



Araştırma Makalesi / Research Article

Yeşil Teknoloji Endeksleri ve Metal Piyasaları Arasındaki Zamanla Değişen İlişkiler: Asimetrik TVP-VAR Bağlantılılık Yaklaşımı*

Şerife Akıncı Tok¹

Öz

Çalışma, küresel sürdürülebilir enerjiye geçiş bağlamında yeşil teknoloji endeksleri ile stratejik metaller, özellikle bakır ve nikel arasındaki dinamik ve asimetrik etkileşimleri incelemektedir. Amaç, farklı ekonomik koşullar altında finansal piyasalar ile emtia piyasaları arasındaki ilişkinin zaman içinde nasıl değiştiğini belirlemektir. Ocak 2015'ten Eylül 2024'e kadar aylık veriler kullanılarak, Asimetrik Zaman Değişkenli Parametre VAR (TVP-VAR) bağlantılılık yaklaşımı uygulanmıştır. Analiz, MSCI ACWI Sustainable Impact, NASDAQ Clean Edge Green Energy, S&P Kensho Cleantech endekslerini ve bakır ve nikel fiyatlarını içermektedir. Bulgular, ekonomik belirsizlik ve jeopolitik risklerin bağlantı yapısını güçlü bir şekilde etkilediğini göstermektedir. Yeşil enerji talebinin arttığı dönemlerde metal fiyatları ve yeşil endeksler birlikte hareket ederken kriz dönemlerinde bu ilişki zayıflamaktadır. NASDAQ Clean Edge Green Energy ve S&P Kensho Cleantech net aktarıcılar olarak bakır, nikel ve MSCI ACWI Sustainable Impact net alıcılar olarak hareket etmektedir. En güçlü aktarım NASDAQ'dan kaynaklanmaktadır. Bunu Kensho ve ACWI izlemektedir. Bu sonuç yeşil hisse senedi piyasalarının yayılma ağını domine ettiğini göstermektedir. Genel olarak sonuçlar stratejik metallerin portföy riskten korunma araçları olarak hizmet edebileceğini ve politika yapıcıların enerji geçişi sırasında arz güvenliği risklerini dikkate almaları gerektiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Asimetrik TVP-VAR Bağlantılılığı, Bakır, Yeşil Teknoloji Endeksleri, Nikel

Time-Varying Relationships between Green Technology Indices and Metal Markets: Asymmetric TVP-VAR Connectedness Approach

Abstract

The study examines the dynamic and asymmetric interactions between green technology indices and strategic metals, particularly copper and nickel, in the context of the global transition to sustainable energy. The aim is to determine how the relationship between financial markets and commodity markets changes over time under different economic conditions. Using monthly data from January 2015 to September 2024, the Asymmetric Time-Varying Parameter VAR (TVP-VAR) connectivity approach was applied. The analysis includes the MSCI ACWI Sustainable Impact, NASDAQ Clean Edge Green Energy, and S&P Kensho Cleantech indices, as well as copper and nickel prices. The findings show that economic uncertainty and geopolitical risks strongly affect the linkage structure. While metal prices and green indices move together during periods of increased green energy demand, this relationship weakens during times of crisis. NASDAQ Clean Edge Green Energy and S&P Kensho Cleantech act as net transmitters, while copper, nickel, and MSCI ACWI Sustainable Impact act as net receivers. The strongest transmission originates from NASDAQ, followed by Kensho and ACWI. This result indicates that green equity markets dominate the diffusion network. Overall, the findings suggest that strategic metals can serve as portfolio hedging instruments and that policymakers should consider supply security risks during the energy transition.

Keywords: Asymmetric TVP-VAR Connectedness, Copper, Green Technology Indices, Nickel.

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, akincisrf@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2505-1985>

Atıf/Cite as: Akıncı Tok, Ş. (2026). Yeşil teknoloji endeksleri ve metal piyasaları arasındaki zamanla değişen ilişkiler: Asimetrik TVP-VAR bağlantılılık yaklaşımı, *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2026, 44 (1), 1-25
© 2026 Hacettepe Üniversitesi.

EXTENDED SUMMARY

This study examines the dynamic and asymmetric interactions between green energy indices and strategic metals, specifically copper and nickel, to shed light on the implications of the sustainable energy transition for financial markets and commodity dynamics. In an era where renewable energy investments are accelerating, the linkages between financial assets and critical raw materials have become increasingly complex and volatile. Against this backdrop, the study addresses the following key questions: How does rising demand for sustainable energy affect the prices of copper and nickel? How do these effects evolve over time, and what asymmetries emerge during periods of crisis and recovery? The answers provide crucial insights for both investment strategies and public policy design.

The growing prominence of green energy technologies has elevated sustainability-oriented financial assets in global markets. Benchmark indices such as the MSCI ACWI Sustainable Impact Index, NASDAQ Clean Edge Green Energy Index, and S&P Kensho Cleantech Index attract significant investor attention, while markets for copper and nickel, essential inputs for green Technologies, have simultaneously become more volatile and interconnected. As these metals are indispensable for electric vehicles, solar panels, energy storage systems, and wind turbines, their market dynamics are central to the broader green energy ecosystem.

Although prior studies have explored the relationship between renewable energy assets and strategic metals, most have relied on static or linear approaches. This research advances the literature by adopting a dynamic perspective that captures time variation and asymmetries in response to both positive and negative shocks. The theoretical framework draws on market connectedness theory and asymmetric interdependence, which emphasize that relationships between assets evolve over time and differ in their sensitivity to shock types. Methodologically, the study employs the Time-Varying Parameter Vector Autoregressive (TVP-VAR) model, following Adekoya et al. (2022), to quantify connectedness under distinct market conditions.

The dataset spans January 2015 to September 2024, covering daily prices of green energy indices (sourced from MSCI, NASDAQ, and S&P) and copper and nickel (sourced from Investing.com and the London Metal Exchange). All series were log-transformed, tested for stationarity, and adjusted to minimize trends and seasonality, ensuring robust TVP-VAR estimations.

Empirical findings confirm that the interactions between green energy indices and strategic metals are both time-varying and asymmetric. During episodes of external shocks—such as the COVID-19 pandemic, the energy crisis, and the Russia–Ukraine war—copper and nickel prices decoupled from green energy indices, reflecting heightened negative connectedness and signaling market dislocations. Conversely, in recovery phases and periods of strong policy support for renewable energy, positive connectedness strengthened, underscoring the role of green technology developments in shaping metal demand.

The asymmetric nature of the relationship reveals that market participants respond differently to positive and negative shocks. Positive developments, such as renewable energy incentives or stimulus packages, raise both copper and nickel prices and reinforce their correlation with green indices. In contrast, adverse events ranging from supply chain disruptions to global downturns dampen these linkages and trigger market divergence. These dynamics highlight the necessity of tailoring investment strategies to the type of market shock.

From an investment perspective, green energy indices provide a foundation for building sustainable, low-risk portfolios, while copper and nickel act as effective diversifiers due to their lower correlation with these indices. Minimum Connectedness Portfolios (MCoPs) constructed with these metals demonstrate reduced volatility and enhanced stability, reinforcing their strategic value in sustainable financial strategies.

From a policy perspective, the findings point to mounting pressure on metal supply chains amid the green transition. Securing sustainable, long-term supplies of copper and nickel has become vital, especially for developing economies. Disruptions not only generate price volatility but also risk delaying clean energy projects, potentially undermining climate goals.

The study advances several policy recommendations. First, enhancing recycling capacity for copper and nickel is critical for both supply security and environmental sustainability. Incentives for advanced recycling technologies, coupled with expanded R&D investment and financial support for local facilities, can accelerate the shift toward a circular economy. Second, blockchain-based traceability systems should be developed to improve supply chain transparency and strengthen governance in green energy projects. Certification mechanisms verifying sustainable and ethical sourcing must complement such innovations. Third, greater emphasis should be placed on developing alternative materials that reduce dependence on copper and nickel. Public–private partnerships to support R&D in lightweight, conductive, and durable substitutes could mitigate risks, lower costs, and ease environmental burdens.

In conclusion, this study demonstrates that the relationship between green energy indices and strategic metals is dynamic, shock-sensitive, and inherently asymmetric. These characteristics have profound implications for investors, policymakers, and the

broader sustainability agenda. Understanding these dynamics is essential for designing resilient financial strategies, forecasting risks in commodity markets, and managing the macroeconomic impacts of the energy transition. Future research could extend the analysis to additional strategic metals such as lithium, cobalt, and rare earth elements or apply alternative methodologies, including asymmetric GARCH, machine learning, and AI-based causal inference, to deepen insights into the sustainability–economy nexus.

GİRİŞ

Küresel karbon emisyonları kritik seviyelere ulaşmakta, çevresel sürdürülebilirliği ve dünyanın ekonomik ve finansal sistemlerinin geleceğini tehdit etmekte ve bu durum acil eylem gerektirmektedir. Bu zorluğun üstesinden gelmek için yenilenebilir enerji teknolojilerinin hızla yaygınlaştırılması, düşük karbonlu bir ekonomiye geçiş için kaçınılmaz bir yol haritası haline gelmiştir (Ellabban vd., 2014; A. Hussain vd., 2017; Mohsin vd., 2022) . Bu dönüşüm sürecinde, stratejik metaller olan bakır ve nikel, üretim süreçleri için vazgeçilmez hammaddeler ve sürdürülebilir bir gelecek için kilit piyasa oyuncularıdır (Moreno-Leiva vd., 2020; Negem vd., 2019; Tirronen vd., 2017) . Bu metaller enerji dönüşümünün merkezinde yer almakta ve elektrikli araç bataryalarından güneş panellerine kadar pek çok yenilikçi teknolojiye (Norgren vd., 2020; Pigłowska vd., 2024; Zeng vd., 2019) kullanılmaktadır.

Bu çerçevede, MSCI ACWI Sustainable Impact, NASDAQ Clean Edge Green Energy ve S&P Kensho Cleantech gibi yeşil teknoloji endeksleri, sürdürülebilir yatırımların finansal yansımalarını ölçen temel göstergeler olarak öne çıkmaktadır. Yeşil teknoloji endeksleri, sürdürülebilir enerjiye geçişin finansal etkisini ölçmek ve anlamak için kritik göstergeler sağlamaktadır (Trancoso & Gomes, 2024) . Özellikle elektrikli araçlar, güneş panelleri ve rüzgâr türbinleri gibi projelerde kullanılan bakır ve nikelin (García-Olivares vd., 2012; Huber & Steininger, 2022) bu endekslerle dinamik ve zamanla değişen bir ilişkisi olduğu görülmektedir. Literatürdeki mevcut araştırmalar, çoğunlukla doğrusal ve zamanla değişmeyen modeller kullanarak değişkenler arasındaki ortalama ilişkileri incelemiş; dolayısıyla piyasa şoklarının asimetrik ve dinamik doğası çoğu çalışmada göz ardı edilmiştir. Ancak, ekonomik belirsizliklerin ve jeopolitik risklerin etkisi bu piyasalar arasındaki bağı zayıflatabilir/güçlendirebilir ve karmaşık bir etkileşim ağı yaratabilir. Bu çalışma, literatürdeki bu boşluğu doldurmak amacıyla, Ocak 2015 – Eylül 2024 dönemi için Asimetrik Zamanla Değişen Parametrelili Vektör Otoregresif (Asimetrik TVP-VAR) modeli kullanarak yeşil teknoloji endeksleri ile stratejik metaller arasındaki dinamik, yönlü ve asimetrik bağlantıları incelemektedir. Bu yaklaşım, finans ve emtia piyasaları arasındaki dinamik etkileşimi çok boyutlu olarak analiz etmeye imkân tanımaktadır.

