

KRİPTO VARLIKLARDA ELEKTRİK TÜKETİMİ, KARBON EMİSYONU VE FİYAT İLİŞKİSİ: SEÇİLMİŞ TOKENLER ÖRNEĞİ

Electricity Consumption, Carbon Emission and Price Relationship in Cryptocurrency: Case of Selected Tokens

Meltem BİLİRER* & Feyyaz ZEREN**

*Doktora Öğrencisi, meltem.97bilirer@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5496-840X

**Prof. Dr., Yalova Üniversitesi, feyyaz.zeren@yalova.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0163-5916

Araştırma Makalesi / Research Article

ÖZ

Geliş Tarihi:

31.01.2025

Kabul Tarihi:

28.02.2025

Anahtar Kelimeler:

Kripto Varlıklar, Merge, Token, Elektrik Tüketimi, Karbondioksit Emisyonu

JEL Kodları:

G15, Q43

Benzerlik Oranı:

iThenticate: %7

Dijitalleşmenin etkisiyle teknolojik gelişmelerin beraberinde getirdiği kripto varlıklar günden güne insan hayatında yer edinmekte ve sunduğu avantajlar ile oldukça ilgi çekmektedir. Bununla birlikte son yıllarda kripto varlık kullanımına yönelimde görülen artış; kolaylık, şeffaflık, hız gibi birçok avantaj sunan ve kazanç vaat eden bu yeni teknolojinin çevresel açıdan etkilerini ve potansiyel risk sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Bu durumdan hareketle çalışmada kripto varlıkların çevresel etkilerini araştırmak amacıyla Ethereum'un İş Kanıtı protokolündeki yüksek elektrik tüketimi sorununu ortadan kaldırmak üzere Hisse Kanıtı protokolüne geçişini temsil eden merge uygulamasının öncesindeki ve sonrasındaki elektrik tüketimi, CO₂ emisyonu ve fiyat değişkenleri arasındaki ilişkiler Shiba Inu ve Chainlink için ekonometrik testlerle analiz edilmiştir. Çalışmada 22.09.2021 ve 09.09.2023 dönemleri arası günlük verilerden oluşan ve merge öncesi ve sonrası olarak ayrı ayrı incelenen zaman serilerinin nedensellik ilişkisini incelemek üzere Fourier Toda-Yamamoto nedensellik testi; eşbütünlük ilişkisini analiz etmek üzere ise Fourier ARDL sınır testi kullanılmıştır. Elde edilen bulgular sonucu Shiba Inu için merge öncesinde CO₂ emisyonundan ve elektrik tüketiminden fiyata doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi olduğu tespit edilmişken, Chainlink için herhangi bir nedensellik ilişkisine rastlanmamıştır. Eşbütünlük analizlerine gelindiğinde ise merge sonrası dönemde Shiba Inu için elektrik tüketimi bağımsız değişken olarak alındığında fiyat ve elektrik tüketimi arasında uzun dönemli bir ilişki mevcuttur. Bununla birlikte Chainlink için bağımsız değişkenin fiyat olacağı şekilde analiz yapıldığında fiyatlar ile hem CO₂ hem de elektrik tüketimi arasında uzun dönemde birlikte hareket gözlemlenmiştir. Bununla birlikte Chainlink için bağımsız değişkenin fiyat olacağı şekilde analiz yapıldığında fiyatlar ile hem CO₂ hem de elektrik tüketimi arasında birlikte hareket gözlemlenmiştir. Söz konusu iki tokene ilişkin ampirik bulguların benzer olmamasının sebebi olarak bu varlıklara yatırım yapanların algısal farklılığından kaynaklı olabileceği düşünülmekte olup bu konuda yatırım profillerini inceleyen anket araştırmalarının yapılmasının konuyu daha fazla aydınlatacağı düşünülmektedir.

ABSTRACT

Received Date:

31.01.2025

Acceptance Date:

28.02.2025

Keywords

Crypto Assets, Merge, Token, Electricity Consumption, Carbon Dioxide Emission

JEL Codes:

G15, Q43

Similarity Rate:

iThenticate: %7

With the impact of digitalization, cryptocurrencies, which are brought about by technological advancements, are gradually establishing a presence in human life and are gaining considerable attention due to the advantages they offer. However, the increase in the use of crypto assets in recent years has brought with it the environmental impacts and potential risk problems of this new technology, which offers many advantages such as convenience, transparency, speed and promises profits. Based on this situation, in order to investigate the environmental impacts of crypto assets, the relationships between electricity consumption, CO₂ emissions and price variables before and after the merge application, which represents Ethereum's transition to the Proof of Stake protocol to eliminate the high energy consumption problem in the Proof of Work protocol, were analyzed with econometric tests for Shiba Inu and Chainlink. In the study, daily data from the period between 22.09.2021 and 09.09.2023, which were separately analyzed before and after merging, were used. To examine the causality relationship, the Fourier Toda-Yamamoto causality test was applied, while the Fourier ARDL bounds test was used to analyze the cointegration relationship. As a result of the findings, it was determined that there was a one-way causal relationship from both CO₂ emissions and electricity consumption to price for Shiba Inu before the merge, while no causality relationship was found for Chainlink. When cointegration analyses are considered, there is a long-term relationship between price and electricity consumption when electricity consumption for Shiba Inu is taken as the independent variable in the after-merge period. However, when the analysis was performed for Chainlink with the price as the independent variable, a long-term co-movement was observed between prices and both CO₂ and electricity consumption. The reason for the differing empirical findings regarding these two tokens is thought to stem from the perceptual differences of the investors in these assets, and it is believed that survey-based research examining investment profiles would further illuminate the issue.

Atıf / Citation: Bilirer, M. & Zeren, F. (2025). Kripto Varlıklarda Elektrik Tüketimi, Karbon Emisyonu ve Fiyat İlişkisi: Seçilmiş Tokenler Örneği. *Malatya Turgut Özal Üniversitesi İşletme ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 6(1), 37-56.

1. GİRİŞ

Birey ve toplumlar, insanlık tarihi boyunca yaşamsal faaliyetlerini gerçekleştirebilmek için mal ve hizmet ihtiyaçlarını karşılama gereksinimi duymuştur. Bu gereksinimlerin varlığı, bunları tek başına karşılama gücü mümkün olmayacak bireyi diğer bireyler ile etkileşim kurmaya iterek birbirleri arasında değiş-tokuş faaliyeti içerisinde bulunmak durumunda bırakmıştır. Başlarda alım-satım faaliyetleri çok yaygın olmadığından dolayı trampa ekonomisi olarak adlandırılan malın diğer bir mal ile herhangi bir değişim aracı olmadan değiş tokuşunu ifade eden bir sistem ile mübadele söz konusu iken; zaman içerisinde istek ve ihtiyaçların artması ve çeşitlilik göstermesiyle yaygın hale gelen bu faaliyetler için farklı mübadele yapıları oluşmaya başlamıştır (Kesebir ve Günceler, 2019: 607; Fidan ve diğerleri, 2019: 143).

Tarihsel süreç içerisinde kırsaldan şehirlere göç ve nüfusun artması gibi nedenlerle ihtiyaçlar artarak değişime uğramış ve bu durum basit yapıları değiş-tokuş faaliyetlerinin yetersiz kalmasına yol açmıştır. Öncesinde takas sistemi gibi basit yapıları mübadele yöntemi ile yetinebilen bireyler artık geniş alana yayılan bu etkileşim sürecini kolaylaştıracak bir araca ihtiyaç duymuştur. Bu ihtiyaç doğrultusunda para kavramının bulunması ve kullanılmaya başlanmasıyla bireyler arasındaki ticari işlemlerin daha kolay bir şekilde gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Takip eden süreçte mal para, temsili para, kâğıt para ve banka parası olarak farklı formlarda gelişen para son olarak teknolojik gelişmelerin hızla artmasıyla dijital ve sanal bir para formunu temsil eden kripto paralar ile ortaya çıkmıştır (Bayram Koçak, 2023: 1; Coşkun ve Yıldırım, 2023: 86-87).

Teknolojik gelişmelerin, internet kullanımının arttığı ve dijitalleşmenin gittikçe yayıldığı günümüzde, her alanda karşımıza çıkan yenilikler finans alanında da baş göstermiştir. Finans alanına etki eden ve internetin sunduğu yeniliklerden biri olan Web 3.0, bilginin kontrolü, doğrulanması gibi aşamalarda sürecin merkezi bir nokta (yönetim) ile değil bir bilgisayar ağı üzerinden gerçekleşmesine ve açık kaynak özelliği ile bireylerin bilgiye şeffaflıkla ulaşımını sağlayan bir teknoloji olan blokzincir ile kurulmuş geniş kapsamlı yeni internet uygulamalarını ifade etmektedir (Murray ve diğerleri, 2023: 2). Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesi gibi teknolojileri içeren Web'in bu versiyonunda; kripto varlıklar, NFT'ler, DAO'lar (merkeziyetsiz özerk organizasyonlar) ve metaverse gibi kavramlar yer almakla birlikte, bu sürümle dağıtık bir yapıya sahip blokzincir teknolojisi altyapısıyla internetin daha şeffaf ve merkeziyetsiz olması amaçlanmıştır (Murray ve diğerleri, 2023: 2; Yurdabak ve Deniz, 2023: 165-167; Arvas, 2022: 63-66).

Blokzincirin temeline bakıldığında 2008 yılında, gerçekte kim olduğu bilinmeyen Satoshi Nakamoto tarafından ortaya atılan Bitcoin'in ortaya çıkışına dayandığı görülmektedir (Arvas, 2022: 62). Taraflar arası ticari işlemlerin bir aracı veya otoriteye bağlı olmaksızın gerçekleştirilmesi inancıyla geliştirilen Bitcoin'in ortaya çıkarılmasıyla, üçüncü bir tarafın dahil olmadan işlemlerin gerçekleştirilmesi sağlanarak mevcut finansal yapıdaki aksaklık ve yüksek maliyet gibi sorunların ortadan kaldırılması hedeflenmiştir (Yıldırım, 2019: 266-267). Bitcoin ilk kripto varlık niteliğiyle, özellikle 2008 finansal krizi sonrası hükümete ve merkezi otoriteye bağlı finansal kuruluşlara eleştirilerin olduğu dönemin sonrasında ortaya çıkmasıyla bireylerin kripto varlıklara ilgisini çekmiştir (Yağmur ve Mangır, 2020 :163; Bakır, 2018: 132; Polat, 2022: 12). Kripto varlıklar işlem maliyeti düşük, hızlı ve kolay işlem gerçekleştirilmesine olanak sağlamanın yanı sıra şifreleme yöntemiyle bilgi hırsızlıklarına karşı güvenlik de sağlamaktadır. Ayrıca geleneksel banka işlemlerinde mevcut olan prosedür zorunlulukları kripto varlık kullanımında söz konusu değildir ve blokzincir teknolojisinin sayesinde şeffaflık sağlanmaktadır. (Yağmur ve Mangır, 2020: 164; Oral ve Yeşilkaya, 2021: 84).

