynaklığının negatif şoklardan daha güçlü bir şekilde etkilendiğini bulmuştur. Zargar ve Kumar (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, yüksek frekanslı veriler kullanılarak farklı zaman dilimlerinde (15 dakika hariç) negatif şokların oynaklık üzerinde pozitif şoklardan daha fazla etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. Ahmed (2020) ise, pozitif bilgi şoklarının oynaklığı negatif bilgi şoklarından daha fazla artırdığını bulmuştur. Benzer şekilde, Wajdi vd. (2020) özellikle pozitif şokların oynaklığı negatif şoklardan daha fazla artırdığını bildirmektedir.

Fakhfekh ve Jeribi (2020) tarafından yapılan başka bir çalışmada, TGARCH modelinin en uygun model olduğu tespit edilmiş ve volatilitenin negatif şoklardan ziyade pozitif şoklara tepki olarak arttığı bulunmuştur. Pozitif şoklara tepki olarak ortaya çıkan oynaklıktaki artış, bilgisiz yatırımcıların sürü davranışından kaynaklanabilir. Baur ve Dimpfl (2018) de, kripto para piyasasında pozitif şokların volatilitiyi negatif şoklardan daha fazla arttırdığını tespit etmişlerdir. Dolayısıyla, volatilitenin genellikle pozitif şokların ardından artmaktadır. Pozitif şoklarla artan volatilitenin, bilgisiz yatırımcıların sürü davranışından kaynaklandığı ve yükselen kripto para birimi değerlerini ve pompala-boşalt (pump-and-dump) planlarını kaçırmaktan korktukları için satın alma yoluyla açıklanabileceği, negatif şoklar karşısında daha düşük volatilitenin ise bilgili yatırımcıların daha dikkatli yaklaşımıyla açıklanabileceği belirtilmektedir. Wang vd. (2021) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise, BTC'nin tersine çevrilmiş (pozitif) bir asimetric oynaklık etkisi ile karakterize edildiği ve oynaklığın kötü haberlere (negatif şoklar) göre iyi haberlere (pozitif şoklar) yanıt olarak daha fazla arttığı gösterilmiştir. Özellikle, bilgisiz yatırımcıların yükselen piyasalarda fiyatları yükseltme korkusuyla yatırım yapması durumunda, oynaklık düşen piyasalarda var olduğundan daha fazla artacaktır. Bu durumda, bilgisiz yatırımcılar BTC için hala önemli bir rol oynamaktadır.

Trucíos'un (2019) çalışmasında, BTC için en iyi oynaklık tahmin modelinin GED dağılımına sahip AVGARCH olduğu tespit edilmiştir. Barjašić ve Antulov-Fantulin (2021) çalışması, BTC'nin dakika fiyatı getirileri için GARCH(1,1) modelinin en iyi sonucu verdiğini göstermektedir. Hung vd. (2020) ise RGARCH modelinin, standart GARCH modeline göre daha iyi performans gösterdiğini belirtmektedir. Başka bir çalışmada, Qi vd. (2020) EGARCH modelinin en iyi model olduğunu bulmuşlardır. Basir vd. (2020) ise CGARCH, EGARCH ve GJRARCH modelleri arasından CGARCH'ın (en düşük AIC, SIC ve en yüksek log-likelihood) volatilitenin sürecini daha iyi açıkladığını göstermektedir. Charles ve Darné (2019) çalışmalarında, BTC volatilitesinin en iyi AR(1)-CGARCH tarafından modellendiği bulunmuştur. Troster vd. (2019) çalışmaları genel olarak kalın kuyruklu GAS modellerinin BTC getirileri ve riski için en iyi uyum ve örneklem dışı tahmin performansına sahip olduğunu göstermektedir.

John vd. (2019), BTC, LTC ve XRP için PGARCH modelinin; Kaya Soylu vd. (2020) ise, BTC için HYGARCH modelinin, ETH ve XRP için FIGARCH modelinin en uygun model olduğunu tespit etmişlerdir. Tiwari vd. (2019), BTC için en iyi modelin SV,

LTC için ise GARCH olduğunu tespit etmişlerdir. Mensi vd. (2019), yapısal kırılmalı FIGARCH modelinin nispeten daha üstün bir tahmin doğruluğu performansı sağladığını tespit etmişlerdir. Frascaroli (2020) tarafından iki farklı rejime ayrılan verilerin birinci rejiminde ARMA (2,1)-EGARCH (1,1), ikinci rejiminde ARMA (1,1)-GJRARCH (2,1) en uygun model olarak bulunmuştur. Mighri ve Alsaggaf (2019), DCC MGARCH modelinin diğer modellere göre tercih edildiğini göstermektedir. Caporale ve Zekokh (2019) tek rejimli GARCH modellerinin kullanılmasının yanlış VaR ve ES tahminleri verebileceğini belirtmişler; Nekhili ve Sultan (2020) ise, SVCJ modelinin, VaR ve ES tahminlerinin istatistiksel doğruluğu açısından TGARCH ve RiskMetrics modelleri gibi alternatif modellere kıyasla üstün olduğunu göstermektedir.

BTC için temel çalışmalardan bir diğeri, Balcılar vd. (2017) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, piyasanın normal modda çalıştığı durumlarda hacmin getirilerin tahmin edilmesinde kullanılabileceği ve bu şekilde BTC için yatırımcılara değerli tahmin imkânı sağlayabileceği belirtilmektedir. Ancak, piyasanın iyi veya kötü performans gösterdiği durumlarda, geçmiş değerlerin önemli olduğu ve dolayısıyla hacim hakkındaki bilginin önemsiz olduğu tespit edilmiştir. Ciaian vd. (2018), BTC işlem talebinin ve spekülasyon talebin fiyat oluşumu üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Katsiampa (2019a) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, ele alınan beş kripto para biriminin tümünün koşullu varyanslarının hem önceki karesel hatalardan hem de geçmişteki koşullu oynaklıklardan önemli ölçüde etkilendiği gösterilmiştir. Aalborg vd. (2019) geçmiş oynaklıkların gelecekteki oynaklığı tahmin etmek için her zaman çok önemli olduğunu bulmuştur. Corsi'nin (2009) çalışmasını takip etmişler ve modellerine geçmiş günlük, haftalık ve aylık oynaklıkları dahil etmişlerdir. Günlük oynaklığın BTC işlem hacmi ile ilişkili olduğunu ve tahmin edilebileceğini, haftalık oynaklığın ise tahmin edilemeyeceğini bulmuşlardır. Catania ve Sandholdt (2019) ise, BTC için volatilitenin öngörülebilirliğinin zamanla arttığını ve öngörülebilirliğin tahmin ufkuna göre değiştiğini göstermişlerdir.

Antonakakis vd. (2019), kripto para fiyatları arasındaki ilişkinin yüksek oynaklık dönemlerinde, ılımlı oynaklık dönemlerine kıyasla daha güçlü olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca ETH'nin diğer kripto para birimleri üzerinde BTC'den daha büyük bir etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır. Ji vd. (2019) ise, BTC'nin gelişen kripto para piyasasında baskın rolünü kaybettiğini tespit etmiştir. Katsiampa (2019b) tarafından gerçekleştirilen bir

başka çalışmada, BTC ve ETH arasındaki oynaklık dinamikleri incelenmiş ve iki kripto para arasındaki bağlantılar ve koşullu korelasyonlar belirlenmiştir. Ayrıca, Katsiampa vd. (2019) fiyat oynaklığının kendi geçmiş şoklarına ve geçmiş oynaklığına bağlı olduğu tespit edilmiştir. Wang ve Ngene (2020), BTC'nin hem ayı hem de boğa piyasalarındaki fiyat hareketlerinde baskın bir role sahip olduğunu tespit etmiştir. BTC'nin gün içi gecikmeli şoklarının ve volatilitenin diğer kripto para birimlerinin koşullu volatilitesi üzerindeki etkisinin, diğer kripto para birimlerinin BTC'nin koşullu volatilitesi üzerindeki etkisinden daha hızlı ve daha istikrarsızlaştırıcı olduğunu bulmuşlardır.

Koutmos (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, 18 büyük kripto para birimi arasındaki getiri ve volatilité yayılmaları ölçülmüştür. Çalışmada, BTC'nin tüm kripto para birimleri arasında getiri ve volatilité yayılmalarının baskın olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, getiri ve oynaklık yayılmaları zaman içinde istikrarlı bir şekilde artmıştır. Bu bulgular, kripto para birimleri arasındaki karşılıklı bağımlılığın arttığını ve buna bağlı olarak daha yüksek derecede bulaşma riskinin olduğunu göstermektedir. Kyriazis (2019b) ise, ETH, LTC ve XRP'nin BTC ile en önemli bağlantıları sunduğunu, getiri yayılmalarının daha belirgin olduğunu ancak oynaklık yayılmalarının genellikle çift yönlü bir karakter sergilediğini belirtmektedir. Moratis (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, BTC'nin kripto para piyasasının yayılma riskine büyük ölçüde katkıda bulunan en bağlantılı kripto para olduğu tespit edilmiştir. Canh vd. (2019) ise yedi kripto para birimini (BTC, LTC, XRP, XLM, XMR, DASH ve BCN) inceleyerek, daha küçük kripto paralardan (piyasa değeri olarak) daha büyük kripto paralara volatilité yayılımı tespit etmişlerdir. Bu bulgular, kripto para piyasasının kendi içinde risk çeşitlendirme kapasitesinin olmadığı ve daha küçük kripto paraların manipüle edilme riskinin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Benzer bir çalışmada Kyriazis vd. (2019), kripto para birimlerinin çoğunluğunun BTC, ETH ve XRP ile tamamlayıcı olduğunu ve sıkıntılı zamanlarda ana kripto paralar arasında herhangi bir çeşitlendirme yeteneğinin bulunmadığını tespit etmişlerdir.

Kumar ve Anandarao (2019) tarafından yapılan çalışmada, GARCH ve dalgacık yöntemleri kullanılarak kripto paraların kısa vadede orta derecede ilişkili olduğu ve volatilité yayılımının BTC fiyatlarındaki şoklardan ve diğer dışsal olaylardan etkilendiği tespit edilmiştir. Liu ve Serletis (2019) ise genel olarak önde gelen kripto paralar arasında önemli şok ve oynaklık aktarımı bulmuşlardır. Ayrıca, kripto para piyasasının ABD'deki

diğer finansal piyasalara ve diğer önde gelen ekonomilere (Almanya, İngiltere ve Japonya) yayılma etkileri tespit edilmiştir. Dolayısıyla, kripto para piyasası geliştikçe kripto paraların finansal piyasalarla entegrasyonu artmaktadır. Benzer şekilde, Palamalai ve Maity (2019), kripto paralar arasında çift yönlü volatilité yayılımı etkileri ve piyasa entegrasyonu tespit etmişlerdir. Conrad vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada ise, S&P 500 endeksinde gerçekleşen oynaklığın uzun vadeli BTC oynaklığı üzerinde olumsuz ve oldukça önemli bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla, BTC oynaklığının küresel ekonomik faaliyetle yakından ilişkisi bulunmaktadır. Malladi ve Dheeriy (2021) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, önceki günün XRP getirilerinin, o günün BTC getirileri üzerinde önemli ve pozitif bir etkisi olduğu ve BTC getirisinin S&P 500'ün piyasa getirilerinden etkilenmediği raporlanmıştır.

3.3.4. Davranışsal Finans Odaklı Çalışmalar

Geleneksel finans bireylerin, şirketlerin hatta piyasaların rasyonel olduğunu varsaymaktadır. Bu varsayım, portföy teorisi, sermaye varlık fiyatlama modeli ve etkin piyasa hipotezinin yanı sıra geleneksel finansın temellerinden biridir (Statman, 2008). Daha önce (etkin piyasa bölümünde) bahsedildiği gibi etkin bir piyasada, yatırımcılar fiyatların halihazırda piyasada bulunan bilgileri yansıttığı için anormal getiri elde edemezler. Ancak, yapılan çalışmalarda kripto para piyasasında belirli dönemlerde anormal getirilerin olduğu tespit edilmiştir. Bu tür sapmalar anomali olarak adlandırılır ve literatürde takvim (mevsim) anomalileri ve fiyat anomalileri olarak iki grupta incelenmektedir. Fonseca vd. (2020) deneyimsiz yatırımcıların kripto para piyasasında yüksek bir paya sahip olmasıyla davranışsal önyargılara daha eğilimli olunabileceğini belirtirken, Lehman (2017) davranışsal perspektiflerin kripto para birimi fenomenini açıklamak için daha uygun olduğunu savunmaktadır.

Geleneksel finansın aksine insanların para harcarken, yatırım yaparken, tasarruf ederken ve borç alırken neden ve nasıl irrasyonel kararlar aldığını finans ve psikolojinin bileşimi olan davranışsal finans dinamikleriyle açıklanması oldukça geniş kapsamlı ve birçok teorik arka plana sahip bir alandır (Belsky ve Gilovic, 2010). Çalışmanın bu kısmında, kripto para piyasasının davranışsal finans teorisi kapsamında analizini yapan çalışmalar çoğunlukla takvim anomalileri ve sürü davranışı üzerinde şekillenmiştir. Takvim anomalileri, günlük, haftalık, aylık, yıllık, saatlik veya belirli bir dönemde oluşan

anomaliler olarak tanımlanır. Örneğin, Heston ve Sadka (2008) tarafından yapılan çalışmada, en yüksek ortalama aynı takvim ayı getirisine sahip varlıkların gelecekte daha yüksek performans eğiliminde olduğu belirtilmiştir. Long vd. (2020) de benzer bulguları kripto para piyasası için raporlamıştır. Basitçe ifade etmek gerekirse, yatırımcılar pazartesi günü yatırım yapmayı planlıyorsa, geçmişte pazartesi günleri en yüksek getiriyi sağlayan varlıkları kontrol etmelidirler.

Kripto para piyasasında yapılan çalışmalar, haftanın günü (day of the week) etkisi konusunda önemli sonuçlar ortaya koymaktadır. Bu konuyla ilgili ilk çalışma Décourt vd. (2017) tarafından yapılmıştır. Çalışma, BTC'nin etkin bir piyasaya sahip olmadığını ve yüksek anormal getiriler oluşturma fırsatı sunduğunu; salı ve çarşamba günlerinin diğer günlere oranla daha yüksek getirilere sahip olduğunu tespit etmiştir. Mbanga (2019), BTC fiyatlarının tam sayılar ve haftanın her günü 0.99 ondalık sayılarla biten fiyatlar etrafında kümелendiğini ve bu kümelenmenin cuma günleri daha güçlü ve pazartesi günleri daha zayıf olduğunu raporlamıştır. Yaya ve Ogbonna (2019) ise getirilerde haftanın günü etkisinin önemsiz olduğunu ancak sadece BTC'nin oynaklığında pazartesi ve cuma etkilerinin varlığına yönelik olası kanıtlar bulunduğunu tespit etmişlerdir.

Ma ve Tanizaki (2019a) tarafından yapılan bir çalışmada, BTC piyasalarının döviz seviyesi üzerindeki haftanın günü etkisi incelenmiş ve pazartesi etkisinin oldukça önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, çarşamba günleri düşük ortalama getiri seviyelerini göstermektedir. Ma ve Tanizaki'nin (2019b) başka bir çalışmasında ise, pazartesi ve perşembe günlerinde önemli ölçüde yüksek oynaklık gözlemlenmiş ve hafta içi her gün için en yüksek getirinin pazartesi, en düşük getirinin ise çarşamba günü olduğu tespit edilmiştir. Aharon ve Qadan'ın (2019) çalışmasında ise, haftanın günü etkisinin hem BTC'nin getirisi hem de oynaklığı üzerinde olduğu gösterilmiştir. Pazartesi günleri diğer hafta içi günlerine kıyasla daha yüksek getiri ve oynaklıkla ilişkilidir. Hafta sonları çok az ilgi çekmesine rağmen, pazartesi, salı ve çarşamba günleri ilginin arttığı görülmüştür.

Baur vd. (2019) düşük aktivite gösteren tüm alım-satım platformlarında yerel akşam saatleri ve hafta sonlarında faaliyetlerde farklılıklar bulmuştur. Avrupa'daki alım-satım platformlarının açık olduğu zamanlarda BTC ticareti artarken, gece yarısı ve sabah erken saatlerde (yerel saat) çoğu alım-satım platformunda ticaret faaliyeti daha düşük bulunmuştur. Böylece, haftanın günü ve yılın ayında getirilerde kalıcı bir anormallik

olmadığı gösterilmiştir. Sonuçlar, kripto para piyasalarının en azından zayıf formda etkin olduğu görüşünü desteklemektedir. Kinatader ve Papavassiliou'nun (2021) çalışmasında cadılar bayramı ve haftanın günü anomalisi kanıtlanamamıştır. Ancak, hafta sonları önemli ölçüde daha düşük risk içermektedir. BTC, eylül ayında ve cumadan pazara kadar daha az oynaklığa sahipken, hafta başında oynaklığı daha yoğundur. Plastun vd. (2019) çalışmasında, BTC getirilerinin temmuz ve ağustos aylarında diğer aylara göre anormal derecede düşük olduğu, mart ve ekim aylarında ise getirilerin diğer aylara göre 3-4 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

BTC üzerine yapılan çalışmaların yanı sıra altcoinleri de inceleyen çalışmalar mevcuttur. Örneğin, Dorfleitner ve Lung (2018) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, BTC, LTC, DASH, ETH, XRP, XMR, XLM ve XEM gibi sekiz kripto para biriminin getirileri incelenmiştir. Çalışma bulguları, pazar günleri getirilerin diğer günlerden önemli ölçüde düşük olduğu, en yüksek getirilerin ise genellikle salı ve cuma günleri gözlemlendiğini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak yazarlar, pazar günleri en düşük getiriyi sunsa bile, kripto para birimlerinin o günün sonunda satın alınması ve önceden satılması gerektiğinden bahsetmektedirler. Ayrıca çalışma sonuçları, pazar günlerinde işlem yapmak, düşük getiriden yararlanmakla birlikte, kripto para birimlerinin oynaklığı çoğu durumda önemli ölçüde düşük olması nedeniyle daha az risklidir.

Caporale ve Plastun (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, BTC, LTC, XRP ve DASH için yapılan incelemeler sonucunda, haftanın diğer günlerine kıyasla sadece BTC için pazartesi günlerinde daha yüksek getiriler elde edildiği tespit edilmiştir. Bu anomaliye dayalı bir yatırım stratejisi kullanılarak, örnekleme süresi boyunca (2013-2017) rastgele yatırımlardan daha fazla getiri elde edilmiştir. Robiyanto vd. (2019) ise BTC için yatırımcıların ocak ayı sonunda yatırım yapması ve şubat ayı sonunda satması gerektiğini, günlük alım satım yapan yatırımcılar için ise pazartesi, çarşamba ve perşembe günlerinin daha yüksek getiri potansiyeli taşıdığını belirtmiştir. LTC için ise, şubat ayında yatırımcılar için önemli bir pozitif getiri potansiyeli bulunduğu ve günlük olarak cuma gününün en yüksek getiri potansiyeli taşıdığı tespit edilmiştir. Kaiser (2019) çalışmasında kripto para piyasasında önemli bir takvim etkisi olmadığını belirtirken, on kripto biriminin (BTC, BCH, ADA, DASH, ETH, MIOTA, LTC, NEO, XRP, XLM) işlem hacmi ve oynaklığının ocak ayı, hafta sonları ve yaz aylarında ortalama olarak daha düşük olduğunu ifade etmektedir.

Kripto para piyasası çalışmalarından bazıları sürü davranışını incelemeye odaklanmaktadır. Finans literatüründe sürü davranışı, yatırımcıların aynı varlığa, aynı zamanda ve aynı yönde işlem yapması olarak tanımlanmaktadır. Bu davranış, rasyonel yatırımcıların karar verirken başkalarının yargılarını taklit ederek irrasyonel davranmaya başlamasıdır (Kumar ve Goyal, 2015). Bazı çalışmalar, sürü davranışını belirsizlikle ilişkilendirmektedir. Diğer çalışmalar ise, bireysel yatırımcılar ve kurumsal yatırımcılar arasındaki bilgi asimetrisi, düşük işlem hacmi, yetersiz düzenleyici çerçeve gibi durumların sürü davranışının oluşmasını kolaylaştırabileceğinden bahseder (Kallinterakis ve Kratunova, 2007; Balcilar ve Demirel, 2015; Coskun vd., 2020). Bouri vd. (2019), kripto para piyasasının zayıf bir yasal çerçeve ve bilgi eksikliği ile karakterize olduğunu belirterek, tecrübesiz yatırımcıların riskleri tam anlamadan piyasaya girdiğinden bahsetmektedir. Çalışma, kripto para birimlerinde sürü davranışının incelenmesinin önemli olduğunu söylemektedir. Bunlar arasında, birçok kripto para biriminde gözlenen aşırı oynaklık ve eğilimler için davranışsal bir açıklama sunması, sürü davranışının kripto para piyasasının iki özelliği olan balonlar ve çökmeleri açıklayabileceği ve varlık getirilerinin oynaklığını ciddi şekilde artırarak finansal sistemi istikrarsızlaştırdığı şeklinde sıralanmaktadır.

Kripto para piyasasında sürü davranışını açıklayan temel çalışmalardan biri, Calderón (2018) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, kripto para piyasası aşırı derecede negatif getirilerle karşı karşıya kaldığı durumlarda yatırımcıların bekleme tercih ettikleri görülmüştür. Tam tersi durumda, piyasa pozitif getiriler gösterdiğinde (özellikle 2017 yılının ikinci yarısından 2018 yılının ilk çeyreğine kadar fiyatlar yükselmeye başladığında) yatırımcılar arasında sürü davranışı belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, Amirat ve Alwafi (2020) tarafından yapılmış olan çalışmada, 20 kripto para birimini kullanarak sürü davranışına dair kanıtlar özellikle 2016'dan 2017'nin başına kadar birkaç dönemde bulunmuştur. Başka bir çalışmada, sürü davranışının farklı piyasa koşullarında piyasa eğilimleriyle birlikte hareket ettiği tespit edilmiştir. Yükselen piyasada pozitif bir piyasa getirisi sürüyü arttırırken, düşen piyasada negatif bir piyasa getirisi sürüyü arttırmaktadır. Aynı zamanda düşük işlem hacmi, sürü davranışını arttırmaktadır (Haryanto vd., 2020). Bouri vd. (2019), kripto para piyasasında zaman içinde değişen önemli sürü davranışı tespit etmişlerdir. Ayrıca, sürü davranışının belirsizlik arttıkça gerçekleşme eğiliminde olduğunu raporlamışlardır. da Gama Silva vd.

(2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise, en likit ve piyasa değeri en yüksek 50 kripto para biriminde sürü davranışı analiz edilmiştir. Sonuçlar, kripto para piyasasında olumsuz haberlerin sürü davranışıyla ilişkili olduğunu göstermektedir.

Kallinterakis ve Wang (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışma, kripto para piyasası performansının ortalama olarak pozitif olduğu dönemlerde, düşük oynaklık dönemlerinde ve yüksek hacimli dönemlerde daha güçlü sürü davranışı gösterdiğini raporlamaktadır. Coskun vd. (2020) ise, oynaklığın düşük olduğu bir ortamda yatırımcıların kendi bilgileri yerine diğer yatırımcıların bilgilerine güvenme olasılığının yüksek olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, sürü davranışı düşük oynaklık döneminde gözlenmiştir. Jalal vd. (2020) ise, yüksek oynaklık dönemlerinde sürü davranışının bulunduğunu tespit etmişlerdir. Kumar (2021), kripto para piyasasında yatırımcıların düşen bir piyasada birbirlerinin eylemlerini taklit ettiğini ve sürü davranışının yüksek oynaklık dönemlerinde daha belirgin olduğunu belirtmektedir. Vidal-Tomás vd. (2019b), kripto para piyasasında sürü davranışının yükseliş dönemlerinde değil, düşüş dönemlerinde daha belirgin olduğunu belirtmektedir. Ayrıca, Philippas vd. (2020), kripto para birimlerinin piyasa değeri küresel ekonomiyle karşılaştırıldığında büyük olmamasından dolayı, internette dolaşan en hafif söylentilerin bile değerinde dalgalanmaya yol açabileceğinden bahsederler. Ocak 2016'nın başından Mayıs 2018'in sonuna kadar olan dönemde, sürü davranışının en güçlü etkeninin Twitter hashtagleri ve Google aramaları olduğu tespit edilmiştir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

KRİPTO PARA PİYASASINDAKİ VOLATİL YAPININ DAVRANIŞSAL FİNANS DİNAMİKLERİ AÇISINDAN ANALİZİ

Hızla gelişen kripto para piyasası, yenilikçi yapısı ve geleneksel finansal sistemleri bozma potansiyeli nedeniyle son yıllarda büyük ilgi görmüştür. BTC ve ETH gibi merkezi olmayan kripto para birimleriyle karakterize edilen bu piyasa, güvenli ve şeffaf işlemler sağlayan blokzincir teknolojisine dayanmaktadır. Özellikle kripto para birimleri, yüksek getiri beklentisinden yararlanmak isteyen bireylerden büyük kurumlara kadar çok çeşitli yatırımcıların ilgisini çekmiştir. Bununla birlikte kripto para piyasasındaki volatilité ve belirsizlikler, daha fazla araştırma ve analiz gerektirmektedir.

Bu bölümde, ilk olarak kripto para piyasasının volatilité yapısını analiz etmek için GARCH, EGARCH ve TGARCH modelleri kullanılmıştır. Bu modellerle BTC ve ETH'nin koşullu ortalama ve varyans denklemleri elde edilmiştir. Uygun model seçimi yapılmış ve bu modeller kullanılarak yılın ayı (MoY), haftanın günü (DoW) ve günün saati (ToD) anomalisi analiz edilmiştir. Bu analizlerde kukla değişkenler kullanılmıştır.

Ardından, yüksek volatilitenin hâkim olduğu kripto para piyasasında sürü davranışının derinlemesine incelenmesi amacıyla farklı zaman dilimlerinde sürü davranışı testleri yapılmıştır. Sürü davranışı testleri için 15 dakika, 30 dakika, 1 saat, 2 saat, 3 saat, 6 saat, 12 saat ve günlük zaman dilimleri kullanılmıştır. Sürü davranışı testlerine, BTC ve ETH'nin yanı sıra LTC, XRP ve BCH de dahil edilmiştir.

Bu kapsamda, araştırmanın amacı, varsayım ve sınırlılıklar açıklanmış, veri seti ve metodoloji açıklanmıştır. Kripto para piyasası için en uygun volatilité modeli belirlenmiş ve uygun modeller yardımıyla yılın ayı (MoY), haftanın günü (DoW) ve günün saati (ToD) etkileri analiz edilmiştir. Uygulamanın son aşamasında ise, sürü davranışı testleri yapılmış ve elde edilen bulgular tartışılmıştır.

3.1. Araştırmanın Amacı

Bu araştırma, kripto para piyasasına yönelik çok yönlü bir analiz sunmayı amaçlamaktadır. Araştırmanın ilk amacı, kripto para piyasası için uygun bir volatilité

modelinin belirlenmesidir. Bu amaç doğrultusunda, zamanla değişen volatilitiyi ve şokların volatilitiyeye karşı kalıcılığını modellemek için yaygın olarak kullanılan ARCH modelleri incelenmektedir. Bu nedenle, Engle ve Ng (1993) tarafından da belirtildiği gibi, beklenmedik bir fiyat düşüşü ile benzer büyüklükteki bir beklenmedik fiyat artışı arasındaki asimetrik etkileri dikkate alan EGARCH ve TGARCH modelleri de dahil olmak üzere çeşitli modeller kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın bir diğer amacı, yüksek işlem hacmine sahip kripto para birimlerinin davranışsal finans açısından sürü davranışı analiz edilerek, birçok kripto para biriminde gözlenen aşırı oynaklık ve eğilimler için davranışsal bir açıklama sunmaktır.

Çalışma ayrıca, mevcut literatüre birçok yönden katkıda bulunmayı hedeflemektedir. Öncelikle, literatürdeki çalışmaların çoğu sadece BTC'ye odaklanırken, bu çalışmada hem BTC hem de ETH ele alınmıştır. Ayrıca, BTC ve ETH'nin günlük getirileri kullanılarak haftanın günü ve yılın ayı anomalileri araştırılmıştır. Bunun yanı sıra, ilk defa günün saatleri anomalisi analizi yapılarak, özellikle dünyanın önde gelen borsalarının açılış ve kapanış saatlerine bağlı olarak BTC ve ETH'nin davranışları incelenmiştir.

Son olarak, mevcut literatürde sürü davranışı olgusunun farklı zaman dilimleri için fazla analiz edilmediği görülmüştür. Çalışmaların büyük bir çoğunluğu günlük veri setlerini kullanırken, bu araştırmada diğerlerinden farklı olarak 15 dakikalık, 30 dakikalık, 1 saatlik, 2 saatlik, 3 saatlik, 6 saatlik, 12 saatlik ve günlük veri setleri kullanılarak sürü davranışına ilişkin literatür zenginleştirilmiştir.

