

YEŞİL İNOVASYON, TİCARET AÇIKLIĞI VE ÇEVRESEL BOZULMA: G-7 ÜLKELERİ ÜZERİNE BİR İNCELEME

Green Innovation, Trade Openness and Environmental Degradation: A Study on G-7 Countries

Koray UYGUR*

Öz

Çevresel bozulma; insan faaliyetleri ve doğal süreçler sonucunda doğal çevrenin bozulması, doğal kaynakların tükenmesi ve ekolojik dengenin bozulması anlamına gelmektedir. Bu durum da çevresel sürdürülebilirliği tehdit etmektedir. Çevresel zararı azaltan teknolojilerin ve uygulamaların geliştirilmesi ve uygulanmasını ifade eden yeşil inovasyon, küresel ölçekte çevresel sorunlar için etkin bir araç olarak değerlendirilmektedir. Gelişmiş ülkelerde çevresel bozulma ile mücadeleye daha fazla kaynak ayrılması durumunda yeşil inovasyon kavramı daha da önemli hale gelmektedir. Aynı zamanda, uluslararası ticaretin önündeki engellerin kaldırılması veya azaltılmasını ifade eden ticaret açıklığı ise büyümeyle birlikte verimlilik ve rekabet gücünü artırarak ekonomileri dönüştürmüştür. Ancak, ticaretin serbestleşmesinin çevresel etkisi, özellikle CO₂ emisyonlarıyla ilgili olarak, önemli bir tartışma konusudur. Bu bağlamda çalışmanın temel amacı, 1995-2020 dönemi için G-7 ülkelerinde yeşil inovasyon ve ticaret açıklığının çevresel bozulma üzerindeki etkisinin AMG (Augmented Mean Group) tahmincisiyle incelenmesidir. Elde edilen ampirik bulgular, yeşil inovasyonun ve ticaret açıklığının çevresel bozulma üzerinde negatif bir etkisinin olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler:

Yeşil İnovasyon,
Ticaret Açıklığı,
Çevresel Bozulma

JEL Kodları:

F18, O44, Q55

Abstract

Environmental degradation refers to the deterioration of the natural environment, depletion of natural resources, and disruption of ecological balance as a result of human activities and natural processes. This situation also threatens environmental sustainability. Green innovation, which refers to the development and implementation of technologies and practices that reduce environmental harm, is considered an effective tool for addressing global environmental challenges. As developed countries allocate more resources to combat environmental degradation, the concept of green innovation becomes even more important. At the same time, trade openness, which refers to the removal or reduction of barriers to international trade, has transformed economies by increasing productivity and competitiveness along with growth. However, the environmental impact of trade liberalization, particularly concerning CO₂ emissions, is a topic of significant debate. In this context, the main aim of this study is to examine the impact of green innovation and trade openness on environmental degradation in G-7 countries for the period 1995-2020 by using AMG (Augmented Mean Group) estimator. The empirical findings reveal that green innovation and trade openness have a negative effect on environmental degradation.

Keywords:

Green Innovation,
Trade Openness,
Environmental
Degradation

JEL Codes:

F18, O44, Q55

* Arş. Gör. Dr., Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Türkiye, korayuygur@nevsehir.edu.tr

Makale Geliş Tarihi (Received Date): 30.10.2024 Makale Kabul Tarihi (Accepted Date): 10.02.2025

Bu eser Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.



1. Giriş

Çevresel bozulma, yüzyıllardır süregelen bir olgu olmakla birlikte, özellikle 18. yüzyıl sonlarında gerçekleşen Sanayi Devrimi ile ivme kazanmıştır. İnsan faaliyetleri uzun zamandır çevre üzerinde etkili olsa da bozulmanın boyutu ve şiddeti son yüzyıllarda belirgin şekilde artmıştır. Doğal kaynakların tükenmesi, çölleşme, kuraklık, arazi bozulması, tatlı su kaynaklarının azalması ve biyolojik çeşitliliğin kaybı gibi çevresel sorunlar, insanlığın karşılaştığı zorlukları derinleştirmekte ve durumun kötüleşmesine yol açmaktadır (UN, 2015).

Çevresel bozulma, doğal kaynakların tükenmesi, biyoçeşitliliğin kaybı ve ekosistemlerin kötüleşmesiyle ele alınan çağımızın en acil çözüm bekleyen sorunlarından birisidir. Bu bağlamda, çevresel sorunların azaltılmasına yönelik politikaların belirlenmesi, uygulanması ve sürekliliği küresel bir gereklilik olarak dikkat çekmektedir. Dolayısıyla, sürdürülebilirliği teşvik etmek ve çevresel sorunları hafifletmek için son teknolojilerin geliştirilmesi ve kaynak verimliliğinin artırılması öncelikli hale gelmiştir (Shan ve Shao, 2024). Bu bakış açısı doğrultusunda, çevresel bozulmayı etkileyen faktörlerin neler olduğunun belirlenmesi küresel eylem planlarının oluşturulması açısından kritik bir rol üstlenmektedir. Çevresel bozulmayı ele alan teorik çalışmalar kadar çevresel bozulmayı etkileyen faktörlere yönelik ampirik çalışmaların sayısı da giderek artmaktadır.

Küresel düzeyde çevre sorunları ile mücadele edilirken yeşil ekonomi, sürdürülebilir kalkınmayı teşvik eden dönüştürücü bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. Bir başka deyişle yeşil ekonomi, kalkınma ve büyüme konusunda düşünce yapısındaki değişimi ifade etmektedir. Bu yaklaşım, insanların yaşamlarını ve çevreyi iyileştirirken çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliği de teşvik etmektedir (Zhang vd., 2022). Yeşil inovasyon, teknolojik öncülük yaparak sürdürülebilirliği artırmakta, kaynak kullanımını optimize etmekte ve çevresel kirliliği azaltmaktadır. Ayrıca, işletme düzeyinde sanayi yapısının iyileştirilmesini ve kaynak tahsisinin optimizasyonunu destekleyerek, genel operasyonel gelişim için kritik bir rol oynamaktadır (Shan ve Shao, 2024).

Ticari açıklık, bu paradigmada önemli bir rol oynamaktadır. Çevre dostu teknolojilerin ve sürdürülebilir uygulamaların sınırlar arasında değişimini kolaylaştırmaktadır. 1980’li yıllardan itibaren birçok ülke dışa açık ekonomi politikaları uygulamaya başlamıştır. 1990’lı yıllarla birlikte, ticaretin hızla artan açıklığı ve giderek kötüleşen çevre sorunlarıyla birlikte, ticari açıklığın CO₂ emisyonlarındaki rolünü araştıran ve gittikçe genişleyen bir literatür ortaya çıkmıştır. Ayrıca, son yıllarda gözlemlenen hızlı ekonomik büyüme, dünya genelinde yaşam kalitesini önemli ölçüde artırmakla birlikte, bazı maliyetler olmadan gerçekleşmemiştir. Ekonomik gelişimin ana motorları olarak yenilenemeyen kaynaklara olan bağımlılık, bu kaynakların tükenme riskiyle birlikte CO₂ emisyonlarının birikmesi yoluyla iklim değişikliğini de artırmıştır. Dolayısıyla, ekonomik büyümenin çevresel etkilerini ele almak, dünya genelinde politika yapımcılar ve paydaşlar için öncelikli bir endişe haline gelmiştir (Liu ve Kang, 2024).