Kullanıcılar açısından önemli faydaları ve kolaylıkları olsa da kripto varlık kullanımının elektrik tüketimi konusunda çevresel anlamda zararlı etkileri tartışma konusudur (Oral ve Yeşilkaya,

2021: 84). Kripto varlıkların altyapısını oluşturan blokzincir teknolojisinin işleyiş sürecinde var olan yöntemlere göre değişkenlik gösteren yüksek elektrik tüketimi konusunda, kullanılan uzlaşma protokolüne göre elektrik tüketim oranı değişebilmektedir (Şenkardeş, 2021: 160). Örneğin, Bitcoin için geçerli olan İş Kanıtı (PoW) protokolü yoğun elektrik tüketimine sebep olan madencilik sürecini ifade etmektedir. Burada her bir blok için gerekli hashrate bulma sürecinde madenci olarak isimlendirilen yazılımcıların rekabet içinde olması yüksek elektrik tüketimine neden olmaktadır (Çallı ve Şentürk, 2021: 98). Kullanımı yaygın bir diğer kripto para birimi olan Ethereum ağında ise başta İş Kanıtı kullanılırken, yüksek elektrik tüketimini gerektirmesinden dolayı risk teşkil ettiğinden 15 Eylül 2022 tarihinde bu olumsuz etkiyi ve elektrik tüketimini düşürmek üzere Hisse Kanıtı (Proof of Stake) protokolüne geçilmiştir. Bu sayede Ethereum elektrik tüketimi düzeyi düşürerek %99 daha az tüketim mümkün olmuştur (Nur ve Şahin, t.y.: 9; Kapengut ve Mizrach, 2023: 96)

Tartışmalara neden olan kripto varlık kullanımının yaygınlaşmasının getirdiği artan elektrik tüketimi sorununun önüne geçmek amacıyla girişimlerde bulunulmuştur. Bu girişimlerden biri olan ve Ethereum ağının Hisse Kanıtı protokolüne geçişini ifade eden “merge” (birleşme) etkinliği, kripto varlıklarda yoğun enerji tüketimi sorununa çözüm üretme konusunda önemli bir örnek niteliğindedir. Elde edilen bilgilerden hareketle bu çalışmada kullanımı gittikçe yaygınlaşan ve gelişen blokzincir teknolojisine sunduğu fırsatları, dolayısıyla kripto varlıkları, yoğun enerji tüketimi gerektirmenin mümkün olup olmadığı konusunda merge etkinliği üzerinden araştırma yapılarak; çevre dostu bir protokolün kullanımının piyasa ve çevresel açıdan etkileri incelenerek konuya açıklık getirmek amaçlanmıştır. Bu anlamda çalışmanın genel hatları itibarı ile hem kripto piyasasının çevresel etkilerinin azaltılmasına yeni bir bakış açısı kazandıracağı hem de söz konusunu piyasanın dinamikleri üzerindeki etkileri ortaya çıkaracağı düşünülmektedir. Yapılan araştırmayla çevresel sürdürülebilirliği destekleyen çözümlerle birlikte finans alanında küresel anlamda yeşil, çevre dostu sistemlerin gerekliliği ve önemi vurgulanarak; kullanılan protokollerin sunduğu alternatif avantajların anlaşılmasında çalışmada gerçekleştirilecek analiz sonuçlarıyla faydalı veriler sunmak amaçlanmaktadır. Gelişen bu yeni sisteme ilginin artmasıyla önem arz eden yoğun enerji tüketiminin çevre ve finans alanında önemli bir etkileyici rolü olduğu öngörüldüğünden, bu çalışmada yapılan araştırmadan elde edilen sonuçların sadece kripto varlıklar üzerinden gerçekleştirilecek yatırımlar bağlamında değil, aynı zamanda literatüre katkı sağlayarak bundan sonraki çalışmalara yol gösterici nitelikte olması nedeniyle de önem taşımaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Kripto para birimlerinin çevresel etkileri ve elektrik tüketimi üzerine yapılan çalışmalar, son yıllarda artan bir ilgiyle devam etmektedir. Zhang ve Chan (2020), İş Kanıtı (PoW) ve Hisse Kanıtı (PoS) protokollerinin enerji tüketimlerini karşılaştırarak, her iki protokolü birleştiren karma bir model önermişlerdir. Bu modelin, enerji tüketimi, güvenilirlik ve tarafsızlık açısından olumlu etkiler yaratabileceği vurgulanmıştır. Schinckus ve diğerleri (2020), kripto para ticaret hacmi ile enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi inceleyerek, ticaret hacminin artışıyla enerji tüketiminin de arttığını ve bu durumun çevresel etki yarattığını belirtmişlerdir. Roeck ve Drennen (2022) ise Bitcoin madenciliğinin yüksek enerji tüketimi ve çevresel etkileri üzerine çalışarak, madencilik faaliyetlerinin küresel ısınmaya katkı sağladığını ve iklim değişikliğiyle mücadele girişimlerine risk teşkil ettiğini vurgulamışlardır.

Erdoğan ve diğerleri (2022) ve Felek ve diğerleri (2023) ise, kripto para fiyatlarının çevresel bozulmaya etkisini inceleyerek, özellikle Bitcoin’in karbon emisyonlarıyla olan ilişkisini analiz etmişlerdir. Her iki çalışma da Bitcoin ve karbon emisyonları arasında tek yönlü bir nedensellik ilişkisinin mevcut olduğunu ortaya koymuştur. Kavas (2023), kripto varlıkların enerji tüketimi ve

CO₂ emisyonu üzerindeki etkisini inceleyerek, fikirbirliği mekanizmalarının çevre üzerinde ciddi etkiler yaratabileceğini ve küresel ısınmanın şiddetini artırabileceğini belirtmiştir. Ampel (2023), Ethereum'un PoW'dan PoS'a geçişinin çevresel etkilerini araştırmış ve Ethereum'un mekanizma değişiminin fiyat üzerinde olumlu bir etkisinin olduğunu, işlem hacimleri üzerinde ise anlamlı olmayan olumsuz bir etki olduğunu tespit etmiştir. Çalışmada İş Kanıtı'ndan Hisse Kanıtı'na geçişin hem çevresel anlamda hem de yatırım fırsatlarının artması anlamında olumlu etkilerinin olmasından kaynaklı umut verici olduğu belirtilmiştir. Benzer şekilde, Xiao ve diğerleri (2023) Çin'deki Bitcoin madenciliğinin karbon emisyonlarını incelemiş ve bu faaliyetlerin enerji tüketiminin bölgesel elektrik talebinde şoklara yol açabileceğini vurgulamıştır.

Koçak ve Uçan (2023), farklı ülkelerden verilerle yaptıkları panel veri analizinde, kripto para işlemleri ve enerji tüketiminin CO₂ emisyonlarını artırıcı etkisini tespit etmişlerdir. Zheng ve diğerleri (2023), kripto para işlemleri ile elektrik tüketimi arasındaki nedensellik ilişkisini inceledikleri çalışmalarında, işlem dalgalanmalarının elektrik tüketimi üzerinde hem geçici hem de kalıcı etki yaptığı tespit edilmiş ve dolayısıyla yüksek kârın bulunduğu her yere dağıtılan hesaplama gücü sayesinde işlemlerin elektrik tüketiminin önemli belirleyicileri olduğu sonucuna varılmıştır.

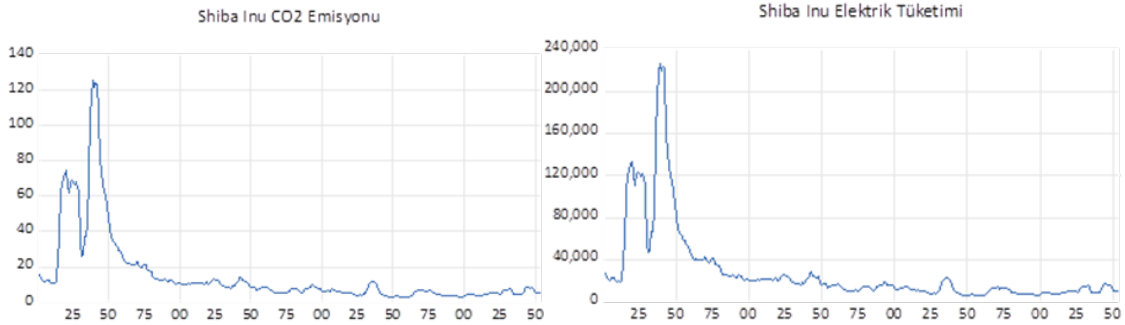
Bu literatürün incelenmesi, kripto para birimlerinin çevresel etkilerini ve elektrik tüketimini anlamada önemli bir katkı sağlamaktadır. Çalışmalar, kripto varlıkların çevresel bozulmaya yol açtığını ve enerji tüketimi ile karbon emisyonları arasında anlamlı bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, kullanılan konsensüs protokollerinin çevresel etkileri üzerinde belirgin bir rol oynadığı ve bu protokoller arasındaki geçişlerin enerji tüketimi ve çevre üzerindeki etkileri değiştirilebileceği sonucuna varılmaktadır.