3.2. Araştırmanın Varsayımları ve Sınırlılıkları

Kripto para piyasasında daha önce bahsedildiği üzere toplam 21,806 adet kripto para birimi mevcuttur. Takvim anomalisinin araştırıldığı kısımda kullanılan BTC ve ETH toplam piyasanın yaklaşık %56'sını oluşturmaktadır. Seçilen diğer kripto para birimleri olan LTC, XRP ve BCH ise sürü davranışının araştırıldığı kısımda kullanılmış olup bu kripto para birimleriyle birlikte piyasanın yaklaşık %65'i için analiz imkanına kavuşulmuştur. Dolayısıyla, seçilen kripto para birimlerinin piyasanın genelini yansıttığı varsayılmaktadır.

Araştırmanın en önemli varsayımı ise kripto para piyasasında belli bir kapanış saati olmaması nedeniyle günlük veriler için UTC saatiyle 23:59'un kapanış saati olarak kabul edilmesidir. Buna göre, UTC saatiyle her gün 23:59 kapanış ve 00:00 açılış saatidir. Tüm verilerin zaman damgası, 24 saatlik Universal Coordinated Time (UTC) ve Greenwich Mean Time (GMT) olarak kaydedilmiştir.

Araştırmanın diğer sınırlılıkları arasında, büyük çoğunluğu ABD dolarına endeksli olan stablecoinlerin veri setinde yer almaması, BTC ve ETH gibi kripto para birimlerinin oluşturulma tarihlerinin daha eskiye dayanmasına rağmen ulaşılabilen en eski tarihe kadar olan verilerin kullanılması, verilerin sadece kripto alım-satım platformu Bitstamp'den elde edilmesi ve tüm verilerin ABD doları cinsinden fiyatlandırılması yer almaktadır.

3.3. Veri Seti ve Metodoloji

Bu çalışmada kullanılan veri seti, dünya genelinde tanınan ve popüler bir kripto para alım-satım platformu olan Bitstamp'ten temin edilmiştir. Fiyat verileri ABD doları cinsinden ve 1 dakikalık aralıklarla alınmıştır. Bu veriler daha sonra analiz için çeşitli zaman dilimlerine (15 dakikalık, 30 dakikalık, 1 saatlik, 2 saatlik, 3 saatlik, 6 saatlik, 12 saatlik ve günlük) dönüştürülmüştür.

Takvim anomalisinin araştırıldığı kısımda, günlük ve 1 saatlik veriler kullanılırken, sürü davranışının araştırıldığı kısımda bütün zaman dilimleri kullanılmıştır. Veri seti BTC için 1 Ocak 2015; ETH için 18 Ağustos 2017; LTC için 19 Haziran 2017; XRP için 1 Ocak 2017 ve BCH için 5 Aralık 2017'den başlayarak 31 Aralık 2022'ye kadar uzanmaktadır.

Yukarıda bahsedildiği üzere, fiyat verileri getiri serisine dönüştürülerek kullanılmıştır. Le Tran ve Leirvik (2020), finansal varlıkların getirilerinin oldukça değişken olması nedeniyle bulguların yorumlanmasında dikkatli olunması gerektiğinden bahsetmektedir. Basit getiri ile logaritmik getiri arasında birtakım farklar bulunmaktadır. Örneğin, %5'lik basit getirinin logaritmik getirisi yaklaşık %4.88 iken, %10'luk basit getirinin logaritmik getirisi yaklaşık %9.53 olacaktır. Negatif basit getirilerin logaritmik getirileri mutlak değer olarak daha büyüktür. Büyük negatif sapmaların olduğu durumlarda logaritmik getiriler -%100'ün altına düşebilir ki bu ekonomik olarak mantıklı

değildir. Mümkün olan en düşük getiri -%100 olabilir. Örneğin, 50 ABD dolarından 10 ABD dolarına düşen bir fiyat -%80’lik basit getiri sağlarken, yaklaşık -%160’lık logaritmik getiri sağlamaktadır. Bu nedenle kripto para piyasasının da oldukça değişken olduğu göz önünde bulundurularak, bu çalışmada basit getiri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$R_{i,t} = \left[\frac{P_{i,t} - P_{i,t-1}}{P_{i,t-1}} \right] \quad (1)$$

$R_{i,t}$ getiri ve $P_{i,t}$ fiyat olmak üzere Denklem 1’deki formül kullanılarak getiri serileri oluşturulmuştur. BTC, ETH, LTC, XRP ve BCH’nin günlük ve saatlik getiri verilerine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 14’te gösterilmektedir.

Tablo 14. Değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri

	BTC	ETH	LTC	XRP	BCH
Panel A: Günlük getiri serilerine ait tanımlayıcı istatistik					
N	2,921	1,961	2,021	2,190	1,852
Ortalama	0.0021	0.0021	0.0018	0.0046	0.0005
Std. Sapma	0.0391	0.0519	0.0574	0.0820	0.0633
Minimum	-0.3898	-0.4376	-0.3671	-0.4795	-0.4478
Maksimum	0.2692	0.2637	0.4776	1.7955	0.5303
Çarpıklık	-0.1796	-0.2043	0.7053	6.3652	1.0164
Basıklık	10.5809	8.0574	11.3574	118.2568	14.4177
Panel B: Saatlik getiri serilerine ait tanımlayıcı istatistik					
N	70,127	47,087	48,527	52,583	44,471
Ortalama	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0000
Std. Sapma	0.0084	0.0110	0.0128	0.0155	0.0133
Minimum	-0.1791	-0.1956	-0.2620	-0.4426	-0.2701
Maksimum	0.2088	0.1758	0.5000	0.8217	0.3699
Çarpıklık	-0.0415	0.0433	1.6512	3.2799	0.5843
Basıklık	34.4209	22.0893	74.2444	198.0047	40.0331

Not: N, gözlem sayısını göstermektedir.

Tablo 14’te, BTC, ETH, LTC, XRP ve BCH’nin günlük ve saatlik getiri serilerine ilişkin tanımlayıcı istatistikleri göstermektedir. Panel A, her bir kripto para biriminin günlük getiri serileri için tanımlayıcı istatistikleri sunmaktadır. Örneklem dönemi boyunca, her bir kripto para biriminin günlük ortalama getirisi pozitifdir. XRP en yüksek ortalama getiriyi sergilerken, BCH en düşük getiriye sahiptir. Özellikle XRP’nin ortalama getirisi BTC ve ETH’nin iki katından fazladır. XRP ayrıca oldukça yüksek bir standart sapmaya sahipken, BTC örneklemdeki en az riskli kripto para birimidir. XRP için, kripto

para biriminin getirisinin ve dolayısıyla fiyatının tek bir günde neredeyse iki kat artması dikkat çekicidir. BTC ve ETH için günlük getiri dağılımları negatif çarpık ve leptokurtiktir; başka bir deyişle kazançtan çok kayıp olasılığı yüksektir ve uç değerler fazladır.

Panel B’de ise, saatlik getiri serilerine ait tanımlayıcı istatistikler yer almaktadır. Saatlik veriler incelendiğinde, ortalama getirilerin sıfıra yakın ve pozitif olduğu görülmektedir. Günlük getiri serisinde olduğu gibi, XRP en yüksek ortalama getiriye sahiptir. Standart sapma değerleri günlük verilere benzerdir, başka bir deyişle XRP’nin daha riski olduğunu göstermektedir. Saatlik getiri dağılımları ise farklılık göstermektedir. BTC negatif çarpık ve leptokurtik iken, ETH, LTC, XRP ve BCH pozitif çarpıktır.

BTC, ETH, LTC, XRP ve BCH’e ait getirilerin birim kök testi sonuçları Tablo 15’te sunulmuştur.

Tablo 15. Birim kök testi sonuçları

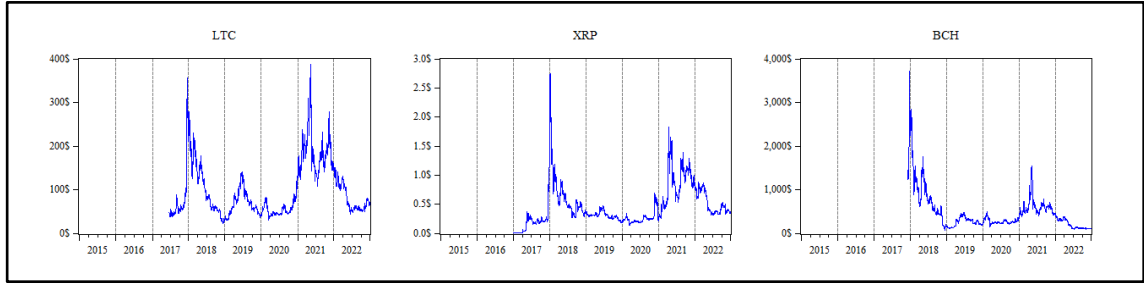
	BTC	ETH	LTC	XRP	BCH
Panel A: Günlük getiri serilerinin Birim Kök Testi					
ADF	-56.8265***	-47.4625***	-46.3869***	-23.4011***	-44.5110***
PP	-56.7665***	-47.3698***	-46.3774***	-49.4087***	-44.5108***
Panel B: Saatlik getiri serilerinin Birim Kök Testi					
ADF	-197.5240***	-160.6990***	-45.6190***	-43.7992***	-42.0349***
PP	-276.5137***	-222.9625***	-231.8401***	-251.2382***	-222.3921***

***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde anlamlılığı göstermektedir.

Not: ADF, Augmented Dickey-Fuller ve PP, Phillips-Perron birim kök testini göstermektedir. ADF ve PP birim kök testleri için sabit model kullanılmıştır.

Tablo 15’ten elde edilen sonuçlar, birim kökün varlığına ilişkin hipotezin reddedildiğini göstermektedir. Hem ADF (Dickey ve Fuller, 1979) hem de PP (Phillips ve Perron, 1988) birim kök testlerinin sonuçları, serilerin durağan olduğunu göstermektedir. Bu durum hem günlük hem de saatlik getiri serileri için geçerlidir.

Ayrıca, bu çalışmada kullanılan kripto para birimlerinin günlük fiyat serileri Şekil 16’da gösterilmektedir. BTC ve ETH için günlük fiyat serileri daha önce Şekil 12’de kripto paraların özellikleri kısmında sunulmuştur; bu nedenle burada tekrar gösterilmemiştir. Şekil 17’de ise veri setinde yer alan tüm kripto para birimlerine ait getiri serileri gösterilmektedir.



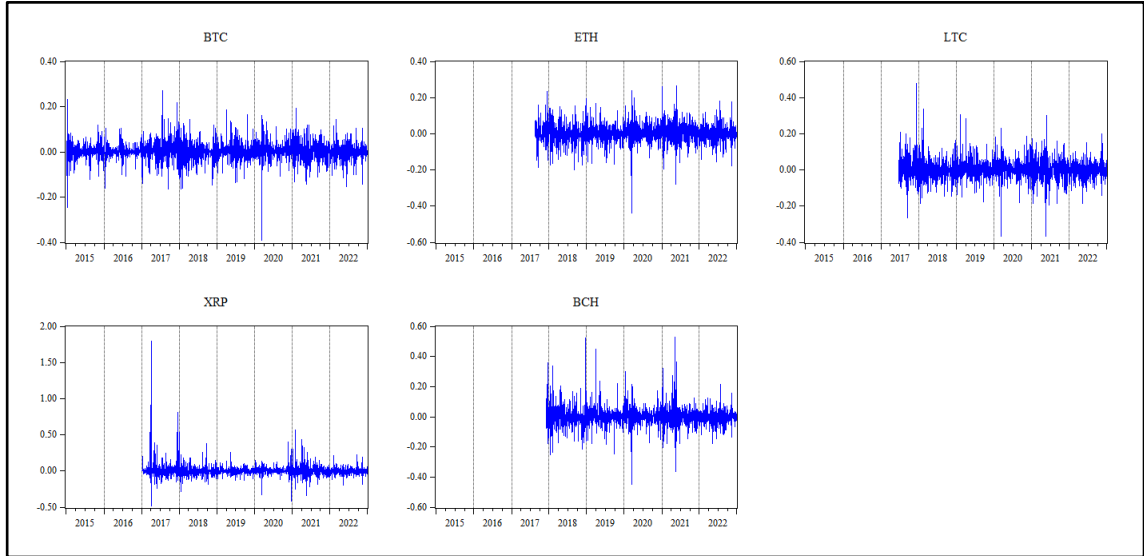
Şekil 16. LTC, XRP ve BCH günlük fiyat serisi

Kripto para piyasasında BTC, ETH, LTC, XRP ve BCH gibi başlıca kripto para birimleri, özellikle 2017’den bu yana önemli fiyat hareketleri yaşamıştır. 2017 yılında kayda değer bir yükseliş yaşanmış ve BTC yaklaşık 20,000 \$ gibi bir seviyeye ulaşmıştır. Bu yükseliş kripto para piyasasına olan ilgiyi artırmış ve bu dönemde çok sayıda ICO projesinin başlatılmasına yol açmıştır. ICO’ların çoğu, projeler için yeni kaynak temin etme mekanizması olarak özellikle ETH’yi kullandı ve bu durum değerinde önemli bir artışa neden olmuştur. 2017 yılındaki bu artışın ardından piyasa 2018 yılında önemli bir düzeltme yaşamış ve kripto para birimi fiyatları önemli ölçüde düşmüştür. Bu düşüşün nedenleri arasında piyasa manipülasyonu ve dolandırıcılıkla ilgili endişeler yer almaktadır. Çok sayıda kripto para birimi önemli değer kayıpları yaşamıştır.

2019 yılında piyasa, ETH ağı üzerine inşa edilen merkezi olmayan finans (DeFi)⁵² uygulamalarına artan ilgiyle toparlanmaya başlamıştır. Bu gelişme özellikle ETH’ye olan talebin artmasına katkıda bulunmuştur. 2020 yılına gelindiğinde COVID-19 salgını, küresel ekonomik belirsizlik ve enflasyona karşı bir koruma olarak kripto paralara olan ilginin artmasına neden olmuştur. Bunun yanında, dünyaca ünlü kurumsal firmalar BTC’ye yatırım yaparak piyasanın güçlenmesine katkı sağlamıştır. 2021 ve 2022 yıllarında Non-Fungible Token (NFT)⁵³ projeleri, birçoğu ETH üzerine inşa edilen ve ETH’ye olan talebi artıran yeni projelerin başlamasıyla popülerlik kazanmıştır. Bu dönemde LTC, XRP ve BCH gibi diğer kripto paralar, genel piyasa duyarlılığından ve kendi projelerine özgü gelişmelerden etkilenen fiyat hareketleri yaşamıştır. Özetle, şekilde de görüldüğü üzere, kripto para piyasası oldukça değişken bir yapıya sahiptir ve fiyatların çok çeşitli faktörlerden etkilendiği söylenebilir.

⁵² DeFi projeleri, araçlar olmadan borç verme, borç alma ve alım satım gibi finansal hizmetler sunmayı amaçlamaktadır.

⁵³ Sanat eseri, müzik, video gibi benzersiz bir öğenin sahipliğini veya özgünlüğünün kanıtını temsil etmektedir. Her NFT benzersizdir ve çoğaltılamaz veya başka bir şeyle değiştirilemez.



Şekil 17. BTC, ETH, LTC, XRP ve BCH günlük getiri serisi

Şekil 17’de gösterilen getiri serileri incelendiğinde, günlük getiri serilerinin önemli ölçüde oynaklık sergilediği görülmektedir. Özellikle, 2017 yılında XRP’de görülen yüksek getiriler dikkat çekicidir. Bununla birlikte 2020 yılının başlarında, örnekleme yer alan bütün kripto paralar önemli negatif getiriler sergilemiştir.

3.3.1. Kripto Para Piyasasının Volatilite Yapısında Kullanılan Modeller

Volatilitiyi tahmin etmenin önemi göz önüne alındığında, literatürde volatilitiy tahminine yönelik önerilen en popüler yaklaşım, ilk olarak Engle (1982) tarafından tanıtılan ARCH modelleri sınıfıdır. ARCH modelleri, zaman içinde değişen volatilitiy ve şokların sürekliliğini modellemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Geleneksel zaman serileri ve ekonometrik modeller, sabit bir varyans varsayımı altında çalışırken, Engle (1982) İngiltere enflasyon oranı verilerinde hata teriminin varyansının sabit olmadığını göstermiştir. ARCH sürecinin GARCH sürecine genişletilmesi, standart zaman serisi AR sürecinin genel ARMA sürecine genişletilmesiyle büyük benzerlikler taşır ve birçok durumda daha cimri bir tanımlama sağlar (Bollerslev, 1986).

ARCH modeli, hata teriminin zamanla değişken olduğunu varsayar. Bu model, bir hata terimi olarak tanımlanan değişkenliği açıklamak için geçmiş hataların kareleri ile birleştirilmiş bir varyans terimi kullanır. ARCH(1) modelinin koşullu varyans denkleminin matematiksel gösterimi Denklem 2’deki gibidir:

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha \varepsilon_{t-1}^2 \quad (2)$$

σ_t^2 koşullu varyans olduğundan, değeri her zaman pozitif olmalıdır; zamanın herhangi bir noktasında negatif bir varyans anlamsız olacaktır (Brooks, 2014). ω ve α , modelin bilinmeyen parametreleridir ve koşullu varyansın pozitif olabilmesi için $\omega > 0$ ve $\alpha \geq 0$ koşullarına bağlıdır. ARCH(1) modelinde koşullu varyans, sadece hata teriminin bir dönem gecikmeli değerinin karesinin bir fonksiyonu olarak adlandırılan şok tarafından açıklanır. Bu durum, t-1 zamanında meydana gelen şokun, t zamanında daha büyük bir varyansa sebep olacağı anlamına gelmektedir. Ayrıca, ARCH(p) modelinde, piyasaya p periyottan önce ulaşan eski haberlerin mevcut volatilité üzerinde hiçbir etkisi yoktur.

ARCH modeli, volatilitenin modellenmesi için avantajlar sağlarken, modelin bazı zayıf yönleri de bulunmaktadır. Tsay (2010) dört başlıkta bu zayıf yönleri açıklamıştır. İlk olarak, model, pozitif ve negatif şokların önceki dönem şoklarının karelerine bağlı olmaları nedeniyle volatilité üzerinde aynı etkiye sahip olduğunu varsayar. Ancak, finansal varlıkların fiyatlarının negatif ve pozitif şoklara farklı tepkiler verdiği uygulamalarda iyi bilinmektedir. İkincisi, ARCH modeli oldukça kısıtlayıcıdır. Örneğin, ARCH(1) modelinde serinin dördüncü momentinin sonlu olabilmesi için, σ_1^2 'nin $[0,1/3]$ aralığında olması gerekmektedir. Bu kısıtlama, yüksek dereceli ARCH modelleri için karmaşık hale gelir. Üçüncüsü, ARCH modeli finansal zaman serilerindeki değişimlerin kaynağının anlaşılmasında herhangi bir yeni katkı sağlamamakta, sadece koşullu varyansın davranışını belirleyen bir yol önermektedir. Bu davranışların meydana gelmesine neyin sebep olduğu hakkında bilgi vermemektedir. Dördüncüsü ise, ARCH modeli finansal getirilere gelen büyük şoklara yavaş tepki verdiği için, finansal zaman serilerinin volatilitésini olduğundan daha büyük tahmin edecektir.

GARCH modeli, ARCH süreçleri ailesinin bir üyesi olup, özellikle ekonometrik modellemede popüler hale gelmiştir (Nelson, 1990). GARCH modeli, Engle ve Ng (1993) tarafından sonsuz dereceli bir ARCH modeli olarak tanımlanmaktadır. Bu model, ARCH modelinin uygulamada ortaya çıkan zorluklarını gidermek amacıyla Bollerslev (1986) tarafından geliştirilmiştir. GARCH modelinin ARCH modelinden farklı, koşullu varyans denkleminde koşullu varyansın gecikmesine de yer verilmesidir.

Volatilitenin öngörülebilir olduğu kabul edilse de bu öngörülebilirliğin nasıl modellenmesi gerektiği konusunda farklı yaklaşımlar vardır. İyi haberlerin ve kötü haberlerin gelecekteki volatilité için farklı öngörülebilirliklere sahip olduğu “asimetrik” veya “kaldıraç” volatilité modelleri, bu yaklaşımlardan en ilginç olanıdır. Bu yaklaşım fiyattaki beklenmedik bir düşüşün (kötü haber), benzer büyüklükteki beklenmedik bir fiyat artışından (iyi haber) tahmin edilebilir volatilitéyi daha fazla arttırması durumunda ortaya çıkar (Engle ve Ng, 1993). Bu tür asimetrik etkileri modellemek için önerilen yöntemlerden biri Nelson (1991) tarafından geliştirilen EGARCH modelidir. Bir diğer yöntem ise Zakoian (1994) tarafından geliştirilen TGARCH modelidir. Bu çalışmada kullanılan farklı GARCH modellerinin (GARCH, EGARCH, TGARCH) koşullu varyans denklemleri, Tablo 16’da sunulmuştur.

Tablo 16. GARCH, EGARCH ve TGARCH koşullu varyans denklemi

Model	Koşullu Varyans Denklemi	Yazarlar
GARCH	$\sigma_t^2 = \omega + \alpha \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2$	Bollerslev (1986)
EGARCH	$\log(\sigma_t^2) = \omega + \alpha \left[\frac{ \varepsilon_{t-1} }{\sigma_{t-1}} - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \right] + \beta \log(\sigma_{t-1}^2) + \gamma \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}}$	Nelson (1991)
TGARCH	$\sigma_t^2 = \omega + \alpha \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2 + \delta \varepsilon_{t-1}^2 I_{t-1}$ $I_{t-1} = \begin{cases} 1 & \varepsilon_{t-1} < 0 \text{ ise} \\ 0 & \varepsilon_{t-1} \geq 0 \text{ ise} \end{cases}$	Zakoian (1994)

GARCH modeli, değişen varyansın modellenmesinde ARCH modeline göre birtakım avantajlar sunar ve daha az gecikme sayısı gerektirir. Örneğin, ARCH modelde 5 günlük gecikme uzunluğu yeterli olmayabilirken, GARCH(1,1) modeli uygun model olabilir. Ampirik olarak GARCH model ailesi çok başarılı olmuştur. Bu modellerden çoğunlukla GARCH(1,1) tercih edilmektedir (Engle ve Ng, 1993). GARCH(1,1) modelinin koşullu varyans denkleminde yer alan unsurlardan α ARCH parametresi, β ise GARCH parametresi olarak adlandırılır. Denkleminde yer alan $\omega > 0$, $\alpha \geq 0$, $\beta \geq 0$ ve $\alpha + \beta < 1$ kısıtlamaları geçerlidir. Ayrıca, σ_t^2 ’nin pozitif olabilmesi için α ve β ile ilgili kısıtlamaların gerçekleşmesi gerekmektedir.

ARCH ve GARCH modellerinin en büyük dezavantajı, varyansın etkisinin sabit olduğu varsayımdır. GARCH modelinde hata teriminin kareleri (ε_{t-1}^2) denklemde yer

aldığı için, hata terimlerinin veya şokların işaretleri volatilité üzerinde farklı etkilere sahip değildir. Bunun anlamı, pozitif ve negatif şokların varyansa ve dolayısıyla volatilitéye etkisinin aynı olduğudur. Ancak, daha önce de bahsedildiği gibi, bu modeller kaldıraç veya asimetrik etkileri dikkate almamaktadır. Bu etki, fiyattaki beklenmedik bir düşüşün (olumsuz haber), benzer büyüklükteki beklenmedik bir fiyat artışından (olumlu haber) daha fazla volatilité artışına neden olması durumunda ortaya çıkmaktadır. Finansal zaman serilerinin modellenmesinde bu tür asimetrik etkileri yakalamak için Nelson (1991) tarafından EGARCH modeli geliştirilmiştir. Piyasaya gelen olumsuz bir haberin finansal varlıkların oynaklığı üzerinde olumlu bir habere göre daha fazla etkili olduğu ileri sürülmüştür. EGARCH modeli koşullu varyans denkleminde yer alan $\varepsilon_{t-1}/\sigma_{t-1}$ değişkeni modele asimetrik karakter kazandırmaktadır. Bu modele göre, γ parametresi asimetrik kaldıraç katsayısıdır ve genellikle negatif değer almaktadır. Negatif γ parametresi ise pozitif getiri şoklarının negatif getiri şoklarından daha az volatilité ürettiğini göstermektedir (Engle ve Ng, 1993). Bu nedenle, EGARCH modeli GARCH modelinden iki açıdan ayrılmaktadır. İlk olarak, EGARCH modelinde olumlu haberlerin ve olumsuz haberlerin volatilité üzerinde farklı etkisi vardır. Ancak, GARCH modeli bu etkiye sahip değildir. İkincisi, EGARCH modeli, büyük haberlerin volatilité üzerinde daha büyük etkiye sahip olmasına izin verir. GARCH modelinde aynı büyüklükteki pozitif ve negatif getiri şokları aynı miktarda volatilité üretir. Ayrıca daha büyük getiri şokları, getiri şokunun karesiyle orantılı bir oranda daha fazla oynaklık öngörür. Eğer negatif bir getiri şoku, aynı büyüklükteki bir pozitif getiri şokundan daha fazla volatilitéye neden oluyorsa, GARCH modeli kötü haberlerin ardından volatilité miktarını düşük, iyi haberlerin ardından ise yüksek tahmin eder (Engle ve Ng, 1993). $\varepsilon_{t-1}/\sigma_{t-1}$ pozitif ise, şokların koşullu varyansın logaritması üzerindeki etkisi $(\alpha + \gamma)$ 'ya eşittir. Ancak $\varepsilon_{t-1}/\sigma_{t-1}$ negatif ise, şokların koşullu varyansın logaritması üzerindeki etkisi $(\alpha - \gamma)$ olacaktır (Enders, 2015). γ parametresi sıfırdan küçük olduğunda kaldıraç etkisi mevcuttur. Eğer γ parametresi sıfıra eşitse, pozitif bir şok ($\varepsilon_{t-1} > 0$) ile negatif bir şok ($\varepsilon_{t-1} < 0$) volatilité üzerinde aynı etkiye sahiptir. γ parametresi -1 ile 0 arasında bir değer alırsa, volatilitéyi pozitif bir şok negatif bir şoktan daha az arttırmaktadır. γ parametresi -1'den daha küçükse, negatif şoklar volatilitéyi arttırırken, pozitif şoklar volatilitéyi azaltmaktadır.

Olumlu ve olumsuz haberlerin volatilité üzerindeki etkilerinin birbirinden farklı olduğunu, dolayısıyla asimetriyi dikkate alan başka bir model Zakoian (1994) tarafından

geliştirilen TGARCH modelidir. Model, finansal piyasalardaki şokları temsil eden hata terimi (ε_{t-1}) ve şokların pozitif veya negatif olmasına göre 1 veya 0 değeri alan kukla değişken I_{t-1} içermektedir. TGARCH modelinde, ($\varepsilon_{t-1} = 0$) durumu eşik değer olarak kabul edilir. ε_{t-1} 'lerin sıfırdan küçük olması ($\varepsilon_{t-1} < 0$) olumsuz haberleri, sıfırdan büyük veya sıfıra eşit olmaları ($\varepsilon_{t-1} \geq 0$) ise olumlu haberleri ifade eder ve her iki haber türünün koşullu varyans üzerindeki etkisi farklıdır. TGARCH koşullu varyans denklemi, olumlu haberlerin varyans üzerindeki etkisi (α) kadar, olumsuz haberlerin varyans üzerindeki etkisi ise ($\alpha + \delta$) kadar olacağını gösterir. Bu nedenle, ($\delta > 0$) ise olumsuz haberlerin oynaklık üzerindeki etkisinin olumlu haberlerin etkisinden daha fazla olduğu ve kaldıraç etkisinin bulunduğu söylenebilir. Ancak, ($\delta = 0$) olduğunda, yeni haberlerin oynaklık üzerinde asimetric bir etki yaratmadığı ve TGARCH modelinin GARCH modeline eşit olduğunu göstermektedir.

3.3.2. Takvim Anomalisinin Analizinde Kullanılan Modeller

Haftanın günü anomalisini araştıran çoğu çalışma, getirileri standart EKK metodolojisini kullanarak kukla değişkenlerle analiz etmektedir. Ancak, Kiymaz ve Berument (2003) bu metodolojinin iki sakıncasından bahsetmektedirler. Birincisi, modelde otokorelasyon olabilir ve yanıltıcı sonuçlara yol açabilir. İkincisi ise, değişen varyans durumudur. Bu nedenle, kripto para piyasasının volatilité yapısı başlığı altında tartışıldığı üzere, BTC için ARMA(1,0)-EGARCH(1,1) ve ETH için ARMA(1,0)-GARCH(1,1) modelleri en uygun modeller olarak belirlenmiştir. Ayrıca, modelin hem ortalama denklemine hem de varyans denklemine Berument ve Kiymaz (2001) ile Kiymaz ve Berument (2003) tarafından önerilen haftanın günleri kukla değişkenleri eklenmiştir. Kurulan modelin koşullu ortalama denklemi Denklem 3'te verilmiştir:

$$R_t = \phi_0 + \sum_{i=1}^6 D_i \phi_{i,t} + \phi_7 R_{t-1} + \varepsilon_t \quad (3)$$

Denklem 3'te R_t günlük getirileri, $i = 1, 2, 3, \dots, 6$ için D_i sırasıyla salı, çarşamba, perşembe, cuma, cumartesi ve pazar değişkenlerine ait kukla değişkenleri ifade eder. ε_t ise hata terimini belirtir. Pazartesi günleri, mükemmel çoklu bağıntı tuzağından kaçınmak için koşullu ortalama denkleminde çıkarılmıştır. Bu nedenle, pazartesi günleri karşılaştırma için temel oluşturur.