Çevresel bozulmanın etkileri daha belirgin hale geldikçe, bu krizin temel nedenlerini ele almak için küresel iş birliğine acil ihtiyaç duyulmaktadır. Çevre üzerindeki insan baskılarını azaltmaya yönelik sürdürülebilir kalkınma stratejileri, koruma çabaları ve politika reformları, bu eğilimi tersine çevirmek için kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, küresel olarak ortak eylem planları uygulanmaya başlanmıştır. Bunlardan biri 1997 yılında kabul edilen ve 2005 yılında yürürlüğe giren Kyoto Protokolü’dür. Kyoto Protokolü, Sanayi Ülkeleri ve geçiş ekonomilerini, belirlenen bireysel hedeflere uygun olarak sera gazı emisyonlarını sınırlama ve azaltma

taahhütleriyle Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ni uygulamaya geçirmektedir (UNFCCC, 2020). Gelişmiş ülkelerin, 150 yılı aşkın sanayi faaliyetinin sonucunda atmosferdeki mevcut yüksek sera gazı emisyon seviyelerinin başlıca sorumlusu olduğunu kabul eden Protokol, “ortak ama farklılaştırılmış sorumluluklar” ilkesi gereği, gelişmiş ülkelere daha fazla yükümlülük getirmektedir (Poulopoulos, 2016).

İklim değişikliği, küresel ısınma ve çevre kirliliği, insanlığın karşı karşıya olduğu önemli zorluklardandır. Bu sorunların özellikle G-7 ülkeleri gibi gelişmiş ülkelerde daha çok hissedilmesi, bu ülkelerin sanayi ve ticaret alanlarında öncü konumlarından kaynaklanmaktadır. G-7 ülkelerinin tarihsel olarak sera gazı emisyonlarındaki yüksek payı, çevresel sorunlarla başa çıkma konusundaki sorumluluklarını artırmaktadır. ABD hariç G-7 ülkeleri, Kyoto Protokolü'ne taraftır. Ayrıca, 2015 yılında imzalanan Paris İklim Anlaşması sonrasında, G-7 ülkeleri çevresel sürdürülebilirliği desteklemek ve yeşil, düşük karbonlu bir toplum oluşturmak için önemli adımlar atmışlardır. Ancak, bu çabalara rağmen, CO₂ emisyonlarını azaltma konusunda henüz tam anlamıyla başarılı olamamışlardır (Li ve Haneklaus, 2022). Bu girişimlere rağmen bu ülkelerde ekonomik gelişimin beraberinde getirdiği çevresel maliyetler yeterince incelenmemiştir. İlgili literatürde, yeşil yenilik ve ticaret açıklığının çevresel bozulma üzerindeki etkisini ele alan çalışma sayısı nispi olarak daha azdır (bkz. Shahbaz vd., 2017; Li ve Haneklaus, 2022; Olanrewaju vd., 2022; Sharif vd., 2022; You vd., 2022; Adebayo ve Ozkan, 2024; Jahanger vd., 2024). Bu çalışmalardan You vd. (2022) ve Olanrewaju vd. (2022) çalışmaları yeşil inovasyon ve ticaret açıklığının çevresel bozulma üzerindeki etkisini birlikte ele almıştır. Diğer çalışmalarda sadece yeşil inovasyonun çevresel bozulma üzerindeki etkisi ya da ticaret açıklığının çevresel bozulma üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu çalışmalardan yeşil inovasyon ve ticari açıklığın eş zamanlı etkilerine odaklanan bilginiz dahilindeki tek çalışma Olanrewaju vd. (2022) tarafından hazırlanmıştır. Mevcut çalışma, bu çalışmadan yöntem açısından farklılaşmaktadır. Bu bağlamda çalışmanın amacı, dünyanın en gelişmiş ve sanayileşmiş ilk on ülkesi arasında yer alan G-7 ülkelerinde, yeşil inovasyon ve ticaret açıklığının çevresel bozulma üzerindeki etkisinin 1995-2020 dönemi için incelenmesidir. Bu çalışma, literatüre iki önemli katkı sağlamayı hedeflemektedir. İlk olarak, G-7 ülkelerinde yeşil inovasyonun ve ticaret açıklığının çevresel bozulmayı hafifletme potansiyelini ampirik olarak ortaya koymaktadır. İkinci olarak 1995-2020 dönemine odaklanarak, yeşil inovasyon ve ticaret açıklığının çevresel etkilerine dair güncel ve kapsamlı bir bakış sunmaktadır. Bu bağlamda, elde edilen bulguların, çevre politikalarının tasarımı ve sürdürülebilir kalkınma stratejilerinin oluşturulmasında rehberlik etmesi beklenmektedir.

2. Teorik Çerçeve

Yeşil inovasyon ve ticaret açıklığının çevresel bozulma üzerindeki etkileri ampirik olarak kanıtlanmıştır ve bu faktörlerin çevresel bozulmayı çeşitli mekanizmalar aracılığıyla etkilediği görülmektedir. Yeşil inovasyon, teknolojik öncülük yaparak sürdürülebilirliği artırmakta, kaynak kullanımını optimize etmekte ve çevresel bozulmayı azaltmaktadır. Ayrıca, firma düzeyinde endüstriyel yapıların iyileştirilmesi ve kaynak tahsisinin optimize edilmesine katkıda bulunmaktadır. Bu durum da hem firma düzeyinde hem de makro düzeyde çevresel iyileşme için kritik bir öneme sahiptir. Yeşil yeniliğin karbon emisyonları üzerindeki etkisi özellikle çevresel kirliliğe neden olan sanayilerde önemli bir düzeydedir. Dolayısıyla düşük karbonlu ürünlerin ve yeşil teknolojilerin benimsenmesi emisyonları azaltabilmektedir (Shan ve Shao, 2024). İnovasyon

teorisi, firmaların çevresel düzenleme yoğunluğunun etkisiyle çevre dostu teknolojik yeniliklere daha fazla yatırım yapma eğiliminde olduğunu öne sürmektedir. Çevre politika ve düzenlemeleri güçlendiğinde, şirketlerin karbon azaltımı ve çevresel etkiyi azaltma maliyetleri artmaktadır. Sonuç olarak şirketler, yenilik yoluyla karbon emisyonlarını azaltmak için daha optimal ve maliyet etkin yöntemler benimsemeye yönelmektedir (Li vd., 2023).

