

**KRİPTOPARA MADENCİLİĞİNİN ÇEVRESEL
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÜZERİNE ETKİLERİ**

*THE EFFECTS OF CRYPTO-CURRENCY MINING ON
ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY*

Prof. Dr. Mustafa K. Yılmaz
Dr. Ahmet Kaplan

KRİPTOPARA MADENCİLİĞİNİN ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÜZERİNE ETKİLERİ

Prof. Dr. Mustafa K. Yılmaz
İbn Haldun Üniversitesi

Dr. Ahmet Kaplan
İbn Haldun Üniversitesi

Özet

Şifreli blok zincir teknolojisi kullanılarak üretilen kriptoparalar son 10 yılda piyasa değeri ve işlem hacmi itibariyle gösterdikleri gelişimle finansal piyasalar ve yatırımcılar açısından hem sağladıkları getiri imkânı hem de esnek üretim kabiliyetleriyle önemli fırsatlar sunmakta, küresel ölçekte önemli bir dönüşümü beraberinde getirmektedirler. Bununla birlikte, kripto madenciliği sürecinde gerçekleşen enerji tüketimi, karbon emisyonu ve elektronik atık miktarı önemli çevresel etkiler ortaya çıkarmakta ve ileriye yönelik tehditler oluşturmaktadır. Bu çalışmada, kriptopara madenciliğinde yapılan işlemlerin neden olduğu etkiler global ısınma ve iklim değişikliği de dahil olmak üzere çevresel sürdürülebilirliğe olan etkileri boyutuyla çok yönlü olarak incelenmektedir. Çalışma sonuçları, kriptopara madenciliği sonucu tüketilen enerjinin, gerçekleşen karbon emisyonu ve elektronik atık miktarının artan büyüklükleri itibariyle küresel ısınma, iklim değişikliği ve hava kirliliği gibi önemli çevresel etkileri olduğunu, bu etkilerin azaltılamaması durumunda hem kriptopara piyasalarının hem de çevresel sürdürülebilirliğin olumsuz etkilenebileceğini göstermektedir. Bu etkilerin azaltılabilmesi ve kripto madenciliğinde kullanılan donanımın verimliliğinin artırılabilmesi için yenilikçi adımların atılması, yeni yasal düzenlemelerin getirilmesi, farklı kanıt protokollerinin kullanılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla istifade edilmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler

Çevre, Enerji tüketimi, Karbon emisyonu, Kriptopara, Sürdürülebilirlik

THE EFFECTS OF CRYPTO-CURRENCY MINING ON ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY

Abstract

Cryptocurrencies derived by a cryptographic blockchain technology have shown an impressive growth in market value and trading volume over the last decade, leading to a significant transformation in financial markets. These digital assets do not only produce satisfactory returns for investors but also guarantee quick transfer of ownership by its decentralized, safe, and flexible system. However, the growing popularity of cryptocurrencies also brings several challenges and concerns for environmental sustainability due to high energy consumption, carbon emission and electronic waste generated by crypto-mining process. This study discusses the effects of crypto mining on environmental sustainability, particularly focusing on global warming and climate change. The findings show that crypto-mining has negative effects on climate change and air pollution by its increasing electricity consumption, carbon emission and electronic waste and may seriously influence the sustainability of crypto-markets and environmental eco-system. Thus, policy makers should take innovative actions to increase the efficiency of the hardware used in crypto-mining, introduce minimum standards, impose new regulations i.e., carbon emission tax and encourage increasing use of renewable energy sources for crypto-mining to preserve environmental sustainability.

Keywords

Carbon emission, Crypto-currency, Energy consumption, Environment, Sustainability

Giriş

Dünya finans sisteminde son 10 yılda teknolojinin hızlı gelişmesine paralel olarak önemli değişimler yaşanmış ve piyasalarda geleneksel yatırım araçlarının yanında dijital varlıklara olan ilgi oldukça artmıştır. Bu ilgi kendisini ilk etapta işlem hacmi ve piyasa değeri olarak en ön sırada yer alan kriptopara birimi olan Bitcoin (BTC) ile göstermiş, sonrasında ise blok zincir teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak BTC'yi diğer dijital para birimleri takip etmiştir. Kriptopara birimlerinin ortak özellikleri; anonim nitelikte elektronik bir ödeme aracı olmaları, matematiksel algoritmalar kullanılarak üretilen gizli bir şifreleme sistemi ile güvenli bir yatırım aracı olarak görülmeleri, hızlı ve merkezi bir ağdan bağımsız üretilibilmeleri ve diğer finansal varlıklarda olduğu gibi merkezi bir düzenleyici otoritenin denetimi altında bulunmamalarıdır.

Kripto madenciliğinde, dijital paraların el değiştirmesinde ve kayıtlarının izlenmesinde, kriptografik prensiplere ve matematiksel algoritmalara dayalı bir yazılım sistemi kullanılmaktadır. Günümüzde sayıları 10.000'i aşan kriptoparalar hızlı fiyat değişimleri, piyasalarda yarattıkları volatilité ve spekülâtif amaçlı kullanım özellikleri nedeniyle her geçen gün yatırımcıların daha fazla ilgisini çekmektedir (CoinMarketCap.com, 2021). Bu ilgiyi yaratan bir başka unsur da bu dijital varlıkların uluslararası piyasalarda para aklamada ve yasa dışı faaliyetlerin finansmanında kullanılabilmesidir. Ancak, finansal piyasalarda oynadığı role karşın, kripto kazımı esnasında gerçekleşen enerji tüketimi, karbon salınımı ve elektronik atık miktarı nedeniyle ortaya çıkardıkları olumsuz çevresel etkiler kriptoparaların tartışma konusu olmasına neden olmaktadır. Global enerji tüketiminin %81'inin fosil yakıtlara dayalı olduğu düşünüldüğünde, kripto madenciliğinin her geçen gün daha fazla enerji tüketimine neden olması konunun daha ciddi ele alınmasını gerektirmektedir (International Energy Agency (IEA), 2020).

Kriptoparaların finansal açıdan yatırımcılara sunduğu imkanlar, taşıdığı finansal riskler ve hukuki açıdan yarattığı problemler konusunda çok sayıda çalışma olmakla birlikte, bu dijital varlıkların üretiminde ortaya çıkan enerji tüketiminin, karbon salınımının, elektronik atık miktarının çevresel sürdürülebilirliğe, global ısınmaya ve iklim değişikliğine olan etkileri üzerine yapılmış çalışma sayısı sınırlıdır. Bu çalışmanın amacı, kriptoparaların üretim zincirinin çevresel sürdürülebilirliğe etkilerini ve olası sonuçlarını geniş bir bakış açısı ile incelemek ve geleceğe ışık tutacak önerilerde bulunarak literatüre katkı sağlamaktır.

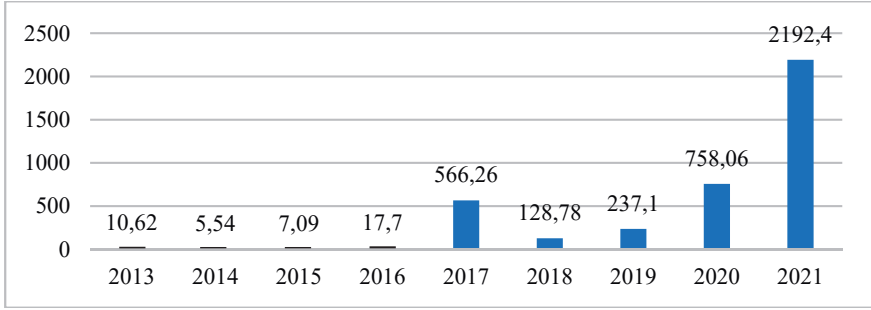
Kriptopara Piyasalarının Dünyadaki Gelişimi

Kriptopara olarak tanımlanan dijital varlıkların ilk ortaya çıkışı 2008 yılında yaşanan ve birçok uluslararası finans kurumunun kapanması veya zarar etmesi ile sonuçlanan Global Finans Krizi sonrasında denk gelmektedir. Bu dönemde finans sisteminin güvenli işleyişi için alternatif bir değişim ve yatırım aracı arayışına giren kurumlar, teknolojik bir tabana dayanan bu finansal araçların

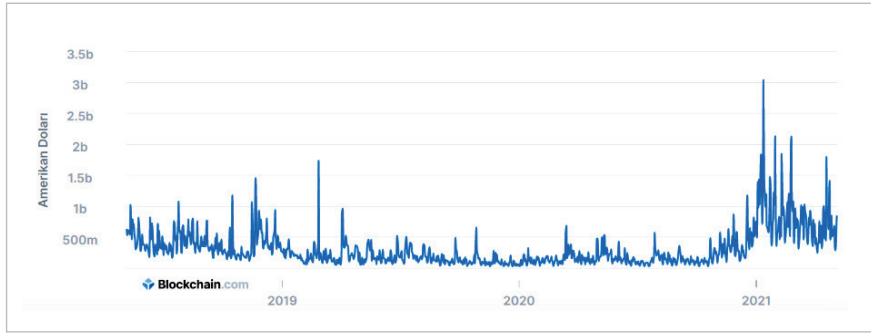
ortaya çıkmasına ön ayak olmuşlardır (Dahan ve Casey, 2016). Bununla birlikte, kriptopara fikrinin ortaya çıkmasını ilk tetikleyen adım, 2008 yılında yaşanan kriz sonrasında Satoshi Nakamoto (2008) tarafından yayımlanan “*Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*” başlıklı makaledir. Bu makalede, iki tarafın doğrudan iletişim kurarak yapılan bir şifreleme üzerinden elektronik ödeme yapılabilmesine imkân verecek bir ödeme aracı olarak “Bitcoin” (BTC) tanımlanmıştır. Makalenin bu konuya dikkat çekmesini tetikleyen unsurların başında ise o dönemde dünyada e-ticaret siteleri üzerinden yapılan işlemlerin artış göstermesi gelmektedir (Dilek ve Furuncu, 2018).

BTC’nin bu şekilde ortaya çıkmasını müteakip, özellikle 2011 yılından sonra farklı ülkelerde ve platformlarda farklı kriptoparalar ortaya çıkmaya başlamıştır. Bunların başında Litecoin (2011), Ripple (2012), Steller (2014), NEO (2014), Ethereum (2015), Bitcoin Cash (2017), EOS (2018) gelmektedir. Her ne kadar diğer dijital para birimleri BTC ile karşılaştırıldıklarında, işlem hacmi ve piyasa değeri açısından aldıkları pay itibarıyla alternatif dijital paralar (*alt coins*) olarak tanımlansalar da zaman içinde önemli bir piyasa değerine ve işlem hacmine ulaşmaya başlamışlardır. 2021 yılı Mayıs ayı itibarıyla dünyada işlem gören kriptopara birimi sayısı 10.003’e, piyasa değeri 2.192 Milyar dolara, günlük işlem hacmi 240 Milyar dolara, kriptoparaların işlem gördüğü borsa sayısı 382’ye, açılan hesap sayısı 191 Milyona, kullanıcı sayısı ise 101 Milyona ulaşmış bulunmaktadır (Blandin vd., 2020; coinmarketcap.com, 2021). Özellikle 2017 yılında BTC fiyatının 975 dolardan 20.089 dolara çıkması sonucu yaşanan 20 kat artış kriptopara piyasasındaki işlem hacminde ve piyasa değerinde çok büyük yükselişe ve dalgalanmalara neden olmuştur. Kriptopara borsalarının piyasa değerinde 2013-2020 yılları arasında yaşanan benzer bir artış kriptopara biriminde de gerçekleşmiş, 2015 yılında 562 olan kriptopara birimi sayısı 2017 yılında 1.335’e, 2020 yılında ise 4.501’e ulaşmıştır (www.statista.com). Grafik 1 ve Grafik 2 sırasıyla piyasalarda işlem gören kriptoparaların piyasa değerinde ve günlük işlem hacminde ortaya çıkan gelişimi göstermektedir.

