



## **KRİPTO MADENCİLİĞİNİN ÇEVRE VE ENERJİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

Sezgin SEZGİN\*

### **Öz**

*Kripto paralar, 2008’li yılların sonundan itibaren küresel finans sisteminin içerisinde kendisine yer edinmeye başlamıştır. Başlangıçta neredeyse hiçbir ülke tarafından tanınmayan bu varlıklar, El Salvador’un Bitcoin’i yasal para birimi ilân etmesiyle, ABD ve Çin gibi ülkelerin çeşitli regülasyonlar getirmesiyle resmi olarak da tanınır hale gelmektedir. İlk ortaya çıkış gerekçelerinde merkezi yönetim birimlerinin (devlet, banka vs.) aşırı merkezleşmiş yapılarını ortadan kaldırarak merkeziyetsiz güvenli bir yapı kurmak ve daha az enerji kullanarak finansal sistemlerin işlerliğini sürdürmek vardır. Ancak özellikle kripto paraların üretim sürecinde yapılan madencilik faaliyetleri, ikinci gerekçenin zamanla sorgulanmasına neden olmuştur. Kripto madencilerinin yerleştikleri ülkeler, zamanla madencilere yönelik teşviklerini iptal ederek yasaklama eğilimine girmişlerdir. Bu çalışmada kripto para madenciliğinin çevre üzerindeki mevcut ve gelecekteki olası etkileri, eleştirel bakış açısıyla ele alınmıştır. Çalışmada nitel yöntem kullanılmıştır. Çalışma sonucunda; kripto para madenciliğinin çevre üzerinde yoğun tahribat oluşturduğu, aşırı elektrik tüketimi ile ülkelerin enerji ihtiyacını artırdığı ve geleceğin en önemli tehditleri arasında gösterilen iklim krizinin önünü açtığı sonuçlarına ulaşılmıştır.*

**Anahtar Kelimeler:** Kripto Para, Bitcoin, Çevre Sorunları, Madencilik, Enerji.

**JEL Kodu:** M10, M19, M40.

\* Dr. Öğretim Üyesi, Kırklareli Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Bölümü, [sezgin\\_sezgin@hotmail.com](mailto:sezgin_sezgin@hotmail.com), ORCID: 0000-0002-6625-3997

## Impact of Crypto Mining on the Environment and Energy

### Abstract

*Cryptocurrencies have been gaining a foothold in the global financial system since the end of 2008. These assets, which were not recognized by almost any country at the beginning, are becoming officially recognized after El Salvador declared Bitcoin a legal currency and countries such as the US and China introduced various regulations. The initial rationale for their emergence was to establish a decentralized secure structure by eliminating the over-centralized structures of central government units (state, bank, etc.) and to maintain the functioning of financial systems using less energy. However, mining activities, especially in the production process of cryptocurrencies, have caused the second rationale to be questioned over time. Countries where crypto miners have settled have tended to ban them by canceling their incentives for miners over time. This study examines the current and possible future impacts of cryptocurrency mining on the environment from a critical perspective. Qualitative method was used in the study. As a result of the study, it was concluded that cryptocurrency mining causes intense damage to the environment, increases the energy needs of countries with excessive electricity consumption and paves the way for the climate crisis, which is among the most important threats of the future.*

**Keywords:** *Crypto Currency, Bitcoin, Environmental Issues, Mining, Energy.*

**JEL Codes:** *M10, M19, M40.*

### 1. GİRİŞ

Yeryüzünde finansal sistemin araçları, bulunulan çağın şartlarına göre her dönem çeşitlilik göstermiştir. Paranın henüz icat edilmediği ilk zamanlarda insanlar ekonomik faaliyetlerini takas yöntemiyle gerçekleştirmektedirler. Satılan her ürünün karşılığında başka bir ürün verilerek çok da karmaşık olmayan bir yöntemle alışveriş yapılmaktaydı. Paranın icadıyla birlikte artık her ürünün belirli bir parasal karşılığı tespit edilerek bazen para, bazense altın, gümüş gibi kıymetli madenler üzerinden ticaret yürütülmüştür. Bilim ve teknolojideki ilerleme sayesinde internetin her alanda kullanımının yaygınlaşmasıyla da paranın dijital olarak kullanımı mümkün hale gelmiş ve dijital bankacılık sistemleri ekonomik hayatın merkezi haline gelmiştir.

Devletlerin ve merkez bankalarının kontrolünde yürütülen ekonomik düzen; 2008 yılında “bitcoin.org” sitesinin kuruluşu ve 'Bitcoin: Kişiden Kişiye (Peer-to-peer, P2P) Elektronik Nakit Sistemi' başlıklı bir makale<sup>†</sup> ile radikal bir dönüşüme uğramıştır. Satoshi Nakamoto adı ile bilinen bir kişi ya da grup tarafından oluşturulduğu bilinen Bitcoin, merkezileşmiş kurumları devre dışı bırakarak tamamen merkeziyetsiz bir ortamda kullanıcıdan kullanıcıya transfer edilebilen bir para birimi olarak ortaya çıkmıştır. Merkezi ve aracı kurumların dışında bir yapı oluşturması nedeniyle devletler ve uluslararası kuruluşlar tarafından ilk başlarda yok sayılan Bitcoin, günümüzde ABD ve Çin gibi ülkeler ile Avrupa Birliği gibi uluslararası kuruluşların hakkında çeşitli regülasyonlar yapılarak düzenlenme ihtiyacı hissedilen bir ekonomik araca dönüşmüştür. Üstelik 2021 yılında El Salvador, Bitcoin'i resmi para birimi ilan ederek bu adımı atan ilk ülke olmuştur.

Bitcoin ortaya çıkışından itibaren değerini katlayarak varlığını sürdürmüştür. 2011 yılında 0,31\$ olan Bitcoin, 73.738\$ ile 2024 yılının 14 Mart'ında tüm zamanların en yüksek seviyesine ulaşmıştır. Günümüzde toplam kripto paraların piyasa değerleri toplamı da yaklaşık 1,94 Trilyon \$'a ulaşmıştır (Coinmarketcap, 2024). Görüldüğü gibi kripto varlıklar, dünya ekonomik sistemi içerisinde yaklaşık 2 trilyon dolarlık hacme sahiptir, gelecekte de bu market değerinin daha yüksek hacme sahip olması beklenmektedir.

Bitcoin, Ethereum gibi büyük çaptaki kripto paraların üretimi; bu alanda yapılacak madencilik faaliyetlerine bağlıdır. İlk etapta bireysel çapta yürütülen kripto para madenciliği, artık bir sektör haline gelmiş ve madencilik çiftliklerinde yapılmaya başlanmıştır. Temiz ve yenilenebilir enerji ile yapılarak çevre ve enerji tüketimi üzerinde minimum baskı oluşturulacağı varsayımıyla ortaya çıkan kripto para madenciliği, Elon Musk'ın 2021 yılı mayıs ayında Bitcoin'in henüz yeşil enerjiyi kullanmadığına yönelik attığı Tweet ile tekrardan sorgulanır hale gelmiştir. Daha önce kripto para madenciliğinin çevre dostu olmadığına yönelik yapılan eleştiriler ve bilimsel

---

<sup>†</sup> Bknz: Satoshi Nakamoto, Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>.

çalışmalar, artık daha görünür hale gelerek tartışmaya açılmıştır.

Bu çalışmada kripto para madenciliğinin çevre üzerinde yarattığı etkiler ele alınmıştır. Çalışmada nitel araştırma yöntemi kullanılmıştır. Kripto para madenciliğinin çevre üzerinde yarattığı etkiler incelenmeden önce konunun daha anlaşılabilir kılınması amacıyla öncelikle kripto para madenciliğinin nasıl yapıldığı ve kripto para madencilerinin hangi ülkelerde yoğunlaştıkları anlatılmış, ardından söz konusu etkiler hem olumlu hem olumsuz bakış açılarıyla ayrı ayrı tartışılmıştır.

## **2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE: KRİPTO PARA VE KRİPTO PARA MADENCİLİĞİ**

Dünyada kripto para düşüncesinin 2008 yılının Kasım ayında Satoshi Nakamoto olarak isimlendirilen bir kişi ya da grubun yayınlamış olduğu “Bitcoin: Uçtan Uca Elektronik Ödeme Sistemi” başlıklı bir makaleyle ortaya konulduğu kabul edilmektedir. Söz konusu tarihten yaklaşık 1 yıllık bir süre sonra -Ocak 2009- Bitcoin adlı kripto para birimi, merkezi yapılara alternatif olabilecek merkeziyetsiz bir ödeme aracı olarak piyasada yerini almıştır (Amsyar vd., 2020).

