

# BİTCOİN İLE KARBON EMİSYONU İLİŞKİSİ: DOĞRUSAL OLMAYAN EŞBÜTÜNLEŞME ANALİZİ\*

## The Relationship between Bitcoin and Carbon Emissions: Nonlinear Cointegration Analysis

Őencan FELEK\*\*, Cihat KARADEMİR\*\*\* & ReŐat CEYLAN\*\*\*\*

### Öz

Bu alıŐmada, 2017M1-2022M1 dönemleri arasındaki veriler kullanılarak Bitcoin (BTC) ile Karbon Emisyonu (CO<sub>2</sub>) arasındaki ilişki incelenmiŐtir. Son zamanlarda yapılan çalışmalara istinaden kripto para ve enerji piyasalarının spekulatif ve kırılgan yapıya sahip olduğu ve bundan dolayı değişkenlerin doğrusal olmayan bir forma sahip olabileceği konusuna dikkat çekildiği gözlenmektedir. Dolayısıyla bu bilgiler çerçevesinde çalışmada öncelikle Luukkonen vd. (1988), Harvey vd. (2008) doğrusallık testi ve Kapetanios vd. (2003) doğrusal olmayan birim kök testi ile değişkenlerin doğrusallık sınaması yapılmaktadır. Akabinde değişkenlerin doğrusal olmayan forma sahip olduğu tespit edildiği için çalışmada Kapetanios vd. (2006) Doğrusal Olmayan EŞbütünleşme analizi kullanılmaktadır. Kapetanios vd. (2006) testi bulgularına göre BTC ile CO<sub>2</sub> arasında uzun dönemde doğrusal olmayan bir eşbütünleşme ilişkisi olduğu tespit edilmektedir. Bu durum BTC ile CO<sub>2</sub> arasındaki ilişkinin uzun dönemde dengeye doğrusal olmayan bir Şekilde yakınsadığı sonucunu göstermektedir. Değişkenler arasında doğrusal olmayan eşbütünleşme ilişkisini tespit ettikten sonra bu ilişkinin yönünü belirlemek amacıyla yapılan Granger nedensellik testi sonucuna göre ise Bitcoin'den Karbon Emisyonuna doğru tek yönlü nedensellik olduğu tespit edilmektedir. Bu bulgu, BTC üretiminde kullanılan enerjinin evre dostu kaynaklardan elde edilmesine yönelik politikaların benimsenmesi gerektiği biçiminde yorumlanabilir.

**Anahtar Kelimeler:**  
Bitcoin, Karbon Emisyonu, Doğrusallık Testleri, Doğrusal Olmayan EŞbütünleşme Analizi, Granger Nedensellik Testi.

**JEL Kodları:**  
C10, C1, G10, Q43, Q50.

**Keywords:**  
Bitcoin, Carbon Emissions, Linearity Tests, Nonlinear Cointegration Analysis, Granger Causality Test.

**JEL Codes:**  
C10, C1, G10, Q43, Q50.

### Abstract

In this study, the relationship between Bitcoin (BTC) and Carbon Emission (CO<sub>2</sub>) was examined using the data between the periods 2017M1-2022M1. Based on recent studies, it is observed that crypto money and energy markets have a speculative and fragile structure, and therefore the variables may have a non-linear form. Therefore, within the framework of this information, the linearity test of the variables is carried out primarily by Luukkonen et al.(1988), Harvey et al.(2008) linearity test, and KSS (2003) nonlinear unit root test. Afterwards, KSS (2006) Nonlinear Co-integration analysis is used in the study since it is determined that the variables have a nonlinear form. According to the KSS (2006) test findings, it is determined that there is a nonlinear cointegration relationship between BTC and CO<sub>2</sub> in the long run. This shows that the relationship between BTC and CO<sub>2</sub> converges non-linearly to the long-run equilibrium. According to the result of the Granger causality test performed to determine the direction of this relationship after detecting the nonlinear cointegration relationship between its variables, it is determined that there is one-way causality from Bitcoin to Carbon Emission. This finding can be interpreted as policies towards obtaining the energy used in BTC production from environmentally friendly sources should be adopted.

\* Bu alıŐma Türkiye Ekonomi Kurumu'nun 8. Uluslararası Ekonomi Konferansı'nda (ICETEA2022) zet bildiri olarak sunulmuŐtur.

\*\*\* Dr. ğrencisi, 100/2000 Yk Doktora Para Politikası ncelikli Alan Burslu, Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Türkiye, [sencanfelek@gmail.com](mailto:sencanfelek@gmail.com), ORCID:0000-0002-4672-6259

\*\*\* ArŐ. Gör., Pamukkale Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Türkiye, [cihatk@pau.edu.tr](mailto:cihatk@pau.edu.tr), ORCID:0000-0001-9074-0915

\*\*\*\* Prof. Dr., Pamukkale Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Türkiye, [rceylan@pau.edu.tr](mailto:rceylan@pau.edu.tr), ORCID:0000-0003-3727-6644

Makale GeliŐ Tarihi (Received Date): 01.11.2022 Makale Kabul Tarihi (Accepted Date): 30.03.2023

Bu eser Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıŐtur.



## 1. Giriş

Küresel iklim değişikliği, gezegenimizin sıcaklık değerlerinin ve hava olaylarının farklılaşmasına yol açan uzun vadeli bir sorundur. Bu sorunun ortaya çıkmasında doğal olayların etkisi kısmi bir öneme sahipken, insan faaliyetlerinin küresel iklim değişikliğinin birincil nedeni olduğu bilinmektedir (Trenberth, 2018). Özellikle Sanayi Devrimi'yle birlikte insan gücüne dayalı üretim sisteminden fosil yakıt kullanımına bağlı makine ve motorların kullanımına geçilmesi, karbondioksit (CO<sub>2</sub>), kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) ve azot oksit (NO<sub>x</sub>) gibi zehirli gazların salınımlarına yol açmaktadır. Artan enerji ihtiyacının fosil yakıtlar kullanılarak karşılanması küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi çevre sorunlarına zemin hazırlamaktadır. Küresel sıcaklık değerlerinde meydana gelen artışların buzulların erimesine, deniz seviyelerinin yükselmesine ve aşırı kuraklığa/yağışa yol açtığı gözlemlenmektedir (Kompas vd., 2018). Dolayısıyla iklim değişikliği, enerji talebinin artması nedeniyle ortaya çıkan ve yarattığı sonuçlar itibariyle bütün ekosistemi etkileyen uzun vadeli bir sorundur.

Karbon emisyonu, sera gazı emisyonlarının neredeyse %75'lik bir kısmını oluşturmakta ve küresel sıcaklığın 1.5 °C artmasına yol açmaktadır. Dolayısıyla iklim değişikliği ile mücadele kapsamında atılacak adımların belirlenmesinde karbon salınımı konusu, sorunun merkezini oluşturmaktadır (Khezri vd., 2022). CO<sub>2</sub> salınımlarını önlemek adına atılacak adımlar arasında ilk olarak fosil yakıt kullanımı ve enerji tüketiminin azaltılması gerektiği konusunda fikir birliğinin sağlandığı görülmektedir.

Özellikle son yıllarda artan bir ilgi gören kripto para madenciliği konusu, üretim yapısı gereği yüksek miktarda enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle, iklim değişikliği, küresel ısınma ve karbon salınımı gibi çevresel konularda önemli tartışma alanlardan birisi olmuştur. Kripto para birimleri içerisinde en önemli paya sahip para birimi Bitcoin (BTC)'dir. 2008 yılında Satoshi Nakamoto takma adı kullanılarak Bitcoin adı verilen blok zincir teknolojisine dayalı bir dijital para birimi ortaya çıkmıştır. Bitcoin'in blok zinciri mülkiyetin ve işlemlerin doğrulanması, karma fonksiyonların arama bulmacalarına dayanmaktadır. Zincire geçerli blokların eklenebilmesi için arama bulmacalarının ağ katılımcıları tarafından çözümlenmesi gerekmektedir. Ancak bu işlemlerin gerçekleşebilmesi için yüksek miktarda enerji talebi ortaya çıkmaktadır. Cambridge Üniversitesi Alternatif Finans Merkezi (CCAF) tarafından yayımlanan rapor, yıllık Bitcoin toplam enerji tüketiminin 40 ila 445 TWh arasında olduğunu, bir karşılaştırma yapmak gerekirse, bu enerji tüketiminin Hollanda'nın yıllık enerji tüketimine yakın olduğunu göstermektedir (Narayanan vd., 2016, Rowlatt, 2020). Ayrıca Bitcoin piyasaya çıktığı günden itibaren çeşitli ticaret platformlarında, kripto para borsalarında geleneksel para türleri ile alım satımı yapılmıştır. Bu süre zarfında Bitcoin'in fiyatında önemli artışlar meydana gelmiş ve bu fiyat hareketliliğinden kar elde etmek için işlem yapan bir kesim ortaya çıkmıştır (Bouri vd., 2019). Bitcoin ile birlikte diğer tüm kripto paraların 28 Mart 2023 tarihi itibari ile piyasadaki toplam işlem hacmi 1.13 Trilyon ABD dolarıdır. Kripto para piyasasındaki toplam işlem hacminin %42.86'sı sadece Bitcoin'e aittir (investing.com). Dolayısıyla Bitcoin için, piyasaya çıktığı günden itibaren en yüksek işlem hacmine sahip kripto para birimi olduğu söylenebilir.

Bitcoin fiyatlarında meydana gelen önemli artışlar sonucunda Bitcoin'e olan talep artmakta ve talebin karşılanabilmesi için yeni Bitcoinlerin üretilmesi gerekmektedir. Yeni Bitcoinlerin üretimi ise madencilik süreci ile gerçekleşmektedir. Bitcoin'in piyasa fiyatı, madencilerin daha fazla donanım ve elektriğe yatırım yapmaları için önemli bir teşvik olarak

görülmektedir. Bitcoin fiyatı arttıkça daha fazla insan madencilik donanımı satın almak ve çalıştırmak için sipariş vermeyi ister. Yani Bitcoin'in popülaritesinin artmasıyla birlikte Bitcoin'e olan talebin artması Bitcoin üretimi için enerji tüketimini de artırması beklenmektedir. Bu durumun ise madencilik işlemlerinin artmasına dolayısıyla da enerji tüketiminin artmasına yol açtığı bilinmektedir (Corbet vd., 2021).

Madencilerin Bitcoin üretimi işlemlerini çok sayıda gelişmiş bilgisayar ile yapmaları gerekmektedir. Bu durum ise yoğun elektrik tüketimine neden olur. Yani kripto para madenciliği enerji yoğun bir faaliyettir (Truby, 2018). Madencilik için kullanılan enerji tüketiminin yüksek olmasının çevre için olumsuz etki yaratan karbondioksit emisyonlarının da artmasına neden olabileceği düşünülmektedir. Bu çerçevede önemli miktarda enerji tüketimine yol açan Bitcoin madenciliğinin sera gazı emisyonları üzerinde bir etkiye neden olup olmadığını açıklamak, küresel ısınma ve iklim değişikliğinin yıkıcı etkileri göz önüne alındığında politika yapımcıları açısından hayati derecede önemlidir.

