Derleme

Journal of Economics and Social Research
Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi
ISSN: 2148-1407/ e-ISSN: 2651-3250

Makale Başvuru/Kabul Tarihleri:
Received/Accepted Dates:
11.10.2022/18.01.2023

Cilt 10, Sayı 19, Yıl 2023

Bitcoin Madenciliği ve Bitcoin'in Enerji Tüketimi

Doç. Dr. Aziza SYZDYKOVA

Hoca Ahmet Yesevi Uluslararası Türk-Kazak Üniversitesi

ORCİD: 0000-0002-1377-0026

Özet

2010'larda, tüm finans dünyası yeni bir para türü olan kripto para birimiyle ilgilenmiştir. Bitcoin, kripto para biriminin tarihini oluşturmanın ilk adımıdır. Bitcoin, 31 Ekim 2008'de Satoshi Nakamoto takma adı altında bilinmeyen bir kişi veya grup tarafından imzalanan bir belge ile tanıtılmıştır. 17 Ocak 2022 itibariyle 17 binden fazla kripto para olmasına rağmen en popüler olanı Bitcoindir. Bitcoin'in büyüme oranı her geçen gün önemli ölçüde artmaktadır ve bu nedenle Bitcoin madenciliği için tüketilen güç hacminde de bir artış vardır. Bütün bunlar muazzam miktarda enerji gerektirmektedir. Bu miktarın kapsamını anlamak ve çalışmalarının kanıtı algoritmasının istikrarsızlığı konusunda farkındalığı arttırmak için Bitcoin enerji tüketimi endeksi oluşturulmuştur. Digiconomist'e göre, Ocak 2022 itibariyle Bitcoin'in yıllık elektrik tüketimi Dünya elektrik tüketiminin yaklaşık %0,88'ini temsil eden 204.5 TWh'ye ulaşmıştır. Bitcoin madenciliğinin enerjiyi çok tüketiyor olması sebebiyle birçok araştırmacı ve yazar tarafından eleştirilmektedir. Bazı araştırmalar Bitcoin madenciliğinin tükettiği enerjiyi tam olarak tahmin etmeye çalışırken, bazı çalışmalar da Bitcoin madenciliği ve madencilik geliri arasındaki ilişkiyi araştırmaktadır. Bu çalışmada konu ile ilgili literatür taranarak Bitcoin madenciliğinin enerji tüketimi ve çevresel boyutlarına ilişkin değerlendirme yapılarak, bazı öneriler geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kripto para, Bitcoin, Enerji tüketimi, Madencilik.

Bitcoin Mining and Energy Consumption of Bitcoin

Abstract

In the 2010s, the entire financial world was interested in a new type of money, cryptocurrency. Bitcoin is the first step in making the history of the cryptocurrency. Bitcoin was introduced on October 31, 2008, in a document signed by an unknown person or group under the pseudonym Satoshi Nakamoto. Although there are more than 17 thousand cryptocurrencies as of January 17, 2022, the most popular is Bitcoin. Bitcoin's growth rate is increasing significantly day by day and hence there is also an increase in the volume of power consumed for Bitcoin mining. All this requires enormous amounts of energy. To understand the extent of this amount and to raise awareness of the instability of the proof-of-work algorithm, the Bitcoin Energy Consumption Index was created. According to Digiconomist, as of January 2022, Bitcoin's annual electricity consumption has reached 204.5 TWh, representing approximately 0.88% of the world's electricity consumption. Bitcoin mining is criticized by many researchers and writers because it consumes a lot of energy. While some studies try to estimate the exact energy consumed by Bitcoin mining, some studies explore the relationship between Bitcoin mining and mining income. In this study, by scanning the literature on the subject, some suggestions have been developed by evaluating the energy consumption and environmental dimensions of Bitcoin mining.

Keywords: Cryptocurrency, Bitcoin, Energy Consumption, Mining.

Giriş

Kasım 2008'de Nakamoto (2008) adıyla bir kişi veya grup "Bitcoin: Uçtan Uca Elektronik Ödeme Sistemi" konulu makale yayınlamış; yaklaşık 1 yıl sonra da Ocak 2009'da Bitcoin merkezi yapılara alternatif bir ödeme aracı olarak piyasaya sürülmüştür. Bitcoin teknolojik yeniliklerle birlikte doğmuştur, Bitcoin'in ardındaki blok zinciri teknolojisi internetten sonraki en büyük dijital devrim olarak kabul edilmektedir (Amsyar vd., 2020).

2009 yılında ilk piyasaya çıktığında Bitcoin'in fiyatı 1 ABD doları bile değilken, Kasım 2021 tarihinde 69 bin ABD doları seviyesine ulaşmıştır (https://coinmarketcap.com/). Bitcoin ilk piyasaya sürüldüğünden beri geçen süreçte çeşitli ticaret platformlarında, kripto para borsalarında geleneksel para türleri ile alım-satımı yapılmaya başlanmıştır. Geçen süreç zarfında Bitcoin fiyatlarındaki aşırı hareketlerden kâr elde etmek için işlem yapan bir kesim ortaya çıkmıştır (Bouri vd., 2019). Bitcoin ve diğer alternatif kripto para olan altcoinler ile birlikte kripto para piyasasındaki toplam işlem hacmi 17 Ocak 2022 itibariyle 2.042 trilyon ABD dolarına ulaşmıştır. Kripto para piyasasındaki toplam işlem hacminin %39.6'lık kısmı ise sadece Bitcoin'e aittir. Bitcoin ilk kripto para olma olmakla birlikte kripto para piyasasındaki en büyük işlem hacmine sahip olma özelliğini korumaktadır (Coinmarketcap, 2021).

Yeni Bitcoin'lerin üretimi madencilik süreci ile gerçekleşmektedir. Bitcoin'in piyasa fiyatı, madencilerin daha fazla donanım ve elektriğe yatırım yapmaları için güçlü bir teşviktir. Fiyat arttıkça, daha fazla insan madencilik donanımı satın almak ve çalıştırmak için sipariş vermekte ve bu da enerji tüketiminde artışa neden olmaktadır. Diğer yandan Bitcoin arzı 21 milyon adete ulaştığında sona erecektir. 17 Ocak 2022 tarihi itibariyle dolaşımdaki Bitcoin arzı 18,932,043.00 adettir (https://coinmarketcap.com/currencies/Bitcoin/). Bitcoin arzını sağlayanlar iki grupta Bitcoin satın alıp portföylerinde tutanlar ve toplam Bitcoin'lerin sayısı 21 milyon adete ulaşana kadar üretime devam edecek olan madenciler olarak karşımıza çıkmaktadır (Corbet vd., 2021).

Madenciler çok fazla sayıda gelişmiş bilgisayar ile bu işlemleri yapmak zorunda oldukları için yoğun elektrik tüketimine neden olur (Carvalho, 2017). Kripto para madenciliği enerji yoğun bir faaliyettir ve bu süreci sağlamak için elektrik tüketiminin hacmi zaten gezegen düzeyinde fark edilir hale gelmiştir (Truby, 2018). Bununla birlikte, Bitcoin ve diğer kripto para birimlerinin (altcoins) büyük ölçekte çıkarılmasına rağmen, şu anda madencilerin elektrik tüketimine dair kesin bir bilgi yoktur (Sedlmeir vd., 2020). Fakat analitik portal Digiconomist.net'e göre, Bitcoin ağı tarafından tahmini yıllık elektrik tüketimi 204.5 TWh'dır ve bu küresel tüketimin %0,88'ine eşittir. Son iki yılda bu rakam 2,5 daha kattan fazla artmıştır (Şekil 1).

Bitcoin'in popülaritesinin daha da artmasıyla, üretimi için enerji tüketimi seviyesinin de artması beklenmektedir. Ancak madencilik yalnızca ucuz enerji kullanıldığında kârlıdır (Delgado-Mohatar vd., 2019). En ucuz enerji kömürle çalışan termik santrallerde üretilir. Çin'de söz konusu santrallerin birçoğu var ve bu nedenle, tüm Bitcoin'lerin yaklaşık %60'ı burada üretilmeydi (https://supchina.com; Badea ve Mungiu-Pupăzan, 2021). Fakat Haziran 2021'de Çin, ülkedeki tüm Bitcoin madenciliği faaliyetlerine tam bir yasak uygulamaya başladı. Bu noktaya kadar, Bitcoin madencilik ağı Çin'li madenciler tarafından yönetilmekteydi. Çin'den madencilerin çıkışı, ağdaki toplam aktif hesaplama gücü miktarında önemli bir düşüşü tetikledi (https://digiconomist.net).

