

Çevresel teknolojik inovasyonun küresel ısınma üzerine etkisi: BRIC ve Türkiye ülkeleri üzerine ampirik bir inceleme*

Dilek Atılğan¹

Özet

Küresel iklim değişikliğinin en belirgin özelliği olan küresel ısınma, günümüz dünyasının en ciddi çevresel sorunlarından biri olarak öne çıkmaktadır. Küresel ısınmanın temel nedenlerinden biri, karbondioksit (CO₂) emisyonlarındaki hızlı ve önemli artıştır. Güncel araştırmalar, teknolojik yeniliklerin CO₂ emisyonlarındaki değişikliklerin belirlenmesinde önemli bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, teknolojik inovasyon, hem çevresel sorunların çözümünde hem de düşük karbon ekonomisine geçişte etkili bir araç olarak değerlendirilmektedir. Çalışma, 1992-2020 döneminde BRIC (Brezilya, Rusya, Hindistan ve Çin) ve Türkiye ülkelerinde çevresel teknolojik inovasyonun küresel ısınma üzerine etkisini incelemeyi amaçlamaktadır. Ekonometrik yöntem olarak eşbütünleşme testi (Lagrange çarpanı (LM)) ve eşbütünleşme katsayı tahminci (Ortak İlişkili Etkiler- Common Correlated Effect (CCE)) yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada, CO₂ emisyonu, çevresel teknolojik inovasyon ve kişi başı gayri safi yurtiçi hâsıla (GSYH) değişkenleri kullanılmış olup, bu değişkenler arasında uzun vadeli eşbütünleşme ilişkisi tespit edilmiştir. Panel geneli analiz sonuçları, çevresel teknolojik inovasyondaki %1'lik artışın CO₂ emisyonlarını yaklaşık %0.238 oranında azalttığını, gelirdeki %1'lik artışın ise CO₂ emisyonlarını yaklaşık %0.150 oranında artırdığını ortaya koymaktadır. Bulgular, çevresel teknolojik inovasyonun CO₂ emisyonlarının azaltılmasında kritik bir role sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum küresel ısınma üzerinde olumlu etkilere yol açarak çevresel sürdürülebilirliği teşvik etmektedir.

Anahtar Kelimeler çevresel teknolojik inovasyon, küresel ısınma, panel veri analizi

Tür Araştırma Makalesi

Received: 25.11.2024

Accepted: 25.02.2025

Published: 01.08.2025

* Bu çalışma 8-9 Kasım 2024 tarihleri arasında Bursa'da düzenlenen Türkiye Ekonomi Sempozyumu adlı etkinlikte sözlü bildiri olarak sunulmuş ve sempozyum bildiri özeti kitabında basılmış bildirinin tamamlanmış halidir.

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Türkiye, dilekatilgan@ksu.edu.tr

 0000-0002-3776-558X

The impact of environmental technological innovation on global warming: An empirical study on BRIC and Türkiye

Abstract

Global climate change, with global warming as its most prominent feature, stands out as one of the most serious environmental issues of today's world. One of the main causes of global warming is the rapid and significant increase in carbon dioxide (CO₂) emissions. Recent studies reveal that technological innovations play a crucial role in determining changes in CO₂ emissions. In this context, technological innovation is considered an effective tool both in addressing environmental issues and in the transition to a low-carbon economy. This study aims to examine the impact of environmental technological innovation on global warming in BRIC (Brazil, Russia, India, and China) and Turkey for the period 1992-2020. As econometric methods, the cointegration test (Lagrange Multiplier (LM)) and the cointegration coefficient estimator (Common Correlated Effects (CCE)) method were employed. The study utilizes CO₂ emissions, environmental technological innovation, and per capita gross domestic product (GDP) as variables, confirming a long-term cointegration relationship among them. The results of the panel data analysis reveal that a 1% increase in environmental technological innovation leads to an approximate 0.238% reduction in CO₂ emissions, while a 1% increase in income results in an approximate 0.150% rise in CO₂ emissions. The findings highlight the critical role of environmental technological innovation in reducing CO₂ emissions, leading to positive effects on global warming and promoting environmental sustainability.

Keywords environmental technological innovation, global warming, panel data analysis

Paper type Research paper

Beyannameler

Etik Kurul Onayı ve Katılımcı Onamı: Bu çalışma etik kurul onayı gerektirmemektedir.

Yayın İzni: Bu çalışma yayın izni gerektirmemektedir.

Veri ve Materyallerin Mevcudiyeti: Bu çalışmada paylaşıma açık veri veya materyal bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması: Yazar, herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığını beyan eder.

Finansman Beyanı: Bu çalışma herhangi bir fon sağlayıcı kuruluş tarafından desteklenmemiştir.

Yazar Katkı Beyanı: Bu çalışma tek yazar tarafından yürütülmüştür.

Teşekkür: Teşekkür edilecek herhangi bir kişi veya kurum bulunmamaktadır.

Yayın Etiği Beyanı: Bu çalışmada "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması belirtilen kurallara uyulmuştur. Makalede yer alan görüş ve bulgular yalnızca yazara aittir.

Bu makale benzerlik tespit yazılımlarıyla taranmıştır.

1. Giriş

Küresel iklim değişikliğini tanımlayan en önemli çevresel sorunlardan biri, küresel ısınmadır. Bu sorunun temelinde ise sera gazları yer almaktadır. Sera gazları, atmosferde birikerek gezegenin sıcaklığının artmasına neden olmaktadır (Chen vd., 2023: 1). Özellikle küresel ısınma bağlamında, iklim değişikliği tartışmalarının merkezinde, sera gazı salınımlarının yaklaşık %81'ini oluşturan CO2 emisyonları bulunmaktadır. CO2 emisyonları, üretim süreçlerinde iş gücü, sermaye kaynakları ve diğer girdilerin enerji kaynaklarıyla etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Bu emisyonlar, atmosferde ısının tutulmasını artırarak ekosistemi ve insan yaşamını doğrudan tehdit eden sorunlar arasında yer almaktadır. Mevcut veriler, 2018 yılı itibarıyla CO2 emisyonlarının son 130 yılda %45 oranında yükseldiğini ortaya koymaktadır (Bekun, 2019: 1024; Koçak, 2024: 480). Bu durum, çevre kirliliğinde kayda değer bir artışın gerçekleştiğine işaret etmektedir. Karbondioksit salınımlarının neden olduğu küresel ısınma, yalnızca çevresel dengeleri değil, aynı zamanda insan faaliyetlerini ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerini de olumsuz etkilemektedir.

