

SOSYAL BİLİMLER ARAŞTIRMALARI DERGİSİ

THE JOURNAL OF SOCIAL SCIENCES RESEARCH

ARAŞTIRMA MAKALESİ

BRICS-T Ülkelerinde Beşeri Sermaye, Yenilenebilir Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensellik Analizi

Mücahit ÜLGER¹

Öz

Küresel ölçekte sürdürülebilir büyüme hedeflerine ulaşmada ekonomik büyüme, beşeri sermaye ve yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki etkileşimlerin anlaşılması giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu çalışma, BRICS-T ülkelerinde ekonomik büyüme, beşeri sermaye ve yenilenebilir enerji tüketimi değişkenleri arasındaki nedensellik ilişkisini incelemektedir. Beşeri sermaye, ekonomik büyümenin önemli belirleyicilerinden biri olarak değerlendirilirken, yenilenebilir enerji tüketimi sürdürülebilir ekonomik büyüme için kritik bir role sahiptir. Çalışmada, 1990-2019 dönemine ait yıllık veriler kullanılarak bu değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisi ve yönü analiz edilmiştir. Dumitrescu-Hurlin panel nedensellik testi yöntemiyle gerçekleştirilen analizler, büyüme stratejileri ve sürdürülebilir kalkınma politikalarının şekillendirilmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Elde edilen bulgular, ekonomik büyüme ile yenilenebilir enerji tüketimi arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi olduğunu ortaya koymuştur. Benzer şekilde, ekonomik büyüme ile beşeri sermaye arasında da çift yönlü nedensellik gözlenmiştir. Ayrıca, beşeri sermaye ile yenilenebilir enerji tüketimi arasında karşılıklı bir nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, BRICS-T ülkelerinde ekonomik büyüme, beşeri sermaye ve yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki karmaşık ilişkilere ışık tutmakta ve ilgili politikaların şekillendirilmesi için önemli bulgular sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ekonomik Büyüme, Beşeri Sermaye, Yenilenebilir Enerji Tüketimi, Dumitrescu-Hurlin Panel Nedensellik Testi

¹ Öğr. Gör. Dr., Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mucur Meslek Yüksekokulu, Kırşehir, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0300-099X, e-posta: mucahit.ulger@ahievran.edu.tr (Sorumlu Yazar)

RESEARCH ARTICLE

Causality Analysis Between Human Capital, Renewable Energy Consumption, and Economic Growth in BRICS-T Countries

Mücahit ÜLGER¹

ABSTRACT

Understanding the interactions between economic growth, human capital and renewable energy consumption is becoming increasingly important in achieving sustainable growth targets on a global scale. This study analyses the causality relationship between economic growth, human capital, and renewable energy consumption variables in BRICS-T countries. While human capital is considered one of the important determinants of economic growth, renewable energy consumption plays a critical role in sustainable economic growth. The study analyses the causality relationship between these variables and their direction using annual data for the period 1990-2019. The analyses conducted with the Dumitrescu-Hurlin panel causality test method aim to contribute to the shaping of growth strategies and sustainable development policies. The findings revealed that there is a bidirectional causality relationship between economic growth and renewable energy consumption. Similarly, bidirectional causality is also observed between economic growth and human capital. Moreover, a reciprocal causality relationship was found between human capital and renewable energy consumption. These results shed light on the complex relationships between economic growth, human capital, and renewable energy consumption in BRICS-T countries and provide important findings for shaping relevant policies.

Keywords: *Economic Growth, Human Capital, Renewable Energy Consumption, Dumitrescu-Hurlin Panel Causality Test*

¹ Lect. Dr. Kırşehir Ahi Evran University, Mucur Vocational School, Kırşehir, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0300-099X, e-mail: mucahit.ulger@ahievran.edu.tr (Corresponding Author)

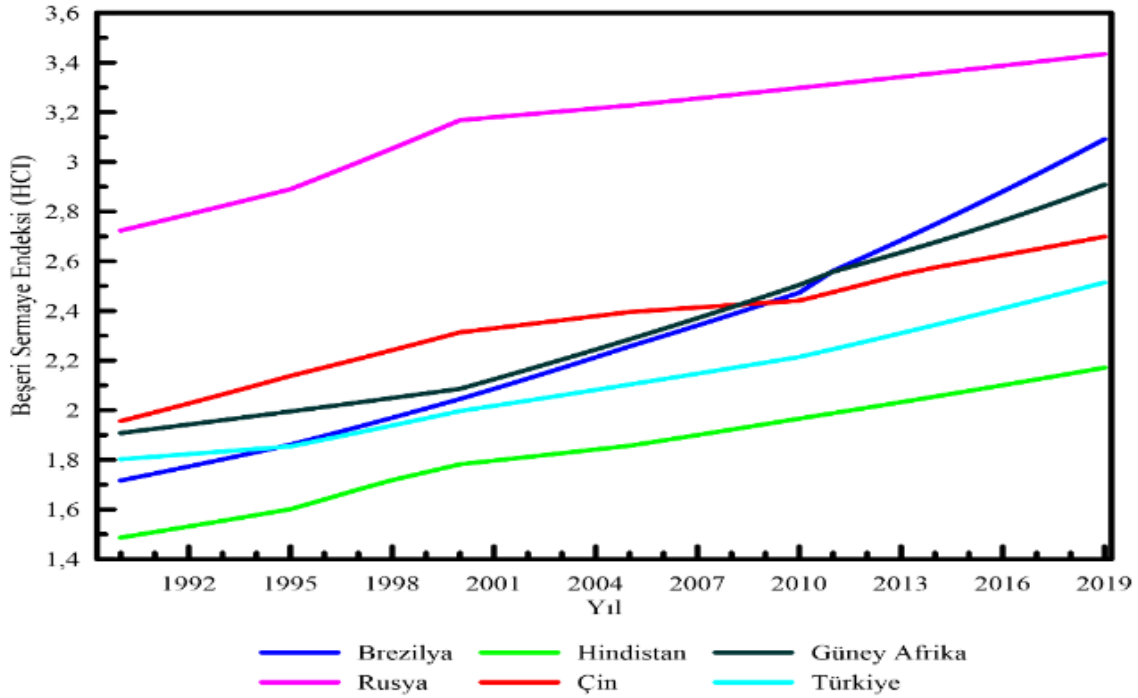
1. Giriş

Günümüz küresel ekonomisinde, ekonomik büyüme, yalnızca fiziksel ve doğal sermaye birikimine değil, aynı zamanda beşeri sermayenin geliştirilmesine de dayanmaktadır. Beşeri sermaye, işgücünün üretim kapasitesini ve kazancını etkileyen beceri, eğitim, kapasite ve niteliklerin bir ölçüsü olarak tanımlanır (Serrat, 2017). İçsel büyüme teorileri de beşeri sermayenin önceliğine vurgu yaparak, bu unsurun ekonomik kalkınmanın itici gücü olduğunu ortaya koymaktadır (Lucas, 1988; Mankiw vd., 1992; Romer, 1986). Beşeri sermaye, yalnızca diğer üretim faktörlerini yönetme yeteneği sağlamakla kalmaz, aynı zamanda daha yüksek emek verimliliğine katkıda bulunarak ekonomik büyümenin hızlanmasına olanak tanır (Osiobe, 2019; Schultz, 1961). Beşeri sermaye ekonomik büyümeye hayati bir katkıda bulunur ve ekonomik ilerleme üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Zafar vd., 2019). Ters durumda, beşeri sermayeye yatırım eksikliği ise ekonomik büyümeyi engelleyebilecek bir faktör olarak ön plana çıkmaktadır (Ahmed vd., 2020). Bu yüzden ekonomilerin sürdürülebilir büyümeyi sağlama çabalarında, beşeri sermayeye yapılan yatırımların etkisi göz ardı edilemez. İşletmeler açısından da sürdürülebilir büyüme, insan kaynaklarının yetenekleri ve becerileriyle doğrudan ilişkilidir (Adelakun, 2011; Xu ve Liu, 2019). Daha eğitilmiş ve yetkin bireyler, teknolojiyi daha etkin kullanabilir, yenilikçi süreçlere katkıda bulunabilir ve üretkenliği artırabilir. Bu çerçevede, beşeri sermaye, ekonomik büyümenin temel belirleyicilerinden biri olarak görülmektedir.