EGARCH modeline ait, haftanın günleri anomalisini içeren koşullu varyans denklemi:

$$\log(\sigma_t^2) = \omega + \alpha \left[\left| \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} \right| - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \right] + \beta \log(\sigma_{t-1}^2) + \gamma \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} + \sum_{i=1}^6 D_i V_{i,t} \quad (4)$$

GARCH modeline ait, haftanın günleri anomalisini içeren koşullu varyans denklemi:

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2 + \sum_{i=1}^6 D_i V_{i,t} \quad (5)$$

Söz konusu modellerde yer alan $i = 1, 2, 3, \dots, 6$ için D_i sırasıyla salı, çarşamba, perşembe, cuma, cumartesi ve pazar değişkenlerine ait kukla değişkenleri ifade etmektedir. Aynı zamanda, $V_{i,t}$ katsayılarının istatistiksel olarak anlamlı olması, ilgili günlerde volatilité üzerinde haftanın günü etkisi olduğunu ifade etmektedir.

Yılın ayı anomalisinin araştırıldığı kısımda da haftanın günü anomalisi için bahsedilen metodolojiye uygun olarak kukla değişkenlerden yararlanılmıştır. Benzer şekilde, BTC için ARMA(1,0)-EGARCH(1,1) ve ETH için ARMA(1,0)-GARCH(1,1) modelleri en uygun modeller olarak belirlenmiştir. Oluşturulan modelde hem ortalama denkleminde hem de varyans denkleminde yılın ayları kukla değişken olarak eklenmiştir. Kurulan modelin ortalama denklemi Denklem 6'da verilmiştir:

$$R_t = \phi_0 + \sum_{i=1}^{11} D_i \phi_{i,t} + \phi_{12} R_{t-1} + \varepsilon_t \quad (6)$$

Denklem 6'da R_t günlük getirileri, $i = 1, 2, 3, \dots, 11$ için D_i sırasıyla şubat, mart, nisan, mayıs, haziran, temmuz, ağustos, eylül, ekim, kasım ve aralık değişkenlerine ait kukla değişkenleri ifade eder. ε_t ise hata terimini belirtir. Çoklu bağıntı tuzağından kaçınmak için ocak ayı, koşullu ortalama denkleminde çıkarılmıştır ve karşılaştırma için temel olarak kullanılmıştır.

EGARCH modeline ait, yılın ayı anomalisini içeren koşullu varyans denklemi:

$$\log(\sigma_t^2) = \omega + \alpha \left[\frac{|\varepsilon_{t-1}|}{\sigma_{t-1}} - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \right] + \beta \log(\sigma_{t-1}^2) + \gamma \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} + \sum_{i=1}^{11} D_i V_{i,t} \quad (7)$$

GARCH modeline ait, yılın ayı anomalisini içeren koşullu varyans denklemi:

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2 + \sum_{i=1}^{11} D_i V_{i,t} \quad (8)$$

Söz konusu modellerde yer alan $i = 1, 2, 3, \dots, 11$ için D_i sırasıyla şubat, mart, nisan, mayıs, haziran, temmuz, ağustos, eylül, ekim, kasım ve aralık değişkenlerine ait kukla değişkenleri ifade etmektedir. Aynı zamanda, $V_{i,t}$ katsayılarının istatistiksel olarak anlamlı olması, ilgili ayda volatilité üzerinde yılın ayı etkisi olduğunu ifade etmektedir.

Bir diğer anomali türü için dünyanın önde gelen borsalarının açılış ve kapanış saatleri dikkate alınarak haftanın günü ve yılın ayı anomalisinde bahsedilen metodolojiye benzer kukla değişkenlerden yararlanılmıştır. Bu amaçla, daha önce kripto para piyasasının volatilité yapısı başlığı altında tartışıldığı gibi, BTC ve ETH için ARMA(2,1)-EGARCH(1,1) modeli saatlik veriler için en uygun model olarak belirlenmiştir. Oluşturulan modelde hem ortalama denkleminde hem de varyans denkleminde ülkelerin borsalarının işlem gördüğü saat aralığına denk gelen saatler kukla değişken olarak dahil edilmiştir.

Dünya çapında önde gelen borsaların seçiminde, özellikle farklı kıtalardan büyük borsalar tercih edilmiştir. Bu doğrultuda, Avustralya'dan Sidney Borsası (Australia Securities Exchange), Japonya'dan Tokyo Borsası (Tokyo Stock Exchange), Çin'den Şangay Borsası (Shanghai Stock Exchange), İngiltere'den Londra Borsası (London Stock Exchange), ABD'den New York Borsası (New York Stock Exchange), Kanada'dan Toronto Borsası (Toronto Stock Exchange) ve Güney Afrika'dan Johannesburg Borsası (Johannesburg Stock Exchange) seçilmiştir⁵⁴.

⁵⁴ Seçilen borsaların işlem gördüğü zaman aralığı (açılış ve kapanış saatleri), her bir borsanın kendi yerel saati baz alınarak belirlenmiş ve UTC zaman dilimine göre uyarlanmıştır. Bu şekilde, BTC ve ETH arasında uyum sağlanmıştır. İlgili bilgilere şu sitelerden ulaşılmıştır: Australia Securities Exchange: www.asx.com.au, Tokyo Stock Exchange: www.jpx.co.jp/english/, Shanghai Stock Exchange:

Öncelikle seçilen bu borsaların her birisinin açık olduğu saat dilimi birbirinden farklıdır. Ayrıca, bu borsalardan bazılarında yaz saati uygulaması varken, bazılarında bu uygulama yer almamaktadır. Bu kısımda, farklı borsaların açık olduğu saat dilimleri ve yaz saati uygulamaları dikkate alınmıştır. Dolayısıyla, ilgili ülkelerin borsaları ile BTC ve ETH arasında aşağıda açıklandığı gibi düzenleme yapılmıştır.

Yaz saati uygulamasının yapılmadığı borsalar arasında Tokyo Borsası, Şangay Borsası ve Johannesburg Borsası bulunmaktadır. Bu borsaların açılış ve kapanış saatleri yıl boyunca aynı kalmaktadır. Örneğin, Tokyo Borsası UTC+9 saat diliminde yer almaktadır ve yerel saatte 09:00-15:00 saatleri arasında açık olmaktadır. Ancak, 11:30-12:30 arasında bir saatlik öğle arası vardır. UTC saat dilimine göre ise Tokyo Borsası 00:00-06:00 saatleri arasında açık olmaktadır ve öğle arası 02:30-03:30 saatleri arasındadır. Diğer borsalarda ise yaz saati uygulaması kapsamında saatler ilkbahar başlangıcında bir saat ileri, sonbaharda ise bir saat geri alınmaktadır. Yaz saati uygulamasının olmadığı borsaların açılış ve kapanış saatleri UTC saat dilimine göre aşağıda verilmiştir. Öğle arası süreleri ise borsa açık kabul edilerek hesaplamalara dahil edilmiştir.

Tokyo Borsası (UTC+9) : 00:00-06:00 (Öğle arası: 02:30-03:30)

Şangay Borsası (UTC+8) : 01:30-07:00 (Öğle arası: 03:30-05:00)

Johannesburg Borsası (UTC+2) : 07:00-15:00 (Öğle arası: 10:00-11:00)

Yaz saati uygulamasının yapıldığı borsalar arasında Sidney Borsası, Londra Borsası, Toronto Borsası ve New York Borsası yer almaktadır. Bu nedenle, bu borsaların açılış ve kapanış saatleri yıl boyunca yaz saati uygulamasına göre değişmektedir. Örneğin, Sidney Borsası UTC+10 saat diliminde yer almakta ve UTC saati ile 00:00'da açılıp, 06:00'da kapanmaktadır. Yaz saati uygulamasına geçildiğinde 23:00'da açılıyor ve 05:00'da kapanıyor. Benzer şekilde, New York Borsası UTC-5 saat diliminde yer almaktadır. UTC saatiyle 14:30'da açılmakta ve 21:00'da kapanmaktadır. Yaz saati uygulaması olduğunda ise, 13:30'da açılmakta ve 20:00'da kapanmaktadır.

Bu kısımda saatlik veriler kullanıldığı için, 13:30 gibi saatler 13:00 gibi tam saatlere yuvarlanmıştır. Dolayısıyla, açılış saati 14:30 olan piyasa 14:00 olarak, kapanış saati 16:30 olan piyasa ise 17:00 olarak kabul edilmiştir. Ayrıca, çalışmada yıllar itibariyle hangi ülkelerin yaz saati uygulamasına ne zaman geçtiği tespit edilmiş ve o günlere göre düzenleme yapılmıştır. Örneğin, New York Borsası 2021 yılında 14 Mart ile 7 Kasım arasında, 2022 yılında ise 13 Mart ile 6 Kasım arasında yaz saati uygulamasına geçmiştir. Sidney Borsası ise güney yarımkürede yer aldığı için durum biraz farklıdır. Benzer şekilde Sidney Borsası 2021 yılında 3 Ekim 2021 ile 3 Nisan 2022 arasında iken, 2022 yılında 2 Ekim 2022 ile 2 Nisan 2023 arasında yaz saati uygulamasına geçmiştir. Ayrıca, hafta sonu piyasaların kapalı olması sebebiyle, hafta sonlarına denk gelen dönemler de dikkate alınmıştır.

Çalışmaya dahil edilmek istenilen bazı ülke borsalarının açılış ve kapanış saatleri benzerlik göstermektedir. Örneğin, Avrupa ülkelerinde yer alan bazı borsaların açılış ve kapanış saatleri aynıdır ve yaz saati uygulaması da bu ülkelerde aynı zaman diliminde uygulanmaktadır. Bu nedenle, açılış-kapanış saatleri ve yaz saati uygulaması aynı olan borsalardan sadece bir tanesi çalışmaya dahil edilmiştir. Bu borsalar arasında Frankfurt Borsası, Amsterdam Borsası ve Londra Borsası bulunmaktadır. Londra Borsası, diğer ikisinden farklı bir saat diliminde yer almasına rağmen açılış ve kapanış saatleri aynıdır. Bu nedenle, bu borsaların durumu benzerdir. Sonuç olarak, Avrupa borsaları içerisinde Londra Borsası çalışmaya dahil edilmiştir. Londra Borsası için elde edilen bulgular Frankfurt Borsası ve Amsterdam Borsası için de geçerlidir. Yaz saati uygulamasının görüldüğü seçilen borsaların açılış ve kapanış saatleri aşağıdaki gibidir:

Sidney Borsası (UTC+10) : 00:00-06:00

Londra Borsası (UTC) : 08:00-16:30

Toronto Borsası (UTC-4) : 13:30-20:00

New York Borsası (UTC-5) : 14:30-21:00

Kurulan modelin ortalama denklemi Denklem 9'da verilmiştir:

$$R_t = \phi_0 + \sum_{i=1}^7 D_i \phi_{i,t} + \phi_8 R_{t-1} + \phi_9 R_{t-2} + \varepsilon_t + \theta_{10} \varepsilon_{t-1} \quad (9)$$

Denklem 9’da R_t saatlik getirileri, $i = 1, 2, 3, \dots, 7$ için D_i sırasıyla Sidney, Tokyo, Şangay, Londra, New York, Toronto ve Johannesburg borsalarının işlem gördüğü saat aralığına denk gelen kukla değişkenleri ifade eder. ε_t ise hata terimini belirtir.

EGARCH modeline ait, günün saati anomalisini içeren koşullu varyans denklemi:

$$\log(\sigma_t^2) = \omega + \alpha \left[\left| \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} \right| - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \right] + \beta \log(\sigma_{t-1}^2) + \gamma \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} + \sum_{i=1}^7 D_i V_{i,t} \quad (10)$$

Söz konusu modellerde yer alan $i = 1, 2, 3, \dots, 7$ için D_i sırasıyla Sidney, Tokyo, Şangay, Londra, New York, Toronto ve Johannesburg borsalarına ait kukla değişkenleri ifade etmektedir. Aynı zamanda, $V_{i,t}$ katsayılarının istatistiksel olarak anlamlı olması, ilgili borsaların açık olduğu saatlerde volatilité üzerinde etkisi olduğunu ifade etmektedir.

3.3.3. Sürü Davranışı Analizinde Kullanılan Modeller

Sürü davranışı analizleri, kripto para birimlerinin davranışlarını incelemek için bir piyasa portföyü gerektirmektedir. Vidal-Tomás vd.’u (2019b) takiben piyasa getirisini hesaplamak için eşit ağırlıklı bir piyasa portföyü oluşturulmuştur.

$$R_{m,t} = \frac{\sum_{i=1}^N R_{i,t}}{N} \quad (11)$$

burada N kripto para birimi sayısını $R_{m,t}$ piyasa getirisini ve $R_{i,t}$ her bir kripto para biriminin getirisini ifade etmektedir.

Christie ve Huang (1995), ABD pay senedi piyasasındaki yatırımcıların davranışlarını analiz ederek, varlık getirilerinin piyasa ortalamasına yakınlığını ölçen Cross-Sectional Standard Deviation (CSSD) kullanarak bir sürü davranışı testi geliştirmişlerdir. Çalışmada, yatırımcıların olağandışı piyasa hareketlerinin yaşandığı dönemlerde kendi beklentilerini göz ardı ederek yatırım kararlarını toplam piyasa hareketine göre verdiklerinde, bireysel varlık getirilerinin genel piyasa getirisinden

anlamalı bir şekilde farklılaşmayacağını ve bu nedenle CSSD değerinin normalden daha düşük olacağını ileri sürmektedirler. Denklem 12, CSSD değerinin nasıl hesaplandığını göstermektedir.

$$CSSD_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (R_{i,t} - R_{m,t})^2}{N - 1}} \quad (12)$$

Christie ve Huang (1995), aşırı piyasa hareketlerinin yaşandığı dönemlerde yatırımcıların piyasa konsensüsüne uygun davranma olasılıklarının arttığını iddia etmektedir. Bu nedenle, pay senedi getirilerinin CSSD değerlerinin bu dönemlerde ortalamanın anlamalı bir şekilde altında kalıp kalmadığını ampirik olarak test etmektedir. Denklem 13'te verilen ampirik modeli tahmin etmektedirler.

$$CSSD_t = \alpha + \beta_1 D_t^L + \beta_2 D_t^U + \varepsilon_t \quad (13)$$

Denklem 13'te D_t^L kukla değişkeni t zamanında piyasa getirisinin aşırı alt kuyrukta yer aldığı durumda 1, diğer durumlarda ise 0 değerini alırken, D_t^U ise t zamanında piyasa getirisinin aşırı üst kuyrukta yer aldığı durumda ise 1, diğer durumlarda ise 0 değerini alacak şekilde tanımlanmıştır.

α katsayısı, iki kukla değişkenin ifade ettiği bölgeler dışında kalan ortalama CSSD değerini yansıtmaktadır. Rasyonel varlık fiyatlandırma modellerine göre, β_1 ve β_2 katsayılarının pozitif ve anlamalı olması beklenmektedir. Eğer β_1 ve β_2 katsayıları negatif ve anlamalı ise, sürü davranışının bir kanıtı olarak yorumlanabilir. Christie ve Huang (1995), aşırı fiyat hareketlerini belirlemek için piyasa getiri dağılımının üst ve alt kuyruğundaki gözlemlerin %1 ve %5'lik dilimlerini kullanmaktadır.

Yatırımcıların, büyük ortalama fiyat hareketlerinin olduğu dönemlerde toplu piyasa davranışına uyum sağlama ve kendi önceliklerini göz ardı etme eğilimi vardır. Bu durumda, dağılım ile piyasa getirisi arasındaki doğrusal ve artan ilişki geçerliliğini yitirebilir. Bunun yerine, ilişki doğrusal olmayan bir şekilde artabilir veya azalabilir (Chang vd., 2000).

Chang vd. (2000), rasyonel varlık fiyatlandırma modellerinin, bireysel varlık getirilerindeki dağılım ile bir piyasa portföyünün getirisi arasında doğrusal bir ilişki ima

ettiğini belirtir. Piyasa getirisinin mutlak değeri arttıkça, bireysel varlık getirilerindeki dağılım da artmalıdır. Piyasa fiyatlarında nispeten büyük hareketlerin olduğu dönemlerde, yatırımcılar sürü davranışı sergileyerek daha homojen tepki verebilirler. Bu davranışın korelasyonu artırması muhtemeldir.

Chang vd. (2000), Christie ve Huang (1995) tarafından önerilen yaklaşıma bir alternatif olarak, sürü davranışını getiri dağılımının bir ölçüsü olarak Cross Sectional Absolute Deviation (CSAD) aracılığıyla analiz etmeyi önermişlerdir. Denklem 14 CSAD'nin hesaplama yöntemini göstermektedir.

$$CSAD_t = \frac{\sum_{i=1}^N |R_{i,t} - R_{m,t}|}{N} \quad (14)$$

Chang vd. (2000), piyasa stresi dönemlerinde getiri dağılımı ($CSAD_t$) ile piyasa getirisi ($R_{m,t}$) arasında doğrusal olmayan bir ilişkinin oluşabileceğini iddia etmişlerdir. Christie ve Huang (1995), aşırı piyasa getirileri ve büyük fiyat hareketleri dönemlerinde sürü davranışı olasılığının daha yüksek olabileceğini ileri sürmüşlerdir; bu sebeple, Denklem 15 piyasa getirisine dayalı bir model olarak sunulmuştur.

$$CSAD_t = \alpha + \gamma_1 |R_{m,t}| + \gamma_2 R_{m,t}^2 + \varepsilon_t \quad (15)$$

Chang vd. (2000), getiri dağılımının piyasa getirileriyle doğrusal bir ilişkiye sahip olduğunu varsayan Capital Asset Pricing Model (CAPM) dayanarak CSAD'yi geliştirmiştir. Bu nedenle, sürü davranışı olmadığında γ_1 katsayısı için pozitif ve anlamlı bir tahmin beklenir. Ancak, aşırı piyasa değişimlerinin yaşandığı günlerde sürü davranışı varsa, getirilerin yatay kesit dağılımının piyasa getirisine göre daha az artması veya azalması beklenir. Bu durumda, sürü davranışının mevcut olduğu kabul edilirken, tahmin edilen γ_2 katsayısının negatif ve istatistiksel olarak anlamlı olması gerekir.

$$CSAD_t^{UP} = \alpha + \gamma_1^{UP} |R_{m,t}^{UP}| + \gamma_2^{UP} (R_{m,t}^{UP})^2 + \varepsilon_t, R_{m,t} > 0 \quad (16)$$

$$CSAD_t^{DOWN} = \alpha + \gamma_1^{DOWN} |R_{m,t}^{DOWN}| + \gamma_2^{DOWN} (R_{m,t}^{DOWN})^2 + \varepsilon_t, R_{m,t} < 0 \quad (17)$$

Denklem 16 piyasa getirisinin ($R_{m,t}$) pozitif olduğu durumlarda sürü davranışını gösterirken, Denklem 17 piyasa getirisinin ($R_{m,t}$) negatif olduğu durumlarda sürü

davranışını göstermektedir. Dolayısıyla, $CSAD_t^{UP}$, $R_{m,t}$ 'nin pozitif olduğu günlerde $CSAD_t$ 'yi ve $CSAD_t^{DOWN}$ ise $R_{m,t}$ 'nin negatif olduğu günlerde $CSAD_t$ 'yi temsil eder.

3.4. Kripto Para Piyasasındaki Volatilitenin Davranışsal Finans Dinamikleri Açısından Analizi

Araştırmanın bu kısmında öncelikle kripto para piyasasının volatilité yapısı tespit edilmiştir. Ardından, belirlenen volatilité yapısı dikkate alınarak takvim anomalisi analizi yapılmıştır. Son olarak, kripto para piyasasındaki sürü davranışının analizi gerçekleştirilmiştir.

3.4.1. Kripto Para Piyasasının Volatilité Yapısı

Bir varlık getiri serisi için volatilité modeli oluşturmak için dört adım izlenir (Tsay, 2010; Tsay, 2013). İlk adım, verilerdeki otokorelasyonun test edilmesi, ortalama denkleminin belirlenmesi ve gerektiği takdirde ARMA⁵⁵ modeli gibi bir ekonometrik modelin kurulmasıdır. İkinci adım, ortalama denkleminin hata terimi kullanılarak ARCH etkisinin test edilmesidir. Üçüncü adım, ARCH etkisi istatistiksel olarak anlamlıysa volatilité modelinin seçilmesi ve ortalama ve varyans denkleminin birlikte tahmin edilmesidir. Dördüncü ve son adım ise uygun modelin kontrol edilmesi ve gerektiğinde revize edilmesidir.

3.4.1.1. Ortalama Denklemi

Ortalama denklemi belirlenirken ilk adım olarak, ARMA(p,q) modeli tahmin edilmiştir. Modelde yer alan p, autoregressive (AR) bileşenine ait gecikme sayısını, q ise moving average (MA) bileşenine ait gecikme sayısını göstermektedir. ARMA(p,q) modeli Denklem 18'de yer almaktadır.

⁵⁵ ARMA modeli, autoregressive (AR) ve moving average (MA) olmak üzere iki ayrı bileşenden oluşmaktadır.

$$\begin{aligned}
R_t &= \phi_0 + \phi_1 R_{t-1} + \phi_2 R_{t-2} + \cdots + \phi_p R_{t-p} + \varepsilon_t \\
&+ \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \cdots + \theta_q \varepsilon_{t-q} \\
\varepsilon_t &\sim N(0, \sigma^2)
\end{aligned} \tag{18}$$

Uygun bir ARMA(p,q) modeli seçiminde Box-Jenkins yöntemi, kullanılan en yaygın yöntemdir. Bu yöntemde, tek değişkenli bir zaman serisi üzerinden uygun bir model seçmek üç aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; tanımlama aşaması (identification stage), tahmin aşaması (estimation stage) ve tanılama kontrolü (diagnostic checking) aşamalarıdır. Box-Jenkins, cimri modellerin aşırı parametrelili modellerden daha iyi tahminler ürettiğini iddia etmektedir. Box-Jenkins yaklaşımındaki temel fikir, parsimonious ilkesine dayanmaktadır (Enders, 2015). Model seçiminin ilk aşamasında serilerin durağanlığı araştırılmaktadır. Tablo 15’te yer alan birim kök test sonuçları incelendiğinde hem ADF hem de PP sonuçları verilerin durağan olduğunu göstermektedir. Araştırma kapsamında ele alınan BTC (günlük-saatlik) ve ETH (günlük-saatlik) getirileri, $p, q \leq 2$ için bütün kombinasyonlar denenmiştir. Tablo 17’de, alternatif modeller için LL, AIC, BIC, HQ, Q(5) ve ARCH(5) değerleri yer almaktadır. Model seçimi için BIC kriteri dikkate alınmıştır (Lütkepohl, 2005).

Tablo 17. Ortalama denklem seçimi

	ARMA (1,0)	ARMA (2,0)	ARMA (1,1)	ARMA (2,1)	ARMA (1,2)	ARMA (2,2)
Panel A: BTC Günlük						
LL	5,324.85	5,325.03	5,324.96	5,327.33	5,327.28	5,327.34
AIC	-3.6445	-3.6440	-3.6439	-3.6449	-3.6448	-3.6442
BIC	-3.6404	-3.6378	-3.6378	-3.6367	-3.6366	-3.6340
HQ	-3.6431	-3.6418	-3.6417	-3.6419	-3.6419	-3.6405
Q(5)	1.93	1.53	1.71	0.39	0.47	0.39
ARCH(5)	114.72***	115.29***	114.91***	115.28***	115.34***	115.37***
Panel B: ETH Günlük						
LL	3,024.96	3,027.92	3,026.91	3,028.76	3,028.40	3,029.15
AIC	-3.0831	-3.0851	-3.0840	-3.0849	-3.0845	-3.0843
BIC	-3.0774	-3.0765	-3.0755	-3.0735	-3.0732	-3.0701
HQ	-3.0810	-3.0819	-3.0809	-3.0807	-3.0804	-3.0791
Q(5)	7.57	1.23	3.88	0.74	1.38	0.19
ARCH(5)	70.55***	72.02***	69.23***	72.56***	73.27***	71.33***
Panel C: BTC Saatlik						
LL	235,321	235,361	235,362	235,365	235,366	235,367
AIC	-6.7112	-6.7123	-6.7124	-6.7124	-6.7124	-6.7125
BIC	-6.7110	-6.7119	-6.7120	-6.7119	-6.7119	-6.7118
HQ	-6.7111	-6.7122	-6.7122	-6.7123	-6.7123	-6.7122
Q(5)	89.43***	12.25***	8.68***	2.85	2.61	0.11
ARCH(5)	4,483***	4,446***	4,492***	4,471***	4,469***	4,459***
Panel D: ETH Saatlik						
LL	145,514	145,541	145,540	145,547	145,547	145,547
AIC	-6.1806	-6.1817	-6.1816	-6.1819	-6.1819	-6.1818
BIC	-6.1802	-6.1811	-6.1811	-6.1811	-6.1811	-6.1809
HQ	-6.1805	-6.1815	-6.1815	-6.1816	-6.1816	-6.1815
Q(5)	63.73***	11.68***	10.16***	0.55	0.43	0.26
ARCH(5)	3,556***	3,480***	3,517***	3,498***	3,497***	3,494***

***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde anlamlılığı göstermektedir.

Not: LL, log-likelihood değeri; AIC, Akaike; BIC, Schwarz-Bayesian; HQ, Hannan-Quinn bilgi kriterleridir. Q, Ljung-Box Q istatistiğidir. ARCH, ARCH LM testidir. Parantez içerisindeki değerler gecikme sayısını göstermektedir.

Tablo 17'deki Panel A'da, BTC'nin günlük getiri serisi için en uygun modelin ARMA(1,0) olduğu görülmektedir. Modelde Q(5) istatistiği, seride otokorelasyon olmadığını göstermektedir. 5. gecikme için uygulanmış ARCH-LM testi ise seride ARCH etkisi olduğunu belirtir. Panel B'de, ETH'nin günlük getiri serisine ilişkin sonuçları yer almaktadır. BTC'de olduğu gibi, ETH için de ARMA(1,0) en düşük BIC değerini göstermektedir. Q(5) istatistiği seride otokorelasyonun olmadığını, ARCH-LM testi ise seride ARCH etkisinin olduğunu göstermektedir. Panel C ve Panel D ise sırasıyla BTC ve ETH'nin saatlik getiri sonuçlarını göstermektedir. En uygun model, her ikisi için de ARMA(2,1) olarak belirlenmiştir. Q(5) istatistiği seride otokorelasyon olmadığını,

ARCH-LM testi ise seride ARCH etkisinin olduğunu göstermektedir. Bu nedenle hem BTC hem de ETH getiri serileri koşullu değişen varyans modelleri ile sınanmalıdır. Yukarıda bahsedilen duruma göre, BTC ve ETH için en uygun ortalama denklemi Tablo 18’de özetlenmiştir.

Tablo 18. Uygun ortalama model denklemi

Veri Seti	Model	Model Denklemi
Günlük	ARMA(1,0)	$R_t = \phi_0 + \phi_1 R_{t-1} + \varepsilon_t$
Saatlik	ARMA(2,1)	$R_t = \phi_0 + \phi_1 R_{t-1} + \phi_2 R_{t-2} + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1}$

3.4.1.2. Koşullu Varyans Denklemi

Önceki kısımda, getiri serileri için uygun bir ARMA modeli kurulmuş ve ortalama denklemi belirlenmiştir. Getiri serisinde ARCH etkisi tespit edilmiştir. Çalışmanın bu kısmında ise, uygun volatilité modelinin belirlenmesi sürecine değinilmiştir. Bu amaçla, GARCH, EGARCH ve TGARCH modelleri karşılaştırılmış ve değişkenler için en uygun volatilité modeli belirlenmiştir.