3. VERİ SETİ VE ARAŞTIRMA MODELİ

3.1. Veri Seti

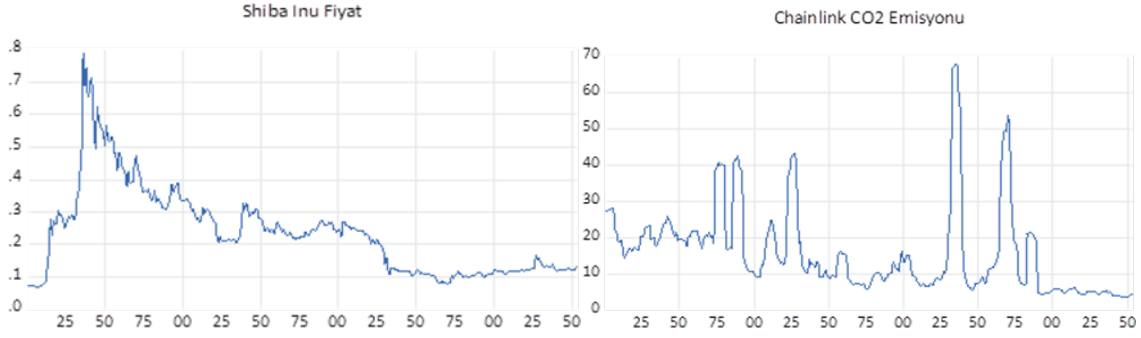
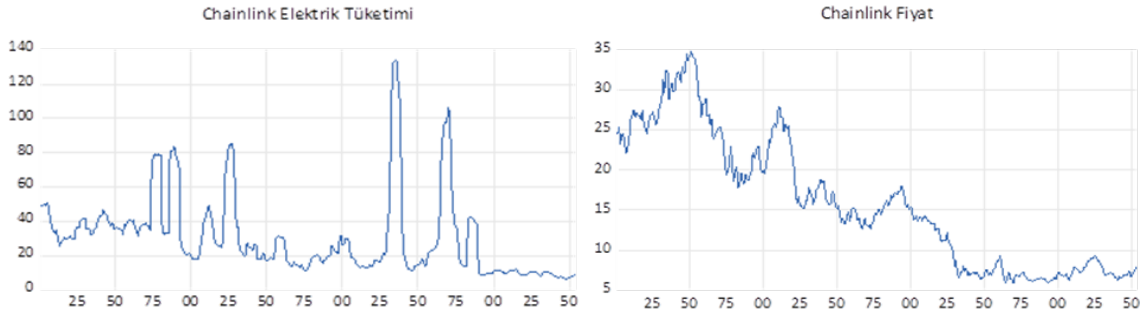
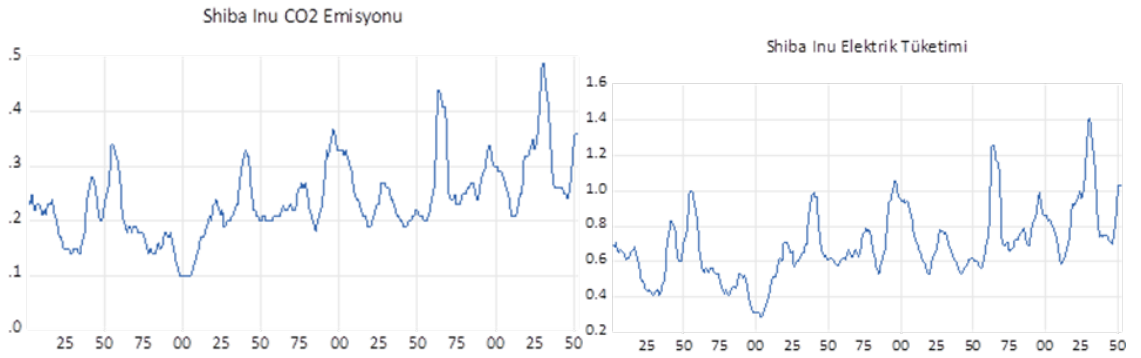
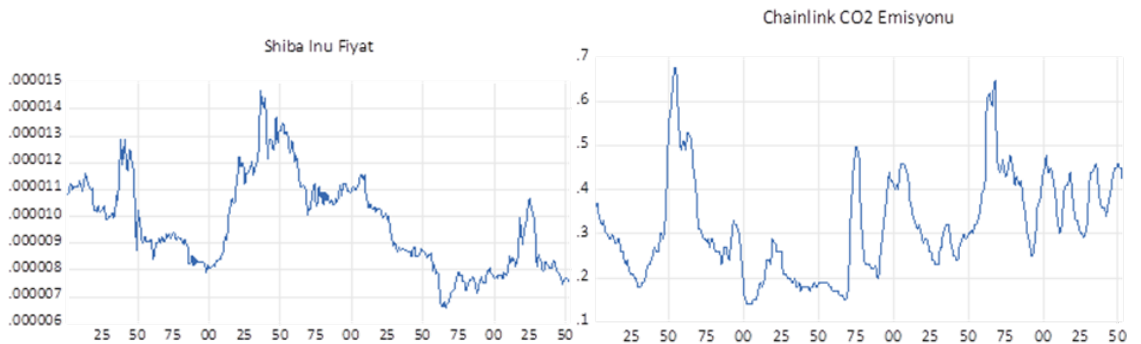
Bu çalışmada Merge sonrası kripto varlıkların elektrik tüketimi, CO₂ emisyonu ve fiyat ilişkisini incelemek amacıyla yüksek işlem hacimlerine göre Shiba Inu ve Chainlink'in 22 Eylül 2021-10 Eylül 2022 (merge öncesi) ve 22 Eylül 2022-9 Eylül 2023 (merge sonrası) dönemleri olmak üzere değişkenlere ait seriler ayrı ayrı ele alınmıştır. Bununla birlikte söz konusu tokenler için; elektrik tüketimi ve CO₂ emisyonu verileri Crypto Carbon Ratings Institute (CCRI) ve fiyat verileri ise investing.com adreslerinden alınmış olup serilere ait veriler araştırmaya günlük olarak dahil edilmiştir.

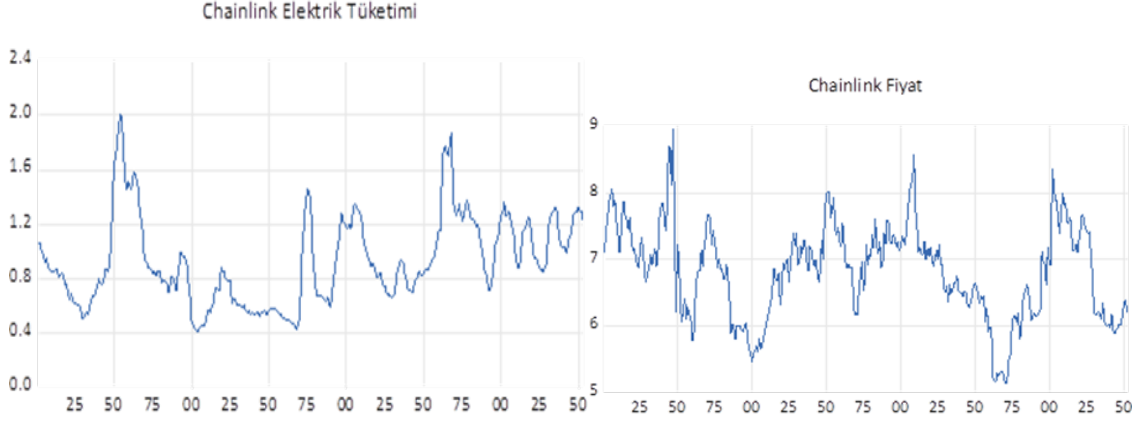
Merge Öncesi



Grafik 1: Shiba Inu CO₂ Emisyonu

Grafik 2: Shiba Inu Elektrik Tüketimi

**Grafik 3: Shiba Inu Fiyat****Grafik 4: Chainlink CO₂ Emisyonu****Grafik 5: Chainlink Elektrik Tüketimi****Grafik 6: Chainlink Fiyat****Merge Sonrası****Grafik 7: Shiba Inu CO₂ Emisyonu****Grafik 8: Shiba Inu Elektrik Tüketimi****Grafik 9: Shiba Inu Fiyat****Grafik 10: Chainlink CO₂ Emisyonu**



Grafik 11: Chainlink Elektrik Tüketimi

Grafik 12: Chainlink Fiyat

3.2. Araştırma Modeli

Kripto varlık piyasasındaki fiyat değerleri, elektrik tüketimi ve dolayısıyla karbon emisyonu değerleri ile ilişkilendirilebilmektedir. Kripto varlıkların yoğun elektrik tüketimini etkilemesine sebep olan önemli bir faktör olarak, kullanılan uzlaşma protokolleri görülmektedir. Özellikle mevcut durumda Bitcoin blokzincirinde kullanılan iş birliği protokolünün, madencilik (mining) uygulamasından dolayı yoğun elektrik tüketimine sebep olduğu ve dolayısıyla da CO₂ emisyonu tarafında da etkili olduğu bilinmektedir. Kripto varlıklar ile çevresel etkileri açısından literatürde yer alan önceki çalışmalar ele alındığında, sürekli gelişme halinde olan bu alanda yapılan ekonometrik çalışmaların çok fazla olmadığı ve yoğun elektrik tüketimi içerikli olan çalışmalarda uzlaşma protokolleri hususuna çok fazla değinilmediği ve incelemelerin yoğun olarak Bitcoin ve Ethereum üzerinden yapıldığı görülmüştür.

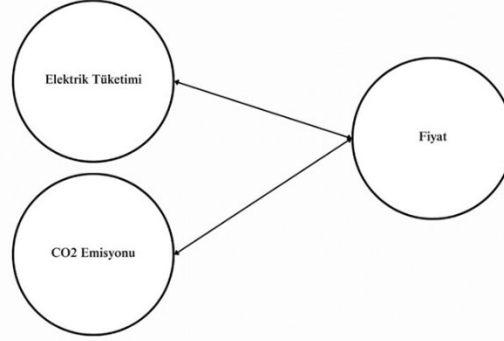
Bu çalışmada kripto varlıklarda elektrik tüketimi ve CO₂ emisyonu ile fiyat ilişkisi önceki çalışmalardan farklı olarak Shiba Inu ve Chainlink tokenleri üzerinden ele alınmaktadır. İncelemeye dahil edilen tokenler yüksek işlem hacmine göre en yüksek değere sahip olanlardan seçilmiş olmakla birlikte; sıralamadaki tüm varlıklara ait CO₂ emisyonu ve elektrik tüketimi verileri bulunmadığından yüksek işlem hacmi sıralamasına göre verisi elde edilebilen varlıklar tercih edilmiştir. Bu doğrultuda değişkenler arasındaki ilişkinin token tarafında farklılık gösterip göstermediği incelenecektir. Bu çalışmaya ait araştırmanın regresyon modeli aşağıdaki gibidir:

$$SHIBF(MÖ) = \alpha + \beta_1 SHIBCO_2(MÖ) + \beta_2 SHIBE(MÖ) + \varepsilon \quad (3.1)$$

$$LINKF(MÖ) = \alpha + \beta_1 LINKCO_2(MÖ) + \beta_2 LINKE(MÖ) + \varepsilon \quad (3.2)$$

$$SHIBF(MS) = \alpha + \beta_1 SHIBCO_2(MS) + \beta_2 SHIBE(MS) + \varepsilon \quad (3.3)$$

$$LINKF(MS) = \alpha + \beta_1 LINKCO_2(MS) + \beta_2 LINKE(MS) + \varepsilon \quad (3.4)$$



Şekil 1: Araştırma Modeli

Çalışmada kripto varlıkların çevresel etkileri bağlamında kullanılan protokolün etkisinin önemine açıklık getirebilmek adına Ethereum ağının merge yani birleşme uygulaması ile Hisse Kanıtı protokolüne geçişinden önceki ve sonraki dönemler ayrı ayrı ele alınacaktır. Bu nedenle kullanılan veri seti merge öncesi ve sonrası olarak ayrı ayrı incelenmiş olup; merge öncesi 354 ve merge sonrası 353 olmak üzere toplam 707 gözlemden oluşmaktadır.

4. ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ

4.1. Fourier ADF (FADF) Birim Kök Testi

Bir çalışmada araştırma konusu olan değişkenlerin verileri arasındaki nedensellik veya eşbütünlük ilişkileri, serilerin durağan olup olmama durumlarına göre incelenir. Bunun nedeni, durağanlığın mevcut bir zaman serisinin ortalama ve varyansının zaman bağılı değişmediğini ifade etmesi; durağanlığı bulunmayan zaman serileri kullanılarak yapılan çalışmalarda sahte regresyonlar ortaya çıkabilmesi ve bu sahte regresyonlarda parametre tahminlerinin ekonomik olarak bir anlam ifade etmemesidir (Güven ve Ayvaz, 2016: 247; Akdağ, 2019: 241). Sahte regresyon, değişkenlere ait zaman serilerinin gösterdiği trend ile ilgilidir. Değişkenler arasındaki ilişkide sahte regresyonun mevcut olmaması için serilerin güçlü bir trend taşımaması gerekmektedir. Bu noktada mevcut regresyonun gerçek veya sahte olma durumu eldeki serilerin durağanlık durumuyla ilgilidir. Eğer bir zaman serisi incelendiğinde, serinin ortalaması ve varyansı sabit ise ve gecikmeli iki zaman periyodundaki değişkenlerin kovaryansı mevcut iki değişkenin arasındaki gecikmeye bağlı olup zamana bağlı değil ise bu durum söz konusu zaman serisinin durağan olduğunu gösterir. Eğer serilerde trend yani bir diğer ifadeyle eğilim söz konusuysa bu durağanlığın olmadığı anlamına gelir ki bu durum yanıltıcı değerlendirmelere neden olabileceği gibi, aynı zamanda değişkenlerin stokastik bir sürece sahip olmalarını ifade eder ve normal dağılım varsayımı altında öngörülerini imkansızlaştıran bir durumdur (Şahbaz, 2015: 9). Bu noktada zaman serilerine ait durağanlık durumunun incelenmesi için kullanılan bir yöntem birim kök testleridir. Bir zaman serisine birim kök uygulandığında seri durağan çıkmıyor yani birim kök içeriyorsa bu durumda seri, farkı alınarak yeni bir birim kök testine tabi tutulur (Çomruk, 2022: 65).

İlk olarak Dickey-Fuller Birim Kök testi 1979'da D. A. Dickey ve W. A. Fuller tarafından geliştirilmiş olup daha sonra üzerine bazı trigonometrik denklemler eklenerek geliştirilmiştir (İzolluoğlu, 2019: 8). Bu çalışmada Enders ve Lee'nin (2012) önerdiği Fourier ADF birim kök testi kullanılmaktadır. Fourier ADF birim kök testi kırılma veya doğrusal olmayan bir trend söz konusu olduğunda kullanılmaktadır. Çünkü böyle bir durumda en az bir fourier frekansının veri oluşturma sürecine dahil olması gerekmektedir (Çağlar ve Mert, 2022: 1596).

$$y_t = \alpha_0 + \gamma_1 \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \gamma_2 \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \varepsilon_t \quad (4.1)$$

Denklem (4.1)'da yer alan π , k , t , T terimleri sırasıyla; pi sayısı, frekans değeri, trend değeri ve gözlem sayısını temsil etmektedir. Çalışmada ayrıca optimal frekans sayısının minimum kalıntı kareler toplamı ile elde edilebileceği ifade edilmiştir. FADF birim kök testinde asimetrik ilişkilerde modele dahil edilmiştir. Bu nedenle Perron (1990), Zivot-Andrews (1992), Bai-Perron (2003) çalışmalarının bir alternatifi niteliği taşımaktadır. Ayrıca serilerdeki mevcut kırılma yerlerinin sayısının ve formunun önceden tespitinin gerekliliğinin bulunmaması en büyük avantajı olarak görülmektedir. Modelde temel hipotez H_0 ; seride birim kök vardır şeklinde iken alternatif hipotez H_1 ise serinin durağan olduğunu belirtmektedir (Mike ve Alper, 2020: 6).

4.2. Fourier Toda-Yamamoto Nedensellik Testi

Büyük ölçekli yapısal modellere alternatif olması için Toda & Yamamoto (1995) tarafından geliştirilen bu testin dayandığı VAR yapısı Sims (1980) tarafından önerilmiş olup değişkenler arasındaki nedensellik yönünün incelenmesi için kullanılmaktadır. Bu çalışmada Granger'in 1969 yılında literatüre kazandırdığı nedensellik testinden farklı olarak değişkenlerin farklı durağanlık derecelerine sahip olmasına izin verilmiştir. Granger'ın söz konusu çalışmasında ise nedensellik analizi için değişkenlere ait serilerin durağan olması gerekmektedir. Fakat yapısal kırılmaları dikkate alınmaması bu testin eleştirilmesine neden olmuştur (Akardeniz ve diğerleri, 2023: 425-426). Bu eksikliği ortadan kaldırmak amacıyla Fourier Toda-Yamamoto (2016) çalışması geliştirilmiş ve Fourier fonksiyonlarının VAR modeline eklenmesiyle bu eksikliğin giderilmesi mümkün olmuştur (Gülcan ve Boyacıoğlu, 2023: 225). Fourier Toda-Yamamoto nedensellik testinin modeli aşağıdaki gibidir.

$$y_t = \alpha(t) + \beta_1 y_{t-1} + \dots + \beta_{p+dmax} y_{t-(p+dmax)} + \varepsilon_t \quad (4.2)$$

$$\alpha(t) = \alpha_0 + \sum_{k=1}^n \alpha_{1k} \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \sum_{k=1}^n \alpha_{2k} \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) \quad (4.3)$$

$$\alpha(t) = \alpha_0 + \alpha_{1k} \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \alpha_{2k} \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) \quad (4.4)$$

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_{1k} \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \alpha_{2k} \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \beta_1 y_{t-1} + \dots \quad (4.5a)$$

$$+ \beta_{p+dmax} y_{t-(p+dmax)} + \varepsilon_t \quad (4.5b)$$

Yukarıdaki denklemlerde yer alan " y_t " ve " β " da mevcut yapısal değişimler $a(t)$ ile ifade edilmektedir. Buradaki $a(t)$ bir sabit terim olup zamanın bir bileşeni tanımlanmaktadır. Fourier fonksiyonunu modele eklerken, önceden tahmin edilemeyen sayı, form ve tarih gibi faktörleri de teste dahil etmek için Denklem (4.3)'te yer alan model oluşturulmuştur (Yurtkuran, 2020: 69). Denklem (4.4)'te yer alan n : 1-5 arası frekans sayısı, T : gözlem sayısı, k : frekans değerini temsil etmektedir. n 'nin değerinin büyük olması stokastik parametre varyasyonuna neden olabilmekle birlikte aşırı uyuma problemine de neden olabilir. Bu sorunu gidermek üzere kurulan denklem (4.4)'te verildiği gibidir. Denklem (4.5) ise tek frekanslı Fourier Toda-Yamamoto test modeli gösterilmiştir (Yurtkuran, 2020: 69; Nazlıoğlu ve diğerleri, 2016: 14).

4.3. Fourier ARDL Sınır Testi

ARDL sınır testi 2001 yılında Pesaran, Shin ve Smith tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu modelle uzun dönemde karma veya birinci dereceden entegrasyonlu zaman serisine sahip değişkenler arasındaki ilişkinin incelenmesi amaçlanarak literatürde var olan eşbütünleşme modellerine yeni bir yaklaşım sunulmuştur (Özer, 2022: 282; Çağlar, 2020: 6). Bu modelle birlikte kullanılan bağımsız değişkenler farklı derecede bütünüleşmeye sahip olsalar bile analiz edilmeleri mümkün olmaktadır. Eşbütünleşme ilişkisinin incelenmesi öncesinde analiz için EKK yöntemiyle gecikme uzunluğu belirlenen ARDL modelinde, küçük örneklem gruplarında da uygulama gerçekleştirilebilmektedir (Çiftçi, 2014: 93).

Yılancı ve diğerleri (2020) tarafından durağanlık seviyeleri farklı olan değişkenler arasındaki eşbütünleşmenin incelenmesine olanak sağlayan yeni bir yaklaşım geliştirerek FARDL sınır testini modeli sunulmuştur. ARDL modeline fourier fonksiyonlarının dahil edilmesiyle elde edilen bu yaklaşımda keskin olanlara ek olarak bilinmeyen formları ve bir dizi yumuşak kırılmada dikkate alınabilmektedir (Yılancı ve diğerleri, 2020: 2). Ekonometrik analizlerde, pozitif ve negatif şokların belirlenmesi gizli ve uzun vadeli eşbütünleşme ilişkisinin tespitinde önem arz etmektedir. Bu noktada fourier fonksiyonları eklendiği modelin yapısal değişikliklerini tanımlama olanağını sağladığından, bu bağlamda ele alınan modelin daha güçlü ve güvenilir bir tahmin sonucu vermesini de mümkün kılar (Addai ve diğerleri, 2023; 9).

Yılancı ve diğerleri BRICS ülkeleri için doğrudan yabancı yatırım girişlerinin çevre üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmada, doğrudan yabancı yatırım girişinin ve enerji kullanımının ekolojik ayak izi ve bileşenleri üzerindeki uzun dönemdeki etkisini FARDL modelini kullanarak incelemişlerdir. Modelde kullanılan fourier fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$d(t) = \sum_{k=1}^n a_k \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \sum_{k=1}^n b_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) \quad (4.6)$$

Buradan n=frekans sayısı, k=frekansların sayısı, t=trend, T=örnek boyutunu ifade etmektedir.

$$\Delta FP_t = \beta_0 + \beta_1 FP_{t-1} + \beta_2 EC_{t-1} + \beta_3 FDI_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \phi_i' \Delta FP_{t-i} + \quad (4.7a)$$

$$\sum_{i=1}^{p-1} \delta_i' \Delta EC_{t-i} + \sum_{i=1}^{p-1} \phi_i' \Delta FDI_{t-i} + e_i \quad (4.7b)$$

Denklem (4.6)'de verilen fourier açılımı Denklem (4.7)'e dahil edilerek aşağıda gösterilen denklem z elde edilir:

$$\Delta FP_t = \beta_0 + \gamma_1 \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \gamma_2 \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \beta_2 FP_{t-1} + \beta_3 EC_{t-1} + \quad (4.8a)$$

$$\beta_4 FDI_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \alpha_i' \Delta FP_{t-i} + \sum_{i=1}^{p-1} \delta_i' \Delta EC_{t-i} + \sum_{i=1}^{p-1} \phi_i' \Delta FDI_{t-i} + e_t \quad (4.8b)$$

Denklemde (4.8); k'nın 0.1'lik artışlarla k= [0.1, ...,5] şeklinde gösterilebilen aralıktaki tüm değerleri kullanılarak tahmin edilmiştir (Yılancı ve diğerleri, 2020: 6).

5. AMPİRİK BULGULAR

5.1. Tanımlayıcı İstatistikler

Tablo 1'de Shiba Inu ve Chainlink için elektrik tüketimi, karbon emisyonu ve fiyat serilerine ait merge öncesi ve sonrası ayrı olmak üzere ele alınan seriler üzerinden elde edilen tanımlayıcı istatistik verileri gösterilmiştir.

