

**T. C.  
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**Ekonomi ve Finans Anabilim Dalı**

**KRİPTO VARLIKLARIN ÇEVRESEL ETKİLERİ  
ÜZERİNE BİR ANALİZ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Kerem ATİLA**

**Danışman  
Doç. Dr. Emrah DOĞAN**

**İstanbul – 2025**



## TEZ TANITIM FORMU

**Yazar Adı Soyadı** : Kerem ATİLA

**Tezin Dili** : Türkçe

**Tezin Adı** : Kripto Varlıkların Çevresel Etkileri Üzerine Bir Analiz

**Enstitü** : İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

**Anabilim Dalı** : Ekonomi ve Finans

**Tezin Türü** : Yüksek Lisans

**Tezin Tarihi** : 03.07.2025

**Sayfa Sayısı** : 82

**Tez** : Doç. Dr. Emrah DOĞAN

**Danışmanları**

**Dizin Terimleri** : Bitcoin, Blokzincir Teknolojisi, Enerji Tüketimi, Kripto Paralar, Sürdürülebilirlik.

**Türkçe Özet** : 2008 yılında kripto varlıklardan ilki olan Bitcoin, Bitcoinin blok zincir altyapısına sahip merkeziyetsiz yapısı ile devletlerin otoritelerini sarsabilecek takas yöntemi olarak gündem maddesi olmuştur. Bitcoinin yayınlanmasından birkaç yıl sonra popülerliği artarak finansal piyasalarda yerini almıştır. Aynı zamanda, Bitcoine rakip olarak, Bitcoinden daha hızlı, daha verimli ve daha çevreci olduğu iddialarıyla benzer altyapılara sahip Ethereum gibi diğer kripto para birimleri ortaya çıkmıştır. Yine de Bitcoin, günümüzde halen kripto para piyasasının yarısından daha fazlasını oluşturmaktadır. Çevrecilik konusunda oldukça söz edilmesine rağmen, kripto varlıkların kullanımı ve üretimi için kullanılan elektrik tüketimi ve tüketimden kaynaklanan çevresel etkiler yeteri kadar gündemde yer

almamaktadır. Küresel ısınmanın en büyük etkileyicilerinden biri olan karbondioksit emisyonu seviyesi her geçen gün artmaya devam etmektedir.

Bu çalışmada kripto varlıkların üretim ve kullanım süreçlerinin doğrudan ya da dolaylı yoldan karbondioksit emisyonuna katkısı incelenecek, toplam enerji tüketimindeki yeri ile çevresel etkilerini araştırılacaktır. Bitcoin, İş Kanıtı (Proof of Work) olarak adlandırılan kripto para madencilik sistemi ile çalışmakta ve diğer kripto paralar ile kıyaslandığında daha çok enerji tüketimine sahiptir. Ethereum gibi Hisse Kanıtı (Proof of Work) olarak adlandırılan daha verimli ve az enerji tüketen altyapılara sahip kripto varlıklar bulunmasına rağmen, Bitcoin halen kripto para piyasasında büyük role sahiptir. Bu nedenle, kripto paraların çevresel etkileri gündemde olmaya devam etmektedir. Driscoll-Kraay tahmincisi ile yapılan analizin bulgulara göre, enerji tüketimi, Bitcoin işlem hacmi ve direkt yabancı yatırımların karbondioksit emisyonu üzerinde istatistiki olarak anlamlı ve pozitif bir etkisi vardır. Yenilenebilir enerji tüketiminin karbondioksit emisyonu üzerinde istatistiki olarak anlamlı ve negatif bir etkisi vardır. Bitcoin işlem hacmi ve birincil enerji tüketiminin birlikte değerlendirildiği etkileşim katsayısı sonucuna göre, bu iki Bitcoin işlem hacmi ve birincil enerji tüketimi değişkenleri, karbondioksit emisyonları üzerinde marjinal etkisini azalttığı yönünde negatif ve istatistiki olarak anlamlı etkisi vardır.

**Dağıtım Listesi**

- : 1. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne  
2. YÖK Ulusal Tez Merkezine

*İmzası*

*Kerem ATİLA*

**T. C.**  
**İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

Ekonomi ve Finans Anabilim Dalı

**KRİPTO VARLIKLARIN ÇEVRESEL ETKİLERİ**  
**ÜZERİNE BİR ANALİZ**

Yüksek Lisans Tezi

**Kerem ATİLA**

Danışman  
Doç. Dr. Emrah DOĞAN

**İstanbul – 2025**

## BEYAN

Bu tezin hazırlanmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğu, verilerde herhangi tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez olarak sunulmadığını beyan ederim.

Kerem ATİLA

.../.../2025



**İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE**

Kerem ATİLA'nın Kripto Varlıkların Çevresel Etkileri Üzerine Bir Analiz adlı tez çalışması, jürimiz tarafından Ekonomi ve Finans anabilim dalı, Ekonomi ve Finans bilim dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan *Prof. Dr. Erginbay UĞURLU*

Üye *Doç. Dr. Emrah DOĞAN*  
(Danışman)

Üye *Doç. Dr. Hakan YILDIRIM*

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

.../.../2025

*Prof. Dr. İzzet GÜMÜŞ*

Enstitü Müdürü

## ÖZET

2008 yılında kripto paraların ilki olan Bitcoin, Bitcoinin blok zincir altyapısına sahip merkeziyetsiz yapısı ile devletlerin otoritelerini sarsabilecek takas yöntemi olarak gündem maddesi olmuştur. Bitcoinin yayınlanmasından birkaç yıl sonra popülerliği artarak finansal piyasalarda yerini almıştır. Aynı zamanda, bitcoine rakip olarak, bitcoinden daha hızlı, daha verimli ve daha çevreci olduğu iddialarıyla benzer altyapılara sahip Ethereum gibi diğer kripto para birimleri ortaya çıkmıştır. Yine de bitcoin, günümüzde halen kripto para piyasasının yarısından daha fazlasını oluşturmaktadır. Çevrecilik konusunda oldukça söz edilmesine rağmen, kripto paraların kullanımı ve üretimi için kullanılan elektrik tüketimi ve tüketimden kaynaklanan çevresel etkiler yeteri kadar gündemde yer almamaktadır. Küresel ısınmanın en büyük etkileyicilerinden biri olan karbondioksit emisyonu seviyesi her geçen gün artmaya devam etmektedir.

Bu çalışmada kripto para birimlerinin üretim ve kullanım süreçlerinin doğrudan ya da dolaylı yoldan karbondioksit emisyonuna katkısı incelenecek, toplam enerji tüketimindeki yeri ile çevresel etkilerini araştırılacaktır. Bitcoin, İş Kanıtı (Proof of Work) olarak adlandırılan kripto para madencilik sistemi ile çalışmakta ve diğer kripto paralar ile kıyaslandığında daha çok enerji tüketimine sahiptir. Ethereum gibi Hisse Kanıtı (Proof of Work) olarak adlandırılan daha verimli ve az enerji tüketen altyapılara sahip kripto paralar bulunmasına rağmen, Bitcoin halen kripto para piyasasında büyük role sahiptir. Bu nedenle, kripto paraların çevresel etkileri gündemde olmaya devam etmektedir. Driscoll-Kraay tahmincisi ile yapılan analizin bulgulara göre, enerji tüketimi, bitcoin işlem hacmi ve direkt yabancı yatırımların karbondioksit emisyonu üzerinde istatistiki olarak anlamlı ve pozitif bir etkisi vardır. Yenilenebilir enerji tüketiminin karbondioksit emisyonu üzerinde istatistiki olarak anlamlı ve negatif bir etkisi vardır. Bitcoin işlem hacmi ve birincil enerji tüketiminin birlikte değerlendirildiği etkileşim katsayısı sonucuna göre, bu iki Bitcoin işlem hacmi ve birincil enerji tüketimi değişkenleri, karbondioksit emisyonları üzerinde marjinal etkisini azalttığı yönünde negatif ve istatistiki olarak anlamlı etkisi vardır.

**Anahtar Kelimeler:** Kripto Varlıklar, Enerji Tüketimi, Çevresel Sürdürülebilirlik, Driscoll-Kraay Tahmincisi, Panel Veri.

## SUMMARY

In 2008, Bitcoin, the first cryptocurrency, came to the forefront as a means of exchange that could undermine state authority with its decentralized structure based on blockchain infrastructure. A few years after the release of Bitcoin, its popularity increased and it took its place in financial markets. At the same time, other cryptocurrencies with similar infrastructures, such as Ethereum, emerged as competitors to Bitcoin, claiming to be faster, more efficient, and more environmentally friendly. Nevertheless, Bitcoin still constitutes more than half of the cryptocurrency market today. Although environmentalism is frequently discussed, the electricity consumption used for the production and use of cryptocurrencies and the environmental impacts resulting from this consumption are not sufficiently addressed. The level of carbon dioxide emissions, one of the main contributors to global warming, continues to increase day by day.

In this study, the contribution of the production and use processes of cryptocurrencies to carbon dioxide emissions, either directly or indirectly, will be examined, and their place in total energy consumption and their environmental impacts will be investigated. Although there are other cryptocurrencies such as Ethereum with more efficient and less energy-consuming infrastructures called Proof of Stake, Bitcoin still plays a major role in the cryptocurrency market. According to the findings of the analysis conducted using the Driscoll-Kraay test, energy consumption, Bitcoin transaction volume, and foreign direct investment have a statistically significant and positive effect on carbon dioxide emissions. Renewable energy consumption has a statistically significant and negative effect on carbon dioxide emissions. According to the result of the interaction coefficient in which Bitcoin transaction volume and primary energy consumption are evaluated together, these two variables have a statistically significant and negative effect on carbon dioxide emissions, indicating that their marginal impact on emissions decreases.

**Keywords:** Crypto Assets, Energy Consumption, Environmental Sustainability, Driscoll-Kraay Estimator, Panel Data.

## İÇİNDEKİLER

|                        |      |
|------------------------|------|
| ÖZET.....              | i    |
| SUMMARY .....          | ii   |
| İÇİNDEKİLER .....      | iii  |
| KISALTMALAR .....      | v    |
| TABLolar LİSTESİ.....  | vi   |
| GRAFİKLER LİSTESİ..... | vii  |
| ŞEKİLLER LİSTESİ.....  | viii |
| ÖNSÖZ.....             | ix   |
| GİRİŞ .....            | 1    |

### BİRİNCİ BÖLÜM

#### BLOK ZİNCİR TEKNOLOJİSİ, DİJİTAL PARA VE KRİPTO VARLIKLAR

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1. Bitcoin Arz Dinamikleri ve Dijital Para Ekosistemi .....                            | 3  |
| 1.1.1. Kripto Paraların Enerji Tüketimi ve Çevresel Sürdürülebilirlik Sorunu .....       | 4  |
| 1.2. Blok Zincir Teknolojisi.....                                                        | 6  |
| 1.2.1. İş Kanıtı (Proof of Work - PoW).....                                              | 7  |
| 1.2.2. Hisse Kanıtı (Proof of Stake - PoS).....                                          | 7  |
| 1.2.3. Dağıtılmış Defter Teknolojisi (DDT, Distributed Ledger Technology -<br>DLT) ..... | 8  |
| 1.2.4. Nesnelerin İnterneti (Internet of Things - IoT).....                              | 9  |
| 1.3. Dijital Para .....                                                                  | 9  |
| 1.4. Kripto Varlıklar .....                                                              | 10 |
| 1.4.1. Bitcoin (BTC).....                                                                | 11 |
| 1.4.2. Ethereum (ETH) .....                                                              | 14 |
| 1.4.3. Solana (SOL) .....                                                                | 15 |
| 1.4.4. Litecoin (LTC).....                                                               | 16 |
| 1.4.5. Dogecoin (DOGE).....                                                              | 16 |

### İKİNCİ BÖLÜM

#### KRİPTO VARLIKLARIN ÇEVRESEL ETKİLERİ

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1. Kripto Varlıklar ve Enerji Tüketimi ile İlişkisi .....                                    | 17 |
| 2.2. Birleşmiş Milletler (BM) Kalkınma Hedefleri Eylem Planı .....                             | 22 |
| 2.3. Kripto Varlıklar ve Enerji Tüketiminin Karbondioksit Emisyonu Üzerinde<br>Etkisi .....    | 25 |
| 2.4. Kripto Varlıkların Üretiminde Kullanılan Cihazlar ve Enerji Tüketimi ile<br>İlişkisi..... | 31 |

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.5. Jevons Paradoksu ve Kripto Varlıkların Enerji Tüketimi Üzerindeki İlişkisi. | 34 |
| 2.6. Negatif Dışsallıklar ve Karbon Emisyonu Teorisi .....                       | 34 |
| 2.6.1. Pigoviyen Vergisi ve Kripto Alanına Uygulanabilirliği.....                | 34 |
| 2.7. Yeşil Kripto Varlık Girişimleri.....                                        | 35 |

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### KRİPTO VARLIKLARIN ÇEVRESEL ETKİLER ARASINDAKİ AMPİRİK İLİŞKİNİN ANALİZİ

|                                   |           |
|-----------------------------------|-----------|
| 3.1. Ampirik Literatür.....       | 36        |
| 3.2. Veri Seti.....               | 39        |
| 3.3. Metodoloji.....              | 42        |
| 3.4. Ampirik Bulgular.....        | 44        |
| <b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b> | <b>51</b> |
| <b>KAYNAKÇA .....</b>             | <b>55</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>              | <b>65</b> |

## KISALTMALAR

|                       |   |                                                                                              |
|-----------------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>CO<sub>2</sub></b> | : | Karbondioksit                                                                                |
| <b>PoW</b>            | : | İş Kanıtı (Proof of Work)                                                                    |
| <b>PoS</b>            | : | Hisse Kanıtı (Proof of Stake)                                                                |
| <b>PoH</b>            | : | Tarih Kanıtı (Proof of History)                                                              |
| <b>BTC</b>            | : | Bitcoin                                                                                      |
| <b>ETH</b>            | : | Ethereum                                                                                     |
| <b>SOL</b>            | : | Solana Coin                                                                                  |
| <b>LTC</b>            | : | LiteCoin                                                                                     |
| <b>DOGE</b>           | : | DogeCoin                                                                                     |
| <b>BM</b>             | : | Birleşmiş Milletler                                                                          |
| <b>CCAF</b>           | : | Cambridge Üniversitesi Alternatif Finans Merkezi                                             |
| <b>CBECI</b>          | : | Cambridge Bitcoin Elektrik Tüketim Endeksi (Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index) |
| <b>TWh</b>            | : | Tera Watt Saat                                                                               |
| <b>BMİDÇS</b>         | : | Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi                                     |
| <b>ATM</b>            | : | Otomatik Para Çekme Makinesi                                                                 |
| <b>DDT</b>            | : | Dağıtık Defter Teknolojisi                                                                   |
| <b>IoT</b>            | : | Nesnelerin İnterneti (Internet of Things)                                                    |
| <b>MBDP</b>           | : | Merkez Bankası Dijital Para Birimi                                                           |
| <b>P2P</b>            | : | Uçtan uca (Peer to Peer)                                                                     |
| <b>KWh</b>            | : | Kilo Watt Saat                                                                               |
| <b>IEA</b>            | : | Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency)                                     |
| <b>BDDK</b>           | : | Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu                                                     |
| <b>ASIC</b>           | : | Uygulamaya Özel Entegre Devreler (Application-Specific Integrated Circuits)                  |

## TABLÖLAR LİSTESİ

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 1.</b> Finansal varlıkların yıllık bazda çevresel etkisi (2008-2014) ..... | 17 |
| <b>Tablo 2.</b> Yıllık toplam ton eşdeğer petrol bazında enerji ithalatı.....       | 22 |
| <b>Tablo 3.</b> Literatür özeti .....                                               | 36 |
| <b>Tablo 4.</b> Değişkenlerin tanımlanması.....                                     | 40 |
| <b>Tablo 5.</b> Değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri .....                      | 40 |
| <b>Tablo 6.</b> Değişkenlere Ait Korelasyon Matrisi.....                            | 41 |
| <b>Tablo 7.</b> Yatay kesit bağımlılık testi sonuçları.....                         | 44 |
| <b>Tablo 8.</b> Birim kök testleri sonuçları .....                                  | 45 |
| <b>Tablo 9.</b> Hausman, Woolridge ve modified Wald testi sonuçları .....           | 46 |
| <b>Tablo 10.</b> Driscoll-Kraay modeli sonucu.....                                  | 47 |

## GRAFİKLER LİSTESİ

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Grafik 1</b> Kuruluştan bu yana üretilen toplam Bitcoin arzı.....                                                     | 13 |
| <b>Grafik 2.</b> 1990-2022 yılları arasındaki Dünya Geneline Kişi Başına Elektrik Enerjisi Tüketimi (KWh).....           | 19 |
| <b>Grafik 3.</b> 1990-2023 yılları arasında Türkiye'nin enerji tüketimi (TWh) .....                                      | 20 |
| <b>Grafik 4.</b> Türlerine Göre Türkiye'nin Yıllık Enerji Üretimi (Btu) .....                                            | 20 |
| <b>Grafik 5.</b> Türlerine Göre Türkiye'nin 2023 Yılı Enerji Üretiminin Yüzdelik Dağılımı (Btu) .....                    | 21 |
| <b>Grafik 6.</b> 2017-2025 yılları arası Bitcoin yıllık enerji tüketimi (TWh) .....                                      | 25 |
| <b>Grafik 7.</b> 2010-2025 yılları arasında bitcoinin yıllık esasa indirgenmiş günlük enerji tüketimi (TWh).....         | 27 |
| <b>Grafik 8.</b> 2010-2022 yılları arası Kişi Başına Küresel Elektrik Enerji Tüketimi (KWh).....                         | 28 |
| <b>Grafik 9.</b> 2000-2020 Yılları Arası Küresel Enerji Tüketiminin Türüne Göre Dağılımı .....                           | 29 |
| <b>Grafik 10.</b> 2017-2025 yılları arasında Bitcoin madenciliği nedeniyle oluşan elektronik atık miktarı (kiloton)..... | 33 |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1. Bitcoin işlem şeması.....                                                       | 12 |
| Şekil 2. Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri Eylem Planı .....                             | 23 |
| Şekil 3 2023 yılı küresel karbondioksit (CO <sub>2</sub> ) emisyonları (milyon ton)..... | 30 |
| Şekil 4. Bitcoin üretimindeki elektronik atık döngüsü.....                               | 32 |



## ÖNSÖZ

Çalışmada her aşamada bana yol gösteren, bilgisiyle olduğu kadar anlayışıyla da desteğini esirgemeyen, zorlu koşullar altındayken bile yönlendirmeleri ve sabırlı tutumu ile bu çalışmanın tamamlanmasında destek olan değerli danışmanım Sayın Doç. Dr. Emrah DOĞAN'a gönülden teşekkür ederim. Hem maddi hem de manevi olarak bu süreçte yanımda olan, her türlü desteğiyle desteğini hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli annem Nedriye ATİLA, babam Cengiz Metin ATİLA ve bu zorlu süreçte her zaman yanımda olan sevgili Ece Nur YÜKSEL'e en içten teşekkürlerimi sunarım.



## GİRİŞ

Dijitalleşme, internet ve bilişim teknolojilerinin gelişimi ile gündelik kullanımının yaygınlaşması, vatandaşların kullanım alışkanlıklarını da değiştirmektedir. Fiat para ile yapılan alışverişlerde eski dönemlerde sikke, 21. yüzyılda banknot ve bilişim teknolojilerinin de gündelik hayatta yer almasıyla dijital para kullanılmaktadır. Günümüzde dijital para, elektronik para, e-para, sanal para, kripto para adlarıyla anılmaktadır. Bankacılık sektörünün dijitalleşmesi, kullanıcıların yaptıkları işlemleri internet bağlantısı olan bir akıllı telefon ile iki tarafın aynı lokasyonda veya bir bankaya gitmeye gerek olmaksızın istenilen yerde işlemin gerçekleşmesini sağlamıştır (Şenbayram, 2019).

Banka gibi bir aracı kuruma bağlı olmadan işlem yapılabilmesi düşüncesi ile Blok Zincir (Blockchain) Teknolojisinden ilki Bitcoin (BTC) olmak üzere “Kripto Para” adı altında 2008 yılı sonunda dijital para ortaya çıkmıştır (Nakamoto, 2008). Bitcoinin para arzının sınırlı olması, sürdürülebilir çevreci bir yaklaşım olmadığı iddiaları nedeniyle, Bitcoinin Ardından Ethereum (ETH), Solana (SOL) gibi diğer Kripto Para birimleri ortaya çıkmıştır (Truby, 2018).

Kripto varlıkların ortaya çıkışı, sahip oldukları Blok Zincir Teknolojisinin altyapısı, diğer fiat para birimleriyle karşılaştırıldığında farklı kılan avantaj ve dezavantajları, kripto paraların üretiminde ve dolaşımında yarattıkları çevresel etkileri ve diğer para birimleri ile incelenerek karşılaştırılacaktır. Her ne kadar aracı kurumlar olmaksızın uluslararası para transferleri ve işlem süresinin kısılması düşünülse de kripto paraların üretimi, dolaşımı ve saklanması sadece dijital ortam kullanıldığından dijital cihazların gerçek hayatta kullanımının artması, cihazların enerji tüketimindeki artışa neden olmaktadır (Eğilmez, 2013). Kripto paraların çevresel etkilerinin göz ardı edilmesi, dijital finansal sistemlerin uzun vadede toplumsal ve doğa üzerindeki olumsuz etkilerini derinleştirebilir. Bu nedenle, kripto varlıkların üretiminin çevre üzerindeki etkilerinin incelenmesi büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada, kripto varlıkların çevresel etkileri 2019–2023 yılları arasında seçilmiş 20 ülke ve/veya bölge için Driscoll-Kraay tahmincisi yöntemiyle analiz edilecektir. Analiz kapsamında, kripto varlıklar arasında ilk çıkan ve en fazla işlem hacmine sahip olan Bitcoinin çevresel etkileri özel olarak incelenecektir.

Çalışmanın temel araştırma sorusu, kripto varlıkların üretim ve kullanım süreçlerinin doğrudan ya da dolaylı yoldan karbondioksit emisyonuna katkısını incelemektir. Kripto paraların çevresel etkilerinin belirlenmesinde yapılan çalışma sayısı sınırlı sayıdadır. Bu çalışma, Bitcoin işlem hacmi ile enerji tüketiminin çevresel etkilerini belirleyerek literatürü genişletmeyi amaçlamaktadır.

Çalışma üç bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde kripto paraların ve blok zincir teknolojisinin altyapısı detaylı olacak incelenecektir. Çalışmanın ikinci bölümünde blok zincir teknolojisinin çevreye olan etkisi ve sürdürülebilirliği incelenecektir. Üçüncü bölümde veri seti, model ve yöntem tanıtılmıştır. Daha sonrasında ise elde Driscoll-Kraay tahmincisi ile elde edilen bulgular dahil edilerek değerlendirme yapılmıştır.

# **BİRİNCİ BÖLÜM**

## **BLOK ZİNCİR TEKNOLOJİSİ, DİJİTAL PARA VE KRİPTO VARLIKLAR**

Bu bölümde, blok zincir teknolojisinin temel prensipleri, dijital para kavramı ve kripto varlıkların genel çerçevesi ele alınacaktır. İlk olarak, blok zincir teknolojiye bağlı Proof of Work (PoW) ve Proof of Stake (PoS) gibi mekanizmaların yapısı ve çalışma şekli incelenecektir. Ardından dijital paraların ortaya çıkışı, fiat para birimlerinden farkları ve kripto varlıklardan bazıları tanıtılacaktır. Böylece blok zincir teknolojisiyle çalışan kripto varlıkların çalışma prensibi ve günümüzdeki yeri bahsedilmiş olacaktır.

### **1.1. Bitcoin Arz Dinamikleri ve Dijital Para Ekosistemi**

Tarihte takas yönteminden mal paraya, mal paradan dijital paraya evrimleşmesinde bireyler ve/veya kurumlar arası parasal işlemlerin hızı ve maliyeti önemli ölçüde değişiklik göstermiştir. Blockchain teknolojisi ile hayata geçmiş Bitcoin, Ethereum, Litecoin ve benzeri kriptografi teknolojisi ile tasarlanmış kripto paralar, günümüzde piyasalarda popülerliği artmasıyla birlikte, henüz günlük hayatta kullanımı için uygun görülme de potansiyel merkez bankası para birimi olarak da olabileceği söz konusudur (Aslan, 2020). Bitcoinin dolaşımında olabilecek maksimum arzın 21 milyona sabitlenmiştir. Bitcoin, 01 Ocak 2025 tarihi itibarıyla 19.804.212,5 adet Bitcoin arzına sahiptir. Bu miktar toplam havuzun %94,30'u üretilmiştir (Blockchain.com, t.y.). Kripto paraların ilki ve öncüsü olan Bitcoin günümüzde halen işlem hacmi ve piyasa değeri olarak yerini korumaktadır.