Diğer taraftan madencilik için kullanılan yüksek miktardaki enerji, çevreye zarar veren yüksek karbon dioksit emisyonlarına yol açmaktadır. Bitcoin ağındaki madencilik tesislerinin çoğu, büyük ölçüde kömür bazlı güce (doğrudan veya yük dengeleme amacıyla) dayanan bölgelerde (öncelikle Çin'de) bulunmaktadır. Stoll ve diğerlerine (2019) göre Bitcoini kömür beslemektedir. Veri bilimcisi De Vries tarafından oluşturulan çevrimiçi bir araç olan Digiconomist'in Bitcoin Enerji Tüketim Endeksi'nden elde edilen verilere dayanarak, dünyanın en büyük kripto para birimi olan Bitcoin'in karbon ayak izi, 37 megaton karbon yayan Yeni Zelanda'nın karbon ayak izine eşdeğerdir. Hesaplamaya diğer kripto para birimlerini dahil etmek bu rakamları ikiye katlayabilir (https://digiconomist.net/).

Dolayısıyla kripto paraların devasa enerji tüketimi ve büyük miktarda karbon ayak izine sebep olması yenilik olarak kabul edilen şeyin hızlı alımını engellemekte ve endişelere yol açmaktadır. Bu da kripto paraların enerji tüketimiyle ilgili kapsamlı ifadelerin dikkatle gözden geçirilmesi gerektiği anlamına gelmektedir. Bu çalışmanın amacı Bitcoin'in elektrik tüketimi ile Bitcoin madenciliğinin çevresel boyutlarının değerlendirilmesidir. Literatürde Bitcoin'in madencilik karlılığı ve karbon ayak izi gibi

konuların araştırıldığı, enerji piyasalarının Bitcoin fiyatı ile ilişkisine yönelik çalışmaların yapıldığı görülmektedir.

Çalışma 5 bölümden oluşmakta olup, giriş bölümünü takip eden ikinci bölümde konu ile alakalı güncel çalışmalara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde Bitcoin madenciliği ve madencilik donanımları ile ilgili bilgi verilmiş, bazı kripto paraların madencilik maliyetleri ve enerji tüketimi açısından karşılaştırılması yapılmıştır. Dördüncü bölümde dünya ülkelerindeki kripto para madenciliği faaliyetlerine değindikten sonra, beşinci bölümde Bitcoin'in enerji tüketimi ve çevresel boyutlarına değinilmiştir. Çalışmanın sonuç kısmında konu ile ilgili politikalara ve bazı önerilere yer verilmiştir.

1. Literatür İncelemesi

Literatürde bazı araştırmalar Bitcoin madenciliğinin tükettiği enerjiyi tam olarak tahmin etmeye çalışırken, bazı çalışmalar da Bitcoin madenciliği ve madencilik geliri arasındaki ilişkiyi araştırmaktadır.

Hayes (2016) çalışmasında Bitcoin'e dğer vermek için önerilen marjinal bir üretim maliyeti modelini test etmiştir. Hem geleneksel regresyon hem de vektör otoregresyon (VAR) modellerinden elde edilen sonuçlar, marjinal üretim maliyetinin Bitcoin fiyatlarının açıklanmasında önemli bir rol oynadığını ve Bitcoin'lerin esasen değersiz olduğu yönündeki son iddiaların geçersiz olduğunu göstermektedir. Piyasa fiyatlandırması Bitcoin'in her biri binlerce dolar olsa bile, değerleme modeli sağlam görünmektedir. Veriler, 2017 sonbaharında başlayan bir fiyat balonunun, marjinal maliyet modeliyle birleşerek 2018'in başlarında kendini çözdüğünü göstermektedir. Bu, Bitcoin piyasasında kabarcıklar görünebilirken, fiyatların bu sınıra gönderileceğini ve sıfıra düşmeyeceğini gösterir.

Delgado-Mohatar vd. (2019) Bitcoinağının enerji tüketimini tahmin etmeye ve zaman içinde Bitcoin üretim maliyetini hesaplamaya çalışmışlardır. Çalışmada Haziran 2018 tarihi Bitcoin madenciliği için bir dönümnoktası olarakbelirlenmiştir. Bu dönemde Bitcoin madenciliği, Bitcoin fiyatlarının marjinal maliyetinin altına düşmesinden dolayı elektrik maliyetleri kilowatt saat için 0.14 doların üzerinde olan madenciler için karlı olmadığı tahmin edilmiştir.

Das ve Dutta (2020) çalışmalarında Bitcoin'inenerji tüketimi ile madenci geliri arasındaki ilişkiyi inceleyerek kripto para literatürüne yeni bir boyut kazandırmıştır. Kuantil ve Markov rejim değiştirme regresyonuna başvurarak, bu değişkenler arasında negatif bir ilişki bulmuşlardır. Ayrıca madencinin gelirleri düşük ve değişken olduğunda negatif etkinin oldukça önemli olduğunu vurgulamışlardır. Dolayısıyla ucuz enerji kaynaklarına ve verimli madencilik donanımına güvenilmediği sürece işi sürdürmek uygun olmayacaktır.

Li vd.(2019) çalışmalarında kripto para birimlerinin dünya çapında giderek daha sık kullanılacağını ve blok zinciri uygulamalarının yenilenebilir enerji pazarını yeniden şekillendireceğini tahmin etmektedir. Yazarlar kripto para birimlerinin güç kullanımını kapsayan çalışmaların eksik olduğunu savunmaktadır. Çalışmalarında dokuz tür kripto para birimi ve on algoritma madencilik verimliliği üzerine deneyler yapılmıştır. Bir kıyaslamadaki verilerin istatistiksel analizi ile Monero madenciliğinin deney sonuçlarının karşılaştırması yapılmıştır. Daha sonra Monero madencilik faaliyetinin küresel elektrik tüketiminin bir tahminini sağlamışlardır. Sonuçlar, hash algoritmasının temel olarak madencilik verimliliğini belirlediğini göstermiştir. Yazarlara göre kripto para madenciliği ve blok zinciri teknolojisi umut verici olsa da, enerji tüketimi ve sürdürülebilir kalkınma üzerindeki etkileri daha fazla incelenmelidir.

De Vries (2020) çalışmasında, son yıllarda Bitcoin madenciliğinin kaynak yoğunluğu arttıkça, sağlık ve iklim üzerindeki potansiyel etkisinin ciddi bir endişe haline geldiğini vurgulamaktadır. Bu bağlamda, doğru bilgiye ihtiyaç artmaktadır. Çeşitli kuruluşlar, sorunun aciliyetini uygun şekilde değerlendirmek, bu konuda doğru politika uygulamak ve olumsuz etkileri azaltma programlarını oluşturmak gibi birçok amaç için doğru bilgiye ihtiyaç duyar. Çalışmada madenciliğin karlılığı 2019'da zirveye ulaştığı, piyasa katılımcılarının bu süreçte düşük satın alma maliyetlerine sahip eski nesil cihazları kullandığı tespit

edilmiştir. Bununla birlikte madencilik maliyetlerinin elektrik fiyatlarındaki mevsimsel ve coğrafi değişimler gibi piyasa koşullarını da değiştirdiği öne sürülmektedir.

Huynh vd., (2021) çalışmasında enerji tüketimi ile Bitcoin piyasası arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Varyans ayrışmalarını günlük veriler için gerçekleşen yarı değişkenlerle birlikte kullanarak, Bitcoin enerji tüketimi ile getirileri ve hacimleri arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Sonuçlara göre, Bitcoin işlem hacimlerinden enerji tüketimine olan etki, uzun vadede getirilere olan etkiden daha yüksektir. Ayrıca Bitcoin getirileri ve hacmi üzerinde enerjinin tahmin gücünü bulmuştur. Son olarak, kripto para ekosistemlerine karbon ayak izlerini engellemek için sürdürülebilir bir şekilde yenilik yapma konusunda girişimler gerektiği vurgulanmıştır.

Corbet vd., (2021) çalışmalarında kripto para işlemlerinin yıllık elektrik tüketiminin, madencilikteki artan zorlukla beraber, bu gelişen finansal varlığın yüksek fiyatlarından etkilenen çok sayıda yeni piyasa katılımcısı nedeniyle de önemli ölçüde arttığını savunmaktadır.Madencilikten elde edilen toplam karbon üretimi, bireysel gelişmiş ülkelerin ürettiğini aşmaktadır. Yazarlara göre bu, artık sürdürülemez olsa da kripto para piyasalarında geçerli ve kabul gören bir özelliktir. Çalışmada Bitcoin fiyat oynaklığının ve kripto para madenciliği özelliklerinin altında yatan dinamiklerin, temel enerji piyasalarını ve kamu hizmeti şirketlerini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Sonuçlar, kripto para birimi enerji kullanımının, yetki alanlarına göre ayrılmış olarak enerji sektöründeki bazı şirketlerin performansı üzerinde sürdürülebilir ve önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir ve kripto para birimi büyümesinin çevresel etkilerinin daha fazla değerlendirilmesinin önemini vurgulamaktadır.