Araştırma sürdürülebilir enerjiye yönelik artan talebin stratejik metaller üzerindeki ekonomik ve finansal etkilerini anlamaya yönelik (i) Sürdürülebilir enerjiye yönelik artan talep bakır ve nikel gibi metallerin fiyatlarını nasıl etkilemektedir? (ii) Yeşil teknoloji endeksleri ile bu metaller arasındaki bağlantı kriz ve ekonomik toparlanma sırasında nasıl değişmektedir? (iii) Bu etkileşimlerin zaman içindeki asimetrik yapısı, finansal istikrar ve yatırım stratejileri açısından nasıl bir anlam taşımaktadır? Üç temel soruya odaklanmaktadır. Bu sorulara verilecek yanıtların, mevcut piyasa dinamiklerinin daha kapsamlı biçimde anlaşılmasına katkı sağlayacağı ve sürdürülebilir finans politikalarının tasarımıyla yol gösterici olacağı öngörülmektedir.

Araştırmadan elde edilen bulguların, bir yandan yatırımcıların portföy çeşitlendirme ve risk yönetimi stratejilerine diğer yandan da politika yapıcıların enerji arz güvenliği ve stratejik metal istikrarı konusundaki planlamalarına rehberlik etmesi beklenmektedir. Özellikle yeşil yatırım politikalarının stratejik metal arz güvenliği ve fiyat istikrarı üzerindeki dolaylı etkilerinin ortaya konulması bakımından çalışmanın literatüre anlamlı bir katkı sunacağı düşünülmektedir.

Çalışmanın yapısı şu şekilde düzenlenmiştir: İkinci bölüm ilgili literatürü incelemekte, üçüncü bölüm teorik temelleri açıklamakta, dördüncü bölüm veri ve metodolojiyi ayrıntılandırmaktadır. Beşinci bölüm ampirik bulguları ortaya koyarken, altıncı bölüm bu bulguları tartışmakta ve mevcut çalışmalarla karşılaştırmaktadır. Yedinci bölüm somut politika ve uygulama önerileri sunmakta, son

bölüm ise genel bir değerlendirme ile gelecekteki araştırmalara yönelik yönlendirmeler sunmaktadır.

1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK PERSPEKTİFİ

Sürdürülebilirlik, günümüz ekonomi ve finans literatürünün en temel kavramlarından biri haline gelmiştir. Birleşmiş Milletler'in 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları, enerji arz güvenliği, çevresel koruma ve ekonomik büyüme arasındaki dengeyi küresel düzeyde politika gündeminin merkezine yerleştirmiştir. Bu bağlamda, enerji geçişi yalnızca çevresel değil aynı zamanda ekonomik ve finansal bir dönüşümü de beraberinde getirmektedir.

Yeşil finans literatüründe, sürdürülebilirlik temelli finansal araçlar (örneğin yeşil tahviller, sürdürülebilirlik endeksleri) hem yatırımcı davranışlarını hem de sermaye piyasalarının işleyişini yeniden şekillendirmektedir (Flammer, 2021). Bu gelişmeler, yenilenebilir enerji yatırımlarının finansmanı ile stratejik madenlerin arz güvenliği arasındaki ilişkiyi kritik hale getirmektedir. Özellikle bakır ve nikel, elektrikli araçlar, güneş panelleri, rüzgâr türbinleri ve enerji depolama sistemleri gibi yeşil teknolojilerin vazgeçilmez girdileri olarak öne çıkmaktadır (World Bank, 2020).

Finansal piyasalar açısından sürdürülebilirlik, yalnızca çevresel fayda yaratmak değil, aynı zamanda yatırımcılar için risk yönetimi ve portföy çeşitlendirmesi anlamına gelmektedir. Yeşil enerji endeksleri, sürdürülebilirlik temelli yatırım stratejileri için önemli göstergeler haline gelmiştir. Bununla birlikte, artan talep nedeniyle stratejik metallerin fiyat oynaklığı ve piyasa bağlantılılığı yükselmekte; bu durum sürdürülebilir enerji geçişinin finansal istikrar üzerindeki potansiyel risklerini de gündeme getirmektedir. Dolayısıyla, sürdürülebilirlik perspektifi bu çalışmanın merkezinde yer almaktadır.

Yeşil enerji endeksleri ile stratejik metaller arasındaki dinamik ve asimetrik ilişkilerin incelenmesi, hem enerji dönüşümünün finansal etkilerini hem de sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin ekonomik boyutunu anlamaya katkı sağlamaktadır. Bu yaklaşım, literatürde çoğunlukla ihmal edilen “finansal sürdürülebilirlik” boyutunu öne çıkararak çalışmayı özgün kılmaktadır. Bu çalışmanın literatüre katkısı ve özgün değeri şu noktalarda ortaya çıkmaktadır:

- Yeşil enerji endeksleri ile stratejik metaller arasındaki ilişkiler sürdürülebilirlik temelli bir konsept altında incelenmektedir.
- Çalışma, dinamik (TVP-VAR) ve asimetrik bağlantılılık yaklaşımını kullanarak literatürdeki çoğunlukla statik ve lineer analizlerin ötesine geçmektedir.
- Kriz ve toparlanma dönemlerinde bağlantılılığın farklılaşması, enerji dönüşümünün finansal istikrara etkilerini değerlendirmek için yeni bir bakış açısı sunmaktadır.
- Politika ve yatırım stratejileri açısından, sürdürülebilir finans ile hammadde piyasalarının kesişim noktasını analiz ederek literatürdeki boşluğu doldurmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Son yıllarda yeşil enerjiye geçişin hızlanması, finans ve emtia piyasaları arasındaki bağlantıyı öne çıkarmıştır. Sürdürülebilir yatırımlara yönelik küresel taleple birlikte, yeşil teknoloji endeksleri stratejik bir rol üstlenmiş ve piyasa dinamikleri üzerindeki etkileri akademik çalışmalarda artan bir ilgi görmüştür (J. Hussain vd., 2023; Ikram vd., 2021; Zhang vd., 2022). Özellikle MSCI ACWI Sürdürülebilir Etki Endeksi, NASDAQ Clean Edge Yeşil Enerji ve S&P Kensho Cleantech Endeksi gibi endeksler, yeşil enerji teknolojilerinin finansal piyasalar üzerindeki etkisini inceleyen çalışmaların

odak noktası olmuştur (Briere & Ramelli, 2021; Jain vd., 2018; Meziani, 2020) (Bu endekslerin fiyat hareketleri ile bakır ve nikel gibi metallerin fiyatları arasındaki bağlantı, sürdürülebilir enerji projelerinden gelen hammadde talebiyle yakından bağlantılıdır (Coqueret vd., 2024; Dias vd., 2023; Goutte ve Mhadhbi, 2024) .

2.1. Yeşil Teknoloji ve Finansal Piyasalar

Yeşil enerji endekslerinin finansal portföylerde çeşitlendirme stratejileri oluşturmaya katkısı literatürde geniş bir şekilde tartışılmıştır. Örneğin, Broadstock ve diğerleri (2020) sürdürülebilir enerji endekslerinin düşük varyans ve yüksek hedge etkinliği sunduğunu bulmuştur. Bu bulgular, yeşil enerji endekslerinin finansal piyasalardaki merkezi rolünü vurgulamakta ve ekonomik belirsizliklerin ve jeopolitik risklerin bu endekslerin dinamikleri üzerindeki etkisinin altını çizmektedir (Yousfi & Bouzgarrou, 2024) .

2.2. Bakır ve Nikelin Stratejik Önemi

Bakır ve nikel, sürdürülebilir enerji teknolojilerinde vazgeçilmez emtialar olarak öne çıkmaktadır. Elektrikli araçların batarya sistemlerinde kullanılan nikel ve enerji altyapısında yaygın olarak kullanılan bakır, bu metallerin fiyatlarını yeşil enerji yatırımlarına duyarlı hale getirmektedir (Chian vd., 2019; Ding vd., 2017) . Literatürde, bu metallerin fiyatlarındaki oynaklık ile yeşil enerjiye olan talep arasındaki ilişkiyi inceleyen çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Islam vd., 2022; Leader vd., 2019; Nwonye vd., 2023) . Örneğin, Nguyen ve diğerleri (2021) elektrikli araç üretimindeki artışın nikel fiyatlarını nasıl etkilediğini göstermiştir. Benzer şekilde bakır fiyatları da güneş panelleri ve rüzgâr türbinleri gibi yenilenebilir enerji projeleriyle ilişkilendirilmiştir (Z. Chen vd., 2023) .

2.3. Piyasa Bağlantılılığı ve Asimetrik Etkiler

Farklı piyasa varlıklarının birbirine bağlılığı özellikle ekonomik şoklar ve krizler sırasında belirginleşir. Piyasa bağlantılılığı teorisi, varlıklar arasındaki dinamik ilişkilerin anlaşılması için bir çerçeve sunmaktadır. Örneğin, Adekoya ve diğerlerinin(2022) TVP-VAR modelini kullanarak yaptığı analiz, piyasalar arası ilişkilerin asimetrik ve değişken doğasının detaylı bir analizini sunmaktadır. Aynı bağlamda, yeşil enerji endeksleri ile metal piyasaları arasındaki çift yönlü bağlantılılık üzerine yapılan çalışmalar, bu ilişkinin dinamik ve zamanla değişen bir yapıda olduğunu göstermektedir (Goutte ve Mhadhbi, 2024; Li vd., 2023; Wang vd., 2023) .

2.4. TVP-VAR ve Benzer Yöntemlere İlişkin Literatür

Zamanla değişen parametrelili vektör otoregresif (TVP-VAR) modelleri piyasa bağlantılılığını analiz etmek için yaygın bir yöntemdir. Koop vd. tarafından geliştirilen genelleştirilmiş hata varyans ayrıştırma (GEVD) yöntemi(1996) bu modelin önemli bir bileşeni olarak ortaya çıkmıştır. TVP VAR modelleri, pozitif ve negatif şokların bağlantılılık üzerindeki etkilerini ayrı ayrı analiz etmemizi sağlayarak piyasa dinamiklerinin daha detaylı bir şekilde anlaşılmasını sağlamaktadır (Adekoya vd., 2022) . Özellikle, bu modellerin yeşil enerji endeksleri ve metal piyasaları arasındaki asimetrik etkileri analiz etmedeki etkinliği literatürdeki birçok çalışmada gösterilmiştir (J. Chen vd., 2022; Li vd., 2023; Niu ve Zhang, 2024) .

3. TEORİK ÇERÇEVE

Bu çalışmanın teorik çerçevesi, finansal piyasalar ve metal piyasaları arasındaki etkileşimleri açıklamak için birkaç temel teoriye dayanmaktadır:

3.1. Pazar Bağlantılılık Teorisi

Piyasaların birbirine bağlılığı teorisi, farklı piyasalardaki varlıklar arasındaki dinamik ilişkiyi analiz eder. Teori, özellikle kriz dönemlerinde bağlantılılıktaki değişikliklere odaklanmaktadır. Diebold ve Yilmaz (2009, 2012) tarafından geliştirilen bu yaklaşım, finansal şokların ve belirsizliklerin piyasa dinamikleri üzerindeki etkisini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu metodoloji daha sonra Antonakakis ve arkadaşları (2020) tarafından dinamik bağlantılık (dynamic connectedness) çerçevesiyle genişletilmiş, piyasa etkileşimlerinin zaman boyutunu da dikkate alacak şekilde geliştirilmiştir. Bu çalışmada söz konusu metodolojinin orijinal formu esas alınmakta, zamanla değişen korelasyonların yakalanması için ise DCC-GARCH modeli ile desteklenmektedir. Bu çalışma, yeşil teknoloji endeksleri ile bakır ve nikel piyasaları arasındaki çift yönlü ve zamanla değişen bağlantılılığı bu teorinin sağladığı çerçevede analiz etmektedir.