Son yıllarda, beşeri sermayenin daha somut bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanıyan Beşeri Sermaye Endeksi (HCI-Human Capital Index), ekonomik büyüme ve beşeri sermaye ilişkisinin incelenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu endeks, ülkelerin insan sermayesi potansiyelini nesnel bir şekilde değerlendirme ve karşılaştırma fırsatı sunmaktadır. Penn World Table tarafından hesaplanan HCI, ortalama okullaşma yılı ile eğitimden elde edilen ekonomik getiriler oranı temel alınarak tasarlanmıştır. Bu gösterge, ülkelerin beşeri sermaye düzeylerini değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. HCI, bireylerin yaşam boyu üretkenlik potansiyelini değerlendiren kapsamlı bir ölçüt sunmaktadır. Örneğin, yüksek bir HCI değeri, iyi eğitilmiş ve yüksek becerilere sahip bir iş gücü anlamına gelirken, düşük bir HCI, beşeri sermayenin ekonomik büyümeye olan katkısının sınırlı olduğunu gösterebilir. Beşeri sermayenin ekonomik büyüme üzerindeki etkisi, teorik temellerini içsel büyüme modellerinde bulmaktadır. Bu bağlamda, Lucas (1988), ekonomik büyümede beşeri sermayenin rolünü açıklayarak ve beşeri sermaye birikiminin mekanizmasına odaklanarak içsel büyüme literatürüne önemli bir katkıda bulunur.

Grafik 1, 1990-2019 dönemi itibarıyla BRICS-T ülkelerinde (Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin, Güney Afrika ve Türkiye) Beşeri Sermaye Endeksi'nin seyrini göstermektedir. Referans döneminde, tüm ülkelerde HCI'nin düzenli bir artış eğilimi sergilediği gözlemlenmektedir. Dönem boyunca HCI değeri en yüksek olan ülke Rusya, en düşük olan ise Hindistan olarak belirlenmiştir. Endekste bu artış, eğitim süresinin uzadığına ve eğitimin ekonomik getirilerinin iyileştiğine işaret etmektedir. HCI'nin sürekli yükselişi, BRICS-T ülkelerinde ekonomik büyüme potansiyelini artıran insan kaynağı

altyapısının güçlendiğini göstermektedir. Bu durum, ülkelerin ekonomik rekabetçiliklerini artırmaları açısından beşeri sermayeye yapılan yatırımların önemini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, HCI'yi daha da ileri taşımak ve uzun vadeli ekonomik büyümeyi desteklemek adına, eğitim kalitesinin yükseltilmesi ve iş gücünün yetkinliklerinin geliştirilmesine yönelik politika önceliklerinin belirlenmesi kritik bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır. Örneğin Türkiye'nin HCI değerleri, önceki yıllara göre sürekli bir artış göstermektedir. Özellikle 1990 yılında bu değer 1.8 iken, 2019 yılında 2.51'e yükselmiştir.



Kaynak: Feenstra vd. (2015) tarafından geliştirilen Penn World Table sürüm 10.01

Grafik 1: BRICS-T Ülkelerinde Beşeri Sermaye Endeksi (1990–2019)

Ekonomik büyüme sürecinde beşeri sermayenin yanı sıra yenilenebilir enerji tüketiminin rolü de önemlidir. Yenilenebilir enerji kaynakları; biyokütle, dalga enerjisi, güneş enerjisi, hidroelektrik enerji, jeotermal enerji ve rüzgâr enerjisinden oluşmaktadır (Ülger vd., 2024). Enerji, bir ülkenin ekonomik büyümesinde önemli bir faktör olarak değerlendirilirken (Baz vd., 2021; Khan vd., 2021), yenilenebilir enerji tüketimi ise ekonomik büyümenin itici güçlerinden biri olarak belirlenmiştir (Q. Wang ve Wang, 2020). Yenilenebilir enerji tüketimi, özellikle enerji talebinin yüksek olduğu sektörlerde verimliliği artırarak ekonomik büyümeye yönelik önemli bir kaynak sağlamaktadır. Yenilenebilir enerjinin önemi ve büyümesi dikkate alındığında, enerji ekonomisi literatürüne katkıda bulunmak için yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki dinamik bağlantıların anlaşılması kritik bir gerekliliktir (Rahman ve Velayutham, 2020).

Beşeri sermaye ile yenilenebilir enerji tüketimi ilişkisinde önemli bağlantı bulunmaktadır. Eğitim düzeyi yüksek ve bilgi birikimi güçlü bir iş gücü, yenilenebilir enerji teknolojilerinin ilerlemesi,

uygulanması ve etkili kullanılmasında kritik bir rol oynamaktadır. Beşeri sermaye, araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) faaliyetlerini destekleyerek yenilenebilir enerji kaynaklarının daha verimli ve yenilikçi yöntemlerle kullanılmasını sağlar. Sonuç olarak, yüksek beşeri sermaye düzeyi, yenilenebilir enerjiye geçiş süreçlerini hızlandırabilir ve ekonomik büyümeye katkıda bulunabilir.

Bu çalışmanın motivasyonu, BRICS-T ülkelerinin küresel ekonomideki artan önemi ve bu ülkelerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerini gerçekleştirme konusundaki zorlukları ve fırsatları üzerine odaklanmaktadır. Beşeri sermaye, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkilerin bu ülkelerdeki dinamiklerini anlamak, hem teorik bilgi birikimine katkı sağlayacak hem de politika yapıcılar için rehberlik edecektir. Bu çalışma, 1990-2019 döneminde BRICS-T ülkelerinde ekonomik büyüme, beşeri sermaye ve yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki nedensellik ilişkisini analiz etmeyi amaçlamaktadır.

Bu çalışmada BRICS-T ülkelerinin seçilmesinin nedeni, güçlü büyüme dinamikleri, geniş nüfusları ve küresel ekonomideki önemli rolleri nedeniyle beşeri sermaye, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkilerin incelenmesi için ideal bir örneklem sunmasıdır. Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika'dan oluşan BRICS, hızla gelişen ve yükselen ekonomilere sahip ülkeler grubudur. Bu ülkeler, son yıllarda sergiledikleri güçlü ekonomik performansla, dünya nüfusunun %40'ından fazlasını ve küresel ekonominin %25'inden fazlasını temsil etmektedir (Adebayo & Samour, 2023). 2023 yılı itibarıyla BRICS-T ülkeleri, toplamda yaklaşık 3,3 milyar insanı barındırmakta olup, bu da dünya nüfusunun yaklaşık %41,5'ine karşılık gelmektedir (World Bank, 2024). Türkiye ise BRICS üyesi olmamakla birlikte, son yıllarda BRICS+ platformu kapsamında ortak ülke olarak iş birliği geliştirme yönünde davet almış ve bazı zirvelere de katılım sağlamıştır. Çünkü Türkiye son dönemdeki ekonomik atılımlarıyla BRICS'e katılma potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymuştur. Son yıllarda Türkiye, ekonomik ve diplomatik atılımlarıyla BRICS ülkeleriyle ilişkilerini geliştirme yönünde önemli adımlar atmıştır. Bu durum, Türkiye'nin BRICS ülkeleriyle potansiyel iş birliği alanlarını genişletme arzusu ve bu grubun bir parçası olabileceği yönündeki değerlendirmeleri gündeme getirmiştir. Bu nedenle çalışmada, geleneksel BRICS ülkelerine ek olarak Türkiye de analiz kapsamına dâhil edilmiştir. Literatürde, Türkiye'yi BRICS ülkeleriyle birlikte ele alan ve bu ülke grubunu "BRICS-T" olarak tanımlayan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Bayraktar vd., 2022; Samour vd., 2023; Kasap, 2025). Bu ülkeler, ekonomik büyümeyi sağlamaya çalışırken, beşeri sermayelerini geliştirme ve yenilenebilir enerji kullanımını artırma çabalarıyla öne çıkmaktadır. Ayrıca, farklı coğrafi, ekonomik ve politik yapıları, bu ilişkilerin çeşitli bağlamlarda nasıl şekillendiğini anlamak için fırsat sağlamaktadır. Bu nedenle, BRICS-T ülkelerinin ekonomik büyüme rakamları üzerinde beşeri sermaye ve yenilenebilir enerji tüketiminin rollerini değerlendirmek yerinde olacaktır. Bu yüzden çalışma, BRICS-T ülkeleri bağlamında aşağıdaki soruları ele almaya çalışmaktadır:

1. Ekonomik büyüme ile beşeri sermaye arasında herhangi bir nedensel ilişki var mıdır?

2. Ekonomik büyüme ile yenilenebilir enerji tüketimi arasında herhangi bir nedensel ilişki var mıdır?

Bu çalışma, beşeri sermaye, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkilere odaklanarak literatüre birkaç önemli katkı sunmaktadır. İlk olarak, BRICS-T ülkeleri gibi farklı ekonomik yapıya ve sürdürülebilirlik dinamiklerine sahip ülkeler üzerinde bu ilişkilerin incelenmesi, karşılaştırmalı analizler için zengin bir perspektif sunmaktadır. İkinci olarak, çalışmada BRICS-T ülkelerinde yenilenebilir enerji tüketimi, beşeri sermaye ve ekonomik büyümenin karşılıklı etkileri birlikte ele alınarak, bu değişkenlerin etkileşimlerinin analiz edilmesi yoluyla literatüre özgün bir katkı sunulmuştur. Üçüncü olarak, BRICS-T ülkelerine odaklanılması, gelişmekte olan ekonomiler için özgün bir model sunarak sürdürülebilir kalkınma hedeflerine yönelik politika tasarımlarına katkıda bulunmaktadır. Bu yönüyle çalışma, mevcut literatürdeki boşlukları doldurmayı ve yeni bir bakış açısı sunmayı hedeflemektedir.

