

## Yeşil Büyüme Bağlamında Enerji ve Sağlık: BRICS Ülkeleri Örneği

## Energy and Health in the Context of the Green Growth: The Case of BRICS Countries

Hatice MUTLU<sup>1</sup>, Gözde BOZKURT ATEŞ<sup>2</sup>, Mesut Can TÜRKÖĞLU<sup>3</sup>

Başvuru Tarihi/Submitted: 18.03.2025 Kabul Tarihi/Accepted: 27.10.2025

Makale Türü/Article Type: Araştırma Makalesi/Research Article

### Öz

Bu araştırma, BRICS (Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika) ülkelerinde yeşil büyüme, enerji kullanımı, yenilenebilir enerji arzı, sağlık göstergeleri ve kişi başına düşen gayrisafi yurtiçi hasıla (GSYİH) arasındaki ilişkileri incelemektedir. Araştırmada, zaman serisi verilerinde uzun dönem ilişkileri analiz eden Bootstrap Otoregresif Dağıtılmış Gecikme Modeli (ARDL) kullanılmıştır. 1990-2021 yılları arasında kapsayan araştırma verileri, Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) veri havuzunda yer alan yeşil büyüme göstergelerinden elde edilmiştir. Bulgular, belirtilen yıllar arasında BRICS ülkelerinde farklı eşbütünleşme süreçleri bulunduğunu, ayrıca yenilenebilir enerji arzı ve kişi başına reel GSYİH ile doğumda beklenen yaşam süresi arasında eşbütünleşik bir ilişkinin var olduğunu göstermektedir. Granger nedensellik testi sonuçları, yenilenebilir enerji kullanımının doğumda beklenen yaşam süresini olumlu etkilediğini, enerji yoğunluğunun ise ekonomik büyüme üzerinde belirleyici bir faktör olduğunu ortaya koymuştur. Ancak, ekonomik büyüme bağımlı değişken olarak ele alındığında uzun dönemli eşbütünleşme tespit edilmemiştir. Sonuçlar, enerji tüketimi ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının kısa vadede ekonomik büyümenin önemli belirleyicileri olduğunu göstermektedir. Araştırma, sürdürülebilir ekonomik ve çevresel kalkınma stratejilerinin sağlık politikaları ile entegrasyonunun önemini vurgulamakta ve politika yapıcılara yenilenebilir enerji yatırımlarını artırmaya yönelik öneriler sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Bootstrap ARDL modeli, BRICS ülkeleri, enerji, sağlık, yeşil büyüme

**JEL Kodu:** C12, I15, Q2, Q5

### Abstract

This research examines the relationships between green growth, energy consumption, renewable energy supply, health indicators, and per capita gross domestic product (GDP) in BRICS (Brazil, Russia, India, China, and South Africa) countries. The research employs the Bootstrap Autoregressive Distributed Lag Model (ARDL), which analyzes long-term relationships in time series data. The research covers the period from 1990 to 2021, utilizing green growth indicators sourced from the Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD) data explorer. The results reveal the existence of different cointegration processes among BRICS countries during the specified years. Furthermore, the results indicate a cointegrated relationship between renewable energy supply and real per capita GDP with life expectancy at birth. The Granger causality test results suggest that renewable energy consumption positively influences life expectancy at birth, while energy intensity is a determining factor for economic growth. However, no long-term cointegration is detected when economic growth is considered the dependent variable. The results highlight that energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions are significant determinants of economic growth in the short term. This research underscores the importance of integrating sustainable economic and environmental development strategies with health policies and provides recommendations for policymakers to enhance investments in renewable energy.

**Keywords:** Bootstrap ARDL model, BRICS countries, energy, health, green growth

**JEL Code:** C12, I15, Q2, Q5

<sup>1</sup>İstanbul Galata Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Veri İşleme Teknikerliği, Dr. Öğr. Üyesi, hatice.mutlu@galata.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7022-454X

<sup>2</sup>İstanbul Beykent Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat, Dr. Öğr. Üyesi, gozdebozkurt@beykent.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8413-1099

<sup>3</sup>Kırklareli Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Sağlık Kurumları İşletmeciliği, Öğr. Gör., mesutcan.turkoglu@klu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7955-0520

## Giriş

Yeşil büyüme, ekonomik büyüme ve kalkınmayı doğal varlıkların korunmasıyla dengelemeyi amaçlayan bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım, çevresel kaynakların ve hizmetlerin sürdürülebilir şekilde sağlanmasını garanti altına alarak kalkınma hedeflerinin ilerletilmesi için pratik bir çerçeve sunmaktadır (Dogaru, 2021). Yeşil büyüme stratejileri, ekonomik ve çevresel dinamiklerde ölçülebilir ve somut ilerlemeler kaydedilmesini sağlarken ekonomik büyümenin toplumsal etkilerini de dikkate almaktadır. Yeşil büyümenin temel bileşenleri arasında temiz hava, temiz su, gıda üretimi ve biyolojik çeşitliliğin korunması gibi insan sağlığını destekleyen hayati hizmetlerin sağlanması yer almaktadır. Doğal kaynakların sınırlı ve yenilenemez olduğu gerçeği göz önünde bulundurulduğunda, sürdürülebilirliği sağlamak adına yeşil büyüme stratejileri büyük önem arz etmektedir (OECD, 2011). Modern ekonomilerde ekonomik faaliyetlerin çevre üzerinde olumsuz etkileri olabilmekte, bu da yeşil ekonomi ve yeşil büyümeyi teşvik eden politika önlemlerinin gerekliliğini vurgulamaktadır (Dogaru, 2021).

Küresel ekonomik büyümeyi sağlama ve sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etme açısından en umut verici ülke gruplarından biri BRICS ülkeleridir. Bu ülkeler, yüksek ekonomik büyüme oranları ve sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmeye yönelik çabaları ile öne çıkmaktadır. BRICS ülkeleri dünya nüfusunun yaklaşık %42'sini ve küresel GSYİH'nin %31'ini oluşturmaktadır (BRICS Business Council, 2022). Küresel yönetim ve jeopolitik dinamikler bağlamında şekillenen BRICS, belirli bölgelerde siyasi güce sahip olmasının yanı sıra doğal kaynaklar bakımından zengin ve ileri teknolojiye sahip ülkelerden meydana gelmektedir (Chen vd., 2023). BRICS ülkelerinin dünyadaki tarımsal üretimin yaklaşık yarısını elinde bulundurması büyük ölçüde bu ülkelerin zengin doğal kaynaklarına dayanmaktadır. Söz konusu durum ise bu ülkelerin dış pazarlara olan bağımlılığını azaltarak ülke ekonomilerini sürdürülebilir kalkınma yolunda güçlendirmektedir (BRICS Business Council, 2022). Ancak bu ülkeler finansal büyüme hedefleri ile sürdürülebilirlik hedefleri arasındaki dengeyi sağlama konusunda önemli zorluklarla karşı karşıyadır. BRICS grubu, yeşil büyüme yoluyla çevresel zararları en aza indirerek ekonomik büyümeyi çevresel sürdürülebilirlikle birleştirmeyi amaçlamaktadır. Literatür; yeşil yatırımların, çevresel teknolojilerin ve araştırma-geliştirme (Ar-Ge) faaliyetlerinin BRICS ekonomilerinde sürdürülebilir yeşil büyümeyi teşvik etmede kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Ayrıca, finansal küreselleşmenin bu ülkelerde yeşil büyümeyi artırıcı bir etkisi olduğu öne sürülmektedir (Chen vd., 2023; Sohail, 2023). Farklı yaklaşımlar ve ilerleme seviyeleri olmasına rağmen, tüm BRICS ülkeleri sürdürülebilir enerji kaynaklarını genişletmek için çalışmalar yürütmektedir (Khare vd., 2023). Enerji sektörüne sürdürülebilirliği entegre ederek ekonomik büyüme hedeflerine ulaşmayı amaçlayan BRICS ülkeleri; yenilenebilir enerji yatırımlarına öncelik vermekte, enerji verimliliğini artırmakta ve karbon emisyonlarını azaltarak enerji talebini sürdürülebilir bir şekilde karşılamaya odaklanmaktadır.

BRICS ülkeleri, ekonomik büyüme stratejilerinin yanı sıra sosyal refah ve çevresel kaygıları da giderek daha fazla ele almaktadır. Bu ülkeler tarafından enerji israfını azaltmak ve çevresel zararları en aza indirmek için çeşitli önlemler alınmaktadır (Nguyen ve Khominich, 2023). Artan sıcaklıkların iş gücü kapasitesini ve verimliliğini etkileyebileceği göz önünde bulundurulduğunda, sağlık ve sosyal sorunlar ön plana çıkmaktadır. Karbon ve azot emisyonları ile partikül madde (PM<sub>2,5</sub>) gibi kirleticiler, birçok hastalığa neden olarak halk sağlığını tehdit etmektedir (Aziz, 2023). Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO), gezegen sağlığını iyileştirmek ve insana yakışır çalışma koşullarını sağlamak amacıyla yeşil ekonomiye geçişin aciliyetini vurgulamaktadır (ILO, 2022). Bu bağlamda, yeşil büyüme yalnızca çalışanların sağlığı için değil, toplumun tamamı için hayati bir rol oynamaktadır. Zira sağlıklı bir nüfus; iş gücü verimliliği ve ekonomik istikrar için temel bir unsurdur. Bu nedenle pandemilere karşı direnç artırılmalı, temel sağlık hizmetlerine erişim iyileştirilmeli ve sağlık altyapısı güçlendirilmelidir (WHO, 2022).

Sürdürülebilir yeşil büyümeyi teşvik etmek ve uzun vadeli kalkınmayı sağlamak için her BRICS üyesi ülke, ortak çabalar içerisinde önemli bir rol oynamaktadır (Gu vd., 2018). Her ülkenin yeşil büyümeyi yönetmek için benimsediği stratejilerin etkinliği ve sürekliliği, toplumsal refah üzerinde önemli etkilere sahiptir. Örneğin, Hindistan ve Çin'de yoksulluğun CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki etkisini inceleyen araştırmalar, yoksulluğun kısa vadede Hindistan'da emisyonları artırdığını ve her iki ülkede de uzun vadede önemli bir kirlilik kaynağı olduğunu ortaya koymuştur (Jiang vd., 2021). Brezilya'da, arazi kullanımının verimliliğini artırmayı hedefleyen ABC Planı üzerine yapılan çalışmalar, bu planın özellikle yerel kurumların katılımı gibi yeşil büyüme politikalarının kritik bileşenlerinden yoksun olduğunu göstermiştir (Souza Piao vd., 2021). BRICS ülkelerinin sürdürülebilir kalkınma yolundaki ilerlemesi sağlık, ekonomi, çevre ve enerji alanlarındaki çabaların birbirine bağlı olduğu bir döngü içinde işlemekte ve kolektif başarının yolunu açmaktadır.