Kripto para volatilitésini tahmin etmek için uygun modellerin seçilmesi kritik bir öneme sahiptir. Literatürde çok sayıda GARCH modeli bulunmaktadır ve bu da tek GARCH benzeri modelin tahmin aracı olarak tanımlanmasını zorlaştırmaktadır (Köchling vd., 2020). Ngunyi vd. (2019) tarafından belirtildiği üzere, asimetrik GARCH modelleri genellikle tüm kripto paralar için daha iyi performans göstermektedir. Ayrıca, Gyamerah (2019) ve Franke vd. (2019) TGARCH modelinin, Qi vd. (2020) ise EGARCH modelinin diğer modellerden daha iyi performans gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Önceki tartışmalardan dolayı, hem BTC hem de ETH için günlük getiri verileri için ortalama denklemi olarak ARMA(1,0) modeli seçilmiştir. Bu nedenle, Tablo 19’da ARMA(1,0)-GARCH(1,1), ARMA(1,0)-EGARCH(1,1) ve ARMA(1,0)-TGARCH(1,1) modellerinin sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 19. Günlük veriler için GARCH model tahminleri

	BTC (Günlük)			ETH (Günlük)		
	GARCH	EGARCH	TGARCH	GARCH	EGARCH	TGARCH
Sabit (ϕ_0)	0.0021*** (0.0006)	0.0018*** (0.0006)	0.0019*** (0.0006)	0.0020* (0.0011)	0.0021** (0.0010)	0.0017 (0.0011)
AR(1) (ϕ_1)	-0.0347* (0.0195)	-0.0566*** (0.0183)	-0.0286 (0.0199)	-0.0493* (0.0257)	-0.04530 (0.0244)	-0.0409 (0.0261)
Sabit (ω)	0.0001*** (0.0000)	-0.6159*** (0.0409)	0.0001*** (0.0000)	0.0002*** (0.0000)	-0.6315*** (0.0802)	0.0002*** (0.0000)
ARCH (α)	0.1219*** (0.0076)	0.2557*** (0.0142)	0.1028*** (0.0101)	0.0876*** (0.0086)	0.2001*** (0.0184)	0.0723*** (0.0118)
GARCH (β)	0.8462*** (0.0092)	0.9336*** (0.0049)	0.8402*** (0.0096)	0.8429*** (0.0159)	0.9186*** (0.0121)	0.8220*** (0.0183)
EGARCH (γ)		-0.0318*** (0.0062)			-0.0336*** (0.0086)	
TGARCH (δ)			0.04467*** (0.0090)			0.0443*** (0.0127)
LL	5,571.97	5,587.52	5,575.35	3,098.54	3,100.13	3,100.62
AIC	-3.8130	-3.8230	-3.8146	-3.1567	-3.1573	-3.1578
BIC	-3.8028	-3.8107	-3.8023	-3.1424	-3.1402	-3.1407
HQ	-3.8093	-3.8185	-3.8102	-3.1514	-3.1510	-3.1515
ARCH(5)	3.5563	3.6044	3.6441	5.0078	5.2244	4.9815

***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde anlamlılığı göstermektedir.

Not: LL, log-likelihood değeri; AIC, Akaike; BIC, Schwarz-Bayesian; HQ, Hannan-Quinn bilgi kriterleridir. ARCH, ARCH LM testidir. Parantez içerisindeki değerler standart hataları göstermektedir.

BTC günlük getiri verileri için, ARMA(1,0)-EGARCH(1,1) modelinde LL değerinin (5,587.52) en yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, üç bilgi kriteri için (AIC: -3.8230; BIC: -3.8107; HQ: -3.8185) en düşük değerin ARMA(1,0)-EGARCH(1,1) modelinde olduğu görülmektedir. Modeldeki ortalama ve varyans denklemindeki tüm parametreler istatistiksel olarak anlamlıdır ve ARCH(5) testi sonuçları ARCH etkisinin kalmadığını göstermektedir. Bu nedenle, BTC günlük getiri verileri için en uygun model ARMA(1,0)-EGARCH(1,1) modelidir. ETH günlük getirileri için ise, LL değerinin (3,100.62) en yüksek olduğu model ARMA(1,0)-TGARCH(1,1) modelidir. AIC (-3.1578) ve HQ (-3.1515) değerlerinin en düşük olduğu model de ARMA(1,0)-TGARCH(1,1) iken, BIC (-3.1424) için en düşük değer ARMA(1,0)-GARCH(1,1) modelidir. ARMA(1,0)-TGARCH(1,1) modelinde ortalama denklemindeki parametreler istatistiksel olarak anlamlı değildir, ancak varyans denklemindeki parametreler istatistiksel olarak anlamlıdır. Her iki model için de ARCH(5) testi sonuçları ARCH etkisinin kalmadığını göstermektedir. Bu nedenle, daha önce de bahsedildiği gibi (model seçiminde BIC dikkate alınarak), ETH günlük getiri verileri için en uygun model ARMA(1,0)-GARCH(1,1) modelidir.

Benzer şekilde, BTC ve ETH saatlik getiri verileri için en uygun ortalama denklemi ARMA(2,1) olduğu tespit edilmiştir. Tablo 20’de ARMA(2,1)-GARCH(1,1), ARMA(2,1)-EGARCH(1,1) ve ARMA(2,1)-TGARCH(1,1) modellerinin sonuçları yer almaktadır.

Tablo 20. Saatlik veriler için GARCH model tahminleri

	BTC (Saatlik)			ETH (Saatlik)		
	GARCH	EGARCH	TGARCH	GARCH	EGARCH	TGARCH
Sabit (ϕ_0)	0.0001** (0.0001)	0.0003*** (0.0000)	0.0001*** (0.0000)	0.0001 (0.0001)	0.0000 (0.0000)	0.0001* (0.0000)
AR(1) (ϕ_1)	0.5472*** (0.1193)	0.6305*** (0.0386)	0.5676*** (0.0850)	0.5617*** (0.1748)	0.9797*** (0.0011)	0.9515*** (0.0183)
AR(2) (ϕ_2)	-0.0049 (0.0110)	0.0010 (0.0051)	0.0025 (0.0068)	-0.0081 (0.0123)	0.0201*** (0.0011)	0.0169*** (0.0049)
MA(1) (θ_1)	-0.5893*** (0.1184)	-0.6828*** (0.0387)	-0.6113*** (0.0849)	-0.5898*** (0.1738)	-0.9999*** (0.0000)	-0.9722*** (0.0177)
Sabit (ω)	0.0000*** (0.0000)	-0.4355*** (0.0025)	0.0000*** (0.0000)	0.0001*** (0.0000)	-0.3253*** (0.0036)	0.0000*** (0.0000)
ARCH (α)	0.1500*** (0.0043)	0.1906*** (0.0010)	0.0691*** (0.0006)	0.1500*** (0.0054)	0.1601*** (0.0014)	0.0435*** (0.0007)
GARCH (β)	0.6000*** (0.0078)	0.9686*** (0.0002)	0.9171*** (0.0004)	0.6000*** (0.0111)	0.9768*** (0.0003)	0.9273*** (0.0007)
EGARCH (γ)		-0.0118*** (0.0006)			-0.0376*** (0.0009)	
TGARCH (δ)			0.0199*** (0.0009)			0.0368*** (0.0011)
LL	233,034.40	251,953.60	251,808.40	144,789.10	153,562.60	153,385.10
AIC	-6.6461	-7.1856	-7.1815	-6.1498	-6.5224	-6.5149
BIC	-6.6451	-7.1846	-7.1804	-6.1485	-6.5210	-6.5134
HQ	-6.6458	-7.1853	-7.1812	-6.1494	-6.5220	-6.5144
ARCH(5)	273.55***	3.1937	4.3439	237.80***	27.15***	21.21***

***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde anlamlılığı göstermektedir.

Not: LL, log-likelihood değeri; AIC, Akaike; BIC, Schwarz-Bayesian; HQ, Hannan-Quinn bilgi kriterleridir. ARCH, ARCH LM testidir. Parantez içerisindeki değerler standart hataları göstermektedir.

BTC saatlik getiri verileri için, ARMA(2,1)-EGARCH(1,1) modelinde LL değerinin (251,953.60) en yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, üç bilgi kriteri için (AIC: -7.1856; BIC: -7.1846; HQ: -7.1853) en düşük değerin ARMA(2,1)-EGARCH(1,1) modelinde olduğu görülmektedir. Modeldeki ortalama denklemindeki AR(2) parametresi hariç tüm parametreler istatistiksel olarak anlamlıdır ve ARCH(5) testi sonuçları ARCH etkisinin kalmadığını göstermektedir. Bu nedenle, BTC saatlik getiri verileri için en uygun model ARMA(2,1)-EGARCH(1,1) modelidir. Benzer şekilde ETH saatlik getirileri için de, LL değerinin (153,562.60) en yüksek olduğu model ARMA(2,1)-EGARCH(1,1) modelidir. AIC (-6.5224), BIC (-6.5210) ve HQ (-6.5210) değerlerinin en düşük olduğu model de ARMA(2,1)-EGARCH(1,1) modelidir. Modeldeki ortama

denklemindeki sabit hariç tüm parametreler istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu nedenle, BTC saatlik getiri verilerine benzer şekilde ETH saatlik getiri verileri için de en uygun model ARMA(2,1)-EGARCH(1,1) modelidir.

Kripto para piyasasının volatilité yapısının tespit edilmeye çalışıldığı bu kısımda elde edilen sonuçlara göre, hem BTC hem de ETH günlük verileri için en uygun ortalama denklemi ARMA(1,0) olarak belirlenmiştir. BTC günlük verileri için en uygun volatilité modeli ARMA(1,0)-EGARCH(1,1) modelidir. Modelin parametrelerine bakıldığında, kaldıraç etkisini gösteren γ (-0.0318) negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Dolayısıyla, BTC günlük getirileri için kaldıraç etkisi vardır ve olumsuz haberlerin volatilité üzerindeki etkisi, olumlu haberlerin etkisinden daha fazladır. ETH günlük verileri için ise en uygun volatilité modeli ARMA(1,0)-GARCH(1,1) modelidir. Saatlik verileri incelendiğinde ise, hem BTC hem de ETH için en uygun volatilité modellerinin her iki kripto para için ARMA(2,1)-EGARCH(1,1) olduğu tespit edilmiştir. Her iki kripto para için de γ parametresi (BTC: -0.0118; ETH: -0.0376) negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Dolayısıyla, elde edilen sonuçlar kaldıraç etkisi olduğunu göstermektedir ve volatilitéyi negatif bir şok pozitif bir şoktan daha fazla arttırmaktadır.

Elde edilen bu bulgular, Bouiyou ve Selmi (2019), Zargar ve Kumar (2019) ve Zhou (2021) tarafından olumsuz haberlerin volatilité üzerindeki etkisinin olumlu haberlerden daha fazla olduğunu gösteren bulgularıyla uyumludur. Buna karşın, Baur ve Dimpfl (2018), Ahmed (2020), Farkhfekh ve Jeribi (2020), Wajdi vd. (2020) ve Wang vd. (2021) tarafından yapılan çalışmalar olumlu haberlerin etkisinin olumsuz haberlerden daha önemli olduğunu öne sürmektedir. Baur ve Dimpfl (2018), negatif şoklara verilen düşük volatilité tepkisini bilgili yatırımcıların daha ihtiyatlı bir yaklaşım benimsemesine bağlamaktadır. Farkhfekh ve Jeribi (2020), pozitif şoklara tepki olarak artan volatilitenin bilgisiz yatırımcıların sürü davranışından kaynaklanabileceğini öne sürmektedir. Wang vd.'de (2021) benzer şekilde bilgisiz yatırımcıların piyasada önemli bir rol oynamaya devam ettiğini iddia etmekte ve bu tür yatırımcıların daha fazla fiyat artışı endişesi nedeniyle piyasaya girdiğine atıfta bulunmaktadır.

3.4.2. Kripto Para Piyasasında Takvim Anomalisi Analizi

Pay senedi piyasalarındaki takvim anomalilerinin incelendiği literatürde, haftanın günü etkisi, yılın ayı etkisi ve cadılar bayramı etkisi gibi etkiler bulunmaktadır. Takvim anomalileri, getirilerde takvime bağlı olarak ortaya çıkan anomalilerdir. Mills ve Coutts'e (1995) göre, haftanın günü etkisi, yılın ayı etkisi, ocak ayı etkisi, tatil etkisi ve cadılar bayramı etkisi, en önemli takvim anomalileri arasında yer almaktadır. Çalışmanın bu kısmında, BTC ve ETH getirileri için haftanın günü, yılın ayı ve gün içi saat etkileri analiz edilmiştir. Özellikle, pay senedi piyasalarının kapalı olduğu zamanlarda kripto para yatırımcılarının farklı yatırım stratejileri uygulayıp uygulamadığı analiz edilmiştir. BTC ve ETH getirilerinde haftanın günü (DoW), yılın ayı (MoY) ve günün saati (ToD), modelleri analiz edilerek bu sorulara yanıt aranmıştır. Ayrıca, kripto paraların günün her saniyesinde sürekli ve küresel olarak alınıp satılıyor olması, günün saati, haftanın günü ve yılın ayı etkilerinin analiz edilmesini açısından çok önemlidir. Kripto para alım-satım platformları farklı coğrafyalarda farklı etkiler gösterebilir. Örneğin, Euro ile yatırım yapan Avrupalı yatırımcılar ile Yuan veya Yen ile yatırım yapan Çinli veya Japon yatırımcıların davranışları farklılık gösterebilir. Kripto para piyasalarının asla kapanmaması bu konuda en kritik konulardan biridir. BTC, ETH, LTC, XRP gibi herhangi bir kripto parayı her zaman, her gün, her gece, pazar günleri veya tatil günlerinde bile satın almak ve satmak mümkündür. Bu özelliklerinden dolayı, kripto para piyasasındaki takvim anomalilerinin araştırılması özellikle ilgi çekicidir. Takvim anomalileri incelenirken, kripto para piyasasının volatilité yapısı başlığında belirlenen modeller gözetilerek ilerlenecektir.

3.4.2.1. Haftanın Günü Anomalisi Bulguları

Finansal piyasalarda tespit edilen ve pay senetleri, tahviller, para birimleri ve emtia gibi varlıkların haftanın bazı günlerinde diğer günlere göre farklı getirilere sahip olması olarak bilinen haftanın günü anomalisi, literatürde iyi bilinen bir olgudur (Aharon ve Qadan, 2019; Ma ve Tanizaki, 2019b). Bu takvim anomalisi genellikle borsa getirileri ve borsa oynaklığı üzerinde gözlemlenir. Pazartesi günleri piyasanın genellikle negatif getirilere sahip olduğu, cuma günleri ise pozitif getirilere sahip olduğu literatürde belirtilmektedir (Berument ve Dogan, 2012). Örneğin, French (1980) tarafından yapılan bir çalışmada, pay senedi piyasalarında haftanın son işlem gününde (cuma) ortalamanın

üzerinde getiri, ilk işlem gününde (pazartesi) ise ortalamanın altında getiri olduğu gözlemlenmiştir.

Kripto para piyasası ise tatiller ve hafta sonları dahil her gün 24 saat açık olduğundan yayımlanan bilgilerin fiyatlara anında yansması ve getiri dağılımının aynı olması beklenir. Bu nedenle, kripto para birimleri için yatırım yapılacak günlerin, diğer varlık sınıflarından farklı olarak haftanın yedi gününde değişebilir olması ilginçtir. Haftanın günü anomalisi, finansal piyasalarda olduğu gibi kripto para piyasasında da bu açıdan araştırılmaya değer bir konudur.

Araştırmaya konu veri seti, BTC ve ETH'nin günlük fiyatlarını içermektedir. Tablo 21, BTC ve ETH getiri serisine ait haftanın her gününe ilişkin tanımlayıcı istatistikleri göstermektedir.

Tablo 21. Haftanın günlerine ait tanımlayıcı istatistikler

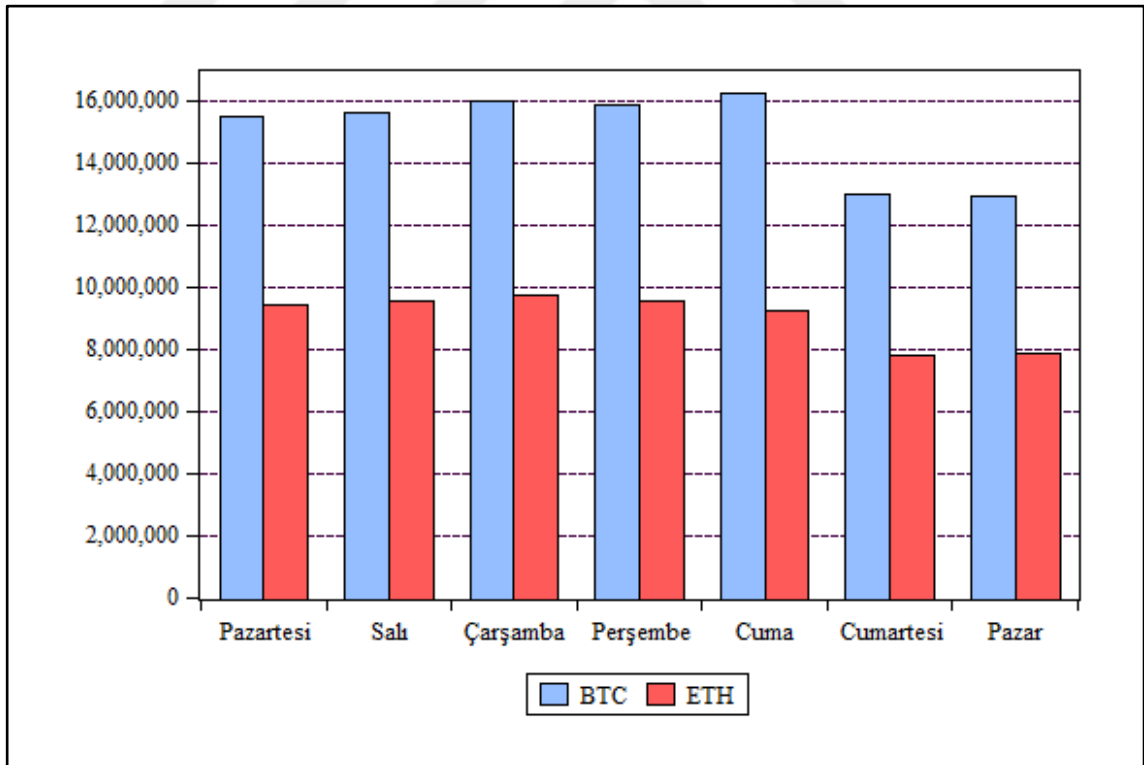
	Pzt	Sal	Çarş	Perş	Cum	Cts	Pzr
Panel A: BTC Tanımlayıcı İstatistik (02.01.2015-31.12.2022)							
N	417	417	417	417	418	418	417
Ort	0.0054	0.0008	0.0015	0.0021	0.0026	0.0024	-0.0001
SS	0.0421	0.0389	0.0417	0.0481	0.0383	0.0314	0.0306
Min	-0.1607	-0.1632	-0.2449	-0.3898	-0.1619	-0.1185	-0.1122
Mak	0.1945	0.1845	0.1667	0.2692	0.1651	0.1431	0.1295
Çarp	0.2874	-0.2619	-0.5036	-0.5168	0.1975	-0.0129	-0.1228
Bas	5.8658	6.2348	7.5699	17.5209	5.9824	6.9623	5.6336
Panel B: ETH Tanımlayıcı İstatistik (18.08.2017-31.12.2022)							
N	280	280	280	280	280	281	280
Ort	0.0031	0.0007	0.0028	-0.0037	0.0045	0.0056	0.0014
SS	0.0581	0.0509	0.0547	0.0598	0.0528	0.0382	0.0455
Min	-0.1743	-0.1714	-0.2771	-0.4376	-0.1460	-0.1322	-0.1625
Mak	0.2637	0.2326	0.1439	0.1775	0.2379	0.1238	0.2627
Çarp	0.4128	0.3185	-0.6461	-1.3587	0.4442	0.0802	0.2709
Bas	5.4077	5.5896	5.6939	13.2281	5.0611	4.6082	8.2072

Not: N, gözlem sayısı; Ort, Ortalama; SS, Standart Sapma; Min, Minimum; Mak, Maksimum; Çarp, Çarpıklık; Bas, Basıklık; Pzt, Pazartesi; Sal, Salı; Çarş, Çarşamba; Perş, Perşembe; Cum, Cuma; Cts, Cumartesi; Pzr, Pazar göstermektedir.

Daha önce Tablo 14'te tüm örneklem dönemi için getiri istatistikleri sunulmuştu. Buna göre, BTC için ortalama getiri 0.0021 ve standart sapma 0.0391, ETH için ise ortalama getiri 0.0021 ve standart sapma 0.0519 olarak bulunmuştu. Her bir günün getirisi incelendiğinde, bulgular BTC için en yüksek ortalama getirinin pazartesi günü 0.0054, en düşük getirinin ise pazar günü -0.0001 olduğunu göstermektedir. Öte yandan, bu bulgular ETH için farklılık göstermektedir. ETH için en yüksek ortalama getiri cumartesi günü

0.0056 ve en düşük getiri perşembe günü -0.0037 olarak bulunmuştur. Tablo 21 ayrıca her gün için standart sapmaları, minimum ve maksimum getirileri, çarpıklık ve basıklık değerlerini raporlamaktadır. BTC için, en yüksek standart sapma 0.0481 ile perşembe günü, en düşük standart sapma ise 0.0306 ile pazar günüdür. ETH için ise, en yüksek standart sapma BTC ile aynı gün olan perşembe günü 0.0598 ve en düşük standart sapma cumartesi 0.0382 olarak bulunmuştur.

Örneklem süresi boyunca, pazar günleri BTC getirileri diğer günlerden önemli ölçüde düşük ve negatiftir. Benzer şekilde standart sapmada diğer günlere göre daha düşük bulunmuştur. Dorfleitner ve Lung (2018), bu durumu işlem hacmi ile varlık getirileri ve riski arasındaki nedensel bir ilişki olduğu varsayımıyla, pazar günleri gözlenen düşük işlem hacmiyle açıklamaktadır. Ancak, bu durum ETH için geçerli değildir. Bu durum Şekil 18’de yer alan işlem hacmi grafiğiyle de teyit edilebilir. Özellikle BTC ve ETH’nin hafta içi işlem hacminin önemli ölçüde daha yüksek olduğu ve hafta sonu işlem hacminin düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 18. Haftanın günü BTC ve ETH işlem hacmi (1,000 ABD doları)

Not: BTC için ortalama günlük işlem hacmi 1 Ocak 2014 ile 31 Aralık 2022 arasında, ETH için ise, 7 Ağustos 2015 ile 31 Aralık 2022 arasındadır. İşlem hacmi ABD doları cinsinden raporlanmıştır. Veriler <https://coinmarketcap.com/> adresinden elde edilmiştir.

Tablo 22, BTC ve ETH için haftanın günü analizinin sonuçlarını göstermektedir. Tablo, koşullu ortalama denklemi ve koşullu varyans denklemi için tahmin edilen katsayıları içermektedir. Pazartesi günleri katsayıları çıkarıldığı için bu gün karşılaştırma için temel oluşturmaktadır.

Tablo 22. Haftanın günü anomalisi analiz sonuçları

	BTC	ETH
Sabit (ϕ_0)	0.0042*** (0.0015)	0.0018 (0.0030)
Salı (ϕ_1)	-0.0004 (0.0020)	-0.0014 (0.0041)
Çarşamba (ϕ_2)	-0.0052*** (0.0019)	0.0001 (0.0043)
Perşembe (ϕ_3)	-0.0022 (0.0022)	-0.0078* (0.0043)
Cuma (ϕ_4)	-0.0028 (0.0021)	0.0015 (0.0041)
Cumartesi (ϕ_5)	-0.0011 (0.0019)	0.0040 (0.0036)
Pazar (ϕ_6)	-0.0045** (0.0019)	0.0001 (0.0039)
AR(1) (ϕ_7)	-0.0604*** (0.0192)	-0.0567** (0.0260)
Sabit (ω)	0.0157 (0.0769)	0.0010*** (0.0002)
ARCH (α)	0.2749*** (0.0160)	0.1012*** (0.0124)
GARCH (β)	0.9347*** (0.0055)	0.8089*** (0.0255)
EGARCH (γ)	-0.0191*** (0.0074)	
Salı (V_1)	-0.4952*** (0.1024)	-0.0009*** (0.0003)
Çarşamba (V_2)	-0.7646*** (0.0759)	-0.0005** (0.0003)
Perşembe (V_3)	-0.4609*** (0.0823)	-0.0007*** (0.0003)
Cuma (V_4)	-0.8662*** (0.0755)	-0.0010*** (0.0003)
Cumartesi (V_5)	-1.1301*** (0.0841)	-0.0019*** (0.0002)
Pazar (V_6)	-0.7879*** (0.0964)	-0.0005** (0.0002)
LL	5,664.57	3,137.39
AIC	-3.8675	-3.1841
BIC	-3.8307	-3.1357
HQ	-3.8542	-3.1663
ARCH(5)	6.6313	7.8320

***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde anlamlılığı göstermektedir.

Not: LL, log-likelihood değeri; AIC, Akaike; BIC, Schwarz-Bayesian; HQ, Hannan-Quinn bilgi kriterleridir. ARCH, ARCH LM testidir. Parantez içerisindeki değerler standart hataları göstermektedir.

BTC için, koşullu ortalama denklemindeki kukla değişkenler için tahmin edilen katsayılar, haftanın diğer günlerine kıyasla pazartesi günlerinde getirilerin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Salı'dan pazara (ϕ_1 'den ϕ_6 'ya) kadar olan tüm kukla değişkenlere karşılık gelen katsayılar negatiftir. Ayrıca, bu katsayılardan çarşamba günü %1'lik anlamlılık düzeyinde sıfırdan önemli ölçüde farklıdır. Aynı şekilde, pazar gününe denk gelen katsayı ise %5 anlamlılık düzeyinde sıfırdan önemli ölçüde farklıdır. Koşullu varyans denkleminde, sabit terim (ω) hariç tüm katsayılar istatistiksel olarak %1 anlamlılık düzeyinde anlamlıdır. BTC için koşullu varyans denkleminde, salıdan pazara kadar tüm kukla değişken katsayıları sürekli negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır.

ETH için ise, koşullu ortalama denklemindeki kukla değişkenler için tahmin edilen katsayılar, perşembe günündeki getirinin pazartesi gününden daha düşük olduğunu göstermektedir. Perşembe gününe ait katsayı (ϕ_3) negatif ve istatistiksel olarak %10 düzeyinde anlamlıdır. Ayrıca, koşullu ortalama denkleminde salı gününe ait katsayı negatif olmakla birlikte istatistiksel olarak anlamlı değildir. Diğer günler için tahmin edilen katsayıların hepsi pozitifdir. Koşullu varyans denkleminde, sabit terim (ω), ARCH terimi (α) ve GARCH terimi (β) katsayıları pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Model katsayıları, beklentiyle uyumlu olarak $\omega > 0$, $\alpha \geq 0$, $\beta \geq 0$ ve $\alpha + \beta < 1$ kısıtlamalarını sağlamaktadır. ETH için BTC ile benzer şekilde, koşullu varyans denkleminde salıdan pazara kadar tüm kukla değişken katsayıları negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır.

Elde edilen bu bulgular, BTC'nin pazartesi günleri diğer günlere kıyasla daha yüksek getiri ve oynaklık sergilediğini bildiren Ma ve Tanizaki (2019a) ile Ma ve Tanizaki'nin (2019b) bulgularıyla paralellik göstermektedir. Aharon ve Qadan (2019) da haftanın günü anomalisinin hem BTC getirisi hem de volatilitesi üzerindeki etkisini rapor etmiştir. Ortalama denklem sonuçlarına göre, çalışmamız Yaya ve Ogbanna'nın (2019) bulgularına benzer şekilde ETH için haftanın günü anomalisi olmadığını göstermektedir. Ayrıca, sonuçlarımız ETH için en yüksek oynaklığın pazartesi günleri olduğunu ortaya koymaktadır. Dorfleitner ve Lung (2018), pazar günleri getirilerin diğer günlere göre önemli ölçüde daha düşük olduğunu, Caporale ve Plastun (2019) ise pazartesi günleri getirilerin haftanın diğer günlerine kıyasla daha yüksek olduğunu bulmuştur. Bu bulgular, özellikle hafta sonları getirilerin daha düşük olduğunu ve hafta sonları işlem hacminin azaldığını gösteren çalışmamızla uyumludur.

Pay senedi piyasasında ise genellikle haftanın günü anomalisinde pazartesi günlerinin getirilerinin negatif olduğu, diğer günlerde ise pozitif getiriler elde edildiği görülmektedir (Cross, 1973; French, 1980). Bu bulgular kripto para piyasasında farklılık göstermekte ve kripto para piyasasının haftanın günü anomalisi açısından pay senedi piyasasından farklı bir davranış sergilediğini ortaya koymaktadır.

Kripto para piyasalarında haftanın günü etkisinin birkaç olası açıklaması vardır. İlk olarak, bu etkinin hafta içi ve hafta sonu arasındaki alım satım faaliyeti ve piyasa likiditesindeki farklılıklardan kaynaklanmasıdır. Özellikle, hafta sonları daha düşük işlem

hacimleri ve likidite görülebilir, bu da büyük yatırımcıların fiyatları manipüle etmesini ve anormal getiriler elde etmesini kolaylaştırabilir. Diğer bir olasılık, bu etkinin hafta içi ve hafta sonu arasındaki yatırımcı duyarlılığı ve dikkatindeki farklılıktan kaynaklanıyor olabileceğidir. Başka bir olasılık da piyasanın genellikle pazartesi günleri daha aktif olması ve yatırımcıların hafta sonu meydana gelen olaylardan faydalanmak için alım satım yapıyor olabileceğidir. Bununla birlikte, kripto para piyasalarında pazartesi günleri daha yüksek volatiliteye sahip olma eğilimi, piyasadaki sürü davranışı ile de ilişkili olabilir. Yatırımcılar, diğer yatırımcıların hareketlerine uyarak işlem yapma eğiliminde oldukları için, büyük yatırımcıların veya piyasa öncülerinin pazartesi günleri yaptıkları işlemler, diğer yatırımcıların da bu yönde hareket etmesine neden olabilir. Ayrıca, kripto para piyasalarında haftanın günü etkisine dair kanıtlara rağmen, piyasa geliştikçe ve daha verimli hale geldikçe bu etki zaman içinde değişebilir.