3.2. Şok Yayılımı ve Asimetrik Bağlantılılık

Ekonomik şokların ve kriz dönemlerinin piyasalar üzerindeki etkilerinin farklı yönlerde ve şiddetlerde hissedilmesi asimetrik bağlantılılık teorisinin odak noktasını oluşturmaktadır. Koop ve diğerleri (1996) Pesaran ve Shin(1998) tarafından geliştirilen Genelleştirilmiş Hata Varyans Ayırıştırması (GEVD) yöntemi, şokların piyasa bağlantılılığı üzerindeki etkilerini analiz etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, pozitif ve negatif şokların yeşil teknoloji endeksleri ve metal piyasaları üzerindeki etkileri zamanla değişen parametrelili vektör otoregresif (TVP-VAR) modeli kullanılarak analiz edilmiştir. Bu teorik çerçeve, sürdürülebilir enerjiye geçişte finans ve emtia piyasaları arasındaki dinamik ilişkileri anlamak için sağlam bir temel sağlamaktadır. Bu teorik ve kavramsal tartışmalar ışığında araştırma hipotezi aşağıdaki gibi formüle edilmiştir:

H1: Yeşil enerji endeksleri, stratejik metallere kıyasla ortalama düzeyde net şok yayıcıdır.

H2: Küresel kriz dönemlerinde (ör. COVID-19 pandemisi, enerji arz şokları, Rusya-Ukrayna savaşı) yeşil enerji endeksleri ile metaller arasındaki ilişkilerde negatif bağlantılılık bileşeni artar ve piyasalar ayrışma eğilimi gösterir.

H3: Pozitif piyasa koşullarında yeşil enerji endeksleri ile stratejik metaller arasındaki etkileşimler güçlenir ve bağlantılılık yakınsama dinamiği sergiler.

Bu hipotezler, çalışmanın ampirik analiz bölümünde TVP-VAR tabanlı bağlantılılık göstergeleri aracılığıyla test edilmektedir.

4. YÖNTEM: ASİMETRİK TVP-VAR BAĞLANTILILIK YAKLAŞIMI

Bu makalede, TVP-VAR modelini kullanarak incelenen varlıklar arasındaki asimetrik bağlantılılığın dinamiklerini araştırıyoruz. Bu model, pozitif ve negatif şoklar için ayrı bağlantılılık ölçümleri sağlayarak farklı piyasa koşulları altında volatilité yayılmalarının daha ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Adekoya ve diğerlerinin (2022) yöntemlerinden esinlenilmiştir. Buna göre, bu yöntemde pozitif ve negatif getirilere dayalı korelasyon analizini gerçekleştirmek için TVP-VAR modelini kullanıyoruz. TVP-VAR modelinin genel formu aşağıdaki gibidir:

$$Y_t = B_t Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1)$$

ve $\varepsilon_t \sim N(0, \Sigma_t)$

Burada Y_t analiz edilen değişkenlerin $k \times 1$ vektörü, B_t zamanla değişen parametre matrisi ve Σ_t zamanla değişen varyans-kovaryans matrisidir. Asimetrik bağıntılılık için pozitif ve negatif (Y_t^-) getiriler ayrı ayrı hesaplanır (Adekoya vd., 2022) :

$$Y_t^+ = S_t Y_t, Y_t^- = (1 - S_t) Y_t \quad (2)$$

Burada S_t gösterge fonksiyonudur ve pozitif getiriler için 1, negatif değerler için 0 değerini alır. TVP VAR modelindeki parametreler, Bayes Bilgi Kriterine (BIC) B_t ve Σ_t göre seçilen uygun gecikme uzunluğu ile optimize edilir. Bu yapı, modelin zamanla değişen parametrelerini tahmin etmek için kullanılır.

4.1. Genelleştirilmiş Tahmin Hata Varyans Ayrıştırması (GFEVD)

GFEVD yöntemi Koop ve diğerleri (1996) Pesaran ve Shin (1998) değişkenler arasındaki bağlantıyı ve her bir değişkenin diğerleri üzerindeki etkisini ölçer. Genelleştirilmiş varyans ayrıştırması, $\psi_{gij,t}(H)$ tarafından tanımlanan her bir değişkenin hata varyansını ifade eder ve aşağıdaki gibi normalize edilir:

$$\psi_{gij,t}(H) = \frac{\sum_{h=0}^{H-1} (e_i' A_t^h \Sigma_t e_j)^2}{\sum_{j=1}^k \sum_{h=0}^{H-1} (e_i' A_t^h \Sigma_t A_t^{h'} e_i)} \quad (3)$$

Burada e_i seçim vektörü ve A_t^h Wold notasyonunda elde edilen t dönemindeki TVP-VAR modelinin katsayı matrisidir.

4.2. Toplam Bağıntılılık Endeksi (TCI)

Bu endeks, analiz edilen tüm değişkenler arasındaki genel bağıntılılığı ifade eder ve Denklem 3'teki gibi hesaplanır (Chatziantoniou & Gabauer, 2021) :

$$TCI = \frac{\sum_{i \neq j} \psi_{gij,t}(H)}{k-1} \quad (4)$$

4.3. Asimetrik Bağıntılılık

Asimetrik bağıntılılık, pozitif ve negatif şokların etkilerini ayrı ayrı inceleyerek bağıntılılığın piyasa şoklarına nasıl tepki verdiğini belirler (Adekoya vd., 2022) . Pozitif ve negatif volatilité yayılmaları için ayrı bağıntılılık endeksleri hesaplanarak piyasa duyarlılığının ayrıntılı bir görünümü sağlanır.

Bu metodoloji, çalışmadaki dinamik ilişkilerin detaylandırılmasına olanak tanımakta ve TVPVAR modeline dayalı olarak pozitif ve negatif şokların bağıntılılık üzerindeki etkisinin anlaşılmasına yardımcı olmaktadır.

4.4. Minimum Varyans Portföyü (MVP)

Minimum varyans portföyü, portföydeki toplam oynaklığı (riski) en aza indirecek ağırlıkları belirler Markowitz (1959). Ağırlıklar, her bir varlık için varyans ve kovaryans matrisi kullanılarak hesaplanır.

$$\omega_t^{MVP} = \frac{\Sigma_t^{-1} I}{I' \Sigma_t^{-1} I} \quad (5)$$

Burada ω_t^{MVP} portföy ağırlıklarını, Σ_t $k \times k$ boyutunun t dönemindeki varyans-kovaryans matrisini ve I birim vektörü göstermektedir. Bu denklem, toplam varyansı minimize edecek şekilde her bir varlığa uygun ağırlıkların atanmasını sağlar.

4.5. Minimum Korelasyon Portföyü (MCP)

Minimum korelasyon portföyü, portföy ağırlıklarını bireysel varlıklar arasındaki korelasyonları en aza indirecek şekilde belirler (Christoffersen vd., 2014) . Bu yöntemde ağırlıklar korelasyon matrisi kullanılarak belirlenir. Bu yapı hesaplanırken öncelikli korelasyon matrisi R_t Denklem 5'teki gibi tanımlanır.

$$R_t = \text{diag}(\Sigma_t)^{-0.5} \Sigma_t \text{diag}(\Sigma_t)^{-0.5} \quad (6)$$

Burada minimum korelasyon portföyünün ağırlıkları Denklem 6 ile elde edilir:

$$\omega_t^{MCP} = \frac{R_t^{-1}I}{I'R_t^{-1}I} \quad (7)$$

Burada , R_t t döneminde $k \times k$ büyüklüğünün koşullu korelasyon matrisidir. Diğer değişkenler MVP için kullanılanlarla aynıdır.

4.6. Minimum Bağlantılılık Portföyü (MCoP)

Minimum Bağlantılılık Portföyü, varlıklar arasındaki çift yönlü bağlantılılık endekslerini en aza indirmek için oluşturulur. Bu yöntem, sistemdeki diğer varlıklardan en az etkilenen veya diğer varlıklar üzerinde en az etkiye sahip olan varlıklara daha fazla ağırlık verir. İkili bağlantılılık endeksi matrisi(PCI_t)Denklem 7 ile tanımlanır (Broadstock vd., 2020) :

$$PCI_t = [\Phi_{gij,t}(H)] \quad (8)$$

Denklem 7'deki matris kullanılarak, minimum bağlantılılık portföyünün ağırlıkları Denklem 8 ile belirlenir:

$$\omega_t^{MCoP} = \frac{PCI_t^{-1}I}{I'PCI_t^{-1}I} \quad (9)$$

Burada PCI_t her bir varlık çifti arasındaki dinamik bağlantılılık endeksinin $k \times k$ matrisidir. Bu yöntem, en az bağlantılı varlıklara daha yüksek ağırlıklar atayarak portföydeki sistemik risk etkilerini azaltmayı amaçlamaktadır.

4.7. Riskten Korunma Etkinliği (HE)

Riskten korunma etkinliği, bir portföydeki risk azaltma etkinliğini ölçmek için kullanılır. Bu metrik, portföydeki risk azaltma oranını ifade eder ve aşağıdaki şekilde hesaplanır (Antonakakis vd., 2020) :

$$HE_i = 1 - \frac{\text{Var}(r_p)}{\text{Var}(r_i)} \quad (10)$$

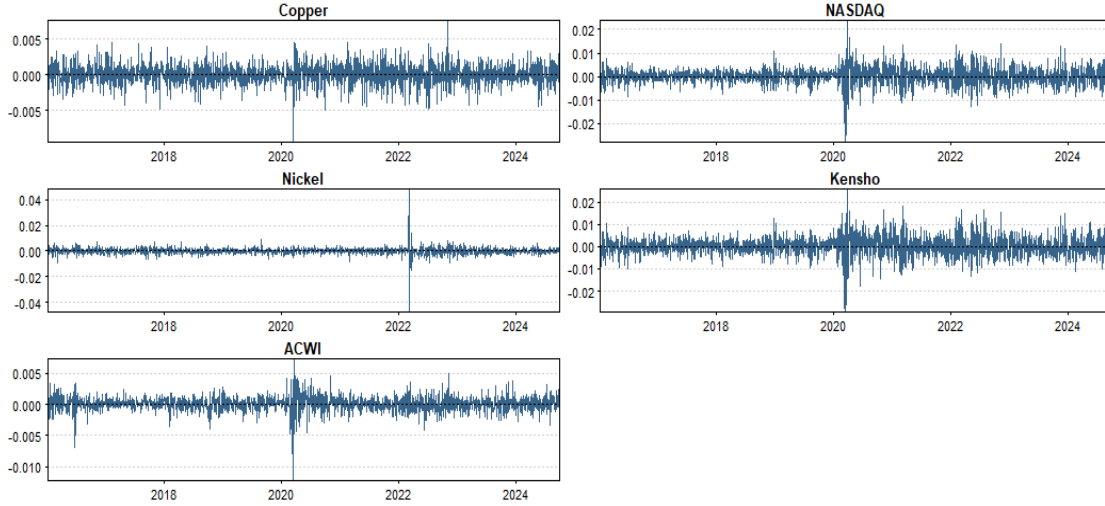
Burada $\text{Var}(r_p)$ portföydeki getirilerin varyansı ve $\text{Var}(r_i)$ hedge edilecek getirilerin varyansıdır. Ayrıca, HE metriği yüksek bir hedge etkinlik oranının (1'e yakın) portföy riskini etkili bir şekilde azalttığını göstermektedir.