Çalışmanın devamı olan bölüm 2’de birbiriyle ilişkili literatür ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bölüm 3’te araştırmanın ekonometrik modeli ve veri tanımlaması, yöntemi kapsamlı bir şekilde açıklanarak bulgular ortaya konmuştur. Son olarak, bölüm 4’te sonuç ve politika önerileri verilmiştir.

2. Literatür

Çalışmanın literatür bölümü, daha iyi bir anlaşılabilirlik sağlamak amacıyla üç alt başlık altında ele alınmıştır: (i) beşeri sermaye (BS) ile ekonomik büyüme (EB) arasındaki nedensel bağlatılar, (ii) yenilenebilir enerji tüketimi (YE) ile ekonomik büyüme (EB) arasındaki nedensel bağlantılar ve (iii) beşeri sermaye ile yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki nedensel bağlantılar. Bu ayrım, araştırma konusu üzerindeki bulguların daha net bir şekilde ortaya konulmasını ve alandaki bilgi birikimine katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

2.1. Beşeri Sermaye ile Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensel Bağlantılar

BS ile EB arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalara bakıldığında, genel olarak panel veri analizine dayalı çalışmaların yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmalarda farklı nedensellik testleri uygulanmış olup, çoğunluğunda BS ile EB arasında çift yönlü nedensellik tespit edilmiştir. Bununla birlikte, sınırlı sayıda çalışmada tek yönlü nedensellik ya da herhangi bir nedensellik ilişkisinin bulunmadığı belirtilmiştir.

BS ile EB arasında tek yönlü nedensellik ilişkisi bulan çalışmalardan Nathaniel, Yalçiner, vd. (2021), 1992-2016 döneminde BRICS ülkeleri üzerinde Dumitrescu ve Hurlin nedensellik testi kullanarak yaptıkları analiz sonucunda, EB’den BS’ye doğru bir nedensellik ilişkisi olduğunu bulmuşlardır. Ahmad vd. (2021), 2011-2018 döneminde Çin’in bölgesel verilerini Granger nedensellik testi ile analiz etmişler ve BS ile EB arasında tek yönlü bir nedensellik bulunduğunu belirlemişlerdir. Sheraz vd. (2021), 1986-2018 döneminde G20 ülkelerini (Avrupa Birliği hariç) ele alarak Dumitrescu ve Hurlin panel nedensellik testi kullanarak ve benzer şekilde Shahbaz vd. (2022), 1971-2018

döneminde Çin ekonomisine ait verileri kullanarak VECM Granger nedensellik testi ile gerçekleştirdikleri çalışmada, BS'den EB'ye doğru bir nedensellik ilişkisi olduğunu belirlemişlerdir.

BS ile EB arasındaki ilişkinin çift yönlü olduğunu belirten çalışmalar, bu iki değişkenin birbirini karşılıklı olarak etkilediğini ortaya koymaktadır. Örneğin, Fahimi vd. (2018) 1995-2015 döneminde mikro eyaletler üzerinde Dumitrescu ve Hurlin tarafından tanıtılan Granger nedensellik testiyle; Ahmed, Zafar, vd. (2020) 1971-2014 döneminde G7 ülkelerinde Dumitrescu ve Hurlin kısa vadeli panel nedensellik yöntemiyle; Abdouli ve Omri (2021) 1990-2013 döneminde 15 Akdeniz ülkesini (Avrupa, Asya ve Afrika Akdeniz ülkeleri) FMOLS ve DOLS tahmin edicileriyle; Qamruzzaman vd. (2021) 1981:Q1–2016:Q4 döneminde Bangladeş, Hindistan, Pakistan, Sri Lanka, Nepal ve Butan'ı kapsayan çalışmada, Granger nedensellik testini kullanılarak; Rahim vd. (2021) 1990-2019 döneminde N-11 ülkelerini Granger nedensellik testiyle; Nathaniel (2021) 1990-2016 döneminde 10 ASEAN ülkesinden (Myanmar ve Kamboçya hariç) sekizi için Dumitrescu ve Hurlin testiyle; Ahmed vd. (2021) 1995-2017 döneminde 15 Latin Amerika ve Karayipler (LCA) ülkesi üzerinde panel nedensellik analizini kullanarak; Nathaniel, Nwulu, vd. (2021) 1990-2017 döneminde 18 LACC ülkesini Dumitrescu ve Hurlin testiyle analiz ederek ve son olarak Ahmad vd. (2022) 1984-2017 döneminde 17 gelişmekte olan ülkeyi panel Granger nedensellik testiyle analiz etmişler ve BS ile EB arasında karşılıklı nedensellik olduğunu belirlemişlerdir.

Bazı çalışmalar, BS ile EB arasında herhangi bir nedensellik olmadığını göstermektedir. Örneğin Ahmed, Asghar, vd. (2020) 1970-2016 döneminde Çin ekonomisi üzerinde bootstrap nedensellik testini; Iorember vd. (2021) ise 1990-2016 döneminde Güney Afrika'da VECM Granger nedensellik testini kullanarak yaptıkları çalışmada, BS ile EB arasında nedensellik olmadığını belirlemişlerdir.

Son olarak Türkiye ekonomisi üzerine yapılan bazı ampirik çalışmalar, beşeri sermaye ile ekonomik büyüme arasındaki nedensellik ilişkisinin yönü konusunda farklı sonuçlara ulaşmıştır. Taban ve Kar (2006), 1969–2001 dönemi verilerini kullanarak gerçekleştirdikleri analizde, BS ile EB arasında karşılıklı bir nedensellik ilişkisinin bulunduğunu ortaya koymuştur. Şimşek ve Kadılar (2010), 1960–2004 dönemini kapsayan çalışmalarında Granger nedensellik testi ile BS'den EB'ye doğru tek yönlü bir nedensellik tespit etmiştir. Buna karşılık, Serel ve Masatçı (2005), 1950–2000 dönemi için yaptıkları analizde, EB'den BS'ye doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisinin var olduğunu belirtmişlerdir.

2.2. Yenilenebilir Enerji Tüketimi ile Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensel Bağlantılar

YE ile EB arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalara bakıldığında, genellikle panel veri analizine dayalı araştırmaların gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu çalışmalarda farklı nedensellik testleri uygulanmış olup, çoğunlukla YE ile EB arasında çift yönlü nedensellik tespit edilmiştir. Ayrıca, sınırlı sayıda çalışmada tek yönlü nedensellik ya da herhangi bir nedensellik ilişkisinin bulunmadığı ifade edilmiştir.

YE ile EB arasında tek yönlü nedensellik ilişkisi bulan çalışmalardan Rahman ve Velayutham (2020) 1990-2014 yılları arasında beş Güney Asya ülkesini kapsayan panel veriler üzerinde Dumitrescu ve Hurlin panel nedensellik testini uygulamış ve EB'den YE'ye doğru bir nedensellik bulunduğunu ortaya koymuşlardır. J. Wang vd. (2021) 1997-2017 yılları arasından Çin'in ulusal ve bölgesel düzeydeki panel verilerini analiz ederek Granger nedensellik testi uygulamışlardır. Bulgular, EB'nin hem ulusal düzeyde hem de doğu ve batı Çin bölgelerinde YE'yi tek yönlü olarak etkilediğini göstermiştir. Awosusi vd. (2022) 1970-2017 döneminde Kolombiya ekonomisini incelemek amacıyla Gradual Shift nedensellik testini kullanmış ve EB'den YE'ye doğru nedensellik ilişkisi tespit etmişlerdir.