3.4.2.2. Yılın Ayı Anomalisi Bulguları

Yılın ayı anomalisi, belirli bir dönemdeki getirinin diğer aylardan önemli ölçüde farklı olması durumunda ortaya çıkmaktadır. Herhangi bir ayın diğer aylara göre farklılaşan getirileri ve özellikleri, aylara özgü anomaliyi oluşturur. Finansal piyasalarda, ocak ayı anomalisi, diğer aylara göre en dikkat çeken anomali olarak kabul edilmektedir. Pay senedi piyasasında yapılan çalışmalar, ocak ayında pay senetlerinin diğer aylara göre daha yüksek getiri sağladığını göstermektedir. Bu durum, Rozeff ve Kinney (1976) tarafından ilk kez pay senedi getirilerinin ocak ayında diğer aylara göre ortalama olarak daha yüksek olduğu şeklinde ortaya konulmuştur. Keim (1983), ocak ayı anomalisinin daha çok küçük ölçekli işletmelerden kaynaklandığını belirtmektedir. Ocak ayının diğer aylara göre en yüksek getiri sağladığına dair temel argüman, vergilerle ilgilidir. Yatırımcılar, vergi matrahlarını düşürmek amacıyla varlıkları aralık ayında satıp, ocak ayında geri alarak yılın başında getirilerini artırmayı hedeflemektedirler. Bu durumun bir nedeni vergi yılıdır. Vergi yılı çoğu ülkede aralık ayında sona ermektedir (Agathee, 2008). Ayrıca, piyasaya etki eden bilgi ve haberlerin ocak aylarında gelmesi nedeniyle, ocak ayı anomalisinin oluştuğu da düşünülmektedir. Başka bir sebep ise, ocak aylarında riskin diğer aylara göre daha yüksek olması nedeniyle yatırımcıların daha yüksek getiri elde etme olasılıklarını dikkate almalarıdır. Ocak ayı anomalisinin bir diğer nedeni ise, yatırımcıların aralık sonunda normalin altında bir alım-satım oranına sahip olmaları ve ocak başında normalin üzerinde bir orana sahip olmaları olarak gösterilmektedir.

Haftanın günü anomalisi araştırmasında kripto paralar için bahsedilen durumlar, yılın ayı anomalisi için de geçerlidir. Dolayısıyla Tablo 23, BTC ve ETH getiri serisine ait yılın her ayına ilişkin tanımlayıcı istatistikleri göstermektedir.

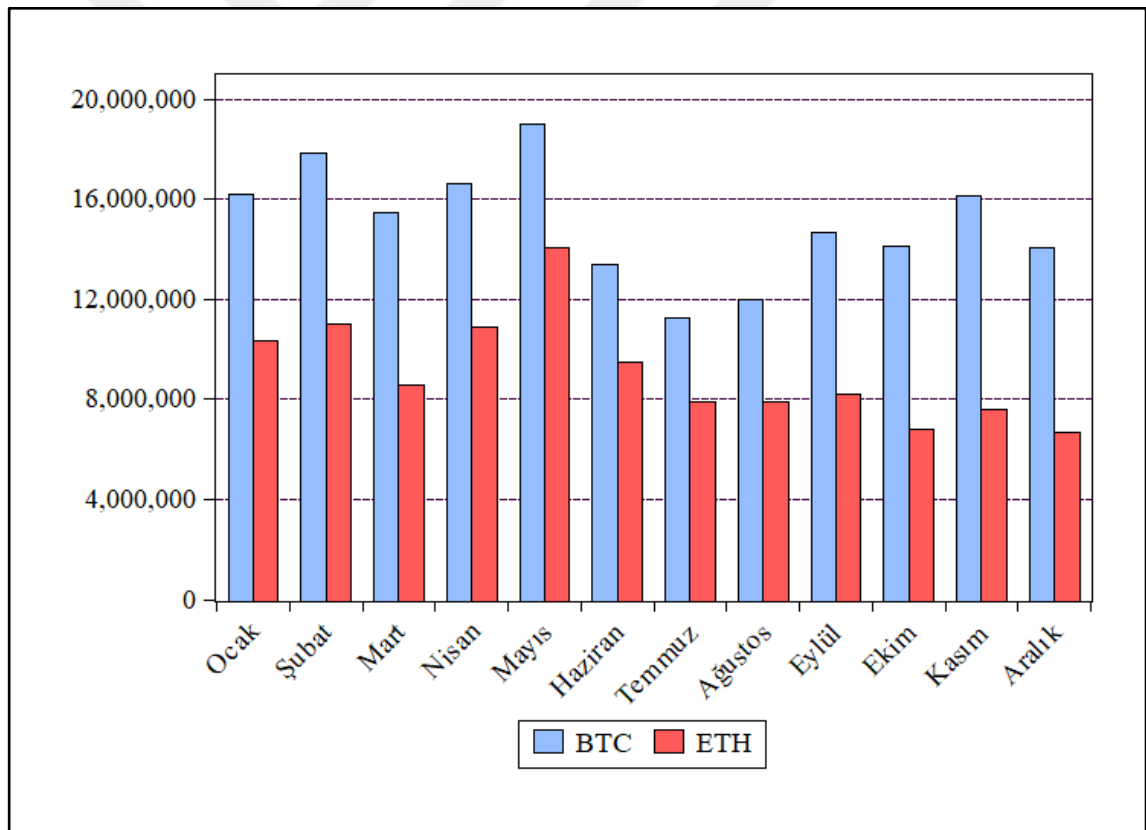
Tablo 23. Yılın aylarına ait tanımlayıcı istatistik

	N	Ort	SS	Min	Mak	Çarp	Bas
Panel A: BTC Tanımlayıcı İstatistik (02.01.2015-31.12.2022)							
Oca	247	-0.0016	0.0502	-0.2449	0.2309	-0.4801	7.4250
Şub	226	0.0053	0.0417	-0.1608	0.1945	0.3308	6.3969
Mart	248	-0.0008	0.0458	-0.3898	0.1613	-2.3043	23.8301
Nis	240	0.0043	0.0321	-0.0831	0.1845	1.2930	8.9247
May	248	0.0025	0.0401	-0.1422	0.1379	-0.0190	4.9310
Haz	240	0.0006	0.0419	-0.1555	0.1194	-0.3813	4.3855
Tem	248	0.0041	0.0393	-0.1325	0.2692	1.3750	12.2002
Ağu	248	0.0007	0.0313	-0.1235	0.1431	-0.1435	5.9015
Eyl	240	-0.0011	0.0335	-0.1649	0.1463	-0.4853	8.5473
Eki	248	0.0064	0.0265	-0.0692	0.1651	1.4646	9.9704
Kas	240	0.0014	0.0404	-0.1482	0.1191	-0.2828	5.1825
Ara	248	0.0038	0.0406	-0.1186	0.2185	1.0569	7.4180
Panel B: ETH Tanımlayıcı İstatistik (18.08.2017-31.12.2022)							
Oca	155	0.0070	0.0620	-0.1941	0.2627	0.2066	5.2074
Şub	141	0.0038	0.0554	-0.1625	0.1441	-0.1890	3.6618
Mart	155	-0.0031	0.0600	-0.4376	0.2379	-2.0661	21.0931
Nis	150	0.0097	0.0482	-0.1232	0.2001	0.6848	4.8317
May	155	0.0028	0.0648	-0.2771	0.2637	0.0758	5.9083
Haz	150	-0.0051	0.0486	-0.1583	0.1315	-0.4955	3.9104
Tem	155	0.0052	0.0447	-0.1604	0.1811	0.0434	5.4089
Ağu	168	0.0013	0.0423	-0.1289	0.1173	-0.0616	3.8102
Eyl	180	-0.0032	0.0571	-0.2007	0.1591	-0.3935	4.5368
Eki	186	0.0029	0.0327	-0.1565	0.1298	0.3958	7.2119
Kas	180	0.0010	0.0499	-0.1758	0.1775	-0.3318	5.3806
Ara	186	0.0034	0.0514	-0.1460	0.2326	0.9378	6.4727

Not: N, gözlem sayısı; Ort, Ortalama; SS, Standart Sapma; Min, Minimum; Mak, Maksimum; Çarp, Çarpıklık; Bas, Basıklık; Oca, Ocak; Şub, Şubat; Mart, Mart; Nis, Nisan; May, Mayıs; Haz, Haziran; Tem, Temmuz; Ağu, Ağustos; Eyl, Eylül; Eki, Ekim; Kas, Kasım; Ara, Aralık göstermektedir.

Tablo 23'teki BTC ve ETH'nin aylık ortalama getirilerine göre, hem BTC hem de ETH genel olarak pozitif getiri sağlamıştır. Ancak, bazı aylarda her iki varlık da negatif getiri göstermiştir. Her bir ayın getirisi incelendiğinde, BTC için en yüksek ortalama getiri ekim ayında 0.0064, en düşük getiri ise ocak ayında -0.0016 gerçekleşmiştir. Aynı şekilde, mart ayı -0.0008 ve eylül ayı -0.0011 ile negatif getiriye sahip diğer aylardır. ETH için en yüksek ortalama getiri nisan ayında 0.0097 iken, en düşük getiri haziran ayında -0.0051 olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde, mart ayı -0.0031 ve eylül ayı -

0.0051 ile negatif getirinin gerçekleştiği diğer aylardır. Tablo 23, her ay için standart sapmaları, minimum ve maksimum getirileri, çarpıklık ve basıklık değerlerini de raporlamaktadır. BTC için, en yüksek standart sapma 0.0502 ile ocak ayında, en düşük standart sapma ise 0.0265 ile ekim ayında gerçekleşmiştir. ETH için ise, en yüksek standart sapma ocak ayında 0.0620 iken, en düşük standart sapma ekim ayında 0.0327 olarak hesaplanmıştır. Örneklem süresi boyunca, ETH'nin tüm aylarda BTC'nin standart sapmalarından daha yüksek olduğu ve dolayısıyla daha riskli bir varlık olduğu söylenebilir. Diğer bir önemli husus ise, özellikle yılın ikinci yarısında hem BTC hem de ETH'nin işlem hacminde önemli düşüş görülmüştür. Bu durum, Şekil 19'da yılın aylarına göre ortalama işlem hacminin gösterildiği durumda açıkça görülebilir. Yılın ilk yarısında yüksek işlem hacmi ile birlikte yılın ikinci yarısında daha düşük işlem hacmi olduğu gözlenmektedir.



Şekil 19. Yılın ayı BTC ve ETH işlem hacmi (1,000 ABD doları)

Not: BTC için ortalama aylık işlem hacmi 1 Ocak 2014 ile 31 Aralık 2022 arasında, ETH için ise, 7 Ağustos 2015 ile 31 Aralık 2022 arasındadır. İşlem hacmi ABD doları cinsinden raporlanmıştır. Veriler <https://coinmarketcap.com/> adresinden elde edilmiştir.

Tablo 24, BTC ve ETH için yılın ayı analizinin sonuçlarını göstermektedir. Tablo, koşullu ortalama denklemi ve koşullu varyans denklemi için tahmin edilen katsayıları

içermektedir. Ocak ayı katsayıları çıkarıldığından, bu ay karşılaştırma için temel oluşturmaktadır.

Tablo 24. Yılın ayı anomalisi analiz sonuçları

	BTC	ETH
Sabit (ϕ_0)	0.0016 (0.0022)	0.0051 (0.0048)
Şubat (ϕ_1)	0.0042 (0.0029)	0.0003 (0.0063)
Mart (ϕ_2)	0.0013 (0.0028)	-0.0055 (0.0072)
Nisan (ϕ_3)	0.0010 (0.0029)	0.0038 (0.0063)
Mayıs (ϕ_4)	-0.0011 (0.0032)	-0.0008 (0.0067)
Haziran (ϕ_5)	-0.0016 (0.0032)	-0.0099 (0.0062)
Temmuz (ϕ_6)	0.0018 (0.0031)	0.0001 (0.0059)
Ağustos (ϕ_7)	-0.0020 (0.0032)	-0.0033 (0.0060)
Eylül (ϕ_8)	-0.0022 (0.0025)	-0.0068 (0.0063)
Ekim (ϕ_9)	0.0022 (0.0025)	-0.0018 (0.0053)
Kasım (ϕ_{10})	0.0006 (0.0031)	-0.0025 (0.0060)
Aralık (ϕ_{11})	-0.0007 (0.0031)	-0.0056 (0.0056)
AR(1) (ϕ_{12})	-0.0537*** (0.0200)	-0.0559** (0.0265)
Sabit (ω)	-0.6152*** (0.0491)	0.0007*** (0.0001)
ARCH (α)	0.2596*** (0.0161)	0.0965*** (0.0147)
GARCH (β)	0.9282*** (0.0083)	0.7452*** (0.0377)
EGARCH (γ)	-0.0255*** (0.0066)	
Şubat (V_1)	-0.0455*** (0.0175)	-0.0002** (0.0001)
Mart (V_2)	0.0173 (0.0127)	-0.0002** (0.0001)
Nisan (V_3)	-0.0674*** (0.0149)	-0.0003*** (0.0001)
Mayıs (V_4)	-0.0363** (0.0169)	-0.0001 (0.0001)
Haziran (V_5)	-0.0405** (0.0164)	-0.0003*** (0.0001)
Temmuz (V_6)	-0.0469*** (0.0164)	-0.0004*** (0.0001)
Ağustos (V_7)	-0.0643*** (0.0146)	-0.0003*** (0.0001)
Eylül (V_8)	-0.0923*** (0.0158)	-0.0002* (0.0001)
Ekim (V_9)	-0.0754*** (0.0167)	-0.0005*** (0.0001)
Kasım (V_{10})	-0.0200 (0.0160)	-0.0003*** (0.0001)
Aralık (V_{11})	-0.0425** (0.0175)	-0.0004*** (0.0001)
LL	5,617.68	3,121.83
AIC	-3.8285	-3.1580
BIC	-3.7712	-3.0811
HQ	-3.8079	-3.1297
ARCH(5)	3.9125	5.1568

***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde anlamlılığı göstermektedir.

Not: LL, log-likelihood değeri; AIC, Akaike; BIC, Schwarz-Bayesian; HQ, Hannan-Quinn bilgi kriterleridir. ARCH, ARCH LM testidir. Parantez içerisindeki değerler standart hataları göstermektedir.

Tablo 24, yılın ayı anomalisi bulgularını göstermektedir. Ortalama denklemi sonuçları belirgin bir yılın ayı anomalisi göstermez. Hem BTC hem de ETH'nin ortalama denkleminde, yılın aylarına ait katsayılar istatistiksel olarak anlamlı değildir. Ancak, ilginç bir bulgu, ETH'nin ortalama denkleminde katsayıların negatif olmasıdır. Bu

durum, ocak ayına göre diğer ayların daha düşük getiri elde ettiğini göstermektedir. Ancak, bu bulgu istatistiksel olarak anlamlı değildir ve BTC getiri serisinde bu bulgu teyit edilememiştir. Sonuç olarak hem BTC hem de ETH ortalama denkleminin sonuçları bir ocak ayı etkisi göstermemektedir. Varyans denklemi sonuçlarına göre, BTC'nin yılın ayı anomalisi açısından belirgin bir etkisi vardır. Sadece mart ve kasım ayları bu etkiden istisnadır. Mart ayındaki katsayı pozitifdir, ancak istatistiksel olarak anlamlı değildir. Benzer şekilde, kasım ayındaki katsayı negatiftir, ancak istatistiksel olarak anlamlı değildir. Diğer aylara ait katsayıların hepsi negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Dolayısıyla, BTC'nin örnek dönemi boyunca, volatilité açısından diğer aylara kıyasla ocak ayında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Başka bir deyişle, BTC için, diğer aylara kıyasla volatilitenin en yüksek olduğu ay ocak ayıdır ve diğer aylarda volatilitenin azaldığı açıkça görülmektedir. ETH varyans denklemi sonuçları da BTC sonuçlarına benzerdir. Mayıs ayı istisnası olmak üzere, diğer ayların tümü negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu sonuçlar hem BTC hem de ETH için en yüksek volatilitenin ocak ayında olduğunu, diğer aylarda volatilitenin belirgin bir şekilde azaldığını göstermektedir.

Elde edilen bu bulgular, kripto para piyasasında belirgin bir yılın ayı anomalisinin bulunmadığını raporlayan Baur vd. (2019) ve Kaiser'in (2019) sonuçlarıyla uyumludur. Ancak bulgularımız, ocak ayında oynaklığın yılın diğer aylarına göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum, eylül ayında daha düşük oynaklık raporlayan Kinatader ve Papavassiliou (2021) ile temmuz ve ağustos aylarında diğer aylara göre daha düşük getiri tespit eden Plastun vd. (2019) ile tutarlı değildir. Benzer şekilde, BTC'nin ocak ayı sonunda alınıp şubat ayında satılması gerektiğini bildiren Robiyanto vd. (2019) sonuçlarından farklıdır. Çalışmamızın yılın ayı anomalisi bağlamında dikkat çeken bir diğer yönü de yılın ikinci yarısında işlem hacmindeki önemli düşüştür.

Pay senedi piyasasında ise genellikle ocak ayının diğer aylara göre daha yüksek getiri sağladığı gözlemlenmektedir. Bulgularımız, pay senedi piyasası ile kripto para piyasasının yılın ayı anomalisine göre farklılıklar sergilediğini göstermektedir. Dolayısıyla kripto para piyasası yılın ayı anomalisi açısından pay senedi piyasasından farklı bir davranış sergilemektedir.

Bu anomalinin birkaç potansiyel açıklaması arasında aralık ayında vergi yılının sona ermesinin sermaye kazancı vergilerini dengelemek için BTC ve ETH'ye yatırımın artmasına yol açması, düzenleyici değişiklikler, teknolojik gelişmeler ya da piyasanın benimsenmesi gibi yeniliklere piyasa tepkileri ve yeni bir yılın başlangıcı, önümüzdeki yıla ilişkin beklentiler veya önemli haber olayları gibi faktörlerden etkilenen yatırımcı duyarlılığı olabilir. Özellikle korku, belirsizlik ve şüphe (FUD)⁵⁶ veya kaçırma korkusu (FOMO)⁵⁷ yatırımcıların piyasadaki gelişmelere verdikleri duygusal tepkiler olabilir. Yılın ilk yarısındaki işlem hacminin ikinci yarısına kıyasla daha yüksek olmasıyla birlikte, yatırımcılar portföylerini yeniden dengelemiş veya önümüzdeki yıla ilişkin beklentilerine göre yeni yatırımlar yapmış olabilir.

3.4.2.3. Günün Saati Anomalisi Bulguları

Haftanın günü anomalisi ve yılın ayı anomalisi, finansal piyasalarda takvim anomalilerinin en bilinen örnekleridir. Bu anomaliler daha önceki kısımlarda ayrıntılı olarak incelenmiştir. Kripto para piyasasında takvim etkileri ise çeşitli faktörlere bağlı olarak ortaya çıkabilir ve günün saati anomalisi de bu faktörler arasında yer almaktadır. Bu anomali, piyasaların açık olduğu saatlerde fiyat değişimlerini ifade etmektedir.

Kripto para piyasasının özellikle hiç kapanmaması, günün saati anomalisi açısından önemli bir konudur. Asya, Avrupa veya Amerika kıtaları arasındaki zaman farkları, bu anomalilerin oluşmasına ve fiyat oynaklığının günün farklı saatlerinde değişmesine neden olabilir. Örneğin, BTC getirileri Asya veya Avrupa piyasaları açıkken daha yüksek olabilir. Tam tersi de geçerli olabilir ve bu durum yatırımcılar için önemli bir risk oluşturabilir. Bu nedenle, bu anomalinin nedenlerinin daha iyi anlaşılması gerekir. Çalışmanın bu kısmında, kripto para piyasasında günün belli saatlerinde anomalinin varlığı test edilmiştir. Ayrıca, dünyanın önde gelen borsalarının açılış ve kapanış saatlerine göre BTC ve ETH'nin davranışı modellenmiştir. Tablo 25, BTC'nin saatlik tanımlayıcı istatistiklerini göstermektedir.

⁵⁶ FUD, belirli bir menkul kıymet veya varlık hakkında olumsuz bilgiler yaymak için kullanılmaktadır. Bu durum ise yatırımcıların varlıkları satmalarına neden olarak fiyatları düşmesine sebep olabilir. Dolayısıyla, yatırımcılar bilinçli yatırım kararı vermekte zorlanabilirler.

⁵⁷ FOMO, yatırımcıların herhangi bir araştırma yapmadan, başkalarının deneyimlediği potansiyel kazançları kaçırmaktan korkmaları durumudur. Bu durum aşırı fiyatlandırılmış varlıkların satın alınmasına yol açabilir.

Tablo 25. BTC saatlik tanımlayıcı istatistik (%)

Saat	N	Ort	SS	Min	Mak	Çarp	Bas
00:00	2,921	0.0078	0.9050	-15.3163	13.2195	-1.3383	57.5071
01:00	2,922	-0.0049	0.9016	-9.2499	7.1758	-0.2589	14.4249
02:00	2,922	0.0063	0.8277	-10.4580	10.2382	0.0233	28.7615
03:00	2,922	-0.0156	0.8420	-8.5324	20.8818	4.5366	142.0359
04:00	2,922	-0.0303	0.7098	-6.3188	4.8947	-0.4843	15.2331
05:00	2,922	-0.0058	0.7690	-8.4362	12.2077	0.6851	40.0931
06:00	2,922	-0.0075	0.7296	-6.5398	5.5055	-0.9766	17.4463
07:00	2,922	0.0276	0.7175	-5.9840	4.8839	-0.3754	14.8228
08:00	2,922	0.0388	0.8064	-11.0337	8.9822	0.0970	32.0251
09:00	2,922	0.0192	0.8494	-5.3014	14.3693	2.1027	41.8340
10:00	2,922	0.0057	0.8222	-5.9317	9.9426	0.9946	23.5917
11:00	2,922	0.0040	0.8800	-17.9073	4.8456	-3.4990	70.0092
12:00	2,922	0.0208	0.7892	-4.9258	11.9905	1.1407	27.7249
13:00	2,922	0.0341	0.9272	-12.1616	11.5017	-0.0163	34.9913
14:00	2,922	0.0190	0.9609	-10.1705	7.9444	-0.0468	19.2188
15:00	2,922	-0.0139	0.9432	-9.2668	9.9228	-0.1722	18.7030
16:00	2,922	0.0293	0.8938	-6.3591	9.3487	0.9329	17.2367
17:00	2,922	0.0031	0.9347	-7.1949	8.1805	-0.1205	17.4023
18:00	2,922	-0.0153	0.7839	-7.0518	6.4523	-0.3721	16.2234
19:00	2,922	0.0047	0.7680	-9.6999	5.7466	-0.7081	20.9527
20:00	2,922	0.0172	0.8154	-8.1935	8.2541	0.2797	21.7321
21:00	2,922	0.0032	0.8789	-7.8748	8.8203	-0.0906	18.9667
22:00	2,922	0.0380	0.8799	-13.8086	11.5674	-1.1138	46.4106
23:00	2,922	0.0357	0.8684	-13.4489	5.6552	-1.6298	33.8657

Not: N, gözlem sayısı; Ort, Ortalama; SS, Standart Sapma; Min, Minimum; Mak, Maksimum; Çarp, Çarpıklık; Bas, Basıklık değerlerini göstermektedir. Tanımlayıcı istatistikler yüzdesel olarak gösterilmiştir.

Tablo 25'te, BTC getiri serisinin tanımlayıcı istatistikleri verilmiştir. Tabloya göre, BTC getirileri saat 07:00'den saat 14:00'e kadar kesintisiz sekiz saat boyunca pozitif olmuştur. Benzer şekilde, saat 19:00'dan 00:00'a kadar altı saat boyunca da pozitif getiri sağlanmıştır. Her bir saat için ayrı ayrı bakıldığında, en yüksek ortalama getiri %0.0388 ile saat 08:00'de, en düşük ortalama getiri ise %-0.0303 ile saat 04:00'de elde edilmiştir. Tablo 25 her saat için standart sapma, maksimum ve minimum getiri, çarpıklık ve basıklık değerlerini de içermektedir. Saatlik getirilerin standart sapmaları 0.7098 ile 0.9609 arasında değişmektedir. En düşük standart sapma saat 04:00'te, en yüksek standart sapma ise saat 14:00'te görülmüştür.

Tablo 26. ETH saatlik tanımlayıcı istatistik (%)

Saat	N	Ort	SS	Min	Mak	Çarp	Bas
00:00	1,961	0.0308	1.1680	-13.0809	7.8846	-0.9812	18.7791
01:00	1,962	0.0184	1.2837	-8.9436	11.4623	0.1374	11.8500
02:00	1,962	-0.0183	1.1248	-8.9537	7.0935	-0.3914	12.3677
03:00	1,962	-0.0387	1.0283	-6.6667	17.5837	2.1548	51.9392
04:00	1,962	-0.0597	0.9785	-8.9876	9.5572	-0.3545	17.2031
05:00	1,962	-0.0065	0.9185	-9.1971	6.7470	-0.9695	18.0819
06:00	1,962	0.0168	0.9501	-6.4839	9.7962	0.4893	16.7227
07:00	1,962	0.0144	0.9320	-8.8472	7.2407	-0.6401	14.7821
08:00	1,962	0.0193	0.9585	-6.4914	6.8638	-0.0538	10.6519
09:00	1,962	-0.0233	1.0353	-7.8280	6.2543	-0.3835	10.0698
10:00	1,962	-0.0417	1.0652	-8.4556	10.8678	0.1869	18.3796
11:00	1,962	0.0078	1.1035	-19.2145	7.0928	-2.7236	53.9847
12:00	1,962	0.0242	0.9913	-5.0692	10.2379	0.4836	13.5389
13:00	1,962	0.0520	1.2543	-19.5591	12.0451	-1.4089	44.7328
14:00	1,962	0.0583	1.2521	-11.7140	13.3533	0.9032	21.8183
15:00	1,962	-0.0378	1.2796	-12.2067	9.0092	-0.4057	14.2312
16:00	1,962	0.0598	1.2617	-7.2232	13.7117	1.4043	20.7566
17:00	1,962	0.0257	1.2884	-7.7383	15.4072	1.0913	18.9240
18:00	1,962	-0.0454	1.0207	-7.8404	6.3494	-0.4912	11.7604
19:00	1,962	0.0084	1.0657	-13.4867	7.8706	-0.6899	25.1739
20:00	1,962	0.0303	1.0578	-7.4448	14.3282	1.3832	27.2968
21:00	1,962	0.0157	1.1134	-7.5907	12.0126	0.4538	16.2887
22:00	1,962	0.0660	1.0514	-6.4587	9.0938	0.4036	12.9769
23:00	1,962	0.0393	1.0836	-6.3335	8.4380	0.4700	11.1765

Not: N, gözlem sayısı; Ort, Ortalama; SS, Standart Sapma; Min, Minimum; Mak, Maksimum; Çarp, Çarpıklık; Bas, Basıklık değerlerini göstermektedir. Tanımlayıcı istatistikler yüzdesel olarak gösterilmiştir.

ETH getiri serisinin tanımlayıcı istatistikleri Tablo 26’da sunulmuştur. Bu tabloya göre, saat 19:00 ile 01:00 arasındaki yedi saatlik dönemde en uzun pozitif getiri sağlanmıştır. Benzer şekilde, saat 11:00 ile 17:00 arasında (15:00 hariç) yüksek getiriler elde edilmiştir. Saat bazında incelendiğinde, saat 22:00’de %0.0660 ile en yüksek ortalama getiri, saat 04:00’te %-0.0597 ile en düşük getiri kaydedilmiştir. Hem BTC hem de ETH için en düşük getirinin gerçekleştiği zaman dilimi de saat 04:00 olarak belirlenmiştir. Tablo 26’da ayrıca her saat için standart sapma, maksimum ve minimum getiri, çarpıklık ve basıklık değerleri sunulmuştur. Saatlik getirilerin standart sapmaları 0.9185 ile 1.2884 arasında değişmektedir. Saat 05:00’te en düşük standart sapma, saat 17:00’de ise en yüksek standart sapma gözlenmiştir. Bu sonuçlar, ETH’nin BTC’ye göre her bir saat dilimi için daha riskli bir kripto para olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 27, BTC ve ETH için günün saati analiz sonuçlarını göstermektedir. Tablo, koşullu ortalama denklemi ve koşullu varyans denklemi için tahmin edilen katsayıları içermektedir.

