BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTİSÜ

İŞLETME ANA BİLİM DALI

MUHASEBE VE FİNANSMAN TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

S&P 500 ENDEKSİ VE KRİPTO PARA BORSALARI ARASINDAKİ ETKİLEŞİMİN GRANGER ANALİZ YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

HAZIRLAYAN

NUR BETÜL BAYRAKTAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEZ DANIŞMANI

Dr. Öğr. Üyesi AYŞEGÜL AK

ANKARA-2025

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTİSÜ

YÜKSEK LİSANS / DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORİJİNALLİK RAPORU

Tarih: 03 / 06 / 2025

Öğrencinin Adı, Soyadı: Nur Betül BAYRAKTAR

Öğrencinin Numarası: 22220164

Anabilim Dalı: İşletme Anabilim Dalı

Programı: Muhasebe ve Finansman Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı: Dr. Öğr. Üyesi AYŞEGÜL AK

Tez Başlığı: S&P 500 Endeksi Ve Kripto Para Borsaları Arasındaki Etkileşimin Granger Analiz Yöntemi ile İncelenmesi

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans/Doktora tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 65 sayfalık kısmına ilişkin, 03 / 06 / 2025 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %9'dır. Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç

2. Alıntılar hariç

3. Beş (5) kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

"Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını" inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:…….

ONAY

Tarih: 03 / 06/ 2025

Öğrenci Danışmanı Unvan, Ad, Soyad, İmza:

Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül AK

ÖZET

Nur Betül BAYRAKTAR, S&P 500 Endeksi Ve Kripto Para Borsaları Arasındaki Etkileşimin Granger Analiz Yöntemi İle İncelenmesi, Başkent Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Muhasebe ve Finansman Yüksek Lisans Programı, 2025

Para kavramı, keşfinden bugüne ekonomik ilişkilerin temelini oluşturan bir değişim ve değer ölçüsü olarak varlık göstermiştir. Teknolojik ilerlemeler ve dijital dönüşümle birlikte, özellikle paranın işlevi ve biçimi önemli ölçüde değişmiş, blok zincir teknolojisinin gelişimiyle kripto (dijital) paralar finansal sistemde yerini almıştır. Kripto paralar, merkeziyetsiz yapıları, şeffaflık ilkeleri ve hızlı işlem kabiliyetleriyle hem bireysel hem de kurumsal yatırımcılar tarafından alternatif bir yatırım aracı olarak benimsenmiştir. Burada yatırımcı kavramı, gelecekte değer kazanma beklentisiyle varlık satın alan birey ya da kurumları ifade etmektedir.

Bu çalışmada, geleneksel finans piyasalarının yön verici göstergelerinden biri olan S&P 500 endeksindeki değişiklikler ile kripto para piyasaları arasında nedensellik ilişkisinin varlığı Granger nedensellik testi aracılığıyla analiz edilmiştir. Bu nedensellik analizinde kripto para birimi olarak Bitcoin'in tercih edilmiş, tercih edilme nedeni CoinMarketCap verilerine göre kripto para piyasasında çalışmaya konu tarihler aralığında en yüksek piyasa değerine ve işlem hacmine sahip olmasıdır. Özellikle Ocak 2021 döneminde Bitcoin'in fiyatında yaşanan hızlı artış, bu tarihin başlangıç noktası olarak seçilmesinde etkili olmuştur. Bitcoin'in 2021 yılındaki yükselişi, kripto para piyasalarına duyulan güvenin ve geleneksel yatırımcıların bu piyasaya olan ilgilerinin artmasında olumlu katkı sağlamıştır. S&P 500 Endeksinin seçilme nedeni ise; küresel finansal piyasalar üzerinde yüksek temsil gücüne sahip olmasıdır. Bu endeks hem bireysel hem de kurumsal yatırımcı davranışlarını yansıtması açısından geleneksel finans sisteminin yönlendirici bir göstergesi konumundadır. Bu özelliğiyle, kripto para piyasaları ile geleneksel finansal piyasaları arasındaki olası ilişkilerin analizinde güvenilir ve anlamlı bir referans noktası sunması beklenmektedir. Bu doğrultuda, Ocak 2021 - Ekim 2024 tarihleri arasında haftalık periyotlarla alınan Bitcoin ve S&P 500 verileri Investing.com platformundan elde edilerek analiz edilmiştir.

Elde edilen bulgular, geleneksel finansal piyasalarda kullanılan S&P 500 Endeksindeki değişikliklerin kripto para piyasaları üzerindeki etkisini anlamaya yönelik bilgi sunmayı ve

yatırımcı davranışlarının geleneksel ve kripto para piyasaları arasındaki ilişkileri üzerindeki etkisinin daha derinlikli bir biçimde anlaşılmasını amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kripto Para, Bitcoin, S&P 500, Granger Analiz, Blok Zinciri

ABSTRACT

Nur Betül BAYRAKTAR, Investigation of the Interaction Between S&P 500 Index and Cryptocurrency Exchanges Using Granger Analysis Method, Başkent University, Institute of Social Sciences, Accounting and Finance Master's Program, 2025

The concept of money has existed as a medium of exchange and a measure of value, forming the foundation of economic relations since its inception. With technological advancements and digital transformation, especially the function and form of money have significantly evolved, and with the development of blockchain technology, cryptocurrencies (digital currencies) have secured a place in the financial system. Cryptocurrencies have been adopted as an alternative investment instrument by both individual and institutional investors due to their decentralized structure, principles of transparency, and rapid transaction capabilities. In this context, the term “investor” refers to individuals or institutions that purchase assets with the expectation of future appreciation in value.

This study analyzes the existence of a causality relationship between the changes in the S&P 500 index—one of the leading indicators of traditional financial markets—and cryptocurrency markets using the Granger causality test. In this causality analysis, Bitcoin was selected as the cryptocurrency, based on CoinMarketCap data indicating that it had the highest market capitalization and trading volume within the time frame of the study. The sharp increase in Bitcoin's price in January 2021 played a key role in determining the starting point of the analysis. Bitcoin’s rise in 2021 contributed positively to the trust in cryptocurrency markets and to the growing interest of traditional investors in these markets. The S&P 500 Index was chosen due to its strong representational power in global financial markets. As it reflects the behavior of both individual and institutional investors, the index is considered a leading indicator of the traditional financial system. Accordingly, it is expected to serve as a reliable and meaningful reference point in analyzing the potential relationships between cryptocurrency markets and traditional financial markets.

In line with this, Bitcoin and S&P 500 data covering the period from January 2021 to October 2024 were obtained on a weekly basis from the Investing.com platform and analyzed. The findings aim to provide insights into the impact of changes in the S&P 500 Index—used in traditional financial markets—on cryptocurrency markets, and to deepen the understanding of how investor behavior influences the relationships between traditional and crypto financial markets.

Keywords: Cryptocurrency, Bitcoin, S&P 500, Granger Analysis, Blockchain

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i

ABSTRACT iii

TABLOLAR LİSTESİ vi

ŞEKİLLER LİSTESİ vii

KISALTMALAR viii

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR 4

3. PARA 7

4. BLOK ZİNCİRİ TEKNOLOJİSİ 9

4.1. Blok Zincirinin Avantaj ve Dezavantajları 11

4.2. Blok Zinciri Türleri 12

4.3. Blok Zinciri Mimarisi 13

4.4. Kripto Varlık ve Tokenlar 16

4.5. Akıllı Sözleşmeler 19

4.6. Akıllı Sözleşmelerin Avantaj ve Dezavantajları 20

4.7. Ethereum ve Akıllı Sözleşmeler 22

5. MERKEZİ OLMAYAN FİNANS SİSTEMLERİ (DEFİ) 27

5.1. Merkeziyetsiz Finansın Katmanları 28

5.2. Merkeziyetsiz Finansın Uygulama Alanları 30

5.3. Kripto Para Piyasasındaki Regülasyonlar 31

6. ENDEKS 36

6.1. Endeks Türleri 36

6.2. S&P 500 Endeksi 38

6.3. Kripto Paraların Endekslerle Karşılaştırılması 39

7. TAHMİN GÜCÜNÜ ÖLÇMEYE YARAYAN ANALİTİK YÖNTEMLER 41

7.1. Granger Nedensellik Testi 41

7.2. Vector Autoregression (VAR) Modeli 42

7.3. Çoklu Regresyon Analizi (Multiple Linear Regression) 43

7.4. Eşbütünleşme ve Hata Düzeltme Modeli (Johansen) 44

8. KRİPTO PARA VE ENDEKSLERİN YATIRIM STRATEJİLERİNDEKİ ROLÜ 46

8.1. Kripto Paraların Değer Değişikliğini Etkileyen Faktörler 46

9. KRİPTO PARALARIN FİNANS SEKTÖRÜNDEKİ YERİ 50

10. S&P 500 ENDEKSİ İLE BTC ARASINDAKİ İLİŞKİ 52

10.1. Augmented Dickey- Fuller(ADF) Birim Kök Testi 53

10.2. S&P 500 Endeksi ve Bitcoin'in İstatistiksel Verileri 55

10.4. S&P 500 Endeksi ile Bitcoin Arasındaki Granger Nedensellik Testi 60

11. SONUÇ 63

KAYNAKLAR 65

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 10.1. BTC ve S&P 500 Endeksi'ndeki Tanımlayıcı İstatistikler 56
Tablo 10.2. Birim Kökünün Varlığının Tespiti 58
Tablo 10.3. ADF Testi Sonuçları (Birinci Dereceden Fark Serileri Üzerinden)..... 59
Tablo 10.4. S&P5 00 Endeksi ve BTC Arasındaki Granger Nedensellik Analizi 61

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 4.1. Blok Zinciri Yapısı 13
Şekil 4.2. Blok Yapısı 14
Şekil 4.3. Katmanlar 16
Şekil 4.4. Varlıklar 17
Şekil 4.5. Ethereum Ağında İşlem 23
Şekil 4.6. Blok Oluşturma Şeması 24
Şekil 5.1. DeFi Katmanları 29
Şekil 10.1. Zamana göre Bitcoin ve S&P 500 Endeksi'nin Değerleri 55

KISALTMALAR

ABD Amerika Birleşik Devletleri

Altcoin “Alternative to Bitcoin” Bitcoin Alternatifi

AML (Ati-Money Laundering) Kara Para Aklamayı Önleme Yönergesi

CPI (Consumer Price Index) Tüketici Fiyat Endeksi

DeFi(Decentralized Finance) Merkeziyetsiz Finans

DEX Merkeziyetsiz Finans Borsaları

ETF (Exchange Traded Funds) Borsa Yatırım Fonları

ETH Ethereum

EVM (Ethereum Virtual Machine) Ethereum Sanal Makinesi

Fintech (Financial Technology) Finansal Teknoloji

FOMO (Fear of Missing Out) Kaçırma Korkusu

FUD (Fear, Uncertainty, Doubt) Korku, Belirsizlik, Şüphe

GARCH (Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity) Genelleştirilmiş Otoregresif Koşullu Değişen Varyans

ICO (Initial Coin Offering) İlk Madeni Para Teklifi

KYC (Know Your Customer) Müşteri Tanıma

LEI (Leading Economic Index) Öncü Göstergeler Endeksi

MSCI (Morgan Stanley Capital International) Morgan Stanley Uluslararası Şirketi

NFT (Non-fungible token) Değiştirilemez Token

Nonce (Number Only Used Once) Yalnızca bir kez kullanılabilen bir sayı veya değer

P2P Eşlenik Dosya Paylaşım Protokolü

POD (Proof of deposit) Mevduat Kanıtı

POS Proof of Stake Hisse İspatı

POW Proof of work Çalışma Kanıtı

RegTech (Regulatory Technologies) Regülasyon Teknolojisi

S&P Standard & Poor's

SCP (Stellar Consensus Protocol) Stellar Doğrulama Algoritması

SVM (Support Vector Machine) Destek Vektör Makineleri

VIX (Volatility Index) Volatilite (Oynaklık) Endeksi

1. GİRİŞ

Blok zinciri teknolojisinin gelişimi ile bu teknoloji birçok alanda uygulanmaya başlanmıştır. Bu teknolojinin uygulanmaya başlandığı en önemli alanlardan birisi de finans alanıdır (Hileman ve Rauchs, 2017; Kıyak vd., 2019; Lin vd., 2022; Mohanta vd., 2018).

Blok zinciri teknolojisinin günden güne gelişme göstermesi, özellikle ethereum ağı ile birlikte bu teknolojinin ikinci versiyonu olan akıllı kontratları da ortaya çıkarmıştır (Buterin, 2015). Akıllı kontratların entegresiyle birlikte oluşturulan alış-veriş işlemleri finansal sisteminin blok zinciri teknolojisine adapte olduğunu göstermektedir. Bu uygulamalar finans alanı özelinde; coinler (Ben-Sasson vd., 2014; Miers vd., 2013), üreticiler arasındaki bağlantıyı sağlayarak ürünlerin doğru ve zamanında yerlerine ulaştırılmasına imkan veren uygulamalar (Bahga ve Madisetti, 2016) ve otomatik finansal sistemlerin oluşturulmasına olanak sağlayan teknolojileri barındırmaktadır (Elghaish vd., 2020). Bu uygulamalar, aynı zamanda belirli bir hizmet için ödeme sistemlerinin oluşturulması için de kullanılmaktadır (Debe vd., 2021).

Blok zinciri teknolojisi ile birlikte farklı para birimleri de ortaya çıkmış (Buterin, 2014), farklı para birimlerinin ortaya çıkması kendi borsası ve kendi ödeme yöntemleri olan dijital para piyasaların oluşumunu da beraberinde getirmiştir.

Geleneksel finansal piyasaların ve kripto para piyasalarının birbirleriyle etkileşiminin nasıl olduğu, özellikle portföy çeşitlendirilmesi, risk yönetimi gibi konularda önem arz etmektedir. Finansal piyasalar arasında oluşan etkileşimlerin ve korelasyonların incelenmesi ise yatırımcılar, politikacılar ve ekonomistler için geleceğe dönük stratejiler oluşturma, piyasaları analiz etme ve ekonomik politikaları anlama, yorumlama ve yeni politikalar oluşturmak gibi konularda önem taşımaktadır. Küresel piyasalarda önemli bir gösterge olan S&P 500 Endeksi, ABD'nin en büyük 500 şirketinin performansını yansıtmakta ve genel ekonomik gidişata dair önemli sinyaller sunmaktadır. Öte yandan Bitcoin, ortaya çıkışından bu yana finansal sistemde alternatif bir yatırım aracı haline gelmiş ve yüksek getiri potansiyeli nedeniyle ilgi odağı olmuştur. Bu bağlamda, çalışmamızın temel amacı, S&P 500 endeksinde meydana gelen değişimlerin kripto para piyasalarını etkileyip etkilemediği, etkiliyorsa ne yönde etkilediği istatiksel yöntemlerle analiz etmektir. Bu amaçla kullanılan Granger nedensellik testi, zaman serileri arasında nedensel ilişkilerin belirlenmesinde etkin bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Ayrıca zaman serilerinin istatistiki yapılarının doğruluğu için ADF testi uygulanmış, serilerin durağanlık düzeyleri analiz edilmiştir.

Çalışmanın temel motivasyonu, geleneksel ve yeni finansal araçlar arasındaki etkileşimi ampirik olarak ortaya koymak ve bu doğrultuda yatırımcılara yön gösterici bir çalışma sunmaktır.

S&P 500 Endeksi ve Bitcoin, farklı piyasa yapılarından gelen finansal varlıklar olmalarına karşın son yıllarda farklı piyasalarda işlem yapan birçok yatırımcının portföyünde birlikte yer almaktadır. Bu bağlamda, bu iki varlık arasındaki ilişkinin yönünü belirlemek, piyasa analizlerinde ve yatırım stratejilerinin geliştirilmesinde yol gösterici olabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada temel sorular şunlardır;

S&P 500 Endeksi'ndeki değişimler, Bitcoin fiyatlarını anlamlı bir şekilde etkiliyor mu?

Bu iki varlık arasında Granger nedenselliği yönünde bir ilişki var mı?

Bu soruların yanıtlarının, yatırım kararlarında zamanlama ve varlık tahsisi süreçlerinin daha sağlıklı yapılmasını sağlayabileceği düşünülmektedir.

Ayrıca bu çalışmanın sonuçları, piyasa düzenleyicileri için sistematik riskin kaynaklarının anlaşılmasına yardımcı olabilir. Özellikle volatilitenin yüksek olduğu dönemlerde geleneksel piyasalar ile kripto para piyasaları arasındaki geçişkenliğin analiz edilmesi, risklerin erken tespiti açısından da önem taşıdığı düşünülmektedir.

Araştırmada zaman serisi analiz yöntemleri temel alınmıştır. Kullanılan veri seti, Investing.com sitesinden haftalık bazda elde edilen S&P 500 Endeks değerleri ve Bitcoin fiyatlarından oluşmaktadır. Veri aralığı, 03 Ocak 2021 ile 27 Ekim 2024 tarihleri arasını kapsamaktadır. Veriler analiz öncesi logaritmik getiriler (yüzdelik değişimler) şeklinde hesaplanarak SP_YD ve BTC_YD değişkenlerine dönüştürülmüştür.

Analizin ilk adımı, verilerin istatistiksel özelliklerinin belirlenmesidir. Tanımlayıcı istatistikler hesaplanarak değişkenlerin ortalama, medyan, maksimum, minimum, standart sapma, çarpıklık ve basıklık gibi temel ölçümleri değerlendirilmiştir. Daha sonra, serilerin durağan olup olmadığını test etmek amacıyla Augmented Dickey-Fuller (ADF) testi uygulanmıştır. Durağan olmayan serilerin Granger nedensellik analizine tabi tutulması anlamlı sonuçlar üretmeyeceğinden, bu test kritik öneme sahiptir. ADF testi hem sabit terim içeren modelde hem de sabit ve trend içeren modelde ayrı ayrı uygulanmış ve sonuçlar

MacKinnon kritik değerleriyle karşılaştırılmıştır. Bu sayede serilerin düzey değerlerinde durağan olup olmadıkları belirlenmiştir.

Son aşamada ise Granger nedensellik testi uygulanmıştır. Bu testin amacı, geçmiş dönem değerleri kullanarak bir değişkenin diğer değişken üzerinde öngörü gücünün olup olmadığını belirlemektir. Analiz farklı gecikme uzunluklarıyla (4 hafta ve 52 hafta) yürütülmüştür.

2. LİTERATÜR

Bitcoin ile ons altın, petrol, doğalgaz ve S&P Goldman Sachs emtia endeksi verileri karşılaştırılmış olan bu çalışma sonucunda en büyük risk getirisinin Bitcoin'e ait olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda Bitcoin'in diğer emtialar ile korelasyonunun düşük olduğu, en yüksek korelasyona sahip olduğu emtianın ise ons altın olduğu belirlenmiştir. Bu ilişkinin nedeni olarak altının yatırım aracı olarak kullanıldığı öne sürülmüştür (Şenol, 2023).

Bitcoin'in emtia ve endekslere göre karşılaştırılması incelenmiş, bu karşılaştırma için 2016 ile 2023 yılları arasındaki veriler kullanılmıştır. Bu veriler ışığında en büyük dalgalanmanın ve en riskli yatırım aracının Bitcoin olduğu gözlemlenmekle birlikte emtia endeksi ile düşük bir korelasyona sahip olduğu da görülmüştür. Ayrıca Bitcoin'de kısa dönem şokların kalıcılığı diğer emtialara göre daha yüksektir (Şenol, 2023).

Rusya ve Ukrayna arasındaki çatışmanın bir sonucu olarak Rusya ekonomisi üzerindeki değişimler Ocak 2018 ve Ağustos 2023 tarihleri arasındaki verilere dayanarak incelenmiş, bu dönemde geleneksel finansal alanda yaşanan ekonomik yaptırımlara ve riske karşın kripto paraların bir alternatif olabileceği düşünülmüştür. Rusya tarafından resmi olarak tanınan ETH (Ethereum) ile geleneksel finansal varlıkların oynaklıkları üzerindeki etkilerini araştırmaktadır. VAR tahmin modeli kullanılarak iki yönlü genel portföy riski de araştırılmıştır. Sonuç olarak kripto varlıklar ile diğer finansal varlıklar arasında hem kısa hem de uzun vadede önemli aşırı risk korelasyonlarının varlığını göstermekte, kripto paraların devam eden krize karşı finansal varlıklara göre duyarlılığı da daha düşüktür (Ullah, 2024).

Bu çalışma da emtia, döviz, hisse senetleri ve finansal varlıklar gibi geleneksel varlık sınıflarının en likit temsilcileri ile kripto paralar arasında, kripto paraları temsilen Bitcoin üzerinden, gerçekleşen şokların asimetrik yayılım mekanizmalarını incelemektedir. Genel (koşulsuz) düzeyde kripto paralar ile geleneksel varlıklar arasındaki bağlantının oldukça sınırlı olduğunu göstermektedir. Kripto paraların giderek artan piyasa değeri, bu bulguların finansal istikrar açısından önemini daha da artırmaktadır. Diğer piyasalardan alınan finansal şoklara karşı koruyucu bir varlık olduğu gözlemlenmiştir (Kurka, 2019).

Bitcoin ve Ethereum kripto varlıklarının ham petrol ve altın fiyatlarıyla pozitif bir korelasyona sahip olduğu görülse de enerji piyasası özelinde anlamlı bir korelasyon

bulunamamıştır. Bu kapsamda, enerji piyasasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla doğal gaz fiyatları ile kripto varlıklar arasındaki korelasyon analiz edilmiştir (Morozova vd., 2020).

Bitcoin'in uzun vadede olduğu gibi kısa vadede oluşan fiyat oluşumları üzerine yapılan çalışmada, Twitter üzerinden alınan veriler ışığında ampirik bir model oluşturularak SVM (Destek Vektör Makineleri) başta olmak üzere farklı makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmıştır. Bitcoin'in tanınırlığının fazla olmasından dolayı kısa zamanda oluşan fiyatlama tahmin edilebilir bulunmuştur. Ancak uzun vadeli yatırımlarda S&P 500 endeksi ile negatif bir uyum sağladığı sonucu gözlemlenmiştir (Georgoula vd., 2015).

Türkiye piyasalarındaki borsa, emtia ve faizin Bitcoin ile karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırma için Granger nedensellik analizi kullanılarak faizin artması ile nedensel bir ilişki bulunmuş, Bitcoin'deki hareketlilik riskli bir yatırım aracı olduğunu göstermektedir. (Güleç, 2018).

Bir yatırım aracı olarak görülen kripto varlıkların birbirleri arasındaki fiyat ilişkisi incelenmiştir. Bu araştırma için Granger nedensellik analizi kullanılarak yapılan çalışmada belirli kripto varlıkların belirli altcoinler ile etkileşimde olduğu ve kısa vadede birbirlerini etkilediği görülmektedir. Bitcoin ile yapılan araştırma sayısının azlığı dikkat çekmekte olup yapılan diğer araştırmalarda olduğu gibi 16 adet altcoinin Bitcoin tarafından etkilendiği bulunmuştur (Adana Karaağaç & Altınparmak, 2018).

Yapılan başka bir çalışmada S&P 500 endeksi ile farklı piyasalar ile kripto varlıklar arasındaki ilişki aranmıştır. Bu çalışmada Birim kök testi, Toda-Yamamoto nedensellik testleri kullanılmıştır. Bu testler sonucunda Bitcoin'in S&P 500 endeksi ile doğru bir nedensellik bulunmuş ancak diğer pay piyasaları ile bir ilişkisi görülememiştir (Gürsoy & Tunçel, 2020)

Bitcoin'in Amerika, Doğu ve Orta Avrupa borsa endeksleri üzerindeki etkilerine dair çalışmalarda, Bitcoin'den bu endekslere doğru volatilite taşmaları gözlemlenmiştir. Macaristan ve Polonya borsa endeksleriyle zayıf ve negatif yönlü etkiler tespit edilirken; S&P 500, Çekya ve Hırvatistan borsa endeksleriyle pozitif yönlü volatilite ilişkileri belirlenmiştir. Öte yandan, Hernandez ve Rodriguez (2021) çalışmasında ise Bitcoin'in altın, petrol ve piyasa endeksleriyle anlamlı bir ilişki göstermediği sonucuna ulaşılmıştır(Zhang ve He, 2021).

Bitcoin'in riskli durumlara karşı verdiği tepkiyi görmek için Covid-19 salgınında Bitcoin'in oynaklığı araştırılmıştır. Bu araştırma için VAR ve GACH modelleri ile S&P 500 Endeksi üzerinde Bitcoin'in davranışı modellenmiştir. Bu araştırma sonucunda S&P 500 endeksinin normale göre daha fazla Bitcoin üzerinde oynaklığa sebebiyet verdiği bulunmuştur (Nguyen, 2022).

Endekslerden etkilenen Bitcoin'in yatırım aracı olarak kullanılması sorusuna cevap aranmıştır. Bitcoin'in endekslerden 26 kat daha oynak bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Aynı zamanda Bitcoin'in finansal verilerden etkilenmediği sadece alıcı ve satıcıların durumundan etkilendiği gözlenmiştir. Bundan dolayı Bitcoin'in bir yatırım aracı olarak yüksek riskli işlemler arasına dahil edilmelidir (Baek ve Elbeck, 2015).