Bu araştırma; BRICS ülkelerinde yeşil büyüme, enerji kullanımı, yenilenebilir enerji arzı, sağlık göstergeleri ve GSYİH arasındaki etkileşimleri ortaya çıkarmayı amaçlamaktadır. Literatürde yer alan çalışmalarda bu değişkenler çoğunlukla ayrı ayrı incelenmekte ve yüksek gelirli ülke örneklemeleri çerçevesinde ele alınmakta; BRICS gibi yükselen ekonomiler bağlamında çevre, enerji, ekonomi ve halk sağlığı alanlarını entegre eden çok değişkenli analizler sınırlı kalmaktadır (Huo vd., 2025; Mehrabi vd., 2025). Söz konusu eksiklik, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, enerji politikalarının kamu sağlığına etkisinin kapsamlı olarak incelenmesine duyulan ihtiyacı ortaya koymaktadır. Ayrıca çoğu çalışma klasik regresyon ya da panel veri analizi yöntemleriyle sınırlı kalırken, yapısal kırılmalara duyarlı gelişmiş ekonometrik modellerin bu alana entegrasyonunun henüz yeterli düzeye ulaşmadığı ifade edilebilir. Araştırmada kullanılan bootstrap ARDL modeli, yaygın bir kullanım alanı bulunan Granger nedensellik testine kıyasla daha esnek ve güvenilir sonuçlar sunan sağlam bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Bu model, doğrusal olmayan ilişkileri yakalayabilmesi sayesinde, geleneksel Granger nedensellik testi tarafından gözden kaçırılan noktaların keşfedilmesine olanak tanımaktadır. Bu bağlamda araştırma, BRICS ülkelerinde söz konusu değişkenler arasındaki etkileşimleri analiz eden ilk bütüncül ampirik çalışmalardan biridir. Bootstrap ARDL yaklaşımıyla hem kısa hem de uzun dönemli ilişkileri test ederek kavramsal düzeyde olduğu kadar metodolojik düzeyde de önemli bir yenilik sunan bu araştırma; çevre, ekonomi ve sağlık alanlarının kesişiminde yer alan bütüncül bir çerçeve çizerek literatüre özgün katkılar sağlamaktadır. Elde edilen bulgular yalnızca BRICS ülkeleri için değil, benzer yapısal özelliklere sahip gelişmekte olan ülkeler açısından da genellenebilir nitelikte olup sürdürülebilir kalkınma, sağlık politikaları ve enerji stratejileri arasında bütüncül bir perspektif geliştirilmesine yönelik küresel düzeyde özgün katkılar sunmaktadır. Araştırmanın giriş bölümünün ardından diğer bölümler şu şekilde yapılandırılmıştır: İkinci bölümde araştırma konusu hakkında kavramsal bilgilere ve literatür taramasına yer verilmiş, üçüncü bölümde araştırmanın metodolojik çerçevesi açıklanmış, dördüncü bölümde ampirik bulgulara yer verilmiş; beşinci ve son bölümde ise bulgular tartışılıp literatürle karşılaştırmalar yapılmış, ayrıca araştırmanın genel sonuçları sunulmuş ve politika yapıcılara yönelik öneriler geliştirilmiştir.

## Kavramsal Çerçeve

Yeşil büyüme kavramı, ilk olarak 1970'li yıllarda ekonomik kalkınmanın çevresel sınırlarla çatıştığı fark edildiğinde gündeme gelmeye başlamıştır. Bu dönemin en önemli katkılarından biri olan ve 1972 yılında yayımlanan *The Limits to Growth* (Büyümenin Sınırları) raporu; hızla artan sanayileşme, nüfus artışı, yetersiz beslenme, yenilenemeyen kaynakların tükenmesi ve çevre kirliliği gibi beş temel küresel eğilimin birbirleriyle etkileşim içinde olduğunu belirtmiştir. Raporda ayrıca mevcut büyüme modelleri sürdürüldüğü takdirde, 21. yüzyıl ortalarında dünya sisteminin ani ve kontrolsüz bir çöküşle karşılaşabileceği, sürdürülebilir kalkınma için bu eğilimlerin yeniden değerlendirilmesi gerektiği ifade edilmiştir (Ansal, 2004). Bu rapor her ne kadar metodolojik olarak eleştirilmiş ve bazı varsayımları tartışmalı bulunmuş olsa da uzun vadeli sürdürülebilirlik tartışmalarını tetiklemesi açısından önemli bir dönüm noktasıdır. Bu düşünsel zemin, 1987 yılında yayımlanan *Brundtland Raporu* (Our Common Future) ile kurumsal boyuta taşınmış; kalkınmanın yalnızca bugünün değil, gelecek kuşakların ihtiyaçlarını da gözetmesi gerektiği ilkesi benimsenmiştir.

Zamanla, yeşil büyüme yalnızca çevresel zararları azaltmak değil, aynı zamanda yenilikçilik, istihdam, sağlık ve enerji dönüşümü gibi alanlarda eşzamanlı kazanımlar üretme hedefiyle daha bütüncül bir çerçeveye dönüşmüştür. Özellikle 2000'li yıllarda OECD (2011) ve Dünya Bankası (2012) gibi uluslararası kuruluşlar tarafından benimsenen bu yaklaşım, düşük karbonlu ekonomi ile toplumsal refah hedeflerini birleştiren yeni bir kalkınma paradigması olarak tanımlanmıştır. Ioannou vd. (2025) tarafından yapılan bir araştırma ise çevre politikalarının artık yalnızca doğal kaynakları korumakla sınırlı olmadığını; aynı zamanda enerji, sağlık, tarım ve ulaşım gibi çok sektörlü sistemleri etkileyen karmaşık yapılar hâline geldiğini ifade etmektedir.

Çevre politikalarının enerjiyle olan ilişkisi özellikle 2005 sonrasında Paris Anlaşması süreciyle de güçlenmiştir. Paris Anlaşması, 2015 yılında kabul edilerek küresel sıcaklık artışını sanayi öncesi seviyelere göre 2°C'nin altında tutmayı ve 1,5°C ile sınırlandırmayı hedeflemiştir. Bu hedeflere ulaşmak için fosil yakıtların kullanımının azaltılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının teşvik edilmesi ve enerji verimliliğinin artırılması gibi önlemler öngörülmüştür. Anlaşma, enerji politikalarının, iklim değişikliğiyle mücadelede merkezî bir rol oynamasını sağlamış ve ülkeleri sürdürülebilir enerji çözümlerini benimsemeye teşvik etmiştir (UNFCCC, 2015). Yenilenebilir enerjiye geçiş, karbon salınımını azaltarak çevresel sürdürülebilirliği desteklemekte ve aynı zamanda hava kalitesini iyileştirerek halk sağlığı üzerinde doğrudan etkiler yaratmaktadır. Literatürde fosil yakıt kaynaklı hava kirliliğinin solunum yolu hastalıkları,

erken ölümler ve doğumda beklenen yaşam süresindeki azalma gibi etkiler yarattığı vurgulanmaktadır (Romanello vd., 2022; Andersen vd., 2025). Dolayısıyla yeşil büyümenin; çevresel sürdürülebilirliği, sosyal eşitliği, sosyal refahı ve halk sağlığını temel alan, bu yönleriyle ekonomik kalkınmanın ötesine geçen çok boyutlu bir yaklaşım olduğu belirtilebilir (Özaslan, 2023; Nalinci, 2023). Bu çerçevede yeşil büyümenin, sağlık politikalarında toplumsal eşitsizlikleri azaltan ve halk sağlığını güçlendiren bütüncül bir kalkınma paradigması olduğu ifade edilebilir. Yeşil büyümenin sağlık perspektifi özellikle Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) "Sağlık Sistemleri Dirençliliği" çerçevesiyle öne çıkmaktadır (WHO, 2022). Bu yaklaşım, sağlık hizmetlerinin çevresel tehditlere karşı dayanıklı hâle getirilmesi gerektiğini ve enerji arzının sürdürülebilirliği ile sağlık sistemlerinin devamlılığı arasında doğrudan bir bağ olduğunu savunmaktadır.

Bu araştırma; yeşil büyüme, yenilenebilir enerji kullanımı ve sağlık arasındaki ilişkiyi açıklamak için çeşitli teorilerle temellendirilebilir. Bunlardan birisi Kapsayıcı Büyüme Teorisi'dir. Bu teori büyümenin yalnızca makroekonomik düzeyde değil, aynı zamanda toplumun tüm kesimlerinde refah artışı yaratacak biçimde dağıtılmasını savunarak halk sağlığını kalkınmanın temel belirleyicileri arasında değerlendirmektedir (Özütler, 2018). Kapsayıcı büyüme ve sağlık çıktılarındaki iyileşme, sürdürülebilir ekonomik büyümenin ve kalkınmanın temel itici güçlerini oluşturmaktadır (Çınaroğlu, 2018). Yeşil büyüme ile ilişkili teorilerden bir diğeri ise Solow'un Büyüme Modeli'dir. Model çerçevesinde enerji, üretim faktörlerinden biri olarak kabul edilmekte ve ekonomik büyümenin sürdürülebilirliği için enerji yatırımlarının önemi vurgulanmaktadır (Aydın, 2021).

Yeşil büyüme yaklaşımı, Birleşmiş Milletler'in 2030 gündemi kapsamında tanımlanan Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SDG) ile de doğrudan ilişkilidir. Özellikle Amaç 3 (Sağlıklı ve kaliteli yaşam), Amaç 7 (Erişilebilir ve temiz enerji), Amaç 11 (Sürdürülebilir şehirler ve topluluklar) ve Amaç 13 (İklim eylemi), yeşil büyümenin sağlık ve enerji ile olan bütünleşik etkilerini vurgulamaktadır (United Nations, t. y.). SDG'ler çevresel sürdürülebilirlik, sosyal eşitlik ve ekonomik kalkınmanın birlikte ele alınması gerektiğini savunarak yeşil büyümeyi küresel bir kalkınma paradigması hâline getirmiştir (Judijanto ve Syahrin, 2025). Sonuç olarak yeşil büyüme; tarihsel süreçte sürdürülebilirlikten türeyen, zamanla enerji politikalarıyla bütünleşen ve günümüzde halk sağlığını doğrudan etkileyen çok boyutlu bir kalkınma anlayışına dönüşmüştür.

Yeşil büyümeye ilişkin mevcut literatür incelendiğinde, yeşil büyüme çerçevesinde çevresel göstergeler ile halk sağlığı arasındaki doğrudan etkileşimlerin BRICS ülkeleri özelinde sınırlı düzeyde analiz edildiği görülmektedir. Çoğu araştırmanın, yenilenebilir enerji ile ekonomik büyüme veya çevresel sürdürülebilirlik arasındaki ilişkiye odaklandığı (Raihan, 2024; Yan vd., 2024), sağlık göstergelerinin bu bağlamda yeterince dikkate alınmadığı ifade edilebilir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde enerji politikalarının doğumda beklenen yaşam süresi, bebek ölüm oranı veya halk sağlığı harcamaları gibi göstergelerle sistematik olarak ilişkilendirildiği çalışmalar oldukça az sayıdadır. Örneğin Dam vd. (2023), BRICS-T ülkeleri için doğumda beklenen yaşam süresi ile yenilenebilir enerji ve gelir düzeyi arasındaki ilişkiyi incelemiş ancak CO<sub>2</sub> yoğunluğu ve enerji yoğunluğu gibi çevresel baskı göstergelerini kapsam dışı bırakmıştır. Wang vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada yenilenebilir enerji ile insani kalkınma arasında çift yönlü bir ilişki olduğu ortaya konulmuş fakat çalışmada sağlık göstergeleri ampirik modele dâhil edilmemiştir. Benzer şekilde Yacour vd. (2024), Kuzey Afrika ülkeleri bağlamında çevresel kalite ve sağlık harcamaları ilişkisini incelemiş ancak enerji yoğunluğu veya enerji tüketimi gibi çevresel faktörlere değinmemiştir.