Bitcoin’in üretim sürecine bakıldığında; Bitcoin sahipleri, kendilerine verilen şifreyi çözüp doğrulama işlemini tamamladıklarında Bitcoin elde ederler ve Blok zincire Bitcoin eklenir. Kripto para piyasasındaki kullanıcıların yapmış oldukları bu işlem, madencilik (mining) olarak ifade edilmektedir. Bitcoin madenciliğindeki temel amaç; mümkün olduğunca çok fazla işleme sahip Blok oluşturmaktır (Garayev, 2021: 14). Blok zincir; ağ yardımıyla sistemi kullanan kullanıcılar arasındaki işlemlerin tamamını doğrulayarak saklayan sistemdir. Bu özelliği nedeniyle de bütünlüğüne güvenilir bloklar ve bu blokları oluşturan sorgulanabilir işlemlerden oluşan bir veritabanı şeklinde ifade edilmektedir (Ünal ve Uluyol, 2020: 168).

Kripto para madenciliği; zincir üzerinde gerçekleştirilen süreçlerin doğrulanması ve kripto para madenciliği yapanların kayıtlarının saklanması açısından önemlidir. Kripto para

madenciliği/kazımı işlemini gerçekleştirenler aynı zamanda blok zincir sisteminin de güvenli bir şekilde çalışmasını tesis etmektedir. Aynı zamanda blok zincir üzerinde gerçekleştirdikleri işlemlerin dağınık defterlere doğru kaydedilmesini de sağlamaktadırlar. Blok zincir teknolojisi, yapısı gereği tüm kullanıcılara açık bir sistemdir, dolayısıyla kullanıcılar gerçekleştirmiş oldukları işlemleri sistem üzerinden kontrol etmektedir. Bitcoin'in ortaya çıktığı süreçte kripto madencisi sayısı oldukça sınırlıdır, bu sayede madenciler yüksek miktarlarda Bitcoin üretimi yapabilmektedir. Ancak son yıllarda kripto madenciliği ile uğraşanların sayısı hızlı bir şekilde arttığından hash üretimindeki zorluk seviyesi de artmış ve buna bağlı olarak üretim düşerek madenciliğin maliyeti yükselmiştir (Yılmaz ve Kaplan, 2022: 151).

Kripto para madencisi bir işlem açtığında ağ üzerinde yer alan tüm eşlere aynı işlem gösterilir. Bu işlemi oluşturabilmeleri için sistem kullanıcılarının açık ve özel anahtarlarının olması gerekir. Bunlarla birlikte kullanıcının özel anahtarı ile çift alfanümerik dijital anahtarının da bulunması gerekir. Nihayetinde kripto para madencileri, yolladıkları Bitcoin'in sahibinin kendileri olduklarını ispat edebilmek ve yeni sahibini de belirlemek amacıyla atacakları dijital imzalar için bu anahtara ihtiyaç duymaktadır (Trozze vd. 2022).

Bitcoin, işlemleri doğrulamak ve yeni Bitcoinler üretmek için iş kanıtı (PoW) algoritmasının (bir tür kriptografik bulmaca) uygulandığı blok zinciri teknolojisi üzerinde çalışmaktadır. PoW algoritmik hesaplamalarını yürüten makine türleri muazzam enerji gereksinimlerine dayanmaktadır (Symitsi ve Chalvatzis, 2018).

Kısaca ifade etmek gerekirse Bitcoin'lerin üretimi, kripto para madenciliği sonucunda gerçekleşmektedir. Burada Bitcoin'in güncel piyasa fiyatı, madencilerin Bitcoin'leri ne kadar üretmek istedikleri ile doğru orantılıdır. Bitcoin'in fiyatı yükseldikçe piyasada daha fazla sayıda insan kripto para madenciliği ile uğraşmak isteyecektir. Tüm bu sürecin çevre üzerinde yaratacağı baskı yahut kripto paraların çevreci bir ödeme aracı olduğu tezleri ise tartışma konusudur.

Bitcoin gibi kripto para birimleri, birkaç milyon rakip uzman bilgisayardan oluşan küresel bir ağa dayanır. Bitcoin madencileri, kasa kırıcıları gibi, dijital bir kilidin (uzun bir rakam dizisi) kombinasyonunu tekrar tekrar tahmin eder ve bilgisayar doğru kombinasyonu tahmin ederek sürekli azalan sayıda yeni bitcoin kazanır. Madenciler ortalama her on dakikada bir başarılı bir şekilde yeni bloklar oluşturdukları kombinasyon da değişmektedir. Her yeni blokla birlikte piyasaya sürülen Bitcoin sayısı 2009'da 50 iken 2020'de 6,25'e düşerek her 4 yılda bir yarıya inmektedir. Bitcoin çıkarma işlemleri yarılanmanın sonra ereceği 21403 yılına kadar devam edecektir. O tarihten itibaren madenciler yalnızca kullanıcı işlem ücretleri için rekabet edeceklerdir. Sadece 10 yıl önce, rakip Bitcoin madencileri ortalama bir dizüstü bilgisayarla başarılı bir şekilde blok kazanabilirken, günümüzde uygulanabilir operasyonlar, madencilikten elde edilebilecek elektrikten daha fazla para harcamaktan kaçınmak için Uygulamaya Özel Entegre Devre (ASIC ) birimleri olarak bilinen özel donanımlı cihazlara önemli miktarda yatırım yapılmasını gerektirmektedir (Howson ve Vries, 2022: 2).

Madencilik için elektrik arzı üzerindeki düzenleyici baskı giderek daha fazla rol oynamaktadır. Ülkeler, hanehalklarına ve sanayiye yenilenebilir enerji tedarikini güvence altına almak ve elektrik şebekesinin bozulmasını önlemek için enerji yoğun kripto madenciliği için elektrik arzına sınırlamalar getirmektedir. Enerji arzının düzenlendiği durumlar, Quebec eyaletinde (Kanada) kurulan kripto madenciliği için 668 MW enerji sınırı gibi zaten mevcuttur. Kazakistan ve İran gibi diğer ülkeler de benzer kısıtlamaları değerlendirmektedir. Çin'in kripto madenciliği yasağı, çevre koruma gereğiyle düzenleyici sınırlamalara güzel bir örnektir. Çin Hükümeti, yenilenebilir enerji kaynaklarının aşırı kullanımını gerekçe göstererek Sincan, İç Moğolistan, Siçuan ve Yunnan'daki kripto madencilerine verdiği desteği kaldırarak bir anlamda başka ülkelere gitmelerini istemiştir. Çin'in ardından İsveç, PoW kripto madenciliği ve benzeri eylemlerin Avrupa'da yasaklanması için bir çağrı yapmıştır. Norveç de İsveç'in önerisini resmi olarak destekleyen ilk ülke konumundadır (Trespalacios ve Dijk, 2021: 8).

Cambridge Üniversitesi'nin Bitcoin Elektrik Tüketim Endeksi'ne göre ABD'nin Bitcoin madencilik operasyonlarının yaklaşık %35'ine ev sahipliği yaptığı ve elektriğinin %60'ını fosil yakıtlardan ürettiği tahmin edilmektedir (CCAF, 2024c). Bunun bir örneği, New York, Dresden'de doğalgaza dönüşen ve Bitcoin madenciliğine başlayan eski bir kömür santrali olan Greenidge Generation'dır. Tesis, ABD'deki en büyük kripto para madenlerinden biri haline geldiğinde, bölgedeki sera gazı emisyonları 2019 ile 2020 arasında neredeyse on kat artmıştır. Greenidge, madencilik kapasitesini 2021 Temmuz ayına kadar ikiye, 2022'ye kadar ise tekrar ikiye katlamayı planlamakta ve daha fazla elektrik santralini de Bitcoin madenciliği kapsamında dönüştürmek istemektedir (Cho, 2021; Bloomberg, 2020).

ABD'de şebeke enerjisinin yaklaşık %60'ı doğal gaz, kömür ve petrol gibi fosil yakıtlardan oluşmaktadır. Dolayısıyla, ABD merkezli madencilik operasyonlarının güçlerinin çoğunluğu için fosil yakıtları kullandığını söylemek doğru olsa da, diğer ülkelerdeki madencilik işlemleri için aynı durumun söz konusu olduğunu söylemek iddialı olacaktır (Bogna, 2022a).