Piyasa değeri ve günlük işlem hacminde BTC’nin aldığı pay sırasıyla %48 ve %30 olup, baskın bir üstünlüğü bulunmaktadır (coinmarketcap.com, 2021). 2021 yılı başında BTC’de gerçekleşen günlük işlem sayısı 400.000’dir. Bu rakam Ethereum hariç (Ethereum’da günlük işlem sayısı 1,1 milyon) diğer dijital para birimlerinde o tarihte gerçekleşen günlük işlem sayısından daha fazladır. Bununla birlikte, BTC’nin likiditesi yine de düşüktür. 2020 yılında 28 milyon BTC el değiştirmiş olup (sirkülasyonda olan BTC sayısının %150 katı), aynı yıl Apple’da el değiştiren hisse sayısı 40 milyar adettir (dolaşımda olan Apple hisse senedi sayısının %270’i) (Laboure, 2021). Piyasalarda el değiştiren dolar cinsinden günlük BTC değeri Yen ve Sterlin’de el değiştiren günlük değer ile karşılaştırıldığında sırasıyla %0.05 ve %0.06 seviyesindedir.



Grafik 1. Kriptopara borsalarındaki piyasa değerinin gelişimi (2013-2021)
(www.statista.com; coinmarketcap.com)



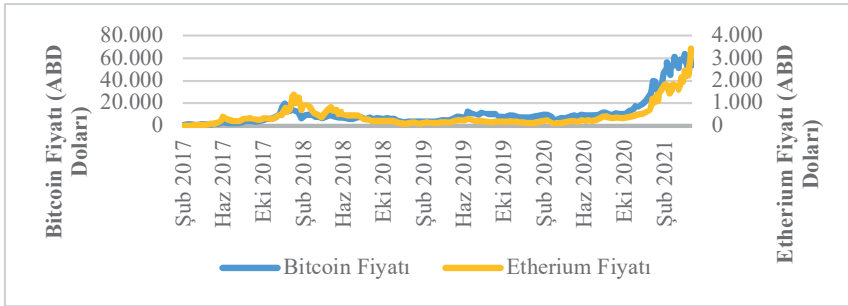
Grafik 2. Kriptopara borsalarındaki günlük işlem hacminin gelişimi (Milyar Dolar) (2018-2021)

Kriptoparaların uluslararası piyasalarda ve dijital alım-satım platformlarında yaygınlaşmasına paralel olarak bu dijital paraların internet alışverişlerinde kullanımını sağlayan imkanlar da artmıştır. 2018 yılı başında kriptoparaların alım-satımına ve transferine imkân veren ATM sayısı dünyada 2.500 iken, 2021 yılında bu sayı 18.000'e ulaşmış olup, yaklaşık 15.000 işletme bu para birimlerini bir ödeme aracı olarak kabul etmektedir. ATM'lerin coğrafi dağılımına bakıldığında, %96'sının Kuzey Amerika ve Avrupa'da, %2,4'ünün ise Asya kıtasında olduğu görülmektedir (coinatmradar.com, 2021). Dünyada en fazla kriptopara ATM'sine sahip ülke 15.000 ATM ile ABD'dir. Türkiye'deki ATM sayısı ise 10'dur.

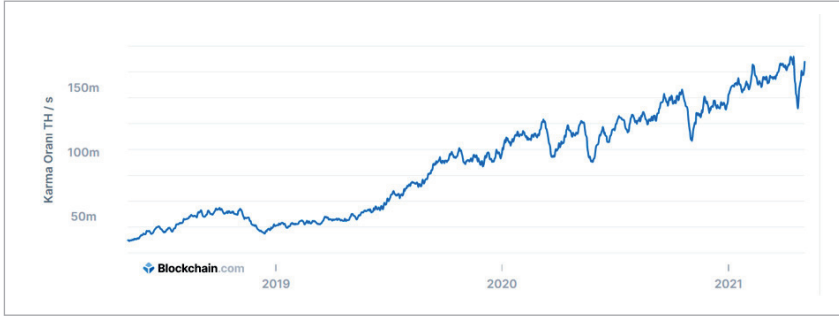
Kriptoparaların fiyat ve işlem hacmi performansını belirleyen bir başka unsur da bir arz miktarı tavanına sahip olup olmadıklarıdır. BTC'nin arz miktarı tavanı 21 milyon adet olup, bu miktara günümüzdeki teknolojik altyapı ile 2140 yılında ulaşacağı tahmin edilmektedir. 2021 yılı Mayıs ayı itibarıyla ulaşılan arz miktarı 18.7 milyondur. Arz miktarı tavanının daha yüksek olduğu (Litecoin, Ripple, NEO) veya arz miktarı tavanına sahip olmayan (Ethereum, EOS, Stellar) kriptoparalar da vardır. Bununla birlikte, arz miktarı tavanına ilişkin kısıt dikkate alındığında, önümüzdeki dönemde mevcut algoritmalar ile BTC artış hızında bir azalış yaşanacağı öngörülmektedir (Ciaian, Rajcaniova ve Kancs, 2016).

Kriptoparalar ödeme aracı olarak kullanılabilirlikleri, hızlı şekilde alınıp satılabilirlikleri ve transfer edilebilirlikleri için geniş bir yatırımcı kitlesi tarafından tercih edilmektedir. Sistemin işleyişinde kullanılan teknoloji blok zinciridir. Sistemde oluşturulan blokların arka arkaya saklanması sağlayan bir şifreleme sistemi mevcut olup, “hash” adı verilen ve harf ve sayılardan oluşan 32 bayt’lık bir dizine sahip olan matematiksel formül bir önceki blokla bir sonraki blok arasındaki bağlantıyı kurarak sistemin işlemlerini sağlamaktadır. Kriptoparaların konvansiyonel para birimlerinden en önemli ayırt edici özelliği, herhangi bir şirket, grup veya merkezi otorite tarafından kontrol edilemeyecek bir yazılım algoritmasına sahip olmalarıdır.

Bununla birlikte, geleneksel para birimleri ile karşılaştırıldığında daha düşük bir piyasa derinliğine sahip olan kriptoparaların fiyatındaki ve işlem hacmindeki dalgalanmalar büyük boyutta olabilmekte, sunduğu yüksek getiri imkânı ve spekülâtif kullanıma zemin hazırlayan yapısı ile özellikle risk iştahı yüksek yatırımcılar için cazip bir yatırım aracı olarak görülmektedirler. Kriptoparaların günlük ortalama fiyat esnekliği para piyasasının 10 katından daha fazladır (Liu ve Serletis, 2019). Grafik 3, piyasalarda en yüksek işlem hacmine sahip olan Bitcoin ve Ethereum’un 2017-2021 yıllıkları arasındaki günlük fiyat değişimini göstermektedir. 2017 yılı başında 1.000 dolar olan BTC fiyatı, aynı yıl Aralık ayında 20.000 dolara ulaşmış, 2018 yılı Şubat ayında 7.000 dolara gerilemiş, 2020 yılı Mart ayında 4.917 dolara kadar düşmüş iken bir yıl içinde hızlı bir artış göstererek 2021 yılı Nisan ayında 65.000 dolar seviyesine fırlamıştır. Bu iki para biriminde yaşanan dalgalı seyrin nedenleri, hedge fonlar gibi büyük varlık yönetim şirketlerinin ve diğer kurumsal yatırımcıların piyasaya giriş-çıkışları ile taktiksel varlık tahsisleridir (Laboure, 2021). Kriptopara fiyatlarının oldukça dalgalı olmasına karşın, Grafik 4’ten de göreceği üzere “hash” oranı dalgalı olmaktan daha çok yukarı yönlü istikrarlı bir seyir izlemekte ve önümüzdeki dönemde enerji gereksiniminin artacağına işaret etmektedir.



Grafik 3. Bitcoin ve Ethereum fiyatlarının günlük volatilitesi (2017-2021)
(www.coinmarketcap.com)



Grafik 4. Toplam hash oranı (T/s) (2018-2020)
(www.blockchain.com)

Blok Zincir Teknolojisi ve Kriptopara Madenciliği

Kriptopara madenciliğinin ortaya çıkardığı çevresel etkileri analiz edebilmek için öncelikle kriptopara piyasalarının altyapısını oluşturan blok zincir sisteminin işleyişini iyi anlamak gerekmektedir. Bu kapsamda yeni bir güven mekanizmasının tesis edilmesi için matematik kuralların ve yazılım algoritmalarının hâkim olduğu yapının doğru bir şekilde tasarlanması ve işletilmesi önem taşımaktadır. Blok zincir teknolojisi, merkezi olmayan dağıtık defter sistemi (*Distributed Ledger Technology – DLT*) şeklinde işleyen, blokların ve kayıtların birbirine “hash” adı verilen şifreli fonksiyonlar (*hash functions*) aracılığıyla bağlanmasıyla ilerleyen bir yapıyı ifade etmektedir (Akcora vd., 2018; Krause ve Tolaymat, 2018). Sistemin işleyişindeki en önemli unsur iş ispatı (*proof of work*) olarak ifade edilen, algoritmalar yardımıyla düğümlerin bir yarış içerisinde işlem güçlerini kullanarak matematiksel bir problemi çözmesiyle yürüyen ve sayılardan ve harflerden oluşan “hash”ların üretilmesidir (Aydemir, 2020). Sistemin işleyişinde merkezi bir yapı mevcut olmayıp, tüm veriler sisteme bağlı olan kullanıcılar tarafından depolanabilmektedir. Diğer bir ifadeyle blok zincir teknolojisi, kriptoparaların alım-satımını gerçekleştiren kullanıcılar arasında matematiksel bir gerçekliği sağlayarak konvansiyonel sistemde aracı kuruluşun sunduğu güvenin tesisini gerçekleştirmekte ve dijital bir depolama fonksiyonunu görmektedir (Seldmeir vd., 2020).

