

Ekolojik Vergilerin Sera Gazı Emisyonları Üzerindeki Doğrusal Olmayan Etkisi: BRICS Ülkeleri Üzerine Ampirik Bir İnceleme

Mustafa KURT¹

Öz

Çalışmada, yenilenebilir enerji tüketimi, doğrudan yabancı yatırımlar ve kentsel nüfusun toplam sera gazı emisyonları üzerindeki etkisinde piyasa tabanlı politikaların (ekolojik vergilerin) rolünü değerlendirmek amacıyla, BRICS ülkelerinin 2000-2020 dönemi yıllık verileri kullanılmıştır. Analiz kısmında kullanılan yöntem ise, Hansen'in (1999) geliştirdiği panel eşik değer analizidir. Bulgular, yenilenebilir enerji tüketimi, doğrudan yabancı yatırımlar ve kentsel nüfus ile toplam sera gazı emisyonları arasındaki ilişkide ekolojik vergi sıklığının belirleyici bir eşik etkisi oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Bu kapsamda, düşük düzeyli ekolojik vergi rejimlerinde doğrudan yabancı yatırımlardaki artış ile yenilenebilir enerji tüketiminin yükselmesinin sera gazı emisyonlarını azaltıcı yönde etkide bulunduğu; buna karşılık, kentsel nüfus artışının emisyonları artırdığı gözlemlenmektedir. Öte yandan, ekolojik vergi sıklığı eşik değerin üzerine çıktığı durumlarda yenilenebilir enerji tüketiminin emisyon azaltıcı etkisinin zayıfladığı, kentsel nüfus artışının ise emisyonları artırıcı etkisinin daha da güçlendiği tespit edilmiştir. Ayrıca, yüksek ekolojik vergi rejimlerinde, doğrudan yabancı yatırımların toplam sera gazı emisyonları üzerindeki etkisinin anlamsız olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Piyasa Tabanlı Politikalar (Ekolojik Vergiler), Yenilenebilir Enerji Tüketimi, Doğrudan Yabancı Yatırımlar, Toplam Sera Gazı Emisyonları.

JEL Kodları: H23, Q43, F21, Q54

The Nonlinear Impact of Ecological Taxes on Greenhouse Gas Emissions: An Empirical Study on BRICS Countries

Abstract

This study examines the role of market-based policies (ecological taxes) in the impact of renewable energy consumption, foreign direct investments, and urban population on total greenhouse gas emissions by utilizing annual data from BRICS countries for the period 2000–2020. The analysis employs the panel threshold regression method developed by Hansen (1999). The findings reveal that the stringency of ecological taxation constitutes a significant threshold effect in the relationship between renewable energy consumption, foreign direct investments, urban population, and total greenhouse gas emissions. Specifically, under regimes with low ecological tax stringency, increases in foreign direct investments and renewable energy consumption are associated with reductions in greenhouse gas emissions, whereas urban population growth contributes to increasing emissions. Conversely, when ecological tax stringency exceeds the threshold level, the emission-reducing effect of renewable energy consumption weakens, and the emission-enhancing impact of urban population growth intensifies. Furthermore, in high ecological tax regimes, the effect of foreign direct investments on total greenhouse gas emissions is found to be statistically insignificant.

Keywords: Market-Based Policies (Environmental Taxes), Renewable Energy Consumption, Foreign Direct Investment, Total Greenhouse Gas Emissions.

JEL Codes: H23, Q43, F21, Q54

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Aamsya Üniversitesi, Gümüşhacıköy Hasan Duman MYO, Finans, Bankacılık ve Sigortacılık Bölümü, mustafa.kurt@amasya.edu.tr, ORCID-ID 0000-0002-3130-6227

<https://doi.org/10.33203/mfy.1696094>

Extended Summary

This study investigates the asymmetric threshold effects of ecological taxes (market-based environmental policies) on greenhouse gas (GHG) emissions in BRICS nations (Brazil, Russia, India, China, South Africa) from 2000 to 2020, employing Hansen's (1999) panel threshold regression. The analysis focuses on how market-based environmental policies (ecological taxes) modulate the relationships between renewable energy consumption, foreign direct investments (FDI), urban population dynamics, and total GHG emissions. Annual data from the World Bank and OECD are utilized, with total GHG emissions (in megatons of CO₂ equivalent) as the dependent variable, while renewable energy consumption (% of total energy), FDI (% of GDP), urban population (% of total), and ecological tax stringency (measured via OECD's policy index) serve as independent and threshold variables. The methodological framework identifies nonlinear relationships, revealing distinct emission behaviors below and above critical tax thresholds.

Key findings demonstrate that ecological taxes exert a significant threshold effect on emission drivers. In low-tax regimes (below 0.33 policy stringency), a 1% increase in FDI correlates with a 376.55-megaton reduction in GHG emissions, likely due to enhanced adoption of green technologies and regulatory flexibility attracting environmentally conscious investments. Conversely, in high-tax regimes (above 0.33), FDI loses statistical significance, suggesting potential disincentives for sustainable capital inflows or shifts toward emission-intensive sectors under stringent fiscal pressures. Renewable energy consumption exhibits emission-reducing effects across all tax levels, yet its efficacy diminishes in high-tax environments, attributed to increased production costs, scalability challenges, and technological lock-ins that hinder optimal clean energy deployment.

Urban population growth consistently exacerbates emissions, but its impact intensifies under high ecological taxes. A 1% rise in urban population increases emissions by 193.57 megatons in low-tax scenarios, escalating to 207.34 megatons in high-tax contexts. This amplification reflects infrastructural strain, energy demand surges, and potential reliance on carbon-intensive alternatives among low-income demographics, compounded by inadequate fiscal incentives for sustainable urban planning. The study identifies a paradoxical outcome: while ecological taxes aim to curb emissions, excessive stringency may inadvertently undermine their effectiveness by distorting investment patterns and exacerbating urban environmental pressures.

The results challenge conventional assumptions about linear policy impacts, emphasizing the need for calibrated tax regimes. Low-to-moderate ecological taxes appear synergistic with FDI and renewable energy, fostering emission reductions without stifling economic dynamism. However, surpassing the threshold triggers diminishing returns, highlighting the risks of policy overreach. Urbanization's persistent emission-enhancing effect,

regardless of tax levels, calls for complementary measures—such as green infrastructure investments, energy subsidies for marginalized populations, and sector-specific regulations—to mitigate demographic pressures.

Policy implications stress the importance of context-sensitive tax design. BRICS economies, characterized by rapid industrialization and divergent environmental governance capacities, require tiered tax structures that align with developmental stages. For instance, India and China, with rising ecological tax trajectories, could prioritize gradual escalations paired with FDI incentives for renewable projects. Conversely, Brazil and Russia, exhibiting stagnant or declining tax stringency, may benefit from reinforcing baseline environmental regulations before implementing aggressive fiscal measures. The study advocates for integrated policy packages that combine ecological taxes with innovation grants, carbon trading mechanisms, and urban resilience frameworks to address multidimensional sustainability challenges.

Limitations include the focus on aggregate GHG emissions, which may mask sector-specific variations, and the reliance on macro-level data, omitting microeconomic behavioral insights. Future research could explore subnational disparities, sectoral thresholds, and the interplay between ecological taxes and digital technologies in shaping emission pathways. Nevertheless, this analysis provides a foundational framework for optimizing market-based environmental policies in emerging economies, balancing ecological goals with economic viability.

1. Giriş

İklim değişikliği ve küresel ısınma, günümüzde en önemli çevresel ve ekonomik sorunlardan biridir. Bu sorunların çözülmesinde en kritik faktörlerden biri sera gazı emisyonlarının kontrol altına alınmasıdır. Sera gazlarının atmosfere salınımı, özellikle fosil yakıtların yoğun olarak kullanılması, kentsel nüfus artışı ve sanayileşme gibi faktörlerden kaynaklanabilmektedir. Bu bağlamda, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşabilmek için sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik stratejiler geliştirilmesi büyük bir önem taşımaktadır. Bu stratejilerin başında ise yenilenebilir enerji kullanımı, kentsel nüfus, yabancı yatırımların çevresel etkisi ve ekolojik vergilerin uygulanması gibi faktörler sıralanabilir.

Sera gazı emisyonlarının azaltılmasında yenilenebilir enerji, fosil yakıtlar yerine temiz enerji kaynaklarının kullanımını destekleyerek kritik bir rol oynamaktadır. Güneş, hidroelektrik, rüzgâr, biokütle vb. yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, karbondioksit (CO₂) ve diğer sera gazlarının salınımını önemli ölçüde azaltabilir. Bununla birlikte, bu enerji kaynaklarına yapılan yatırımların artırılması iktisadi büyüme ve enerji güvenliği için de önemli fırsatlar sunmaktadır. Diğer yandan, kentsel nüfus artışı, çevresel sürdürülebilirliği ciddi şekilde tehdit eden bir faktördür. Dünya genelinde hızla artan şehirleşme, doğal kaynakların tükenmesine, ekosistemlerin bozulmasına ve sera gazı emisyonlarının yükselmesine yol açabilmektedir. Kentsel alanlarda artan enerji tüketimi ve ulaşım talebi sera gazı emisyonlarını daha da arttırmaktadır. Bu nedenle, kentsel nüfusun çevresel etkilerinin yönetilmesi sürdürülebilir şehirler inşa etmek için vazgeçilmez bir gereklilik olabilir.

Gelişmekte olan ülkelerde doğrudan yabancı yatırımlar iktisadi büyümeyi destekleyen önemli bir faktördür. Ancak, yabancı yatırımların çevresel etkileri göz ardı edilmemelidir. Yatırım yapılan sektörler, çevre dostu teknolojilerden ziyade fosil yakıtlar ve kirli sanayi alanlarında yoğunlaşırsa bu yatırımlar sera gazı emisyonlarını artırabilir. Yatırım politikalarının çevresel sürdürülebilirliği göz önünde bulunduracak şekilde şekillendirilmesi, ekonomik büyüme ile çevresel hedefler arasında bir denge kurmak adına önemlidir. Ekolojik vergiler ise, çevresel zararları içselleştiren ve çevre dostu davranışları teşvik eden ekonomik araçlar olarak dikkat çekmektedir. Karbon vergisi gibi ekolojik vergiler, karbon salınımını ve diğer çevresel zararları azaltmayı amaçlayan güçlü bir araç olabilir. Ekolojik vergiler, özellikle sanayi ve enerji sektörlerinde sera gazı salınımını kontrol altına almak ve temiz enerji yatırımlarını teşvik etmek için etkili bir politika aracı olarak öne çıkmaktadır.

Ekolojik vergilerin; kentsel nüfus dinamikleri, doğrudan yabancı yatırım akışları ve yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde potansiyel ve öngörülemeyen etkiler yaratabileceği ön görülmektedir. Dolayısıyla, bu değişkenlerin sera gazı emisyonları üzerindeki etkilerinin analiz edilmesi, ekolojik vergi politikalarının etkinliğinin ve rolünün anlaşılması açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, ekolojik vergi uygulamalarında optimal politika tasarımına yönelik bir eşik değer tespit edilmesi

gerekmektedir. Özellikle etkilerin belirsizlik arz ettiği durumlarda, ekolojik vergilerdeki değişimlerin söz konusu makroekonomik ve çevresel değişkenler üzerinde farklılaşan etkiler yaratması ve dolayısıyla emisyon salınımını heterojen biçimde etkilemesi beklenmektedir.

Çalışmada, BRICS ülkelerinin (Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika) 2000-2020 dönemi yıllık verileri kullanılmıştır. BRICS ülkelerinin bu analizde tercih edilmesinin temel nedeni, söz konusu ülkelerin küresel ekonomik büyüme ve çevresel etkiler üzerindeki belirgin rolleridir. Bu ülkeler, hızla sanayileşen ve büyüyen ekonomilere sahip olmaları nedeniyle doğrudan yabancı yatırımlar, kentsel nüfus, yenilenebilir enerji tüketiminin çevresel etkilerinin gözlemlenebileceği önemli örnekler sunabilir. Ayrıca, söz konusu ülkeler, enerji yoğun üretim faaliyetleri ve çevresel düzenlemelerdeki farklılıklar nedeniyle toplam sera gazı emisyonları gibi çevresel göstergeler üzerinde dikkate değer bir etkiye sahiptirler. 2000-2020 dönemi ise, küresel ölçekte çevresel politikaların ve ekolojik vergilerin yaygın olarak gündeme geldiği bir zaman dilimini kapsamaktadır. Bu dönem, Kyoto Protokolü ve Paris Anlaşması gibi uluslararası çevre sözleşmelerinin uygulanmaya başlandığı ve yenilenebilir enerjiye geçiş ile ekolojik vergilendirme politikalarının etkinliğinin test edildiği önemli bir zaman aralığıdır. Ayrıca, bu süreçte BRICS ülkeleri, doğrudan yabancı yatırımlarında önemli artışlar göstermiş ve küresel ticarete daha merkezi bir konuma yerleşmiştir. Dolayısıyla, 2000-2020 dönemi, ilgili değişkenlerle ekolojik vergiler arasındaki ilişkinin toplam sera gazı emisyonları bağlamında analiz edilmesi için hem tarihsel hem de ekonomik anlamda uygun bir bağlam sunmaktadır.