Tablo 1: Tanımlayıcı İstatistikler

	Max.	Min.	Standart Sapma	Çarpıklık	Basıklık	Jarque-Bera	Olasılık
Shiba Inu CO ₂ Emisyonu (MÖ)	125.836	2.739	21.158	3.156	13.529	2223.375	0.000
Shiba Inu Elektrik Tüketimi (MÖ)	226592.0	5412	38023.80	3.134	13.417	2180.489	0.000
Shiba Inu Fiyat (MÖ)	0.792	0.069	0.135	1.262	4.908	147.786	0.000
Chainlink CO ₂ Emisyonu (MÖ)	67.916	3.415	12.193	1.842	6.810	414.407	0.000
Chainlink Elektrik Tüketimi (MÖ)	134.182	6.747	23.782	1.971	7.347	508.133	0.000
Chainlink Fiyat (MÖ)	34.720	5.920	8.221	0.499	2.079	27.199	0.000
Shiba Inu CO ₂ Emisyonu (MS)	0.490	0.100	0.069	0.762	4.042	50.224	0.000
Shiba Inu Elektrik Tüketimi (MS)	1.410	0.290	0.197	0.747	3.954	46.314	0.000
Shiba Inu Fiyat (MS)	0.000	0.000	1.711	0.432	2.444	15.553	0.000
Chainlink CO ₂ Emisyonu (MS)	0.680	0.140	0.114	0.698	3.102	28.881	0.000
Chainlink Elektrik Tüketimi (MS)	2.010	0.410	0.326	0.754	3.253	34.468	0.000
Chainlink Fiyat (MS)	8.950	5.130	0.705	-0.071	2.752	1.206	0.546

Tablo 1’de yer alan tanımlayıcı istatistik sonuçları merge öncesi Shiba Inu ve Chainlink için CO₂ emisyonu, elektrik tüketimi, fiyat verilerinde sağa çarpık dağılım olduğunu göstermektedir. Merge sonrası için ise Chainlink’in CO₂ emisyonu ve elektrik tüketimi verileri; Shiba Inu tarafında CO₂ emisyonu, elektrik tüketimi, fiyat verileri sağa çarpık dağılım göstermektedir. Chainlink için ise fiyat verileri sola çarpık dağılım olduğunu göstermektedir.

Tablodaki basıklık sonuçları incelendiğinde, Chainlink merge öncesi ve sonrası fiyat verilerinde ve Shiba Inu merge sonrası fiyat verilerinde normal dağılıma göre basık değerler gözlemlenirken; merge öncesi Shiba Inu’ya ait değişkenlere ait verilerde, Chainlink merge öncesi ve sonrası CO₂ emisyonu, elektrik tüketimi verilerinde ve Shiba Inu merge sonrası CO₂ emisyonu ve elektrik tüketimi verilerinde ise normal dağılıma göre sivri bir dağılım olduğu gözlemlenmiştir.

5.2. Fourier ADF birim kök testi

Bu çalışmada Fourier ADF birim kök testi kullanılmış olup ele alınan serilere ait birim kök analiz sonuçları Tablo 2’de yer almaktadır.

Tablo 2: Fourier ADF Birim Kök Testi Sonuçları

		Sabit ve Trendli Model	
		Seviye	Birinci Fark
Merge Öncesi	Shiba Inu CO ₂ Emisyonu	-5.5678 (1) ***	-
	Shiba Inu Elektrik Tüketimi	-5.5343 (1) ***	-
	Shiba Inu Fiyat	-2.0838 (1)	-6.2634(1) ***
Merge Sonrası	Shiba Inu CO ₂ Emisyonu	-5.5498 (5) ***	-
	Shiba Inu Elektrik Tüketimi	-5.2659 (5) ***	-
	Shiba Inu Fiyat	-2.8031 (2)	-15.6820 (4) ***
Merge Öncesi	Chainlink CO ₂ Emisyonu	-6.4542 (2) ***	-
	Chainlink Elektrik Tüketimi	-5.9457 (2) ***	-
	Chainlink Fiyat	-2.5524 (5)	-13.3692 (5) ***
Merge Sonrası	Chainlink CO ₂ Emisyonu	-3.5201 (1)	-22.7297 (4) ***
	Chainlink Elektrik Tüketimi	-3.1033 (5)	-22.7704 (4) ***
	Chainlink Fiyat	-4.1099 (4) **	-

Not: Tabloda yer alan **, %95 düzeyinde, *** ise %99 düzeyinde anlamlılığı belirtmektedir.

Yapılan ilk analizlerde merge öncesi; Shiba Inu fiyat ve Chainlink fiyat serilerinde seviyede durağanlık gözlenmediğinden birim kök vardır hipotezi kabul edilerek serilerin farkı alınarak tekrar birim kök testi yapılmıştır. Düzeyde durağan çıkmayan söz konusu serilerin hepsinde yapılan ikinci analiz sonucunda %99 güvenilirlikle durağanlık tespit edilmiştir. Bununla birlikte yine merge öncesi için; Shiba Inu elektrik tüketimi ve Shiba Inu CO₂ emisyonunda %99, Chainlink CO₂ emisyonu ve Chainlink elektrik tüketimi serilerinde ise %99 güvenilirlikle seviyede durağanlık gözlemlenmiştir.

Birim kök testi analizlerinin merge sonrası tarafında ise yapılan ilk testler sonuçlarında; Shiba Inu fiyat, Chainlink CO₂ emisyonu ve elektrik tüketimi serilerinde seviyede durağanlık gözlenmemiş olup serilerin farkları alınarak yapılan ikinci testte ise sonuçlarda bu seriler için %99 güvenilirlikle durağanlık çıkmıştır. Shiba Inu CO₂ emisyonunda ve elektrik tüketiminde %99, Chainlink fiyatta %95 güvenilirlikle seviyede durağanlık tespit edilmiştir.

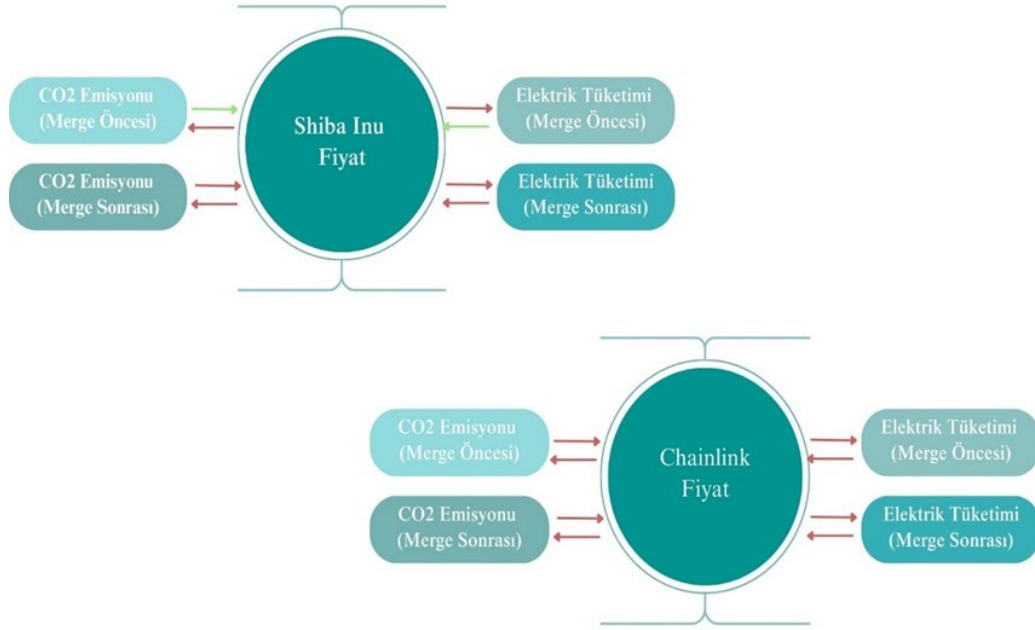
5.3. Fourier Toda-Yamamoto Nedensellik Testi

Çalışmada merge öncesi ve sonrası tokenlerin fiyatları ile karbon emisyonu ve elektrik tüketimi değişkenleri arasındaki nedensellik çift yönlü olarak incelenmiş olup nedensellik durumunu analiz etmek için Toda-Yamamoto nedensellik testleri kullanılmıştır. Değişkenler için I0-I1 durumu söz konusu olduğundan, nedensellik analizleri Fourier Toda-Yamamoto nedensellik testi üzerinden ele alınmıştır. Uygulanan nedensellik testi sonuçları Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3: Fourier Toda-Yamamoto Nedensellik Testi Sonuçları

Shiba Inu		Test İstatistiği	Asmp. Anlamlılık Değeri	Bootstrap Anlamlılık Değeri
MÖ	CO ₂ Emisyonu → Fiyat	25.246***	0.000	0.000
	Elektrik Tüketimi → Fiyat	24.924***	0.000	0.000
	Fiyat → Elektrik Tüketimi	3.395	0.065	0.063
	Fiyat → CO ₂ Emisyonu	3.785	0.052	0.061
MS	CO ₂ Emisyonu → Fiyat	1.975	0.160	0.153
	Elektrik Tüketimi → Fiyat	0.111	0.739	0.711
	Fiyat → Elektrik Tüketimi	0.325	0.569	0.591
	Fiyat → CO ₂ Emisyonu	1.090	0.296	0.281
Chainlink		Test İstatistiği	Asmp. Anlamlılık Değeri	Bootstrap Anlamlılık Değeri
MÖ	CO ₂ Emisyonu → Fiyat	0.051	0.821	0.806
	Elektrik Tüketimi → Fiyat	0.242	0.623	0.623
	Fiyat → Elektrik Tüketimi	0.240	0.624	0.609
	Fiyat → CO ₂ Emisyonu	0.281	0.596	0.572
MS	CO ₂ Emisyonu → Fiyat	0.567	0.451	0.425
	Elektrik Tüketimi → Fiyat	0.115	0.734	0.698
	Fiyat → Elektrik Tüketimi	0.031	0.859	0.855
	Fiyat → CO ₂ Emisyonu	0.113	0.737	0.698

Not: Tabloda; MÖ; Merge Öncesi ve MS; Merge Sonrası anlamına gelmektedir. Ayrıca yine tabloda yer alan *** sembolü %99 güvenilirlik ifade etmektedir.



Şekil 2: Nedensellik Testi Sonuçları Şeması

Uygulanan nedensellik testi neticesinde, Shiba Inu tarafında merge öncesi incelenen verilerde karbon emisyonundan ve elektrik tüketiminden fiyat değişkenine doğru %99 güvenlilikle nedensellik tespit edilmiş olup fiyat değişkeninden karbon emisyonu ya da elektrik tüketimi değişkenlerine doğru herhangi bir nedensellik ilişkisi bulunmamıştır. Merge sonrası ise değişkenler arasında herhangi bir nedensellik ilişkisi tespit edilmemiştir. Chainlink tarafında ise merge öncesi ve merge sonrası yapılan nedensellik analizleri sonucu herhangi bir nedensellik ilişkisi bulgusuna ulaşılmamıştır.