Avrupa Birliği ve G7 ülkeleri gibi birtakım ülke gruplarına odaklanan bazı çalışmalar (Karimi Alavijeh vd., 2024; Bayar vd., 2021), doğumda beklenen yaşam süresi ve çevresel göstergeler arasındaki etkileşimleri incelemiş olsa da bu analizlerin BRICS kapsamında uygulandığı çalışmalara nadiren rastlanmaktadır. Ayrıca, BRICS ülkelerinde yeşil büyüme bağlamında sağlık çıktıları ile ekonomik göstergeleri birlikte ele alan çalışmalarda genellikle geleneksel nedensellik veya panel veri modelleri ile analizler gerçekleştirilmektedir (Aziz, 2023; Azam, 2019). Bu tür modellerin parametrik sınırlılıkları; yapısal kırılmalar ve küçük örneklem büyüklükleri gibi problemler karşısında zayıf kalabilmektedir. Bu bağlamda, Bootstrap ARDL yöntemi gibi özellikle küçük örneklemlemlerle çalışırken daha güvenilir sonuçlar verebilen ve yapısal değişimleri dikkate alabilen esnek ve sağlam alternatifler literatürde nispeten yeni çalışılmaya başlanan ve dikkat çeken metotlar arasındadır (McNown vd., 2018; Shahbaz vd., 2018). Söz konusu durum çalışmanın metodolojik olarak da önemli bir boşluğu doldurduğuna işaret etmektedir.

Bu araştırma; BRICS ülkelerinde doğumda beklenen yaşam süresi ile yenilenebilir enerji arzı, CO<sub>2</sub> yoğunluğu, enerji yoğunluğu ve kişi başına düşen reel GSYİH arasındaki ilişkileri hem kısa hem de uzun dönemli boyutlarıyla ele almakta, değişkenleri metodolojik olarak Bootstrap ARDL yaklaşımıyla analiz

ederek mevcut literatür boşluğunu doldurmayı amaçlamaktadır. Özellikle yeşil büyümenin sağlık üzerindeki etkilerini doğrudan analiz eden çalışmaların literatürdeki sınırlılığı dikkate alındığında, bu çalışmanın hem konu kapsamı hem de metodolojik düzeyi açısından literatüre özgün bir katkı sunduğu belirtilebilir. Ayrıca, sağlık göstergesi olarak doğumda beklenen yaşam süresinin seçilmesi, halk sağlığını doğrudan etkileyen enerji politikalarının değerlendirilmesinde güçlü bir zemin oluşturmaktadır. Bu yönüyle çalışma; yeşil büyümenin yalnızca çevresel veya ekonomik boyutlarını değil, aynı zamanda sosyal boyutlarını da dikkate alan multidisipliner bir çerçevede ortaya koymakta, BRICS ülkelerinde çevre, ekonomi ve sağlık politikalarının entegrasyonu açısından özgün ve bütüncül bir katkı sunmaktadır.

## Yöntem

Araştırmada, 1990-2021 yılları arasını kapsayan ve OECD veri havuzundan elde edilen veriler kullanılarak BRICS ülkelerinde yeşil büyüme, enerji kullanımı, yenilenebilir enerji arzı, sağlık göstergeleri ve kişi başına düşen gayrisafi yurtiçi hasıla (GSYİH) arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Araştırmada, zaman serisi verilerinde uzun dönem ilişkileri analiz eden bootstrap ARDL modeli kullanılmıştır. Tüm değişkenlere ilişkin heteroskedastisite sorunlarını gidermek amacıyla logaritmik dönüşümler uygulanmıştır. Yapılan analizde, BRICS ülkeleri için doğumda beklenen yaşam süresi bootstrap ARDL modeli kullanılarak incelenmiştir. Yapısal kırılmaları içeren bootstrap ARDL sınır testi kapsamında, zaman serisi verilerinin güvenilirliğini sağlamak amacıyla öz-regresyon teknikleri ve yinelemeli döngü kalibrasyonları uygulanarak tahmin ve doğrulama süreçleri gerçekleştirilmiştir.

## Birim Kök Testi

Zaman serisi analizine geçmeden önce, toplanan verilerin durağan olup olmadığını belirlemek amacıyla birim kök testinin uygulanması gereklidir. Bu test, yanıltıcı regresyon sonuçlarını önlemeye yardımcı olmaktadır. Durağanlık, istatistiksel çıktılar olan varyans ve ortalamanın zaman içinde sabit kalmasını ifade etmektedir. Bu araştırmada, tüm değişkenler için Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) ve Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS) birim kök testleri uygulanmıştır. Ayrıca, kesme noktalarını belirlemek amacıyla, durağanlık özelliklerini doğrusal eğilim bileşeni ve sabit terim düzeyinde belirleyebilen Zivot ve Andrews (Z-A) birim kök testi kullanılmıştır.

İlgili literatür, birim kök testlerinin belirli bir serinin uygun entegrasyon derecesini belirleme konusunda zaman zaman farklı sonuçlar verebildiğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle, hangi birim kök testinin kullanılacağı büyük ölçüde araştırmacının takdirine bağlıdır. Bulgular, örneklem büyüklüğünün artmasıyla birlikte tüm testlerin performansında iyileşme sağlandığını göstermektedir. Örneklem büyüklükleri karşılaştırıldığında, KPSS testi en tercih edilebilir birim kök testi olarak öne çıkmaktadır (Afrıyie vd., 2020).

## Bootstrap ARDL Sınır Testi

Pesaran vd. (2001), değişkenlerin aynı entegrasyon seviyesine sahip olmaması durumunda uzun dönem ilişkilerini test etmek amacıyla ARDL modelini kullanmaktadır. Bu model, Denklem 1 ile ifade edilmektedir.

$$\Delta Y_t = c + \alpha Y_{t-1} + \beta X_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \theta \Delta Y_{t-i} + \sum_{i=1}^{p-1} \delta \Delta X_{t-i} + \sum_{j=1}^q \eta D_{t,j} + \varepsilon_t \quad (1)$$

Denklem 1, Y'den X'e geri beslemeyi içermemekte, dolayısıyla birden fazla içsel değişkenin modele dâhil edilmesini kısıtlamakta ve test istatistiklerinin dağılımlarına ilişkin varsayımları ihlal etmektedir (Pesaran vd., 2001). Bu durum, zayıf bağımsız değişken dışsallığı varsayımına dayanmaktadır. Buna göre, uzun dönemde bu regresyonlar bağımlı değişkenden etkilenmemektedir. Ancak, bu durum regresyonlar arasında eşbütünleşik bir ilişkinin var olabileceğini veya bağımlı değişkenler arasında kısa dönemli Granger nedenselliğinin mevcut olabileceğini tamamen dışlamamaktadır. Buna rağmen, birçok araştırmacı, ARDL sınır testi bağlamında bu varsayımın ampirik sonuçlara etkisini göz ardı etmiştir.

Pesaran vd. (2001), eşbütünleşme testinin belirli hipotezleri değerlendirmek için F-testleri veya t-testlerinin kullanılması gerektiğini öne sürmektedir. Bu yaklaşım, farklı entegrasyon seviyelerine sahip değişkenlerin modele dâhil edilmesine olanak tanıyarak önemli bir avantaj sağlamaktadır. Özellikle sınır testi, değişkenler arasında bir eşbütünleşme ilişkisinin varlığını değerlendirirken sabit olmayan değişkenin birinci fark durağanlığına (I(1)) sahip olması hâlinde daha anlamlı hâle gelmektedir.

ARDL sınır testi, F-istatistiğine dayanmaktadır ve Pesaran vd. (2001), F-istatistiği ve t-istatistiği arasında karşılaştırma yapılmasını sağlayan kritik değer tabloları oluşturmuştur. ARDL sınır testi bağlamında, asimptotik kritik değerler iki farklı sınır için hesaplanmaktadır: Tüm değişkenlerin  $I(0)$  olması durumu ve tüm değişkenlerin  $I(1)$  olması durumu. Önceden hesaplanan F-istatistiği kritik sınır değerlerin dışında yer aldığı anda, eşbütünleşme hakkında kesin bir yargıya varılabilir. Ancak, tahmin edilen F-istatistiği bu iki sınır arasında kalıyorsa, değişkenlerin durağanlık düzeyleri dikkate alındığında eşbütünleşme ilişkisi hakkında kesin bir sonuca ulaşmak daha mümkün hâle gelmektedir (Pesaran vd., 2001). Öte yandan, Bootstrap ARDL yaklaşımı, her veri setinin entegrasyon özelliklerine özgü kritik değer tabloları oluşturarak sınır testi içindeki istikrarsızlıkları azaltmaktadır (McNown vd., 2018; Lin vd., 2018).

$$H_0: \alpha = \beta = 0 \text{ veya } H_0: \alpha = 0$$

McNown vd. (2018), Pesaran vd.nin (2001) öne sürdüğü eşbütünleşme testlerine ek olarak  $H_0: \beta = 0$  hipotezine dayalı bir t-testi uygulanmasını önermektedir. Eşbütünleşme, eşbütünleşmeme ve dejeneratif durumlar arasındaki ayrımı yapmak için tüm testlerin birlikte uygulanması gerekmektedir.

McNown vd.ne (2018) göre, tanımlanan iki dejeneratif durum şu şekildedir:

**Dejeneratif senaryo #1**, gecikmeli bağımsız değişken üzerindeki F-testi ve t-testinin anlamlı olması ancak bağımlı değişken üzerindeki t-testinin anlamlılık göstermemesi durumunda ortaya çıkmaktadır.

**Dejeneratif senaryo #2**, gecikmeli bağımlı değişken üzerindeki F-testi ve t-testinin anlamlı olması ancak gecikmeli bağımsız değişkenlerin anlamlı olmaması durumunda meydana gelmektedir.

Pesaran vd. (2001), dejeneratif senaryo #2 için kritik değerler sunmuş ancak senaryo #1 için herhangi bir kritik değer sağlamamıştır. Dejeneratif senaryo #1'in önlenmesi için bağımlı değişkenin entegrasyon derecesinin  $I(1)$  olması gerekmektedir. Ancak birim kök testleri genellikle düşük güce sahiptir, dolayısıyla entegrasyon derecesinin doğru belirlenmesi her zaman mümkün olmayabilir. Bootstrap ARDL testi, gecikmeli bağımsız değişkenlerin katsayıları üzerinde farklı bir test uygulayarak bu soruna çözüm getirmektedir. Özellikle, Pesaran vd.nin (2001) sunduğu kritik değer tabloları yalnızca tek bir değişkenin içsel olduğu varsayımına dayanarak oluşturulmuştur. Buna karşılık, Bootstrap yöntemi ile türetilen kritik değerler, tüm bağımsız değişkenlerin içselliğini dikkate alarak hesaplanmaktadır (Goh vd., 2017). Bootstrap ARDL yöntemi, birden fazla bağımsız değişken içeren dinamik modeller için değerli bir araçtır (Shahbaz vd., 2018). Tüm bu nedenlerle, Bootstrap ARDL yaklaşımının kullanımı, ampirik analizlerde önemli avantajlar sağlamaktadır.

## Bootstrap ARDL Modeline Dayalı Granger Nedensellik Testi

Kısa vadeli neden-sonuç ilişkisini belirlemek için Granger nedensellik testleri kullanılmaktadır. Y bağımlı değişken olarak kabul edildiğinde, y ile x arasında eşbütünleşme bulunmadığı durumda, x'in Granger nedenselliğinin y üzerinde olup olmadığını test etmek için yalnızca gecikmeli farkları içeren bir model kurulmalı ve  $\delta > 0$  koşulu incelenmelidir.