Tablo 27. Günün saati anomali analizi sonuçları

	BTC		ETH	
Sabit (ϕ_0)	0.0001***	(0.0000)	0.0002***	(0.0000)
Sidney (ϕ_1)	0.0003***	(0.0001)	0.0001	(0.0002)
Tokyo (ϕ_2)	-0.0001	(0.0001)	0.0001	(0.0002)
Şangay (ϕ_3)	-0.0008***	(0.0001)	-0.0005***	(0.0001)
Londra (ϕ_4)	-0.0001*	(0.0001)	-0.0002	(0.0002)
New York (ϕ_5)	-0.0002***	(0.0001)	-0.0004***	(0.0001)
Toronto (ϕ_6)	0.0006***	(0.0001)	0.0002	(0.0002)
Johannesburg (ϕ_7)	0.0004***	(0.0001)	0.0000	(0.0002)
AR(1) (ϕ_8)	0.5933***	(0.0460)	0.4763***	(0.1413)
AR(2) (ϕ_9)	0.0036	(0.0054)	-0.0080	(0.0066)
MA(1) (ϕ_{10})	-0.6511***	(0.0458)	-0.4984***	(0.1413)
Sabit (ω)	-0.3927***	(0.0030)	-0.3057***	(0.0037)
ARCH (α)	0.1868***	(0.0010)	0.1513***	(0.0015)
GARCH (β)	0.9730***	(0.0006)	0.9785***	(0.0009)
EGARCH (γ)	-0.0123***	(0.0003)	-0.0346***	(0.0003)
Sidney (V_1)	0.1717***	(0.0087)	0.0267**	(0.0112)
Tokyo (V_2)	-0.0560***	(0.0128)	0.2042***	(0.0177)
Şangay (V_3)	-0.1384***	(0.0059)	-0.2706***	(0.0098)
Londra (V_4)	-0.0869***	(0.0064)	-0.1078***	(0.0096)
New York (V_5)	-0.1682***	(0.0055)	-0.2772***	(0.0090)
Toronto (V_6)	0.1413***	(0.0063)	0.2558***	(0.0107)
Johannesburg (V_7)	0.1488***	(0.0063)	0.1758***	(0.0095)
LL	252,490.10		153,976.30	
AIC	-7.2005		-6.5394	
BIC	-7.1976		-6.5353	
HQ	-7.1996		-6.5381	
ARCH(5)	4.2356		27.3485***	

***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde anlamlılığı göstermektedir.

Not: LL, log-likelihood değeri; AIC, Akaike; BIC, Schwarz-Bayesian; HQ, Hannan-Quinn bilgi kriterleridir. ARCH, ARCH LM testidir. Parantez içerisindeki değerler standart hataları göstermektedir.

Tablo 27 sonuçları incelendiğinde, koşullu ortalama denklemine BTC için Tokyo (ϕ_2), Şangay (ϕ_3), Londra (ϕ_4) ve New York (ϕ_5) kukla değişkenleri için tahmin edilen katsayıların işaretinin negatif olduğu ve Tokyo (ϕ_2) hariç hepsinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra, Sidney (ϕ_1), Toronto (ϕ_6) ve Johannesburg (ϕ_7) kukla değişkenlerine ait katsayıların işareti pozitif ve tümü istatistiksel olarak anlamlıdır. Şangay (-0.0008) katsayısı BTC koşullu ortalama denklemini en çok etkileyen katsayıdır. Koşullu varyans denklemine ise, tüm katsayılar istatistiksel olarak

anlamlıdır. Ortalama denklemindeki bulgulara benzer şekilde Tokyo (V_2), Şangay (V_3), Londra (V_4) ve New York (V_5) katsayıları negatif ve Sidney (V_1), Toronto (V_6) ve Johannesburg (V_7) katsayıları pozitifdir. Sidney (0.1717) katsayısı BTC koşullu varyansını en çok etkileyen katsayıdır.

Tabloda ETH için yapılan analizlerin sonuçlarına bakacak olursak, BTC için hesaplanan ortalama denklemindeki tahmin sonuçları ETH için farklıdır. ETH için koşullu ortalama denklemindeki kukla değişkenleri için katsayılar incelendiğinde, sadece Şangay (ϕ_3) ve New York (ϕ_5) istatistiksel olarak %1 düzeyinde anlamlıdır. Diğer ülke borsalarının açık olduğu zamanlara ait katsayılar ise istatistiksel olarak anlamlı değildir. Ancak Tokyo (ϕ_2) için ilginç bir bulgu söz konusudur. Tokyo Borsası'nın açık olduğu zaman aralığında BTC'nin işareti negatifken, ETH'nin işareti pozitifdir. Başka bir deyişle, Tokyo Borsası açıkken BTC getirisi azalırken, ETH getirisi artmaktadır. Koşullu varyans denkleminde ise, tüm katsayılar istatistiksel olarak anlamlıdır. Ortalama denkleminde bahsedilen Tokyo Borsası (ϕ_2) bulguları, koşullu varyans denkleminde de geçerlidir. BTC'nin koşullu varyansında işaret negatifken, ETH'nin koşullu varyansındaki işaret pozitifdir. Dolayısıyla, Tokyo Borsası açıkken BTC'nin volatilitesi düşerken, ETH'nin volatilitesi artmaktadır. New York (-0.2772) katsayısı ETH koşullu varyansını en çok etkileyen katsayıdır.

Seçilen ülke borsalarının açık olduğu saatlerin BTC ve ETH getirileri ve oynaklığı üzerindeki etkisinin araştırıldığı bu kısımda elde edilen bulgular, seçilen ülkelerin borsaları açık olduğunda BTC getirisinin azaldığını göstermektedir. Aynı zamanda Sidney Borsası, Toronto Borsası ve Johannesburg Borsası'nın işlem gördüğü saat aralığında BTC oynaklığı artarken, diğer borsaların işlem saatlerinde oynaklık azalmaktadır. BTC getirisi ve oynaklığı özellikle Asya piyasalarının açık olduğu saatlerde azalmaktadır. Benzer şekilde, Avrupa borsalarının açık olduğu saatlerde hem getiri hem de oynaklık azalmaktadır. Şangay Borsası'nın işlem saatleri ile Sidney Borsası'nın işlem saatlerinin BTC için en önemli işlem saatleri olduğu söylenebilir. ETH için sonuçlar BTC'den farklılaşmaktadır. Özellikle Tokyo Borsası'nın açık olduğu saatlerde BTC'nin oynaklığı azalırken, ETH'nin oynaklığı artmaktadır. Şangay Borsası'nın işlem saatleri ve New York Borsası'nın işlem saatleri ETH için en önemli saat aralığı olduğu söylenebilir.

3.4.3. Kripto Para Piyasasında Sürü Davranışı Analizi

Finans piyasalarındaki aşırı oynaklık ve kısa vadeli eğilimlerin popüler bir davranışsal açıklaması olarak sürü davranışı, yatırımcıların piyasa konsensüsüne uygun hareket etmeleri ve kendi inançlarını göz ardı etmeleridir (da Gama Silva vd., 2019). Piyasa stresi dönemlerinde olağandışı piyasa hareketlerinin yaşanması, sürü davranışının daha sık görülmesine neden olabileceği varsayımına dayanmaktadır. Sürü davranışı hipotezi, bireysel yatırımcıların yatırım kararlarını piyasanın toplu hareketine göre verdiğini ve bu hareketlerin menkul kıymet getirilerinin genel piyasa getirisine yaklaşmasına sebep olduğunu öne sürmektedir (Akinsomi vd., 2018).

Kripto para piyasalarındaki sürü davranışını test eden literatürdeki çalışmaların çoğu günlük getiri verilerini kullanmıştır. Kripto para piyasasına katılımın herhangi bir kısıtlamaya tabi olmadığı ve birçok yatırımcının piyasa duyarlılığına hızlı bir şekilde tepki verdiği göz önüne alındığında, yüksek frekanslı işlem yapmanın yaygın olduğu söylenebilir. Dolayısıyla, yüksek frekanslı verilerin kullanılması, yatırımcıların ve piyasaların dinamiklerini anlamada önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca, yüksek volatilitenin hâkim olduğu kripto para piyasasında sürü davranışının derinlemesine incelenmesine imkân sağlamaktadır.

Çalışmanın bu kısmında, kripto para piyasasındaki sürü davranışı en yüksek piyasa değerine sahip ve en popüler beş kripto para birimi (BTC, ETH, LTC, XRP, BCH) için 1 Ocak 2017 ile 31 Aralık 2022 tarihleri arasındaki veriler kullanılarak test edilmiştir. Ayrıca, sürü davranışının zaman boyutunu incelemek amacıyla farklı zaman aralıklarındaki getiriler üzerinden sürü davranışı analizi yapılmıştır. Bu zaman aralıkları 15 dakika, 30 dakika, 1 saat, 2 saat, 3 saat, 6 saat, 12 saat ve günlük veri setlerini kapsamaktadır. Böylece, zaman aralıklarının değişimiyle birlikte sürü davranışının oluşma ihtimali araştırılmıştır. Bu sayede, yatırımcıların hangi zaman aralığında kendi bilgi ve kanıtlarını yeterince kullanmadan diğer yatırımcıların hareketlerini izledikleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

Economou vd. (2018), sürü davranışının yükselen ve düşen piyasa dönemlerinde asimetrik bir davranış sergileyebileceğini ifade etmiştir. Düşme eğilimindeki piyasaların, gerilemenin devam etmesi halinde daha fazla kayıptan kaçınmak için yatırımcıların

pozisyonlarını kapatmaya itebileceğini belirtmiştir. Bu da sürü oluşumuna neden olabilir. Öte yandan, yükselen piyasalar, yatırımcıları yukarı yönlü bir trend olduğuna inandırarak sürü oluşumunu da teşvik edebilir. Bu hipotez iki farklı modelin tahmini ile test edilebilir. Denklem 16 ve Denklem 17 bu modelleri göstermektedir.

3.4.3.1. CSSD Analizi Bulguları

Tablo 28, farklı zaman ölçeklerinde CSSD'nin tanımlayıcı istatistiklerini ve birim kök testi sonuçlarını sunmaktadır.

Tablo 28. CSSD tanımlayıcı istatistik ve birim kök testi sonuçları

	15dk	30dk	1saat	2saat	3saat	6saat	12saat	Günlük
Panel A: CSSD Tanımlayıcı İstatistik								
N	175,295	87,647	43,823	21,911	14,607	7,303	3,651	1,825
Ort	0.0026	0.0044	0.0046	0.0062	0.0074	0.0103	0.0145	0.0210
SS	0.0027	0.0046	0.0050	0.0067	0.0081	0.0107	0.0149	0.0199
Min	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0010	0.0016
Mak	0.3711	0.4204	0.3740	0.3757	0.3792	0.3782	0.3757	0.2531
Çarp	22.9985	14.5453	15.1617	12.5076	11.2955	8.8806	7.1062	3.9598
Bas	2,304.4550	885.7570	791.4882	494.5254	368.5448	222.3095	118.5350	28.1462
Panel B: CSSD Birim Kök Testi								
ADF	-20.47***	-18.03***	-20.20***	-22.57***	-17.76***	-18.32***	-10.78***	-11.58***
PP	-841.43***	-508.31***	-307.89***	-195.41***	-143.41***	-90.84***	-56.01***	-40.65***

***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde anlamlılığı göstermektedir.

Not: N, gözlem sayısı; Ort, Ortalama; SS, Standart Sapma; Min, Minimum; Mak, Maksimum; Çarp, Çarpıklık; Bas, Basıklık; ADF, Augmented Dickey-Fuller ve PP, Phillips-Perron birim kök testini göstermektedir. ADF ve PP birim kök testleri için sabit model kullanılmıştır.

Veriler 15 dakikalık zaman dilimi için 175,295, günlük zaman dilimi için 1,825 gözlem aralığında değişmektedir. Farklı zaman ölçeklerinde CSSD değerinin ortalaması ve standart sapması, zaman ölçeği attıkça (günlükten 15 dakikaya doğru) beklenildiği gibi azalmaktadır. Örneğin, 15 dakikalık veriler için ortalama 0.0026; standart sapma 0.0027'dir. Bir saatlik veriler için ortalama 0.0046; standart sapma 0.0050'dir. Günlük veriler için ise ortalama 0.0210; standart sapma 0.0199'dur. Tablo 28'in Panel A bölümünde, tüm zaman ölçekleri için pozitif çarpıklık olduğu görülmektedir. Ayrıca, zaman ölçeğinin artmasıyla birlikte aşırı basıklık önemli ölçüde artmaktadır. Panel B'de ise, CSSD değerlerinin tüm zaman ölçeklerinde durağan olduğunu gösteren hem ADF hem de PP test istatistikleri bulunmaktadır.

Denklem 13'te alt kuyruk ve üst kuyruk dolayısıyla aşırı piyasa hareketlerini tanımlamak için üç kriter kullanılmıştır. Bu kriterler, D_t^L ve D_t^U piyasa getiri dağılımının alt ve üst kuyruğunun %1, %5 ve %10 ile sınırlandırılmasıdır. Tablo 29, her bir zaman dilimine ait regresyon tahminlerini göstermektedir.

Tablo 29. CSSD analiz sonuçları

	15dk	30dk	1saat	2saat	3saat	6saat	12saat	Günlük
Panel A: %1 Kriteri								
α	0.0025*** (181.55)	0.0042*** (123.84)	0.0043*** (99.61)	0.0059*** (74.19)	0.0071*** (62.45)	0.0102*** (42.86)	0.0139*** (36.93)	0.0199*** (27.87)
β_1	0.0063*** (23.24)	0.0101*** (11.12)	0.0109*** (15.02)	0.0124*** (10.58)	0.0139*** (8.44)	0.0112*** (5.65)	0.0200*** (7.28)	0.0285*** (4.22)
β_2	0.0075*** (23.19)	0.0103*** (16.14)	0.0153*** (12.89)	0.0211*** (9.86)	0.0238*** (7.60)	0.0138*** (8.06)	0.0475*** (4.58)	0.0777*** (6.63)
R^2	0.1297	0.0679	0.1381	0.1307	0.1145	0.0209	0.1157	0.1668
F -ist	13,063***	3,192***	3,511***	1,674***	943***	77***	239***	182***
Panel B: %5 Kriteri								
α	0.0022*** (213.18)	0.0040*** (129.64)	0.0039*** (111.67)	0.0053*** (82.68)	0.0064*** (71.24)	0.0098*** (41.87)	0.0126*** (41.13)	0.0185*** (30.76)
β_1	0.0031*** (38.11)	0.0050*** (22.57)	0.0053*** (24.18)	0.0065*** (18.60)	0.0075*** (15.03)	0.0058*** (8.80)	0.0113*** (6.89)	0.0108*** (5.53)
β_2	0.0041*** (43.74)	0.0055*** (27.96)	0.0081*** (25.31)	0.0115*** (20.28)	0.0135*** (15.93)	0.0094*** (13.16)	0.0264*** (9.15)	0.0405*** (8.76)
R^2	0.1637	0.0845	0.1695	0.1758	0.1665	0.0356	0.1692	0.2032
F -ist	17,156***	4,045***	4,472***	2,337***	1,458***	135***	372***	232***
Panel C: %10 Kriteri								
α	0.0021*** (226.44)	0.0034*** (168.49)	0.0036*** (117.09)	0.0049*** (86.07)	0.0059*** (70.67)	0.0083*** (54.35)	0.0118*** (41.18)	0.0173*** (30.62)
β_1	0.0022*** (45.15)	0.0043*** (42.55)	0.0038*** (28.33)	0.0048*** (22.61)	0.0053*** (18.28)	0.0069*** (12.37)	0.0079*** (8.33)	0.0077*** (5.87)
β_2	0.0029*** (52.22)	0.0057*** (46.89)	0.0059*** (31.64)	0.0084*** (25.22)	0.0099*** (20.17)	0.0137*** (15.49)	0.0191*** (11.71)	0.0303*** (10.50)
R^2	0.1467	0.1910	0.1578	0.1685	0.1589	0.1690	0.1588	0.2090
F -ist	15,073***	10,345***	4,104***	2,219***	1,380***	742***	344***	241***

***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde anlamlılığı göstermektedir. Parantez içerisindeki değerler t-istatistiğini göstermektedir. Doğrusal regresyon analizleri için, HAC (Newey-West) düzeltmesi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 29, farklı zaman dilimlerindeki örneklem için regresyon tahminlerini içermektedir. Panel A, %1 kriteri altında piyasa getiri dağılımının alt kuyruğunda sürü davranışına dair kanıt bulunmadığını gösteren pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı β_1 katsayılarını içermektedir. Panel B ve Panel C, sırasıyla %5 ve %10 kriterleri altında benzer sonuçlar göstermektedir. Bu sonuçlar, 15 dakikalık verilerden günlük verilere kadar tüm zaman dilimleri için geçerlidir. Aşırı yukarı yönlü piyasa hareketleri sırasında ise, pozitif ve anlamlı β_2 katsayıları, dağılımın azalmak yerine artma eğiliminde olduğunu

ortaya koymaktadır. Bu bulgular, rasyonel varlık fiyatlama hipoteziyle uyumlu olup sürü davranışı hipoteziyle çelişmektedir. Ayrıca, aşırı piyasa hareketleri için katsayı tahminleri, her üç kriter altında da pozitif ve %10 kriteri %5 kriterinden, %5 kriteri de %1 kriterinden daha küçük değerler almaktadır. Bu durum, piyasa getirilerinin üst ve alt %1'lik kısımlarıyla sınırlı olduğunda, rasyonel varlık fiyatlama hipotezinin en güçlü şekilde desteklendiğini göstermektedir.

3.4.3.2. CSAD Analizi Bulguları

Tablo 30, CSAD'nin tanımlayıcı istatistiklerini ve birim kök testi sonuçlarını farklı zaman dilimlerinde sunmaktadır.

Tablo 30. CSAD tanımlayıcı istatistik ve birim kök testi sonuçları

	15dk	30dk	1saat	2saat	3saat	6saat	12saat	Günlük
Panel A: CSAD Tanımlayıcı İstatistik								
N	175,295	87,647	43,823	21,911	14,607	7,303	3,651	1,825
Ort	0.0019	0.0036	0.0034	0.0046	0.0055	0.0077	0.0108	0.0156
SS	0.0020	0.0035	0.0036	0.0048	0.0058	0.0077	0.0108	0.0144
Min	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0007	0.0013
Mak	0.2654	0.2212	0.2675	0.2688	0.2712	0.2706	0.2688	0.1809
Çarp	21.9928	7.9606	14.6708	12.1238	10.9484	8.6037	6.8645	3.8550
Bas	2,150.9220	240.1297	757.7149	472.6169	353.2058	212.0126	113.1832	26.9748
Panel B: CSAD Birim Kök Testi								
ADF	-20.38***	-17.52***	-20.07***	-22.45***	-17.77***	-18.28***	-10.77***	-11.58***
PP	-840.89***	-523.51***	-308.70***	-196.63***	-144.02***	-91.03***	-55.77***	-40.43***

***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde anlamlılığı göstermektedir.

Not: N, gözlem sayısı; Ort, Ortalama; SS, Standart Sapma; Min, Minimum; Mak, Maksimum; Çarp, Çarpıklık; Bas, Basıklık; ADF, Augmented Dickey-Fuller ve PP, Phillips-Perron birim kök testini göstermektedir. ADF ve PP birim kök testleri için sabit model kullanılmıştır.

Bu zaman dilimleri CSSD analizinde olduğu gibi 15 dakikalık ile günlük veriler arasında değişmektedir. Veri setinde 15 dakikalık zaman dilimi için 175,295, günlük zaman dilimi için 1,825 gözlem aralığında değişmektedir. Zaman ölçeği arttıkça (günlükten 15 dakikaya doğru) CSAD değerlerinin ortalaması ve standart sapması beklenen şekilde azalmaktadır. Ancak, 1 saatlik zaman dilimi için ortalama 0.0034 iken, 30 dakikalık zaman dilimi için 0.0036'dır. Bu durum istisna olarak görülebilir. Örneğin, 15 dakikalık verilerde ortalama 0.0019, standart sapma 0.0020 iken; günlük verilerde ortalama 0.0156, standart sapma 0.0144'tür. Ayrıca, CSAD'nin tanımlayıcı istatistikleri

CSSD'nin tanımlayıcı istatistikleriyle karşılaştırıldığında, her bir zaman dilimi için ortalama ve standart sapmanın daha düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 30'un Panel A bölümünde, tüm zaman ölçeklerinde pozitif çarpıklık olduğu görülmektedir. Ayrıca, zaman ölçeğinin artmasıyla birlikte aşırı basıklık önemli ölçüde artmaktadır. Ortalama değerine benzer şekilde, sadece 30 dakikalık zaman dilimi için istisnadır. Panel B'de ise, CSAD değerlerinin tüm zaman ölçeklerinde durağan olduğunu gösteren hem ADF hem de PP test istatistikleri bulunmaktadır.

Tanım gereği, getiriler piyasa ile mükemmel bir uyum içinde olduğunda, CSAD değerleri sıfıra yaklaşmaktadır. Getiriler piyasa getirisinden farklılaştıkça CSAD değerleri artmaktadır. Dolayısıyla, Tablo 30'da zaman ölçeği arttıkça, piyasa getirisinden sapma azalmakta ve getiriler piyasa ile daha uyumlu hale gelmektedir. Denklem 15 ile elde edilen regresyon sonuçları Tablo 31'de sunulmuştur. Böylece, Tablo 31 farklı zaman dilimleri için regresyon tahminlerini içermektedir.

Tablo 31. CSAD analiz sonuçları

	α	γ_1	γ_2	R^2	F -ist
15dk	0.0012*** (19.71)	0.2363*** (8.28)	1.4317 (1.05)	0.3367	44,495***
30dk	0.0025*** (66.36)	0.3015*** (21.96)	0.9381** (1.97)	0.2188	12,271***
1saat	0.0019*** (23.43)	0.2234*** (9.49)	0.7003 (0.92)	0.3140	1,030***
2saat	0.0025*** (23.23)	0.2254*** (9.51)	0.2615 (0.42)	0.2933	4,546***
3saat	0.0031*** (11.61)	0.2095*** (4.23)	0.5169 (0.48)	0.2686	2,681***
6saat	0.0042*** (16.19)	0.2156*** (5.94)	0.0831 (0.13)	0.2479	1,203***
12saat	0.0057*** (17.50)	0.2315*** (8.46)	-0.1209 (-0.35)	0.2379	569***
Günlük	0.0085*** (13.51)	0.2152*** (6.12)	-0.0150 (-0.06)	0.2553	312***

***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde anlamlılığı göstermektedir. Parantez içerisindeki değerler t-istatistiğini göstermektedir. Doğrusal regresyon analizleri için, HAC (Newey-West) düzeltmesi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 31, farklı zaman dilimlerine (15 dakika, 30 dakika, 1 saat, 2 saat, 3 saat, 6 saat, 12 saat ve günlük) göre regresyon tahminlerini göstermektedir. Negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bir γ_2 katsayısı, kripto para piyasasında sürü davranışına işaret etmektedir. Bununla birlikte γ_1 katsayısı, tüm zaman dilimleri için pozitif ve istatistiksel

olarak anlamlıdır. Günlük ve 12 saatlik veri setlerinde ise γ_2 katsayısı negatif ancak istatistiksel olarak anlamlı değildir. Diğer zaman dilimlerinde (30 dakika hariç) ise γ_2 katsayısı pozitif ancak istatistiksel olarak anlamlı değildir. Bu sonuçlar sürü davranışının bu zaman dilimlerinde olmadığını göstermektedir.

Daha önceki bölümlerde kripto para yatırımcılarının iyi ve kötü haberlere asimetrik tepki verdiği dair kanıtlar elde edilmiştir. Bu bağlamda, sürü davranışının yükselen ve düşen piyasalarda farklılık gösterebileceğini düşündürmektedir. Yatırımcıların, düşen piyasalarda sürü davranışına daha eğilimli oldukları varsayılmaktadır. Bunun nedeni yatırımcıların olası kayıplardan kaçınmak için piyasa mutabakatını izlemeye meyilli olmalarıdır. Bu hipotezi test etmek için yükselen ve düşen piyasalar için ayrı ayrı regresyonlar yapılmıştır. Yükselen ve düşen piyasalardaki sürü davranışını inceleyen regresyon sonuçları Tablo 32’de verilmiştir.

Tablo 32. CSAD^{UP} ve CSAD^{DOWN} analiz sonuçları

	α	γ_1	γ_2	R^2	F -ist
Panel A: CSAD ^{UP}					
15dk	0.0012*** (14.61)	0.2565*** (6.00)	1.8644 (0.93)	0.3497	23,907***
30dk	0.0026*** (61.38)	0.2956*** (20.32)	1.4547*** (3.21)	0.2050	5,761***
1saat	0.0019*** (12.63)	0.2533*** (5.66)	1.1962 (0.87)	0.3431	5,846***
2saat	0.0024*** (15.36)	0.2837*** (8.01)	0.3475 (0.38)	0.3312	2,772***
3saat	0.0035*** (5.96)	0.1866* (1.69)	2.3497 (0.96)	0.3241	1,785***
6saat	0.0046*** (6.55)	0.2142*** (2.11)	1.1849 (0.65)	0.3114	856***
12saat	0.0060*** (7.07)	0.2477*** (2.74)	0.6743 (0.54)	0.3113	427***
Günlük	0.0090*** (11.09)	0.2524*** (5.37)	0.4689 (1.08)	0.3634	272***
Panel B: CSAD ^{DOWN}					
15dk	0.0012*** (51.27)	0.2266*** (19.17)	0.6800 (1.16)	0.3337	21,613***
30dk	0.0024*** (55.23)	0.3050*** (17.81)	0.4956 (0.77)	0.2401	6,783***
1saat	0.0019*** (50.63)	0.1992*** (25.84)	0.1896 (1.42)	0.3071	4,748***
2saat	0.0025*** (36.19)	0.1878*** (17.25)	-0.1109 (-0.63)	0.2818	2,100***
3saat	0.0029*** (29.86)	0.1853*** (12.86)	-0.1486 (-0.73)	0.2673	1,305***
6saat	0.0042*** (20.86)	0.1654*** (8.87)	-0.0739 (-0.36)	0.2218	500***
12saat	0.0058*** (16.31)	0.1532*** (6.86)	-0.0750 (-0.46)	0.2084	231***
Günlük	0.0089*** (13.46)	0.1060*** (4.60)	0.0808 (0.50)	0.2050	111***

***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde anlamlılığı göstermektedir. Parantez içerisindeki değerler t-istatistiğini göstermektedir. Doğrusal regresyon analizleri için, HAC (Newey-West) düzeltmesi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 32, hem yükselen ve hem de düşen piyasa koşullarında farklı zaman dilimlerine göre yapılan tahmin sonuçlarını göstermektedir. Tahminler 15 dakika, 30 dakika, 1 saat, 2 saat, 3 saat, 6 saat, 12 saat ve günlük veriler kullanılarak elde edilmiştir. Her iki piyasa koşulunda da γ_1 katsayıları tüm zaman dilimleri için pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Yükselen piyasa koşulunda γ_1 katsayısı, 30 dakikalık zaman dilimi hariç, düşen piyasa koşuluna göre daha yüksek değer almıştır. Bu durum, kripto para yatırımcılarının iyi ve kötü haberlere asimetrik tepki verdiğini göstermektedir.

Düşen piyasa koşulunda yatırımcılar daha endişeli oldukları için sürü davranışını benimsemeleri daha olasıdır. Bu nedenle, düşen piyasa koşulunda sürü davranışının daha

belirgin gerçekleşme ihtimali olduğu söylenebilir. Ancak çalışmanın bu kısmında, kripto para piyasasında gün içinde sürü davranışına dair istatistiksel olarak anlamlı bir kanıt bulunamamıştır. Dolayısıyla, kripto para yatırımcılarının kararları, diğer yatırımcıların davranışlarını tutarlı bir şekilde taklit etme eğilimi göstermemektedir. Bununla birlikte, kripto para yatırımcılarının sürü davranışına ilişkin olarak olumsuz etkilerin olumlu etkilerden daha baskın olduğu söylenebilir. Başka bir deyişle, bir yatırımcının kayıp bölgesinde riskten kaçınma eğilimi daha fazladır. Sonuç olarak, kripto para yatırımcıları olumlu bilgilere kıyasla olumsuz bilgilere karşı daha yüksek bir hassasiyet sergilemektedir.

Kripto para piyasasında sürü davranışı analizinin gerçekleştirildiği bu kısımda elde edilen bulgular, önemli bir sürü davranışının olmadığını göstermektedir. Ayrıca, analiz sonuçları hem yükselen hem de düşen piyasada sürü davranışının görülme ihtimali dikkate alındığında, önemli bir sürü davranışı olmadığını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, düşen piyasada özellikle 2 saatlik, 3 saatlik, 6 saatlik ve 12 saatlik zaman dilimlerinde istatistiksel anlamlılık olmasa da, katsayı işareti sürü davranışının teorik beklentileriyle uyumludur.

SONUÇ

Kripto para birimlerinin ortaya çıkışı, bu piyasadaki davranışları incelemeye yönelik önemli bir ilgiye yol açmıştır. Kripto para piyasasının davranışlarını anlamak, yatırımcılar ve politika yapıcılar için önemli bir konudur. Dolayısıyla bu çalışma kripto para piyasasının çok yönlü bir analizini sağlamayı amaçlamaktadır. Çalışmanın genel amacı geleneksel finansal piyasalardaki davranışsal dinamiklerin kripto para piyasasında geçerli olup olmadığını belirlemektir. Bu amaçla, Bitcoin (BTC) ve Ethereum (ETH) özelinde kripto para piyasası için uygun volatilité modelinin belirlenmesinin ardından, bu modeller yardımıyla takvim anomalisi, haftanın günü anomalisi, yılın ayı anomalisi ve günün saati anomalisi özelinde ele alınmıştır. Çalışmada ek olarak, birçok kripto para biriminde gözlemlenen aşırı oynaklık ve eğilimler için davranışsal bir temelin olup olmadığını gözlemek amacıyla sürü davranışı analizi gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma, ilk etapta kripto para piyasasının volatilité yapısını farklı ARCH modelleri kullanarak incelemektedir. Asimetrik etkilerin varlığını yakalamak için, mevcut birçok ARCH modeli arasından GARCH, EGARCH ve TGARCH modelleri kullanılmıştır. Günlük veri seti kullanıldığında BTC için en uygun modelin ARMA(1,0)-EGARCH(1,1), ETH için ise ARMA(1,0)-GARCH(1,1) olduğu görülmüştür. Ayrıca, saatlik veri seti analiz edildiğinde, hem BTC hem de ETH için ARMA(2,1)-EGARCH(1,1) en uygun model olduğu belirlenmiştir.