5. VERİ

Bu çalışmada Ocak 2015 ile Eylül 2024 arasındaki döneme ait günlük veriler kullanılmıştır. Bu dönem, sürdürülebilir enerjiye geçişin hızlandığı ve küresel ekonomik ve jeopolitik olayların yenilenebilir enerji yatırımlarını etkilediği bir dönem olduğu için seçilmiştir. Yeşil teknoloji endeksleri (MSCI ACWI Sustainable Impact, NASDAQ Clean Edge Green Energy, S&P Kensho Cleantech) ve stratejik metaller olan bakır ve nikel fiyatları analize dahil edilmiştir. Veriler MSCI, S&P ve Investing.com gibi güvenilir kaynaklardan temin edilmiştir.

Çalışmada kullanılan veri seti, durağanlığın sağlanması için logaritmik dönüşüm ve birim kök testlerine tabi tutulmuştur. Bu hazırlık işlemleri zaman serilerindeki trend ve mevsimsellik etkilerini ortadan kaldırmakta ve TVP-VAR modeli ile dinamik analiz için uygun bir temel sağlamaktadır. Veri seti, yeşil teknoloji endeksleri ve metal piyasaları arasındaki asimetrik ve zamanla değişen ilişkileri tam olarak araştırmak için yeterli genişlikte ve kalitededir.

Şekil 1: Değişkenlerin Getirileri



Şekil 1, yeşil teknoloji endekslerinin zaman içindeki getirilerini göstermektedir. MSCI ACWI Sustainable Impact, NASDAQ Clean Edge Green Energy ve S&P Kensho Cleantech endekslerinin getiri performansı, sürdürülebilir teknoloji yatırımlarındaki değişiklikleri yansıtmaktadır. Şekil 1, endeks getirilerinin belirli dönemlerde oldukça değişken olduğunu ve zaman zaman büyük dalgalanmalar gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu dalgalanmalar, yeşil teknolojiye yönelik yatırım iştahının küresel ekonomik koşullar, yeşil enerjiye yönelik talepteki artış veya düşüşler, pandeminin piyasa etkisi ve 2022'deki Rusya-Ukrayna savaşı nedeniyle dönemsel olarak değişebileceğini yansıtmaktadır. Şekil 1, yeşil enerji endekslerinin yüksek getiri potansiyeline sahip olmakla birlikte, ekonomik ve jeopolitik faktörlerden büyü ölçüde etkilendiğini göstermektedir.

Tablo 1'de sunulan istatistikler bakır, nikel ve üç farklı yeşil teknoloji endeksinin (ACWI, NASDAQ ve Kensho) temel özelliklerini göstermektedir. Ortalamalar, tüm değişkenlerin pozitif olduğunu ve en yüksek ortalamanın Kensho endeksi için (%0,051) olduğunu göstermektedir. Varyans açısından nikel (%7,921) en yüksek değere sahiptir ve en oynak varlık olduğunu göstermektedir. Çarpıklık ve basıklık analizleri nikelin pozitif bir çarpıklığa (%2,526) ve son derece yüksek bir basıklığa (%155,271) sahip olduğunu, diğer değişkenlerin ise genellikle negatif çarpık olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar, özellikle nikel için aykırı değerlerin varlığına işaret etmektedir. Jarque-Bera (JB) test sonuçlarına göre, tüm değişkenler normal dağılımdan önemli ölçüde sapmaktadır. Birim kök testi (ERS) sonuçları verilerin durağan olduğunu göstermektedir. Ayrıca, otoregresif korelasyon testleri (Q ve Q2) nikel ve yeşil teknoloji endeksleri için önemli otokorelasyon kalıntıları ortaya koymuştur. Bu istatistikler, nikelin yüksek volatilité ve uç değer özellikleri nedeniyle risk yönetiminde özel dikkat gerektirdiğini, yeşil teknoloji endekslerinin ise daha istikrarlı bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 1: Tanımlayıcı İstatistikler

	Copper	Nickel	ACWI	NASDAQ	Kensho
Mean	0.035	0.033	0.039	0.037	0.051
Variance	1.545	7.921	0.722	4.753	6.231
Skewness	-0.207*** (0.000)	2.526*** (0.000)	-0.718*** (0.000)	-0.275*** (0.000)	-0.125** (0.016)
Ex.Kurtosis	1.903*** (0.000)	155.271*** (0.000)	9.036*** (0.000)	4.345*** (0.000)	3.795*** (0.000)
JB	349.092*** (0.000)	2221377.880*** (0.000)	7704.210*** (0.000)	1765.415*** (0.000)	1331.561*** (0.000)
ERS	-11.609 (0.000)	-22.166 (0.000)	-19.111 (0.000)	-20.862 (0.000)	-19.27 (0.000)
Q(20)	13.891 (0.176)	87.063*** (0.000)	75.852*** (0.000)	47.077*** (0.000)	28.758*** (0.000)
Q ² (20)	85.344*** (0.000)	1265.561*** (0.000)	847.979*** (0.000)	1211.330*** (0.000)	998.373*** (0.000)
Kendall	Copper	Nickel	ACWI	NASDAQ	Kensho
Copper	1.000***				
Nickel	0.366***	1.000***			
ACWI	0.249***	0.181***	1.000***		
NASDAQ	0.183***	0.118***	0.422***	1.000***	
Kensho	0.158***	0.100***	0.373***	0.727***	1.000***

Notlar: Çarpıklık: D'Agostino(1970) testi; Basıklık: Anscombe ve Glynn(1983) testi; JB: Jarque ve Bera(1980) normallik testi; ERS: Elliott ve ark.(1996) birim kök testi; $Q(20)$ ve $Q^2(20)$: Fisher ve Gallagher(2012) ağırlıklı Portmanteau test istatistikleri. Parantez içindeki değerler p değerlerini temsil etmektedir. Ayrıca, ** 0.05 ve *** 0.01 olarak anlamlılığı göstermektedir.

Tablo 1'deki korelasyon analizine göre, bakır, nikel ve yeşil teknoloji endeksleri arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak anlamlıdır ve piyasalar arasındaki bağlantılılık derecesini göstermektedir. Bakır ve nikel arasında %36,6'lık güçlü ve pozitif bir korelasyon vardır. Bu, her iki metalin de benzer piyasa dinamiklerinden etkilendiğini göstermektedir. Bakırın yeşil teknoloji endeksleriyle korelasyonu düşük ila orta düzeydedir; ACWI (%24,9), NASDAQ (%18,3) ve Kensho (%15,8) ile. Nikelin bu endekslerle korelasyonu ACWI (%18,1), NASDAQ (%11,8) ve Kensho 10,0 ile daha zayıftır. Yeşil teknoloji endeksleri arasında NASDAQ ve Kensho yüksek korelasyona sahiptir (%72,7), bu da bu iki endeksin benzer dinamiklerle hareket ettiğini göstermektedir. ACWI'nin diğer iki endekse korelasyonu NASDAQ ile %42,2 ve Kensho ile %37,3 ile daha düşüktür. Genel olarak, bakır ve nikelin yeşil teknoloji endeksleriyle olan düşük korelasyonu, bu metallerin portföy çeşitlendirmesi için uygun olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda, yeşil teknoloji endeksleri arasındaki yüksek korelasyon, bu endekslerin yatırımcılar için birbirlerine benzer şekilde davranabileceğini göstermektedir.

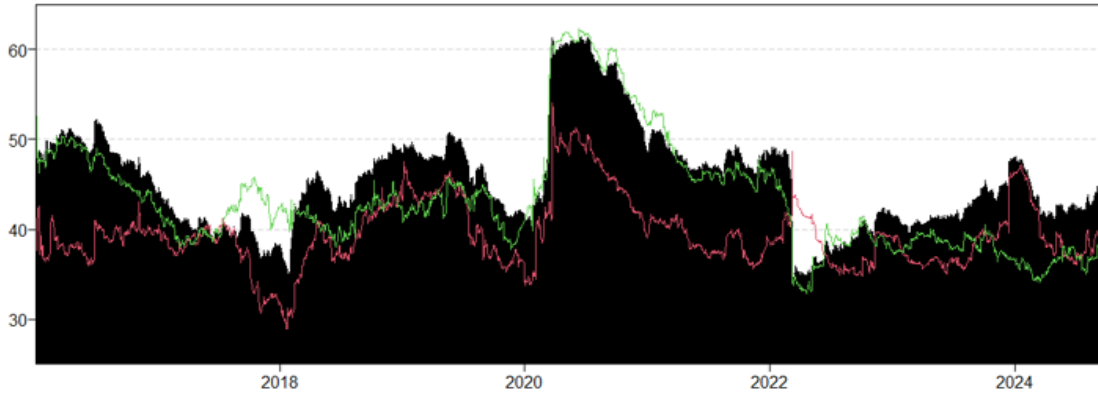
6. AMPİRİK BULGULAR

Bu bölümde asimetrik TVP-VAR modeli kullanılarak yeşil teknoloji endeksleri ile bakır ve nikel piyasaları arasındaki dinamik bağlantı analiz edilmektedir. Asimetrik TVP- VAR modeli, piyasa etkileşimlerinin zamanla değişen asimetrik doğasını etkili bir şekilde incelemektedir; bu nedenle, çalışma dönemi boyunca ekonomik ve jeopolitik olayların yarattığı dengesizliklerin bağlantılılık ilişkileri üzerindeki etkisini analiz etmek için bu model seçilmiştir. Model, piyasa etkileşimlerinin yönünü ve güçlenme ya da zayıflama eğilimlerini ortaya koymaktadır. Çalışmanın ampirik sonuçları, yeşil enerjiye yönelik artan talep, küresel ekonomik belirsizlikler ve özellikle pandemi gibi dışsal şokların bakır ve nikel piyasaları ile yeşil teknoloji endeksleri arasındaki ilişkiler üzerinde asimetrik ve değişken etkilere sahip olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, sürdürülebilir enerji yatırımlarının finans ve emtia piyasaları üzerindeki uzun vadeli etkisini anlamak ve ilgili piyasa katılımcılarına strateji bilgi sağlamak açısından önemlidir.

Tablo 2: Ortalama Bağlantılılık

	Copper	Nickel	ACWI	NASDAQ	Kensho	FROM
Copper	65.13	15.92	8.67	5.83	4.45	34.87
Nickel	16.9	71.78	4.97	3.14	3.21	28.22
ACWI	6.37	3.49	49.97	22.03	18.14	50.03
NASDAQ	3.65	1.92	17.51	42.52	34.4	57.48
Kensho	2.82	2	14.92	35.85	44.4	55.6
TO	29.75	23.33	46.07	66.8	60.19	226.2
Inc.Own	94.88	95.11	96.04	109.37	104.6	TCI/TCI
						56.55/45.2
NET	-5.12	-4.89	-3.96	9.37	4.6	4