Kripto Para Piyasası, 2008 yılında ortaya çıkışından sonra, özellikle 2019 yılından itibaren popülerliği artarak işlem hacmi 300 milyona ulaşmıştır (Blockchain.com, t.y.; Kesebir, Günceler, 2019). Küresel olarak popülerlik kazanmasında, ülkelerin ticari değerini kabul etmesi ve finansal piyasalarda yer alması etkili olmuştur. Kripto varlıkların geleneksel yatırım araçlarından farklı bir altyapıya sahip olması, diğer finansal varlıklarla düşük korelasyona sahip olmaları ve yüksek getiri potansiyeli sunmaları, yatırımcıların dikkatini bu alana yönlendirmiştir Koçoğlu, Çevik ve Tanrıöven, 2021). Türkiye’de 2019 yılında Türk lirasının değer kaybetmesi

gibi ekonomik ve siyasi nedenlerden sonra özellikle Bitcoin piyasasına yönelmiştir (Muslih, 2019, s. 36). Kripto varlık kullanıcılarında artışın meydana gelmesinde bu varlıkların üretimi ve dolaşıma eklenmesi de büyük rol oynamaktadır. Ancak, Bitcoin üretiminde kullanılan enerji miktarı, tamamen elektrik ile çalışan dijital bir sistemin yaratacağı enerji tüketimi ile düşünüldüğünde, çevresel sürdürülebilirlik sorununa yol açabilir (Schinckus, 2021). Bu bağlamda, Bitcoin'in arz dinamikleri ve dijital para ekosistemindeki rolünün detaylı bir analizi önemli hale gelmiştir.

### **1.1.1. Kripto Paraların Enerji Tüketimi ve Çevresel Sürdürülebilirlik Sorunu**

Dijitalleşme sürecinde tüketicilerin gündelik hayatta dijital araçların kullanımının artması nedeniyle oluşan tüketim alışkanlıklarının değişmesi, alışverişte de rol oynamaktadır. Dijitalleşme çağında fiziki basılan ve kullanılan para (banknot), dijital ortamda kaydı tutularak dijital ortamda alışveriş ve mevduat işlemleri gibi yatırım süreçlerini hızlandırmıştır. Tasarruf sahibi bir vatandaş, dijital ortamda alışveriş yapabilmesi için dijital bankacılık hizmeti veren bir bankada bir vadesiz mevduat hesabı oluşturarak işlem gerçekleştirebilir. Elde tutulan banknotlar Otomatik Para Çekme Makinesi (Automated Teller Machine - ATM) aracılığı ile saklama sorumluluğu bankaya devredilir ve tasarruf sahibinin dijital hesabında yansıtılmaktadır. Bu sayede fiziki bulundurulmuş para dijital ortamda kullanılabilir ve istenildiği zaman ATM aracılığı ile tekrardan kâğıt para halinde kullanılabilir (Mahmood T., Shaikh G. M., 2013).

Kripto paralar, dijital olmasıyla iki kullanıcı arasında küresel ölçekte daha hızlı işlem yapılmasını sağlamaktadır. Dijital sistem üzerinde direkt olarak diğer kullanıcıya para transferi yapılabilmesine imkân sağlaması nedeniyle, merkeziyetsiz (decentralized) herhangi bir otorite tarafından kontrol edilmediğinden aracı kurumlardan komisyon veya işlem ücreti gibi maliyetler olmadan işlem yapılmasını sağlamaktadır. Blok zincir ve Dağıtık Defter-i Kebir Teknolojileri sayesinde iki kullanıcı arasında gerçekleşen işlemlerin düzenlenmeden ve silinmeden şifreli şekilde daha güvenli işlem gerçekleştirmesine olanak tanımaktadır (Özdoğan, 2022).

Dünyada hali hazırda kullanılan değerli madenler (ör. Altın), kâğıt para ve henüz fiziki olarak yer almayan ancak bankaların içerisinde sirküle olan paralar ile

karşılaştırıldığında kripto paralar tüm takas araçlarının sahip olduğu belirgin özelliklerine sahip olması bir yana dezavantajlarını avantaja dönüştürülmüş hali olarak görülebilir. Değerli madenlerin sınırlı olması, madeni elde etme süresi ve elde etme gideri bulunmaktadır. Değerli madenlerle birlikte kâğıt paralar da fiziki boyut ve ağırlık olarak taşınması gerektiğinden sınırlı miktarda taşınabilmektedir. Öte yandan dijital ve kripto paralar, gündelik hayatta internet bağlantısına sahip akıllı bir cihaz ile her yerde erişebilme ve taşınabilirlik sorunu olmamasından dolayı çok yüksek meblağlarda değer taşıyabilme imkânı, çevrimiçi sistem içerisinde olmasından dolayı alıcı-satıcı arasında mesafe olmasına rağmen takası gerçekleştirebilme imkanına sahiptir (Böhme, Christin, Edelman ve Moore, 2015). Ancak kripto paranın saklanması ve işlemlerin gerçekleşmesi için kesintisiz olarak dijital ortama ihtiyaç duymasının yanı sıra, kripto paraların üretimi için yüksek oranda enerji tüketen özel cihazlar kullanılmaktadır. Bu durum, ortaya çıkabilecek çevresel etkiler için büyük bir tartışma konusu olmaktadır (de Vries ve Stoll, 2021).

Kripto paraların elektriğe bağımlı olması ve bu bağımlılıktan gelen elektrik tüketimi, fosil yakıtların kullanımıyla ilişkilendirilen karbon ayak izini ve karbondioksit emisyonunu artırabilir. Enerjiye olan bu bağlılık ve kripto paraların kullanımı veya gündelik ihtiyacı günden güne değişse bile Cambridge Üniversitesi Alternatif Finans Merkezi (CCAF) yapılan bir çalışmalarında Bitcoinin toplam enerji tüketiminin yıllık bazda 40-445 terawatt saat (TWh) arasında olduğunu, bu miktarın da Hollanda'nın yıllık enerji tüketimine denk gelmektedir (McGrath, 2021). 2015 yılı sonunda Avrupa Birliği ve Türkiye'nin de içinde bulunduğu 190 ülkenin onayladığı Paris Anlaşması, küresel ortalama sıcaklık artışının düşürmek ve oluşabilecek küresel iklim krizinin önüne geçilmesini, çevresel sürdürülebilirliğe önem vererek Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) doğrultusunda uyumlu hale getirmeye çağırılmaktadır (BMİDÇS, 2015). Kripto varlıkların üretimi ve temeli günümüz sanal dünyada olması ve bu dünyanın devam etmesinde enerjinin rolü en temelde olması nedeniyle, küresel iklim krizine neden olmaması adına kripto varlıkların enerji tüketimi ve çevreye olan etkileri konusunun ele alınması gerekir.

Kripto paraların kullanımında gerekli regülasyonların ve kullanım serbestliğinin olması durumunda tüm dünyanın kullanabileceği bir sistem olarak düşünüldüğünde bu teknolojinin sadece ulusal değil, küresel sonuçlar doğurabilme ihtimali mevcut. Dünya

nüfusu, 1980'den bu yana artmaya devam etmektedir. Nüfus artışı ile elektrik tüketimi de beraberinde nüfusa da bağlı olarak tüketimi artırmakta ve oluşan bu tüketim artışı karbon emisyon miktarının da artmasına neden olmaktadır (Sevinç ve Aktuğ, 2023, s. 27). Türkiye açısından bakıldığında nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşmenin artışı enerji tüketiminin gözle görülür biçimde artış göstermektedir. Her ne kadar yenilenebilir enerjilerin üretimi ve miktarı enerji tüketimi ile artış gösterse de enerji tüketim ve yenilenemez enerji üretimi ile kıyaslandığında yetersiz kalmaktadır (Kahraman, 2019). Bu nedenle Dünya ile Türkiye'de karbon emisyon miktarındaki artış, küresel ortalama sıcaklık artışıyla iklim değişikliğine neden olmaktadır. Kripto paraların varlığından bu yana üretimde harcanan elektrik ve karbon emisyonu analiz edildiğinde yapılan bir çalışmada dünyanın 2 derece ısınma sınırını aşması sabit ilerlemesi durumunda 22 yıl, artışın devam etmesi durumunda 11 yılda neden olabileceği tahmin edilmektedir (Mora vd., 2018).

Kripto varlıkların dünya genelinde para birimi olarak kabul görme potansiyeli, enerji tüketimi ve çevresel etkiler açısından önemli sonuçlar doğurabilecek niteliktedir. Ancak bu dijital sistemlerin temelinde yer alan teknolojik yapı, kullanımın sürdürülebilirliği açısından olumsuz etkiye neden olabilir. Bu nedenle, kripto varlıkların çevresel etkilerin detaylı biçimde değerlendirilebilmesi için öncelikle blok zincir teknolojisinin temeli, yapısal özellikleri ve işlem onay mekanizmalarına değinilmesi gerekmektedir.

## **1.2. Blok Zincir Teknolojisi**

Blok Zincir Teknolojisi, 31 Ekim 2008 tarihinde Satoshi Nakamoto'nun yayınladığı "Bitcoin: Eşten-eşe Elektronik Nakit Ödeme Sistemi"nin yayınlanmasından sonra ortaya çıkan bir sistemdir (Nakamoto, 2008). Nakamoto, çalışmasında Blok Zincir Teknolojisi kelimesini kullanmamış olsa da ilgili çalışma sonrasında daha sonrasında Bitcoinin sahip olduğu altyapısı bu isimle anılmaya başlanmıştır. Blok Zincirlerin yapısı incelendiğinde, gerçekleşen her işlemi bir blok halinde betimlenebilir. Blok içerisinde yer alan iki kullanıcı arasındaki uygulanacak işlemin "Hash" teknolojisi ile Açık Anahtar (Public Key) ve Özel Anahtar (Private Key) ile veri heksadesimal olarak 0-9 sayıları ve A-F harfleri kullanılarak 64 karakterli 256 bit bir veri oluşturmaktadır (Aydar vd., 2019). Yapılan her işlemde, bir önceki blok ile bağlantılı olacak şekilde oluşan işlem dizini oluşturulmaktadır. Yapılan işleme

müdahale edilmesi durumunda tüm bağ bozulacağından, bir kişi veya otoritenin müdahale etmesi durumunda tüm bloklarda tutarsızlığa neden olacaktır. (Yılmaz, M.K. ve Kaplan, A., 2022). Paranın üretiminde rol oynayan madencilerin gelir elde etmesine yardım eden İş Kanıtı (Proof of Work) ve Hisse Kanıtı (Proof of Stake) gibi ödül teşvik sistemleri bulunmaktadır. Bu ödül sisteminin varlığı ile sunucuda yer alan kullanıcılar arasında rol dağılımını sağlamakta ve üretici rolüne sahip madencilerin gelir elde etme kaynağı olmaktadır. Her doğrulama sonunda oluşan bloklar Dağıtık Defter Teknolojisi ile ağdaki tüm kullanıcıların sisteminde onaylandıktan sonra ağda saklanır ve işlem değiştirilmek istendiğinde ağda dağıtılan tüm defterdeki verilerin değiştirilmesi gerekir. Çok sayıda kayıt defterinin bulunması nedeniyle bir işlemi değiştirmek neredeyse imkansızdır. Bu nedenle bir kişi veya otoritenin müdahale etmesini imkânsız hale getirmektedir.

#### **1.2.1. İş Kanıtı (Proof of Work - PoW)**

İş Kanıtı (Proof of Work - PoW), Konsensus Mekanizmasında Madenci olarak adlandırılan kişiler ve kullandıkları bilgisayarların işlemcisini kullanarak, kompleks matematiksel problemleri çözerek karşılığında ödül olarak ağa bitcoin eklenir. Eklenen bitcoin ağda her kullanıldığında yeni bir blok oluşturarak ağda Dağıtık Defter Teknolojisi (DDT, Distributed Ledger Technology - DLT) kullanılarak saklanır. Üretim sisteminde emek ve yatırım temeline dayandığından, ne kadar fazla emek ve yatırım yapılır ise elde edilecek gelir de o kadar fazla olacaktır. Kullanıcının üretim için kullandığı işlemcinin hızı, üretim hızı ile pozitif ilişkiye sahip olduğundan aynı zamanda enerji tüketiminde de pozitif bir ilişkiye sahiptir. Bu yüzden bitcoin üretiminde kullanılan enerji tüketimi sürdürülebilirlik hedefleri ile düşünüldüğünde tartışma konusu olabilmektedir (Schinckus, 2021).

#### **1.2.2. Hisse Kanıtı (Proof of Stake - PoS)**

Hisse Kanıtı (Proof of Stake - PoS), Konsensus Mekanizmasında ağda yer alan işlemlerin onaylanmasından sonra bulunulan ağda en çok hisseye sahip olan kullanıcıya ödülün verilmesi sistemi yer almaktadır. PoW sisteminde üretim yaparak daha fazla birime sahip olurken, PoS sisteminde üretilen birimin veya yapılan işlemin doğrulama işlemini gerçekleştirerek daha fazla birime sahip olma durumu söz konusudur. Diğer bir deyiş ile, PoW sisteminde daha fazla toprak kazarak daha fazla

madene sahip olmayı, PoS sisteminde ise keşfedilen madenin değerli bir maden olduğunu onaylayarak ve işlem gerçekleştirerek gelir elde etme sistemine sahiptir (Leporati ve Rovida, 2024).

### **1.2.3. Dağıtılmış Defter Teknolojisi (DDT, Distributed Ledger Technology - DLT)**

Herhangi bir yazının oluşturulmasında veya yapılan herhangi bir alışveriş işleminde “işlem tarihi” önemli bir rol üstlenmektedir. Bir işletmede bir ay içerisinde yapılan emtia alımı veya satımı sonucunda devlete yapması gereken vergi işlemlerinde; kredili işlem yapan bir vatandaşın hesap kesim tarihinde yapılan işlemlerin takibinin sağlanmasında; bir işletmenin muhasebesi raporlanırken incelenen her işlem bir işlem tarihine sahiptir. Bu sayede yapılan her işlem sıralanabilmekte, geçmişe dönüş incelemeler yapılabilmektedir.

Büyük Defter (Defter-i Kebir), işletmelerde yapılan bir işlemin belirli bir düzenlemeye tabi tutulmadan işlem sırasına göre tarihsel olarak gündelik tutulan muhasebe defteridir. Büyük Defter sahipleri genellikle işletme sahibi veya anlaşmalı mali müşavirler tarafından saklanır. Çoğunlukla küçük ve orta ölçekteki işletmelerde ve halka arz edilmemiş işletmelerde şirket bünyesinde gerçekleşen işlemlerin takibi merkezi otorite olarak işletme sahibine aittir. Merkezi otoritenin bulunmadığı bir defter kavramı ilk olarak 1991 yılında Stuart Haber ve W. Scott Stornetta’nın “How to Time-Stamp a Digital Document” adlı çalışmasında bahsedilmiştir (Şafak, Arslan, Gözütok ve Köprülü, 2021, s. 37). Dağıtılmış Defter Teknolojisine sahip alışveriş ortamında ise gerçekleşen her işlem, sunucuda bulunan tüm kullanıcılarda saklanmaktadır. Bu sayede, eşler arasında bir işlem yapıldığında herkesin bu işlemden haberi olmakta ve işlem bilgisi veya miktarı değiştirilemez şekilde güvenli bir altyapı oluşturmaktadır. Bir işlem sorgulanmak istendiğinde, sunucuda yer alan herhangi bir kullanıcıdan doğrulama yapılabilir. Çevrimiçi bir sistem olduğundan, verinin bozulmuş veya üzerinde değişiklik yapıldığı iddia edilmesi durumunda da sunucuda yer alan diğer herhangi bir kullanıcıdan doğrulama yapılabilir (Haber ve Stornetta, 1991, s. 440). Ancak bu teknolojinin kullanımında birkaç önemli durum ortaya çıkmaktadır. İşlem girdisi sunucudaki tüm kullanıcıların defterine veri gönderim aşamasında siber saldırı olması durumunda verinin değişme durumu söz konusu olabilmektedir. Bir benzer durumda ise, tüm defterlere işlenmiş bir verinin

kullanıcılarda değiştirebilme riski mevcuttur (Haber ve Stornetta, 1991, s. 440). Ancak bu durumda defter sayısı arttıkça her defter üzerinde değişiklik yapılması gerektiğinden, defter sayısı arttıkça siber saldırıdan etkilenme riskini azaltır ve siber saldırı ihtimalini azaltmaktadır. Ancak bu sistemin çevreye etkisi oldukça fazladır.

Bitcoin üretiminde üretilen veya işlenen bitcoinlerin doğrulanarak dağıtık deftere kaydının yapılması iş kanıtı sistemine bağlıdır. İş kanıtı sistemi kompleks matematiksel problem çözümü için yüksek enerji gücü kullanmaktadır. Yüksek enerji ihtiyacının yanı sıra elektronik atık miktarının da artmasına sebebiyet vermektedir. Bitcoin madencileri daha hızlı gelir elde etme çabası ve yüksek enerji nedeniyle cihazların daha kısa sürede kullanılamaz hale gelmesi nedeniyle ortalama yılda bir daha üst model madene uygun cihaz kullanımına neden olmaktadır. Bitcoin üretimi nedeniyle 30,7 metrik kiloton elektronik atığa ve Cambridge Bitcoin Enerji Tüketim Endeksine göre bitcoin 2022 yılında 144 Terawatt Saat (TWh) enerji tükettiği görülmüştür. Bu miktar dünya enerji tüketiminin yüzde 0,6'sına denk gelmektedir (Agur vd., 2022, s. 6).

#### **1.2.4. Nesnelerin İnterneti (Internet of Things - IoT)**

Nesnelerin İnterneti (Internet of Things), diğer adıyla IoT, günümüzde yer alan nesnelerde internet veya bluetooth bağlantısı özelliği eklenilerek piyasaya “akıllı saat”, “akıllı televizyon” gibi akıllı ibaresini koyarak satışa sunulan nesnelerdir. Kripto para işlemlerinin uygulanabilmesi veya üretilbilmesi için de internet bağlantısına sahip bir bilgisayar olması yeterlidir (Bıçakçı, 2019). Ağ bağlantısına sahip olan akıllı cihazların birbirleriyle iletişim kurabilme potansiyeli, blok zincir teknolojisinde yer alan dağıtık defter teknolojisi gibi yeni teknolojilerin oluşabilmesine temel olmuştur.

### **1.3. Dijital Para**

Paranın geçmişten günümüze kullanımında Gümüş Standardı, Altın Standardı gibi kullanımlarından sonra İtibari (Fiat) Para sisteminin kullanımın ardından itibari para kullanımının bir alt kategorisinde değerlendirilebilecek dijital paralar ortaya çıkmıştır. Dijital Paraların geleneksel kullanımda olan kâğıt ve madeni paraların yerine dijital ortamda dolaşım sağlanmasına imkân tanımaktadır. Günümüzde çoğunlukla fiziki olarak basılan paranın dijital ortama taşınmaktadır (Raskin ve Yermack, 2016). Teknolojinin ilerlemesi, nakit işlem yerine POS cihazları aracılığıyla ve dijital

cihazlarla sanal ödeme yöntemlerinin kullanımının yaygınlaşması ile bankacılık sektöründe de fiziki basılan paraların (banknot) dijital ortama yansıtılma ihtiyacı doğurmuştur. Bu sayede alışveriş, mevduat, döviz, altın, hisse senetleri, vadeli işlem ve opsiyonların işleyişinde de işlem hızı önemli ölçüde artmıştır (Wachira ve Wachira, 2021).

Merkez Bankası Dijital Para Birimi (MBDP) (Central Bank Digital Currency - CBDC) çalışmaları banknotların dijital sisteme aktarılması yerine, paranın sadece dijital ortamda oluşturulması, saklanması ve işlem görmesi gibi çalışmalar yer almaktadır. Banknotlar merkez bankaları tarafından basıldıktan sonra paranın fiziki değerinin korunmasında tüm sorumluluğu parayı elinde tutan kişiye, yani tasarruf sahibine devretmektedir. Ancak MBDP, merkez bankaları tarafından oluşturulduğundan, yırtılma veya yıpranma gibi fiziki zorlukları bulunmadığından saklama sorumluluğu devretmeden kontrol edebildiği bir sistem olarak adlandırılabilir (Öztürk ve Acar, 2021, s. 88). Bitcoin, Ethereum, Tether gibi Kripto Paralar da Dijital Para başlığı adı altında değerlendirilse de her dijital para kripto para sınıfında sayılmaz. Dijital paralar merkezi bir otoriteye bağlı belirlenen ve düzenlemeyle desteklenen, yazılımcılar tarafından düzenlemenin değiştirilebildiği para birimleridir. Yapılan işlemlerde kimlik doğrulama ve regülasyon gibi faktörlere bağlıyken kripto paralar herhangi bir otoriteye bağlı olmayan, eşler arası (peer to peer - p2p) bir kripto para birimidir. Böylece finansal sistemde merkeziyetsizlik, şeffaflık ve kullanıcıya doğrudan kontrol sunan yeni bir paradigma oluşmuş ve Bitcoin başta olmak üzere birçok kripto para birimi, geleneksel finansal yapılara alternatif olarak öne çıkmaya başlamıştır.

#### **1.4. Kripto Varlıklar**

Kripto varlıklar, blokzincir altyapısı üzerinde eşler arası (peer-to-peer) ağlar aracılığıyla merkezi bir otoriteye ihtiyaç duymadan bu varlıkların takas edilmesini sağlar. Bu varlıkların işlem kayıtları dağıtık defterlerde veriler silinmeden tutulur ve tüm kullanıcılar, herhangi bir aracı kuruma ihtiyaç duymadan doğrudan erişim sağlayabilir. Aynı zamanda bu kayıtlarda yer alan kişisel bilgiler şifrlenerek güvenliği sağlar. Verilerin değiştirilememesi, şeffaflık unsurunun bulunması ve şifrelenmiş güvenlik unsurlarıyla desteklenmiş merkeziyetsiz bir finansal modele sahiptir. İş

Kanıtı, Hisse Kanıtı, Tarih Kanıtı gibi üretim prensipleri ise kripto varlıklar arasında değişiklik göstermektedir.

#### 1.4.1. Bitcoin (BTC)

31 Ekim 2008 tarihinde Satoshi Nakamoto'nun (2008) yayınladığı "Bitcoin: Eşten-eşe Elektronik Nakit Ödeme Sistemi" adlı çalışmayla ilk kripto varlık olan "Bitcoin" ortaya çıkmıştır. Kripto paralar, blok zincir altyapısına sahip, banka gibi herhangi bir aracı kuruma ihtiyaç duyulmadan Merkez Bankası gibi hiçbir merkezi otoriteye bağlı olmadan işlem yapılabilmesini sağlayan dijital bir para birimidir (Eğilmez, 2013). Ortaya çıkış tarihinin 2008 küresel ekonomik krizle birlikte olması merkezi otoritelere karşı olan güveni azalan kullanıcılar için dikkat noktası olmuştur (Bilirer ve Zeren, 2025).

Bitcoin, fiat paralarla karşılaştırıldığında; dijital olması nedeniyle küresel ölçekte hızlı işlem yapılmasını, merkezi bir otoriteye bağlı olmadan direkt kullanıcıdan kullanıcıya işlem yapılmasını sağlayarak komisyon veya işlem ücreti gibi aracı kurumlardan kaynaklanan ek giderlerden muaf, blok zincir teknolojisi ile bir merkezi olmayan işlem kayıt mekanizması sayesinde daha güvenli bir ortam sunmaktadır (Özdoğan, 2022).

Bir Bitcoin üretiminde yapılan işlemler bir blok olarak saklanmaktadır. Her bloğun SHA-256 Hash Algoritması adı verilen başlığı bulunmaktadır. Bu algorithmada yazılan metin ne olursa olsun, 64 karakterli anlamsız görünen bir metin olarak görülür.