Bu doğrultuda çalışmanın amacı, yüksek miktarda enerji tüketimine neden olan Bitcoin talebinin artmasının iklim değişikliğine neden olan karbon emisyonlarındaki artışta etkisi olup olmadığını tespit etmek ve etkisi olduğu taktirde Bitcoin madenciliğinin iklim değişikliğine etkisini gidermek amacıyla nasıl bir politika izlenmesi gerektiğine dair değerlendirmelerde bulunmaktadır. Bu çerçevede Bitcoin ile sera gazı emisyonlarının %75'lik kısmını oluşturan CO<sub>2</sub> emisyonu arasındaki ilişki 2017M01-2022M01 dönemine ait verilerden hareket ederek Kapetanios vd. (2006) doğrusal olmayan eşbütünleşme testiyle analiz edilmiştir. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde söz konusu test KSS (2006) olarak ifade edilecektir. Çalışmada kullanılan KSS (2006) eşbütünleşme testinin, serilerin doğrusal olmama durumunda da eşbütünleşme ilişkisini açıklayabilmesi ve geleneksel eşbütünleşme testlerine göre, analizde kullanılan serilerde bulunan yumuşak yapısal kırılmaları da dikkate alması nedeniyle daha doğru sonuçlar vereceği düşünülmektedir. Bu çalışmanın Bitcoin talebi ile CO<sub>2</sub> emisyonları arasındaki ilişkinin literatürdeki çalışmalardan farklı olarak doğrusal olmayan analiz tekniği ile test edilmesi ve çalışmanın sonucunda elde edilen bulgular çerçevesinde çevre dostu enerji kaynaklarına dönük önemli politika önerileri sunması açısından literatüre katkısı olabileceği düşünülmektedir. Bu çerçevede çalışmanın devam eden kısmı şu şekilde tasarlanmıştır; İkinci bölümde literatür özeti açıklanmakta, üçüncü bölümde kullanılan yöntem hakkında bilgi verilmekte ve veri seti tanıtılmakta, dördüncü bölümde uygulama sonuçları ele alınmakta ve son olarak beşinci bölümde elde edilen bulgular değerlendirilmekte ve politika önerisinde bulunmaktadır.

## 2. Literatür Özeti

Son yıllarda etkisini daha çok hissetmeye başladığımız iklim değişikliği olgusunun belirleyicilerini tanımlamak, bu doğrultuda etkili önlemler almak gerektiği tüm dünya tarafından kabul edilmektedir. Örnek olarak, 2015 yılında imzalanan Paris İklim Anlaşması'yla birlikte politika yapımcılar, küresel ısınmanın yıkıcı etkilerine ve çevresel sürdürülebilirliğe daha çok önem vermişler ayrıca gerekli düzenlemelerin yapılması konusunda etkili adımlar atmaya başlamışlardır (Othman ve Bob, 2022).

Yeni ortaya çıkan her teknolojik gelişmede olduğu gibi kripto para birimlerinin çevresel etkilerini de incelemek gerekmektedir. Kripto para birimlerinin enerji tüketim tahminleri,

karbon emisyonları ve buradan hareketle küresel ısınma ve iklim değişikliği üzerindeki etkileri hem kamusal hem de akademik alanda büyük bir ilgi konusu olmuştur (Baur ve Oll, 2021).

Bitcoin üretiminin yoğun enerji tüketimine olan bağımlılığı bir taraftan çevre ekonomistlerinin ampirik çalışma alanı haline gelmesine yol açmış, diğer taraftan BTC'nin sahip olduğu avantajlar nedeniyle getirisindeki gelişmeler para ve finans ekonomistlerinin de ilgi odağı haline gelmesini sağlamıştır. Bu gelişmeler konu hakkında zengin bir literatürün oluşmasında etkili olmuştur. Çalışmanın bu bölümünde BTC üretimi ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının inceleyen literatür çalışmalarına yer verilmiştir.

**Tablo 1. Literatür Özeti**

Yazarlar	Metodoloji	Sonuç
Mora vd. (2018)	Sıcaklık Projeksiyonları Tahmin Modeli	Bitcoin kullanımının artması gelecek birkaç on yıl içerisinde küresel ısınmayı 2 °C artıracak enerji talebi yaratacaktır.
Köhler ve Pizzol (2019)	Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA)	Bitcoin ağı 2018 yılında 31.29 TWh'lik enerji tüketimine, 17.29 milyon metrik karbon salınımına neden olmuştur.
Mohsin vd. (2020)	Vektör Hata Düzeltme Modeli (VECM)	Kripto para birimleri hacmi ile çevresel bozulma arasında kısa ve uzun dönemde çift yönlü nedensellik ilişkisi vardır.
Schinekus vd. (2020)	ARDL Sınır Testi	Kripto para birimleri alım satım hacmi kısa ve uzun dönemde enerji tüketimini pozitif yönde etkilemektedir.
Jiang vd. (2020)	Simülasyon Tabanlı BTC Blok Zincir Karbon Emisyonu Modeli	Çin'de BTC enerji tüketimi 2024 yılında 296.59 TWh'ye yükselecek, bu durum 130.50 milyon metrik karbon emisyonuna yol açacaktır.
Jana vd. (2021)	Makine Öğrenmesi Algoritmaları	Bitcoin'in tarihsel miktarı, blok zincirinin boyutu ve enerji tüketimi elektronik atık üretiminin belirleyicisidir.
Yang ve Xu (2021)	Parametrik ve Yarı Parametrik Modeller	Bitcoin ağının mevcut karbon fiyatına dayalı negatif çevresel dışsallığı, çevresel maliyetleri yansıtmak açısından yeterli değildir.
Di Febo vd. (2021)	MVQM-CAViaR Modeli, Granger Nedensellik Testi	Bitcoin yayılımı karbon piyasası üzerinde güçlü bir etki yaratmaktadır.
Roeck ve Drennen (2022)	LCA	Bitcoin madenciliği yerel iklim önlemlerini engellemekte ve iklim değişikliği ile mücadelede yönelik uygulamaları tehdit etmektedir
Pham vd. (2022)	GARCH, Quantile VAR	Yeşil kripto paraların Ethereum ve Bitcoin ile gevşek bir ilişkisi bulunmaktadır.
Erdoğan vd. (2022)	Toda-Yamamoto ve Bootstrap Toda-Yamamoto	Bitcoin, Ethereum ve Ripple talebi çevresel bozulmalara yol açmaktadır.
Doğan vd. (2022)	Granger Nedensellik Testi	Bitcoin, hem temiz enerji hem de emisyon ödeneği ile nedensel ilişki içerisinde bulunmaktadır
Miśkiewicz vd. (2022)	Panel Eşbütünleşme Testleri ve VECM	Uzun dönemde kripto para ticareti ile yenilenebilir enerji kullanım payı arasında bir ilişki yoktur.

Kripto para piyasaları özellikle son yıllarda önemli bir gelişme göstermiştir. Bu piyasaların yüksek enerji tüketimine neden olması ve bu durumun çevresel bozulmalara yol açması nedeniyle sürdürülebilirlik konusu önemli bir tartışma noktası haline gelmiştir. Tablo 1’de yer alan bilgiler çerçevesinde Mora vd. (2018), 2017 yılındaki 314,2 milyar dolar nakitsiz işlemin yaklaşık %0,033’ünü oluşturan Bitcoin’in çevresel bozulma endişelerini artırdığından hareket ederek yayınladıkları çalışmalarında, Bitcoin’in benimsenmesinin artması durumunda küresel ısınmanın gelecek birkaç on yıl içerisinde 2 santigrat derece artmasına sebep olacak bir elektrik talebi yaratacağını iddia etmişlerdir. LCA modelinin kullanıldığı iki ayrı çalışmada Köhler ve Pizzol (2019) ve Roeck ve Drennen (2022), BTC madenciliğinin yüksek enerji tüketimine neden olduğunu ve bu durumun iklim değişikliği ile mücadeleye yönelik uygulamaları tehdit ettiği sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca madencilerin coğrafi dağılımlarının ve madencilikte kullanılan ekipmanların verimliliğinin ortaya çıkan bu sonucu etkileyen en önemli faktör olduğunu açıklamışlardır.

Literatürde kripto para piyasaları ile enerji tüketimi ve çevresel etkiler arasındaki ilişkiyi açıklamaya yönelik zaman serisi tekniğine dayalı olarak yapılan çalışmalar da önemli bir yer kapsamaktadır. Örneğin, Mohsin vd. (2020), VECM modelini uyguladıkları çalışmalarında kripto para birimleri hacmi ile çevresel bozulma arasında kısa ve uzun dönemde çift yönlü nedensellik ilişkisinin var olduğu sonucunu elde etmişlerdir. ARDL yöntemini kullanarak yaptıkları çalışmada Schinckus vd. (2020), tüm kripto para birimlerinin alım satım hacimlerinin kısa ve uzun dönemde enerji tüketimi üzerinde pozitif bir etki yarattığını ve bu durumun enerji sektörü üzerinde uzun vadeli sonuçlar yarattığını ileri sürmüşlerdir. Di Febo vd. (2021), BTC fiyatı ile karbon kredisi piyasası arasındaki ilişkiyi belirlemek için MVQM-CAViaR modeli ve Granger nedensellik testini kullandıkları çalışmalarında BTC fiyatının karbon piyasası üzerinde önemli bir etki yarattığını, aynı zamanda karbon kredisi piyasasının BTC fiyatı üzerinde bir nedensellik etkisi yaratmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Pham vd. (2022), karbon fiyatlarının iki kuyruğunu analiz etmek amacıyla 2017 ve 2021 yılları arasında yeşil ve yeşil olmayan kripto para birimleri için nicel bağlantılılık çerçevesini ve günlük kapanış fiyatlarını kullanmışlardır. Araştırmacılar yeşil kripto paraların Ethereum ve Bitcoin ile gevşek bir ilişkisinin olduğunu ve COVID-19 pandemisinin patlak vermesinin dışında net bağlantılarının sifıra yakın olduğunu bulmuşlardır. Erdoğan vd. (2022), kripto para talebinin çevresel etkilerini test etmek amacıyla karbon emisyonu ile 3 farklı kripto para birimi için 2010M8-2021M1 dönemleri için asimetrik nedensellik testi yapmışlardır. Çalışmada kullandıkları kripto para değişkenleri Bitcoin, Ethereum ve Ripple’dır. Kripto para talebi göstergesi olarak değişkenlerin kapanış fiyatları analize dahil edilmiştir. Toda-Yamamoto ve Bootstrap-Düzeltilmiş Toda-Yamamoto test sonuçları Bitcoin ve Ethereum’dan karbon emisyonuna doğru nedensellik olduğu dolayısıyla çevresel bozulma üzerine etkisi olduğunu göstermektedir. Ripple’ın ise nedensellik etkisi bulunmamaktadır. Fourier Toda-Yamamoto test sonucu ise, Bitcoin ve Ripple’dan karbon emisyonuna doğru bir nedensellik ilişkisi olduğunu ancak Ethereum’dan karbon emisyonuna bir nedensellik olmadığını göstermektedir. Yazarlar çalışmada asimetrik nedenselliğin, Bitcoin talebinin pozitif şokundan, Ripple ve Ethereum taleplerinin negatif şoklarından çevresel bozulmanın pozitif şoklarına kadar nedensellik etkileri gösterdiğini belirtmişlerdir. Doğan vd. (2022), Bitcoin, temiz enerji ve emisyon ödeneği arasındaki ilişkiyi 17 Eylül 2014 – 12 Ekim 2021 dönemine ait günlük veriler ışığında zamanla değişen Granger nedensellik testi uygulayarak analiz etmişlerdir. Elde edilen bulgulara göre BTC, hem temiz enerji hem de emisyon ödeneği ile nedensel ilişki içerisinde bulunmaktadır. Yazarlar, Bitcoin enerji