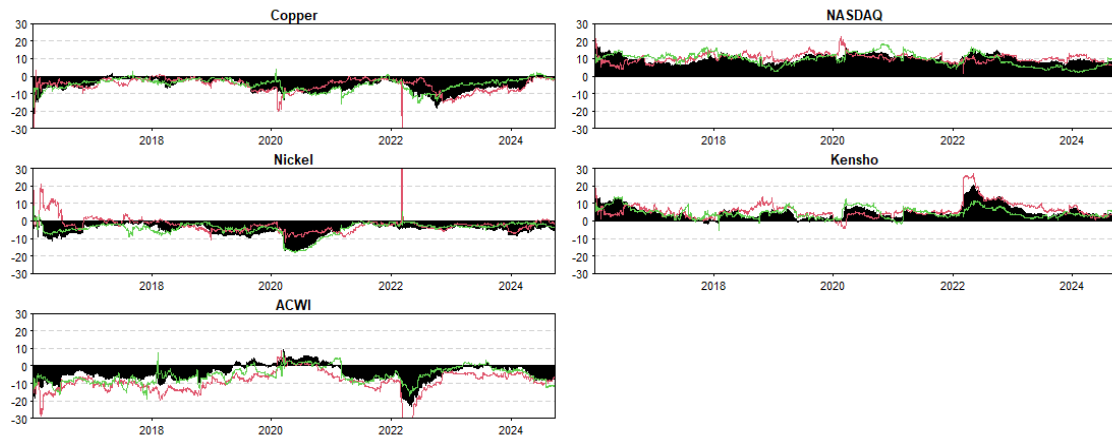
Tablo 2 yeşil teknoloji endeksleri (MSCI ACWI Sustainable Impact Index, NASDAQ Clean Edge Green Energy, S&P Kensho Cleantech) ile bakır ve nikel arasındaki ortalama bağlantılılığı göstermektedir. Sonuçlar, temiz enerji endekslerinin diğer varlıklar üzerinde özellikle yüksek bir etkiye sahip olduğunu gösterirken, bakır ve nikel gibi emtiaların bu endekslerden daha fazla etkilendiğini göstermektedir. NASDAQ Clean Edge Green Energy ve S&P Kensho Cleantech endekslerinin yüksek "TO" değerleri, yeşil teknoloji yatırımlarındaki artışın bakır ve nikel gibi emtia piyasalarını etkilediğini göstermektedir. Bakır ve nikel gibi metaller elektrikli araçlar, güneş panelleri ve rüzgar türbinleri gibi temiz enerji ürünlerinin temel bileşenleri olduğundan, bu etkileşim yeşil teknolojiye yönelik artan taleple doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle, yeşil teknoloji endekslerinin daha baskın konumu, bu endekslere yönelik talepteki değişikliklerin bakır ve nikel gibi temel emtialar üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Şekil 2: Dinamik Toplam Bağlantılılık

Notlar: Sonuçlar, bir gecikme uzunluğuna sahip TVP-VAR modeline (BIC) ve 20 adım ileriye dönük genelleştirilmiş tahmin hatası varyans ayırıştırmasına dayanmaktadır. Siyah alan simetrik toplam bağlantılılığı temsil ederken, yeşil ve kırmızı çizgi sırasıyla pozitif ve negatif toplam bağlantılılığı göstermektedir. Diğer Şekillerde de benzer adımlar izlenmiştir.

Şekil 2, yeşil teknoloji endeksleri ile bakır ve nikel piyasaları arasındaki toplam bağlantılılık seviyesindeki döngüsel değişiklikleri göstermektedir. Sonuçlar, özellikle 2018-2020 döneminde pozitif bağlantılılık seviyesinde önemli bir artış olduğunu göstermektedir. Bu artış, yenilenebilir enerji talebindeki artış ve elektrikli araç projelerinin hızlanması nedeniyle bakır ve nikel fiyatları üzerindeki etkinin yoğunlaşmasıyla ilişkilidir. Ancak, COVID-19 salgınının başlamasıyla birlikte, ekonomik belirsizlikler nedeniyle bu bağlantılılık zayıflamakta ve azalmaktadır.

2020-2022 döneminde, pandeminin devam eden etkileri ve küresel tedarik zinciri sorunları nedeniyle, metal fiyatları yeşil teknoloji endekslerinden daha bağımsız hareket etmiştir. Bu da ikili etkileşimlerin azalmasına yol açmıştır. 2022-2024 döneminde, enerji güvenliğine ilişkin endişelerin artması ve yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımların hızlanmasıyla bağlantılılık tekrar artmıştır. Siyah alanın genişlemesi, piyasa dinamiklerinin senkronize olmadığını ve yeşil enerji yatırımlarının bu metaller üzerindeki etkisinin arttığını göstermektedir.

Şekil 3: Dinamik Net Toplam Yönlü Bağlantılılık

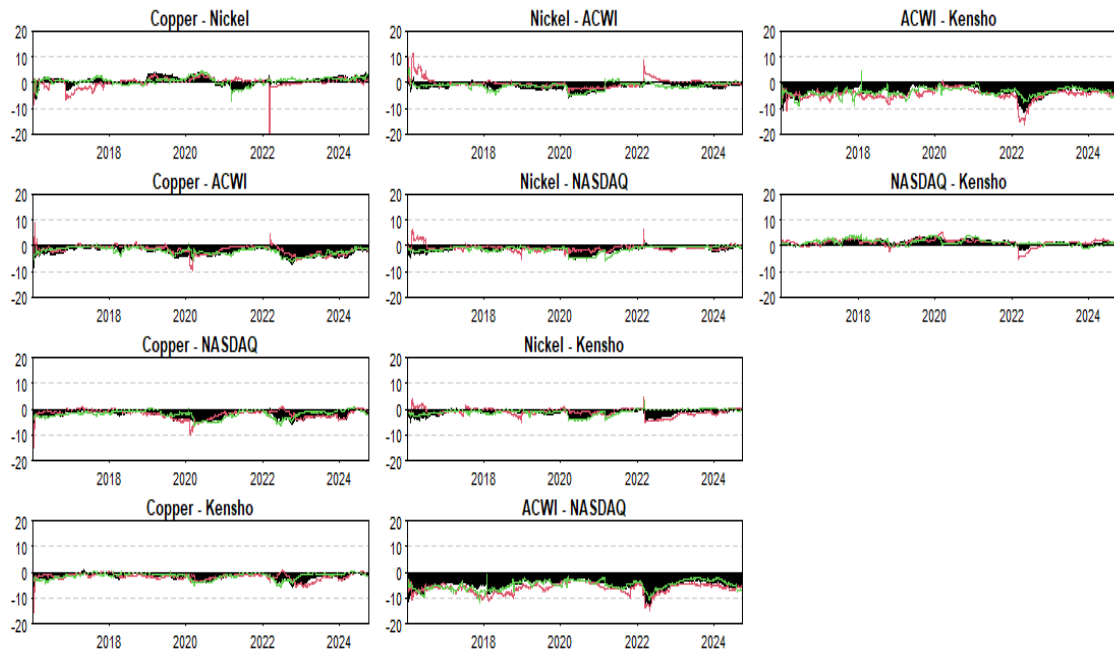
Şekil 3, yeşil teknoloji endeksleri ile bakır ve nikel piyasaları arasındaki genel net yönlü bağlantının dinamiklerini detaylandırmaktadır. Pozitif bağlantılılık (yeşil çizgi) ve negatif bağlantılılık (kırmızı çizgi) piyasa koşullarına göre değişmektedir. 2018'den 2020'ye kadar,

yenilenebilir enerji projelerinin hızlanması ve elektrikli araçlara yönelik artan talep, pozitif bağlantılılık etkisinin baskın olmasına yol açmıştır. Bu dönemde bakır ve nikel fiyatları yeşil teknoloji endeksine paralel olarak artmış ve piyasa bağlantılılığını güçlendirmiştir.

2020'den 2022'ye kadar, ekonomik belirsizlikler ve küresel tedarik zinciri sorunları nedeniyle bu bağlantı zayıflamış ve negatif bağlantı etkisi (kırmızı çizgi) ön plana çıkmıştır. Bu dönemde bakır ve nikel fiyatları yeşil teknoloji endekslerinden daha bağımsız hareket etmiştir. Ancak 2022 sonrası Rusya-Ukrayna savaşı gibi küresel gelişmeler enerji güvenliğine ilişkin endişeleri artırmış ve yenilenebilir enerji yatırımlarını hızlandırmıştır. Bu süreçte pozitif korelasyon etkisi baskın hale gelirken, özellikle 2022 yılında bakır ve nikel için kırmızı çizgide önemli bir şişkinlik görülmektedir. Bu şişkinlik, enerji krizinin metal piyasalarında yol açtığı geçici arz sıkıntılarına ve bağımsız fiyat dalgalanmalarına bağlanabilir.

Şekil, yeşil enerji geçişinin ve dışsal ekonomik şokların bakır ve nikel gibi stratejik metaller üzerindeki etkisinin asimetrik olduğunu ve dönemsel olarak farklılaştığını göstermektedir. Bu bulgular, yeşil enerji endeksleri ile metal piyasaları arasındaki karmaşık ve dinamik ilişkilere dair önemli bilgiler sunmakta ve sürdürülebilir finansal piyasalarda stratejik karar alma süreçlerine katkıda bulunmaktadır.

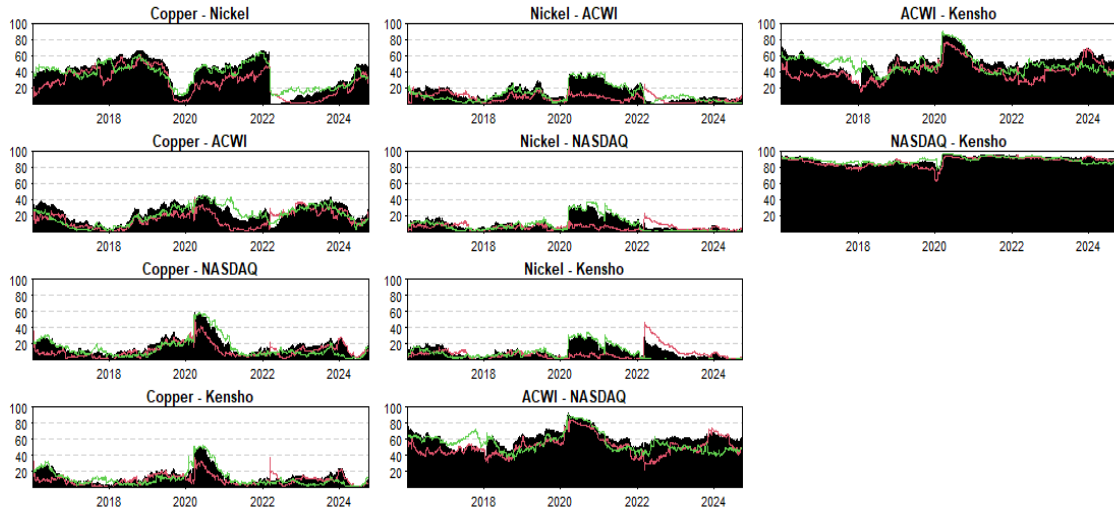
Şekil 4: Dinamik Ağ Çift Yönlü Bağlantılılık



Şekil 4, bakır ve nikelin yeşil teknoloji endeksleri ile net çift yönlü bağlantısının dinamiklerini ve bu ilişkilerin şokların yönüne göre nasıl farklılaştığını göstermektedir. 2018–2020 döneminde, artan yenilenebilir enerji projeleri ve elektrikli araç üretimi, bakır ve nikelin yeşil teknoloji endeksleriyle güçlü ve pozitif bir bağlantı içinde hareket etmesine neden olmuştur. Bu süreçte nikelin elektrikli araç bataryalarındaki, bakırın ise enerji altyapısındaki kritik rolü fiyatları doğrudan etkilemiş ve endekslerle senkronize bir seyir yaratmıştır. Ancak 2020'ye yaklaşırken COVID-19 salgınının etkisiyle bu pozitif bağlantı zayıflamış, metaller endekslerden daha bağımsız hareket etmeye başlamıştır. Bu durum, negatif şokların (pandemi, tedarik zinciri kesintileri, jeopolitik riskler) bağlantılılığı zayıflattığını göstermektedir. Buna karşılık, 2022–2024 döneminde enerji

güvenliği endişelerinin artmasıyla pozitif şokların (yeşil enerji teşvikleri, yatırım fonlarının genişlemesi) etkisi belirginleşmiş ve metaller ile yeşil endeksler arasındaki bağlantı yeniden güçlenmiştir. Bu bulgular, Adekoya vd. (2022)'nin kriz dönemlerinde artan asimetrik etkileşimleri ortaya koyan çalışmalarıyla tutarlıdır. Ancak bu çalışma, özgün olarak, yeşil enerji endeksleri ile stratejik metaller arasındaki ayrışma ve yakınsama dinamiklerini asimetrik bir perspektifle inceleyerek literatüre katkı sağlamaktadır.