Şekil 1'de başlangıç bloğundan (Genesis Block) başlayarak devam eden işlem blokları yer almaktadır.

| Blok 1                                                                                | Blok 2                                                                                | Blok 3                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Hash:<br>7f83b1657ff1fc53b92dc<br>18148a1d65dfc2d4b1fa3<br>d677284addd200126d90<br>69 | Hash:<br>fcbacc05773e7ec0fd148<br>5c0314a79a71a2707b7c<br>b583a1552bcf7ffe853d9<br>25 | Hash:<br>18c14ba0ae887e6f3044<br>0e5a5cf24e2633a36ccad<br>31a1ce48be1f9a6c5a86d<br>12 |

|                                                                                  |                                                                                              |                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| İşlem Bilgisi:<br>Alıcı: Kişi A<br>İşlem Miktarı: 1฿<br>İşlem Türü: Para Üretimi | İşlem Bilgisi:<br>Alıcı: Kişi B<br>Satıcı: Kişi A<br>İşlem Miktarı: 0.5฿                     | İşlem Bilgisi:<br>Alıcı: Kişi C<br>Satıcı: Kişi A<br>İşlem Miktarı: 0.5฿                     |
| Önceki Hash: Konsensus Bloğu                                                     | Önceki Hash:<br>7f83b1657ff1fc53b92dc<br>18148a1d65dfc2d4b1fa3<br>d677284addd200126d90<br>69 | Önceki Hash:<br>fcbacc05773e7ec0fd148<br>5c0314a79a71a2707b7c<br>b583a1552bcf7ffe853d9<br>25 |

**Şekil 1.** Bitcoin işlem şeması

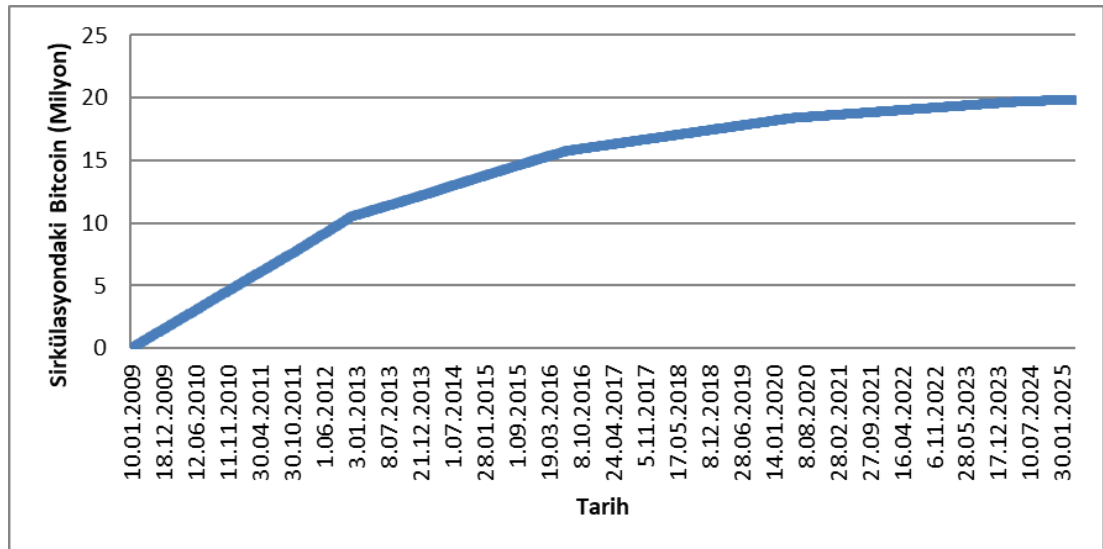
**Kaynak:** Nakamoto, 2008

Madenciler veya Doğrulamacılar, “Nonce” adı verilen, sadece tek seferlik kullanılabilen bir sayı anlamına gelen bir karakter ile blokta yer alan hash değerini çözümlmeye çalışır. Hash değerinin sistemdeki boyutu istenilen düzeye gelmesi durumunda bloğun doğrulanması tamamlanır ve dağıtık defter teknolojisine işlenir. Ardından doğrulamada katkı sağlayan kullanıcıları ödüllendirir. Yarılama (Halving) adı verilen algoritma bulunmaktadır. Yarılama algoritması, Madencilerin ürettikleri paralar diğer kullanıcılar tarafından doğruluğu kontrol edilip, elde edilen sonucun doğru kabul edilmesinden sonra madencinin aldığı ödül miktarının, algoritmada belirlenmiş bir hedeften sonra bu ödül miktarının yarıya düşürülmesidir (Narayanan, Bonneau, Felten, Miller ve Goldfeder, 2016). Bu durumda bir madencinin ilk başta aldığı ödül düzeyine ulaşabilmesi için iki kat daha fazla çalışması gerekecektir. Yarılama algoritması tekrardan devreye girdiğinde ödül değeri kümülatif şekilde değer kaybedecektir. İkinci yarılama sisteminin ardından madenci ilk başta verilen ödüle ulaşması için dört kat daha fazla çalışması gerekecektir (Küfeoğlu ve Özkuran, 2019).

İlk kurulan bloğun (Genesis Block) başlangıç tarihinden itibaren her 4 yılın ardından (yaklaşık 210.000 blok) üretilen Bitcoinin değeri, yarılama sistemi nedeniyle yarıya düşerek Bitcoin üretimi için harcanması gereken enerji miktarı ve harcanan kümülatif artış göstermektedir (Binance Academy, 2024). 2008’den itibaren 14 yıl içerisinde %90’a kadar ulaşılsa bile yarılama sistemi nedeniyle 10 dakikanın sonunda

üretilen Bitcoinin değeri önceki yarılamaadaki değerden iki kat daha az olduğundan ve değer üretim süresini uzattığından %90 oranından %100'e ulaşılması daha uzun zaman alacaktır.

Bitcoin, sisteminin içinde yer alan protokol gereği, maksimum 21 milyon Bitcoin olabileceği belirtilmektedir (Taskinsoy, 2021, s. 17). Bitcoinin sınırlı arzı sahip olması nedeniyle, yapılan araştırmalarda Bitcoin arzının 21 milyona 2040 yılına doğru ulaşacağı tahmin edilmektedir (Avrupa Merkez Bankası, 2012). Bitcoin üretiminde yarılama algoritmasının olması nedeniyle kullanılmaya başlandığı dönemde hızla üretim sağlanmış olsa da üretim için gereken enerji ve emek miktarı katlanmaktadır. Bitcoin, yayınlandığı tarihte bir blok kazmanın ödül değeri 50 Bitcoin değerindeydi. İlk yarılama Kasım 2012 tarihinde gerçekleşerek ödül değeri 25 Bitcoin'e, ikinci yarılama Temmuz 2016 tarihinde gerçekleşerek ödül değeri 12,5 Bitcoin'e ve üçüncü yarılama Mayıs 2020 tarihinde gerçekleşerek ödül değeri 6,25 Bitcoin olmuştur (Singla, Singla ve Gupta, 2024). Dördüncü yarılama Nisan 2024 tarihinde gerçekleşmiş ve bir sonraki yarılamanın 2028 tarihinde gerçekleşmesi beklenmektedir (Kraken Learn team, 2024). Etkilerin görünürlüğünün tespiti ve Bitcoinin kuruluşundan bu yana para arzının görülebilmesi için, Grafik 1'de kuruluştan bu yana üretilen toplam Bitcoin arzı yer almaktadır.



**Grafik 1** Kuruluştan bu yana üretilen toplam Bitcoin arzı

**Kaynak:** [www.blockchain.com/explorer/charts/total-bitcoins](http://www.blockchain.com/explorer/charts/total-bitcoins) (Erişim Tarihi: 27.04.2025)

Grafik 1 incelendiğinde, Bitcoin para arzında yükseliş olduğu, ancak Kasım 2012 tarihinde gerçekleşen ilk yarılama sonrasında kırılma yaşanarak bu artışın

azaldığı görülmektedir. Temmuz 2016 tarihinde gerçekleşen ikinci yarılama sonrasında ise arzdaki artış eğiminin önceki yıllara göre daha az olması nedeniyle daha az bir kırılmanın olduğu gözlemlenmektedir. Yarılama sistemi nedeniyle genel olarak incelendiğinde, maksimum arza ulaşımının daha uzun bir zaman dilimine yayılmasına olanak sağlamaktadır. Emek başına gelirdeki değer kaybının madenciler üzerinde caydırıcı etkiye sahip olabilir. Ancak üretimin verimli hale gelmeden devam etmesi veya artması durumunda çevresel etkilere olumsuz bir şekilde etki edebilir (Singla, Singla ve Gupta, 2024).

1 birim Bitcoin üretimi için 0.00050 kWh elektrik harcandığı varsayıldığında, halving sistemi olmadığı zaman 21 milyon Bitcoin üretimi için 10.500 kWh enerji ihtiyacı olacaktır. Yarılama sisteminde her bir noktada bir birim Bitcoin üretimi için gereken enerji miktarı da doğru orantılı olarak artacaktır. Aynı zamanda Bitcoinin üretimi, saklanması ve işlemlerin gerçekleşmesinin dijital ortamda olması enerji tüketimini artırdığından, ortaya çıkabilecek çevresel etkileri de büyük bir tartışma konusu olmaktadır. Lemmke (2022), Wang, Lucey, Vigne ve Yarovaya'nın (2022) çalışmasında belirtilen bitcoinin elektrik tüketiminin iki yıl içinde 4,8 TWh'den 73,12 TWh'ye yaklaşık 15 kat artış olduğunu ve bir Bitcoin işleminin 350 bin banka kartı işleminin enerji tüketimine eşdeğer olduğunu göstermektedir. Gereken bu enerji ihtiyacı bazı ülkelerin toplam yıllık enerji tüketimine eşdeğerdir. Bitcoin, kripto paraların enerji tüketiminde üçte ikilik kısmını oluşturduğu belirtilmektedir (Lemmke, 2022). Bu bulgular, bitcoinin makroekonomik düzeyde enerji talebi ve çevre üzerindeki etkilerine ilişkin incelenmesinin önemini artırmaktadır.

Dolaşımda olan para arzının sınırlı olması, yarılama sisteminin üretim hızını azaltmasının yanı sıra çevresel etkileri daha fazla olması nedeniyle, sürdürülebilir bir işlem aracı olarak olumsuz bir etkiye sahip olduğundan dolayı diğer yazılımcılar tarafından Ethereum, Solana, Dogecoin, Litecoin, Tether gibi birçok AltCoin (Alternative Coin) olarak adlandırılan Alternatif Kripto Para Birimleri ortaya çıkmıştır.

#### **1.4.2. Ethereum (ETH)**

Yazılımcı Vitalik Buterin tarafından geliştirilmeye başlanmış ve yazılımcıların sıklıkla kullandığı platform olan GitHub'da yazılımın altyapısı 25 Aralık 2013

tarihinde altyapının derlenmiş hali paylaşılmıştır (Gavofyorg, 2013). Ardından internet üzerinden kitlesel fonlama ile sermaye oluşturulduktan sonra 08.08.2015 tarihinde Kripto Para piyasasında yerini almıştır (CoinMarketCap, t.y.).

Ethereum ilk başlarda PoW mekanizmasını kullanmaktayken, mekanizmanın çok fazla enerji tüketimine neden olduğu gerekçesiyle 15 Eylül 2022 tarihinde Birleşim (The Merge) adı verilen adımla birlikte PoS mekanizmasına geçiş yapmıştır (Ethereum.org, t.y.). Kapengut ve Mizrach (2023), bu birleşim sonrası yaptığı çalışmada PoS mekanizmasına geçişin Ethereum'un enerji tüketimini yüzde 99.98 oranında azalttığını gözlemlemiştir.

### **1.4.3. Solana (SOL)**

Solana, 2017'nin sonlarına doğru Anatoly Yakovenko tarafından İsviçre'de kurulmuştur. Ardından 2020 yılında piyasaya girerek Solana Vakfı (Solana Foundation) adıyla anılmaya başlamıştır (Solana Foundation, 2023).

Solana blok zincirinde diğer paralardan ayıran farkı Tarih Kanıtı (Proof of History) sistemi ile çalışmasıdır. Tarih Kanıtı sistemi, ağa girecek olan paraların işlem sırasına göre tarih damgası içerecek şekilde çalışan sistemdir (Solana Foundation, t.y.). Paraların ağa katılırken doğrulamasında doğrulama süresinin maksimum beş saniye olması sabit bir hızda paranın ağa katılımı İş Katılımı ve Hisse Kanıtı yapılarından ayıran en temel özelliğidir. Doğrulama yapılırken kullanıcıların hepsinden onay alınması gerektiğinden en güvenli sistemlerden biri olarak görülebilir. Ancak sabit sürenin yer alması ve her kullanıcının sistem gereksinimleri farklı olabileceğinden, gecikmeler yaşanabileceği gibi sürdürülebilirlik alanında da tüm kullanıcıların enerji tüketeceği anlamına gelmektedir.

Solana, 24 Kasım 2021 tarihinde yayınladığı raporda, ağda gerçekleşen tek bir işlemin ortalama 0.00051 kWh enerji harcadığını, yıllık bazda bu değerin ortalama 3,186,000 kWh olduğunu belirtmektedir (Solana Foundation, 2021, 24 Kasım). 24 Kasım 2024 tarihinde Bitcoinin yıllık minimum enerji tüketimi ise 49.53 TWh (49,530,000,000 kWh) olarak kaydedilmiştir (Digiconomist, t.y.).

#### **1.4.4. Litecoin (LTC)**

Litecoin, Google mühendisi olan Charles “Charlie” Lee tarafından Ekim 2011 yılında kurulmuştur (Investopedia Team, 2024). Amerika’da 2017 yılında vakıf kuruluşu olarak kurularak piyasaya girmiştir (Litecoin, t.y.). Yazılım altyapısı olarak Bitcoinin geliştirilmiş versiyonu olarak anılmaktadır. Aralık 2024 tarihinde piyasa değeri 7,68 milyon dolardır (Coinmarketcap, t.y.).

#### **1.4.5. Dogecoin (DOGE)**

Dogecoin, 2014 yılında Billy Markus önderliğinde kurulan bir vakıf kuruluşu olarak anılmaktadır. Kâr amacı gütmeyen kuruluş olarak Much Wow Limited ve MadeUpNumbers Limited şirketi olarak İngiltere ve Galler’de kurulmuştur (Dogecoin Foundation, t.y.). Dogecoin, aynı zamanda “Şaka Parası” olarak da anılmaktadır (Chohan, 2021, s. 1). Dijital Paranın simgesi olan köpek simgesi, 2008 yılında Adsuko Sato tarafından sahiplenilen ve ismi “Kabosu” olan Shiba Inu cinsi köpeğin fotoğrafını 2010 yılında internette paylaştıktan bir süre sonrasında fotoğrafın üstüne Comic Sans yazı tipinde komik metinler paylaşarak fenomen haline gelmiştir (Bertha, 2014). Paranın piyasa değeri 2021 Şubat ayında ortalama 6,98 milyar dolar iken, Elon Musk’un Dogecoin hakkında Twitter’da (şimdiki adı ile X) yapmış olduğu paylaşımların ardından 5 ay içerisinde piyasa değeri 75,26 milyar dolara ulaşmıştır (Özbaş, 2021).

## İKİNCİ BÖLÜM

### KRİPTO VARLIKLARIN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Bu bölümde, kripto varlıkların çevreye olan etkileri incelenecek, halihazırda kullanımda olan fiat paraların üretim ve kullanım giderleri ile karşılaştırma yapılarak çevreye olumlu veya olumsuz bir etkinin olup olmadığı değerlendirilecektir.

#### 2.1. Kripto Varlıklar ve Enerji Tüketimi ile İlişkisi

Kripto paraların kullanımının ve üretiminin artması, kripto paraların altyapısının tamamen dijital olması nedeniyle enerjiye muhtaç olması durumu, enerji ihtiyacını da artıracak endişelerini doğurmaktadır. Bu durum da fosil yakıtlarla sağlanan enerjinin halen geçerli olması nedeniyle çevreye verilen zararı artırması tahmin edilmektedir. İklim Değişikliği konusundaki endişeler gün geçtikçe artmaktadır. Bu nedenle, kripto varlıkların iklim değişikliğinde önemli rol oynayan enerji tüketimi ile ilişkisinin incelenmesi gerekir.

Kripto paraların çevresel etkilerinin karşılaştırılabilmesi için, Tablo 1’de Para üretiminde ve kullanımında altın, kâğıt para, bankacılık sistemi ve kripto para piyasasında yarıdan fazla işlem gören Bitcoinin maliyeti, enerji tüketimi ve çevreye etkileri karşılaştırılmıştır.

**Tablo 1.** Finansal varlıkların yıllık bazda çevresel etkisi (2008-2014)

|                                     | Brüt Yıllık Masraf (\$)                         | Tüketilen Enerji (GJ) | Üretilen CO <sub>2</sub> (Ton) |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| Altın Çıkarma                       | 105 Milyar                                      | 475 Milyon            | 54 Milyon                      |
| Altın Yenileme                      | 40 Milyar                                       | 25 Milyon             | 4 Milyon                       |
| Kâğıt Para ve Para Basma            | 28 Milyar                                       | 39.6 Milyon           | 6.7 Milyon                     |
| Bankacılık Sistemi<br>Toplam Gideri | 1806.02 + 63.8<br>(Elektrik Tüketimi)<br>Milyar | 2340 Milyon           | 390 Milyon                     |
| Bitcoin Üretimi                     | 0.79 Milyar                                     | 3.6 Milyon            | 0.6 Milyon                     |

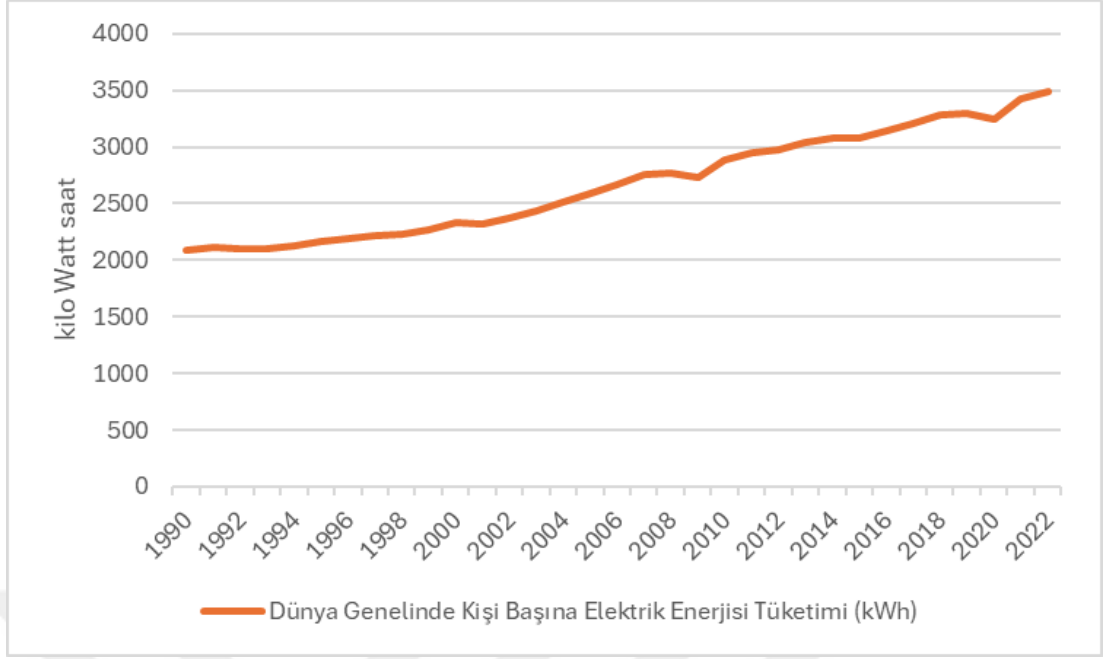
**Kaynak:** Nicolas, (2023).

Tablo 1’de yer alan veriler incelendiğinde, Bitcoin üretimi diğer birimlere göre en az etkiye sahip olduğu görünmektedir. İnternet kullanımının artmasıyla ve bankaların otomatik fatura ödeme talimatı gibi madeni para ve kâğıt para ile yapılamayacak yeni ve hızlı işlemlerin ortaya çıkmasıyla tüketicilerin gündelik yaşamda kolaylık yaşadığı ve bitcoinin diğer paralara göre daha yeni olduğu düşünüldüğünde bankacılık sisteminin diğer paralardan daha ön planda olması beklenen sonuçtur. Enerji tüketimi açısından incelendiğinde dijital bankacılık sistemi ile bitcoin kullanan kişi sayısının eşit olduğu varsayımında, her iki dijital paranın da büyük çoğunlukla çevrimiçi altyapıya dayanması nedeniyle üretilen karbondioksit miktarının birbirlerine yakın olması öngörülebilir.

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler her ne kadar sağladıkları ekonomik büyüme ile gelen enerji ihtiyacındaki artışın verdiği zararın artmasını önlemek için sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji alanında yatırımlar yapıyor olsa da önlemlerin tam anlamıyla alınabilmesi için ciddi miktarlarda yatırım yapılması gerekmektedir. Bu durum da hedefe ulaşmanın zorlu olmasından dolayı ilk etapta çevreye yansıyacak hasarın azaltılması ve minimuma indirilmesi hedeflenmelidir (İbrahim, Houssamb, Esily, Sethi, ve Fouad, 2024).

Kripto paraların kullanımının ve üretiminin artması da aynı zamanda enerji ihtiyacını da artıracaktır. Yenilenemez enerji tüketimi yoğunlukta olan ülkelerde daha çok karbon emisyonuna, yenilenebilir enerji tüketimi yoğunlukta olan ülkelerde ise enerji talebini karşılayabilmeleri için yatırım ihtiyacına ve arazi talebine yol açabilir. Yenilenemez enerji ithalatı yapan ülkelerde ise cari açık ve ekonomik bağlılığa neden olabilir (Mukhtarov, Yüksel ve Dinçer, 2022).

Dijital çağın yaygınlaşması ve artan popülasyonun etkisiyle elektriğe olan bağımlılığı artırmakla birlikte, tüketimi de artırmaktadır. Grafik 2’de 1990-2022 yılları arası dünyanın kilovatsaat cinsinden kişi başına elektrik enerjisi tüketimi yer almaktadır.

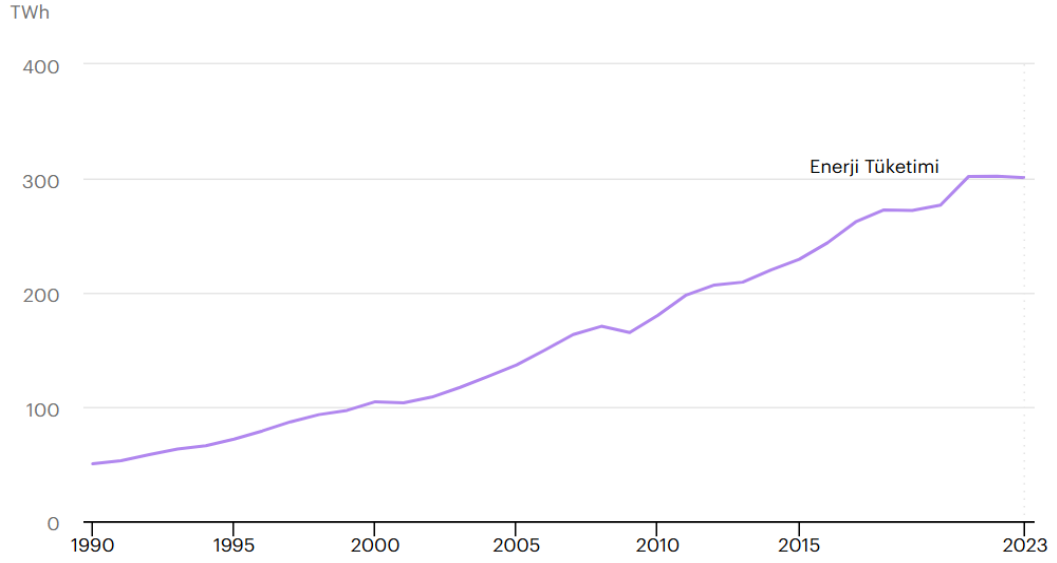


**Grafik 2.** 1990-2022 yılları arasındaki Dünya Geneline Kişi Başına Elektrik Enerjisi Tüketimi (KWh)

**Kaynak:** The World Bank Group, Erişim Tarihi: 19.05.2025

1990 yılında ortalama 2093 kWh olan kişi başına elektrik tüketimi, 2022 yılında 3486 kWh değerine ulaşarak yaklaşık %66 oranında bir artış yaşanmıştır. Küresel enerji talebinin ve kişi başına düşen elektrik tüketiminin son 30 yılda istikrarlı biçimde arttığını göstermektedir.