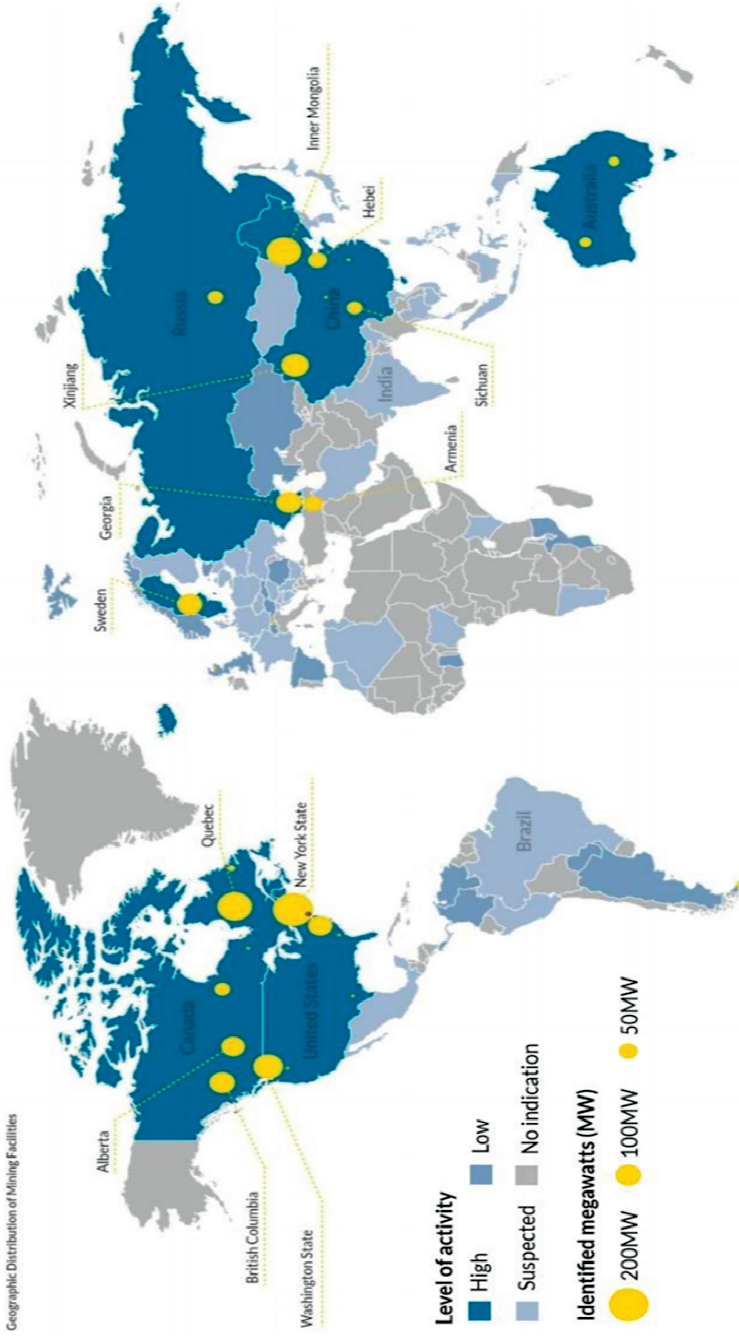
Bu noktada üzerinde durulması gereken bir başka kavram da kriptoparanın üretim sürecini ifade eden “kripto madenciliği” veya “kripto kazıclığı”dır (*crypto mining*). Kripto madenciliği hem süreçlerin doğrulamasının yapılması hem de bu işi yapanların kayıtlarının tutulması için önemlidir. Bir anlamda kazım yapan kişiler, blok zincir sisteminin güvenli olarak çalışmasını temin etmekte ve yapılan işlemlerin dağıtık defterlere doğru bir şekilde kaydedilmesini sağlamaktadırlar. Blok zincir teknolojisi herkese açık bir sistem olduğundan, tüm kullanıcılar işlemlerini bu sistem üzerinden kontrol edebilmektedirler. BTC’nin ilk ortaya çıktığı dönemde kripto madenciliği yapan kişi sayısı sınırlıyken ve kısa sürede yüksek miktarda BTC üretimi yapılabilirken, günümüzde kazım işi ile uğraşanların sayısı artmış, hash üretiminin zorluk seviyesini gittikçe arttıran algoritma nedeniyle kripto üretimi zorlaşmış, sistem daha fazla işlem

sayısı yapmayı gerektirmiş ve kazım faaliyeti daha maliyetli hale gelmiştir. Kazım ile uğraşan kişi sayısının 1 milyon olduğu tahmin edilmektedir (www.buybitcoinworldwide.com, 2021).

Kripto kazımının önemini daha iyi anlatabilmek için hash oranına (*hash rate*) bakılabilir. “Hash oranı” toplam kazım gücü için sarf edilen çabayı göstermekte olup, 1 Terahashes (1Th/s) saniyede 1 trilyon hesaplanmanın yapılması anlamına gelmektedir. Bir örnek vermek gerekirse, BTC için hash oranı 2018 yılı Mayıs ayında 29 Th/s iken, 2020 yılı sonunda 93 Th/s’ye, 2021 yılı Mayıs ayında ise 168 Th/s’ye yükselmiştir. Bu kapsamda, “Terahashes” maliyeti olarak da ifade edilen 1 BTC’nin kazım maliyeti 16.000 dolara kadar çıkmıştır. Bu maliyet ülkeden ülkeye değişmektedir. Kriptopara algoritmalarındaki zorluk seviyesinin artması ile daha çok kazım gücü gerekmekte, kazım yapanlar bu güçlük ile mücadele etmek zorunda kalmakta, bu da maliyeti artırmaktadır (Thum, 2018). Grafik 4, 2018-2021 arasındaki dönemde toplam hash oranındaki gelişimi göstermektedir.

Sistemin işleyişine ilişkin durum bu şekilde olmakla birlikte, kriptopara sistemini kullanan kişiler kazım yapabilmek ve dağıtımı sağlayabilmek için yüksek miktarda elektrik enerjisi sarf etmek zorunda kalmaktadırlar. Bu durum bir taraftan maliyet artışına neden olmakta, diğer taraftan da işlem yapanların getirilerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bunun en önemli nedeni, kripto kazımı yapanların her geçen gün daha yüksek kapasiteli, ama daha pahalı özel donanımlara yatırım yapmak zorunda kalmalarıdır (Vigna ve Casey, 2016). Bir fikir vermesi açısından, günümüzde en iyi BTC kazımı yapan donanımı sağlayan bilgisayardan biri olan Antminer S19 Pro 110.0 TH/s’in maliyeti 8.000 dolardır. Önümüzdeki dönemde ancak kuantum bilgisayarların bu işlemleri yapabileceği tahmin edilmektedir. Bununla birlikte bazı çalışmalar, son 10 yılda hash işleminde gerçekleşen 10 milyar kat artışa ve enerji tüketiminin 10 milyon kat artmasına karşın, kripto kazımı maliyetinde işlem hacmine kıyasla 2010 yılından bu yana bir değişim olmadığını savunmaktadırlar (Song ve Aste, 2020).

Enerji maliyetinde, kripto kazımı maliyetini belirleyen unsurlardan biri de kazım işi ile uğraşan madencilik havuzlarının (*mining pools*) nerelerde yoğunlaştığıdır. Madencilik havuzu, blok zincirde bir blok çıkarma/bulma veya kripto para birimi için başarılı bir şekilde madencilik yapma olasılığını artırmak için hesaplama kaynaklarını (*hash rate*) bir ağ üzerinden birleştiren ortak kriptopara madencileri grubudur. Cambridge Üniversitesi tarafından yapılan bir çalışmaya göre, 2021 yılı itibariyle madencilik havuzlarının %78’i Çin’de, %7’si ise ABD’de bulunmaktadır. Çin’in üstünlüğünün başlıca nedeni, bu ülkede enerji maliyetinin diğer ülkelere göre düşük olmasıdır. Bununla birlikte Çin’de bile elektrik maliyeti bölgeden bölgeye değişmektedir. Örneğin, kripto madencilerinin yoğun olduğu İç Mongolya’da fosil yakıtlardan elde edilen elektrik enerjisi kullanıldığından maliyet daha düşüktür. Bununla birlikte, 2019 yılı Nisan ayında Çin’de National Development and Reform Commission’ın kripto madencilikini atık yaratıcı ve zararlı bir aktivite olarak görmesi sonrasında Çin’deki madencilik havuzlarının global büyüklükte aldığı pay azalmaya başlamıştır. Madencilik havuzlarının yoğun olduğu diğer ülkeler arasında Avustralya, Kanada, Gürcistan, Rusya ve İsveç sayılabilir. Grafik 5’teki harita, kripto kazım havuzlarının ülkeler ve bölgeler itibariyle dağılımını göstermektedir.



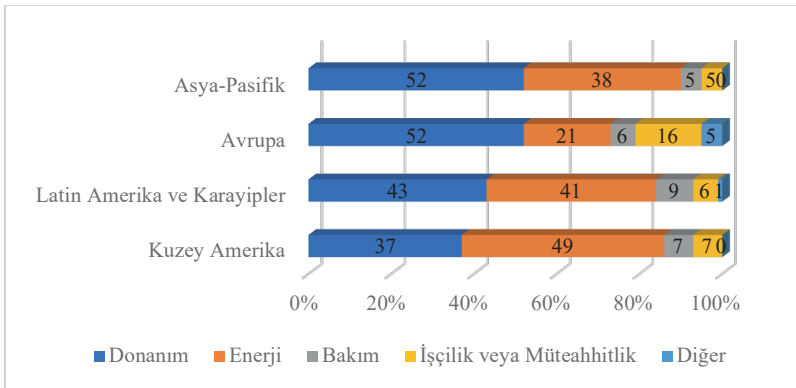
Grafik 5. Kripto madencilik tesislerinin ülkeler ve bölgeler itibarıyla dağılımı

Kripto Madenciliğin Global Enerji Tüketimine ve İklim Değişikliğine Etkileri

Enerji Tüketimi ve Maliyeti

Kriptopara madenciliğine girmenin maliyeti 2013 yılından bu yana, özel amaçlı donanım kullanımını gerektiren hesaplama zorlukları nedeniyle sürekli artmaktadır (Blandin vd., 2020). Söz konusu maliyet esas itibarıyla üç unsurdan oluşmaktadır. Bunlar; enerji maliyeti, bakım maliyeti (altyapı maliyeti ve soğutma tesisleri) ve donanımı satın alma ve yenileme maliyetidir (Clark ve Greenley, 2019). Bu maliyet kalemleri içinde en büyük payı %45 ile donanımı satın alma ve altyapıyı geliştirme maliyeti almakta olup, enerji maliyetinin toplam maliyet içinde aldığı pay %42 ile ikinci sırada gelmektedir (Blandin vd., 2020). İnternet, bakım, kablolama gibi diğer maliyet kalemleri ise daha düşük seviyede kalmaktadır (De Vries, 2018). Bununla birlikte, maliyet kalemleri arasında farklılıklar olabilmektedir. Grafik 6, bölgeler itibarıyla dünyada kripto madenciliğindeki maliyet kalemlerinin dağılımını göstermektedir.

Enerji maliyeti çeşitli unsurlardan etkilenmektedir. Bu faktörler; donanımın hesaplama gücü (üretimin hangi cihazla yapıldığı), hash oranı, iş ispatı zorluk derecesi, kazımın nerede gerçekleştiği ve soğutma sistemleri için harcanan elektrik miktarıdır (Küfeoğlu ve Özkuran, 2019). Ayrıca elektrik maliyeti ülkelere göre 0,02-0,06 dolar/kWh arasında değişmektedir. Bu da örneğin BTC başına ülkeye-bölgeye göre 2.000-6.000 dolar arasında bir elektrik harcamasına denk gelmektedir (Aydemir, 2020). Bununla birlikte, birçok akademik çalışmada varsayılanın aksine, kripto madenciliği yapanlar çoğu zaman evsel elektrik fiyatını ödememekte, sanayi tesislerinin ödediği elektrik fiyatını ödemek için güç sağlayıcı şirketler ile özel anlaşmalar imzalayarak enerji maliyetini aşağı çekmektedirler (Malfuzi vd., 2020). Global olarak kripto kazıcılar tarafından ödenen elektrik fiyatı ortalama 1 kWh başına 0.046 dolardır. Bir başka husus da enerji tüketiminin yüksek olmasına karşın, elektriğin sadece kripto kazımı için harcanmadığıdır. Örneğin BTC özelinde enerji, aynı zamanda 3.500 adet transferi gerçekleştirmek anlamına da gelmektedir (Aydemir, 2020).