Buna karşılık, değişkenler arasında eşbütünleşme mevcutsa bu durum bağımlı ve bağımsız değişkenlerin durağan bir doğrusal kombinasyon oluşturduğunu göstermektedir. Böyle bir durumda, gecikmeli düzeyler  $I(0)$  olarak kabul edilebilir. Bu bağlamda, x'in Granger nedenselliğini y üzerinde test etmek için model, x'in gecikmeli farklarını ve gecikmeli düzeyini içermeli ve  $\beta > 0$  ile  $\delta = 0$  koşulları değerlendirilmelidir. Ayrıca Denklem 2, üç değişkenli modele genişletilerek aşağıdaki model kapsamında incelenebilir (Chang vd., 2022).

$$\Delta Y_t = c + \alpha Y_{t-1} + \beta X_{t-1} + \gamma Z_{t-1} \sum_{i=1}^{p-1} \theta \Delta Y_{t-i} + \sum_{i=1}^{p-1} \delta \Delta X_{t-i} + \sum_{i=1}^{p-1} w \Delta Z_{t-i} + \sum_{j=1}^q \eta D_{t,j} + \varepsilon_t \quad (2)$$

Bu bağlamda, x'in y üzerinde Granger nedenselliğini test etmek için modelin hem gecikmeli farkları hem de x'in gecikmeli düzeyini içermesi gerekmektedir. Bu sayede  $\beta > 0$  ve  $\delta = 0$  koşulları değerlendirilerek nedensellik ilişkisi analiz edilebilir. Benzer şekilde, z'nin y üzerinde Granger nedenselliğini test etmek için model, z'nin gecikmeli farklarını ve gecikmeli düzeyini de içermelidir. Eşbütünleşmenin varlığında, değişkenin kendisi ve farkları, anlamlı sonuçların ortaya çıkıp çıkmadığını değerlendirmek açısından önem arz etmektedir.

## Evren ve Örneklem

Bu araştırmada, BRICS ülkelerine ait yeşil büyüme göstergeleri, OECD tarafından yayımlanan grup ortalamaları kullanılarak analiz edilmiştir. OECD, BRICS ülkeleri için toplulaştırılmış (aggregate) yıllık göstergeler sunmakta ve bu sayede yeşil büyüme ile ilgili verilerin doğrudan grup düzeyinde değerlendirilmesine imkân tanımaktadır. Buna karşılık, sağlık göstergeleri (örneğin doğumda beklenen yaşam süresi) için OECD veri tabanında grup ortalaması yer almadığından, bu göstergeler için her bir BRICS ülkesine ait yıllık veriler birleştirilerek ortalama değer hesaplanmıştır. Bu yöntemsel farklılık, araştırmada kullanılan veri yapısının doğruluğunu ve tutarlılığını korurken elde edilen sonuçların karşılaştırılabilirliğini de artırmaktadır. Araştırmada analiz edilen dönem, OECD veri havuzunda BRICS ülkelerine ilişkin yeşil büyüme, enerji ve sağlık göstergelerinin eksiksiz şekilde raporlandığı en erken ve en son yılları kapsamaktadır. 1990 yılı itibarıyla tüm BRICS ülkeleri için karşılaştırmalı olarak veri elde edilebilir hâle gelmiştir. 2021 sonrası dönem için ise bazı göstergelerde (özellikle CO<sub>2</sub> yoğunluğu ve yenilenebilir enerji arzı gibi) eksik ya da geçici veriler bulunmakta olup bu durum modelin bütünlüğünü ve karşılaştırılabilirliğini zedeleyebileceğinden söz konusu yıllar analiz dışında bırakılmıştır. Bu nedenle 1990-2021 dönemi, araştırmanın amaçları doğrultusunda istatistiksel geçerlilik ve veri tutarlılığı açısından en uygun zaman aralığı olarak belirlenmiştir.

Analize tabi tutulan değişkenler; Üretime Dayalı CO<sub>2</sub> Yoğunluğu, Enerji Yoğunluğu, Yenilenebilir Enerji Arzı, Kişi Başına Düşen Reel GSYİH ve Doğumda Beklenen Yaşam Süresi olarak belirlenmiştir. Araştırmada sağlık göstergesi olarak yalnızca doğumda beklenen yaşam süresi kullanılmıştır. Literatürde sağlık düzeyini değerlendirmeye yönelik farklı göstergeler (örneğin, bebek ölüm oranı, sağlık hizmetlerine erişim gibi) bulunmakla birlikte, veri sürekliliği ve analiz tekniğinin gereklilikleri doğrultusunda bu araştırmada yalnızca doğumda beklenen yaşam süresi dikkate alınmıştır. Bu nedenle, metin boyunca “sağlık göstergeleri” ifadesi genel bir kavramsal çerçeve sunmak amacıyla kullanılmış olsa da uygulamada analiz bu tek gösterge üzerinden yürütülmüştür.

Tüm değişkenlerde heteroskedastisite etkisini azaltmak amacıyla logaritmik dönüşüm uygulanmıştır. Gecikme uzunluğu, Schwarz Bilgi Kriteri'ne (SIC) göre belirlenmiştir. Bootstrap ARDL modeli çerçevesinde yapılan analizlerde, değişkenlerin en fazla I(1) seviyesinde entegre olduğu varsayılmış ve eşbütünlüşme ilişkileri buna göre sınanmıştır. Değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 1'de sunulmuştur. Bu araştırmada, OECD tarafından önerilen Yeşil Büyüme Göstergeleri kapsamında yer alan üç temel değişken olan yenilenebilir enerji arzı, CO<sub>2</sub> emisyon yoğunluğu ve enerji yoğunluğu değişkenleri, yeşil büyümenin temsilci göstergeleri olarak modele dâhil edilmiştir. OECD (2011), bu göstergeleri yeşil büyümenin çevresel ve ekonomik boyutlarını bütünsel biçimde yansıtan temel bileşenler olarak tanımlamaktadır. Ayrıca literatürde, bu değişkenlerin hem çevresel sürdürülebilirliği hem de ekonomik performansı aynı anda yansıtmaya kapasitesine sahip olduğu ve bu nedenle yeşil büyümenin dolaylı ölçütleri olarak yaygın biçimde kullanıldığı ifade edilmektedir (Dogaru, 2021; Nawaz vd., 2021; Sohail, 2023). Bu bağlamda, araştırma yeşil büyüme perspektifini ampirik analizle uyumlu ve temsilî bir biçimde bütünlüştürmektedir.

Tablo 1

### Tanımlayıcı İstatistikler

Değişken	Kısaltma	Ortalama	Standart Sapma	Min	Maks	Çarpıklık	Basıklık	IQR
Üretime dayalı CO <sub>2</sub> yoğunluğu (kişi başına enerjisiyle ilişkili CO <sub>2</sub> )	CO <sub>2</sub>	0,465123	0,132422	0,305351	0,642465	0,072494	1,306967	0,290591
Enerji yoğunluğu (kişi başına toplam birincil enerji arzı)	Enerji	0,059489	0,106099	-0,065502	0,217484	0,173926	1,386687	0,222823
Yenilenebilir enerji arzı (toplam enerji)	YEnerji	1,205801	0,091817	1,080626	1,327972	0,005568	1,341605	0,188450

arzının yüzdesi)									
Kişi başına düşen GSYİH	reel GSYİH	3,791750	0,203542	3,529379	4,108954	0,140194	1,508520	0,292350	
Doğumda beklenen yaşam süresi	Yaşam	1,841094	0,019512	1,808414	1,869818	-0,139028	1,712390	0,033944	

Tablo 1’de yer alan değişkenlerin çarpıklık değerlerinin  $\pm 0,2$  aralığında olması, dağılımların simetrik yapıya yakın olduğunu göstermektedir. Örneğin, CO<sub>2</sub> değişkeninde çarpıklık değerleri sıfıra oldukça yakındır. Bu durum, bu değişkenlerin aşırı uç değerlerden etkilenmediğini göstermektedir. Basıklık değerleri incelendiğinde, tüm değişkenlerde değerlerin 3’ün altında olduğu görülmektedir. Bu durum, dağılımların normal dağılıma yakın ancak hafif basık (platykurtik) özellik gösterdiğine işaret etmektedir. Özellikle doğumda beklenen yaşam süresi değişkeninin basıklık değeri 1,71 ile en yüksek seviyede olsa da bu değer hâlâ kabul edilebilir sınırlar içerisindedir. Ayrıca, çeyrekler arası aralık (IQR) değerlerinin düşük olması, verinin merkezî değerler etrafında yoğunlaştığını ve aykırı gözlemlerden arındırılmış homojen bir dağılım sergilediğini göstermektedir.

Bu bulgular ışığında, değişkenlerin varyans durağanlığını sağlamak ve analiz sürecinde daha güvenilir sonuçlar elde edebilmek amacıyla doğal logaritmaları alınmış, tüm analizler R 4.3.2 sürümü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. IQR değerleri, değişkenler açısından aykırı gözlemlerin bulunmadığını göstermektedir. Bootstrap ARDL yöntemi, BRICS ülkeleri için doğumda beklenen yaşam süresi ile Tablo 1’de verilen değişkenler arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla kullanılmıştır. Ancak bir zaman serisi durağan değilse temel istatistiksel özellikleri (ortalama, varyans, kovaryans vb.) zaman içinde değişebilir. Bu durum, istatistiksel sonuçların güvenilirliğini azaltabilir ve yanıltıcı sonuçlara yol açabilir. Bu nedenle, zaman serisi analizlerinde ilk adım genellikle birim kök testi uygulamak olup, bu test aracılığıyla toplanan verilerin durağanlığı değerlendirilerek yanıltıcı regresyonların önüne geçilmesi sağlanmaktadır.

## Bulgular

Zaman serisi analizine, toplanan verilerin durağanlığını yeniden değerlendirmek amacıyla birim kök testi uygulanmasıyla başlanmaktadır. Bu adım, yanıltıcı regresyon sonuçlarının önlenmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Durağanlığı değerlendirmek amacıyla, araştırmalarda yaygın olarak kullanılan iki birim kök testi (ADF ve KPSS testleri) tüm değişkenlere uygulanmıştır.

Tablo 2

### Birim Kök Testleri

Değişkenler	Düzye (ADF)	İlk Farklılıkta (ADF)	Düzye (KPSS)	İlk Farklılıkta (KPSS)	Sonuç
CO <sub>2</sub>	-1,699705(1)	-2,029901(0)**	0,463418(2)	0,215529(0)**	I(1)
Enerji	-2,089389(1)**		0,102653(3)**		I(0)
REnerji	-2,862684(4)	-3,450848(0)**	0,340771(4)	0,144695(1)**	I(1)
GSYİH	-1,758500(3)	1,216055(2)	1,216055(2)	0,288222(1)**	I(1)
Yaşam	-3,414872(4)**		0,143932(3)**		I(0)

Not: \*\* ve \* sırasıyla %1 ve %5 seviyelerini göstermektedir. Optimum gecikme uzunlukları ( ) içinde verilmiştir.

Tablo 2, ADF ve KPSS testlerine dayalı olarak tüm değişkenlerin en fazla I(1) mertebesinde entegre olduğunu göstermektedir. Başka bir ifadeyle, tüm değişkenler I(1) veya daha düşük bir entegrasyon derecesine sahiptir. Buna ek olarak, araştırmada bağımlı değişken olarak ele alınan doğumda beklenen yaşam süresi, düzeyde durağan olup I(0) olarak belirlenmiştir. McNown vd. (2018), bağımlı değişkenin I(0) düzeyinde entegre olduğu durumları “dejeneratif durum” olarak adlandırmışlardır. Böyle bir durumda, eşbütünlük ilişkisini test etmek için bağımlı değişkenin I(0) olması hâlinde Bootstrap simülasyonu

yoluyla kritik değerlerin üretilmesini önermişlerdir. Bu yaklaşım, literatürde Bootstrap ARDL yöntemi olarak bilinmektedir.