tüketiminin temiz enerji kullanımı ile karşılanabileceğini ve böylece çevresel bozulmanın azalabileceği tezini ileri sürmektedir. Miśkiewicz vd. (2022), kripto para ticareti, ekonomik gelişim, yenilenebilir enerji tüketimi ve çevresel bozulma arasındaki bağlantıları analiz etmeyi amaçladıkları çalışmalarında Pedroni ve Kao panel eşbütünleşme testi, FMOLS ve DOLS panel eşbütünleşme testi ve VECM modellerini kullanmışlardır. Araştırmacılar, artan kripto para ticaretinin GSYH, sabit sermaye oluşumu ve küreselleşmeye yol açtığını ancak uzun vadede kripto para ticareti ile yenilenebilir enerji kullanım payı arasında bir ilişki olmadığı sonucuna varmışlardır.

Farklı yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde ise simülasyon tabanlı modeller, makine öğrenmesi algoritmaları ve parametrik ve yarı parametrik modellerin kullanıldığı çalışmalar dikkat çekmektedir. Örneğin, Jiang vd. (2020), Simülasyon Tabanlı BTC Blok Zincir Karbon Emisyonu Model’ini kullandıkları çalışmalarında Çin’de Bitcoin enerji tüketiminin 2024 yılında 296,59 TWh’ye ulaşacağını ve bununla birlikte 130,50 milyon metrik karbon emisyonuna yol açacağı sonucuna ulaşmışlardır. Makine öğrenmesi algoritmalarının kullanıldığı Jana ve diğerlerinin (2021) çalışmasında Bitcoin ağındaki elektronik atık oluşumunun belirleyicilerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, blok zincirinin boyutu, enerji tüketimi ve Bitcoin’in tarihsel miktarı elektronik atık üretiminin belirleyicisidir. Yang ve Xu (2021), parametrik ve yarı parametrik modellerden faydalanarak Bitcoin ağının karbon ayak izi için yapay bir fiyat geliştirmişler, risk altındaki iklim değerini (VaR) iklimin beklenen açığına (ES) genişletmişlerdir. Yazarlar, elde edilen tahminler göz önüne alındığında Bitcoin ağının mevcut karbon fiyatına dayalı negatif çevresel dışsallığı, çevresel maliyetleri yansıtmak açısından yeterli olmadığını ileri sürmüşlerdir.

Literatür bölümünde tartışıldığı üzere kripto para birimlerinin enerji tüketimi, karbon salınımı ve karbon ayak izi ile ilişkisini inceleyen çalışmalar son yıllarda artış göstermiştir. Elde edilen bulgulara göre birçok çalışmada kripto para birimleri ile enerji tüketimi ve küresel iklim değişikliğine yol açan karbon salınımı, sera gazı emisyonları vb. gibi değişkenler arasında ilişkinin var olduğu farklı yöntemler kullanılarak tespit edilmiştir. Bu çalışmanın yukarıda özetlenen benzer çalışmalardan iki noktada ayrıştığı söylenebilir. Birincisi; Bitcoin talebi ile CO<sub>2</sub> emisyonları arasındaki ilişkiyi doğrusal olmayan eş-bütünleşme tekniğine dayanan KSS (2006) metodu ile ele almasıdır. İkincisi ise analiz sonucunda elde edilen bulguların çevre dostu enerji kaynaklarına dönük politika önerisi olarak kullanılabilmesidir.

### **3. Yöntem ve Veri Seti**

#### **3.1. Ekonometrik Yöntem**

Günümüzde piyasa değeri ve işlem hacmi bakımından ilk sırada yer olan BTC ile karbon emisyonları (CO<sub>2</sub>) arasındaki ilişkinin incelendiği bu çalışmada 2017M01-2022M01 dönemini kapsayan aylık veriler kullanılmıştır. BTC piyasaya girdikten sonra 2017 yılına kadar düşük düzeylerde kalmış ancak 2017 yılından itibaren piyasa değeri açısından bin dolar düzeylerine çıkmıştır. Bundan dolayı çalışmaya 2017 yılından başlanmıştır. Çalışmanın temel amacı BTC ile CO<sub>2</sub> arasında eşbütünleşme ilişkisinin olup olmadığını test etmektir.

BTC ile CO<sub>2</sub> arasındaki eşbütünleşme ilişkisi incelenirken, literatürde son zamanlarda yapılan çalışmalarda zaman serilerinin zamanla almış oldukları değerler sonucunda oluşan eğimlerinden dolayı değişkenlerin doğrusal olmamaları durumuna dikkat çekildiği

gözlenmektedir. Özellikle finansal piyasalarda işlem gören yatırımcıların bu piyasadan beklentilerinin ve bu piyasa ile ilgili bilgi düzeylerinin farklı olması yatırımcıların karar alma sürecini farklı yönde etkilemektedir. Yani, finansal piyasalarda yapısal ve davranışsal seçimler etkili olmaktadır. Dolayısıyla ortaya doğrusal olmayan bir süreç çıkabilmektedir. Harvey vd. (2008) çalışmalarında, doğrusal olmayan forma sahip olan bir seri için doğrusal forma sahipmiş gibi hareket edilip analize dahil edilmesinin yanıltıcı sonuçlar verebileceğini belirtmişlerdir. Buna ek olarak Cuestas ve Garratt'da (2011) doğrusal olmayan forma sahip değişkenler için doğrusal birim kök testlerinin yapılmasının analiz hakkında yanıltıcı sonuçlar verebileceğini belirtmektedirler. Yazarlara göre, seri doğrusal değil ise doğrusal birim kök testlerinin kullanılması durumunda, test istatistiğinin gücü hakkında sorunlar ile karşılaşılacaktır. Bu durumda doğrusal birim kök testleri sonuçları, birim kök vardır temel hipotezini reddetmeme yönünde eğilimli olacaktır. Bu bilgiler çerçevesinde kripto para ve enerji piyasasının da spekülasyon ve kırılmalı yapıya sahip olduğu göz önünde bulundurulduğunda değişkenlerin doğrusal olmayan bir formda olabileceği düşünüldüğünden çalışmada, BTC ile CO<sub>2</sub> arasındaki ilişki KSS (2006) doğrusal olmayan eşbütünleşme analizi ile test edilmiştir. Doğrusal olmayan eşbütünleşme testinin kullanılabilmesi için ise öncelikle serilerin doğrusallık sınavının yapılması gerekmektedir.

Değişkenlerin doğrusallık sınavı için literatürde çok sayıda doğrusallık testleri bulunmasına rağmen genellikle Brock vd. (1987) tarafından geliştirilen BDS testi, Luukkonen vd. (1988), Harvey ve Leybourne (2007) ve Harvey vd. (2008) doğrusallık testleri ile değişkenlerin doğrusallık sınavı yapılmaktadır. Bu testlere ek olarak KSS (2003) tarafından geliştirilen ve literatürde KSS (2003) doğrusal olmayan birim kök testi olarak bilinen KSS (2003) testi de değişkenlerin doğrusal olup olmamaları hakkında bilgi vermektedir. KSS (2003), doğrusal formda olmayan seriler için doğrusalmış gibi karar verilip serilere geleneksel birim kök testleri uygulanması sonucunda serilerin durağanlıklarıyla ilgili yanlış karar verilebileceği düşüncesinden hareketle KSS (2003), ADF tipi birim kök sürecini geliştirerek, geçiş fonksiyonunun üstel bir forma sahip olduğu yeni bir birim kök testini öne sürmüşlerdir. KSS (2003) birim kök testinin boş hipotezi birim kök var, alternatif hipotezi ise değişkenlerin doğrusal olmayan ancak durağan olduğunu test etmektedir. Dolayısıyla KSS (2003), birim kök var temel hipotezine karşılık doğrusal olmayan ancak durağan üstel yumuşak geçişli otoregresif (ESTAR) süreci belirten alternatif hipotezi test etmektedir. Bu hipotezler çerçevesinde KSS (2003) birim kök testinde eğer boş hipotez reddedilirse bu durumda serilerin doğrusal olmayan forma sahip olduğunu söylemek mümkündür. Ayrıca boş hipotezin reddedilmesi durumu, negatif ve pozitif şokların etkisinin zaman serisi üzerinde aynı olacağını yani serinin kendisine vereceği şoka tepkisinin simetrik olacağını ifade ettiğini belirtmektedir (Kapetanios vd., 2003: 361-364, Hepsağ ve Akçalı, 2015: 78-79). Bu bilgiler çerçevesinde çalışmada literatürde kullanılan doğrusallık testlerinden Luukkonen vd. (1988), Harvey vd. (2008) ve KSS (2003) testlerinin teknik açıklamalarına yer verilmiştir.

Luukkonen vd. (1988) doğrusallık testi, değişkenlerin I(0) olması durumunda doğrusallık testinin yapılacağını ve çalışmada F test istatistiğinin kullanıldığını belirtmektedir. Optimal gecikme uzunluğu (p) ve optimal bozucu terim (k), veri setine dayanarak F-istatistiğini optimize edecek şekilde seçilmektedir (Omay ve Kan, 2010: 998).

$$Y_t = \theta_0 + \left[ \sum_{m=1}^p (\theta_{1m}Y_{t-m} + \theta_{2m}Y_{t-m}Y_{t-k} + \theta_{3m}Y_{t-m}Y_{t-k}^2) \right] + \theta_4Y_{t-k}^3 + \epsilon_t \quad (1)$$

Burada  $Y_t$  serisi veri üretim sürecine göre ham, ortalamadan arındırılmış ya da trendden arındırılmış olabilir. 1 numaralı modelde test edilecek boş hipotez;

$H_0: \Theta_{2m} = \Theta_{3m} = \Theta_4 = 0$  şeklinde ifade edilmektedir. Boş hipotezin kabul edilmemesi durumu serilerin doğrusal olmadığını göstermektedir.