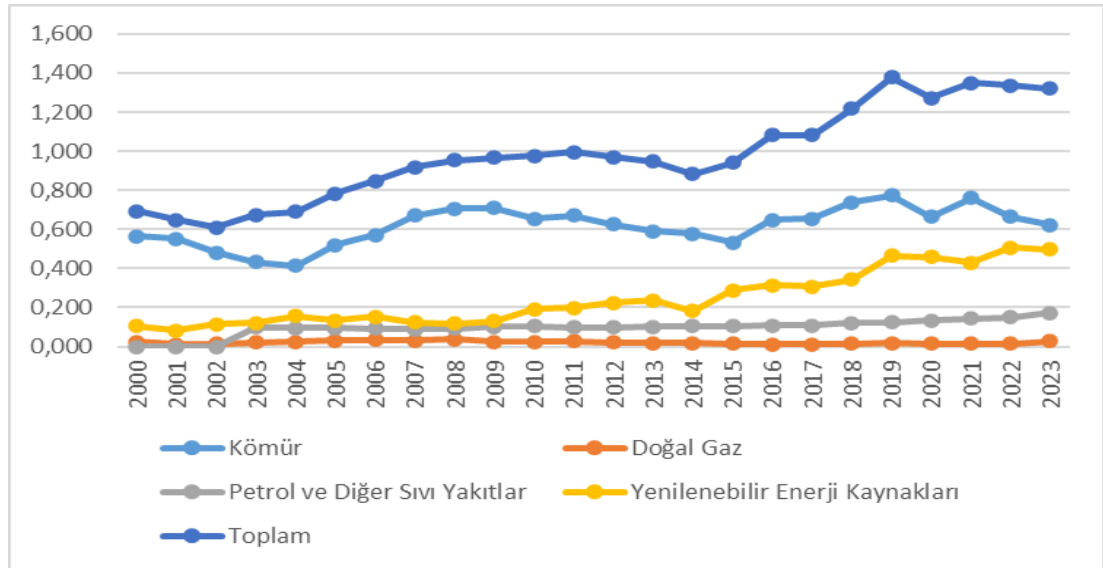
Türkiye üzerinden ele alındığında enerji üretiminde tüm dünyada olduğu gibi nüfusun artmasıyla birlikte enerji ihtiyacı da artmaktadır. Grafik 3'te Türkiye'nin 1990 yılından itibaren enerji tüketimi yer almaktadır.



**Grafik 3.** 1990-2023 yılları arasında Türkiye'nin enerji tüketimi (TWh)

**Kaynak:** U.S. International Energy Agency (IEA) (Erişim Tarihi: 27.04.2025)

Enerji tüketimindeki artışın karşılanabilmesi için üretimin artması veya enerji tüketimini verimli hale getirmesi gerekir. Aynı zamanda sürdürülebilir bir çevre için yapılacak üretimin de yenilenebilir enerji kaynaklarıyla sağlanması gerekir. Türkiye'nin coğrafi yapısı göz önünde bulundurulduğunda, çeşitli doğal kaynaklara erişimin olması yenilenebilir enerji üretimindeki zorluklarla karşılaşma ihtimalini de azaltmaktadır. Grafik 4'te Türkiye'nin enerji üretimindeki kaynakların dağılımı yer almaktadır.

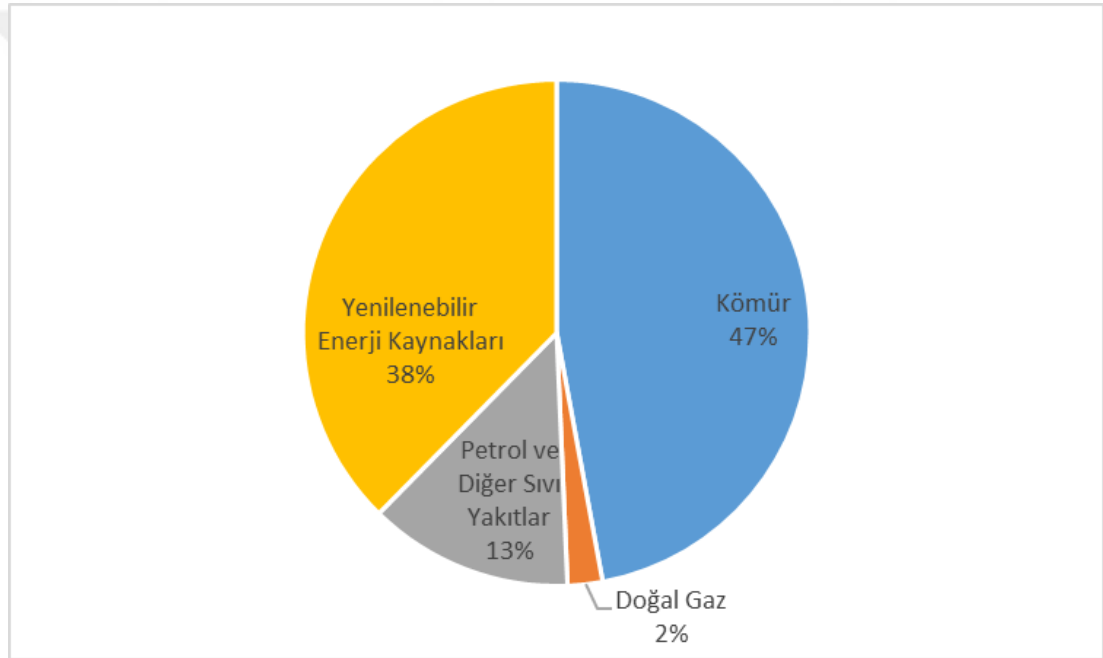


**Grafik 4.** Türlerine Göre Türkiye'nin Yıllık Enerji Üretimi (Btu)

**Kaynak:** U.S. Energy Information Administration (EIA) Erişim Tarihi: 10.03.2025

Grafik 4 incelendiğinde, Türkiye'nin yıllık enerji üretiminin yıllar içinde artış gösterdiği ve 2014 yılından itibaren yenilenebilir enerji kaynaklarının üretiminde artış yaşandığı gözlemlenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarındaki bu artış, toplam enerji üretimindeki yükselişi destekler niteliktedir. Her ne kadar kömür Türkiye'nin enerji kaynağı olarak büyük bir rol oynamaya devam etse de; yenilenebilir enerji kaynaklarındaki gözle görülebilen üretim artışı ve kömürden üretilen enerjinin ortalama düzeyde olmaya devam etmesi, Türkiye'nin enerji politikasında yenilenebilir kaynaklara yönelimin olduğunu göstermektedir.

Grafik 4'te yer alan 2023 yılının sonundaki Türkiye'nin yıllık enerji üretiminin kaynaklara göre dağılım oranı Grafik 5'te yer almaktadır.



**Grafik 5.** Türlerine Göre Türkiye'nin 2023 Yılı Enerji Üretiminin Yüzdelik Dağılımı (Btu)

**Kaynak:** U.S. Energy Information Administration (EIA) Erişim Tarihi: 10.03.2025

Grafik 4 ve 5 birlikte incelendiğinde, 2010 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji üretime oranı yüzde 20 iken, 2023 yılında bu oran yüzde 38'e yükseldiği görülmektedir. 2010 yılından itibaren yenilenemeyen enerji kaynaklarının üretimi ortalama düzeydeyken yenilenebilir enerji kaynağı üretimi on yıl içerisinde iki kat üretimi artırarak enerji üretimi konusunda çevreci enerjilerin tercih edildiği gözlemlenmektedir.

Tablo 2’de, enerji ithalatı yapan bazı Avrupa ülkelerinin enerji ithalatı yer almaktadır.

**Tablo 2.** Yıllık toplam ton eşdeğer petrol bazında enerji ithalatı

| Ülke / Yıl      | 2019        | 2020        | 2021        | 2022        | 2023        |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Almanya</b>  | 239.809,494 | 214.508,984 | 224.677,110 | 233.355,914 | 205.717,248 |
| <b>Hollanda</b> | 182.623,045 | 165.526,871 | 175.234,434 | 187.246,839 | 178.924,545 |
| <b>İtalya</b>   | 151.902,867 | 131.128,040 | 144.188,811 | 152.250,801 | 139.297,957 |
| <b>Fransa</b>   | 153.290,744 | 126.225,924 | 131.440,943 | 145.917,083 | 135.063,784 |
| <b>Türkiye</b>  | 115.339,984 | 113.650,410 | 123.713,628 | 124.855,730 | 125.855,998 |

**Kaynak:** <https://ec.europa.eu/eurostat> (Eurostat) (Erişim Tarihi: 10.03.2025)

Tablo 2’de belirtilen enerji ithalatı yapan ülkelerin enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için enerji ithal etmesi, aynı zamanda da ekonomik olarak bağımlılığa neden olabilir. Diğer bir yandan, Türkiye’nin jeopolitik konumu ve coğrafi özelliklerinin çeşitli olması, yenilenebilir enerji üretiminde çeşitli fırsatlara sahip olduğu ve doğru plan ile yatırımlarla ekonomik bağımlılığı azaltması bir yana çevre kirliliğini minimuma indirme fırsatına da sahip olabilir (Mukhtarov, Yüksel, ve Dinçer, 2022).

Kripto varlıkların üretim süreçlerinin yüksek enerji gerektirmesi, enerji talebinin karşılanabilmesi için dışa bağımlılığı artırmakta ve ekonomik sorunlara yol açmasının yanı sıra, artan enerji tüketimi, çevresel etkilerin daha da büyümesine neden olmaktadır (Akşehirli, 2024).

## **2.2. Birleşmiş Milletler (BM) Kalkınma Hedefleri Eylem Planı**

Birleşmiş Milletler (BM) tarafından 1 Ocak 2016’da, daha iyi sürdürülebilir bir geleceğe sahip olma fikriyle 2030 yılına kadar ulaşılması amaçlanan “Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri” adı altında 17 farklı hedef belirlenmiştir. Hedefler numaralı şekilde Şekil 2’de belirtilmiştir.

## Sürdürülebilir Kalkınma İçin KÜRESEL AMAÇLAR



**Şekil 2.** Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri Eylem Planı

**Kaynak:** kureselamaclar.org Erişim Tarihi: 18.05.2025

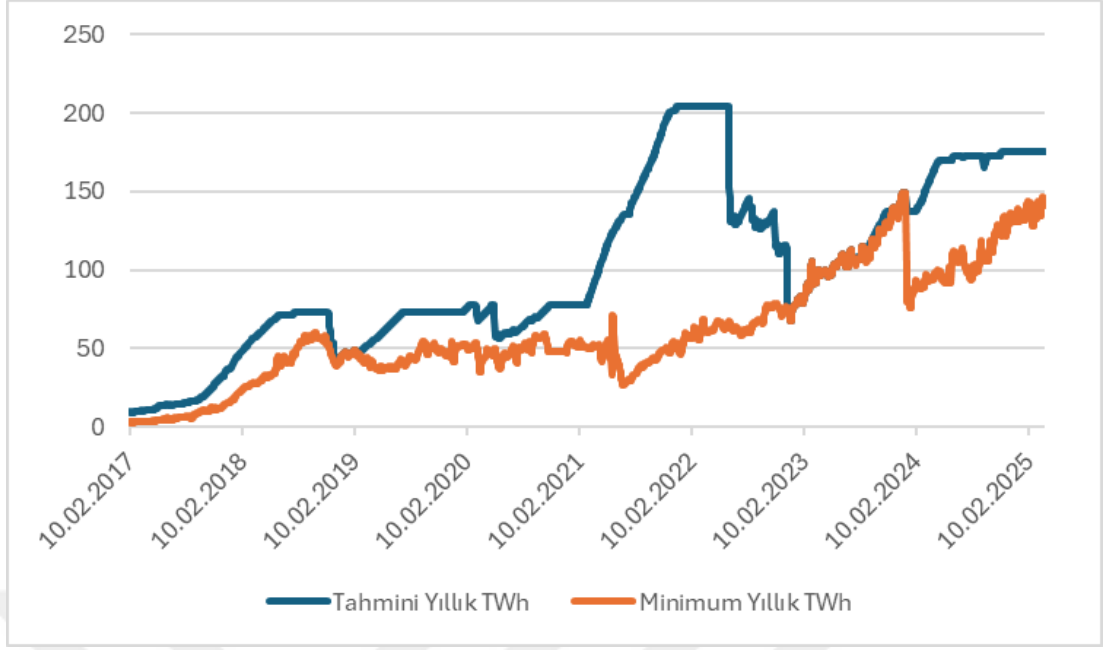
Daha öncesinde 2000 yılında “Binyıl Kalkınma Hedefleri” adı altında 8 farklı hedef bulunurken, bu eylem planı 2015 yılında tamamlanmış ve hemen ardından “Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri” eylem planı yürürlüğe girmiştir. Binyıl kalkınma hedefleri 2000 yılında paylaşıldığından “Milenyum Kalkınma Hedefleri” olarak da anılmaktadır. Bu hedefler numaralı bir şekilde (1) Aşırı Yoksulluğu ve Açlığı Ortadan Kaldırmak, (2) Herkes için Evrensel İlköğretim Sağlamak, (3) Cinsiyet Eşitliğini Teşvik Etmek ve Kadınların Güçlendirilmesini Sağlamak, (4) Çocuk Ölümlerini Azaltmak, (5) Anne Sağlığını İyileştirmek, (6) HIV/AIDS, Sıtma ve Diğer Hastalıklarla Mücadele, (7) Çevresel Sürdürülebilirliğin Sağlanması, (8) Küresel Ortaklık olarak belirlenmiştir (Akyıldız, 2011, s. 49).

Yedinci hedefin gerçekleştirilmesi için, enerji kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesini gerektirmektedir. Yenilenebilir ve Yenilenemeyen Enerji Kaynakları karşılaştırıldığında her iki türde de olumlu ve olumsuz yönler bulunmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynaklarından, kömür üzerinden enerji üretiminde, kömür yakıtlı elektrik santrallerinde kömür bulunan lokasyonlarda madenin çıkarılacağı bölgelerde arazi bozulmalarının yanı sıra; karbondioksit, kükürtdioksit ve azot dioksit gibi gazların oluşumunun çevrede yer alan yerleşim yerlerine büyük oranda zarar vermesinin yanında küresel bağlamda da ozon

tabakasının incelmesi durumu söz konusudur (Yılmaz, 2022). Yenilenebilir enerji kaynaklarından; jeotermal santrallerin kurulmasında önlem ve denetimlerin olmaması durumunda yerel atıklar oluşabilir, bu durum da kömür ile enerji üretimine kıyasla küresel zararı olmasa da bölgesel zarara yol açabilir. Rüzgâr ve hidroelektrik santrallerinde, üretim potansiyelinin en yüksek olduğu alanların seçilmemesi durumunda da verimsiz yapılanmaya yol açabilir. Güneş panelleri yoluyla elektrik üretiminde ise, bireysel üretimlerde evlerin çatılarında yer alması yerleşim yapılanmasını bozmadan üretime katkı sağlayabilir. Ancak güneş panellerinin bakımlarının verimli yapılmaması durumunda panellerin üretiminde kullanılan plastik, silikon ve çeşitli metallerin geri dönüştürülebilme oranlarını düşüreceğinden, atık miktarının artmasına yol açabilir. Geçiş çaplı güneş panellerinin kullanılmasında ise sadece gün içerisinde hava durumuna bağlı olarak üretim sağlayacağından, hava koşullarının güneşli olmadığı zamanlarda sürdürülebilir enerji üretimi sağlamayacağından dönemsel olarak gereken enerji ihtiyacını karşılamama riski söz konusudur (Akova, 2012, s. 66-67).

Kripto paralar ve Blok Zincir Teknolojisinin Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri kapsamında uyarlandığında, 7. hedef (Erişilebilir ve Temiz Enerji) ve 8. hedef (İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme) kapsamında çoğunlukla değerlendirilebilir. 7. hedefin alt başlıklarında ise ağırlıklı olarak 7.2. alt hedefi (2030'a kadar yenilenebilir enerjinin küresel enerji kaynakları içindeki payının önemli ölçüde artırılması) ve 7.2.1. alt hedefi (Toplam nihai enerji tüketimindeki yenilenebilir enerji payı) alt hedefi gösterilebilir. 7. hedefin alt başlığında ise 8.4.1. (Madde ayak izi, kişi başına düşen madde ayak izi ve GSYİH [Gayri Safi Yurtiçi Hasıla] başına karbon ayak izi) gösterilebilir.

Kripto Para üretiminde yapılan enerji tüketimi, küçük bir ülkenin veya ortalama bir iskandinav ülkesi kadar, hatta daha fazla enerji tükettiği düşünülmektedir (Kurt ve Alsu, 2024, s. 203). Huynh (2022), çalışmalarında Bitcoinin enerji tüketiminde kripto para piyasasında çöküş yaşansa bile enerji tüketiminin azalmadığını belirtmektedir. Aşağıda yer alan grafikte 2017-2025 yılları arasındaki toplam Bitcoin enerji tüketimi gösterilmektedir.



**Grafik 6.** 2017-2025 yılları arası Bitcoin yıllık enerji tüketimi (TWh)

**Kaynak:** Digiconomist (Erişim Tarihi: 06.04.2025)

Son beş yılda Bitcoinin enerji tüketimi üç katına çıktığı görülmektedir. Bu durum, enerji tüketiminin uzun vadede çevresel sorunlara yol açabileceği endişelerine neden olmaktadır (de Vries, 2018). Bitcoin, kripto varlıkların öncüsü olarak piyasada en çok tercih edilen ve işlem gören birim olması nedeniyle, enerji tüketimi durumunun ve tüketimin yol açabileceği çevresel etkileri göz önünde bulundurulması gerekir (Bashari, Ghavidel Doostkouei, Fathabadi ve Soufimaajidpour, 2025).

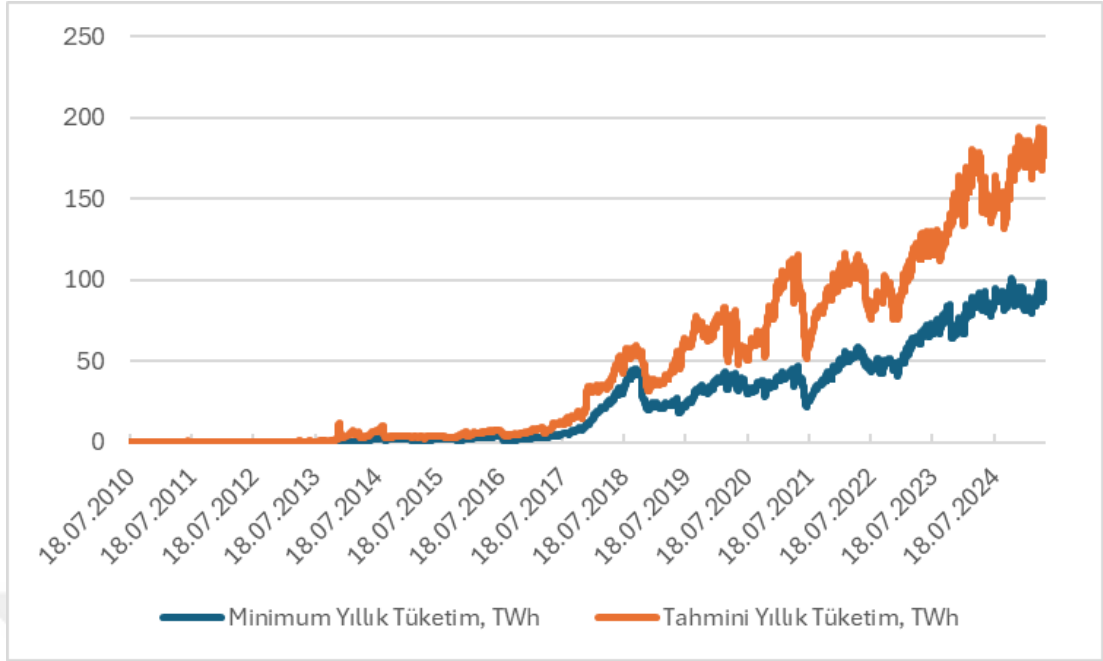
### 2.3. Kripto Varlıklar ve Enerji Tüketiminin Karbondioksit Emisyonu Üzerinde Etkisi

Kripto para sirkülasyonunda altyapısı gereği sunucularda dağıtık defter mantığıyla çalışması, kullanıcıların tespit edilmesini zorlaştırmaktadır. Aynı şekilde bu durum da araştırmaların yapılabilmesi için konum tespitlerinin yapılmasını da zor hale getirmektedir. Bu durumda kripto para üretiminin nerede üretildiği tam olarak tespit edilememesi de söz konusudur. Kripto para üretiminin tam konumuna erişim sağlanamaması, bölgesel enerji tüketiminin tespit edilebilmesi de zorlaştırmaktadır. Ancak ağdaki sunucuların ortak olması, sirkülasyonda olan para, gün içerisinde yapılan işlem hacmi gibi verilere erişimin sağlanılabilmesi mümkündür. Bölgesel pazar olması durumunda ise üretimin de bölgesel olabileceği gibi bölgesel enerji tüketimine de erişmek mümkün olabilir.

Cambridge Üniversitesi'nin yapmış olduğu çalışmalarında 2019 yılında Cambridge Bitcoin Elektrik Tüketim Endeksi (Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index (CBECI)) adı altında endeks yayınlamaya başlamıştır (Cambridge Judge Business School, 2023). Endekslerinde her ne kadar kripto para üretiminin hangi bölgede yapıldığı tespit edilemese de sunucuya üretilen paranın kanıtlanması sürecindeki harcanan enerjinin (hash rate) tespit edilmesini baz alarak Üretim Haritası oluşturulabildiği ve böylelikle bölgesel dağılımın tespit edilmesinin mümkün olabildiğini belirtmektedir. Bu sayede, üretim için harcanan enerjinin ve bu enerjinin oluşturduğu sera gazının miktarının tespit edilebilmesi de mümkün hale gelmektedir.

Xiao, Cui, Xiang, Liu ve Zhang (2023), Bitcoin madenciliğinin Çin'de 77,84 milyon ton CO<sub>2</sub> emisyonuna yol açtığını belirtmektedirler. Dünya Bankası'nın 2024 yılı için toplam karbondioksit emisyonları göstergesi incelendiğinde, Türkiye'nin karbon emisyonu miktarı 438,32 milyon ton olarak hesaplanmıştır. Bu da Türkiye'nin karbon ayak izinin yaklaşık yüzde 18'ine denktir. Aynı zamanda Çin'deki yıllık Bitcoin madenciliğinin emisyonlarının yüzden fazla ülkenin emisyon miktarından fazla olduğu görülmektedir.

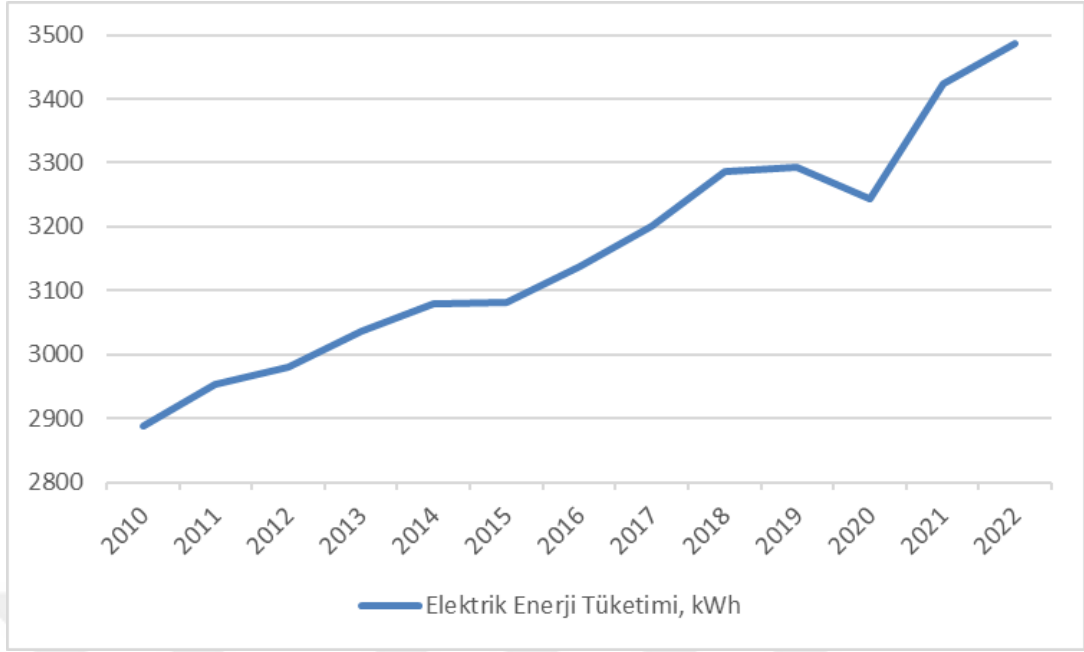
Cambridge Bitcoin Elektrik Tüketim Endeksi (Cambridge Judge Business School, 2023) raporuna göre, 26 Mayıs 2025 tarihi itibarıyla Bitcoinin enerji tüketimi yıllık 187,1 Tera Watt saat olarak hesaplanmıştır. Bu miktar, Polonya, Mısır, Güney Afrika ve Tayland gibi ülkelerin toplam yıllık enerji tüketimine denk olduğu görülmektedir. Bruna (2023), çalışmasında 2018 yılına ait verileri incelendiğinde, Bitcoinin 17,29 milyon metrik ton karbondioksit emisyonu üretiminin yüzde 26,2'lik oranının İç Moğolistan bölgesinde yayıldığı tespit edilmiştir (Rao, Rajasekhar, Prasad, ve Naidu, 2024). Tablo 7'de 2010 yılından bu yana Cambridge Alternatif Finans Merkezi'nin (CCAF) günlük olarak yer alan yıllık esasa indirgenmiş Bitcoin enerji tüketimi yer almaktadır.