5.4. Fourier ARDL Sınır Testi

Değişkenlerde birim kök testi sonuçlarında I0-I1 durumu tespit edildiğinden birlikte hareketlilik analizi için Fourier ARDL sınır testi kullanılmıştır. Çalışmada analize dahil edilen değişkenler arasındaki eşbütünleşme ilişkisi bağımlı ve bağımsız değişkenlerin yerleri değiştirilerek tekrar analiz edilmiştir. Tablo 4 ve 5'te Fourier ARDL sınır testi sonuçları verilmiştir. Şekil 3'te ise elde edilen bulguların görsel olarak gösterimi sağlanmıştır.

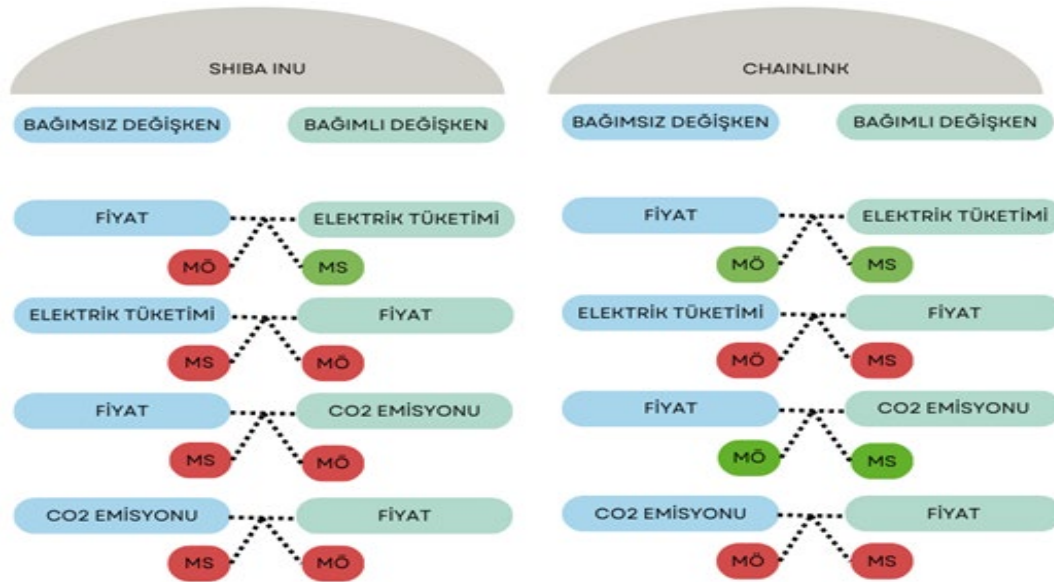
Tablo 4: Fourier ARDL Sınır Testi Sonuçları (Shiba Inu)

		Test İstatistiği	Bootstrap Kritik Değerler			k	AIC	
			%10	%5	%1			
Elektrik Tüketimi- Fiyat (Bağımlı- Bağımsız Değişken)	Merge Öncesi	F _A	10.0407	7.7319	9.0215	11.3302	0.1	-3.50
		t	-4.2273	-3.76523	-4.08604	-4.6495		
		F _B	0.0109	2.4980	2.9278	3.8196		
	Merge Sonrası	F _A	8.7891*	8.0796	9.1976	12.5504	0.5	-4.83
		t	-4.1911**	-3.8449	-4.1377	-4.7415		
		F _B	-0.3152	-1.7335	-1.4328	-0.7121		
Fiyat- Elektrik Tüketimi (Bağımlı- Bağımsız Değişken)	Merge Öncesi	F _A	6.2169	6.31948	7.53371	10.64422	0.6	-3.90
		t	-2.3370	-3.37496	-3.74091	-4.51445		
		F _B	-0.2264	-0.56776	-0.08930	0.69263		
	Merge Sonrası	F _A	2.226151	5.69948	7.1661	10.0460	3.9	-5.48
		t	-1.41056	-3.25781	-3.5969	-4.2515		
		F _B	-0.96778	1.63123	2.08983	2.9619		
CO ₂ Emisyonu	Merge Öncesi	F _A	9.5707	7.3321	8.4707	11.5211	0.1	-3.53
		t	-4.1112	-3.6684	-3.9744	-4.5864		

		F _B	-0.1664	2.5601	3.0468	3.85653		
							F _A	6.8973
Fiyat-CO ₂ Emisyonu (Bağımlı-Bağımsız Değişken)	Merge Sonrası	t	-3.0530	-4.0664	-4.4182	-4.8355		
		F _B	0.9693	4.0458	4.3710	4.8417		
		F _A	6.1901	6.29393	7.87352	11.19861	0.6	-3.90
	Merge Öncesi	t	-2.3827	-3.41086	-3.77743	-4.43891		
		F _B	-0.1724	-0.28785	0.09156	0.77778		
		F _A	2.9315	8.1034	9.3636	11.9948	0.8	-6.16
	Merge Sonrası	t	-1.8998	-3.9329	-4.2109	-4.799		
		F _B	0.4839	-1.8441	-1.4785	-0.5606	0.8	-6.16

Tablo 5. Fourier ARDL Sınır Testi (Chainlink)

		Test İstatistiği	Bootstrap Kritik Değerler			k	AIC	
			%10	%5	%1			
			F _A	13.071	8.5056			9.830705
Elektirik Tüketimi - Fiyat (Bağımlı-Bağımsız Değişken)	Merge Öncesi	t	-4.9840***	-3.9265	-4.232748	-4.826788		
		F _B	0.0255	1.5494	2.425815	3.454185		
		F _A	10.09775***	5.5564	6.68563	9.44360	5.0	-4.13
	Merge Sonrası	t	-4.48168***	-3.2168	-3.51667	-4.13364		
		F _B	-0.13300	1.1207	1.78512	2.62193		
		F _A	4.5330	6.8955	8.2320	10.13256	0.6	-4.68
Fiyat - Elektirik Tüketimi (Bağımlı-Bağımsız Değişken)	Merge Öncesi	t	-3.0046	-3.5098	-3.8793	-4.2920		
		F _B	-1.4427	2.0344	2.4819	3.2593		
		F _A	3.5365	5.45250	6.7841	9.4522	4.1	-5.34
	Merge Sonrası	t	-2.6519	-3.1929	-3.5621	-4.1149		
		F _B	-0.3577	2.9576	3.3386	4.0428		
		F _A	13.0953***	8.4947	9.7187	12.2213	0.2	-2.20
CO ₂ Emisyonu - Fiyat (Bağımlı-Bağımsız Değişken)	Merge Öncesi	t	-4.9873***	-3.9201	-4.23484	-4.8137		
		F _B	-0.0400	1.8857	2.57875	3.4402		
		F _A	9.1694**	5.7867	7.0377	9.6277	5.0	-4.07
	Merge Sonrası	t	-4.26120***	-3.26619	-3.53013	-4.24198		
		F _B	-0.00509	0.42716	1.31810	2.63653		
		F _A	4.5192	6.6205	7.8384	10.0514	0.6	-4.69
CO ₂ Emisyonu - Fiyat (Bağımlı-Bağımsız Değişken)	Merge Öncesi	t	-3.0007	-3.4616	-3.7920	-4.4169		
		F _B	-1.4325	2.3112	2.7917	3.4938		
		F _A	3.5874	5.3559	6.3169	9.0196		
	Merge Sonrası	t	-2.6782	-3.1182	-3.4214	-4.0675	4.1	-5.34
		F _B	-0.5111	2.9434	3.2570	3.8843		



Şekil 3: Eşbütünlük Testi Sonuçları

Bu çalışmada ele alınan kripto varlıkların merge öncesi ve sonrası birlikte hareketlilik durumlarını incelemek üzere Fourier ARDL sınır testi kullanılmıştır. Birlikte hareketliliğin tespitinde sağlıklı sonuçları elde etmek amacıyla ele alınan serilerin logaritmaları alınarak analizler gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada Shiba Inu için eşbütünlüğe analiz sonuçları incelendiğinde bağımlı değişken elektrik tüketimi bağımsız değişken fiyat olarak ele alındığında merge öncesi herhangi bir ilişki söz konusu olmamakla birlikte merge sonrası %95 güvenilirlikle birlikte hareketlilik söz konusudur. Fiyat değişkeni bağımlı değişken olarak incelendiğinde ise merge öncesi ve sonrası için birlikte hareketlilik tespit edilmemiştir. CO₂ emisyonu ve fiyat değişkenleri arasında merge öncesi veya sonrası herhangi bir eşbütünlüğe ilişkisi tespit edilmemiştir.

Chainlink tarafında ise yapılan test sonuçlarında elektrik tüketimi bağımlı ve fiyat bağımsız değişken olarak incelendiğinde merge öncesi %90, merge sonrası %95 güvenilirlikle birlikte hareketlilik tespiti söz konusu iken, bağımlı değişken fiyat olarak ele alındığında merge öncesi veya sonrası değişkenler arası herhangi bir ilişkinin olmadığı görülmüştür. CO₂ emisyonu-fiyat ilişkisi için ise bağımlı değişken CO₂ emisyonu bağımsız değişken fiyat olarak analiz gerçekleştirildiğinde merge öncesi ve sonrası %95 güvenilirlikle birlikte hareketlilik tespit edilirken, fiyat değişkenini bağımlı değişken olarak ele aldığımızda ise merge öncesi veya sonrasında herhangi bir ilişkiye rastlanmamıştır.

6. SONUÇ

İnsanlık tarihi boyunca, insanın değişen ihtiyaçlarına, alışkanlıklarına, artan mal ve hizmete bağlı olarak farklı ödeme ve yatırım araçları geliştirilmiştir. Özellikle de internetin yaygınlaşmasıyla bu işlemlerin gerçekleştirilmesi daha kolay hale gelmiştir. Bu gelişmelerin ürünlerinden biri olan Bitcoin'in ortaya çıkmasını takip eden süreçte farklı kripto varlık türlerinin de çıkması ve popülerite kazanmasıyla gelişen bu durum beraberinde bu sanal ekosistemin sürdürülebilirliği ile ilgili bazı eleştirileri getirmiştir.