Küresel çevre sorunlarının varlığının kabul edilip çözüm arayışlarının tartışıldığı ilk uluslararası toplantı, 1972 yılında düzenlenen Stockholm Konferansı olmuştur. Bu toplantının ardından, 1983 yılında Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu kurulmuş ve 1987 yılında yayımlanan Ortak Geleceğimiz başlıklı raporla sürdürülebilir kalkınma kavramı ilk kez uluslararası gündeme taşınmıştır. Söz konusu raporda sürdürülebilir kalkınma, ekonomik kalkınmanın çevre koruma ile birlikte yürütülmesi gereken bir model olarak tanımlanmıştır. Bu yaklaşım, yenilenebilir kaynakların kullanımına dayalı bir ekonomik büyümeyi öngörmekte ve çevrenin korunmasını esas alarak, doğal kaynakların gelecek nesillere kullanılabilir bir şekilde bırakılmasını hedeflemektedir (Gedik, 2020: 205). Sürdürülebilir kalkınma, çevresel sorunlara yol açmadan ekonomik büyümenin gerçekleştirilmesini ön planda tutmakta ve bunun yalnızca teknolojik gelişme ve inovasyon ile mümkün olabileceğini vurgulamaktadır. Schumpeter (1934) ekonomik kalkınma teorisine göre, inovasyon ekonomik büyümenin temel itici gücüdür. Benzer şekilde Romer (1986) içsel ekonomik büyüme modeli, araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin (ARGE), beşeri sermayenin ve teknik bilginin ekonomik kalkınmadaki önemini vurgulamış; bu faaliyetlerin teknolojik yenilikleri destekleyerek üretim artışı ve faktör verimliliği sağladığını ifade etmiştir. Ancak, teknolojik yeniliklerin çevresel kalite ve sera gazı emisyonları üzerindeki etkisi net olarak belirlenememektedir. Bu noktada, yeniliklerin çevresel sürdürülebilirlik bağlamında ne ölçüde etkili olduğunun değerlendirilmesi gerekmektedir (Chen ve Lee, 2020: 1).

Günümüzde, çevreyi kirlüten ve yüksek CO2 emisyonlarına neden olan enerji kaynaklarına dayalı ekonomik faaliyetlerden, çevresel sürdürülebilirliği önceleyen ve iklim değişikliği ile mücadele eden teknolojilere dayalı ekonomik modellerin benimsenmesi, dünya ekonomilerinin öncelikli hedefi haline gelmiştir. Bu geçiş, sadece çevresel etkileri azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda sürdürülebilir bir kalkınma modelinin temelini oluşturmakta ve küresel ölçekte çevresel dengeyi koruma çabalarına katkı sağlamaktadır (Akyol ve Mete, 2021: 574).

Ekonomi literatüründe, inovasyonun ve teknolojik gelişmelerin çevresel kaliteyi iyileştirme yönünde olumlu etkiler yarattığı genel kabul görmektedir (Zhang vd., 2017; Du vd., 2019; Mongo vd., 2021 ve Adebayo vd., 2023). Bu durum, sıklıkla "teknolojik etki" olarak adlandırılmaktadır. Teknolojik inovasyon, çevresel sorunların çözümü ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin gerçekleştirilmesi açısından temel bir araç olarak değerlendirilmektedir (Zhang vd., 2017: 18). Teknolojik inovasyon, üretim süreçlerinde veya kullanılan teknolojilerde yapılan yenilikleri kapsamakla birlikte, yeni fikirlerin ortaya çıkarılmasını, patentlerin ve teknolojik uygulamaların geliştirilmesini, bunların üretim süreçlerine entegrasyonunu ve mevcut üretim yöntemlerinin dönüştürülmesini ifade etmektedir (OECD, 2005: 10). Bu bağlamda, teknolojik inovasyonların hem ekonomik kalkınmayı destekleme hem de çevresel sürdürülebilirliği sağlama noktasında kritik bir role sahip olduğu düşünülmektedir.

Çalışma BRIC (Brezilya, Rusya, Hindistan ve Çin) ve Türkiye ülkelerinde çevresel teknolojik inovasyonun küresel ısınma üzerine etkisini incelemeyi amaçlamaktadır. 1992 yılından 2020 yılına kadar elde edilen veriler kapsamında çevresel teknolojik inovasyonun ve GSYH'nin CO2 emisyonu üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. İlgili ekonomiler, bir dizi gelişmekte olan ekonomidir. Bu ülkeler, 1990'ların başından beri sürdürülebilir ekonomik kalkınma modelini sürdürmüştür. Tahmini olarak dünya nüfusunun %41,53'ünü oluşturmakta ve dünya kara yüzeyinin yaklaşık %26,66'sını kapsamaktadırlar. Teknolojik inovasyonda ülkeleri 2016'da %29, 2018'de ise %34 ile dünya çapında hakimiyet kurmuştur. Bu ekonomiler, dünya ekonomisine yaklaşık %23 katkıda bulunmakta ve yaklaşık 4 trilyon dolarlık döviz rezervine sahip bulunmaktadır (Ahmed 2017: 487), bu da küresel ekonominin daha büyük bir kısmını yönetebildiklerini düşündürmektedir. Bu ekonomilerin büyüme hızı yılda ortalama %6,5 civarındadır (World Bank, 2017). Ayrıca ekonomiler, iklim değişikliğiyle mücadele amacıyla kirliliği azaltma taahhütleriyle uyumlu çok sayıda emisyon hedefi belirlemiştir. Brezilya, 2030 yılına kadar emisyonları 2005 seviyelerine kıyasla %43 oranında azaltmayı taahhüt ederken, Hindistan ve Çin, 2005'ten 2020'ye kadar sırasıyla %20-25 ve %40-45 oranında azaltma hedefleri açıklamıştır. Rusya, 1990 yılı seviyelerine kıyasla emisyonlarını %10-25 aralığında azaltmayı taahhüt etmiştir. Benzer şekilde, Türkiye de 2030 yılına kadar emisyonlarını 2020 yılı seviyelerine kıyasla %35 oranında azaltacağını taahhüt etmiştir. Sonuç olarak, bu ekonomiler küresel karbon emisyonlarının %40'ından fazlasını oluşturmaktadır (He vd. 2020: 2). İfade edilen bilgiler çalışmada bu örneklem grubunun seçilmesini önemli hale getirmiştir. Ekonometrik yöntem olarak eşbütünleşme testi ve eşbütünleşme katsayı tahmin yönteminin kullanılması çalışmanın motivasyonunu oluşturmaktadır. Çalışmada yatay kesit bağımlılığı, eğitim katsayısı homojenliği, panel birim kök testinden sonra eşbütünleşme ve eşbütünleşme katsayı tahmini gibi ileri panel ekonometrik teknikler kullanılmıştır. Bu bakımdan çalışma hem seçilen örneklem hem de kullanılan güncel ekonometrik testler ile literatürdeki boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır. Bu yönü ile literatüre katkı sağlaması beklenmektedir.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde yapılandırılmıştır. İlk olarak 2. bölümde literatür incelemesini sunmuş daha sonra, 3. bölümde veri seti, metodoloji ve ampirik bulgular aktarılmış. Son olarak, ampirik bulgular yorumlanarak raporlanmış ve sonuç kısmında değerlendirmeler yapılarak gelecek çalışmalara değinilmiştir.