Faiz değişikliklerinin kripto para piyasasındaki yatırımcı davranışları üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamaktadır. Bu durum, kripto paraların dönemsel olarak sağladığı yüksek getirilerle birlikte değerlendirildiğinde, faiz kararlarının yatırım alternatifi oluşturmadığı sonucuna varılabilir. Aynı şekilde, S&P 500 endeksinin getiri anlamında kripto para piyasası üzerinde güçlü bir etkisi bulunmamakta; hisse senedi piyasasından gelen sinyaller de yatırımcı davranışlarında belirgin bir değişime yol açmamaktadır (Bulut ve Akbulut, 2020).

3. PARA

Paranın tarih boyunca çeşitli tanımlamaları olsa da atfedilen anlam paranın doğuşundan bu yana aynı kalmıştır. Paranın çeşitli tanımlamalara sahip olmasının nedeni, para için farklı nesneler kullanılması ve insanların yaşadıkları dönemin şartlarına göre ihtiyaçlarının da farklılaşması, yalnızca ekonomik işlev boyutuyla değil, toplumsal ve kültürel boyutlarıyla da ele alınan karmaşık bir kavram olmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla paranın tanımı yapılırken paranın tarihsel, ekonomik ve toplumsal gelişiminin de çeşitli açılardan ele alınması gerekmektedir.

Paranın tarihçesi, takas ekonomisine dayanmaktadır. Takas sisteminin pratik zorlukları (çifte coğrafi uyum problemleri gibi) paranın doğuşuna zemin hazırlamıştır. Takas, her iki tarafın da ihtiyaçlarının giderilmesi demek olduğundan, bu sistemin etkinliğini artırmak için bir değişim aracı gerekliliği ortaya çıkmıştır (Smith, 1776). Para, toplumsal ilişkilerin ve ekonomik borçların yönetiminde bir araç olarak evrimleşmiştir (David, 2011).

Emtia para ise değerli nesnelerin (genellikle metaller veya diğer değerli malzemeler) para olarak kullanıldığı bir sistemdir. Emtia para, kendi başına değer taşıyan mallardan oluşur ve genellikle toplumlar arasında ticaretin kolaylaştırılmasında kullanılmıştır (David, 2011). Para bu işlevleri sağlarken, değeri içsel olarak yüksek olmaktadır (Samuelson ve Nordhaus, 2009). Bu tür paralar, ekonomik sistemler içinde standartlaştırılmış ve yaygın olarak kabul edilen bir değer birimi olmuş (Geoffrey, 2004), ekonomik güvenliği sağlamak amacıyla kullanılmıştır (Grossman R.S., 1994).

Para, üç temel işlevi yerine getirmektedir; değişim aracı, değer biriktirme aracı ve hesap birimi. Para mal ve hizmetlerin değişimini kolaylaştıran (Friedman, 1969), tüm mal ve hizmetlerin fiyatlarını belirlemede bir ölçü birimi olarak işlev gören (Hume D., 1752), standart bir değer ölçüsü sağlamaya yarayan bir araçtır (Samuelson ve Nordhaus, 2009). Takas sisteminde her iki tarafın da ihtiyaçlarının örtüşmesini sağlamaktan daha pratik bir çözüm sunmaktadır (Samuelson ve Nordhaus, 2009). Aynı zamanda likidite tercihi olarak işlev görerek ekonomik belirsizlikleri ve riskleri yönetme aracıdır (Schumpeter ve Keynes, 1936). Para, ekonomik dengeyi sağlamak için kullanılmaktadır (Mishkin ve Bernanke, 2007). Ekonomik istikrarı sağladığından değerini zaman içinde koruyarak tasarruf yapma imkanı da sağlamaktadır (Samuelson ve Nordhaus 2009, Friedman M. 1969, Grossman R.S. 1994). Borç ve yükümlülüklerin ödenmesinde bir araç olarak kullanılmaktadır (Charles, 1998).

Para, geniş bir tanımda hem fiziksel varlık (madeni paralar, banknotlar) hem de dijital ve hesaplarda tutulan değerler (dijital para) olarak ikiye ayrılabilir.

Para, bir varlık olarak ekonomi içindeki belirsizlikleri yönetmek için önemli bir rol oynarken para arzı ve talebi ekonomik dengeyi etkilemektedir. Para arzı ekonomik aktiviteleri etkileyen bir faktör olmakla birlikte enflasyon ve ekonomik büyüme gibi makroekonomik değişkenlerle de yakından ilişkilidir (Friedman, 1969).

Para, hem ekonomik işlevleri hem de toplumsal ve kültürel boyutları içeren çok yönlü bir araç olduğundan para arzı ile ekonomik performans arasındaki ilişki para politikalarının sosyal etkileri üzerinde ciddi sonuçlar doğurmakta (Charles, 1998), toplumun bir sosyal inşası olarak da görülmektedir (Scott, 2017). Para yalnızca ekonomik bir araç değil, toplumsal işlevleri de olan bir olgudur (Charles, 1998). Parasal politikaların yönlendirilmesi ise ekonominin istikrarı için kritik öneme sahiptir (Schumpeter ve Keynes, 1936).

Para ve piyasa ekonomisinin ortaya çıkışı, devlet müdahalesinin ve toplumun ekonomik sistemin değişmesi ve gelişmesiyle gerçekleşmiştir (Karl, 1945). Paranın ekonomik işlevi olması toplumsal ve kurumsal yapıların etkisiyle evrilmesine neden olmuştur. Para sistemleri, devletlerin ve merkez bankalarının ekonomik politikaları aracılığıyla şekillenmektedir (Geoffrey, 2004).

Keynes, paranın rolünü, ekonomik belirsizlikleri yönetme ve finansal istikrar sağlama açısından ele almaktadır. Para ekonomik aktivitelere yön vermekte, ekonomik teoriler de bu doğrultuda şekillenmektedir (Schumpeter ve Keynes, 1936).

4. BLOK ZİNCİRİ TEKNOLOJİSİ

Blok zincir (blockchain) teknolojisi, ilk kez 2008 yılında Satoshi Nakamoto tarafından yayımlanan "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System" adlı teknik makalede tanımlanmıştır. Bu teknoloji, esas olarak Bitcoin adlı merkeziyetsiz dijital para biriminin altyapısını oluşturmak amacıyla geliştirilmiştir. Nakamoto'nun önerdiği yapı, herhangi bir merkezi otoriteye ihtiyaç duymadan, eşler arası (peer-to-peer) bir ağ üzerinde çalışan, işlemlerin dağıtık bir deftere kronolojik sırayla kaydedildiği, geri dönülemez ve güvenli bir sistemdir. Bitcoin ile kullanılan blok zincir yapısının temel amacı, çift harcama (double-spending) problemini çözmek ve dijital ortamda güvene dayalı olmayan bir işlem altyapısı oluşturmaktır. Bu bağlamda blok zincir, işlem kayıtlarının kriptografik olarak zincirlenmiş bloklar hâlinde tutulduğu, düğümler arasında mutabakatla güncellenen, şeffaf ve değiştirilemez bir kayıt mekanizmasıdır. İlk etapta sadece dijital para transferi için tasarlanan bu teknoloji, ilerleyen yıllarda farklı kullanım alanlarında da uygulanabilirliği fark edilerek, finans, tedarik zinciri, sağlık, dijital kimlik ve akıllı sözleşmeler gibi çok çeşitli alanlara yayılmıştır (Nakamoto, 2018).

Blok zinciri teknolojisi, yapılması istenilen işlemlerin tamamını blok olarak saklayan bir defter olarak tasvir edilebilir. Bu deftere eklenen her bir yeni kayıt, zincire yeni bir blok eklenmesi anlamına gelmekte, bundan dolayı bu zincir sürekli genişlemektedir. Blok zincirleri kriptografik teknolojiden yararlanan bir dijital imzaya sahip, dağıtılmış defter teknolojisi gibi çeşitli teknolojilerin birbirine entegre edilmesi ile oluşan merkeziyetsiz bir yapıdır. Bu merkeziyetsiz yapısı sayesinde maliyet etkin bir çerçevede işlemler gerçekleşmektedir. Merkeziyetsiz yapıda olmasının yanı sıra değişmezlik, kişi bilgisinden bağımsız ve herkes tarafından kontrol edilebilir olması gibi temel özelliklere sahiptir (Zheng vd., 2018).

Nakamoto' ya göre blok zinciri ağı, ağda gerçekleştirilen bütün işlemlerin yine ağdaki katılımcılar tarafından kaydedildiği ve paylaşıldığı dağıtık bir veri yapısıdır (Nakamoto, 2018). Beck' e göre blok zincirleri, ağda işlem yapan düğümler aracılığı ile güvenilir işlemlerin yapıldığı bir veri bankasıdır (Beck, 2018). Zheng'e göre blok zinciri, ağda onaylanmış bütün işlemlerin blok olarak tutulduğu ve yeni bloklar eklendikçe büyüyen bir veri defteridir (Zheng vd., 2017). Reyna'ya göre blok zinciri, işlemlerin merkezi olmayan bir şekilde gerçekleşmesine olanak tanıyan değiştirilemez bir muhasebe defteridir (A.Reyna vd., 2018). Glaser'a göre blok zinciri, ağı kullanan kullanıcıların ve bir aracı kurum veya

kişiye bağlı olmayan veya herhangi bir merkezi otoriteye bağlı kalmadan içerisindeki varlıkların kayıtlarının takma isimlerle kaydedildiği bir veri tabanıdır (Glaser, 2017). Tama'ya göre ise blok zinciri, amacı verilerin kaybolmamasını ve bütünlüğünü sağlamak olan dağıtık bir sistemin bir parçasıdır (Tama vd., 2017).

Blok zincirleri ile yapılan işlemlerde işlem ücreti merkeziyetçi sistemlere göre çok daha az maliyetlidir. İşlem yapabilmek için gerekli olan cüzdanlar rastgele numaralandırılmakta, bu numaralandırma sisteminin kredi kartları ile oluşturulan hesap numaraları veya kart numaralarına göre çok daha güvenli olduğu düşünülmektedir. Merkeziyetsiz yapıya sahip olmasından dolayı merkez bankalarında basılan değerli kağıtlar (para) yerine kriptografi kullanılmaktadır. Merkez bankalarında ortaya çıkan enflasyon karşısında varlıkların değerinin merkeziyetsiz yapıda korunması sağlanmaktadır (Zheng vd., 2018).

Bitcoin P2P ağında yer alan düğümler, yapılan işlemleri doğrulamakta ve bu işlemler kronolojik olarak sıralanmış bloklar hâlinde blok zincire eklenmektedir. Her bir işlem, birden fazla bağımsız düğüm tarafından onaylandığı için, sistem yüksek düzeyde güvenlik ve bütünlük sağlanmaktadır. Bitcoin ağı- blok zinciri işlemlerin doğrulanması ve blok zincire eklenmesi görevini üstlenen, düğüm (node) olarak adlandırılan makinelerden oluşan dağıtık bir ağ tarafından desteklenmektedir. Bu düğümler arasında madenci olarak işlev gören özel nitelikteki düğümler, iş kanıtı (Proof of Work) mekanizması aracılığıyla ağın güvenliğini sağlar ve yeni blokların oluşturulmasında rol oynar. Bu sistemin temel özellikleri ise (Durğay & Karaaslan, 2018); P2P ile merkezi olmayan işlemler, sistemdeki tüm hesapların herkese açık ve anonim olması, işlemlerin P2P ağda tüm düğümlerde yayınlanması, işlemlerin birden fazla düğüm tarafından onaylanması, konsensus protokolleri ile kayıt defterinde kimin değişiklik yapacağı belirlenmesi, işlemlerin bloklar olarak toplanması ve dağıtık kayıt defteri olarak adlandırılan blok zincire eklenmesidir.

Blok zinciri teknolojisi güvenilirliğini kriptografi ile birbirine bağlanan bloklar bütünü olması ve sistemin çok hızlı bir şekilde yenilenmesiyle sağlamaktadır. Yapılan her bir işlem zaman damgası ile birbiri ardına eklenmiş işlemler topluluğudur ve her bir işlem kendine ait özgün bir koda sahiptir. Herhangi bir işlem değiştirilmek istendiğinde, o işlem ve ondan önceki tüm işlemlerin bir sonraki işlem eklenmeden önce yapılması ve kendinden önceki tüm verilerin değiştirilmesi gerekmektedir. Sistemin güvenliğini kaybetmesi ancak bir topluluğun belirli bir zamanda yaptığı işi bir kişinin daha kısa sürede yapması aynı zamanda

bu işlemlerde en hızlı şekilde her bir bloğa özgün olan kodun bulunması ve değiştirilmesi ile gerçekleşebilir (Tanrıverdi vd., 2019).

4.1. Blok Zincirinin Avantaj ve Dezavantajları

Her sistemde olduğu gibi blok zincirinin de bazı avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır.

Blok zincirin avantajları (Tanrıverdi vd., 2019);

Blok zinciri içerisindeki tüm veriler herkese açık sunulmakta ve bir kopyası verilmektedir. Böylelikle verilerin tahribatı korunmakta, güvenilirlik artmakta ve ağdaki herkes hem kendinin hem de başka birinin işlemlerini izleyebildiğinden şeffaflık sağlanmış olmaktadır. Dijital imzalar ve doğrulama algoritmaları sayesinde güven ortamı olmayan işlemlerde aracı kurum veya kuruluşlar olmadan işlemler yapılabilmektedir. Blok zincirinde kayıtlı olan verilerin değiştirilmesi veya silinmesi çok zordur; merkezi bir otoriteden bağımsız olduğu için herhangi bir şekilde kapatılamaz veya engellenemez. İçerisinde bulundurduğu akıllı sözleşmeler ile birden fazla iş aracı kurum veya kuruluşlar olmadan otomatikleşebilmektedir.

Blok zincirin dezavantajları (Tanrıverdi vd., 2019);

Uzlaşma protokolleri, özellikle POW protokolü, çok fazla enerji tüketen kod parçalarıdır. Bunları çalıştıran bilgisayar ekipmanlarının da bu protokolleri çalıştırabilecek ekipmanlar olması gerekmektedir. Blok zincirindeki tüm veriler her bir düğümde ayrı ayrı saklanmakta ve her bir işlem sonrası bu düğümlerdeki verilerin tutarlılığı sağlanmaktadır. Bu nedenle performans bakımından günümüzde kullanılan veri tabanlarına göre yetersiz kalmaktadır. Blok zincirindeki tüm veriler ağdaki herkese açık olduğundan ve ağdaki herkes tarafından kopyalanıp incelenebilirliğinden dolayı özel bilgilerin korunması zorlaşmaktadır. Akıllı sözleşmeler zincire bir kere girdiği zaman bir daha değiştirilemez ve herkes tarafından görülebilir, bu durum akıllı sözleşmeler üzerinden zincire veya sözleşmenin kendisine saldırılar olmasına neden olabilmektedir.

4.2. Blok Zinciri Türleri

Blok Zinciri 1.0: Literatürde "dijital para evresi" olarak adlandırılmakta olup, blok zincir teknolojisinin ilk kullanım alanı olan ve akıllı kontratlarında temelini oluşturan kripto para birimlerine odaklanmaktadır. Bu dönemde geliştirilen Bitcoin protokolü ve benzeri blok zincir temelli altyapılar, dijital para birimlerinin güvenli ve merkeziyetsiz biçimde transfer edilmesini mümkün kılmış, kripto paralarda madencilik, şifreleme ve blok yapısı gibi blok zinciri teknolojileri kullanılmıştır. İlk kripto para olan Bitcoin uygulama olarak kuramın önüne geçmiştir (Kaur vd., 2016). Bu dönemde blok zincir, temel olarak dijital para transferi, ödeme sistemleri ve değer saklama aracı olarak kullanılan uygulamaları içermekte, birbirine güveni olmayan kişi veya kurumlar arasında değer transferinin yapılabilmesini mümkün kılmış, akıllı kontratların temeli oluşmuştur (Tanrıverdi vd., 2019).

Blok zinciri 2.0: Blok zinciri teknolojisindeki geliştirmeler, özelleştirilebilir programlama mantığının merkezi olmayan bir şekilde depolanabilmesine olanak sağlayan akıllı sözleşmelerin oluşmasını sağlamıştır. Blok zincir teknolojisinin ilk dijital para uygulamalarının ötesine geçmesini sağlayan en önemli gelişmelerden biri, akıllı sözleşmeler kavramının uygulanabilir hâle gelmesidir. İlk kez Nick Szabo (1996) tarafından kavramsallaştırılan akıllı sözleşmeler, taraflar arasında gerçekleştirilecek anlaşma koşullarının merkezi bir otoriteye ihtiyaç duyulmaksızın otomatik şekilde yürütülmesini sağlayan dijital protokollerdir (Szabo, 1996). Akıllı sözleşmeler, ilgili taraflar arasındaki anlaşmanın şartlarını kendi kendine yürüten sözleşmelerdir. Sözleşmeler dağıtık, merkezi olmayan bir blok zinciri ağında bulunan program kodları biçiminde yazılmakta, anonim veya güvenilmeyen taraflar arasında merkezi bir otoriteye ihtiyaç duyulmadan işlemlerin yürütülmesine olanak tanımaktadır (S. Wang vd., 2018).

Blok zinciri 3.0: Dağıtık defter teknolojisinin finans sektörü dışındaki alanlarda (sağlık, eğitim, kamu hizmetleri ve sanat gibi) kullanılmaya başlanmasıyla ortaya çıkan yeni bir evreyi temsil etmektedir. Bu dönemde blok zincir, yalnızca kripto para transferi ve akıllı sözleşme uygulamaları ile sınırlı kalmayıp, farklı sektörlerde dijitalleşme süreçlerinin temel altyapısı hâline gelmiştir (S. Wang vd., 2018).

Blok zinciri teknolojisinin gelişimiyle birlikte, farklı ihtiyaçlara ve kullanım alanlarına yönelik olarak çeşitli blok zincir türleri ortaya çıkmıştır. Bunlar, özellikle katılımcı profili, erişim izinleri ve yönetim şekli gibi kriterlere göre farklılık göstermektedir. Literatürde blok zincirler genel olarak üç ana grupta sınıflandırılmaktadır. Üretilen zincir teknolojileri

kişilerin kontrolü olmadığı topluluk zincirleri gibi tam kontrole sahip özel zincirlerde bulunmaktadır. Bu blok zincirleri üç ana grupta toplanabilir (Buterin, 2015).

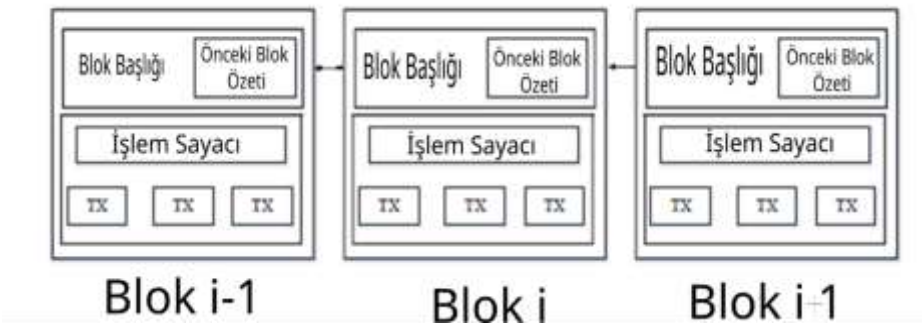
Genel: Halka açık blok zincirleridir. Herkesin zincirde bulunan blokları okuyabildiği ve işlem yapabildiği zincirlerdir. Merkezi güven yerine kripto ile güvence altına alınır. Tamamen merkeziyetsiz bir güven yapısına sahiptir (Buterin, 2015).

Özel: Yazma izinlerinin tek bir şirket veya kişide olduğu, okuma izinlerinin ise kısıtlı veya tamamen açık olduğu blok zinciri uygulamalarıdır (Buterin, 2015).

Konsorsiyum: Blok doğrulama ve kontrolünün daha önceden belirlenmiş düğümler tarafından kontrol edilen kısmen merkeziyetsiz bir yapıdadır.

4.3. Blok Zinciri Mimarisi

Blok zinciri kriptografik olarak birbirine bağlanmış bloklardan oluşan zincirlerdir. Yapılan her işlem, bloklar halinde gruplanarak dağıtık deftere kaydedilir (Zheng vd., 2017). Dağıtık defter teknolojisi, yapılan işlemleri veya sistemdeki değişiklikleri kaydeden bir defterdir. Bu defterin değiştirilmesi veya karıştırılmasının zor olması sistemin güvenliğini sağlamaktadır. Ancak kullanım açısından geçmişi silmek veya defteri sıkıştırmak gibi istenilen değişiklikleri yapmak zordur (Zheng vd., 2017).



Şekil. 4.1. Blok Zinciri Yapısı (Zheng vd., 2018)(Türkçeleştirilmiş)

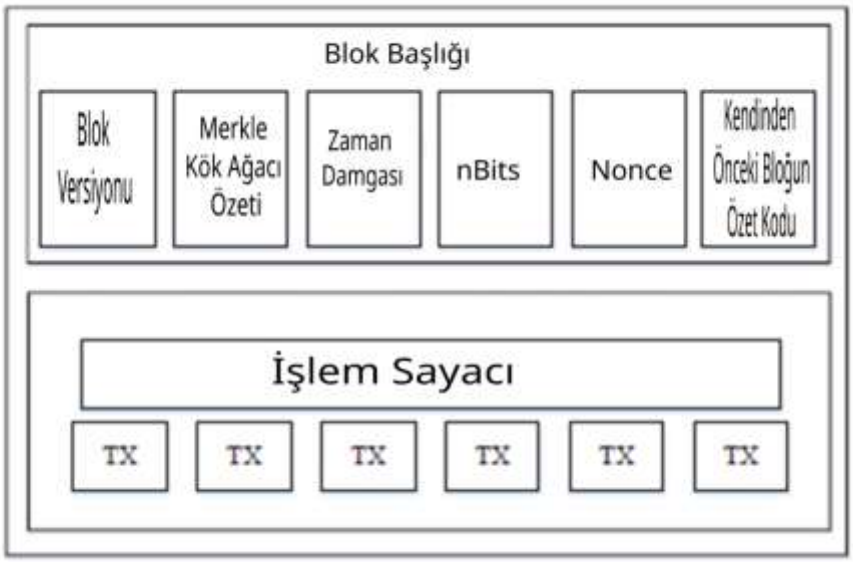
Zincir içerisinde bulunan blok yapısı blok başlığı ve işlem listesi olarak iki ana gruba ayrılabilir.

Blok başlığı üç ana bölümden oluşur. Bu bölümlerden ilki, oluşturulan bloğun bir önceki bloğa bağlanması için kullanılır. Bu bölümde bağlandığı bloğun özetleme kodu, ikinci bölümde bloğu oluşturan madencinin istatistiği bulunur. Üçüncü blokta ise o bloğa özgü özetleme kodu bulunur. Bu özetleme kodu, bağlandığı bloğun özetleme kodu kullanılarak oluşturulur. Sistemin güvenliğini özetleme kodları sağlar. Dışarıdan

yapılabilecek herhangi bir saldırıda tüm özetleme kodlarının aynı anda değiştirilmesi gerekir (Zheng vd., 2017).

Blok başlığında bulunan temel elemanlar ise; blok versiyonu, merkle ağacı kök dizini, zaman damgası, büyüklüğü, nonce ve bağlandığı bloğun özetleme kodudur (Zheng vd., 2017).

İşlem listesi ise; blokta yapılan işlemlerin bir listesidir (Zheng vd., 2017).



Şekil 4.2. Blok Yapısı (Zheng vd., 2018)(Türkçeleştirilmiş)

Blokların birbirine bağlanması ile oluşturulan blok zincirlerinin mimarisi, farklı katmanlar bir araya gelerek oluşturulur. Bu katmanlar; donanım katmanı, bilgi saklama katmanı, haberleşme katmanı, bilgi işleme katmanı, kontrat katmanı ve uygulama katmanı olarak sınıflandırılmaktadır (Zheng vd., 2017).

Donanım katmanı: Bir blok zinciri katmanının en alt tabakasını oluşturan katmandır. Bu katman çoğu zincirin uygulamasında gerek görülmese de daha iyi özetleme kodlarının oluşturulması sağlamak için kullanılmaktadır (Zheng vd., 2017).

Bilgi saklama katmanı: Bu katman, blok zinciri üzerindeki bilgileri saklama, güvenliğini ve izlenebilirliğini sağlamaya yarayan katmandır. Sistemdeki veriler bu katmanda saklandığı için bilgilerin görülebilirliği ve saklanabilirliği bu katmanda yapılmaktadır. Tüm bu özellikler veri tipine, depolama yöntemine ve yapısına bağlıdır (Zheng vd., 2017).

Haberleşme katmanı: Blok zincirindeki tüm katılımcılar arasındaki işlemleri gerçekleştirmek ve blokları yaymak için kurulan bir katmandır. Büyük ölçekli izinsiz blok zincirlerinde çok önemli bir katmandır. Blokların yayılımının ayrıntı düzeyi, iletişim protokolü, sipariş, gizlilik ve güvenlik garantileri, yayılma süresi bu katmanla ilgilidir (Zheng vd., 2017).