Panel eşik değer analizinin kullanılması [Hansen (1999) tarafından geliştirilmiştir], bu çalışmanın önemli katkılarından biridir. Bu yöntem, doğrusal olmayan ilişkilerin analizine imkân tanırken, değişkenler arasındaki etkileşimi etkileyebilecek üçüncü bir değişkenin etkisini gözlemlemeye olanak sağlamaktadır. Bu bağlamda, çalışma, doğrudan yabancı yatırımlar, kentsel nüfus, yenilenebilir enerji tüketiminin toplam sera gazı emisyonları üzerindeki etkilerini analiz ederken ekolojik vergi sıklığı için bir eşik değeri belirlememize olanak sağlamaktadır. Ekolojik vergi sıklığının; doğrudan yabancı yatırımlar, kentsel nüfus, yenilenebilir enerji tüketimiyle toplam sera gazı emisyonları üzerinde farklı etkiler yaratabileceği öngörülmektedir. Bu sebeple, söz konusu değişkenlerin etkilerini doğru bir şekilde anlamak, ekolojik vergi sıklığının rolünü kavrayabilmek açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu doğrultuda, ekolojik vergi sıklığı için potansiyel bir eşik değer belirlenmesi ve bu değer altında ve üzerinde doğrudan yabancı yatırımlar, kentsel nüfus ve yenilenebilir enerji tüketiminin toplam sera gazı emisyonları üzerindeki etkilerinin farklılaşması beklenmektedir.

Bu çalışma, 2000-2020 yılları arasındaki dönemde BRICS ülkelerinin (Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika) verilerini incelemektedir. Bu dönem, hem küresel sera gazı emisyonlarının önemli bir artış gösterdiği hem de BRICS ülkelerinin ekonomik büyüme ve sanayileşme süreçlerinin hızlandığı bir dönem olmuştur. Bu

lkeler, dünya genelindeki toplam sera gazı salınımının büyük bir kısmını oluşturmaktadır, bu nedenle bu dönemin seçilmesi, küresel iklim değişikliği üzerindeki etkilerini analiz etmek için anlamlıdır. Çalışma dört ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, karbon emisyonları ve sera gazı emisyonlarının belirleyicilerine dair literatür taraması yapılmaktadır. İkinci bölümde, veri seti ve metodolojik yaklaşım sunulurken, sonraki iki bölümde ise ampirik sonuçlar değerlendirilmekte ve politika nerileri geliştirilmektedir.

2. Literatür Taraması

Günümüzde evresel sorunlar, küresel ölçekte ciddi tehditler oluşturmakta ve bu sorunların başında küresel ısınma gelmektedir. Atmosferdeki sera gazı emisyonlarının artışı, dünya sıcaklıklarının yükselmesine, iklim değişikliklerine, deniz seviyelerinin yükselmesine ve doğal afetlerin sıklığının artmasına neden olmaktadır. Fosil yakıtların aşırı tüketimi, ormansızlaşma ve sanayileşme gibi insan faaliyetleri, çevresel dengenin bozulmasına yol açarak, gezegenimizin ekosistemlerine büyük zararlar vermektedir. Bu süreç, biyolojik çeşitliliğin kaybı, su kaynaklarının kirlenmesi ve hava kalitesinin düşmesi gibi bir dizi olumsuz sonucu da beraberinde getirmektedir. Dünya genelinde evre kirliliği ve iklim değişikliği gibi sorunların etkileri, yalnızca doğal çevreyi değil, aynı zamanda insan sağlığını, tarımı, su güvenliğini ve ekonomik istikrarı da tehdit etmektedir. Bu bağlamda, çevresel sürdürülebilirliği sağlamak, küresel iş birliğini ve etkili politika çözümleri gerektiren bir öncelik haline gelmiştir.

Bu evresel tehditlerin arttığı bir dönemde, ekonomik büyüme ve evre koruma arasındaki dengeyi sağlamak daha da önemli duruma gelmektedir. Bu bağlamda, kentsel nüfus artışı, doğrudan yabancı yatırımlar ve yenilenebilir enerji tüketimi, çevresel etkileri açısından giderek daha fazla dikkat çeken başlıca faktörler arasında yer almaktadır. Söz konusu değişkenlerin çevresel etkileri hem ekonomistler hem de evre bilimciler tarafından uzun zamandır tartışılmakta ve bu tartışmalar, sera gazı emisyonları, karbon emisyonları ve evre kirliliği üzerindeki etkilerini anlamaya yönelik çeşitli teorilerin geliştirilmesine yol açmıştır. Bu teoriler, söz konusu değişkenlerin evre üzerindeki etkilerini hem olumlu hem de olumsuz yönleriyle ele almakta ve bu etkilerin, ülkeler arasındaki farklı ekonomik ve çevresel koşullara göre değişkenlik gösterebileceğini vurgulamaktadır. Bazı alışmalar ise, ilgili değişkenlerin çevreye olumlu etkiler yapabileceğini savunurken, diğer çalışmalar çevreye zarar verebileceği yönünde bulgular sunmaktadır. Bu nedenle, kentsel nüfus, yenilenebilir enerji tüketimi ve doğrudan yabancı yatırımların çevresel etkilerini anlamak, yalnızca ekonomik büyüme ile ilgili değil, aynı zamanda sürdürülebilir kalkınma ve evre koruma açısından da büyük bir önem taşımaktadır.

Ekolojik vergilerin emisyonlar üzerindeki farklı seviyelerdeki etkilerini açıklamada, yeni bir perspektif sunan Porter Hipotezi önemli bir kuramsal temel oluşturmaktadır. Bu bağlamda Porter ve Linde (1995), evresel düzenlemelerin yalnızca maliyet yaratan zorunluluklar olmadığını, aksine firmaları yenilikçi üretim süreçlerine

yönlendirerek çevresel sürdürülebilirlik ve iktisadi verimlilik bakımından kazanım sağlayabileceğini ileri sürmektedir. İlgili çalışma, özellikle çevre vergileri gibi piyasa temelli araçların belirli bir düzeyin üzerinde uygulandığı durumlarda, firmaların bu maliyet baskısına karşılık daha temiz teknolojilere yatırım yapma ve kaynak verimliliğini artırma yönünde stratejiler geliştireceğini vurgulamaktadır. Bu görüşü destekleyen Ambec vd., (2013) ise çevresel düzenlemelerin yalnızca çevresel performansı artırmakla kalmayıp, aynı zamanda üretkenliği ve rekabet gücünü de olumlu yönde etkileyebileceğini göstermektedir.

Doğrudan yabancı yatırımların çevresel etkilerine ilişkin kuramsal çerçevede öne çıkan yaklaşımlardan biri, Kirlilik Hâle Hipotezidir. Bu hipotez, doğrudan yabancı yatırımların çevresel zararları artırmak yerine, gelişmiş çevre standartları ve temiz teknolojilerin transferi yoluyla ev sahibi ülkelerde çevresel performansın iyileştirilmesine katkı sağlayabileceğini ileri sürmektedir (Zarsky, 1999: 7). Bununla birlikte, doğrudan yabancı yatırımlarla çevre ilişkisi açısından kuramsal çerçevede öne çıkan yaklaşımlardan bir diğeri, Kirlilik Sığınağı Hipotezidir. Söz konusu hipoteze göre, gelişmiş ülkelerdeki sıkı çevre politikaları üretim maliyetlerini artırarak sermaye akışını sınırlandırırken, çevre mevzuatının daha esnek olduğu gelişmekte olan ülkeler, çevresel maliyetlerden kaçınmak isteyen çok uluslu şirketler için daha cazip yatırım alanları hâline gelmektedir (Copeland & Taylor, 1994: 755).

Doğrudan yabancı yatırımlar ile çevre arasındaki etkileşimi açıklamaya yönelik kuramsal yaklaşımların yanında, çevresel politikaların uygulama süreçlerinde ortaya çıkabilecek beklenmedik sonuçlara odaklanan teorik çerçeveler de literatürde önemli bir yer tutmaktadır. Bu bağlamda, çevre politikalarının dinamik etkilerini ele alan yaklaşımlar, çevresel düzenlemelerin yalnızca yatırım kararlarını değil, aynı zamanda üretim ve kaynak kullanım zamanlamasını da etkileyebileceğini göstermektedir. Çevresel koruma amacıyla tasarlanan politikaların, beklenmedik biçimde çevresel bozulmayı hızlandırabileceğine dikkat çeken yaklaşımlardan biri “Yeşil Paradoks” tur. Bu kuramsal çerçeveye göre, fosil yakıt arz eden üreticiler, gelecekte yürürlüğe girmesi öngörülen karbon vergileri, emisyon kotaları ya da fosil yakıt kullanımına yönelik sınırlamalar karşısında, bu düzenlemeler devreye girmeden önce üretim ve satış faaliyetlerini artırma eğilimi gösterebilmektedir. Bu davranış rasyonel beklentiler doğrultusunda, gelecekteki kârlılığın azalacağı öngörüsüne dayalı olarak doğal kaynakların daha erken ve yoğun biçimde piyasaya sunulması ile şekillenmektedir. Bu çerçevede, uzun vadeli emisyon azaltımını hedefleyen çevre politikaları, kısa vadede arzı hızlandırarak toplam emisyon miktarını artırabilir ve böylece amaçlanan çevresel faydanın aksine, geçici de olsa olumsuz sonuçlar doğurabilir (Sinn, 2008: 360).

Doğrudan yabancı yatırımların çevresel etkileri, ekonomistler ve çevre bilimciler tarafından uzun zamandır tartışılan önemli bir konu olmuştur. Bu konuya ilişkin yapılan çalışmalar, yatırımların çevre üzerindeki etkilerinin farklı koşullara ve ülkelere göre değişkenlik gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Literatürde, doğrudan yabancı

yatırımlar ile çevre kirliliği, karbon emisyonları ve sera gazı salınımı arasındaki ilişkiyi inceleyen çeşitli araştırmalar mevcuttur. Bu araştırmalar, yatırımların çevre üzerindeki etkilerini farklı açılardan ele alarak, yerel ve küresel çevresel dinamiklere dair önemli bulgular sunmaktadır. Örneğin, Liang (2009), doğrudan yabancı yatırımlarla çevre kirliliği arasındaki ilişkiyi ele aldığı araştırmasında, değişkenler arasındaki ilişkinin negatif bulunduğunu saptamıştır. Elde edilen bulgular, doğrudan yabancı yatırımların artışının çevresel fayda sağladığını göstermektedir. Bu doğrultuda, çalışma, bu piyasa için Kirlilik Halesi Hipotezinin geçerli olduğunu ortaya koymaktadır. Ajide ve Adeniyi (2010), Nijerya'nın karbon emisyonlarıyla doğrudan yabancı yatırımları ilişkisini uzun dönem için incelemiştir. Bulgular, uzun dönemde bu iki değişkenin aynı seyir izlediğini göstermektedir. Çalışma, karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik olarak daha fazla yabancı yatırımın teşvik edilmesi gerektiğini önermektedir. Başka bir ifadeyle, çalışmada, doğrudan yabancı yatırımların karbon emisyonlarını azalttığı sonucuna vardığı söylenebilir.

Bununla birlikte, Paziienza (2015), 1981-2005 dönemi yıllık verilerini kullanarak 30 OECD ülkesindeki balıkçılık ve tarım sektörlerinde doğrudan yabancı yatırımlarla CO₂ emisyonları ilişkisini panel veri analizi yöntemiyle incelemiştir. Çalışma, doğrudan yabancı yatırımlarla CO₂ emisyonları ilişkisinin negatif olduğunu ortaya koymuştur. Lee (2013), G-20 ülkelerinin 1971-2009 dönemi yıllık verilerini kullanarak doğrudan yabancı yatırımlarla CO₂ emisyonları ilişkisini incelemiştir. Çalışma, doğrudan yabancı yatırımlarla CO₂ emisyonu ilişkisinin negatif olduğunu göstermiştir. Sarkodie ve Strezov (2019), enerji tüketimi, iktisadi gelişme ve doğrudan yabancı yatırımların sera gazı emisyonlarına etkisini incelemiştir. Çalışmada, enerji tüketimiyle sera gazı emisyonları ilişkisinin pozitif olduğu saptanmıştır.