İklim değişikliği, canlı yaşamı için yüksek düzeyde önem arz eden bir konudur. İnsan faktörünün ihtiyaçları doğrultusunda doğadaki kaynakları kullanması, özellikle kaynak kullanımlarının bilinçsizce gerçekleştirilmesi, artan nüfus ve değişen ihtiyaçlar karşısında hızla gelişen teknolojik yenilikler zamanla ekolojik sorunlara ve çevre kirliliğine yol açmıştır. Isınma, beslenme gibi temel ihtiyaçlarımızı karşılamamıza yarayan elektrik, değişen yaşam şartlarına bağlı olarak hemen hemen bütün ekonomik süreçlerde kullanımı gereklilik arz etmektedir. Her alanda üretkenliğin ve gelişimin artması küreselleşen dünyada ülkelerin büyümeleri için önemli olduğundan ve toplumların gelişmişlik seviyeleri ile uluslararası politikalarındaki davranışlarında enerjinin etkin bir rolü olduğundan, zamanla elektrik tüketimine olan talep artmış ve buna bağlı olarak enerji kaynaklarının yoğun kullanımı çevresel sorunların da artmasına neden olmuştur. Yoğun elektrik tüketimi sera gazlarının artmasına, dolayısıyla da iklim değişikliğine neden olmaktadır. Atmosferde başta karbon gazı olmak üzere belirli gazların yüksek oranlarda bulunması iklim değişikliği açısından önemli etkiye sahiptir. Bu etki, karbondioksit gazının sera gazı emisyonu oluşumuna neden olması ve oluşan bu emisyonun ortalama küresel ısının artmasına sebep olması ile açıklanabilir. Sera gazı emisyonunun artmasında önemli faktörlerden biri yoğun elektrik tüketimidir. Bu anlamda iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden kurtulmada ve bu amaca yönelik alınacak önlemlerde elektrik tüketiminin azaltılması büyük önem taşımaktadır.

Son yıllarda finans alanında yaşanan dijitalleşme ile finansal teknolojilerin müşteri odaklı ve yenilikçi gelişimi, bu alana bağlı sektörlerdeki hizmet kalitesinde ve farklı hizmet çeşitlerinin sunulmasında; bu durumu takiben de beraberinde iş modellerinin de değişmesinde etkili olmuştur.

Öte yandan finans alanında bu tarz yenilik ve gelişmelerin gerçekleşmesi elektrik tüketiminde artışa neden olmaktadır. Bunun nedeni finans alanında meydana gelen gelişme ve yeniliklerin işletmelere ve diğer tüketicilere daha düşük maliyetlerde daha kolay alternatifler sunabilmesidir. Tüketicileri ve işletmeleri yatırım yapmaya, tasarruf etmeye teşvik eden bu durum enerji talebinin artmasına yol açmaktadır. Bir diğer ifadeyle finans alanındaki gelişmelerin elektrik tüketimini teşvik ettiği söylenebilir.

Kripto varlıklardaki madencilik sürecinde tüketilen elektrik, çevre kirliliği açısından önemli bir risk unsuru olmakla birlikte ilerleyen yıllarda ülkelerin kendi kripto varlıklarını çıkarma durumu da göz önüne alındığında, madencilik sürecini içeren bir mekanizma kullanılması durumunda enerji talebi tarafındaki artışın çok daha fazla gerçekleşmesi bu risk konusunda endişeleri arttırmaktadır. Sera gazlarının büyük bir kısmını CO₂ emisyonları oluşturmakla birlikte, bu emisyonların yüksek oranlara çıkması küresel ısınma sorununu şiddetlendirmektedir. Bu nedenle yoğun elektrik tüketiminden kaynaklı oluşabilecek sıcaklık artışları iklim koşullarını da etkileyebileceğinden; yeryüzündeki canlıların sel baskınları, kıtlık ve tayfunlar gibi ciddi sorunlarla karşı karşıya kalmasına yol açabilecektir.

Bu çalışma kapsamında Merge sonrası kripto varlıkların elektrik tüketiminde meydana gelen değişimin etkilerini incelemek amacıyla seçili kripto varlıkların elektrik tüketimi, karbon emisyonu ve fiyat verileri çalışmanın değişkenleri olarak ele alınmış ve seriler arasındaki ilişki Merge öncesi ve sonrası olmak üzere ayrı ayrı incelenmiştir.

Çalışmada öncesinde serilerin durağanlık durumlarını test etmede Fourier ADF (FADF) birim kök testi kullanılmış sonrasında ise test sonuçlarına göre analizlerin devamı için uygun testler belirlenmiştir. Bu doğrultuda değişkenlerin nedensellik ilişkilerini incelemek için Fourier Toda-Yamamoto nedensellik Testi kullanılmış olup eşbütünleşme analizi için ise Fourier ARDL sınır testi tercih edilmiştir. Yapılan testler sonucunda Shiba Inu için merge öncesi elektrik tüketimi ve CO₂ emisyonundan fiyat değişkenine doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. Eşbütünleşme testi sonuçlarında ise Shiba Inu tarafında birlikte hareketlilik incelendiğinde sadece merge sonrası elektrik tüketimi bağımlı değişken, fiyat bağımsız değişken olarak ele alındığında eşbütünleşme ilişkisi tespit edilmiştir. Eşbütünleşme testi sonuçlarına göre Chainlink tarafında da elektrik tüketimi bağımlı, fiyat bağımsız değişken olarak ele alındığında merge öncesi ve sonrası birlikte hareketlilik tespit edilirken, CO₂ emisyonu bağımlı değişken, fiyat bağımsız değişken olarak incelendiğinde de yine merge öncesi ve sonrası eşbütünleşme ilişkisi tespit edilmiştir. Bu doğrultuda nedensellik testi ve eşbütünleşme testine bağlı kurulan 32 hipotezden 7 tanesi kabul edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre token tarafındaki test sonuçlarında farklı sonuçlara rastlanması, her varlık için yatırımcı algısal farklılığının olmasıyla açıklanabilir. Çalışmada elde edilen analiz sonuçları literatürde yer alan çalışmalar ile karşılaştırıldığında enerji tüketimi konusunda uzlaşma protokolünün önemine değinen Kavas (2023) ve İş Kanıtı protokolünde yer alan madencilik süreçlerinin küresel ısınmaya katkı sağladığını belirten Roeck ve Drennen (2022) çalışmalarını bu çalışmanın kapsamını destekler niteliktedir.

Kripto varlıkların neden olduğu yoğun elektrik tüketimi, gerek kullanımının gittikçe yaygın hale gelmesi gerekse temelini oluşturan teknolojinin potansiyelinin varlığından dolayı araştırmaya açık bir çevresel sorun olmakla beraber literatürde bu konuda yapılan çalışma sayısının oldukça az olduğu görülmektedir. Bu durumun söz konusu problemin henüz son yıllarda kendini göstermesinden ve konunun kripto varlıklar tarafında yeterli verinin bulunamamasından kaynaklandığı söylenebilir. İlerleyen zamanda kripto varlıklar ve elektrik tüketimi ile ilgili veri

noksanlığının giderilmesi ile literatüre katkı sağlayacak çözüm odaklı araştırma ve geliştirme çalışmalarının da artabileceği öngörülmektedir.

Bu çalışmada yapılan araştırmalar neticesinde literatürde yer alan kaynaklarda göz önüne alındığında bulunulabilecek öneriler aşağıdaki gibidir;

- Kripto üretiminde madencilğin neden olduğu hash hesaplaması sürecinde kullanılan yoğun elektrik tüketimini düşürmek için PoW yerine PoS kullanımı tercih edilebilir.
- Kripto varlık üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim sağlanabilir ve bu doğrultuda karbon emisyonu sorununun önüne geçilebilir.
- PoS protokolünün kullanılmasıyla kripto varlık elektrik tüketiminde ciddi oranda azalış sağlanabilir.
- PoW gibi dezavantajlı protokoller yerine düşük elektrik tüketimi gerektiren mekanizmalar tercih edilebilir.
- Enerji ihtiyacı yüksek olmayan uzlaşma protokollerine geçişin önündeki engeller saptanarak geliştirmeye yönelik çalışmalar yapılabilir.
- Kripto varlıklar elektrik tüketimi, madencilik ve validatörlük işlemlerindeki hesaplama gücüyle ilgili olarak hash oranıyla ilişkilendirilerek analiz edilebilir.
- Kullanılan uzlaşma protokolü çevresel etkisi düşük veya hiç olmayan projelere devlet desteği sağlanabilir; fon desteği ile ya da uygulanan vergilerde indirim yapılarak çevre dostu sistemlere teşvik artırılabilir. Bu alanda ülkelerin küresel düzeyde bir standardın oluşturulması üzerinde çalışmaları uluslararası ticaret bağlamında faydalı olabilir.
- Bu çalışmada kripto varlıklarda elektrik tüketimi konusu özellikle merge uygulaması bağlamında incelendiğinden araştırma İş Kanıtı ve Hisse Kanıtı mekanizmaları üzerinden sınırlandırılmıştır. Ancak bu iki mekanizma dışında da uzlaşma protokolleri bulunduğunu belirtmekte fayda vardır. Bu çalışmanın kapsamına dahil edilmeyen ve İş Kanıtı mekanizmasından sonra öne sürülen uzlaşma protokollerine Bizans Hata Toleransı (BHT) Uzlaşma Protokolü, DPOS (Delegated proof of stake), Proof of Burn, Proof of Elapsed-time, Proof of Capacity ve Ripple protokolleri örnek verilebilir. İlerleyen süreçte yeni verilerin oluşturulmasıyla da birlikte diğer protokoller üzerinde araştırmalar yapılabilir ve varsa bu protokollerin potansiyellerinin üzerine gidilerek çevre dostu yeni çözümler sunulabilir.