Bilgi işleme katmanı: Bu katmanın temel görevi blok zincirini güncellemek ve arama algoritmalarını çalıştırmaktır. Güncelleme işlemi, güven ortamı ve merkezi yapıya sahip olmayan durumlarda fikir birliğiyle yapılması gereken bir işlemdir. Bundan dolayı fikir birliği algoritmaları bu katmanda çalışmaktadır. En yaygın iki kategori olasılıklı Nakamoto fikir birliği ve BFT (Bizans Hata Toleransı)'dır. Bu katman tasarım, güvenlik, performans ve gizlilik seçeneklerine göre farklılık göstermektedir (Zheng vd., 2017).

Kontrat katmanı: Bu katmanda, blok zincirinde bulunan katılımcılar arasındaki kurallar belirlenir ve bu kuralları katılımcılara uygulatan sözleşmeler hazırlanır (Zheng vd., 2017).

Uygulama katmanı: Uygulama çeşidine göre blok zincirinin hazırlanmasıdır. Her bir uygulamaya göre farklı çeşitte blok zinciri çeşidi kullanılabilir (Zheng vd., 2017).

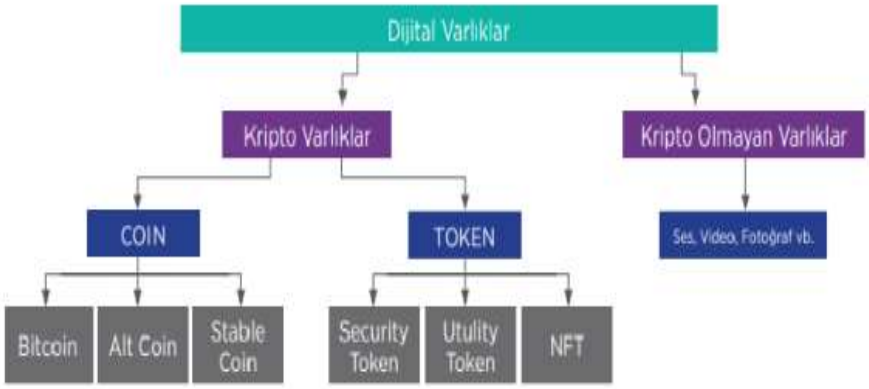
Şekil 4.3. Katmanlar (Tabatabaei vd., 2023)

4.4. Kripto Varlık ve Tokenlar

Kripto varlık, değer transferi kriptografik teknoloji kullanılarak yapılan, dağıtık defter teknolojisi ile paylaşılan, herhangi bir fiziksel karşılığı olmayan dijital varlıktır (Zheng vd., 2017). Avrupa Merkez Bankası kripto varlığı herhangi bir yasal düzenlemesi olmayan, onu üretenler tarafından kontrol edilen, sınırlı bir dijital ortamda kabul gören, dijital bir para olarak tanımlamaktadır (Kizil vd., 2019). Herhangi bir merkezi veya finansal kuruluşa bağlı olmadan dijital ortamda, kullanıcılar üzerinden toplu olarak gerçekleştiren işlemler sonucu oluşturulur (Franklin, 2016). Kripto paralar ile dijital para arasındaki temel farklılıklardan birisi; dijital paralar dolar, euro gibi tedavülde bulunan para birimleriyken, kripto para birimleri bitcoin gibi tedavülü olmayan para birimlerinden oluşmaktadır (Franklin, 2016).

Kripto varlıklar coin ve token olarak iki ana gruba ayrılır ve kendi içlerinde de belirli ihtiyaçlara göre alt gruplara bölünmüşlerdir. Coinler sadece para olmakla birlikte yatırım

aracı olarak kullanılan altın, gümüş gibi diğer fiziksel varlıklara da benzetilebilir. Bitcoin, litecoin gibi kendi blok zinciri üzerinde çalışan varlıklar coin; ether gibi başkasının blok zinciri üzerinde çalışan varlıklar ise token olarak adlandırılmaktadırlar (Çokmutlu ve Kılıç, 2022).



Şekil 4.4. Varlıklar (Çokmutlu ve Kılıç, 2022)

Altcoin, bitcoin sonrasında geliştirilen coinleri ifade eden kavramdır. Stable coinler ise dolaşımda bulunan ve merkezi otoriteler tarafından basılan paraların blok zincirdeki karşılıklarıdır. Cüzdanda bulunan değer kadar stable coin alınabilmektedir (Çokmutlu ve Kılıç, 2022).

"Token" belirli bir malın el değiştirmesi veya bir hizmet karşılığı değiştirilen bir semboldür. Para'nın icadından beri en basit ekonomilerden en karmaşık ekonomik modellere kadar Tokenlar görülmektedir (Hackenberg, 2009).

Bir kripto token, bir kripto para biriminin veya blok zincirinin üstündeki genellikle bir proje veya uygulama için önceden hazırlanan kurallar ile kontrol edilen, programlanabilir dijital bir varlıktır. Kripto tokenların kendine ait bir blok zincirleri veya dağıtılmış defterleri yoktur (Angelo ve Salzer, 2020). Tokenların taşıdığı değer diğer kişilere devredilebilir. Coin ile arasındaki fark; tokenların kendine ait bir blok zincirinin bulunmaması, diğer blok zincirlerin üzerine inşa edilmesidir (Çokmutlu ve Kılıç, 2022). Tokenlar genel amaçlı değer transferinden başka bir şey sağlayan kripto para olmayan varlık anlamına gelmektedir (Yüksel, 2020).

Tokenlar: Hizmet tokenları, menkul kıymet tokenları ve varlığa dayalı token olarak üç ana gruba ayrılabilir. Ayrıca bu tokenlar dışında ödeme tokenları, hibrit token ve NFT gibi kavramları da kapsamaktadır.

Ödeme Tokenları: Herhangi bir mal veya hizmet değişiminde kullanılması planlanan ödeme şeklidir. Kullanım şekline göre fiziksel karşılığı olan veya olmayan bir dijital varlık olarak tanımlanabilir (Çokmutlu ve Kılıç, 2022).

Varlığa Dayalı Tokenlar: Altın, gümüş gibi fiziksel bir karşılığı temsil eden, değeri belirlenen fiziksel karşılığın değerine bağlı olarak değişen tokenlardır. Bu tokenlar için stablecoin'ler örnek olarak verilebilirler (Çokmutlu ve Kılıç, 2022).

Hizmet Tokenları (Utility token): Herhangi bir fiziksel değeri olmayan ve ödeme aracı olarak kullanılmayan, sadece belirli bir ürün veya hizmete erişim imkânı sağlayan, değeri verilen ürün veya hizmetin sıklığına göre belirlenen tokenlardır. Hizmet tokenları, dağıtık defter teknolojisi ile belirli ürün veya hizmete dijital erişim sağlayan tokenlardır (Yüksel, 2020). Genellikle sonucunda bir faydaya ulaşmayı hedefleyen bir proje veya uygulama tarafından desteklenmektedir (Angelo ve Salzer, 2020). Değeri tahsil edilmiş bir ürünü veya hizmeti son kullanıcıya ulaştırmak için yapılan hizmetler bütünü olarak da tanımlanabilir. Kullanım amacına göre finansal değeri olan veya olmayan yatırımlar, stok şeklinde, ön ödemeli dijital bir varlık olabilirler (Çokmutlu ve Kılıç, 2022).

Menkul Kıymet Tokenları (security token): Bir işletme içerisinde daha önceden belirlenen hakları özetleyen tokenlardır. Bu haklar finansal değerler üzerindeki yönetim hakkı veya herhangi bir konu üzerindeki oy kullanma hakkı gibi haklar olabilir. Bu tokenların değeri, işletmenin başarısına bağlı olarak belirlenen tokenlardır. Bu tokenlar işletme üzerindeki sahiplik hakkı, kâr payı hakkı gibi haklar sağlayabilirler (Yüksel, 2020). Bu özellikleri ile finansal araçlara benzemektedirler. Merkezi bir borsa üzerinde çalışan kripto varlık olarak düşünebilir. Kullanım amacına göre herhangi bir finansal veya finansal olmayan yatırımlardır (Çokmutlu ve Kılıç, 2022). İşletme içerisinde borç veya sermaye talebi gibi hakları temsil eden bir dijital varlık olduklarından, menkul kıymet tokenları güvenlik açısından en çok regülasyona sahip token çeşididir (Angelo ve Salzer, 2020).

Hibrid Tokenlar: Ödeme, hizmet ve menkul kıymet tokenlarının herhangi bir birleşimi olarak ortaya çıkmıştır. Bundan dolayı hibrid tokenlar karışımı olan tokenların özelliklerini göstermektedirler (Çokmutlu ve Kılıç, 2022).

NFT: Bir ürünün tek, değiştirilemez veya çoğaltılamaz olduğunu belgelemek için kullanılır. NFT'ler, ürünün dijital varlıklar üzerinde resmiyet kazandığını gösteren tokenlardır. Diğer tokenlarda olduğu gibi blok zincir üzerinde çalışır ve ürünün kullanım izni sadece tokena sahip olan kişidedir. Bu özelliği ile herhangi bir şekilde bölünemez veya

kopyalanamazlar. Bundan dolayı genellikle sanat eserleri üzerindeki telif hakkının blok zinciri teknolojisi altında dağıtık defter teknolojisi ile korunması NFT ile sağlanmaktadır (Çokmutlu ve Kılıç, 2022).

4.5. Akıllı Sözleşmeler

Akıllı sözleşmeler fiziki sözleşmelerden farklı olarak kendi kendine, daha önceden belirlenen kurallar çerçevesinde uygulamaya geçebilen, güven ortamı olmayan katılımcılar arasında güven ortamı oluşturan bir bilgisayar kodudur (Alharby vd., 2018). Akıllı sözleşmeler blok zinciri teknolojisini kullandığından dolayı herhangi bir sansür, kesinti veya dolandırıcılık riski taşımazlar (Avunduk ve Aşan, 2018). Güvene dayalı olmayan, merkeziyetçi sistemlerde yapılan işlemlerde banka gibi üçüncü parti kişi veya kurumlara ihtiyaç duyulmaktadır. Üçüncü partilere duyulan bu ihtiyaç, güvenlik ve gizliliğin sekteye uğramasına neden olmakta ve yapılacak işlemler için üçüncü partilere yüksek işlem ücretleri ödenebilmektedir (Alharby vd., 2018). Üçüncü partilere olan ihtiyacın ortadan kaldırılması için ağ tabanlı dağıtık bir otonom ajan kullanılması gerekmektedir (Angelo ve Salzer, 2020). Yapılacak sözleşmeler, kodlar aracılığı ile yazılım veya donanımsal olarak kaydedilecek ve kendi kendine uygulanabileceklerdir (Zou vd., 2021).

Akıllı sözleşmelere örnek olarak blok zinciri teknolojisi ile oluşturulan akıllı kontratların sağlık alanında kullanılması uygulamaları verilebilir. Bu uygulamalar ile hasta verileri blok zinciri teknolojisi ile güven altına alınabilmekte aynı zamanda sağlık sektöründe yapay zekâ eğitimi için gereken büyük verinin tek bir yerde toplanması yerine hastanelerin bilgisayarlarında dağıtık veri olarak güvenli bir şekilde saklanması da sağlanmaktadır (Kıyak vd., 2019). Bir başka örnek ise akıllı sözleşmeler ve blok zinciri teknolojisi ile enerji dağıtım sistemlerinin güncellenebilmesidir. Elektrikli araçların enerji firmaları tarafından sağlanan elektriği kullanması ve fiyatın ödenmesi konusunda çalışmalar mevcuttur (Debe vd., 2021).

Akıllı sözleşmeler bir blok zinciri içindeki işlemler olarak düşünülebilir. Blok zinciri içerisindeki madenci olarak tanımlanan özel katılımcılar bu sözleşmeleri oluşturur, uygular ve bu işlem için, işlemin karmaşıklığına göre, bir ücret almaktadırlar. Madenciler akıllı sözleşmelerin sonuçlarında fikir birliğine vardıklarında blok zincirini akıllı sözleşme kurallarına göre güncellerler. Her bir akıllı sözleşme güncellendiğinde veya ilk kez yayımlandığında kendisine özel 160-bitlik bir adrese sahip olur (Alharby vd., 2018).

Akıllı sözleşmeler sıralı 4 adımdan oluşmaktadırlar. Bu adımlar ise sırasıyla (Zheng vd., 2020);

Akıllı Sözleşmelerin Oluşturulması: Taraflar arasında oluşturulması istenen sözleşmelerin maddeleri belirlenir. Bu maddeler fiziki sözleşmeler ile aynı özellikleri taşımaktadır. Bu işlemden sonra sözleşme mantık tabanlı diller dahil olmak üzere bilgisayar kodlarına çevirilir. Bu aşamada yazılan program test ve doğrulama işlemlerine tabi tutulur.

Akıllı Sözleşmelerin Dağıtımı: Tasarlanan akıllı sözleşme daha sonra blok zincirine dağıtılır. Bu andan itibaren blok zincirinin değiştirilemez özelliğinden dolayı sözleşme değiştirilememektedir. Herhangi bir değişiklik yeni bir sözleşmenin oluşmasına neden olur. Tüm taraflar bu andan itibaren sözleşmeye erişebilir, birbirlerinin elektronik cüzdanını görebilir. Cüzdanlar bu andan itibaren kilitlenir, sözleşme dışında herhangi bir işleme açık değildir.

Akıllı Sözleşmelerin Yürütülmesi: Akıllı sözleşmeler, mantıksal bağlantıları olan fonksiyonlar olarak görülebilir. Sözleşmede gerçekleşen her bir koşul karşılığında o koşula bağlı fonksiyon otomatik olarak tetiklenecektir. Bu işlemler, madenciler tarafından yürütülmekte ve doğrulanmaktadır.

Akıllı Sözleşmelerin Tamamlanması: Tüm koşullar yerine getirilmiş ve akıllı sözleşme tamamlanmıştır. Akıllı sözleşme blok zincirine girildiği andan itibaren gerçekleşen tüm olaylar, blok zincirinde kayıt altına alınmıştır. Bu işlemler ile dijital varlıklar taraflar arasında daha önceden belirlenen şekilde birbirlerine aktarılmıştır.

4.6. Akıllı Sözleşmelerin Avantaj ve Dezavantajları

Akıllı sözleşmelerin sağladığı avantajlar (Zheng vd., 2020);

Riskleri Azaltma: Kullanılan blok zinciri teknolojisi ile akıllı sözleşmeler sonradan değiştirilemez. Tüm zincir halka açık olarak izlenebildiği ve denetlenebildiğinden akıllı sözleşmelerde dolandırıcılık riski çok daha azdır.

Maliyetler: Akıllı sözleşmeler, merkezi olmayan sistemlerde saklanmakta ve otomatik olarak çalışmaktadır. Bu sebeple merkezi sistemlerde gerekli görülen üçüncü parti sistemlerin yönetim ve gider maliyetleri merkeziyetsiz yapıda yoktur.

Verimlilik: Akıllı sözleşmeler, kendi kendini kontrol edebilen ve gerekli cevapları verebilen bir sistem olduğundan merkezi sistemlerde gerekli olan üçüncü kişi veya

kurumlardan alınacak olan geri dönüte gerek olmadığından geri dönüş süresi de yoktur. Akıllı sözleşmeler kendini ifa ettikten sonra kullanıcılara bildirim gönderirler.

Akıllı sözleşmelerin dezavantajları ise (S. Wang vd., 2018);

Yenilemeli Fonksiyon Kullanımı: Saldırganların blok zinciri üzerindeki akıllı sözleşmenin bir şartı yerine geldiğinde işlem ücretini almak amacıyla yenilemeli bir fonksiyon kullanması durumunda karşı taraftan alınması gereken işlem ücreti birden fazla kez alınmış olur.

İşlem Sırası Önceliği: Tek bir sözleşmede geçerli birden fazla işlemin tek bir bloğa dâhil edilmesi durumunda madenci doğru sıra ile işlemleri almaz ise saldırganlar geçişler arasında sözleşmeyi değiştirmeyi deneyebilir.

Zaman Damgası Hatası: Blok içerisinde yapılan işlemin zaman damgası o işlemi yapan madencinin sisteminin zamanına eşittir. Madenci bu değeri diğer madencilerin kabul etmesini sağlarken değiştirebilir. Eğer yapılan işlem zamana bağlı bir koşulu içeriyorsa yani tetikleyici koşul zamana bağlı ise, saldırgan sözleşmenin sonucunu manipüle etmek için blokta farklı bir zaman damgası kullanabilir.

Güvenilir Veri Eksikliği: Sözleşmelere bazen dışarıdan bir verinin girilmesi gerekebilir. Bu verinin güvenilirliğini kontrol etmek genellikle zordur.

Gizlilik: Blok zincirinde gerçekleştirilen tüm işlemler zaman damgası ile herkes tarafından görülebilmektedir. Bu da sözleşme taraflarının özel bilgilerinin halka açık olması anlamına gelmekte ve bu şeffaflık bazı durumlar için olumsuz sonuçlar yaratabilmektedir.

Akıllı sözleşmelerin bazı özellikleri vardır. Bu özellikler işlem ücreti, özerklik veya akıllı kontratın bulunduğu blok zincirine bağlı olarak değişmektedir.

Bu özellikler (Zou vd., 2021);

Zincir Üstü ve Zincir Dışı Akıllı Sözleşmeler: Akıllı sözleşmeler blok zincirine girdiği zaman genellikle zincirde olan tüm düğümler tarafından kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu işlem, gizliliği ortadan kaldırmakta ve karmaşık olan sözleşmelerde işlem ücretini ve süresi artırabilmektedir. Bundan dolayı bazı sözleşmeler blok zinciri dışında bir yerde oluşturulur ve yürütülür. Böylece sözleşme şartlarını sadece katılımcılar görebilir ve sadece katılımcılar tarafından yürütülebilir. Herhangi bir anlaşmazlık sonucu zincir dışında tutulan sözleşme zincire açılarak anlaşmazlık çözülebilir.

Platform: Bazı blok zincirleri genele açık olduğundan sistem herkesin girmesine izin vermektedir. Bazı blok zincirleri ise genele kapalıdır ve sadece izni olan kullanıcılar girebilir. Akıllı sözleşmelerde bu özelliğe göre farklı blok zincirleri seçilebilmektedir. Farklı blok zincir ağları farklı özellikte sözleşmeye izin verir. Bazı ağlar basit betik dili ile sözleşme hazırlamaya izin verirken bazıları karmaşık sözleşmelere izin vermektedir. Çoğunlukla akıllı sözleşmelerde ethereum ağı kullanılmakta, bu ağın özelliği karmaşık sözleşmelere izin veren bir programlama dili olmasının yanı sıra halka açık, merkezi olmayan bir sanal makineye sahip olmasıdır. Ayrıca hızlı ve kendi kripto varlığına (ether) sahiptir.

İşlem Ücreti (Gaz): Ethereum ağında merkezi bir fiyatlandırma işlemi vardır. Madenciler yaptıkları her bir iş için ether bazında gaz ücreti alırlar. İşlem sırasındaki gaz ücreti karşılanamazsa işlem başarısız olur.

4.7. Ethereum ve Akıllı Sözleşmeler

Ethereum ağı belirli bir kod parçasını çalıştıran, üretilen alt coinleri ve zincir üstü blok zincirleri bir araya getirip uygulama geliştirmek amacı ile oluşturulmuş bir blok zinciri ağıdır.

Bu ağda geliştiriciler, ağın sunduğu özellikler ile standardizasyon veya ölçeklendirme gibi tamamen fikir birliğine dayalı uygulamalar geliştirebilmektedir (Buterin, 2014). Ethereum'da durum (state), hesap objelerinden oluşur ve her bir hesap 20 bitlik bir veriye sahiptir. Bu hesaplar arasında direkt bilgi alışverişi sağlanır. Bir Ethereum hesabı 4 adet alan içerir. Bunlar ise; nonce saymanı, ilgili hesabın mevcut bakiyesi, sözleşme kodu ve depolama alanıdır (Buterin, 2014).

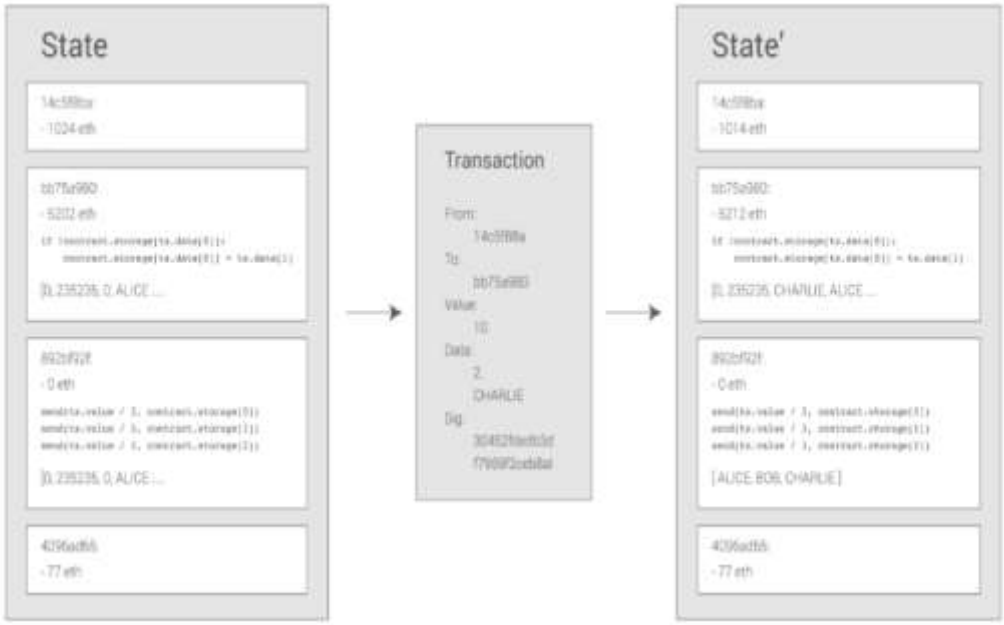
Ethereum ağında iki tip hesap vardır; harici hesaplar ve sözleşme hesapları. Harici hesaplar sahip olduğu hesaptan harici olarak bir işlem yapabilir ve imzalayabilir. Bu hesaplar için herhangi kod bağımlılığı bulunmamaktadır. Sözleşme hesaplarında ise alınan her bir mesajda üzerindeki kod etkinleştirilir. Bu hesapta yapılan işlemler, etkinleştirilen koda göre yapılmaktadır. Bu işlemler, başka bir hesaba mesaj göndermek, depolama alanından veri okuma/yazma veya başka sözleşmeler oluşturmak gibi işlemlerdir. İşlem terimi harici hesaplardan gönderilecek mesajları depolayan imzalı veri paketleridir. Ethereum ağındaki mesaj gönderme veya alma işleminin belirli özellikleri vardır. Bu özellikler ise (Buterin, 2014);

Mesajlar dışarıdan oluşturulabildiği gibi sözleşmeler üzerinden de yapılabilmektedir.

Mesajlar her zaman veri içermeyebilir.

Eğer mesajı alan hesap bir sözleşme hesabı ise bir yanıt döndürebilir.

Bu işlemlerde korsan ataklarını önlemek veya yanlış işlemlerin önüne geçmek için her bir işlem için bir limit belirlenmiştir. Böylece kendini yenileyen fonksiyonlar ile sınırsız döngü içerisinde aynı mesaj iletilemeyecektir. Eğer işlem sırasında işlem ücreti (gaz) biterse bütün işlem tersine çevrilmektedir (Buterin, 2014).



Şekil 4.5. Ethereum Ağında İşlem (Buterin, 2014)

Ethereum ağında işlemler aşağıdaki adımlar izlenerek yapılmaktadır (Buterin, 2014):

Nonce değerlerin eşleşmesi, imzaların geçerliliği, doğru sayıda değere sahip olup olmadığı kontrol edilir.

İşlem ücreti hesaplanır. Gönderilen bit değeri ile sabit bit ücretinin çarpımı ile bulunur. Bu ücret gönderici hesabından tahsil edilir. En son olarak gönderen hesabındaki nonce değeri arttırılır. Bu aşamada istenilen işlem ücretinin gönderici hesapta blokeli olması gerekmektedir.

Ödeme ücreti tahsil edilip, alıcı hesap mesajı iletir. Alıcı hesap yoksa otomatik olarak oluşturulmaktadır. Eğer alıcı bir sözleşme hesabı ise içerisindeki kod çalıştırılır.

İşlemler için yeterli işlem ücreti yoksa tüm işlemler geri alınır. Bu arada gerçekleşen tüm işlem ücretleri ise madenciye aktarılır. Aksi takdirde tüm işlem ücreti göndericiye iade edilir ve madencinin ücreti ödenir.