Doğrudan yabancı yatırımlar ile karbon emisyonları arasındaki ilişkinin pozitif yönde olduğunu tespit edilen çalışmalar da bulunmaktadır. Örneğin, Farooq (2022), 2001-2019 dönemi Asya ülkeleri verilerini kullanarak EKK, iki Aşamalı EKK ve GMM yöntemleriyle yaptığı çalışmada, doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonlarını artırdığını tespit etmiştir. Acharyya (2009), doğrudan yabancı yatırımlarla karbon emisyonları arasındaki ilişkiyi Hindistan'ın 1980-2003 dönemi verileriyle incelemiş ve değişkenler arasındaki ilişkinin pozitif olduğunu tespit etmiştir. Ampomah ve Adu (2022), 1990-2018 dönemi verilerini kullanarak bazı Avrupa ülkelerinde doğrudan yabancı yatırımın yanı sıra farklı değişkenlerin CO₂ emisyonları üzerindeki etkilerini incelemiştir. Elde ettikleri sonuçlar, doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonlarını artırdığını göstermektedir. Mahmood ve Chaudhary (2012), 1972-2005 döneminde nüfus yoğunluğu ve doğrudan yabancı yatırımların karbon emisyonlarına etkisini ARDL sınır testi ile incelemiştir. Bulgular, uzun dönemli bir ilişkiyi doğrularken kısa dönemde bir ilişki tespit edememiştir. Ek olarak, doğrudan yabancı yatırım ve nüfus yoğunluğunun karbon emisyonlarını artırdığı belirlenmiştir. Liu ve Zhang (2021), Çin'in 2001-2015 dönemi verilerini kullanarak EKK ve iki Aşamalı EKK yöntemleriyle yaptıkları

çalışmada, doğrudan yabancı yatırımların hava kalitesini olumsuz yönde etkilediğini ortaya koymuşlardır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının sera gazı emisyonları üzerindeki etkisi, iklim değişikliğiyle mücadele politikalarının merkezinde yer alan kritik bir konudur. Fosil yakıt kullanımının yol açtığı karbon yoğun enerji üretiminin aksine, güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve biokütle gibi yenilenebilir kaynaklar, enerji üretim sürecinde önemli ölçüde daha düşük karbon salınımına yol açmaktadır. Bu geçişin emisyon azaltımına katkısı, enerji verimliliği, teknolojik gelişmeler ve enerji karışımındaki payı gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Özellikle enerji talebinin yüksek olduğu sanayileşmiş ekonomilerde, yenilenebilir enerji yatırımlarının artırılması, uzun vadede karbon nötr hedeflerine ulaşmada kilit bir strateji olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, yenilenebilir enerji kaynaklarının emisyon üzerindeki net etkisi, ülkelerin enerji altyapısı, politikaların tutarlılığı ve fosil yakıtlardan geçiş hızı gibi makroekonomik dinamiklerden etkilenmektedir. Konuya ilişkin ampirik çalışmalar, genel olarak yenilenebilir enerji kullanımıyla emisyonlar ilişkisinin negatif olduğunu desteklemektedir. Örneğin, Shahnazi ve Shabani (2021), Abbasi vd. (2021), Namahoro vd. (2021) ile Jebli vd. (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmalar, farklı bölgelerde ve farklı ekonometrik yöntemler kullanılarak, yenilenebilir enerji tüketiminin emisyonları azalttığını tespit etmiştir. Bu bulgular, yenilenebilir enerji politikalarının başarısının, ülkelerin enerji dönüşüm stratejileri ve tamamlayıcı önlemlerle desteklenmesi gerektiğini göstermektedir.

Kentleşme, modern ekonomilerin en belirgin özelliklerinden biri olmakla birlikte, çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli etkiler yaratmaktadır. Kentsel alanların genişlemesi, enerji tüketim modellerini, ulaşım sistemlerini ve yapılı çevrenin yoğunluğunu doğrudan etkileyerek sera gazı emisyonları üzerinde çok yönlü bir etkiye sahiptir. Bu süreç, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde farklı dinamikler göstermektedir. Gelişmiş ekonomilerde planlı kentleşme ve temiz enerji politikaları, emisyon artışını kısmen dengeleyebilirken, hızlı ve kontrolsüz kentleşmenin yaşandığı bölgelerde enerji talebindeki artış ve altyapı yetersizlikleri, karbon salınımlarını önemli ölçüde artırabilmektedir. Kentleşme ile emisyonlar arasındaki bu ilişki, yalnızca nüfus yoğunluğuna değil, aynı zamanda kentsel tasarım, enerji verimliliği ve teknolojik adaptasyon gibi faktörlere de bağlıdır. Dolayısıyla, kentleşmenin çevresel etkilerini anlamak için yalın bir nüfus artışı modeli yerine, ekonomik, sosyal ve politik bağlamları da dikkate alan bütüncül bir yaklaşım gerekmektedir.

Yakın dönem çalışmaları, kentleşme-emisyon ilişkisinin analizinde ekonometrik yöntemler kullanarak önemli bulgular ortaya koymaktadır. Örneğin, Asya ekonomileri özelinde yapılan çalışmada, Anwar vd. (2022) 1990-2014 dönemini kapsayan panel veri analizinde dikkat çekici sonuçlara ulaşmışlardır. Araştırma bulguları, bölgedeki kentleşme oranlarındaki artışın, finansal gelişmişlik düzeyi ve ekonomik büyümeyle birlikte karbon salımlarını arttırdığını göstermektedir. MENA bölgesine odaklanan Sun

vd. (2022) ise 1991-2019 dönemi verilerini kullanarak yaptıkları analizlerde, uzun dönemde Çevresel Kuznets Eğrisi geçerliliğini doğrulamışlardır. Çalışmanın bulguları, bölgedeki hızlı kentleşme ve ekonomik genişlemenin karbon emisyonlarını artırıcı etki yaptığını ortaya koymaktadır. Gierałtowska vd. (2022), 163 ülkenin 2000-2016 dönemi verilerini sabit etkiler panel regresyonu ve GMM ile analiz etmişlerdir. Çalışmanın bulguları, kentleşme ile karbon emisyonları arasında Çevresel Kuznets Eğrisi hipoteziyle uyumlu ters U biçiminde ilişki olduğunu ortaya koymuştur.

Çevre politikalarının ve vergilendirme stratejilerinin sera gazı ve karbon emisyonları üzerindeki etkisi günümüzde daha fazla araştırmanın konusu olmuştur. Bu bağlamda, çevreyle ilgili vergilerin sera gazı ve karbon emisyonları üzerindeki rolünü inceleyen çoğu çalışma farklı coğrafyalarda ve ekonomik bağlamlarda çeşitli bulgular ortaya koymuştur. Çevre vergileri ve karbon emisyonları ilişkisini araştıran çalışmalar, [Hashmi ve Alam (2019); Mideksa (2024); Tao vd. (2021); Chien vd. (2021); Hsu vd. (2021)], çevresel vergilerin karbon emisyonlarını azalttığını tespit etmiştir. Benzer şekilde, Conefrey vd. (2013), tarafından yapılan çalışmanın sonuçları, karbon vergisinin karbon salınımları üzerinde olumsuz bir etki yarattığını ortaya koymaktadır. Miller ve Vela (2013) tarafından yapılan bir diğer araştırmadaki bulgular da, çevre vergilerindeki artışın karbondioksit salınımlarını azalttığını göstermektedir. Pinglin vd. (2023) tarafından yapılan çalışma, çevre vergisindeki artışın karbondioksit salınımlarını düşürdüğünü tespit etmiştir. Diğer taraftan, sera gazı emisyonlarıyla çevresel vergiler ilişkisini inceleyen çeşitli araştırmalar da mevcuttur. Morley (2012), çevresel vergilerin sera gazını azalttığını saptamıştır. Benzer şekilde, Kotnik vd. (2014), 1995-2010 dönemine ait verileri kullanarak 19 Avrupa Birliği ülkesinde yaptıkları araştırmada, çevre vergilerinin sera gazı emisyonlarını azaltıcı bir etkisi olduğunu ortaya koymuşlardır.

Son yıllarda yapılan ampirik çalışmalar, ekolojik (yeşil, karbon) vergilerin karbon emisyonları üzerindeki etkilerini ortaya koyarak bu politikaların iklim değişikliğiyle mücadelede etkin araçlar olduğunu doğrulamaktadır. Örneğin, Fang vd. (2023) tarafından Çin'in Yangtze Nehri Ekonomik Bölgesi için yapılan panel veri analizi, yeşil vergilerdeki artışın karbon emisyonlarını istatistiksel olarak anlamlı biçimde azalttığını göstermektedir. Bu bulguya paralel olarak, Al Shammre vd. (2023) OECD ülkeleri üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada, çevre vergilerindeki artışın sera gazı salınımlarını düşürücü etkisini ortaya koymuşlardır. Küresel düzeyde yürütülen bir başka kapsamlı analizde ise Kohlscheen vd. (2024), 121 ülkeyi kapsayan dinamik panel veri modeli aracılığıyla karbon vergisinin kısa ve uzun vadede kişi başına CO₂ salınımlarını sırasıyla %1,3 ve %4,6 oranında azalttığını tespit etmişlerdir. Mikro düzeyde yapılan çalışmalar da benzer şekilde olumlu etkiler göstermektedir. Örneğin, Zhao vd. (2023), Çin'de karbon vergisinin karbon emisyonlarının azaltımı üzerindeki etkilerini incelemektedir. Bulgular, karbon vergisi arttıkça enflasyon oranının ve karbon emisyon azaltımının yükseldiğini göstermektedir. Daha geniş bir OECD örneklemini üzerinde yapılan bir başka çalışmada, Leitão (2025), 1995–2022 yılları arasında 38 OECD ülkesinde çevre vergilerinin kirlilik emisyonları üzerindeki etkisini test etmektedir. Çevre vergileri değişkeni, vergilendirme ile

karbondioksit emisyonları arasında negatif bir dışsallık ortaya koymuş; bu durum, vergilendirmenin karbondioksit emisyonlarında artışı teşvik ettiğini yansıtmaktadır. Bulgular, çevre vergilerinin gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde karbon emisyonlarını azaltma yönünde etkili bir politika aracı olabileceğini ortaya koymakla birlikte, bu etkinin her zaman doğrusal ve beklentilerle uyumlu olmadığını da göstermektedir. Bazı durumlarda çevre vergilerinin istenmeyen çevresel sonuçlar doğurabileceği anlaşılmakta, bu da çevre vergilerinin tasarımının iklim politikalarıyla bütüncül ve uyumlu bir biçimde ele alınmasını gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda, sürdürülebilir bir çevre vergisi sisteminin oluşturulabilmesi için, söz konusu vergilerin yapısal reformlarla desteklenerek uzun vadeli iklim hedeflerine entegre edilmesi büyük önem arz etmektedir.

Karbon emisyonlarını etkileyen dinamikleri ortaya koyan literatürde farklı değişkenlerin çevresel sonuçları üzerinde belirleyici rol oynadığına işaret eden bulgulara rastlanmaktadır. Bu bağlamda Quynh (2022), 1990–2019 dönemine ait N-11 ülkeleri verilerini esas alan ampirik çalışmada, araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) harcamaları ile enerji tüketiminin karbon emisyonlarını azaltıcı yönde etkiler yarattığını ortaya koyarken, doğrudan yabancı yatırımların ise emisyon düzeylerini artırıcı etkide bulunduğunu belirlemiştir. Benzer biçimde, Hossain'ın (2011) çalışması ise sanayileşmekte olan ülkeleri kapsayan 1971–2007 dönemi verilerini kullanarak kentleşme, ticaret açıklığı, enerji tüketimi, iktisadi büyüme ve karbon emisyonu ilişkileri değerlendirilmiştir. Bulgular, uzun dönemli bir nedensellik ilişkisine rastlanmadığını; ancak kısa vadede ticari açıklık ve büyümeden karbon emisyonlarına, iktisadi büyümeden enerji tüketimine doğru tek yönlü nedensel ilişkilerin var olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, yapılan çalışmaların çevresel etkileri hem olumlu hem de olumsuz yönleriyle farklı görüşleri barındıran karmaşık bir konudur. Literatürde yer alan çalışmalar, farklı değişkenlerin çevre kirliliği, karbon emisyonları ve sera gazı salınımları üzerindeki etkilerini incelediğinde bu değişkenlerin çevre üzerindeki etkilerinin farklı koşullara ve ülkelere göre değişebileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, çevre vergilerinin çevresel etkileri de önemli bir konu olup, bu vergilerin karbon emisyonları ve sera gazı salınımlarını azaltmada etkin bir araç olabileceği gözlemlenmiştir. Bu çerçevede, kentsel nüfus, doğrudan yabancı yatırımlar, yenilenebilir enerji tüketimi ve çevresel vergilerin birlikte değerlendirilmesi, sürdürülebilir kalkınma ve çevre koruma stratejilerinin şekillendirilmesinde kritik bir öneme sahiptir.

Mevcut literatürde, kentsel nüfus, doğrudan yabancı yatırımlar ve yenilenebilir enerji tüketimlerinin karbon emisyonları veya sera gazı emisyonları üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmaların yanı sıra, ekolojik vergilerin bu emisyonlarla ilişkisini analiz eden araştırmalar da bulunmaktadır. Ancak, ekolojik vergi sıklığının potansiyel olarak rejim değişikliklerine yol açma olasılığı önceki çalışmalarda ele alınmamıştır. Bu bağlamda, bu çalışma, kentsel nüfus, doğrudan yabancı yatırımlar ve yenilenebilir enerji tüketimlerinin toplam sera gazı emisyonları üzerindeki etkilerini analiz ederken, aynı zamanda ekolojik vergi sıklığının olası rejim değişikliği üzerindeki rolünü de değerlendirecek ve bu

bağlamda piyasa tabanlı politika (ekolojik vergi) değişkeni için bir eşik değeri tespit edecektir.