Tablo 3

## Zivot-Andrews Birim Kök Testi

Değişkenler	Düzye (ADF)	İlk Farklılıkta (ADF)	Sonuç
<i>CO<sub>2</sub></i>	-0,354499[2009]	-2,616335[2010]**	I(1)
<i>Enerji</i>	-0,548951[2016]**		I(0)
<i>YEnerji</i>	-1,616335[2016]	-1,684150[2016]**	I(1)
<i>GSYİH</i>	-3,276864[2005]	-4,124392[2005]*	I(1)
<i>Yaşam</i>	-4,998646[2007]*		I(0)

Not: \*\* ve \* sırasıyla %1 ve %5 seviyelerini göstermektedir.

Zivot ve Andrews'ın (2002) yapısal kırılma birim kök testi sonuçları Tablo 3'te sunulmaktadır. Elde edilen bulgular, tüm değişkenlerin ya düzeyde (I(0)) ya da birinci farkta (I(1)) durağan olduğunu göstermekte olup Tablo 2'de verilen birim kök test sonuçlarıyla uyumludur. Bu durum, Bootstrap ARDL sınır testinin uygulanabilmesi için gerekli ön koşullarla uyumludur. En uygun Bootstrap ARDL modelinin belirlenmesi, gecikme uzunluğunu belirlemede asimptotik tutarlılığıyla bilinen Schwarz Bilgi Kriterine (SIC) dayanmaktadır. Pesaran vd. (2001), bu kriterin kullanılmasını önermektedir. En uygun doğrusal olmayan ARDL modelinin belirlenmesi, genelden özele (general-to-specific) yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte, öncelikle maksimum p=4 ve q=4 gecikme dâhil edilerek model oluşturulmuş, ardından %5 anlamlılık düzeyine göre anlamlı olmayan gecikme terimleri elimine edilerek en uygun model spesifikasyonu elde edilmiştir.

Tablo 4

## Bootstrap ARDL Eşbütünleşme Testi

Değişkenler (Bağımlı   Bağımsız)	$F_1$	$F_1^*$	$t_1$	$t_1^*$	$F_2$	$F_2^*$	Sonuç
<i>Yaşam   CO<sub>2</sub>, Enerji, YEnerji, GSYİH</i>	3,513	3,039	-1,241	-0,697	2,506	1,006	Eşbütünleşme yok
<i>Yaşam   YEnerji, GSYİH</i>	7,417	7,183	-3,652	-3,346	8,156	8,123	<b>Eşbütünleşme var</b>
<i>Yaşam   Enerji, GSYİH</i>	4,609	4,125	-2,215	-2,682	6,475	6,902	Dejenere durum
<i>Yaşam   CO<sub>2</sub>, GSYİH</i>	3,951	3,543	-0,628	-0,712	4,021	4,541	Eşbütünleşme yok

Not: Tabloda kullanılan kısaltmalar:  $F_1$ , gecikmeli bağımsız değişkenler üzerindeki F-istatistiğini;  $t_1$ , gecikmeli bağımlı değişken üzerindeki t-istatistiğini;  $F_2$  ise bağımsız değişkenlerin tamamı üzerindeki F-istatistiğini ifade etmektedir.  $t_1^*$ ,  $F_1^*$  ve  $F_2^*$  sembolleri ise McNown vd. (2018) tarafından önerilen Bootstrap yöntemi ile elde edilen kritik değerlere karşılık gelmektedir. Bootstrap ARDL modeli kapsamında kullanılan optimal gecikme uzunlukları Schwarz Bilgi Kriteri (SIC) temel alınarak belirlenmiştir. Ayrıca, modele analiz dönemiyle ilişkili yıl etkilerini kontrol altına almak amacıyla kukla değişkenler (D#) eklenmiştir. Bootstrap tekrar sayısı 2000 olarak belirlenmiş olup, modelin uygunluğu Lagrange Çarpanı (LM) testi ve Jarque-Bera normallik testi ile sınanmıştır. \* işareti %5 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tablo 4'te sunulan bulgulara göre, 1990-2021 yılları arasında BRICS ülkelerinde farklı eşbütünleşme ilişkileri tespit edilmiştir. BRICS ülkeleri açısından doğumda beklenen yaşam süresi, yenilenebilir enerji arzı ve kişi başına düşen reel GSYİH arasında eşbütünleşme ilişkileri olduğu belirlenmiştir. Eşbütünleşme ilişkisinin varlığı belirlendikten sonra, söz konusu ilişkinin uzun dönemli katsayıları tahmin edilmiş olup Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5

## ARDL(1,1,0) Modeli Uzun Dönem Tahmin Sonuçları

Değişken	Katsayı	Std. Hata	t-İstatistiği	p-değeri
$\Delta Yaşam (-1)$	0,8969	0,0957	9,3722	0,0000
$\Delta GSYİH$	0,0566	0,0318	1,7836	0,0867

$\Delta GSYİH (-1)$	-0,0524	0,0226	-2,3189	0,0289
$\Delta YENERJİ$	-0,0067	0,0080	-0,8379	0,4100
Sabit Terim (C)	0,1827	0,1291	1,4145	0,1696
<b>Breusch-Godfrey LM</b>				0,6137
<b>ARCH</b>				0,3928
<b>Jarque-Bera</b>				0,0514

Not: Uzun dönem katsayılarının tahmin edildiği model, "Yaşam | YEnerji, GSYİH" eşbütünleşme ilişkisine dayalıdır.

ARDL(1,1,0) modelinin varsayımlarını sağlayıp sağlamadığını değerlendirmek amacıyla çeşitli diagnostik testler uygulanmıştır. Artık terimlerin normal dağılıp dağılmadığını incelemek için uygulanan Jarque-Bera testi, normal dağılıma oldukça yakın bir yapıya işaret etmektedir (JB=5,935; p=0,0514). Hata terimlerinde otokorelasyon olup olmadığını test eden Breusch-Godfrey LM testi sonucunda, iki gecikmeye kadar anlamlı bir otokorelasyon tespit edilmemiştir (F=0,4988; p=0,6137). Ayrıca, varyansların zaman içinde sabit olup olmadığını değerlendiren ARCH testi de modelde heteroskedastisite bulunmadığını göstermektedir (F=0,7543; p=0,3928).

Tahmin edilen ARDL(1,1,0) modelinin açıklayıcılık gücü yüksektir ( $R^2 = 0,7980$ ;  $\bar{R}^2 = 0,7977$ ) ve F-istatistiği anlamlıdır (F=316,81; p<0,001), bu da bağımsız değişkenlerin modele katkısının istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Bağımlı değişkenin bir gecikmeli değerinin katsayısı 0,8968 olup doğumda beklenen yaşam süresinin geçmiş değerleriyle güçlü bir süreklilik sergilediğini ortaya koymaktadır (p<0,001). GSYİH değişkeninin ise gecikmeli değeri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $\beta=-0,0524$ ; p=0,0289). Bu durum, ekonomik büyümenin doğumda beklenen yaşam süresi üzerindeki etkisinin gecikmeli olarak ortaya çıktığını göstermektedir. Yenilenebilir enerji arzı değişkeni ise negatif yönde olsa da istatistiksel olarak anlamlı değildir ( $\beta=-0,0067$ ; p=0,4100). Modelde sabit terim pozitif yöndedir ( $\beta=0,1827$ ) fakat anlamlılık düzeyine ulaşmamaktadır (p=0,1696). Durbin-Watson istatistiği (1,64) ise otokorelasyon olmadığını göstermektedir.

Modelde kişi başına düşen reel GSYİH değişkeninin gecikmeli değerinin doğumda beklenen yaşam süresi üzerinde anlamlı ve negatif bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, ekonomik büyümenin belirli koşullarda sağlık göstergeleri üzerinde gecikmeli ve karmaşık etkiler yaratabileceğini göstermektedir. Öte yandan, çevresel sürdürülebilirliğin temsili olan yenilenebilir enerji arzı değişkeninin katsayısı negatif yönde olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bu bulgu, analiz döneminde BRICS ülkelerinde yeşil enerji politikalarının doğumda beklenen yaşam süresi üzerindeki doğrudan etkisinin sınırlı veya dolaylı yollarla ortaya çıkıyor olabileceğini düşündürmektedir. Bu nedenle, çevresel göstergelerin yaşam kalitesi üzerindeki etkilerinin daha uzun vadeli, yapısal ve dolaylı mekanizmalarla değerlendirilebileceği ileri sürülebilir.

ARDL modeline dayalı tahmin sonuçları, doğumda beklenen yaşam süresi ile ekonomik ve çevresel göstergeler arasında uzun dönemli ilişkilerin varlığını ortaya koymuştur. Ancak bu ilişkilerin yönünün ve nedenselliğinin belirlenmesi, politika yapımcılar açısından daha işlevsel çıkarımlar sunabilmek adına önem arz etmektedir. Bu bağlamda, değişkenler arasındaki dinamik etkileşimin yönünü incelemek amacıyla Granger nedensellik analizi uygulanmıştır. Söz konusu test, değişkenlerden birinin geçmiş değerlerinin diğer bir değişkenin mevcut değerleri üzerinde açıklayıcı güce sahip olup olmadığını değerlendirmeye olanak tanımaktadır. Elde edilen bulgular Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6

ARDL Modeli Kullanılarak Yapılan Granger Nedensellik Testi Bulguları

Değişkenler	Doğumda beklenen yaşam süresi	Kişi başına düşen reel GSYİH
	F istatistiği (p değeri)	F istatistiği (p değeri)
$CO_2$	5,88527 (0,8823)	0,22670 (0,7988)
<i>Enerji</i>	0,62753 (0,5424)	3,03717 (0,0398)*
<i>YEnerji</i>	11,3452 (0,0003)*	2,34253 (0,1177)
$GSYİH$	2,19688 (0,1330)	- -

Not: "\*" %5 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tablo 6, BRICS ülkeleri için eşbütünleşme analizine dayalı kısa dönem nedensellik testlerini göstermektedir. Bulgular, yalnızca toplam enerji arzı içindeki yenilenebilir enerji arzı değişkeninin, doğumda beklenen yaşam süresi üzerinde nedensel bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır. Yenilenebilir enerji kullanımının çevresel kalite üzerindeki olumlu etkileri, dolaylı olarak insan sağlığını ve doğumda beklenen yaşam süresini iyileştirebilir. Ancak, bu etkileri izole etmek ve yalnızca yenilenebilir enerji kullanımına atfetmek güçtür. Bu tür ilişkiler değerlendirilirken birden fazla faktörün birlikte ele alınması büyük önem taşımaktadır. Buna ek olarak BRICS ülkelerinde bağımlı değişken olarak kişi başına düşen reel GSYİH ele alındığında, enerji yoğunluğu ve kişi başına toplam birincil enerji arzı (TPES) değişkenleri arasında bir neden-sonuç ilişkisi tespit edilmiştir. Bu bulgu, ekonomik büyümenin büyük ölçüde artan enerji tüketimi ile birlikte ilerleyeceğini göstermektedir. Ekonomik büyüme bağımlı değişken olarak ele alındığında, eşbütünleşmenin bulunmamasına rağmen, CO<sub>2</sub> emisyonları ve enerji tüketiminin ekonomik büyümeyi kısa vadede etkileyen önemli faktörler olmaya devam ettiği belirlenmiştir. Bu ekonomik büyüme süreci, araştırmada elde edilen bulgularda da gözlemlenmektedir. Granger nedenselliğinin kısa vadeli sonuçları, BRICS ülkeleri için doğumda beklenen yaşam süresi değişkeni ile belirlenmiştir. Yenilenebilir enerji arzı ile doğumda beklenen yaşam süresi arasında kısa dönemli bir Granger nedensellik ilişkisi olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde, enerji yoğunluğu ve kişi başına toplam birincil enerji arzı değişkenlerinin kişi başına reel GSYİH ile nedensel bir ilişkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulgular, yenilenebilir enerji kullanımının toplum sağlığını doğrudan etkilediğini göstermektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının artırılması, çevresel kalitenin iyileştirilmesine ve dolayısıyla halk sağlığının gelişmesine katkı sağlayabilir. Ayrıca, enerji verimliliği ile ekonomik büyüme arasında bir etkileşim olduğu belirlenmiştir. Buna bağlı olarak daha verimli enerji kullanımı ekonomik büyümeye katkı sağlayabilirken, daha yüksek ekonomik büyüme de enerji kullanımının daha verimli hâle gelmesini teşvik edebilir.