Madencilerin diğer madenciler ile rekabet edebilmek için bilgi işlem güçlerini sürekli olarak artırmaları gerektiğinden, durum daha da kötüye gitmektedir. Ayrıca, kazanılan ödüller sürekli olarak yarıya indirildiğinden, madenciliği finansal açıdan değerli kılmak için madencilerin daha fazla işlem yapması veya kullandıkları elektrik miktarını azaltması gerekmektedir. Sonuç olarak, madencilerin en ucuz elektriği aramaları ve daha hızlı, daha enerji yoğun bilgisayarlara geçmeleri gerekiyor. 2015 ve Mart 2021 arasında Bitcoin enerji tüketimi neredeyse 62 kat artmıştır (Cho, 2021). Dolayısıyla madenciler daha ucuz enerji ve daha nitelikli cihazlar için arayış halindedir.

### **3. KRİPTO PARA MADENCİLERİNİN DÜNYADAKİ YERLEŞİMİ**

Kripto para madenciliği, büyük miktarlarda elektrik gücüne ihtiyaç duymaktadır. Elektrik fiyatlarının hangi ülkelerde daha ucuz olduğu, hangi ülkelerin kripto para

madencilerine teşvikler sağladığı, kripto para madencilerinin ülke seçimlerinde oldukça önemlidir.

Kripto para madencileri, yakın zamana kadar Çin'in çeşitli bölgelerinde üretimlerini sürdürmekteydi. 2017 yılında, Çin'in Bitcoin madenciliği operasyonlarının % 80'i, enerji üretiminin yaklaşık % 90'ını yenilenebilir kaynaklardan üreten ve böylece küresel Bitcoin madenciliği operasyonlarının % 43'üne ev sahipliği yapan Sichuan'da bulunuyordu. En verimli madencilik operasyonları, aşırı tüketimi destekleyebilecek en ucuz elektriği elde ederek en düşük maliyetle çalışabilen operasyonlardır. Sonuç olarak, madenciler elektriğin tüketilme biçimlerini düzenlemeyen politika ortamlarından yararlanırken ucuz elektrik piyasaları aramaktadır (Corbet ve Yarovaya, 2020: 174).

2017 yılında Çin, dünyadaki Bitcoin alım satım işlemlerinin yaklaşık %85'inden sorumlu ve tüm Bitcoin madenciliği "karma gücünün" %74'ünü oluşturan kripto madenlerine ev sahipliği yapıyordu. Çin'deki Sichuan, Yunnan, Sincan veya İç Moğolistan gibi bölgeler, madencilik operasyonları için çok büyük miktarda fazla enerji sağlamaktaydı. Çok fazla enerji tüketilmesini takiben Çin, kripto madenlerinin kapatılmasını teşvik etmek için eyalet hükümetlerine düzenleyici uygulamalar yapmaları için baskı uygulamaya başladı ve teşvik edilen vergi indirimlerini geri çekti. Enerji politikası önlemleriyle birlikte Çin, kripto para birimleri üzerinde sürekli olarak finansal düzenlemeler çıkarmaya çalıştı. Özellikle, Çin'in merkez bankası olan Çin Halk Bankası, yerel Bitcoin borsalarını yasaklayan ve yeni kripto para birimleri geliştirmek için kamu fonları toplama uygulamasını yasaklayan önlemler aldı (Pilarowski ve Yue, 2017).

Bununla birlikte, son zamanlarda Çin, kripto para biriminin finansal riskleri ve Çin'in 2060 yılına kadar karbon nötr olma hedefine karşı çalışan muazzam enerji tüketimi konusundaki endişeleri nedeniyle madenciliği yasaklamaya başlamıştır. Sonuç olarak, birçok Çinli Bitcoin madencileri operasyonlarını diğer ülkelere taşımak zorunda kalmıştır. Elektrik için esas olarak fosil yakıtlara dayanan Kazakistan ve bazı ABD eyaletleri, kendi ekonomilerini canlandırmak için Çinli madencileri çekme politikası izlemişlerdir. Ancak çeşitli



nedenlerle her madencinin bu ülkelere göç etmesi de mümkün değildir. Bu durumlarda madenciler hareket edemiyorsa, ekipmanlarını dünyadaki diğer madencilere satmaktadırlar (Cho, 2021).

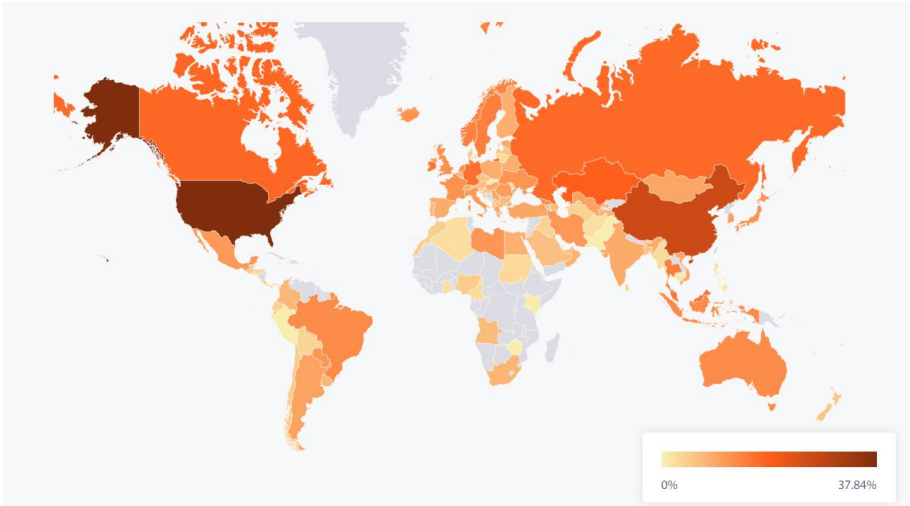
Kripto para madencileri, Çin içerisinde de sabit bit konumunda üretimlerini sürdürmemişlerdir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından suya yakın bölgelerde elektriğin ucuz olmasından ötürü yerleşen madenciler, yağışların düştüğü mevsimlerde fosil yakıtlara bağımlı bölgelere doğru göç etmektedir. Örneğin bazı eyaletlerdeki madenci sayısındaki düşüşün olası bir açıklaması, Bitcoin ağının artık Çin'in Sichuan ve Yunnan eyaletlerinden hidroelektrik enerjisine erişememesidir. Çin'deki baskıdan önce, madenciler mevsimsel olarak bol miktarda hidroelektrik enerjisinden yararlanmak için bu illere taşınmışlardır. Yağışlı mevsimden sonra Sincan ve İç Moğolistan gibi kömüre bağımlı illere geri göç etmişlerdir (Vries vd., 2022: 2).

2021 baharında, Çin'deki madencilik baskısı küresel Bitcoin madenciliği faaliyetlerini sarsmıştır. İç Moğolistan, Mart 2021'de kripto madenciliğini yasaklamanın gerekçesi olarak çevresel kaygıları dile getiren ilk Çin eyaleti olmuştur. Mayıs ve Haziran 2021 arasında, tarihsel olarak Bitcoin madenciliği için sıcak noktalar olan Sichuan ve Sincan gibi diğer Çin eyaletlerinde kripto madenciliği yasakları çıkarılmıştır. Haziran 2021'in sonunda madencilere yönelik bu baskı, daha önce Bitcoin madencilerinin çoğunluğuna ev sahipliği yapan Çin'deki kripto madenciliği faaliyetlerini çok büyük ölçüde azaltmayı başarmıştır (Vries vd., 2022: 1).

Çin'deki madencilik baskısından sonra, madenciler öncelikle Kazakistan ve ABD gibi diğer ülkelere göç etmiştir. Göçlerin ardından Kazakistan'da doğal gazın elektrik üretimindeki yaklaşık payı %15'ten %30,8'e neredeyse iki katına çıkmış ve Kazakistan'da Çin'e kıyasla daha yüksek emisyonlu tesisler nedeniyle kömürle çalışan enerji üretiminin emisyon faktörü potansiyel olarak artmıştır. Bu nedenle, Bitcoin ağı tarafından tüketilen elektriğin ortalama karbon yoğunluğu 2020'de ortalama 478.27 gCO<sub>2</sub>/kwh'den Ağustos 2021'de 557.76 gCO<sub>2</sub>/kwh'ye yükseldiği tahmin edilmektedir (Vries vd., 2022: 2).