2. Literatür Özeti

Çevresel teknolojik inovasyon ve CO2 emisyonları son yıllarda literatürde tartışılan güncel konular arasındadır. Çevresel teknolojik inovasyonların CO2 emisyonlarını nasıl etkilediği konusunda farklı görüşler bulunmaktadır. İlk görüş, teknolojik inovasyonun CO2 emisyonunu azaltabileceğidir. Teknolojik inovasyon, kömür ve diğer fosil enerjilerin verimli kullanımını sağlayabildiğinden, yenilenebilir enerji kaynaklarının büyümesini hızlandırma ve toplam enerji tüketimindeki yenilenebilir enerji miktarını yükseltme potansiyeline sahiptir (Zhang vd., 2017; Du vd., 2019; Mongo vd., 2021 ve Adebayo vd., 2023). İkinci görüş, teknolojik inovasyonun CO2 emisyonlarını arttırdığını ileri sürmektedir. Bunun nedeni, teknolojik inovasyonun ekonomik kalkınmayı teşvik edebilmesi, bunun da kaçınılmaz olarak yüksek enerji tüketimine yol açması ve CO2 emisyonunda hızlı bir artışa neden olmasıdır (Mongo vd., 2021; Jamil vd., 2021; Chen vd., 2022). Ayrıca bazı çalışmalar, çevresel teknolojik inovasyonun CO2 emisyonunun verimliliği üzerine etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı yönündedir (Yii ve Geetha 2017; Kiani vd., 2023). Bu bağlamda çevresel teknolojik inovasyonun karbon verimliliği üzerindeki etkisi konusunda bir fikir birliğinin bulunmadığı görülmektedir. Bunun nedeni, her bölgenin farklı bir ekonomik ve teknolojik temele ve çeşitli çevresel koşullara sahip olması olabilir. Bu kapsamda literatür özeti aşağıda aktarılmıştır.

Yii ve Geetha (2017) tarafından yapılan çalışmada, 1971-2013 yılları arasında Malezya'da teknolojik inovasyon ve CO2 emisyonları arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Granger nedensellik testi ile otoregresif dağıtılmış gecikmeli bir model (ARDL) yaklaşımı kullanılmıştır. Bulgular, kısa vadede teknolojik inovasyon ile CO2 emisyonları arasında negatif bir ilişki

olduğunu ortaya koyarken, uzun vadede ise bu ilişkinin geçerliliğini korumadığını vurgulamaktadır.

Zhang vd. (2017) 2000-2013 yılları arasında Çin'in 30 eyaletinin panel verilerine dayanarak, çevresel inovasyonun Çin'deki CO2 emisyonları üzerindeki etkisini tahmin etmek için genelleştirilmiş momentler yöntemini (GMM) kullanmışlardır. Ampirik sonuçlar, Çin'deki çoğu çevresel inovasyon önleminin CO2 emisyonlarını etkili bir şekilde azalttığını göstermektedir.

Li ve Wang (2017) çalışmalarında, 1996 - 2007 yılları arasında 95 ülkede teknolojik değişiminin CO2 emisyonları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Sonuçlar, teknoloji değişiminin toplam CO2 emisyonlarını azalttığını ancak teknoloji değişiminin ölçek ve yoğunluk etkilerinin ayrı ayrı pozitif ve negatif değerler aldığı ifade edilmiştir.

Du vd. (2019) 1996-2012 dönemi için 71 ülkeden oluşan bir panel kullanılarak yaptıkları bir çalışmada, teknoloji inovasyonunun CO2 emisyonları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Panel eşik modelinin kullanıldığı çalışmada, çevresel yeniliklerin özellikle yüksek gelir düzeyine sahip ülkelerde CO2 emisyonlarının azaltılmasına önemli olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kentleşme düzeyi, endüstriyel yapı, ticaret açıklığı ve enerji tüketim yapısının da CO2 emisyonlarını önemli ölçüde etkilediği vurgulanmıştır.

Wang vd. (2020) 1990-2017 dönemi için N-11 ülkelerinde CO2 emisyonları, beşeri sermaye, yenilenebilir enerji tüketimi, gelir ve teknolojik inovasyon ilişkisini araştırmışlardır. Bulgular, CO2 emisyonları ile finansal gelişme ve GSYH arasında pozitif bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Buna karşılık, teknolojik inovasyon ve yenilenebilir enerji tüketimi CO2 emisyonlarıyla ters ilişkilidir.

Jamil vd. (2021) 49 Kuşak ve Yol Girişimi (BRI) ülkeleri ülkelerinde 1996-2014 dönemi kapsamında teknolojik inovasyon ve gini katsayısının CO2 emisyonları üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. GMM yönteminin kullanıldığı çalışmada, yeni teknolojilerin CO2 emisyonunda artışa yol açtığı bulgusu elde edilmiştir.

Chaudhry vd. (2021) çalışmalarında, Doğu Asya ve Pasifik ülkelerinin 1995-2018 yıllarına ait panel verilerini kullanarak teknolojik inovasyonun ve kurumsal performansın çevre kalitesi üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Ekonometrik analizlerde, dinamik ortak ilişkili etkiler (DCCE) yönteminden yararlanılmıştır. Çevre kalitesini ölçmek için farklı sera gazı emisyon göstergeleri ve yeni bir gösterge olan ekolojik ayak izi kullanılmıştır. Uzun vadeli tahmin, teknolojik inovasyon ve ekolojik ayak izi ile anlamlı ve negatif bir ilişkiye sahip olduğunu göstermekte iken, düşük gelirli ve genel olarak Doğu Asya ve Pasifik ülkelerinde CO2 emisyonları ile pozitif bir ilişki gösterdiğini doğrulamaktadır. Ancak, teknolojik inovasyonlar yüksek gelirli Doğu Asya ve Pasifik ülkelerinde tüm çevresel göstergelerle pozitif bir ilişki göstermektedir. Uzun vadede, genel ve yüksek gelirli Doğu Asya ve Pasifik ülkelerinde kurumsal performansın çevresel göstergeler üzerinde anlamlı ve negatif bir etkisi gözlenmiştir.

Mongo vd. (2021) çalışmalarında, ARDL yöntemi kullanarak, 15 AB ülkesinde çevresel inovasyonun, yenilenebilir enerji tüketiminin, GSYH'nin ve ticari açıklığın CO2 emisyonları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sonuçlar, uzun vadede çevresel inovasyonun CO2 emisyonlarını azaltma eğiliminde ancak kısa vadede gözlemlenen etkinin tam tersi olduğunu göstermektedir.