Analiz sonuçları, kaldıraç etkisini temsil eden γ parametresinin katsayısının hem BTC hem de ETH için negatif olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, negatif şokların pozitif şoklara kıyasla oynaklıkta daha önemli bir artışa neden olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, bazı çalışmalar pozitif şoklara yanıt olarak oynaklıkta bir artış bildirmiş olsa da, genellikle negatif katsayılar bildiren pay senedi ve kripto para piyasaları üzerine yapılan önceki araştırmalarla uyumludur (Bouoiyour ve Selmi, 2016; Zargar ve Kumar, 2019; Loudon vd., 2000; Bai vd., 2021; Zhou, 2021). Kripto para piyasası bu açıdan geleneksel sermaye piyasalarına benzer dinamikler sergilemektedir. Ancak kripto para piyasası, daha düşük likidite, daha yüksek spekülasyon ve düzenleme eksikliği gibi faktörler nedeniyle genellikle daha yüksek volatilitéye sahiptir. Negatif şokların pozitif şoklara göre volatilitéde daha belirgin bir artışa neden olması, yatırımcıların negatif bir şokta pozitif bir şoka göre varlıkları satma ihtimalinin daha yüksek olmasından kaynaklanıyor olabilir. Bunun nedeni ise, yatırımcıların kaybetmekten korkma

ihtimalinin daha yüksek olması olabilir. Ayrıca, yatırımcılar kayıptan kaçınmak için varlıkları satması durumunda oluşan satış dalgası volatilitenin daha da artmasına neden olabilir. Dolayısıyla, daha yüksek volatilité yatırımcıların daha sağlıklı yatırım kararı almalarını zorlaştırabilir.

Kripto para piyasasının volatilité yapısı tespit edildikten sonra, belirlenen bu yapıya bağılı kalınarak, takvim anomalileri incelenmiştir. Bu bağlamda, ilk olarak haftanın günü anomalisinin varlığı araştırılmıştır. Tanımlayıcı istatistikler incelendiğinde, BTC'nin pazartesi günleri en yüksek ortalama getiriye, pazar günleri ise en düşük getiriye sahip olduğu görülmüştür. ETH için ise en yüksek ortalama getiri cumartesi günleri gerçekleşirken, en düşük getiri perşembe günleri gerçekleşmektedir. Ayrıca, BTC getirileri örneklem dönemi boyunca pazar günleri diğer günlerden önemli ölçüde daha düşük ve negatiftir. Benzer şekilde, standart sapma da diğer günlerden daha düşüktür. Özellikle hem BTC hem de ETH hafta içi günlerde önemli ölçüde daha yüksek işlem hacimleri ve hafta sonlarında daha düşük işlem hacimleri sergilemekte ve hafta içi günlerde hafta sonlarına kıyasla daha yüksek getiriler sağladığı görülmektedir.

Daha sonra, haftanın günü anomalisi, kripto para piyasasının volatilité yapısı bağlamında daha önce bahsedildiği gibi, BTC için ARMA(1,0)-EGARCH(1,1) modeline ve ETH için ARMA(1,0)-GARCH(1,1) modeline kukla değişken olarak dahil edilerek test edilmiştir. Hem BTC hem de ETH için karşılaştırma temeli pazartesi günüdür. Sonuçlar, BTC için koşullu ortalama denkleminde ait kukla değişkenlerin tahmin edilen katsayıları, pazartesi günlerine kıyasla diğer günlerde getirilerin daha düşük olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, salıdan pazara kadar olan tüm günler için katsayılar negatiftir. Benzer şekilde, BTC için koşullu varyans denklemi de salıdan pazara kadar tüm günler için negatif ve istatistiksel olarak anlamlı katsayılar ortaya koymaktadır. ETH için ise durum farklıdır. Koşullu ortalama denkleminin kukla değişkenleri için tahmin edilen katsayılar, perşembe günlerinin getirilerinin pazartesi günlerinden daha düşük olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, salı günü için katsayı negatiftir ancak istatistiksel olarak anlamlı değildir. Diğer günler için tahmin edilen katsayılar pozitif ve bu günlerin pazartesi gününden daha yüksek getiri sağladığını göstermektedir. Bununla birlikte, koşullu varyans denklemi BTC ile aynıdır. Başka bir deyişle, salıdan pazara kadar tüm kukla değişken katsayıları negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır.

Sonuç olarak, hem BTC hem de ETH için en yüksek volatilitenin pazartesi günü gerçekleştiği ve diğer günlerde volatilitenin daha düşük olduğu söylenebilir.

Takvim anomalileri bağlamında bu çalışmada, BTC ve ETH getirilerinin yılın belirli aylarında daha iyi performans gösterme eğiliminde olup olmadığı da incelenmiştir. Tanımlayıcı istatistikler BTC'nin ekim ayında en yüksek ve ocak ayında en düşük ortalama getiriyi elde ettiğini, ETH'nin ise nisan ayında en yüksek ve haziran ayında en düşük ortalama getiriyi elde ettiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, BTC getirileri ocak ayında örneklem dönemi boyunca diğer aylara kıyasla önemli ölçüde daha düşük ve negatiftir. Her iki kripto para birimi için de ocak ayı en yüksek standart sapmayı sergilemektedir. Bir diğer kayda değer bulgu da hem BTC hem de ETH için özellikle yılın ikinci yarısında işlem hacmindeki önemli düşüştür. İlk yarıdaki yüksek işlem hacimleri yılın ilerleyen dönemlerinde daha düşük hacimlerle dengelenmektedir. Ayrıca, mayıs ayı her iki kripto para birimi için de en yüksek işlem hacmine sahip ayı temsil etmektedir.

Daha önce haftanın günü anomalisi bağlamında tartışıldığı gibi, yılın ayı anomalisi de BTC için ARMA(1,0)-EGARCH(1,1) modeline ve ETH için ARMA(1,0)-GARCH(1,1) modeline aylar kukla değişkenler olarak dahil edilerek test edilmiştir. Ocak ayı, en çok bilinen anomali olması nedeniyle karşılaştırmaya temel teşkil etmektedir. Hem BTC hem de ETH ortalama denklemlerinde, aylar için katsayılar istatistiksel olarak anlamlı değildir, bu da ortalama denklem sonuçlarının belirgin bir yılın ayı anomalisini ortaya çıkarmadığını göstermektedir. Ancak, ETH ortalama denklemindeki katsayılar negatiftir ve bulgular ETH için diğer ayların ocak ayına kıyasla daha düşük getiriye sahip olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, istatistiksel olarak anlamlı olmasa da, BTC getiri serisinde gözlenmemektedir. Sonuç olarak, ne BTC ne de ETH ortalama denklem sonuçları ocak ayı etkisi göstermemektedir. Varyans denklemi sonuçlarına göre ise, BTC örneklem dönemi boyunca ocak ayında diğer aylara kıyasla daha yüksek volatilité ile önemli bir yılın ayı anomalisi sergilemektedir. Başka bir deyişle, BTC'nin oynaklığı ocak ayında en yüksek seviyededir ve sonraki aylarda gözle görülür bir düşüş yaşanmaktadır. ETH varyans denklemi sonuçları BTC'nin sonuçlarını yansıtmakta ve her iki kripto para birimi için de en yüksek oynaklığın ocak ayında gerçekleştiğini ve diğer aylarda önemli bir düşüş olduğunu göstermektedir. Bu bulgulara dayanarak ne BTC ne de ETH için ortalama denkleminde yılın hiçbir ayında önemli bir anomali mevcut değilken, varyans

denklemini ocak ayında diğer aylara kıyasla daha yüksek volatilité ortaya koymaktadır ve bu da volatilité açısından yılın ayı anomalisinin var olduğunu göstermektedir.

Takvim anomalileri kapsamında son olarak kripto para piyasasında günün saati anomalisi incelenmiştir. Kripto para piyasasının sürekli işlem görmesi nedeniyle günün saati önemli bir faktör haline gelmektedir. Asya, Avrupa ve Amerika kıtaları arasındaki zaman farklılıkları bu anomaliye katkıda bulunarak gün boyunca çeşitli zamanlarda fiyat dalgalanmalarına yol açabilir. Analizde BTC ve ETH'nin farklı ülkelerin borsalarının işlem gördüğü saat aralığına karşılık gelen belirli saatlerde daha yüksek getiri sağlama potansiyeli göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca, önde gelen küresel borsaların davranışları, işlem görülen saat aralığına göre modellenmiştir.

Haftanın günü ve yılın ayı anomalilerinden farklı olarak, dünya çapında önde gelen borsaların faaliyet gösterdiği saat dilimlerine göre kukla değişkenler kullanılarak günün saati anomalisi de ayrıca analiz edilmiştir. Daha önce kripto para piyasasının volatilité yapısı başlığı altında tartışıldığı gibi, saatlik veriler için en uygun model olarak BTC ve ETH için ARMA(2,1)-EGARCH(1,1) modeli seçilmiştir. Borsaların açık olduğu saatler, modelin hem ortalama hem de varyans denklemlerine kukla değişkenler olarak dahil edilmiştir. Dünyanın önde gelen borsaların seçiminde, özellikle farklı kıtalardan büyük borsalar tercih edilmiştir. Ayrıca, bu borsaların açık olduğu zaman dilimlerinin birbirinden farklı olması, bazı borsaların yaz saati uygulaması varken, bazılarında bulunmaması gibi durumlar da dikkate alınarak gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Bazı ülke borsalarının açılış ve kapanış saatleri benzerlik göstermektedir. Dolayısıyla benzer açılış kapanış saatine sahip olan borsalar için yapılan çıkarımlar bu yönde paralel bütün borsalar için geçerlidir.

Bulgularımız, BTC için koşullu ortalama denkleminde Tokyo, Şangay, Londra ve New York değişkenlerinin katsayılarının negatif olduğunu ve Tokyo hariç hepsinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, Sidney, Toronto ve Johannesburg kukla değişkenlerinin katsayıları pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Katsayı büyüklüğü açısından Şangay, BTC'nin koşullu ortalama denklemi üzerinde en önemli etkiye sahiptir. Benzer şekilde, volatilité denkleminde Tokyo, Şangay, Londra ve New York'un katsayıları negatifken, Sidney, Toronto ve Johannesburg'un katsayıları pozitifdir. Sidney, BTC'nin koşullu varyansı üzerinde en önemli etkiye sahiptir. ETH için

ulaşılan bulgular BTC'ninkilerden farklıdır. Şangay ve New York, ETH için ortalama denkleminde istatistiksel olarak anlamlıdır. Özellikle, BTC'den farklı olarak, ETH'nin işareti Tokyo Borsası'nın işlem saatleri sırasında pozitifdir. Volatilite denkleminde, tüm katsayılar istatistiksel olarak anlamlıdır ve ortalama denklemindeki Tokyo Borsası bulguları volatilite denklemi için de geçerlidir. BTC'nin koşullu varyansı negatif işarete sahipken, ETH'nin koşullu varyansı pozitif işarete sahiptir.

Bu bulgular, kripto para birimlerinin alım satımında önemli bir zaman etkisi olduğunu, getirilerin ve oynaklığın günün belirli saatlerinde en yüksek olduğunu göstermektedir. Bu sonuçların olası çıkarımları şu şekildedir:

İlk olarak tanımlayıcı istatistik sonuçları, en yüksek getirilerin Avrupa'da öğleden önce ve akşam saatlerinde gerçekleştiğini, bunun Asya'da öğleden sonraya ve Amerika'da sabahın erken saatlerine karşılık geldiğini ortaya koymaktadır. BTC için, Şangay Borsası'nın açık olduğu dönem ortalama denklemi üzerinde en önemli etkiye sahipken, Sidney Borsası'nın işlem saatleri volatilite denklemi üzerinde en önemli etkiye sahiptir. Sonuç olarak hem Şangay hem de Sidney Borsası BTC'yi önemli ölçüde etkilemektedir; Şangay Borsası'nın işlem saatlerinde BTC getirisinde kayda değer bir düşüş ve Sidney Borsası'nın işlem saatlerinde BTC oynaklığında önemli bir artış görülmektedir. ETH için, Şangay ve New York Borsası işlem saatlerinde getiride önemli bir düşüş ve New York Borsası'nın işlem saatlerinde volatilitede önemli bir artış söz konusudur. Bu nedenle, yatırımcılar alım satım stratejileri geliştirirken ülke borsalarının işlem gördüğü saat aralığını dikkate almalıdır. Özellikle, BTC yatırımcıları Şangay ve Sidney Borsası'nı dikkate almalı, ETH yatırımcıları ise Şangay ve New York Borsası'nın işlem saatlerine odaklanmalıdır.

Çalışmamızda son olarak, kripto para piyasasında sürü davranışının varlığı araştırılmıştır. En yüksek piyasa değerine sahip beş kripto para birimi (BTC, ETH, LTC, XRP, BCH) için 1 Ocak 2017 - 31 Aralık 2022 zaman periyodundaki veriler kullanılarak analiz edilmiştir. Yapılan çalışmaların çoğu günlük getiri verilerinin kullanıldığı görülmüşken, araştırmamız sürü davranışını 15 dakika, 30 dakika, 1 saat, 2 saat, 3 saat, 6 saat, 12 saat ve günlük veri setleri dahil olmak üzere çeşitli zaman aralıklarında incelemektedir. Özellikle daha önceki kısımda elde edilen sonuçlar, alım satım stratejilerinde saat aralığı ve işlem hacminin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Bu nedenle, sürü davranışının farklı zaman aralığında görülme ihtimali dikkate alınarak bu dönüşüm gerçekleştirilmiştir.

Vidal-Tomás vd. (2019b) metodunu takiben, piyasa getirisini hesaplamak için eşit ağırlıklı bir piyasa portföyü oluşturulmuştur. Piyasa portföyü oluşturulduktan sonra, Christie ve Huang (1995) ve Chang vd. (2000) tarafından önerildiği gibi hem CSSD hem de CSAD yöntemlerini kullanarak sürü davranışı değerlendirilmiştir. Ayrıca, Economou vd. (2018) tarafından belirtildiği gibi, sürü davranışının yükselen ve düşen piyasalarda farklı bir davranış sergileyebileceğini göz önünde bulundurarak ve her iki piyasa koşulunda da bu durumun varlığı ayrıca incelenmiştir.

CSSD analizinde, aşırı piyasa hareketlerini tanımlamak için üç kriter kullanılmış ve D_t^L ve D_t^U piyasa getirisi dağılımının alt ve üst kuyruğu %1, %5 ve %10 ile sınırlandırılmıştır. Ampirik analiz sonuçları, kripto para piyasasında sürü davranışının olmadığını ve aşırı fiyat hareketlerinin rasyonel varlık fiyatlama modelleri ile açıklanabileceğini göstermektedir.

CSAD analiz sonuçları günlük ve 12 saatlik veri setlerinde γ_2 katsayısının istatistiksel açıdan anlamlı olmamakla birlikte teorik beklentiyle uyumlu olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla bu sonuçlar da sürü davranışının olmadığını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, çalışmanın kripto para piyasasının volatilité yapısının araştırıldığı kısımda kripto para yatırımcılarının iyi ve kötü haberlere asimetric tepki verdiğine dair kanıtlar sunmasından, sürü davranışının yükselen ve düşen piyasalarda farklılık gösterebileceği yorumuna dayanılarak, sürü davranışının yükselen ve düşen piyasalarda ne düzeyde gerçekleştiği araştırılmıştır. γ_1 katsayısının yükselen piyasa koşullarında düşen piyasa koşullarına göre daha yüksek olması, yatırımcıların artan kaygı nedeniyle düşen piyasalarda sürü davranışı sergileme olasılığının daha yüksek olduğunu göstermesi nedeniyle, sürü davranışının düşen piyasa koşulunda daha belirgin olabileceği belirlenmiştir.

Çalışma, kripto para piyasasında belirli bir sürü davranışı gözlenmediğini ortaya koymaktadır. Özellikle, 2 saatlik, 3 saatlik, 6 saatlik ve 12 saatlik zaman dilimlerinde γ_2 katsayısı negatif olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı değildir. Ayrıca, kripto para yatırımcıları açısından olumsuz etkilerin olumlu etkilerden daha baskın olduğu

söylenebilir. Başka bir deyişle, bir yatırımcının kayıp bölgesinde riskten kaçınma eğilimi daha fazladır. Sonuç olarak, kripto para yatırımcıları olumsuz bilgilere olumlu bilgilere kıyasla daha duyarlıdır.

Sonuçlar bütünüyle değerlendirildiğinde, geleneksel sermaye piyasasında gözlenen davranışsal finans dinamiklerinin kripto para piyasasında da gözleendiği, dolayısıyla geleneksel finans alanında uygulanan piyasa stratejilerinin, volatilitiyi dikkate alarak kripto para piyasasında uygulanabilecek stratejiler hakkında fikir verebileceği kanaatine ulaşılmıştır.



KAYNAKLAR

- Aalborg, H. A., Molnár, P., & de Vries, J. E. (2019). "What can explain the price, volatility and trading volume of Bitcoin?", *Finance Research Letters*, 29, 255-265.
- Abreu, D., & Brunnermeier, M. K. (2003). "Bubbles and crashes", *Econometrica*, 71(1), 173-204.
- Agathe, U. S. (2008). "Day of the week effects: Evidence from the stock exchange of Mauritius (SEM)", *International Research Journal of Finance and Economics*, 17(34), 8-14.
- Aggarwal, D. (2019). "Do bitcoins follow a random walk model?", *Research in Economics*, 73(1), 15-22.
- Agosto, A., & Cafferata, A. (2020). "Financial bubbles: a study of co-explosivity in the cryptocurrency market", *Risks*, 8(2), 34.
- Aharon, D. Y., & Qadan, M. (2019). "Bitcoin and the day-of-the-week effect", *Finance Research Letters*, 31.
- Ahmed, W. M. (2020). "Is there a risk-return trade-off in cryptocurrency markets? The case of Bitcoin", *Journal of Economics and Business*, 108, 105886.
- Akinsomi, O., Coskun, Y., Gupta, R., & Lau, C. K. M. (2018). "Impact of volatility and equity market uncertainty on herd behaviour: evidence from UK REITs", *Journal of European Real Estate Research*.
- Alvarez-Ramirez, J., Rodriguez, E., & Ibarra-Valdez, C. (2018). "Long-range correlations and asymmetry in the Bitcoin market", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 492, 948-955.
- Amirat, A., & Alwafi, W. (2020). "Does herding behavior exist in cryptocurrency market?", *Cogent Economics & Finance*, 8(1), 1735680.
- Antonakakis, N., Chatziantoniou, I., & Gabauer, D. (2019). "Cryptocurrency market contagion: Market uncertainty, market complexity, and dynamic portfolios", *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 61, 37-51.
- Antonopoulos, A. M. (2017). *Mastering Bitcoin: Programming the open blockchain*, O'Reilly Media, Inc.
- Aslan, A., & Sensoy, A. (2020). "Intraday efficiency-frequency nexus in the cryptocurrency markets", *Finance Research Letters*, 35, 101298.

- Bai, L., Wei, Y., Wei, G., Li, X., & Zhang, S. (2021). "Infectious disease pandemic and permanent volatility of international stock markets: A long-term perspective", *Finance Research Letters*, 40, 101709.
- Balcilar, M., & Demirer, R. (2015). "Effect of global shocks and volatility on herd behavior in an emerging market: Evidence from Borsa Istanbul", *Emerging Markets Finance and Trade*, 51(1), 140-159.
- Balcilar, M., Bouri, E., Gupta, R., & Roubaud, D. (2017). "Can volume predict Bitcoin returns and volatility? A quantiles-based approach", *Economic Modelling*, 64, 74-81.
- Banafa, A. (2017). "IoT and blockchain convergence: benefits and challenges", *IEEE Internet of Things*.
- Barjašić, I., & Antulov-Fantulin, N. (2021). "Time-varying volatility in Bitcoin market and information flow at minute-level frequency", *Frontiers in Physics*, 9, 644102.
- Barski, C., & Wilmer, C. (2014). *Bitcoin for the Befuddled*, No starch press.
- Bashir, I. (2017). *Mastering blockchain*, Packt Publishing Ltd.
- Basir, I. N., Alwi, S., Salleh, M. N. M., & Mohd, S. N. A. (2020). "The occurrence of FinTech: The insight into the world of cryptocurrency from a Chinese investment perspective", *TEST Engineering & Management Magazine*, 83, 1089-1100.
- Baur, D. G., & Dimpfl, T. (2017). "Realized bitcoin volatility", *SSRN 2949754*, 1-26.
- Baur, D. G., & Dimpfl, T. (2018). "Asymmetric volatility in cryptocurrencies", *Economics Letters*, 173, 148-151.
- Baur, D. G., Cahill, D., Godfrey, K., & Liu, Z. F. (2019). "Bitcoin time-of-day, day-of-week and month-of-year effects in returns and trading volume", *Finance Research Letters*, 31, 78-92.
- Baur, D. G., Dimpfl, T., & Kuck, K. (2018). "Bitcoin, gold and the US dollar—A replication and extension", *Finance Research Letters*, 25, 103-110.
- Bazán-Palomino, W. (2021). "How are Bitcoin forks related to Bitcoin?", *Finance Research Letters*, 40, 101723.
- Belsky, G., & Gilovich, T. (2010). *Why smart people make big money mistakes and how to correct them: Lessons from the life-changing science of behavioral economics*, Simon and Schuster.
- Berentsen, A., & Schär, F. (2018). "A short introduction to the world of cryptocurrencies", *FRB of St. Louis Working Review*.

- Berument, H., & Kiymaz, H. (2001). "The day of the week effect on stock market volatility", *Journal of Economics and Finance*, 25(2), 181-193.
- Berument, M. H., & Dogan, N. (2012). "Stock market return and volatility: day-of-the-week effect", *Journal of Economics and Finance*, 36, 282-302.
- Bevand, M. (2017). Electricity consumption of Bitcoin: a market-based and technical analysis, *Zorinaq*, <http://blog.zorinaq.com/bitcoin-electricity-consumption/>.
- Bhaskar, N. D., & Chuen, D. L. K. (2015). "Bitcoin mining technology", *Handbook of digital currency: Bitcoin, Innovation, Financial Instruments, and Big Data*, Akademik Press, 45-65.
- Bhattacharyya, D. B. (2018). How Blockchain is Transforming Capital Market, Larsen & Toubro. <https://www.scribd.com/document/460615958/How-Blockchain-is-Transforming-Capital-Market-pdf>.
- Biais, B., Bisiere, C., Bouvard, M., & Casamatta, C. (2019). "The blockchain folk theorem", *The Review of Financial Studies*, 32(5), 1662-1715.
- Bitaddress. (2022). <https://www.bitaddress.org/>
- Bitcoin. (2022). <https://bitcoin.org/en/choose-your-wallet>
- BitcoinPaperWallet. (2022). <https://bitcoinpaperwallet.com/>
- Bitnodes. (2022). <https://bitnodes.io/>
- Blokchain. (2022). <https://www.blockchain.com/>
- Blokchain. (2022). <https://www.blockchain.com/explorer/charts/pools>
- Bollerslev, T. (1986). "Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity", *Journal of Econometrics*, 31(3), 307-327.
- Bouoiyour, J., & Selmi, R. (2016). "Bitcoin: A beginning of a new phase", *Economics Bulletin*, 36(3), 1430-1440.
- Bouri, E., Gil-Alana, L. A., Gupta, R., & Roubaud, D. (2019). "Modelling long memory volatility in the Bitcoin market: Evidence of persistence and structural breaks", *International Journal of Finance & Economics*, 24(1), 412-426.
- Bouri, E., Gupta, R., & Roubaud, D. (2019). "Herding behaviour in cryptocurrencies", *Finance Research Letters*, 29, 216-221.
- Brito, J., Shadab, H., & Castillo, A. (2014). "Bitcoin financial regulation: Securities, derivatives, prediction markets, and gambling", *Colum. Sci. & Tech. L. Rev.*, 16, 144-221.

- Brooks, C. (2014). *Introductory Econometrics for Finance*, Cambridge University Press.
- Brutman, J., Layton, J., Sulmone, C., Stuto, G., Hopkins, G., & Creighton, R. (2018). The Revolution of Privacy Fulfilling Satoshi's Vision for 2018 and Beyond. <https://btcprivate.org/whitepaper.pdf>.
- Bundi, N., & Wildi, M. (2019). "Bitcoin and market-(in) efficiency: a systematic time series approach", *Digital Finance*, 1, 47-65.
- Burggraf, T., & Rudolf, M. (2021). "Cryptocurrencies and the low volatility anomaly", *Finance Research Letters*, 40, 101683.
- Buterin, V. (2013). A next-generation smart contract and decentralized application platform. *Blockchainlab*, https://blockchainlab.com/pdf/Ethereum_white_paper-a_next_generation_smart_contract_and_decentralized_application_platform-vitalik-buterin.pdf.
- Caetano, R. (2015). *Learning Bitcoin*. Packt Publishing Ltd.
- Cagli, E. C. (2019). "Explosive behavior in the prices of Bitcoin and altcoins", *Finance Research Letters*, 29, 398-403.
- Calderón, O. P. (2018). "Herding behavior in cryptocurrency markets", *arXiv preprint arXiv:1806.11348*.
- Canh, N. P., Wongchoti, U., Thanh, S. D., & Thong, N. T. (2019). "Systematic risk in cryptocurrency market: Evidence from DCC-MGARCH model", *Finance Research Letters*, 29, 90-100.
- Caporale, G. M., & Plastun, A. (2019). "The day of the week effect in the cryptocurrency market", *Finance Research Letters*, 31.
- Caporale, G. M., & Zekokh, T. (2019). "Modelling volatility of cryptocurrencies using Markov-Switching GARCH models", *Research in International Business and Finance*, 48, 143-155.
- Caporale, G. M., Gil-Alana, L., & Plastun, A. (2018). "Persistence in the cryptocurrency market", *Research in International Business and Finance*, 46, 141-148.
- Catania, L., & Sandholdt, M. (2019). "Bitcoin at high frequency", *Journal of Risk and Financial Management*, 12(1), 36.
- Cerecedo Hernández, D., Franco-Ruiz, C. A., Contreras-Valdez, M. I., & Franco-Ruiz, J. A. (2019). "Explosion in virtual assets (Cryptocurrencies)", *Revista mexicana de economía y finanzas*, 14(4), 715-727.
- Cermak, V. (2017). "Can Bitcoin become a viable alternative to fiat currencies? An empirical analysis of Bitcoin's volatility based on a GARCH model", <https://ssrn.com/abstract=2961405>.