**Grafik 7.** 2010-2025 yılları arasında bitcoinin yıllık esasa indirgenmiş günlük enerji tüketimi (TWh)

**Kaynak:** CCAF. (Licenced under CC BY-NC-SA 4.0).

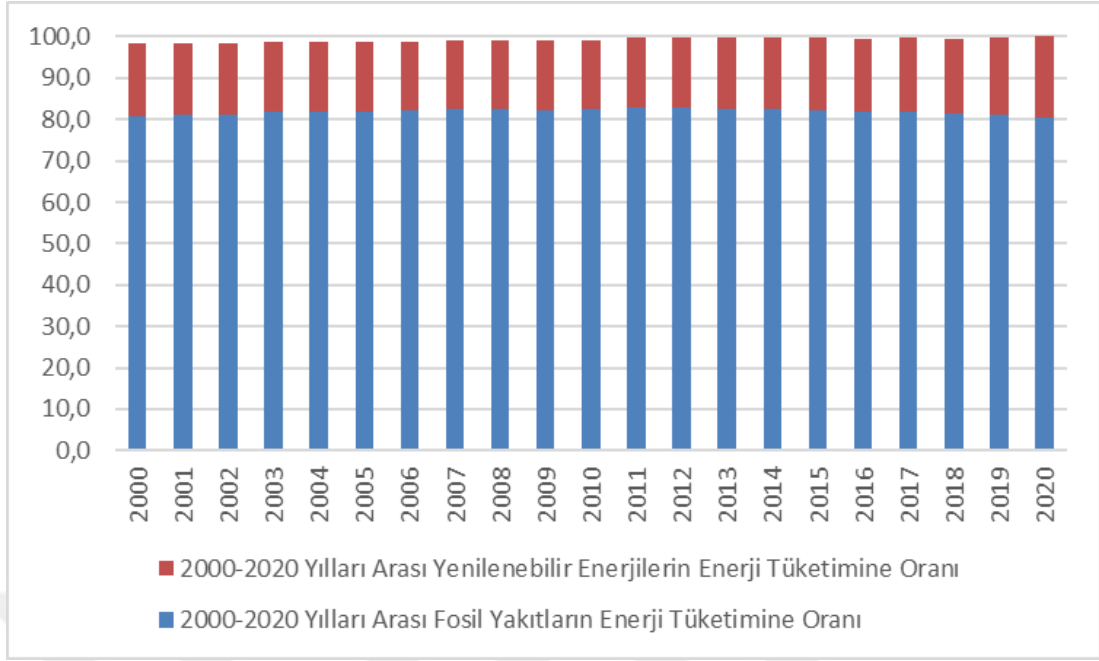
Grafik 7 incelendiğinde Bitcoin enerji tüketimi, 2017 yılından sonra tüketimde hızlı bir artış meydana geldiği görülmektedir. Bu durum da Bitcoinin kullanımının popülerlik kazandığına işaret etmektedir. Elektrik tüketiminin artması, elektrik enerjisine olan bağımlılığı artırmakla beraber aynı zamanda karbon ayak izinin de artmasına neden olacaktır. Bu durum da sürdürülebilir bir yöntem olup olmadığı endişelerini yaratmaktadır. Öte yandan, enerji tüketiminin dünya genelindeki enerji tüketimine katkı payı da önemsenmektedir. Grafik 8’de ise küresel boyutta enerji tüketimi yer almaktadır.



**Grafik 8.** 2010-2022 yılları arası Kişi Başına Küresel Elektrik Enerji Tüketimi (KWh)  
Kaynak: The World Bank Group, (Erişim Tarihi: 31.05.2025).

Grafik 8 incelendiğinde, 2019-2020 yılları arasında yer alan düşüş haricinde diğer tüm yıllarda küresel bağlamda elektrik enerjisi tüketiminin arttığı gözlemlenmektedir. Küresel elektrik enerji tüketiminin 2010 yılından 2022 yılına kadar yaklaşık yüzde 20 artış göstermiştir. Dünyanın artan nüfusun ve sanayileşme artışının etkisiyle beraber, enerjiye duyulan ihtiyaç da artmaktadır. Yaşanan enerji tüketiminin artması, aynı zamanda karbondioksit salımını da artırmaktadır. Bu durumun nedeni de elektrik üretiminde fosil yakıtın kullanımı rol oynamaktadır. Bu nedenle, enerji tüketiminin artması aynı zamanda karbondioksit emisyonunu artıran bir faktör olarak yer almaktadır (Efeoğlu, 2022).

Küresel enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımını gösteren oran grafiği Grafik 9'da yer almaktadır.



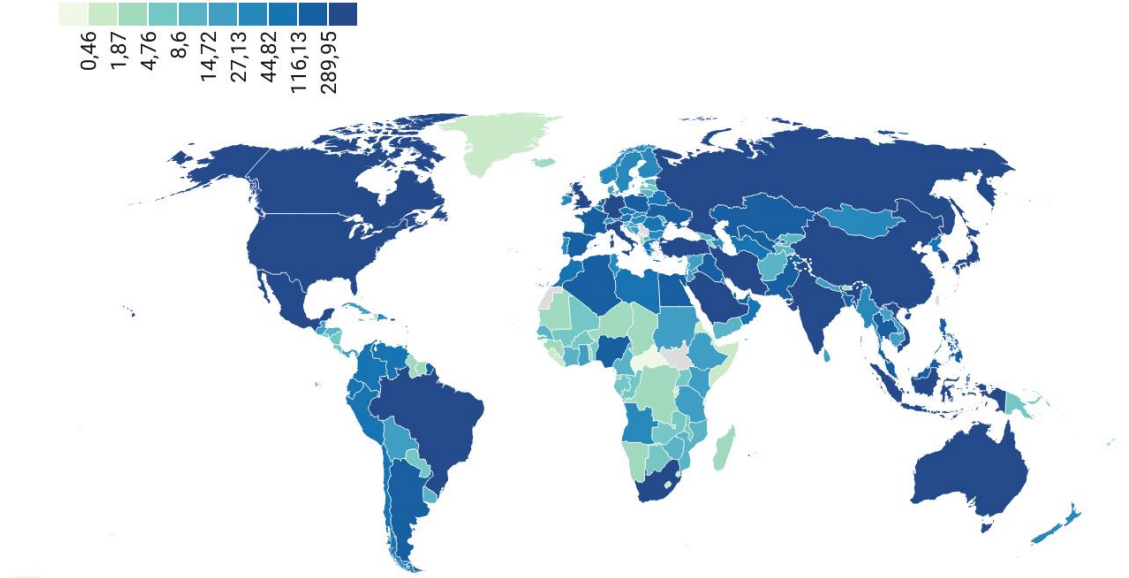
**Grafik 9.** 2000-2020 Yılları Arası Küresel Enerji Tüketiminin Türüne Göre Dağılımı  
Kaynak: The World Bank Group, (Erişim Tarihi: 13.07.2025).

Grafik 9 incelendiğinde, küresel enerji tüketimi içerisindeki fosil yakıt oranının yaklaşık yüzde 90 düzeyinde olduğu, yenilenebilir enerji kaynaklarının payı ise yaklaşık yüzde 10 düzeyinde sınırlı bir paya sahip olduğu görülmektedir. Küresel enerji talebindeki artışla beraber enerji arzındaki kaynak çeşitliliğinin sabit kalması fosil yakıtlara olan bağımlılığın devam ettiği görülmektedir.

Yenilenemeyen fosil yakıtların çok fazla kullanılması, insan sağlığına verdiği zararın yanı sıra, çevreye verdiği zarar nedeniyle ülkelerin yenilenebilir enerjiye yönelmesi gerekir (Efeoğlu, 2022; Xu, 2023).

Enerji ihtiyacını yenilenemeyen enerji kaynaklarıyla karşılayan ülkelerde kripto varlık kullanımının yaygınlaşması, ekonomik sorunlara yol açacağı gibi aynı zamanda karbondioksit emisyonları üzerinde etkisini de artıracaktır (Tayebi ve Amini, 2024).

Şekil 3'te milyon ton bazında 2023 Yılı küresel CO<sub>2</sub> emisyonların dağılımı gösterilmektedir.



**Şekil 3** 2023 yılı küresel karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonları (milyon ton)

Kaynak: The World Bank Group, Erişim Tarihi: 31.05.2025

Şekil 3 incelendiğinde, tüm ülkeler arasından karbon emisyon dağılımı incelendiğinde, Afrika kıtasının diğer bölgelere kıyasla daha az etkiye neden olduğu görülmektedir. Çin, Güney Kore, Amerika Birleşik Devletleri, Kanada ve Avrupa bölgesi, dünya genelindeki karbondioksit emisyonlarında yüksek bir paya sahip olduğu görülmektedir. Bitcoin madenciliğinde, yüksek karbondioksit emisyonuna sahip ülkelerde hash oranının da yüksek olduğunu görülmektedir (Sun vd., 2022).

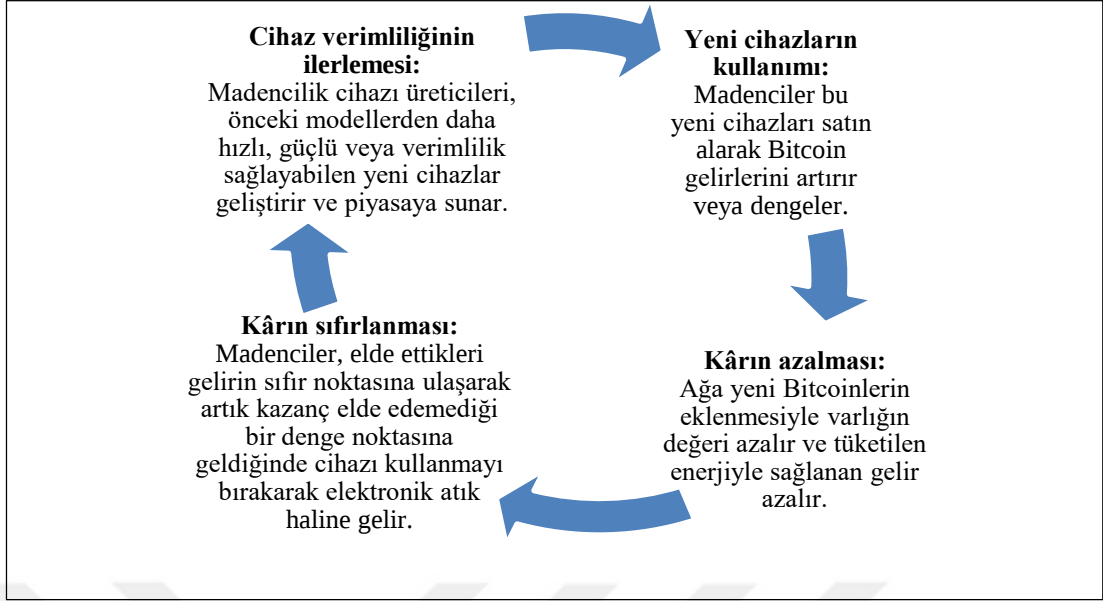
Dünya genelinde Bitcoin madenciliğinin yapıldığı ülkelerde karbondioksit emisyonlarının yüksek olmasının yanı sıra, enerji tüketiminin ağırlıklı olarak fosil yakıtlarla sağlanması, Bitcoin madenciliğinin çevresel etkilere katkısı da önemli ölçüde artırılabilir (de Vries, 2018; Krause ve Tolaymat, 2018).

Karbondioksit emisyonlarına etki eden en önemli unsur olan enerji tüketimi, enerjinin üretimi için kullanılan türün yanı sıra enerji miktarı da önemli bir unsur olarak yer almaktadır. Kripto varlıklar, yapısı gereği üretiminden kullanımına kadar internet bağlantısı olan elektronik cihazlarla sağlanması nedeniyle, üretimde kullanılan bu cihazların enerji tüketimine ve karbondioksit emisyonlarına etkisi incelenmesi gerekir.

## 2.4. Kripto Varlıkların Üretiminde Kullanılan Cihazlar ve Enerji Tüketimi ile İlişkisi

Kripto varlıkların üretiminde kullanılan elektronik cihazların enerji verimliliği, çalışma süresi ve tüketilen enerji miktarı gibi faktörler karbondioksit emisyonları üzerinde olumsuz etkilere sahip olabilir. Bitcoin madenciliğinde üretim yapan teknolojik cihazlar ilk başta düşük sistem gereksinimli cihazlar yeterli olurken, Bitcoin yapısında yer alan yarılama modeli nedeniyle üretim yapan teknolojik cihazlar, aynı değere sahip kripto varlığı üretebilmek için daha uzun süre boyunca karmaşık problemler çözmesine neden olmaktadır. Bu nedenle madenciler aynı değerde kripto varlığı üretmek için daha fazla cihaza veya daha uzun süre cihazı çalıştırması gerekecektir. Teknolojinin hızla gelişmesi nedeniyle başka bir alternatif olarak daha hızlı veya verimli cihazların tercih edilmesine neden olacaktır. Bu durum da kripto varlık üreten cihazların yaşam döngüsünün azalmasına neden olmaktadır. Kripto varlık üreten cihazların sıklıkla yenisi ile değiştirilmesi nedeniyle de büyük miktarda teknolojik atık oluşumuna neden olabilir (de Vries ve Stoll, 2021).

Madenciler daha verimli şekilde daha çok gelir elde edebilmeleri için güçlü donanımına sahip kişisel bilgisayarlardan Uygulamaya Özel Entegre Devreler (ASIC) adı verilen cihazlara yönelmiştir. ASIC'ler, kişisel bilgisayardan ziyade daha çok kripto varlık üretimi gibi özel bir amaca hizmet eden cihazlardır. Bitcoin üretiminin rekabetçi yapısı ve elde edilen gelirin azalması, madencilerin kârlılığını sürdürmesi için daha güçlü madencilik ekipmanlarına ihtiyaç duymaya itmektedir. Bu durum Bitcoin üretiminde elektronik atık konusunda döngü yaşanmasına sebebiyet vermektedir (Stoll, Klaaßen ve Gallersdörfer, 2019).



**Şekil 4.** Bitcoin üretimindeki elektronik atık döngüsü

**Kaynak:** de Vries ve Stoll, (2021 s. 3)

Şekil 4’de yer alan döngü incelendiğinde, yaşanan teknolojik gelişmeler ve kripto varlık arzının artması nedeniyle oluşan gelir kaybı, kripto varlıkların üretiminde negatif bir etkiye neden olmaktadır. Bu durum nedeniyle de Yeni ve daha güçlü bir sistem olarak kabul edilen ASIC cihazlarının Bitcoin üretiminde daha hızlı işlem yapmaları nedeniyle eski ekipmanlar atılmakta ve yeniden kullanılmamaktadır (Sezgin, 2024, s. 212). Bu durumun yaygınlaşması sonucunda 2021 yılında yaklaşık 30,7 kiloton elektronik atığa neden olmuştur (de Vries ve Stoll, 2021).

Birleşmiş Milletler Eğitim ve Araştırma Enstitüsü’nün (2024) raporuna göre, 2022 yılında dünyada toplam 62 milyar kilogramlık elektronik atık oluşmuştur. Bu rakam, kişi başına ortalama 7,8 kilogramlık bir elektronik atık miktarına karşılık gelmektedir.



**Grafik 10.** 2017-2025 yılları arasında Bitcoin madenciliği nedeniyle oluşan elektronik atık miktarı (kiloton)

**Kaynak:** Digiconomist, Erişim Tarihi: 02.07.2025

Grafik 10'da 2017 yılından itibaren Bitcoin madenciliğiyle oluşan elektronik atık miktarı yer almaktadır. 2017-2024 yılları arasında atık miktarında sürekli bir artış gözlemlenmiştir. Özellikle 2018 yılında, bir önceki yıla kıyasla üç katı aşkın bir artış gerçekleşmiş ve 2022 itibarıyla toplam elektronik atık miktarı 34,05 kiloton seviyesine ulaşmıştır. 2024 yılının başından itibaren anlık düşüşler yaşanmasına rağmen atık miktarı artan bir eğilim göstermektedir. Birleşmiş Milletler Eğitim ve Araştırma Enstitüsü'nün 2024 raporu ile karşılaştırıldığında Bitcoin madenciliği nedeniyle 2022 yılında toplamda 13,252 milyar kilogramlık elektronik atığa neden olmuştur. 2022 yılında Bitcoin kaynaklı elektronik atıklar, dünyadaki atıklarla kıyaslandığında yaklaşık olarak yüzde 21,37'sini oluşturmaktadır. Bu oran oldukça yüksek sayılabilir. Diğer bir deyiş ile Bitcoin, küresel elektronik atık üretiminin neredeyse beşte birini oluşturması, Bitcoinin çevresel baskının boyutlarını ortaya koymaktadır.

Bitcoin'in enerji tüketimi ve karbondioksit emisyonlarının etkisiyle birlikte elektronik atıklarının artışının da söz konusu olması, kripto varlıkların çevresel etkilerinin incelenmesini gerektirmiştir. Enerji tüketiminde verimliliğin sağlanması adına yapılan teknolojik gelişmelerin daha verimli hale gelmesi beklenirken, toplam enerji tüketimini artıracaklarını öne süren Jevons Paradoksu adı verilen teorik yaklaşımı bulunmaktadır (Jevons, 1865). Bu çerçevede, Jevons Paradoksu'nun kripto varlıkların

enerji tüketimi bağlamında değerlendirilmesi, literatürde önemli bir teorik yaklaşım olarak öne çıkmaktadır.

## **2.5. Jevons Paradoksu ve Kripto Varlıkların Enerji Tüketimi Üzerindeki İlişkisi**

Enerji tüketimiyle ilgili teorik yaklaşımlardan biri olan Jevons Paradoksu, bir teknolojinin daha verimli hale gelmesinin, toplam enerji tüketimini azaltmak yerine daha söz konusu kaynağın daha çok tüketilmesine neden olarak enerji tüketimini artırabileceğini öne sürer (Turgut, Gökten Sarıöz, 2023; Jevons, 1865). Kripto madencilik donanımlarının daha verimli hale gelmesi, işlem hızını artırarak daha fazla işlem gerçekleştirilmesine ve böylece toplam enerji tüketiminin artmasına neden olabilir. Bu durum, kripto sistemlerinde enerji verimliliği hedeflerinin her zaman beklenen sonuçları doğurmadığını göstermektedir (Polimeni vd., 2008).

## **2.6. Negatif Dışsallıklar ve Karbon Emisyonu Teorisi**

Kripto varlıkların madencilik faaliyetleri, negatif dışsallık çerçevesinde değerlendirilebilir. Negatif dışsallık teorisine göre, bir ekonomik faaliyetin üçüncü taraflara maliyet yüklemesi durumunda piyasa başarısızlığına yol açan bir durum olarak tanımlanır. Kripto varlıkların madencilik faaliyetleri, bu çerçevede değerlendirildiğinde, karbon emisyonu ve çevresel etkiler gibi dışsal etkiler yaratmaktadır. Politika uygulamaları veya karbon vergisi gibi çeşitli uygulamaların bulunmaması durumunda etkilerin devam etmesine neden olmaktadır (Peker ve Altınışık, 2011).

### **2.6.1. Pigoviyen Vergisi ve Kripto Alanına Uygulanabilirliği**

Pigoviyen vergisi, bir ekonomik faaliyetin üçüncü taraflara zarar olarak yansımaları durumunda bu zararın maliyeti, faaliyeti gerçekleştiren kişi ya da kurumun üstlenmesi gerektiğini savunan bir teori olarak yer almaktadır (Pigou, 1920). Kripto varlıkların madencilik süreçleri, yüksek enerji tüketimi ve çevresel bozulma gibi dışsal maliyetler yaratmaktadır. Bu bağlamda, Pigoviyen vergisi, kripto madenciliği faaliyetlerinin çevresel etkilerini azaltmak ve toplumsal maliyetleri dengelemek için uygulanabilir bir mekanizma olarak değerlendirilebilir. Örneğin, karbon vergisi gibi Pigoviyen vergisi türleri, kripto madenciliği faaliyetlerinin neden olduğu karbon

emisyollarını azaltmayı hedefleyebilir. Keyifli (2016), çalışmasında kripto madenciligi faaliyetlerin olumsuz etkilerinin önüne geçilebilmesi için uygulanabilecek en iyi modelin Pigoviyen vergi uygulamasıyla çevre kirliliğine daha çok neden olan kişi veya kişilerin vergiler yoluyla caydırıcı olabileceğini belirtmektedir.

## **2.7. Yeşil Kripto Varlık Girişimleri**

Yeşil kripto varlıklar, kripto varlıkların çevresel etkileri nedeniyle oluşan endişelerden dolayı enerji tüketimini azaltarak kripto varlıkların çevreye verdiği zararı minimuma indirmeyi amaçlayan varlıklar olarak adlandırılmaktadır. Bu varlıkların dışında kalan diğer varlıklara ise kahverengi kripto olarak adlandırılmaktadır (Çiftçi, 2025).

Cardano (ADA), Solarcoin (SLR), Nano (XNO), Algorand (ALGO), Bit Yeşili (BİTG), çevre dostu kripto varlıklar olarak anılmaktadır. Kripto varlıkların üretiminde yer alan PoW mekanizmasının üretim aşamasında madencilikte çevreci bir yaklaşıma sahip olmadığı düşüncesi nedeniyle, PoW mekanizmasından farklı çevresel etkilere odaklı mekanizmalarla ortaya çıkmaktadır (Cryptomus, 2024). PoW mekanizmasına sahip Bitcoin ele alındığında, Ye ve diğerleri (2023), çalışmalarında Bitcoin işlemlerinin karbondioksit emisyonlarında güçlü bir korelasyon olduğunu belirtmişlerdir. Bitcoin işlemlerinin hacmi arttıkça, karbondioksit emisyonlarında da yüksek değerlerin var olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, küresel anlamda çevresel etkilerin minimuma indirilmesi için kripto varlıkların çevresel etkilerini önlemek amacıyla gerekli önlemlerin alınması hususunu derinleştirmektedir.

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### KRİPTO VARLIKLARIN ÇEVRESEL ETKİLER ARASINDAKİ AMPİRİK İLİŞKİNİN ANALİZİ

Bu bölümde, kripto para birimi olan Bitcoinin hacmi, enerji kullanımı ve biyoyakıtların karbondioksit emisyonları üzerindeki etkisinin tahmin edilmesi açısından blokzincir teknolojisinin ve yeşil yatırımın küresel çevre üzerindeki etkisi, blokzincir teknolojisi ile ülkelerin çevre üzerinde yarattığı etkiye olan katkısı için ulusal ve uluslararası literatür incelenecek, veri seti, model ve ekonometrik analizde kullanılan yöntemden hakkında bilgi verilecektir. Ardından yapılan testler sonucunda elde edilen bulgular yorumlanacaktır.

#### 3.1. Ampirik Literatür

Tezin bu bölümünde karbondioksit emisyonu ile seçilen bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi ele alan literatür çalışmalar incelenmiştir. Karbondioksit emisyonu, çevre ve sürdürülebilirlik alanında önemli bir gösterge olarak değerlendirilmekte olup, sera gazı, yenilenebilir enerji ve enerji tüketimi gibi faktörlerle doğrudan etkilenmektedir. Bu bağlamda, GSYİH, enerji tüketimi ve kripto para işlem hacmi gibi değişkenlerin karbondioksit emisyonu üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar literatürde yer almaktadır. İlgili araştırmanın incelenmesi, çalışmanın teorik çerçevesini oluşturulmasında ve analiz sonuçlarının karşılaştırmalı şekilde değerlendirilmesi açısından önem arz etmektedir. Bu kapsamdaki literatür çalışmalarına ilişkin özet bilgiler Tablo 3'te sunulmaktadır.