Khan vd. (2021) çalışmalarında 19 AB ülkelerinde 1995-2019 dönemi için teknolojik inovasyon ve çevre vergilerinin karbon nötrlüğünü nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Kantil Regresyonu Yönteminin (MMQR) kullanıldığı çalışmada bulgular, teknolojik inovasyon CO2 emisyonlarını orta-yüksek yüzdelik değerlere düşürmekte ve karbon vergisi, karbon emisyonlarının en düşük yüzdelik dilimlerde azaltılmasına katkıda bulunduğu yönündedir.

Awosusi vd. (2022) BRICS ülkelerinde 1990-2017 dönemi için teknolojik inovasyon ve küreselleşmenin çevresel bozulma üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Panel kantil

regresyonu yöntemi kullanılarak yenilenemeyen enerji, ekonomik büyüme, ekonomilerdeki politik risk, küreselleşme, teknolojik inovasyon ve ekolojik ayak izi değişken olarak eklenmiştir. Bulgular, ekonomik büyümenin, yenilenemeyen enerji kullanımının, politik riskin ve teknolojik inovasyonun ekolojik ayak izini artırdığını ortaya koymuştur. Tersine, küreselleşme ekolojik ayak izini önemli ölçüde azaltmaktadır.

Chen vd. (2022) çalışmalarında, BRICS ekonomileri için 1990-2019 yılları arasında teknolojik şokların CO2 emisyonu üzerindeki etkisini incelemişlerdir. ARDL ve NARDL yönteminin kullanıldığı çalışmada ARDL modelinin sonuçları, teknolojik şokların uzun ve kısa vadede CO2 emisyonlarını olumlu etkilediğini ortaya koymaktadır. NARDL modelinin bulguları ise, teknolojideki olumlu şokların uzun ve kısa vadede CO2 emisyonlarını olumlu etkilediğini ortaya koymaktadır. Bu durum teknolojik gelişmedeki artışın CO2 emisyonlarında artışı tetiklediği anlamına gelmektedir.

Kiani vd. (2023) seçilmiş SAARC ve ASEAN ülkelerinde 1991-2018 dönemi boyunca teknolojik inovasyonların çevresel bozulma üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Ekonometrik yöntem olarak, eşbütünleşme ve artırılmış ortalama grup (AMG) yöntemleri kullanılmıştır. Sonuçlar, teknolojik inovasyonun uzun vadede ekolojik ayak izi üzerinde olumsuz ve önemli bir etkiye sahip olduğunu ancak hem Güney hem de Güneydoğu Asya ülkeleri için kısa vadede önemsiz olduğunu göstermektedir.

Khalid vd. (2023) çalışmalarında, teknolojik inovasyonun 1985-2018 dönemi için Çin'de çevresel bozulmayı azaltıp azaltmadığını incelemişlerdir. Çevresel bozulmanın ölçütü olarak ekolojik ayak izi, ekonomik büyüme, ticari açıklık ve nüfus değişkenleri kullanılmıştır. Modelleri tahmin etmek için ARDL eşbütünleşme tekniği uygulanmıştır. Bulgular, kısa ve uzun vadede teknolojik inovasyonun ekolojik ayak izini azalttığı yönündedir. Bu durumun nedeni, daha fazla yeniliğin daha az kaynak tüketimine ve daha düşük ekolojik ayak izinin daha iyi teknolojiye yol açacağı vurgusudur.

Adebayo vd. (2023) 1990-2019 yılları arasında BRICS ülkelerinin teknolojik inovasyon, yenilenebilir enerji tüketimi, doğal kaynaklar ve CO2 emisyonları arasındaki ilişkisini incelemişlerdir. CS-ARDL tekniğinden türetilen uzun vadeli ampirik tahminler, teknolojik inovasyon, yenilenebilir enerji tüketimi ve doğal kaynakların, kısa ve uzun vadede CO2 emisyonlarını sınırlayarak çevresel sürdürülebilirliği artırdığını göstermiştir.

Chen vd. (2023) Bangladeş'te petrol tüketiminin, ekonomik büyümenin ve teknolojik inovasyonun CO2 emisyonları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. 1970-2020 döneminin baz alındığı çalışmada, ARDL sınır testi uygulanmıştır. Sonuçlar, yüksek petrol tüketiminin ve ekonomik büyümenin CO2 emisyonlarını artırarak çevresel bozulmayı teşvik ettiğini, teknolojik yeniliğin ise Bangladeş'in emisyon rakamlarını azaltarak çevresel refahı yeniden sağladığını ortaya koymaktadır.

Koçak (2024) çalışmasında, çevresel teknolojik inovasyonun küresel ısınma üzerine etkisini yeni sanayileşen ülkeler için incelemiştir. 1990-2018 döneminin kullanıldığı çalışmada ARDL ve Toda-Yamamoto nedensellik testi kullanılmıştır. CO2 emisyonu, gelir, finansal gelişme endeksi ve toplam çevresel teknoloji değişkenler olarak analize dâhil edilmiştir. Ekonometrik yöntem bulguları, çevresel teknolojilerin küresel ısınmanın göstergesi olarak seçilen CO2 emisyonlarını azaltmada etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Literatür taraması incelendiğinde, çevresel teknolojik yeniliğin CO2 emisyonlarını hangi yönde etkilediğine dair çalışmaların son yıllarda artış gösterdiği görülmektedir. Ancak ilgili örnekleme inceleyerek politika önerisi sunan çalışmaların sınırlı sayıda olduğu söylenebilir. Bununla birlikte ekonometrik analizler için genellikle ARDL yöntemi kullanılan çalışmaların olduğu, güncel dinamik panel veri yöntemleri ile analizleri ortaya koyan çalışmaların az sayıda olduğu görülmektedir. Bu çalışma hem seçilen örneklem hem de kullanılan güncel ekonometrik testler

ile literatürdeki boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır. Bu yönü ile literatüre katkı sağlaması beklemektedir.

3. Veri Seti, Metodoloji ve Ampirik Bulgular

3.1 Veri Seti

BRIC ve Türkiye ülkelerinde çevresel teknolojik inovasyonun küresel ısınma üzerine etkisini incelemeyi amaçlayan çalışmada 1992-2020 dönemi ele alınmıştır. Değişkenlerin analize dâhil edilmesi aşamasında Adebayo vd. (2023) ve Chen vd.'in (2023) çalışmalarından yararlanılmıştır. CO2 emisyonu (ton cinsinden) bağımlı değişken iken, çevresel teknoloji (%) ve GSYH (kişi başı) bağımsız değişken olarak analizlerde kullanılmıştır. Çevresel teknoloji OECD veri tabanından diğer değişkenler ise Dünya Bankası veri tabanından elde edilmiştir. Çevresel teknoloji inovasyon verisinin ilgili ülkeler için 1992 yılından başlaması çalışmanın kısıtıdır. Modellenen değişkenlerin doğrusal fonksiyonu aşağıda sunulmuştur.

$$CO2_{it} = (CT_{it}, GLR_{it}) \quad (1)$$

Değişkenler arasındaki farkları azaltmak için logaritması alınan model aşağıda aktarılmıştır.

