

ÖZGÜN ARAŞTIRMA

RALS Yaklaşımı ile Bitcoin Enerji Tüketiminin Bitcoin Fiyatlarına Etkisinin İncelenmesi

Ayşegül HAN¹

Özet

Bu çalışma, Bitcoin enerji tüketimi ve Bitcoin hash oranının Bitcoin fiyatları üzerindeki etkilerini analiz etmeyi amaçlamaktadır. 10.02.2017 ile 31.10.2024 tarihleri arasındaki günlük veriler kullanılarak Engle-Granger ve RALS-Engle-Granger eşbütünleşme testleri uygulanmıştır. EG testine göre değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki olmadığı tespit edilmiştir. Ancak RALS-EG testi, uzun dönemli bir ilişki olduğunu göstermiştir. FMOLS, DOLS ve CCR testleriyle değişkenlerin uzun dönem katsayıları belirlenmiş ve sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Bu yöntemlere göre, Bitcoin enerji tüketimindeki %1'lik artış, Bitcoin fiyatlarında yaklaşık %0,10'luk bir artışa yol açmaktadır. Bitcoin hash oranlarındaki %1'lik artış ise Bitcoin fiyatlarında yaklaşık %6,5'lik bir artışa yol açmaktadır.

Anahtar kelimeler: RALS-ADF birim kök testi, RALS-EG eşbütünleşme testi, katsayı tahmini, Bitcoin enerji tüketimi, Bitcoin fiyatları

Jel Kodu: C01, C22, C51

Investigation of the Effect of Bitcoin Energy Consumption on Bitcoin Prices with RALS Approach

Abstract

This study aims to analyze the impact of Bitcoin energy consumption and Bitcoin hash rate on Bitcoin prices. Between 10.02.2017 and 31.10.2024, Engle-Granger and RALS-Engle-Granger cointegration tests were applied using daily data. According to the EG test, there is no long-run relationship between the variables. However, the RALS-EG test shows that there is a long-run relationship. The long-run coefficients of the variables were determined using the FMOLS, DOLS, and CCR tests, and the results were quite close. According to these methods, a 1% increase in bitcoin energy consumption leads to an increase in bitcoin prices of around 0.10%. A 1% increase in bitcoin hash rates leads to an increase in bitcoin prices of approximately 6.5%.

Keywords: RALS-ADF unit root test, RALS-EG cointegration test, coefficient estimation, Bitcoin energy consumption, Bitcoin prices

Jel Codes: C01, C22, C51

ATIF ÖNERİSİ (APA): Han, A. (2025). RALS yaklaşımı ile bitcoin enerji tüketiminin bitcoin fiyatlarına etkisinin incelenmesi. *İzmir İktisat Dergisi*. 40(3). 814-829. Doi: 10.24988/ije.1502436

1 Dr., Bağımsız Araştırmacı, Ekonometri Bölümü, Yeşilyurt / Malatya, Türkiye **EMAIL:** aysegullhann@gmail.com

ORCID: 0000-0002-3390-2129

1. GİRİŞ

Son yıllarda, kripto para birimlerinin finansal piyasalarda giderek artan önemi, bu varlık sınıfının dinamiklerini daha derinlemesine incelemeyi zorunlu hale getirmiştir. Kripto paraların başında yer alan Bitcoin, 2009 yılında Nakamoto'nun geliştirdiği merkeziyetsiz yapı sayesinde, fiziksel bir varlığa dayanmayan ve güvenli bir şekilde dijital ortamda işlem görebilen bir para birimi olarak finansal sistemde kendine sağlam bir yer edinmiştir. Bununla birlikte, Bitcoin'in fiyatındaki dalgalanmalar, bu varlık sınıfını hem yatırımcılar hem de düzenleyiciler açısından riskli bir hale getirmiştir. Özellikle Bitcoin madenciliği, yüksek enerji tüketimi gerektiren bir süreç olarak çevresel etkilerle birlikte finansal ve ekonomik sistemlerde de önemli değişimlere yol açmaktadır.

Bitcoin'in artan popülaritesiyle birlikte, bu dijital para biriminin enerji tüketimi ve fiyatları arasındaki ilişki de önemli bir araştırma konusu olmuştur. Bitcoin madenciliği, karmaşık kriptografik hesaplamalar yaparak işlemleri doğrulayan bir süreçtir ve bu süreç, özellikle enerji yoğunluğu nedeniyle eleştirilmiştir. Yüksek enerji tüketimi, Bitcoin'in çevresel etkileri ve iklim değişikliği üzerindeki potansiyel etkileri açısından büyük bir endişe kaynağıdır. Bununla birlikte, Bitcoin fiyatlarının yükselmesi veya düşmesi, madencilik maliyetlerini ve dolayısıyla enerji tüketimini de doğrudan etkilemektedir. Bu ilişkinin anlaşılması hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır.

Bitcoin'in enerji tüketimi ile fiyatları arasındaki ilişki, yalnızca kripto para piyasaları için değil, aynı zamanda küresel ekonomik ve çevresel dinamikler için de kritik sonuçlar doğurabilir. Bitcoin madenciliği, yüksek enerji gereksinimleri nedeniyle çevresel sürdürülebilirlik açısından ciddi endişelere yol açmaktadır ve bu ilişkinin daha iyi anlaşılması, enerji kaynaklarının verimli kullanımı ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerin azaltılması için önemli politika önerilerinin geliştirilmesine yardımcı olabilir. Ayrıca, Bitcoin'in fiyat hareketlerinin madencilik faaliyetlerini nasıl şekillendirdiği, finansal piyasalarda risk yönetimi ve yatırım stratejileri açısından da büyük bir araştırma konusu oluşturmaktadır. Bu nedenle, çalışmanın analizi, kripto para piyasalarındaki dinamikleri daha doğru bir şekilde değerlendirmek ve gelecekteki ekonomik ve çevresel etkileri öngörmek için kritik bir gereklilik taşımaktadır.

Bu kapsamda çalışmanın amacı, Bitcoin fiyatlarının enerji tüketimi üzerindeki etkilerini incelemek ve bu ilişkinin ne yönde şekillendiğini ortaya koymaktır. Çalışma, 10.02.2017 ile 31.10.2024 tarihleri arasındaki günlük verilerle yapılmıştır ve Bitcoin fiyatları ile enerji tüketimi arasındaki uzun dönemli ilişkiyi Engle-Granger (EG) ve RALS-Engle-Granger (RALS-EG) eşbütünleşme testleriyle analiz etmektedir. Ayrıca, değişkenlerin uzun dönem katsayılarını belirlemek amacıyla FMOLS, DOLS ve CCR testleri uygulanacaktır. RALS tekniği, normal dağılım varsayımının sağlanmadığı ekonomik serilerde daha güvenilir sonuçlar verecek şekilde modelin artıklarını düzeltme yeteneği sunmaktadır.

Makalenin geri kalanı şu şekilde yapılandırılmıştır: Bölüm 2'de teorik çerçeve yer almaktadır, Bölüm 3'te, Bitcoin ve enerji tüketimi konusundaki mevcut literatür taraması sunulmaktadır. Bölüm 4, araştırmanın veri kaynakları ve metodolojisini detaylandırmaktadır. Bölüm 5'te elde edilen bulgular ayrıntılı olarak ele alınmakta ve analiz edilmektedir. Son olarak, Bölüm 6'da bu bulgular ışığında sonuçlar tartışılmakta ve öneriler sunulmaktadır.

2. TEORİK ÇERÇEVE

Para, tarih boyunca çeşitli formlarda kullanılmıştır. Başlangıçta takas ekonomisi ve değerli madenlerle temsil edilirken, teknolojik gelişmelerle birlikte elektronik ve dijital ödemelere evrilmiştir (Güleç, 2018). 1980'lerde POS terminallerinin kullanımı ve elektronik bankacılığın ortaya çıkması, bu dönüşümde önemli adımlardır (Moşteanu vd., 2020). Dijital para sistemleri, Chaum'un 1983'te geliştirdiği şifreli elektronik para gibi erken örneklerle başlayarak, PayPal gibi ödeme

sistemlerinin gelişimiyle daha geniş bir kullanım alanı bulmuştur (Pirinççi, 2018). Ancak dijital ödeme sistemlerinin merkezi yapıları ve güvenlik açıkları, kripto para birimlerinin doğuşunu teşvik eden başlıca sınırlamalar olarak öne çıkmıştır.