**Tablo 3.** Literatür özeti

| Yazarlar             | Yöntem                                                       | Değişkenler                                                      | Bulgular                                                                                                                                         |
|----------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Koçak ve Uçan (2023) | Panel veri analizi, FGLS testi                               | GSYİH, enerji tüketimi, kripto para işlem hacmi, CO <sub>2</sub> | Enerji tüketimi ve kripto para işlemleri CO <sub>2</sub> emisyonunu artırıyor; GSYİH ile CO <sub>2</sub> arasında anlamlı ilişki bulunamamıştır. |
| Kurt ve Alsu (2024)  | Panel veri analizi, Pedroni ve Kao Eşbütünleşme, ARDL, FMOLS | CO <sub>2</sub> , Bitcoin işlem hacmi, enerji tüketimi, GSYİH    | Bitcoin üretiminden CO <sub>2</sub> emisyonuna doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur.                                                 |

|                         |                                           |                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Othman ve Bendob (2022) | Dalgacık Uyum Analizi                     | Bitcoin enerji tüketimi, küresel CO <sub>2</sub>                                                | 2018 yılı sonrasında Bitcoin ile karbondioksit emisyonu arasındaki ilişki ters yönlü bir eğilim göstermeye başlamış, bu durum çevresel etkiler açısından literatürdeki tutarlılığı azaltmış ve bulgular arasında artan bir çelişki ortaya koymuştur. |
| Platt vd. (2021)        | Karşılaştırmalı analiz, Gaussian dağılımı | Bitcoin, Ethereum, VisaNet vb., enerji tüketimi, işlem hacmi                                    | Bitcoinin PoW enerji tüketiminin, PoS mekanizmalarına kıyasla daha fazla olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. PoS sistemlerinin enerji tüketiminin büyük ölçüde kullanılan donanımına bağlı olduğu tespit edilmiştir.                                      |
| Xiao vd. (2023)         | Üstten-aşağı ölçüm yaklaşımı              | Bitcoin üretim verimliliği, karbon ayak izi, elektrik tüketimi, işlem ücretleri                 | Yapılan tahminlere göre, Bitcoin madenciliğinin 77,84 Mt düzeyinde karbondioksit emisyonuna neden olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, bu değer 2030 yılında 76,40 Mt, 2060 yılında ise 722,18 Mt seviyesine ulaşacağı öngörülmektedir.                   |
| Qin vd. (2020)          | Duyarlılık analizi                        | Bitcoin piyasa değeri, işlem hacmi, enerji tüketimi, CO <sub>2</sub> , elektrik, altın piyasası | Bitcoinin altınla paralel bir büyüme göstermesi durumunda, elektrik tüketiminin 60 TWh düzeyinden 400 TWh seviyesine kadar çıkabileceği; buna bağlı olarak karbondioksit emisyonunun ise 2 Gt düzeyine ulaşabileceği öngörülmektedir.                |

Tablo 3'te özetlenen çalışmalarda ulaşılan bulgular ayrı ayrı ele alınmıştır. Literatürde yer alan çalışmalar daha ayrıntılı biçimde incelenerek analiz sürecine katkı sağlayacak teorik zemin güçlendirilmiştir.

Koçak ve Uçan (2023), seçili ülkelerin (Amerika Birleşik Devletleri, Seyşeller, Güney Kore, Japonya ve Birleşik Krallık) GSYİH, enerji tüketimi, kripto para işlem hacmi ve CO<sub>2</sub> değişkenleriyle yaptıkları panel veri analizinde FGLS testi kullanılmıştır. Yapılan analiz sonucunda; seçili ülkeler için enerji tüketiminin ve kripto para işlemlerinin karbondioksit emisyonunu arttırdığı, GDP ile CO<sub>2</sub> arasında anlamlı bir ilişki bulunamadığı bulunamadığı bulgusuna ulaşılmıştır.

Kurt ve Alsu (2024), 25 seçili ülke ile CO<sub>2</sub>, Bitcoin işlem hacmi, enerji tüketimi ve GSYİH değişkenleriyle yaptıkları panel veri analizinde Pedroni ve Kao Eşbütünleşme testi, ARDL ve FMOLS testi kullanılmıştır. Yapılan analiz sonucunda,

Bitcoin üretiminden karbon emisyonuna doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir.

Othman ve Bendob (2022), Bitcoin enerji tüketimi ve küresel CO<sub>2</sub> değişkenleriyle yaptıkları Dalgacık Uyum Analizinde dalgacık tutarlılığı incelenmiştir. 2018 yılı sonrasında Bitcoin ile karbondioksit emisyonu arasındaki ilişki ters yönlü bir eğilim göstermeye başladığı gözlemlenmiştir. Bu durum çevresel etkiler açısından tutarlılığı azaltmış ve bulgular arasında artan bir çelişki ortaya koymuştur. Bu bulgu sonucunda çevresel etkileri konusunda önlem alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Platt, Sedlmeir, Platt, Xu, Tasca, Vadgama ve Ibanez (2021), Bitcoin, VisaNet, Ethereum, Algorand, Cardano, Polkadot, Tezos ve Hedera Blokzincir teknolojilerinin üretilen iş hacmi ve enerji tüketimi değişkenleriyle Gaussian dağılımını da kullanarak bir karşılaştırmalı analiz gerçekleştirmiştir. Yapılan analiz sonucunda PoW sistemini kullanan Bitcoinin PoS sistemlerine göre daha fazla enerji tükettiğini tespit etmiştir. PoS sistemlerinin enerji tüketiminin ise kullanılan donanımına göre değişiklik gösterdiğini vurgulamıştır.

Xiao, Cui, Xiang, Liu ve Zhang (2023), 2017-2021 yılları arası Çin'deki Bitcoinin karbon ayak izini değerlendirmişlerdir. Çalışmada, Bitcoinin üretim verimliliği, karbon ayak izi yoğunluğu, Çin'in elektrik tüketimi ve Bitcoin işlem ücretleri parametrelerini kullanarak üstten-aşağı ölçüm yaklaşımını kullanarak Çin'in çeşitli eyaletlerindeki karbon ayak izlerinin miktarı tahmin edilmiştir. Çalışma sonucunda Bitcoin madenciliğinin 77,84 milyon ton CO<sub>2</sub> emisyonuna yol açtığı, 2030 yılında 76,40 milyon ton ve 2060 yılında 722,18 milyon ton emisyonuna neden olacağı tahmin edilmektedir.

Qin, Klaaßen, Gellersdörfer, Stoll ve Zhang (2020), Bitcoin piyasa değeri, işlem hacmi ve enerji tüketimi verileri, karbon emisyonları, elektrik tüketimi ve altın piyasası verileriyle birlikte duyarlılık analizi yöntemini kullanarak Bitcoinin piyasa değeri altın ile paralel olarak büyümesi durumunda yaşanabilecek olasılıkları tahmin etmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda 2100 yılına kadar Bitcoinin yıllık elektrik tüketiminin 60 TWh'den 400 TWh'ye çıkabileceğini, emisyonların da 2 gigatonu bulabileceği tahmin edilmektedir.

Ampirik literatür incelendiğinde, kripto paraların enerji tüketimindeki çevresel etkileri üzerinde yapılan çalışmaların birçoğunda kripto paraların ilki ve en çok işlem gören Bitcoin üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Yapılan çalışmalarda farklı yöntemler kullanılmasına rağmen, elde edilen bulguların benzer oldukları saptanmıştır. Özellikle, Othman ve Bendob (2022), Bitcoin enerji tüketimi ve küresel 2018 yılı sonundan itibaren ters faza girerek tutarsız hale gelmiş, çevresel etkileri konusunda önlem alınması gerektiğini vurgulamıştır. Platt, Sedlmeir, Platt, Xu, Tasca, Vadgama ve Ibanez (2021) ise, yaptıkları analiz sonucunda PoW sistemini kullanan Bitcoinin PoS sistemlerine göre en az üç kat daha fazla enerji tükettiğini tespit etmiştir. Elde edilmiş olan bu bulgular, Piyasada en çok işlem gören ve PoW sistemini kullanan ilk kripto para olan Bitcoinin özellikle 2019 yılından itibaren karbondioksit emisyonu üzerindeki etkisinin incelenmesini gerekli kılmaktadır.

### 3.2. Veri Seti

Bu Çalışmada; 2019-2023 yılları arasında seçili 20 ülke ve/veya bölgenin (Arjantin, Avustralya, Brezilya, Birleşik Krallık, Endonezya, Filipinler, Güney Afrika, Hindistan, Japonya, Kanada, Kore, Malezya, Meksika, Polonya, Rusya, Şili, Tayland, Türkiye, Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri.) Birincil enerji tüketimi (TWh) [*Primary Energy Consumption (TWh)*], Yerel piyasada işlem hacmi (Bitcoin adedi) [*Trade volume in local market (number of bitcoin traded)*], Yenilenebilir enerji tüketimi (% toplam nihai enerji) [*Renewable energy consumption (% of total final energy consumption)*] ve Doğrudan yabancı yatırım net girişleri (GSYİH %) [*Foreign direct investment, net inflows (% of GDP)*] Kişi başına yıllık CO<sub>2</sub> emisyonu [*Annual CO<sub>2</sub> Emissions per capita*] üzerindeki etkileri analiz edilmektedir. Çalışmada kullanılacak zaman aralığı ve ülkeler Bitcoin kullanımının yaygınlaştığı dönemde ve veri kısıtları göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Veriler World Bank Group (WDI) veri tabanından ve Global Change Data Lab kuruluşunun Our World in Data projesi veri tabanından elde edilmiştir. Değişkenlerin kısaltmaları ve karbondioksit emisyonlarına etkisinin beklentisi Tablo 4'te belirtilmiştir.

**Tablo 4.** Değişkenlerin tanımlanması

| Değişkenler | Değişkenlerin Tanımlanması                                                          | Değişkenlerin İngilizce Tanımlanması                               | Elde Edildiği Kaynak                       | Beklenen İşaret |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------|
| CO2**       | Kişi başına yıllık CO <sub>2</sub> emisyonu                                         | Annual CO <sub>2</sub> emissions per capita                        | Our World in Data (Global Change Data Lab) |                 |
| PEC**       | Birincil enerji tüketimi (TWh)                                                      | Primary energy consumption (TWh)                                   | Our World in Data (Global Change Data Lab) | +               |
| BTCTV       | Kripto para birimlerini temsilen Yerel piyasada Bitcoin işlem hacmi (Bitcoin adedi) | Trade volume in local market (number of bitcoins traded)           | World Bank Group (WDI)                     | +               |
| PEC*BTCTV   | Etkileşim Değişkeni                                                                 | Interaction Variable                                               | Yazar tarafından hesaplanmıştır            | +/-             |
| REC         | Yenilenebilir enerji tüketimi (% toplam nihai enerji)                               | Renewable energy consumption (% of total final energy consumption) | Our World in Data (Global Change Data Lab) | -               |
| FDI         | Doğrudan yabancı yatırım net girişleri (GSYİH %)                                    | Foreign direct investment, net inflows (% of GDP)                  | World Bank Group (WDI)                     | +               |

\* Çarpım işlemi olarak yer almaktadır.

\*\* Logaritmik dönüşümleri yapıldıktan sonra analize dâhil edilmiştir.

Değişkenlerin tanımlanmasının ardından çalışmada kullanılan değişkenlere ait tanımlayıcı istatistiklere yer verilmelidir. Buna göre elde edilen tanımlayıcı istatistikler Tablo 5’te yer almaktadır.

**Tablo 5.** Değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri

|                                   | CO2      | PEC      | BTCTV    | REC      | FDI       |
|-----------------------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| <b>Ortalama</b>                   | 6,985761 | 7,896746 | 3,58E+20 | 1,352815 | 2,111926  |
| <b>Medyan</b>                     | 5,896455 | 7,650622 | 5,07E+10 | 1,088838 | 1,879270  |
| <b>Maksimum</b>                   | 1,631579 | 1,032260 | 2,46E+22 | 5,033141 | 9,660265  |
| <b>Minimum</b>                    | 1,179788 | 6,092390 | 42739,37 | 2,317103 | -2,646498 |
| <b>Standart Sapma</b>             | 4,383309 | 1,091707 | 2,70E+21 | 9,905220 | 1,792752  |
| <b>Çarpıklık</b>                  | 0,607560 | 0,677774 | 8,068980 | 2,222299 | 0,869489  |
| <b>Basıklık</b>                   | 2,144512 | 2,909549 | 6,972095 | 8,080614 | 5,979576  |
| <b>Jarque-Bera</b>                | 9,201578 | 7,690374 | 19633,83 | 1,898629 | 4,959133  |
| <b>Olasılık</b>                   | 0,010044 | 0,021382 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000  |
| <b>Toplam</b>                     | 6,985761 | 7,896746 | 3,58E+22 | 1,352815 | 2,111926  |
| <b>Std. Sap. Kareleri Toplamı</b> | 1,902127 | 1,179906 | 7,19E+44 | 9,713225 | 3,181820  |
| <b>Gözlem Sayısı</b>              | 100      | 100      | 100      | 100      | 100       |

Tablo 5’te yer alan tanımlayıcı istatistikler incelendiğinde, değişkenlerin ortalamalarına yakın değerlere sahip olduğu görülmekte, değerlerin standart sapmaların önemli ölçüde değişkenlik göstermediği anlaşılmaktadır. Normal dağılımının bulunma durumunun göstergesi olan Jarque-Bera testi sonuçları incelendiğinde, değişkenlerin normal dağılmadığını göstermektedir. Elde edilen sonuçlar için panel veri analizinin yapılmasında normal dağılımın bulunması bir ön koşul olarak yer almadığından, panel veri analizinin yapılmasında bir sakınca bulunmamaktadır.

Çalışmada kullanılan panel veride yer alan bağımsız değişkenler arasında çoklu bağlantı varsayımını test etmek amacıyla oluşturulan korelasyon matrisi, önemli bir gösterge olarak yer almaktadır. Değişkenler arasındaki korelasyon katsayısının 0,90 değerinin üzerinde olması durumunda çoklu doğrusal bağlantı sorununun olduğuna işaret etmektedir (Tabachnick ve Fidell, 2001). Çalışmada yer alan değişkenlerin diğer bağımsız değişkenler arasındaki doğrusal bağlantı olup olmadığının test edilmesi amacıyla korelasyon testi gerçekleştirilerek, oluşturulan korelasyon matrisi Tablo 6’te yer almaktadır.

**Tablo 6.** Değişkenlere Ait Korelasyon Matrisi

|       | CO2  | PEC  | BTCTV | REC  | FDI |
|-------|------|------|-------|------|-----|
| CO2   | -    |      |       |      |     |
| PEC   | 0,37 | -    |       |      |     |
| BTCTV | 0,10 | 0,14 | -     |      |     |
| REC   | 0,11 | 0,33 | 0,14  | -    |     |
| FDI   | 0,17 | 0,26 | 0,15  | 0,10 | -   |

Tablo 6’te yer alan korelasyon matrisinde yer alan sonuçlar incelendiğinde, en düşük korelasyon katsayısının 0,10 ve en yüksek korelasyon katsayısının 0,37 olduğu gözlemlenmektedir. Matriste yer alan tüm değişkenler arasında korelasyon katsayısının 0,90 değerinin altında olması, çoklu doğrusal bağlantı sorununun olmadığı şeklinde değerlendirilebilir.

### 3.3. Metodoloji

Bu çalışmada, Bitcoin'in çevresel etkilerini analiz etmek amacıyla Driscoll-Kraay (1998) tarafından geliştirilen tahmin yöntemi kullanılmıştır.

Panel veriler, yatay kesit ve zaman serisi verilerinin birleşimi olarak yer almaktadır. Yatay kesit veri türünde bir yıla ait farklı ülke, kişi veya bölgelerin bulunduğu veri iken, zaman serisi veri türünde ise bir ülke, kişi veya bölgenin bulunduğu belirli zaman içerisindeki veri türü olarak yer almaktadır. Panel Veri, belirli bir zaman aralığında olan zaman serilerinde daha fazla veri çeşitliliğine olanak sağlamakla birlikte, ülkelere özgü değişkenlere izin vererek daha az doğrusallık sağlayarak, özgür ve verimli analiz yapılmasına olanak tanır. Bu durum karmaşık ilişkilere sahip modellerin daha rahat incelenmesine olanak tanınması nedeniyle zaman serilerinde sıklıkla tercih edilmektedir (Gujarati, 2004, s. 637-638).

Temel panel veri modeli aşağıdaki gibi yazılmaktadır.

$$Y_{i,t} = \alpha_{k,i,t} + \beta_{k,i,t}X_{k,i,t} + \mu_{i,t} \quad i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T \quad (1)$$

Y bağımlı değişken,  $X_k$  bağımsız değişkenler,  $\alpha$  sabit parametre,  $\beta$  eğim parametreleri,  $\mu$  hata terimi,  $i$  alt indisi birimleri ve  $t$  alt indisi ise zamanı göstermektedir.

Çalışmada kripto para birimlerinin çevresel etkilerini tahmin etmek üzere 2 nolu eşitlik oluşturulmuştur:

$$CO_{2emit_{it}} = \beta_0 + \beta_1 PEC_{it} + \beta_2 BTCTV_{it} + \beta_3 PEC_{it} * BTCTV_{it} + \beta_4 REC_{it} + \beta_5 FDI_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

Denklem (2)'de yer alan “i” çalışmanın yatay kesitlerini (ülkeleri), “t” zamanı, “ $\beta_0$ ” Sabit terim (intercept) ve “ $\varepsilon_i$ ” hata terimi belirtmektedir. Bu tahmin modeli vasıtasıyla her bir bağımsız değişkenin karbondioksit emisyonları üzerindeki etkisine ilişkin değişken bazlı hipotezlere cevap aranmaktadır:

Enerji tüketiminin karbondioksit emisyonları üzerine etkisi:

$H_0$ : Enerji tüketiminin karbondioksit emisyonları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi yoktur.

$H_1$ : Enerji tüketiminin karbondioksit emisyonları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi vardır.

Bitcoin işlem hacminin karbondioksit emisyonları üzerine etkisi:

$H_0$ : Bitcoin işlem hacminin karbondioksit emisyonları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi yoktur.

$H_1$ : Bitcoin işlem hacminin karbondioksit emisyonları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi vardır.

Enerji tüketimi ile Bitcoin işlem hacminin karbondioksit emisyonları üzerine etkisi:

$H_0$ : Enerji tüketimi ile Bitcoin işlem hacminin karbondioksit emisyonları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi yoktur.

$H_1$ : Enerji tüketimi ile Bitcoin işlem hacminin karbondioksit emisyonları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi vardır.

Yenilenebilir enerji tüketiminin karbondioksit emisyonları üzerine etkisi:

$H_0$ : Yenilenebilir enerji tüketiminin karbondioksit emisyonları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi yoktur.

$H_1$ : Yenilenebilir enerji tüketiminin karbondioksit emisyonları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi vardır.

Doğrudan yabancı yatırım net girişlerinin karbondioksit emisyonları üzerine etkisi:

$H_0$ : Doğrudan yabancı yatırım net girişlerinin karbondioksit emisyonları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi yoktur.

$H_1$ : Doğrudan yabancı yatırım net girişlerinin karbondioksit emisyonları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi vardır.

Bu çalışmada Driscoll-Kraay (1998) tarafından geliştirilen tahmin yönteminin kullanılmasının nedeni, panel veri analizlerinden karşılaşılan otokorelasyon, değişen varyans ve yatay kesit bağımlılığı olması durumunda bile etkin ve tutarlı tahminler yapılabilme imkânı sunmasıdır (Avcı vd., 2024).

$$\hat{S}_t = \hat{\Omega}_0 + \sum_{j=1}^{m(T)} w(j, m) [\hat{\Omega}_j + \hat{\Omega}'_j] \quad (3)$$

Denklem 3'teki  $m(T)$ , otokorelasyon için gecikme uzunluğunu temsil eder. Denklemde büyük işlepte ifade edilen Barlett ağırlıkları,  $\hat{S}_t$ 'nin pozitif tanımlı olmasını sağlamakta ve örnek otokovaryans fonksiyonunda yüksek mertebeden gecikmelerin ağırlıklar almasına imkân sağlamaktadır.  $(K+1) \times (K+1)$  boyutlu  $\Omega_j$  matrisi ise aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$\hat{\Omega}_t = \sum_{j=1}^T h_t(\hat{\beta}) h_{t-j}(\hat{\beta})' \quad (4)$$

Denklem 3 ve 4 yardımı ile hesaplanan Driscoll-Kraay kovaryans matris tahmincisinin yatay kesit ortalamalarının zaman serileri için uygulanan Newey-West'in heteroskedasite ve otokorelasyon varlığına dirençli kovaryans matris tahmincisine eşittir. Driscoll-Kraay tahmincisinde  $N$ 'in sonsuz olması durumunda dahil değişkenler arasındaki ilişkilerin araştırılmasında bulunabilecek yatay kesit bağımlılığı, otokorelasyon ve/veya değişen varyans sorunlarının varlığı durumlarında bile üstesinden gelebilmesi nedeniyle bu yöntemin uygulanması uygun görülebilir.

### 3.4. Ampirik Bulgular

Çalışmada Bitcoin'in çevresel etkilerinin belirlenebilmesi için öncelikle, panel veriyi oluşturan ülkeler için birimler arası korelasyonun varlığının tespiti yani yatay kesit bağımlılığının incelenmesi gerekmektedir. Bu nedenle, çalışmanın analizine geçmeden önce ilk olarak yatay kesit bağımlılık testi olan Pesaran CD (2004) testi uygulanmıştır. Elde edilen yatay kesit bağımlılığı testi sonuçları Tablo 7'te yer almaktadır.

**Tablo 7.** Yatay kesit bağımlılık testi sonuçları

|                                        |        |
|----------------------------------------|--------|
| Pesaran yatay kesit bağımsızlığı testi | 0,968  |
| Olasılık                               | 0,3332 |

Tablo 7'da yer verilen test sonuçlarına göre, değişkenlerde yatay kesit bağımlılığının olmadığı şeklinde kurulan  $H_0$  hipotezinin kabul edildiği, diğer bir ifadeyle çalışmada yer alan tüm değişkenlerde yatay kesit bağımlılığının olmadığı görülmektedir.

Çalışmada yatay kesit bağımlılığı olmadığının tespitinden sonra çalışmada kullanılan değişkenlerin durağanlık özellikleri incelenmiştir. Çalışmada kullanılan değişkenlerde yatay kesit bağımlılığının olmadığının tespit edilmesi durumunda birinci nesil birim kök testleri kullanılmalıdır. Bu bağlamda değerlendirildiğinde çalışmada kullanılan değişkenlerin durağanlıkları 1. Nesil birim kök testlerinden, Levin, Lin&Chu birim kök testi, Hadri birim kök testi, ADF-Fisher birim kök testi ve PP-Fisher birim kök testi kullanılmıştır. Yapılan test sonrasında elde edilen sonuçlar Tablo 8’de yer almaktadır.

**Tablo 8.** Birim kök testleri sonuçları

| Değişken | Levin, Lin & Chu | Hadri   | ADF – Fisher | PP – Fisher |
|----------|------------------|---------|--------------|-------------|
| CO2      | -14,1755***      | -1,0731 | 89,3075***   | 139,794***  |
| PEC      | -139,963***      | -0,6768 | 107,741***   | 176,392***  |
| REC      | -8,00844***      | -0,3168 | 38,0024      | 67,3194***  |
| FDI      | -46,7637***      | -1,1006 | 56,0096**    | 75,3849***  |

() olasılık değerini göstermektedir.

\* p<0,10, \*\* p<0.05 ve \*\*\* p<0,01 anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Tablo 8’de yer alan test sonuçlarına göre, CO<sub>2</sub> değişkeni tüm testlerde istatistiksel olarak anlamlı ve birim kök içermediği görülmektedir. Bu sonuç, CO<sub>2</sub> değişkeninin düzeyde durağan olduğunu göstermektedir.

PEC değişkeni tüm testlerde istatistiksel olarak anlamlı ve birim kök içermediği görülmektedir. Bu sonuç, PEC değişkeninin düzeyde durağan olduğunu göstermektedir.

REC değişkeni Levin, Lin & Chu, Hadri ile PP – Fisher birim kök testlerine göre istatistiksel olarak anlamlı ve birim kök içermediği görülmektedir. Ancak ADF – Fisher birim kök testi için ise istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, birim kök içerdiği şeklinde bir bulgu elde edilmiştir. Tüm testler bir arada değerlendirildiğinde, REC değişkeni düzeyde durağan olduğu kabul edilmiştir.

FDI değişkeni tüm testlerde istatistiksel olarak anlamlı ve birim kök içermediği görülmektedir. Bu sonuç, FDI değişkeninin düzeyde durağan olduğunu göstermektedir.

Özet olarak, çalışmada yer alan tüm değişkenler düzeyde durağan olduğu görülmektedir.

Çalışmada belirlenen model seçiminin kararlaştırılabilmesi için otokorelasyon sorunu ve değişen varyans sorununun var olup olmadığının incelenmesi gerekmektedir. Ayrıca Panel veri analizinde sabit ve tesadüfi (rassal) etkiler modellerinden birini tercih edilmesi gerekir. Bu etkiden hangisinin kullanılması gerektiğinin tespit edilebilmesi için Hausman testi kullanılmalıdır. Sabit etkiler modelinde yatay kesitte yer alan ülke veya bölge gibi spesifik veri türü seçilerek birimler arası farklılıkların olup olmadığını tespit edebilmektedir. Rassal etkiler modelinde ise veri seti rastgele olarak seçilir ve birimler arası farklılıklar incelenir. Zaman sabiti değişkeninin varlığına da izin vermektedir. Böylece değişkenler arasındaki ilişkiyi bulmak ve açıklamak kolaylaşacaktır (Gökmen ve Sertçelik, 2021, s. 289; Yücel, 2021, s. 67). Bu bağlamda Sabit etkiler modeli ile rastgele etkiler modeli arasındaki tutarlılığın ve verimliliğin tespiti için Robust Hausman testi uygulanmıştır. Otokorelasyon varlığının tespiti için Woolridge testi ve değişen varyans durumunun tespiti için Modified Wald testi uygulanmıştır (Kutbay, 2019, s. 608). Uygulanan testler sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 9’de gösterilmektedir.