Etherem'un yüksek elektrik tüketiminin gerekmediği bir uzlaşma protokolü örneği olan Hisse Kanıtı'na geçişle piyasa ve çevresel açıdan etkileri araştırılan bu çalışmada yapılan araştırmalar ve analizler neticesinde; kripto varlıkların neden olduğu yoğun elektrik tüketimini, çevre dostu bir uzlaşma protokolünün kullanılması veya geliştirilmesiyle önlemenin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır. Yatırım için geleneksel finansa önemli bir alternatif teşkil eden kripto varlık kullanımındaki kolaylık ve diğer teknik özelliklerinin popüleritesi de göz önüne alındığında; kullanım alanları genişledikçe bu varlıklara olan yönelimin artması işlem sayısının birlikte yüksek elektrik tüketimi riskini de beraberinde getireceğinden hem bu yeni teknolojinin hem de canlı ekosistemlerinin sürekliliği için dezavantajlarının azaltılması veyahut ortadan kaldırılması yüksek önem taşımaktadır. Bu çalışmada elde edilen sonuçların literatüre katkı sağlayarak ileride yapılacak çalışmalar için araştırmacılara ve kripto varlıklara yatırım yapacak yatırımcılara yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Addai, K., Genç, S. Y., Castanho, R. A., Couto, G., Orhan, A., Umar, M., & Kirikkaleli, D. (2023). Financial Risk and Environmental Sustainability in Poland: Evidence from Novel Fourier-Based Estimators. *Sustainability*, 15(7), 9. <https://doi.org/10.3390/su15075801>
- Akardeniz, E., Ertürkmen, G., & Bolat, İ. 2023. Türkiye’de Genişletilmiş Marshall-Lerner Koşulunun Fourier Yaklaşımı ile İncelenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 20(2), 425-426. <https://doi.org/10.33437/ksusbd.1282714>
- Akdağ, S. (2019). VIX korku endeksinin finansal göstergeler üzerindeki etkisi: Türkiye örneği. *Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 12(1), 241. <https://doi.org/10.17218/hititsosbil.522619>
- Ampel, B. (2023). The effect of consensus algorithm on Ethereum price and volume, 1.
- Arvas, İ. S. (2022). Gutenberg galaksisinden meta evrenine: üçüncü kuşak internet, web 3.0. *AJIT-e: Academic Journal of Information Technology*, 13(48), 63-66. <https://doi.org/10.5824/ajite.2022.01.003.x>
- Bai, J., & Perron, P. (2003). Computation and analysis of multiple structural change models. *Journal of applied econometrics*, 18(1), 1-22. <https://doi.org/10.1002/jae.659>
- Bakır, H. (2018). Bitcoin: Yeni Bir Finansal Krize Doğru Mu? *Finans Politik & Ekonomik Yorumlar*, 55(646), 133.
- Bayram Koçak, T. (2023). Paranın dijitalleşme süreci: Kripto para [Yüksek lisans tezi], Trakya Üniversitesi.
- Çağlar, A. E. (2020). The importance of renewable energy consumption and FDI inflows in reducing environmental degradation: bootstrap ARDL bound test in selected 9 countries. *Journal of Cleaner Production*, 264, 6. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121663>
- Coşkun, K., & Yıldırım, S. (2023). Paranın tarihsel serüven içerisindeki formları. *Muhasebe ve Finans Tarihi Araştırmaları Dergisi*, (25), 86-87.
- Çağlar, A. E., & Mert, M. (2022). Türkiye’de Karbon Histeri Hipotezi Geçerli midir? Fourier Birim Kök Testlerinden Kanıtlar. *Fiscaoeconomia*, 6(3), 1595-1596.
- Çallı, F., & Şentürk, N. (2021). Tedarik zinciri yönetiminde blok zinciri platformlarının karşılaştırılması. *Dijital Dönüşüm ve İşletmecilik*, 98.
- Çiftçi, N. (2014). Reel döviz kuru oynaklığının Türkiye’nin Avrupa Birliği’ne ihracatı üzerine etkisi: AR (1)-GARCH (1, 1) ve ARDL tekniği ile analiz. *Sakarya İktisat Dergisi*, 3(3), 94.
- Çomruk, A. (2022). Covid-19 pandemisi ve VIX korku endeksinin finansal piyasalar üzerindeki etkisi [Yüksek lisans tezi], Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi.
- Dickey, David A. ve Fuller, Wayne A., (1979) “Distribution of the Estimation for Autoregressive Time Series with a Unit Root, *Journal of The American Statistical Association*, 74(366a), s.427-43.
- Enders, W. & Lee J. (2012), “The flexible Fourier form and Dickey-Fuller type unit root tests”, *Economics Letters*, 117(1), 196-199. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2012.04.081>

- Erdoğan, S., Ahmed, M.Y. & Sarkodie, S.A. (2022). Analyzing asymmetric effects of cryptocurrency demand on environmental sustainability. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(21), 31723. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17998-y>
- Felek, Ş., Karademir, C., & Ceylan, R. (2023). Bitcoin ile karbon emisyonu ilişkisi: Doğrusal olmayan eşbütünleşme analizi. *Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi*, 8(1), 141. <https://doi.org/10.30784/epfad.1261418>
- Fidan, M., Dilek, S. ve Esev, A. (2019). “Dünden Bugüne Paranın Tarihi Ve Türkiye’de Kağıt Para Kullanımı”, *Kilis 7 Aralık Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(18), 141-162. <https://doi.org/10.31834/kilissbd.613107>.
- Granger, C.W.J. (1969), Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods, *Econometrica: Journal Of The Econometric Society*, 20(4), 424-438. <https://doi.org/10.2307/1912791>
- Gülcan, N., & Boyacıoğlu, N. (2023). Kripto Paralarda Yatırımcı Duyarlılığı Etkisi: Fourier Nedensellik Uygulaması. *Turkish Studies-Economics, Finance, Politics*, 18(1), 225. <https://dx.doi.org/10.7827/TurkishStudies.63250>
- Güven, E. A., & Ayzav, Y. (2016). Türkiye’de Enflasyon ve İşsizlik Arasındaki İlişki: Zaman Serileri Analizi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 13(1), 247.
- 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>
- İzolloğlu, Z. (2019). Zaman serileri birim kök testleri ve bir uygulama [Yüksek lisans tezi, İnönü Üniversitesi]. <http://hdl.handle.net/11616/18395>
- Kapengut, E., & Mizrach, B. (2023). An event study of the ethereum transition to proof-of-stake. *Commodities*, 2(2), 96. <https://doi.org/10.3390/commodities2020006>
- 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 models. *Econometric Theory*, 22(2), 279-303. <https://doi.org/10.1017/S0266466606060129>
- Kavas, Y. B. (2023). Kripto paraların çevre kirliliği, makroekonomik göstergeler ve suç üzerindeki etkileri. *Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 21(03), 309-316-317. <https://doi.org/10.18026/cbayarsos.1293132>
- Kesebir, M., & Günceler, B. (2019). Kripto para birimlerinin parlak geleceği. *Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (17), 607.
- Koçak, E., & Uçan, O. (2023). Kripto para ticaretinin çevre kirliliği üzerine etkileri: Panel veri analizi. *Journal of Politics Economy and Management*, 6(2), 95.

- 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>
- Mike, F., & Alper, A. E. (2020). Gelismis ve gelismekte olan ülkeler için issizlik histerisinin incelenmesi: Fourier ADF test bulgulari. *Cankiri Karatekin Universitesi Iktisadi ve Idari Bilimler Fakultesi Dergisi= Cankiri Karatekin University journal of the Faculty of Economcs et Admimistrative Sciences.*, 10(1), 1-14. <https://doi.org/10.18074/ckuibfd.661615>
- Murray, A., Kim, D., & Combs, J. (2023). The promise of a decentralized internet: What is Web3 and how can firms prepare?. *Business Horizons*, 66(2), 2. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2022.06.002>
- Nazlıoglu S., Gormus, N. A., & Soytaş, U. (2016). Oil prices and real estate investment trusts (reits): Gradual-shift causality and volatility transmission analysis. *Energy Economics*, 60, 168-184. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.09.009>
- Nur, H., Şahin, G. (t. y.) Blockchain ve kripto paraların finans sektörüne etkileri ve enerji tüketimi.
- Oral, B. G., & Yeşilkaya, Y. (2021). Kripto paraların vergilendirilmesi. *Turkuaz Uluslararası Sosyo-Ekonomik Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 3(1), 84.
- Özer, M. O. (2022). Ekonomik Büyüme ve İşsizlik Oranı Arasındaki İlişki: Kesirli Frekanslı Fourier ARDL Sınır Testi Yaklaşımı. *İstanbul İktisat Dergisi*, 72(1), 282. <https://doi.org/10.26650/ISTJECON2022-1020006>
- Perron, P. (1990). Testing for a unit root in a time series with a changing mean. *Journal of Business & Economic Statistics*, 8(2), 153-162. <https://doi.org/10.1080/07350015.1990.10509786>
- Pesaran, M.H., Shin, Y. & Smith, R.J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *J Appl Econ*, 16(3), 289-326. <https://doi.org/10.1002/jae.616>
- Polat, Ö. Ü. A. (2022). FED politika kararı ve kripto para varlık getirileri: Olay çalışması analizi. İ. Merve Altan (Ed.). *Dijital Etkileşimler: Sektörel Yansımaları 1* içinde (11-23). İstanbul: Efe Akademi Yay.
- Roeck, M., & 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. <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02025-0>
- Schinckus, C., Canh, N. P., & Ling, C. H. (2020). Crypto-currencies trading and energy consumption. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(3), 355. <https://doi.org/10.32479/ijee.9258>
- Sims, C. (1980), Macroeconomics and reality, *Econometrica*, 48, 1-49. <https://doi.org/10.2307/1912017>
- Şahbaz, Ü. (2015). Zaman Serilerinde Nedensellik Analizi: Türkiye'de Ekonomik Büyüme ve Turizm Gelirleri Arasındaki İlişkinin Nedensellik Analizi [Doktora tezi, Anadolu Üniversitesi].

- Şenkardeş, C. G. (2021). Blockchain technology and NFT's: a review in music industry. *Journal of Management, Marketing and Logistics-JMML*, 8(3), 160. <http://doi.org/10.17261/Pressacademia.2021.1454>
- Toda, H.Y., & T. Yamamoto (1995), Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes. *Journal of Econometrics*, 66(1-2), 225-250. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01616-8](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01616-8)
- Xiao, Z., Cui, S., Xiang, L., Liu, P., & Zhang, H. (2023). The Environmental Cost of Cryptocurrency: Assessing Carbon Emissions from Bitcoin Mining in China. *Journal of Digital Economy*, 2, 119. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4560096>
- Yağmur, A., & Mangır, F. (2020). Bitcoin piyasasında rassal yürüyüş hipotezi. *Journal of Management and Economics Research*, 18(2), 163. <https://doi.org/10.11611/yead.735134>
- Yıldırım, M. (2019). Blok zincir teknolojisi, kripto paralar ve ülkelerin kripto paralara yaklaşımları. *Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(20), 266-267.
- Yilanci V., Bozoklu, S. & Gorus, M.S. (2020). Are BRICS countries pollution havens? Evidence from a bootstrap ARDL bounds testing approach with a Fourier function. *Sustain Cities Soc* 55, 2-6. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102035>
- Yurdabak, M.K., Deniz, R.B. (2023). Web 3.0'da fırsatlar ve meydan okuma: Merkeziyetsiz internet işletmelere neler vadediyor?. *Turkish Journal of Marketing Research*, 2(2), 165-167.
- Yurtkuran, S. (2020). Türkiye'de Kirlilik Sığnağı Hipotezi Geçerli mi? Fourier Eşbütünleşme ve Nedensellik Yöntemlerinden Kanıtlar. *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi (AKAD)*, 13(24), 69.
- Zhang, R., & Chan, W. K. V. (2020). Evaluation of energy consumption in block- chains with proof of work and proof of stake. *In Journal of Physics: Conference Series*, 1584(1), IOP-Publishing, 1-6. https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2020JPhCS1584a2023Z/doi:10.1088/1742-6596/1584/1/012023
- Zheng, M., Feng, G. F., Zhao, X., & Chang, C. P. (2023). The transaction behavior of cryptocurrency and electricity consumption. *Financial Innovation*, 9(1), 1-4-6. <https://doi.org/10.1186/s40854-023-00449-7>
- Zivot, E. and Andrews, D. W. K. (1992). Further evidence on the great crash, the OilPrice shock, and the Unit-Root hypothesis. *Journal of Business & Economic Statistics*, 10(3), 251-270.