Ticaretin çevre üzerindeki etkisi karmaşık bir dinamiğe sahiptir. Ticaret hacmindeki artışın neden olduğu ekonomik büyüme (ölçek etkisi) sonucunda çevre kalitesi düşebilir. Bir başka deyişle, başta ihracat olmak üzere ticaret hacminin artmasıyla ekonominin büyüklüğü artırmaktadır. Dolayısıyla çevre kalitesi kirliliği artıran ölçek etkisi yoluyla düşebilmektedir. Ancak ticaret, çevresel kaliteyi teknik etki ve/veya kompozisyon etkisi aracılığıyla artırabilir. Teknik etki, ticaretin artmasıyla birlikte gelir düzeyinin yükselmesi ve buna bağlı olarak çevre düzenlemelerinin ve denetimlerinin sıkılaşmasını ifade etmektedir. Kompozisyon etkisi ise bir ülkenin üretim yapısındaki değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Bir ülkede kirlilik yoğun malların üretimi, uluslararası ticaret yoluyla bir ülkedeki çevresel kirliliğin azalmasına neden olurken, başka ülkelerde kirliliği artırmasına yol açabilir. Kompozisyon etkisi, yer değiştirme hipotezi ve kirlilik cenneti hipotezine dayandırılmaktadır (Liddle, 2001; Dinda, 2004; Pham ve Nguyen, 2024). Kirlilik cenneti hipotezi, özellikle yüksek kirlilik yaratan sektörlerde faaliyet gösteren çok uluslu şirketlerin, çevre standartlarının zayıf olduğu ülkelere taşındığını öne sürmektedir. Diğer bir ifadeyle, çevresel düzenlemelerin zayıf olduğu ülkelerin kirlilik yoğun üretim yapan firmalar için daha cazip hale gelmesidir (Smarzynska ve Wei, 2001). Yer değiştirme hipotezi, ticaretin serbestleşmesinin, gelişmiş ülkelerdeki sıkı çevre düzenlemeleri nedeniyle kirlilik yoğun endüstrilerin gelişmekte olan ülkelere daha hızlı büyümesine yol açacağını öngörmektedir (Liddle, 2001).

3. Literatür İncelemesi

Literatürde ticaret açıklığının ve yeşil inovasyonun çevresel bozulma üzerindeki etkilerini inceleyen pek çok çalışma bulunmaktadır. Söz konusu bu çalışmalar; kullanılan yöntem, incelenen dönem, incelenen ülke grubu ve literatüre katkıları bakımından ayrılmaktadır. Ticaret açıklığı ile çevresel bozulma arasındaki literatür incelendiğinde bir konsensüsün olmadığı, bazı çalışmalarda ticaret açıklığının çevresel bozulmayı artırdığı bazı çalışmalarda ise azalttığı görülmektedir. Yeşil inovasyon ile çevresel bozulma arasındaki literatürde ise genellikle yeşil inovasyonun karbondioksit emisyonunu azalttığı görülmektedir. Literatür incelemesi başlığında ilk olarak çevresel bozulma ile ticaret açıklığı ilişkisi, ikinci olarak yeşil inovasyon ile çevresel bozulma ilişkisi, son olarak da ticaret açıklığının ve yeşil inovasyonun çevresel bozulma üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Ticaret açıklığının çevresel bozulma üzerindeki etkisine ilişkin ampirik literatürde bir görüş birliği bulunmamaktadır. Bu çalışmalardan bir kısmında ticaret açıklığının çevresel bozulmayı artırdığı bulgusuna erişilmiştir. Farhani ve Öztürk (2015) 1971-2012 yılları arasında Tunus için CO₂ emisyonu ile ticaret açıklığı ilişkisini ARDL yöntemiyle incelemişlerdir. Ticaret açıklığındaki %1’lik artışın karbon emisyonunu %0,418 oranında artırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Li ve Haneklaus (2022) 1979-2019 yılları arasında G-7 ülkeleri için CO₂ emisyonu ile ticaret açıklığı ilişkisini ARDL yöntemiyle incelemişlerdir. Uzun dönemde ticaret açıklığındaki %1’lik artışın CO₂ emisyonlarını %0,27 oranında artırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Suhrab vd. (2023) 1985-2018 yılları arasında Pakistan için kentleşme ve ticaret açıklığının CO₂

emisy onları üzerindeki etkilerini sabit etkiler yöntemiyle incelemişlerdir. Kentleşme ve ticaret açıklığıın CO₂ emisyonunu artırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Lv ve Xu (2019) 1992-2012 yılları arasında orta gelirli 55 ülke için CO₂ emisyonu ile ticaret açıklığı ilişkisini PMG yöntemiyle incelemişlerdir. Ticaret açıklığıının kısa dönemde CO₂ emisyonlarını azalttığı fakat uzun dönemde CO₂ emisyonlarını artırdığı sonucuna ulaşmışlardır.