Ayrıca literatürde kripto para birimlerinin yasal, etik ve teknolojik yönleri (Cheah ve Fry, 2015; Bariviera vd.,2017; Vandezande, 2017), bilgisayar programlama meraklıları tarafından yasadışı faaliyetlerde kullanılması (Yelowitz ve Wilson, 2015), siber saldırılar (Moore ve Christin, 2013), kripto para birimlerinin riskten korunma ve güvenli liman olma özellikleri (Dyhrberg, 2016a; Dyhrberg,2016b; Vassiliadis vd.,2017; Bouri vd.,2017), spekülasyon ve getiri-hacim ilişkileri, (Yermack, 2013; Glaser vd., 2014; Blau, 2017), piyasa etkinliği (Urquhart, 2016; Bariviera, 2017) araştırılmıştır. Bununla birlikte Bitcoin fiyatının diğer finansal varlık fiyatları arasındaki ilişkisini araştıran çok sayıda çalışma mevcuttur (Selmi VD., 2018; Gajardo VD., 2018; Corbet vd., 2018; Jin VD.,2019; Pal ve Mitra, 2019; Gkillas VD., 2020; Das VD., 2020; Syzdykova ve Azretbergenova, 2021; Naeem ve Karim, 2021).

Cheah ve Fry (2015) çalışmalarında kripto para birimlerinin önemli spekülatif balonlara eğilimli olduğunu iddia etmektedir. Blau (2017), Bitcoin'in yüksek fiyat oynaklığının yüksek spekülatif aktivite ile ilgili olmadığını savunmuştur. Kripto para birimlerinin oynaklığı Katsiampa (2017), Fry ve Cheah (2016) ve Pieters ve Vivanco (2017) tarafından da analiz edilmiştir. Sonuçların belirsizliği, kripto para birimlerinin spekülatif bir yatırım varlığı mı yoksa bir para birimi mi olduğu konusundaki tartışmaları artırmaktadır. Urquhart (2016), Bitcoin'in verimsiz bir pazar olduğunu belirtirken, Bariviera vd., (2017) ise kripto para birimlerinin bir paranın geleneksel özelliklerini zar zor yerine getirdiğini vurgulamaktadır. Vandezande (2017) çalışmasında kripto para birimleri ile ilgili riskleri ve düzenleyici karmaşıklıkları ve boşlukları tartışmıştır. Sonuç olarak, politika yapıcıları ve düzenleyici kurumları kripto para birimlerinin bir yatırım varlığı olarak diğer varlıklarla ilgili mevcut davranışlarını analiz etmenin giderek daha önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

Briere vd., (2015) çalışmalarında Bitcoin ile çeşitli geleneksel varlıklar (dünya çapında hisse senedi endeksleri, tahviller, fiat para birimleri) ve geleneksel olmayan varlıklar (emtialar, hedge fonları, gayrimenkul) arasındaki korelasyonu incelemişlerdir. Bulgulara göre Bitcoin'in yüksek düzeyde oynaklık sergilemesine rağmen, iyi çeşitlendirilmiş portföylerin %3'lik kısmı Bitcoin yatırımına tahsis edilebilir. Ji vd., (2017) yönlendirilmiş bir döngüsel olmayan grafik yaklaşımı kullanarak Bitcoin'in geleneksel varlıklardan izolasyonu nedeniyle çeşitlendirmede yararlı olduğunu ortaya koymuşlardır.

Dyhrberg (2016a), tek değişkenli GARCH modelini kullanarak yaptığı çalışmasında Bitcoin'in Birleşik Krallık para birimi ve hisse senetlerindeki hareketlere karşı korunma kabiliyetine işaret etmiştir. Kukla

değişkenlerle güçlendirilmiş regresyon modellerini kullanan Bouri vd., (2017b), Baur vd.,(2015) ve Brière vd., (2015) bulgularını doğrulamışlardır. Spesifik olarak, Bitcoin'in enerji emtialarındaki hareketlere karşı gerçekten etkili bir çeşitlendirici olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Ancak yazarlar, farklı piyasa koşullarında getiri ve oynaklık ilişkilerini dikkate almamış ve doğrusal olmayan ve asimetrik yönleri gözden kaçırmıştır. Bouri vd., (2017a), dalgacık tabanlı bir yaklaşım uyguladığı çalışmalarında Bitcoin'in gelişmiş ve gelişmekte olan piyasaların zımni volatilite endeksleriyle ölçüldüğü üzere küresel belirsizliğe karşı bir korunma olduğunu belirtmişlerdir.

2. Bitcoin madenciliği için donanımın gelişimi, madencilik maliyetleri açısından kripto paraların karşılaştırılması

Bitcoin ve diğer kripto para birimlerinin temelinde madencilik uygulaması yer alır. Madencilik, ağı güvence altına alan, ödüller sağlayan ve merkezi olmayan kripto para birimi değerlerinin anahtarı olan mekanizmadır. Madencilik, blok zincirine işlemler ekler ve yeni Bitcoin'in kilidini açar (Mukhopadhyay vd., 2016). Bitcoin madenciliği, güçlü bir finansal teşvik sunduğu için caziptir. Madenci, çıkarılan her blok için bir blok ödülü ve bloktaki işlemlerin işlem ücretlerini alır. Bitcoin popülerlik kazandıkça madenciler arasında yarış vardır. Bitcoin madencileri başlangıçta genel amaçlı bilgisayarlar kullanmış, ancak hızla daha düşük enerji maliyetleriyle (Joule başına hesaplanan karma sayısıyla ölçülen enerji verimliliği açısından) daha yüksek performans sunan (saniyede hesaplanan hash sayısı (h) ile ölçülen hash oranı cinsinden) daha özel donanımlara geçmiştir. Bitcoin madenciliği için özel donanımlar dikkate değer bir şekilde gelişmiş ve Bitcoin madencileri, donanım ve yazılım geliştirmeyi bile kendileri finanse etmektedir (Magaki vd.,2016).

Bitcoin madenciliği donanımı dört nesil görmüştür (Tablo 1). Başlangıçta madenciler, gerçek hesaplamaların Merkezi İşlem Birimi (Central Processing Unit-CPU) tarafından gerçekleştirildiği genel amaçlı bilgisayarlar kullanmıştır. Modern CPU'lar yazılımı belirli bir miktarda paralellikle çalıştırabilir ve çok çekirdekli CPU'larda paralel olarak birden çok iş parçacığı yürütülebilse de, bunlar Bitcoin madenciliği için optimize edilmemiştir. CPU kullanan bu ilk nesil Bitcoin madenciliği donanımı, gücü en az ve en az enerji verimlidir. Madenciliğin zorluğu arttıkça, CPU'ların işletim maliyetleri madencilikten elde edilen karı aşmıştır. İkinci nesil, Bitcoin madencilerinin bilgisayarlarının grafik kartlarında Grafik İşlem Birimi (Graphics Processing Unit -GPU) kullanmaya başladığı 2010 yılının sonunda meydana gelmiştir. Bu GPU'lar, Bitcoin madenciliği için verimli bir şekilde kullanılabilen çok sayıda paralellikle karmaşık grafik hesaplamaları yapmak üzere tasarlanmıştır. GPU'lar, CPU'lardan daha yüksek hash oranları ve daha iyi enerji verimliliği sunabilmiştir (Vranken, 2017).

GPU'ların kullanımı daha yaygın hale geldikçe, Bitcoin madencileri daha güçlü ve daha verimli alternatifler aramaya başlamış, 2011'in ortalarında üçüncü nesil ortaya çıkmıştır. Üçüncü nesilde madenciler Alanda Programlanabilir Kapı Dizilerine (Field Programmable Gate Arrays -FGPA) geçmiştir (Vranken, 2017). Bitcoin madencileri, daha düşük güç tüketiminde hash oranlarını daha da artırmaya izin veren madenciliği desteklemek için FPGA'ları özelleştirmeye çalışmış, böylece dördüncü nesil hızlı bir şekilde ortaya çıktığı için FPGA'ların popülaritesi kısa sürmüştür (Taylor, 2017).