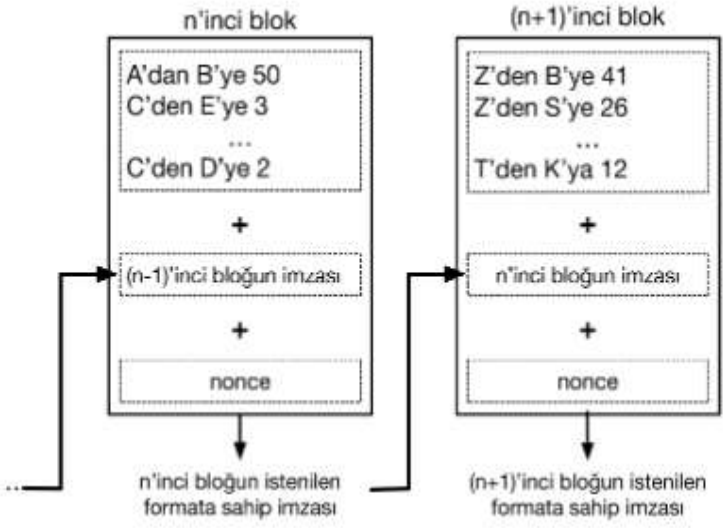
Ethereum ağındaki sözleşme kodları düşük seviyeli ve yığın tabanlı bir programlama dili ile yazılmaktadır. Bu dile EVM veya ethereum sanal makinesi adı verilir. Bu programlama dilinde her bir byte bir işlemi temsil etmektedir. Yapılması istenilen işlemlerin verileri depolayabilmesi için üç tür alana ulaşılır. Bunlar ise (Buterin, 2014) ;

Yığın: Son giren ilk çıkar mantığı ile çalışan 32 bitlik bir liste yapısıdır.

Bellek: Değeri belirli olmayan bir liste yapısıdır. Sonsuza kadar genişleyebilir.

Depolama Alanı: Hesaplama sonrasında yığın ve bellek sıfırlanır. Depolama alanı buraya gönderilen imzaların ve değerlerin uzun vadede saklandığı alandır. Çalıştırılan kod aynı zamanda gelen mesajın bilgilerine ulaşmakta, bu bilgiler içerisinde blok başlığı, gelen mesajın değerine, göndericisine ait özel veriler içermektedir (Buterin, 2014).

Bu işlemler için gerekli olan madenci kavramı, ağa bağlı bir üye olan madenci üye olarak tanımlanır. Bu üyelerin amacı bütün işlemleri gözden geçirmek ve onaylamaktır. Madenci üyeler blok zinciri içerisindeki tüm bloklara sahiptir. Bu üyelere tam düğüm (full node) ismi verilir. Yeni işlemler yapılırken, tüm ağa sahip madenci üyeler en doğru veriler üzerinden işlemleri onaylarlar. Diğer üyeler ise blok zinciri üzerinde sadece bir cüzdana sahip üyelerdir. Bu üyelerin tek amacı blok zinciri üzerinde işlem yapmaktır (Yıldız, 2019).



Şekil 4.6. Blok Oluşturma Şeması (Yıldız, 2019)

Bloklar oluşturulurken işlem ücreti ödenmektedir. Bu işlem ücreti ethereum ağında gaz olarak isimlendirilir (Buterin, 2014). Madenci üyeler bu ücret için çalışırlar. Tüm deftere sahip olan madenci üyeler bir sonraki bloğu oluşturmak ve onaylatmak için çalışırlar. Bu işlem sonucunda bloktaki veri uzunluğu kadar ücret elde ederler. Onay havuzunda bekleyen işlemlerden bir tanesi alınarak blok üretilir. Blok içerisinde yapılan işlemlerden sonra, bir önceki imza ve bir nonce değeri vardır. Nonce değeri madencilerin üzerinde çalıştığı imzadır. Bu imzanın istenilen formatta olması beklenir. Oluşturulması istenen dijital imzanın belirli özellikleri vardır ama en önemlisi başlangıçtaki sıfır değerleridir. Başlangıçta ne kadar fazla sıfır olursa üretilmesi o kadar zor olacaktır ve blok oluşturma hızı o kadar azalacaktır. Nonce değeri için madenciler ürettikleri bloklara rastgele bir metin ekler ve kriptografik özet fonksiyonu veya hash fonksiyonu ile bunu istenilen bir kod formatına çevirirler. Buradaki temel problem özetleme fonksiyonlarının nasıl çalıştığıdır. Bu fonksiyonlar hangi metin karakterine hangi değeri çıkaracağı belirli olmadığından rastgele bir şekilde deneme yanılma yolu ile bulunması gerekmektedir (Yıldız, 2019). Başarılı bir şekilde dijital imzayı üreten madenci bunu blok zinciri ağına duyurur. Bulduğu imza çalışmanın kanıtı olarak değerlendirilir (POW). Ağdaki diğer madenciler, bloğun ve üretilen imzanın doğruluğunu belirli doğrulama algoritmaları ile kontrol eder. Ağda bulunan madencilerin çoğu yapılan işin doğruluğunu kabul ettiği taktirde üretilen blok ve dijital imza ağa dahil edilir. Bu işlemden sonra diğer madencilerin yaptığı iş sıfırlanır ve bir sonraki bloğu yapmak için tekrardan çalışırlar. Bu işlem için yatırılan işlem ücreti ise bloğu üreten madenciye verilmektedir (Yıldız, 2019). Bu işlemler uzun zaman almaktadır. Bir kredi kartı ile yapılan işlemde onay süreci saniyeler içerisinde gerçekleşirken bir bitcoin ağında proof of work ile yapılan doğrulama onayı yaklaşık 10 dakika sürebilmektedir. Bu işlemin doğrulama süresi birçok çalışma alanı için normal görülse de finans alanı için bu süre çok uzundur. Bu sebeple birkaç doğrulama algoritması geliştirilmiştir (Yıldız, 2019). Bu algoritmalardan bir tanesi POS algoritmasıdır. Bu algoritmanın en temel özelliği madenci üyelerin sahip olduğu kripto para değeri ile orantılı olarak onay verecek üyeler belirlemektedir. Bu algoritmada amaç daha çok parası olan daha fazla para kazanmak için ağı korumak isteyecektir fikridir. Bu tip doğrulama algoritmalarında işlem ücreti sabittir (Baliga, 2017). Bir diğer algoritma ise POD algoritmasıdır. Bu algoritmada POS algoritmasının benzeri bir düşünce olarak ortaya atılmıştır. Bu algoritmaya göre sahip olunan kripto varlık değerinden ziyade madencilerin işlem yapmak için vermesi gereken depozit miktarını onaylayıcı madenciler seçilir (Baliga, 2017). Başka bir algoritma ise Stellar doğrulama algoritmasıdır (SCP). Bu algoritmada

madencilerdeki temel özelliklerden biri olan ağa güvenme işlemi yerine seçilen düğümlere güvenme ve ona göre hareket etme özelliği vardır (Mazieres, 2016).

Bu algoritmalara benzer belirli bir blok zinciri ağı için üretilmiş algoritmalar olduğu gibi farklı fikirler ile üretilen farklı algoritmalar da mevcuttur (King ve Nadal, 2017).

5. MERKEZİ OLMAYAN FİNANS SİSTEMLERİ (DEFİ)

Geleneksel finans sistemlerinde ortaya çıkan enflasyon problemine karşı 2009 yılında "Satoshi Nakamoto" isimli kimliği belirli olmayan biri tarafından merkeziyetsiz para birimi olarak Bitcoin ortaya atılmış, bu tanımın ortaya çıkmasıyla birlikte aynı yıldaki finansal krizde, krize bir çözüm olabileceği düşünülmüştür (Balcıoğlu vd., 2023). Blok zinciri teknolojisinin gelişmesi ile dijital varlıkların üçüncü bir kurum veya kişiye olan güvenden bağımsız tamamen dağıtık bir sistem üzerine kurulu merkeziyetsiz bir sisteme geçişin imkânı oluşmuştur. Merkeziyetsiz finans kavramı ise blok zincir teknolojisinin finans alanındaki özelleşmiş uygulamaları olarak ifade edilebilir (Beştaş, 2023). Merkeziyetsiz finans, blok zinciri teknolojisine dayalı herhangi bir aracı finans kurumu olmadan çalışan finansal sistemlerdir. Bu sistemler geleneksel sistemlere kıyasla güvenilirliği daha fazla ve daha şeffaf veriler ortaya sunmaktadır (Buterin, 2015).

Merkeziyetsiz para fikrinden sonra, sözleşmelerin merkeziyetsiz yapıya uyarlanması fikri, akıllı sözleşmeler, geliştirilmiştir ve Vitalik Buterin tarafından Ethereum blok zincir ağı oluşturulmuştur (Balcıoğlu vd., 2023). Merkeziyetsiz finans sistemlerinde taraflar arasındaki sözleşmeler, kendi kendini çalıştıran ve kontrol eden akıllı sözleşmeler üzerinden yürütülmektedir. Bu sayede aracılar arasındaki süreç daha hızlı ve daha kolay bir şekilde sonuçlanabilmektedir (Beştaş, 2023). Bu iki ana fikir etrafında merkezi sistemlerin sorunlarına karşı merkeziyetsiz bir yapı olarak merkeziyetsiz finans kavramı oluşmaya başlamıştır. Bu fikir, blok zincirinin getirdiği dağıtık bir yapıya sahip şeffaf ve güvenli bir altyapı oluşturmaktadır (Balcıoğlu vd., 2023). Finans uygulamalarının blok zinciri üzerinden yapılması planlandığı için blok zincirini oluşturan bilgisayar kodları ve algoritmalar, istenilen işlemler silsilesini otomatik bir şekilde yapmakta ve kendi kendini kontrol etmektedir (Bayram ve Çakmak, 2023).

Merkeziyetsiz finans kavramını geleneksel finans kavramında ayıran belirli özellikler vardır. Bu özellikler (Beştaş, 2023);

Ademi Merkeziyetçilik: Herhangi bir merkezi kontrol aracı olmadan çalışan DeFi sistemlerinde işlemleri doğrulayan ve kontrol eden özel kullanıcılar, düğümler vardır. Böylece herhangi bir aracı kurum olmadan kullanıcılar birbirleri ile direkt haberleşme sağlayabilmektedir. Ayrıca DeFi sistemleri sansüre dayanıklıdır ve hatanın oluşması için tek bir arıza noktasından ziyade tüm düğümlerin aynı anda hata yapması gereklidir (Hertig, 2024).

Şeffaflık: Yapılan tüm işlemlerde blok zinciri altyapısı kullanıldığından dağıtık defterlere yazılmaktadır. Bu defter, zincirdeki veya zincirde olmayan herkese açık olduğundan tüm işlemler, isteyenler tarafından kontrol edilebilir. Bu durum DeFi sistemlerinin hesap verilebilirliğini arttırır (Royal, 2025).

Erişilebilirlik: Merkezi finans sistemlerinde küresel ekonomiye katılım, ülkenin merkezi finans kurumuna bağlıdır. Ancak merkezi olamayan finans sistemlerinde ulusal ekonomiye bağlanmak isteyen bir kişinin tek ihtiyacı internettir (Hertig, 2024).

Gözaltı Dışılık: DeFi sistemlerinde işlemler dijital cüzdanlarda bulunan bakiyelere göre yapılmakta ve bu bakiyeler herkes tarafından izlenebilmektedir. Böylelikle kullanıcılar arasındaki güven artmakta, dolandırıcılık veya hırsızlık riski azalmaktadır (Royal, 2025).

Güvenlik: Blok zinciri teknolojisinde kullanılan kriptografik protokoller sayesinde işlemler daha güvenli ve saldırılara daha dirençli olmaktadır (Schär, 2021).

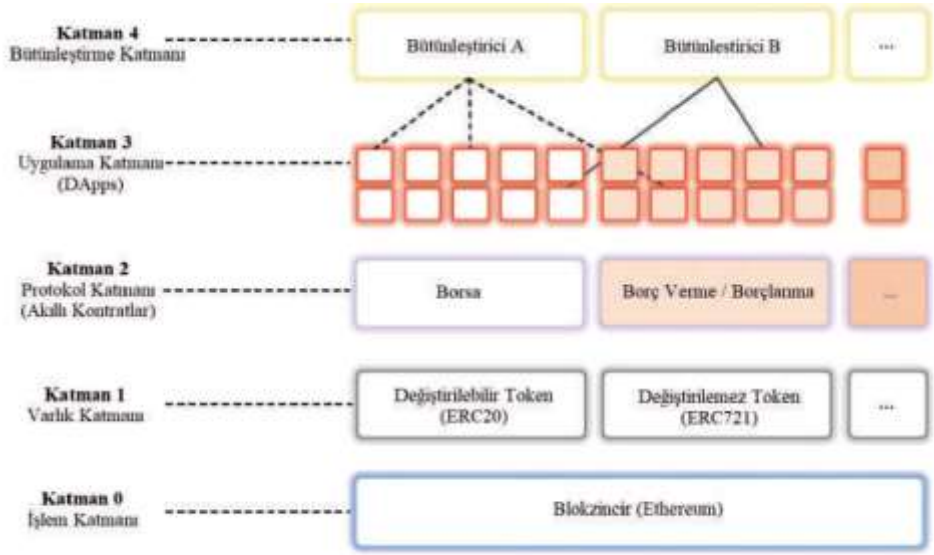
Programlanabilirlik: Akıllı sözleşmeler sayesinde finansal süreçler bir otomasyon ağına dönüştürülür. Böylelikle aracılara olan ihtiyaç azalırken sözleşmeye konu olan taraflar arasında verimlilik artmaktadır (Schär, 2021).

Birlikte Çalışılabilirlik: DeFi uygulamaları tek bir blok zincir ağına bağlı iken diğer blok zincirlere ve bunlar üzerine kurulu diğer DeFi uygulamalarına ulaşabilmektedir (Beştaş, 2023).

5.1. Merkeziyetsiz Finansın Katmanları

Merkeziyetsiz finans sistemlerinin çok katmanlı bir altyapısı vardır. En alt katmanda kripto varlıklar yer almaktadır. Kripto varlıklar cüzdan denilen elektronik kayıt ortamlarında saklanmaktadır. Saklanan kripto varlıklar ile işlem katmanında istenilen finansal işlemleri gerçekleştirmektedir. Bir diğer katman ise bilgi sağlayıcılardır. Bu katmanda blok zinciri ile dış dünya arasında bilgi alışverişi sağlanır. Bu katman ile akıllı sözleşmelerin oluşturulması veya DeFi protokollerinin oluşturulması sağlanır (Sert T., 2022).

Bu katmanlar daha detaylı bir şekilde incelenirse 5 ayrı katmana ayrılabilir. Bu katmanlar; işlem katmanı, varlık katmanı, protokol katmanı, uygulama katmanı ve bütünleştirme katmanından oluşmaktadır (Birrer vd., 2023).



Şekil 5.1. DeFi Katmanları (Birrer vd., 2023)

İşlem katmanında sistemin üzerine inşa edilmesi beklenen blok zinciri bulunur. Blok zincirinin tüm özellikleri en alt katmanda olduğundan tüm sisteme yayılması hedeflenmektedir (Birrer vd., 2023).

Varlık katmanında ise blok zinciri üzerinde çalışacak olan kripto varlık veya token'lar oluşturulur. Böylelikle genel olarak kullanılan blok zincirinden bağımsız ayrı uygulamalar aynı altyapı içerisinde çalışabilmektedir (Birrer vd., 2023).

Protokol katmanında, blok zinciri üzerine inşa edilen akıllı sözleşmeler bulunmaktadır. Bu sözleşmelere ait kodlar ve algoritmalar bu katmanda çalışmaktadır. Bu katmanda her bir akıllı sözleşme belirli bir finansal uygulama için kullanılabilmektedir (Birrer vd., 2023).

Uygulama katmanında bir alt katmanda oluşturulan akıllı kontratların dış dünya ile bağlantısı sağlanmaktadır. Bu katmana örnek olarak DeFi uygulaması olan Uniswap örnek verilebilir. Bu katman genel olarak web tabanlıdır (Birrer vd., 2023).

Bütünleştirme katmanında ise birbirinden bağımsız oluşturulan finansal uygulamalar arasındaki bağlantılar oluşturulur. Böylece farklı uygulamaların karşılaştırılmasına imkan sağlanmaktadır (Birrer vd., 2023).

5.2. Merkeziyetsiz Finansın Uygulama Alanları

Merkeziyetsiz finans uygulamaları arasında en yaygın olanlar şunlardır; stabil kripto para (stablecoin), kripto varlık alım satımı, borçlanma, borç verme, türev araçlar, sigorta, varlık yönetimi ve yardımcı hizmetlerdir (Balcıoğlu vd., 2023). Bu uygulamalarda, uygulamanın amacı ve boyutuna göre farklı blok zincirlerini kullanılabilir. Bununla birlikte farklı blok zincirleri üzerinde anlaşılan güvenlik protokollerini değiştirmeden blok boyutu veya fikir birliği algoritmaları gibi farklı değişiklikler yapılabilmektedir. Böylece farklı zincirler farklı uygulama çeşitlerine aynı güvenlik ve akıllı sözleşme platformu sağlamış olur (Beştaş, 2023).

Borç verme işlemleri, DeFi uygulamalarında anonim hesaplar arasında gerçeleşmekte, bilinen tek şey elektronik cüzdan numarası ve cüzdanın sahip olduğu kripto varlıkların değeridir. Bu değer üzerinden teminat gösterilerek borç alma veya borç verme işlemleri gerçekleştirmektedir (Balcıoğlu vd., 2023).

Opsiyon ve türev araçları gibi finansal uygulamalar da DeFi sistemlerinde yer alır. Merkeziyetsiz türev opsiyonları ise kripto varlıkların herhangi bir olay karşısındaki değişiminden elde edilen gelirdir. DeFi sistemleri ile geleneksel finans sistemleri aynı amaç doğrultusunda opsiyon türev araçlarının kullanmaktadır (Schär, 2021).

DeFi sistemlerinde yatırım fonları da bulunmaktadır. Bu fonlar farklı kripto varlıklardan oluşan bir sepetin değeri ile belirlenir (Schär, 2021). Blok zinciri teknolojileri kullanıldığından akıllı sözleşmeler ile fonun içerisinde bulunan kripto varlıkların dağılımı istenilen koşullarda otomatik olarak değiştirilebilmekte ve basit stratejiler otomatikleştirilmektedir. Ayrıca bu özellik sayesinde varlık yönetim fon kurulumu, işletilmesi ve denetimi için gereken maliyetlerin azalması beklenir (Balcıoğlu vd., 2023).

Bir diğer merkeziyetsiz finans uygulaması ise merkeziyetsiz finans borsalarıdır (DEX). Bu borsalar geleneksel finans sistemindeki borsalarda yapılan hisse alım/satım işlemine benzemektedir. DEX borsalarında kripto varlıklar blok zinciri teknolojisi üzerinden alım/ satımına izin veren eşler arası bir pazardır (Didenko, 2022).

Stabil kripto paralar, merkeziyetsiz finans uygulamalarının geleneksel finans sitemi ile arasında köprü işlemi gören kripto varlıklarıdır. Bu varlıklar, geleneksel finans sitemlerinde kullanılan bir varlığın değerine eşit olan kripto varlıklardır ve blok zinciri ağlarında halka açık olarak, şeffaf bir şekilde işlem görmektedirler. Bu varlıklar likidite sağlamak için sıklıkla kullanılmaktadırlar (Balcıoğlu vd., 2023).

5.3. Kripto Para Piyasasındaki Regülasyonlar

Kripto paralar, geleneksel finansal araçlardan farklı olarak merkeziyetiz yapıları ve uluslararası olmaları nedeniyle regülasyon açısından çeşitli zorluklar sunmakta, bu zorluklar kripto para piyasasında regülasyon sağlamak isteyen birçok ülke ve düzenleyici kurumun çeşitli stratejiler ve yaklaşımlar oluşturmasını zorunlu hale getirmektedir. Bu stratejiler arasında düzenleyici çerçevelerin oluşturulması, güvenlik önlemleri, uluslararası iş birliği, yatırımcı koruma, vergilendirme, AML ve KYC yönergeleri, teknolojik çözümler, pazar manipülasyonu ile mücadele ve finansal entegrasyon yer almaktadır. Kripto para piyasalarının dinamik ve küresel doğası, düzenleyicilerin sürekli olarak uyum sağlamalarını ve piyasa koşullarına göre düzenlemeler yapmalarını gerektirmektedir.

Kripto para piyasalarının güvenli ve düzenli bir biçimde işleyebilmesi adına çeşitli ülkeler tarafından yasal ve kurumsal düzenlemeler oluşturulmuştur. Bu düzenlemeler, kripto varlıkların ticareti, kullanımı ve mülkiyetine ilişkin esasları belirlemenin yanı sıra, özellikle kripto para borsalarının faaliyetlerini lisanslama ve denetim altına alma amacı taşımaktadır (Zohar, 2016). Küresel ölçekte farklı yaklaşımlar benimsenmiş olmakla birlikte, bazı ülkeler bu konuda öncü konumda yer almakta ve oldukça kapsamlı düzenleyici çerçeveler geliştirmiştir. Örneğin Japonya, 2017 yılında yürürlüğe giren Ödeme Hizmetleri Yasası ile kripto para borsalarının faaliyet göstermesi için Finansal Hizmetler Ajansı'ndan (FSA) lisans almasını zorunlu kılmıştır. Bu yasa kapsamında müşteri varlıklarının korunması, güvenlik protokollerinin uygulanması ve mali raporlamaların yapılması gibi kurallar getirilmiştir (Houben ve Snyers, 2020). Almanya ise kripto varlıkları finansal araç olarak sınıflandırmakta ve bu nedenle kripto para borsalarının faaliyetlerini Federal Finansal Denetim Otoritesi (BaFin) denetiminde yürütmesini zorunlu kılmaktadır (EBA, 2019). Benzer şekilde Fransa da kripto varlık hizmet sağlayıcılarının (VASPs) Fransız Finansal Piyasalar Otoritesi (AMF) tarafından onaylanmasını zorunlu tutmaktadır (OECD, 2020). Amerika Birleşik Devletleri'nde, düzenleme yetkisi farklı kurumlar arasında paylaşılmıştır. Kripto paraların menkul kıymet niteliği taşıyıp taşımadığına göre Menkul Kıymetler ve Borsa Komisyonu (SEC) ya da Emtia Vadeli İşlemler Komisyonu (CFTC) yetkili olmaktadır. Bu kurumlar, kripto para borsalarının yatırımcıları koruyacak şekilde faaliyet göstermesini sağlamak amacıyla çeşitli lisans ve uyum yükümlülükleri getirmektedir (Arner vd., 2017). Kanada, kripto para borsalarını kara para aklamayla mücadele (AML) ve müşteri tanıma (KYC) kurallarına tabi tutarak Finansal İşlemler ve Rapor Analiz Merkezi (FINTRAC) gözetiminde düzenlemektedir (Diaby vd., 2021). Avusturalya da benzer şekilde Avusturalya

İşlem Raporları ve Analiz Merkezi (AUSTRAC) üzerinden kripto para borsalarının faaliyetlerini denetlemektedir. Singapur, kripto para piyasasına daha kapsayıcı ancak kontrollü bir yaklaşım benimsemiş ve 2020 yılında yürürlüğe giren Ödeme Hizmetleri Yasası kapsamında kripto hizmet sağlayıcılarının Singapur Merkez Bankası'ndan (MAS) lisans almasını şart koşmuştur (Monetary Authority of Singapore (MAS), 2020). Güney Kore ise sanal varlık hizmet sağlayıcılarının lisanslandırılması ve denetlenmesi sürecini Finansal Hizmetler Komisyonu (FSC) ile Kore Finansal İstihbarat Birimi (KFIU) aracılığıyla yürütmektedir (Financial Action Task Force. (FATF), 2021). Estonya, Avrupa Birliği içinde kripto para düzenlemeleri konusunda en aktif ülkelerden biri olmuş ve lisanslama süreçlerini dijital ortamda hızlandıran kapsamlı bir mevzuat geliştirmiştir (Zetzsche vd., 2019).

Bu örnekler göstermektedir ki; kripto para piyasalarının düzenlenmesinde ülkeler arasında yaklaşım farklılıkları olsa da ortak amaç piyasa istikrarının sağlanması, yatırımcıların korunması ve yasa dışı faaliyetlerin önlenmesidir.

Düzenleyici kurumlar, kripto para piyasalarının uluslararası standartlara uygunluğunu sağlamak amacıyla uyum standartları belirleyebilir. Bu standartlar, anti-money laundering (AML - kara para aklamayı önleme) ve know-your-customer (KYC - müşteri tanıma) gibi alanları kapsamaktadır (Baur ve Dimpfl, 2018).

Kripto para piyasaları, kara para aklamayı önleme (AML) kurallarına tabi olabilirler. Bu kurallar, kullanıcıların kimliklerini doğrulamayı ve şüpheli işlemleri izlemeyi içermektedir. AML politikaları, kripto para borsalarının ve hizmet sağlayıcılarının yasal düzenlemelere uymasını sağlayan politikalardır (FATF, 2019).

Kripto para borsaları ve diğer hizmet sağlayıcıları, müşteri tanıma (KYC) prosedürlerini uygulayarak, kullanıcıların kimliklerini doğrular. Bu, dolandırıcılığın ve yasa dışı faaliyetlerin önlenmesine yardımcı olur (FATF, 2019).

Kripto para işlemlerinin izlenmesi ve analiz edilmesi, düzenleyicilere şüpheli faaliyetleri tespit etme konusunda önemli yardımcılardır. Blok zinciri teknolojisi, işlemlerin şeffaf ve değiştirilemez bir şekilde kaydedilmesini sağlamakta bu da düzenleyicilerin analiz yapmasını kolaylaştırmaktadır (Baur ve Lucey, 2010).