Harvey vd. (2008) doğrusallık testi ise değişkenlerin  $I(0)$  veya  $I(1)$  de durağanlaşması durumunda doğrusallık testinin yapılabileceğini ifade etmektedirler. Harvey vd. (2008) çalışmasında zaman serilerinin  $I(0)$  veya  $I(1)$  oldukları durumda kullanılan denklemler farklıdır. Değişkenlerin  $I(0)$  varsayımı altında olmaları durumunda kullanılan denklem 2 numaralı denklemde gösterilmektedir.

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 y_{t-1} + \beta_2 y_{t-1}^2 + \beta_3 y_{t-1}^3 + \sum_{j=1}^p \beta_{4,j} \Delta y_{t-j} + v_t \quad (2)$$

Denklem 2'de  $\Delta$  fark operatörünü ve  $p$  ise gecikme sayısını ifade etmektedir. Denklem hipotezleri ise aşağıdaki gibidir.

$H_{0,0}: \beta_2 = \beta_3 = 0$  (değişkenler doğrusaldır)

$H_{1,0}: \beta_2 \neq 0$  ve/veya  $\beta_3 \neq 0$  (değişkenler doğrusal değildir)

2 numaralı denklem üzerinden boş hipotezi alternatif hipoteze karşın test etmek için Wald istatistiği kullanılmaktadır. Wald test istatistiği aşağıda gösterildiği gibidir.

$$W_0 = T \left( \frac{RSS_0^r}{RSS_0^u} - 1 \right) \quad (3)$$

Burada  $RSS_0^r$  kısıtlı modelden elde edilen,  $RSS_0^u$  ise kısıtsız modelden elde edilen hata terimi kareler toplamını göstermektedir. Ayrıca  $T$  gözlem sayısını ifade etmektedir.

Zaman serilerinin  $I(1)$  olmaları durumunda kullanılan denklem ise aşağıda 4 numaralı denklemde gösterilmektedir.

$$\Delta y_t = \lambda_1 \Delta y_{t-1} + \lambda_2 (\Delta y_{t-1})^2 + \lambda_3 (\Delta y_{t-1})^3 + \sum_{j=2}^p \lambda_{4,j} \Delta y_{t-j} + v_t \quad (4)$$

3 numaralı denklem için kullanılacak boş ve alternatif hipotezler;

$H_{0,1}: \lambda_2 = \lambda_3 = 0$  (değişkenler doğrusaldır)

$H_{1,1}: \lambda_2 \neq 0$  ve/veya  $\lambda_3 \neq 0$  (değişkenler doğrusal değildir)

şeklindedir. 3 numaralı denklem üzerinden boş hipotezi alternatif hipoteze karşın test etmek için kullanılan Wald istatistiği ise;

$$W_1 = T \left( \frac{RSS_1^r}{RSS_1^u} - 1 \right) \quad (5)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada  $T$  gözlem sayısını,  $RSS_1^r$  kısıtlı modelden elde edilen,  $RSS_1^u$  ise kısıtsız modelden elde edilen hata terimi kareler toplamını göstermektedir.

Harvey vd. (2008) testinin odak noktası  $y_t$  serisinin durağan mı yoksa birim köke mi sahip olduğunun bilinmemesidir. Bundan dolayı değişkenleri durağan olduğunda  $W_0$ , birim



köke sahip olduğunda  $W_1$  istatistiğini asimptotik olarak seçen bir yaklaşım dikkate alınmaktadır. Bu, ağırlıklı ortalama istatistiği kullanılarak elde edilmektedir.

$$W_\lambda = \{1 - \lambda\}W_0 + \lambda W_1 \quad (6)$$

6 numaralı denklemde  $W_0$  değişkenlerin durağan olduğu,  $W_1$  ise durağan olmadığı varsayımı altında doğrusallık testini yapmaktadır.  $W_\lambda$  değeri ise 2 serbestlik dereceli  $\chi^2$  dağılımına uygunluk göstermektedir. Çalışmada kullanılan son doğrusallık testi olan KSS (2003) doğrusal olmayan birim kök testinin tek değişkenli ESTAR (1) modeli aşağıdaki gibidir (KSS, 2003: 359-361).

$$y_t = \beta y_{t-1} + \theta y_{t-1} [1 - \exp(-\gamma y_{t-d}^2)] + \varepsilon_t \quad (7)$$

7 numaralı denklemde  $y_{t-d}^2$  geçiş değişkeni,  $\gamma$  ise bir rejimden diğer rejime geçişi sağlayan düzgünleştirme parametresidir. Bu düzgünleştirme parametresi  $\gamma$ , geçiş yumuşaklığını ve hızını temsil eder. Modelde  $\gamma \geq 0$ ,  $d=1$  ve  $\alpha=\beta-1$  varsayımı yapılarak 1.derece farkı alınıp yeniden yazıldığında model 8 numaralı denklemde gösterildiği gibi olmaktadır.

$$\Delta y_t = \alpha y_{t-1} + \theta y_{t-1} [1 - \exp(-\gamma y_{t-1}^2)] + \varepsilon_t \quad (8)$$

KSS (2003) testinde 8 numaralı denklemdeki modele  $\alpha=0$  kısıtını uygulayarak özel ESTAR modelini elde ederiz. Bu modelde boş hipotez  $\alpha=0$ ,  $\gamma=0$  doğrusal birim kökün özel halini test ederken alternatif hipotez  $\alpha=0$ ,  $\gamma>0$  doğrusal olmayan durağan süreci test etmektedir. Bu durumda ise  $-2<\theta<0$  koşulu geçerlidir.  $\alpha=0$  kısıtı uygulandıktan sonra elde edilen özel ESTAR modeli 9 numaralı denklemde gösterilmektedir.

$$\Delta y_t = \theta y_{t-1} [1 - \exp(-\gamma y_{t-1}^2)] + \varepsilon_t \quad (9)$$

9 numaralı denklemde model geleneksel birim kök testleri ile sınanamadığından KSS'nin (2003) geliştirdiği yeni test ile  $\gamma$  parametresine odaklanılmıştır. Bu çerçeve de hipotezler aşağıda gösterildiği gibidir.

$$H_0: \gamma=0 \text{ ve } H_A: \gamma>0$$

Bu hipotezler doğrultusunda 9 numaralı denklemde boş hipotez altında  $\theta$  parametresi tanımlanamadığından,  $\gamma=0$  hipotezini doğrudan sınavabilmek mümkün değildir. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için Luukkonen vd. (1988) tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır. Bu doğrultuda KSS (2003), 9 numaralı denklemdeki ESTAR modeline  $\gamma=0$  etrafında 1.dereceden Taylor açılımını uygulamış ve yardımcı regresyon elde etmişlerdir. Elde edilen yardımcı regresyon 10 numaralı denklemde gösterilmektedir.

$$\Delta y_t = \delta y_{t-1}^3 + \varepsilon_t \quad (10)$$

Denklem 10'da hipotezler  $\delta$  üzerinden kurulur. Model EKK yöntemi ile tahmin edilmektedir. Taylor açılımı uygulandıktan sonra hipotez, 11 numaralı denklemde gösterilen test istatistiği ile hesaplanmaktadır:

$$t_{NL} = \frac{\hat{\delta}}{s.e(\hat{\delta})} \quad (11)$$

11 numaralı denklemde,  $t_{NL}$  test istatistiği asimptotik olarak normal dağılmadığından standart t tablosu ile karşılaştırılması mümkün değildir. Dolayısıyla standart t tablosu yerine KSS (2003) tarafından üretilen Monte Carlo simülasyonları sonucunda elde edilen kritik

değerler kullanılmaktadır. Elde edilen bu kritik değerler ham, ortalamadan ve ortalama-trendden arındırılmış şeklindedir. 8 numaralı denklemde kurulacak hipotez testleri aşağıdaki gibidir.

$$H_0: \delta=0 \text{ ve } H_A: \delta<0$$

Yukarıda belirtilen hipotezler test edildikten sonra eğer  $t_{NL}$  test istatistiği KSS (2003) kritik değerden küçük ise boş hipotezin reddedilmediği ve serilerin birim köklü olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Diğer yandan  $t_{NL}$  test istatistiği KSS (2003) kritik değerden daha büyükse boş hipotez reddedilir ve serilerin doğrusal olmayan durağan ESTAR sürecine sahip olduğu tespit edilmektedir.

Analizde kullanılan değişkenlerin doğrusallık testlerinin yapılması sonucunda eğer değişkenlerin doğrusal olmayan formda olduğu tespit edilirse bu aşamadan sonra analize doğrusal olmayan eşbütünleşme tekniğine izin veren KSS (2006) eşbütünleşme testi ile devam edilmelidir. KSS (2006) eşbütünleşme testinin yapılabilmesi için de öncelikle Engle-Granger eşbütünleşme testinin yapılması gerekmektedir. Çalışmada kullanılan değişkenlere ait tüm test sonuçları veri seti ve ampirik bulgular kısmında detaylı verilmiştir.

Engle-Granger eşbütünleşme testi için öncelikle değişkenlerin aynı düzeyde ve I(1) düzeyinde durağan olmaları gerekmektedir. Serilerin I(1) düzeyinde durağanlaşması durumunda Engle-Granger eşbütünleşme testi yapılabilmektedir. Engle-Granger (1987) eşbütünleşme testi 2 aşamadan oluşmaktadır. Testin ilk aşamasında birinci dereceden durağan olan iki değişken arasında regresyon kurulur. Kurulan bu regresyon denklem 12'de gösterilmektedir.

$$y_t = \beta'x_t + \varepsilon_t \quad (12)$$

Testin ikinci aşamasında ise denklem 12'deki regresyondan elde edilen hata terimleri ile otoregresif bir model kurularak, hata terimlerinin durağanlık sınaması yapılmaktadır. İkinci aşamadan elde edilen regresyon denklem 13'de gösterilmektedir (Yılancı, 2009: 208).

$$\Delta\varepsilon_t = \rho\varepsilon_{t-1} + v_t \quad (13)$$

Denklem 13'te  $\rho=0$  olması hata terimlerinin birim kök içerdiğini dolayısıyla değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi olmadığını göstermektedir.  $\varepsilon_t$  serisi regresyon eşitliğinden tahmin edildiği için hata terimlerinin durağanlık sınaması geleneksel ADF testinin kritik değerleri yerine Engle-Granger (1987) testinin kritik değerlerine göre yapılmaktadır.