- Chang, E. C., Cheng, J. W., & Khorana, A. (2000). "An examination of herd behavior in equity markets: An international perspective", *Journal of Banking & Finance*, 24(10), 1651-1679.
- Charles, A., & Darné, O. (2019). "Volatility estimation for Bitcoin: Replication and robustness", *International Economics*, 157, 23-32.
- Cheah, E. T., & Fry, J. (2015). "Speculative bubbles in Bitcoin markets? An empirical investigation into the fundamental value of Bitcoin", *Economics Letters*, 130, 32-36.
- Cheah, E. T., Mishra, T., Parhi, M., & Zhang, Z. (2018). "Long memory interdependency and inefficiency in Bitcoin markets", *Economics Letters*, 167, 18-25.
- Cheung, A., Roca, E., & Su, J. J. (2015). "Crypto-currency bubbles: an application of the Phillips–Shi–Yu (2013) methodology on Mt. Gox bitcoin prices", *Applied Economics*, 47(23), 2348-2358.
- Chohan, U. W. (2017). "The decentralized autonomous organization and governance issues", *SSRN 3082055*.
- Chohan, U. W. (2018). "The problems of cryptocurrency thefts and exchange shutdowns", *SSRN 3131702*.
- Chohan, U. W. (2019). "Are cryptocurrencies truly trustless?", *Cryptofinance and Mechanisms of Exchange: the Making of Virtual Currency*, 77-89.
- Chowdhury, N. (2018). *Inside blockchain, bitcoin, and cryptocurrencies*. CRC Press.
- Christie, W. G., & Huang, R. D. (1995). "Following the pied piper: do individual returns herd around the market?", *Financial Analysts Journal*, 51(4), 31-37.
- Chu, J., Chan, S., Nadarajah, S., & Osterrieder, J. (2017). "GARCH modelling of cryptocurrencies", *Journal of Risk and Financial Management*, 10(4), 17.
- Ciaian, P., Kanacs, D. A., & Rajcaniova, M. (2018). "The price of bitcoin: GARCH evidence from high frequency data", *arXiv preprint arXiv:1812.09452*.
- Cocco, L., & Marchesi, M. (2016). "Modeling and Simulation of the Economics of Mining in the Bitcoin Market", *PloS one*, 11(10), 1-31.
- Coinhills. (2022). <https://www.coinhills.com/market/currency/>
- Coininsider. (2022). <https://www.coininsider.com/ico>
- CoinMarketCap. (2022). <https://coinmarketcap.com/>
- CoinMarketCap. (2022). <https://coinmarketcap.com/view/stablecoin/>

- Coinwarz. (2022). www.coinwarz.com
- Conrad, C., Custovic, A., & Ghysels, E. (2018). “Long-and short-term cryptocurrency volatility components: A GARCH-MIDAS analysis”, *Journal of Risk and Financial Management*, 11(2), 23.
- Coppola, F. (2018). Bitcoin’s Need for Electricity is Its “Achilles Heel”. *Forbes*, <https://www.forbes.com/sites/francescoppola/2018/05/30/bitcoins-need-for-electricity-is-its-achilles-heel/?sh=47f754042fb1>.
- Corbet, S., Lucey, B., Peat, M., & Vigne, S. (2018). “Bitcoin Futures—What use are they?”, *Economics Letters*, 172, 23-27.
- Corbet, S., Lucey, B., Urquhart, A., & Yarovaya, L. (2019). “Cryptocurrencies as a financial asset: A systematic analysis”, *International Review of Financial Analysis*, 62, 182-199.
- Corbet, S., Urquhart, A., & Yarovaya, L. (2020). *Cryptocurrency and Blockchain Technology*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG.
- Corsi, F. (2009). “A simple approximate long-memory model of realized volatility”, *Journal of Financial Econometrics*, 7(2), 174-196.
- Coskun, E. A., Lau, C. K. M., & Kahyaoglu, H. (2020). “Uncertainty and herding behavior: evidence from cryptocurrencies”, *Research in International Business and Finance*, 54, 101284.
- Cretonics, M. (2019). Neo cryptocurrency: everything you need to know about china ethereum. *CoinSutra*, <https://coinsutra.com/neo-cryptocurrency/>.
- Cross, F. (1973). “The behavior of stock prices on Fridays and Mondays”, *Financial Analysts Journal*, 29(6), 67-69.
- da Gama Silva, P. V. J., Klotzle, M. C., Pinto, A. C. F., & Gomes, L. L. (2019). “Herding behavior and contagion in the cryptocurrency market”, *Journal of Behavioral and Experimental Finance*, 22, 41-50.
- Dai, W. (1998). B-money. <http://www.weidai.com/bmoney.txt>
- De Vries, A. (2019). “Renewable energy will not solve bitcoin’s sustainability problem”, *Joule*, 3(4), 893-898.
- Décourt, R. F., Chohan, U. W., & Perugini, M. L. (2017). “Bitcoin returns and the monday effect”, *Horizontes Empresariales*, 16(2).
- Delgado-Mohatar, O., Felis-Rota, M., & Fernández-Herraiz, C. (2019). “The Bitcoin mining breakdown: Is mining still profitable?”, *Economics Letters*, 184, 108492.

- Destefanis, G., Marchesi, M., Ortu, M., Tonelli, R., Bracciali, A., & Hierons, R. (2018). "Smart contracts vulnerabilities: a call for blockchain software engineering?", *2018 International Workshop on Blockchain Oriented Software Engineering (IWBOSE)*.
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). "Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root", *Journal of the American Statistical Association*, 74(366a), 427-431.
- Digiconomist. (2022). <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>
- Digiconomist. (2022). <https://digiconomist.net/ethereum-energy-consumption>
- Dorfleitner, G., & Lung, C. (2018). "Cryptocurrencies from the perspective of euro investors: a re-examination of diversification benefits and a new day-of-the-week effect", *Journal of Asset Management*, 19, 472-494.
- Dyhrberg, A. H. (2016). "Bitcoin, gold and the dollar—A GARCH volatility analysis", *Finance Research Letters*, 16, 85-92.
- Economou, F., Hassapis, C., & Philippas, N. (2018). "Investors' fear and herding in the stock market", *Applied Economics*, 50(34-35), 3654-3663.
- Enders, W. (2015). *Applied Econometric Time Series*. John Wiley & Sons.
- Engle, R. F. (1982). "Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation", *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 50(4), 987-1007.
- Engle, R. F., & Ng, V. K. (1993). "Measuring and testing the impact of news on volatility", *The Journal of Finance*, 48(5), 1749-1778.
- Enoksen, F. A., Landsnes, C. J., Lučivjanská, K., & Molnár, P. (2020). "Understanding risk of bubbles in cryptocurrencies", *Journal of Economic Behavior & Organization*, 176, 129-144.
- Fakhfekh, M., & Jeribi, A. (2020). "Volatility dynamics of crypto-currencies' returns: Evidence from asymmetric and long memory GARCH models", *Research in International Business and Finance*, 51, 101075.
- Fama, E. F. (1970). "Efficient capital markets: A review of theory and empirical work", *The Journal of Finance*, 25(2), 383-417.
- Fendi, U. A., Tahtamouni, A., Jalghoum, Y., & Suleiman, J. M. (2019). "The study of bubbles in bitcoin behavior", *Banks and Bank Systems*, 14(4), 133.
- Floyd, S. (2018). How EOS block producers are paid. *Eostribe*, <https://medium.com/eostribe/how-eos-block-producers-are-paid-7b2a1216eb2b>.

- Fonseca, V., Pacheco, L., & Lobão, J. (2020). "Psychological barriers in the cryptocurrency market", *Review of Behavioral Finance*, 12(2), 151-169.
- Franke, J., Härdle, W. K., & Hafner, C. M. (2019). "Financial Econometrics of Cryptocurrencies", *Statistics of Financial Markets: An Introduction*, 545-568.
- Frascaroli, B. F. (2020). "Bitcoin's innovative aspects, return volatility and uncertainty shocks", *International Journal of Financial Markets and Derivatives*, 7(3), 224-245.
- French, K. R. (1980). "Stock returns and the weekend effect", *Journal of Financial Economics*, 8(1), 55-69.
- Fry, J. (2018). "Booms, busts and heavy-tails: The story of Bitcoin and cryptocurrency markets?", *Economics Letters*, 171, 225-229.
- Fry, J., & Cheah, E. T. (2016). "Negative bubbles and shocks in cryptocurrency markets", *International Review of Financial Analysis*, 47, 343-352.
- Furieux, N. (2018). *Investigating cryptocurrencies: understanding, extracting, and analyzing blockchain evidence*. John Wiley & Sons.
- Garner, B. (2018). What is gas? An introduction to the NeoGas crypto and what it does within neo. *CoinCentral*, <https://coincentral.com/gas-introduction-neogas-crypto-within-neo/>.
- Geuder, J., Kinatader, H., & Wagner, N. F. (2019). "Cryptocurrencies as financial bubbles: The case of Bitcoin", *Finance Research Letters*, 31.
- Giungato, P., Rana, R., Tarabella, A., & Tricase, C. (2017). "Current trends in sustainability of bitcoins and related blockchain technology", *Sustainability*, 9(12), 1-11.
- Goodin, D. (2012). Why passwords have never been weaker-and crackers have never been stronger. *Ars Technica*, <https://arstechnica.com/information-technology/2012/08/passwords-under-assault/>.
- Goutte, S., Guesmi, K., & Saadi, S. (2019). *Cryptofinance and Mechanisms of Exchange*. Springer International Publishing.
- Grigg, I. (2018). EOS: an introduction. https://www.iang.org/papers/EOS_An_Introduction-BLACK-EDITION.pdf.
- Gronwald, M. (2021). "How explosive are cryptocurrency prices?", *Finance Research Letters*, 38, 101603.
- Gyamerah, S. A. (2019). "Modelling the volatility of Bitcoin returns using GARCH models", *Quantitative Finance and Economics*, 3(4), 739-753.

- Hacioglu, U. (2019). *Blockchain economics and financial market innovation: Financial innovations in the digital age*. Springer Nature.
- Hafner, C. M. (2020). "Testing for bubbles in cryptocurrencies with time-varying volatility", *Journal of Financial Econometrics*, 18(2), 233-249.
- Haryanto, S., Subroto, A., & Ulpah, M. (2020). "Disposition effect and herding behavior in the cryptocurrency market", *Journal of Industrial and Business Economics*, 47, 115-132.
- Hashemi Joo, M., Nishikawa, Y., & Dandapani, K. (2020). "Announcement effects in the cryptocurrency market", *Applied Economics*, 52(44), 4794-4808.
- Hencic, A., & Gouriéroux, C. (2015). "Noncausal autoregressive model in application to bitcoin/USD exchange rates", *Econometrics of Risk*, 17-40.
- Heston, S. L., & Sadka, R. (2008). "Seasonality in the cross-section of stock returns", *Journal of Financial Economics*, 87(2), 418-445.
- Hidajat, T. (2019). "Behavioural biases in bitcoin trading", *Fokus Ekonomi: Jurnal Ilmiah Ekonomi*, 14(2), 337-354.
- Hileman, G. (2019). "State of stablecoins (2019)", *SSRN* 3533143.
- Hou, D. D., Li, J. J., Liao, L., & Zhang, H. (2020). "Asset pricing on blockchain: Slow moving capital, momentum, and bubbles of cryptocurrencies", *Social Science Electronic Publishing*.
<http://conference.fter50.org.cn/Public/Uploads/upload/2053.pdf>
- Hung, J. C., Liu, H. C., & Yang, J. J. (2020). "Improving the realized GARCH's volatility forecast for Bitcoin with jump-robust estimators", *The North American Journal of Economics and Finance*, 52, 101165.
- Jakub, B. (2015). "Does Bitcoin follow the hypothesis of efficient market", *International Journal of Economic Sciences*, 4(2), 10-23.
- Jalal, R. N. U. D., Sargiacomo, M., Sahar, N. U., & Fayyaz, U. E. (2020). "Herding behavior and cryptocurrency: Market asymmetries, inter-dependency and intra-dependency", *The Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 7(7), 27-34.
- Ji, Q., Bouri, E., Lau, C. K. M., & Roubaud, D. (2019). "Dynamic connectedness and integration in cryptocurrency markets", *International Review of Financial Analysis*, 63, 257-272.
- Jiang, Y., Nie, H., & Ruan, W. (2018). "Time-varying long-term memory in Bitcoin market", *Finance Research Letters*, 25, 280-284.

- John, A., Logubayom, A. I., & Nero, R. (2019). "Half-life volatility measure of the returns of some cryptocurrencies", *Journal of Financial Risk Management*, 8(1), 15-28.
- Kaiser, B., Jurado, M., & Ledger, A. (2018). "The looming threat of china: An analysis of chinese influence on Bitcoin", *arXiv preprint arXiv:1810.02466*, 1-22.
- Kaiser, L. (2019). "Seasonality in cryptocurrencies", *Finance Research Letters*, 31, 232-238.
- Kallinterakis, V., & Kratunova, T. (2007). "Does thin trading impact upon the measurement of herding? Evidence from Bulgaria", *Ekonomia*, 10(1).
- Kallinterakis, V., & Wang, Y. (2019). "Do investors herd in cryptocurrencies—and why?", *Research in International Business and Finance*, 50, 240-245.
- Kalodner, H. A., Carlsten, M., Ellenbogen, P. M., Bonneau, J., & Narayanan, A. (2015). "An empirical study of Namecoin and lessons for decentralized namespace design", *WEIS*, 1-23.
- Katsiampa, P. (2017). "Volatility estimation for Bitcoin: A comparison of GARCH models", *Economics letters*, 158, 3-6.
- Katsiampa, P. (2019a). "An empirical investigation of volatility dynamics in the cryptocurrency market", *Research in International Business and Finance*, 50, 322-335.
- Katsiampa, P. (2019b). "Volatility co-movement between Bitcoin and Ether", *Finance Research Letters*, 30, 221-227.
- Katsiampa, P., Corbet, S., & Lucey, B. (2019). "Volatility spillover effects in leading cryptocurrencies: A BEKK-MGARCH analysis", *Finance Research Letters*, 29, 68-74.
- Kaya Soylu, P., Okur, M., Çatıkkaş, Ö., & Altıntig, Z. A. (2020). "Long memory in the volatility of selected cryptocurrencies: Bitcoin, Ethereum and Ripple", *Journal of Risk and Financial Management*, 13(6), 107.
- Keim, D. B. (1983). "Size-related anomalies and stock return seasonality: Further empirical evidence", *Journal of Financial Economics*, 12(1), 13-32.
- Khuntia, S., & Pattanayak, J. K. (2018). "Adaptive market hypothesis and evolving predictability of Bitcoin", *Economics Letters*, 167, 26-28.
- Khuntia, S., & Pattanayak, J. K. (2020). "Adaptive long memory in volatility of intra-day Bitcoin returns and the impact of trading volume", *Finance Research Letters*, 32, 101077.
- Kinateder, H., & Papavassiliou, V. G. (2021). "Calendar effects in bitcoin returns and volatility", *Finance Research Letters*, 38, 101420.

- Kiymaz, H., & Berument, H. (2003). "The day of the week effect on stock market volatility and volume: International evidence", *Review of Financial Economics*, 12(4), 363-380.
- 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.
- Konstantopoulos, G. (2018), Understanding Blockchain Fundamentals, Part 3: delegated Proof of Stake. <https://medium.com/loom-network/understanding-blockchain-fundamentals-part-3-delegated-proof-of-stake-b385a6b92ef>.
- Koutmos, D. (2018). "Return and volatility spillovers among cryptocurrencies", *Economics Letters*, 173, 122-127.
- Köchling, G., Schmidtke, P., & Posch, P. N. (2020). "Volatility forecasting accuracy for Bitcoin", *Economics Letters*, 191, 108836.
- Krause, M. J., & Tolaymat, T. (2018). "Quantification of energy and carbon costs for mining cryptocurrencies", *Nature Sustainability*, 1(11), 711-718.
- Kristjanpoller, W., & Minutolo, M. C. (2018). "A hybrid volatility forecasting framework integrating GARCH, artificial neural network, technical analysis and principal components analysis", *Expert Systems with Applications*, 109, 1-11.
- Kristoufek, L. (2018). "On Bitcoin markets (in) efficiency and its evolution", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 503, 257-262.
- Kristoufek, L., & Vosvrda, M. (2019). "Cryptocurrencies market efficiency ranking: Not so straightforward", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 531, 120853.
- Kroll, J. A., Davey, I. C., & Felten, E. W. (2013). "The economics of Bitcoin mining, or Bitcoin in the presence of adversaries", *Proceedings of WEIS*.
- Kumar, A. (2021). "Empirical investigation of herding in cryptocurrency market under different market regimes", *Review of Behavioral Finance*, 13(3), 297-308.
- Kumar, A. S., & Anandarao, S. (2019). "Volatility spillover in crypto-currency markets: Some evidences from GARCH and wavelet analysis", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 524, 448-458.
- Kumar, S., & Goyal, N. (2015). "Behavioural biases in investment decision making—a systematic literature review", *Qualitative Research in Financial Markets*, 7(1), 88-108.
- Kurihara, Y., & Fukushima, A. (2017). "The market efficiency of Bitcoin: a weekly anomaly perspective", *Journal of Applied Finance and Banking*, 7(3), 57.

- Kyriazis, N. A. (2019a). "A survey on efficiency and profitable trading opportunities in cryptocurrency markets", *Journal of Risk and Financial Management*, 12(2), 67.
- Kyriazis, N. A. (2019b). "A survey on empirical findings about spillovers in cryptocurrency markets", *Journal of Risk and Financial Management*, 12(4), 170.
- Kyriazis, N. A., Daskalou, K., Arampatzis, M., Prassa, P., & Papaioannou, E. (2019). "Estimating the volatility of cryptocurrencies during bearish markets by employing GARCH models", *Heliyon*, 5(8), e02239.
- Lansky, J. (2018). "Possible state approaches to cryptocurrencies", *Journal of Systems Integration*, 9(1), 19.
- Larson, S. (2017). Bitcoin split in two, here's what that means. *CNN Business*, <https://money.cnn.com/2017/08/01/technology/business/bitcoin-cash-new-currency/index.html>.
- Le Tran, V., & Leirvik, T. (2020). "Efficiency in the markets of cryptocurrencies", *Finance Research Letters*, 35, 101382.
- Lee, D. (2015). *Handbook of digital currency: Bitcoin, innovation, financial instruments, and big data*. Academic Press.
- Lehman, R. (2017). A Behavioral finance view of cryptocurrencies. *Behavioral Finance*. <https://www.behavioralfinance.com/bitcoin-behavior/2017/12/13/a-behavioral-finance-view-of-cryptocurrencies>.
- Liu, J., & Serletis, A. (2019). "Volatility in the cryptocurrency market", *Open Economies Review*, 30, 779-811.
- Liu, Y., Tsyvinski, A. (2021). "Risks and Returns of Cryptocurrency", *The Review of Financial Studies*, 34(6), 2689–2727.
- Lo, A. W. (2005). "Reconciling efficient markets with behavioral finance: the adaptive markets hypothesis", *Journal of Investment Consulting*, 7(2), 21-44.
- LocalBitcoins. (2020). <https://localbitcoins.com/>
- Long, H., Zaremba, A., Demir, E., Szczygielski, J. J., & Vasenin, M. (2020). "Seasonality in the cross-section of cryptocurrency returns", *Finance Research Letters*, 35, 101566.
- Loudon, G. F., Watt, W. H., & Yadav, P. K. (2000). "An empirical analysis of alternative parametric ARCH models", *Journal of Applied Econometrics*, 15(2), 117-136.
- Lütkepohl, H. (2005). *New introduction to multiple time series analysis*. Springer Science & Business Media.

- Ma, D., & Tanizaki, H. (2019a). "On the day-of-the-week effects of Bitcoin markets: international evidence", *China Finance Review International*, 9(4), 455-478.
- Ma, D., & Tanizaki, H. (2019b). "The day-of-the-week effect on Bitcoin return and volatility", *Research in International Business and Finance*, 49, 127-136.
- Makarov, I., & Schoar, A. (2020). "Trading and arbitrage in cryptocurrency markets", *Journal of Financial Economics*, 135(2), 293-319.
- Malladi, R. K., & Dheeriya, P. L. (2021). "Time series analysis of cryptocurrency returns and volatilities", *Journal of Economics and Finance*, 45(1), 75-94.
- Mark (2018). RippleNet and Ripple xCurrent explained. *Mycryptopedia*. <https://www.mycryptopedia.com/rippletnet-and-ripple-xcurrent-explained/>.
- Mazieres, D. (2015). "The stellar consensus protocol: A federated model for internet-level consensus", *Stellar Development Foundation*, 32, 1-45.
- Mbanga, C. L. (2019). "The day-of-the-week pattern of price clustering in Bitcoin", *Applied Economics Letters*, 26(10), 807-811.
- Mempool. (2020). <https://mempool.space/tr/>
- Mensi, W., Al-Yahyaee, K. H., & Kang, S. H. (2019). "Structural breaks and double long memory of cryptocurrency prices: A comparative analysis from Bitcoin and Ethereum", *Finance Research Letters*, 29, 222-230.
- Merediz-Solà, I., & Bariviera, A. F. (2019). "A bibliometric analysis of Bitcoin scientific production", *Research in International Business and Finance*, 50, 294-305.
- Mighri, Z., & Alsaggaf, M. I. (2019). "Volatility spillovers among the cryptocurrency time series", *International Journal of Economics and Financial Issues*, 9(3), 81.
- Mills, T. C., & Andrew Coutts, J. (1995). "Calendar effects in the London Stock Exchange FT–SE indices", *The European Journal of Finance*, 1(1), 79-93.
- Moratis, G. (2021). "Quantifying the spillover effect in the cryptocurrency market", *Finance Research Letters*, 38, 101534.
- 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. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- Nan, Z., & Kaizoji, T. (2019). "Market efficiency of the bitcoin exchange rate: Weak and semi-strong form tests with the spot, futures and forward foreign exchange rates", *International Review of Financial Analysis*, 64, 273-281.

- Narayanan, A., Bonneau, J., Felten, E., Miller, A., & Goldfeder, S. (2016). *Bitcoin and cryptocurrency technologies: a comprehensive introduction*. Princeton University Press.
- Nekhili, R., & Sultan, J. (2020). "Jump driven risk model performance in cryptocurrency market", *International Journal of Financial Studies*, 8(2), 19.
- Nelson, D. B. (1990). "Stationarity and persistence in the GARCH (1,1) model", *Econometric Theory*, 6(3), 318-334.
- Nelson, D. B. (1991). "Conditional heteroskedasticity in asset returns: A new approach", *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 59(2), 347-370.
- NEO White Paper. (2015). <https://docs.neo.org/docs/en-us/index.html>.
- NewScientist (2017). Bitcoin: What a Waste of Resources. *New Scientist*, <https://www.newscientist.com/article/mg23631503-300-bitcoin-what-a-waste-of-resources/>.
- Ngunyi, A., Mundia, S., & Omari, C. (2019). "Modelling volatility dynamics of cryptocurrencies using GARCH models", *Journal of Mathematical Finance*, 9, 591-615.
- Nofer, M., Gomber, P., Hinz, O., & Schiereck, D. (2017). "Blockchain", *Business & Information Systems Engineering*, 59, 183-187.
- O'Dwyer, K. J., & Malone, D. (2014). "Bitcoin mining and its energy footprint".
- Palamalai, S., & Maity, B. (2019). "Return and volatility spillover effects in leading cryptocurrencies", *Global Economy Journal*, 19(03), 1950017.
- Peng, Y., Albuquerque, P. H. M., de Sá, J. M. C., 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.
- Philippas, D., Philippas, N., Tziogkidis, P., & Rjiba, H. (2020). "Signal-herding in cryptocurrencies", *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 65, 101191.
- Phillips, P. C., & Perron, P. (1988). "Testing for a unit root in time series regression", *Biometrika*, 75(2), 335-346.
- Phillips, P. C., & Yu, J. (2011). "Dating the timeline of financial bubbles during the subprime crisis", *Quantitative Economics*, 2(3), 455-491.
- Plastun, A., Drofa, A. O., & Klyushnik, T. V. (2019). "Month of the year effect in the cryptocurrency market and portfolio management", *European Journal of Management Issues*, 27(1-2), 29-35.

- Poon, J., & Dryja, T. (2016). The bitcoin lightning network: Scalable off-chain instant payments. *Lightning Network*, <https://lightning.network/lightning-network-paper.pdf>
- Popov, S. (2018). The tangle. <http://cryptooverze.s3.us-east-2.amazonaws.com/wp-content/uploads/2018/11/10012054/IOTA-MIOTA-Whitepaper.pdf>.
- Qi, T., Wang, T., Zhu, J., & Bai, R. (2020). "The correlation and volatility between bitcoin and the blockchain index", *International Journal of Crowd Science*, 4(2), 103-115.
- Reed, S. L. (2014). "Bitcoin cooperative proof-of-stake", *arXiv preprint arXiv:1405.5741*.
- Robiyanto, R., Susanto, Y. A., & Ernayani, R. (2019). "Examining the day-of-the-week-effect and the-month-of-the-year-effect in cryptocurrency market", *Jurnal Keuangan dan Perbankan*, 23(3), 361-375.
- Rosenfeld, M. (2012). Overview of colored coins. <https://bitcoil.co.il/BitcoinX.pdf>
- Rozeff, M. S., & Kinney Jr, W. R. (1976). "Capital market seasonality: The case of stock returns", *Journal of Financial Economics*, 3(4), 379-402.
- Salimitari, M., Chatterjee, M., Yuksel, M., & Pasiliao, E. (2017). "Profit maximization for bitcoin pool mining: A prospect theoretic approach", *2017 IEEE 3rd international conference on collaboration and internet computing (CIC)*, 267-274.
- Scardovi, C. (2016). *Restructuring and innovation in banking*. Cham: Springer International Publishing.
- Schindler, J. W. (2017). "FinTech and financial innovation: Drivers and depth", *FEDS Working Paper No.2017-81*, 1-18.
- Schwartz, D., Youngs, N., & Britto, A. (2014). The ripple protocol consensus algorithm. Ripple Labs Inc, https://ripple.com/files/ripple_consensus_whitepaper.pdf.
- Sensoy, A. (2019). "The inefficiency of Bitcoin revisited: A high-frequency analysis with alternative currencies", *Finance Research Letters*, 28, 68-73.
- Statman, M. (2008). "What is behavioral finance". *Handbook of Finance*, 2(9), 79-84.
- Swan, M. (2015). *Blockchain: Blueprint for a new economy*. O'Reilly Media, Inc.
- Szabo, N. (2008). Bit gold. <http://unenumerated.blogspot.com/2005/12/bit-gold.html>
- Tapscott, D., & Tapscott, A. (2016). *Blockchain revolution: how the technology behind bitcoin is changing money, business, and the world*. Penguin.

- Taylor, M. B. (2013). "Bitcoin and the age of bespoke silicon", *2013 international conference on compilers, architecture and synthesis for embedded systems (CASES)*, 1-10.
- Telli, Ş., & Chen, H. (2020). "Multifractal behavior in return and volatility series of Bitcoin and gold in comparison", *Chaos, Solitons & Fractals*, 139, 109994.
- Teodoro, N. (2018). Hacker Livestreams 51% Attack on Bitcoin Private. Technical report, *Crypto Globe*, <https://www.cryptoglobe.com/latest/2018/10/hacker-livestreams-51-attack-on-bitcoin-private/>.
- 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., Kumar, S., & Pathak, R. (2019). "Modelling the dynamics of Bitcoin and Litecoin: GARCH versus stochastic volatility models", *Applied Economics*, 51(37), 4073-4082.
- Troster, V., Tiwari, A. K., Shahbaz, M., & Macedo, D. N. (2019). "Bitcoin returns and risk: A general GARCH and GAS analysis", *Finance Research Letters*, 30, 187-193.
- Trucíos, C. (2019). "Forecasting Bitcoin risk measures: A robust approach", *International Journal of Forecasting*, 35(3), 836-847.
- Tsay, R. S. (2010). *Analysis of Financial Time Series*. John Wiley & Sons.
- Tsay, R. S. (2013). *An Introduction to Analysis of Financial data with R*. John Wiley & Sons.
- Ulm, B. (2014). Bitcoin ATMs boom: new locations. *CoinTelegraph*, <http://cointelegraph.com/news/112163/bitcoin-atms-boom-new-locations>.
- Urquhart, A. (2016). "The inefficiency of Bitcoin", *Economics Letters*, 148, 80-82.
- Vidal-Tomás, D., & Ibáñez, A. (2018). "Semi-strong efficiency of Bitcoin", *Finance Research Letters*, 27, 259-265.
- Vidal-Tomás, D., Ibáñez, A. M., & Farinós, J. E. (2019a). "Weak efficiency of the cryptocurrency market: A market portfolio approach", *Applied Economics Letters*, 26(19), 1627-1633.
- Vidal-Tomás, D., Ibáñez, A. M., & Farinós, J. E. (2019b). "Herding in the cryptocurrency market: CSSD and CSAD approaches", *Finance Research Letters*, 30, 181-186.
- Vranken, H. (2017). "Sustainability of bitcoin and blockchains", *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 28, 1-9.

- Wajdi, M., Nadia, B., & Ines, G. (2020). "Asymmetric effect and dynamic relationships over the cryptocurrencies market", *Computers & Security*, 96, 101860.
- Wang, J. N., Liu, H. C., Zhang, S., & Hsu, Y. T. (2021). "How does the informed trading impact Bitcoin returns and volatility?", *Applied Economics*, 53(28), 3223-3233.
- Wang, J., & Ngene, G. M. (2020). "Does Bitcoin still own the dominant power? An intraday analysis", *International Review of Financial Analysis*, 71, 101551.
- Wilmoth, J. (2018). EOS ICO Approaches 4 Billion USD After Year-Long Crowdsale. CCN, <https://www.ccn.com/eos-ico-approaches-4-billion-after-year-long-crowdsale/>.
- Wirdum, A. (2017). Bitcoin Gold is About to Trial an ASIC-Resistant Bitcoin Fork. *Bitcoin Magazine*, <https://bitcoinmagazine.com/technical/bitcoin-gold-about-trial-asic-resistant-bitcoin-fork>.
- Xorbin. (2022). <https://xorbin.com/tools/sha256-hash-calculator>.
- Yaya, O. S., & Ogbonna, E. A. (2019). "Do we Experience Day-of-the-week Effects in Returns and Volatility of Cryptocurrency?".
- Zakoian, J. M. (1994). "Threshold heteroskedastic models", *Journal of Economic Dynamics and Control*, 18(5), 931-955.
- Zargar, F. N., & Kumar, D. (2019). "Long range dependence in the Bitcoin market: A study based on high-frequency data", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 515, 625-640.
- Zhang, E. (2014). "A byzantine fault tolerance algorithm for blockchain", *Neo Documentation*.
- Zhou, S. (2021). "Exploring the driving forces of the Bitcoin currency exchange rate dynamics: an EGARCH approach", *Empirical Economics*, 60(2), 557-606.
- Zuckerman, M. J. (2018). Iceland: crypto mining companies will consume more energy than households in 2018. *CoinTelegraph*, <https://cointelegraph.com/news/iceland-crypto-mining-companies-will-consume-more-energy-than-households-in-2018>.