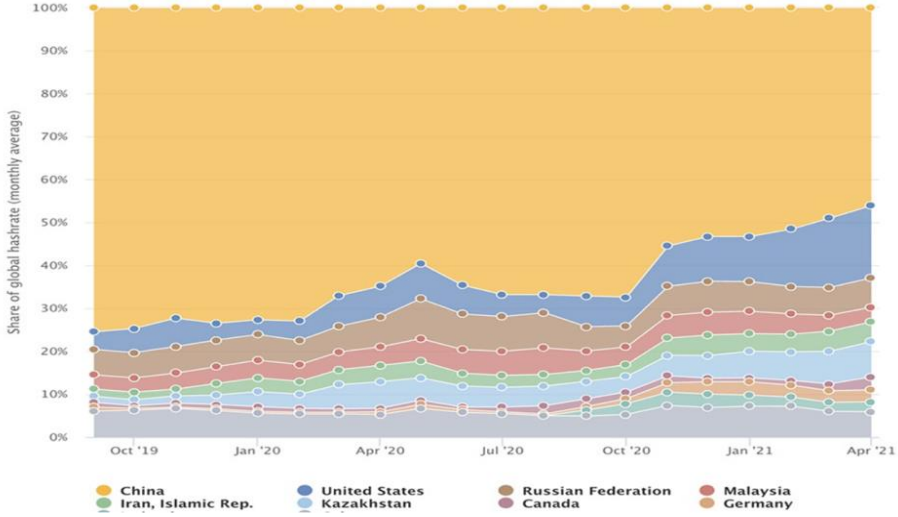
Çin'deki kriptolara karşı yapılan baskıdan sonra madenciler, ABD ve Kazakistan'ın iki ana varış noktası olduğu rekabetçi fiyatlar arayışı içinde küresel olarak yeniden konumlanmıştır (Şekil 1). Bu iki ülke şu anda küresel hashrate kapasitesinin yaklaşık %50'sinden birlikte sorumludur. Kazakistan'ın enerji karması %90'ın üzerinde fosil yakıt kaynağından oluşurken, bunun yaklaşık %70'inin de kömürden elde edildiği bilinmektedir. ABD'de, Washington ve New York gibi hidro enerjili eyaletlerde büyük madencilik çiftlikleri ortaya çıkarken, diğerleri kapasitelerini Teksas'a yerleştirmiştir (Trespacios ve Dijk, 2021: 8).

**Şekil 1:** Bitcoin Madencilik Haritası



**Kaynak:** (CCAF, 2024a).

Şekil 1'de görüldüğü gibi Bitcoin madencileri Çin'den kaçarken, birçoğu Kazakistan gibi komşu ülkelere taşınmış ve Amerika Birleşik Devletleri madencilik faaliyetinin en büyük merkezlerinden biri haline gelmiştir. Rusya ve İran da Bitcoin madenciliğine en fazla ev sahipliği yapan ülkeler arasında yer almaktadır.

**Şekil 2:** Küresel Kripto Para Madenciliğinde Ülkelerin Durumu

**Kaynak:** (CCAF, 2024b).

Cambridge Üniversitesi, Cambridge Judge İşletme Okulu'ndaki CCAF tarafından toplanan veriler, Çin'in toplam Bitcoin madencilik gücündeki payının Eylül 2019'da %75,5'ten Nisan 2021'de - kısıtlamalar uygulanmadan önce bile - %46'ya düştüğünü göstermektedir. Aynı dönemde, ABD'nin toplam Bitcoin hashrate'indeki payı %4,1'den %16,8'e yükselerek ikinci sıraya yerleşmiştir. Dikkat çekici oranlardan biri de Kazakistan'daki madencilik payının neredeyse altı kat artmasıdır. Orta Asya'da bulunan enerji zengini bir ülke olan Kazakistan'ın payı, Eylül 2019'da %1,4'ten Nisan 2021'de %8,2'ye yükselmiş ve küresel madencilik gücü payında üçüncü sıraya tırmanmıştır. Rusya Federasyonu %6,8 ve İran %4,6 ile küresel Bitcoin madencilerine ev sahipliği yapma noktasında ilk beş ülke arasında yer almaktadır.

Çin'in yasakladığı kripto para madencilerinin bir kısmı Kazakistan'a kaçsa da 2022 yılının Mart ayı itibariyle Kazakistan da 106 kripto madencilik merkezini kapatma kararı almıştır. Bunun sebebi olarak ülkede elektrik kesintilerinin 2021 yılı sonlarından itibaren oldukça sıklaşması ve bunun madencilerin kullandığı aşırı güce bağlanmasıdır. Ülkede elektrik talebinin 2022'nin ilk üç ayında %7 artması nedeniyle madencilere yönelik önce çeşitli vergiler uygulanmış, herhangi bir azalma olmaması sonucunda da yasaklama yoluna

gidilmiştir (Bisenov ve Tobin, 2022). Kazakistan henüz kripto para madencilerine yönelik toptancı bir yasaklama getirmese de olası bir senaryoda bu madencilerin Kazakistan'dan sonraki durağının neresi olacağı da merak konusudur.

#### 4. KRİPTO PARA MADENCİLİĞİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Elon Musk'un Tesla'nın ödeme olarak Bitcoin kullanımını durdurma kararı, kripto para biriminin çevresel etkilerinin incelenmesini yeniden tartışmaya açmıştır. Musk'ın, "Kripto para biriminin birçok düzeyde gelecek vaat eden bir fikir olduğuna inanıyoruz ancak bunun çevre için büyük bir bedeli olamaz." ifadesi, kripto para-çevre ilişkisini yeniden gündeme getirmiştir. Bitcoin eleştirilenleri uzun zamandır çevre üzerindeki etkisine karşı ihtiyatlı davransalar da tartışma üzeri kapatılamayacak noktaya ulaşmıştır. Öyle ki Bitcoin madencilerinin İsveç ve Malezya gibi ülkelerden daha fazla enerji kullandığı bilinmektedir (Mohsin, 2021: 2; Musk, 2021).

**Tablo 1.** Kripto Para Madencilerinin Enerji Kaynaklarını Kullanma Oranı (%)

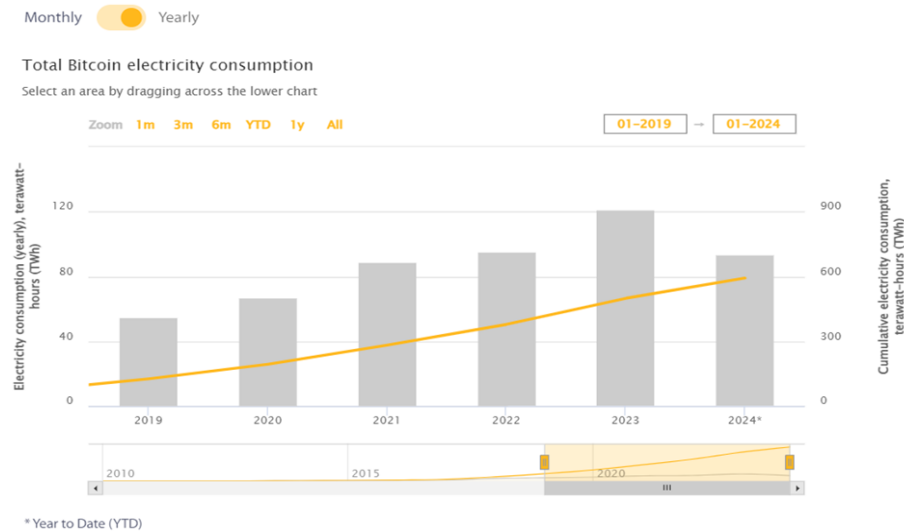
Enerji Kaynağı	Asya Pasifik	Avrupa	Latin Amerika ve Karayipler	Kuzey Amerika
Hidroelektrik	65	60	67	61
Doğalgaz	38	33	17	44
Kömür	65	2	0	28
Rüzgâr	23	7	0	22
Petrol Türevleri	12	7	33	22
Nükleer	12	7	0	22
Güneş	12	13	17	17
Jeotermal	8	0	0	6

**Kaynak:** University of Cambridge'ten aktaran (Lu, 2021).

Kripto para madencilerinin hangi enerji kaynaklarını daha çok kullandıkları, buldukları coğrafyaya göre değişmektedir. Asya Pasifik'te en fazla hidroelektrik ve kömür kullanılırken, Avrupa, Latin Amerika ve Karayipler ile Kuzey Amerika'da hidroelektrik daha sık kullanılmaktadır. Tabloda sütunların toplamının %100'den fazla çıkması, bir madencinin birden fazla enerji kaynağını aynı anda kullanmasından kaynaklanmaktadır.

Bir Bitcoin'in ortaya çıkış süreci, -bir hırsızın sizinkileri hacklemek için rastgele şifreler denemesi gibi- trilyonlarca deneme gerektirir. Yüz binlerce veya daha fazla bilgisayarın tahminlerde bulunmasıyla Bitcoin'in işlem başına 707 kWh tükettiği varsayılmaktadır. Ayrıca bilgisayarlar ısı ürettikleri ve serin tutulmaları gerektiği için de ek enerji tüketirler. Farklı bilgisayarlar ve soğutma sistemleri değişen enerji verimliliği seviyelerine sahip olduğu için Bitcoin'in tam olarak ne kadar elektrik kullandığını bilmek imkansızdır, ancak tahminde bulunmaktadır (Cho, 2021). Ohio, Cincinnati'deki Oak Ridge Enstitüsü'nden araştırmacılara göre, bakır, altın ve platin için dört, beş ve yedi megajul ile karşılaştırıldığında, bir dolarlık bitcoin madenciliği için yaklaşık 17 megajul enerji harcanmaktadır (Hern, 2018).