Regülasyon teknolojisi (RegTech) kullanılarak, kripto para piyasalarında uyum sağlamak daha verimli hale gelebilmekte, RegTech çözümleri otomatik uyum raporlaması ve izleme sağlamaktadır (Arner vd., 2016).

Kripto para piyasalarında pazar manipülasyonu gibi yasa dışı faaliyetleri önlemek için düzenlemeler getirilmesi önem arz etmektedir. Bu düzenlemeler, balon ve boşaltma (pump-and-dump) stratejileri gibi manipülasyonları engellemeye yönelik kuralları içinde bulundurmalıdır (Easley vd., 2011).

Kripto para dolandırıcılığını önlemek için düzenleyiciler, sahte ICO'lar (Initial Coin Offerings - İlk Madeni Para Teklifleri) ve diğer dolandırıcılık faaliyetlerine karşı önlemler alırlar. Kullanıcıların ve yatırımcıların güvenliğini sağlamak için şeffaflık ve düzenleme önlemleri uygulanır (Kristoufek, 2013).

Kripto paraların geleneksel finansal sistemlerle entegrasyonu, düzenleyici çerçevelerin oluşturulmasını ve uygulanmasını gerektirmekte, bu entegrasyon kripto para ticaretinin ve işlemlerinin geleneksel bankacılık ve finansal sistemlerle uyumlu hale getirilmesini içermektedir (Baur ve Dimpfl, 2018).

Kripto para piyasalarının finansal sistemle entegrasyonu, risklerin yönetilmesini, düzenlenmesini, potansiyel finansal krizlere karşı önlemler almayı ve sistemin genel güvenliğini sağlamayı içermektedir (Arner vd., 2016).

Kripto para borsaları ve cüzdan sağlayıcıları için güvenlik standartları belirlenmesi ve oluşturulması gereklidir. Bu standartlar, siber saldırılara karşı korunmayı, kullanıcı fonlarının güvenliğini ve veri gizliliğini sağlayan standartlardır. Düzenleyiciler, güvenlik ihlallerini önlemek için çeşitli teknik ve yönetimsel önlemler alabilirler (Nakamoto, 2018).

Kripto para borsaları ve diğer hizmet sağlayıcılar, düzenleyici kurumlar tarafından denetlenmekte, bu denetimler operasyonel şeffaflığı artırmak ve kullanıcıların güvenliğini sağlamak amacıyla yapılmaktadır (Cheah ve Fry, 2015).

Kripto para piyasaları küresel bir doğaya sahip olduğundan, uluslararası iş birliği ve standartlaştırma büyük önem arz etmektedir. Farklı ülkelerin düzenleyici kurumları birlikte kripto para piyasalarının etkili bir şekilde düzenlenmesi için iş birliği yapabilmekte, uluslararası kuruluşlar kripto para düzenlemeleri için ortak standartlar ve yönergeler geliştirebilmektedirler (FSB, 2020).

Kripto paraların düzenlenmesinde küresel standartların oluşturulması, çeşitli ülkeler arasında uyumlu bir düzenleyici çerçeve sağlamasının yanı sıra bu standartlar, sınır ötesi işlemleri ve uluslararası ticareti düzenlemektedirler (FATF, 2019).

Kripto para piyasalarındaki riskleri anlamak ve bilinçli yatırım kararları alabilmek adına yatırımcı eğitim programları düzenlenmektedir. Bu programlar, yatırımcıların kripto paraların özellikleri, riskleri ve düzenlemeleri hakkında bilgi sahibi olmalarını sağlamaktadır (Corbet vd., 2018).

Düzenleyiciler, kripto para kullanıcılarına yönelik rehberler ve bilgilendirme materyalleri sunar. Bu materyaller, güvenli işlem yapma ve dolandırıcılıklardan kaçınmak için nelere dikkat edileceğini hususunda bilgi vermektedir (Yermack, 2013).

Düzenleyiciler, kripto para kazançlarının vergilendirilmesini ve raporlanmasını sağlamak için kurallar oluşturmuşlardır. Kripto para kullanıcıları ve işletmeleri, vergi yükümlülüklerini yerine getirmek amacıyla düzenli raporlama yapmalı ve gelirlerini beyan etmelidir (OECD, 2020). Kripto para borsaları ve diğer finansal hizmet sağlayıcıları, finansal durumlarını ve işlemlerini düzenli olarak raporlanması piyasa şeffaflığını artırmakta ve yatırımcıların bilgilendirilmesini sağlamaktadır (Zohar, 2016).

Kripto varlıkların finansal raporlama ve vergilendirilmesi, dijital ekonominin küresel ölçekteki entegrasyonu ve düzenleyici belirsizliklerin ortadan kaldırılması açısından kritik bir öneme sahiptir. Birçok ülke, kripto varlıkların finansal raporlama ve vergilendirilmesine yönelik çeşitli düzenlemeler geliştirmiştir. Bu düzenlemelerle birlikte kripto paraların finans sektöründeki yerini de etkilemektedir (OECD, 2020).

Avrupa Birliği, kripto varlık hizmet sağlayıcılarının (VASPs) finansal raporlama yükümlülüklerini belirlemek amacıyla 2026 yılında yürürlüğe girmesi planlanan DAC8 düzenlemesini kabul etmiştir. Bu düzenleme, kripto varlık işlemlerinin şeffaflığını artırmayı ve vergi uyumunu sağlamayı hedeflemektedir (DAC8: Reporting and exchange of information on crypto-assets and cross-border rulings to certain individuals agreed by the Council, 2020).

Amerika Birleşik Devletleri'nde, Kripto Para Borsaları, Menkul Kıymetler ve Borsa Komisyonu (SEC) ve Emtia Vadeli İşlemler Komisyonu (CFTC) tarafından denetlenmektedir. Bu kurumlar, kripto varlıkların finansal raporlamasını düzenleyerek, piyasa şeffaflığını ve yatırımcı güvenini artırmayı amaçlamaktadır (Arner vd., 2017).

Kripto varlıkların vergilendirilmesi konusunda ülkeler arasında farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Örneğin, Almanya bir yıl veya daha uzun süre tutulan kripto varlıkların

satışından elde edilen kazançları vergiye tabi tutmamaktadır, bu da uzun vadeli yatırımcıları teşvik etmektedir (CoinLaw., 2025).

Amerika Birleşik Devletleri'nde kripto varlıklar, Menkul Kıymetler ve Borsa Komisyonu (SEC) ve Emtia Vadeli İşlemler Komisyonu (CFTC) tarafından denetlenmektedir. Bu kurumlar, kripto varlıkların finansal raporlamasını düzenleyerek, piyasa şeffaflığını ve yatırımcı güvenini artırmayı amaçlamaktadır (Arner vd., 2017).

Singapur'da kripto varlıklar, Singapur Merkez Bankası (MAS) tarafından düzenlenmektedir. MAS, kripto varlık hizmet sağlayıcılarının lisanslanmasını ve düzenlenmesini sağlayarak, piyasa istikrarını ve yatırımcı güvenini korumaktadır (Monetary Authority of Singapore (MAS), 2020).

Türkiye'de ise kripto varlıkların vergilendirilmesi konusunda henüz net bir düzenleme bulunmamaktadır. Ancak, Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (TCMB) ve Hazine ve Maliye Bakanlığı, kripto varlıkların finansal sistem üzerindeki etkilerini izlemekte ve gelecekteki düzenlemeler için çalışmalar yapmaktadır.

6. ENDEKS

Finans literatüründe endeksler, genellikle piyasa performansını ölçmek, ekonomik göstergeleri takip etmek veya yatırım stratejilerini değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. Endeks, bir grup veri veya varlığın performansını temsil eden ve genellikle belirli bir dönemdeki değişimleri ölçen bir göstergedir. Endeksler, genellikle bir referans değerine (temel dönem değerine) göre hesaplanır ve bu referans değerine göre artış veya azalış oranını gösterir. Endeksler, çeşitli veri kümesinin performansını ölçmek, piyasa eğilimlerini analiz etmek ve yatırım kararları almak için kritik araçlardır (Arnott vd., 2005).

Piyasa endekslerinden sektörel endeksler, ekonomik göstergelerden risk endekslerine kadar geniş bir yelpazeye sahip olan endeksler, finansal analizlerde ve ekonomik değerlendirmelerde temel araçlar olarak kullanılmaktadır.

Finans alanında endekslerin kullanım amaçlarından bir tanesi de içerisinde bulunan varlıkların fonksiyonlarını ölçmektir. Bu fonksiyonun genel amacı endeksin performansını ölçmek, aynı zamanda endeksler arasında karşılaştırma yaparak endeks içindeki varlıkların değeri hakkında analizlerin yapılmasına da olanak sağlamaktadır. Bu karşılaştırma diğer endekslerin kendi arasındaki karşılaştırması olacabileceği gibi endeksin belirlenmiş standartlara göre karşılaştırılarak performansının takip edilmesi de olabilmektedir (Shashua ve Goldschmidt, 1974).

6.1. Endeks Türleri

Piyasa endeksleri, bir borsa veya piyasadaki hisse senetlerinin performansını ölçen göstergelerdir. Örneğin, S&P 500, Dow Jones Industrial Average gibi endeksler, piyasadaki genel eğilimleri ve performansı yansıtır. Piyasa endeksleri genellikle ağırlıklı ortalamalarla hesaplanan ve yatırımcıların piyasa performansını izlemelerini sağlayan endekslerdir (Campbell ve Shiller, 1988).

Sektör Endeksleri: Belirli sektörlerdeki hisse senetlerinin performansını ölçen endekslerdir. Örneğin, teknoloji sektörü endeksi, sağlık sektör endeksi. Sektör endeksleri, yatırımcıların belirli sektörlerdeki performansı değerlendirmesine ve bu sektörlere yönelik stratejiler geliştirmesine olanak tanır (Fama ve French, 1993).

NASDAQ-100 Teknoloji Endeksleri: Teknoloji sektöründeki büyük şirketlerin performansını ölçmeye yarayan endekslerdir.

S&P Küresel Temiz Enerji Endeksi: Yenilenebilir enerji sektöründeki şirketlerin performansını takip eden endekstir.

Leading Economic Index (LEI): Ekonomik büyüme ve durgunluk dönemlerini tahmin etmek için kullanılan bir endekstir. ABD'deki öncü ekonomik göstergelerden bir tanesidir. Bu gösterge ekonomik değişkenlerin yanında finansal bileşenleri de içermektedir (Levanon vd., 2015).

Risk ve Volatilite Endeksleri: Piyasa riskini ve volatilitesini ölçen endekslerdir. Bu endeksler genel olarak örtülü volatilite kavramından ortaya çıkmaktadır. Birden fazla endeks çeşidine sahip bu kavram, kullanım alanına göre farklı formatlarda ortaya çıkmaktadır (Telçeken vd., 2019).

VIX (Volatility Index): Piyasaların gelecekteki belirsizlikleri hakkında öngörü sağlayan, volatilitesini ölçen ve genellikle "korku endeksi" olarak adlandırılan endekstir (Telçeken vd., 2019).

Sabit Getirili Menkul Kıymetler Endeksleri: Tahvil ve benzeri sabit getirili araçların performansını ölçen endekslerdir. Bloomberg ABD Toplam Tahvil Endeksi buna bir örnektir. Bu endeksler, sabit getirili yatırım araçlarının performansını ve riskini değerlendirmede kullanılmaktadır (Fabozzi, 2008).

Küresel Endeksler: Dünya çapındaki çeşitli piyasaların performansını ölçen, uluslararası piyasalarda genel eğilimleri ve yatırım fırsatlarını değerlendirmek için kullanılan endekslerdir (Flannery ve Schaefer, 2000).

Türev Endeksleri: Türev ürünlerin (opsiyonlar, vadeli işlemler) performansını ölçen endekslerdir. Örneğin, VIX (Volatilite Endeksi). Bu endeksler, piyasa volatilitesini ve risk algısını ölçen önemli göstergelerdir (Hull, 2012).

Risk Endeksleri: Piyasa riskini ve volatilitesini ölçmeye yarayan endekslerdir. Örneğin, GARCH modelleri. Bu endeksler, piyasa riskini ölçmek ve portföy risk yönetimi için kullanılmaktadır (Engle ve Bollerslev, 1986). GARCH modelleri, endeks değişimlerinin zaman serisi olarak ele alındığı taktirde belirli zaman serilerinde volatilite değeri düşük iken belirli serilerde yüksek çıkmaktadır. Bu zaman serilerinin istatiksel analizi için kullanılan başlıca metotlardan birisidir. Bu volatilite serileri genellikle büyük bir finansal değişkene bağlı olmaktadır (Franses ve DIJK, 1996).

Ekonomik Göstergeler Endeksleri: Makroekonomik performansı ve ekonomik eğilimleri ölçen endekslerdir. Öncü Göstergeler Endeksi (LEI) buna bir örnektir. Bu endeksler, ekonomik döngüleri ve gelecekteki ekonomik aktiviteleri tahmin etmek için kullanılmaktadır (Sahm vd., 2004).

Bitcoin Endeksi: BTC'nin fiyatını, performansını, piyasa içindeki yerini veya yatırımcı psikolojisini ölçmek için kullanılan endeks türüdür.

Ethereum Endeksi: Ethereum ve diğer altcoinlerin performansını ölçen endeksler, kripto para piyasasındaki genel trendleri değerlendirmek için kullanılmaktadır (Yermack, 2014).

6.2. S&P 500 Endeksi

S&P 500 Endeksi, Amerika Birleşik Devletleri'nin en geniş kapsamlı ve etkili hisse senedi endekslerinden biridir. 1957 yılında Standard & Poor's tarafından oluşturulan bu endeks, ABD borsa piyasasının genel sağlığını ve performansını ölçmek için kullanılmaktadır. Oluşturulduğu tarihten itibaren, S&P 500 Endeksi, borsa performansının önemli bir göstergesi haline gelmiş ve finansal analizlerde geniş kapsamlı bir şekilde kullanılmıştır (Campbell ve Shiller, 1988). S&P 500, 500 büyük şirketin hisse senetlerini kapsayan ve piyasa değeri ağırlıklı bir endekstir (hisse senedi fiyatı çarpı toplam hisse sayısı). Şirketlerin endeks içindeki ağırlığı, toplam piyasa değeri ile orantılıdır. Bu metodoloji, büyük ve yüksek piyasa değeri olan şirketlerin endeks üzerinde daha fazla etkiye sahip olmasını sağlamaktadır (Shiller, 2000). S&P 500 Endeksi, finansal piyasalarda önemli bir rol oynayan, geniş kapsama olan bir endekstir. S&P 500, sadece Amerikan borsa piyasasını değil, aynı zamanda küresel ekonomik trendleri ve finansal stratejileri etkileyen bir göstergedir (Blume ve Edelen, 2004). Endeks, geniş bir sektör yelpazesini kapsadığı için Amerikan ekonomisinin genel sağlığını ve çeşitli sektörlerdeki performansı yansıtma kapasitesine sahiptir. Bununla birlikte S&P 500, portföy çeşitlendirmesi için kullanılan bir referans noktası olmaktadır. Yatırımcılar, endeksin performansını, yatırım stratejilerini belirlerken ve risk yönetimi yaparken bir kıyaslama aracı olarak kullanmaktadır (Fama ve French, 1993). Uluslararası yatırımcılar ve kurumlar, ABD piyasalarındaki değişiklikleri ve ekonomik gelişmeleri değerlendirmek için S&P 500'ü değerlendirirler (Geoffrey, 2004) Birçok yatırım fonu ve ETF (Borsa Yatırım Fonları) bu endeksi izlemektedir. Bu strateji, yatırımcılara, piyasa performansını değerlendirme ve yatırım getirisini analiz etme imkânı tanır. Endeksin performansı, piyasaların genel yönelimi hakkında bilgi verir ve yatırımcılar,

S&P 500 Endeksi'ni takip ederek ekonomik trendleri ve piyasa risklerini değerlendirebilir (Friedman, 1970).

S&P 500 Endeksi, yatırımcılar için risk ve volatilite analizlerinde de önemli bir araçtır. Endeksin tarihsel performansı, piyasa risklerini değerlendirmek ve yatırım stratejilerini optimize etmek için kullanılır. Ayrıca, S&P 500 üzerinde yapılan volatilite analizleri, piyasa dalgalanmalarını ve ekonomik belirsizlikleri anlamada kritik bir rol oynamaktadır (Hull, 2012).

6.3. Kripto Paraların Endekslerle Karşılaştırılması

Kripto paraların endeksler ile karşılaştırılması, geleneksel endeks karşılaştırma ölçütlerinden farklıdır. Bunun en başlıca nedeni kripto para endekslerinin geleneksel endekslere göre farklı özelliklere sahip olmasıdır. Bu özelliklerin en başında kripto paraların düşük korelasyon değeri ile birlikte yüksek volatiliteye sahip olmasıdır. Kripto paraların endekslerle karşılaştırılması, çeşitli performans ölçütleri, volatilite analizleri, piyasa likiditesi ve yatırım stratejileri gibi kavramlar aracılığı ile yapılmaktadır.

Fiyat Endeksleri: Kripto paraların performansını değerlendirmek için kullanılan endekslerdendir. Bu endeksler, kripto paraların tarihsel fiyat hareketlerini ve genel trendlerini ölçer. Örneğin, Bitcoin'in performansını değerlendirmek için Bitcoin fiyat endeksi kullanılabilir.

Yatırım Getirisi: Kripto paraların yatırım getirisi, genellikle günlük, haftalık veya aylık bazda hesaplanan getiri oranları ile değerlendirilir. Bu getiriler, kripto paraların endekslerle karşılaştırılması için kullanılır. Örneğin, Bitcoin'in yıllık getirisi, S&P 500'ün yıllık getirisi ile karşılaştırılabilir (Baur ve Dimpfl, 2018).

Volatilite Endeksleri: Kripto paraların volatilitesi genellikle geleneksel piyasa endekslerinden daha yüksek olabilmekte, kripto para volatilitesi, VIX gibi volatilite endeksleri ile karşılaştırılabilmektedir. Ayrıca, kripto paraların volatilite göstergeleri, örneğin bitcoin volatilite endeksi, endekslerle karşılaştırmak için kullanılmaktadır.

Risk Ölçütleri: Kripto paraların risk profili, Sharpe Oranı, Sortino Oranı gibi risk ölçütleri ile analiz edilir. Bu risk ölçütleri, kripto paraların ve endekslerin riske göre ayarlı getirisini karşılaştırmak için kullanılır (S. S. Wang ve Wang, 2018).

Likidite Endeksleri: Kripto paraların piyasa likiditesi, işlem hacmi ve derinlik analizi ile değerlendirilir. Kripto paraların likidite endeksleri, özellikle büyük ölçekli endekslerle

karşılaştırıldığında önemlidir. Likidite, piyasada büyük miktarda işlem yapabilme yeteneği ile ölçülür.

İşlem Hacmi ve Derinlik: Kripto para piyasalarında işlem hacmi ve derinlik, endekslerin likidite ve işlem kolaylığı ile karşılaştırılabilir. Kripto paraların işlem hacmi genellikle çok yüksek olabilir ancak piyasa derinliği ve likidite farklılık gösterebilmektedir (Bariviera ve Vela, 2017).

Korelasyon Analizi: Kripto paraların ve geleneksel endekslerin performansları arasındaki korelasyonlar analiz edilir. Örneğin, Bitcoin ve S&P 500 arasındaki korelasyon, iki piyasanın birlikte nasıl hareket ettiğini gösterir.

Regresyon Analizi: Kripto paraların getirilerinin, endekslerin getirileri ile ilişkisi regresyon analizi ile incelenmektedir. Bu analiz, kripto paraların geleneksel finansal piyasalara ne kadar bağımlı olduğunu gösterir (Corbet vd., 2018).

7. TAHMİN GÜCÜNÜ ÖLÇMEYE YARAYAN ANALİTİK YÖNTEMLER

7.1. Granger Nedensellik Testi

Zaman serileri arasındaki nedensellik ilişkisini belirlemek için en sık kullanılan yöntemlerden biri Granger nedensellik analizidir. Granger (1969) tarafından geliştirilen bu test, bir serinin (X) diğer bir serinin (Y) gelecekteki değerlerini anlamlı şekilde tahmin edip edemediğini incelemektedir. Bu anlamda "nedensellik", istatistiksel bağlamda bir öngörülebilirlik anlamı taşımaktadır. Granger analizinin uygulanabilmesi için ön koşul, analizde kullanılan tüm zaman serilerinin durağan olmasıdır. Aksi takdirde, durağan olmayan serilerle yapılan analizler yanıltıcı sonuçlar üretebilir (Gujarati, 2004). Bu nedenle, Granger nedensellik testi uygulanmadan önce serilerin ADF testi ile durağanlığı test edilmesi gerekmektedir.

Granger testi için kurulan modelde temel varsayım, geçmiş dönem değişkenlerinin şimdiki değer üzerinde etkili olabileceğidir. Testin modeli aşağıdaki gibidir (Aktürk, 2003):

$$Yt = \sum_{i=1}^{m} a_i Y_{i-1} + \sum_{i=1}^{m} b_i X_{i-1} + u_{1t}$$

$$X_t = \sum_{i=1}^{m} c_i X_{i-1} + \sum_{i=1}^{m} d_i * Y_{i-1} + u_{2t}$$

- $Yt\ ve\ Xt$: analiz edilen zaman serileridir.
- m: gecikme uzunluğudur (lag length).
- u_{1t}, u_{2t}: hata terimleridir.

Granger nedensellik analizinde hipotezler şu şekilde kurulur (Aktürk, 2003) :

H_0: $X\ değişkeni,\ Y\ değişkeninin\ Granger\ nedeni\ değildir\ (\beta j = 0)$.

H_1: $X\ değişkeni,\ Y\ değişkeninin\ Granger\ nedenidir\ (\beta j = 0)$.

Eğer X'in gecikmeli değerleri Y'yi anlamlı bir şekilde açıklıyorsa, X değişkeni Y'nin Granger nedenidir denir. Bu hipotezler F-istatistiği kullanılarak test edilir. Elde edilen F-

istatistiği, anlamlılık düzeyinde kritik değeri aşarsa, H_0 hipotezi reddedilir ve Granger nedensellik olduğu sonucuna varılır (Granger, 1969).

Uygulamada, modelin gecikme uzunluğu AIC, SIC ya da HQIC gibi kriterler kullanılarak belirlenir. Gecikme sayısı çok düşük seçilirse model bilgi kaybına neden olur; çok yüksek seçilirse model gereksiz parametrelerle şişer ve anlamlılık düşer (Brooks, 2014).

Bu çalışmada, S&P 500 endeksindeki değişimlerin kripto para piyasaları üzerindeki etkisini incelemek için Granger nedensellik analizi uygulanmıştır. Amaç, geleneksel finansal piyasalarda meydana gelen dalgalanmaların kripto para piyasalarında öngörülebilir etkileri olup olmadığını tespit etmektir. Böylece, geleneksel ve kripto para piyasaları arasındaki olası etkileşimi ortaya konulmaya çalışılmıştır.

7.2. Vector Autoregression (VAR) Modeli

VAR (Vektör Oto regresyon) modeli, çoklu zaman serileri arasındaki dinamik ilişkileri analiz etmek amacıyla geliştirilmiş güçlü bir ekonometrik yöntemdir. Bu model ilk kez Sims (1980) tarafından önerilmiş olup geleneksel yapısal modellerin varsayımlarına alternatif olarak, değişkenler arasında yapısal kısıtlamalar getirmeden, serilerin kendi gecikmeli değerleri ve diğer serilerin gecikmeleri üzerinden ilişki kurulmasına olanak tanımaktadır (Sims, 1980).

VAR modeli, her değişkenin yalnızca bağımsız bir değişken olarak değil, aynı zamanda sistemin tamamının bir parçası olarak değerlendirildiği çok denklemlik bir yapıya sahiptir. Bu yönüyle, tüm değişkenler eşanlı olarak hem bağımlı hem de bağımsız değişken rolünü üstlenmektedir. Bu yapısal simetri, modelin ekonometrik analizlerde yaygın olarak tercih edilmesini sağlar. Finansal piyasa analizlerinde özellikle tercih edilen VAR modeli, piyasa değişkenleri arasındaki karşılıklı bağımlılıkları ortaya koymakta, şok analizleri ile bu değişkenlerin zamansal etkilerini incelemektedir (Enders, 2015).

VAR modelinin uygulanabilmesi için öncelikle kullanılan zaman serilerinin durağanlık durumlarının Augmented Dickey-Fuller (ADF) veya Phillips-Perron gibi birim kök testleriyle analiz edilmesi gerekmektedir. Serilerin durağan olmaması halinde, birinci farkları alınarak durağanlaştırma işlemi yapılmalıdır. Aksi takdirde modelin tahmin gücü düşer ve yanıltıcı sonuçlara ulaşılabilir. Tüm serilerin aynı dereceden durağan olması, yani aynı seviyede bütünleşik olmaları durumunda VAR modeli uygulanabilir (Gujarati, 2004).

VAR modellerinde bir diğer önemli aşama gecikme uzunluğunun belirlenmesidir. Gecikme uzunluğu, Akaike Bilgi Kriteri (AIC), Schwarz Bilgi Kriteri (SIC/BIC) ve Hannan-Quinn gibi kriterler kullanılarak belirlenir. Uygun gecikme sayısı belirlendikten sonra model kurulur ve analizler yapılabilir. Bu analizler kapsamında en çok kullanılan araçlar arasında impulse-response fonksiyonları ve varyans ayrıştırma yer almaktadır (Lütkepohl, 2005).