$$\ln CO2_{it} = \alpha_i + \beta_1 \ln CT_{it} + \beta_2 \ln GLR_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

($i = \dots, 5$) ve ($t = 1992, \dots, 2020$)

Eşitlikte i ülke sayısını ($i = 1, 2, 3, \dots, 12$), t çalışmanın zaman çerçevesini ($t = 1, 2, 3, \dots, 23$) gösterir, $\ln$ doğal logaritmasını ifade etmektedir. β_1 , ve β_2 sırasıyla CT ve GLR'ye karşılık gelen katsayılarıdır. Değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Tanımlayıcı İstatistikler			
Değişkenler	LnCO2	LnCT	LnGLR
Ortalama	0.5136	1.5451	3.5145
Medyan	0.4719	1.5457	3.5590
Maksimum	1.1358	1.7210	4.2025
Minimum	-0.1611	1.3129	2.4792
Standart Sapma	0.3648	0.0762	0.4757
Çarpıklık	0.1065	0.0028	-0.5314
Basıklık	1.9263	2.8153	2.1958
Jarque-Bera	7.2384	0.2061	10.733
Prob	0.0268	0.9020	0.0046
Gözlem	145	145	145

Değişkenler incelendiğinde, CO2 emisyonu ve GSYH'nin standart sapmalarının birbirine yakın olduğu söylenebilir. Bununla birlikte Jarque-Bera istatistiğine göre çevresel teknolojik inovasyonun normal dağılım özelliği göstermediği görülmektedir.

3.2 Metodoloji

Küreselleşme ile artan karşılıklı ilişki nedeniyle ekonometrik analizlerde, değişkenler arasındaki kesitler arası bağımlılığın araştırılması önemli hale gelmiştir. Bu bağlamda ön test niteliğinde olan panel veri analizlerinin ilk sırası, yatay kesit birimleri arasındaki bağımlılığının incelenmesidir. Literatürde kesit bağımlılığının araştırılması için zaman boyutunun kesit boyutundan büyük olduğu ($T > N$) ve kesit boyutunun zaman boyutundan büyük olduğu durumlarda ($N > T$) kullanılan testler bulunmaktadır (Tiwari, vd., 2023: 106006). Ancak, bu çalışmada bu ayırım gözetilmeden bütün test sonuçları tutarlılık için raporlanmıştır. Bu bakımdan literatürde çok sayıda yatay kesit bağımlılığı testleri olmasına rağmen en yaygın olarak kullanılan Breusch ve Pagan (1980) LM testi, CDLM ve CD testi, Pesaran (2004) ile

Pesaran vd.'in (2008) geliştirdiği LM_{adj} testleri uygulanmıştır. Testlerin istatistiği aşağıda gösterilmiş ve testlerin boş hipotezi verilerdeki kesitsel bağımsızlığı açıklamakta iken alternatif hipotezler verilerdeki kesitsel bağımlılığı ifade etmektedir.

$$LM = T \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{p}_{ij}^2, \sim X^2 N(N-1)/2 \quad (3)$$

$$CD_{LM} = \sqrt{\frac{1T}{N(N-1)}} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N (T \hat{p}_{ij}^2 + 1) \quad (4)$$

$$CD = \sqrt{\frac{2T}{N(N-1)}} \left(\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{p}_{ij} \right) \quad (5)$$

$$LM_{adj} = \sqrt{\left(\frac{2}{N(N-1)} \right)} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{(T-k) \tilde{p}_{ij}^2 - \mu_{Tij}}{\sqrt{v2_{Tij}}} \sim N(0,1) \quad (6)$$

Elde edilen bulgulara kesit bağımlılığının varlığı ikinci nesil testlerle devam edileceğini göstermektedir (Ağır ve Türkmen, 2020: 846; Demir ve zkaya, 2024: 217). Yatay kesit bağımlılığı testinden sonra bir diğer ön test homojenlik testidir. Homojenlik testi, ülkelerden birinde meydana gelen bir değişimin diğer ülkeleri aynı düzeyde etkileyip etkilemediğini araştırmaktadır. Bu bakımdan Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından geliştirilen delta testi, panel veri analizinde eğim katsayılarının homojen olup olmadığını test etmek için kullanılan bir istatistiksel yöntemdir. Bu test, panel veri analizlerinde modellerin heterojen veya homojen yapıda olup olmadığını belirlemede önemlidir. Delta testi, Delta ve Dadj olmak üzere iki istatistik sunmaktadır. Bu istatistikler, eğimlerin tüm birimler için aynı olduğu (homojen olduğu) yönündeki boş hipotezini test etmektedir. Boş hipotez reddedildiğinde, eğim katsayılarının kesit birimleri arasında farklılık gösterdiği (heterojen olduğu) sonucuna ulaşılmaktadır. Delta testi, özellikle panel veri modellerinde homojenlik varsayımının geçerli olup olmadığını anlamak ve model seçiminde doğru kararı verebilmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Testte ait istatistik aşağıda aktarılmıştır (Pesaran ve Yamagata, 2008).

$$\tilde{\Delta}_{adj} = \sqrt{N} \left(\frac{N^{-1} \xi - E(\tilde{Z}_{iT})}{\sqrt{Var(\tilde{Z}_{iT})}} \right) \quad (7)$$

n testler belirlendikten sonra ikinci sırada, değişkenlerin birim kök süreçleri Nazlıoğlu ve Karul (2017) tarafından geliştirilen Fourier LM birim kök testi araştırılmıştır. Fourier LM birim kök testi, serilerdeki olası kırılmaları Fourier fonksiyonları ile esnek bir şekilde modelleyerek, birim kök testlerinin gücünü artırmaktadır. Bu yaklaşım, doğrusal olmayan trendleri hesaba kattığı için, geleneksel birim kök testlerine göre daha gerçekçi ve güvenilir sonuçlar vermektedir. Fourier serilerinin kullanılması, testin yalnızca belirli bir sayıda kırılmaya değil, aynı zamanda bilinmeyen sayıda ve tarihlerde ortaya çıkabilen karmaşık kırılmalara da duyarlılığını artırmaktadır. Bu sayede, özellikle yatay kesit bağımlılığının mevcut olduğu ve doğrusal olmayan eğilimlerin görüldüğü panel veri setlerinde daha sağlam sonuçlar elde edilebilmektedir. Ayrıca Fourier LM birim kök testi yatay kesit bağımlılığı ve heterojenlik durumlarını dikkate alan bir testtir. Teste ait istatistik aşağıda aktarılmış ve boş hipotez birim kök vardır üzerine kuruludur.