3. Ekolojik Vergiler ve Toplam Sera Gazı Emisyonları: Ampirik Analiz

3.1. Veri Seti ve Araştırma Yöntemi

Çalışmada, kentsel nüfus, doğrudan yabancı yatırımlar ve yenilenebilir enerji tüketimlerinin toplam sera gazı emisyonlarına etkisinde ekolojik vergi sıklığının rolünü incelemek amacıyla BRICS ülkeleri seçilmiştir. BRICS ülkeleri, küresel ekonomi üzerinde büyük bir etkiye sahip olan, hızla sanayileşen ve büyüyen ekonomilere sahip ülkeler olmakla birlikte küresel sera gazı emisyonlarının önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Çin ve Hindistan, dünya genelinde en yüksek sera gazı emisyonlarına sahip ülkeler arasında yer alırken, Brezilya, Rusya ve Güney Afrika da büyüyen ekonomileriyle bu duruma katkıda bulunmaktadır. Bu ülkeler, gelişen ekonomiler olarak yenilenebilir enerji kullanımı ve çevresel sürdürülebilirlik konusunda büyük zorluklarla karşı karşıya kalabilmektedir. Ayrıca, BRICS ülkelerinde hızla artan kentsel nüfus, enerji talebini ve sera gazı emisyonlarını artırmaktadır, bu durum çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir tehdit oluşturmaktadır. BRICS ülkeleri, doğrudan yabancı yatırımların önemli olduğu ve çevreye duyarlı teknolojilerin teşvik edilmesi gereken ülkelerdir ancak bu yatırımların çevresel etkileri göz ardı edilmemelidir. Ekolojik vergi sıklığı gibi politikalar, bu ülkelerin sera gazı emisyonlarını azaltmada önemli bir rol oynayabilir ancak bu politikaların etkinliği ülkelere göre değişiklik gösterebilir. Bu bağlamda, BRICS ülkelerinin sera gazı emisyonları üzerindeki etkilerini anlamak yalnızca bu ülkeler için değil, dünya genelinde iklim değişikliği ile mücadele açısından da önemi büyüktür. Dolayısıyla, BRICS ülkelerinin seçilmesi, bu ülkelerin çevresel ve ekonomik dinamiklerinin küresel ölçekteki etkilerini anlamak adına önemli bir adım olmuştur.

Modelde yer alan değişkenlerle ilgili veriler, OECD ve Dünya Bankası'nın veri kaynaklarından elde edilmiştir. Bağımlı değişken olarak toplam sera gazı emisyonu ele alınmış ve bu değişken, “Kara kullanımı, kara kullanım değişikliği ve ormancılık dâhil toplam sera gazı emisyonları (megaton karbon dioksit eşdeğeri)” biçiminde tanımlanmıştır. İlgili veri, Dünya Bankası kaynaklarına dayandırılmıştır. Yenilenebilir enerji tüketimini temsil eden değişken, Dünya Bankası'ndan elde edilmiş ve “Yenilenebilir enerji tüketimi (% toplam nihai enerji tüketimi)” olarak tanımlanmıştır. Dünya Bankası veri tabanından alınan kentsel nüfus değişkeni, “Kentsel nüfus (% toplam nüfus)” olarak tanımlanmıştır. “Doğrudan yabancı yatırım, net girişler (% GSYİH)” şeklinde tanımlanan doğrudan yabancı yatırım değişkeni de Dünya Bankası verilerine dayandırılmıştır. Ekolojik vergileri temsil eden değişken ise “Piyasa tabanlı politikalar” olarak ifade edilmiş ve ilgili veri OECD kaynaklarından temin edilmiştir. OECD (2025) verilerine göre, piyasa tabanlı çevre politikaları çerçevesinde çevresel bozulmayla mücadelede ekonomik araçlar etkin biçimde kullanılmaktadır. Bu doğrultuda, kükürt oksit ve azot oksit vergileri, dizel vergisi ve karbon vergisi gibi çeşitli vergiler, çevresel

dışsalılıkların azaltılmasına yönelik olarak uygulanmaktadır. Çalışmada kullanılan değişkenlere ilişkin ayrıntılar Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1

Değişkenlerle İlgili Bilgiler.

Değişkenler	Tanımlar	Kaynaklar
Toplam sera gazı emisyonları (ser)	Kara kullanımı, kara kullanım değişikliği ve ormancılık dâhil toplam sera gazı emisyonları (megaton karbon dioksit eşdeğeri)	Dünya Bankası
Yenilenebilir enerji tüketimi (ren)	Yenilenebilir enerji tüketimi (% toplam nihai enerji tüketimi)	Dünya Bankası
Kentsel nüfus (urban)	Kentsel nüfus (% toplam nüfus)	Dünya Bankası
Doğrudan yabancı yatırım (dy)	Doğrudan yabancı yatırım, net girişler (% GSYH)	Dünya Bankası
Ekolojik vergiler (eco)	Piyasa tabanlı politikalar	OECD

Toplam sera gazı emisyonu değişkeni, Kyoto Protokolü kapsamında yer alan altı sera gazının [perflorokarbonlar, kükürt hekzaflorür (SF_6), hidroflorokarbonlar, diazot monoksit (N_2O), karbon dioksit (CO_2) ve metan (CH_4)] enerji, sanayi, atık, tarım ve arazi kullanımı, arazi kullanımı değişiklikleri ve ormancılık (LULUCF) sektörlerinden kaynaklanan yıllık emisyonlarının ölçüsünü ifade etmektedir. Bu ölçü, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelinin 5. Değerlendirme Raporu’ndaki (AR5) Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) faktörleri kullanılarak karbon dioksit eşdeğeri değerlerine standartlaştırılmıştır (OECD, 2025).

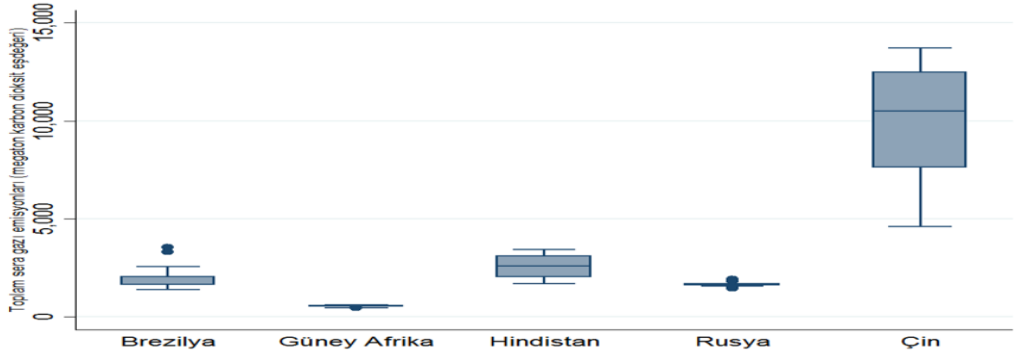
Önceki araştırmalar [Ouyang vd, (2019); Hashmi ve Alam, (2019)] çeşitli sera gazlarını, örneğin partikül maddeler (PM_x) ve karbon oksitler (CO_x), inceleyerek çevresel etkiler ve emisyon dinamikleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Ancak, bu çalışmada iklim değişikliğinin başlıca kaynağı olarak kabul edilen toplam sera gazı emisyonları bağımlı değişken olarak ele alınmıştır. Bu tercih, mevcut çevresel politikalarda genellikle tekil sera gazları yerine toplam sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik bir odaklanmanın bulunmasıyla doğrudan ilişkilidir. Toplam emisyonları incelemek, farklı sera gazlarının küresel ısınma üzerindeki birleşik etkilerini daha kapsamlı bir biçimde analiz etmeyi mümkün kılmaktadır. Ayrıca, toplam sera gazı emisyonlarının dikkate alınması, enerji, sanayi, ulaşım ve diğer sektörlerdeki politikaların etkinliğini bütünsel bir perspektifle değerlendirmeye olanak tanımaktadır.

Şekil 1, 2000 ile 2020 yılları arasındaki dönemde, örneklemdeki ülkelerin toplam sera gazı emisyonlarının yıllık değişimini göstermektedir. Toplam sera gazı emisyonları, her bir ülkenin iklim değişikliği üzerindeki etkisinin belirlenmesinde önemli bir gösterge olup, bu ülkelerin küresel çevre üzerindeki rollerini anlamamıza yardımcı olmaktadır. Özellikle Çin, bu dönemde önemli bir emisyon kaynağı olarak öne çıkmakta ve diğer ülkelerle kıyaslandığında, oldukça yüksek bir sera gazı emisyonuna sahiptir. Diğer

tarafтан, Hindistan da küresel emisyon sıralamasında ikinci sırada yer almakta, fakat emisyon seviyeleri Çin ile karşılaştırıldığında daha düşüktür. Buna karşın, incelenen ülkeler arasında en düşük toplam sera gazı emisyonuna sahip olan ülke ise Güney Afrika'dır. Bu ülkeler arasındaki emisyon farklılıkları, ekonomik büyüklükleri, sanayi yapıları ve enerji tüketim alışkanlıklarının bir yansıması olarak değerlendirilebilir.

Şekil 1

Toplam Sera Gazı Emisyonları (Megaton Karbon Dioksit Eşdeğeri), 2000-2020 Yıllık Veriler



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur [World Bank (2025a)].

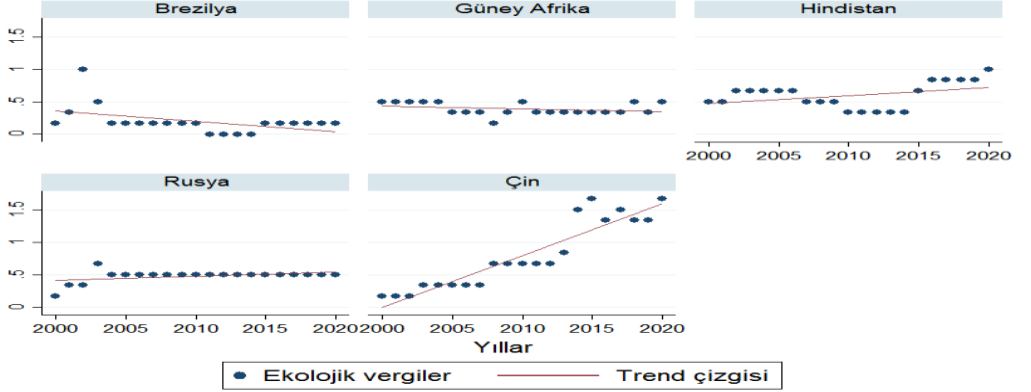
Bu çalışmada, ekolojik vergi sıklığının etkisi, çevre politikası sıklık endeksi [Botta ve Kozluk (2014) tarafından geliştirilmiştir] çerçevesinde ele alınmaktadır. Sıklık kavramı, çevresel zarara neden olan faaliyetleri sınırlamak amacıyla belirlenen maliyet düzeyini ifade eder (Botta ve Kozluk, 2014). Piyasa temelli politikalar, çevresel kirliliği azaltmaya yönelik çeşitli ekonomik araçları kullanır ve bu araçlar arasında kükürt oksit vergisi, azot oksit vergisi, dizel vergisi ve karbon vergisi gibi çevresel maliyetleri yansıtan vergiler bulunmaktadır. Bu bağlamda, piyasa temelli politikalar, bu çalışmada "ekolojik vergi" olarak tanımlanmış ve OECD (2025) verileriyle desteklenmiştir. Botta ve Kozluk (2014)'a göre, ekolojik vergilerin sıklık endeksi, 0 (en düşük sıklık) ile 6 (en yüksek sıklık) arasında bir ölçekte değerlendirilir ve literatürdeki diğer alternatif endekslerle güçlü bir korelasyon sergiler. Ayrıca, bu endeks, ekolojik vergilerin etkinliğini ve sıklığını daha sistematik bir şekilde analiz etmeye olanak tanır.

Şekil 2, 2000-2020 yılları arasındaki döneme ait verilere dayalı olarak, ekolojik vergilerin sıklığının gelişimine dair eğilimleri ortaya koymaktadır. İncelenen dönemde, Güney Afrika ve Rusya'nın ekolojik vergi sıklığına ilişkin uygulamalar genel olarak sabit kalmış ve düz bir seyir izlemiştir. Diğer taraftan, Brezilya'da bu dönemde ekolojik vergi sıklığında belirgin bir düşüş gözlemlenmiştir. Hindistan'da ise ekolojik vergi sıklığında bir artış eğilimi izlenmektedir. Bu kapsamda, Hindistan'da çevresel politikaların giderek daha fazla önem kazandığı ve hükümetin çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine yönelik somut adımlar attığı söylenebilir. Çin'de ise ekolojik vergi sıklığındaki artış dikkat çekicidir; bu artış, söz konusu dönemde diğer ülkelerle kıyaslandığında çok daha

belirgindir. Bu bulgular, her bir ülkenin ekolojik vergi politikalarını ve çevresel sorumluluklarını nasıl geliştirdiğini anlamak açısından önemli bir gösterge olabilir.

Şekil 2

Ekolojik vergiler, 2000-2020 Yıllık Veriler



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur [OECD (2025)].

Tablo 2, çalışmada yer alan ülkelerin temel değişkenlerine ait istatistiksel verileri sunmaktadır. Bu verilere göre, toplam sera gazı emisyonlarının ortalama değeri 3.317 megaton karbondioksit eşdeğeri olarak hesaplanmış, minimum değer 444 megaton ve maksimum değer ise 13.706 megaton karbondioksit eşdeğeri olarak belirlenmiştir. Yenilenebilir enerji tüketiminin (toplam nihai enerji tüketiminin yüzdesi) ortalama oranı %22,71 olarak tespit edilmiş; minimum %3,2, maksimum ise %50 seviyesinde değişim gözlemlenmiştir. Kentsel nüfus oranı (toplam nüfusun yüzdesi) ortalama %60,05 olarak kaydedilirken, minimum %27,66 ve maksimum %87,07 arasında bir dağılım sergilemiştir. Doğrudan yabancı yatırımların ortalaması %2,29 seviyesinde bulunmuş, minimum %0,20 ve maksimum %5,36 seviyeleri arasında değişiklik göstermektedir. Ekolojik vergilerin sıklık endeksi ortalaması ise 0,49, minimum değeri 0 ve maksimum değeri 1,66 olarak kaydedilmiştir. Çalışma kapsamında toplam gözlem sayısı 105 olarak belirlenmiştir.