Impulse-response fonksiyonları, sistemdeki bir değişkende meydana gelen bir birimlik beklenmedik değişikliğin (şokun) diğer değişkenler üzerindeki etkisinin zaman içerisindeki dağılımını incelemeye olanak tanır. Varyans ayrıştırma ise her bir değişkendeki öngörü hatalarının ne oranda diğer değişkenlerden kaynaklandığını analiz eder (Enders, 2015). Bu şekilde, S&P 500 endeksinde meydana gelen değişikliklerin kripto para piyasası üzerindeki etkisi zamansal boyutuyla birlikte değerlendirilerek, piyasalar arası olası etkileşimlerin derinlemesine analiz edilmesi mümkün hale gelmektedir. VAR Modeli, bu özellikleriyle yalnızca nedensellik ilişkilerinin değil, aynı zamanda bu ilişkilerin dinamik etkilerinin de ortaya konmasında etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle, geleneksel finansal piyasalardaki değişimlerin, yenilikçi piyasa unsurları olan kripto varlıklar üzerindeki potansiyel etkilerinin belirlenmesinde güçlü bir analitik araç sunmaktadır.

7.3. Çoklu Regresyon Analizi (Multiple Linear Regression)

Çoklu regresyon analizi, istatistiksel modelleme çerçevesinde bir bağımlı değişkenin birden fazla bağımsız değişken aracılığıyla açıklandığı temel bir yöntemdir. Bu yöntem, özellikle sosyal bilimler ve finansal analiz alanlarında oldukça yaygın kullanılmakta olup, bağımlı değişken üzerinde birden çok faktörün etkisinin birlikte değerlendirilmesine olanak tanır. Finansal analizler kapsamında, belirli bir finansal göstergenin (örneğin bir kripto varlığın getirisi gibi) geleneksel finansal göstergeler (S&P 500 endeksi getirisi, faiz oranı, döviz kuru) ile olan ilişkisinin değerlendirilmesi çoklu regresyon modeli ile sağlıklı biçimde gerçekleştirilebilir (Wooldridge, 2013).

Çoklu regresyon modeli, aşağıdaki genel form üzerinden tanımlanır (Kayaalp vd., 2015):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots + \beta_n X_n + \varepsilon$$

Bu denklemde Y, bağımlı değişkeni (örneğin kripto para getirisi), X_1, X_2, ..., X_n bağımsız değişkenleri (örneğin S&P 500 endeksi, faiz oranı vb.), β katsayılar, ve ε ise hata

terimini temsil etmektedir. Her bir β katsayısı, ilgili bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki marjinal etkisini ifade eder.

Modelin geçerliliğini değerlendirmek için bazı temel varsayımların sağlanması gerekir. Bu varsayımlar arasında bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasında doğrusal ilişki, hata terimlerinin normalliği, bağımsız değişkenler arasında çoklu doğrusal bağlantının (multicollinearity) olmaması, hata terimlerinin sabit varyanslı (homoskedastic) olması ve otokorelasyon bulunmaması yer alır. Bahsi geçen varsayımların test edilmesi amacıyla VIF (Variance Inflation Factor), Breusch-Pagan testi, Durbin-Watson testi gibi çeşitli istatistiksel araçlar kullanılmaktadır. Bu testlerin uygulanması, modelin varsayımlarına uygunluğunu değerlendirmeye ve sonuçların geçerliliğini artırmaya yardımcı olur (Gujarati, 2004).

Çoklu regresyon analizinde modelin açıklayıcılığı, R-kare ve düzeltilmiş R-kare değerleri ile değerlendirilir. Bunun yanında, F testi ile modelin genel olarak anlamlı olup olmadığı test edilirken, t-testleri ile her bir bağımsız değişkenin modele katkısı ayrı ayrı incelenir. Elde edilen bu istatistiksel sonuçlar, S&P 500 endeksinin kripto para getirileri üzerindeki etkisinin yönü ve büyüklüğü hakkında bilgi verir.

Sonuç olarak, çoklu regresyon analizi, finansal piyasalardaki karmaşık ilişkilerin daha yalın ve ölçülebilir hale getirilmesini sağlayan etkili bir yöntemdir. Bu yönüyle, geleneksel finansal piyasalar ile kripto varlık piyasaları arasındaki potansiyel ilişkilerin incelenmesi ve yatırım kararlarına bilimsel temel oluşturulması açısından önemli bir araç sunmaktadır (Wooldridge, 2013) .

7.4. Eşbütünleşme ve Hata Düzeltme Modeli (Johansen)

Eşbütünleşme ve Hata Düzeltme Modeli (ECM), zaman serisi analizinde özellikle durağan olmayan ancak birlikte uzun dönemli bir denge ilişkisi içinde olan serilerin analizinde kullanılan güçlü bir yaklaşımdır. Bu yöntemin temelinde, ekonomik teorilerin çoğunda yer alan uzun dönemli denge ilişkilerinin ampirik olarak test edilmesi fikri yer almaktadır. Zaman serilerinin durağan olmaması genellikle geleneksel regresyon analizleri için ciddi bir sorun teşkil ederken, eşbütünleşme yaklaşımı bu sorunu aşarak teorik olarak tutarlı ve anlamlı sonuçlara ulaşılmasına olanak tanır (Engle ve Granger, 1987).

Engle ve Granger (1987) tarafından geliştirilen eşbütünleşme yaklaşımına göre, eğer iki veya daha fazla durağan olmayan (I(1)) serinin doğrusal birleşimi durağan (I(0)) ise, bu seriler arasında uzun dönemli bir denge ilişkisinin var olduğu sonucuna varılır. Bu durum, seriler arasında uzun dönemli bir denge ilişkisinin varlığını gösterir. Söz konusu eş bütünleşik ilişki tespit edildiğinde, kısa dönem sapmaların bu uzun dönem dengeye nasıl düzeltildiğini modellemek amacıyla Hata Düzeltme Modeli (ECM) kurulur. ECM modeli, kısa dönemli dalgalanmaların uzun dönem dengenin çevresinde nasıl gerçekleştiğini ve bu dalgalanmaların nasıl düzeldiğini açıklamak üzere tasarlanmıştır (Gujarati, 2004).

Eşbütünleşme testlerinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri Johansen eşbütünleşme testidir. Bu test, birden fazla eşbütünleşme vektörünün varlığını analiz edebildiği için çok değişkenli sistemlerde oldukça tercih edilmektedir. Johansen testi, hem iz (trace) hem de maksimum özdeğer (maximum eigenvalue) istatistiklerini kullanarak eşbütünleşme ilişkilerini değerlendirir (Johansen, 1991). Test sonucunda elde edilen eşbütünleşme ilişkisi, seriler arasında uzun dönemli bir uyumun varlığını gösterir. Ardından kurulan ECM, hata düzeltme terimi aracılığıyla kısa dönem sapmaların uzun dönem dengeden ne derece ve ne hızla düzeltildiğini gösterir.Bu bağlamda, S&P 500 endeksi ile kripto para piyasaları arasındaki uzun dönemli ilişkinin varlığı eşbütünleşme analizi ile tespit edilebilir. Eş bütünleşme ilişkisinin bulunması halinde, bu iki piyasa arasında belirli bir denge ilişkisinin mevcut olduğu ve piyasalar arasında yapısal bir bağ bulunduğu sonucuna varılabilir. Hata düzeltme modeli sayesinde ise, bu denge ilişkisine geçici şoklar sonucu meydana gelen sapmaların hangi oranda ve sürede düzeltildiği analiz edilebilir.

Sonuç olarak, eşbütünleşme ve ECM modelleri, geleneksel ve dijital finansal piyasalar arasındaki yapısal ilişkilerin belirlenmesi ve bu ilişkilerin zamansal istikrarının incelenmesi açısından oldukça önemli analitik çerçeveler sunmaktadır. Bu yönüyle, yatırım stratejileri ve piyasa öngörüleri açısından kıymetli bilgiler elde edilmesine katkı sağlamaktadır (Enders, 2015).

8. KRİPTO PARA VE ENDEKSLERİN YATIRIM STRATEJİLERİNDEKİ ROLÜ

Kripto paralar ve geleneksel endekslerin her ikisi de portföy çeşitlendirilmesi ve hedge aracı amacıyla kullanılabilmektedir. Genellikle yatırım amacıyla yapılan bu işlemler, kripto paraların endekslerden bağımsız olarak hareket edebilme özelliğine dayanır ve bu da yatırımcıların portföylerini çeşitlendirme stratejileri için cazip kılmaktadır. Kripto paraların endekslerden bağımsız hareket edebilme özelliği beraberinde geleneksel finansal piyasalarda yaşanan dalgalanmalara karşı bir hedge (koruma) aracı olarak kullanılabilmesine olanak sağlar. Endekslerle karşılaştırıldığında kripto paralar, belirli piyasa koşullarına karşı daha az korelasyon gösterebileceği yapılan çalışmalarla gözlemlenmiştir (Baur ve Lucey, 2010).

8.1. Kripto Paraların Değer Değişikliğini Etkileyen Faktörler

Kripto paraların değer analizi geleneksel finans sisteminde bulunan değer analizlerine göre farklı bileşenler içermekte, bu bileşenleri içermesinin en büyük nedeni; kripto para endeksinin geleneksel finans endeksinden ayrışması olarak görülmektedir. Değer analizi yapılırken geleneksel finans sistemlerinde kullanılan yatırımcı davranışları ve piyasa dinamiklerinin kripto para borsasına uygulanmasının zorluğundan gelmektedir. Bu önemli fark, başka faktörler baz alınarak kripto para değerlemesinin yapılabilmesinin önünü açmaktadır. Bu faktörler ise piyasa talebi ve arzı, haber akışları, regülasyonlar, teknolojik gelişmeler, piyasa psikolojisi, likidite, makroekonomik koşullar, piyasa manipülasyonları ve kurumsal katılım olarak düşünülebilir. Kripto paraların fiyatları, temel ekonomik ilkelere göre talep ve arz faktörlerine bağlıdır. Bir kripto para biriminin arzı sınırlıysa ve talep artarsa, bu durum fiyatın yükselmesine neden olabilir. Örneğin, Bitcoin'in toplam arzı sınırlıdır (21 milyon Bitcoin) bu da talep arttığında fiyatların yükselebileceği anlamına gelmektedir (Nakamoto, 2018).

Kripto para piyasaları, haber akışlarına oldukça duyarlıdır. Regülasyon haberleri, teknolojik gelişmeler, güvenlik açıkları ve büyük ölçekli bilgisayar korsancılığı olayları gibi durumlar, kripto para fiyatlarını hızla etkileyebilir. Olumlu haberler genellikle fiyatları artırırken, olumsuz haberler düşüşlere neden olabilmektedir (Kristoufek, 2013).

Kripto para piyasaları, geleneksel finansal piyasalara göre içinde bulunduğumuz yıllarda daha az düzenlemeye tabiidir. Kripto paralar, birçok ülkede düzenleyici boşluklar ve

belirsizlikler içermekte bu da piyasa oyuncuları için riskler ve fırsatlar ortamı sunabilmektedir. Kripto paraların yasal statüsü ve düzenlemeleri, piyasa üzerinde önemli bir etkiye sahip olmakla birlikte yeni düzenlemelerin, yasakların ve devlet politikalarının kripto paraların değerlerini etkileyeceği öngörülebilir. Örneğin, Çin'in kripto para madenciliği ve ticaretine yönelik düzenlemeleri fiyatları önemli ölçüde etkilediği gözlemlenmiştir (Zohar, 2016).

Kripto para terimi günümüzde ileri teknolojinin bir ürünü olduğundan kripto para projelerinin değerinin de teknolojik gelişmelerden ayrı düşünülmesi ve bu değişikliklerden etkilenmemesi yadsınamaz. Projelerdeki güncellemeler, güvenlik iyileştirmeleri ve yeni özellikler yatırımcıların güvenini artırabilir, yatırımcının güveninin artması fiyatları yükseltebilir. Örneğin, Ethereum ağındaki güncellemeler (yükseltmeler) bu kripto paranın değerini etkileyebilir (Buterin, 2014). Kripto paralar, blok zinciri teknolojisi gibi yenilikçi teknolojilere dayanmakta, bu teknolojilerin gelişmesi işlem güvenliğini yükseltmekte ve merkeziyetsizliği teşvik edebilmektedir ve fakat teknik sorunları ve güvenlik açıkları riskini de beraberinde getirebilmektedir.

Kripto para piyasalarında, borsa hack'leri ve güvenlik açıkları gibi riskler daha yaygın ve olası olmakla birlikte geleneksel finansal piyasalarda bu tür güvenlik riskleri genellikle daha düşüktür çünkü daha güçlü güvenlik önlemleri ve düzenlemeler uygulanmaktadır (Nakamoto, 2018).

Kripto para piyasaları, geleneksel borsalarda olduğu gibi yatırımcı psikolojisinden büyük ölçüde etkilenmektedir. FOMO (Fear of Missing Out - Kaçırma Korkusu), FUD (Fear, Uncertainty, Doubt - Korku, Belirsizlik, Şüphe) gibi psikolojik faktörler, kripto para fiyatlarını etkileyebilmekte, bu tür duygusal tepkiler fiyatların hızla artmasına veya düşmesine neden olabilmektedir (Cheah ve Fry, 2015).

Kripto para piyasalarında bireysel yatırımcılar ve teknoloji meraklıları, geleneksel piyasalarda kurumsal yatırımcılar ve profesyonel yatırımcılar daha belirgin bir rol oynamaktadır. Kripto para piyasalarının yüksek derecede spekülatif ve duygusal tepkilere açık piyasalar olması; pazar dinamikleri, sosyal medya etkileri ve topluluk duyarlılıkları tarafından yönlendirilebilir olduğu gerçeğini göstermektedir (Corbet vd., 2018).

Kripto paraların likiditesi, alım satım hacmi, değer değişikliklerinde önemli bir rol oynamakta, düşük likiditeye sahip kripto paralar genellikle büyük alım satımlar sırasında fiyat dalgalanmalarına daha yatkın, yüksek likiditeye sahip kripto paralar ise genellikle daha

istikrarlı fiyat hareketlerine sahip olduğu görülmüştür (Bariviera ve Vela, 2017). Kripto para piyasalarında likidite; özellikle küçük ve yeni piyasaya sürülen kripto paralar için düşük, Bitcoin ve Ethereum gibi büyük hacimli kripto paralar için ise genellikle daha yüksek likiditeye sahiptir (Bariviera ve Vela, 2017).

Kripto para piyasalarının işlem hacmi, geleneksel piyasalara kıyasla genellikle daha değişken olmaktadır. Kripto paraların işlem hacminin düşük olması, büyük işlemler sırasında fiyat hareketliliklerine yol açabilmektedir (Bariviera ve Vela, 2017).

Kripto para piyasalarının pazar derinliği, özellikle büyük işlemler sırasında fiyatların etkilenme derecesi açısından farklılık gösterebilmekte, bazı kripto paralar büyük alım satımlar sırasında fiyat dalgalanmalarına neden olabilmektedir (Easley vd., 2011).

Küresel ekonomik koşullar ve finansal piyasalar, kripto para fiyatlarını önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Örneğin, küresel ekonomik belirsizlikler veya finansal krizler, kripto paralara olan talebi artırır ve bu durumun sonucu olarak da fiyatlar etkilenir. Ayrıca, enflasyon ve para politikaları da kripto paraların değerini etkileyebilen faktörlerdendir (Yermack, 2013).

Kripto para piyasaları, manipülasyon ve spekülasyona açık piyasalarıdır. Büyük yatırımcılar veya "balinalar" olarak adlandırılan büyük portföy sahipleri, piyasaları etkileme gücüne sahiptir ve bu gücü fiyatları manipüle etmek için kullanabilirler (Easley vd., 2011).

Kurumsal yatırımcıların kripto paralara olan ilgisi, güven faktörü başta olmak üzere fiyatlar üzerinde önemli değişikliğe neden olabilmekte, bu yatırımcıların piyasaya girmesi kripto paraların değerlerinde olumlu artış gözlemlenmesini ve piyasanın daha olgun hale gelebilmesini sağlayabilir (Baur ve Dimpfl, 2018).

Kripto para piyasaları genellikle daha genç ve daha az düzenlenmiş olup teknolojik altyapısı ve piyasa olgunluğu geleneksel borsa piyasalarından daha az gelişmiştir. Geleneksel finansal piyasalarda kapsamlı bir altyapı, regülasyon ve işlem güvenliği mevcutken, kripto para piyasalarının daha serbest bir yapıya sahip olması çeşitli güvenlik ve düzenleme sorunlarına yol açabilmektedir (Baur ve Dimpfl, 2018).

Kripto paralar, geleneksel piyasalara göre çok daha yüksek volatiliteye sahiptir. Kripto para fiyatlarının büyük fiyat dalgalanmaları ve ani değişimler gösterme eğiliminde olması yüksek riskli yatırım araçları olarak sınıflandırılmalarına neden olur.

Kripto paraların risk profili ise genellikle daha yüksektir. Yatırımcılar için kaldıraç etkisi yaratmakta, çok daha büyük kazançların veya kayıpların olmasına neden olmaktadır. Yatırımcıların kripto para piyasalarının değişkenliğini ve risklerini dikkate alarak yatırım yapmaları bu sebeple önem arz etmektedir (Cheah ve Fry, 2015).

Kripto paralar dijital varlıklar olduğundan merkezi olmayan yapısı sayesinde merkezi yapının getirmiş olduğu mülkiyet kavramından söz edilemez. Bu durum, mülkiyet transferlerinin daha hızlı ve düşük maliyetle yapılmasını sağlar (Baur ve Lucey, 2010).

Kripto paralar, geleneksel finansal araçlara göre daha bağımsız bir ekonomik yapıya sahiptir ve makroekonomik göstergelerle daha az doğrudan ilişkilidir dolayısıyla ekonomik göstergelerden daha az etkilenmektedirler (Yermack, 2013).

9. KRİPTO PARALARIN FİNANS SEKTÖRÜNDEKİ YERİ

Kripto paralar, finans sektöründe birçok farklı rolü üstlenmektedir; yatırım aracı olarak kullanılması, ödeme sistemlerinde kullanılması, finansal inovasyon ve teknoloji alanlarında, regülasyon çerçevelerinde ve kurumsal katılımda kullanılması gibi. Kripto paraların finans sektöründeki yeri aynı zamanda yüksek volatilite, düzenleyici belirsizlikler ve güvenlik riskleri gibi zorluklarla da şekillenmektedir. Kripto paraların finans sektöründeki etkileri, gelecekteki düzenlemeler, teknolojik gelişmeler ve piyasa dinamikleriyle birlikte evrilecektir. Kripto paraların finans sektöründeki yeri, son yıllarda giderek daha önemli bir hale gelmiş, geleneksel finansal sistemle etkileşimde bulunarak çeşitli yenilikler ve zorluklar getirmiştir. Kripto paralar, yatırımcılar için yeni bir varlık sınıfı da sunmaktadır. Bitcoin, Ethereum ve diğer kripto paralar portföy çeşitlendirmesi amacıyla yatırımcılar tarafından kullanılmaktadır. Kripto paralar, genellikle yüksek volatilite ve potansiyel yüksek getiriler ile dikkat çektiğinden yatırımcılar için cazip bir seçenek haline gelmektedir (Baur ve Dimpfl, 2018). Kripto paralar, diğer yatırım araçları ile karşılaştırıldığında yüksek risk taşıyan varlıklar olarak kabul edilir. Kripto para portföyleri, çeşitli risk faktörlerine ve yüksek volatiliteye maruz kalabilir. Bu nedenle, yatırımcılar risk yönetim stratejileri geliştirmek zorundadır (Corbet vd., 2018).

Kripto paralar, geleneksel ödeme sistemlerinin sınırlamalarını aşabilen alternatif çözümler sunmaktadır. Özellikle Bitcoin ve diğer dijital paralar, hızlı ve düşük maliyetli sınır ötesi transferler için kullanılmaktadır (Nakamoto, 2018).

Kripto paralar, finansal hizmetlerde çeşitli yenilikler getirmiştir. Örneğin, merkeziyetsiz finans (DeFi) uygulamaları, geleneksel bankacılık hizmetlerini merkeziyetsiz platformlar üzerinde sunar. Bu uygulamalar, kredi verme, borçlanma ve tasarruf gibi finansal hizmetleri daha erişilebilir ve şeffaf hale getirmektedir (Buterin, 2014).

Kripto paraların temel teknolojisi olan blok zinciri teknolojisi finans sektöründe, şeffaflık, güvenlik ve veri bütünlüğü sağlaması, finansal işlemlerin daha hızlı ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesiyle, geniş bir uygulama alanı bulmuştur (Arner vd., 2016). Kripto paralar, finansal piyasalar ve diğer endüstriler için çeşitli teknolojik yenilikler sunar. Kripto paraların temelinde yatan blok zinciri teknolojisi bu yeniliklerin temelini oluşturmaktadır. Blok zinciri, işlemleri değiştirilemez bir şekilde kaydettiğinden dolandırıcılık ve hataları azaltmaktadır (Arner vd., 2016). Kripto paralar ve blok zinciri teknolojisi, finansal teknoloji

(fintech) alanında önemli yenilikler getirmiş, Fintech şirketleri, kripto paraların sunduğu fırsatları kullanarak yeni finansal ürünler ve hizmetler geliştirmektedir (Yermack, 2013).

Kripto para piyasaları, geleneksel finansal piyasalardan farklı olarak, genellikle daha spekülatif ve volatil olabilmektedir çünkü sosyal medya etkileri, yatırımcı davranışları ve teknoloji haberleri, kripto para fiyatlarını ve yatırımcı davranışlarını önemli ölçüde etkileme potansiyeline sahiptir (Kristoufek, 2013). Kripto paraların değerleri, genellikle kısa süreler içinde büyük değişiklikler gösterebildiğinden kripto para piyasalarının yüksek volatilitesi, yatırımcılar için hem risk hem de fırsat anlamına gelmektedir (Corbet vd., 2018).

Kurumsal yatırımcılar, kripto para piyasalarına ilgi göstermeye başlamış ve bu alanda önemli yatırımlar yapmıştır. Kurumsal katılım, kripto paraların piyasa likiditesini ve kabulünü artırmış, büyük ölçekli kurumsal yatırımcıların ilgisini çekmeye başlamıştır. Kurumsal yatırımcılar, kripto paraları bir çeşit yatırım aracı olarak değerlendirmekte ve portföylerinde yer vermektedirler (Baur ve Lucey, 2010).

Geleneksel finansal kurumlar, kripto para piyasalarına çeşitli şekillerde katılmakta ve bu alanı denetlemektedir. Örneğin, bazı bankalar ve finansal hizmet sağlayıcıları kripto para ticaretine aracılık etmekte veya kripto varlık yönetimi hizmetleri sunmaktadır (Easley vd., 2011).

Kripto paralar, ekonomik sistemlerde değişikliklere neden olabilen varlıklardır. Özellikle yüksek volatilite ve riskler, ekonomik kararları etkileyebilmekte ve piyasalara yön verebilmektedir (Arner vd., 2016).

Kripto paralar, finansal hizmetlere erişim konusunda sosyal değişimlere yol açabilir. Özellikle gelişmekte olan bölgelerde, kripto paralar geleneksel bankacılık hizmetlerine erişim sağlayarak finansal kapsayıcılığı artırabilmektedir (FSB, 2020).

Kripto paralar, ekonomik sistemlerde çeşitli değişikliklere neden olabilmekte ve finansal kapsayıcılığı artırabilmektedir.Yüksek volatilite ve spekülatif hareketler, ekonomik kararları ve piyasa dinamiklerini etkileyebilir (Arner vd., 2016).

10. S&P 500 ENDEKSİ İLE BTC ARASINDAKİ İLİŞKİ

S&P 500 Endeksi ve BTC arasındaki ilişkiyi ve bu ilişkinin yönünü değerlendirebilmek için yapılan bu çalışmanın amacına doğrudan hizmet eden analiz yöntemi olarak Granger nedensellik testi seçilmiştir. Granger nedensellik testi geleneksel piyasalardaki gelişmelerin kripto para piyasaları üzerinde öngörülebilir etkiler yaratıp yaratmadığını değerlendirmek için kullanılır, yönlü nedensellik ilişkilerini belirlemeye imkân tanır. Korelasyon analizinden farklı olarak, Granger yöntemi zaman yapısını dikkate alarak öngörülebilirliği esas almakta ve bu yönüyle daha güçlü çıkarımlar yapılmasını sağlamaktadır (Granger, 1969). Nedensellik ile korelasyon birbirlerinden farklı iki kavram olup korelasyon; her iki değişkenin birbiri arasındaki ilişkiyi vermekle birlikte bu ilişkinin yönünü belirleyemez. Yani her iki değişken birbirine bağımlı ancak hangi değişken diğerini etkilediği konusunda bir bilgi aktarmaz. Ancak nedensellik hangi değişkenin bir diğer değişkeni etkilediği konusunda bir bilgi vermektedir (Granger vd., 2001). Nedensellik testi yapılırken bir değişkenin tüm geçmiş verileri göz önüne alınarak diğer değişkenin şu anki değerine etkisi araştırılmaktadır (Enders, 1995).