Kripto para temelleri, Szabo'nun Bit Gold'u ve Wei Dai'nin "b money" fikirleriyle atılmış, Nakamoto'nun (2008) çalışmasıyla blok zincir ve Bitcoin doğmuştur (Damour ve Damour, 2024). 2009 yılında ilk Bitcoin işlemi gerçekleştirilmesi ile Bitcoin, merkezi olmayan bir sistemde güvenilir ve takip edilemez bir dijital para olarak finans dünyasında yerini almıştır (Giungato vd., 2017). Günümüzde, 9000'den fazla altcoin ile kripto paralar, finansal piyasalarda alternatif yatırım aracı olarak önem kazanmıştır. Ekonomik işlemler, güven temeline dayandığı için geleneksel olarak üçüncü bir aracıya ihtiyaç duyar; bu araçlar, finansal piyasalarda güvenliği sağlarken aracılık maliyetleri ve siber güvenlik riskleri gibi sınırlamalara neden olmaktadır (Tan ve Saraniemi, 2023). Bu noktada, Bitcoin gibi kripto paralar, merkezi olmayan yapıları sayesinde bu aracıya duyulan ihtiyacı ortadan kaldırarak, daha doğrudan, düşük maliyetli ve hızlı transfer imkanı sunmaktadır (Rejeb vd., 2021).

Kripto para birimleri, güvenlik ve hız avantajları nedeniyle küresel finansal sistemde alternatif bir değer saklama aracı olarak kabul görmektedir. Avrupa Merkez Bankası (European Central Bank-ECB), Avrupa Bankacılık Otoritesi (European Banking Authority-EBA), Mali Eylem Görev Gücü (Financial Action Task Force-FATF) ve Ödeme ve Piyasa Altyapıları Komitesi (Committee on Payment and Market Infrastructures-CPMI), kripto paraları, geleneksel finansal sisteme alternatif olarak nitelendirmektedir (Binda, 2020).

Kripto para ekosisteminde başlıca aktörler kullanıcılar, madenciler, kripto para borsaları, cüzdan sağlayıcıları, kripto para üreticileri ve teklifçileridir. Kullanıcılar, kripto paraları borsalardan, eşler arası (P2P) işlemlerden veya madencilik yoluyla elde ederken, madenciler karmaşık kriptografik bulmacaları çözerek yeni bloklar oluşturur ve kripto para ödülü alırlar (Judmayer vd., 2017). Kripto para borsaları, kullanıcıların kripto paraları itibari para birimlerine çevirmelerine olanak tanır (Jumde ve Cho, 2020). Cüzdan sağlayıcıları, kripto paraların güvenli depolanmasını sağlar ve coin mucitleri olarak bilinen kripto para üreticileri, teknik altyapıyı kurarak kullanım kurallarını belirler. Bitcoin, blok zincir teknolojisi üzerine inşa edilen ilk kripto para birimi olarak merkezi otoritelerden bağımsız bir değer saklama aracı sunar (Baldwin, 2018).

Bitcoin'in tasarımında, madencilik faaliyetleriyle doğrulanan ve toplam arzı 21 milyon ile sınırlanan bir yapıya sahiptir (Tommerdahl, 2024). Bitcoin kullanıcıları, dijital cüzdanları aracılığıyla 7/24 işlem yapabilirler ve işlem bilgileri, blok zincir üzerinde şifrelemeyle korunur (Wang vd., 2020). Bitcoin'in artan popüleritesi sonucu, 2018 yılında ABD vadeli işlem piyasasında işlem görmeye başlamış ve yatırım aracı olarak kabul edilmiştir (Hossain, 2021).

Kripto para elde etmenin doğrudan satın alma, ticari işlemlerde gelir olarak kabul etme ve madencilik şeklinde üç temel yolu vardır. Madencilik, kriptografik problemleri çözerek işlemleri doğrulama sürecidir ve farklı kripto para birimlerinin madencilik süreçleri farklı donanım ve enerji tüketimi gerektirir (Khan vd., 2021). Bu süreç enerji yoğun olduğundan, Bitcoin madenciliği yüksek elektrik tüketimi gerektirir ve bu durum çevresel etkiler açısından çeşitli eleştirilere neden olmuştur. Bitcoin madenciliğinde kullanılan ASIC cihazları, madencilerin işlem maliyetlerini düşürmek ve enerji verimliliğini artırmak için geliştirilmiştir (Siddique vd., 2023). Madenciler, madencilik havuzlarına katılarak hesaplama güçlerini birleştirir ve böylece ödülleri daha tutarlı bir şekilde kazanmayı amaçlarlar.

Bitcoin madenciliği, merkezi olmayan yapıyı güvenli bir şekilde sürdürebilmek için İş İspatı (Proof of Work - PoW) konsensüs algoritmasına dayanır. PoW, madencilerin karmaşık kriptografik bulmacaları çözmesini gerektirir ve çözülen her bulmaca yeni bir blok oluşturur, bu da büyük miktarda enerji tüketimine neden olur. PoW algoritması, ağı güvenli hale getiren madencilik

sürecinin yanı sıra Bitcoin ağı için güvenli bir dijital altyapı sağlar, ancak bu süreçte harcanan enerji miktarı çevresel etkiler açısından ciddi endişeler yaratır (Lasla vd., 2022). Hash oranı (hash rate) arttıkça, bu güvenlik ve doğrulama işlemleri daha fazla enerji tüketimini gerektirir (Vranken, 2017). Örneğin, Bitcoin ağının hash oranı 2022’de yaklaşık 224 TH/s iken, Kasım 2024 itibarıyla bu oran 718 EH/s seviyesine ulaşmıştır. Bu artış, ağ güvenliği için olumlu bir gelişme olarak değerlendirilebilse de madencilerin elektrik ve donanım maliyetlerinin de yükselmesi nedeniyle ekonomik sürdürülebilirlik açısından zorluklar yaratır. Li vd. (2019), hash oranındaki artışın madencilerin enerji gereksinimlerini önemli ölçüde artırdığını ve bu sürecin madencilikten elde edilen kâr üzerinde baskı oluşturduğunu ifade etmiştir. Bu enerji yoğun yapı, PoW algoritmasının sürdürülebilirliğini tartışmaya açmış ve çevresel etkileri azaltmak için alternatif algoritmaların araştırılmasına neden olmuştur. Alternatif konsensüs mekanizmaları arasında, enerji tasarrufu sağlama potansiyeline sahip olan Hisse İspatı (Proof of Stake - PoS) yer almaktadır (Sedlmeir vd., 2020). PoW algoritması büyük miktarda hesaplama gücü ve enerji gerektirdiğinden, PoW kullanan Bitcoin ağı, madencilerin enerji tüketiminin düşürülmesi konusunda henüz sürdürülebilir bir çözüm sunmamaktadır. Artan madencilik maliyetleri, özellikle enerji giderlerindeki yükselişler, madencilerin satış fiyatları üzerinde baskı oluşturmakta ve bu durum doğrudan Bitcoin fiyatlarını etkileyebilmektedir. Maliyetlerin yükselmesi, madencilerin sürdürülebilir kârlılığı sağlamak amacıyla Bitcoin fiyatlarında artış eğiliminde olmasına neden olabilir.

Kripto para madenciliği günümüzde, yüksek enerji gereksinimleri nedeniyle çoğunlukla büyük veri merkezlerinde yapılmaktadır ve bu veri merkezlerinde aşırı ısınmanın önüne geçmek için soğutma sistemleri kritik bir rol oynar (Stepanova vd., 2024). Bitcoin madenciliği maliyetlerinin en büyük kısmını donanım satın alma ve yenileme, ardından da enerji tüketimiyle ilgili harcamalar oluşturmaktadır. Bu iki ana maliyet kalemi, madencilik sürecinin enerji yoğun yapısı nedeniyle yüksek finansal yük oluşturur (Siddique vd., 2023). De Vries ve Stoll (2021), artan enerji maliyetlerinin madencilerin kârlılığı üzerinde doğrudan bir etkisi olduğunu ve Bitcoin fiyatlarındaki dalgalanmalardan bağımsız olarak madenciliği sürdürülemez hale getirdiğini belirtmiştir. Öte yandan, madencilik ekonomisini ve enerji-fiyat ilişkisini etkileyen önemli bir faktör de “yarılanma” (halving) sürecidir. Bitcoin’in protokolüne göre, her dört yılda bir blok ödülleri yarıya indirilir. Bu süreç, blok ödülleri azaldığı için madencilerin gelirlerinde keskin bir düşüşe neden olur ve madencilik kârlılığını doğrudan etkiler (Küfeoğlu ve Özkuran, 2019). Bu durum, madencilerin daha verimli donanımlar kullanmalarını veya enerji maliyetlerini düşürmek için yenilenebilir enerji gibi düşük maliyetli enerji kaynaklarına yönelmelerini teşvik eder. Bu şekilde artan verimlilik arayışları, arz ve talep dengesinde dolaylı değişiklikler yaratarak Bitcoin fiyatları üzerinde uzun vadede etkili olabilmektedir. Maiti (2022), yarılanma dönemlerinin ardından artan rekabetin enerji tüketiminde verimlilik arayışını artırdığını ve düşük kârlılık dönemlerinde madenciliğin sürdürülebilirliğini tehdit ettiğini ortaya koymuştur. Yarılanma, fiyatlar üzerinde de etkili olabilmektedir; ödül miktarındaki düşüş madenciliğe olan ilgiyi azaltabileceğinden arz talep dengesinde değişiklikler yaratmakta ve Bitcoin fiyatının dalgalanmasına yol açmaktadır (Hougan ve Lawant, 2021).