Şekil 5: Dinamik Çift Yönlü Bağlantılılık



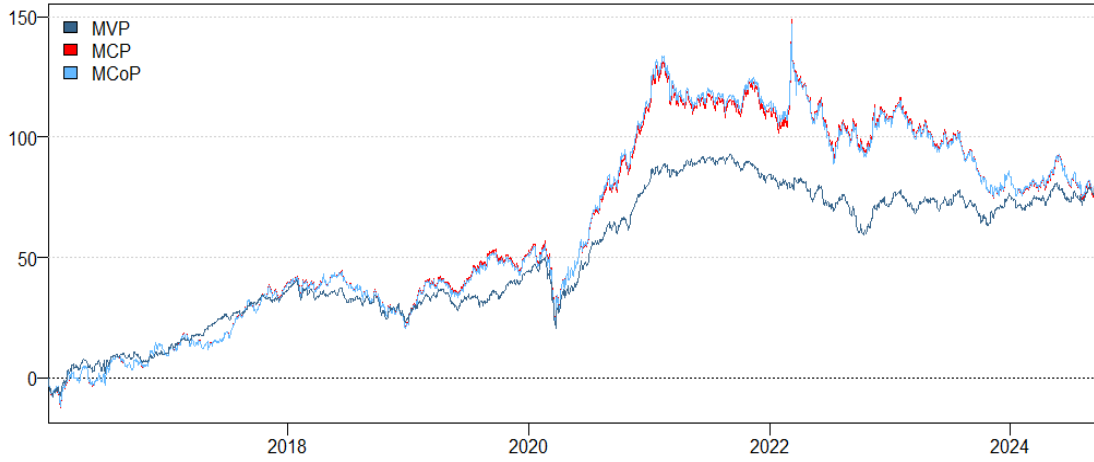
Şekil 5, yeşil teknoloji endeksleri ile bakır ve nikel arasındaki çift yönlü bağlantılılık düzeyini göstermektedir. 2018'den 2020'ye kadar, yenilenebilir enerji projelerindeki ve elektrikli araç üretimindeki artış, metallerin yeşil teknoloji endeksleriyle birlikte hareket etmesine neden olarak pozitif bağlantılılık etkisini vurgulamaktadır (yeşil çizgi). Bu dönemde, metallerin yeşil enerji projelerindeki stratejik rolü, fiyatlarını endekslerdeki değişikliklere duyarlı hale getirmiştir. 2020-2022 döneminde, küresel tedarik zinciri sorunları ve pandeminin neden olduğu ekonomik belirsizlikler nedeniyle negatif bağlantılılık (kırmızı çizgi) artmıştır. Bu durum, metal fiyatlarının yeşil teknoloji endekslerinden daha bağımsız hareket etmeye başladığını ve küresel piyasa koşullarından daha fazla etkilendiğini göstermektedir. 2022 sonrasında enerji güvenliği endişelerinin artması ve yenilenebilir enerji yatırımlarının ivme kazanmasıyla bağlantılılıkları yeniden güçlenmiştir. Bakır ve nikel fiyatları, özellikle enerji projelerine yönelik artan talep nedeniyle yeşil teknoloji endeksleriyle daha senkronize hale gelmiştir. Şekil, piyasa koşullarına ve bakır ve nikelin yeşil enerji yatırımlarına olan duyarlılığına bağlı olarak bağlantılılık dinamiklerinin döngüselliğini açıkça göstermektedir.

Tablo 3: Portföy Analizi

MVP	Mean	Std.Dev.	0.05	0.95	HE
Copper	0.16	0.07	0.06	0.3	0.6
Nickel	0.01	0.02	0.00	0.06	0.92
ACWI	0.81	0.09	0.62	0.93	0.14
NASDAQ	0.00	0.01	0.00	0.02	0.87
Kensho	0.01	0.02	0.00	0.05	0.90
MCP					
Copper	0.23	0.03	0.17	0.28	-0.36
Nickel	0.28	0.06	0.18	0.35	0.73
ACWI	0.17	0.04	0.1	0.26	-1.91
NASDAQ	0.07	0.07	0.00	0.21	0.56
Kensho	0.25	0.10	0.00	0.40	0.66
MoPC					
Copper	0.24	0.03	0.19	0.28	-0.29
Nickel	0.27	0.05	0.18	0.34	0.75
ACWI	0.18	0.04	0.12	0.26	-1.75
NASDAQ	0.05	0.06	0.00	0.17	0.58
Kensho	0.25	0.09	0.09	0.40	0.68

Tablo 3, yeşil teknoloji endeksleri ile bakır ve nikel arasındaki dinamikleri minimum varyans portföyü (MVP), minimum korelasyon portföyü (MCP) ve minimum bağlantılılık portföyü (MoPC) analizlerine dayanarak portföy perspektifinden tartışmaktadır. Sonuçlar, yeşil teknoloji endekslerinin portföylerde yüksek ağırlığa sahip olduğunu ve düşük varyans katkılarıyla risk azaltmada önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Özellikle MSCI ACWI Sürdürülebilir Etki Endeksi MVP ve MCP stratejilerinde belirleyici olarak öne çıkarken, NASDAQ Clean Edge Yeşil Enerji ve S&P Kensho Cleantech Endeksi daha düşük ağırlıklarla destekleyici rol oynamaktadır. Bakır ve nikel, portföylerde tamamlayıcı unsurlar olarak düşük ağırlığa sahip olmakla birlikte, yüksek korunma etkinliği oranlarıyla korunma stratejilerine önemli katkılarda bulunmaktadır. Nikelin MCP stratejisindeki yüksek ağırlığı, özellikle pil teknolojilerinde artan talep nedeniyle öneminin altını çizmektedir. MoPC analizinde bakır ve nikel, yeşil teknoloji endeksleriyle olan bağlantıyı en aza indirmeye yardımcı olur ve portföy çeşitlendirmesi için stratejik değer sağlar.

Sonuç olarak, portföy analizi yeşil enerji endekslerinin düşük riskli, yüksek getirili bir yapı sunduğunu, bakır ve nikelin ise bu endekslerle düşük korelasyonu nedeniyle çeşitlendirme ve risk yönetimi faydaları sunduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar, sürdürülebilir finansal portföylerin risk azaltma ve stratejik çeşitlendirme için uygun olduğunu göstermektedir.

Şekil 6: Özkaynak Hatları

Notlar: Seriler portföy getirilerinin kümülatif toplamını göstermektedir. MVP minimum varyans portföyünü (Markowitz, 1959), MCP minimum korelasyon portföyünü (Christoffersen vd., 2014) ve MCoP minimum bağlantılılık portföyünü (Broadstock vd., 2020) ifade etmektedir.

Şekil 6, minimum varyans portföyü (MVP), minimum korelasyon portföyü (MCP) ve minimum bağlantılılık portföyü (MCoP) stratejilerine dayalı portföylerin kümülatif getirilerini karşılaştırmaktadır. Sonuçlar, MCoP'nin diğer stratejilere kıyasla daha dengeli ve istikrarlı bir getiri modeli sağladığını göstermektedir. Bu durum, MCoP'nin yeşil teknoloji endekslerindeki yüksek ağırlıkları optimize ederek oynaklığı azaltma kabiliyetini yansıtmaktadır. MVP ve MCP stratejileri daha yüksek getiri volatilesine sahiptir. MVP düşük varyanslı bir yapı sunarak riski en aza indirmeyi amaçlarken, MCP stratejisi varlıklar arasındaki korelasyonu azaltarak portföy çeşitlendirmesini artırır. Bununla birlikte, her iki strateji de yeşil teknoloji endekslerinin merkezi rolünü, özellikle de yenilenebilir enerji yatırımlarının sürdürülebilir getiri sağlamadaki etkisini vurgulamaktadır. Şekil 6, yeşil teknoloji endeksleri ile bakır ve nikelin farklı ancak tamamlayıcı portföy rolleri oynadığını göstermektedir. Yeşil teknoloji endeksleri düşük varyans katkılarıyla portföylerde istikrar sağlarken, bakır ve nikel çeşitlendirme stratejilerinin kritik bir unsuru olarak dalgalı piyasa koşullarında koruma sağlamaktadır. Bu sonuçlar, sürdürülebilir enerji yatırımlarının sadece çevresel açıdan değil finansal açıdan da stratejik değere sahip olduğunu göstermektedir.

6.1. Bulguların değerlendirilmesi

Bu çalışma yeşil teknoloji endeksleri ile bakır ve nikel piyasaları arasındaki dinamik ve asimetric ilişkileri analiz etmektedir. Sonuçlar, yeşil teknoloji endeksleri ile bakır ve nikel piyasaları arasındaki bağlantının yenilenebilir enerji yatırımları ve projeleri arttığında önemli ölçüde güçlendiğini göstermektedir. Bu ilişki, yenilenebilir enerji teknolojilerinde kritik hammadde olarak metallerin rolü ile açıklanabilir. Bakır ve nikelin elektrikli araçlar, güneş panelleri ve rüzgar türbinleri gibi yeşil enerji uygulamalarında yaygın olarak kullanılması, fiyatlarının yeşil teknoloji endekslerindeki değişikliklere duyarlılığını artırmıştır.

Dinamik bağlantılılık analizi, piyasa koşullarındaki değişikliklerin bu bağlantılılığı etkilediğini göstermiştir. Pandemi gibi küresel şoklar sırasında, metal fiyatları yeşil teknoloji endekslerinden bağımsız olarak hareket etmekte ve negatif bağlantılılık artmaktadır. Bu durum, ekonomik belirsizliklerin ve tedarik zinciri sorunlarının piyasa ilişkileri üzerindeki asimetric etkisini

yansıtmaktadır. Öte yandan, enerji güvenliği endişelerinin arttığı ve yenilenebilir enerji projelerinin hızlandığı dönemlerde, pozitif bağlantılılık derecesi tekrar artmaktadır. Bu durum, metal fiyatlarının yeşil enerji endekslerindeki talep değişimlerine paralel hareket ettiğini göstermektedir.

Portföy analizi, yeşil teknoloji endekslerinin düşük riskli, yüksek getirili portföylerin merkezinde yer aldığını, bakır ve nikelin ise düşük korelasyonlu çeşitlendirme stratejileri için önemli tamamlayıcılar olduğunu göstermiştir. Özellikle, minimum bağlantılılık portföyü (MCoP) analizi, bu metallerin oynaklığı azaltmaya ve portföy istikrarını artırmaya yardımcı olduğunu göstermektedir.

Genel olarak, bu bulgular yeşil enerji yatırımlarının finansal piyasalar ve emtia fiyatları üzerindeki asimetrik etkisini anlamak için değerli bir çerçeve sunmaktadır. Yeşil teknoloji endeksleri ve metal piyasaları arasındaki dinamik ilişkiler, sürdürülebilir enerji projelerinin ekonomik etkisini ve finansal piyasalar için stratejik önemini vurgulamaktadır. Bu değerlendirme, yatırımcıların ve politika yapıcıların sürdürülebilir enerjiye geçişin risk ve fırsatlarını anlamaları için önemli bilgiler sağlamaktadır.