$$z_{LM}(k) = \frac{\sqrt{N} (Pt(K) - \xi(k))}{\zeta(k)} \sim N(0,1) \quad (8)$$

Değişkenler arasındaki eşbütünleşme ilişkisinin araştırılması ekonometrik analizler için üçüncü sırayı oluşturmaktadır. Eşbütünleşme ilişkisi Westerlund ve Edgerton (2007), LM bootstrap eşbütünleşme testi ile araştırılmıştır. Westerlund ve Edgerton (2007) tarafından geliştirilen panel LM bootstrap eşbütünleşme testi, geleneksel eşbütünleşme testlerine alternatif bir yaklaşım sunmaktadır. Bu test, LM test istatistiğini kullanarak eşbütünleşme ilişkilerinin varlığını test ederken, bootstrap yöntemini kullanarak kritik değerleri hesaplamaktadır (Westerlund ve Edgerton, 2007: 186). Bu sayede, hem kesitsel bağımlılık hem de heterojenlik dikkate alınarak daha doğru ve güvenilir sonuçlar elde edilmesi sağlanmaktadır. Teste ait istatistik aşağıda aktarılmış ve testin boş hipotezi değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisinin varlığını ortaya koymaktadır.

$$LM_N^+ = \frac{1}{NT^2} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \bar{\omega}^{-2} s_{it}^2 \quad (9)$$

Eşbütünleşme ilişkisi belirlendikten sonra değişkenler arasında uzun dönem katsayılarının hesaplanmasında, Pesaran (2004), dinamik panel veri modelleri için geliştirdiği CCE yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, panel verilerdeki heterojenliği ve kesitsel bağımlılığı dikkate alarak daha doğru ve güvenilir tahminler elde etmeyi amaçlamaktadır. CCE yöntemi, kesitsel bağımlılığı modellemek için, her bir kesitin zamanla değişen ortak etkiler oluşturmaya olanak tanımaktadır. Bu ortak etkiler, tüm kesitler için paylaşılan yapısal şoklar veya makroekonomik değişkenler olabilir. Model, bu ortak etkileri doğrudan hesaba katarak, her bir kesitin eşzamanlı olarak etkilenmesini sağlar. Bu sayede, geleneksel sabit ve rastgele etkiler modellerinde gözlemlenemeyen kesitsel bağımlılıklar düzeltilmiş olmaktadır. Test istatistiği aşağıda sunulmakta ve testin boş hipotezi “katsayılar istatistiksel olarak anlamsız” şeklindedir.

$$\hat{b}_{CCEMG} = (1/N) \sum_{i=1}^N \hat{b}_i \quad (10)$$

$$\hat{b}_{CCEMG} = \left(\sum_{i=1}^N \theta_i X_i' \bar{M}_w X_i \right)^{-1} \sum_{i=1}^N \theta_i X_i' \bar{M}_w y_i \quad (11)$$

3.3 Ampirik Bulgular

Yukarıda metodolojisi verilen ekonomik yöntemlerin ampirik bulguları sırasıyla aşağıda aktarılmıştır. Bu bakımdan ilk olarak yatay kesit bağımlılığı ve eğim katsayılarının homojenliği test sonuçları Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 2. Yatay Kesit Bağımlılığı ve Eğim Katsayısı Homojenliği Bulguları

	Testler	İstatistik Değeri	Olasılık Değeri
Model	LM	53.482	0.000***
	CD _{lm}	9.723	0.000***
	CD	-2.049	0.020**
	LM _{adj}	46.123	0.000***
	Δ	15.017	0.000***
	Δ _{adj}	16.131	0.000***
Not: ***p<0.01 ve **p<0.05.			

Bulgulara göre, yatay kesit bağımlılığı olmadığı yönündeki boş hipotezi %1 ve %5 anlamlılık düzeyinde reddedilmiştir. Diğer bir ifadeyle çalışmada kullanılan modelde yatay kesit bağımlılığı bulunmaktadır. Aynı zamanda eğim katsayılarının homojenliği test bulgularına göre Delta testi ve Düzeltilmiş Delta testinin olasılık değerleri %1 anlamlılık düzeyinden küçük olduğu tespit edilmiştir. Buna göre eğim homojenliği boş hipotezini reddedilerek, katsayıların heterojen olduğu kabul edilmektedir. Yatay kesit bağımlılığı ve heterojenliğin tespit

edilmesinden sonra buna uygun birim kök test uygulanmaktadır. Bu bakımdan Tablo 3'te bu durumu dikkate alan Fourier LM birim kök testi uygulanmış ve bulgular aşağıda raporlanmıştır.

Tablo 3. Yatay Kesit Bağımlılığı ve Eğim Katsayısı Homojenliği Bulguları

LnCO2			
Ülkeler	Fourier tau LM ₁ k=1	Fourier tau LM ₂ k=2	Fourier tau LM ₃ k=3
Brezilya	-3.581	-1.526	-3.043
Rusya	2.231	0.319	1.016
Hindistan	-2.986	-2.619	-3.315
Çin	-2.539	-0.084	1.888
Türkiye	0.076	-0.237	0.639
Bulgular			
Z _{lm} (İst. Değeri)	5.791	4.274	5.146
Olasılık Değeri	1.000	1.000	0.968
LnCT			
Brezilya	-2.538	-1.580	-1.488
Rusya	-1.773	-2.096	-3.128
Hindistan	-1.013	-0.809	-0.806
Çin	-1.460	-1.636	0.170
Türkiye	-2.350	-1.708	-1.545
Bulgular			
Z _{lm} (İst. Değeri)	4.092	2.003	2.430
Olasılık Değeri	1.000	0.977	0.960
LnGLR			
Brezilya	-3.934	-0.977	-2.384
Rusya	-1.331	-0.335	1.333
Hindistan	-1.100	-0.884	-0.082
Çin	-1.079	-0.949	-2.369
Türkiye	-0.111	-1.229	-0.734
Bulgular			
Z _{lm} (İst. Değeri)	5.240	4.314	4.176
Olasılık Değeri	1.000	1.000	1.000

Değişkenlerin (LnCO2, LnCT ve LnGLR) olasılık değerlerine göre boş hipotezin reddedilememesi birim kök sürecinin olduğunu göstermektedir. Birim kök sürecinin varlığı eşbütünleşme testin yapılmasına olanak sağlamakta ve eşbütünleşme ilişkisine ait test bulguları Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4. Eşbütünleşme Test Bulguları

LM İstatistiği	Asimptotik p-değeri	Bootstrap p-değeri
4.924	0.000	0.202
1000 tekrarlı dağılım ve gecikme ile öncül 1 olarak alınarak sabitli ve trendli model kullanılmıştır.		