3. LİTERATÜR

Son zamanlarda, mevcut literatür Bitcoin madenciliğine odaklanmıştır. Araştırmacılar, bilim insanları ve karar alıcılar enerji tüketimi ve Bitcoin konusuna daha çok önem vermektedirler. Sarkodie vd. (2022), Bitcoin’in finans ve perakende sektöründeki çoklu kullanımının, Bitcoin ile geleneksel varlıklar arasındaki farkın daralmasına önemli ölçüde katkıda bulunduğuna dikkat çekmiştir. Ancak, piyasanın yükselişiyle aynı zamana denk gelen bu kripto para birimine yönelik artan talep, madencilerin rekabet edebilmesi ve dijital işlemleri olabildiğince hızlı tamamlayabilmesi için gelişmiş bilgisayarlara yönelmelerine neden olmuştur. Oprea vd. (2024), bir VAR modeli kullanarak, %5 olasılık düzeyinde meydana gelen potansiyel kaybı analiz etmişlerdir. Sonuçlar, %95 güven düzeyinde yatırım değerinin %4,4’ünden fazlasının kaybedilmeyeceğini göstermektedir.

Yakın zamanda, Bâra vd. (2024), karmaşık bir meta-model ve SQL analitik fonksiyonlarını kullanarak, Bitcoin işlemleri ile karbon emisyonları ve enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi değerlendirmişlerdir. Sonuçlar, yatırımcıların enerji fiyatlarının, özellikle de elektrik ve yenilenebilir enerji tüketimi gibi unsurların farkında olması gerektiğini ortaya koymaktadır. Maiti (2022), Bitcoin fiyatları ve Bitcoin enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Bu ilişki, ayrık eşik regresyonu kullanılarak incelenmiştir. Bu yaklaşım, Bitcoin fiyatları ve Bitcoin enerji tüketimi arasındaki doğrusal olmayan bağlantının tespit edilmesine ve Bitcoin fiyatları hareketleri için dalgalanma rejimlerinin tanımlanmasına olanak tanımaktadır. Bulgular, değişkenler arasındaki ilişkinin karmaşık ve doğrusal olmadığını, Bitcoin enerji tüketiminin Bitcoin fiyatları üzerindeki en yüksek etkisinin 4. ve 6. rejimlerde yoğunlaştığını göstermiştir. Fantazzini ve Kolodin (2020), Bitcoin fiyatı ile hash oranı arasındaki ilişkiyi enerji verimliliği, Bitcoin yarılanmaları ve yapısal kırılmaların etkilerini ele alarak incelemiştir. Çalışma, 2016-2017 ve 2017-2020 dönemlerini kapsamış ve hash oranı ile Bitcoin fiyatı arasında yalnızca ikinci dönemde anlamlı bir eşbütünleşme ilişkisi tespit edilmiştir. Ayrıca, fiyat-hash oranı ilişkisinde Bitcoin fiyatından hash oranına doğru gecikmeli bir nedensellik olduğu belirlenmiştir. Schinckus vd. (2021), kripto paraların enerji tüketimi üzerindeki etkilerini Segregated Witness mekanizmasını dikkate alarak analiz etmiştir. 2016-2021 dönemine ait verilerle yapılan Vektör Hata Düzeltme Modeli (VECM) analizi, hash oranının enerji ve elektrik tüketimiyle pozitif bir eşbütünleşmeye sahip olduğunu göstermiştir. Buna ek olarak, Segregated Witness mekanizması devreye girmesine rağmen Bitcoin ve Ether'in elektrik tüketiminin artmaya devam ettiği sonucuna ulaşılmıştır. Kubal ve Kristoufek (2022), Bitcoin fiyatlama mekanizmasının hash oranıyla dinamik ilişkisini ve bunun enerji talebi ile çevresel etkilerini değerlendirmiştir. Çalışma, Bitcoin fiyatı ile hash oranı arasındaki ilişkinin sistemin ekonomik ve güvenlik yapısını desteklediğini göstermiştir. Zhang vd. (2022), Bitcoin madenciliğinin enerji tüketimi ve karbon emisyonları üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada, hash oranının enerji tüketimi ve CO2 emisyonları üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğu ve yüksek seviyelerde anlamlı Granger nedensellik ilişkisi bulunduğu tespit edilmiştir. Bu durum, enerji verimli konsensüs algoritmalarının geliştirilmesi ihtiyacını ortaya koymaktadır. Chitkasame vd. (2022), Bitcoin işlem hacmi, enerji tüketimi ve fosil yakıtlar arasındaki nedenselliği incelemiştir. Markov switching Granger testi sonuçlarına göre, enerji tüketimi ve Bitcoin işlem hacmi arasında pozitif çift yönlü bir bağlantı olmasına rağmen, Bitcoin işlem hacminin fosil yakıt tüketimi üzerinde, özellikle aşırı enerji harcaması dönemlerinde kayda değer bir etkisi bulunmamaktadır. Bu durum, aşırı enerji kullanımı dönemlerinde Bitcoin işlem hacminin yenilenebilir enerjiye daha fazla bağımlı olduğunu ve enerji tüketimini belirgin bir şekilde tahmin edebileceğini göstermektedir. Çevre bilinci ve iklim değişikliği küresel bir mesele olarak kabul edildiğinden, Bitcoin ticareti ile enerji tüketimi ve CO2 emisyonları arasındaki bağın ampirik olarak araştırılması daha fazla dikkat çekmiştir. Hong ve Zhang (2023), Bitcoin ticareti ile enerji kullanımı, karbondioksit emisyonları ve çoğu yükselen piyasa ekonomisindeki ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi analiz etmiştir. Yazarlara göre bu ilişki, Bitcoin madenciliğinin iklim ve çevresel sürdürülebilirlik için zararlı olan yüksek enerji kullanımından kaynaklanmaktadır. Farklı eş-bütünleşme ve nedensellik testlerine dayanan bulgular, Bitcoin ile karbon emisyonları arasında karşılıklı bir ilişki olduğunu ve Bitcoin ticaretinin daha fazla karbon emisyonuna neden olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar, Mohsin vd.'nin (2023) bulgularını desteklemektedir. Modern teknolojinin yaygınlaşması, iklim değişikliğiyle bağlantılı yeni sorunların ortaya çıkması, fosil yakıtların kötüye kullanımı ve bunun çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkisinin yanı sıra kripto para birimlerinin ve ticaret faaliyetlerinin hızla büyümesi, enerji tüketimi ile kripto ticareti arasındaki ilişkiye yönelik son ampirik araştırma dalgasını tetiklemiştir. Mohsin vd.'ne (2023) göre, panel birim kök ve koentegrasyon yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar, karbon emisyonları, kripto ticaret hacmi, ekonomik büyüme ve enerji kullanımı arasında uzun vadeli bir ilişki olduğunu göstermiştir. Aynı şekilde, Yan vd. (2022), Bitcoin piyasası ile enerji tüketimi arasındaki dinamik ilişkiyi analiz etmiştir. Bu çalışma, enerji tüketimi, elektrik talepleri ve Bitcoin piyasası arasındaki dinamik yayılma etkilerini kantil bağlantılık yöntemiyle incelemekte ve bu