İlgili literatürdeki çalışmaların bir kısmı ise ticaret açıklığıının çevresel bozulmayı azalttığı bulgusunu elde etmiştir. Ali vd. (2016) 1971-2011 yılları arasında Nijerya için CO₂ emisyonu ile ticaret açıklığı ilişkisini ARDL yöntemiyle incelemişlerdir. Ticaret açıklığıındaki %1'lik artışın CO₂ emisyonlarını %0,3 oranında azalttığı sonucuna ulaşmışlardır. Zhang vd. (2017) 1971-2013 yılları arasında NICS-10 ülkeleri için CO₂ emisyonu ile ticaret açıklığı ilişkisini FMOLS yöntemiyle incelemişlerdir. Ticaret açıklığıındaki %1'lik artışın CO₂ emisyonlarını %0,20 azalttığı sonucuna ulaşmışlardır. Zafar vd. (2019) 1990-2015 yılları arasında 18 gelişmekte olan ülke için CO₂ emisyonu ile ticaret açıklığı ilişkisini CUP-FM yöntemiyle incelemişlerdir. Ticaret açıklığıındaki %1'lik artışın CO₂ emisyonlarını %0,064 oranında azalttığı sonucuna ulaşmışlardır. Shahbaz vd. (2017) ise 1980-2014 yılları arasında 105 yüksek, orta ve düşük gelirli ülke için CO₂ emisyonları ile ticaret açıklığı ilişkisini FMOLS yöntemiyle incelemişlerdir. Gerek toplam panel düzeyinde gerekse de yüksek, orta ve düşük gelirli ülkelerde CO₂ emisyonu ile ticaret açıklığı arasında ters U şeklinde bir ilişki olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Yeşil inovasyon ve çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmaların büyük bir kısmında, yeşil inovasyonun çevresel bozulmayı azalttığı bulgusuna erişilmiştir. Meirun vd. (2021) 1990-2018 yılları arasında Singapur için yeşil teknolojik inovasyon ve CO₂ emisyonu ilişkisini BARDL yöntemiyle incelemişlerdir. Yeşil teknolojik inovasyon ile CO₂ emisyonları arasında negatif bir ilişki olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Sharif vd. (2022) 1995-2019 yılları arasında G-7 ülkeleri için yeşil teknolojik inovasyon ile CO₂ emisyonları arasındaki ilişkiyi CS-ARDL yöntemiyle incelemişlerdir. Yeşil teknolojik inovasyon ile CO₂ emisyonu arasında negatif ilişki olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ma vd. (2023) 1995-2021 yılları arasında BRICST ülkeleri için yeşil inovasyonun çevresel bozulma üzerindeki etkilerini Driscoll Kray, FMOLS, DOLS ve momentler yöntemiyle incelemişlerdir. Dört farklı yöntemde de yeşil inovasyonla çevresel bozulma arasında negatif bir ilişki olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Geng vd. (2023) 1992-2021 yılları arasında BRICS ülkeleri için yeşil inovasyonun çevresel bozulma üzerindeki etkilerini AMG yöntemiyle incelemişlerdir. Yeşil inovasyondaki %1'lik artışın çevresel bozulmayı %0,042 azalttığı sonucuna ulaşmışlardır. Adebayo ve Ozkan (2024) 1985-2020 yılları arasında ABD'de eko-inovasyonun çevresel bozulma üzerindeki etkilerini Wavelet Quantile Regression yöntemiyle incelemişlerdir. Tüm kantil ve dönemlerde eko-inovasyon ile çevresel bozulma arasında negatif bir ilişki olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Jahanger vd. (2024) 1994-2020 yılları arasında G-7 ülkelerinde yeşil inovasyonun ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerini Quantile Regression, FMOLS ve Driscoll Kraay yöntemiyle incelemişlerdir. FMOLS yöntemine göre yeşil inovasyondaki %1'lik artış çevresel bozulmayı %0,5303 oranında, Driscoll Kraay yöntemine göre yeşil inovasyondaki %1'lik artış çevresel bozulmayı %0,518 oranında azaltmıştır. Ayrıca Quantile Regression yöntemine göre de tüm kantillerde yeşil inovasyonla çevresel bozulma arasında negatif bir ilişki olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ampirik literatürde yeşil inovasyonun çevresel bozulma üzerinde azaltıcı etkisi olduğu yaygın görüşünün aksine farklı bulgular elde eden çalışmalar da bulunmaktadır. Albaker vd. (2023) 1990-2021 yılları arasında MENA ülkeleri için yeşil inovasyon ile CO₂ arasında ilişkiyi Driscoll-Kraay yöntemiyle incelemişlerdir. Yeşil inovasyonun CO₂ emisyonunu artırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Chen vd. (2023) 2007-2019

yılları arasında Çin’in 30 ilinde yeşil teknolojik inovasyonun CO₂ emisyonu üzerindeki etkilerini SDM yöntemiyle incelemişlerdir. Yeşil teknolojik inovasyonla CO₂ emisyonu arasında ters U ilişkisinin olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

İlgili literatürde yeşil inovasyonun ve ticaret açıklığının çevresel bozulma üzerindeki etkisini birlikte alan çalışmalar da bulunmaktadır. Bu çalışmalar genellikle gelişmekte olan ülke örneğinde ele alınmıştır. You vd. (2022) 1990-2018 yılları arasında ABD için çevreyle ilgili teknoloji geliştirmede uluslararası iş birliklerinin CO₂ emisyonları üzerine etkilerini FMOLS ve DOLS yöntemleriyle incelemişlerdir. Çevresel inovasyonun CO₂ emisyonlarını azalttığı ancak ticari açıklığın CO₂ emisyonlarını artırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Wen vd. (2022) 1990-2014 yılları arasında gelişmekte olan 5 Güney Asya ülkesi için yeşil inovasyon, ticaret açıklığı ve çevre kalitesi ilişkisini FMOLS ve DOLS yöntemiyle incelemişlerdir. Yeşil inovasyon ve ticaret açıklığının CO₂ emisyonunu negatif etkilediği sonucuna ulaşmışlardır. Meng vd. (2022) 1995-2020 yılları arasında BRICST ülkelerinde yeşil inovasyon ve ticaret çeşitlendirmesinin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisini CS-ARDL yöntemiyle incelemişlerdir. Yeşil inovasyon ve ticaret çeşitlendirmesi ile CO₂ emisyonları arasında negatif bir ilişki olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Olanrewaju vd. (2022) 1990-2019 yılları arasında G-7 ülkeleri için eko-inovasyon ve ticaret açıklığının CO₂ emisyonları üzerindeki etkilerini FMOLS ve DOLS yöntemleriyle incelemişlerdir. Eko-inovasyon ile CO₂ arasında negatif, ticaret açıklığı ile CO₂ emisyonları arasında ise pozitif bir ilişki olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Obobisa (2023) 1990-2019 yılları arasında 27 OECD ülkesi için eko-inovasyon, ticaret açıklığı ve CO₂ emisyonları arasındaki ilişkiyi CS-ARDL yöntemiyle incelemiştir. Eko-inovasyon ile CO₂ emisyonları arasında negatif ve istatistikî olarak anlamlı, ticaret açıklığı ile CO₂ emisyonları arasında ise pozitif ve istatistikî olarak anlamsız bir ilişki olduğu sonucuna ulaşmıştır. Chien vd. (2023) 2006-2020 yılları arasında ASEAN ülkelerinde eko-inovasyon, ticaret açıklığı ve sera gazı (CO₂) ilişkisini CS-ARDL yöntemiyle incelemişlerdir. Eko-inovasyon ile ticaret açıklığının sera gazlarıyla negatif ilişkili olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ozkan vd. (2023) 1990-2018 yılları arasında Çin’de yeşil inovasyonun ve ticaret açıklığının çevresel bozulma üzerindeki etkilerini DARDLS yöntemiyle incelemişlerdir. Yeşil teknolojik inovasyon uzun dönemde çevresel bozulmayı azaltırken, ticaret açıklığının hem kısa hem de uzun dönemde çevresel bozulmayı artırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Radmehr vd. (2024) 1995-2018 yılları arasında seçilmiş 20 AB ülkesi için yeşil teknoloji inovasyonunun ve ticaret açıklığının ekolojik sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini SAR, SEM ve SEC yöntemleriyle incelemişlerdir. Her üç yöntem içinde yeşil teknoloji inovasyonu ekolojik bozulmayı azaltırken, ticaret açıklığının ise ekolojik bozulmayı artırdığı sonucuna ulaşmışlardır.