Dördüncü nesil, karma hesaplamaları olabildiğince verimli bir şekilde gerçekleştirmek için optimize edilmiş özel devreler içeren Uygulamaya Özel Entegre Devrelerin (Application-Specific Integrated Circuits -ASICs) tanıtımıyla 2013'ün başlarında ortaya çıkmıştır (Vranken, 2017). Butterfly Labs, ASICMiner ve Avalon, çevrimiçi ön satışlarla finanse edilen Bitcoin madenciliği için ASIC'leri sağlayan ilk şirketlerdir. Daha büyük sermayeye sahip diğer şirketler, gelişmiş teknoloji ile gelecek nesil ASIC'leri hızla takip etmiş ve geliştirmiştir. Şu anda en gelişmiş teknolojiler, yalnızca ASIC'leri düşük maliyetli enerji ve soğutmaya sahip alanlarda bulunan, kendi veri merkezlerinde çalıştıran çip üreticileri tarafından kullanılmaktadır (Taylor, 2017; Vranken, 2017). Bununla birlikte, Bitcoin madenciliği endüstrisi çok rekabetçidir. Örneğin, İsveç şirketi KnCminer, yerel kaynaklı hidroelektrik gücünden ve soğuk havadan son derece düşük maliyetle yararlanmak için Kuzey Kutbu dairesinde bulunan veri merkezlerini işletmiş, ancak yine de 2016 yılının ortalarında iflas etmiştir (Fintech

Futures, 2016). Ayrıca birçok büyük madenci, hidroelektrik barajlar (Çin, Gürcistan Cumhuriyeti) ve jeotermal enerji santralleri (İzlanda) gibi ucuz elektrik kaynaklarının yakınında bulunmaktadır (Vranken, 2017).

Tablo 1: Dört Nesil Bitcoin Madenciliği Donanımının Hash Oranı ve Enerji Verimliliği

Donanım	Tanıtım	Hash oranı (h/s)	Enerji verimliliği (h/J)
CPU	2009	10^5–10^8	10^4–10^5
GPU	2010 sonu	10^6–10^9	10^5–10^6
FPGA	2011 ortası	10^8–10^{10}	10^7
ASIC	2013'ün başları	10^{10}–10^{13}	10^8–10^{10}

Kaynak: Vranken, 2017.

Esas olarak, Bitcoin madencilği donanımı için sermaye harcamasının yanındaki ana maliyetler, enerji maliyetleri olan donanımı çalıştımanın işletme maliyetleridir. Söz konusu maliyetler Bitcoin ve diğer kripto para birimlerinde farklılık göstermektedir. Dolayısıyla kripto para birimlerinin madencilere sağladığı karlılık oranları da değişmektedir. Tablo 2'ye bakıldığında madenciler için karlılığı en yüksek kripto paraların ETH ve XMR olduğu görülmektedir.

Tablo 2: BTC, ETH, ETC, XMR, DASH ve LTC için Enerji Tüketimi ve Madencilik Karlılığı

Gösterge	BTC	ETH	ETC	XMR	DASH	LTC
Kapanış fiyatı	41,757.82	3,164.83	32.21	202.32	129.51	141.33
Karlılık	98%	2,079%	375%	-11%	25%	381%
Günlük kar	4.28	8.38	10.81	-0.4	0.8047	10.99
Günlük havuz ücreti	0.08683	0.08875	0.1383	0.03128	0.04042	0.1401
Üretim/gün	0.0002075	0.002804	0.4292	0.01546	0.03121	0.09914
Üretim maliyeti/gün	4.32	0.4032	2.88	3.46	3.20	2.88
Haftalık kar	29.94	58.68	75.65	-2.52	5.63	76.94
Haftalık havuz ücreti	0.6078	0.6213	0.9678	0.2189	0.2829	0.9808
Üretim/hafta	0.001452	0.01963	3.00	0.1082	0.2185	0.6940
Üretim maliyeti/hafta	30.24	2.82	20.16	24.19	22.38	20.16
Aylık kar	128.30	251.50	324.20	-10.79	24.14	329.76
Aylık havuz ücreti	2.61	2.66	4.15	0.9383	1.21	4.20
Üretim/ay	0.006225	0.08413	12.88	0.4638	0.9363	2.97
Üretim maliyeti/ay	129.60	12.10	86.40	103.68	95.90	86.40
Yıllık kar	1,560.95	3,059.86	3,944.47	-131.24	293.72	4,012.02
Yılllık havuz ücreti	31.69	32.39	50.46	11.42	14.75	51.14
Üretim/yıl	0.07573	1.02	156.66	5.64	11.39	36.19
Üretim maliyeti/yıl	1,576.80	147.17	1,051.20	1,261.44	1,166.83	1,051.20

Kaynak: https://www.cryptocompare.com/mining/ Erişim: 18 Ocak 2022.

Not: KWh başına hesaplanan madencilik maliyetleri 0.12 ABD doları, Havuz ücreti ise %1[1].

[1]Madencilik havuzu, bir blok bulma veya kripto para birimi için başarılı bir şekilde madencilik yapma olasılığını güçlendirmek için hesaplama kaynaklarını bir ağ üzerinden birleştiren ortak bir kripto para birimi madencileri grubudur. Madenciler, belirli

3.Dünya Ülkelerindeki Madencilik Faaliyetleri

Madencilik, karmaşık matematik problemlerini çözen bilgisayarları içerdiğinden, elektriğin bol ve uygun fiyatlı olduğu, teknolojinin mevcut olduğu ve internet bağlantısının sorun olmadığı alanlarda yapılır (Hari ve Sai, 2015; Aslan vd.,2019; Taghdiri, 2020). Ayrıca, Bitcoin madenciliği etrafındaki düzenleyici ortam, ülkeden ülkeye ve aslında yıldan yıla farklılık göstermektedir (Kliber vd., 2019).

Madencilik, dünyanın her yerinde, genellikle bol miktarda ucuz enerjinin olduğu yerlerde gerçekleşmektedir. Yıllardır, Bitcoin madenciliğinin çoğu Çin'de iken, son zamanlarda ülke birtakım düzenlemeler ve yasaklar getirmiştir. Cambridge Üniversitesi'nde Bitcoin madenciliğini takip eden araştırmacılar, Çin'in küresel Bitcoin madenciliği payının 2019'un sonunda, yüzde 75'ten yüzde 46'ya düştüğünü 2021 yılının Nisan ayında rapor etmiştir. Aynı dönemde ABD'nin madencilikteki payı yüzde 4'ten yüzde 16'ya yükselmiştir (Rauchs, 2021). Bitcoin fiyatı Kasım 2021 tarihinde, tüm zamanların en yüksek seviyesi olan 69.000 ABD dolarına tırmanmadan önce Eylül ayında önemli ölçüde düşmüştür. Çin'in devreye soktuğu bu düzenlemelere rağmen kripto madenciliğinde hâlâ önemli bir ülkedir (Aslan vd.,2019).

Daha önce en büyük Bitcoin madenciliği endüstrisine sahip ülke olan Çin, hem kripto para madenciliğini hem de işlemlerini yasakladığı için, büyük Bitcoin madencileri farklı ülkelere yönelmektedir. Madencilerin büyük bir kısmının kömür zengini Kazakistan'a ve ucuz ama sorunlu Teksas elektrik şebekesine taşındığı bilinmektedir. Ağustos 2021 tarihi itibarıyla 201.7 milyon dolar yatırım çeken Kazakistan'ın 20 kripto para madencilik çiftliği bulunmaktadır (https://thediplomat.com/). Ağustos 2021 itibarıyla Kazakistan, küresel Bitcoin madenciliğinin %18'ine ev sahipliği yaparak ABD'den sonra ikinci sırada yer almaktadır. Ancak, 3 Ocak 2022 tarihinde Kazakistan'da gaz fiyatının ikiye katlanmasının ardından başlayan protestolar yüzünden ülke genelinde internetin kapatılmasıyla kripto madenciliği çok zarar görmüştür. Hükümet protestocular arasındaki iletişimi bozmak amacıyla ülke çapında neredeyse 1 hafta interneti kapatmış, bu süreçte madencinin hesaplama gücünü yok etmiştir. Dünya çapındaki kripto madenciliğinin %18'inin ortadan kaldırılmasıyla birlikte kripto para piyasası da zarar görmüştür. 10 Ocak 2022 tarihinde Kasım ayına kıyasla Bitcoin'in fiyatı %41 düşmüştür.