YE ile EB arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi tespit eden çalışmalar, bu iki değişkenin karşılıklı etkileşim içinde olduğunu ortaya koymaktadır. Örneğin, Lin ve Moubarak (2014) 1977-2011 döneminde Çin ekonomisine yönelik gerçekleştirdikleri analizde, Granger nedensellik testini kullanarak; Sebri ve Ben-Salha (2014) 1971-2010 döneminde BRICS ülkelerinde VECM Granger nedensellik analiziyle; Saidi ve Omri (2020) 1990-2014 döneminde yenilenebilir enerji tüketimi yüksek olan 15 ülke için gerçekleştirdikleri analizde, VECM Granger nedensellik testiyle; Shahbaz vd. (2020) 1990-2018 döneminde 38 yenilenebilir enerji tüketen ülkede heterojen panel nedensellik yöntemlerini uygulayarak; Asiedu vd. (2021) 1990-2018 döneminde 26 Avrupa ülkesini kapsayan çalışmalarında Granger nedensellik testiyle; Nathaniel, Yalçiner, vd. (2021) 1992-2016 döneminde BRICS ülkeleri üzerinde gerçekleştirdikleri analizde Dumitrescu ve Hurlin panel nedensellik testini kullanarak; Akram vd. (2021) 1990-2014 döneminde BRICS ülkelerinde yaptıkları çalışmada, Dumitrescu ve Hurlin panel nedensellik testiyle; Gyimah vd. (2022) 1990-2015 döneminde Gana ekonomisine ilişkin analizlerinde Granger nedensellik testiyle; Raihan vd. (2022) 1990-2019 döneminde Bangladeş ekonomisini incelemiş ve Granger nedensellik testini kullanarak ve son olarak, Q. Wang vd. (2023) 2001-2020 döneminde nükleer enerjiye sahip 24 ülkeden alınan panel verilerine Dumitrescu ve Hurlin Panel nedenselliğini kullanarak YE ile EB arasından karşılıklı bir nedensellik olduğunu belirlemişlerdir.

Türkiye ekonomisi üzerine yapılan çalışmalarda yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki nedensellik yönü konusunda fikir birliği bulunmamaktadır. Büyükyılmaz ve Mert (2015), 1960–2010 dönemi için MS-VAR yöntemiyle çift yönlü nedensellik bulmuştur. Durğun ve Durğun (2018), 1980–2015 döneminde Toda-Yamamoto testi ile YE'den EB'ye tek yönlü nedensellik tespit etmiştir. Demirgil ve Birol (2019), 1980–2018 dönemine ait Toda-Yamamoto testiyle benzer sonucu bulmuştur. Öcal ve Aslan (2013) 1990–2010 döneminde ve Alper (2018) 1990–2017 dönemlerinde Toda-Yamamoto nedensellik testi ile EB'den YE'ye doğru tek yönlü bir nedensellik olduğunu tespit etmişlerdir. Bulut ve Muratoğlu (2018), 1990–2015 verileriyle Hacker ve Hatemi-J Granger testi uygulayarak EB ve YE arasından nedensellik bulamamıştır.

2.3. Beşeri Sermaye ile Yenilenebilir Enerji Tüketimi Arasındaki Nedensel Bağlantılar

BS ile YE arasındaki nedensel ilişkiyi inceleyen çalışmalar son yıllarda artış göstermiştir. Radmehr vd. (2022), 1990-2018 dönemine ait G7 ülkeleri verileriyle gerçekleştirdikleri panel analizde, Dumitrescu-Hurlin (2012) nedensellik testini kullanarak BS ile YE arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi tespit etmiştir. Benzer şekilde, Shabani (2024), 1999-2019 dönemini kapsayan ve hem gelişmiş hem de gelişmekte olan 67 ülkeyi içeren çalışmasında aynı test yöntemini kullanarak iki değişken arasında çift yönlü nedensellik olduğunu ortaya koymuştur. Xu vd. (2024) ise 1990-2019 döneminde 35 OECD ülkesine yönelik analizinde BS ve YE arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi bulunduğunu belirtmiştir. Diğer yandan, bazı ülke odaklı çalışmalarda farklı nedensellik yönleri tespit edilmiştir. Örneğin, Iorember vd. (2021), 1990-2016 dönemine ait Güney Afrika verilerini kullanarak gerçekleştirdiği VECM Granger nedensellik testinde, BS'den YE'ye doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi bulmuştur. Benzer şekilde, Osei-Gyebi ve Ajayi (2025), 1980-2022 dönemi için Nijerya'da gerçekleştirdikleri analizde, YE'den BS'ye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisine ulaşmıştır. Mahmood vd. (2019) ise 1980-2014 dönemini kapsayan Pakistan örneğinde yürüttükleri çalışmada, BS ile YE arasında herhangi bir nedensellik ilişkisine rastlamamıştır. Bu çalışmalar, ülkelerin yapısal farklılıklarının ve gelişmişlik düzeylerinin, beşeri sermaye ile yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi etkileyebileceğini göstermektedir.

3. Ekonometrik Model ve Veri Tanımlama, Yöntem, Bulgular

3.1. Ekonometrik Model ve Veri Tanımlama

Çalışmada BRICS-T ülkelerinde ekonomik büyüme, beşeri sermaye ve yenilenebilir enerji tüketimi değişkenleri arasındaki nedensellik ilişkisi araştırılmaktadır. Beşeri sermaye, ekonomik büyümenin önemli belirleyicilerinden biridir. Yenilenebilir enerji tüketimi de sürdürülebilir ekonomik büyüme için etkin bir rol oynamaktadır. Dolayısı ile bu değişkenler arasındaki hem nedenselliğin varlığı hem de bu nedenselliğin yönünün belirlenmesi ekonomik büyümenin belirlenmesinde gerekli olacak olan politikaların belirlenmesine yardımcı olacaktır. Bu nedensellik ilişkisi 1990-2019 dönemleri arası yıllık verileri ile incelenmiştir. Belirlenen çalışma dönemi bazı verilerin eksikliğinden dolayı aynı zamanda çalışmanın kısıtını da oluşturmaktadır. Ekonomik büyümeyi ($\log EG$) temsilen, kişi başına GSYH (sabit 2015 ABD doları), yenilenebilir enerji tüketimini ($\log YE$) temsilen, yenilenebilir enerji tüketimi (% toplam nihai enerji tüketimi), beşeri sermayeyi ($\log BS$) temsilen Beşeri Sermaye Endeksi (HCI) kullanılmıştır. Ekonomik büyüme ile yenilenebilir enerji tüketimi verileri Dünya Kalkınma Göstergeleri veri tabanından (World Bank, 2024), HCI verileri ise Feenstra vd. (2015) tarafından geliştirilen Penn World Table sürüm 10.01'den elde edilmiştir. Değişkenlerin tamamının doğal logaritmik dönüşümleri ile tahmin yapılmıştır. Tahmin edilecek modeller şöyledir;

$$\log EB_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 \log BS_{i,t} + u_{i,t} \quad (1)$$

$$\log BS_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 \ln EG_{i,t} + u_{i,t} \quad (2)$$

$$\log EB_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 \log YE_{i,t} + u_{i,t} \quad (3)$$

$$\log YE_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 \log EB_{i,t} + u_{i,t} \quad (4)$$

$$\log BS_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 \log YE_{i,t} + u_{i,t} \quad (5)$$

$$\log YE_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 \log BS_{i,t} + u_{i,t} \quad (6)$$

3.2. Yöntem ve Bulgular

Tablo 1, değişkenlerin özet istatistiklerini ve aynı zamanda korelasyon ilişkisini göstermektedir.

Tablo 1: Değişkenlere Ait Özet İstatistikler ve Korelasyon İlişkisi

Özet İstatistikler					
Değişkenler	Gözlem Sayısı	Ortalama	Std Sap.*	Min.	Mak.
logEB	180	3.637	0.362	2.723	4.084
logBS	180	0.361	0.087	0.172	0.535
logYE	180	1.234	0.389	0.505	1.724
Korelasyon Matrisi					
Değişkenler		logEB	logBS	logYE	
logEB		1			
logBS		-0.648	1		
logYE		0.305	0.037	1	

*Std. Sap.: Standart Sapma

Tablo 1'in ilk kısmına bakıldığında gözlem sayısının 180 olduğu görülmektedir. Buradaki gözlem sayısının panel veri analizi için yeterli olduğu kabul edilmiştir. Maksimum değer 4.084 ile ekonomik büyüme değişkenine aitken minimum değer 0.535 ile beşeri sermaye değişkenine aittir. Korelasyon matrisine bakıldığında ise değişkenler arasında ekonometrik analiz yapılmasına engel teşkil edecek düzeyde bir korelasyon ilişkisine rastlanmamıştır. Breusch ve Pagan (1980) LM testi, panel veri modellerinde yatay kesit bağımlılığını (cross-sectional dependence) test etmek amacıyla kullanılan yöntemlerden biridir. Bu test, özellikle panel veri setlerinde birimlerin birbirlerinden bağımsız olmadığı durumları belirlemek amacıyla uygulanır. Başka bir ifade ile küresel düzeyde entegre olmuş ülkelerin herhangi birinde meydana gelen olayların diğer ülke ekonomilerini de etkilediğini ülkelerin birbirine her açıdan bağımlı olduğu anlamına gelmektedir. Bu bağlamda yatay kesitte bulunan ülkelerin birbiri ile bağımlılığını araştıran testin eşitliği şu şekildedir;

$$y_{it} = \alpha_i + \beta x_{it} + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