Grafik 6. Kripto madenciliğinde maliyet kalemlerinin bölgeler itibarıyla dağılımı

Grafik 7’den de görüleceği üzere, kripto kazımı sonucu ortaya çıkan enerji tüketimi 2017-2021 yılları arasında yukarı yönlü bir artış göstermiş olup, birçok ülkenin enerji tüketimini geçmiştir. Örneğin, BTC kazımı için tüketilen elektrik miktarı yıllık bazda dünyada kullanılan elektrik miktarının %0,56’sına, Türkiye’deki elektrik tüketiminin ise (2020 yılında 305,4 TWh) %40’ına ulaşmıştır (BBC News, 2021). Türkiye’ye ilişkin oranın 2017 yılında %13 olduğu düşünüldüğünde, kripto kazımı sonucu elektrik tüketimindeki artış daha iyi anlaşılacaktır.

Cambridge Üniversitesi tarafından yayımlanan verilere göre, kripto kazımı sonucu tüketilen elektrik enerjisi miktarı 2017 yılında 9,5 Terawat-saat (TWh) iken, 2019 yılı başında 73,1 TWh’a yükselmiş, sonrasında tüketimde kısmi bir düşüş yaşanmış olsa da 2021 yılında yaşanan fiyat artışları sonrası enerji tüketimi rekor kırarak 2021 yılının Mayıs ayı itibarıyla 121,13 TWh seviyesine ulaşmış ve 2017 yılı ile karşılaştırıldığında 10 kattan fazla artış göstermiştir (Bitcoinenergyconsumption.com, 2021). Sadece BTC kazımı için harcanan enerji miktarı birçok Afrika ülkesinde tüketilen enerji miktarından daha yüksektir. Benzer şekilde İngiltere merkezli Power Compare Şirketinin 2018 yılında yayınladığı bir rapora göre, BTC 2017 yılında birçok Afrika ülkesinin de dahil olduğu 159 ülkeden daha fazla enerji tüketimi yapmakta iken, bu ülkelerin sayısı 2018 yılı sonunda 181’e çıkmıştır (powercompare.co.uk, 2021). Günümüzde sadece 38 ülkenin elektrik tüketimi BTC kazımı için harcanan enerji miktarının üzerindedir.

Bitcoin Elektrik Tüketim Endeksini hesaplayıp yayımlayan Cambridge Üniversitesi Alternatif Finans Merkezi’nin (2020) hazırladığı bir rapora göre, 2020 yılı itibarıyla BTC kazımı için sarf edilen elektrik Arjantin (121,36 TWh) ve Birleşik Arap Emirlikleri’nin (113,2 TWh) elektrik tüketiminden daha fazla, Norveç’in (122,2 TWh) elektrik tüketimine ise neredeyse eşittir (www.cbeci.org, 2021). Grafik 8’deki harita, BTC kazımı için tüketilen elektrik miktarından az veya daha fazla elektrik tüketimi yapan ülkeleri gösterirken, Tablo 1 de farklı ülkeler ve platformları kullanarak benzeri bir karşılaştırmayı yapmaktadır. Buna göre BTC, dünyanın en fazla elektrik tüketimi yapan ilk 30 ülkesi arasına girmiş durumdadır (Cambridge Üniversitesi, 2021). Bununla birlikte, kripto kazımı için ihtiyaç duyulacak enerji miktarının önümüzdeki yıllarda benzer bir artış göstermesi ve bunun karşılanamaması durumunda dijital para sisteminin çökme tehlikesi ile karşı karşıya kalması söz konusu olabilecektir (Truby, 2018).



Grafik 7. Cambridge Bitcoin Enerji Tüketim Endeksi (CBCEI)

Kripto bilmesinde çözülmesi gereken şifrenin karmaşıklığına ve yapılan işlemlerin doğrulamasının gerektirdiği hesaplamaların fazlalığına bağlı olarak kripto madenciliği yüksek miktarda bilgisayar gücüne sahip olmayı gerektirmektedir. Enerji tüketiminde görülen artışın en önemli nedeni, kripto kazım gücünün büyük miktarda elektrik tüketimini gerektirmesi ve kazımı gerçekleştirmek için maliyeti yüksek donanım gereksinim duyulmasıdır. Bunun sebebi, sistemin merkezi olmayan “node” adı verilen bağlantıların kolektif işleyişine dayanan yapıda olmasıdır. BTC’ye bağlanan herhangi bir bilgisayar ya da aygıt birbirleriyle iletişim kurduğu için “node” olarak kabul edilir. Bu node’ların bir kısmı kazım yapan kişiler olup, sorumlulukları blok zincire yeni bloklar eklemektir. Bunu yapabilmek için yalnız bir kere kullanılabilen (*nonce*) rastgele üretilen bir sayı tahmin etmek durumundadırlar. Bu sayı bloktaki bilgi ile birleşip bir hash fonksiyonundan geçtiğinde belli sayıda hanesi sıfır olan bir sonuç üretilmektedir (Patt ve Lilliestam, 2018). Bu sonuç diğer node’lar tarafından da doğrulandıktan sonra, kazım yapan kişi yeni bir node blok ile ödüllendirilmektedir.



Grafik 8. Bitcoin elektrik tüketiminin diğer ülkelerdeki elektrik tüketimi ile karşılaştırılması

Bitcoin Enerji Tüketim Endeksi verilerine göre, BTC kazımı için tüketilen elektrik enerjisinin maliyeti yaklaşık 2 milyar dolardır. Bu maliyete katılanmanın itici gücü ise, merkezi bir otoritenin olmadığı bir ortamda dışarıdan gelecek saldırılara maruz kalmayacak ve BTC'nin güvenli ortamda alım-satımını ve transferini sağlayacak bir platform hizmeti sunulmasıdır. Enerji maliyeti dikkate alındığında, kriptopara piyasalarını kullanan ve bu platformdaki fırsatlardan istifade etmek isteyen yatırımcıların elektrik enerjisi maliyetinin düşük olduğu ülkeleri veya bölgeleri seçmesi gerekmektedir. Bu açıdan bakıldığında hem elektrik maliyetinin hem de kazım için gerekli donanım ve ekipman maliyetinin göreceli olarak daha düşük olduğu Çin gibi ülkeler ön plana çıkmaktadır. Farklı kaynaklardan elde edilen bilgilere göre, günümüzde Çin kripto kazım gücünün %65 ila %75'i arasında bir paya sahiptir. Maalesef Türkiye bu açıdan yüksek elektrik fiyatları ve kazımda kullanılan ekipman maliyeti ile oldukça pahalı kalmaktadır.

Kripto madencilikine ilişkin tartışılan konulardan biri de kullanılan enerjinin hangi kaynaktan elde edildiğidir. Cambridge Üniversitesi tarafından 2020 yılında yayınlanan bir rapora göre, kripto kazımı yapanların %76'sı yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaktadırlar. Bununla birlikte, kripto kazımında tüketilen enerji miktarının sadece %39'unun yenilenebilir kaynaklardan geldiği düşünüldüğünde bu konuda hala alınması gereken mesafe bulunmaktadır. Tablo 2 farklı coğrafyalarda kripto kazımı yapanların kullandığı enerji türünü göstermekte olup, tüm kıtalarda en az %60 olan kullanım oranı ile en fazla kullanılan enerji kaynağı hidroelektriktir. Buna karşılık güneş, rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı sınırlı seviyededir. Tablo 2'de dikkati çeken bir başka husus da Asya Pasifik bölgesinde kömür enerjisinin neredeyse hidroelektrik enerjisi ile aynı oranda kullanılmasıdır. Bu durum Çin'in dünyanın en fazla kömür tüketen ülkesi olmasından kaynaklanmaktadır. Çin hükümeti kendi kendine yeten bir enerji politikası izleme hedefine paralel olarak enerji arzında ağırlıklı olarak hidroelektrik ve kömür enerjisi ile çalışan santralleri tercih etmekte ve desteklemektedir. Çin Finansal İstikrar ve Kalkınma Komitesi 2021 Mayıs ayında yaptığı açıklama ile finansal riskleri önlemek amacıyla BTC madencilik ve ticaret faaliyetlerini durduracağını açıklamıştır (Bloomberght. com, 2021).

Tablo 1. Bitcoin Elektrik Tüketiminin Farklı Ülkeler ve Kurumlarla Karşılaştırılması

Ülke/Kurum	Nüfus (Milyon)	Enerji Tüketimi (TWh)
Çin	1.443,1	6.543
ABD	330,2	3.989
Global Veri Merkezleri	-	205
Bitcoin Networkü	-	129
Norveç	5,4	124
Arjantin	44,1	121
Hollanda	17,4	108
İsviçre	8,5	62
Google	-	12
Facebook	-	5

(Cambridge University, Centre for Alternative Finance, Science Mag, New York ISO, Forbes)

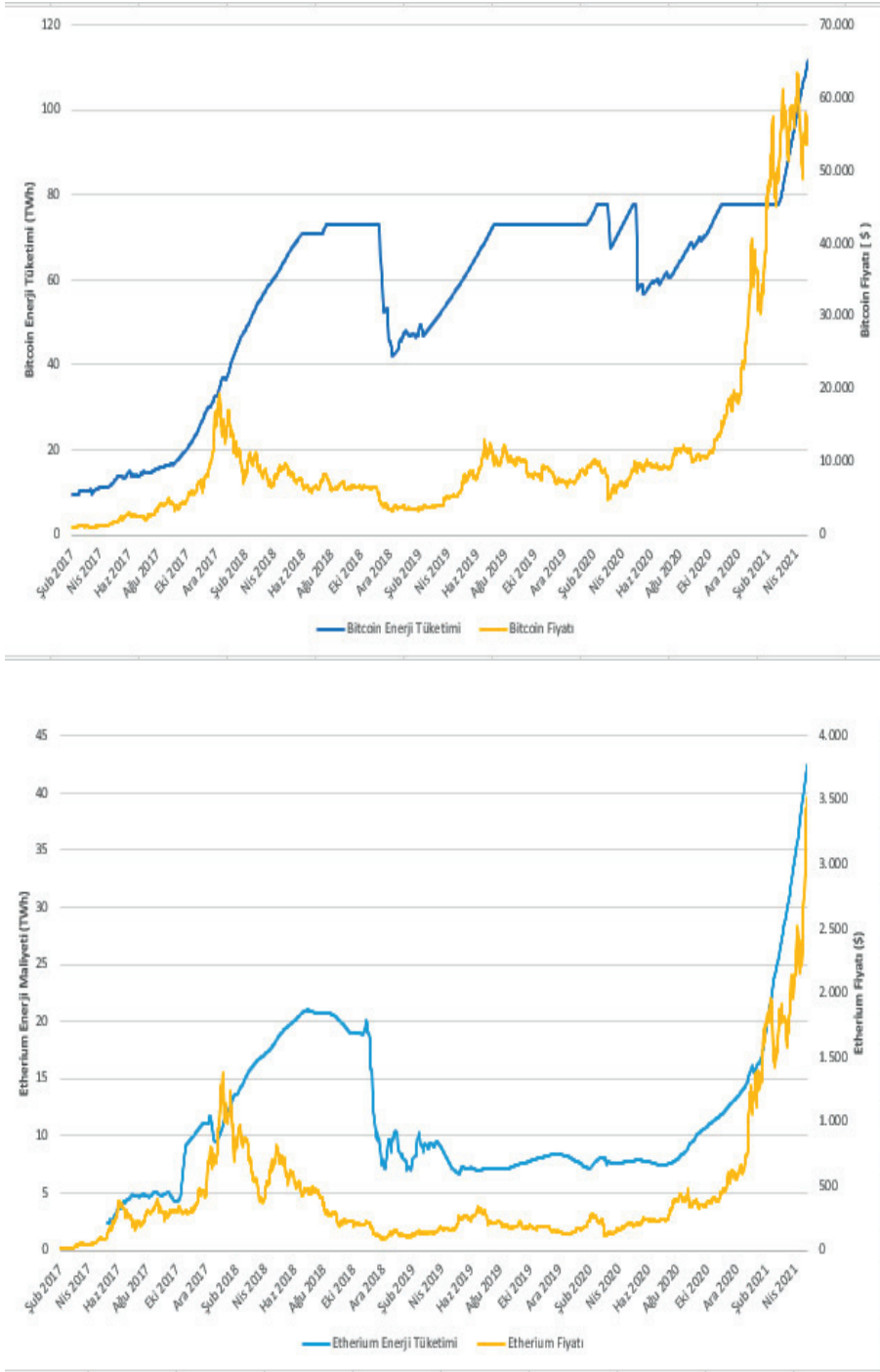
Tablo 2. Kripto Madenciligi İçin Kullanılan Enerji Kaynaklarının Bölgeler İtibariyle Dağılımı