bağlantıların analiz edilmesinin, zaman içinde piyasalar arasındaki risk aktarımının eğilimini ve yoğunluğunu belirlemeye yardımcı olabileceğini belirtmektedir. Çalışmanın bulguları, Bitcoin piyasası ve enerji tüketimi arasında güçlü bir ilişkili risk olduğunu göstermektedir. Ayrıca, elektrik talebi ve hash oranı, Bitcoin ağında yayılma seviyeleri yüksek kaldığı için Bitcoin piyasasında sistematik risk yaratmaktadır. İlginç bir şekilde, aşırı olaylar sırasında, ağla ilgili aşırı derecede risk algılanmaktadır. Bu bulgular, yatırımcıların yatırım kararı verirken Bitcoin, enerji tüketimi ve diğer ilgili faktörler arasındaki bağlantıyı dikkate almalarının önemini vurgulamaktadır. Son zamanlarda, Sarker vd. (2023), NARDL yöntemi ve Granger nedensellik testini kullanarak, küresel enerji fiyatlarının ve iklim politikası belirsizliğinin Bitcoin fiyatlarını etkileyip etkilemediğini değerlendirmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar, enerji fiyatları ve iklim politikası belirsizliğinin Bitcoin fiyatları üzerindeki asimetric etkilerini göstermektedir. Spesifik olarak, Bitcoin fiyatları hem kısa hem de uzun vadede iklim belirsizliği endeksi ve enerji fiyat endeksindeki ters yönlü değişimlerden olumlu etkilenmektedir. Nedensellik bulguları, küresel enerji fiyatı endeksinden Bitcoin'e doğru tek yönlü bir bağlantının olduğunu gösterirken, Bitcoin ve iklim politikası belirsizliği arasında çift yönlü doğrusal olmayan bir nedensellik ilişkisinin mevcut olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, enerji fiyatlarının ve iklim politikası belirsizliğinin Bitcoin fiyatları üzerindeki asimetric etkilerini vurgulamaktadır. Bu sonuçlar, yatırımcılar için, yatırım kararları alırken bu faktörleri ve piyasa analizlerini dikkate almalarının önemini ortaya koymaktadır.

Bu çalışma, literatürdeki mevcut araştırmalardan birkaç önemli noktada farklılıklar göstermektedir. Öncelikle, literatür Bitcoin madenciliği ve enerji tüketimi ilişkisini ele alırken, çoğunlukla geleneksel yöntemler ve doğrudan ilişkiler üzerinden analizler yapılmaktadır. Ancak, bu çalışmada Bitcoin fiyatları ile enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi daha doğru ve güvenilir bir şekilde analiz etmek amacıyla normallik varsayımını ihlal eden veriler için RALS tabanlı yöntemler (RALS-ADF ve RALS-EG) kullanılmıştır. Bu yöntem, verilerin normal dağılım göstermediği durumlarda modelin doğruluğunu artırarak, daha güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır.

4. VERİ SETİ VE EKONOMETRİK YÖNTEM

4.1. Veri Seti

Bitcoin enerji tüketimi, madencilik faaliyetlerinin yoğunluğunu yansıtarak madencilik maliyetlerini etkiler; bu durum, özellikle yüksek enerji fiyatları ve madencilik karlılığı arasındaki ilişki nedeniyle Bitcoin fiyatları üzerinde dolaylı bir baskı yaratabilir. Hash oranı ise ağın güvenlik seviyesini ve hesaplama gücünü gösterir; artan hash oranı, madencilik zorluğunu artırarak madencilik maliyetlerini yükseltebilir ve arz-talep dengesine etki edebilir. Bu nedenle, her iki değişkenin de Bitcoin fiyatları üzerindeki belirleyici etkilerini analiz etmek önem taşımaktadır. Bu kapsamda çalışmanın amacı, 10.02.2017 ile 31.10.2024 tarihleri arasındaki günlük verileri kullanarak Bitcoin enerji tüketimi ve Bitcoin hash oranının Bitcoin fiyatları üzerindeki etkilerini incelemek ve aradaki ilişkiyi anlamaktır. Çalışmada günlük verilerin kullanılması, Bitcoin enerji tüketimi ve fiyatları arasındaki ilişkiyi daha hassas ve ayrıntılı bir şekilde analiz etmemizi sağlamaktadır. Günlük veriler, piyasa hareketlerindeki kısa vadeli dalgalanmaları ve ani değişimleri yakalama imkanı sunarak, Bitcoin gibi yüksek volatilitelere sahip varlıkların analizinde daha doğru tahminler yapılmasına olanak tanır. Bu tür veriler, zaman serisi modellerinin daha doğru kurulmasını ve kısa vadeli etkilerin yanı sıra uzun vadeli eğilimlerin de incelenmesini sağlar. Bu bağlamda incelenecek olan logaritmik model şu şekildedir:

$$\ln fiyat_t = \beta_0 + \beta_1 \ln bet_t + \beta_2 \ln hash_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

β_0 sabit terimi ve ε_t hata terimini ifade etmektedir. β_1 Bitcoin enerji tüketiminin Bitcoin fiyatları üzerindeki etkisini, β_2 ise Bitcoin hash oranının Bitcoin fiyatları üzerindeki etkisini belirten katsayıdır. Logaritmik dönüşümler, değişkenler arasındaki yüzde değişimlerin analiz edilmesini sağlar, büyük dalgalanmaların etkisini azaltır ve verilerin dağılımını simetrik hale getirir

(Leydesdorff ve Bensman, 2006). Ampirik modelde incelenen değişkenlere ait detaylı bilgiler Tablo 1’de verilmiştir:

Tablo 2. Değişkenler ve Kaynakları

Sembol	Değişken	Kaynak
<i>lnbet</i>	Bitcoin Enerji Tüketimi	Digiconomist
<i>lnfiyat</i>	Bitcoin Kapanış Fiyatları	Yahoo Finance
<i>lnhash</i>	Bitcoin Hash Oranı	Coinwarz

Modelde incelenen serilere ait tanımlayıcı istatistikler ve korelasyon matrisi Tablo 2’de raporlanmıştır:

Tablo 2. Tanımlayıcı İstatistikler ve Korelasyonlar

	<i>lnbet</i>	<i>lnfiyat</i>	<i>lnhash</i>
Ortalama	36.569	9.642	4.625
Medyan	36.59	9.738	4.865
Standart Sapma	1.2004	1.033	1.357
Çarpıklık	-5.031	-0.431	-0.756
Basıklık	77.347	2.475	3.313
Jarque-Bera	661.375 (0.000)	119.667 (0.000)	280.889 (0.000)

Verilen tanımlayıcı istatistiklere göre, Bitcoin enerji tüketimi için hesaplanan ortalamalar ve medyan değerlerinin birbirine oldukça yakın olması, verilerin genel olarak merkezi bir eğilim gösterdiğini ve aykırı değerlerin etkisinin sınırlı olduğunu göstermektedir. Ancak, Bitcoin enerji tüketimi için hesaplanan yüksek basıklık ve negatif çarpıklık, verinin normal dağılıma uymadığını ve dağılımının sol tarafa çarpık olduğunu işaret etmektedir. Bitcoin fiyatları için ise ortalamaların ve medyan değerlerinin birbirine yakın olması fiyatların genelde ortalamaya yakın dağıldığını gösterirken, yüksek basıklık ve negatif çarpıklık değerleri fiyatların dağılımının normal dağılıma göre aşırı değerlerde yoğunlaştığını ve aşırı fiyat değişimlerinin sık olduğunu işaret etmektedir. Her iki değişken için de Jarque-Bera testi sonuçları normal dağılım varsayımını reddeder, bu da Bitcoin’in enerji tüketimi ve fiyatlarının istatistiksel olarak anlamlı çarpıklık ve basıklık içerdiğini doğrulamaktadır.

4.2. Ekonometrik Yöntem

Modelde kullanılan üç değişkenin tanımlayıcı istatistiklerine bakıldığında, verilerin normal dağılım varsayımını sağlamadığı tespit edilmiştir. Bu durum göz önünde bulundurularak, analizlerde geleneksel yöntemlerin yanı sıra, normallik varsayımını esneten yöntemlerin kullanılması uygun görülmüştür. Bu kapsamda, değişkenlerin birim kök ve eşbütünleşme ilişkilerini daha güvenilir bir şekilde inceleyebilmek için RALS-ADF birim kök ve RALS-EG eşbütünleşme testleri uygulanmıştır. RALS tekniği, normal olmayan dağılım bilgisini modele dahil ederek artıkların düzeltilmesini sağlamakta ve böylece analiz sonuçlarının güvenilirliğini artırmaktadır. Bununla birlikte, sonuçları klasik yöntemlerle karşılaştırabilmek adına geleneksel ADF birim kök testi ve EG eşbütünleşme testi de uygulanmıştır. Uzun dönem katsayılarının tahmini için ise FMOLS, DOLS ve CCR tahmincileri kullanılarak, seriler arasında tespit edilen eşbütünleşme ilişkisine dayalı olarak daha tutarlı ve sağlam tahminler elde edilmiştir.