**Şekil 3:** Toplam Bitcoin Elektrik Tüketimi



\* Year to Date (YTD)  
**Kaynak:** (CCAF, 2024c).

Şekil 3'te Bitcoin'in yıllık bazda tükettiği elektrik miktarı gösterilmektedir. 2019'da yıllık tüketim 54,63 terawatt (TWh) iken 2023 yılında tüketimin 121,13 terawatt'a (TWh) yükseldiği görülmektedir. 2019'dan 2023'e geçen süre içerisinde Bitcoin'in yıllık bazda elektrik tüketimi 2 kattan daha fazla artmıştır.

2021 yılında yapılan bir çalışmada kripto para madenciliğinin şu anda sürdürülebilir bir şekilde yapılmadığı, sezgilerin ötesine geçerek bilimsel metodlarla gösterilmiştir.

Enerji fiyatı, bu enerjinin nasıl üretildiği, sıcaklık, yasal kısıtlamalar, insan sermayesi ve Ar-Ge değişkenlerini göz önüne alarak doğrusal regresyonla kripto para madenciliği üzerindeki etkileri tespit edilmiştir. Kripto para birimi madenciliği yapmak için en sürdürülebilir ülkelerin Danimarka ve Almanya olduğu sonucuna varılmıştır (Alonso vd., 2021).

Yenilenebilir kaynaklar kesintili bir enerji kaynağı olsa da, Bitcoin madencilerinin sabit bir enerji gereksinimine sahip olduğunu bilmek önemlidir. Bir Bitcoin ASIC madenci cihazı bir kez açıldığında, bozulana veya Bitcoin madenciliği yapamayacak duruma gelene kadar kapatılmaması gerekmektedir. Bu nedenle Bitcoin madencileri bir şebekedeki temel yük talebini artırmaktadır (Digiconomist, 2021).

Literatürde yer alan Blockchain tabanlı madenciliğin çevresel etkilerini Bitcoin üzerinden araştıran makalelerden farklı olarak bazı çalışmalarda Ethereum ve Ripple da incelenmiştir. Toda-Yamamoto ve bootstrap artırımı Toda-Yamamoto test sonuçlarına göre Ripple'ın çevresel bozulma üzerinde zararının oldukça az olduğu ancak Bitcoin ve Ethereum'un çevresel bozulma üzerinde oldukça önemli etkilerinin olduğu sonucuna varılmıştır (Erdoğan, Ahmed ve Sarkodie, 2022).

Kripto paraların çevre dostu olup olmadıklarına yönelik tartışmalar devam etmektedir. Blockchain teknolojisini ve onun ürünlerinin üretim süreçlerini çevreci olarak değerlendirenlerle birlikte özellikle üretim süreçlerinde harcadıkları elektrik enerjisinden yola çıkarak çevreci olmadıklarını ortaya koyan da çok sayıda çalışma bulunmaktadır.

#### **4.1. Kripto Para Madenciliğinin Çevre Üzerindeki Olumlu Etkileri**

Blockchain teknolojisi, Dördüncü Sanayi Devrimi'nin getirdiği çevresel sürdürülebilirliğin ekonomik açıdan uygulayıcısı olarak görülmektedir. Söz konusu teknolojinin yeni yeşil üretim araçlarını, kirlilik ve çevresel bozulmadan sorumlu verilerle ilgili faaliyetlerin izlenmesini ve depolanmasını ve zamanında karar verme için yeşil veya düşük karbonlu verilerin gerçek zamanlı olarak toplanmasını ve analizini gerçekleştirme

kapasitesi bulunmaktadır. Blockchain ayrıca yeşil bir tedarik zincirinin geliştirilmesini de destekleyebilir niteliktedir (Parmentola vd., 2021: 195).

Blockchain teknolojisinin uygulanması, sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda daha sürdürülebilir bir dünya yaratmak için birçok fırsat sunmaktadır. Blockchain alternatif enerjinin gelişimini destekleyebilir, özellikle yenilenebilir enerji için enerji teklifleri alışverişinde akıllı sözleşmelerin kullanımını operasyonel hale getirebilir. Blockchain kullanımının sanılanın aksine iklim üzerinde de olumlu bir etkisi olabilir. Karbon emisyonlarını haritalama ve değiş tokuş etme fırsatı verir. Blockchain'in çevresel etkilerinin yalnızca olumsuz etkilerine odaklanmamış, olumlu etkilerini de göstermiştir (Parmentola vd., 2021: 211).

Hükümetler de blockchain teknolojisi ile sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunmaktadır. Bunun en güzel örneği, Sacramento'nun yeraltı sularını izlemek ve denetlemek için blockchain kullanan Kaliforniya ya da AB'de uygulanan ve elektrikli araçların şarj sistemini izlemek için blockchain kullanımını teşvik eden Share & Charge projesi gösterilebilir (Glavanits, 2020).

Bitcoin madenciliğinde depolama kapasiteleri (sabit diskler) ve ağ hızı dünya çapında gelişmeye devam ederse, gelecekte blok boyutlarında önemli bir artış düşünülebilir. Bu, enerji tüketiminde gözle görülür bir artış olmadan daha yüksek işlem oranları sağlayacaktır (Sendlmeir vd., 2020: 603).

Cambridge Üniversitesi'nin yaptığı araştırmalara göre Bitcoin madencilik coğrafyasının Çin'den başka ülkelere kaymasıyla mevcut karbon ayak izinin iyileşeceği öngörülmektedir. Dünyada artan yenilenebilir enerji kaynaklarından Bitcoin madencilerinin de yararlanmaya başlaması, bu faaliyetlerin daha 'temiz' hale getirilebileceği yönündeki umutları artırmaktadır ([https://ccaf.io/cbeci/mining\\_map](https://ccaf.io/cbeci/mining_map); Sigalos, 2021).

Sadece tek bir Bitcoin işlemine güç sağlamak için 2.264 Kilowatt-saat (kWh) değerinde elektrik gerekmekte, bu miktar da 1.500 su ısıtıcısını kaynatmaya yetecek kadar elektrik enerjisine eş değerdir. Ancak teknolojide yaşanan ilerleme,

devletlerin yasaklama ve yenilenebilir enerjiye geçiş politikaları, madencilerin yenilenebilir ve daha düşük maliyetli enerji kaynaklarına doğru göçü, Bitcoin'in çevre üzerindeki baskısını azaltıcı rol oynayacaktır (Bogna, 2022b).

#### **4. 2. Kripto Para Madenciliğinin Çevre Üzerindeki Olumsuz Etkileri**

Araştırmalar, Bitcoin'in enerji kullanımıyla yaratılan her 1 dolarlık değer için, ağırlıklı ilişkili çevresel sorunlarını hafifletmek ve ilişkili diğer halk sağlığı sorunlarını gidermek için 0,49 dolar harcanması gerektiğini göstermektedir (Goodkind, Jones ve Berrens, 2020).

Bitcoin madenciliğinin enerji kullanımı 2018-2020 yılları arasında 4.8 Twh'den 73.12 Twh'ye yükselmiştir ve tüm ağ Avusturya'dan daha fazla enerji tüketmektedir. Bitcoin işlemi başına tahmini enerji ayak izi 600 Kwh'nin üzerindedir; bu sayının 300.000'in üzerinde temassız ödeme işlemine veya ortalama bir hanenin 22 günden uzun bir süredir güç tüketimine eşdeğer olduğu tahmin edilmektedir. Bitcoin şu anki haliyle çok pahalı bir iletim mekanizmasıdır. Bu ağlar tarafından kullanılan başlıca yakıt, nispeten Çin menşeli nedeniyle, kömürle çalışan enerji santralleridir ve bu da her işlem için geniş bir karbon ayak izi ile sonuçlanmaktadır. Bu, kripto para birimlerinin çevresel sürdürülebilirliği ile ilgili soruları gündeme getirmektedir. Bitcoin'in doğrulama ve madencilik sürecine katılımı hem özel donanım hem de önemli miktarda enerji gerektirir, bu nedenle havaya salınan karbon söz konusudur. Bir Bitcoin'i çözmek için gereken bilgi işlem gücü, 2019 boyunca, on iki ay önceki aynı döneme göre dört katına çıkmıştır (Corbet ve Yarovaya, 2020: 149).