LM eşbütünleşme testi bootstrap p-değeri bulgularına göre eşbütünleşme ilişkisi geçerlidir. Diğer bir ifadeyle, LnCO2, LnCT ve LnGLR serileri uzun dönemde birlikte hareket etmektedir. Bu doğrultuda eşbütünleşme katsayı tahmin sonuçları Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. Eşbütünleşme Katsayı Tahmin Bulguları

CCE	β_1			β_2		
	Katsayı	Std. Hata	P-değeri	Katsayı	Std. Hata	P-değeri
	-0.238***	0.089	0.008	0.150**	0.062	0.016
Brezilya	-0.424	0.376	0.260	0.276***	0.069	0.000
Rusya	-0.135	0.111	0.277	0.256***	0.029	0.000
Hindistan	-0.151*	0.089	0.090	0.210**	0.091	0.021
Çin	-0.471***	0.176	0.008	0.048	0.085	0.568
Türkiye	-0.008	0.068	0.902	-0.040	0.055	0.471

Not: *p<0.10, **p<0.05, ***p<0.01. " β_1 " Çevresel teknolojik inovasyon katsayısı, " β_2 " GSYH katsayısını belirtmektedir.

Panel geneli için bulgular incelendiğinde, çevresel teknolojik inovasyon ve GSYH değişkenlerinin CO2 emisyonları üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlıdır. Ülke bazlı incelemelerde ise sonuçlar ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir. β_1 katsayısına ait ülke bazlı bulgular incelendiğinde, çevresel teknolojik inovasyonun CO2 emisyonu üzerindeki etkisi Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Türkiye ülkelerini olumlu yönde etkilemekte ve katsayılar sırasıyla; %-0,424; %-0,135; %-0,151, %-0,471 ve %-0.008 oranındadır. Bu çalışma sonucunda elde edilen bulgular literatürdeki bazı çalışmalar Zhang vd., (2017), Du vd., (2019), Mongo vd., (2021), Adebayo vd., (2023), Chen vd., (2023) ve Koçak, (2024) ile uyumludur. Bulgulara göre, Brezilya biyoyakıt ve hidroelektrik yatırımlarıyla, Rusya enerji verimliliği politikalarıyla, Hindistan yenilenebilir enerji projeleriyle, Çin yeşil teknoloji ve elektrikli araç yatırımlarıyla, Türkiye ise sanayide çevre dostu dönüşüm ve yenilenebilir enerji projeleriyle emisyon azaltımına katkı sağladığı söylenebilir. β_2 katsayısına ait ülke bazlı bulgular incelendiğinde, GSYH'nin CO2 emisyonu üzerindeki etkisi Brezilya, Rusya ve Hindistan ülkelerini olumlu yönde etkilemekte ve katsayılar sırasıyla; %0,276; %0,256 ve %0,210 oranındadır. Bu çalışma sonucunda elde edilen bulgular literatürdeki bazı çalışmalar Mongo vd., (2021), Khalid vd. (2023) Chen vd., (2023) ve Koçak, (2024) ile uyumludur.

4. Sonuç

Çevresel teknolojik inovasyonlar küresel ısınmanın azaltılması ve iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir araç olarak kabul edilmektedir. Bu inovasyonlar çevreye daha az zarar veren üretim tekniklerinin geliştirilmesini, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını arttırmayı ve kaynakların verimliliğini hedeflemektedir. İnovasyonun bu şekilde söz konusu etkisi CO2 emisyonlarını düşürerek sera gazı etkisini azaltmaya yardımcı olmaktadır.

Çalışma BRIC ve Türkiye ülkelerinde çevresel teknolojik inovasyonun küresel ısınma üzerine etkisini 1992-2020 dönemi için incelemiştir. Analiz yöntemi olarak eşbütünleşme testi ve eşbütünleşme katsayı tahminci yöntemi kullanılmıştır. Değişkenler arasında uzun dönemli eşbütünleşme ilişkisi doğrulanmıştır. Eşbütünleşme katsayı tahminci yöntemi panel geneli bulguları, çevresel teknolojik inovasyonun CO2 emisyonlarını azaltarak küresel ısınmayı olumlu yönde etkileyeceğini göstermekte iken gelirin CO2 emisyonları üzerinde arttırıcı etkisi tespit edilmiştir. Ampirik sonuçlar mevcut literatürdeki bazı çalışmaları doğrulamaktadır. Mevcut literatürde ileri sürüldüğü gibi, çevresel teknolojik inovasyon, küresel ısınmayla mücadelede güçlü bir araçtır. Yenilenebilir enerjiye geçişin hızlandırılması, enerji verimliliği sağlayan teknolojilerin benimsenmesi ve CO2 emisyonlarını azaltıcı yeniliklerin uygulanması, küresel sıcaklık artışının sınırlandırılmasına yönelik somut adımlardır. Bu teknolojiler, çevresel sürdürülebilirliği artırırken ekonomik büyümeyi de destekleyerek çok yönlü bir çözüm sunmaktadır.

Çevresel teknolojik inovasyon, küresel ısınmayla mücadelede önemli bir çözüm aracı olarak değerlendirilmektedir. Bu yenilikler, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak, CO2 emisyonlarını düşüren ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik eden teknolojileri içermektedir.

Bu bağlamda, çevresel teknolojik inovasyon, hem küresel ısınmanın ana kaynağı olan sera gazı emisyonlarının azaltılmasına hem de sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin gerçekleştirilmesine doğrudan katkı sağlamaktadır. Bu kapsamda, Güneş, rüzgar, hidroelektrik ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji teknolojilerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması, karbon emisyonlarını azaltmada kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle yeni teknolojilerden olan, akıllı şebeke sistemleri ve enerji depolama çözümleri, enerji kayıplarını azaltmakta ve çevresel etkileri en aza indirmektedir. Bunun yanında karbon yakalama ve depolama teknolojileri, sanayi ve enerji üretiminden kaynaklanan CO₂ emisyonlarını doğrudan azaltmayı hedeflemektedir. Ayrıca atık yönetimi ve geri dönüşüm teknolojileri, üretim süreçlerinde kullanılan kaynakların yeniden değerlendirilmesini sağlayarak çevresel etkileri azaltmaktadır. Bu yenilikler, karbon ayak izini düşürmekte ve küresel ısınmayı sınırlamada önemli bir katkı sunmaktadır.

Gelecekteki çalışmalar için çevre kalitesi göstergesi olarak ekolojik ayak izi kullanılabilir. Kontrol değişkeni olarak petrol tüketimi de modele eklenebilir. Ayrıca örneklem seçimi genişletilerek literatürün gelişmesine katkı sunulabilir.