**Tablo 9.** Hausman, Woolridge ve modified Wald testi sonuçları

| Uygulanan Test                           | Değişkenlerin Analiz Sonucu | Olasılık |
|------------------------------------------|-----------------------------|----------|
| Hausman testi                            | 14,66**                     | 0,0119   |
| Woolridge testi<br>(Otokorelasyon)       | 12073,38***                 | 0,0000   |
| Modified Wald testi<br>(Değişen Varyans) | 25,881***                   | 0,0001   |

\*\* p<0.05 ve \*\*\* p<0,01 anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Tablo 9’de yapılmış olan testler sonucunda; Hausman testi sonucuna göre sabit etkiler modelinin kullanımının uygun olduğu, Woolridge testi sonucuna göre otokorelasyon sorununun olduğu ve Wald testi sonucuna göre değişen varyans sorununun mevcut olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda değişkenler arasındaki ilişkilerin araştırılmasında değişen varyans, otokorelasyon ve yatay kesit

bağımlılığından en az bir tanesinin olması ve aynı zamanda  $N > T$  olması durumunda Driscoll-Kraay (1998) yardımıyla daha etkin tahmin sonuçları elde edilmektedir.

Tablo 7’de yapılan test sonuçlarına dikkate, yatay kesit bağımlılığı, otokorelasyon sorunu ve/veya değişen varyans sorunlarının varlığı bulunan verilerde sağlam sonuç elde edebilen, Driscoll-Kraay (1998) tarafından geliştirilen sabit etkiler yöntemi tercih edilerek Eşitlik 2’de ifade edilen model tahmin edilmiş ve analiz sonuçları Tablo 10’da yer almaktadır.

**Tablo 10.** Driscoll-Kraay modeli sonucu

| Değişkenler                   | Katsayı                | Driscoll-Kraay<br>Standart Hata | t İstatistik<br>Değeri                           | Olasılık |
|-------------------------------|------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------|----------|
| <b>PEC</b>                    | 4,397781***            | 0,4364226                       | 10,08                                            | 0,0000   |
| <b>BTCTV</b>                  | 0,931825***            | 0,0094963                       | 9,81                                             | 0,0000   |
| <b>PEC*BTCTV</b>              | -0,0128375***          | 0,0010927                       | -11,75                                           | 0,0000   |
| <b>REC</b>                    | -0,1200208***          | 0,0218404                       | -5,50                                            | 0,0000   |
| <b>FDI</b>                    | 0,0271516***           | 0,0036775                       | 7,38                                             | 0,0000   |
| <b>Sabit Terim</b>            | -25,90577***           | 3,390382                        | -7,64                                            | 0,0000   |
| <b>Gözlem Sayısı:<br/>100</b> | <b>Grup Sayısı: 20</b> | <b>F<br/>İstatistik:286.02</b>  | <b>F İstatistik<br/>Olasılık<br/>Değeri:0.00</b> |          |

\*\*\*  $p < 0,01$  ve anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tablo 10’da yer alan Driscoll-Kraay modeli sonuçlarına göre; ele alınan ilk değişken olan birincil enerji tüketimi, karbondioksit emisyonunu istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif etkilemektedir. Diğer bir ifadeyle, birincil enerji tüketiminin artması, karbondioksit emisyonun da artmasına neden olacağı şeklinde değerlendirilebilir. Birincil Enerji tüketiminin karbondioksit emisyonlarını artırdığı yönündeki beklentinin nedeni ise enerji, ulaşım, sanayi sektörü ve hane halkının enerji ihtiyacının karşılanması için üretilen enerjinin büyük çoğunluğunun halen çoğu ülkede fosil yakıtlar ile karşılanmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Karbondioksit emisyonlarındaki artışlar aynı zamanda sera gazının büyük bir çoğunluğunu oluşturması nedeniyle çevresel etkisi daha kuvvetli olmaktadır. Al Mamun ve Ehsanullah (2025) tarafından 106 orta gelirli ülkeyi kapsayan çalışmada,

karbondioksit emisyonunu açıklayan temel değişkenin enerji kullanımı olduğu, istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif bir etkisi bulunduğunu belirtmektedir.

Ele alınan ikinci değişken, Bitcoin işlem hacminin karbondioksit emisyonunu istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif etkilemektedir. Diğer bir ifadeyle, Bitcoin işlem hacminin artması, karbondioksit emisyonun da artmasına neden olacağı şeklinde değerlendirilebilir. Bitcoin işlem hacminin artması karbondioksit emisyonlarını artırdığı yönündeki beklentinin nedeni ise Bitcoin'in üretiminde ASIC cihazlarının yüklü miktarda enerji harcaması, Bitcoinin saklanması ve işlem görmesi için de enerjiye tüketen elektronik cihazlara bağlı olmasıdır.

Ele alınan üçüncü değişken olan birincil enerji tüketimi ile Bitcoin işlem hacminin birlikte karbondioksit emisyonunu etkileme derecesini gösteren etkileşim değişkenidir. Birincil enerji tüketimi ve Bitcoin işlem hacmi değişkenlerinin karbondioksit emisyonu üzerinde anlamlı etki göstermektedir. Etkileşim değişkeninde yaşanan bu durum, Azman-Sain(2010)'a göre, ele alınan söz konusu bu değişkenin Bitcoin işlem hacmindeki artışın, birincil enerji tüketiminin karbondioksit emisyonları üzerindeki marjinal etkisini azalttığı anlamına gelmektedir. Aynı zamanda, birincil enerji tüketimindeki artışın, Bitcoin işlem hacminin karbondioksit emisyonları üzerindeki marjinal etkisini azalttığı anlamına da gelmektedir. Söz konusu bulgular, Khan vd. (2022), Corbet vd. (2022), Sedlmeir vd. (2020), Bouri vd. (2023) ve Jiang vd. (2021)'nin yapmış olduğu çalışmalarla uyumludur. Bitcoin işlem hacmindeki artışın, birincil enerji tüketiminin karbondioksit emisyonları üzerindeki marjinal etkisini azalttığı şeklindeki bulgu, Khan vd. (2022), Bitcoin işlem hacmindeki artışın, madencilik süreçlerinde daha verimli ve düşük karbonlu teknolojilerin kullanımını teşvik ettiğini, bu sayede enerji tüketiminin karbondioksit emisyonları üzerindeki etkisinin azaldığını göstermektedir. Corbet vd. (2022), işlem hacmi yüksek olduğunda madenciliğin büyük ölçekli ve verimli veri merkezlerinde yürütüldüğünü, bunun da enerji tüketiminin çevresel etkilerini sınırladığını belirtmektedir. Sedlmeir vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, işlem hacmindeki artışın birim işlem başına düşen enerji tüketimini azalttığını ve bunun da daha düşük emisyonla sonuçlandığını ortaya koymaktadır. Bouri vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada ise, yüksek işlem hacmi seviyelerinde enerji tüketiminin karbondioksit üzerindeki etkisinin daha zayıf olduğunu göstermekte; bu da işlem hacmi ile enerji tüketimi arasındaki etkileşim

etkisinin karbondioksit emisyonları üzerinde sınırlayıcı bir rol oynayabileceğini düşündürmektedir. Birincil enerji tüketimindeki artışın, Bitcoin işlem hacminin karbondioksit emisyonları üzerindeki marjinal etkisini azalttığını şeklindeki bulgu, Jiang vd. (2021), Çin'deki politika değişiklikleri sonrasında madencilik faaliyetlerinin düşük karbonlu enerji kaynaklarına kaydığını ve yüksek işlem hacmi dönemlerinde dahi emisyonların sınırlı kaldığını vurgulamaktadır. Bu bağlamda, işlem hacmi ile enerji tüketimi arasındaki etkileşimin karbondioksit emisyonlarına olan etkisinin negatif yönlü olması literatürle uyumludur.

Ele alınan dördüncü değişken, yenilenebilir enerji tüketiminin karbondioksit emisyonunu istatistiksel olarak anlamlı ve negatif etkilemektedir. Diğer bir ifadeyle, yenilenebilir enerji tüketiminin artması, karbondioksit emisyonun azalmasına neden olacağı şeklinde değerlendirilebilir. Yenilenebilir enerji tüketiminin karbondioksit emisyonları üzerindeki istatistiksel olarak negatif etkisi, çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir bulgu olarak yer almaktadır. Bu etkinin nedeni, günümüzde halen enerji tüketiminde fosil yakıtlardan elde edilen enerjiye olan bağımlılığının azaltılarak yenilenebilir enerji kullanımının tercih edilmesi, karbondioksit emisyonlarının azalmasına katkı sağlamaktadır. Örneğin, Saidi ve Hammami (2015), 58 ülke için 1990–2012 dönemini kapsayan panel veri analizinde, yenilenebilir enerji tüketiminin CO<sub>2</sub> emisyonlarını anlamlı şekilde azalttığını ortaya koymuştur. Yenilenebilir enerji tüketiminin karbondioksit emisyonunu azalttığı yönündeki beklentinin nedeni ise Bitcoin'in üretimi, saklanması ve işlem görmesi için gereken enerjinin üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, fosil yakıtlarla elde edilen enerjiye kıyasla karbondioksit emisyonuna etkisi daha az olacaktır. Bir diğer örnek olarak, Doğan ve Şeker (2016), 1985-2011 yılları arasında yer alan panel veriyle OECD ülkeleri üzerine yaptıkları çalışmada, yenilenebilir enerji kullanımının karbondioksit emisyonları üzerinde negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olduğunu bulmuştur.

Ele alınan son değişken, doğrudan yabancı yatırım gelirlerinin karbondioksit emisyonunu istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif etkilemektedir. Diğer bir ifadeyle, doğrudan yabancı yatırım gelirlerinin artması, karbondioksit emisyonun da artmasına neden olacağı şeklinde değerlendirilebilir. Söz konusu bulgu, Apergis, Pınar ve Unlu'nun (2022) çalışmasını destekler niteliktedir. Apergis, Pınar ve Unlu (2022),

Danimarka ve Birleşik Krallık'tan gelen doğrudan yabancı yatırım akımlarının, BRICS ülkelerinde karbondioksit emisyonlarını anlamlı şekilde artırdığı tespit edilmiştir. Bu durum, gelişmekte olan ülkelerde çevre denetimlerinin zayıf olması durumunda karbondioksit emisyonlarını artırma potansiyeli olduğunu göstermektedir.



## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dijital para sınıfında olan Bitcoin ile başlayan kripto paraların ortaya çıkışı ve sahip oldukları blok zincir teknolojisinin altyapısı, diğer fiat para birimleriyle karşılaştırıldığında farklı kılan avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bitcoin üretimi için kullanılan yöntem, madenci olarak adlandırılan kullanıcıların kullandıkları cihazlar vasıtasıyla çeşitli karmaşık problemleri çözmek ve sunucudaki diğer kullanıcıların çözümü doğrulamasından sonra sunucuya eklenmesiyle oluşmaktadır. İşletim yöntemi açısından avantajlı bir sistem olarak görülse de, Bitcoinin üretimi, saklanması ve işlem görmesi için gereken enerji tartışma konusu olmaktadır. Öte yandan, yarılama algoritması nedeniyle verilen teşvik ödülünün yarılanması, madenciler için bir önceki teşvik ödülü miktarına ulaşabilmesi için daha çok madencilik yapmaya neden olabilir. Bitcoin üretimi için özel olarak üretilen madenciler tarafından kullanılan ASIC cihazlarının madencilik için harcanan enerji oldukça fazladır. Dağıtık defterlerin tüm kullanıcılarda saklanması durumu aynı zamanda da kullanıcı sayısı arttıkça defter sayısı da artacağından, defterde yer alan verilerin saklanması için gereken enerji miktarı da gün geçtikçe artmaktadır. Bitcoinin popülerliğinin artmasıyla beraber enerji ihtiyacının da artmasına, aynı zamanda dolaşımda daha çok para arzı sağlanabilmesi için Bitcoin işlem hacmi ile üretiminin de artması, enerji ihtiyacının olumsuz derecede artıracığı endişesi doğurmuştur. Bu amaçla, Bitcoin işlem hacminin enerji tüketimi üzerindeki yeri ve karbondioksit emisyonları arasındaki ilişkinin tespit edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada Bitcoin kullanımının yaygınlaştığı dönemde ve veri kısıtları göz önünde bulundurularak 2019-2023 yılları arasında seçili 20 ülke ve/veya bölgenin kripto varlıkların çevresel etkisi ile ilişkisini analiz edebilmek amacıyla Driscoll-Kraay (1998) tahmincisi tercih edilmiştir. Çevresel etkilerin ölçülebilmesi için Birincil enerji tüketimi, Yerel piyasada Bitcoin işlem hacmi, Yenilenebilir enerji tüketimi ve Doğrudan yabancı yatırım net girişleri olarak belirlenerek Kişi başına yıllık CO<sub>2</sub> emisyonu üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Aynı zamanda bağımsız değişken olarak birincil enerji tüketimi ile Bitcoin işlem hacminin birlikte CO<sub>2</sub> emisyonunu etkileme derecesinin tespit edilmesi hedeflenmiştir. Araştırmanın temel hedefi, kripto para birimlerinin çevresel etkilerini analiz etmek için, kripto para birimlerini temsilen çalışmada kullanılan kripto para birimlerinin öncüsü olarak kabul edilen Bitcoin'in

üretimi ve kullanımı ile enerji tüketiminin CO<sub>2</sub> emisyonu üzerindeki etkilerini ortaya koymaktır.

Gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre; birincil enerji tüketiminin CO<sub>2</sub> emisyonunu istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif etkilemektedir. Enerji, ulaşım, sanayi sektörü ve hane halkının enerji ihtiyacının karşılanması için üretilen enerjinin büyük çoğunluğunun halen çoğu ülkede fosil yakıtlar ile karşılanmasından kaynaklandığı değerlendirilebilir. Karbondioksit emisyonlarındaki artışlar aynı zamanda sera gazının büyük bir çoğunluğunu oluşturması nedeniyle çevresel etkisini artırmaktadır. Al Mamun ve Ehsanullah (2025) tarafından yürütülen çalışmada, karbondioksit emisyonunu etkileyen en temel değişkenin enerji tüketimi olduğunu belirtmektedir. Bu değişkenin emisyonlar üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif bir etkisi bulunduğu ifade edilmektedir. Emisyonları etkileyen bir diğer önemli faktör ise Bitcoin işlem hacmi olarak tespit edilmiştir. Bitcoin işlem hacminin karbondioksit emisyonları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif bir etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durumun nedeni olarak Bitcoin üretiminde kullanılan teknolojik cihazların yüksek düzeyde enerji tüketmesi ile birlikte, Bitcoinin saklanması ve işlem görmesi süreçlerinde de enerjiye ihtiyaç duymasından kaynaklandığı belirtilmektedir.

Karbondioksit emisyonunu etkileyen faktörler arasında olan enerji tüketimi ve Bitcoin işlem hacmi, etkileşim değişkeni olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuca göre CO<sub>2</sub> emisyonunu istatistiksel olarak negatif ve anlamlı düzeyde etkilediği tespit edilmiştir. Bitcoin işlem hacmindeki artışın, birincil enerji tüketiminin karbondioksit emisyonları üzerindeki marjinal etkisini azalttığı şeklindeki bulgu, Khan vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, madencilik süreçlerinde daha verimli ve düşük karbonlu teknolojilerin kullanımını teşvik etmesi nedeniyle gerçekleştiğini göstermektedir. Corbet vd. (2022), hacmi yüksek işlemler yapılması durumunda büyük ölçekli ve verimli veri merkezlerinde yürütülmesi nedeniyle çevresel etkilerin azaldığını belirtmektedir. Benzer şekilde, Sedlmeir vd. (2020) ve Bouri vd. (2023) tarafından yapılan çalışmalarda, işlem hacimlerinin büyük ölçekli olması durumunda enerji tüketimini azaltarak daha düşük emisyonla sonuçlandığını göstermektedir. Birincil enerji tüketimindeki artışın, Bitcoin işlem hacminin karbondioksit emisyonları üzerindeki marjinal etkisini azalttığını şeklindeki bulgu ise, Jiang vd. (2021) tarafından

yapılan çalışmada, Çin'deki politika değişiklikleri sonrasında madencilik faaliyetlerinin düşük karbonlu enerji kaynaklarına kaydığını ve yüksek işlem hacmi dönemlerinde dahi emisyonların sınırlı kaldığını vurgulamaktadır.

Bitcoin işlem hacmindeki artışın, birincil enerji tüketiminin karbondioksit emisyonları üzerindeki marjinal etkisini azaltması, Bitcoin işlem hacmi arttıkça birim işlem başına düşen enerji maliyeti ve emisyon miktarı azalabilir. Aynı zamanda üretimde kullanılan ASIC cihazlarının teknolojinin de gelişmesiyle verimliliği artarak daha fazla işlem yaparken daha az enerji tüketmesine neden olabilir. Bir diğer yandan, Çin'deki politika değişiklikleri sonrasında madencilik faaliyetlerinin düşük karbonlu enerji kaynaklarına kaydığını ve yüksek işlem hacmi dönemlerinde dahi emisyonların sınırlı kalmasıyla ilişkilendirilebilir. Yenilenebilir enerji tüketiminin karbondioksit emisyonunu istatistiksel olarak anlamlı ve negatif etkilemektedir. Bitcoin'in üretimi, saklanması ve işlem görmesi için gereken enerjinin üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, fosil yakıtlarla elde edilen enerjiye kıyasla karbondioksit emisyonuna etkisi daha az olacaktır. Doğrudan yabancı yatırımların karbondioksit emisyonunu istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif etkilemektedir. Literatürde, Apergis, Pınar ve Unlu'nun (2022) çalışmasını destekler niteliktedir.

Analiz sonuçlarına dayanarak, politika yapıcılar ve karar alıcılar için aşağıdaki öneriler sunulmaktadır.

Bitcoin üretiminde kullanılan ASIC cihazların çalıştırılmasında gereken enerji miktarı sınırlandırılmalıdır. Bu bağlamda, cihazların yüksek miktarda enerji tüketimin önüne geçerek CO<sub>2</sub> emisyonu derecesinde beklenmedik tehlikelere karşı önlem alınmasına sebebiyet verecektir.

Bitcoin üretiminde madencilik sınırının bulunması gerekmektedir. Bu sayede piyasaya gelen para arzı girdileri de durağan bir seviyeye ulaşması öte yana, CO<sub>2</sub> emisyonunu önemli bir ölçüde azaltacaktır.

Bitcoin işlemlerinde asgari işlem limitinin getirilmesi, asgari işlem limiti var ise limitin artırılması gerekmektedir. Bu sayede caydırıcı bir etki yaratarak yatırımcıların daha verimli ve çevreci olan paralara yönelmesini sağlayacaktır.

Yeşil dostu ülkelerde madenciliğin yapılmaya ilişkin politikalar benimsenmelidir. Bu sayede, Kripto para madenciliği için karbondioksit emisyonlarına etkisini azaltmakta büyük rol oynayacaktır.

Kripto para üretimi yapılan ülkelerde karbon vergisinin bulunması veya artırılması gerekir. Bu sayede, madenciler daha uygun görünen yeşil dostu ülkelere yönelerek çevreci üretime neden olacaktır. Aynı zamanda ülkeler üretim yerini değiştirmeyi tercih etmeyen madencilerden gelir vergisi elde etme imkânı sağlayacaktır.

Bu çalışmanın literatüre katkısı, daha önce yapılan çalışmalarından çoğundan farklı olarak yenilenebilir enerji tüketimi ve birincil enerji tüketimi ile Bitcoin işlem hacminin birlikte CO2 emisyonu üzerindeki negatif etkinin bulunması, yenilenebilir enerji kullanımının yaygınlaştırılması ve Bitcoinin kullanımında yenilenebilir enerjinin tercih edilmesinin önemli derecede çevresel olarak katkı sağlayacağını ortaya koymasındır.

Gelecek çalışmalar için farklı değişkenlerin kullanılması, Kripto paraların üretiminde daha fazla ülke bazlı verilerin elde edilebilmesi durumunda bölgesel, kıtasal, gelişmemiş, gelişmekte olan ve gelişmiş ülkelerle karşılaştırmalı analiz edilmesi ve alternatif ekonometrik modellerin uygulanması önerilmektedir. Ayrıca, dijital sisteme dayalı olması nedeniyle günlük, haftalık, aylık, veya çeyreklik veriler kullanılarak farklı frekanslarda analizlerin gerçekleştirilmesi, kripto paraların çevreye ve fiat para olarak kullanılan birimlerle olan ilişkisine dair daha ayrıntılı sonuçlar sunulabilir.

## KAYNAKÇA

- Agur, I., Deodoro, J., Lavayssière, X., Martinez Peria, S., Sandri, D., Tourpe, H., & Villegas Bauer, G. (2022). Digital Currencies and Energy Consumption. *FinTech Notes*, 2022(006), A001. Erişim Tarihi: 13.05.2025, doi:10.5089/9798400208249.063.A001
- Akova, İ. (2012). Dünya Enerji Sorunu ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı. *Journal of Geography* (11).
- Akşehirli, N. (2024). Enerji İthalatçısı Bir Ülke İçin Enerji Fiyatlarının Toplam Ve Sektörel Büyümeye Asimetrik Etkileri: Türkiye Örneği. *Nişantaşı Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 12(Özel Sayı), 13-30. doi:10.52122/nisantasisbd.1448152
- Akyıldız, F. (2011). Binyıl Kalkınma Hedefleri, İnsan Hakları Ve Demokrasi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*(14), 39-60.
- Apergis, N., Pınar, M., ve Unlu, E. (2022). How do foreign direct investment flows affect carbon emissions in BRICS countries? Revisiting the pollution haven hypothesis using bilateral FDI flows from OECD to BRICS countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(6), 14680–14692. doi:10.1007/s11356-022-23185-4
- Aslan, B. (2020). *Kripto para birimlerinin rezerv para olabilme potansiyeli* (Yüksek Lisans Tezi). DSpace veri tabanından erişildi. Erişim Adresi: <https://hdl.handle.net/20.500.12483/3509>
- Avcı, P., Sarıgül, S., Karataşer, B., Çetin, M. ve Aslan, A. (2024). Analysis of the relationship between tourism, green technological innovation and environmental quality in the top 15 most visited countries: evidence from method of moments quantile regression. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 26. 2337–2355. doi:10.1007/s10098-023-02708-8
- Avrupa Merkez Bankası. (2012). Virtual currency schemes. *Avrupa Merkez Bankası*. s.24-25. <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/other/virtualcurrencyschemes201210en.pdf>
- Aydar, M., Cetin, S. C., Ayvaz, S. ve Aygun, B. (2019). Private key encryption and recovery in blockchain. *Cornell University Archive*. doi:10.48550/arXiv.1907.04156
- Azman-Saini, W. N. W., Baharumshah, A. Z., ve Law, S. H. (2010). Foreign direct investment, economic freedom and economic growth: International evidence. *Economic Modelling*, 27(5), 1079-1089. doi:10.1016/j.econmod.2010.04.001
- Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu (BDDK). (2013, 23 Kasım). *Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurulu'nun 23 Kasım 2013 tarihli ve 2013/32 sayılı*

*Basın Duyurusu* [Bitcoin Hakkında Basın Duyurusu]. Erişim Adresi: <https://www.bddk.org.tr/Duyuru/EkGetir/510?ekId=530>

Bashari, M., Ghavidel Doostkouei, S., Fathabadi, M., ve Soufimajidpour, M. (2025). The environmental cost of cryptocurrency: Analyzing CO2 emissions in the 9 leading mining countries. *Sustainable Futures*, 10, 100792. doi:10.1016/j.sftr.2025.100792

BBC. (2021, 26 Mayıs). Iran bans cryptocurrency mining for four months after blackouts. *bbc.com* Erişim Adresi: <https://www.bbc.com/news/world-middle-east-57260829> Erişim Tarihi: 26.05.2025

Bendiksen, C. (2019). The Bitcoin Mining Network: Trends, Average Creation Costs, Electricity Consumption & Sources (June 2019). CoinShares Research. Erişim Adresi: [https://www.academia.edu/85064964/The\\_Bitcoin\\_Mining\\_Network\\_Trends\\_Average\\_Creation\\_Costs\\_Electricity\\_Consumption\\_and\\_Sources\\_June\\_2019](https://www.academia.edu/85064964/The_Bitcoin_Mining_Network_Trends_Average_Creation_Costs_Electricity_Consumption_and_Sources_June_2019) Erişim Tarihi: 26.05.2025

Bertha, M. (2014, 02 Ocak). *Such Wow: Everything you need to know about the Doge meme*. The Philadelphia Inquirer. Erişim Adresi: <https://www.inquirer.com/philly/blogs/trending/Such-Wow-Everything-you-need-to-know-about-Doge.html> Erişim Tarihi: 26.12.2024

Bıçakçı, S. N. (2019). Nesnelerin İnterneti. *Takvim-i Vekayi*, 7(1), 24-36.