Rusya Bitcoin madenciliğinde üçüncü sıradadır. Rusya Merkez Bankası tarafından Ağustos 2021'de hazırlanan raporda, dünyada yapılan kripto para madenciliğinin yüzde 11'inin Rusya'da gerçekleştirildiği ortaya çıkmıştır. Ancak, Rusya Merkez Bankası 20 Ocak 2022 tarihinde yayınladığı raporda kripto para birimlerinin madenciliğini, oluşturulmasını ve kullanımını yasaklamayı önermiştir. Merkez Bankası, kripto para birimlerinin yayılmasının Rusya'nın finansal sistemi ve Rus rublesinin istikrarı için bir tehlike oluşturduğunu savunmaktadır. Rusya, yıllarca kripto para birimlerinin terörizmi ve kara para aklamayı finanse etmek için kullanıldığını iddia etmektedir. Önerilen yasağın bu tehditleri azaltması beklenmektedir.

ABD'ye gelince kripto para madenciliğinde önemli bir ülkedir. ABD, diğer bazı ülkelere göre oldukça uygun fiyatlı elektrik sunmaktadır, ancak rakamlar eyaletten eyalete değişmektedir.Madencilik için elektiriğin en uygun fiyattan sunulduğu eyaletler, Louisiana, Idaho, Washington, Tennessee ve Arkansas eyaletleridir. Yasal çerçeve ve gelecekteki beklentiler konusunda bir miktar kafa karışıklığı olmasına rağmen, madencilik az çok düzenlemeye tabi tutulmuştur. Bu açıdan kripto para madenciliğinden kâr elde etmek için uygun bir yer olmaya devam etmektedir.

Latın Amerika ülkelerinden Venezuela, büyük ölçüde ucuz enerji fiyatları sayesinde Bitcoin madencileri için favori bir yerdir. Fakat son zamanlarda, siyasi istikrarsızlık ve sosyal kargaşa ülkedeki

---

bir havuza katılmaya karar vermeden önce, her havuzun ödemelerini üyeler arasında nasıl paylaştığına ve varsa hangi ücretleri talep ettiğine dikkat ederler. Tipik olarak, havuzlar havuz ücreti olarak %1 ile %3 arasında ücret alabilir (Liu vd., 2018:760-763).

bütün yaşamı etkilediği gibi yaşamın kripto para madenciliğini de etkilemiştir. Hiperenflasyon, birçok kişiyi Bitcoin'e inanmaya teşvik etse de, hükümet ve eleştirmenler kripto para biriminin kullanımı ve geleceği konusunda şüpheci olmaya devam etmektedir. Fakat buna rağmen Venezuela kendi kripto para birimi olan Petro'yu başlatmıştır. Petro Aralık 2017'de ilan edilen, petrol ve minerallerle desteklenen, bolivar para birimine sabitlenen dijital para birimidir. 20 Şubat 2018'de Venezuela hükümeti tarafından Petro serbest bırakılmıştır. ICO'nun bir parçası olarak, Petro Rus rublesi, Bitcoin, NEM ve Ethereum ile takas edilebilir. 17 Ocak 2022 tarihinde bir adet Petro'nun fiyatı yaklaşık 56 ABD dolarıdır (https://www.petro.gob.ve/en/).

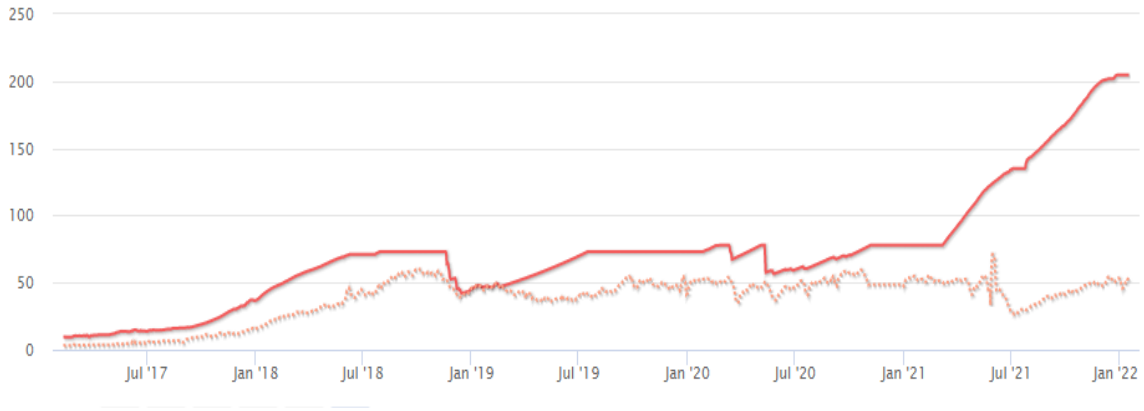
Kripro para madenciliğinde diğer önemli bir ülke İzlanda'dır. İzlanda hem coğrafi hem de politik olarak Çin'den çok uzakta, küçük bir ada ülkesidir. Ülkenin hidroelektrik ve jeotermal enerji santralleri, bol miktarda uygun fiyatlı enerji yaratarak, Genesis Madencilik de dahil olmak üzere madencilerin akınına neden olmaktadır. Kripto madenciliği ekipmanı yalnızca büyük miktarda enerji gerektirmekle kalmaz, aynı zamanda büyük miktarda ısı da üretir. Dolayısıyla ekipmanın soğutulması gereklidir ve bu İzlanda gibi soğuk bir ülkede kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Güçlü bir teknoloji ortamı, risk sermayesinin varlığı ve "dostane" bir düzenleyici ortam, İzlanda'yı madencilik için tercih edilen bir yer haline getirmektedir.

4.Bitcoin'in Enerji Tüketimi ve Çevresel Boyutları

Bitcoin'in ilk defa duyulmaya başladığı 2009 yılında evde kullanılan normal masa üstü bilgisayarla Bitcoin madenciliği yapılabilirken, üretimde harcanan elektrik miktarı ise önemsiz seviyededir.2009 yılında Bitcoin'in değeri ise 1 dolar bile değildi. Fakat bugün Bitcoin üretebilmek için her biri binlerce dolara mal olan özel makinelerle dolu bir odaya (veya çiftlik) ihtiyaç duyulmaktadır ve üretim için devasa elektrik harcanmaktadır. Bu çiftliklerde hızlı işlemcili bilgisayarlar, bunların verilen algoritmaları etkin bir şekilde çözmesine yardımcı olan ya da optimum çalışmalarını sağlayan özel entegrasyon sistemleri ve soğutucular kullanılmaktadır (Aslan vd.,2019).

1 birim Bitcoin madenciliği için yaklaşık 72.000 kw elektrik tüketilmektedir. Digiconomist.net Bitcoin'in enerji tüketimine ilişkin verileri yayınlamaktadır. Buna göre, Bitcoin ağı tarafından tahmini yıllık elektrik tüketimi 204.5 TWh'dır ve bu küresel tüketimin %0,88'ine eşittir (Şekil 1). Bitcoin yılda yaklaşık 10,2 milyar dolarlık enerji maliyetiyle 14,6 milyar dolarlık kar üretmektedir. Tablo 2'den görüldüğü gibi, Bitcoin saniyede 3-7 arasında bir işlem hızına sahiptir ve ortalama onay süresi 60 dakikadır. Ethereum ise saniyede 15-25 arasında bir işlem hızına sahiptir ve ortalama onay süresi 6 dakikadır. Ethereum hız bakımından Bitcoin'e kıyasla daha üstündür. Bununla birliktebirkaç saniyede 1 000'den fazla işlemin gerçekleştirildiği Ripple, Stellar ve IOTA kripto paraları hız bakımından en üstün kripto paralardır. İşlem hızı ne kadar yüksek olursa, belirli bir süre içinde işlenecek işlem sayısı o kadar fazla olacak ve işlevsellik artacaktır. Teorik olarak hız, blok başına yapılabilecek maksimum işlem sayısının ağ üzerinden aktarılan verilere bölünmesiyle hesaplanır.

Şekil 1: Bitcoin'in Enerji Tüketimi (yıllık TWh)



Kaynak: https://digiconomist.net/Bitcoin-energy-consumption Erişim: 07.01.2022

Bitcoin birçok Avrupa ülkesinden daha fazla enerji tüketmektedir. Tablo 1'deki verilere göre kıyaslama yapıldığında; küresel elektrik tüketiminde Çin ilk sıraya yerleşmektedir. Dünyada Çin'den sonra en çok elektrik tüketen ülkelerin sıralamasında (2020) Çin'i ABD, Hindistan, Rusya, Japonya, Kanada, Brezilya, Güney Kore, Almanya ve Fransa izlemektedir. Türkiye ve Kazakistan'ın yıllık elektrik tüketimi sırasıyla 259 ve 92 TWh'dir. Türkiye yıllık elektrik tüketimi ile dünyada 17.sırada iken, Kazakistan 32.sıradadır. Bitcoin'in yıllık harcadığı enerji, Türkiye'nin toplam elektrik tüketiminin %78,7'sine denk gelmektedir. Kazakistan'a kıyasla Bitcoin madenciliğinin yıllık elektrik tüketimi ise 2,21 kat daha fazladır.