Bitcoin'in geleceğini tahmin etmek zor olsa da, yapılan analizler kriptanın benimsenme oranının yaygın olarak kullanılan teknolojileri izlemesi durumunda, sadece birkaç on yıl içinde küresel ısınmanın 2°C'sini aşacak kadar emisyon üretebilecek bir elektrik talebi yaratabileceğini göstermektedir. Bitcoin'in merkezi olmayan doğası ve ekonomik karı maksimize etme ihtiyacı göz önüne alındığında, hesaplama doğrulama sürecinin elektriğin daha ucuz olduğu yerlere göç etmesi muhtemeldir, bu da elektriğin karbondan arındırılmasının



Bitcoin'in karbonunu azaltmaya yardımcı olabileceğini düşündürmektedir — ancak yalnızca yenilenebilir kaynaklardan gelen elektrik maliyetinin fosil yakıtlardan daha ucuz olduğu yerlerde. Yüksek elektrik maliyeti daha verimli donanımın geliştirilmesini zorlayacaktır. Bununla birlikte, Bitcoin'in karbon ayak izini azaltmak yalnızca henüz geliştirilmemiş bazı donanımlara dayanmamalı, blok başına daha fazla işlem eklemek veya işin kanıtını çözmek için gereken zorluğu veya zamanı azaltmak gibi genel sistemde basit değişiklikler içermelidir. Bununla birlikte, yüksek elektrik tüketimi sorunu, çeşitli kripto para birimleri için ortaktır; bu, küresel ısınmanın 2°C'sinin potansiyel olarak yıkıcı sonuçlarından kaçınılması durumunda, kripto para birimlerinin daha da geliştirilmesinin elektrik talebini azaltmayı hedeflemesi gerektiğini göstermektedir (Mora vd., 2018: 932).

Kripto paraların çevreye verdiği zararı kıyaslamalı bir şekilde ele alan çalışmalar mevcuttur. Bitcoin ve Ethereum madencilik operasyonları birlikte atmosfere 70 milyon tondan fazla CO<sup>2</sup> salmaktadır. Bu, 15,5 milyondan fazla otomobilin yıllık egzoz emisyonları ile aynı orandadır. Eğer Bitcoin ve Ethereum ülke olsaydı, Bitcoin elektrik tüketimi açısından 34. Ethereum ise 39. sırada yer alırdı. Her ikisinin toplamı ile ülkeler sıralamasında 23. sırada yer alırlar (Jackman, 2021).

Bitcoin madenciliğinin yılda 65.4 megaton CO<sub>2</sub> (MtCO<sub>2</sub>)'den sorumlu olabileceği tahmin edilmektedir (Vries, 2022: 2). Stoll ve arkadaşları (2019) 2018'in sonlarından itibaren Bitcoin'in elektrik tüketiminin 48.2 TWh olduğunu tahmin etmekte ve yıllık karbon emisyonlarının Ürdün ve Moğolistan ülkeleri tarafından üretilene benzer şekilde 23.6 ile 28.8 MTCO<sub>2</sub> arasında değiştiğini öngörmektedirler. Diğerlerinin yanı sıra Ethereum, Monero ve zCash gibi diğer kripto para piyasaları düşünülürse, bu rakam Portekiz'inkine eşdeğer bir miktar olan iki katına çıkabilir.

Mora ve arkadaşları (2018), hesaplamalarını öngörülen Bitcoin kullanımına dayandırırken, geniş çapta benimsenen diğer teknolojilerin benimsenme oranını izlediği varsayımı altında, bu yeni kripto para biriminin, ısınmayı 2 santigrat derecenin üzerine çıkarmak için yeterli CO<sub>2</sub> emisyonu yaratma potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir. Kümülatif Bitcoin

madenciliği emisyonları, mevcut oran en yaygın olarak benimsenen teknolojilerden bazısına benziyorsa 22 yıl içinde gezegeni 2 santigrat derece ısıtacak veya diğer teknolojilerin dahil edildiği en hızlı oranda kabul edilirse 11 yıl içinde ısıtacaktır. Bununla birlikte, bu tahminler, yakıt kaynaklarının hedef süre boyunca sabitleneceği ve değişmeden kalacağı varsayımına dayanmaktadır.

Sıcak iklimlerde yer alan ülkelerde teknolojik sorunlar ve ekipman arızaları daha sık görülmektedir. Bir kripto madencisinin saatte yaklaşık 1.500 watt elektrik kullandığı düşünülürse bu enerjinin büyük kısmı doğrudan saatte 5.000 Btu'dan fazla ısı salınımına dönüşmektedir. Yayılan bu ısıyı bertaraf edebilmek için kullanılan evaporatif soğutucular, madencilerin bulunduğu fiziksel çevreyi soğutmak için kullanıldığından madenciliği yapan cihazın dışında bir de soğutuculardan kaynaklı elektrik tüketimi meydana gelmektedir. Hesaplamalar, birçok kripto para madencisinin soğutma işlemi için bir madenin toplam enerji tüketiminin %25'i kadar daha elektrik harcadığını göstermektedir (Corbet ve Yarovaya, 2020: 159).

Enerji kullanımının yanı sıra, Bitcoin madenciliği, teknoloji modası geçtiğinde büyük miktarda teknolojik çöp üretmektedir. Bitcoin madenciliğinin rekabetçi yapısı ve şirketler için sıkı kar marjları, madencilerin karlılığını sürdürmesi için daha güçlü madencilik ekipmanlarının (Uygulamaya Özel Entegre Devreler (ASIC'ler) geliştirilmesini teşvik eder. ASIC'ler, Bitcoin madenciliği için sayıları tahmin etme amacıyla inşa edilen son derece uzmanlaşmış bilgisayarlar olduğundan, eski ekipmanlar atılmakta ve yeniden kullanılmamaktadır. Bu özellikle ASIC'ler (Application-Specific Integrated Circuits) için geçerlidir. (Mohsin, 2021: 3). ASIC'ler kullanım ömürleri tamamlandığında, eskidiğinde ya da bozulduğunda geri dönüştürülmesi zaman ve maliyet alan bir teknolojik atık haline gelerek çevre için başka bir zarar alanını oluşturur.

Sonuçlar, 2018'de yaratılan Bitcoin değerinin her 1 dolarının ABD'deki sağlık ve iklim zararlarında 0,49 dolara ve Çin'de 0,37 dolara karşılık geldiğini göstermektedir. Farklı bir ifadeyle, -2018 yılı verilerine göre- Bitcoin'in neden olduğu

insan sağlığı ve iklim zararları, yaratılan her bir ABD doları Bitcoin'in finansal değerinin neredeyse yarısına denk gelmektedir. Ethereum, Litecoin ve Monero üretimi için enerji talebi zaman çizelgeleri Bitcoin'i takip ederse, yakın gelecekte dolar başına benzer sağlık ve iklim zararları da görülebilecektir (Goodkind, Jones ve Berrens, 2020: 6-7).

2020'de tek bir Bitcoin işleminin iklim etkisinin yaklaşık 402 kg CO2 emisyonuna eşit olduğu tahmin edilebilmektedir. Bu, ortalama bir Hollanda hanesinin aylık emisyonlarının üçte ikisine karşılık gelmektedir (ayda 611 kg CO2). 2020 yılında toplam CO2 emisyonu %25 (36'dan 45 megatona) artarken, işlem sayısı % 6 (119'dan 112 milyona) azalmıştır. (Trespalacios ve Dijk, 2021: 4). Bitcoin ağının yıllık elektrik tüketimi (2020'de 70 TWh) artık Hollanda gibi bir ülkenin yıllık elektrik tüketimi ile eş değerdir (CBS rakamlarına göre 2020'de 111 TWh) (Trespalacios ve Dijk, 2021: 4). Yine birçok çalışma da Bitcoin'in 2017'de İrlanda'dan (26 TWh yr-1) veya Hong Kong'dan (44 TWh yr-1) daha fazla elektrik tükettiğini göstermektedir (Goodkind, Jones ve Berrens, 2020: 2).

Digiconomist'in 2021 yılı araştırmasına göre Bitcoin'in yıllık toplam ayak izi miktarı; Çek Cumhuriyeti'nin yıllık karbon ayak izi miktarına (114.06 Mt CO2); Tayland'ın yıllık elektrik tüketimine (204,5 TWh); Hollanda'nın küçük bilgi işlem cihazı atıklarına (31.900 bin ton) eşittir. (Digiconomist, 2021). Yıllık Bitcoin işlem ayak izleri ise 2.816.875 VISA işleminin veya 211.826 saatlik Youtube izlemenin karbon ayak izine eşdeğerdir. Ortalama bir ABD hanesinin 78.10 günlük güç tüketimine eşdeğerdir (Digiconomist, 2021).