Kaynakça

- Adebayo, T. S., Ullah, S., Kartal, M. T., Ali, K., Pata, U. K., & Ağa, M. (2023). Endorsing sustainable development in BRICS: The role of technological innovation, renewable energy consumption, and natural resources in limiting carbon emission. *Science of the Total Environment*, 859, 160181. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160181>
- Ağır, H., & Türkmen, S. (2020). Ekonomik büyümeye etkisi bakımından doğal kaynaklar: Dinamik panel veri analizi. *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, 19(3), 840-852.
- Ahmed, K. (2017). Revisiting the role of financial development for energy–growth–trade nexus in BRICS economies. *Energy*, 128, 487-495. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.066>
- Akyol, M., & Mete, E. (2021). Çevresel teknolojik inovasyonların CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi: OECD ülkeleri örneği. *İstanbul İktisat Dergisi*, 71(2), 569-590. <https://doi.org/10.26650/ISTJECON2021-935480>
- Awosusi, A. A., Adebayo, T. S., Kirikkaleli, D., & Altuntaş, M. (2022). Role of technological innovation and globalization in BRICS economies: Policy towards environmental sustainability. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 29(7), 593-610. <https://doi.org/10.1080/13504509.2022.2059032>
- Bekun, F. V., Alola, A. A., & Sarkodie, S. A. (2019). Toward a sustainable environment: Nexus between CO₂ emissions, resource rent, renewable and nonrenewable energy in 16 EU countries. *Science of the total Environment*, 657, 1023-1029. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.104>
- Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1980). The Lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics. *The review of economic studies*, 47(1), 239-253.
- Chaudhry, I. S., Ali, S., Bhatti, S. H., Anser, M. K., Khan, A. I., & Nazar, R. (2021). Dynamic common correlated effects of technological innovations and institutional performance on environmental quality: Evidence from East Asia and Pacific countries. *Environmental Science ve Policy*, 124, 313-323. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.06.004>
- Chen, J., Yang, F., Liu, Y., & Usman, A. (2022). The asymmetric effect of technology shocks on CO₂ emissions: A panel analysis of BRICS economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(12) 1-9. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16456-4>

- Chen, X., Rahaman, M. A., Murshed, M., Mahmood, H., & Hossain, M. A. (2023). Causality analysis of the impacts of petroleum use, economic growth, and technological innovation on carbon emissions in Bangladesh. *Energy*, 267, 126565. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126565>
- Chen, Y., & Lee, C.C. (2020). Does technological innovation reduce CO₂ emissions? Cross-country evidence. *Journal of Cleaner Production*, 263, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121550>
- Demir, O., & Özkaya, Y. (2024). Yüksek gelirli ülkelerde yaşlanmanın büyümeye ve durağan duruma etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (49), 206-226.
- Du, K., Li, P., & Yan, Z. (2019). Do green technology innovations contribute to carbon dioxide emission reduction? Empirical evidence from patent data. *Technological Forecasting and Social Change*, 146, 297-303. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.05.020>
- Gedik, Y. (2020). Sosyal, ekonomik ve çevresel boyutlarla sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma. *International Journal of Economics, Politics, Humanities & Social Sciences*, 3(3), 196-215.
- He, F., Chang, K.C., Li, M., Li, X., & Li F. (2020). Bootstrap ARDL test on the relationship among trade, FDI and CO₂ emissions: Based on the experience of BRICS countries. *Sustainability*, 12(3), 1060–1076. <https://doi.org/10.3390/su12031060>
- Jamil, B., Yaping, S., Ud, Din., N., Nazneen, S., & Mushtaq, A. (2021). Do governance indicators interact with technological innovation and income inequality in mitigating CO₂ emissions in Belt and Road Initiative countries? *Environmental Science and Pollution Research*, 28(37), 51278-51296. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14002-0>
- Khalid, T., Wen, J., Khalid, M., Khalid, S., Zakaria, M., & Mahmood, H. (2023). Does technological innovation reduce environmental degradation? Evidence from China. *Engineering Economics*, 34(3), 323-334. <https://doi.org/10.5755/j01.ee.34.3.34512>
- Khan, S. A. R., Ponce, P., & Yu, Z. (2021). Technological innovation and environmental taxes toward a carbon-free economy: An empirical study in the context of COP-21. *Journal of environmental management*, 298, 113418. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113418>
- Kiani, T. A., Sabir, S., Qayyum, U., & Anjum, S. (2023). Estimating the effect of technological innovations on environmental degradation: Empirical evidence from selected ASEAN and SAARC countries. *Environment, Development and Sustainability*, 25(7), 6529-6550. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02890-6>
- Koçak, E. (2024). Çevresel teknolojik inovasyonun küresel ısınma üzerindeki etkisine ilişkin bir inceleme: Türkiye'den kanıtlar. *Fiscaeconomia*, 8(2), 478-494. <https://doi.org/10.25295/fsecon.1405227>
- Li, M., & Wang, Q. (2017). Will technology advances alleviate climate change? Dual effects of technology change on aggregate carbon dioxide emissions. *Energy for Sustainable Development*, 41, 61-68. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2017.08.003>
- Mongo, M., Belaïd, F., & Ramdani, B. (2021). The effects of environmental innovations on CO₂ emissions: Empirical evidence from Europe. *Environmental Science & Policy*, 118, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.12.012>
- Nazlıoğlu, S., & Karul, C. (2017). Panel LM Unit Root Test With Gradual Structural Shifts, *In Proceedings of the 40th International Panel Data Conference*, Thessaloniki-Greece.

- OECD (2005). Oslo Manual: Guidelines for collecting and interpreting innovation data (3rd ed., pp. 1 – 164). OECD Publishing.
- OECD (2024). Datasets. <https://www.oecd.org/en/data/datasets/oecd-DE.html>. Erişim tarihi: 12.08.2024
- Pesaran M. H. (2004) General diagnostic tests for cross section dependence in panels (Working Paper No. 1229). University of Cambridge, Faculty of Economics.
- Pesaran, M. H., & Yamagata, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels. *Journal of Econometrics*, 142(1), 50-93. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2007.05.010>
- Romer, P. (1986). Increasing returns and long-run growth. *Journal of Political Economy*, 94(5), 1002- 1037. <https://doi.org/10.1086/261420>
- Schumpeter, J.A. (1934). The Theory of Economic Development: An Inquiry in to Profits. Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle. Harward University Press.
- Tiwari, S., Sharif, A., Nuta, F., Nuta, A. C., Cutcu, I., & Eren, M. V. (2023). Sustainable pathways for attaining net-zero emissions in European emerging countries: The nexus between renewable energy sources and ecological footprint. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(48), 105999-106014. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27036-1>
- Wang, R., Mirza, N., Vasbieva, D. G., Abbas, Q., & Xiong, D. (2020). The nexus of carbon emissions, financial development, renewable energy consumption, and technological innovation: Priorities in light of COP 21 agreements. *Journal of Environmental Management*, 271, 111027.
- World Bank. (2025). World development indicators, <http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=world-development-indicators>. Erişim tarihi: 12.08.2024
- Westerlund, J., & Edgerton, D. L. (2007). A panel bootstrap cointegration test. *Economics Letters*, 97, 185–190. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2007.05.013>
- Yii, K. J., & Geetha, C. (2017). The nexus between technological innovation and CO₂ emissions in Malaysia: Evidence from Granger causality test. *Energy Procedia*, 105, 3118-3124. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.769>
- Zhang, Y. J., Peng, Y. L., Ma, C. Q., & Shen, B. (2017). Can environmental innovation facilitate carbon emissions reduction? Evidence from China. *Energy Policy*, 100, 18-28. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.10.037>