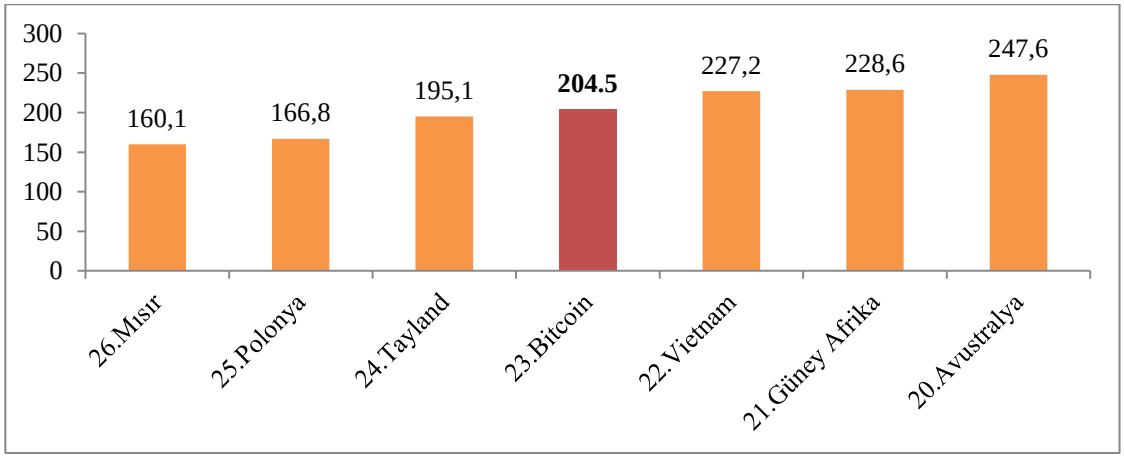
Tüm Bitcoin madencileri tek bir ülkede birleştirilirse yani eğer Bitcoin bir ülke olsaydı, tüketilen elektrik miktarı açısından diğer ülkeler arasında 23.sırada yer alacaktır (Şekil 2). Bir yandan, örneğin 2020 yılında yaklaşık 29TWh elektrik tüketen Nijerya ile karşılaştırıldığında, Bitcoinlerin büyük ölçekte elektrik tükettiği görülebilir. Bitcoin tarafından tüketilen enerji miktarının büyüklüğünü anlamak için VISA ödeme sistemi ile karşılaştıma yapılabilir. VISA 50.000 hanenin tüketimine eşdeğer miktarda enerji tüketirken, Bitcoin ise 3 milyondan fazla hanenin enerji eşdeğerini tüketir.

Tablo 3: Ülkelerin Elektrik Tüketimi (TWh)

Sıra	**Ülkeler**	**2000**	**2005**	**2010**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2000 - 2020 değişim (%)**
	Dünya	13181	15685	18547	20981	21642	22270	23174	23430	23176	2.9
1	Çin	1138	2126	3626	5103	5407	5784	6269	6549	6752	9.3
2	ABD	3590	3811	3894	3895	3922	3887	4043	3996	3842	0.3
3	Hindistan	369	482	723	1023	1103	1159	1207	1218	1191	6.0
4	Rusya	693	760	851	877	898	905	926	930	906	1.3
5	Japonya	986	1040	1051	965	965	980	961	934	905	-0.4
6	Kanada	514	535	520	545	541	561	572	575	556	0.4
7	Brezilya	329	371	459	514	514	520	531	538	530	2.4
8	Güney Kore	263	358	458	507	530	538	545	538	526	3.5
9	Almanya	501	539	547	528	531	531	523	512	489	-0.1
10	Fransa	410	451	472	445	454	450	448	444	424	0.2
17	*Türkiye*	*98*	*130*	*172*	*217*	*231*	*249*	*258*	*257*	*259*	*5.0*
32	*Kazakistan*	*39*	*49*	*65*	*74*	*75*	*85*	*88*	*90*	*92*	*4.5*

Kaynak: https://eneroutlook.enerdata.net Erişim tarihi: 15.12.2021

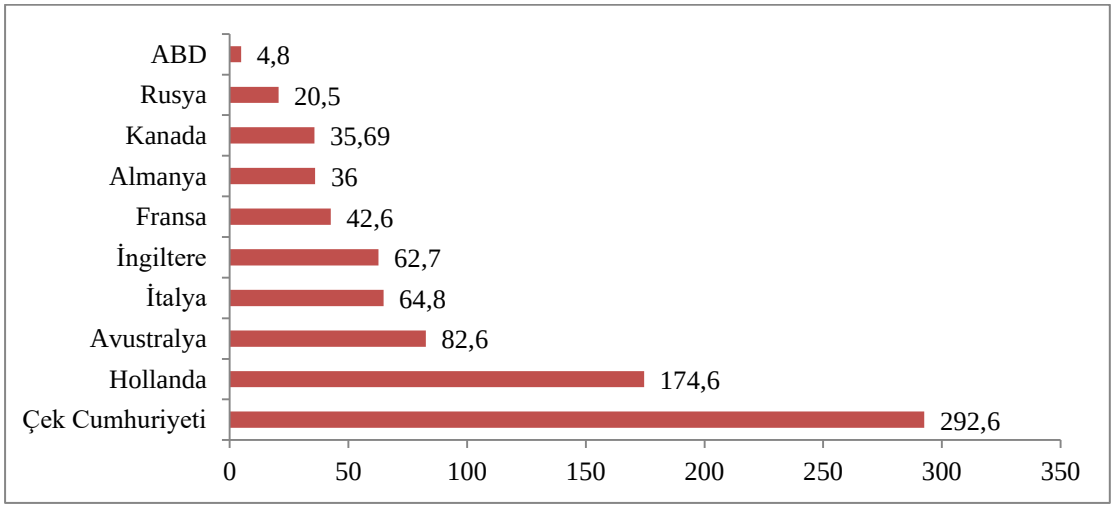
Şekil 2: Ülkelerin Enerji Tüketimi Sıralamasında Bitcoin'in Yeri



Kaynak: digiconomist.net verileri ile yazar oluşturmuştur.

Önceki karşılaştırmanın yanı sıra, Bitcoin'in enerji tüketimini dünyanın en büyük enerji tüketen ülkelerinden bazılarıyla karşılaştırmak da mümkündür (Şekil 3). Buna göre Bitcoin ABD'nin tükettiği elektrik miktarının yaklaşık %4.8'ini, Rusya'nın tükettiği elektriğin %20'sini tüketirken, Çek Cumhuriyetinin tükettiği elektriğin yaklaşık 3 katını tüketmektedir.

Şekil 3: Bitcoin'in Tükettiği Enerjinin Ülkelerin Enerji Tüketimi İle Karşılaştırılması



Kaynak: digiconomist.net verileri ile yazar oluşturmuştur.

Burada Bitcoinin enerji tüketiminin dışında dikkat edilmesi gereken başka önemli husus; dünyada Bitcoin madenlerinden kaynaklanan karbon salımlarının hızla artmasıdır. Jiang vd.,(2021) çalışmasında 2024'te Bitcoin madenciliğinin elektrik tüketimi 296,59 TWh ile zirveye ulaşması ve buna karşılık 130,50 milyon metrik ton karbon emisyonu üreteceği tahmin edilmektedir. Uluslararası olarak bu emisyon çıktısı, Çek Cumhuriyeti ve Katar'ın yıllık toplam sera gazı emisyon çıktısını aşacaktır. Sanayi devriminin arkasında, talebin niteliksel özellikleri değişmektedir. Bu nedenle, özellikle elektrik üretiminin çevre dostu olması önemlidir. Uluslararası enerji Ajansı'nın verilerine atıfta bulunan uzmanlar, elektriğin antropojenik sera gazı emisyonlarının %42'sinin kaynağı olduğunu ve bunun yalnızca küresel ısınmaya değil, aynı zamanda sağlık alanında çevresel ve sosyal

programların uygulanmasına yönelik hükümet ve işletme harcamalarında artışa neden olduğunu belirtmektedir.