Küresel Bitcoin madenciliği karbon emisyonunu dengelemek için, İngiltere bölgesine veya Amazon yağmur ormanlarının %5'ine 3 milyardan fazla ağaç dikilmelidir. Bitcoin madenciliğinin küresel su ayak izi, yarım milyondan fazla olimpiik yüzme havuzu ve Sahra Altı Afrika'nın kırsal kesimindeki 300 milyon insanın mevcut içme suyu kullanımından daha fazladır. Bitcoin'in küresel arazi ayak izi, Los Angeles bölgesinden biraz daha büyük olan yaklaşık 1412 kilometrekareye denk gelmektedir (Chamanara, Ghaffarizadeh ve Madani, 2021: 3).

Ortalama bir Bitcoin madencisi, 24 saatlik çalışma başına 36 kwh'ye eşdeğer yaklaşık 1,5kW güce ihtiyaç duymaktadır. Bu, dünyanın en iyi enerji tüketicilerinden biri olan Amerika Birleşik Devletleri'nde kişi başına günlük elektrik tüketiminden biraz daha büyüktür. İlk on madencilik ülkesinin yıllık Bitcoin madenciliği elektrik talebini karşılamak için gereken kümülatif güç, sırasıyla ABD, Almanya ve Japonya'daki 10, 31 ve 52 milyondan fazla haneye elektrik sağlamak ile aynı ölçüdedir. Bu, 54 ülke ve 1,2 milyar nüfusuyla Afrika'nın toplam elektrik tüketiminin %15'inden fazlasıdır (Chamanara, Ghaffarizadeh ve Madani, 2021: 3).

Küresel olarak, Bitcoin'in enerji tüketiminin iklim değişikliği ve Paris Anlaşması'nın hedeflerine ulaşması için korkunç etkileri vardır, çünkü her yıl tahmini 22 ila 22,9 milyon metrik ton CO2 emisyonu üretilmektedir. Bu sayılar, bir yıl boyunca 2,6 ila 2,7 milyar evin enerji kullanımından kaynaklanan CO2 emisyonlarına eşdeğerdir (Cho, 2021).

Son birkaç yılın kripto varlık alanındaki gündemi NFT'lerdir. Ortalama NFT, ortalama Ethereum işleminden 10 kat daha fazla emisyon üreten, gazla çalışan bir arabada 500 mil gitmeye eşdeğer olan 440 pound karbon üretmektedir. Ortalama bir NFT'nin karbon ayak izinin, bir AB vatandaşının bir aylık elektrik tüketiminden daha fazlasına eşdeğer olduğu varsayılmaktadır (Cho, 2021).

Madencilerin dünyanın en ucuz elektriğini kullandığı istikrarlı piyasa koşullarında, küresel kripto para madenciliği yarışı ASIC birimlerinin yaklaşık her 12-24 ayda bir daha yeni ve daha verimli modellerle değiştirilmesini gerektirmektedir. Yenisi ile değiştirilen ASIC üniteleri, 2021 yılında yaklaşık 30,7 kiloton e-atık yaratmıştır (Vries and Stoll, 2021). Bitcoin madenciliğinin çok sayıda fiziksel atıkla birlikte negatif dışsallık yarattığı da görülmektedir.

## 5. SONUÇ

Bilgi ve iletişim teknolojilerinde yaşanan ilerleme ile geleneksel finans piyasalarında kripto varlıklar gibi yeni nesil ödeme araçları eklenmiştir. Kripto varlıklar arasında en çok bilinen ve ilk ortaya çıkan Bitcoin, merkezi borsalara karşı

merkeziyetsiz bir sistem oluşturmak amacıyla 2009 yılından itibaren işlem görmeye başlamıştır.

Bitcoin'in üretilmesi, madencilik ya da kazı adı verilen sistem ile gerçekleştirilmektedir. İlk başlarda kişisel ve çok yüksek donanım gerektirmeyen bilgisayarlar ile de gerçekleştirilebilen Bitcoin madenciliği, Bitcoin'in yarılanma dönemlerinin ardından madencilik sonucu elde edilen Bitcoin adedinin yarı yarıya inmesiyle artık madencilik çiftliklerinde gerçekleştirilmektedir. Üstelik donanımları güncellenen, yeni nesil ASIC adı verilen cihazlarla üretim yapılabilmektedir.

Bitcoin madenciliğinde yaşanan tüm bu gelişmeler, Bitcoin üretimi için ihtiyaç duyulan elektrik talebini artırmaktadır. Bitcoin'in ve kripto varlıkların yeşil ekonomiye geçiş noktasında bir araç olduğunu düşünenlere karşı artan devasa elektrik tüketimlerini gösterenler kripto varlıkların sanıldıkları kadar çevreci olmadığını ortaya koymaktadır. Üstelik yalnızca artan elektrik talepleri değil; bozulan, arızalanan veya güncelliğini kaybeden cihazların yerine sürekli olarak yenilerinin alınması da fiziksel bir atık kirliliğine neden olmaktadır. Nihayetinde kripto para madenciliğinin çevre kirliliğine neden olduğu, artan elektrik talebinin doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı artırdığı, iklim krizine giden yolu açtığı, çevresel ayak izini artırdığı özetle dünyanın sürdürülebilir geleceği için bir tehdit olduğu belirtilmektedir.

El Salvador'un Bitcoin'i resmî para birimi olarak belirlemesi, gelecekte birçok devletin Bitcoin'i benimseyebileceğini ya da kendi kripto para birimlerini çıkaracaklarını işaret etmektedir. Böyle bir durumda artacak madencilik faaliyetleri, çevre üzerindeki tahakkümü daha da artıracaktır.

Kripto para madenciliğinin sürekliliğinin sağlanabilmesi için enerji tüketiminin azaltılması gerekmektedir. Kripto madencileri için yenilenebilir enerji kaynaklarına teşvik, devletler hatta çok uluslu örgütler aracılığıyla verilmelidir. Kripto para madencilerinden çevre vergisine benzer bir vergi alınmalı, alınan bu vergi madencilerin kullanacağı yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulmasında kullanılmalıdır. Kripto para madenciliği sisteminde kullanılan ASIC'lerin daha az enerji

kullanarak daha çok kazı yapabilecek şekilde tasarlanabilmesi için çalışmalar yürütülmelidir. Tüm bunlara ek olarak kripto para madenciliğinin çevre üzerinde görülen somut etkilerine ek olarak dolaylı etkilerinin olduğu alanlara yönelik de bilimsel çalışmalar hızlandırılmalı, farklı değişkenler sürece eklenerek yeni çalışmaların önü açılmalıdır.

---

**Etik Beyanı:** *Bu çalışmanın tüm hazırlanma süreçlerinde etik kurallara uyulduğunu yazar beyan eder. Aksi bir durumun tespiti halinde Akademik İzdüşüm Dergisinin hiçbir sorumluluğu olmayıp, tüm sorumluluk çalışmanın yazarlarına aittir.*

**Destek ve Teşekkür:** *Bu araştırmanın hazırlanmasında herhangi bir kurumdan destek alınmamıştır.*

**Katkı Oranı Beyanı:** *Araştırmanın tüm süreci makalenin beyan edilen tek yazarı tarafından gerçekleştirilmiştir.*

**Çatışma Beyanı:** *Araştırmanın yazarları olarak herhangi bir çıkar çatışma beyanımız bulunmamaktadır.*

---

## KAYNAKÇA

Alonso, S. L. N. vd. (2021). Cryptocurrency Mining from an Economic and Environmental Perspective. *Analysis of the Most and Least Sustainable Countries, Energies*, (14)14, 1-22.

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.

Bisenov, N. ve Tobin, M. (2022). "It's a mess": How crypto mining went from boom to bust in Kazakhstan, <https://restofworld.org/2022/crypto-miners-fleeing-kazakhstan/> , Erişim Tarihi: 27.03.2022.

Bloomberg. (2020). This Utility Heats New York State-And Mines Its Own Bitcoin, <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-03-05/this-utility-heats-new-york-state-and-mines-its-own->

bitcoin?embedded-checkout=true, Erişim Tarihi: 17.09.2024.

Bogna, J. (2022a). What Is the Environmental Impact of Cryptocurrency?, <https://www.pcmag.com/how-to/what-is-the-environmental-impact-of-cryptocurrency> , Erişim Tarihi: 01.03.2022.

Bogna, J. (2022b). Can Crypto Go Green? How to Invest in Eco-Friendly Cryptocurrencies, <https://www.coindesk.com/learn/can-crypto-go-green-how-to-invest-in-eco-friendly-cryptocurrencies/> , Erişim Tarihi: 25.03.2022.