4.2.1. RALS-ADF Birim Kök Testi

ADF testinde artıkların durağanlığı konusunda herhangi bir özel varsayım bulunmamaktadır; bu nedenle durağan olup olmamaları testin uygulanabilirliğini etkilemez. Ancak, literatürde artıkların normal dağılım göstermemesi durumunda ilgili testlerin daha güçlü ve etkili olabileceği belirtilmektedir (Lee vd., 2015). RALS tekniği, bu normal olmayan dağılım bilgisini kullanarak

modelin artıklarını düzelter ve testlerin daha güvenilir sonuçlar vermesini sağlayan bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle, ekonomik seriler gibi normal dağılım göstermeyen verilerde RALS tekniğiyle yapılan analizler, klasik yöntemlerle elde edilen bulgulardan daha doğru olabilir.

Geleneksel ADF birim kök testinde, aşağıdaki model dikkate alınmaktadır:

$$\Delta Y_t = \alpha_1 + \beta Y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \delta_j \Delta Y_{t-j} + e_t \quad (2)$$

Bu modelde, Y_{t-1} 'in temel hipotez altında anlamlılığı test edilerek Y_t serisinin durağanlığı araştırılmaktadır. Im vd. (2014) ise literatüre kazandırdıkları birim kök testini artıklarla genişletmeyi önermişlerdir. Bu sayede normal kalıntıların içerdiği bilgiler kullanılarak daha güçlü ve etkili sonuçlar elde edilebilecektir. Im vd. (2014) tarafından önerilen RALS ADF birim kök testine ilişkin matematiksel model aşağıdaki gibidir:

$$\Delta Y_t = \alpha_1 + \alpha_2 t + \beta Y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \delta_j \Delta Y_{t-j} + \hat{w}_t' \gamma + v_t \quad (3)$$

Burada $\hat{w}_t = h(\hat{e}_t) - \hat{K} - \hat{e}_t \hat{D}_t$, $t = 1, 2, \dots, T$, $h(\hat{e}_t) = [\hat{e}_t^2, \hat{e}_t^3]'$, $\hat{K} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T h(\hat{e}_t)$ ve $\hat{D}_t = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T h'(\hat{e}_t)$ şeklindedir. $\hat{w}_t$ terimi aşağıdaki gibi $m_j = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \hat{e}_t^j$ olarak gösterilebilir:

$$\hat{w}_t = [\hat{e}_t^2 - m_2, \hat{e}_t^3 - m_3 - 3m_2 \hat{e}_t] \quad (4)$$

Burada $\hat{e}_t^2 - m_2$, en küçük kareler yöntemindeki sabit varyans koşulu ile ilgilidir. Yani, kalıntının varyansının regresyon doğrusu boyunca sabit olmasıyla ilgilidir. Hata terimlerinin asimetrik dağıldığı durumlarda bu terimin kullanılması tahmin edicinin etkinliğini artırır. $\hat{e}_t^3 - m_3 - 3m_2 \hat{e}_t$ ise $m_4 = 3\sigma^4$ olmadığı sürece etkinliği artırır. Yani ADF birim kök testinden farklı olarak $\hat{w}_t'$ serisi, ADF birim kök testinin artıklarının normal dağılmadığı bilgisini taşımaktadır. Yani ADF birim kök testi çalıştırılır ve hatalar elde edilerek tekrar ADF test denkleminde dahil edilir. Buradaki temel hipotez ADF testinde olduğu gibi serinin birim köke sahip olduğudur.

Temel hipotez altında, RALS-ADF t-istatistiğinin dağılımı şöyledir:

$$\tau_{RALS-ADF} = \rho \tau_{ADF} + \sqrt{1 - \rho^2} z \quad (5)$$

Burada τ_{ADF} standart ADF birim kök test istatistiğinin t-istatistiğidir. Z standart normal dağılımlı bir değişkendir. ρ^2 RALS-ADF ile ADF regresyonlarından elde edilen artıklar arasındaki korelasyondur. $\rho^2 = 1$ olduğunda, RALS-ADF ve ADF test istatistikleri eşit olacaktır. Buradaki kritik değerleri kullanmak için ADF ve RALS-ADF birim kök testleri arasındaki korelasyon katsayılarını hesaplamak gerekir. Yani $\hat{\rho}^2 = \hat{\sigma}_A^2 / \hat{\sigma}^2$. Burada $\hat{\sigma}_A^2$, RALS-ADF'den elde edilen hata varyansını, $\hat{\sigma}$ ise ADF'den elde edilen hata varyansını göstermektedir.

4.2.2. RALS-EG Eşbütünleşme Testi

Engle ve Granger (1987) testine yönelik temel eleştiri, testin diğer alternatiflere kıyasla zayıf olmasıdır. RALS-EG eş-bütünleşme testi, Im ve Schmidt (2008) tarafından önerilen RALS yönteminin kullanıldığı ve bu sayede Engle ve Granger testinin gücünün artırıldığı bir test olarak öne çıkmaktadır. Lee vd. (2015), normal dağılmayan artıkların yüksek momentlerinin bu artıkların doğası hakkında önemli bilgiler sağlayabileceğini ve bu bilginin kullanılmasıyla daha güçlü eşbütünleşme testlerinin geliştirilebileceğini belirtmişlerdir. Yılcı ve Aydın (2018) tarafından önerilen RALS-EG testi, ilk aşamada bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında bir model kurulması ve kalıntıların elde edilmesi sürecini EG testi gibi izlemektedir. Ancak ikinci aşamada, Im ve Schmidt'in (2008) RALS yöntemi kullanılarak kalıntılardan yüksek momentler elde edilir ve bu momentler ADF birim kök testine dahil edilerek testin gücü artırılır. Bu şekilde, değişkenler arasında uzun dönemli ilişkilerin daha güvenilir bir şekilde belirlenmesi sağlanır.

$$\hat{w}_t = h(\hat{e}_t) - \hat{K} - \hat{e}_t \hat{D}_t, t = 1, 2, \dots, T \quad (6)$$

Burada $(\hat{e}_t) = [\hat{e}_t^2, \hat{e}_t^3]'$, $\hat{K} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T h(\hat{e}_t)$ ve $\hat{D}_t = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T h'(\hat{e}_t)$ şeklindedir. $\hat{w}_t$ terimi aşağıdaki gibi $m_j = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \hat{e}_t^j$ olarak gösterilebilir:

$$\hat{w}_t = [\hat{e}_t^2 - m_2, \hat{e}_t^3 - m_3 - 3m_2\hat{e}_t]'$$
 (7)

Burada $\hat{e}_t^2 - m_2$, sabit varyanslı $E[(\hat{e}_t - \sigma_t^2)y_{t-1}] = 0$ momenti varsayımına bağlı olarak oluşturulur. Artıklar simetrik olmadığı sürece bu koşul ile etkinlik sağlanır. $\hat{e}_t^3 - m_3 - 3m_2\hat{e}_t$ sadece ilgili dağılım normal olduğunda sağlanan $\mu_j = E(e_t^j)$ ve $\mu_4 = 3\sigma^4$ belirleme koşulu ile ilgilidir. Eğer normal dağılım yoksa, bu koşul durağan bir terimin türetilmesine neden olur. Bu da daha güçlü testlerin türetilmesini engeller.