Ampirik literatür incelendiğinde yeşil inovasyonun ve ticaret açıklığının çevresel bozulma üzerindeki etkisini ele alan çalışma sayısı nispi olarak azdır. Mevcut çalışmaların ise daha çok gelişmekte olan ülkeler örneğinde ele alındığı dikkat çekmektedir. Bu çalışmalardan yeşil inovasyon ve ticari açıklığın çevresel bozulma üzerindeki eş zamanlı etkisini G-7 ülkeleri örneğinde ele alan sadece Olanrewaju vd. (2022) bulunmaktadır. Olanrewaju vd. (2022), yatay kesit bağımlılığı ve heterojenlik problemlerini dikkate almayan bir analiz tekniğiyle konuyu ele almıştır. Pesaran (2006), panel veri çalışmalarında yatay kesit bağımlılığının test edilmesinin önemine vurgu yapmış ve bu bağımlılığın göz ardı edilmesinin tutarsız sonuçlar üretebileceğini belirtmiştir. Ayrıca, eğitim parametrelerinin panel birimleri arasında değişmesine izin verilmeyen homojen panel tahmin tekniklerini kullanan önceki çalışmalardan farklı olarak, bu çalışma heterojen panel zaman serileri tekniğini kullanmaktadır. Bu haliyle mevcut çalışma literatüre yöntemsel bir farklılık getirmeyi hedeflemektedir.

4. Model ve Veri Seti

Bu çalışmanın amacı, 1995-2020 yılları arasında yeşil inovasyon ve ticaret açıklığın CO₂ emisyonları üzerindeki etkilerinin incelenmesidir. Çalışmada karşılaşılan temel kısıt analiz dönemi ile ilgilidir. Verilerin temininde yaşanan problem nedeniyle analiz dönemi 1995-2020 olarak sınırlanmıştır. Çalışmada literatürle uyumlu olarak bağımlı çevresel bozulma (CO₂) yeşil inovasyonun (inv), ticaret açıklığının (to), ekonomik büyümenin (y) ve kentleşmenin (urb) bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır (bkz. Liu vd., 2021; Meng vd.; 2022; You vd., 2022; Wen vd., 2022; Acheampong ve Opoku, 2023; Chien vd., 2023; Obobisa, 2023; Ozkan vd., 2023; Liu vd., 2024; Radmehr vd., 2024; Singh vd., 2024). Çevresel bozulma fonksiyonu Denklem 1’de, Denklem 1’deki fonksiyonun panel veri formatında cebirsel gösterimi ise Denklem 2’de gösterilmiştir:

$$CO_2 = f(inv, to, y, urb) \quad (1)$$

$$\ln CO_{2it} = \beta_1 inv_{it} + \beta_2 to_{it} + \beta_3 \ln y_{it} + \beta_4 urb_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

Tablo 1. Değişkenlere İlişkin Bilgiler

Değişken	Açıklama	Kaynak
Çevresel Bozulma (CO ₂)	CO ₂ emisyonu (kt)	World Bank
Yeşil İnovasyon (inv)	Yeşil inovasyon (evreyle ilgili teknolojiler %)	OECD Stat
Ticaret Açıklığı (to)	Ticaret Açıklığı (ihracat+ ithalat) / GSYH	World Bank
Kentleşme (urb)	Kentleşme (şehir nüfusu %)	World Bank
Ekonomik Büyüme (y)	Reel GSYH (2015 sabit Amerikan Doları fiyatlarıyla)	World Bank

Tablo 1’de çalışmada kullanılan değişkenlere ilişkin açıklamalar ve veri kaynakları gösterilmiştir. Tablo 2’de değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistik değerleri yer almaktadır. Tablo 2’ye göre toplam gözlem sayısı 182 olup en yüksek ortalama ve minimum değer kentleşme değişkenine, en yüksek standart sapma ve maksimum değer ticaret açıklığı değişkenine ve en düşük ortalama ve minimum değer yeşil inovasyon değişkenine aittir.

Tablo 2. Tanımlayıcı İstatistikler

Değişken	Gözlem	Ortalama	Standart sapma	Minimum	Maksimum
lnCO ₂	182	13.55802	0.8844454	12.49558	15.56919
inv	182	10.31533	2.854438	5.13	16.23
to	182	48.57902	17.39826	17.50571	92.59323
lny	182	28.76626	0.7519879	27.5851	30.63356
urb	182	78.55945	5.669972	66.922	91.782

5. Metodoloji ve Bulgular

5.1. Yatay Kesit Bağımlılığı

Yatay kesit bağımlılığı testi, yapılacak analizlerin tutarlılığı açısından büyük önem arz etmektedir. Öyle ki serilerde yatay kesit bağımlılığının olup olmamasına göre birim kök analizleri farklılık göstermektedir. Çalışmamızda zaman boyutu yatay kesit boyutundan büyük olduğu için Breusch-Pagan (1980) LM Testi kullanılmıştır. Yatay kesit bağımlılığının test edilmesi için kurulan hipotezler řu şekildedir:

H₀: Yatay kesit bağımlılığı yoktur

H₁: Yatay kesit bağımlılığı vardır

Breusch-Pagan (1980) LM Testine ilişkin analiz sonuçları Tablo 3’de gösterilmiştir. Tablo 3’e göre beş değişken için de H₀ temel hipotezi %1 anlamlılık düzeyinde reddedilmiş olup serilerde yatay kesit bağımlılığının olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 3. Yatay Kesit Bağımlılığı Sonuçları

Breusch-Pagan LM Testi	
lnCO ₂	274.718***
to	435.014***
inv	483.111***
lny	424.934***
urb	485.901***

Not: *** %1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

5.2. Birim Kök Testi

Durağan olmayan veriler kullanıldığında regresyon analizinin tutarsız olacağı ve sahte regresyon sorunu ortaya çıkabileceği için sistemdeki değişkenlerin durağanlığının test edilmesi gerekmektedir (Topcu ve Aras, 2017). Yatay kesit bağımlılığının tespit edilmesi nedeniyle bu sınama ikinci nesil birim kök testlerinin kullanılması ile gerçekleştirilmelidir. Tablo 4’de CADF birim kök analiz sonuçları yer almaktadır.

Tablo 4. CADF Birim Kök Testi Sonuçları

Değişkenler	CADF
lnCO ₂	-2.954**
to	-1.649
Δto	-3.809***
inv	-2.824*
lny	-2.586
Δlny	-3.443***
urb	-3.564***

Not: *Gecikme uzunluğu 1 olarak belirlenmiştir

** Δ simgesi değişkenlerin birinci farkını göstermektedir

***, **, * sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerini temsil etmektedir.

Tablo 4’te CADF birim kök testine ilişkin sabitli trendli sonuçlar gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre kentleşme, CO₂ ve yeşil inovasyon değişkenlerinin sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyinde durağan oldukları görülmektedir. Ticaret açıklığı ve GSYH değişkenleri ise birinci farklarında ve %1 anlamlılık seviyesinde durağandırlar.