Enerji Kaynağı*	Asya-Pasifik	Avrupa	Latin Amerika & Karayipler	Kuzey Amerika
Hidroelektrik	%65	%60	67%	%61
Doğal Gaz	%38	%33	17%	%44
Kömür	%65	%2	0%	%28
Rüzgâr	%23	%7	0%	%22
Petrol	%12	%7	33%	%22
Nükleer	%12	%7	0%	%22
Güneş	%12	%13	17%	%17
Jeotermal	%8	%0	0%	%6

(Cambridge Üniversitesi)

(*) Her kolondaki rakamların toplamı %100'e eşit olmak zorunda değildir. Hibrit elektrik üretimi yapılması veya aynı anda farklı enerji kaynaklarının kullanılması mümkündür.

Enerji tüketimine ilişkin merak edilen konulardan biri de kripto kazımı için tüketilen enerji miktarı ile kriptopara fiyatı arasında bir ilişkisi olup olmadığıdır. Dünyada en fazla işlem hacmine ve kullanıcı sayısına sahip olan Bitcoin ve Ethereum para birimleri için enerji tüketimi ile fiyat arasındaki korelasyona bakıldığında sırasıyla %53 ve %76 olarak gerçekleştiği görülmektedir. Bu sonuç enerji tüketimi ile fiyat arasındaki ilişkinin Ethereum para birimi için daha güçlü olduğunu göstermektedir. Grafik 9, Bitcoin ve Ethereum para birimlerinin kazımı için yapılan elektrik tüketimi ile fiyat arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Grafik 9. Bitcoin ve Ethereum günlük enerji tüketimi ve fiyatı arasındaki ilişki

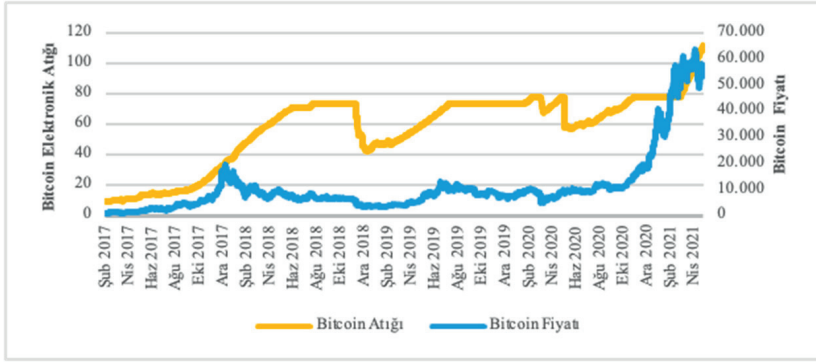
Karbon Emisyonu ve Elektronik Atık Miktarı

Kriptopara madenciliğinin ortaya çıkardığı karbon ayak izine bakıldığında da sonuçlar çarpıcı boyuttadır (Stoll, Klaaßen ve Gellersdörfer, 2019). Gerard (2017) “50 Fitlik Blok Zincirinin Saldırısı” (*Attack of the 50 Foot Blockchain: Bitcoin*) başlıklı kitabında, BTC kazımında yapılan elektrik tüketiminin karbon salınımında yüksek bir artışa yol açtığını söylemektedir. BTC’de 2017 yılı sonu itibariyle işlem başına düşen karbon emisyonu miktarı 162 kg CO₂ iken, 2021 yılı ortasında bu rakam 545,03 kg CO₂’ye yükselerek 3,5 kat artış göstermiştir. Bu miktar 1.207.971 VISA işlemi veya 90.838 saat Youtube videosu izlenme süresine denk gelmektedir (digiconomist.net, 2021). BTC üretimi için işlem başına düşen elektrik tüketimi 1.147,43 kWh olup, bu tutar bir Amerikan ailesinin ortalama 39,33 günlük elektrik tüketimine denk düşmektedir. Ethereum için ise 2021 yılında işlem başına düşen elektrik enerjisi miktarı ile karbon emisyonu miktarı sırasıyla 77,7 kWh ve 36,91 kg CO₂’dir. Bu miktar bir Amerikan ailesinin ortalama iki günlük elektrik tüketimine karşılık gelmektedir. Karbon emisyonu tutarı ise 81.805 VISA işlemi veya Youtube’da 6.152 saat video izlemeye eşittir. Yıllık bazda bakıldığında ise BTC üretimi için salgılanan karbon emisyonu miktarı 52,66 Mt CO₂’dir. Bu miktar İsveç’in ürettiği toplam karbon emisyonu miktarına eşittir. Aynı şekilde BTC için yıllık elektrik enerjisi tüketimi 110,86 TWh olup, Hollanda’nın enerji tüketimine (117,10 TWh) neredeyse eşittir.

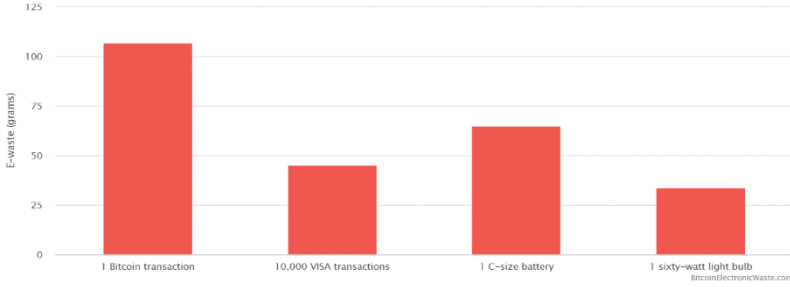
BTC kazımı sonucunda ortaya çıkan elektronik atık miktarı ise 103,90 gramdır. Bu miktar 1,64 1C boyutunda bir bataryaya veya 2,26 golf topunun ağırlığına eşittir. Yıllık bazda elektronik atık miktarı ise 10,04 kt olup, Lüksemburg’un elektronik atık üretimine (12kt) denk gelmektedir (Balde vd., 2017; digiconomist.net, 2021). Grafik 10’dan da görüleceği üzere, BTC’de elektronik atık miktarının 2017 yılı başında 0,65kt olduğu düşünüldüğünde, çevresel kirliliği tetikleyici şekilde olmak üzere elektronik atık miktarında son 4 yılda 15 kat bir artış söz konusudur. Bununla birlikte, BTC fiyatı ile elektronik atık miktarı arasındaki korelasyon %53 seviyesindedir (Grafik 11). Elektronik atık miktarındaki bu çarpıcı artış her bir işlem için ortaya çıkan atık miktarının VISA gibi bir finansal kuruluş tarafından üretilen elektronik atık miktarına kıyaslaması yapıldığında daha net anlaşılmaktadır. Grafik 12’den de görüleceği üzere, 1 BTC kazım işlemi sonucunda ortaya çıkan elektronik atık miktarı 107 gram iken, 10.000 VISA işlemi sonucunda üretilen elektronik atık miktarı sadece 45 gramdır.



Grafik 10. Bitcoin elektronik atık miktarı (kt) (2017-2021)



Grafik 11. Bitcoin fiyatı ile Bitcoin elektronik atık miktarı arasındaki ilişki (Cambridge Üniversitesi)



Grafik 12. İşlem bazında BTC ve diğer finansal araçların elektronik atık miktarı (Cambridge Üniversitesi)

Elektronik atık miktarında yaşanan bu artışın sebebi, kripto kazımının özel donanımlar kullanılarak gerçekleştirilmesi ve bu donanımların yaklaşık her 1,5 yılda bir verimsiz hale gelmesidir (de Vries, 2018; Koomey, 2011). Bu açıdan bakıldığında, tüketimde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması bile kriptoparaların sürdürülebilirlik açısından çevresel boyutta ortaya çıkardığı olumsuz etkileri azaltabilecek nitelikte değildir (de Vries, 2019). Diğer taraftan, elektronik atık konusunda yukarıda ifade edilen hususlar sadece kazım ekipmanları nedeniyle ortaya çıkan atık miktarını içermekte olup, kazım sırasında kullanılan soğutma ve benzeri tesislerin ortaya çıkardığı elektronik atık miktarı bu kapsama dahil değildir. Tüm bu iddialara karşın dijital paraların savunuculuğunu yapan bazı çalışmalar çevresel etkilerin sınırlı olduğu yönünde görüş bildirmektedirler (Bendiksen, Gibbons ve Lim, 2018).

Kripto Madenciliğin Hava Kirliliği ve İklim Değişikliğine Etkisi

Kripto kazımı yapanların enerji kullanımındaki artış, yeni problemleri de beraberinde getirmektedir. Cambridge Üniversitesi tarafından yapılan bir çalışma, BTC madenciliğinin %78'inin Çin'de olduğunu, bu ülkeyi %7 ile

ABD'nin takip ettiğini göstermektedir. Çin'de elektrik fiyatları düşük olup, kripto madenciliği sırasında yapılan elektrik üretimi ve tüketimi kömür başta olmak üzere daha çok fosil yakıtlara dayanmakta ve olumsuz çevresel etkilere neden olmaktadır (Hileman ve Rauchs, 2017). Bu durum, Çin ve benzeri ülkelerde karbon emisyonunu artırmaktadır. BTC madenciliğinde 1 kW kömürden elektrik üretmek için 0,6-1 kg of CO₂, 40 mW elektrik üretimi için 24-40 ton CO₂ salgılanmaktadır. Bu miktar bir Boeing 747 uçağının bir saatte tükettiği CO₂ miktarına eşittir (digiconomist.net, 2021).