CCAF. (2024a). [https://ccaf.io/cbeci/mining\\_map](https://ccaf.io/cbeci/mining_map) , Erişim Tarihi: 06.08.2024.

CCAF. (2024b). <https://ccaf.io/cbnsi/cbeci> , Erişim Tarihi: 06.08.2024.

CCAF. (2024c). <https://ccaf.io/cbeci/index> , Erişim Tarihi: 06.03.2022.

Chamanara S, Ghaffarizadeh S.A., Madani K. (2021). The Environmental Costs of Mining Bitcoin. *Earth and Space Science Open Archive (ESSOAr)*.

Cho, R. (2021). Bitcoin's Impacts on Climate and the Environment, <https://news.climate.columbia.edu/2021/09/20/bitcoin-s-impacts-on-climate-and-the-environment/>, Erişim Tarihi: 01.03.2022.

Coinmarketcap, 2024, <https://coinmarketcap.com/tr/> , Erişim Tarihi: 06.08.2024.

Corbet, S. ve Yarovaya, L. (2020). The environmental effects of cryptocurrencies. *Cryptocurrency and Blockchain Technology*. (ss. 149-184). (Ed. Shaen Corbet, Andrew Urquhart, Larisa Yarovaya). de Gruyter Press.

Digiconomist, 2021, <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption> , Erişim Tarihi: 02.02.2022.

Erdoğan, S., Ahmed, M. Y. ve Sarkodie, S. A. (2022). Analyzing asymmetric effects of cryptocurrency demand on

- environmental sustainability. *Environmental Science and Pollution Research*. 29, 31723–31733.
- Garayev, B. (2021). *Makroekonomik Değişkenler ile Kripto Paralar Arasındaki İlişkinin Ekonometrik Analizi: Bitcoin Uygulaması*. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir: Eskişehir Anadolu Üniversitesi.
- Glavanits, J. (2020). Sustainable public spending through blockchain. *European Journal of Sustainable Development*, 9(4), 317–327.
- Goodkind A. L, Jones B. A. ve Berrens, R. P. (2020). Cryptodamages: monetary value estimates of the air pollution and human health impacts of cryptocurrency mining. *Energ Res Soc Sci*, 59, 1-9.
- Hern, A. (2018). Energy cost of 'mining' bitcoin more than twice that of copper or gold, <https://www.theguardian.com/technology/2018/nov/05/energy-cost-of-mining-bitcoin-more-than-twice-that-of-copper-or-gold> , Erişim Tarihi: 25.02.2022.
- Howson, P. and Vries A. de. (2022). Preying on the poor? Opportunities and challenges for tackling the social and environmental threats of cryptocurrencies for vulnerable and low-income communities. *Energy Research & Social Science*, 84, 1-9.
- Jackman, J. (2021). Is Cryptocurrency Bad for the Environment?, <https://www.theecoexperts.co.uk/blog/the-carbon-footprint-of-cryptocurrency> , Erişim Tarihi: 05.03.2022.
- Mohsin, K. (2021). Cryptocurrency & Its Impact on Environment. *International Journal of Cryptocurrency Research*, 1(1), 1-4.
- Mora, C. vd. (2018). Bitcoin emissions alone could push global warming above 2°C. *Nature Climate Change*, 8(11), 931-934.
- Musk, E. (2021). Tesla&Bitcoin, [https://x.com/elonmusk/status/1392602041025843203?ref\\_src=twsrc%5Etfw%7Ctwcamp%5Etweetembed%7Ct](https://x.com/elonmusk/status/1392602041025843203?ref_src=twsrc%5Etfw%7Ctwcamp%5Etweetembed%7Ct)



wterm%5E1392602041025843203%7Ctwgr%5E6eb829b7c96a43da216aa775e0d8856040f5ceac%7Ctwcon%5Es1\_&ref\_url=https%3A%2F%2Ftr.euronews.com%2F2021%2F05%2F13%2Felon-musk-tesla-arac-sat-slar-nda-bitcoin-kullanmay-ask-ya-ald-k , Erişim Tarihi: 18.09.2024.

Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>, Erişim Tarihi: 17.09.2024.

Parmentola, A. vd. (2021). Is blockchain able to enhance environmental sustainability? A systematic review and research agenda from the perspective of Sustainable Development Goals (SDGs). *Business Strategy and The Environment*, 31, 194-217.

Pilarowski, G. ve Lu, Y. (2017). China Bans Initial Coin Offerings and Cryptocurrency Trading Platforms. *Pilar Legal*, September 21, 1-5.

Sendlmeir, J. vd. (2020). The energy consumption of blockchain technology: Beyond myth. *Business and Information Systems Engineering of the Fraunhofer FIT*, 62(6), 599-608.

Sigalos, M. (2021). Bitcoin mining isn't nearly as bad for the environment as it used to be, new data shows, <https://www.cnbc.com/2021/07/20/bitcoin-mining-environmental-impact-new-study.html> , Erişim Tarihi: 11.03.2022.

Stoll, C., KlaaBen, L. and Gallersdörfer, U. (2019). *The carbon footprint of bitcoin*. MIT Center for Energy and Environmental Policy Research, Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.

Symitsi, E., Chalvatzis, K.J. (2018). Return, volatility and shock spillovers of Bitcoin with energy and technology companies. *Economics Letters*, 170, 127-130.

Trespalacios, J. P. ve Dijk, J. (2021). *The carbon footprint of Bitcoin*. Amsterdam: De Nederlandsche Bank n.v.

Trozze, A., vd. 2022. Cryptocurrencies and Future Financial Crime. *Crime Science*, 11, 1-35.

- Ünal, G. ve Uluyol, Ç. (2020). Blok Zinciri Teknolojisi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 3(2), 167-175.
- Vries, A. D. (2022). Revisiting Bitcoin's carbon footprint, *Joule*, 6(3), ss. 498-502.
- Vries, A. de, Stoll, C. (2021). Bitcoin's growing e-waste problem. *Resources, Conservation and Recycling*, 175, 1-11.
- Yılmaz, M. K. ve Kaplan, A. (2022). Kriptopara Madenciliğinin Çevresel Sürdürülebilirlik Üzerine Etkileri. *Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilir Hayat*. (ss. 143-174). (Ed. M. Bulut ve C. Korkut). Ankara: Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları.

## IMPACT OF CRYPTO MINING ON THE ENVIRONMENT

---

### **Extended Summary**

#### ***Aim:***

Cryptocurrencies have been gaining a foothold in the global financial system since the end of 2008. These assets, which were not recognized by almost any country at the beginning, are becoming officially recognized after El Salvador declared Bitcoin a legal currency and countries such as the US and China introduced various regulations. The initial rationale for their emergence was to establish a decentralized secure structure by eliminating the over-centralized structures of central government units (state, bank, etc.) and to maintain the functioning of financial systems using less energy. However, mining activities, especially in the production process of cryptocurrencies, have caused the second rationale to be questioned over time. Countries where crypto miners have settled have tended to ban them by canceling their incentives for miners over time. In this study, the current and possible future impacts of cryptocurrency mining on the environment are discussed from a critical perspective.

#### ***Method(s):***

The study is based on a conceptual evaluation. Qualitative method was used in the study. Before examining the effects of cryptocurrency mining on the environment, in order to make the subject more understandable, firstly, how cryptocurrency mining is done and in which countries cryptocurrency miners are concentrated are explained, and then these effects are discussed separately from both positive and negative perspectives.

#### ***Findings:***

All these developments in Bitcoin mining increase the electricity demand for Bitcoin production. Those who think that Bitcoin and crypto-assets are a tool for transitioning to a green economy point out that crypto-assets are not as environmentally friendly as they think. Moreover, not only the increased demand for electricity, but also the constant replacement of broken,

malfunctioning or outdated devices causes physical waste pollution. Ultimately, it is stated that cryptocurrency mining causes environmental pollution, increasing electricity demand increases the pressure on natural resources, paves the way to the climate crisis, increases the environmental footprint, in short, it is a threat to the sustainable future of the world.

**Conclusion and Discussion:**

In order to ensure the sustainability of cryptocurrency mining, energy consumption needs to be reduced. Incentives for renewable energy sources for crypto miners should be provided through governments or even multinational organizations. A tax similar to the environmental tax should be levied on cryptocurrency miners, and this tax should be used to establish renewable energy sources that miners will use. Studies should be carried out to design ASICs used in the cryptocurrency mining system so that they can dig more excavations using less energy. In addition to all these, in addition to the tangible effects of cryptocurrency mining on the environment, scientific studies should be accelerated in areas where there are indirect effects, and new studies should be paved the way by adding different variables to the process.