5.3. AMG Testi

Uzun dönem katsayılarının tahmin edilmesi için Eberhardt ve Bond (2009), Eberhardt ve Teal (2010) ve Bond ve Eberhardt (2013) tarafından geliştirilen Genişletilmiş Ortalama Grup (AMG-Augmented Mean Group Estimator) yöntemi kullanılmıştır. AMG yönteminin en önemli özelliği, heterojenliği ve yatay kesit bağımlılığını dikkate almasıdır. Verilerin özellikleri dikkate

alındığında, AMG yönteminin alternatiflerine kıyasla araştırma sorusunu cevaplamakta güçlü ampirik sonuçlar üreteceği düşünölmektedir. Tablo 5’de AMG tahmin sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 5. AMG Testi Sonuçları

Değişkenler	AMG
to	-0.0052**
inv	-0.0144**
lny	0.551***
urb	-0.0605*

Not: ***, **, * sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerini temsil etmektedir.

Tablo 5’e göre ticaret açıklığı, yeşil inovasyon ve kentleşme, CO₂ emisyonu üzerinde negatif bir etkiye sahipken, GSYH ise CO₂ pozitif etkilemektedir. Ticaret açıklığı, yeşil inovasyon ve kentleşmedeki 1 birimlik artış CO₂ emisyonlarını sırasıyla %0,52, %1,44 ve %6,05 oranında azaltmaktadır. Bunun yanında, GSYH’deki %1’lik artış ise CO₂ emisyonlarını %0,551 oranında artırmaktadır.

6. Bulguların Değerlendirmesi ve Politika Çıkarımları

Yeşil inovasyon ve çevresel bozulma arasında negatif yönlü bir ilişki tespit edilmiştir. Bu bulgu, yeşil inovasyonun, sürdürülebilirliği artırarak kaynak kullanımını optimize etmesi ve çevresel bozulmayı azaltması ile açıklanabilir (Shan ve Shao, 2024).

Ticaret açıklığı ile çevresel bozulma arasında negatif yönlü bir ilişki tespit edilmiştir. Bu bulgu, ticaretin çevresel bozulma üzerindeki teknik ve kompozisyon etkileri aracılığıyla açıklanabilir. Kompozisyon etkisine göre, özellikle, çevre düzenlemeleri nispeten zayıf olan yoksul ölkeler kirli malların üretiminde uzmanlaşırken, çevre politikaları sıkı olan zengin ölkeler temiz malların üretiminde uzmanlaşmaktadır (Le vd., 2016). Teknik etkiye göre ise, ticaretin artırdığı gelirle birlikte, kirlilik politikaları sıkılaştırılır ve bu da kirliliği azaltan yenilikleri/yatırımları teşvik eder (Liddle, 2001). Bu perspektiften ele alındığında, gelişmiş ölkeler örneklerimizden oluşan G-7 ölkelerinde ticaret açıklığının çevresel bozulmayı iyileştirmesi teorik olarak tutarlıdır.

Ekonomik büyüme ve çevresel bozulma arasında pozitif yönlü bir ilişki olduğu bulgusuna erişilmiştir. Bu bulgu, ekonomik büyümenin çevre üzerindeki ölçek etkisi aracılığıyla açıklanabilir. Ekonominin yapısında veya teknolojisinde bir değişiklik olmadığı durumda, ekonominin ölçeğindeki saf büyüme, kirlilik ve diğer çevresel etkilerde artışa yol açmaktadır. Buna ölçek etkisi denilmektedir. Ekonomik kalkınma ile çevresel kalite arasında çelişen hedefler olduğu yönündeki geleneksel görüş, yalnızca ölçek etkisini yansıtmaktadır. (Stern, 2004; Acheampong ve Opoku, 2023). Bu etki, ekonomik faaliyetler arttıkça, üretim ve tüketime dayalı süreçlerin büyümesinin doğal kaynakları daha fazla tüketmesine, atıkların ve kirlitici gazların daha fazla üretilmesine yol açabileceğini ifade etmektedir. Çevresel kaynaklar, üretim sürecinde önemli bir girdi olarak hizmet etmektedir. Bu nedenle, ekonomik büyümeyi artırmak, bu çevresel kaynakların yoğun bir şekilde tüketilmesini gerektirmektedir. Ayrıca üretim süreci sırasında çevreyi bozan atıklar ve sera gazı emisyonları gibi birçok yan ürün üretilmektedir (Acheampong ve Opoku, 2023).

Kentleşme ve çevresel bozulma arasında negatif yönlü bir ilişki tespit edilmiştir. Bu bulgu çeşitli kanallar aracılığıyla açıklanabilir. Kentleşme, genellikle kırsal nüfusun şehirlere ve kasabalara göç etmesi ve buralarda yoğunlaşması şeklinde gerçekleşmektedir. Yüksek nüfus yoğunluğuna sahip şehirler, kamu altyapısının sağlanmasında ölçek ekonomileri yaratmaktadır. Bu durum da enerji tüketimini ve kirlilik emisyonlarını azaltabilir. Nüfusun mekânsal yoğunlaşması, bilgi, teknoloji ve yeniliklerin paylaşımını artırarak sosyal ilişkileri güçlendirmektedir. Bu durum, işletmelerin ekolojik yenilik yapma verimliliğini yükseltmektedir. Ayrıca kentleşme, yeşil teknolojilerin geliştirilmesi ve uygulanması yoluyla çevre kirliliği kontrolünde aktif bir katkı sağlamaktadır. Teknolojik yeniliklerin yayılma etkisi, yerel işletmeler ve çevredeki işletmeler için çevre kirliliğini önleme maliyetini azaltabilmekte ve böylece kirlilik emisyonlarını düşürebilmektedir (Liao vd., 2021; Shen vd., 2022; Zhang ve Cai, 2022).

Elde edilen bulgular doğrultusunda G-7 ülkelerinde çevresel bozulmanın iyileştirilmesi için politika çıkarımları olarak yeşil inovasyon girişimleri önceliklendirilmelidir. Ayrıca, yeni teknolojilerin ve bunlarla ilgili altyapının etkinliğini artırmak için çalışmalar yapılmalıdır (Geng vd., 2023). G-7 ülkelerinde, yeşil teknolojilerin ve uygulamaların benimsenmesini, tercihli ticaret anlaşmaları gibi ticaret teşvikleri yoluyla yeşil yatırımlar için finansal destek sağlayarak teşvik edebilir. Ayrıca yüksek gelirli ülkelerle iş birliği yaparak ortak emisyon azaltım hedefleri geliştirebilir ve karbon fiyatlandırma mekanizmalarının uygulanmasını destekleyebilir. Yeşil yatırımları teşvik etmek ve çevre dostu teknolojilerin benimsenmesini sağlamak, ekonomik büyümeyi artırırken çevresel zararı azaltır. Bu, çevre dostu teknolojiler oluşturma ve yenilik yapma motivasyonunu artırmak için yeşil teknolojilere yönelik araştırma ve geliştirme için hükümet harcamalarını artırarak yapılabilir (Ssekibaala vd., 2022). G-7 ülkelerinde etkin çevre politikaları ve uygulamaları yoluyla firmaların çevre dostu üretim yöntemlerine yönelmesi sağlanarak çevre üzerinde yarattıkları baskı azaltılabilir. Yeşil yeniliği teşvik etmek için en etkili politikalar arasında; emisyon ticareti sistemleri, emisyonları sınırlandıran ve yenilenebilir enerji üreticilerine minimum fiyat garantisi sağlayan besleme tarifeleri, araştırma ve geliştirme için sübvansiyonlar gibi devlet harcamaları yer almaktadır (Hasna vd., 2023).