Eşitlikte yer alan y_{it} ; i 'ninci birim ve t 'ninci zaman dilimi için bağımlı değişken, x_{it} ; bağımsız değişkenleri, α_i birimlere özgü sabit etkiler ve ε_{it} ise hata terimini temsilen kullanılmıştır. Test istatistiği ise şöyledir;

$$LM = T \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{p}_{ij}^2 \quad (8)$$

Burada T; zaman serisini, N; yatay kesit birimlerinin sayısını, $\hat{p}_{ij}$; ise tahmin edilen hata terimleri arasındaki korelasyon katsayısını ifade etmektedir. $\hat{p}_{ij}$, hata terimlerinin tahmini korelasyon katsayısı ise şu şekilde hesaplanır;

$$\hat{p}_{ij} = \frac{\sum_{t=1}^T \hat{\varepsilon}_{it} \hat{\varepsilon}_{jt}}{\sqrt{\sum_{t=1}^T \hat{\varepsilon}_{it}^2 \sum_{t=1}^T \hat{\varepsilon}_{jt}^2}} \quad (9)$$

Testin boş ve alternatif hipotezi ise şöyledir;

H₀: Hata terimleri arasında yatay kesit bağımsızlığı vardır *i ≠ j için* $\sigma_{ij} = 0$).

H_A: Hata terimleri arasında yatay kesit bağımlılığı vardır *bazı i ≠ j, $\sigma_{ij} \neq 0$*).

Delta testi, panel veri modellerinde katsayıların homojen olup olmadığını test etmek için kullanılan bir yöntemdir. Özellikle panel veri analizinde bireyler (kesitler) arasında farklılıklar olabileceği durumlarda katsayıların homojenlik varsayımının geçerliliğini değerlendirmek için uygulanır. Homojenlik testi için şu eşitlik kullanılmaktadır.

$$y_{it} = \beta_i x_{it} + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

Testin amacı, tüm birimlerin aynı katsayıya (β) sahip olup olmadığını kontrol etmektir. Delta testinin hipotezleri şöyledir;

Boş Hipotez: Tüm birimler arasında katsayılar homojendir $\beta_i \neq \beta$ tüm *i için*).

Alternatif Hipotez: En az bir birim için katsayılar farklıdır $\beta_i \neq \beta$ tüm *i için*).

Delta test istatistiği, Swamy (1970) tarafından önerilen tahmin edicilere dayanır ve panel veri modelinde heterojenliği test etmek amacıyla Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından geliştirilmiştir. Test istatistiği şu şekilde ifade edilir:

$$\Delta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{\beta}_i - \bar{\beta})^2 \quad (11)$$

$\hat{\beta}_i$; kesit birimi *i* için tahmin edilen katsayıyı, $\bar{\beta}$ ise tüm kesit birimleri için katsayıların ağırlıklı ortalamasını göstermektedir. Tablo 2, panel veri analizleri için önemli olan tanısal test sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 2: Yatay Kesit Bağımlılığı Testi ve Heterojenlik Testi Sonuçları

Panel Yatay Kesit Sonuçları		
Test	İstatistik	p-değeri
LM	49.09	0.000***
LMadj	17.54	0.000***
LMCD	2.886	0.000***
Homojenlik Tesi		
	İstatistik	p-değeri
Delta	21.937	0.000***
Delta-adj.	23.564	0.000***

Not: *, **, ve *** %10, %5 ve %1 önem düzeyindeki anlamlılığı temsil etmektedir.

Yatay kesit bağımlılığı test istatistiklerinde LM test istatistiği dikkate alınmıştır (T>N olduğundan). Olasılık değerine göre sıfır hipotezi reddedilmiştir ve yatay kesit bağımlılığının varlığı kabul edilmiştir. Tablonun ikinci kısmında yer alan Delta test sonuçlarına göre eğim katsayılarının heterojen olduğuna karar verilmiştir. Yatay kesit bağımlılığının varlığı belirlendikten sonra ikinci nesil birim kök testinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Çalışmada Pesaran (2007) tarafından geliştirilen ve ikinci nesil birim kök testleri arasında yer alan CADF (Cross-sectionally Augmented Dickey-Fuller) testi kullanılmıştır. Bu test, panel veri setlerinde yatay kesit bağımlılığı durumunda birim kök testi uygulamak için geliştirilmiştir. Geleneksel birim kök testlerinin, yatay kesit bağımlılığını göz ardı ettiği durumlarda yanıltıcı sonuçlar verebileceği düşünüldüğünde, CADF testi bu bağımlılığı dikkate alarak daha güvenilir sonuçlar sağlamaktadır. CADF testinin hesaplanmasında kullanılan eşitlik şöyledir;

$$y_{it} = p_i y_{i,t-1} + \beta_i x_{it} + \varepsilon_{it} \quad (12)$$

Burada y_{it} ; i 'ninci birim ve t 'ninci zaman dilimi için bağımlı değişken, x_{it} ; bağımsız değişkenler (birim kökün varlığını kontrol etmek için gecikmeli ve çapraz kesit bilgisi içeren bileşenler), p_i panel birimleri için otoregresif parametre, ε_{it} ise hata terimini temsilen kullanılmıştır.

Testin amacı $p_i = 1$; hipotezini test etmektir. Yani serinin birim kök içerip içermediğini araştırmaktadır. Testin boş hipotezi ise “*seri birim kök içerir*” şeklindedir.

Tablo 3, analiz kapsamında ele alınan değişkenler için gerçekleştirilen birim kök test sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 3: İkinci Nesil Birim Kök Testi

Değişkenler	Sabit		Sabit+Trend	
	t-bar/ Z[t-bar]	p-değeri	t-bar/ Z[t-bar]	p-değeri
LogEB	-3.178/-3.581	0.000***	-2.640/-0.870	0.192
LogBS	-2.543/-1.976	0.024**	-2.052/0.680	0.752
LogYE	-2.775/-2.562	0.005***	-3.106/-2.097	0.018**

Not: *, **, ve *** %10, %5 ve %1 önem düzeyindeki anlamlılığı temsil etmektedir. Gecikme uzunluğu 1'dir.

Tablo 3'te değişkenlerin tamamının seviyede ve sabitli seçenekte durağan hale geldiği görülmektedir. Bununla birlikte çalışmada D-H panel nedensellik testinden faydalanılmıştır. Dumitrescu ve Hurlin (2012) tarafından geliştirilen bu test, panel veri setlerinde değişkenler arasında nedensellik ilişkisini incelemek için kullanılan bir yöntemdir. Geleneksel Granger nedensellik testinin panel veri analizi için genişletilmiş bir yeni halidir. Bu test, özellikle bireyler (kesitler) arasında heterojenlik ve yatay kesit bağımlılığı durumlarında güvenilir sonuçlar sunmaktadır. Dumitrescu-Hurlin testi, dinamik panel veri modeli üzerinden geliştirilmiştir ve kullanılan eşitlik şöyledir;

$$y_{i,t} = \alpha_i + \sum_{k=1}^K \beta_{i,k} y_{i,t-k} + \sum_{k=1}^K \gamma_{i,k} x_{i,t-k} + \varepsilon_{i,t} \quad (13)$$

Eşitlikte yer alan $y_{i,t}$; kesit i ve zaman t için bağımlı değişkeni, $x_{i,t}$; kesit i ve zaman t için bağımsız değişkeni, K gecikme sayısını, α_i ; kesite özgü sabit terimi, $\beta_{i,k}$; bağımlı değişkenin gecikmeli değerlerinin katsayılarını, $\gamma_{i,k}$; bağımsız değişkenin gecikmeli değerlerinin katsayılarını ve son olarak $\varepsilon_{i,t}$ ise hata terimini ifade etmektedir. Testin boş hipotezi x değişkeni y değişkeninin Granger nedeni değildir şeklindedir.