Engle-Granger eşbütünleşme testinde boş hipotez değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisinin olmadığını, alternatif hipotez ise  $\rho<0$  yani değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi olduğunu varsaymaktadır. Yapılan analiz sonucunda eğer boş hipotez kabul edilirse alternatif hipotezi test etmek için KSS (2006), Engle-Granger eşbütünleşme testini geliştirerek yeni bir test geliştirmişlerdir. KSS (2006), bu testi alternatif hipotez altında hata düzeltme mekanizmasına doğrusal olmayan ayarlamının varlığına izin veren alternatif bir test öne sürmüşlerdir. Yani KSS (2006) tarafından geliştirilen bu yeni test, değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi yoktur boş hipotezine karşın, değişkenler arasında doğrusal olmayan durağan ESTAR eşbütünleşme olduğunu varsayan alternatif hipotezi test etmişlerdir.

KSS (2006) testinde, modele dahil edilecek deterministik bileşenlere göre aşağıdaki regresyonlardan biri dikkate alınmaktadır (Kapetanios vd., 2006: 9).

$$y_t^* = \beta_2'x_t^* + \varepsilon_t \quad (14)$$

$$y_t^+ = \beta_2' + \varepsilon_t \quad (15)$$

Denklem 14 ve 15'te ifade edilen \* üst indisi değişkenlerin ortalamadan arındırılmış halini, + üst indisi ise değişkenlerin hem ortalamadan hem de trendden arındırıldığını göstermektedir. KSS (2006) doğrusal olmayan eşbütünleşme testinde alternatif hipotez altında hata terimlerinin üstel düzgün geçişli otoregresif sürece uygun olup olmadığı sınanmaktadır.

Engle-Granger eşbütünleşme testi sonucunda boş hipotezin reddedilmesi durumunda alternatif hipotezi test eden model, KSS (2006) tarafından 16 numaralı denklemdeki gibi gösterilmektedir.

$$\Delta \varepsilon_t = G(\varepsilon_{t-1}) + v_t \quad (16)$$

Denklemde G(.) geçiş fonksiyonunun ESTAR formunu takip ettiği özel bir durumuna odaklanılmaktadır. KSS çalışmasında ileri sürüldüğü gibi, modelde geçiş fonksiyonu G(.), hata düzeltme modeline doğrusal olmayan yapıyı eklemektedir. Geçiş fonksiyonu, modelde çeşitli fonksiyonel formlar ile gösterilse de KSS (2003) çalışmasında ESTAR formuna sahip olduğu varsayılmaktadır. Geçiş fonksiyonu G(.)'nin üstel  $G(\varepsilon_{t-1}) = \theta \varepsilon_{t-1} [1 - \exp(-\gamma \varepsilon_{t-1}^2)]$  formda yazılması durumunda hata terimlerinin üstel düzgün geçişli otoregresif modelde gösterimi 17 numaralı denklemdeki gibidir.

$$\varepsilon_t = \beta \varepsilon_{t-1} + \theta \varepsilon_{t-1} [1 - \exp(-\gamma \varepsilon_{t-1}^2)] + v_t \quad (17)$$

Denklemde  $v_t \sim iid(0, \sigma^2)$  özelliğini göstermektedir. Burada  $\alpha = \beta - 1$  ve  $\gamma \geq 0$  kısıtı uygulanarak parametreler yeniden yazıldığında 18 numaralı denklemdeki model elde edilmektedir.

$$\Delta \varepsilon_t = \alpha \varepsilon_{t-1} + \theta \varepsilon_{t-1} [1 - \exp(-\gamma \varepsilon_{t-1}^2)] + v_t \quad (18)$$

Denklem 18'deki modelde boş hipotez altında  $\alpha = 0$  ve  $\gamma = 0$  eşitlikleri test edilirken, değişkenler arasında doğrusal olmayan eşbütünleşme ilişkisi olduğunu varsayan alternatif hipotez  $\alpha = 0$ ,  $\gamma > 0$  ve  $-2 < \theta < 0$  eşitliklerini test etmektedir. Burada önemli olan nokta her iki hipotez altında  $\alpha = 0$  olmasıdır. Bu durumda modeli denklem 19'da gösterildiği gibi yeniden yazabiliriz.

$$\Delta \varepsilon_t = \theta \varepsilon_{t-1} [1 - \exp(-\gamma \varepsilon_{t-1}^2)] + v_t \quad (19)$$

Denklem 19'da değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi olmadığını gösteren boş hipotez  $\theta = 0$ , değişkenler arasında doğrusal olmayan eşbütünleşme ilişkisi olduğunu gösteren alternatif hipoteze  $\gamma > 0$  ve  $-2 < \theta < 0$  karşı sınanmaktadır. Boş hipotez altında  $\theta$  parametresi tanımlanamadığı için KSS (2006), tanımlanamayan parametre sorununu çözmek için Luukkonen ve diğerlerinin (1988) uyguladıkları yöntemi izleyerek 19 numaralı denkleme birinci dereceden Taylor yaklaşımı uygulamışlardır. Taylor yaklaşımı uygulandıktan sonra elde edilen yeni model denklem 20'de gösterilmektedir.

$$\Delta \varepsilon_t = \mu \varepsilon_{t-1}^3 + \varsigma_t, t = 1, 2, \dots, T \quad (20)$$

Hata terimlerinin otokorelasyonlu olması durumunda denklemi,

$$\Delta \varepsilon_t = \mu \varepsilon_{t-1}^3 + \sum_{i=1}^k \rho_i \Delta \varepsilon_{t-i} + \varsigma_t \quad (21)$$

şeklinde yeniden yazmak mümkündür. Modelin temel hipotezleri:

$$H_0 : \mu = 0 \text{ ve } H_A : \mu < 0$$

Burada değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi olmadığını gösteren boş hipotez  $\mu=0$ , değişkenler arasında doğrusal olmayan eşbütünleşme ilişkisi olduğunu gösteren alternatif hipoteze karşı  $\mu<0$ , aşağıdaki t-istatistiği kullanılarak test edilmektedir. t istatistiği, asimptotik olarak normal dağılmadığından, uygun kritik değerleri KSS (2006) simülasyonları ile elde edilmiştir.

$$t = \frac{\hat{\mu}}{se(\hat{\mu})} \quad (22)$$

### 3.2. Veri Seti

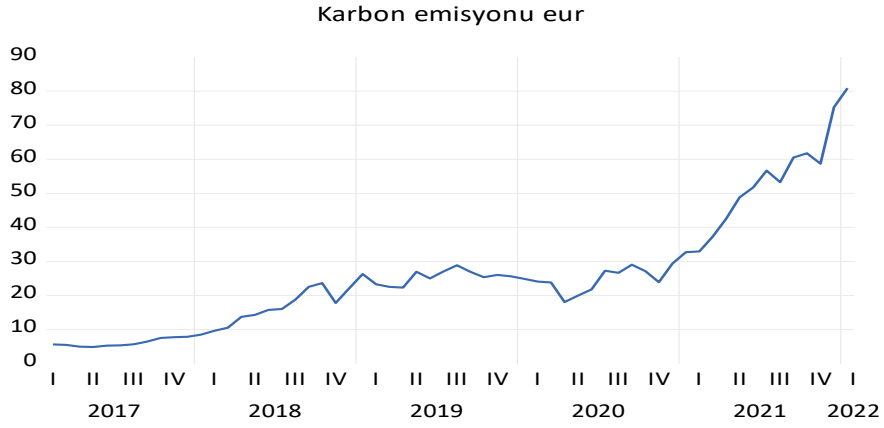
Dünya ekonomisinde finansal piyasalarda önemli bir yer edinen kripto paralardan piyasa değeri açısından ilk sıralarda yer alan BTC talebi ile CO<sub>2</sub> arasındaki ilişkinin araştırıldığı bu çalışmada, 2017:M1-2022:M1 dönemleri arasında aylık veriler kullanılmıştır. Bu dönemler arasında BTC talebini temsilen BTC fiyatı ile CO<sub>2</sub> (ton cinsinden) arasındaki ilişki doğrusal olmayan eşbütünleşme tekniği ile analiz edilmektedir. Çalışmada ele alınan dönemler arasında BTC fiyatındaki hareketliliğin fazla olması, her geçen gün değişim göstermesi ve piyasa hacmi içinde en yüksek hacme sahip olması BTC'ye olan talebi artırmaktadır. BTC talebinin artması ise üretimin artmasına ve dolayısıyla daha fazla madencilik işlemlerinin gerçekleşmesine neden olmaktadır. Bu çerçevede madencilik işlemlerinin artmasının daha fazla enerji tüketimine neden olduğu ve bu durumda çevresel bozulmaya neden olabileceği düşüncesiyle çalışmada BTC talebini temsilen BTC fiyatı kullanılmıştır. İncelenen her iki değişken de dünya fiyatları olarak investing.com sitesinden euro bazlı olarak alınmıştır. CO<sub>2</sub> değişkenleri Euro bazlı hesaplandığı için BTC değişkeni de Euro bazlı analize dahil edilmiştir. Çalışmada kurulan model CO<sub>2</sub>=F(BTC) şeklindedir. Analizde değişkenlerin seviye halleri kullanılmış olup bu değişkenlerin seviye hallerine ait istatistiki bilgiler Tablo 2'de gösterilmektedir.

**Tablo 2. Değişkenlere Ait İstatistiki Bilgiler**

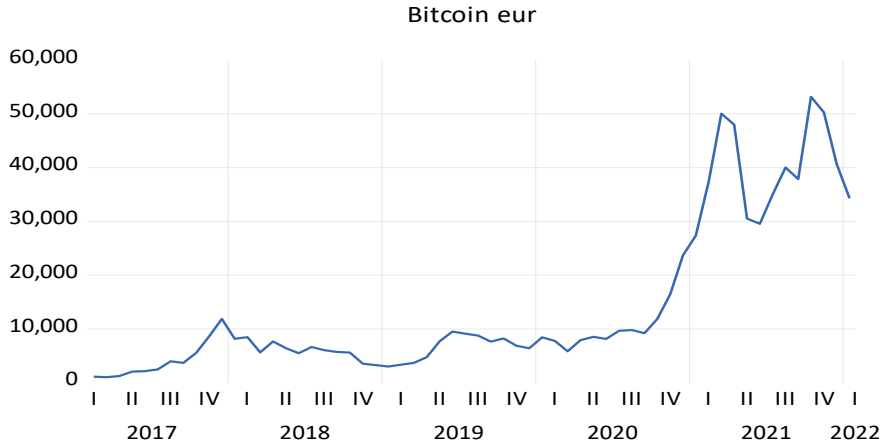
	BTC	CO <sub>2</sub>
Ortalama	13939.32	25.91567
Medyan	8023.000	23.84000
Maksimum	53155.90	80.90000
Minimum	1006.900	4.860000
Std.Sapma	14549.75	17.65351
Çarpıklık	1.438273	1.203325
Basıklık	3.687598	4.189955
Jarque-Bera	21.86826	18.01988
Olasılık	0.000018	0.000122
Toplam	836358.9	1554.940
Hata Kareleri Toplamı	1.25E+10	18387.14
Gözlem	60	60
Korelasyon	0.8012	
Varyans Şişirme Faktörleri (VIF)	1.933	

**Kaynak:** Erdoğan vd. (2022). Ekonometrik çalışmalarda tahmin edilecek değişkenler arasındaki korelasyon katsayısının 0.80'in altında olması beklenmektedir. 0.80'in üstünde olan durumlarda modelde çoklu bağlantılılık sorunu çıkabilmektedir. Ayrıca VIF değeri  $1 < VIF < 5$  olması değişkenlerin birbirleriyle orta düzeyde ilişkili olduğunu göstermektedir.