Tablo 2

İstatistik Sonuçları.

Değişkenler	Ortalamalar	Standart Sapmalar	Minimum	Maksimum	Gözlem Sayısı
ser	3317.076	3651.508	444.4929	13706.06	105
ren	22.7181	16.9053	3.2	50	105
urban	60.05211	19.19055	27.667	87.073	105
dyy	2.290934	1.243318	0.2051255	5.368345	105
eco	0.4904762	0.3395483	0	1.666667	105

Kaynak: [OECD, (2025); World Bank, (2025a); World Bank, (2025b); World Bank, (2025c); World Bank, (2025d)] veri tabanından temin edilerek araştırmacı tarafından derlenmiştir.

Bu çalışmada, toplam sera gazı emisyonlarını etkileyen faktörlerin ayrıntılı bir şekilde incelenmesi amacıyla Hansen'in (1999) geliştirdiği panel eşik analizi uygulanmaktadır. Panel eşik analizi, değişkenler arasındaki doğrusal olmayan ilişkilerin tespit edilmesine ve bu ilişkilerin belirlenen eşik değerler altında veya üzerinde nasıl değiştiğinin incelenmesine olanak tanıyan ileri bir metodolojik yaklaşımdır. Başka bir ifadeyle, bu yöntem, analiz edilen değişkenlerin etkilerinin yalnızca genel düzeyde değil, aynı zamanda belirli eşik seviyesinde nasıl farklılaştığını da ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, çalışmanın analiz dönemini 2000-2020 yıllarına ait yıllık veriler oluşturmaktadır. Belirtilen zaman aralığı, toplam sera gazı emisyonları üzerindeki faktörlerin etkilerini değerlendirmek ve uzun dönemli eğilimleri analiz etmek için seçilmiştir. Bu kapsamda, çalışmada kullanılan analitik model aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$ser_{it} = \gamma_i + a \zeta_{it} + \epsilon_{it}, \quad \epsilon_{it} \approx iid(0, \sigma^2) \quad (1)$$

Birinci denklemde, ser_{it} değişkeni toplam sera gazı emisyonlarını ifade ederken, ζ_{it} değişkeni yenilenebilir enerji tüketimi, doğrudan yabancı yatırımlar ve kentsel nüfus gibi toplam sera gazı emisyonlarını etkileyebilecek temel unsurları temsil etmektedir. Bununla birlikte, Hansen'in (1999) tarafından geliştirilen panel eşik analiz yöntemi, ekolojik vergi sıklığına ilişkin eşik değerin belirlenmesi için kullanılmaktadır. Bu yöntem, yenilenebilir enerji tüketimi, doğrudan yabancı yatırımlar ve kentsel nüfusun toplam sera gazı emisyonlarına etkisini ekolojik vergilerin sıklığı bağlamında değerlendirerek, örneklemdeki ülkelerin farklı alt gruplara ayrılmasına içsel olarak olanak tanır. Bu doğrultuda, çalışmada kullanılan tek eşik sahibi model aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$ser_{it} = \gamma_i + a \zeta_{it} + B \check{A}_{it} + \epsilon_{it}, \quad \epsilon_{it} \sim iid(0, \sigma^2)$$

$$ser_{it} = \begin{cases} \gamma_i + a \zeta_{it} + B_1 \check{A}_{it} + \epsilon_{it}, & eco_{it} \leq x \\ \gamma_i + a \zeta_{it} + B_2 \check{A}_{it} + \epsilon_{it}, & eco_{it} > x \end{cases} \quad (2)$$

$$a = (a_1, a_2, a_3)' \zeta_{it}$$

İkinci denklemde, ser_{it} ; bağımlı değişkeni ifade ederken, $B \check{A}_{it}$; bağımsız değişkeni ve eco_{it} eşik değişkeni olarak modellenmiştir. Modelde yer alan (B_1, B_2) katsayıları, iki farklı rejime ait eğim parametrelerini temsil etmektedir. Gözlemler, eco_{it} değişkeninin x değeri temel alınarak iki farklı rejim altında gruplandırılmaktadır. ϵ_{it} , homojen ve bağımsız şekilde dağılan hata terimini temsil ederken, γ_i , ekolojik vergi sıklığı değerleri bakımından farklılık gösteren ülkelerin heterojenliğini ifade eden sabit etkiler olarak tanımlanmaktadır. Bunun yanı sıra, ζ_{it} ; kontrol değişkenlerini içeren bir vektörü, x ise modelin belirlediği eşik değerini göstermektedir.

İkinci denklem, yeniden formüle edilmiştir:

$$ser_{it} = \gamma_i + a \zeta_{it} + B_1 \check{A}_{it} I(eco_{it} \leq x) + B_2 \check{A}_{it} I(eco_{it} > x) + \epsilon_{it} \quad (3)$$

Üçüncü denklemde yer alan $I(.)$ sembolü, gösterge fonksiyonunu ifade etmektedir. İlgili denklem, aşağıdaki şekilde yeniden ifade edilebilmektedir:

$$\begin{aligned}
 ser_{it} &= \gamma_i + a' \zeta_{it} + B' \check{A}_{it}(x) + \epsilon_{it}, B = (B_1, B_2)' \\
 ser_{it} &= \gamma_i + [a', B'] \begin{bmatrix} \zeta_{it} \\ \check{A}_{it}(x) \end{bmatrix} + \epsilon_{it} \\
 ser_{it} &= \gamma_i + \theta' m_{it}(x) + \epsilon_{it} \\
 \check{A}_{it}(\gamma) &= \begin{bmatrix} \check{A}_{it} I(eco_{it} \leq x) \\ \check{A}_{it} I(eco_{it} > x) \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{4}$$

Dördüncü denklemde $\theta = [a', B']$ ve $m_{it} = (\zeta_{it}', \check{A}_{it}(x)')'$ şeklinde ifade edilmiştir. Dördüncü denklem üzerinde zaman ortalaması alındığında, beşinci denklem aşağıdaki şekilde türetilmektedir:

$$\begin{aligned}
 \overline{ser_i} &= \gamma_i + \theta' \overline{m_i}(x) + \bar{\epsilon}_i \\
 \overline{ser_i} &= T^{-1} \sum_{t=1}^T ser_{it}, m = T^{-1} \sum_{t=1}^T \overline{m_{it}}, \quad \bar{\epsilon}_i = T^{-1} \sum_{t=1}^T \epsilon_{it}
 \end{aligned} \tag{5}$$

Dördüncü ve beşinci denklemler arasındaki farkın hesaplanmasıyla elde edilen sonuç, altıncı denklemde aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$ser_{it}^* = \theta' m_{it}^*(x) + \epsilon_{it}^* \tag{6}$$

Altıncı denklem şu şekilde yeniden ifade edilir:

$$ser_{it}^* = ser_{it} - \overline{ser_i}, m_{it}^*(x) = m_{it}(x) - \overline{m_i}(x) \text{ ve } \epsilon_{it}^* = \epsilon_{it} - \bar{\epsilon}_i \tag{7}$$

$ser_i^*, m_i^*(\gamma)$ ve ϵ_i^* değişkenleri şu şekilde göstermek gerekirse;

$$ser_i^* = \begin{bmatrix} ser_{i2}^* \\ \vdots \\ ser_{it}^* \end{bmatrix}, \quad m_i^*(\gamma) = \begin{bmatrix} m_{i2}^*(x) \\ \vdots \\ m_{it}^*(x) \end{bmatrix}, \quad \epsilon_i^* = \begin{bmatrix} \epsilon_{i2}^* \\ \vdots \\ \epsilon_{it}^* \end{bmatrix} \tag{8}$$

$Y^*, \mathcal{X}^*(x), \mathcal{E}^*$ (bütün yatay kesit birimi için) aşağıdaki formda gösterilirse;

$$Y^* = \begin{bmatrix} ser_1^* \\ \vdots \\ ser_n^* \end{bmatrix}, \quad \mathcal{X}^*(x) = \begin{bmatrix} m_1^*(x) \\ \vdots \\ m_n^*(x) \end{bmatrix}, \quad \mathcal{E}^* = \begin{bmatrix} \epsilon_1^* \\ \vdots \\ \epsilon_n^* \end{bmatrix} \tag{9}$$

Altıncı denklem onuncu denklemdeki gibi gösterilir:

$$Y_{it}^* = \theta' \mathcal{R}_{it}^*(x) + \mathfrak{v}_{it}^* \quad (10)$$

Onuncu denklem, eşik etkisi modelinin temelini oluşturur ve EKK yöntemiyle tahmin edilen eğim katsayılarını içerir:

$$\hat{\theta}(x) = (\mathcal{R}^*(x)' \mathcal{R}^*(x))^{-1} \mathcal{R}^*(x)' Y^* \quad (11)$$

Aşağıdaki biçimde kalıntı vektörü gösterilmiştir:

$$\hat{\mathfrak{v}}^*(x) = Y^* - \mathcal{R}^*(x) \hat{\theta}(x) \quad (12)$$

Aşağıdaki şekilde hata karelerinin toplamı ifade edilebilmektedir:

$$SSE_1(x) = \hat{\mathfrak{v}}^*(x) \hat{\mathfrak{v}}^*(x)' = Y^{*'} (I - \mathcal{R}^*(x)' (\mathcal{R}^*(x)' \mathcal{R}^*(x))^{-1} \mathcal{R}^*(x)') Y^* \quad (13)$$

Hansen (1999) ve Chan (1993) tarafından önerilen yaklaşım doğrultusunda, eşik değeri (x) tahmininde EKK yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde, yoğunlaştırılmış EKK tahminlerinin minimize edilmesi suretiyle, eşik değeri aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır:

$$\hat{x} = \underset{x}{argmin} SSE_1(x) \quad (14)$$

On beşinci denklem eğim katsayısı tahminini, kalıntı varyans tahmincisini ve kalıntı vektörünü ifade eder:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n(T-1)} \hat{\mathfrak{v}}^{*'} \hat{\mathfrak{v}}^* = \frac{1}{n(T-1)} SSE_1(\hat{x}) \quad (15)$$

zaman boyutunu T , ülke sayısını n göstermektedir.

3.2. Veri Analizi ve Sonuçların Değerlendirilmesi

İlk aşamada, kesitler arasındaki bağımlılığın varlığını test etmek amacıyla Yanlılığı Düzeltmiş LM testi, Lagrange Çarpanı (LM) testi, Kesitsel Bağımlılık (CD) testi gibi çeşitli testler kullanılmıştır. Bu testler sonucunda, yatay kesit bağımsızlığını gösteren sıfır hipotezi tüm testlerde reddedilememektedir. Diğer ifadeyle, modelde yatay kesit bağımlılığı yoktur. Tablo 3 bulguları sunmuştur.

Tablo 3*Değişkenlerin Bağımlılık Testine Ait Bulgular.*

Testler	İstatistikler	p-değerleri
LM	12.56	0.2492
LM adj.	0.5738	0.5661
LM CD	1.416	0.1568

Kaynak: Yazar tarafından hesaplanmıştır.

Paneldeki birimler arasında yatay kesit bağımlılığının bulunmaması nedeniyle, tüm değişkenlerin durağanlık durumu Levin, Lin ve Chu (LLC) tarafından önerilen birinci nesil birim kök testiyle yapılmıştır. Bulgular, tüm değişkenlerin birim kök testlerine göre $I(0)$ olarak sınıflandırıldığını göstermektedir. Bu bulgu, incelenen tüm değişkenlerin durağan olduğunu ve uzun dönemli bir eğilim veya periyodik hareket göstermediğini ortaya koymaktadır. Tablo 4'te durağanlık testinin bulguları sunulmaktadır.

Tablo 4*Durağanlık Testinin Bulguları (Levin, Lin, Chu (LLC) Testi).*

Değişken	Düzeltilmiş t^a	p-değeri
ser	-2.2068	(0.0137)**
ren	-4.1871	(0.0000)***
urban	-17.7725	(0.0000)***
dyy	-2.5242	(0.0058)***
eco	-1.6849	(0.0460)**

^a (Adjusted t)

Not: ***, %1; **, %5 ve *, %10 anlamlılık düzeyini belirtmektedir.

Kaynak: Yazarın hesaplamalarıdır.