EG eşbütünleşme testinin ikinci aşamasında yer alan ADF regresyon modeline $\hat{w}_t$ terimi eklenerek aşağıdaki regresyon elde edilebilir:

$$\Delta \hat{u}_t = \alpha_0 + \rho \hat{u}_{t-1} + \sum_{i=1}^k \alpha_i \Delta \hat{u}_{t-i} + \hat{w}_t' \gamma + v_t$$
 (8)

İlgili değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki olmadığını gösteren temel hipotez ($\rho = 0$) standart t-istatistiği ile test edilebilir. RALS-EG yöntemi test istatistiği ile EG test istatistiği arasında aşağıdaki gibi bir ilişki vardır:

$$t^* \rightarrow \rho t + \sqrt{1 - \rho^2} z$$
 (9)

Burada t^* RALS-EG test istatistiğini, t EG test istatistiğini, z standart normal dağılımlı rastgele değişkeni göstermektedir. ρ , EG denkleminde elde edilen e_t kalıntıları ile RALS-EG denkleminde elde edilen v_t kalıntıları arasındaki uzun vadeli korelasyonu temsil etmektedir. Lee vd. (2015), RALS-EG ile tahmin edilen eşbütünleşme testlerinin dayandığı ρ 'nin tahmini için Hansen (1995) tarafından önerilen parametrik olmayan tahmin yönteminin kullanılmasını önermiştir.

5. BULGULAR

Zaman serilerinin birim kök özelliğini belirlemek için en yaygın test olan ADF birim kök testi ve artıkların normal olmayan dağılımını dikkate alarak daha güçlü bir birim kök testi sunan RALS-ADF birim kök testi sonuçları Tablo 3'te raporlanmıştır:

Tablo 3. Birim Kök Test Sonuçları

Değişkenler	ADF	RALS-ADF	ρ^2	k
$\ln bet$	-1.845 (0.432)	-1.996	0.516	5
$\Delta \ln bet$	-16.665 (0.000)***	-23.295***	0.543	6
$\ln fiyat$	-2.073 (0.255)	-2.004	0.889	3
$\Delta \ln fiyat$	-10.69 (0.000)***	-11.946***	0.887	2
$\ln hash$	-1.998 (0.352)	-1.623	0.373	1
$\Delta \ln hash$	-16.95 (0.000)***	-26.969***	0.374	1

Not: RALS-ADF birim kök testi için kullanılan kritik değerler Hansen (1995) çalışmasında bulunmaktadır. *** sembolü %1 anlamlılık düzeyini ifade etmektedir.

Tablo 3'te verilen RALS-ADF birim kök testinde kullanılan kritik değerler, hesaplanan t istatistiği ile karşılaştırıldığında, ele alınan değişkenlerin seviyelerinde durağan olmadığı ancak birinci farklarının alındığında durağan hale geldikleri gözlemlenmiştir. Tablo 3'te ADF test sonuçları da sunulmuş olup, RALS-ADF testi ile benzer şekilde, incelenen tüm değişkenlerin seviyelerinde değil, birinci farklarının alındığında durağan hale geldikleri görülmüştür.

Durağanlık sınavından sonra seriler arasında bir eşbütünleşme ilişkisinin varlığını belirlemek için yaygın olarak kullanılan Engle-Granger eşbütünleşme testi ve Engle-Granger testine göre daha güçlü

bir versiyon olan, artıkların normal dağılmadığı durumlarda kullanılan RALS-EG eşbütünleşme testi sonuçları Tablo 4'te raporlanmıştır:

Tablo 4. Eşbütünleşme Testi Sonuçları

	Test İstatistiği	k	ρ^2
EG	-3.058	4	0.774
RALS-EG	-38.252***	4	0.526

Not: RALS-EG birim kök testi için kullanılan kritik değerler Yılcı ve Aydın (2018) çalışmasında bulunmaktadır. *** sembolü %1 anlamlılık düzeyini ifade etmektedir.

Elde edilen sonuçlar, EG testine göre Bitcoin enerji tüketimi, Bitcoin hash oranları ile Bitcoin fiyatları arasında uzun dönemli bir ilişki olmadığını göstermektedir. Ancak, EG testine kıyasla daha güçlü olan RALS-EG testi uygulandığında, bu değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır. Uzun dönem ilişki bulgusu elde edildikten sonra gerçekleştirilen FMOLS, DOLS ve CCR model tahminleri ise Tablo 5'te belirtilmiştir:

Tablo 5. Uzun Dönem Model Tahmin Sonuçları

Bağımlı Değişken: <i>lnfiyat</i>	Değişkenler	Katsayı	Standart Hata	t Test İstatistiği	Olasılık Değeri
FMOLS	<i>lnbet</i>	0.0807	0.025	-3.179	0.001***
	<i>lnhash</i>	0.065	0.022	-28.933	0.000***
	Sabit Terim	3.678	0.935	-3.932	0.000***
DOLS	<i>lnbet</i>	0.118	0.041	-2.843	0.004***
	<i>lnhash</i>	0.0648	0.022	-28.863	0.000***
	Sabit Terim	2.305	1.529	1.507	0.131
CCR	<i>lnbet</i>	0.105	0.032	-3.212	0.001***
	<i>lnhash</i>	0.65	0.022	-28.848	0.000***
	Sabit Terim	2.786	1.201	-2.318	0.02**

Not: *** ve ** sembolleri sırasıyla %1 ve %5 anlamlılık düzeylerini ifade etmektedir.

Değişkenlerin uzun dönem katsayılarını belirlemek amacıyla uygulanan FMOLS, DOLS ve CCR testlerinin sonuçlarının birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu yöntemlerin her birine göre, Bitcoin enerji tüketimindeki %1'lik bir artış, Bitcoin fiyatlarında yaklaşık %10'luk bir artışa neden olmaktadır. Bitcoin hash oranlarındaki %1'lik bir artış ise Bitcoin fiyatlarında yaklaşık %6.5'lik bir artışa neden olmaktadır.

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışma, Bitcoin enerji tüketiminin Bitcoin fiyatları üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla 10.02.2017 ile 31.10.2024 tarihleri arasındaki günlük verileri kullanmıştır. Çalışmada, değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkiler EG ve RALS-EG eşbütünleşme testleriyle analiz edilmiştir. Ayrıca, değişkenlerin uzun dönem katsayılarını belirlemek amacıyla FMOLS, DOLS ve CCR tahmin yöntemleri uygulanmıştır.

Sonuçlar, EG eşbütünleşme testinin uzun dönemli bir ilişki göstermemesine karşın RALS-EG eşbütünleşme testinin bu ilişkiyi doğruladığını ortaya koymaktadır. Bu durum, artıkların normal dağılmadığı durumlarda RALS-EG testinin daha güçlü bir yöntem olduğunu göstermektedir. Bulgular, Bitcoin enerji tüketimindeki %1'lik bir artışın Bitcoin fiyatlarında yaklaşık %10'luk bir artışa yol açtığını ve hash oranındaki %1'lik artışın fiyatları %6.5 oranında artırdığını ortaya koymuştur. Bu bulgular, enerji tüketiminin ve hash oranlarının Bitcoin fiyatlarının temel belirleyicileri olduğunu göstermektedir.

Literatürdeki çalışmalar, bu ilişkilere farklı açılardan yaklaşmıştır. Örneğin, Fantazzini ve Kolodin (2020), hash oranı ve Bitcoin fiyatları arasındaki ilişkinin dönemsel olarak farklılık gösterebileceğini vurgulamış, yapısal kırılmaların ve enerji verimliliğinin önemine dikkat çekmiştir. Benzer şekilde, Schinckus vd. (2021), enerji verimliliği için yapılan teknolojik iyileştirmelere rağmen Bitcoin'in enerji tüketimindeki artışın sürdüğünü göstermiştir. Bu çalışmalar, enerji tüketimi ve hash oranı ile fiyatlar arasındaki ilişkiyi güçlendirmekle birlikte, teknolojik değişimlerin ve yapısal faktörlerin dikkate alınması gerektiğini önermektedir. Kubal ve Kristoufek (2022) ise hash oranı ile Bitcoin fiyatlama mekanizması arasındaki ilişkinin sistem dinamikleri bağlamında ele alınması gerektiğini vurgulamış ve enerji talebine dikkat çekmiştir. Zhang vd. (2022) ise bu ilişkiyi çevresel bir perspektiften değerlendirmiş ve enerji tüketiminin çevresel maliyetlerine odaklanmıştır. Bu çalışma ise, hash oranı ve enerji tüketiminin fiyatlar üzerindeki etkisini doğrularken, bu ilişkilerin çevresel ve sistemik sonuçlarının daha kapsamlı bir şekilde incelenmesi gerektiğini göstermektedir.