Yöntem seçiminin bir diğer gerekçesi de uygulama kolaylığı, teorik altyapısının sağlamlığı ve sonuçların açıkça yorumlanabilir olmasıdır. ADF ve Granger testleri, literatürde yaygın olarak kullanılmaları nedeniyle bu çalışmanın akademik geçerliliğini ve karşılaştırılabilirliğini de artırmaktadır. Ayrıca, incelenen seriler kısa dönemli etkileşimlere odaklandığı için Granger testinin kısa dönemli dinamikleri yakalayabilen bir yöntem olması bu testin seçilmesinin bir diğer önemli nedeni olmaktadır.

Bu modele göre; analiz edilmesi istenen iki değişken dışında kalan tüm değişkenler sabit bırakıldığında, bir değişkenin tüm geçmiş verilerinden diğer değişken iyi bir şekilde tahmin ediliyorsa ilk değişken ikinci değişkenin Granger nedenidir denir. Bu ilişki ters yönlü olup ikinci değişken birinci değişkenin Granger nedeni olmaktadır (Alagöz, 2009).

Granger nedensellik analizinin üç farklı çıktısı bulunmaktadır. Bunlar ise sırasıyla;

Tek Yönlü Nedensellik: Nedensellik testinin sonucu iki taraflı olarak çalışmamış olup bir değişken diğerine etki ederken ikinci değişken birinci değişkene etki edememektedir.

Çift Yönlü Nedensellik: Nedensellik testinin çıktısı iki taraflı olarak olumlu sonuç vermiştir. Böylelikle her iki değişkende birbirini etkilediği sonucuna varılmıştır.

İlişkinin Bulunamaması: Bu durumda nedensellik testi sonucu olumsuz çıkmaktadır ve her iki değişkende birbirini etkilememektedir.

Etki edilen değişkendeki değişimler veya sonuçlar neden olan değişkende oluştuktan sonra meydana gelmelidir. Bundan dolayı etki edilen değişkenin tahmini kullanılırken nedeni olan değişkenin geçmiş veya gecikmeli verileri kullanıldığında yürütülen tahminin, dahil edilmediği durumdaki tahminlere göre daha iyi olması beklenmektedir (Deadman, 1997).

10.1. Augmented Dickey- Fuller(ADF) Birim Kök Testi

Zaman serilerinin ekonometrik analizlerinde serilerin durağan olup olmadığının belirlenmesi analizin doğru sonuç verebiliyor olması için önemlidir. Durağanlık, serinin ortalamasının, varyansının ve otokovaryansının zaman içerisinde değişmemesi durumudur (Gujarati, 2004). Zaman serisi analizlerinde güvenilir ve geçerli sonuçlara ulaşabilmek için kullanılan serilerin istatistiksel olarak durağan (stationary) olması beklenir. Durağan olmayan verilerde doğrudan analiz yapılması model tahminlerinin tutarsız ve yanıltıcı olmasına yol açabilmektedir (Gujarati ve Porter, 2009).

Bu kapsamda serinin durağan olup olmadığını test etmek amacıyla en yaygın olarak kullanılan birim kök testlerinden biri Dickey-Fuller testidir. Bu test, serinin birim kök içerip içermediğini test ederek durağanlık düzeyi hakkında istatistiksel karar verilmesine olanak tanır. Ancak bu test yalnızca otoregresif modeller için geçerlidir ve serinin otokorelasyon içerdiği durumlarda yetersiz kalabilir. Bu eksiklikleri gidermek amacıyla Augmented Dickey-Fuller (ADF) testi geliştirilerek, serinin farklarını da modele dahil ederek otokorelasyonu giderir (Dickey ve Fuller, 1979) .

ADF testinin temel denklem yapısı aşağıdaki şekilde ifade edilir(Enders, 2014):

$$\Delta Yt = \alpha + \beta t + \gamma Y_{t-1} + \sum_{i=1}^{k} \delta_i \Delta Y_{t-1} + \varepsilon_t$$

Bu denklemde:

- Yt, analiz edilen zaman serisini,
- ΔYt, serinin birinci farkını,
- t, zaman trendini,
- p, gecikme uzunluğunu,
- εt, beyaz gürültü şeklinde dağılan hata terimini ifade etmektedir.

Hipotezler şu şekilde kurulur:

$H_0 : \gamma = 0$ $(Seri\ birim\ kök\ içeriyor, yani\ durağan\ değidir)$

$H_1 : \gamma < 0$ $(Seri\ durağandır)$

Elde edilen test istatistiği, MacKinnon (1996) tarafından geliştirilen kritik değerlerle karşılaştırılır. Eğer test istatistiği %1, %5 veya %10 anlamlılık düzeylerinde kritik değerden küçükse, H₀ reddedilir ve serinin durağan olduğu kabul edilir. Aksi takdirde, seri durağan değildir ve fark alınarak durağanlaştırılması gerekir.

Durağan çıkmayan bir serinin önce birinci farkı alınır. Tekrar ADF testine tabi tutularak yeni serinin durağan olup olmadığı test edilir. Eğer fark serisi durağansa, seri birinci dereceden durağan olduğu kabul edilir. Fark alma işlemi, serinin düzey değerleri yerine değişimlerinin (yani artış/azalış miktarlarının) incelenmesini sağlar. Durağanlık hâlâ sağlanamıyorsa, ikinci fark alınır. Ancak çoğu finansal zaman serisi genellikle birinci farkta durağan hale gelir (Enders, 2014). Birinci fark işlemi aşağıdaki gibi yapılır.

$$\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1}$$

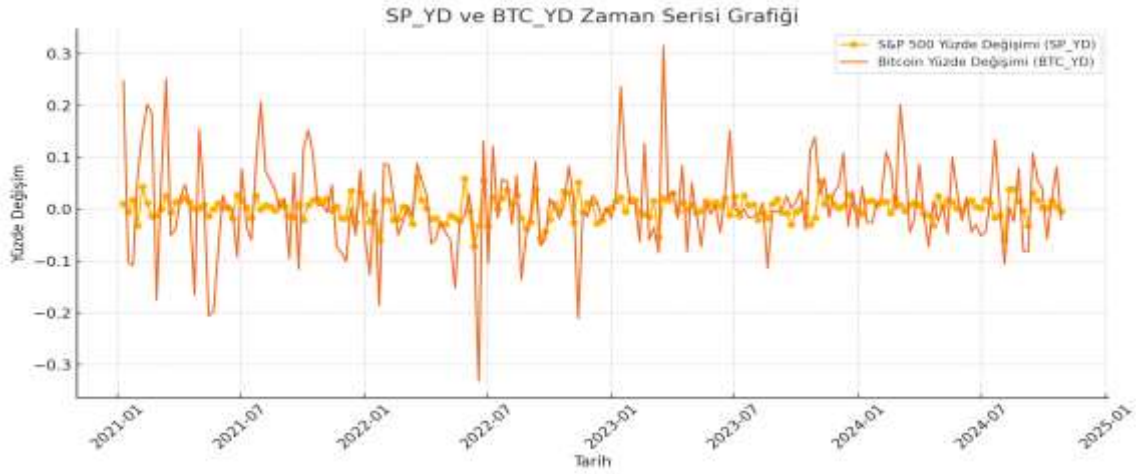
MacKinnon anlamlılık düzeyleri, ADF test istatistiğinin anlamlılığını değerlendirmede kullanılan eşik değerlerdir. Bu kritik değerler, simülasyonlar aracılığıyla belirlenmiş olup standart t-dağılımı ile uyuşmaz. Bu nedenle test sonucunda çıkan istatistik değeri, doğrudan bu kritik değerlerle karşılaştırılır. Örneğin, test istatistiği -3.75 ve %5 düzeyindeki

MacKinnon kritik değeri -2.86 ise, test istatistiği daha küçük olduğu için (negatif yönde), H_0 hipotezi reddedilir ve serinin durağan olduğu sonucuna varılmaktadır.

10.2. S&P 500 Endeksi ve Bitcoin'in İstatistiksel Verileri

Bu çalışmada tahmin edilecek model, S&P 500 endeksindeki değişimin BTC fiyatlarını nasıl etkilediğini incelemektedir. Kurulan modelde S&P 500 endeksi ve BTC fiyat değişkenleri kullanılmıştır. Öncelikle kullanılan zaman serilerinin durağan olup olmadığının test edilmesi gerektiğinden bunun tespiti için birim kök testleri kullanılmıştır. S&P 500 Endeksi ve BTC fiyatları arasında nedensel bir ilişki varsa, bağımsız ve bağımlı değişkenler belirlenmeli ve bu değişkenler arasındaki nedenselliğin yönü ortaya konulmalıdır. Bu nedenselliğin yönü Granger analizi yöntemi ile ortaya konulmuştur.

Şekil 10.1. Zamana göre Bitcoin ve S&P 500 Endeksi'nin Değerleri (*Investing.com*)



Şekil 10.2. Zaman Serisi Grafiği(*Investing.com)*

Şekil 10.2 de, Şekil 10.1' deki veriler kullanılarak elde edilen SP_YD (S&P 500 Yüzde Değişimi) ile BTC_YD (Bitcoin Yüzde Değişimi) verilerinin zaman içerisindeki hareketi gözlemlenmektedir. Grafik, bu iki değişkenin belirli dönemlerde benzer ya da farklı yönlerde hareket edip etmediğini gözlemlemek için kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde, SP_YD ve BTC_YD değişkenlerinin zaman içerisinde önemli ölçüde farklı yönlerde hareket ettikleri görülmektedir. Özellikle Bitcoin'in volatil yapısı ile S&P 500 Endeksinin daha dengeli seyri, grafikteki dalgalanma farklarını ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, yatırımcıların bu iki piyasayı farklı dinamikler çerçevesinde değerlendirdikleri söylenebilir.

	BTC	BTC_YD	S&P500	S&P500_YD
Ortalama	40335.71	0.007469	4.455.302	0.002441
Medyan	38964.90	0.003783	4.356.390	0.004841
Maksimum	69608.50	0.315148	5.857.820	0.061781
Minimum	16456.40	-0.331665	3.609.780	-0.071727
Standard Sapma	15845.09	0.086961	5.385.816	0.021787
Çarpıklık	0.286182	0.119100	0.863273	-0.328471
Basıklık	1.829.909	4.866.750	2.962.564	3.914.780
Jarque-Bera	1.413.928	2.936.489	2.485.303	1.051.710
Olasılık	0.000851	0.000000	0.000004	0.005203
Toplam	8067143.	1.486.289	891060.5	0.485666
Toplam Standard Sapma	5.00E+10	1.497.320	57723955	0.093981
Örneklem Sayısı	200	199	200	199

Tablo 10.1. BTC ve S&P 500 Endeksi'ndeki Tanımlayıcı İstatistikler

Bu istatistik verileri Şekil 10.1 ve Şekil 10.2' deki verilere göre hazırlanmıştır.

Bu tabloda BTC ve S&P 500'ün seviyeleri ve yüzdelik değişimleri (YD) için temel istatistikler yer almaktadır. BTC'nin ortalama fiyatı 43,035.71, medyanı ise 39,684.50, ortalama medyandan yüksek olduğundan BTC'nin fiyat dağılımında bir sağa çarpıklık (skewness) olduğu söylenebilir. S&P 500'de de benzer bir eğilim olduğu görülmektedir.

BTC'nin volatilitesinin (standard sapma) oldukça yüksek (15,845.09) olduğu görülürken S&P 500'ün volatilitesinin nispeten düşük (425.77) olduğu görülür. BTC'nin çarpıklık değeri 0.8826, yani pozitif çarpık (asimetrik sağa kayık bir dağılım var), S&P 500'ün çarpıklık değeri ise 0.0481, yani simetriye çok daha yakındır.

BTC'nin basıklık değeri 2.6338, bu da dağılımın normal dağılıma oldukça yakın olduğunu göstermektedir. S&P 500'ün basıklığı ise 1.8705, yani hafifçe düz bir dağılım eğilimindedir. Her iki varlık için de p-değeri 0.000, yani bu seriler normal dağılıma uymamaktadır. Bu veriler BTC'nin S&P 500'e göre çok daha volatil olduğunu ve fiyat hareketlerinin daha keskin dalgalanmalar olduğunu göstermektedir.

10.3. S&P 500 Endeksi ile Bitcoin'in Birim Kök Analizi

Bu çalışmada, S&P 500 ve BTC değişkenlerinin zaman serisi özelliklerini incelemek, serilerin durağan olup olmadığını anlamak amacıyla Augmented Dickey-Fuller (ADF) testi uygulanmıştır. Durağanlık serinin geçmiş davranışlarına bakılarak gelecekteki davranışlarının tahmin edilebilmesini sağlamaktadır.

Burada ADF Birim Kök Testi analizi yapılırken kullanılan hipotezler şu şekilde belirlenmiştir. Bunlar;

H_0: Birim kök vardır (Durağanlık yoktur),

H_1**:** Birim kök yoktur (Durağanlık vardır).

Test iki farklı model altında yürütülmüştür. Bu modeller sırasıyla sabit içeren model ve sabit ve trend içeren model. ADF test sonuçları Tablo 2' de görülmektedir.

Değişken	Model Türü	ADF -t istatistiği	%1 Kritik Değer	%5 Kritik Değer	%10 Kritik Değer	p*
S&P500	Sabit	-1.451987	-3.463405	-2.875972	-2.574541	0.0000
S&P500	Sabit+Trend	-1.451909	-4.005076	-3.432682	-3.140127	0.0000
BTC	Sabit	-1.395480	-3.463405	-2.875972	-2.574541	0.0000
BTC	Sabit+Trend	-1.395074	-4.005076	-3.432682	-3.140127	0.0000

**MacKinnon (1996) tek taraflı olasılık değerleri

Tablo 10.2. Birim Kökünün Varlığının Tespiti

Tablo 2'ye göre;

S&P 500 Değişkeni**;** sabit modelde, ADF t-istatistik değeri -1.451987'dir. Bu değer, %1 (%-3.463405), %5 (%-2.875972) ve %10 (%-2.574541) anlamlılık düzeylerine karşılık gelen MacKinnon kritik değerlerinin tamamından büyüktür (yani, mutlak değerce daha küçüktür). Sabit + trend modelinde, ADF t-istatistiği -1.451909 olup yine kritik değerlerin tamamından büyüktür. Her iki modelde de ADF t-istatistik değerleri, kritik değerlerin altında kalamadığı için H_0 hipotezi reddedilemez. Dolayısıyla S&P 500 değişkeni düzey değerinde birim kök içermektedir, yani durağan değildir.

BTC Değişkeni; Sabit modelde, ADF t-istatistik değeri -1.395480'dir.%1, %5 ve %10 kritik değerleri sırasıyla -3.463405, -2.875972 ve -2.574541 olup, test istatistiği bu değerlerin tümünden büyüktür. Sabit + trend modelinde ADF t-istatistiği -1.395074 olup yine tüm kritik değerlerin üzerinde kalmaktadır.BTC değişkeni için de her iki modelde H_0 hipotezi reddedilememektedir. Dolayısıyla BTC değişkeni düzeyde durağan değildir ve birim kök içermektedir.

Tablo 2'de görülen tüm olasılık değerleri (p-değerleri), 0.0000'dır. Ancak burada dikkat edilmesi gereken önemli bir husus, bu değerlerin MacKinnon (1996) tek taraflı p-değerleri olduğudur. Bu değerler bazı yazılımlarda varsayılan olarak sıfıra yuvarlanabilmekte ve bu durum karar sürecinde yanıltıcı olabilmektedir. Bu nedenle, ADF testinde esas yorum ADF t-istatistik değerlerinin MacKinnon kritik değerleri ile karşılaştırılmasıyla yapılmalıdır.

Özetle, ADF testi sonuçlarına göre, S&P 500 ve BTC değişkenlerinin düzey değerlerinde durağanlık test edilmiştir. Her iki değişken için hem yalnızca sabit içeren modelde hem de sabit ve trend içeren modelde ADF t-istatistik değerleri, %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerine karşılık gelen MacKinnon kritik değerlerinin üzerinde kalmaktadır. Yani, t-istatistiklerinin mutlak değerleri, kritik değerlerin mutlak değerlerinden küçüktür. Bu durum, sıfır hipotezinin (H_0) reddedilemeyeceğini ve dolayısıyla serilerin durağan olmadığını, başka bir deyişle birim kök içerdiğini göstermektedir. Her ne kadar tablo üzerinde olasılık (p) değerleri 0.0000 olarak verilmiş olsa da, bu değerler MacKinnon (1996) tarafından önerilen tek taraflı p-değerleridir ve bu tür testlerde karar vermede ikincil bir ölçüt olarak değerlendirilmektedir. ADF testinde temel karar ölçütü, ADF t-istatistik değerlerinin MacKinnon kritik değerleriyle karşılaştırılmasıdır. Bu çalışmada söz konusu karşılaştırmalar sonucunda H_0 hipotezinin reddedilemeyeceği ve serilerin durağan olmadığı anlaşılmaktadır.

Bu nedenle, S&P 500 ve BTC serileri düzey değerlerinde durağan olmadıkları için, analizlerde kullanılmadan önce farkı alınarak durağanlaştırılmaları gerekmektedir.

Değişken	Model	ADF İstatistiği	p-değeri	Kritik Değer (%1)	Kritik Değer (%5)	Kritik Değer (%10)	Durağanlık
S&P 500	Sabit	-14.26	1.43e-26	-3.46	-2.88	-2.57	Evet
	Sabit + Trend	-14.29	6.25e-22	-4.0	-3.43	-3.14	Evet
BTC	Sabit	-13.41	4.31e-25	-3.46	-2.88	-2.57	Evet
	Sabit + Trend	-13.43	4.09e-21	-4.0	-3.43	-3.14	Evet

Tablo 10.3. ADF Testi Sonuçları (Birinci Dereceden Fark Serileri Üzerinden)

ADF testi sonuçlarına göre, hem S&P 500 Endeksi'nin hem de Bitcoin'in birinci farkları alınarak elde edilen seriler sabitli ve sabit + trend içeren modellerde durağan çıkmıştır. ADF test istatistikleri, %1 anlamlılık düzeyi de dahil olmak üzere tüm kritik değerlerin oldukça altında kalmıştır. Bu durum serilerin durağan olduğu ve zaman serisi analizleri için kullanıma uygun hale geldiği anlamındadır. Bitcoin ve S&P 500'ün yüksek düzeyde durağan hale gelmesi, bunlar üzerinde yapılacak Granger nedensellik analizlerinin güvenilir sonuçlar vereceği beklentisi oluşturmaktadır.

10.4. S&P 500 Endeksi ile Bitcoin Arasındaki Granger Nedensellik Testi

Belirlenen iki değişken arasında herhangi bir nedensellik olup olmadığı veya birbirleri arasındaki ilişkinin yönünü belirlemek için Granger nedensellik analizi kullanılmıştır. Bu analiz sonucunda iki adet hipotezden bir tanesinin varlığı gösterilmiş olur. Bu hipotezler ise şunlardır;

H_0: Nedensellik yoktur

H_1: Nedensellik vardır.

Yapılan analiz sonucunda olasılık değeri %5'ten daha az olması durumunda H_0 hipotezi kabul edilir ve iki değişken arasında bir nedensellik ilişkisi kurulamaz. Olasılık değerinin %5'ten büyük olması durumunda ise iki değişken arasında bir nedensellik ilişkisinin olduğu sonucuna varılmakta ve bu durum H_1 hipotezinin doğruluğunu göstermektedir. Testin amacı, geçmiş değerlere dayalı olarak bir değişkenin diğerini anlamlı biçimde öngörüp öngöremediğini belirlemektir.

Tablodaki boş hipotezler test edilmiştir:

Boş Hipotez	Gözlem Sayısı	F-İstatistiği	Olasılık (P-Değeri)	Anlamlılık	Gecikme/hafta
SP_YD, BTC_YD'nin Granger nedeni değildir	195	1.16385	0.3282	Anlamlı değil	
BTC_YD, SP_YD'nin Granger nedeni değildir	195	1.67203	0.1582	Anlamlı değil	4
BTC_YD, SP_YD'nin Granger nedeni değildir	147	1.05761	0.4289	Anlamlı değil	
SP_YD, BTC_YD'nin Granger nedeni değildir	147	1.37002	0.1471	Anlamlı değil	52

Tablo 10.4. S&P5 00 Endeksi ve BTC Arasındaki Granger Nedensellik Analizi

*%5 düzeyinde anlamlılığı ifade etmektedir.

Yukarıda yer alan tabloda, SP_YD (S&P 500 endeksinin yüzdelik değişimi) ile BTC_YD (Bitcoin'in yüzdelik değişimi) arasında Granger nedensellik ilişkisi olup olmadığını test etmek amacıyla yapılan Granger Nedensellik Testi sonuçları sunulmuştur. Test, 4 gecikme uzunluğu kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, 195 gözlem değerine dayanmaktadır. Granger nedensellik analizinde kullanılan varsayımlar doğrultusunda, p-değeri 0.05 anlamlılık düzeyinden büyük olan hipotezler reddedilemez. İlk boş hipotez olan "SP_YD, BTC_ YD'nin Granger nedeni değildir" ifadesine ilişkin p-değeri 0.3282 olarak bulunmuştur. Bu değer, %5 anlamlılık düzeyinin oldukça üzerinde olduğundan dolayı, söz konusu hipotez reddedilememektedir. Dolayısıyla, SP_YD değişkeninin BTC_YD üzerinde

Granger nedensellik etkisi taşıdığına dair istatistiksel olarak anlamlı bir kanıt bulunmamaktadır. İkinci boş hipotez olan "BTC_YD, SP_YD'nin Granger nedeni değildir" hipotezine ilişkin p-değeri ise 0.1582'dir. Bu değer de %5 anlamlılık düzeyinin üzerinde olduğundan, bu hipotez de reddedilememekte ve BTC_YD değişkeninin SP_YD üzerinde Granger nedensellik etkisi olmadığı sonucuna ulaşılmaktadır. Elde edilen bulgular doğrultusunda, analiz edilen dönemde (03/01/2021 – 27/10/2024) BTC ve S&P 500 piyasaları arasında Granger nedenselliği yönünde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Her iki hipotezin p-değeri de 0.05 anlamlılık düzeyinin üzerinde olduğundan, istatistiksel olarak anlamlı bir nedensellik ilişkisi tespit edilememiştir. Yani, test sonuçları BTC_YD'nin SP_YD üzerinde, ya da SP_YD'nin BTC_YD üzerinde Granger nedenselliği bulunduğunu ortaya koymamaktadır.

BTC_YD, SP_YD'nin Granger nedeni değildir,SP_YD, BTC_YD'nin Granger nedeni değildir boş hipotezlerinin ise p-değeri 0.05 anlamlılık düzeyinden büyük olduğu için bu hipotezler reddedilemez. Bu bağlamda, her iki boş hipotez de reddedilememiştir. Yani:

BTC_YD, SP_YD'nin Granger nedeni değildir.

SP_YD, BTC_YD'nin Granger nedeni değildir.

Bu sonuçlara göre, S&P 500 Endeks getirileri ile Bitcoin getirileri arasında 52 dönemlik gecikme ile anlamlı bir nedensellik ilişkisi tespit edilememiştir. Diğer bir ifadeyle, her iki değişkenin geçmiş değerleri, diğerinin mevcut değerini anlamlı şekilde açıklama gücüne sahip değildir.

11.SONUÇ

Bu çalışmada, geleneksel finansal piyasaların önemli bir temsilcisi olan S&P 500 Endeksi ile dijital finansın öncüsü konumundaki Bitcoin (BTC) arasındaki nedensellik ilişkisi incelenmiştir.

Araştırmada uygulanan Augmented Dickey-Fuller (ADF) birim kök testi sonuçlarına göre, hem S&P 500 hem de BTC serilerinin düzey değerlerinde durağan olmadıkları, yani birim kök içerdiği görülmüştür. Bu nedenle analizler fark alınarak gerçekleştirilmiş ve Granger nedensellik testi uygulanmıştır. Granger nedensellik analizi, bir değişkenin geçmiş değerlerinin diğer bir değişkenin mevcut değerini öngörme gücüne sahip olup olmadığını test eden güçlü bir yöntemdir.

Bu test sonucunda, SP_YD'nin BTC_YD üzerinde ya da BTC_YD'nin SP_YD üzerinde anlamlı bir nedensellik ilişkisi oluşturmadığı tespit edilmiştir. Her iki analizde de p-değerlerinin %5 anlamlılık düzeyinin üzerinde olması, sıfır hipotezinin reddedilememesi sonucunu doğurmuştur. Bu durum, S&P 500 Endeksi ile Bitcoin getirileri arasında incelenen dönemde (03.01.2021- 27.10.2024 tarih aralığındaki veriler haftalık verilerdir) Granger nedenselliği yönünde bir ilişki bulunmadığını göstermektedir.

Bu bulgular, Bitcoin ve S&P 500 Endeksi gibi finansal varlıkların kendi dinamikleriyle hareket ettiklerini ve birbirlerinin geçmiş performanslarından etkilenmediklerini ortaya koymaktadır. Bitcoin'in yüksek volatilitesi ve spekülatif yapısı ile S&P 500 Endeksi'nin daha regüle ve makroekonomik verilerle şekillenen yapısı bu ayrışmayı açıklamaktadır.