7. TARTIŞMA

Bu çalışmanın sonuçları, yeşil teknoloji endeksleri ile bakır ve nikel arasındaki dinamik ve asimetrik bağlantıyı ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, mevcut literatürle hem örtüşen hem de ayrışan yönleri sahiptir. Kriz dönemlerinde bağlantılılığın artması ve piyasa ilişkilerinin yoğunlaşması sonucu, Diebold ve Yılmaz'ın (2009, 2012) küresel piyasa spillover bulguları ile uyumludur. Benzer şekilde, Adekoya ve arkadaşlarının (2022) enerji-finans piyasaları arasındaki asimetrik etkileşimleri ortaya koyan çalışmaları, bu araştırmanın kriz dönemlerinde artan negatif bağlantılılık ve pozitif şoklarda güçlenen yakınsama bulgularını desteklemektedir. Mevcut literatürden farklı olarak bu çalışma, yeşil enerji endeksleri ile stratejik metaller arasındaki ilişkiyi sürdürülebilirlik perspektifiyle ele alarak özgün bir katkı sunmaktadır. Literatürde çoğunlukla enerji-finans veya genel emtia-endeks ilişkilerine odaklanılırken, bu çalışma TVP-VAR tabanlı asimetrik bağlantılılık yaklaşımı ile hem zamana bağlı hem de şok bazlı etkileşimleri ayrıntılı biçimde incelemektedir. Bu açıdan, stratejik metallerin yeşil dönüşüm sürecindeki finansal önemini açıklayan öncü bir çalışma niteliği taşımaktadır.

Portföy analizi, yeşil teknoloji endekslerinin düşük varyans ve yüksek riskten korunma etkinliği ile portföy çeşitlendirmesinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Bakır ve nikelin düşük korelasyon yapısı, bu metallerin yatırım portföylerinde hedge işlevi gördüğünü kanıtlamaktadır. Özellikle yeşil enerji endekslerine odaklanan portföylerde bakır ve nikelin tamamlayıcı rolü, sürdürülebilir yatırım stratejilerinde stratejik bir denge sağlamaktadır.

Politika yapıcılar açısından ise, sürdürülebilir enerji teknolojilerine yönelik artan talep metal arz güvenliğini kritik bir mesele haline getirmektedir. Bakır ve nikel için arz-talep dengesinin korunması, bu metallerin yenilenebilir enerji projelerindeki stratejik rollerini sürdürebilmeleri için elzemdir. Bu bağlamda, uzun vadeli tedarik planlaması, uluslararası iş birliği ve geri dönüşüm kapasitesinin artırılması, sürdürülebilir enerjiye sorunsuz bir geçiş katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak, yeşil teknoloji endeksleri ve metaller arasındaki ilişkilerin asimetrik yapısı, sürdürülebilir enerjiye geçişin finansal piyasalar ve metal piyasaları üzerinde derin etkileri olduğunu göstermektedir. Bu kapsamlı bulgular, hem yatırımcılar hem de politika yapıcılar için stratejik rehberlik sağlamaktadır.

8. ÖNERİLER

Bu çalışma, yeşil teknoloji endeksleri ile bakır ve nikel piyasaları arasındaki bağlantıyı vurgulamakta ve sürdürülebilir enerjiye geçiş için somut politika ve uygulama önerileri sunmaktadır. İlk olarak, elektrikli araç şarj altyapısının genişlemesiyle bakır talebinin artacağı göz önüne alındığında, bu alanda yerel üretim ve geri dönüşüm kapasitesinin artırılması kritik önem taşımaktadır. Şarj istasyonlarında kullanılan bakırı azaltan alternatif iletken malzemeler geliştirmek için kamu-özel sektör ortaklıkları teşvik edilmelidir. Ayrıca, bu altyapılarda kullanılan metallerin geri kazanım oranlarını artırmak için zorunlu geri dönüşüm hedefleri belirlenebilir. Bu bağlamda, atık elektrikli ekipmanlardan bakır ve nikelin geri kazanılması için yüksek teknolojili geri dönüşüm süreçlerinin desteklenmesi çok önemlidir.

Metal fiyatlarındaki dalgalanmaların yenilenebilir enerji projeleri için bütçe belirsizlikleri yarattığı bulgusu, bu alanda yeni risk yönetimi araçlarının geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Örneğin, metal fiyatlarına dayalı uzun vadeli vadeli sözleşmelerin kullanımı teşvik edilebilir ve küçük ve orta ölçekli projeler için bu mekanizmalara erişimi kolaylaştırılabilir. Buna ek olarak stratejik enerji projelerinde kullanılan kritik metaller için ulusal düzeyde kamu destekli fiyatlandırma mekanizmalarının devreye sokulması fiyat oynaklığının olumsuz etkilerini azaltabilir.

Geri dönüşüm kapasitesinin artırılması sadece arz güvenliğine değil aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliğe de katkı sağlayacaktır. Bu bağlamda, bakır ve nikel geri dönüşüm teknolojileri için teşvik programları uygulanmalı ve geri dönüşüm süreçlerini optimize etmek için Ar-Ge yatırımları artırılmalıdır. Yerel geri dönüşüm tesislerinin kapasitesinin artırılması ve uluslararası geri dönüşüm standartlarına uyumun sağlanması için mali destek sağlanması, sürdürülebilir metal tedarik zincirlerinin oluşturulmasına katkıda bulunacaktır.

Yenilenebilir enerji projelerinde kullanılan metallerin tedarikini daha şeffaf hale getirmek ve kayıpları önlemek için blok zinciri tabanlı izlenebilirlik sistemleri geliştirilebilir. Bu sistemler, metallerin çıkarılmasından enerji projelerine entegrasyonuna kadar tüm metal tedarik zincirinin izlenmesini sağlayarak tedarik zinciri yönetimini güçlendirecektir. Aynı zamanda, bu metallerin sürdürülebilir ve etik bir şekilde tedarik edildiğini doğrulamak için küresel olarak tanınan sertifikasyon programları uygulanabilir. Bu tür yenilikçi teknolojilerin entegre edilmesi çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliğe katkıda bulunacaktır.

Son olarak, bakır ve nikelin yoğun olarak kullanıldığı yenilenebilir enerji teknolojilerinde alternatif malzemelerin geliştirilmesine ağırlık verilmelidir. Hafif, dayanıklı ve yüksek iletkenliğe sahip malzemelerin araştırılması ve bunların yenilikçi teknolojilere entegre edilmesi metallere olan talebi azaltacak, maliyetleri düşürecek ve arz sorunlarını hafifletecektir. Bu doğrultuda, bu tür teknolojik yeniliklere yönelik Ar-Ge projeleri kamu-özel sektör ortaklıkları yoluyla desteklenmelidir. Metal bağımlılığını azaltan bu tür alternatif yaklaşımlar, sürdürülebilir enerji projelerinin mali ve çevresel yükünü hafifletmek için stratejik bir çözüm sağlayabilir.

9. SONUÇ

Bu çalışma, yeşil teknoloji endeksleri ile bakır ve nikel arasındaki dinamik ve asimetrik bağlantıları inceleyerek sürdürülebilir enerji geçişinin finansal ve emtia piyasalarına etkilerini ortaya koymaktadır. Bulgular, bu iki piyasa arasındaki çift yönlü ilişkilerin zamanla değişen ve şoklara duyarlı bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle yenilenebilir enerji yatırımlarının hızlandığı dönemlerde yeşil endekslerin metal fiyatları üzerinde güçlü etkiler yarattığı, kriz dönemlerinde ise bu bağlantılılığın zayıfladığı sonucuna ulaşılmıştır. Araştırma soruları, elde edilen bulgular ışığında sistematik biçimde cevaplanmıştır. İlk olarak, yeşil enerji

endekslerinin stratejik metaller üzerindeki etkisine ilişkin bulgular, bu endekslerin özellikle pozitif şok dönemlerinde bakır ve nikel fiyatlarını yönlendiren net bir şok yayıcı olduğunu ortaya koymaktadır. İkinci olarak, bu etkilerin zaman içerisinde değiştiği görülmüştür: ekonomik krizlerde bağlantılılık zayıflamakta, toparlanma dönemlerinde ise yeniden güçlenmektedir. Üçüncü olarak, bu ilişkilerin yatırım ve politika açısından önemi vurgulanmıştır. Yeşil enerji endeksleri, portföy çeşitlendirmesinde düşük varyans ve yüksek riskten korunma etkinliği sağlamaktadır. Bakır ve nikelin düşük korelasyon yapısı ise yatırım portföylerinde etkin bir hedge aracı işlevi gördüğünü ortaya koymaktadır.

Araştırma kapsamında geliştirilen hipotezlerin test edilmesi sonucunda şu bulgulara ulaşılmıştır: yeşil endekslerin net şok yayıcı olduğu hipotezi, hem kriz hem de toparlanma dönemlerinde güçlü bir biçimde desteklenmiştir. Kriz dönemlerinde negatif bağlantılılığın artacağı yönündeki hipotez de ampirik bulgularla doğrulanmıştır. Bu sonuç, piyasalardaki ayrışma eğilimini ve belirsizlik ortamlarında bağlantılılığın azalmasını teyit etmektedir. Son olarak pozitif şoklarda metal–endeks yakınsamasının güçleneceği hipotezi de büyük ölçüde desteklenmiştir. Ancak bu etkinin şiddetinin farklı kriz dönemlerinde değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir.

Çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Analiz yalnızca MSCI, NASDAQ ve S&P gibi seçili yeşil endeksleri kapsamaktadır; diğer sürdürülebilirlik endeksleri dışarıda bırakılmıştır. Metal kapsamı bakır ve nikel ile sınırlandırılmıştır. Lityum, kobalt ve nadir toprak elementleri gibi diğer stratejik metallerin benzer analizlere dahil edilmesi ilerideki araştırmalar için önem taşımaktadır.

Elde edilen bulgular, politika yapıcılar için de önemli sonuçlar sunmaktadır. İlk olarak, bakır ve nikel için geri dönüşüm kapasitesinin artırılması, hem arz güvenliği hem de çevresel sürdürülebilirlik için kritik önemdedir. İkinci olarak, blockchain tabanlı izlenebilirlik sistemlerinin kurulması ve uluslararası sertifikasyon mekanizmalarının benimsenmesi, metal tedarik zincirinde şeffaflığı artıracaktır. Üçüncü olarak, alternatif malzeme geliştirme çalışmalarına hız verilmesi, bakır ve nikel bağımlılığını azaltarak maliyetleri düşürecek ve tedarik risklerini azaltacaktır. Son olarak, stratejik stok politikaları ve uluslararası iş birlikleri aracılığıyla metal arz güvenliğinin sağlanması, sürdürülebilir enerji dönüşümünün sürekliliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma yeşil enerji endeksleri ile stratejik metaller arasındaki ilişkilerin dinamik, asimetrik ve şoklara duyarlı bir yapıya sahip olduğunu ortaya koyarak literatüre özgün bir katkı sunmaktadır. Araştırma sorularının cevaplanması, hipotezlerin test edilerek sonuçlandırılması ve politika önerilerinin sistematik biçimde sunulması, bu çalışmayı hem akademik literatür hem de politika tasarımı açısından değerli kılmaktadır. Gelecek araştırmaların farklı veri setleri, yöntemler ve metal grupları üzerinden bu dinamikleri genişletmesi, sürdürülebilir enerji dönüşümünün finansal ve ekonomik etkilerine dair daha kapsamlı bir anlayış sağlayacaktır.

YAZAR BEYANI

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Bu çalışma bilimsel araştırma ve yayın etiği kurallarına uygun olarak hazırlanmıştır.

Etik Kurul Onayı

Bu çalışma Etik Kurul onayını gerektiren bir araştırmayı içermemektedir.

Yazar Katkıları

Yazar çalışmayı tümüyle tek başına gerçekleştirmiştir.

Çıkar Çatışması

Bu çalışmadan doğan herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Destek Beyanı

Bu çalışma için herhangi bir kurumdan destek alınmamıştır.