Bir sonraki aşamada, kentsel nüfus, yenilenebilir enerji tüketimi ve doğrudan yabancı yatırımların toplam sera gazı emisyonları üzerindeki etkisini ekolojik vergi sıklığının rolüyle birlikte incelemek amacıyla eşik regresyon modeli kullanılmıştır. İlgili değişkenlerin toplam sera gazı emisyonları üzerindeki etkisinin, belirli bir eşik değerin altında veya üstünde farklılık gösterebileceği öngörülmektedir. Bu bağlamda, eşik değerlerin tahmin edilmesi için Hansen'in (1999) geliştirdiği eşik regresyon tekniği uygulanmıştır. Modelin temel varsayımları arasında, doğrusal olmayan ilişkilerin doğru bir şekilde temsil edilebilmesi, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki etkileşimleri etkileyebilecek uç değerlerin ve hata terimlerinin uygun tekniklerle modellenmesi, ayrıca veri setinin eşik değer tahmini yapabilecek yeterlilikte gözlem içermesi yer almaktadır. Çalışmada, tek bir eşik değeri üzerinden oluşturulan model aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:

$$ser_{it} = \gamma_i + a \zeta_{it} + B_1 \check{A}_{it} I(eco_{it} \leq x) + B_2 \check{A}_{it} I(eco_{it} > x) + \epsilon_{it} \quad (16)$$

Bu çalışmada, kentsel nüfus, yenilenebilir enerji tüketimi ve doğrudan yabancı yatırımların toplam sera gazı emisyonları üzerindeki etkisi, BRICS ülkelerinin yıllık verileri kullanılarak tek bir panel model çerçevesinde incelenmiştir. Analizde, ekolojik vergilerin sıklık endeksini temsil eden “eco” değişkeni için bir eşik belirlenmiş ve bu kapsamda bulgular değerlendirilmiştir. Öncelikle, doğrudan yabancı yatırımların toplam sera gazı emisyonları üzerindeki etkisinde ekolojik vergi sıklığının rolü analiz edilmiş ve Tablo 5’te gösterilmiştir. Tablo 5, modelin F istatistiği ve F olasılık değerlerinin anlamlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, ekolojik vergi değişkeni için belirlenen eşik değeri 0,33 olarak hesaplanmış ve bu eşik değerine ilişkin etki testi, istatistiksel olarak %1 düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Analiz bulguları, doğrudan yabancı yatırımların toplam sera gazı emisyonları üzerindeki etkisinin, ekolojik vergi değişkeninin belirli bir eşik değerinin altındaki veya üstündeki seviyelere göre değişiklik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Başka bir ifadeyle, ekolojik vergi sıklığının eşik değerinin altında veya bu değere eşit olduğu durumlarda, doğrudan yabancı yatırımlardaki %1’lik bir artış, toplam sera gazı emisyonlarını 376,5552 megaton karbondioksit eşdeğeri oranında azaltmaktadır. Ancak, ekolojik vergi sıklığının eşik değerinin üzerinde olduğu durumda, doğrudan yabancı yatırımların toplam sera gazı emisyonları üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlılık kazanamamaktadır. Bu bulgu, eşik değerinin üzerindeki ekolojik vergi uygulamalarının, yabancı yatırımların çevresel faydalarını sınırlandırabileceğine veya yatırım kompozisyonunu emisyon azaltıcı olmayan sektörlerle kaydırabileceğine işaret edebilir.

Tablo 5*Eşik Regresyon Sonuçları 1.*

Ser: Bağımlı Değişken

Değişkenler	Katsayılar	Standart Sapmalar	p-değeri
ren	-105.2702	22.02926	(0,000)***
urban	181.0835	23.09714	(0,000)***
dyy (eco ≤ x)	-376.5552	75.87279	(0,000)***
dyy (eco > x)	3.052886	68.49802	0.965
x	0.3333	F-stat.	34.13
Güven aralığı	0.1667 - 0.5000	p-değeri	(0,000)***
Gözlem sayısı	105	R-square	0.83
F-stat.	117.86	F-prob.	(0,000)***

Not: ***, %1; **, %5 ve *, %10 anlamlılık düzeyini belirtmektedir.

Kaynak: Yazarın hesaplamalarıdır.

Analiz sonuçları, doğrudan yabancı yatırımlar ile toplam sera gazı emisyonları arasındaki ilişkinin eşik değerinin altında negatif yönde seyrettiğini ve %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlılık taşıdığını göstermektedir. Bu bulgular, literatürde

yer alan [Liang (2009); Ajide ve Adeniyi (2010); Lee (2013); Pazienza (2015)] çalışmalarını desteklerken, [Acharyya (2009); Mahmood ve Chaudhary (2012); Liu ve Zhang (2021); Farooq (2022); Ampomah ve Adu (2022)] çalışmaları ile uyumlu değildir. Ancak, eşik değerin üzerinde, doğrudan yabancı yatırımların toplam sera gazı emisyonları üzerindeki etkisi istatistiksel açıdan anlamlı bulunamamıştır. Bu durum, doğrudan yabancı yatırımların çevresel etkilerinin yalnızca belirli koşullarda ve seviyelerde anlamlı duruma geldiğini, bu seviyelerin üzerinde ise ortadan kalktığını göstermektedir. Bu bağlamda, ekolojik vergi sıklığının düşük seviyelerde olduğu durumlarda, doğrudan yabancı yatırımların toplam sera gazı emisyonlarını azaltıcı etkisinin görece daha güçlü olmasının ardında bir dizi yapısal ve ekonomik nedenler olduğu söylenebilir. İlk olarak, BRICS ülkeleri, ekonomik büyümeyi teşvik etmek ve uluslararası sermaye akışını artırmak amacıyla çevresel düzenlemelerde daha esnek bir yaklaşım sergileme eğiliminde olabilir. Bu esneklik, düşük seviyeli ekolojik vergi sıklığıyla birleştiğinde, yabancı yatırımların cazibesini artırmakta ve çevre dostu teknolojilerin bu ülkelerde benimsenmesini kolaylaştırmaktadır. Özellikle düşük karbonlu üretim tekniklerini ve yenilikçi enerji çözümlerini içeren teknolojik transferler, enerji verimliliğini artırarak emisyonların azaltılmasına katkıda bulunabilir.

İkinci olarak, düşük ekolojik vergi sıklığı, yabancı yatırımcıların çevresel regülasyonlara uyum sağlamaktan kaynaklanan maliyetleri azaltmaktadır. Bu durum, şirketlerin çevresel performanslarını artırmak için daha fazla finansal kaynağı çevre dostu üretim süreçlerine yönlendirmelerini mümkün kılmaktadır. BRICS ülkelerinde sıklıkla gözlemlenen altyapı eksiklikleri, finansman kısıtları ve piyasa belirsizlikleri gibi yapısal zorluklar göz önüne alındığında, düşük ekolojik vergi sıklığının bu tür yatırımların gerçekleşmesini kolaylaştırdığı söylenebilir. Üçüncü olarak, BRICS ülkelerinin hızla büyüyen ve sanayileşmekte olan ekonomiler olması, sürdürülebilir ve yenilikçi teknolojilere olan talebi artırabilir. Düşük ekolojik vergi sıklığı, bu tür teknolojilerin yerel pazarlara girişini kolaylaştırmakta ve üretim süreçlerinin enerji verimliliğini artırırken toplam sera gazı emisyonlarının düşürülmesine olanak tanımaktadır. Bu bağlamda, düşük ekolojik vergi sıklığının, çevresel sürdürülebilirliği destekleyen bir politika aracı olarak etkili bir rol oynayabileceği değerlendirilmektedir. Son olarak, düşük ekolojik vergi sıklığı, yerel işletmeler ile yabancı sermayeli firmalar arasında iş birliği ve ortak girişim olanaklarını teşvik edebilir. Bu iş birlikleri, sürdürülebilir üretim tekniklerinin ve çevre dostu uygulamaların yerel ekonomilere entegrasyonunu hızlandırabilir. Ancak bu etkinin, düşük ekolojik vergi sıklığıyla sağlanan teşviklerin yanı sıra yabancı yatırımların sektörlere ve bölgelere göre dağılımı ile ülkelerin çevresel politikalarının etkinliğine bağlı olarak değişebileceği unutulmamalıdır.

Yenilenebilir enerji tüketiminin toplam sera gazı emisyonları üzerindeki etkisinde ekolojik vergi sıklığının rolü analiz edilmiş ve Tablo 6'da gösterilmiştir. Analiz sonuçları, ekolojik vergi politikalarının yenilenebilir enerji tüketiminin sera gazı emisyonları üzerindeki etkisini önemli ölçüde şekillendirdiğini ortaya koymaktadır. Yapılan eşik değer analizine göre, 0,33'lük ekolojik vergi değişkeninin altında kalan

durumlarda, yenilenebilir enerji tüketimindeki %1'lik artışın emisyonları 132.13 megaton karbondioksit eşdeğeri oranında azalttığı gözlemlenirken, bu eşik değerin üzerindeki vergi uygulamalarında yenilenebilir enerji tüketimindeki %1'lik artışın emisyonları 100.65 megaton karbondioksit eşdeğeri oranında düşürebildiği tespit edilmiştir. Bu farklılaşmanın temel nedeni, düşük vergi seviyelerinde firmaların temiz teknoloji adaptasyonunu daha verimli şekilde gerçekleştirebilmesi ve yenilenebilir enerji yatırımlarından elde edilen marjinal faydanın daha yüksek olması olabilir. Buna karşılık, yüksek vergi uygulamalarında artan maliyet baskısı nedeniyle yenilenebilir enerji yatırımlarının ölçek ekonomilerinden tam olarak yararlanamaması ve enerji üretim süreçlerindeki verimlilik kayıpları, emisyon azalım etkisinin nispeten daha düşük gerçekleşmesine yol açabilir. Öte yandan, modelin %81'lik yüksek açıklayıcılık değeri, bu koşullu etkilerin analiz edilen sistemdeki emisyon davranışını büyük ölçüde açıkladığını göstermektedir.

Tablo 6*Eşik Regresyon Sonuçları 2.*

Ser: Bağımlı Değişken			
Değişkenler	Katsayılar	Standart Sapmalar	p-değeri
dyy	-109.651	68.43833	0.112
urban	203.3648	23.50709	(0,000)***
ren (eco ≤ α)	-132.1289	23.94319	(0,000)***
ren (eco > α)	-100.6508	23.13656	(0,000)***
α	0.3333	F-stat.	22.96
Güven aralığı	0.0833 - 0.5000	p-değeri	(0.0433)**
Gözlem sayısı	105	R-square	0.8132
F-stat.	104.45	F-prob.	(0,000)***

Not: ***, %1; **, %5 ve *, %10 anlamlılık düzeyini belirtmektedir.

Kaynak: Yazarın hesaplamalarıdır.

Analiz sonuçları hem eşik değerin altında hem de üzerinde yenilenebilir enerji tüketiminin emisyonları azalttığını göstermektedir. Bu bulgular, Shahnazi ve Shabani (2021), Abbasi vd. (2021), Namahoro vd. (2021) ve Jebli vd. (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmaların bulgularıyla tutarlılık arz etmektedir. Ancak, eşik değerin üzerinde, emisyon azaltma etkisinin zayıfladığı gözlemlenmektedir. Ekolojik vergi sıklığının eşik değerini aşması durumunda yenilenebilir enerji tüketiminin emisyon azaltıcı etkisinin zayıflaması, bir dizi ekonomik ve kurumsal faktörün etkileşimiyle ortaya çıkan karmaşık bir olgudur. Öncelikle, yüksek vergi yükü firmaların nakit akışlarını olumsuz etkileyerek temiz teknoloji yatırımlarının finansman maliyetlerini artırabilir ve yatırım geri dönüş sürelerini uzatabilir. Bu durum, yenilenebilir enerji projelerinin

optimal ölçeğe ulaşmasını engelleyerek üretim ve dağıtım maliyetlerinde artışa yol açmaktadır. Aşırı regülasyon aynı zamanda mevcut enerji altyapısından çıkışı zorlaştıran bir teknolojik kilitlenme etkisi yaratmakta, enerji sektöründeki yenilikçi çözümlerin uygulanmasını geciktirebilmektedir. Yüksek uyum maliyetleri, özellikle küçük ve orta ölçekli firmaları piyasadan çekilmeye zorlayarak sektördeki rekabeti azaltabilir. Firmaların yüksek vergi ortamında kısa vadeli kâr maksimizasyonuna yönelmesi, uzun vadeli verimlilik yatırımlarını ikinci plana itebilir. Tüm bu faktörler, ekolojik vergi sıklığının belirli bir eşik değerin üzerine çıkması durumunda yenilenebilir enerji tüketiminin emisyon azaltıcı etkisinin neden zayıfladığını bütüncül bir şekilde açıklamaktadır. Bu bulgular, çevre politikalarının tasarımı optimal vergi seviyelerinin belirlenmesinin önemini bir kez daha vurgulamaktadır.

Tablo 7'deki analiz sonuçları, kentsel nüfus artışının sera gazı emisyonları üzerindeki etkisinin ekolojik vergi politikaları tarafından önemli ölçüde şekillendirildiğini ortaya koymaktadır. Yapılan eşik değer analizi, 0,33'lük ekolojik vergi değişkeninin belirlenmesine olanak sağlamıştır. Bulgulara göre, ekolojik vergi sıklığının bu eşik değerin altında kaldığı durumlarda kentsel nüfustaki %1'lik artış emisyonları 193.57 megaton karbondioksit eşdeğeri oranında artırırken, eşik değerin üzerindeki vergi uygulamalarında aynı nüfus artışının emisyonları 207.34 megaton karbondioksit eşdeğeri oranında düzeyinde artırdığı gözlemlenmiştir. Öte yandan, modelin %81'lik yüksek açıklayıcılık değeri, bu dinamiklerin emisyon davranışını büyük ölçüde açıkladığını göstermektedir. Bu sonuçlar, kentsel sürdürülebilirlik politikalarının tasarımı ekolojik vergi sıklığının optimal düzeyde belirlenmesinin önemine işaret etmektedir.

Tablo 7

Eşik Regresyon Sonuçları 3.

Ser: Bağımlı Değişken

Değişkenler	Katsayılar	Standart Sapmalar	p-değeri
dyy	-134.4662	68.04901	(0.051)*
ren	-109.1316	23.11017	(0.000)***
urban (eco ≤ x)	193.5719	23.81252	(0,000)***
urban (eco > x)	207.3379	23.28951	(0,000)***
x	0.3333	F-stat.	23.75
Güven aralığı	0.1667 - 0.5000	p-değeri	(0.0233)**
Gözlem sayısı	105	R-square	0.8145
F-stat.	105.40	F-prob.	(0,000)***

Not: ***, %1; **, %5 ve *, %10 anlamlılık düzeyini belirtmektedir.