Diğer yandan Bitcoin madenciliği, emisyonlardan daha fazlasını ifade etmektedir. Bitcoin üretiminden kaynaklı donanım da birikmektedir. Madenciler, yüksek ciroya ve yeni bir e-atık sorununa neden olan en yeni, en hızlı makineleri kullanırlar. De Vries ve Stoll'e (2020) göre, her bir buçuk yılda bir madencilik donanımının hesaplama gücünün iki katına çıktığını ve eski makinelerin modası geçmiş hale geldiğini tahmin etmektedir. Tahminlere göre, 2021 yılının başında Bitcoin tek başına birçok orta ölçekli ülkeden daha fazla e-atık üretmiştir. Kripto para birimlerinin sürdürülebilirliğini izleyen bir site olan Digiconomist'i yöneten De Vries, "Bitcoin madencileri bu sorunu tamamen görmezden geliyorlar, çünkü bir çözümleri yok" şeklinde açıklama yapmıştır.

Buna karşın Bitcoin'in, rüzgar, güneş veya hidroelektrik gibi daha fazla yenilenebilir enerji kaynağı kullanılarak üretilmesi gündemde tartışılan konulardan biridir. Fakat Bitcoin'in doğası gereği, Bitcoin madenciliğinin tam olarak ne kadarının yenilenebilir kaynaklar tarafından desteklendiğini anlamak zor (Malfuzi vd.,2020). Küresel olarak, Bitcoin'in yenilenebilir enerji kullanımına ilişkin tahminler yaklaşık %40 ile neredeyse %75 arasında değişmektedir (The New York Times, 2021). Buna karşın De Vries (2019)'e göre yenilenebilir enerji tüketimi Bitcoin'in sürdürülebilirlik problemini ortadan kaldıramaz. Ancak bazı araştırmalar, kripto para birimi madencilerinin daha düşük karbonlu enerjinin dağıtımını iltifat edecek şekilde çalışmaya istekli olmaları durumunda bu sorunların bazılarını hafifletmek için olası yollar olduğunu göstermektedir.

Öngörülebilir gelecekte, Bitcoin'in enerji tüketimi, fiyatı olduğu sürece değişken kalacaktır. Bitcoin madenciliği kazma ve baret içermese de, tamamen dijital bir soyutlama da değildir; fosil yakıtların, elektrik şebekelerinin ve emisyonların fiziksel dünyasıyla ve bugün içinde bulunduğumuz iklim kriziyle bağlantılıdır.

Sonuç

Bitcoin gibi kripto para birimlerinin madenciliği ve işlenmesi, enerji ve emisyon sorunlarını ortaya çıkarmaktadır, ancak yeni araştırmalar, kripto para birimi madencilerinin daha düşük karbonlu enerjinin dağıtımını iltifat edecek şekilde çalışmaya istekli olmaları durumunda, bu sorunların bazılarını hafifletmek için olası yollar olduğunu göstermektedir. Bazı araştırmacılara göre Bitcoin'in enerji talebi çevre dostu politikalarla eşleştirilirse, Bitcoin madenciliği aslında yeşildir. Hükümetler, kirliliği ve çevreye verilen zararı azaltmak için güçlü bir iradeye sahip olmaya odaklanmalıdır. Nükleer, hidro, rüzgâr ve güneş gibi sıfır karbonlu kaynaklarla Bitcoin madenciliği işlemlerini birlikte konumlandırmak, madenciliğin kendisiyle ilişkili karbon emisyonlarını azaltmaya yardımcı olabilir. Ortak yerleşim, talep ve fiyatlar düşükken elektriğini şebeke yerine madencilere daha yüksek bir fiyata satabilecek santrallere finansal bir destek de sağlayabilir. Bu tip hibrit enerji santrali/madeni ekonomik olmayan projeleri bile ekonomik hale getirebilir.

Diğer bir çözüm yolu; tüm madencilik çiftliklerinin zorunlu tescilinin ve kripto para birimlerinin madenciliğinde kullanılan elektriğin, kömür yardımı ile üretildiği bölgelerde özel bir «çevre» vergisinin getirilmesi olabilir. Böyle bir vergi, bir yandan yenilenebilir elektrik kaynaklarının kullanımı alanındaki gelişmeleri finanse etmeyi, diğer yandan da kömürle elektrik alan bölgeler ile alternatif kaynaklar kullanan bölgeler arasındaki madencilik maliyetindeki farkı en aza indirmeyi mümkün kılacaktır. Bu vergiyi uygulamak için uygun bir düzenleyici çerçeve geliştirilmeli, vergi tabanını ve oranını onaylamalı ve bu vergiyi ödemeyenlere idari ve cezai önlemler getirilmelidir. Vergi mükelleflerinin kontrolü devletin vergi makamları tarafından gerçekleştirilmeli ve madenciler tarafından aktarılan bilgilerin doğruluğunu kontrol etme işlevi enerji şirketlerine aktarılmalıdır. Bu nedenle, özel bir vergi, madencilerin faaliyetleri üzerinde net bir kontrol sistemi kurarken, ayrıca üretilen ısıyı kullanmak için önlemlerin alınması kripto para madenciliğinin olumsuz sonuçlarını en aza indirecektir. Yasaklayıcı

önlemler, aksine olumlu sonuçlara yol açmayacak, "gölge" madenciliğinin popülerleşmesine yol açabilecek ve ortaya çıkan kripto para piyasasının gelişimini yavaşlatabilecektir.

Çevresel etki bağlamında diğer bir sorun, Bitcoin madencilik teçhizatlarının kısa raf ömrü, önümüzdeki yıllarda önemli miktarda elektronik atık anlamına gelebilir. Bu problemin çözümünün ne olabileceği konusunda araştırmacıların henüz fikri yoktur.

Kaynakça

Amsyar, I., Christopher, E., Dithi, A., Khan, A. N.& Maulana, S. (2020). The challenge of cryptocurrency in the era of the digital revolution: A Review of Systematic Literature. *Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT),* 2(2), 153-159.

Aslan, M., Aslan, H. K.,& Neimi, M. (2019). İran'da kripto para. İran araştırmaları merkezi, https://is.gd/92X8Mb Erişim: 07.01.2022

Badea, L.,& Mungiu-Pupăzan, M. C. (2021). The economic and environmental impact of bitcoin. IEEE Access, 9, 48091-48104.

Bariviera, A. F. (2017). The inefficiency of Bitcoin revisited: A dynamic approach. *Economics Letters,* 161, 1-4.

Bariviera, A. F., Basgall, M. J., Hasperué, W.,& Naiouf, M. (2017). Some stylized facts of the Bitcoin market. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications,* 484, 82-90.

Baur, D., Lee, A.,& Hong, K. 2015. Bitcoin: Currency or investment? Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=2561183.

Blau, B. M. (2017). Price dynamics and speculative trading in Bitcoin. *Research in International Business and Finance,* 41, 493-499.

Bouri, E., Gupta, R., Tiwari, A.,& Roubaud, D. (2017a). Does Bitcoin hedge global uncertainty? Evidence from wavelet-based quantile-in-quantile regressions. *Finance Research Letters,* 23, 87-95.

Bouri, E., Jalkh, N., Molnár, P.,&Roubaud, D. (2017b). Bitcoin for energy commodities before and after the December 2013 crash: Diversifier, hedgeormore? *Applied Economics,* 49(50), 5063-5073.

Bouri, E., Shahzad, S. J. H.,& Roubaud, D. (2019). Co-explosivity in the cryptocurrency market. *Finance Research Letters,* 29, 178-183.

Brière M., Oosterlinck K.,& Szafarz A. (2015) Virtual currency, tangible return: Portfolio diversification with Bitcoin. J AssetManag16:365–373

Carvalho, F. P. (2017). Mining industry and sustainable development: time for change. *Food and Energy Security,* 6(2), 61-77.

Cheah, E. T.,& Fry, J. (2015). Speculative bubbles in Bitcoin markets? An empirical investigation into the fundamental value of Bitcoin. *Economics Letters,* 130, 32-36.

Coinmarketcap (2021). https://coinmarketcap.com/ Erişim: 02.01.2022

Corbet, S., Lucey, B.,& Yarovaya, L. (2021). Bitcoin-energy markets interrelationships-New evidence. Resources Policy, 70, 101916.

Corbet, S., Meegan, A., Larkin, C., Lucey, B.& Yarovaya, L. (2018). Exploring the dynamic relationships between cryptocurrencies and other financial assets. *Economics Letters,* 165, 28-34.

Das, D.,& Dutta, A. (2020). Bitcoin's energy consumption: Is it the Achilles heel to miner's revenue?.*Economics Letters,* 186, 108530.

Das, D., Le Roux, C. L., Jana, R. K.,& Dutta, A. (2020). Does Bitcoin hedge crude oil implied volatility and structural shocks? A comparison with gold, commodity and the US Dollar. *Finance Research Letters,* 36, 101335.