Dumitrescu-Hurlin testi, bireysel Granger nedensellik testlerini her kesit için uygular ve bu sonuçları birleştirerek panel düzeyinde bir test istatistiği elde etmektedir. Her kesit birim için Wald istatistiğini hesaplamaktadır;

$$W_i = \frac{\hat{y}'_{i,k}}{\sigma^2} \quad (14)$$

Burada $\hat{y}'_{i,k}$ bağımsız değişkenlerin katsayı tahminleri ve σ^2 ise hata teriminin varyansını göstermektedir. Panel düzeyindeki test istatistiği ise bireysel Wald istatistiklerinin ortalamasını esas almaktadır;

$$\bar{W} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N W_i \quad (15)$$

Bu bağlamda tablo 4'te değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisini araştıran D-H test sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 4: Dumitrescu-Hurlin Panel Nedensellik Testi Bulguları

H ₀ : X, Y'nin nedeni değildir	W-bar	Z-bar	P değeri	Gecikme Uzunluğu	Karar
logEB→logYE	25.690	10.833	0.000***	8	H ₀ : Red
logYE→logEB	12.7420	2.903	0.003***	8	H ₀ : Red
logEB→logBS	11.408	2.087	0.036***	8	H ₀ : Red
logBS→logEB	22.191	8.690	0.000***	8	H ₀ : Red
logBS→logYE	16.627	5.283	0.000***	8	H ₀ : Red
logYE→logBS	11.456	2.116	0.034**	8	H ₀ : Red

Not: *, **, ve *** sırasıyla %10, %5 ve %1 önem düzeyini göstermektedir. Gecikme uzunlukları otomatik olarak belirlenmiştir.

Nedensellik testinden elde edilen bulgulara göre ekonomik büyümeden yenilenebilir enerji tüketimine doğru kurulan hipotez reddedilmiştir. Aynı şekilde yenilenebilir enerji tüketiminden ekonomik büyümeye doğru kurulan hipotezde olasılık değerine göre reddedilmiştir. Bu sonuçlar, bu iki değişken arasında çift yönlü nedenselliğin varlığını ortaya koymuştur. Bu bulgular literatür bölümünde bahsedilen Lin ve Moubarak (2014), Sebri ve Ben-Salha (2014), Saidi ve Omri (2020), Shahbaz vd. (2020), Asiedu vd. (2021), Nathaniel, Yalçiner, vd. (2021), Akram vd. (2021), Gyimah vd. (2022), Raihan vd. (2022) ve Q. Wang vd. (2023) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarla tutarlıdır. Ekonomik büyüme ve beşeri sermaye değişkenleri arasında kurulan hipotezlerin her ikisi de reddedilmiştir. Dolayısı ile bu değişkenler arasında çift yönlü nedensellik gözlenmiştir. Bu bulgular literatür bölümünde bahsedilen Fahimi vd. (2018), Ahmed, Zafar, vd. (2020), Abdouli ve Omri (2021), Qamruzzaman vd. (2021), Rahim vd. (2021), Nathaniel (2021), Ahmed vd. (2021), Nathaniel, Nwulu, vd. (2021) ve Ahmad vd. (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarla tutarlıdır. Son olarak beşeri sermaye yenilenebilir enerji tüketiminin nedeni değildir şeklindeki boş hipotez reddedilmiştir. Bu değişkenler arasında kurulan yenilenebilir enerji tüketimi beşeri sermaye endeksinin nedeni değildir hipotezi reddedilmiştir. Sonuç olarak bu değişkenler arasında da çift yönlü nedensellik ilişkisinin varlığı kabul edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Radmehr vd. (2022), Shabani (2024) ve Xu vd. (2024) tarafından yapılan çalışmanın sonuçlarıyla uyumludur.

4. Sonuç ve Politika Çıkarımları

Bu çalışmada, BRICS-T ülkelerinde ekonomik büyüme, beşeri sermaye ve yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki nedensellik ilişkisi ele alınmıştır. Beşeri sermayenin ekonomik büyümenin temel dinamiklerinden biri olduğu ve yenilenebilir enerji tüketiminin sürdürülebilir büyüme üzerindeki kritik rolü göz önüne alındığında, bu değişkenler arasındaki etkileşimlerin incelenmesi büyük önem taşımaktadır. D-H panel nedensellik testi kullanılarak gerçekleştirilen analiz, bu değişkenler arasındaki nedensel yönünün belirlenmesi yoluyla, büyüme stratejileri ve sürdürülebilir kalkınma politikalarının şekillendirilmesine ışık tutmaktadır. Nedensellik testinden elde edilen bulgular beklendiği yönde çıkmıştır. Bu bağlamda ulaşılan sonuçlar ışığında değerlendirme yapılacak olursa; ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji tüketimi ve beşeri sermaye arasında güçlü bir karşılıklı etkileşim olduğuna dikkat çekmektedir.

Yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasında çift yönlü bir nedensellik olduğu tespit edildiğinden, bu alanda yapılan yatırımların büyümeyi destekleyeceğine işaret etmektedir. BRICS-T ülkeleri, yenilenebilir enerji projelerini teşvik eden finansal mekanizmalar (örneğin, düşük faizli krediler veya vergi indirimleri) geliştirerek ekonomik büyümeyi desteklerken aynı zamanda sürdürülebilir büyüme için önemli bir destek vermiş olacaktırlar. Ekonomik büyüme ve yenilenebilir enerji tüketimi arasında gözlemlenen çift yönlü nedensellik dikkate alınarak, enerji politikalarının yalnızca ekonomik faydayı değil, çevresel sürdürülebilirliği de içerecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Bu şekilde

sürdürülebilir kalkınma hedefinde örneklem grubu ülkeleri ekonomik gelişimlerini devam ettireceklerdir. Türkiye’de yenilenebilir enerji altyapısına yapılan yatırımların artırılması, uzun vadeli ekonomik büyüme stratejilerinin ayrılmaz bir parçası olmalıdır. Enerji sektöründe özel yatırımları teşvik eden vergi indirimleri, yeşil tahvil piyasalarının geliştirilmesi ve kamu-özel iş birlikleri ile güneş, rüzgâr ve biyokütle gibi kaynakların daha etkin kullanımı sağlanmalıdır.

Beşeri sermaye ile ekonomik büyüme arasındaki çift yönlü nedensellik, eğitimin ve yetenek geliştirme programlarının ekonomik büyüme üzerindeki etkisini vurgulamaktadır. Bu nedenle, eğitim sistemlerini yenilikçi teknolojilere adapte etmek, mesleki eğitim programlarını artırmak ve yüksek nitelikli iş gücü yetiştirmek öncelikli olmalıdır. Ekonomik büyüme beşeri sermayenin niteliğini artırırken beşeri sermayenin gelişmesi de ekonomik büyümeyi artırmaktadır. Bu bağlamda aralarındaki bu sıkı ilişkiyi artırmak adına ekonomik büyüme ile birlikte beşeri sermayeye olan yatırımlar da artırılmalıdır. Türkiye’nin uzun vadeli kalkınma hedefleri kapsamında eğitimin niteliğinin artırılması öncelik haline getirilmelidir. Mesleki ve teknik eğitim reformları ile dijital becerilerin geliştirilmesi desteklenmelidir. Aynı zamanda, yaşam boyu öğrenme programları yaygınlaştırılarak iş gücünün değişen ekonomik koşullara uyumu artırılmalıdır.

Yenilenebilir enerji tüketimi ve beşeri sermaye arasındaki çift yönlü nedensellik, sürdürülebilir enerji alanında uzmanlaşmış bir iş gücünün gerekliliğine işaret etmektedir. Yenilenebilir enerji teknolojilerine odaklanan eğitim ve öğretim programlarının artırılması, bu iki değişken arasındaki olumlu etkileşimi güçlendirecektir. Çift yönlü nedensellikler, büyümeyi teşvik eden politikaların yalnızca bir boyutla sınırlı kalmaması gerektiğini ortaya koymaktadır. Yenilenebilir enerji altyapısının genişletilmesi, enerji verimliliği artırıcı düzenlemeler ve iş gücü verimliliğini artırmaya yönelik projeler, sürdürülebilir büyümeyi destekleyecektir. BRICS-T ülkeleri, yenilenebilir enerji ve beşeri sermaye geliştirme konularında uluslararası iş birliklerini güçlendirmelidir. Teknoloji transferi ve bilgi paylaşımı, ülkelerin birbirlerinin deneyimlerinden yararlanarak büyümeyi desteklemesine katkıda bulunabilir. Türkiye’de yenilenebilir enerji alanında uzman insan kaynağı yetiştirmeye yönelik üniversite-sanayi iş birlikleri desteklenmeli, mühendislik ve enerji politikaları alanında lisansüstü burs programları yaygınlaştırılmalıdır. Ayrıca, enerji teknolojileri üzerine Ar-Ge merkezlerinin desteklenmesi hem beşeri sermayeyi güçlendirecek hem de sektörel inovasyonu hızlandıracaktır.