## Tartışma ve Sonuç

Bu araştırmada; BRICS ülkelerinde yeşil büyüme, enerji kullanımı, yenilenebilir enerji arzı, sağlık göstergeleri ve GSYİH arasındaki etkileşimler ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Ekonomi, enerji ve sağlık stratejilerine rehberlik etmeye, çevresel etkileri ve olumsuz sonuçları ise en aza indirmeye yönelik politika önerileri sunmayı hedefleyen bu araştırma, literatürden farklı olarak ekonometrik teknikleri ve kapsamlı veri analizlerini bir araya getirerek mevcut literatüre önemli bir katkı sağlamaktadır. Yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarının kullanımının; çevresel kaliteyi artırma, hava ve su koşullarını iyileştirme, kirliliği azaltma ve insan sağlığı üzerinde olumlu etkiler yaratma potansiyeline sahip olduğu kanıtlanmıştır. Bu etkiler bir araya geldiğinde, doğumda beklenen yaşam süresi üzerinde doğrudan belirleyici bir rol oynamaktadır. Ancak, doğumda beklenen yaşam süresini etkileyen faktörleri değerlendirirken yalnızca enerji kullanımına odaklanmak yeterli değildir. Sağlık hizmetlerine erişim, eğitim, gelir düzeyi, beslenme ve genel yaşam standartları gibi birçok unsurun birlikte ele alınması gerekmektedir.

Bu çerçevede, önceki araştırmalar, BRICS ülkelerinde yeşil büyüme kapsamında enerji, sağlık, ekonomi ve çevresel sağlık gibi değişkenleri incelemiştir. Ancak, bu araştırmada kullanılan yöntemler ve metrikler daha önce BRICS özelinde uygulanmamıştır. Bu araştırmada kullanılan Bootstrap yöntemi, parametre tahminleri için güven aralıklarını tekrar örnekleme (resampling) yoluyla oluşturmakta ve böylece sonuçların güvenilirliğini artırmaktadır. Ayrıca, geleneksel istatistiksel dağılım varsayımlarına bağlı olmadan çalışabilmesi, standart varsayımların sağlanamadığı durumlarda dahi güvenilir sonuçlar üretmesini sağlamaktadır. Bu nedenlerle, Bootstrap ARDL modelinin kullanımı, Granger nedensellik testinin güvenilirliğini artırarak daha sağlam sonuçlar elde edilmesine katkıda bulunmaktadır.

Araştırmada; BRICS ülkelerinde doğumda beklenen yaşam süresi, yenilenebilir enerji arzı ve kişi başına düşen reel GSYİH arasında eşbütünleşik bir ilişki tespit edilmiştir. DSÖ'ye göre iklim değişikliği; temiz hava, güvenli içme suyuna erişim, barınma ve gıda güvenliğini doğrudan etkilemektedir. 2030 ile 2050 yılları arasında, iklim değişikliğinin yılda yaklaşık 250.000 ek ölüme yol açacağı öngörülmektedir. Ayrıca, sağlık etkilerinin doğrudan maliyetlerinin sanitasyon, su ve tarım gibi sağlıkla ilişkili sektörler hariç tutulduğunda 2030 yılına kadar yıllık 2 ila 4 milyar ABD doları arasında değişeceği öngörülmektedir (WHO, t. y.a). Sağlıkın sosyal belirleyicileri, bireylerin yaşam koşulları ve genel sosyoekonomik faktörler sağlık sonuçlarında önemli bir rol oynamaktadır (WHO, t. y.b). İklim değişikliği de bu belirleyiciler arasında yer almakta olup erken ölümlere neden olarak doğumda beklenen yaşam süresini azaltmaktadır (Ragavan vd., 2020). İklim değişikliği ile çevresel ve halk sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri azaltmak için yenilenebilir enerji kullanımını teşvik eden politikaların geliştirilmesi ve bu kaynakların maliyetlerini düşürecek teknolojik yatırımların yapılması gerekmektedir (Olabi ve Abdelkareem, 2022).

Literatürde yer alan araştırmalar, sürdürülebilir çevresel kalitenin insan ömrü üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu göstermektedir (Mahalik vd., 2024). Romanello vd. (2022) tarafından hazırlanan bir rapor, küresel enerji tüketiminin yalnızca %8,2'sinin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlandığını, fosil yakıtların ise enerji sektöründe baskın konumda olduğunu ortaya koymaktadır. Fosil yakıtlara olan bağımlılık hem iklim değışikliği üzerindeki etkileri hem de fosil yakıt piyasalarındaki dalgalanmalar nedeniyle küresel sağlık açısından zararlı sonuçlar doğurmaktadır. İnsani Gelişme Endeksi (HDI), doğumda beklenen yaşam süresi ve gelir eşitsizliğini ölçen Gini katsayısı gibi göstergeler aracılığıyla kalkınmanın yalnızca ekonomik büyüme ile değil, bireylerin yaşam standartları ile de ölçülmesi gerektiğini vurgulamaktadır (UNDP, t. y.). BRICS ülkeleri üzerine yapılan araştırmalar, yenilenebilir enerji kullanımının insani kalkınmayı teşvik ettiğini ve bu iki değışken arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğunu göstermektedir (Wang vd., 2021).

Yapılan araştırmalar, BRICS ülkelerinde gelir eşitsizliğinin ekonomik büyümeyi olumsuz etkilediğini ortaya koymuştur. Granger nedensellik testi ile yapılan analizlerde, gelir eşitsizliği ile ekonomik büyüme arasında tek yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu tespit edilmiştir (Younsi ve Bechtini, 2020). Doğumda beklenen yaşam süresi, insani kalkınmanın temel bir göstergesi olarak bireylerin uzun ve sağlıklı bir yaşam sürme potansiyelini yansıtmaktadır (WHO, t. y.c). Öte yandan hava kirliliği hem akut hem de kronik solunum hastalıklarına neden olarak sağlıklı yaşam süresini azaltan önemli bir çevresel sağlık riskidir. Bu nedenle, düşük emisyonlu yakıtlar ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı gibi hava kirliliğini azaltmaya yönelik politikalar büyük önem taşımaktadır (WHO, t. y.d).

BRICS-T ülkeleri üzerine yapılan araştırmalar, enerji tüketimi ve gelir düzeyinin doğumda beklenen yaşam süresi üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu göstermektedir (Dam vd., 2023). BRICS ülkelerine özgü yapılan diğer araştırmalar ise çevresel kirliliğin enerji tüketimini ve finansal kalkınmayı olumsuz etkilediğini, bu nedenle ekonomik büyümeye katkı sağlamadığını ortaya koymaktadır (Azam, 2019). OECD ülkeleri üzerinde yapılan karşılaştırmalı araştırmalar, sürdürülebilir kalkınmanın bir göstergesi olarak GSYİH'nin yaygın olarak kullanıldığını ve yenilenebilir enerjinin ekonomik büyümeyi teşvik etmede kritik bir rol oynadığını göstermektedir (Güney, 2021). G7 ülkeleri üzerinde yapılan araştırmalar da yenilenebilir enerji tüketiminin doğumda beklenen yaşam süresi üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu doğrulamaktadır (Karimi Alavijeh vd., 2024). 121 ülkeyi kapsayan bir veri seti, yenilenebilir enerji kullanımı ile doğumda beklenen yaşam süresi arasında özellikle yüksek gelirli ülkeler bağlamında pozitif bir korelasyon olduğunu ortaya koymaktadır (Wang vd., 2023). Avrupa Birliği ülkeleri üzerine yapılan araştırmalar ise sera gazı emisyonlarının doğumda beklenen yaşam süresi ve kişi başına düşen reel GSYİH üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir (Bayar vd., 2021). Bu bulgular, mevcut araştırmanın sonuçlarıyla örtüşmekte ve elde edilen bulguların daha geniş bir bağlamda geçerli olduğunu doğrulamaktadır.

Araştırmanın bir diğer önemli bulgusu, BRICS ülkelerinde kişi başına düşen reel GSYİH bağımlı değışken olarak ele alındığında, enerji yoğunluğu ile kişi başına düşen toplam birincil enerji arzı (TPES) arasında neden-sonuç ilişkisi olduğunun tespit edilmesidir. Aydın ve Esen (2018) tarafından Bağımsız Devletler Topluluğu (BDT) üzerine yapılan bir araştırma, aşırı enerji tüketiminin belirli bir eşik değeri aşıldığında ekonomik büyümeyi engellediğini göstermektedir. Ayrıca, BRICS ve OECD ülkeleri üzerine yapılan bir başka araştırma, GSYİH ile karbon emisyonları arasında negatif bir korelasyon olduğunu, yenilenebilir enerji kullanımının ise karbon emisyonlarını azalttığını ortaya koymaktadır (Nawaz vd., 2021). Bu bulgular, enerji arzı ve karbon emisyon politikalarının hem makro hem de mikro düzeyde düzenlenmesi gerektiğini göstermektedir. Son olarak, BRICS ülkeleri üzerine yapılan bir araştırma, yenilenebilir enerjinin CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltarak ekonomik büyümeyi destekleme potansiyeline sahip olduğunu doğrulamaktadır (Khan vd., 2020).

Genel olarak bu araştırmanın bulguları mevcut literatür ile uyumluluk göstermekte olup BRICS ülkeleri bağlamında artan enerji tüketiminin ekonomik büyüme ile birlikte ilerleme eğiliminde olduğunu ortaya koymaktadır. Ülkelerin ekonomik büyümesi bağımlı değışken olarak ele alındığında eşbütünlük tespit edilmemiş olmasına rağmen, CO<sub>2</sub> emisyonları ve enerji tüketimi, ekonomik büyümeyi etkileyen kritik kısa vadeli faktörler olmaya devam etmektedir. Bootstrap ARDL eşbütünlük sınır testi kullanılarak yapılan analiz sonucunda, yalnızca bir modelde bu değışkenler arasında eşbütünlük ilişkisi tespit edilmiştir. Söz konusu model için eşbütünlük ilişkisinin varlığı doğrulandıktan sonra uzun dönem katsayı tahminleri yapılmıştır. Uzun dönem analiz sonuçlarına göre, yenilenebilir enerji arzı değışkeninin de uzun dönemde anlamlı bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Bu bulgu, bazı nedensel ilişkilerin yalnızca kısa dönemle sınırlı kaldığını ve uzun dönem dinamiklerine yansımadığını göstermektedir. Literatürde de vurgulandığı üzere, kısa dönemli istatistiksel anlamlılık, her zaman uzun dönemli yapısal ilişkilere karşılık gelmeyebilir.