Bilirer, M., ve Zeren, F. (2025). Kripto Varlıklarda Elektrik Tüketimi, Karbon Emisyonu ve Fiyat İlişkisi: Seçilmiş Tokenler Örneği. *Malatya Turgut Özal Üniversitesi İşletme ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 6(1), 37-56.

Binance Academy. (t.y.). Halving nedir?. *Binance Academy*. Erişim Adresi: <https://academy.binance.com/tr/halving> Erişim tarihi: 04.04.2024

Birleşmiş Milletler Eğitim ve Araştırma Enstitüsü. (Mart 20, 2024). The Global E-waste Monitor 2024. Erişim adresi: <https://ewastemonitor.info/the-global-e-waste-monitor-2024/>

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS). (2015). Paris anlaşması. *Birleşmiş Milletler*. Erişim Adresi: [https://unfccc.int/sites/default/files/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf)

Birleşmiş Milletler. (t.y.). Küresel Amaçlar: Daha iyi bir dünya için hedefler. *Birleşmiş Milletler*. Erişim Adresi: <https://www.kureselamaclar.org/> Erişim tarihi: 30.11.2024

Blockchain.com. (t.y.). Bitcoin (BTC) explorer. *blockchain.com*. Erişim Adresi: <https://www.blockchain.com/explorer/assets/btc> Erişim Tarihi: 05.09.2024,

Blockchain.com. (t.y.). Borsa işlem hacmi (USD). *blockchain.com*. Erişim Adresi: <https://www.blockchain.com/explorer/charts/trade-volume> Erişim Tarihi: 02.03.2024

- Bouri, E., Jain, A., Roubaud, D., ve Kristoufek, L. (2023). Bitcoin, energy consumption and environmental impact: Evidence from quantile-on-quantile regression. *Energy Economics*, 114, 106346. doi:10.1016/j.eneco.2022.106346
- Böhme, R., Christin, N., Edelman, B. ve Moore, T. (2015). Bitcoin: Economics, technology, and governance. *Journal of Economic Perspectives*, 29(2), 213–238. doi:10.1257/jep.29.2.213
- Bruna, A., (2023). Distribution of Bitcoin mining's carbon footprint worldwide as of 2018, by region. Erişim Adresi: <https://www.statista.com/statistics/1087192/bitcoin-mining-contribution-carbon-footprint-distribution-globally-by-region/> Erişim Tarihi: 26.05.2025.
- Cambridge Centre for Alternative Finance. (t.y.) Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index. Erişim Adresi: <https://ccaf.io/cbnsi/cbeci> (Accessed: 20.05.2025). Licensed under CC BY-NC-SA 4.0.
- Cambridge Judge Business School. (2023, 31 Ağustos). *Bitcoin elektrik tüketimi: Geliştirilmiş bir değerlendirme.* Erişim Adresi: <https://www.jbs.cam.ac.uk/2023/bitcoin-electricity-consumption/> Erişim tarihi: 05.04.2025
- Chamanara, S., Ghaffarizadeh, S. A., ve Madani, K. (2023). The Environmental Footprint of Bitcoin Mining Across the Globe: Call for Urgent Action. *Earth S Future*, 11(10). e2023EF003871. doi:10.1029/2023ef003871
- Chohan, U. W. (2021, 12 Şubat). *A history of Dogecoin. Discussion Series: Notes on the 21st Century.* Erişim Adresi: <https://ssrn.com/abstract=3091219>
- CoinMarketCap. (t.y.). Ethereum (ETH) Fiyatı, Grafikler, Piyasa Değeri. Erişim adresi: <https://coinmarketcap.com/tr/currencies/ethereum/>. Erişim Tarihi: 19.11.2024
- Corbet, S., Larkin, C., Lucey, B., ve Yarovaya, L. (2022). Bitcoin energy consumption and environmental consequences: The role of trading activity. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 199, 108–120. doi:10.1016/j.jebo.2022.04.017
- Cryptomus. (2024, Mart 20). Yeşil Kripto Para Birimleri Nelerdir – En Çevre Dostu Kripto 2024. Cryptomus Blog. Erişim Adresi: <https://cryptomus.com/tr/blog/what-are-green-cryptocurrencies-most-eco-friendly-crypto-2024>
- Çifçi, G. (2025). Kahverengi kripto ve yeşil kripto paraların yatırımcı risk toleransı ile ilişkisi: Yerli yatırımcılar bazında A-ARDL ve NARDL yöntemleri ile bir değerlendirme. *Kocatepe İİBFD*, 27(1), 130-153. doi:10.33707/akuiibfd.1551277
- de Vries, A. (2018). Bitcoin's growing energy problem. *Joule*, 2(5), 801–805. doi:10.1016/j.joule.2018.04.016

- de Vries, A. ve Stoll, C. (2021). Bitcoin's growing e-waste problem. *Resources, Conservation and Recycling*, 175, 105901. doi:10.1016/j.resconrec.2021.105901
- Digiconomist. (t.y.). Bitcoin Electronic Waste Monitor. Erişim Adresi: <https://digiconomist.net/bitcoin-electronic-waste-monitor/> Erişim Tarihi: 02.07.2025
- Digiconomist. (t.y.). *Bitcoin Energy Consumption Index*. Erişim Adresi: <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption?ref=solana.ghost.io> Erişim Tarihi: 15.12.2024
- Dogecoin Foundation. (t.y.). *About the foundation*. Erişim Adresi: <https://foundation.dogecoin.com/about/> Erişim Tarihi: 26.12.2024
- Doğan, E., ve Şeker, F. (2016). The influence of real output, renewable energy, and financial development on carbon emissions in the OECD countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1074–1085. doi:10.1016/j.rser.2016.02.006
- Driscoll, J. C. ve Kraay, A. C. (1998). Consistent Covariance Matrix Estimation with Spatially Dependent Panel Data. *Review of Economics and Statistics*. 80(4). 549-560. doi:10.1162/003465398557825
- Efeoğlu, R. (2022). Çevresel Kuznets Eğrisi Çerçevesinde Sanayileşme, Yenilenebilir Enerji, Enerji Tüketimi ve Finansal Gelişmenin CO2 Salınımı Üzerindeki Etkisi. *Alanya Akademik Bakış*, 6(2), 2103-2115. doi:10.29023/alanyaakademik.1010774
- Eğilmez, M. (2013). Bitcoin. *mahviegilmez.com*. Erişim Adresi: <http://www.mahfiegilmez.com/2013/11/bitcoin.html> Erişim Tarihi: 16.11.2024
- Eğilmez, M., ve Kumcu, E. (2020). *Ekonomi politikası* (26. bs.). Remzi Kitabevi.
- Ethereum.org. (t.y.). The Merge. Erişim Adresi: <https://ethereum.org/en/roadmap/merge/> Erişim Tarihi: Haziran 13, 2025,
- Foley, S., Karlsen, J. R. ve Putniņš, T. J. (2019, 04 Nisan). Sex, Drugs, and Bitcoin: How Much Illegal Activity Is Financed through Cryptocurrencies? *The Review of Financial Studies*, 32(5), 1798–1853. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhz015>
- Gavofyork. (2013, Aralık 24). \*RLP prototype implementation\* [Commit 85aaddc]. GitHub. Erişim Adresi: <https://github.com/ethereum/aleth/commit/85aaddc694adc23ee56fce3d83a92a943a54b100>. Erişim Tarihi: 19.11.2024
- Gökmen, A. M., & Sertçelik, Ş. (2021). İnovasyon, Beşeri Sermaye ve Ekonomik Büyüme Arasındaki Ampirik İlişki: OECD Ülkeleri için Panel Veri Analizi. *Pamukkale Üniversitesi İşletme Araştırmaları Dergisi*, 8(1), 278–296. <https://doi.org/10.47097/piar.937726>

- Gujarati, D. N. (2004). *Basic Econometrics* (4th ed.). New York, NY: The McGraw-Hill Companies.
- Haber, S. ve Stornetta, W. S. (1991). How to time-stamp a digital document. *Springer Berlin Heidelberg*, 437-455
- Huynh, A. N. Q., Duong, D., Burggraf, T. et al. (2022). Energy Consumption and Bitcoin Market. *Asia-Pacific Finance Markets*, 29, 79–93. doi:10.1007/s10690-021-09338-4
- Investopedia Team. (2024, 05 Mayıs). *Litecoin*. investopedia.com. Erişim Adresi: <https://www.investopedia.com/terms/l/litecoin.asp> Erişim Tarihi: 30.12.2024
- İbrahim, D. M., Houssamb, N., Esily, R. R., Sethi, N., ve Fouad, H. (2024, 04 Eylül). Modelling energy trilemma and economic growth on renewables in N11 economies: Do economic complexity matter?. *Heliyon*, 10(17), doi:10.1016/j.heliyon.2024.e12345
- Jevons, W. S. (1865/1965). In Flux, A. W. (Ed.), *The coal question: An inquiry concerning the progress of the nation, and the probable exhaustion of our coal-mines* (3rd ed., 1905). Augustus M. Kelley.
- Jiang, Y., Wu, J., ve Liang, X. (2021). Policy assessments for the carbon emission flows and sustainability of bitcoin blockchain operation in China. *Nature Communications*, 12(1), 1938. doi:10.1038/s41467-021-22256-3
- Kahraman, G. (2019). Türkiye’de Kentleşmenin Enerji Tüketimi ve Karbon Salınımı Üzerine Etkisi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(3), 1559-1566. doi:10.21597/jist.548294
- Kesebir, M., ve Günceler, B. (2019). Kripto Para Birimlerinin Parlak Geleceği. *Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*(17), 605-626.
- Keyifli, Ö. Ü. N. (2016). Kripto Paraların Enerji Tüketimi Yoluyla Neden Oldukları Çevresel Sorunlara Çözüm Önerileri-Pigoviyen Vergi. *world*, 103(3), 95.
- Khan, M. A., Ullah, S., ve Hou, F. (2022). Cryptocurrency and environmental sustainability: The role of renewable energy and green mining technologies. *Resources Policy*, 77, 102674. doi:10.1016/j.resourpol.2022.102674
- Koçak, E., ve Uçan, O. (2023). Kripto para ticaretinin çevre kirliliği üzerine etkileri: panel veri analizi. *Journal of Politics Economy and Management*, 6(2), 95-107.
- Koçoğlu, Şahnaz, Çevik, Y. E., ve Tanrıöven, C. (2021). Bitcoin Piyasalarının Etkinliği, Likiditesi ve Oynaklığı. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 8(2), 77–97. Erişim Adresi: <https://isarder.org/index.php/isarder/article/view/316>
- Kraken Learn team. (2024, 4 Eylül). The history of Bitcoin halvings: Timeline and 2024 insights. Kraken. Erişim adresi: <https://www.kraken.com/learn/bitcoin-halving-history>

- Krause, M. J., ve Tolaymat, T. (2018). Quantification of energy and carbon costs for mining cryptocurrencies. *Nature Sustainability*, 1, 711–718. doi:10.1038/s41893-018-0152-7
- Kurt, G. ve Alsu, E. (2024). Bitcoin Üretimini Karbon Emisyonu Üzerindeki Etkisi: Panel Veri Analizi. *Pamukkale Üniversitesi İşletme Araştırmaları Dergisi*, 11(1), 199-221.
- Kutbay, H. (2019). Vergi Gelirlerini Etkileyen Faktörler: Seçilmiş Ülkeler İçin Panel Veri Analizi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 6(3). 602-617. doi:10.30798/makuiibf.519599
- Küfeoğlu, S. ve Özkuran, M.. (2019). Bitcoin mining: A global review of energy and power demand. *Energy Research & Social Science*. 58. 101273. doi:10.1016/j.erss.2019.101273
- Lemmke, A. (2022). *Bitcoin environmental impacts: narrative literature review* (Lisans Tezi). Theseus veri tabanından erişildi. (Erişim No. 783275)
- Leporati, A. ve Rovidia, L. (2024). Looking for Stability in Proof-of-Stake based Consensus Mechanisms. *Blockchain: Research and Applications*, doi:10.1016/j.bcra.2024.100222.
- Litecoin. (t.y.). *Litecoin: What is The Litecoin Foundation?*. [litecoin.com](https://litecoin.com/). Erişim Adresi: <https://litecoin.com/> Erişim Tarihi: 30.12.2024
- Mahmood T., Shaikh G. M.. (2013). Adaptive Automated Teller Machines. *Expert Systems with Applications*. 40(4). 1152-1169. doi:10.1016/j.eswa.2012.08.022
- McGrath, M. (2021, 28 Şubat). İklim değişikliği: Covid sonrası enerji patlamasında karbon 'artışı' bekleniyor. *BBC News*. Erişim Adresi: <https://www.bbc.com/news/science-environment-56215787>. Erişim Tarihi: 04.03.2024
- Mora, C., Rollins, R. L., Taladay, K., Kantar, M. B., Chock, M. K., Shimada, M. ve Franklin, E. C. (2018). Bitcoin emissions alone could push global warming above 2°C. *Nature Climate Change*, 8(11), 931-933. doi:10.1038/s41558-018-0321-8
- Mukhtarov, S., Yüksel, S., ve Dinçer, H. (2022). The impact of financial development on renewable energy consumption: Evidence from Turkey. *Renewable Energy*, 187, 169-176, doi:10.1016/j.renene.2022.01.061
- Muslih, H. (2024). *Türkiye'de kripto para biriminin benimsenmesini etkileyen faktörler* (Yüksek lisans tezi). Uludağ Üniversitesi Kurumsal Arşivi veri tabanından erişildi (<https://hdl.handle.net/11452/40431>).
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. *Satoshi Nakamoto*. Erişim Adresi: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>

- Narayanan, A., Bonneau, J., Felten, E., Miller, A. ve Goldfeder, S. (2016). *Bitcoin and cryptocurrency technologies: A comprehensive introduction*. Princeton University Press. ISBN: 9780691171692
- Nicolas, S. (2023). An Order-of-Magnitude Estimate of the Relative Sustainability of the Bitcoin Network. Bitcoin.fr. Erişim Adresi: [https://bitcoin.fr/public/divers/docs/Estimation\\_de\\_la\\_durabilite\\_et\\_du\\_cout\\_du\\_reseau\\_Bitcoin.pdf](https://bitcoin.fr/public/divers/docs/Estimation_de_la_durabilite_et_du_cout_du_reseau_Bitcoin.pdf)
- Oliveira, H., ve Moutinho, V. (2021). Renewable Energy, Economic Growth and Economic Development Nexus: A Bibliometric Analysis. *Energies*, 14(15), 4578. doi:10.3390/en14154578
- Othman, A. H. A., ve Bendob, A. (2022). Bitcoin Mining's Energy Consumption and Global Carbon Dioxide Emissions: Wavelet Coherence Analysis. *ResearchGate*, 1(1), 1–18. Erişim Adresi: [https://www.researchgate.net/publication/361331635\\_Bitcoin\\_Mining's\\_Energy\\_Consumption\\_and\\_Global\\_Carbon\\_Dioxide\\_Emissions\\_Wavelet\\_Coherence\\_Analysis](https://www.researchgate.net/publication/361331635_Bitcoin_Mining's_Energy_Consumption_and_Global_Carbon_Dioxide_Emissions_Wavelet_Coherence_Analysis)
- Özbaş, G. (2021, 24 Şubat). *Elon Musk Son Paylaşımı ile Dogecoin'i Ay'a Gönderdi*. Paratic.com Erişim Adresi: <https://paratic.com/elon-musk-dogecoin-aya-gonderdi/> Erişim Tarihi: 27.12.2024
- Özdoğan, B. (2022). Blokzincir Teknolojisi Temel Kavram ve Uygulamaları. Blockchain Teknolojisi ve Kripto Varlıklar Eko Sistemi.
- Öztürk, N. ve Acar, O. (2021). Paranın Dönüşümünde Yeni Bir Evre: Merkez Bankası Dijital Parası. *Uluslararası Muhasebe ve Finans Araştırmaları Dergisi*, 3(2), 85-104.
- Peker, H. S., ve Altınışık, İ. (2011). Negatif Dışsalılıkların İşselleştirilmesi Açışından Karbon Ticareti. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi*, 2(4).
- Pigou, A. C. (1920). *The economics of welfare*. Macmillan.
- Platt, M., Sedlmeir, J., Platt, D., Xu, J., Tasca, P., Vadgama, N., ve Ibanez, J. I. (2021). The Energy Footprint of Blockchain Consensus Mechanisms Beyond Proof-of-Work. *2021 IEEE 21st International Conference on Software Quality, Reliability and Security Companion (QRS-C)*. doi:10.1109/qrs-c55045.2021.00168
- Polimeni, J. M., Mayumi, K., Giampietro, M. ve Alcott, B. (2008). *The Jevons Paradox and the Myth of Resource Efficiency Improvements*. Earthscan Research Editions.
- Qin, S., Klaaßen, L., Gallersdörfer, U., Stoll, C., ve Zhang, D. (2020). Bitcoin's future carbon footprint. *arXiv preprint*. Erişim Tarihi: 31.05.2025 doi:10.48550/arXiv.2011.02612.

- Rao, D. S., Rajasekhar, C., Prasad, P. M. K., ve Naidu, G. B. S. R. (2024). Sustainability and Environmental Impact of Mining and Maintaining Cryptocurrencies: A review. *Nature Environment and Pollution Technology*, 23(4), 2483–2487. doi:10.46488/nept.2024.v23i04.055
- Raskin, M. ve Yermack, D. (2016). Digital currencies, decentralized ledgers, and the future of central banking. *National Bureau of Economic Research*, Working Paper Series, (No. 22238). doi:10.3386/w22238
- Saidi, K., ve Hammami, S. (2015). The impact of energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions on economic growth: Fresh evidence from dynamic simultaneous-equations models. *Energy Policy*, 88, 347–355. doi:10.1016/j.enpol.2015.06.002
- Schinckus, C. (2021). Proof-of-work based blockchain technology and Anthropocene: An undermined situation?. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 152, 111682.
- Sedlmeir, J., Buhl, H. U., Fridgen, G., ve Keller, R. (2020). The energy consumption of blockchain technology: Beyond myth. *Business & Information Systems Engineering*, 62(6), 599–608. doi:10.1007/s12599-020-00656-x
- Sevinç, M. Y., ve Aktuğ, S. S. (2023). Nüfus Artışının Yol Açtığı Sorunlara Küresel Bakış. *Ankara Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(11), 13-30.
- Sezgin, S. (2024). Kripto Madenciliğinin Çevre Üzerindeki Etkileri. *Akademik İzdüşüm Dergisi*, 9(2), 285–312. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/beuibfaidd/issue/87943/1532100>
- Singla, A., Singla, M., ve Gupta, M. (2024). Unpacking the Impact of Bitcoin Halving on the Crypto Market: Benefits and Limitations. *SSRN Electronic Journal*. doi:10.2139/ssrn.4872312
- Solana Foundation. (2021, 24 Kasım). *Solana's Energy Use Report: November 2021*. Erişim Adresi: <https://solana.com/news/solana-energy-usage-report-november-2021> Erişim Tarihi: 15.12.2024
- Solana Foundation. (2023, 30 Ocak). *The Values That Got Us Here*. Erişim Adresi: <https://solana.com/news/the-values-that-got-us-here-solana-2023> Erişim Tarihi: 15.12.2024
- Solana Foundation. (t.y.). *Solana: A new architecture for a high performance blockchain v0.8.13*. Erişim Adresi: <https://solana.com/solana-whitepaper.pdf> Erişim Tarihi: 15.12.2024
- Stoll, C., Klaaßen, L. ve Gellersdörfer, U. (2019). The Carbon Footprint of Bitcoin. *Joule*, 3(7), 1647–1661. doi:10.1016/j.joule.2019.05.012
- Sun, W., Jin, H., Jin, F., Kong, L., Peng, Y., ve Dai, Z. (2022). Spatial analysis of global Bitcoin mining. *Scientific Reports*, 12(1). doi:10.1038/s41598-022-14987-0

- Şafak, E., Arslan, Ç., Gözütok, M. ve Köprülü, T. (2021). Dağıtık defter teknolojileri ve uygulama alanları üzerine bir inceleme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (29), 36-45.
- Şenbayram, E. A. (2019). Paranın Geldiği Uç Nokta: Bitcoin. *Econharran*, 3(4), 72-92.
- Tabachnick, B. ve Fidell, L. (2001). *Using multivariate statistics*, Boston: Allyn and Bacon
- Taşkınsoy, J. (2021, 28 Ekim). Bitcoin: A new digital gold standard in the 21st century?. *SSRN Electronic Journal*. doi:10.2139/ssrn.3941857
- Tayebi, S. ve Amini, H. (2024). The flip side of the coin: Exploring the environmental and health impacts of proof-of-work cryptocurrency mining. *Environmental Research*, 252, 118798–118798. doi:10.1016/j.envres.2024.118798
- Truby, J. (2018). Decarbonizing Bitcoin: Law and policy choices for reducing the energy consumption of Blockchain technologies and digital currencies. *Energy Research & Social Science*, 44, 399–410. doi:10.1016/j.erss.2018.06.009
- Turgut, E. ve Gökten Sarıöz, Y. (2023). Jevons Paradoksu Hala Geçerli mi? Yükselen Piyasa Ekonomileri Örneği, *Verimlilik Dergisi*, 57(1), 85-102. doi:10.51551/verimlilik.1068682
- Wachira, V. K., ve Wachira, E. W. (2021). Digital Currencies and Their Potential to Disrupt and Replace Fiat Money: The Case of Bitcoins. *European Journal of Economic and Financial Research*, 5(1). doi.org/10.46827/ejefr.v5i1.1052
- Wang, Y., Lucey, B., Vigne, S.A. ve Yarovaya, L. (2022). An index of cryptocurrency environmental attention (ICEA). *China Finance Review International*, 12(39), 378-414. doi:10.1108/CFRI-09-2021-0191
- Xiao, Z., Cui, S., Xiang, L., Liu, P. J., ve Zhang, H. (2023). The environmental cost of cryptocurrency: Assessing carbon emissions from bitcoin mining in China. *Journal of Digital Economy*, 2, 119–136. doi:10.1016/j.jdec.2023.11.001
- Xu, N. (2024). Energy consumption forecasting: A trend analysis based on global data from 2000–2020. *Proceedings of the International Conference on Mathematics and Machine Learning (ICMML '23)*, 146–151. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3653724.3653750
- Ye, W., Wong, W.-K., Arnone, G., Nassani, A. A., Haffar, M., ve Faiz, M. F. (2023). Crypto currency and green investment impact on global environment: A time series analysis. *International Review of Economics & Finance*, 86, 155–169. doi:10.1016/j.iref.2023.01.030
- Yılmaz, M.K. ve Kaplan, A. (2022). Kriptopara Madenciliğinin Çevresel Sürdürülebilirlik Üzerine Etkileri. M. Bulut ve C. Korkut (Eds). *Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilir Hayat* (s. 143-174). Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları. doi:10.53478/TUBA.978-605-2249-97-0.ch06

Yılmaz, T. (2022, 2 Aralık). *Çan'daki termik santrallerin halk sağlığına etkisi: "Hasta Otobüsü"*. Bianet. Erişim Adresi: <https://bianet.org/haber/can-daki-termik-santrallerin-halk-sagligina-etkisi-hasta-otobusu-270869>. Erişim Tarihi: 21.03.2025

Yücel, E. (2021, 30 Haziran). Mevduatın Krediye Dönüşüm Oranının Belirleyicileri. *Ekonomi ve Finansal Araştırmalar Dergisi*. 3(1). 60-70. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jefr/issue/66102/1033897>



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ATİLA, Kerem  
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti

### Eğitim

| Derece | Eğitim Birimi                                                                                                            | Mezuniyet Tarihi |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Lisans | İstanbul Gelişim Üniversitesi / İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi / Ekonomi ve Finans (İngilizce)             | 23.06.2022       |
| Lise   | Avcılar Saide Zorlu Ticaret Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi / Muhasebe ve Finansman Alanı / Dış Ticaret Ofis Hizmetleri | 09.06.2017       |

### İş Deneyimi

| Yıl        | Yer                           | Görev             |
|------------|-------------------------------|-------------------|
| 2024-Hâlen | İstanbul Gelişim Üniversitesi | Fakülte Sekreteri |
| 2022-2023  | İstanbul Gelişim Üniversitesi | Büro Memuru       |

### Yabancı Dil

İngilizce / YÖKDİL (Puan: 80) / 27.08.2023

### Yayınlar

DOĞAN, E., ATİLA, K. (2023). An Empirical Analysis of the Relationship Between Bitcoin Energy Consumption and Carbon Emissions. *GELISIM-UWE 2023 7th International Conference on Economics and Finance Future Economic Order*. 79-80. e-ISBN: 978-625-6559-70-7.

### Hobiler

Bulmaca  
Müzik