Kaynak: Yazarın hesaplamalarıdır.

Analiz sonuçları hem eşik değerin altında hem de üzerinde kentsel nüfus artışının emisyonları artırdığını ortaya koymaktadır. Bu bulgular, Anwar vd. (2022) ve Sun vd. (2022) tarafından yapılan çalışmalardaki sonuçlarla uyum göstermektedir. Ancak, eşik değerlerin üzerinde uygulanan ekolojik vergilendirme politikalarının yürürlükte olduğu durumda, kentsel nüfus artışının sera gazı emisyonları üzerindeki etkisinin daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Bu farklılaşmanın olası nedenlerinden biri, yüksek vergilendirme düzeylerinin kentsel altyapıya yönelik yatırımları sınırlayarak, artan nüfusun çevresel etkilerini daha görünür hâle getirmesidir. Ayrıca, düşük gelir gruplarının artan enerji maliyetleri karşısında çevreye daha zararlı enerji kaynaklarına yönelme eğilimi gösterebileceği de dikkate alınmalıdır. Bunun yanında, emisyon yoğun sektörlerin daha esnek çevresel düzenlemelere sahip bölgelere taşınma eğilimi (karbon kaçacağı), bu olumsuz çevresel etkilerin derinleşmesine katkıda bulunabilecek bir diğer etken olarak değerlendirilebilir.

Çalışmada, modelde yer alan ilgili değişkenlerin sera gazı emisyonları üzerindeki etkilerinin ülkelere göre farklılaşıp farklılaşmadığını incelemek amacıyla etkileşim terimleri aracılığıyla ülke bazlı regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Tablo 8’de yer alan sonuçlar, doğrudan yabancı yatırımlar (dyy), kentsel nüfus (urban) ve yenilenebilir enerji tüketimi (ren) değişkenlerinin sera gazı emisyonları üzerindeki etkilerinin ülke koşullarına bağlı olarak anlamlı düzeyde çeşitlilik gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 8

Ülke Düzeyinde Değişkenlerin Heterojen Etkilerine İlişkin Bulgular.

Ser: Bağımlı Değişken

Değişken: ren

Ülkeler	Katsayılar	Standart Sapmalar	p-değeri
Brezilya	-8.062077	75.78756	0.916
Rusya	316.8535	884.8419	0.721
Hindistan	130.5218	38.10574	(0.001)***
Çin	-267.0698	31.05513	(0.000)***
Güney Afrika	-	-	-

Değişken: urban

Ülkeler	Katsayılar	Standart Sapmalar	p-değeri
Brezilya	-449.7948	86.05565	(0.000)***
Rusya	-193.2443	377.5457	0.610
Hindistan	-257.7345	85.18799	(0.003)***
Çin	359.435	21.06659	(0.000)***

Güney Afrika	-	-	-
Değişken: dyy			
Ülkeler	Katsayılar	Standart Sapmalar	p-değeri
Brezilya	-407.7489	192.2468	(0.037)**
Rusya	206.9752	161.0617	0.202
Hindistan	-186.6924	243.6159	0.445
Çin	-753.5413	226.692	(0.001)***
Güney Afrika	-	-	-

Not 1: ***, %1; **, %5 ve *, %10 anlamlılık düzeyini belirtmektedir.

Not 2: Güney Afrika'ya özgü değişkenlerle oluşturulan etkileşim terimi ve kukla değişken (dummy), modelde çoklu doğrusallık sorununa yol açtığı için analiz dışında bırakılmıştır. Bu nedenle, Güney Afrika'ya ilişkin bağımsız etkilerin ayrı olarak değerlendirilmesi mümkün olmamıştır.

Kaynak: Yazarın hesaplamalarıdır.

Yenilenebilir enerji tüketimi değişkeni açısından değerlendirildiğinde, Hindistan ve Çin'de bu değişkenin sera gazı emisyonları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve negatif yönlü bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Çin için katsayı -267.06 olup, bu etki yüksek anlamlılık düzeyinde (%1) istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0.01$). Benzer şekilde Hindistan'da da yenilenebilir enerji tüketiminin emisyonları azalttığı ve bu ilişkinin %1 düzeyinde anlamlı olduğu ($p < 0.01$) görülmektedir. Bu sonuçlar, her iki ülkenin yenilenebilir enerji kullanımını artırmasının karbon emisyonlarını azaltıcı yönde etkili olduğunu göstermektedir. Buna karşın Brezilya ve Rusya için yenilenebilir enerji tüketiminin sera gazı emisyonları üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamış ve bu ülkelerdeki yenilenebilir enerji politikalarının henüz emisyonlar üzerinde belirgin bir etki oluşturmadığı söylenebilir.

Kentsel nüfus değişkeni de ülkeler arası farklılık göstermektedir. Çin'de bu değişkenin sera gazı emisyonlarını artırdığı ve etkinin yüksek düzeyde anlamlı olduğu ($p < 0.01$) görülmektedir. Bu durum, Çin'de hızlı kentleşmenin endüstriyel faaliyetlerin ve enerji tüketiminin artışıyla birlikte çevresel baskıyı artırdığına işaret etmektedir. Öte yandan Hindistan ve Brezilya'da kentsel nüfusun sera gazı emisyonlarını anlamlı düzeyde azalttığı tespit edilmiştir. Hindistan'da kentsel nüfus artışı ile emisyonlar arasındaki negatif ilişki ($p < 0.01$), bu ülkede kentleşme sürecinin görece daha az karbon yoğun yapılar üzerinden gerçekleştiğini düşündürülebilir. Benzer şekilde, Brezilya'da da bu ilişki negatif ve %1 düzeyinde anlamlıdır. Rusya'da ise bu değişkenin etkisi anlamsızdır.

Doğrudan yabancı yatırımlar açısından ise, Çin ve Brezilya'da sera gazı emisyonları üzerinde negatif ve anlamlı etkiler gözlemlenmiştir. Çin'de bu etki oldukça yüksek düzeyde anlamlıdır ($p < 0.01$) ve -753.54 katsayısı ile DYY'nin emisyonları azaltıcı bir yapıda olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, Çin'e gelen yabancı yatırımların çevreye duyarlı teknolojiler içermesi ya da katı çevresel düzenlemeler altında şekillenmesiyle açıklanabilir. Brezilya'da da benzer biçimde DYY'nin etkisi negatif

yönlü ve %5 düzeyinde anlamlıdır ($p < 0.05$). Ancak Rusya ve Hindistan için DYY değişkeninin etkisi anlamlı değildir, bu da söz konusu ülkelerde yabancı yatırımların çevresel etkiler bakımından belirgin bir sonuç üretmediğine işaret etmektedir.

Güney Afrika'ya ilişkin olarak, ülkeye özgü etkileşim terimleri ve kukla değişkenler regresyon modeline dahil edilmek istenmiş; ancak çoklu doğrusallık sorununa yol açmaları nedeniyle analiz dışında bırakılmışlardır. Bu teknik sınırlılık, söz konusu ülkeye özgü bağımsız değişkenlerin sera gazı emisyonları üzerindeki etkilerinin ayrı olarak analiz edilmesini olanaksız hale getirmiştir. Bununla birlikte, sabit etkiler (fixed effects) modeli kapsamında ülke sabit etkileri kontrol altında tutulduğundan, Güney Afrika'nın genel modele katkısı dolaylı olarak korunmaktadır. Yine de ülkeye özgü bulguların sunulamamış olması, bulguların yorumlanması açısından bir sınırlılık oluşturmaktadır. Ancak bu teknik kısıt, modelin genel işleyişine ya da bulguların istatistiksel geçerliliğine zarar vermemekte; yalnızca ülkeye özgü çıkarımların yapılmasını engellemektedir.

Sonuç olarak, analiz bulguları, incelenen değişkenlerin sera gazı emisyonları üzerindeki etkilerinin ülkeler arasında heterojenlik arz ettiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, çevresel ve ekonomik politikaların "tek tip" olarak uygulanmasının yerine, ülke bağlamına özgü politika çerçevelerinin oluşturulmasının daha etkili olacağına işaret etmektedir. Özellikle enerji dönüşümü, kentleşme yönetimi ve yabancı yatırımların yönlendirilmesi konularında, her ülkeye özgü stratejik planlamaların gerekliliği önem arz etmektedir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, kentsel nüfus, yenilenebilir enerji tüketimi ve doğrudan yabancı yatırımların toplam sera gazı emisyonları üzerindeki etkisi, BRICS ülkelerinin (Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika) 2000-2020 yılları arasındaki yıllık verileri kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular, ekolojik vergi sıklığının yalnızca doğrudan çevresel etkilerle sınırlı olmadığını, aynı zamanda ekonomik ve demografik faktörlerle etkileşim içinde olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle doğrudan yabancı yatırımların emisyonlar üzerindeki etkisi, ekolojik vergilerin sıklığına bağlı olarak belirgin bir şekilde değişmektedir. Ekolojik vergi sıklığının belirli bir eşik değerinin altındaki seviyelerde, yabancı yatırımlar çevresel fayda sağlarken, bu eşik değer üzerine çıktığında, yabancı yatırımların toplam sera gazı emisyonları üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı olmamaktadır. Bu bulgu, yüksek vergi oranlarının yabancı yatırımların çevresel yararlarını sınırlayabileceği ya da yatırımları emisyon azaltıcı olmayan sektörlere kaydırabileceğine işaret etmektedir.

Yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etki de benzer şekilde ekolojik vergilerin sıklığına duyarlı bir yapıda şekillenmektedir. Vergi düzeyinin düşük olduğu durumlarda, yenilenebilir enerji tüketiminin sera gazı emisyonlarını azaltıcı etkisi daha yüksek iken, yüksek vergi seviyelerinde bu etkinin zayıfladığı gözlemlenmiştir. Bu durum, yüksek

vergilerin enerji üretim süreçlerindeki verimlilik kayıplarına ve temiz enerji yatırımlarının ölçek ekonomilerinden yeterince yararlanamamasına neden olabileceğini düşündürmektedir. Kentsel nüfus artışının emisyonlar üzerindeki etkisi de ekolojik vergilerin sıklığıyla şekillenmektedir. Eşik değerinin üzerine çıktığında, nüfus artışının emisyonlar üzerindeki artırıcı etkisi belirginleşmektedir. Bu farklılaşma, altyapı yatırımlarının sınırlı olması ve enerji maliyetlerinin artması gibi faktörlerden kaynaklanabilir, özellikle düşük gelir gruplarının çevreye daha zararlı enerji kaynaklarına yönelme eğilimlerinin arttığı düşünülmektedir.

Elde edilen bulgularda, ülkeler arasında önemli heterojenlikler gözlemlenmiş olup, bu farklılıklar politika uygulamalarında "tek tip" yaklaşımdan ziyade ülke koşullarına özgü stratejilerin önemini ortaya koymaktadır. Örneğin, Hindistan ve Çin'de yenilenebilir enerji tüketiminin sera gazı emisyonlarını anlamlı şekilde azalttığı; Çin'de kentsel nüfus artışının emisyonları artırdığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık, Brezilya ve Rusya'da yenilenebilir enerji tüketiminin etkisi anlamlı bulunmamış, kentsel nüfusun etkileri de ülkeler arasında farklılık göstermiştir. Doğrudan yabancı yatırımlar açısından ise Çin ve Brezilya'da emisyonları azaltıcı anlamlı etkiler tespit edilirken, Rusya ve Hindistan'da bu etki istatistiksel olarak anlamlı olmamıştır. Güney Afrika'ya ilişkin etkileşim terimleri ve kukla (dummy) değişkenlerinin çoklu doğrusallık nedeniyle modelden çıkarılması, bu ülkeye özgü etkilerin ayrı ayrı analiz edilmesini engellemiş; ancak sabit etkiler modeli kapsamında ülke sabit etkileri kontrol altında tutulmuştur. Bu teknik sınırlılık, Güney Afrika'ya özgü yorumların sunulmasını kısıtlamakla birlikte, modelin genel bulgularını etkilememiştir. Bu bulgular, çevresel ve ekonomik politikaların ülkeler arasında farklılaşan yapısal özelliklere göre uyarlanması gerektiğini vurgulamaktadır. Enerji dönüşümü, kentleşme politikaları ve yabancı yatırım stratejilerinin her ülkenin özgün koşullarına göre şekillendirilmesi, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada daha etkili olacaktır.

Elde edilen bulgular, çevre politikalarının tasarımında ekolojik vergi sıklığı ve diğer ekonomik faktörlerin dikkate alınarak optimize edilmesi gerektiğini göstermektedir. İlk olarak, ekolojik vergi politikaları, çevresel etkiyi en üst düzeye çıkaracak şekilde eşik değerlerin doğru bir biçimde belirlenmesiyle tasarlanmalıdır. Vergi oranlarının, çevresel yararları en yüksek seviyeye çıkaracak aralıkta tutulması, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada etkili bir strateji olacaktır. Ayrıca, vergi oranlarının yalnızca çevresel hedefler göz önünde bulundurularak değil, aynı zamanda yatırım kompozisyonları, sektörler arası farklılıklar ve ekonomik yapılar da dikkate alınarak belirlenmesi gerekmektedir. Yabancı yatırımların çevresel performansını artırmak amacıyla, yalnızca vergi teşvikleri değil, aynı zamanda sürdürülebilir yatırımları destekleyecek mekanizmalar da hayata geçirilmelidir. Bu mekanizmalar arasında emisyon azaltıcı sektörlerde yatırım yapan firmaların teşvik edilmesi, temiz teknoloji transferinin hızlandırılması ve çevre dostu üretim süreçlerine yönelik finansal teşviklerin sağlanması yer alabilir.