Mora vd. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, BTC'nin tek başına 30 yıldan daha kısa bir sürede global ısınmayı 2°C'nin üzerine çıkaracağı tahmin edilmektedir. Bununla birlikte yapılan bu tahmin, BTC kazımının mümkün ve ulaşılabilir olduğu sürece yenilenebilir enerji kaynaklarından yapılabileceği varsayımını göz ardı etmektedir. Kamiya (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, birçok BTC kazım merkezinde kullanılan elektriğin yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edildiği belirtilmektedir. Bu merkezler arasında; İrlanda (%100), Quebec (%99,8), Britanya Kolombiyası (%98,4), Norveç (%98), Gürcistan (%81) sayılabilir. Yapılan bir diğer çalışmada, global olarak BTC kazımında kullanılan elektriğin %74'ünün yenilenebilir enerji kaynaklarından temin edildiği tespit edilmiştir (Bendixsen vd., 2018). Bununla birlikte Cambridge Üniversitesi verileri, BTC madenciliği sonucu üretilen emisyon miktarının 53 ile 127 milyon Megaton CO₂'ye karşılık geldiğini belirtmekte olup, Arabesques Şirketi'nin emisyon veri tabanına göre bu rakamların üst sınırı BTC'yi dünyanın en fazla karbon emisyonu yapan altıncı şirketi konumuna getirmektedir (Washington Post, 2021). Önümüzdeki dönemde enerji tüketiminin artması beklenmekte olup, bu durum kriptopara piyasalarında yapısal değişimlerin gerçekleşmesini kaçınılmaz kılmaktadır (Fotoinis, 2018).

Yukarıda ifade edilen bilgiler ışığında değerlendirildiğinde, elektrik üretiminin kömür ve diğer fosil yakıtlardan elde edildiği durumlarda kripto madenciliği havanın kalitesini olumsuz etkilemekte ve iklim değişikliğini hızlandırmaktadır. Kripto madenciliğin her geçen gün daha da yaygınlaştığı düşünüldüğünde, önümüzdeki dönemde bu durumun daha fazla enerji kullanımına neden olacağı ve havanın daha çok kirlenmesine sebebiyet vereceği aşikardır. Bu da küresel ısınmayı önlemek üzere 2015 yılında imzalanan Paris Anlaşmasında belirlenen hedefler ile çelişkili bir durum yaratacak, salgıladığı yüksek emisyon miktarı ile global ısınmanın, iklim değişikliğinin ve çevresel sorunların en önemli tetikleyicisi olması nedeniyle kriptoparalar üzerinde yapılan tartışmaları daha da artıracaktır. Nitekim Goodkind, Jones ve Berrens (2020) tarafından 2016-2018 yılları arasındaki dönemde dört kriptopara birimi (Bitcoin, Ethereum, Litecoin, Monero) için yapılan bir çalışmada, kazımı yapılan her bir para (*coin*) için ortaya çıkan hava kirliliğine ilişkin emisyon miktarı ve buna bağlı gelişen sosyal ve çevresel etkilerin ortaya çıkardığı ekonomik zarar ABD ve Çin için araştırılmış, elde edilen sonuçlar 2018 yılında her 1 dolar değerinde BTC kazımının ABD'de 0,49 dolar, Çin de ise 0,37 dolar sağlık ve iklim zararına neden olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Çevresel Etkilerin Farklı Yatırım Araçlarının Ortaya Çıkardığı Etkilerle Karşılaştırılması

Kripto madenciliğinin çevresel etkilerini incelerken benzer bir analizi alternatif finansal araçlar ile karşılaştırarak yapmak konunun daha sağlıklı değerlendirilebilmesi açısından önem arz etmektedir. Kriptoparalar genellikle bir ödeme sistemi aracı olarak görülmekten daha çok, saniyede 5-6 işlem gerçekleştirdiği için “*dijital altın*” olarak da nitelenmektedir. Bu nedenle, karbon emisyonu gibi hususlarda kripto madenciliğini altın madenciliği ile karşılaştırmak mümkündür. Dünyada her yıl yaklaşık 3.531 ton altın üretimi yapılmakta ve 81 milyon metrik ton CO₂ karbon emisyonu gerçekleşmektedir. Bu rakam BTC kazımı sonucu ortaya çıkan karbon miktarı ile karşılaştırıldığında çok düşük kalmaktadır. Bir BTC kazımına karşılık gelen miktarda altın üretimi yapmanın ortaya çıkardığı karbon ayak izi 23 ton CO₂ iken, bu rakam bir BTC için komisyonlar dahil 139 ton CO₂'dir. Diğer bir ifadeyle, BTC üretiminin oluşturduğu karbon ayak izi, altın üretiminin karbon ayak izinden 6 kat fazladır (digiconomist.net). Bununla birlikte, bu karşılaştırmayı yaparken, altının çıkarılması dışında, işlenmesi, taşınması, el değiştirmesi ve saklanması gibi adımlarının olduğu ve bu adımlardan her birinin enerji tüketimini ve karbon ayak izini artırdığı gerçeği de unutulmamalıdır (Aydemir, 2020).

Benzer çalışmalar altın dışındaki metaller için de yapılabilir. Örneğin, Krause ve Tolaymat (2020) tarafından dört para biriminin (Bitcoin, Ethereum, Litecoin, Monero) kazımı sonucunda ortaya çıkan emisyon miktarı ile bakır, altın, platin ve diğer metallerin eşdeğer üretimi için salgılanan CO₂ miktarı karşılaştırılmış ve çok yüksek miktarda elektrik enerjisi tüketimini gerektiren alüminyum dışında diğer tüm metallerin üretimi sonucunda salınan karbon emisyonunun BTC kazımı sonucunda ortaya çıkan emisyon miktarının altında kaldığı görülmüştür. Bununla birlikte, bu çalışmada da söz konusu metallerin işlenmesi, taşınması, el değiştirmesi ve saklanması gibi maliyetler dikkate alınmamıştır.

Yapılan çalışmalar, her bir BTC kazım işlemi için ortaya çıkan karbon ayak izinin 233,4 ile 363,5 kg CO₂ arasında değiştiğini, buna karşılık her bir VISA işlemi ve Google işlemi için salgılanan karbon ayak izinin ise sırasıyla 0,4 gr CO₂ ve 0,8 gr CO₂ olduğunu göstermiştir (VISA, 2015). Bu önemli farklılığa karşın, konvansiyonel para birimleri için basım ve dağıtım süreçlerinde yapılan enerji sarfiyatı dışında, sistem içinde dolaşımı-transferi-saklanması gibi tüm süreçler, ofisler, ATM'ler, POS cihazları, fosil yakıtlı araçlar, bankaların enerji sarfiyatı, nakit paranın el değiştirmesi için çalışan sistemler ve personelin tamamının tükettiği enerji ve yaratılan karbon ayak izi dikkate alındığında bireyselden ziyade sistemselsel olarak çevresel maliyetin hesaplanarak bir karşılaştırma yapılması daha sağlıklı olacaktır.

Nitekim bu nedenlerle bazı kurumlar, kripto madenciliğin ekstra karbon emisyonuna sebep olmadığını, bilgisayarların enerjiyi herhangi bir kaynaktan kullanabileceğini iddia etmektedirler. Dijital varlıklara yatırım yapan şirketlerden biri olan CoinShares 2019 yılında yayınladığı bir çalışmada, BTC madenciliği yapan kişilerin %73'ünün enerji arzı konusunda bir kısım gereksinimlerini

yenilenebilir enerji kaynaklarından karşıladığını ortaya koymuştur. Bu tespite karşılık, Cambridge Üniversitesi'nden araştırmacılar, BTC kazımı ile uğraşanların sadece %39'unun yenilenebilir enerji kaynaklarını kullandığını belirtmektedirler (Cambridge Üniversitesi, 2020).

Çevresel Etkilerin Önlenebilmesi İçin Öneriler

Kripto kazımı nedeniyle ortaya çıkan enerji tüketimi ve karbon emisyonu her geçen gün daha da artmakta ve küresel sürdürülebilirliği tehdit etmektedir. Jiang vd. (2021) tarafından yapılan yakın tarihli bir çalışma, 2024 yılında BTC kazımı nedeniyle gerçekleşecek enerji tüketimini ve karbon emisyonu miktarını Çin için sırasıyla 296,59 TWh ve 130,50 milyon metrik ton olarak tahmin etmektedir. Bu emisyon miktarı, Çek Cumhuriyeti ve Katar'ın 2016 yılında gerçekleşen yıllık emisyon miktarı toplamına eşittir. Bu nedenle, kripto kazımının ortaya çıkardığı çevresel paradoksu çözebilmek ve yatırımcılara sunduğu getiri imkanlarına karşın toplum açısından ortaya çıkardığı olumsuz etkileri asgari düzeye indirebilmek için birtakım önlemlerin alınması kamu yararı açısından önem arz etmektedir.

Bu noktada atılabilecek en rasyonel adım, teknolojik açıdan daha yenilikçi bir yaklaşım takip etmek ve fosil yakıtlardan ziyade yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak kripto kazımı yapmaya yönelmektir. Bununla birlikte yeni teknolojilerin kullanımı, yasal olarak minimum standartlar getirilmesi, yeni vergisel düzenlemelerin hayata geçirilmesi ve kripto kazımı yapılan yerlerin farklılaştırılması yönünde atılacak adımlar da çevresel etkileri azaltabilecektir. Bu çerçevede aşağıda yer alan önerilerin değerlendirilmesinde fayda bulunmaktadır.

• **Alternatif teknolojilerin hayata geçirilmesi ve minimum standartlar belirlenmesi:** Teknolojik açıdan atılabilecek adımların başında, yoğun enerji tüketimine neden olan mevcut blok zincir yapısının gözden geçirilerek verimli enerji kullanımı sağlayan alternatif teknolojilerin hayata geçirilmesi gelmektedir. Bunun için de kazım işinde kullanılan donanımlar, ekipmanlar ve soğutma sistemleri için enerji tasarrufu sağlayıcı minimum standartların getirilmesi yerinde olacaktır. Bu standartlar kripto kazıcılar için belli teknolojilerin kullanılmasını zorunlu tutmaktan, bu iş için kullanılan bilgisayar ve pil yedekleme sistemlerinin belirlenmesine kadar geniş yelpazede hayata geçirilebilecek bir dizi adımları içermektedir. Minimum enerji standartlarına ilave olarak, kazım yapan şirketlerin kullanacakları bilgisayarlar, veri depolama merkezleri ve güç sistemleri için enerji verimi yüksek ürünler ve sistemler kategorisi oluşturularak bir etiketleme sistemi getirilebilir ve bu ürünlerin kullanımı teşvik edilebilir. Nitekim benzer uygulamalar ABD'de yapılmaktadır (Clark ve Greenley, 2019).

• **Yeni yasal düzenlemeler yapılması:** Kripto kazımının ortaya çıkardığı karbon emisyonunu düşürebilmek için birtakım yasal düzenlemeler yapılabilir (Truby, 2018). Bu çerçevede, daha önce fiyatlanmamış olan negatif dışsallıkları cezalandırmak için karbon vergisi getirilebilir (Jiang vd., 2021). Teorik olarak bu vergilerin birden fazla uygulanma yöntemi olabilir. Kazım için tasarlanmış

donanımına uygulanabileceği gibi kazım amaçlı olarak kullanılan mekanlardaki enerji tüketimine de uygulanması mümkündür (Truby, 2018). Uygulanacak vergi oranı, kazım sonucunda ortaya çıkacak çevresel hasarın parasal boyutu tahmin edilerek belirlenmelidir. Bununla birlikte, kripto kazımı anonim olarak her yerde rahatlıkla yapılabileceği ve kazım yapılan yerler herhangi bir kaynaktan anonim olarak fonlanabileceği için bu düzenlemelerin etkin olarak uygulanabilmesi belirli sıkıntılar yaratabilir. Kripto kazımı sürecindeki bu anonimite ve sektörün düzenlemeye tabi olmayan yapısı önerilen yasal düzenlemelerin hayata geçirilebilmesi için uluslararası bir iş birliği yapılmasını gerektirmektedir.