Grafik 1 ve 2 incelendiğinde genel olarak 2017-2022 yılları arasında bazı dönemler haricinde Bitcoin ile karbon emisyonunun birlikte hareket ettiği gözlenmektedir. 2020 yılı öncesinde Bitcoin piyasa değerinde meydana gelen değişimlerden karbon emisyonunun az etkilendiği hatta bazı dönemlerde Bitcoin piyasa değeri artarken karbon emisyonunun stabil olduğu gözlenmektedir. Örneğin 2017 yılında Bitcoin fiyatlarında yaşanan dalgalanmalar daha fazla iken karbon emisyonundaki dalgalanmalar daha düşük düzeydedir. 2018 IV'den sonra ise karbon emisyonu fiyatlarındaki dalgalanma Bitcoin fiyatlarındaki dalgalanmalara göre daha fazladır. 2020 yılında ise tüm dünyayı etkisi altına alan Covid-19 salgını nedeniyle Bitcoin başta olmak üzere kripto paraların getirisinin arttığı bilinmektedir.



**Grafik 1. CO<sub>2</sub> Değişkenine Ait Aylık Değişim Grafiği**



**Grafik 2. BTC Değişkenine Ait Aylık Değişim Grafiği**

Grafik 2'ye baktığımızda 2020 yılının Nisan ayından itibaren Bitcoin'de ani artışların meydana geldiği ve devam eden aylarda ani dalgalanmaların olduğu gözlenmektedir. Grafik 1'de karbon emisyonu değişimleri incelendiğinde ise 2020 IV'den sonra karbon emisyonu fiyatlarında da artışlar olduğu ancak bu artışların Bitcoin fiyatlarındaki kadar belirgin olmadığı tespit edilmiştir. 2021 yılından sonra ise tüm dünya genelinde yaşanan Covid-19 krizinin

etkilerinden kaynaklı olarak piyasalarda yaşanan belirsizlikler sonucunda Bitcoin ile karbon emisyonu değişimlerinin aynı anda gerçekleşmediği düşünülmektedir. 2021 yılı sonrasında bazı aylarda Bitcoin fiyatı artarken karbon emisyonu fiyatındaki artış bir sonraki ay gerçekleşebilmektedir. Ancak 2017-2022 arası genel olarak incelendiğinde bu yıllar arasında çoğu aylarda Bitcoin'de meydana gelen artış/azalışların karbon emisyonunu da arttırdığı/azalttığı ancak bu artışın/azalışın bitcoin piyasa değerindeki artış/azalış kadar olmadığı gözlenmektedir. Grafik 1 ve 2'den de Bitcoin ile karbon emisyonu arasında bir ilişki olduğu ancak karbon emisyonundaki değişimlerin bitcoin piyasasındaki değişimler kadar belirgin olmadığı anlaşılabilmektedir.

#### 4. Bulgular

Analize öncelikle değişkenlerin doğrusallık sınamaları yapılarak başlanmaktadır. Çalışmada öncelikle doğrusallık testleri Luukkonen vd. (1988) ile Harvey vd. (2008) test sonuçlarına yer verilecek olup akabinde KSS (2003) doğrusal olmayan birim kök testi sonucuna yer verilerek değişkenlerin durağanlık düzeyleri belirlenecektir. Uygulanan doğrusallık ve doğrusal olmayan birim kök testlerine ilişkin test sonuçları Tablo 3 ve 4'te gösterilmektedir.

**Tablo 3. Luukkonen vd. (1988) ve Harvey vd. (2008) Doğrusallık Testi**

Luukkonen vd. (1988)		Harvey vd. (2008)	
Değişkenler	Test İstatistiği	Değişkenler	Test İstatistiği ( $\chi^2$ )
BTC	13.4099***	BTC	7.117**
CO <sub>2</sub>	9.5232***	CO <sub>2</sub>	11.803**

**Not:** Luukkonen testi için \*\*\* %1 anlamlılık düzeyi. Harvey vd.(2008) testi kritik değerleri %10, %5, %1 için sırasıyla 4.60, 5.99 ve 9.21 şeklindedir.

Tablo 3'te gösterilen doğrusallık testleri sonuçlarına göre her iki değişken doğrusal olmayan yapıya sahiptir. Luukkonen vd. (1988) doğrusallık testi sonucuna göre hem BTC hem de CO<sub>2</sub> %1 düzeyinde anlamlı iken Harvey vd. (2008) doğrusal olmayan birim kök testi sonucuna göre her iki değişkenin de  $\chi^2$  test istatistik değerleri Harvey vd. (2008) kritik değerlerinden %5 anlam düzeyinde büyüktür. Dolayısıyla boş hipotezin reddedildiği yani değişkenlerin doğrusal olmayan bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir. Diğer bir doğrusallık testi olan KSS (2003) doğrusal olmayan birim kök testi sonuçları ise Tablo 4'te gösterilmektedir.

**Tablo 4. KSS (2003) Birim Kök Testi**

Değişkenler	Düzye Hali	Birinci Farkı
lnBTC	1.308	-3.801(1)*
lnCO <sub>2</sub>	2.418	-4.789(1)*
Anlamlılık Düzeyi		Kritik Değerler
1%		-3.48
5%		-2.93
10%		-2.66

**Not:** \*, \*\* ve \*\*\*, sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyini, parantez içindeki değerler ise gecikme uzunluklarını belirtmektedir.

KSS (2003) doğrusal olmayan birim kök testi sonuçlarının yer aldığı Tablo 4'te her iki değişkenin düzey hallerinin test istatistik değerleri KSS (2003) kritik değerlerinden küçük olduğu gözlenmektedir. Dolayısıyla doğrusal serilerin birim köklü olduğunu varsayan boş hipotezin reddedilemediği yani değişkenlerin birim köklü olduğu tespit edilmiştir. Analize dhil edilen değişkenlerin birinci derece farkları alındığında ise t-istatistik değerlerinin KSS (2003) kritik değerlerden büyük olduğu dolayısıyla boş hipotezin reddedildiği tespit edilmektedir. Sonuç olarak uygulanan KSS (2003) birim kök testi sonucuna göre çalışmada kullanılan değişkenlerin doğrusal olmayan durağan yumuşak geçişli otoregresif sürece (ESTAR) sahip olduğu ve değişkenlerin I(1) düzeyinde durağan olduğu gözlenmektedir.

Çalışmada kullanılan doğrusallık testlerine göre analize dahil edilen değişkenlerin doğrusal olmayan bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca KSS (2003) doğrusal olmayan birim kök testi sonucuna göre de değişkenlerin I(1) düzeyinde durağan olduğu dolayısıyla değişkenlerin I(0) olması durumunda doğrusallık testinin yapılması gerektiğini belirten Luukkonen vd. (1988) doğrusallık testinin yapılmasının uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Çalışmanın bundan sonraki kısmında KSS (2006) doğrusal olmayan eşbütünleşme testinin kullanılması ve KSS (2006) testinin yumuşak geçişli otoregresif model (Smooth Transition Autoregressive Models, STAR) zerinden tanımlanan bir doğrusal olmama durumu için geliştirilmesinden dolayı çalışmada STAR temelinde dayanan doğrusal olmayan birim kök testinin kullanılmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Bundan dolayı bu çalışmada hem doğrusallık sınaması için hem de değişkenlerin durağanlık sınamaları için KSS (2003) doğrusal olmayan birim kök testi sonuçları dikkate alınmıştır.

KSS (2003) doğrusal olmayan birim kök testi sonuçlarına göre değişkenlerin doğrusal olmayan durağan sürece sahip olduğu tespit edildikten sonra çalışmaya KSS (2006) doğrusal olmayan eşbütünleşme analizi ile devam edilmektedir. Eşbütünleşme analizine geçmeden önce kurulan modelin uygun gecikme uzunlukları sonuçlarına Tablo 5'te yer verilmektedir. Çalışmada kurulan model için uygun gecikme uzunluğu Akaike Bilgi Kriteri (AIC), Schwarz Bilgi Kriteri (SIC), Hannan-Quinn Bilgi Kriteri (HQ) ve Son Tahmin Hatası (FPE) testlerine göre elde edilmiştir. Elde edilen gecikme uzunluğu sonucunda modelde otokorelasyon sorunu olmadığı tespit edilmektedir.

**Tablo 5. Optimal Gecikme Uzunluğu ve Otokorelasyon Test Sonuçları**

Test türü	Optimal Gecikme Uzunluğu	LM-Type Test for Autocorrelation		
		LM statistic	p-value:	Df
CO <sub>2</sub> =F(BTC)	2	6.914	0.1405	4

KSS (2006) doğrusal olmayan eşbütünleşme testine geçmeden önce Engle-Granger eşbütünleşme analizinin yapılması gerekmektedir. Tablo 4'te belirtilen KSS (2003) doğrusal olmayan birim kök testi sonucuna göre her iki değişkenin de I(1) seviyesinde durağan olduğu tespit edildiğine göre analize Engle-Granger eşbütünleşme testi ile devam edilebilmektedir. Engle-Granger eşbütünleşme testi sonuçları Tablo 6'da gösterilmektedir.