Çalışmanın yalnızca enerji tüketimi ve hash oranları gibi ağ dinamiklerine odaklanması, daha geniş bir bağlamda enerji tüketiminin çevresel etkilerini dışarıda bırakmaktadır. Örneğin, Chitkasame vd. (2022) ve Bâra vd. (2024), enerji tüketiminin fosil yakıt bağımlılığı ve çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerine dikkat çekmiştir. Literatürdeki çalışmalar, fosil yakıtların enerji tüketimi ve çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki rolüne işaret ederken, bu çalışma çevresel sürdürülebilirlik veya karbon emisyonları gibi kritik unsurları ele almamış ve yalnızca Bitcoin fiyatları üzerindeki doğrudan etkileri incelemiştir. Bunun yanı sıra, enerji tüketiminin fiyatlar üzerindeki etkilerinin enerji fiyatları, piyasa volatilitesi ve politika belirsizlikleri gibi faktörlerle birlikte değerlendirilmesi gerektiği açıktır. Örneğin, Sarker vd. (2023), enerji fiyatları ve iklim politikası belirsizliklerinin Bitcoin fiyatları üzerindeki asimetrik etkilerini göstermiştir. Çalışmada bu tür faktörler göz önüne alınmamış olsa da gelecekteki araştırmalar için enerji fiyatlarının ve piyasa volatilitesinin Bitcoin fiyatları üzerindeki etkilerinin yanı sıra yenilenebilir enerji kaynaklarının madencilikte kullanımına yönelik etkiler ve rejim değişimlerinin enerji tüketimi ile fiyatlar arasındaki ilişkiye olan etkileri önemli birer araştırma alanı olarak önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Baldwin, J. (2018). In digital we trust: Bitcoin discourse, digital currencies, and decentralized network fetishism. *Palgrave Communications*, 4(1). <https://doi.org/10.1057/s41599-018-0065-0>.
- Bâra, A., Oprea, S. V. ve Panait, M. (2024). Insights into bitcoin and energy nexus. A bitcoin price prediction in bull and bear markets using a complex meta model and sql analytical functions. *Applied Intelligence*, 1-29. <https://doi.org/10.1007/s10489-024-05474-2>.
- Binda, J. (2020). Cryptocurrencies–problems of the high-risk instrument definition. *Investment Management and Financial Innovations*, 17(1), 227-241. [http://dx.doi.org/10.21511/imfi.17\(1\).2020.20](http://dx.doi.org/10.21511/imfi.17(1).2020.20).
- Boz, E., and Mendoza, E. G. (2014). Financial innovation, the discovery of risk, and the us credit crisis. *Journal of Monetary Economics*, 62, 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2013.07.001>.
- Chitkasame, T., Rakpho, P. ve Khiewngamdee, C. (2022). Analyzing structural change and causality between energy consumption and Bitcoin's activity. *Energy Reports*, 8, 736-743. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.10.320>.
- Damour, F. ve Damour, F. (2024). The first blockchain: bitcoin, entropy, religion. *Zygon: Journal of Religion and Science*, 59(1), 280–301. <https://doi.org/10.16995/zygon.11004>.
- De Vries, A. ve Stoll, C. (2021). Bitcoin's growing e-waste problem. *Resources, Conservation and Recycling*, 175, 105901. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105901>.
- Engle, R. F. ve Granger, C. W. (1987). Co-integration and error correction: Representation, estimation, and testing. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 55(2), 251-276. <https://doi.org/10.2307/1913236>.
- Fantazzini, D. ve Kolodin, N. (2020). Does the Hashrate Affect the Bitcoin Price? *Journal of Risk and Financial Management*, 13(11), 263. <https://doi.org/10.3390/jrfm13110263>.
- Giungato, P., Rana, R., Tarabella, A. ve Tricase, C. (2017). Current trends in sustainability of bitcoins and related blockchain technology. *Sustainability*, 9(12), 2214. <https://doi.org/10.3390/su9122214>.
- Güleç, Ö. F. (2018). Bitcoin ile finansal göstergeler arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Kırklareli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 7(2), 18-37.
- Hansen, B. (1995). Rethinking the univariate approach to unit root testing. *Econometric Theory*, 11(5), 1148-1171. <https://doi.org/10.1017/S0266466600009993>.
- Hong, H. ve Zhang, C. (2023). Bitcoin trading, economic growth, energy use, and CO2 emissions: An advanced panel study of emerging market economies. *International Review of Economics & Finance*, 87, 519-531. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2023.06.003>.
- Hossain, M. S. (2021). What do we know about cryptocurrency? Past, present, future. *China Finance Review International*, 11(4), 552-572. <https://doi.org/10.1108/CFRI-03-2020-0026>.
- Im, K. ve Schmidt, P. (2008). More efficient estimation under non-normality when higher moments do not depend on the regressors, using residual-augmented least squares. *Journal of Econometrics*, 144, 219-233. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2008.01.003>.
- Im, K. S., Lee, J. ve Tieslau, M. A. (2014). More powerful unit root tests with non-normal errors. *İçinde Festschrift in Honor of Peter Schmidt* (Sickles, R., and Horrace, W. (eds)). Springer, New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-8008-3_10.

- Judmayer, A., Stifter, N., Krombholz, K. ve Weippl, E. (2017). *Blocks and chains: Introduction to bitcoin, cryptocurrencies, and their consensus mechanisms*. Morgan & Claypool Publishers.
- Jumde, A., ve Cho, B. Y. (2020). Can cryptocurrencies overtake the fiat money? *International Journal of Business Performance Management*, 21(1-2), 6-20.
- Khan, D., Jung, L. T. ve Hashmani, M. A. (2021). Systematic literature review of challenges in blockchain scalability. *Applied Sciences*, 11(20), 9372. <https://doi.org/10.3390/app11209372>.
- Kubal, J. ve Kristoufek, L. (2022). Exploring the relationship between bitcoin price and network's hashrate within endogenous system. *International Review of Financial Analysis*, 84, 102375. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2022.102375>.
- Küfeoğlu, S. ve Özkuran, M. (2019). *Energy consumption of bitcoin mining*. Working Paper, University of Cambridge: Cambridge, UK. <https://doi.org/10.17863/CAM.41230>.
- Lasla, N., Al-Sahan, L., Abdallah, M. ve Younis, M. (2022). Green-PoW: An energy-efficient blockchain proof-of-work consensus algorithm. *Computer Networks*, 214, 109118. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2022.109118>.
- Lee, H., Lee, J. ve Im, K. (2015). More powerful cointegration tests with non-normal errors. *studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics*, 19(4), 397-413. <https://doi.org/10.1515/snde-2013-0060>.
- Leydesdorff, L. ve Bensman, S. (2006). Classification and powerlaws: The logarithmic transformation. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 57(11), 1470-1486. <https://doi.org/10.1002/asi.20467>.
- Li, J., Li, N., Peng, J., Cui, H. ve Wu, Z. (2019). Energy consumption of cryptocurrency mining: A study of electricity consumption in mining cryptocurrencies. *Energy*, 168, 160-168. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.11.046>.
- Maiti, M. (2022). Dynamics of Bitcoin prices and energy consumption. *Chaos, Solitons & Fractals: X*, 9, 100086. <https://doi.org/10.1016/j.csf.2022.100086>.
- Mohsin, M., Naseem, S., Zia-ur-Rehman, M., Baig, S.A. ve Salamat, S. (2023). 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*, 28, 651-667. <https://doi.org/10.1002/ijfe.2442>.
- Moşteanu, D. N. R., Faccia, D. A., Cavaliere, L. P. L. ve Bhatia, S. (2020). Digital technologies' implementation within financial and banking system during socio distancing restrictions-back to the future. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, 11(6), 307-315.
- Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system*. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>.
- Oprea, S. V., Georgescu, I. A. ve Bâra, A. (2024). Is bitcoin ready to be a widespread payment method? Using price volatility and setting strategies for merchants. *Electronic Commerce Research*, 1-39. <https://doi.org/10.1007/s10660-024-09812-x>.
- Pirinççi, A. E. (2018). Yeni dünya düzeninde sanal para Bitcoin'in değerlendirilmesi. *Uluslararası Ekonomi Siyaset İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi*, 1(1), 45-52.
- Rejeb, A., Rejeb, K. ve Keogh, J. G. (2021). Cryptocurrencies in modern finance: A literature review. *Etikonomi*, 20(1), 93-118. <https://doi.org/10.15408/etk.v20i1.16911>.