KAYNAKÇA

- Adekoya, O. B., Akinseye, A. B., Antonakakis, N., Chatziantoniou, I., Gabauer, D., & Oliyide, J. (2022). Crude oil and Islamic sectoral stocks: Asymmetric TVP-VAR connectedness and investment strategies. *Resources Policy*, 78(June), 102877. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102877>
- Anscombe, F. J., & Glynn, W. J. (1983). Distribution of the kurtosis statistic b2 for normal samples. *Biometrika*, 70(1), 227–234. <https://doi.org/10.1093/biomet/70.1.227>
- Antonakakis, N., Cunado, J., Filis, G., Gabauer, D., & de Gracia, F. P. (2020). Oil and asset classes implied volatilities: Investment strategies and hedging effectiveness. *Energy Economics*, 91, 104762. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104762>
- Antonakakis, N., Chatziantoniou, I., & Gabauer, D. (2020). Refined measures of dynamic connectedness based on Time-Varying parameter vector autoregressions. *Journal of Risk and Financial Management*, 13(4), 84. <https://doi.org/10.3390/jrfm13040084>
- Briere, M., & Ramelli, S. (2021). Green sentiment, stock returns, and corporate behavior. *SSRN Electronic Journal*, October. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3850923>
- Broadstock, D., Chatziantoniou, I., & Gabauer, D. (2020). Minimum connectedness portfolios and the market for green bonds: Advocating socially responsible investment (SRI) activity. *SSRN Electronic Journal*, 15(4), 429–439. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3793771>
- Chatziantoniou, I., & Gabauer, D. (2021). EMU risk-synchronisation and financial fragility through the prism of dynamic connectedness. *Quarterly Review of Economics and Finance*, 79, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.qref.2020.12.003>
- Chen, J., Wang, Y., & Ren, X. (2022). Asymmetric effects of non-ferrous metal price shocks on clean energy stocks: Evidence from a quantile-on-quantile method. *Resources Policy*, 78(May), 102796. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102796>

- Chen, Z., Kleijn, R., & Lin, H. X. (2023). Metal requirements for building electrical grid systems of global wind power and utility-scale solar photovoltaic until 2050. *Environmental Science and Technology*, 57(2), 1080–1091. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c06496>
- Chian, T. Y., Wei, W. L. J., Ze, E. L. M., Ren, L. Z., Ping, Y. E., Abu Bakar, N. Z., Faizal, M., & Sivakumar, S. (2019). A review on recent progress of batteries for electric vehicles. *International Journal of Applied Engineering Research*, 14(24), 4441–4461. <http://www.ripublication.com>
- Christoffersen, P., Errunza, V., Jacobs, K., & Jin, X. (2014). Correlation dynamics and international diversification benefits. *International Journal of Forecasting*, 30(3), 807–824. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2014.01.001>
- Coqueret, G., Tavin, B., & ZHOU, Y. (2024). Sustainable commodity factors. *SSRN Electronic Journal*, December. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4698258>
- D'AGOSTINO, R. B. (1970). Transformation to normality of the null distribution of g 1. *Biometrika*, 57(3), 679–681. <https://doi.org/10.1093/biomet/57.3.679>
- Dias, R. M., Chambino, M., Teixeira, N., Alexandre, P., & Heliodoro, P. (2023). Balancing portfolios with metals: A safe haven for green energy investors?. *Energies*, 16(20), 1–21. <https://doi.org/10.3390/en16207197>
- Diebold, F. X., & Yilmaz, K. (2009). Measuring financial asset return and volatility spillovers, with application to global equity markets. *Economic Journal*, 119(534), 158–171. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0297.2008.02208.x>
- Diebold, F. X., & Yilmaz, K. (2012). Better to give than to receive: Predictive directional measurement of volatility spillovers. *International Journal of Forecasting*, 28(1), 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2011.02.006>
- Ding, Y., Mu, D., Wu, B., Wang, R., Zhao, Z., & Wu, F. (2017). Recent progresses on nickel-rich layered oxide positive electrode materials used in lithium-ion batteries for electric vehicles. *Applied Energy*, 195, 586–599. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.074>
- Ellabban, O., Abu-Rub, H., & Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 748–764. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.113>
- Elliott, B. Y. G., Rothenberg, T. J., & Stock, J. H. (1996). Efficient tests for an autoregressive unit root. *Econometrica*, 64(4), 813–836. <https://doi.org/10.2307/2171846>
- Fisher, T. J., & Gallagher, C. M. (2012). New weighted portmanteau statistics for time series goodness of fit testing. *Journal of the American Statistical Association*, 107(498), 777–787. <https://doi.org/10.1080/01621459.2012.688465>
- Flammer, C. (2021). *Corporate green bonds*. *Journal of Financial Economics*, 142(2), 499–516. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2021.01.010>
- García-Olivares, A., Ballabrera-Poy, J., García-Ladona, E., & Turiel, A. (2012). A global renewable mix with proven technologies and common materials. *Energy Policy*, 41, 561–574. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.11.018>

- Goutte, S., & Mhadhbi, M. (2024). Analyzing crisis dynamics: How metal-energy markets influence green electricity investments. *Energy Economics*, 134(May), 107614. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107614>
- Huber, S. T., & Steininger, K. (2022). Critical sustainability issues in the production of wind and solar electricity generation as well as storage facilities and possible solutions. *Journal of Cleaner Production*, 339(January), 130720. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130720>
- Hussain, A., Arif, S. M., & Aslam, M. (2017). Emerging renewable and sustainable energy technologies: State of the art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71(June 2015), 12–28. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.033>
- Hussain, J., Kui, Z., Khan, A., Akhtar, R., Ali, R., & Yin, Y. (2023). Proposing a sustainable investment index for measuring economic performance and sustainability: A step toward clean and affordable energy. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 60(November), 103564. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103564>
- Ikram, M., Ferasso, M., Sroufe, R., & Zhang, Q. (2021). Assessing green technology indicators for cleaner production and sustainable investments in a developing country context. *Journal of Cleaner Production*, 322(March), 129090. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129090>
- Islam, M. M., Sohag, K., Hammoudeh, S., Mariev, O., & Samargandi, N. (2022). Minerals import demands and clean energy transitions: A disaggregated analysis. *Energy Economics*, 113(July), 106205. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106205>
- Jain, M., Sharma, G. D., & Srivastava, M. (2018). Can sustainable investment yield better financial returns: A comparative study of ESG indices and MSCI indices. *Risks*, 7(1), 15. <https://doi.org/10.3390/risks7010015>
- Jarque, C. M., & Bera, A. K. (1980). Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals. *Economics Letters*, 6(3), 255–259. [https://doi.org/10.1016/0165-1765\(80\)90024-5](https://doi.org/10.1016/0165-1765(80)90024-5)
- Koop, G., Pesaran, M. H., & Potter, S. M. (1996). Impulse response analysis in nonlinear multivariate models. *Journal of Econometrics*, 74(1), 119–147. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(95\)01753-4](https://doi.org/10.1016/0304-4076(95)01753-4)
- Leader, A., Gaustad, G., & Babbitt, C. (2019). The effect of critical material prices on the competitiveness of clean energy technologies. *Materials for Renewable and Sustainable Energy*, 8(2), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s40243-019-0146-z>
- Li, H., Li, Y., & Zhang, H. (2023). The spillover effects among the traditional energy markets, metal markets and sub-sector clean energy markets. *Energy*, 275(April), 127384. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127384>
- Markowitz, H.M., 1959. Portfolio selection: Efficient diversification of investments. John Wiley.
- Meziani, A. S. (2020). It is still not easy being green for exchange-traded funds. *Journal of Index Investing*, 10(4), 6–23. <https://doi.org/10.3905/jii.2020.1.084>
- Mohsin, M., Taghizadeh-Hesary, F., Iqbal, N., & Saydaliev, H. B. (2022). The role of technological progress and renewable energy deployment in green economic growth. *Renewable Energy*, 190, 777–787. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.03.076>

- Moreno-Leiva, S., Haas, J., Junne, T., Valencia, F., Godin, H., Kracht, W., Nowak, W., & Eltrop, L. (2020). Renewable energy in copper production: A review on systems design and methodological approaches. *Journal of Cleaner Production*, 246, 118978. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118978>
- Negem, M., Nady, H., & El-Rabiei, M. M. (2019). Nanocrystalline nickel–cobalt electrocatalysts to generate hydrogen using alkaline solutions as storage fuel for the renewable energy. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(23), 11411–11420. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.03.128>
- Nguyen, R. T., Eggert, R. G., Severson, M. H., & Anderson, C. G. (2021). Global electrification of vehicles and intertwined material supply chains of cobalt, copper and nickel. *Resources, Conservation and Recycling*, 167(September 2020), 105198. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105198>
- Niu, H., & Zhang, S. (2024). Asymmetric effects of commodity and stock market on Chinese green market: Evidence from wavelet-based quantile-on-quantile approach. *Renewable Energy*, 230(May), 120794. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120794>
- Norgren, A., Carpenter, A., & Heath, G. (2020). Design for recycling principles applicable to selected clean energy technologies: Crystalline-Silicon photovoltaic modules, electric vehicle batteries, and wind turbine blades. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 6(4), 761–774. <https://doi.org/10.1007/s40831-020-00313-3>
- Nwonye, N. G., Onuselogu, O. C. O., Anisiuba, C. A., Ezeaku, H. C., & Egbo, O. P. (2023). Dynamics of green metal price volatility in times of geopolitical tensions: Effects of oil price shocks and carbon emissions futures. *Journal of Cleaner Production*, 412(April), 137383. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137383>
- Pesaran, H. H., & Shin, Y. (1998). Generalized impulse response analysis in linear multivariate models. *Economics Letters*, 58(1), 17–29. [https://doi.org/10.1016/S0165-1765\(97\)00214-0](https://doi.org/10.1016/S0165-1765(97)00214-0)
- Piğłowska, M., Kurc, B., Fuć, P., & Szymlet, N. (2024). Novel recycling technologies and safety aspects of lithium ion batteries for electric vehicles. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 26(5), 2656–2669. <https://doi.org/10.1007/s10163-024-02028-z>
- Tirronen, T., Sukhomlinov, D., O'Brien, H., Taskinen, P., & Lundström, M. (2017). Distributions of lithium-ion and nickel-metal hydride battery elements in copper converting. *Journal of Cleaner Production*, 168, 399–409. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.051>
- Trancoso, T., & Gomes, S. (2024). Green shocks: The spillover effects of green equity indices on global market dynamics. *Economies*, 12(4), 1–16. <https://doi.org/10.3390/economies12040083>
- Wang, L., Guan, L., Ding, Q., & Zhang, H. (2023). Asymmetric impact of COVID-19 news on the connectedness of the green energy, dirty energy, and non-ferrous metal markets. *Energy Economics*, 126(February), 106925. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106925>
- World Bank. (2020). *Minerals for climate action: The mineral intensity of the clean energy transition*. Washington, DC: World Bank. 5.04.2025 tarihinde <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/099052423172525564/p16627806f5aa400508f8c0bdcb0878a3e> adresinden alınmıştır.

- Yousfi, M., & Bouzgarrou, H. (2024). Geopolitical risk, economic policy uncertainty, and dynamic connectedness between clean energy, conventional energy, and food markets. *Environmental Science and Pollution Research International*, 31(3), 4925–4945. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31379-7>
- Zeng, X., Li, M., Abd El-Hady, D., Alshitari, W., Al-Bogami, A. S., Lu, J., & Amine, K. (2019). Commercialization of Lithium Battery Technologies for Electric Vehicles. *Advanced Energy Materials*, 9(27), 1–25. <https://doi.org/10.1002/aenm.201900161>
- Zhang, H., Shao, Y., Han, X., & Chang, H. L. (2022). A road towards ecological development in China: The nexus between green investment, natural resources, green technology innovation, and economic growth. *Resources Policy*, 77(December 2021), 102746. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102746>