**Tablo 6. Engle-Granger Eşbütünleşme Testi**

	EG Test İstatistiği
$CO_2=F(BTC)$	-2.312 (1)
Kritik Değerler (%5)	-3.17

**Not:** Parantez içerisindeki değerler gecikme uzunluklarını göstermektedir.

Tablo 6 incelendiğinde analizde kurulan model için Engle-Granger test istatistik değeri %5 kritik değerden küçük olduğu gözlenmektedir. Dolayısıyla değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi olmadığı sonucuna ulaşılmaktadır. Bir diğer ifade ile Bitcoin ile karbon emisyonu arasında uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisi bulunamamıştır. Dolayısıyla değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi bulunmadığı takdirde doğrusal olmayan uzun dönemli eşbütünleşme ilişkisi olduğunu varsayan alternatif hipotezin test edilmesine olanak sağlayan KSS (2006) eşbütünleşme testinin çalışmada uygulanması mümkündür. KSS (2006) doğrusal olmayan eşbütünleşme testi sonuçları Tablo 7’de gösterilmektedir.

**Tablo 7. KSS(2006) Doğrusal Olmayan Eşbütünleşme Testi**

	KSS Test İstatistiği
$\ln CO_2=F(\ln BTC)$	-3.12**
Kritik Değerler *, **, ***	(-2.38), (-2.66), (-3.35)

**Not:** Parantez içerisindeki değerler gecikme uzunluklarını göstermektedir. \*, \*\*, \*\*\* sırasıyla %10, %5 ve %1.

Tablo 7’de yer alan değişkenler ham haliyle hesaplandığından KSS’de (2006) belirtilen ham veri (durum 1), ortalamadan (durum 2) ve ortalama ve trendden (durum 3) arındırılmış kritik değerlerden durum 1 kritik değerleri dikkate alınmaktadır. Tablo 7 incelendiğinde modelin test istatistik değerinin %5 kritik değerden mutlak değerce büyük olduğu gözlenmektedir. Dolayısıyla bu tablo sonuçlarına göre, değişkenler arasında uzun dönemde doğrusal olmayan bir eşbütünleşme ilişkisi olduğu söylenebilmektedir. Ayrıca değişkenler arasındaki bu ilişkinin uzun dönem dengeye doğrusal olmayan bir şekilde yakınsadığı sonucuna varılmaktadır.

Değişkenler arasında doğrusal olmayan eşbütünleşme ilişkisi tespit edildikten sonra çalışmanın bu aşamasında değişkenler arasındaki ilişkinin yönü ve anlamlılığını belirtmek amacıyla VAR-Granger nedensellik testi yapılmaktadır. VAR-Granger nedensellik testi için otokorelasyon sorunu 1 gecikmede giderilmektedir. Dolayısıyla VAR-Granger nedensellik testinde 1 gecikmeli katsayılar alınarak, değişkenlerin VAR modeli sonucunda elde edilen katsayıları ve istatistiksel açıdan anlamlılık düzeyi Tablo 8’de gösterilmektedir.

**Tablo 8. Bitcoin ve Karbon Emisyonu Değişkenlerine Ait VAR-Granger Nedensellik Test Sonuçları**

Bağımlı Değişken $CO_2$	[0.00025]
BTC	(0.0000)*
Bağımlı Değişken BTC	[109.423]
$CO_2$	(0.2279)

Tablo 8 incelendiğinde bağımlı değişken Bitcoin bağımsız değişken karbon emisyonu iken, karbon emisyonundan Bitcoin’e doğru bir nedensellik olmadığı tespit edilmiştir. Ancak



bağımlı değişkenin karbon emisyonu bağımsız değişkenin Bitcoin olduğu durumda ise Bitcoin'den karbon emisyonuna doğru nedensellik olduğu ve Bitcoin'in karbon emisyonunun Granger nedenseli olduğu gözlenmektedir. Tablo 8'de köşeli parantez içerisinde belirtilen değer VAR analizi sonuçlarından elde edilen katsayılar iken yay parantezin içerisinde belirtilen değer Granger nedensellik analizi sonucunda elde edilen olasılık değeridir. Sonuç olarak yapılan Granger nedensellik testi sonucuna göre Bitcoin ile karbon emisyonu arasında tek yönlü nedensellik olduğu ve bu nedenselliğin yönünün Bitcoin'den karbon emisyonuna doğru olduğu gözlenmektedir.

## 5. Sonuç

Bu çalışmada en popüler blok zincir tabanlı para birimi olan Bitcoin ile sera gazı emisyonlarının yaklaşık %75'lik kısmını oluşturan karbon emisyonu arasındaki ilişki 2017:M1-2022:M1 dönemine ait aylık verilerden hareket edilerek KSS (2006) doğrusal olmayan eşbütünleşme testi aracılığıyla analiz edilmiştir. Ekonometrik analizin ilk aşamasında serilerin doğrusal olmama durumunu dikkate alarak Luukkonen vd. (1988), Harvey vd. (2008) doğrusallık testleri ile KSS (2003) doğrusal olmayan birim kök testi uygulanmıştır. Yapılan her üç doğrusallık testi sonucuna göre de serilerin doğrusal olmayan yapıya sahip olduğu gözlenmiştir. Ayrıca KSS (2003) doğrusal olmayan birim kök testi sonucuna göre de değişkenlerin hem I(1) düzeyinde durağan olduğu hem de durağan yumuşak geçişli otoregresif sürece (ESTAR) sahip olduğu tespit edilmiş ve bu sebepten dolayı çalışmaya KSS (2006) doğrusal olmayan eşbütünleşme testi ile devam edilmiştir. KSS (2006) doğrusal olmayan eşbütünleşme analizi sonucunda değişkenler arasında uzun dönemli doğrusal olmayan bir ilişkinin var olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bitcoin ile karbon emisyonunun doğrusal olmayan şekilde birlikte hareket ettiklerinin tespit edilmesi nedeniyle bu değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü görmek açısından yapılan VAR-Granger nedensellik testi sonucuna göre Bitcoin'den karbon emisyonuna doğru tek yönlü nedensellik olduğu sonucuna varılmıştır.

Yapılan literatür çalışması sonucunda, Bitcoin fiyatında bir artışın Bitcoin'e olan talebin artmasına ve talebin artmasıyla birlikte daha fazla Bitcoin'e ihtiyaç yaratmasına, bu ihtiyacın da madencilik işlemlerinin artırılmasıyla giderileceği yönünde bilgiler elde edilmiştir. Dolayısıyla bu bilgilerden hareketle ve bu çalışmada elde edilen sonuçlar neticesinde, Bitcoin talebini temsil eden Bitcoin fiyatı ile karbon emisyonu arasında uzun vadeli doğrusal olmayan bir ilişki olması ve Granger nedensellik testi sonucuna göre nedenselliğin yönünün Bitcoin'den karbon emisyonuna doğru olması, Bitcoin'in fiyatının artmasının çevresel bozulmalara neden olduğu söylenebilmektedir.

Elde ettiğimiz sonuçlar çerçevesinde, kripto para piyasalarının çevresel etkilerini azaltmak için bir takım politika uygulamalarının gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu doğrultuda politika yapımcılar, kripto para piyasalarının kirliliği artırıcı etkilerini kontrol etmek için kripto para birimi işlemlerine ve gelirlerine kısıtlayıcı çevre vergisi vb. uygulamalar getirerek çevresel etkilerin azalmasına katkıda bulunabilirler. Bu durum, kripto para piyasalarından spekülâtif kar beklentilerini önleyerek kripto para ticaretinin çevresel yükünü azaltmaya destek olabilir. Kripto para madenciliğinde kullanılan ekipmanları daha verimli hale getirecek teşviklerin uygulamaya konması, enerji tüketimini azaltarak çevresel bozulmanın engellenmesine katkı sağlayacaktır. Ayrıca Kyoto Protokolü, Paris İklim Anlaşması vb. gibi uluslararası anlaşmaların genişletilmesi, bu tür anlaşmalara yaptırıcı hükümlerin eklenmesi ve anlaşmaya taraf ülkelerin çevresel

faaliyetlerinin denetlenmesi iklim değişikliği ile mücadelede küresel anlamda atılacak önemli adımlardan birisi olacaktır.

Çalışmadan elde edilen bulguların, literatürde Di Febo vd. (2021) ile Erdoğan vd. (2022) çalışmalarının sonuçlarını desteklediği gözlenmektedir. Di Febo vd. (2021) çalışmalarında Bitcoin fiyatının karbon emisyonu piyasasının nedeni olduğu ancak karbon emisyonu fiyatlarının Bitcoin'in nedeni olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Erdoğan vd. (2022) ise kripto paraların çevresel bozulmalara etkisi olduğunu tespit etmiştir. Aslından çalışmada belirtilen literatüre bakıldığında kullanılan yöntem ve değişkenler farklı olsa bile yapılan çalışmalardan elde edilen ortak sonuç kripto paraların çevresel bozulmalara etkisi olduğu yönündedir.

Çalışmamız Bitcoin ile karbon emisyonu arasındaki ilişkiyi belirlemektedir. Buradan hareketle çalışma, diğer kripto para birimlerinin de analize dahil edilip, kripto para birimlerinden hangilerinin karbon salınımı, karbon ayak izi vb. konularda en sürdürülebilir olduğunun araştırılması konusunda gelecekteki çalışmalara yön göstermektedir.

#### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Etik kurul izni ve/veya yasal/özel izin alınmasına gerek olmayan bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı**

Yazarların makaleye katkı oranları yazar sıralamasına göre sırasıyla %40, %30 ve %30 şeklindedir.

#### **Araştırmacıların Çıkar Çatışması Beyanı**

Bu çalışmada herhangi bir potansiyel çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Kaynakça