Ticaret açıklığı, çevre dostu teknolojilerin ve sürdürülebilir uygulamaların sınırlar arasında değişimini kolaylaştırmaktadır. İş birliği ve bilgi paylaşımını artırarak yapılacak ticaret, ulusların daha yeşil ekonomilere geçişine yardımcı olabilir ve çevresel sürdürülebilirlik ile ekonomik refahın bir arada ilerlemesini sağlayabilir. Bu bağlamda, G-7 ülkelerinde ticari açıklığı destekleyici politikalar çeşitli aktarım mekanizmaları aracılığıyla çevresel bozulmanın etkilerini telafi edebilir. Ekonomik büyüme politikaları çevresel bozulmayı azaltıcı politika araçları ile desteklenebilir. Üretim artışı ile ortaya çıkan ekonomik büyüme sürecinde, üretimin çevre dostu üretim yöntemleri ile temiz enerji kaynakları kullanımının sağlanması teşvik edilebilir. Kentleşme politikalarının, yeşil alanların artırılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, sürdürülebilir ulaşım sistemleri ve akıllı şehir uygulamaları gibi çevresel bozulmayı azaltıcı uygulamaları içermesi önerilebilir.

7. Sonuç

Karbondioksit emisyonları, günümüzde insanlığın karşı karşıya olduğu en kritik sorunlardan biri olarak görülmektedir. CO₂ salınımına neden olan insan faaliyetleri, ekolojik tahribat, küresel ısınma, iklim değişikliği ve çevre kirliliği gibi ciddi çevresel sorunlara yol açmaktadır (Li ve Haneklaus, 2022). Başka bir ifadeyle, karbondioksit emisyonlarının sürekli

artışı, küresel ısınmanın hızlanması ve aşırı hava olaylarının sıklıkla görülmesi gibi çeşitli çevresel problemlerin temel nedenlerinden biri haline gelmiştir (Cai vd., 2021). Çevresel kalite pek çok değişkenden etkilenirken bu değişkenler içerisinde ticaret açıklığı ve yeşil inovasyon ne çıkmaktadır. Ticaret açıklığıyla birlikte ülkelerin dış ticaret hacimleri değişmekte bu durum da üretim yapısıyla beraber CO₂ emisyonlarını etkilemektedir. Yeşil inovasyon ise çevresel kalite üzerinde büyük rol oynamaktadır. Özellikle gelişmiş lkeler yeşil inovasyonu özendirmek için ciddi kaynak ve teşvik politikası izlemektedir. Literatürde ticaret açıklığıyla CO₂ emisyonları arasındaki ilişkinin sonuçları üzerine bir görüş birliğinin olmadığı ve ele alınan ülke gruplarına göre farklı sonuçların ortaya çıktığı görülmektedir. Bunun yanında yeşil inovasyon ise genellikle CO₂ emisyonlarını negatif etkilemektedir.

Bu çalışmada, 1995-2020 yılları arasında ticaret açıklığı ve yeşil inovasyonun CO₂ emisyonları üzerindeki etkileri AMG yöntemiyle incelenmiştir. İlk olarak, yatay kesit bağımlılığının tespit edilebilmesi için LM testi uygulanmış olup serilerin yatay kesit bağımlılığı gösterdiği grlmştir. Yatay kesit bağımlılığı bulunduğu için ikinci nesil birim kök testlerinden CADF testi ile serilerin durağanlık durumu incelenmiştir. Devamında hem yatay kesit bağımlılığının bulunması hem de bazı değişkenlerin seviyesinde bazılarının ise birinci farklarında durağan olması sebebiyle AMG yöntemiyle katsayı tahmini yapılmıştır. AMG testi sonuçlarına göre, ticaret açıklığındaki bir birimlik artış CO₂ emisyonlarını %0,52 azaltmaktadır. Bu bulgu, Ali vd. (2016), Zhang vd. (2017), Zafar vd. (2019) alışmalarının bulgularıyla uyumludur. Yeşil inovasyondaki bir birimlik artışın CO₂ emisyonlarını %1.44 azalttığı tespit edilmiştir. Bu bulgu, Meirun vd. (2021), Sharif vd. (2022), Ma vd. (2023), Geng vd. (2023), Albaker vd. (2023), Chen vd. (2023), Adebayo ve Ozkan (2024) ve Jahanger vd. (2024) alışmalarının bulgularıyla paralellik göstermektedir. Kentleşmedeki bir birimlik artışın CO₂ emisyonlarını %6,05 oranında azalttığı sonuçlarına ulaşılmıştır. Bunun yanında GSYH'nin ise CO₂ emisyonlarını pozitif etkilediği ve GSYH'deki %1'lik artışın CO₂ emisyonlarını %0,551 oranında artırdığı grlmştir.

İleride bu konuda çalışma yapacak araştırmacılara, G-7 lkelerinin ticaret ortakları ile olan çevresel inovasyon seviyelerinin karşılıklı etkilerinin incelenmesi önerilebilir. Bununla birlikte, çevresel bozulmayı etkileyen faktörler incelenirken bölgesel analizler yapılabilir.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Etik kurul izni ve/veya yasal/özel izin alınmasına gerek olmayan bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Yazar, makalenin tamamına yalnız kendisinin katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Araştırmacıların çıkar atışması Beyanı