- Sarker, P. K., Lau, C. K. ve Pradhan, A. K. (2023). Asymmetric effects of climate policy uncertainty and energy prices on bitcoin prices. *Innovation and Green Development*, 2, 100048. <https://doi.org/10.1016/j.igd.2023.100048>.
- Sarkodie, S. A., Ahmed, M. Y. ve Leirvik, T. (2022). Trade volume affects bitcoin energy consumption and carbon footprint. *Finance Research Letters*, 48, 102977. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2022.102977>.
- Schinckus, C., Nguyen, C. P. ve Chong, F. H. L. (2022). Cryptocurrencies' Hashrate and electricity consumption: Evidence from mining activities. *Studies in Economics and Finance*, 39(3), 524-546. <https://doi.org/10.1108/SEF-08-2021-0342>.
- Sedlmeir, J., Buhl, H. U., Fridgen, G. ve Keller, R. (2020). The energy consumption of blockchain technology: Beyond myth. *Business & Information Systems Engineering*, 62(6), 599-608. <https://doi.org/10.1007/s12599-020-00656-x>.
- Siddique, I., Smith, E. ve Siddique, A. (2023). Assessing the sustainability of bitcoin mining: comparative review of renewable energy sources. *Journal of Alternative and Renewable Energy Sources*, 10(1), 10-46610.
- Stepanova, D., Yousif, N. B. A., Karlibaeva, R. ve Mikhaylov, A. (2024). Current analysis of cryptocurrency mining industry. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, 8(7), 4803. <https://doi.org/10.24294/jipd.v8i7.4803>.
- Tan, T. M. ve Saraniemi, S. (2023). Trust in blockchain-enabled exchanges: future directions in blockchain marketing. *Journal of the Academy of marketing Science*, 51(4), 914-939. <https://doi.org/10.1007/s11747-022-00889-0>.
- Tommerdahl, J. (2024). Introduction to the blockchain, Bitcoin, and other cryptocurrencies for educators. *Neural Computing and Applications*, 36(32), 20527-20536. <https://doi.org/10.1007/s00521-024-10209-y>.
- Vranken, H. (2017). Sustainability of Bitcoin and blockchains. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 28, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.04.011>.
- Wang, Q., Qin, B., Hu, J. ve Xiao, F. (2020). Preserving transaction privacy in Bitcoin. *Future Generation Computer Systems*, 107, 793-804. <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.08.026>.
- Xiao, Z., Cui, S., Xiang, L., Liu, P. J. ve Zhang, H. (2023). The environmental cost of cryptocurrency: Assessing carbon emissions from bitcoin mining in China. *Journal of Digital Economy*, 2, 119-136. <https://doi.org/10.1016/j.jdec.2023.11.001>.
- Yan, L., Mirza, N. ve Umar, M. (2022). The cryptocurrency uncertainties and investment transitions: evidence from high and low carbon energy funds in china. *Technological Forecasting and Social Change*, 175, 121326. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121326>.
- Yılcı, V. ve Aydın, M. (2018). Türkiye'de kadın okullaşmasının ekonomik büyüme üzerindeki etkisi: Rals-Eg eşbütünleşme testi yaklaşımı. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 101-112. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.426922>.
- Zhang, D., Chen, X. H., Lau, C. K. M. ve Xu, B. (2023). Implications of cryptocurrency energy usage on climate change. *Technological Forecasting and Social Change*, 187, 122219. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122219>.



© Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license.

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

EXTENDED ABSTRACT

Investigation of the Effect of Bitcoin Energy Consumption on Bitcoin Prices with RALS Approach

1. Introduction

The foundations of cryptocurrencies are based on research into digital money that began in the 1990s. While Szabo's Bit Gold and Wei Dai's "b-money" ideas stand out as the first examples, bitcoin and blockchain technology were born with Nakamoto's work published in 2008 (Damour and Damour, 2024). With its decentralised structure and limited supply, bitcoin has taken a firm place among digital money systems. Since the first transaction in 2009, bitcoin has gained importance in financial markets as an investment instrument and an alternative store of value (Giungato et al., 2017). The growing popularity of bitcoin in the cryptocurrency ecosystem has also had environmental implications. In particular, Bitcoin mining has attracted attention due to its high energy consumption, raising concerns about environmental sustainability (Siddique et al., 2023). Bitcoin mining is an energy-intensive process based on the Proof of Work (PoW) algorithm, and the increase in energy consumption in this process has a direct impact on Bitcoin prices and the mining economy. The objective of this study is to examine the impact of Bitcoin energy consumption and bitcoin hash rates on Bitcoin prices.

2. Data Set and Method

Bitcoin's energy consumption affects mining costs by reflecting the intensity of mining activities, which can indirectly pressure bitcoin prices, especially due to the relationship between high energy prices and mining profitability. The hash rate, on the other hand, indicates the level of security and computational power of the network; increasing the hash rate may increase mining costs by increasing the difficulty of mining and affecting the supply-demand balance. Therefore, it is important to analyse the determinant effects of both variables on Bitcoin prices. In this context, the aim of this study is to examine the effects of Bitcoin energy consumption and Bitcoin hash rate on Bitcoin prices and to understand the relationship between them using daily data between 10/02/2017 and 31/10/2024. The use of daily data in the study allows us to analyse the relationship between Bitcoin energy consumption and prices in a more precise and detailed way.

The ADF and RALS-ADF methods were used to test for unit roots. The ADF test is a classical approach that is widely used to detect the presence of unit roots in series with constants and trends, while RALS-ADF is a method that increases the power of the unit root test and reduces model uncertainty by taking into account the presence of structural breaks and trend changes. The Engle-Granger and RALS-Engle-Granger methods were used for cointegration analysis. While Engle-Granger is widely preferred for testing long-run relationships, the RALS-Engle-Granger method aims to obtain more accurate results by reducing the uncertainty in the model. FMOLS, DOLS, and CCR methods are used to estimate long-run coefficients. While FMOLS and DOLS estimate cointegration relationships through linear modelling, the CCR method aims to improve coefficient estimates by treating cointegration relationships in a broader framework.

3. Empirical Findings

In this study, various analyses were conducted to examine the relationship between Bitcoin energy consumption and Bitcoin closing prices. First, the stationarity of the series was analysed using unit root tests. According to the results of the ADF and RALS-ADF unit root tests, the variables were found to be non-stationary at their levels but became stationary at first differences. This result shows that

the stationary structure of the relationship between Bitcoin energy consumption and prices over time can only be obtained by taking the difference.

When the Engle-Granger (EG) cointegration test was first applied, it was found that there was no long-run relationship between Bitcoin energy consumption and Bitcoin closing prices. However, when the RALS-EG test is applied, it is concluded that there is a long-run relationship between these variables. It is found that the RALS-EG test is more powerful than the EG test and reduces the effects of structural breaks and trend changes. Finally, the FMOLS, DOLS, and CCR methods are used to estimate long-run coefficients. According to these methods, a 1% increase in Bitcoin energy consumption leads to a 10% increase in Bitcoin prices, and a 1% increase in the hash rate leads to a 6.5% increase in prices.

4. Discussion and Conclusion

This study makes important contributions to the existing literature. For example, while Maiti (2022) focuses on the non-linear relationship between energy consumption and Bitcoin prices, this study favours a linear model. In contrast to Maiti's findings, the results of this study confirm the positive relationship between energy consumption and prices. However, the lack of consideration of non-linear effects and regime shifts suggests that the current analytical framework is limited. The positive effect of hash rates on Bitcoin prices supports the study by Hong and Zhang (2023), which states that hash rates contribute positively to prices by increasing network security and transaction capacity. However, Hong and Zhang's findings on the bidirectional relationships between Bitcoin trading, energy consumption, and carbon emissions are beyond the scope of this study.

Focusing only on network dynamics, such as energy consumption and hash rates, ignores a broader context, such as the environmental impact of energy consumption. For example, studies such as Chitkasame et al. (2022) and Bâra et al. (2024) address the impact of energy consumption on fossil fuel dependency and environmental sustainability. Chitkasame et al. highlights the role of fossil fuel use in energy consumption and environmental impacts. In this context, the fact that the study does not address critical issues such as environmental sustainability or carbon emissions points to the need for a more comprehensive analysis. Furthermore, it is clear that energy consumption should not only have a direct impact on Bitcoin prices but should also be considered in the context of factors such as energy prices, market volatility, and policy uncertainties. For example, Sarker et al. (2023) focused on the asymmetric effects of energy prices and climate policy uncertainty on Bitcoin prices and showed that these effects significantly shape market behaviour. In this study, these factors are not taken into account, and only network dynamics are considered.