Ekolojik vergi politikalarının kentsel nüfus artışı üzerindeki etkilerini en aza indirmek için, düşük gelirli bölgelerde enerji verimliliği projeleri ve yenilenebilir enerji yatırımlarının teşvik edilmesi gerekmektedir. Kentsel sürdürülebilirlik stratejileri, ekolojik vergi politikalarıyla uyumlu hale getirilerek, özellikle düşük gelirli kesimlerin çevresel etkilerden olumsuz bir şekilde etkilenmesinin önüne geçilebilir. Ayrıca, vergi oranlarının çok yüksek olmaması gerekmektedir, çünkü yüksek vergiler küçük ve orta ölçekli işletmelerin finansal dengesini bozarak olumsuz etkiler yaratabilir. Bu bağlamda, ekolojik vergi sıklığının kademeli olarak uygulanması, ekonominin farklı sektörlerine ve bölgesel özelliklere göre uyarlanması daha verimli olacaktır.

Sonuç olarak, ekolojik vergi politikalarının etkili olabilmesi için, yalnızca vergi oranlarının artırılması değil, aynı zamanda bu vergilerin nasıl ve hangi seviyelerde uygulanacağı, yatırımcıların ve yerel firmaların bu süreçte nasıl yönlendirileceği gibi yapısal faktörler de dikkate alınmalıdır. Vergi politikaları, sadece çevresel faydaları en üst düzeye çıkaracak şekilde değil, iktisadi büyümeyi ve sosyal refahı da dengeli biçimde destekleyecek şekilde tasarlanmalıdır. Böylece, çevresel sürdürülebilirlik ile ekonomik kalkınma arasındaki denge sağlanabilir ve her iki hedefe de ulaşmak mümkün olabilir. Ekolojik vergi politikalarının etkinliği, bu tür stratejik yaklaşımlar ve çok yönlü analizlerle artırılabilir.

Yazarlık Beyanı: Yazar makalenin son halini gözden geçirerek onaylamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı: Yazar, araştırma, yazarlık ve yayınlama süreçlerinde herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığını beyan eder.

Finansman: Yazar, bu çalışmaya herhangi bir mali destek veya finansman sağlanmadığını beyan eder.

Etik Beyanı: Yazar, bu çalışmada bilimsel ve etik ilkelere uyulduğunu ve kullanılan tüm kaynakların düzgün bir şekilde alıntılandığını beyan eder.

Kaynakça

- Abbasi, K. R., Adedoyin, F. F., Abbas, J., & Hussain, K. (2021). The impact of energy depletion and renewable energy on CO₂ emissions in Thailand: Fresh evidence from the novel dynamic ARDL simulation. *Renewable Energy*, 180, 1439-1450. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.08.078>
- Acharyya, J. (2009). FDI, growth and the environment: Evidence from India on CO₂ emission during the last two decades. *Journal of Economic Development*, 34(1), 43-58. <https://doi.org/10.35866/caujed.2009.34.1.003>
- Ajide, B., & Adeniyi, O. (2010). FDI and environment in developing economies: Evidence from Nigeria. *Environmental Research Journal*, 4(4), 291-297. Doi: 10.3923/erj.2010.291.297
- Al Shammre, A. S., Benhamed, A., Ben-Salha, O., & Jaidi, Z. (2023). Do environmental taxes affect carbon dioxide emissions in OECD countries? Evidence from the dynamic panel threshold model. *Systems*, 11(6), 307. <https://doi.org/10.3390/systems11060307>
- Ambec, S., Cohen, M. A., Elgie, S., & Lanoie, P. (2013). *The Porter Hypothesis at 20: Can environmental regulation enhance innovation and competitiveness?* Review of Environmental Economics and Policy, 7(1), 2-22. <https://doi.org/10.1093/reep/res016>

- Ampomah, A. B., & Adu, B. E. (2022). The impact of renewable energy consumption, international investment, urbanization, economic growth on carbon dioxide emission. *Environmental Sciences: Open Access*, 1(1), 1003, 1–12.
- Anwar, A., Sinha, A., Sharif, A., Siddique, M., Irshad, S., Anwar, W., & Malik, S. (2022). The nexus between urbanization, renewable energy consumption, financial development, and CO₂ emissions: Evidence from selected Asian countries. *Environment, Development and Sustainability*, 24, 6556–6576. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01716-2>
- Botta, E., & Koźluk, T. (2014). *Measuring environmental policy stringency in OECD countries: A composite index approach* (OECD Economics Department Working Papers, No. 1177). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/5jxrjnc45gvg-en>
- Chan, K. S. (1993). Consistency and limiting distribution of the least squares estimator of a threshold autoregressive model. *Annals of Statistics*, 21(1), 520–533. <https://doi.org/10.1214/aos/1176349040>
- Chien, F., Sadiq, M., Nawaz, M. A., Hussain, M. S., Tran, T. D., & Le Thanh, T. (2021). A step toward reducing air pollution in top Asian economies: The role of green energy, eco-innovation, and environmental taxes. *Journal of Environmental Management*, 297(1), 113420. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113420>
- Conefrey, T., Fitz Gerald, J. D., Valeri, L. M., & Tol, R. S. J. (2013). The impact of a carbon tax on economic growth and carbon dioxide emissions in Ireland. *Journal of Environmental Planning and Management*, 56(7), 934–952. <https://doi.org/10.1080/09640568.2012.709467>
- Copeland, B. R., & Taylor, M. S. (1994). North–South Trade and the Environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 109(3), 755–787.
- Fang, X., Wei, M., & Huang, W. C. (2023). Mechanism and Empirical Evidence of Green Taxation Influencing Carbon Emissions in China's Yangtze River Economic Belt. *Sustainability*, 15(20), 14983. <https://doi.org/10.3390/su152014983>
- Farooq, U. (2022). Foreign direct investment, foreign aid, and CO₂ emissions in Asian economies: Does governance matter? *Environmental Science & Pollution Research*, 29(5), 7532–7547. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16115-3>
- Gierałtowska, U., Asyngier, R., Nakonieczny, J., & Salahodjaev, R. (2022). Renewable energy, urbanization, and CO₂ emissions: A global test. *Energies*, 15(9), 3390. <https://doi.org/10.3390/en15093390>
- Hansen, B. E. (1999). Threshold effects in non-dynamic panels: Estimating, testing and inference. *Journal of Econometrics*, 93(2), 345–368. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(99\)00025-1](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(99)00025-1)
- Hashmi, R., & Alam, K. (2019). Dynamic relationship among environmental regulation, innovation, CO₂ emissions, population, and economic growth in OECD countries: A panel investigation. *Journal of Cleaner Production*, 231(10), 1100–1109. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.325>
- Hossain, M.S. (2011). Panel Estimation for CO₂ Emissions, Energy Consumption, Economic Growth, Trade Openness and Urbanization of Newly Industrialized Countries, *Energy Policy*, 39(11), 6991–6999. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.07.042>
- Hsu, C. C., Zhang, Y., Ch, P., Aqdas, R., Chupradit, S., & Nawaz, A. (2021). A step towards sustainable environment in China: The role of eco-innovation renewable energy and environmental taxes. *Journal of Environmental Management*, 299(1), 113609. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113609>
- Jebli, M. B., Farhani, S., & Guesmi, K. (2020). Renewable energy, CO₂ emissions and value added: Empirical evidence from countries with different income levels. *Structural Change and Economic Dynamics*, 53, 402–410. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2019.12.009>
- Kohlscheen, E., Moessner, R., & Takats, E. (2024). Effects of carbon pricing and other climate policies on CO₂ emissions. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.03800>
- Kotnik, Ž., Klun, M., & Škulj, D. (2014). The effect of taxation on greenhouse gas emissions. *Transylvanian*

Review of Administrative Sciences, 10(43), 168-185.

- Lee, J. W. (2013). The contribution of foreign direct investment to clean energy use, carbon emissions and economic growth. *Energy Policy*, 55, 483-489. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.12.039>
- Leitão, N. C. (2025). The Impact of Environmental Taxes and Renewable Energy on Carbon Dioxide Emissions in OECD Countries. *Energies*, 18(10), 2543. <https://doi.org/10.3390/en18102543>
- Liang, F. H. (2009). Does foreign direct investment harm the host country's environment? Evidence from China. *University of California, Berkeley*. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1479864>
- Liu, S., & Zhang, P. (2021). Foreign direct investment and air pollution in China: Evidence from the global financial crisis. *The Developing Economies*. <https://doi.org/10.1111/deve.12298>
- Mahmood, H., & Chaudhary, A. R. (2012). FDI, population density and carbon dioxide emissions: A case study of Pakistan. *Iranica Journal of Energy & Environment*, 3(4), 354-360. [Doi/10.5829/idosi.ijee.2012.03.04.10](https://doi.org/10.5829/idosi.ijee.2012.03.04.10)
- Mideksa, T. K. (2024). Pricing for a cooler planet: An empirical analysis of the effect of taxing carbon. *Journal of Environmental Economics and Management*, 127, 103034. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2024.103034>
- Miller, S., & Vela, M. (2013). Are environmentally related taxes effective? *IDB Working Paper No. 467*. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2367708>
- Morley, B. (2012). Empirical evidence on the effectiveness of environmental taxes. *Applied Economics Letters*, 19(18), 1817-1820. <https://doi.org/10.1080/13504851.2011.650324>
- Namahoro, J. P., Wu, Q., Zhou, N., & Xue, S. (2021). Impact of energy intensity, renewable energy, and economic growth on CO₂ emissions: Evidence from Africa across regions and income levels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 147, 111233. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111233>
- OECD. (2025). *Environmental Policy Stringency Index*. <https://stats.oecd.org/#> (Erişim: 25 Ocak 2025).
- Ouyang, X., Shao, Q., Zhu, X., He, Q., Xiang, C., & Wei, G. (2019). Environmental regulation, economic growth and air pollution: Panel threshold analysis for OECD countries. *Science of the Total Environment*, 657, 234-241. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.056>
- Pazienza, P. (2015). The relationship between CO₂ and Foreign Direct Investment in the agriculture and fishing sector of OECD countries: Evidence and policy considerations. *Intelektinė ekonomika*, 9(1), 55-66. <https://doi.org/10.1016/j.intele.2015.08.001>
- Pinglin, H., Shuhao, Z., Lei, W., & Jing, N. (2023). Will environmental taxes help to mitigate climate change? A comparative study based on OECD countries. *Economic Analysis and Policy*, 78, 1440-1464. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2023.04.032>
- Porter, M. E., & Linde, C. V. D. (1995). Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. *Journal of economic perspectives*, 9(4), 97-118. <https://doi.org/10.1257/jep.9.4.97>
- Sarkodie, S. A., & Strezov, V. (2019). Effect of foreign direct investments, economic development and energy consumption on greenhouse gas emissions in developing countries. *Science of The Total Environment*, 646(1), 862-871. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.365>
- Shahnazi, R., & Shabani, Z. D. (2021). The effects of renewable energy, spatial spillover of CO₂ emissions and economic freedom on CO₂ emissions in the EU. *Renewable Energy*, 169, 293-307. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.016>
- Sinn, H. W. (2008). Public policies against global warming: a supply side approach. *International tax and public finance*, 15, 360-394. <https://doi.org/10.1007/s10797-008-9082-z>
- Sun, Y., Li, H., Andlib, Z., & Genie, M. G. (2022). How do renewable energy and urbanization cause carbon emissions? Evidence from advanced panel estimation techniques. *Renewable Energy*, 185, 996-1005. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.12.112>
- Tao, R., Umar, M., Naseer, A., & Razi, U. (2021). The dynamic effect of eco-innovation and environmental

- taxes on carbon neutrality target in emerging seven (E7) economies. *Journal of Environmental Management*, 299(1), 113525. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113525>
- Quynh, M. P., Van, M. H., Le-Dinh, T., & Nguyen, T. T. H. (2022). The role of climate finance in achieving cop26 goals: evidence from N-11 countries. *Cuadernos De Economía*, 45(128), 1-12.
- World Bank. (2025a). *Total greenhouse gas emissions including LULUCF (Mt CO₂e)*. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators#>. (Erişim: 25 Ocak 2025).
- World Bank. (2025b). *Foreign direct investment, net inflows (% of GDP)*. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators#>. (Erişim: 25 Ocak 2025).
- World Bank. (2025c). *Urban population (% of total population)*. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators#>. (Erişim: 25 Ocak 2025).
- World Bank. (2025d). *Renewable energy consumption (% of total final energy consumption)*. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators#>. (Erişim: 25 Ocak 2025).
- Zarsky, L. (1999). Havens, halos and spaghetti: Untangling the evidence about foreign direct investment and the environment. In *Conference on Foreign Direct Investment and the Environment* (pp. 1–25). OECD. Paris.
- Zhao, A., Song, X., Li, J., Yuan, Q., Pei, Y., Li, R., & Hitch, M. (2023). Effects of carbon tax on urban carbon emission reduction: evidence in China environmental governance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3), 2289. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032289>