• **Araştırma ve Geliştirme faaliyetlerini artırmak:** Bu önerilere ilave olarak, atılabilecek adımlardan biri de enerji tüketimini azaltacak ve kripto kazım maliyetini aşağı çekecek şekilde devlet tarafından kazım bulmacaları tasarımı hayata geçirecek araştırma ve geliştirme faaliyetlerinde bulunulmasıdır. Bu adımın ayrıık olarak uygulanmasına da gerek bulunmamaktadır. Diğer bir ifade ile AR-GE konusunda atılacak adımlar, vergilendirme konusunda getirilecek düzenlemeler ile aynı anda uygulanabilir.

• **Kripto kazımı yapılan yerlerin farklılaştırılması:** Kripto kazımı özellikle Çin’de ağırlıklı olarak fosil yakıtların yoğun olduğu bölgelerde yapılmakta, bu da karbon emisyonunu artırmaktadır. Hatta bu bölgelerden birinde meydana gelen bir enerji kesintisinin BTC hash oranında %35’lik bir artışa yol açması, aslında dağıtık yapısıyla ön plana çıkan sistemin, üretim açısından yeterinde dağıtık olmadığı bir göstergesidir (Tully, 2021). Her ne kadar kripto kazımı mekândan bağımsız olarak yapılabilecek bir iş olsa da kazım yerlerindeki yoğunlaşmanın asgari seviyeye indirilebilmesini sağlayacak politikaların geliştirilmesi yerinde olacaktır (Jiang vd., 2021, Stoll vd., 2019).

• **Farklı kanıt protokollerinin kullanılması:** BTC ve Ethereum (v1) gibi birçok kriptopara biriminin kullandığı kazıma dayalı “iş ispatı” mutabakat protokolünün yanında “hisse ispatı” (proof of stake) veya “sahiplik ispatı” (proof of authority) adı verilen farklı protokolleri kullanan kriptoparalar da vardır. Bunların üretimi esnasında herhangi bir kazım yapılmadığından dolayı enerji tüketimi BTC’ye kıyasla neredeyse yok denecek kadar azdır. Hisse ispatı protokolü (PoS), hesaplama gücüne dayanan bir sistem yerine dijital varlık sahipliğini hesaba katan bir protokoldür. King ve Nadal (2012) tarafından yapılan bir çalışmada sunulan PoS protokolü, BTC madencilik için gerekli olan yüksek enerji tüketimi ve işlem hızındaki yavaşlık gibi sorunları ortadan kaldırmaya odaklanmıştır. PoS protokolünü kullanan kriptopara birimlerinin sayısı 300’ü, pazar payı ise %11’i geçmiştir (cryptoslate.com, 2021). Ethereum’un Versiyon 2’de PoW yerine PoS protokolüne geçecek olması, çevresel etki açısından oldukça olumlu bir sonuç doğuracaktır (Leising, 2021).

Tüm bu hususlar bir arada değerlendirildiğinde, blok zincir ve kriptopara alanında sürekli olarak enerji verimliliğine odaklanan projelerin ortaya çıkması, mevcut projelerin bu noktada gelişim kaydetmesi ve söz konusu teknolojinin

kendisinin de enerji verimliliğini artırmak üzere kullanımı için çok sayıda çalışma yapılması, aslında daha yeşil bir dünyada önemli ölçüde pay sahibi olan bir teknolojiyle karşı karşıya olunduğunu da göstermektedir.

Sonuç

Kriptopara birimleri finansal piyasalarda son 10 yılda gösterdikleri gelişim ile tüm dünyada artan sayıda yatırımcının ilgisini çekmektedir. Bu dijital yatırım ve ödeme aracının piyasa değerinde ve işlem hacminde ortaya çıkan gelişmeler sunduğu getiri boyutuyla geniş kitlelerin ilgisini çekmekle birlikte, çevresel boyuttaki etkileri çoğu zaman yeteri kadar ele alınmamaktadır. Bu çalışmada, kriptopara madenciliğinin çevresel boyuttaki etkileri global ısınma ve iklim değişikliğini de kapsayacak şekilde çok yönlü olarak ele alınmaya çalışılmıştır.

Günümüzde global enerji tüketiminin %81'i fosil yakıtlardan sağlanmakta olup, kısa vadede bunun çok hızlı değişmeyeceği tahmin edilmektedir. Alternatif enerji kaynaklarında önemli gelişmeler olsa dahi, önümüzdeki dönemde global ekonominin enerji ihtiyacı büyük ölçüde hidrokarbon sektöründeki kaynaklardan karşılanacak gibi görünmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, kripto madenciliği yapan ve kazım aşamasındaki süreçleri gerçekleştirmek için yüksek miktarda bilgisayar gücüne ihtiyaç duyan kişi ve kurumlar açısından yoğun enerji kullanımının sürdürülebilmesi kritik bir önem arz etmektedir. Diğer taraftan, blok zinciri kurgusunda yer alan merkeziyetçi olmayan yapının zincirin kaydedildiği bilgisayar sistemlerinde başarıyla gerçekleştirildiği tespit edilmekle beraber, kripto kazımı için oluşan ortamlar açısından maalesef belli merkezlerde yoğunlaşma olduğu son zamanlarda açığa çıkmıştır. Bu da aslında sistemin kurgusuna ters bir durumdur. Kriptopara üretiminin de merkeziyetçi yapıdan uzak hale gelmesi son derece önemlidir.

Kripto kazımı için enerji kullanımının günden güne artması bu dijital varlıkların farklı çevresel tehlikeler doğurması sonucunu da beraberinde getirmektedir. Kripto madenciliğin ağırlıklı olarak fosil kaynakların hâkim olduğu enerji kaynaklarından karşılanması sonucunda ortaya çıkan karbon emisyonu (CO₂) global ısınmaya, hava kirliliğine ve hatta ölüm oranlarının artmasına neden olmaktadır. Bu ise 2015 yılında imzalanan Paris Anlaşması ile getirilmek istenen, çevresel sürdürülebilirliğin gerçekleştirilmesi hedefini olumsuz etkileyebilecektir. Bu nedenle, küresel iklim değişikliğini pozitif etkileyecek önlemlerin alınması gerekmektedir.

Son olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak karşı karşıya kalınan problemin asgari seviyeye indirilebilmesi için kısmi bir çözüm getirecek olsa da kripto kazım işleminin her geçen gün daha fazla elektronik atık ortaya çıkaracak olması yenilenebilir enerji kaynaklarının da kripto kazımı sonucu oluşan enerji tüketiminin çevresel etkilerini azaltmakta yetersiz kalacağına işaret etmektedir. Bunun en önemli sebebi, dünyada elektronik atık miktarının sadece %20'sinin geri dönüşümünün yapılması, geri kalan kısmının ise tehlikeli çöplükler oluşturarak çevreye zarar vermeye devam etmesidir (digiconomist.net, 2021). Bu nedenle,

kripto kazımının sürdürülebilir olmasını sağlamak için kazım mekanizmasının daha az enerji kullanımını gerektiren ve daha az elektronik atık üretecek şekilde yenilenmesi gerekmektedir. Bir başka ifadeyle, kriptopara piyasalarına gelen sermaye yeşil teknolojik ilerlemeyi gerçekleştirmek için kullanılmalı ve “pozitif dışsallık” sağlanarak finans sektöründe yaşanan bu inovasyon enerji sektöründe yaşanacak bir teknolojik inovasyonun itici gücü olmalıdır.

Kaynakça

- Akcora, C.G., Dey, A.K., Gel, Y.R., & Kantarcioglu, M. (2018). Forecasting Bitcoin price with graph chainlets. *Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (Melbourne, VIC: Springer)*, 765–776. DOI: 10.1007/978-3-319-93040-4_60
- Aydemir, A. (2020). Bitcoin yeşil bir dünyanın neresinde?. *ParibuLog*. <https://www.paribu.com/blog/perspektif/bitcoin-yesil-bir-dunyanin-neresinde-akar-aydemir/> [Erişim Tarihi: 12.08.2021]
- Balde', C.P., Forti, V., Gray, V., Kuehr, R., & Stegmann, P. (2017). *The Global E-waste Monitor*. http://collections.unu.edu/eserv/UNU:6341/Global-E-waste_Monitor_2017__electronic_single_pages_.pdf [Erişim Tarihi: 12.08.2021]
- BBC News. (2021). Bitcoin için bir yılda harcanan enerji, Türkiye'nin yıllık elektrik tüketiminin yüzde 40'ını aştı. *BBC News Türkçe*. <https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-56016470> [Erişim Tarihi: 11.05.2021]
- Bendiksen, C., Gibbons, S., & Lim, E. (2018). The Bitcoin mining network- Trends, composition, average creation cost, electricity consumption & sources. *CoinShares Research & Three Body Capital*. <https://coinshares.co.uk/assets/resources/Research/bitcoin-mining-networknovember-2018.pdf> [Erişim Tarihi: 11.05.2021]
- Blandin, A., Pieters, G., Wu, Y., Eisermann, T., Dek, A., Taylor, S., & Njoki, D. (2020). 3rd Global Cryptoasset Benchmarking Study. *University of Cambridge, Judge Business School*.
- Bloomberght. (2021). <https://www.bloomberght.com/bitcoin-cin-den-gelen-aciklamalarla-sertdustu-2280652> [Erişim Tarihi: 21.05.2021]
- CBECI. (2021). Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index. https://cbeci.org/mining_mCBECI [Erişim Tarihi: 15.05.2021]
- Ciaian, P., Rajcaniova, M., & Kancs, D. (2016). The economics of Bitcoin price formation. *Applied Economics*, 48(19), 1799-1815.
- Clark, C.E., & Greenley, H.L. (2019). Bitcoin, blockchain, and the energy sector. *Congressional Research Service, US*.
- CoinMarketCap. (2021). www.coinmarketcap.com [Erişim Tarihi: 10.05.2021]
- Cryptoslate. (2021). <https://cryptoslate.com/cryptos/proof-of-stake/> [Erişim Tarihi: 20.05.2021]
- Dahan, M., & Casey, M. (2016). Blockchain technology: Redefining trust for a global, digital economy. *The World Bank*.
- De Vries, A. (2018). Bitcoin's growing energy problem. *Joule*, 2(5), 801–805
- De Vries, A. (2019). Renewable energy will not solve Bitcoin's sustainability problem. *Joule*, 3(4), 893-898. DOI: 10.1016/j.joule.2019.02.007
- Digiconomist. (2021). *Cambridge Bitcoin Energy Consumption Index*. www.digiconomist.net [Erişim Tarihi: 10.05.2021]
- Digiconomist. (2021). *Bitcoin Electronic Waste Monitor*. <https://digiconomist.net/bitcoin-electronic-waste-monitor/> [Erişim Tarihi: 10.05.2021]