Yatırımcı davranışları açısından bu durum, kripto piyasalarının geleneksel piyasalardan bağımsız hareket edebileceği, bu nedenle yatırım portföylerinde risk dağılımının artırılabileceği anlamına gelmektedir.

Akademik bağlamda bu çalışma, kripto para piyasalarının geleneksel piyasa endekslerine olan duyarlılığına dair önemli bir boşluğu doldurmaktadır.

Çalışmanın önerileri şunlardır:

1. İlerleyen çalışmalarda farklı gecikme uzunlukları ve veri aralıkları kullanılarak analiz detaylandırılabilir.
2. Makroekonomik göstergeler (faiz oranları, enflasyon, işsizlik vb.) dahil edilerek çok değişkenli modeller kurulabilir.

3. Bitcoin harici diğer büyük kripto paralar (Ethereum, Ripple, vb.) ile S&P 500 arasındaki ilişkiler karşılaştırmalı olarak incelenebilir (Burada Bitcoin'in seçilmesinin sebebi olağanüstü bir durum olan pandemi döneminde birden artış göstermesidir).

4. Yapay zeka ve makine öğrenmesi temelli zaman serisi analizleri ile geleneksel yöntemlerin sonuçları karşılaştırılabilir.

Sonuç olarak, bu çalışma Bitcoin ve S&P 500 Endeksi arasındaki doğrudan nedensel ilişkiyi ortaya koyamamış olsa da, finansal sistemin farklı segmentleri arasındaki bağlantıların anlaşılması açısından değerli katkılar sunmaktadır.

Gelecekte yapılacak çalışmalar, finansal entegrasyon, yatırım stratejileri ve risk yönetimi alanlarında daha kapsamlı çıkarımlara zemin hazırlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

A.Reyna, C.Martin, J.Chen, E.Soler, & M.Diaz. (2018). On blockchain and its integration with IoT Challenges and opportunities. *Future Generation Computer Systems.*, *88*, 173–190.

Adana Karaağaç, G., & Altınparmak, S. (2018). En Yüksek Piyasa Değerine Sahip On Kripto Paranın Birbirleriyle Etkileşimi. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 127–144. https://doi.org/10.25095/mufad.438852

Aktürk, E. (2003). *İktisadi Zaman Serialer Arasındaki Nedensel İlişkinin Araştırılmasında Granger Nedensellik Testi ve Bir Uygulama*.

Alagöz, A. (2009). *Türkiye'de Dolarizasyon ve Kur Riskinin Boyutları: Görgül Bir Çalışma*. ANKARA ÜNİVERSİTESİ.

Alharby, M., Aldweesh, A., & Van Moorsel, A. (2018). Blockchain-based Smart Contracts: A Systematic Mapping Study of Academic Research (2018). *International Conference on Cloud Computing, Big Data and Blockchain, ICCBB 2018*. https://doi.org/10.1109/ICCBB.2018.8756390

Angelo, M. di, & Salzer, G. (2020). Tokens, Types, and Standards: Identification and Utilization in Ethereum. *2020 IEEE International Conference on Decentralized Applications and Infrastructures (DAPPS) Tokens,*. https://doi.org/10.1109/DAPPS49028.2020.00-11

Arner, D. W., Barberis, J., & Buckley, R. P. (2016). The Evolution of Fintech: A New Post-Crisis Paradigm? *Georgetown Journal of International Law, 47*(4), 1271–1319.

Arner, D. W., Barberis, J. J., & Buckley, R. P. (2017). FinTech, RegTech and the Reconceptualization of Financial Regulation. *Northwestern Journal of International Law and Business*, *37*(3), 371–413.

Arnott, R. D., Hsu, J., & Moore, P. (2005). Fundamental indexation. *Financial Analysts Journal*, *61*(2), 83–99. https://doi.org/10.2469/faj.v61.n2.2718

Avunduk, H., & Aşan, H. (2018). Blok Zinciri (Blockchain) Teknolojisi ve İşletme Uygulamaları: Genel Bir Değerlendirme. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisiadi ve İdari*

Fen Bilimler Fakültesi Dergisi, *33*(1), 369–384.

Baek, C., & Elbeck, M. (2015). Bitcoins as an investment or speculative vehicle? A first look. *Applied Economics Letters*, *22*(1), 30–34. https://doi.org/10.1080/13504851.2014.916379

Bahga, A., & Madisetti, V. K. (2016). Blockchain Platform for Industrial Internet of Things. *Journal of Software Engineering and Applications*, *09*(10), 533–546. https://doi.org/10.4236/jsea.2016.910036

Balcıoğlu, Y. S., Er, M., Altunışık, R., Çobanoğlu, C., Özer, G., Çam, İ., Çerez, S., Er, H., Yücel, R., Özevin, O., Ece Çokmutlu, M., Merter, A. K., Şahin, S., & Özden, H. (2023). Dijital Dönüşüm ve Dijital Asistanların Finans Sektörüne Etkisi. Içinde *Finans Sektöründe Dijital Dönüşüm* (Sayı September). https://doi.org/10.58830/ozgur.pub245

Baliga, A. (2017). Understanding Blockchain Consensus Models [White Paper]. Içinde *Persistent* (C. 4).

Bariviera, A. F., & Vela, S. (2017). The liquidity of cryptocurrency markets. *Finance Research Letters*, *23*, 17–24.

Baur, D. G., & Dimpfl, T. (2018). Asymmetric volatility in cryptocurrency markets. *Journal of Financial Markets*, *39*, 98–124.

Baur, D. G., & Lucey, B. M. (2010). Is gold a hedge or a safe haven? An analysis of stocks, bonds and gold. *Financial Review*, *45*(2), 217–229.

Bayram, E., & Çakmak, M. (2023). Merkeziyetsiz Finans: Kavramsal Çerçeveye Dayalı Bir İnceleme. *XVIII. IBANESS İktisat, İşletme ve Yönetim Bilimleri Kongreler Serisi – Ohrid / Kuzey Makedonya Cumhuriyeti*, 697–702.

Beck, R. (2018). Beyond Bitcoin: The Rise of Blockchain World. *Computer*, *51*(2), 54–58. https://doi.org/10.1109/MC.2018.1451660

Ben-Sasson, E., Chiesa, A., Garman, C., Green, M., Miers, I., Tromer, E., & Virza, M. (2014). Zerocash: Decentralized anonymous payments from bitcoin. *Proceedings - IEEE Symposium on Security and Privacy*, 459–474. https://doi.org/10.1109/SP.2014.36

Beştaş, M. (2023). Merkeziyetsiz Finans (DeFi). *Uluslararası Sosyal ve Beşeri Bilimler Araştırma Dergisi*, *10*(91), 121–141.

Birrer, T. K., Amstuts, D., & Wenger, P. (2023). Decentralized Finance: From Core Concepts to DeFi Protocols for Financial Transactions. Içinde *Springer Nature.* Springer Fachmedien Wiesbaden.

Blume, M. E., & Edelen, R. M. (2004). *S&P 500 Indexers, Tracking Errors, and Liquidity* (01–04).

Brooks, C. (2014). *Introductory Econometrics for Finance* (3rd baskı). Cambridge University Press.

Bulut, E., & Akbulut, S. (2020). Yatırımcı İrrasyonalitesi Bağlamında Kriptopara Piyasası. *Finans Politik & Ekonomik Yorumlar (652)*, *652*, 65–89.

Buterin, V. (2014). A Next Generation Smart Contract & Decentralized Application Platform. Içinde *Ethereum White Paper* (Sayı January).

Buterin, V. (2015). *On Public and Private Blockchains, Ethereum Blog Crypto renaissance salon*.

Campbell, J. Y., & Shiller, R. J. (1988). Stock Prices, Earnings, and Expected Dividends. Içinde *The Journal of Finance* (C. 43, Sayı 3, s. 661). https://doi.org/10.2307/2328190

Charles, G. (1998). *Central Bank and the financial system*.

Cheah, E.-T., & Fry, J. (2015). Speculative bubbles in Bitcoin markets? ,. *Applied Economics*, *47*(1), 1–12.

CoinLaw. (2025). *Global Cryptocurrency Taxation Policies Statistics*. https://coinlaw.io/global-cryptocurrency-taxation-policies-statistics/

Çokmutlu, M. E., & Kılıç, M. (2022). Kripto Varlıklar Olarak Tokenların Muhasebeleştirmesi. *International Journal of Applied Economic and Finance Studies*, *7*(1), 19–36.

Corbet, S., Larkin, C., & Lucey, B. (2018). The financial contagion of cryptocurrencies: Evidence from Bitcoin and other cryptocurrencies. *International Review of Financial Analysis, 56*, 76–87.

DAC8: Reporting and exchange of information on crypto-assets and cross-border rulings to certain individuals agreed by the Council. (2020). Içinde *European Commission.* https://ec.europa.eu/taxation_customs/business/company-tax/dac8-reporting-exchange-information-crypto-assets-and-cross-border-rulings-certain-individuals-agreed-council_en

David, G. (2011). *Debt: The First 5,000 Years*. Melville House.

Deadman, W. W. C. and D. F. (1997). *New Directions In Econometric Practice, Second Edition*. Edward Elgar Publishing.

Debe, M., Hasan, H. R., Salah, K., Yaqoob, I., & Jayaraman, R. (2021). Blockchain-Based Energy Trading in Electric Vehicles Using an Auctioning and Reputation Scheme. *IEEE Access*, *4*, 165542–165556. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3133958

Diaby, M., Faltermeier, J., Grinberg, F., Petrov, D., Schneider, P., Adrian, T., Natalucci, F., & He, D. (2021). *The Crypto Ecosystem and Financial Stability Challenges; October 1, 2021* (Sayı October).

Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distrubition of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of American Statiscial Association*, *74*(366), 427–431.

Didenko, A. N. (2022). *Decentralised Finance – A Policy Perspective*.

Durğay, Z., & Karaaslan, E. (2018). Blokzinciri Teknolojisinin E- Devlet Uygulamalarında Kullanımı : Ön İnceleme. *Akademik Bilişim 2018 Konferansı Bildirileri*, 154–158.

Easley, D., O'Hara, M., & Basu, S. (2011). Price, Trade Size, and Information in Securities Markets. J,. *ournal of Financial Economics*, *101*(2), 346–370.

EBA. (2019). Report with Advice for the European Commission on Crypto-Assets. *European Banking Authority*, *January*. https://www.eba.europa.eu/sites/default/documents/files/documents/10180/2545547/67493daa-85a8-4429-aa91-e9a5ed880684/EBA Report on crypto assets.pdf

Elghaish, F., Abrishami, S., & Hosseini, M. R. (2020). Integrated project delivery with blockchain: An automated financial system. *Automation in Construction*, *114*(September). https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103182

Enders, W. (1995). Applied econometric time series. Içinde *John Wiley & Sons Inc.* (C. 17, Sayı 3). https://doi.org/10.1016/0164-0704(95)80068-9

Enders, W. (2014). *Applied Econometric Time Series* (4th baskı). Wiley.

Enders, W. (2015). *Applied Econometric Time Series* (4th baskı). Wiley.

Engle, R. F., & Bollerslev, T. (1986). Modelling the persistence of conditional variances. Içinde *Econometric Reviews* (C. 5, Sayı 1, ss. 1–50). https://doi.org/10.1080/07474938608800095

Engle, R. F., & Granger, C. W. J. (1987). Co-integration and error correction: Representation, estimation, and testing. *Econometrica*, *55*(2), 251–276.

Fabozzi, F. J. (2008). *Handbook of Mortgage-Backed Securities*.

Fama, E. F., & French, K. R. (1993). Common risk factors in the returns on stocks and bonds. *Journal of Financial Economics*, *33*(1), 3–56.

FATF. (2019). Updated Guidance for a Risk-Based Approach to Virtual Assets and Virtual Asset Service Providers. Içinde *Fatf* (s. 59). www.fatf-gafi.org/publications/fatfrecommendations/documents/Guidance-RBA-virtual-assets.html%0A©

Financial Action Task Force. (FATF). (2021). *Updated Guidance for a Risk-Based Approach to Virtual Assets and Virtual Asset Service Providers.* www.fatf-gafi.org

Flannery, M. J., & Schaefer, S. M. (2000). *International Evidence on the Financial Stability of Banks*.

Franklin, M. (2016). A Profile of Bıtcoın Currency: An Exploratory Study. *International Journal of Business and Economics Perspectives*, *11*, 80–92.

Franses, P. H., & DIJK, dick van. (1996). Forcastng Stock Market Volatility Using (Non-Linear)Garch Models.Pdf. *Journal of Forecasting*, *15*(3), 229–235.

Frederic S., M., & Bernanke, B. S. (2007). *Solutions for The Economics of Money, Banking, and Financial Markets*.

Friedman, M. (1969). *The Optimum Quantity of Money*.

Friedman, M. (1970). The Optimum Quantity of Money. *Journal of Money, Credit and Banking*, *2*, 397–419. https://doi.org/10.2307/1991093

FSB. (2020). Report on Crypto-assets. Içinde *G20 Financial Stability Board*.

Geoffrey, I. (2004). *The Nature of Money*.

Georgoula, I., Pournarakis, D., Bilanakos, C., Sotiropoulos, D. N., & Giaglis, G. M. (2015). Using Time-Series and Sentiment Analysis to Detect the Determinants of Bitcoin Prices. . . *MCIS 2015 Proceedings. 20*. https://doi.org/10.2139/ssrn.2607167

Glaser, F. (2017). Pervasive decentralisation of digital infrastructures: A framework for blockchain enabled system and use case analysis. *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, *2017-Janua*, 1543–1552. https://doi.org/10.24251/hicss.2017.186

Granger, C. W. J. (1969). Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods. *Econometrica*, *37*(3), 424–438.

Granger, C. W. J., Ghysels, E., Swanson, N. R., & Watson, M. W. (2001). *Essays in Econometrics: Causality, integration and cointegration, and long memory*. Cambridge University Press.

Grossman R.S. (1994). *The Definition of Money and the Role of the Central Bank.*

Gujarati, D. N. (2004). *Basic Econometrics* (McGraw-Hill (Ed.); 4th baskı).

Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Basic Econometrics* (5th baskı).

Güleç, Ö. F. (2018). Bitcoin ile Finansal Göstergeler Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. *Kırklareli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, *7*(2), 18–37.

Gürsoy, S., & Tunçel, M. B. (2020). Kripto Paralar ve Finansal Piyasalar Arasındaki İlişkinin İncelenmesi: Bitcoin ve Seçili Pay Piyasaları Arasındaki Yapılmış Nedensellik Analizi (2010-2020). *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, *55*(4), 2126–2142. https://doi.org/10.15659/3.sektor-sosyal-ekonomi.20.10.1344

Hackenberg, T. D. (2009). Token Reinforcement : A Review And Analysis. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *91*(2), 257–286. https://doi.org/10.1901/jeab.2009.91-257

Hertig, A. (2024). *What is defi? CoinDesk.*

Hileman, G., & Rauchs, M. (2017). *Global Blockchain Benchmarking Study-2017*. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3040224

Houben, R., & Snyers, A. (2020). Crypto-assets – Key developments, regulatory concerns and responses. *Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies Directorate-General for Internal Policies*, *PE.648*, 16. https://www.blockchainwg.eu/wp-content/uploads/2020/05/IPOL_STU2020648779_EN.pdf

Hull, J. C. (2012). *Options, Futures, and Other Derivatives.*

Hume D. (1752). *Political Discourses*.

Investing.com. (y.y.).

Johansen, S. (1991). Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in Gaussian vector autoregressive models. *Econometrica*, *59*(6), 1551–1580.

Karl, P. (1945). *The Great Transformation*.

Kaur, G., Bindal, R., Kaur, V., Kaur, I., & Gupta, S. (2016). Bitcoin and cryptocurrency technologies: A review. Içinde *Princeton University Press*. https://doi.org/10.1063/5.0154700

Kayaalp, G. T., Güney, M. Ç., & Cebeci, Z. (2015). Çoklu Doğrusal Regresyon Modelinde Değişken Seçiminin Zootekniye Uygulanışı. *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, *30*(1), 1–8. https://dergipark.org.tr/tr/pub/cuzfd/253617

King, S., & Nadal, S. (2017). *PPCoin: Peer-to-Peer Crypto-Currency with Proof-of-Stake*.

Kizil, C., Universitesi, I. M., Hanisoglu, G. S., & Aslan, T. (2019). *Kripto Paraların Finansal Piyasalara Etkileri ve Muhasebeleştirilmesi*.

Kıyak, Y. S., Çoşkun, Ö., & Budakoğlu, I. İ. (2019). Blokzinciri , Akilli Kontratlar Ve Sağlik Alanındaki Üç Uygulama Örneği. *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, *22*(2), 457–466.

Kristoufek, L. (2013). BitCoin meets Google Trends and Wikipedia: Quantifying the

relationship between phenomena of the Internet era. Içinde *Scientific Reports* (C. 3). https://doi.org/10.1038/srep03415

Kurka, J. (2019). Do cryptocurrencies and traditional asset classes influence each other? *Finance Research Letters*, *31*, 38–46. https://doi.org/10.1016/j.frl.2019.04.018

Levanon, G., Manini, J. C., Ozyildirim, A., Schaitkin, B., & Tanchua, J. (2015). Using financial indicators to predict turning points in the business cycle: The case of the leading economic index for the United States. *International Journal of Forecasting*, *31*(2), 426–445. https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2014.11.004

Lin, S. Y., Zhang, L., Li, J., Ji, L. li, & Sun, Y. (2022). A survey of application research based on blockchain smart contract. *Wireless Networks*, *28*(2), 635–690. https://doi.org/10.1007/s11276-021-02874-x

Lütkepohl, H. (2005). New Introduction to Multiple Time Series Analysis. *Springer Nature.*

Mazieres, D. (2016). *The Stellar Consensus Protocol: A Federated Model for Internet-Level Consensus*.

Miers, I., Garman, C., Green, M., & Rubin, A. D. (2013). Zerocoin: Anonymous distributed e-cash from bitcoin. *Proceedings - IEEE Symposium on Security and Privacy*, 397–411. https://doi.org/10.1109/SP.2013.34

Mohanta, B. K., Panda, S. S., & Jena, D. (2018). An Overview of Smart Contract and Use Cases in Blockchain Technology. *2018 9th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies, ICCCNT 2018*. https://doi.org/10.1109/ICCCNT.2018.8494045

Monetary Authority of Singapore (MAS). (2020). *Payment Services Act.* https://www.mas.gov.sg

Morozova, T., Akhmadeev, R., Lehoux, L., Yumashev, A., Meshkova, G., & Lukiyanova, M. (2020). Crypto asset assessment models in financial reporting content typologies. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, *7*(3), 2196–2212. https://doi.org/10.9770/jesi.2020.7.3(49)

Nakamoto, S. (2018). *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*.

https://doi.org/10.1.1. 221.9986

Nguyen, K. Q. (2022). The correlation between the stock market and Bitcoin during COVID-19 and other uncertainty periods. *Finance Research Letters*, *46*(102284). https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.102284

OECD. (2020). *Taxing Virtual Currencies: An Overview of Tax Treatments and Emerging Tax Policy Issues*.

Royal, J. (2025). *What is Decentralized Finance? A beginner's guide to decentralized finance.*

Sahm, C. R., Shapiro, M. D., & Slemrod, J. (2004). *Understanding the Economic Impact of Government Spending* (339; INTERNATIONAL RESEARCH FORUM ON MONETARY POLICY).

Samuelson, P. A., & Nordhaus, W. D. (2009). *Economics 19th edition*.

Schär, F. (2021). Decentralized finance: on blockchain-and smart contract-based financial markets. *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, *103*(2), 153–174. https://doi.org/10.20955/r.103.153-74

Schumpeter, J. A., & Keynes, J. M. (1936). *The General Theory of Employment, Interest and Money.* https://doi.org/10.2307/2278703

Scott, J. C. (2017). *Against the Grain: A Deep History of the Earliest States.*

Şenol, Z. (2023). Bitcoin İle Emtialar Arasındaki Zamanla Değişen Volatilite Yayılımları. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, *66*, 29–35. https://doi.org/10.18070/erciyesiibd.1265120

Sert T. (2022). *Sorularla Defi (Merkeziyetsiz Finans)* (3. baskı). Tefrika Yayıncılık.

Shashua, L., & Goldschmidt, Y. (1974). An Index for Evaluating Financial Performance. *The Journal of Finance*, *29*(3), 797–814. https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1974.tb01484.x

Shiller, R. (2000). Measuring bubble expectations and investor confidence RJ Shiller - The Journal of Psychology and Financial Markets, 2000 - Taylor & Francis.pdf. Içinde *The Journal of Psychology and Finanical Markets* (ss. 49–60).

Sims, C. A. (1980). Macroeconomics and reality. *Econometrica*, *48*(1), 1–48.

Smith, A. (1776). *The Wealth of Nations*. W. Strahan.

Szabo, N. (1996). Smart Contracts : Building Blocks for Digital Transformation. *The Journal of Transhumanist Thought*, *16*, 1–14.

Tabatabaei, M. H., Vitenberg, R., & Veeraragavan, N. R. (2023). Understanding blockchain: Definitions, architecture, design, and system comparison. *Computer Science Review*, *50*(100575). https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2023.100575

Tama, B. A., Kweka, B. J., Park, Y., & Rhee, K. H. (2017). A critical review of blockchain and its current applications. *ICECOS 2017 - Proceeding of 2017 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science: Sustaining the Cultural Heritage Toward the Smart Environment for Better Future*, 109–113. https://doi.org/10.1109/ICECOS.2017.8167115

Tanrıverdi, M., Uysal, M., & Üstündağ, M. T. (2019). Blokzinciri Teknolojisi Nedir ? Ne Değildir ?: Alanyazın İncelemesi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, *12*(3), 203–217. https://doi.org/10.17671/gazibtd.547122

Telçeken, N., Kıyılar, M., & Kadıoğlu, E. (2019). Volatilite Endeksleri: Gelişimi, Türleri, Uygulamaları ve TRVIX Önerisi. *Ekonomi, Politika & Finans Araştırmaları Dergisi*, *4*(2), 204–228. https://doi.org/10.30784/epfad.534052

Ullah, M. (2024). Dynamic Connectedness between Crypto and Conventional Financial Assets: Novel Findings from Russian Financial Market. *Journal of Applied Economic Research*, *23*(1), 110–135. https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.1.005

Wang, S. S., & Wang, S. T. (2018). Risk and return of cryptocurrency investment. *Journal of International Financial Markets,Institutions and Money*, *55*, 90–17.

Wang, S., Yuan, Y., Wang, X., Li, J., Qin, R., & Wang, F. Y. (2018). An Overview of Smart Contract: Architecture, Applications, and Future Trends. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings(Iv)*, 108–113. https://doi.org/10.1109/IVS.2018.8500488

Wooldridge, J. M. (2013). *Introductory Econometrics: A Modern Approach* (5th baskı). Cengage Learning.

Yermack, D. (2013). Is Bitcoin a real currency? An economic appraisal. Içinde *NBER WORKING PAPER*.

Yermack, D. (2014). Corporate governance and blockchains. *Review of Finance*, *21*(1), 7–31.

Yıldız, B. (2019). Dijital Dönüşüm Sürecinde Blok Zinciri Teknolojisi ve Akıllı Sözleşmeler. Içinde *Dijital Dönüşüm Trendleri* (ss. 120–143).

Yüksel, F. (2020). Kripto Varlıklar ve IFRS Kapsamında Kripto Paraların Muhasebeleştirilmesi. *Muhasebe ve Vergi Uygulamaları Dergisi*, *13*(2), 429–451.

Zetzsche, D., Buckley, R., & Arner, D. W. (2019). Regulating Libra - The Transformative Potential of Facebook ' s Cryptocurrency and Possible Regulatory Responses Regulating LIBRA : The Transformative Potential of Facebook ' s Cryptocurrency and Possible Regulatory Responses. *University of New South Wales Law Research*, *69*.

Zhang, J., & He, Q. Z. (2021). Dynamic Cross-Market Volatility Spillover Based on MSV Model: Evidence from Bitcoin, Gold, Crude Oil, and Stock Markets. *Complexity*, 8. https://doi.org/10.1155/2021/9912418

Zheng, Z., Xie, S., & Dai, H. (2018). Blockchain challenges and opportunities : a survey. *International Journal of Web and Grid Services*, *14*(4), 352–375. https://doi.org/10.1504/IJWGS.2018.10016848

Zheng, Z., Xie, S., Dai, H., Chen, X., & Wang, H. (2017). An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends. *Proceedings - 2017 IEEE 6th International Congress on Big Data, BigData Congress 2017*, 557–564. https://doi.org/10.1109/BigDataCongress.2017.85

Zheng, Z., Xie, S., Dai, H. N., Chen, W., Chen, X., Weng, J., & Imran, M. (2020). An overview on smart contracts: Challenges, advances and platforms. *Future Generation Computer Systems*, *105*, 475–491. https://doi.org/10.1016/j.future.2019.12.019

Zohar, A. (2016). *Bitcoin and cryptocurrency technologies: A comprehensive introduction.* Princeton University Press.

Zou, W., Lo, D., Kochhar, P. S., Le, X.-B. D., & Xia, X. (2021). Smart contract

development: Challenges and opportunities. *IEEE Transactions on Software Engineering.*, *47*(10), 2084–2106.