Kaynakça

- Abdouli, M., & Omri, A. (2021). Exploring the nexus among FDI inflows, environmental quality, human capital, and economic growth in the Mediterranean region. *Journal of the Knowledge Economy*, 12, 788-810.
- Adebayo, T. S., & Samour, A. (2023). Renewable Energy, Fiscal Policy and Load Capacity Factor in BRICS Countries: Novel Findings from Panel Nonlinear ARDL Model. *Environment, Development and Sustainability*, 1-25.
- Adelakun, O. J. (2011). Human capital development and economic growth in Nigeria. *European journal of business and management*, 3(9), 29-38.

- Ahmad, M., Ahmed, Z., Yang, X., Hussain, N., & Sinha, A. (2022). Financial development and environmental degradation: do human capital and institutional quality make a difference? *Gondwana Research*, 105, 299-310.
- Ahmad, M., Majeed, A., Khan, M. A., Sohaib, M., & Shehzad, K. (2021). Digital financial inclusion and economic growth: Provincial data analysis of China. *China Economic Journal*, 14(3), 291-310.
- Ahmed, Z., Asghar, M. M., Malik, M. N., & Nawaz, K. (2020). Moving towards a sustainable environment: the dynamic linkage between natural resources, human capital, urbanization, economic growth, and ecological footprint in China. *Resources Policy*, 67, 101677.
- Ahmed, Z., Nathaniel, S. P., & Shahbaz, M. (2021). The criticality of information and communication technology and human capital in environmental sustainability: evidence from Latin American and Caribbean countries. *Journal of Cleaner Production*, 286, 125529.
- Ahmed, Z., Zafar, M. W., & Ali, S. (2020). Linking urbanization, human capital, and the ecological footprint in G7 countries: an empirical analysis. *Sustainable cities and society*, 55, 102064.
- Akram, R., Chen, F., Khalid, F., Huang, G., & Irfan, M. (2021). Heterogeneous effects of energy efficiency and renewable energy on economic growth of BRICS countries: a fixed effect panel quantile regression analysis. *Energy*, 215, 119019.
- Alper, F. Ö. (2018). Yenilenebilir Enerji ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki: 1990-2017 Türkiye Örneği. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(2), 223-242.
- Asiedu, B. A., Hassan, A. A., & Bein, M. A. (2021). Renewable energy, non-renewable energy, and economic growth: Evidence from 26 European countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 11119-11128.
- Awosusi, A. A., Mata, M. N., Ahmed, Z., Coelho, M. F., Altuntaş, M., Martins, J. M., . . . Onifade, S. T. (2022). How do renewable energy, economic growth and natural resources rent affect environmental sustainability in a globalized economy? Evidence from Colombia based on the gradual shift causality approach. *Frontiers in Energy Research*, 9, 739721.
- Bayraktar, Y., Dündar, N., & Özyılmaz, A. (2022). The relationship between R&D expenditures and economic growth in BRICS-T countries. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 17(3), 893-910.
- Baz, K., Cheng, J., Xu, D., Abbas, K., Ali, I., Ali, H., & Fang, C. (2021). Asymmetric impact of fossil fuel and renewable energy consumption on economic growth: A nonlinear technique. *Energy*, 226, 120357.
- Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1980). The Lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics. *The review of economic studies*, 47(1), 239-253.
- Bulut, U., & Muratoglu, G. (2018). Renewable energy in Turkey: Great potential, low but increasing utilization, and an empirical analysis on renewable energy-growth nexus. *Energy policy*, 123, 240-250.
- Büyükyılmaz, A., & Mert, M. (2015). CO2 Emisyonu, Yenilenebilir Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin MS-VAR Yaklaşımı ile Modellenmesi: Türkiye Örneği. *Zeitschrift für die Welt der Türken (Journal of World of Turks)*, 7(3), 103-117.
- Demirgil, B., & Birol, Y. E. (2020). Yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisi: Türkiye için bir Toda-Yamamoto nedensellik analizi. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21(1), 68-83.
- Dumitrescu, E.-I., & Hurlin, C. (2012). Testing for Granger non-causality in heterogeneous panels. *Economic modelling*, 29(4), 1450-1460.

- Durğun, B., & Durğun, F. (2018). Yenilenebilir Enerji Tüketimi ile Ekonomik Büyüme Arasında Nedensellik İlişkisi: Türkiye Örneği. *International Review of Economics and Management*, 6(1), 1-27
- Fahimi, A., Saint Akadiri, S., Seraj, M., & Akadiri, A. C. (2018). Testing the role of tourism and human capital development in economic growth. A panel causality study of micro states. *Tourism management perspectives*, 28, 62-70.
- Feenstra, R. C., Inklaar, R., & Timmer, M. P. (2015). The next generation of the Penn World Table. *American economic review*, 105(10), 3150-3182.
- Gyimah, J., Yao, X., Tachega, M. A., Hayford, I. S., & Opoku-Mensah, E. (2022). Renewable energy consumption and economic growth: New evidence from Ghana. *Energy*, 248, 123559.
- Iorember, P. T., Jelilov, G., Usman, O., Işık, A., & Celik, B. (2021). The influence of renewable energy use, human capital, and trade on environmental quality in South Africa: multiple structural breaks cointegration approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 13162-13174.
- Kasap, A. (2025). The Effects of Digitalization on Economic Growth: A Comparative Panel Data Analysis of EU and BRICS-T Countries. *Dynamics in Social Sciences and Humanities*, 6(1), 10-24.
- Khan, I., Hou, F., Zakari, A., & Tawiah, V. K. (2021). The dynamic links among energy transitions, energy consumption, and sustainable economic growth: A novel framework for IEA countries. *Energy*, 222, 119935.
- Lin, B., & Moubarak, M. (2014). Renewable energy consumption–economic growth nexus for China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 111-117.
- Lucas, R. E. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of monetary economics*, 22(1), 3-42.
- Mahmood, N., Wang, Z., & Hassan, S. T. (2019). Renewable energy, economic growth, human capital, and CO₂ emission: an empirical analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 20619-20630.
- Mankiw, N. G., Romer, D., & Weil, D. N. (1992). A contribution to the empirics of economic growth. *The quarterly journal of economics*, 107(2), 407-437.
- Nathaniel, S. P. (2021). Environmental degradation in ASEAN: assessing the criticality of natural resources abundance, economic growth and human capital. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(17), 21766-21778.
- Nathaniel, S. P., Nwulu, N., & Bekun, F. (2021). Natural resource, globalization, urbanization, human capital, and environmental degradation in Latin American and Caribbean countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 6207-6221.
- Nathaniel, S. P., Yalçiner, K., & Bekun, F. V. (2021). Assessing the environmental sustainability corridor: Linking natural resources, renewable energy, human capital, and ecological footprint in BRICS. *Resources Policy*, 70, 101924.
- Osei-Gyebi, S., & Ajayi, P. (2025). Effect of renewable energy consumption and public debt on human capital in Nigeria. *SN Business & Economics*, 5(3), 26.
- Osiobe, E. U. (2019). A literature review of human capital and economic growth. *Business and Economic Research*, 9(4), 179-196.
- Öcal, O., & Aslan, A. (2013). Renewable Energy Consumption-Economic Growth Nexus in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 494-499

- Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of applied econometrics*, 22(2), 265-312.
- Pesaran, M. H., & Yamagata, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels. *Journal of econometrics*, 142(1), 50-93.
- Qamruzzaman, M., Jianguo, W., Jahan, S., & Yingjun, Z. (2021). Financial innovation, human capital development, and economic growth of selected South Asian countries: An application of ARDL approach. *International Journal of Finance & Economics*, 26(3), 4032-4053.
- Radmehr, R., Shayanmehr, S., Ali, E. B., Ofori, E. K., Jasińska, E., & Jasiński, M. (2022). Exploring the nexus of renewable energy, ecological footprint, and economic growth through globalization and human capital in G7 economics. *Sustainability*, 14(19), 12227.
- Rahim, S., Murshed, M., Umarbeyli, S., Kirikkaleli, D., Ahmad, M., Tufail, M., & Wahab, S. (2021). Do natural resources abundance and human capital development promote economic growth? A study on the resource curse hypothesis in Next Eleven countries. *Resources, Environment and Sustainability*, 4, 100018.
- Rahman, M. M., & Velayutham, E. (2020). Renewable and non-renewable energy consumption-economic growth nexus: new evidence from South Asia. *Renewable Energy*, 147, 399-408.
- Raihan, A., Muhtasim, D. A., Farhana, S., Pavel, M. I., Faruk, O., Rahman, M., & Mahmood, A. (2022). Nexus between carbon emissions, economic growth, renewable energy use, urbanization, industrialization, technological innovation, and forest area towards achieving environmental sustainability in Bangladesh. *Energy and Climate Change*, 3, 100080.
- Romer, P. M. (1986). Increasing returns and long-run growth. *Journal of political economy*, 94(5), 1002-1037.
- Saidi, K., & Omri, A. (2020). The impact of renewable energy on carbon emissions and economic growth in 15 major renewable energy-consuming countries. *Environmental research*, 186, 109567.
- Samour, A., Adebayo, T. S., Agyekum, E. B., Khan, B., & Kamel, S. (2023). Insights from BRICS-T economies on the impact of human capital and renewable electricity consumption on environmental quality. *Scientific Reports*, 13(1), 5245.
- Schultz, T. W. (1961). Investment in human capital. *The American economic review*, 51(1), 1-17.
- Sebri, M., & Ben-Salha, O. (2014). On the causal dynamics between economic growth, renewable energy consumption, CO2 emissions and trade openness: Fresh evidence from BRICS countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 14-23.
- Serel, H., & Masatçı, K. (2005). Türkiye'de beşeri sermaye ve iktisadi büyüme ilişkisi: Ko-Entegrasyon analizi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 19(2), 49-58.
- Serrat, O. (2017). *Knowledge Solutions: Tools, Methods, and Approaches to Drive Organizational Performance*. London: Springer Nature.
- Shabani, Z. D. (2024). Renewable energy and CO2 emissions: Does human capital matter? *Energy Reports*, 11, 3474-3491.
- Shahbaz, M., Raghutla, C., Chittedi, K. R., Jiao, Z., & Vo, X. V. (2020). The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from the renewable energy country attractive index. *Energy*, 207, 118162.
- Shahbaz, M., Song, M., Ahmad, S., & Vo, X. V. (2022). Does economic growth stimulate energy consumption? The role of human capital and R&D expenditures in China. *Energy Economics*, 105, 105662.

- Sheraz, M., Deyi, X., Ahmed, J., Ullah, S., & Ullah, A. (2021). Moderating the effect of globalization on financial development, energy consumption, human capital, and carbon emissions: evidence from G20 countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 35126-35144.
- Swamy, P. A. (1970). Efficient inference in a random coefficient regression model. *Econometrica*, 38(2), 311-323.
- Şimşek, M., & Kadılar, C. (2010). Türkiye'de beşeri sermaye, ihracat ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin nedensellik analizi. *Cumhuriyet University Journal of Economics & Administrative Sciences/Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 11(1), 115-140.
- Taban, S., & Kar, M. (2006). Beşeri sermaye ve ekonomik büyüme: Nedensellik analizi, 1969-2001. *Sosyal Bilimler Dergisi*, 1, 159-182.
- Ülger, M., Uçar, M., Atamer, M. A., & Apaydın, Ş. (2024). Kentleşme, Yenilenebilir Enerji ve İnovasyon ile Ekonomik Büyüme ve Ekolojik Ayak İzi Arasındaki Nedensellik İlişkileri: Çok Yüksek İnsani Gelişme Düzeyindeki Ülkeler Örneği. *Politik Ekonomik Kuram*, 8(2), 449-462.
- Wang, J., Zhang, S., & Zhang, Q. (2021). The relationship of renewable energy consumption to financial development and economic growth in China. *Renewable Energy*, 170, 897-904.
- Wang, Q., Guo, J., Li, R., & Jiang, X.-t. (2023). Exploring the role of nuclear energy in the energy transition: A comparative perspective of the effects of coal, oil, natural gas, renewable energy, and nuclear power on economic growth and carbon emissions. *Environmental research*, 221, 115290.
- Wang, Q., & Wang, L. (2020). Renewable energy consumption and economic growth in OECD countries: A nonlinear panel data analysis. *Energy*, 207, 118200.
- World Bank. (2024). *World Development Indicators*. [Erişim Tarihi: 01 Ekim 2024] <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>
- Xu, H., Ahmad, M., Aziz, A. L., Uddin, I., Aljuaid, M., & Gu, X. (2024). The linkages between energy efficiency, renewable electricity, human capital and inclusive growth: The role of technological development. *Energy Strategy Reviews*, 53, 101414.
- Xu, X.-l., & Liu, C. K. (2019). How to keep renewable energy enterprises to reach economic sustainable performance: from the views of intellectual capital and life cycle. *Energy, Sustainability and Society*, 9, 1-10.
- Zafar, M. W., Zaidi, S. A. H., Khan, N. R., Mirza, F. M., Hou, F., & Kirmani, S. A. A. (2019). The impact of natural resources, human capital, and foreign direct investment on the ecological footprint: the case of the United States. *Resources Policy*, 63, 101428.

Extended Abstract

In today's global economy, economic growth is based not only on the accumulation of physical and natural capital, but also on the development of human capital. Human capital is defined as a measure of the skills, education, capacity and qualifications that affect the productive capacity and earnings of the workforce (Serrat, 2017). Endogenous growth theories also emphasize the priority of human capital, revealing that this element is the driving force of economic development (Lucas, 1988; Mankiw et al., 1992; Romer, 1986). Human capital not only provides the ability to manage other factors of production, but also contributes to higher labor productivity, allowing economic growth to accelerate (Osiope, 2019; Schultz, 1961). Human capital makes a vital contribution to economic growth and has a great impact on economic progress (Zafar et al., 2019). In the opposite case, lack of investment in human capital stands out as a factor that can hinder economic growth (Ahmed et al., 2020). Therefore, the impact of investments in human capital cannot be ignored in the efforts of economies to achieve sustainable growth. Sustainable growth for businesses is also directly related to the talents and skills of human resources (Adelakun, 2011; Xu & Liu, 2019). More educated and competent individuals can use technology more effectively, contribute to innovative processes, and increase productivity. In this context, human capital is seen as one of the main determinants of economic growth.

In addition to human capital, the role of renewable energy consumption is also important in the economic growth process. While energy is considered an important factor in the economic growth of a country (Baz et al., 2021; Khan et al., 2021), renewable energy consumption has been identified as one of the driving forces of economic growth (Q. Wang & Wang, 2020). There is a significant link between human capital and renewable energy consumption. A workforce with a high level of education and knowledge plays a critical role in the development, implementation, and effective use of renewable energy technologies. Human capital supports research and development (R&D) activities, enabling renewable energy resources to be used in more efficient and innovative ways. As a result, a high level of human capital can accelerate the transition to renewable energy and contribute to economic growth.

The motivation for this study focuses on the increasing importance of BRICS-T countries in the global economy, and the challenges and opportunities these countries are facing in achieving their sustainable development goals. Understanding the dynamics of the relationships between human capital, renewable energy consumption, and economic growth in these countries will both contribute to theoretical knowledge and guide policymakers. This study aims to analyze the causal relationship between economic growth, human capital, and renewable energy consumption in BRICS-T countries during the period 1990-2019. The reason for choosing BRICS-T countries in this study is that they provide an ideal sample for examining the relationships between human capital, renewable energy consumption, and economic growth due to their strong growth dynamics, large populations, and important roles in the global economy. These countries stand out with their efforts to develop their human capital and increase the use of renewable energy while trying to achieve economic growth. In addition, their different geographical, economic, and political structures provide an opportunity to understand how these relationships are shaped in various contexts.

As a result, it can be assumed that human capital and renewable energy consumption affect economic growth in BRICS-T countries. Therefore, it would be appropriate to evaluate the roles of human capital and renewable energy consumption on the economic growth figures of BRICS-T countries. Therefore, the study tries to address the following questions in the context of BRICS-T countries:

1. Is there any causal relationship between economic growth and human capital?
2. Is there any causal relationship between economic growth and renewable energy consumption?

This study offers several important contributions to the literature by focusing on the relationships between human capital, renewable energy consumption, and economic growth. First, examining these relationships on countries with different economic structures and sustainability dynamics, such as BRICS-T countries, provides a rich perspective for comparative analyses. Second, by considering the mutual effects of renewable energy consumption, human capital, and economic growth together, a more comprehensive understanding of how these factors complement each other has been determined. Third, focusing on BRICS-T countries contributes to policy designs for sustainable development goals by providing an original model for developing economies. In this respect, the study aims to fill the gaps in the existing literature and offer a new perspective.

In the study, the causality relationship and direction between these variables were analyzed using annual data for the period 1990-2019. According to the analysis results carried out with the Dumitrescu-Hurlin panel causality test method, since a bidirectional causality was determined between renewable energy consumption and economic growth, it indicates that investments made in this area will support growth. The bidirectional causality between human capital and economic growth highlights the impact of education and talent development programs on economic growth. The bidirectional causality between renewable energy consumption and human capital points to the need for a workforce specialized in sustainable energy.