De Vries, A. (2018). Bitcoin's growing energy problem. *Joule* 2,801–805.

De Vries, A. (2019). Renewable energy will not solve Bitcoin's sustainability problem. *Joule,* 3(4), 893-898.

De Vries, A. (2020). Bitcoin's energy consumption is underestimated: A market dynamics approach. *Energy Research & Social Science,* 70, 101721.

De Vries, A.,& Stoll, C. (2021). Bitcoin's growing e-waste problem. Resources, Conservation and Recycling, 175, 105901.

Delgado-Mohatar, O., Felis-Rota, M.,& Fernández-Herraiz, C. (2019). The Bitcoin mining breakdown: Is mining still profitable?. *Economics Letters,* 184, 108492.

Dyhrberg, A. H. (2016a). Bitcoin, gold and the dollar–A GARCH volatility analysis. *Finance Research Letters,* 16, 85-92.

Dyhrberg, A. H. (2016b). Hedging capabilities of Bitcoin. Is it the virtual gold?.*Finance ResearchLetters,* 16, 139-144.

Fintech Futures (2016). Bitcoin firm KnCMiner declares bankruptcy, https://www.fintechfutures.com/2016/05/Bitcoin-firm-kncminer-declares-bankruptcy/ Erişim: 07.01.2022

Fry, J.,& E.-T. Cheah (2016). Negative bubbles and shocks in cryptocurrency markets. *International Review of Financial Analysis,* 47, 343–352.

Gajardo, G., Kristjanpoller, W. D.,& Minutolo, M. (2018). Does Bitcoin exhibit the same asymmetric multifractal cross-correlations with crude oil, gold and DJIA as the Euro, Great British Pound and Yen?.Chaos, Solitons & Fractals, 109, 195-205.

Gkillas, K., Bouri, E., Gupta, R.,& Roubaud, D. (2020). Spillovers in higher-order moments of crude oil, gold, and Bitcoin. The Quarterly Review of Economics and Finance.

Glaser, F., Zimmermann, K., Haferkorn, M., Weber, M. C.,& Siering, M. (2014). Bitcoin-asset or currency? revealing users' hidden intentions. Revealing Users' Hidden Intentions (April 15, 2014). ECIS.

Hayes, A. S. (2019). Bitcoin price and its marginal cost of production: support for a fundamental value. *Applied Economics Letters,* 26(7), 554-560.

Hari, K. R.,& Sai, S. Y. (2015). Cryptocurrency mining–transition to cloud. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications,* 6(9).

Huynh, A. N. Q., Duong, D., Burggraf, T., Luong, H. T. T.,& Bui, N. H. (2021). Energy consumption and Bitcoin market. *Asia-Pacific Financial Markets,* 1-15.

Ji, Q., Bouri, E., Gupta, R.,& Roubaud, D. (2017). Network causality structures among Bitcoin and other financial assets: A directed acyclic graph approach. Department of Economics, University of Pretoria, Working Paper No. 201729.

Jiang, S., Li, Y., Lu, Q., Hong, Y., Guan, D., Xiong, Y.,& Wang, S. (2021). Policy assessments for the carbon emission flows and sustainability of Bitcoin blockchain operation in China. *Nature communications*, 12(1), 1-10.

Jin, J., Yu, J., Hu, Y.,& Shang, Y. (2019). Which one is more informative in determining price movements of hedging assets? Evidence from Bitcoin, gold and crude oil markets. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications,* 527, 121121.

Katsiampa, P. (2017). Volatility estimation for Bitcoin: A comparison of garch models. *Economics Letters,* 158, 3–6.

Kliber, A., Marszałek, P., Musiałkowska, I. & Świerczyńska, K. (2019). Bitcoin: Safe haven, hedge or diversifier? Perception of Bitcoin in the context of a country's economic situation—A stochastic volatility approach. *Physica A: Statistical Mechanicsandits Applications,* 524, 246-257.

Lei, N., Masanet, E.,& Koomey, J. (2021). Best practices for analyzing the direct energy use of blockchain technology systems: Review and policy recommendations. *Energy Policy,* 156, 112422.

Li, J., Li, N., Peng, J., Cui, H., & Wu, Z. (2019). Energy consumption of cryptocurrency mining: A study of electricity consumption in mining cryptocurrencies. *Energy,* 168, 160-168.

Liu, X., Wang, W., Niyato, D., Zhao, N.& Wang, P. (2018). Evolutionary game for mining pool selection in blockchain networks. *IEEE Wireless Communications Letters,* 7(5), 760-763.

Magaki, I., Khazraee, M., Gutierrez, L. V.,& Taylor, M. B. (2016, June). Asic clouds: Specializing the datacenter. In 2016 ACM/IEEE 43rd Annual International Symposium on Computer Architecture (ISCA) (pp. 178-190). IEEE.

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, 117843.

Moore, T.,& Christin, N. (2013). Beware the middleman: Empirical analysis of Bitcoin-exchange risk. In International Conference on Financial Cryptography and Data Security (pp. 25-33). Springer, Berlin, Heidelberg.

Mukhopadhyay, U., Skjellum, A., Hambolu, O., Oakley, J., Yu, L. & Brooks, R. (2016). A brief survey of cryptocurrency systems. In 2016 14th annual conference on privacy, security and trust (PST) (pp. 745-752). IEEE.

Naeem, M. A.,& Karim, S. (2021). Tail dependence between Bitcoin and green financial assets. *Economics Letters,* 208, 110068.

Nakamoto, S. (2008). A peer-to-peer electronic cash system. Bitcoin.–URL: https://Bitcoin. org/Bitcoin. pdf, 4.

Pal, D.,& Mitra, S. K. (2019). Hedging Bitcoin with other financial assets. *Finance Research Letters,* 30, 30-36.

Pieters, G.,&Vivanco, S. (2017), 'Financial regulations and price inconsistencies across Bitcoin markets', *Information Economics and Policy,* 39, 1–14.

Rauchs, M. (2021). New data reveals timeline of China's bitcoin mining exodus. Retrieved from https://www.jbs.cam.ac.uk/insight/2021/new-data-reveals-timeline-of-chinas-bitcoin-mining-exodus/. Erişim: 27.09.2021.

Sedlmeir, J., Buhl, H. U., Fridgen, G.,& Keller, R. (2020). The energy consumption of blockchain technology: beyond myth. *Business & Information Systems Engineering,* 62(6), 599-608.

Selmi, R., Mensi, W., Hammoudeh, S.,& Bouoiyour, J. (2018). Is Bitcoin a hedge, a safe haven or a diversifier for oil price movements? A comparison with gold. *Energy Economics,* 74, 787-801.

Stoll, C., Klaaßen, L.,& Gallersdörfer, U. (2019). The carbon footprint of Bitcoin. *Joule,* 3(7), 1647-1661.

Syzdykova, A.,& Azretbergenova, G. (2021). Bitcoin fiyatının altın ve ham petrol fiyatları ile ilişkisinin analizi. *InTraders International Trade Academic Journal*, 4(1), 43-58.

Taghdiri, A. (2020). The Cost of Innovation: Why Bitcoin Mining Requires International Regulation. Tex. Envtl. LJ, 50, 181.

Taylor, M. B. (2017). The evolution of Bitcoin hardware. Computer, 50(9), 58-66. M. B. (2017). The evolution of Bitcoin hardware. *Computer,* 50(9), 58-66.

The New York Times (2021). Bitcoinuses more electricity than many countries. How Is That Possible? URL: https://is.gd/EIN8pW. Erişim: 04.01.2022

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.

Urquhart, A. (2016). The inefficiency of Bitcoin. Economics Letters, 148, 80-82.

Vandezande, N. (2017). Virtual currencies under EU anti-money laundering law. *Computer law& Security Review,* 33(3), 341-353.

Vassiliadis, S., Papadopoulos, P., Rangoussi, M., Konieczny, T., & Gralewski, J. (2017). Bitcoin value analysis based on cross-correlations. *Journal of Internet Banking and Commerce,* 22(S7), 1.

Vranken, H. (2017). Sustainability of Bitcoin and blockchains. *Currentopinion in Environmental Sustainability,* 28, 1-9.

Yelowitz, A.,& Wilson, M. (2015). Characteristics of Bitcoin users: an analysis of Google search data. *Applied Economics Letters,* 22(13), 1030-1036.

Yermack, D. (2013). Is Bitcoin a real currency? An economic appraisal. (No. w19747). National Bureau of Economic Research. http://www.nber.org/papers/w19747.