- Dilek, Ş., & Furuncu, Y. (2019). Bitcoin mining and its environmental effects. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 33(1), 91-105
- Foteinis, S. (2018). Bitcoin's alarming carbon footprint. *Nature*, 554, 169.
- Gerard, D. (2021). *Attack of the 50 foot blockchain: Bitcoin, blockchain, Ethereum & smart contracts*. Kindle Edition, Amazon UK.
- Goodkind, A.L., Jones, B.A., & Berrens, R.P. (2020). Cryptodamages: Monetary value estimates of the air pollution and human health impacts of cryptocurrency mining. *Energy Research and Social Science*, 59, 101281
- Hileman, G., & Rauchs, M. (2017). Global cryptocurrency benchmarking study. *University of Cambridge, Cambridge Centre for Alternative Finance*.
- International Energy Agency. (2020). World Energy Balances: Overview. *International Energy Agency Statistics Report*. <https://www.ica.org/reports/world-energy-balances-overview> [Erişim Tarihi: 12.08.2021]
- International Energy Agency. (2017). *Key World Energy Statistics*. <https://www.ica.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2017.pdf> [Erişim Tarihi: 10.07.2021]
- Jiang, S., Li, Y., Lu, Q., Hong, Y., Guan, D., Yiong, Y., & Wang, S. (2021). Policy assessments for the carbon emission flows and sustainability of Bitcoin blockchain operation in China. *Nature Communication*, 12, 1-10. DOI: 10.1038/s41467-021-22256-3
- Kamiya, G. (2019). Commentary: Bitcoin energy use-Mined the gap. *International Energy Agency*.
- King, S., & Nadal, S. (2012). *PPCoin: Peer-to-peer crypto-currency with proof-of-stake*. <https://decred.org/research/king2012.pdf> [Erişim Tarihi: 12.08.2021]
- Koomey, J., Berard, S., Sanchez, M., & Wong, H. (2011). Implications of historical trends in the electrical efficiency of computing. *IEEE Annals of the History of Computing* 33, 46-54.
- Krause, M.J., & Tolaymat, T. (2018). Quantification of energy and carbon costs for mining cryptocurrencies. *Nature Sustainability*, 1, 711-718
- Küfeoğlu, S., & Özkuran, M.A. (2019). Energy consumption of Bitcoin mining. Cambridge Working Papers in Economics, No. 1948. *University of Cambridge, Faculty of Economics*.
- Laboure, M. (2021). The future of payments: Series 2. Part III. Bitcoins: Can the Tinkerbell effect become a self-fulfilling prophecy?. *Deutsche Bank*.
- Leising, M. (2021). This breakthrough could make Ethereum more environmentally friendly than Bitcoin. <https://fortune.com/2021/05/24/ethereum-bitcoin-buterin-carbon-footprint-proof-of-stake/> [Erişim Tarihi: 15.08.2021]
- Liu, J., & Serletis, A. (2019). Volatility in the cryptocurrency market. *Open Economies Review*, 30, 779-811
- Malfuzi, A., Mehr, A.S., Rosen, M.A., Alharthi, M., & Kurilova, A.A. (2020). Economic viability of bitcoin mining using a renewable-based SOFC power system to supply the electrical power demand. *Energy*, 203. DOI: 10.1016/j.energy.2020.117843
- Mora, C., Rollins, R.L., Taladay, K., Kantar, M.B., Chock, M.K., Shimada, M., & Kranklin, E.C. (2018). Bitcoin emissions alone could push global warming above 2°C. *Nature Climate Change*, 8, 931-933
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> [Erişim Tarihi: 10.05.2021]
- Patt, A., & Lilliestam, J. (2018). The case against carbon prices. *Joule* 2, 2494-2498
- Seldmeir, C., Buhl, H.U., Fridgen, G., & Keller, R. (2020). The energy consumption of blockchain technology: Beyond myth. *Business and Information Systems Engineering* 62(6), 599-608

- Song, Y-D., & Aste, T. (2020). The cost of Bitcoin mining has never really increased. *Frontiers in Blockchain*. DOI: 10.3389/fbloc.2020.565497
- Stoll, C., Klaaßen, L., & Gallersdörfer, U. (2019). The carbon footprint of bitcoin. *Joule* 3, 1647–1661. DOI: 10.1016/j.joule.2019.05.012
- Thum, M. (2018). The economic cost of bitcoin mining. In *CESifo Forum (München: ifo Institut-Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München e.V.)*. (Vol. 19), 43–45.
- Truby, J. (2018). Decarbonizing Bitcoin: Law and policy choices for reducing the energy consumption of blockchain technologies and digital currencies. *Energy Research Social Sciences* 44, 399–410
- Tully, S. (2021). How much Bitcoin comes from dirty coal? A flooded mine in China just spotlighted the issue. <https://fortune.com/2021/04/20/bitcoin-mining-coal-china-environment-pollution/> [Erişim Tarihi: 12.05.2021]
- Vigna, P., & Casey, M.J. (2016). *The age of cryptocurrency: How Bitcoin and the blockchain are challenging the global economic order*. Picador.
- VISA. (2015). *Sustainability & the environment*. <https://www.visaeurope.com/about-us/corporate-reponsibility/sustainability-the-environment> [Erişim Tarihi: 10.05.2021]
- Washington Post. (2021). *Why buying a Tesla with Bitcoin would be environmentally unfriendly*. <https://www.washingtonpost.com/opinions/2021/02/18/bitcoin-emissions-pollution-tesla/> [Erişim Tarihi: 15.05.2021]

İnternet Kaynakları

- www.bitcoinenergyconsumption.com [Erişim Tarihi: 05.05.2021]
- www.blockchain.com [Erişim Tarihi: 03.05.2021]
- www.buybitcoinworldwide.com [Erişim Tarihi: 05.05.2021]
- www.coinatmradar.com [Erişim Tarihi: 01.05.2021]
- www.iea.org/digital [Erişim Tarihi: 25.04.2021]
- www.powercompare.co.uk [Erişim Tarihi: 25.04.2021]

Prof. Dr. MUSTAFA KEMAL YILMAZ | İbn Haldun Üniversitesi | mustafa.yilmaz[at]ihu.edu.tr | ORCID: 0000-0001-6036- 0559

Lisans derecesini 1990 yılında Marmara Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İngilizce İşletme Bölümünde, yüksek lisans derecesini ise 1993 yılında Marmara Üniversitesi İngilizce Finansman-Muhasebe anabilim dalında almıştır. 1991-1994 yılları arasında T.C. Başbakanlık Hazine Müsteşarlığı, Banka ve Kambiyo Genel Müdürlüğü'nde uzman olarak görev yapmış ve 1994 yılından sonra kariyerine Borsa İstanbul A.Ş.'nde devam etmiştir. 1998 yılında Marmara Üniversitesi Bankacılık ve Sigortacılık Enstitüsü, Bankacılık ana bilim dalında doktora derecesini, 2004 yılında ise Finans-Muhasebe ana bilim dalında doçentlik unvanını almıştır. Borsa İstanbul'da 1994-2005 yıllarında Vadeli İşlemler Piyasası uzmanı, 2006-2007 yıllarında Risk Yönetim Müdürlüğü uzmanı, 2007-2011 yıllarında Özel Kalem Müdürü ve 2012-2016 yılları arasında da Genel Müdür Yardımcısı olarak görev yapan Yılmaz, 2006 Kasım-Aralık döneminde İslam Kalkınma Bankası'nın temsilcisi olarak Tahran Metal Borsası ile İran Tarımsal Ürün Borsası'nda, 2007-2013 yılları arasında da Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği Sermaye Piyasası Sektör Meclisi'nde danışman olarak görev almıştır. 2012-2013 yıllarında Takasbank Yönetim Kurulu Üyesi, 2013-2016 yıllarında Merkezi Kayıt Kuruluşu Yönetim Kurulu Üyesi ve 2015-2016 yıllarında da Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. Yönetim Kurulu Başkan Vekili olarak görev yapmıştır. 2017 yılından itibaren İbn Haldun Üniversitesi Yönetim Bilimleri Fakültesi'nde Profesör ünvanı ile öğretim üyesi ve Fakülte Dekanı olarak görev yapmakta olup, başta sermaye piyasaları, kurumsal yönetim ve sürdürülebilirlik olmak üzere farklı alanlarda eserleri bulunmaktadır.

Prof. Dr. MUSTAFA KEMAL YILMAZ | Ibn Haldun University | mustafa.yilmaz[at]ihu.edu.tr | ORCID: 0000-0001-6036- 0559

Prof. Mustafa Kemal Yılmaz is a professor of finance and serves as the Dean of Business School at Ibn Haldun University, Istanbul, Turkey. He got his Ph.D. from the Institute of Banking and Insurance at Marmara University in 1998. He worked as an expert at the Undersecretariat of Treasury from 1991 to 1994. Then, he has worked at Borsa Istanbul in Derivatives Market and Risk Management Departments and acted as Executive Vice President from 1994 to 2016. During his career, he served as a consultant for Tehran Metal Exchange and Iran Agricultural Commodity Exchange as a nominee of the Islamic Development Bank in November-December 2006. He worked as an academic consultant at the Union of Chambers and Commodity Exchanges of Turkey, Turkish Capital Markets Sector Assembly from 2007 to 2013. He acted as a Board member at Takasbank in 2012–2013, Acting Chairman of Board of Directors at Energy Exchange in 2015–2016, and a Board member at Central Securities Depository from 2013 to 2016. His research and teaching interests are in capital markets, corporate finance, financial analysis, sustainability, and corporate governance.

**Dr. AHMET KAPLAN | İbn Haldun Üniversitesi | ahmet.kaplan[at]ihu.edu.tr
| ORCID: 0000-0001-5231-2282**

Bilkent Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde lisans, Erciyes Üniversitesi'nde yüksek lisans ve doktoraını tamamladı. Erciyes Üniversitesi Elektronik Mühendisliği bölümünde ve Sivil Havacılık MYO Uçak Elektroniği bölümünde öğretim görevlisi olarak çalıştı. 2000-2005 yılları arasında Amerika'da Georgia Institute of Technology Üniversitesi'nde araştırmalarda bulundu ve uluslararası firmalarda Yazılım Geliştirme ve Proje Müdürü olarak görev yaptı. 2005-2011 yılları arasında, Türksat A.Ş.'de Bilişim Direktörü ve Genel Müdür Yardımcısı olarak çalıştı. Türkiye'nin bilgi toplumuna geçiş süresinde büyük öneme sahip olan e-Devlet Kapısı'nın (www.turkiye.gov.tr) yazılımlarını gerçekleştirdi ve hizmete açılış sürecinden itibaren milyonlarca kullanıcıya ulaşmaya kadarki tüm aşamalarını yönetti. 2012-2014 yılları arasında, TÜBİTAK'ta; Ulusal Akademik Ağ ve Bilgi Merkezi'nde (ULAKBİM) Enstitü Müdürü ve Fatih Projesi Teknik Koordinatörü olarak görev yaptı. 2014 yılında tekrar Türksat A.Ş. Genel Müdür Yardımcısı olarak atandı. 2017 yılından itibaren İbn Haldun Üniversitesi'nde İşletme Bölümü öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır.

**Dr. AHMET KAPLAN | Ibn Haldun University | ahmet.kaplan[at]ihu.edu.tr
| ORCID: 0000-0001-5231-2282**

Dr. Ahmet Kaplan received his BS degree of Electric-Electronic Engineering in Bilkent University, along with his MSc and PhD in Erciyes University. He worked as instructor at Erciyes University Engineering Faculty and at Civil Aviation School. He studied as post-doctorate at the Georgia Institute of Technology in the US and he worked with international companies as Software Development Project Manager from 2000 and 2005. He worked at Turksat as IT Director and Vice President (CIO) from 2005 to 2011. With his team, he managed the rewriting of whole system, e-government portal (www.turkiye.gov.tr) that has a huge impact on Turkey's transition to information society. He fulfilled a duty as the Institute Director at Turkish Academic Network and Information Center (ULAKBİM), TUBİTAK and technical coordinator of the FATİH Project, Ministry of Education from 2012 to 2014. In 2014, he became Executive Vice President at Turksat. Since 2017, he has been working at Ibn Haldun University as Assistant Professor at Business School.