Dolayısıyla, politika yapıcılarının kısa vadede gözlenen etkileri dikkate alırken bu etkilerin uzun dönemde sürdürülebilir olup olmadığını dikkatle değerlendirmeleri gerekmektedir. Nitekim bu araştırma kapsamında da yenilenebilir enerji arzının doğumda beklenen yaşam süresi üzerindeki kısa dönemli etkisi anlamlı bulunmasına karşın, uzun dönem katsayı tahminlerinde bu ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı tespit edilmiştir. Bu durum, yapısal politika tasarımlarında kısa ve uzun dönem ayrımının gözetilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Bunun yanı sıra, araştırmada yalnızca doğumda beklenen yaşam süresi gibi tek bir sağlık göstergesinin kullanılması ve ülke bazlı ayırım yapılmaksızın toplulaştırılmış veriler üzerinden ilerlenmiş olması, sonuçların ülke bazında ayrıntılı yorumlanmasını kısıtlamaktadır. Ayrıca, analiz edilen göstergeler dışında kalan diğer sosyal ve çevresel faktörler, araştırmanın kapsamı dışında tutulmuştur. Gelecek araştırmaların ülke bazlı karşılaştırmalı analizlere yer vermesi, daha geniş kapsamlı sağlık ve çevre göstergelerini içermesi ve gerekirse mikro düzeyde birey/hane verilerini kullanması, daha ayrıntılı politika önerilerinin geliştirilebilmesine katkı sağlayacaktır. Ek olarak araştırmada; doğumda beklenen yaşam süresini etkileyen birçok sosyoekonomik ve yapısal faktör (eğitim düzeyi, sağlık hizmetlerine erişim, beslenme, gelir dağılımı, kentleşme vb.) literatürde detaylı şekilde tartışılmaktadır. Ancak bu araştırmada, modelin kapsamı sınırlı tutularak doğumda beklenen yaşam süresi üzerindeki etkiler yeşil büyüme çerçevesinde tanımlanan çevresel ve ekonomik göstergeler ile sınırlandırılmıştır. Bu nedenle, OECD tarafından yeşil büyümenin temel bileşenleri olarak kabul edilen CO<sub>2</sub> emisyon yoğunluğu, enerji yoğunluğu, yenilenebilir enerji arzı ve kişi başına düşen reel GSYİH değişkenleri açıklayıcı faktörler olarak seçilmiştir. Böylece, sürdürülebilir kalkınma ve çevresel kalite ile halk sağlığı arasındaki makro düzeydeki etkileşimlerin analiz edilmesi hedeflenmiştir. Model, temsil gücü yüksek değişkenler kullanılarak kurulmuş olsa da diğer belirleyicilerin dışlanması araştırmanın bir sınırlılığı olarak dikkate alınmalı ve bu konu gelecek çalışmalarda daha geniş veri setleri ile ele alınmalıdır.

## Kaynakça

- Afriyie, J. K., Twumasi-Ankrah, S., Gyamfi, K. B., Arthur, D., & Pels, W. A. (2020). Evaluating the performance of unit root tests in single time series processes. *Mathematics and Statistics*, 8(6), 656-664. <https://doi.org/10.13189/ms.2020.080605>
- Andersen, Z. J., Badyda, A., Tzivian, L., Dzhambov, A. M., Paunovic, K., Savic, S., ... & Dragic, N. (2025). Air pollution inequalities in Europe: A deeper understating of challenges in Eastern Europe and pathways forward towards closing the gap between East and West. *Environmental Epidemiology*, 9(3), e383. <https://doi.org/10.1097/EE9.0000000000000383>
- Ansal, H. (2004). Geçmiş ve gelecekte ekonomik gelişmede teknolojinin rolü. M. Kiper (ed.), *Teknoloji içinde* (s. 35-58), Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği.
- Aydın, B. (2021). Kalkınma literatüründen hareketle enerji-büyüme ilişkisi. *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6(1), 1-13. <https://doi.org/10.29106/fesa.770344>
- Aydın, C., & Esen, Ö. (2018). Does the level of energy intensity matter in the effect of energy consumption on the growth of transition economies? Evidence from dynamic panel threshold analysis. *Energy Economics*, 69, 185-195. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.11.010>
- Azam, M. (2019). Relationship between energy, investment, human capital, environment, and economic growth in four BRICS countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(33), 34388-34400. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06533-9>
- Aziz, G. (2023). Impact of green innovation, sustainable economic growth, and carbon emission on public health: new evidence of non-linear ARDL estimation. *Sustainability*, 15(4), 2859. <https://doi.org/10.3390/su15042859>
- Bayar, Y., Gavriletea, M. D., Pinteia, M. O., & Sechel, I. C. (2021). Impact of environment, life expectancy and real GDP per capita on health expenditures: Evidence from the EU member states. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(24), 13176. <https://doi.org/10.3390/ijerph182413176>
- BRICS Business Council. (2022). *Annual report 2022/23*. Erişim tarihi 21.01.2024, <https://brics2023.gov.za/wp-content/uploads/2023/08/SABBC-AR-30-Aug.pdf>
- Chang, Y. C., Chang, T., & Wang, M. C. (2022). Are healthcare expenditures related to economic growth in China? Bootstrap ARDL approach. *Frontiers in Public Health*, 9, 766091. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.766091>
- Chen, R., Ramzan, M., Hafeez, M., & Ullah, S. (2023). Green innovation-green growth nexus in BRICS: Does financial globalization matter?. *Journal of Innovation & Knowledge*, 8(1), 100286. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2022.100286>
- Çınaroğlu, S. (2018). Kapsayıcı büyüme ve sağlık sonuç göstergeleri bakımından Türkiye'nin Avrupa Birliği ülkeleri içindeki yeri. *Ekonomik Yaklaşım*, 29(109). <https://doi.org/10.5455/ey.16702>
- Dam, M. M., Kaya, F., & Bekun, F. V. (2023). On the nexus between real income, renewable energy consumption, and environmental sustainability on life expectancy for BRICS-T countries: Accessing evidence from quantile regression. *Natural Resources Forum, a United Nations Sustainable Development Journal*, 48, 1109-1135. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12347>
- Dogaru, L. (2021). Green economy and green growth—Opportunities for sustainable development. *Proceedings*, 63, 70. <https://doi.org/10.3390/proceedings2020063070>
- Goh, S. K., Sam, C. Y., & McNown, R. (2017). Re-examining foreign direct investment, exports, and economic growth in Asian economies using a bootstrap ARDL test for cointegration. *Journal of Asian Economics*, 51, 12-22. <https://doi.org/10.1016/j.asieco.2017.06.001>
- Gu, J., Renwick, N., & Xue, L. (2018). The BRICS and Africa's search for green growth, clean energy and sustainable development. *Energy Policy*, 120, 675-683. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.05.028>
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Basic econometrics* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Güney, T. (2021). Renewable energy and sustainable development: Evidence from OECD countries. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 40(4), e13609. <https://doi.org/10.1002/ep.13609>

- Huo, S., Ni, L., & Shah, S. A. A. (2025). Renewable energy dynamics in BRICS: Assessing economic growth, carbon emissions, and public health benefits. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 17(2), 025902. <https://doi.org/10.1063/5.0239553>
- International Labour Organization. (2022). *Employment and just transition to sustainability in the BRICS countries*. Erişim tarihi 04.01.2024, [https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/documents/presentation/wcms\\_845711.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/documents/presentation/wcms_845711.pdf)
- Ioannou, K., Karasmanaki, E., & Tsantopoulos, G. (2025). Environmental policy as a tool for sustainable development. *Sustainability*, 17(8), 3674. <https://doi.org/10.3390/su17083674>
- Jiang, A., Cao, Y., Sohail, M. T., Majeed, M. T., & Sohail, S. (2021). Management of green economy in China and India: Dynamics of poverty and policy drivers. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(39), 55526-55534. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14753-1>
- Judijanto, L., & Syahrin, M. (2025). Towards zero emissions: A critical review of the contribution of the green economy to global climate change targets. *Review of International Economy and Finance*, 1(3), 120-127.
- Karimi Alavijeh, N., Ahmadi Shadmehri, M. T., Dehdar, F., Zangoei, S., & Nazeer, N. (2024). The role of renewable energy on life expectancy: Evidence from method of moments quantile regression based on G-7 countries data. *International Journal of Energy Sector Management*, 18(4), 767-788. <https://doi.org/10.1108/IJESM-11-2022-0001>
- Khan, A., Muhammad, F., Chenggang, Y., Hussain, J., Bano, S., & Khan, M. A. (2020). The impression of technological innovations and natural resources in energy-growth-environment nexus: A new look into BRICS economies. *Science of The Total Environment*, 727, 138265. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138265>
- Khare, V., Jain, A., & Bhuiyan, M. A. (2023). Perspective of renewable energy in the BRICS country. *E-Prime-Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 5, 100250. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2023.100250>
- Lin, F. L., Inglesi-Lotz, R., & Chang, T. (2018). Revisit coal consumption, CO2 emissions and economic growth nexus in China and India using a newly developed bootstrap ARDL bound test. *Energy Exploration & Exploitation*, 36(3), 450-463. <https://doi.org/10.1177/0144598717741031>
- Mahalik, M. K., Padhan, H., Patel, G., Mishra, S., & Chyrmang, R. (2024). The role of gender life expectancy in environmental degradation: New insights for the BRICS economies. *Environment, Development and Sustainability*, 26(4), 9305-9334. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03097-0>
- Mehrabi, M., Sameti, M., & Marouani, A. (2025). Green financing and sustainable environmental development: An empirical study of BRICS-I countries. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-6959192/v1>
- McNown, R., Sam, C. Y., & Goh, S. K. (2018). Bootstrapping the autoregressive distributed lag test for cointegration. *Applied Economics*, 50(13), 1509-1521. <https://doi.org/10.1080/00036846.2017.1366643>
- Nalinci, S. (2023). Yeşil ekonomi ve yeşil işler. *Ulakbilge Sosyal Bilimler Dergisi*, 87, 729-737. <https://doi.org/10.7816/ulakbilge-11-87-03>
- Nawaz, M. A., Hussain, M. S., Kamran, H. W., Ehsanullah, S., Maheen, R., & Shair, F. (2021). Trilemma association of energy consumption, carbon emission, and economic growth of BRICS and OECD regions: Quantile regression estimation. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 16014-16028. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11823-8>
- Nguyen, D. H., & Khominich, I. P. (2023). The measurement of green economic quality in the BRICS countries: Should they prioritize financing for environmental protection, economic growth, or social goals?. *Russian Journal of Economics*, 9(2), 183-200. <https://doi.org/10.32609/j.ruje.9.101612>
- OECD Data Explorer (t. y.). *Green growth indicators*. Erişim tarihi 04.01.2024, [https://data-explorer.oecd.org/vis?df\[ds\]=DisseminateFinalDMZ&df\[id\]=DSD\\_GG%40DF\\_GREEN\\_GROWT\\_H&df\[ag\]=OECD.ENV.EPI&dq=AUS.A...&pd=2017%2C&to\[TIME\\_PERIOD\]=false](https://data-explorer.oecd.org/vis?df[ds]=DisseminateFinalDMZ&df[id]=DSD_GG%40DF_GREEN_GROWT_H&df[ag]=OECD.ENV.EPI&dq=AUS.A...&pd=2017%2C&to[TIME_PERIOD]=false)
- OECD. (2011). *Towards green growth*. Erişim tarihi 10.02.2024, [https://www.oecd.org/en/publications/towards-green-growth\\_9789264111318-en.html](https://www.oecd.org/en/publications/towards-green-growth_9789264111318-en.html)
- Olabi, A. G., & Abdelkareem, M. A. (2022). Renewable energy and climate change. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158, 112111. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112111>