- Baur, D.G. and Oll, J. (2022). Bitcoin investments and climate change: A financial and carbon intensity perspective. *Finance Research Letters*, 47, 102575. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.102575>
- Bouri, E., Shahzad, S.J.H. and Roubaud, D. (2019). Co-explosivity in the cryptocurrency market. *Finance Research Letters*, 29, 178-183. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2018.07.005>
- Brock, W.A., Dechert, D., Scheinkman, J.A. and LeBaron, B. (1987). A test for independence based on the correlation dimension. *Econometric Reviews*, 15(3), 197-235, <https://doi.org/10.1080/07474939608800353>
- Corbet, S., Lucey, B. and Yarovaya, L. (2021). Bitcoin-energy markets interrelationships - New evidence. *Resources Policy*, 70, 101916. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101916>
- Cuestas J.C. and Garratt, D. (2011). Is real GDP per capita a stationary process? Smooth transitions, nonlinear trends and unit root testing. *Empirical Economics*, 41, 555-563. <https://doi.org/10.1007/S00181-010-0389-0>
- Di Febo, E., Ortolano, A., Foglia, M., Leone, M. and Angelini, E. (2021). From Bitcoin to carbon allowances: An asymmetric extreme risk spillover. *Journal of Environmental Management*, 298, 113384. <https://doi.org/10.1016/j.envman.2021.113384>
- Dogan, E., Majeed, M.T. and Luni, T. (2022). Are clean energy and carbon emission allowances caused by Bitcoin? A novel time-varying method. *Journal of Cleaner Production*, 347, 131089. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131089>
- Engle, R.F. and Granger, C.W.J. (1987). Co-integration and error correction: Representation, estimation, and testing. *Econometrica*, 55(2), 251-276. <https://doi.org/10.2307/1913236>
- Erdogan, S., Ahmed, M.Y. and Sarkodie, S.A. (2022). Analyzing asymmetric effects of cryptocurrency demand on environmental sustainability. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(21), 31723-31733. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17998-y>
- Harvey, D.I. and Leybourne, S.J. (2007). Testing for time series linearity. *The Econometrics Journal*, 10, 149-165. <https://doi.org/10.1111/j.1368-423X.2007.00203.x>
- Harvey, D.I. Leybourne, S.J. and Xiao, B. (2008). A powerful test for linearity when the order of integration is unknown. *Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics*, 12(3), 1-22. <https://doi.org/10.2202/1558-3708.1582>
- Hepsağ, A. ve Akçalı, B.Y. (2015). Zayıf formda piyasa etkinliğinin asimetric doğrusal olmayan birim kök testi ile analizi: G-7 ve E-7 ülkeleri örneği. *BDDK Bankacılık ve Finansal Piyasalar Dergisi*, 9(2), 73-90. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/bddkdersisi/>
- Investing. (2022). *Bitcoin* [Veri seti]. Erişim adresi: <https://www.investing.com/crypto/bitcoin>
- Jana, R.K., Ghosh, I., Das, D. and Dutta, A. (2021). Determinants of electronic waste generation in Bitcoin network: Evidence from the machine learning approach. *Technological Forecasting and Social Change*, 173, 121101. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121101>
- Jiang, S., Li, Y., Lu, Q., Hong, Y., Guan, D., Xiong, Y. and Wang, S. (2021). Policy assessments for the carbon emission flows and sustainability of Bitcoin blockchain operation in China. *Nature Communications*, 12(1), 1938 <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22256-3>
- Kapetanios G., Shin Y. and Snell A. (2003). Testing for a unit root in the nonlinear STAR framework. *Journal of Econometrics*, 112, 359-379. [https://doi.org/10.1016/S0304-407\(02\)00202-6](https://doi.org/10.1016/S0304-407(02)00202-6)
- Kapetanios, G., Shin, Y. and Snell, A. (2006). Testing for cointegration in nonlinear smooth transition error correction models. *Econometric Theory*, 22(2), 279-303. <https://doi.org/10.1017/S0266466606060129>
- Khezri, M. Heshmati, A. and Khodaei, M. (2022). Environmental implications of economic complexity and its role in determining how renewable energies affect CO2 emissions. *Applied Energy*, 306, 117948. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117948>

- Kompas, T., Pham, V.H. and Che, T.N. (2018). The effects of climate change on GDP by country and the global economic gains from complying with the Paris climate accord. *Earth's Future*, 6(8), 1153-1173. <https://doi.org/10.1029/2018EF000922>
- Köhler, S. and Pizzol, M. (2019). Life cycle assessment of bitcoin mining. *Environmental Science & Technology*, 53(23), 13598-13606. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b05687>
- Luukkonen, R., Saikkonen, P. and Terasvirta, T. (1988). Testing linearity against smooth transition autoregressive models. *Biometrika*, 75(3), 491–499. <https://doi.org/10.1093/biomet/75.3.491>
- Miśkiewicz, R., Matan, K. and Karnowski, J. (2022). The role of crypto trading in the economy, renewable energy consumption and ecological degradation. *Energies*, 15(10), 3805. <https://doi.org/10.3390/en15103805>
- Mohsin, M., Naseem, S., Zia-ur-Rehman, M., Baig, S.A. and Salamat, S. (2020). The crypto-trade volume, GDP, energy use, and environmental degradation sustainability: An analysis of the top 20 crypto-trader countries. *International Journal of Finance & Economics*, 25(1), 651-667. <https://doi.org/10.1002/ijfe.2442>
- Mora, C., Rollins, R.L., Taladay, K., Kantar, M.B., Chock, M.K., Shimada, M. and Franklin, E.C. (2018). Bitcoin emissions alone could push global warming above 2 C. *Nature Climate Change*, 8(11), 931-933. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0319-2>
- Narayanan, A., Bonneau, J., Felten, E., Miller, A. and Goldfeder, S. (2016). *Bitcoin and cryptocurrency technologies: A comprehensive introduction*. UK: Princeton University Press.
- Omay, T. and Kan, E.Ö. (2010). Re-examining the threshold effects in the inflation–growth Nexus with cross-sectionally dependent non-linear panel: Evidence from six industrialized economies. *Economic Modelling*, 27, 996-1005. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2010.04.011>
- Othman, A. and Bob, B.A. (2022). *Bitcoin mining’s energy consumption and global carbon dioxide emissions: Wavelet coherence analysis* (Arap Monetary Fund Economic Studies No. 100-2022). Retrieved from <https://www.amf.org.ae/sites/default/files/publications/2022-06>
- Pham, L., Karim, S., Naeem, M.A. and Long, C. (2022). A tale of two tails among carbon prices, green and non-green cryptocurrencies. *International Review of Financial Analysis*, 82, 102139. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2022.102139>
- Roeck, M. and Drennen, T. (2022). Life cycle assessment of behind-the-meter Bitcoin mining at US power plant. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 27(3), 355-365. <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02025-0>
- Rowlatt, J. (2020). How Bitcoin’s vast energy use could burst its bubble. Retrieved from <https://www.bbc.com/news/science-environment-56215787>
- Schinckus C., Nguyen C.P. and Ling, F.C.H. (2020). Crypto-currencies trading and energy consumption. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(3), 355. <https://doi.org/10.32179/ijeep.9258>
- Trenberth, K.E. (2018). Climate change caused by human activities is happening and it already has major consequences. *Journal of Energy and Natural Resources Law*, 36(4), 463-481. <https://doi.org/10.1080/02646811.2018.1450895>
- Truby, J. (2018). Decarbonizing Bitcoin: Law and policy choices for reducing the energy consumption of blockchain technologies and digital currencies. *Energy Research and Social Science*, 44, 399-410. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.06.009>
- Yang, L. and Xu, H. (2021). Climate value at risk and expected shortfall for Bitcoin market. *Climate Risk Management*, 32, 100310. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100310>
- Yılancı, V. (2009). Fisher hipotezinin Türkiye için sınanması: Doğrusal olmayan eşbütünleşme analizi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 23(4), 205-213. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/atauniiibd>

## **THE RELATIONSHIP BETWEEN BITCOIN AND CARBON EMISSIONS: NONLINEAR COINTEGRATION ANALYSIS**

### **EXTENDED SUMMARY**

#### **Purpose of the Study**

A significant energy demand is needed for the production of Bitcoin, which emerged in 2008 and is the first among cryptocurrencies today. It is known that mining processes are needed for the production of Bitcoin and these processes cause high energy demand. Increasing energy demand and meeting this demand by using fossil fuels cause environmental problems such as global warming and climate change. Therefore, climate change is a long-term problem that affects the entire ecosystem. The most important step in the fight against climate change is carbon emissions. Carbon emission accounts for 75% of greenhouse gas emissions and causes the global temperature to increase by 1.5 °C. Within the framework of this information, it is aimed to determine whether there is a relationship between Bitcoin and Carbon emission and if there is a relationship, the direction of this relationship. Therefore, in this framework, the relationship between Bitcoin and carbon emissions was tested with KSS (2006) nonlinear cointegration analysis based on the data of the 2017M2-2022M1 period. Then, the Granger Causality test was conducted for the direction of the relationship between them. It is thought that this study may contribute to the literature in terms of testing the relationship between Bitcoin demand and CO<sub>2</sub> emissions with a nonlinear analysis technique, unlike the studies in the literature, and providing important policy recommendations for environmentally friendly energy resources within the framework of the findings obtained as a result of the study.

#### **Methodology**

In this study, firstly, linearity test of the variables was carried out with Luukkonen vd. (1988), Harvey vd. (2008) linearity test and KSS (2003) non-linearity unit root test. After testing that the variables have a nonlinear structure, the cointegration relationship between the variables was tested with the KSS (2006) nonlinear cointegration method. Subsequently, the Granger causality test was used to determine the direction of the cointegration relationship between the variables.

#### **Literature**

The amount of energy consumption of cryptocurrencies, their impact on carbon emissions, and therefore their effects on climate change and global warming has recently been one of the subjects of great interest in the academic field. In most studies in this field, it has been stated that crypto money markets cause high energy consumption and environmental degradation occurs as a result. In this context, Mora et al. (2018) mentioned in their study that if the adoption of Bitcoin increases, global warming will create an electricity demand that will cause an increase of 2 °C in the next ten years. Köhler and Pizzol (2019) and Roeck and Drennen (2022) claimed that Bitcoin mining increases energy consumption and consequently

threatens climate change mitigation practices. Mohsin et al., (2020) concluded that there is a bidirectional causality relationship between the VECM model and the volume of cryptocurrencies and environmental degradation in the short and long run.

### **Findings**

In the study, as a result of the linearity test of the variables, it was determined that both variables, which were examined, had a non-linear structure. In order to perform KSS(2006) nonlinear cointegration analysis among variables with nonlinear structure, Engle-Granger cointegration test was performed beforehand. For the Engle-Granger cointegration test, it was determined that the variables were stationary at the I(1) level and no cointegration relationship was found between them. As a result of the nonlinear cointegration test of KSS (2006), which was carried out afterwards, it was determined that there is a nonlinear cointegration relationship between Bitcoin and carbon emissions in the long run. Finally, according to the Granger causality test conducted to determine the direction of this relationship, it was concluded that there is a one-way causality relationship from Bitcoin to carbon emissions.

### **Conclusion**

According to the results of this study, it has been determined that there is a nonlinear cointegration relationship between Bitcoin and carbon emissions in the long run and that these two variables act together nonlinearly. In addition, it is observed that Bitcoin is the cause of carbon emission, there is a one-way causality relationship between them and this relationship is positive. In other words, as a result of the study, it has been determined that an increase in Bitcoin also increases the carbon emission. Therefore, the same results have been achieved with the studies in the literature, and it is thought that the continued increase in Bitcoin demand will increase environmental degradation. In this context, it is necessary to implement some policies to reduce the environmental effects of crypto money markets. As a result of the findings obtained in the study, it is revealed that some policies should be implemented to reduce the environmental effects of cryptocurrencies. These policies may be in the form of applications such as environmental taxes on cryptocurrency transactions and revenues, and the implementation of incentives that will make the equipment used in cryptocurrency mining more efficient. In addition, the expansion of international agreements such as the Kyoto protocol, the Paris Agreement, the addition of sanctioning provisions to such agreements, and the supervision of the environmental activities of the countries will be one of the important steps to be taken globally in the fight against climate change.