- Özaslan, A. (2023). Sürdürülebilir kalkınma yolunda yeşil büyüme stratejilerinin kentlere yansımaları. *Sağlık ve Sosyal Refah Araştırmaları Dergisi*, 5(1), 98-113. <https://doi.org/10.55050/sarad.1183810>
- Özütler, H. (2018). Kapsayıcı büyümenin kuramsal çerçevesi üzerine bir araştırma. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(4), 1455-1477.
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289-326. <https://doi.org/10.1002/jae.616>
- Ragavan, M. I., Marcil, L. E., & Garg, A. (2020). Climate change as a social determinant of health. *Pediatrics*, 145(5), e20193169. <https://doi.org/10.1542/peds.2019-3169>
- Raihan, A. (2024). The influence of tourism on the road to achieving carbon neutrality and environmental sustainability in Malaysia: The role of renewable energy. *Sustainability Analytics and Modeling*, 4, 100028. <https://doi.org/10.1016/j.samod.2023.100028>
- Romanello, M., Di Napoli, C., Drummond, P., Green, C., Kennard, H., Lampard, P., ... & Costello, A. (2022). The 2022 report of the Lancet Countdown on health and climate change: Health at the mercy of fossil fuels. *The Lancet*, 400(10363), 1619-1654. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)01540-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)01540-9)
- Shahbaz, M., Nasir, M. A., & Roubaud, D. (2018). Environmental degradation in France: The effects of FDI, financial development, and energy innovations. *Energy Economics*, 74, 843-857. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.07.020>
- Sohail, M. T. (2023). Green development in BRICS: Unraveling the effects of environmental technology, R&D spending, and green investment in the context of COP21. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(57), 120000-120009. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30696-1>
- Souza Piao, R., Silva, V. L., Navarro del Aguila, I. & de Burgos Jiménez, J. (2021). Green growth and agriculture in Brazil. *Sustainability*, 13(3), 1162. <https://doi.org/10.3390/su13031162>
- UNFCCC. (2015). *The Paris Agreement*. Erişim tarihi 30.05.2025, <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>
- United Nations (t. y.). *Sustainable development: The 17 goals*. Erişim tarihi: 30.05.2025, <https://sdgs.un.org/goals>
- United Nations Development Programme. (t. y.). *Human development index (HDI)*. Erişim tarihi 30.01.2024, <https://hdr.undp.org/data-center/human-development-index#/indicies/HDI>
- Wang, Q., Wang, L., & Li, R. (2023). Does renewable energy help increase life expectancy? Insight from the linking renewable energy, economic growth, and life expectancy in 121 countries. *Energy Strategy Reviews*, 50, 101185. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101185>
- Wang, Z., Bui, Q., Zhang, B., Nawarathna, C. L. K., & Mombeuil, C. (2021). The nexus between renewable energy consumption and human development in BRICS countries: The moderating role of public debt. *Renewable Energy*, 165, 381-390. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.144>
- World Bank. (2012). *Inclusive green growth: The pathway to sustainable development*. Erişim tarihi 31.05.2025, <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/6058>
- World Health Organization. (2022). *Health systems resilience toolkit*. Erişim tarihi 07.01.2024, <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/354177/9789240048751-eng.pdf>
- World Health Organization. (t. y.a). *Climate change*. Erişim tarihi 08.02.2024, [https://www.who.int/health-topics/climate-change#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/climate-change#tab=tab_1)
- World Health Organization. (t. y.b). *Social determinants of health*. Erişim tarihi 08.02.2024, [https://www.who.int/health-topics/social-determinants-of-health#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/social-determinants-of-health#tab=tab_1)
- World Health Organization. (t. y.c). *Human development index*. Erişim tarihi 03.02.2024, <https://www.who.int/data/nutrition/nlis/info/human-development-index>
- World Health Organization. (t. y.d). *Ambient (outdoor) air pollution*. Erişim tarihi 07.02.2024, [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Yacour, S., Soumbara, S. A., & El Ghini, A. (2024). Environmental quality, economic growth, and healthcare expenditure nexus for North Africa: A panel cointegration analysis. *Environmental Modeling & Assessment*, 29(2), 307-321. <https://doi.org/10.1007/s10666-023-09942-w>
- Yan, X., Abdalla, A. A., Zhu, G., Uslu, Y. D., Mohamed, M. A. A., Muhammad, T., & Shabbir, M. S. (2024). Does natural resources matter? Nexus among renewable energy policies, technological

- innovation, environmental protection, and economic growth. *Energy Strategy Reviews*, 51, 101272. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101272>
- Younsi, M., & Bechtini, M. (2020). Economic growth, financial development, and income inequality in BRICS countries: Does Kuznets' inverted U-shaped curve exist?. *Journal of the Knowledge Economy*, 11(2), 721-742. <https://doi.org/10.1007/s13132-018-0569-2>
- Zivot, E., & Andrews, D. W. K. (2002). Further evidence on the great crash, the oil-price shock, and the unit-root hypothesis. *Journal of Business & Economic Statistics*, 20(1), 25-44. <https://doi.org/10.1198/073500102753410372>

## Extended Abstract

### Purpose

This study aims to explore the interactions between green growth, energy consumption, renewable energy supply, health indicators, and GDP in BRICS countries. Green growth seeks to balance economic development with environmental sustainability by ensuring the responsible use of natural resources. Given BRICS' significant share in the global economy and population, understanding the relationship between energy policies and health outcomes in these countries is crucial. This research employs the Bootstrap ARDL model to analyze long-term interactions, offering a methodological advantage over traditional econometric techniques. The findings provide insights into how renewable energy and economic growth impact life expectancy, emphasizing the need for integrated policies in energy, health, and environmental sustainability. By addressing key gaps in the literature, this study contributes to policy recommendations that support sustainable development while mitigating adverse environmental effects.

### Methodology

This study analyzes the relationships between green growth, energy consumption, renewable energy supply, health indicators, and per capita GDP in BRICS countries using data from the OECD database covering the period 1990-2021. To examine long-term interactions in time series data, the research employs the Bootstrap Autoregressive Distributed Lag (ARDL) model, a robust econometric approach that allows for different levels of integration among variables. To address heteroskedasticity issues, logarithmic transformations were applied to all variables. The analysis specifically investigates the relationship between life expectancy at birth and key economic and environmental factors using the Bootstrap ARDL model.

Before conducting the main analysis, stationarity tests were applied to the dataset to ensure reliability. The study utilizes the Augmented Dickey-Fuller (ADF) and Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS) unit root tests to determine whether the time series data are stationary. Additionally, the Zivot & Andrews (Z-A) unit root test was used to detect potential structural breaks within the dataset. The literature suggests that different unit root tests may yield varying results depending on sample size and integration properties; therefore, the selection of an appropriate test is crucial. The KPSS test is considered the most reliable among the tests used in this study.

To examine long-term relationships, the Bootstrap ARDL bounds testing approach, developed by Pesaran et al. (2001), was applied. This method is advantageous as it accommodates variables with mixed integration orders ( $I(0)$  and  $I(1)$ ). The model estimates cointegration relationships by applying F-tests and t-tests to assess statistical significance. The Bootstrap ARDL approach enhances the reliability of these tests by generating critical values unique to the dataset's integration properties, thereby minimizing instability in the estimation process.

Furthermore, a Granger causality test was conducted based on the Bootstrap ARDL model to explore short-term causal relationships between renewable energy supply, economic growth, and life expectancy. This test determines whether a time series variable can predict another variable over time. The model specification was optimized using Schwarz Information Criterion (SIC), ensuring the selection of the most appropriate lag structure for the analysis. These methodological steps provide a comprehensive and robust framework for understanding the interplay between green growth, energy consumption, and public health in BRICS countries.

### Findings

The analysis of BRICS countries from 1990 to 2021 reveals distinct cointegration relationships between green growth indicators, energy consumption, renewable energy supply, per capita GDP, and life expectancy. The Bootstrap ARDL bounds test results indicate no significant long-term relationship between CO<sub>2</sub> emissions and life expectancy, as well as between CO<sub>2</sub> emissions and per capita GDP. However, a cointegrated relationship exists between renewable energy supply, per capita GDP, and life expectancy, suggesting that increased renewable energy usage positively impacts public health and economic growth.

Unit root tests (ADF, KPSS, and Zivot-Andrews) confirm that all variables are either stationary at level ( $I(0)$ ) or at first difference ( $I(1)$ ), making them suitable for the Bootstrap ARDL model. Granger causality tests reveal a short-term causal link between renewable energy supply and life expectancy at birth, implying that renewable energy investments contribute to public health improvements. Additionally, energy intensity

and total primary energy supply per capita exhibit a significant causal relationship with per capita GDP, indicating that economic growth in BRICS countries is closely tied to energy consumption.

Although no long-term cointegration is observed between economic growth and energy consumption, short-term dynamics suggest that CO<sub>2</sub> emissions and energy consumption remain crucial determinants of economic expansion. The study highlights the importance of integrating renewable energy policies with economic and health strategies to enhance sustainability. These findings provide essential insights for policymakers, emphasizing the need for renewable energy investments to improve both environmental quality and socioeconomic development.

### **Limitations**

While this study provides valuable insights into the relationship between green growth, renewable energy, economic growth, and public health in BRICS countries, it has certain limitations. First, the analysis relies on data from 1990 to 2021, which may not fully capture recent policy changes or emerging trends in renewable energy and environmental regulations. Second, although the Bootstrap ARDL model enhances the reliability of cointegration and causality tests, it cannot entirely eliminate potential endogeneity issues. Additionally, the study focuses on macro-level indicators, overlooking country-specific socioeconomic factors such as healthcare accessibility, education, and income distribution, which also significantly impact life expectancy. Furthermore, while the findings highlight the importance of renewable energy in improving public health and economic growth, isolating its effects from other contributing factors remains challenging. Future research could incorporate micro-level data and alternative econometric techniques to further refine these conclusions and provide more targeted policy recommendations.

### **Implications (theoretical, practical and social)**

This study contributes to the literature by providing empirical evidence on the relationship between green growth, renewable energy supply, economic development, and public health in BRICS countries. The use of the Bootstrap ARDL model enhances the reliability of the findings, offering a robust alternative to traditional econometric approaches. Additionally, the study emphasizes the need to integrate environmental sustainability into economic growth models, reinforcing the significance of green investments in shaping long-term socioeconomic outcomes.

Policymakers should prioritize investments in renewable energy infrastructure to enhance environmental quality and economic stability. Governments in BRICS countries should implement financial incentives, such as tax reductions and zero-interest loans, to encourage businesses and households to adopt clean energy sources. Additionally, energy efficiency measures should be promoted to optimize resource utilization and minimize carbon emissions. Given the strong link between renewable energy and life expectancy, public health policies should incorporate sustainability strategies, including improved air quality regulations and access to clean water.

Sustainable energy policies play a critical role in improving living standards, reducing health disparities, and fostering inclusive economic growth. Expanding access to renewable energy in underserved communities can enhance public health outcomes by reducing pollution-related diseases. Furthermore, integrating green growth principles into social policies can contribute to job creation in the renewable energy sector, supporting economic empowerment and poverty reduction. Addressing climate change and promoting energy sustainability is essential for ensuring intergenerational equity and long-term social welfare.

### **Originality and value**

This study offers a unique contribution by examining the intersection of green growth, energy consumption, renewable energy supply, health indicators, and economic development in BRICS countries. Unlike previous research, it employs the Bootstrap ARDL model, which provides a more robust and flexible econometric approach for detecting long-term relationships and causal interactions. This methodology allows for the identification of nonlinear effects and enhances the reliability of findings compared to conventional Granger causality tests.

Moreover, the study highlights the crucial role of renewable energy investments in improving both environmental sustainability and public health, emphasizing their direct impact on life expectancy. By

integrating economic, environmental, and social dimensions, this research offers valuable insights for policymakers seeking to balance economic growth with sustainability goals.

Additionally, this study contributes to the literature by addressing the specific challenges faced by BRICS nations, considering their unique economic structures, resource dependencies, and environmental policies. The findings underscore the need for integrated policy frameworks that simultaneously promote renewable energy adoption, economic resilience, and social well-being, making this research a significant reference for future studies on sustainable development strategies.