Bu çalışmada herhangi bir potansiyel çıkar atışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Acheampong, A.O. and Opoku, E.E.O. (2023). Environmental degradation and economic growth: Investigating linkages and potential pathways. *Energy Economics*, 123, 106734. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106734>
- Adebayo, T.S. and Ozkan, O. (2024). Investigating the influence of socioeconomic conditions, renewable energy and eco-innovation on environmental degradation in the United States: A wavelet quantile-based analysis. *Journal of Cleaner Production*, 434, 140321. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140321>
- Albaker, A., Abbasi, K.R., Haddad, A.M., Radulescu, M., Manescu, C. and Bondac, G.T. (2023). Analyzing the impact of renewable energy and green innovation on carbon emissions in the MENA region. *Energies*, 16(16), 6053. <https://doi.org/10.3390/en16166053>
- Ali, H.S., Law, S.H. and Zannah, T.I. (2016). Dynamic impact of urbanization, economic growth, energy consumption, and trade openness on CO₂ emissions in Nigeria. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 12435-12443. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6437-3>
- Barkat, K., Alsamara, M., Al Kwifi, O. S. and Jarallah, S. (2024, February). Does trade openness mitigate environmental degradation in Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) countries? Implications for achieving sustainable development. *Natural Resources Forum*, 49(1), 1-22. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12412>
- Bond, S. and Eberhardt, M. (2013). Accounting for unobserved heterogeneity in panel time series models. *University of Oxford*, 1(11), 1-12. Retrieved from <https://lezme.github.io/>
- Breusch, T. and Pagan, A. (1980). The LaGrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics. *The Review of Economic Studies*, 47(1), 239-253. <https://doi.org/10.2307/2297111>
- Cai, A., Zheng, S., Cai, L., Yang, H. and Comite, U. (2021). How does green technology innovation affect carbon emissions? A spatial econometric analysis of China's provincial panel data. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 813811. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.813811>
- Chen, H., Yi, J., Chen, A., Peng, D. and Yang, J. (2023). Green technology innovation and CO₂ emission in China: Evidence from a spatial-temporal analysis and a nonlinear spatial Durbin model. *Energy Policy*, 172, 113338. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113338>
- Chien, F., Paramaiah, C., Joseph, R., Pham, H.C., Phan, T.T.H. and Ngo, T.Q. (2023). The impact of eco-innovation, trade openness, financial development, green energy and government governance on sustainable development in ASEAN countries. *Renewable Energy*, 211, 259-268. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.04.109>
- Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets curve hypothesis: A survey. *Ecological Economics*, 49(4), 431-455. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.02.011>
- Eberhardt, M. and Bond, S. (2009). *Cross-section dependence in nonstationary panel models: A novel estimator* (Munich Personal RePEc Archive Working Paper No. 17870). Retrieved from <https://mpira.ub.uni-muenchen.de/17870/>
- Eberhardt, M. and Teal, F. (2010). *Productivity analysis in global manufacturing production* (Economic Series Working Paper No. 515). Retrieved from <https://ora.ox.ac.uk/objects/uuid:ea831625-9014-40ec-abc5-516ecfbd2118/files/m3956c6620e1981138f3168c388d1c793>
- Farhani, S. and Ozturk, I. (2015). Causal relationship between CO₂ emissions, real GDP, energy consumption, financial development, trade openness, and urbanization in Tunisia. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 15663-15676. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4767-1>
- Geng, B., Yuan, G., Wu, D., Khalid, S. and Mahmood, H. (2023). Does green innovation reduce environmental degradation? A panel threshold analysis for BRICS countries. *Heliyon*, 9(12), e22686. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22686>
- Hasna, Z., Jaumotte F. and Pienknagura S. (2023). *How green innovation can stimulate economies and curb emissions*. Retrieved from <https://www.imf.org/en/Blogs/Articles/2023/11/06/how-green-innovation-can-stimulate-economies-and-curb-emissions>

- Jahanger, A., Ozturk, I., Onwe, J. C., Ogwu, S.O., Hossain, M.R. and Abdallah, A.A. (2024). Do pro-environmental interventions matter in restoring environmental sustainability? Unveiling the role of environmental tax, green innovation and air transport in G-7 nations. *Gondwana Research*, 127, 165-181. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.07.010>
- Le, T.H., Chang, Y. and Park, D. (2016). Trade openness and environmental quality: International evidence. *Energy Policy*, 92, 45-55. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.01.030>
- Li, B. and Haneklaus, N. (2022). Reducing CO₂ emissions in G7 countries: The role of clean energy consumption, trade openness and urbanization. *Energy Reports*, 8, 704-713. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.01.238>
- Li, X., Qin, Q. and Yang, Y. (2023). The impact of green innovation on carbon emissions: Evidence from the construction sector in China. *Energies*, 16(11), 4529. <https://doi.org/10.3390/en16114529>
- Liao, Z., Weng, C., Long, S. and Xiao, Z. (2021). Do social ties foster firms' environmental innovation? The moderating effect of resource bricolage. *Technology Analysis & Strategic Management*, 33(5), 476-490. <https://doi.org/10.1080/09537325.2020.1821876>
- Liddle, B. (2001). Free trade and the environment-development system. *Ecological Economics*, 39(1), 21-36. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(01\)00215-4](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00215-4)
- Liu, J. and Kang, S.J. (2024). The impact of green innovation on CO₂ emissions in China: Evidence from spatial regression model. *International Economic Journal*, 38(3), 446-470. <https://doi.org/10.1080/10168737.2024.2378460>
- Liu, X., Li, X., Shi, H., Yan, Y. and Wen, X. (2021). Effect of economic growth on environmental quality: Evidence from tropical countries with different income levels. *Science of The Total Environment*, 774, 145180. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145180>
- Liu, Y., Yang, M. and Cyi, C. (2024), Urbanization, economic agglomeration and economic growth. *Heliyon*, 10(1), e23772. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23772>
- Lv, Z. and Xu, T. (2019). Trade openness, urbanization and CO₂ emissions: Dynamic panel data analysis of middle-income countries. *The Journal of International Trade & Economic Development*, 28(3), 317-330. <https://doi.org/10.1080/09638199.2018.1534878>
- Ma, B., Sharif, A., Bashir, M. and Bashir, M.F. (2023). The dynamic influence of energy consumption, fiscal policy and green innovation on environmental degradation in BRICST economies. *Energy Policy*, 183, 113823. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113823>
- Meirun, T., Mihadjo, L.W., Haseeb, M., Khan, S.A.R. and Jermisittiparsert, K. (2021). The dynamics effect of green technology innovation on economic growth and CO₂ emission in Singapore: New evidence from bootstrap ARDL approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 4184-4194. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10760-w>
- Meng, Y., Wu, H., Wang, Y. and Duan, Y. (2022). International trade diversification, green innovation, and consumption-based carbon emissions: The role of renewable energy for sustainable development in BRICST countries. *Renewable Energy*, 198, 1243-1253. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.08.045>
- Obobisa, E.S. (2024). An econometric study of eco-innovation, clean energy, and trade openness toward carbon neutrality and sustainable development in OECD countries. *Sustainable Development*, 32(4), 3075-3099. <https://doi.org/10.1002/sd.2829>
- OECD. (2023). *Environment-related technologies* [Dataset]. Retrieved from <https://data-explorer.oecd.org/>
- Olanrewaju, V.O., Irfan, M., Altuntaş, M., Agyekum, E.B., Kamel, S. and El-Naggar, M.F. (2022). Towards sustainable environment in G7 nations: The role of renewable energy consumption, eco-innovation and trade openness. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 925822. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.925822>
- Ozkan, O., Sharif, A., Mey, L.S. and Tiwari, S. (2023). The dynamic role of green technological innovation, financial development and trade openness on urban environmental degradation in China: Fresh insights from carbon efficiency. *Urban Climate*, 52, 101679. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101679>

- Pesaran, M.H. (2006). Estimation and inference in large heterogeneous panels with a multifactor error structure. *Econometrica*, 74(4), 967-1012. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0262.2006.00692.x>
- Pham, D.T.T. and Nguyen, H.T. (2024). Effects of trade openness on environmental quality: Evidence from developing countries. *Journal of Applied Economics*, 27(1), 2339610. <https://doi.org/10.1080/15140326.2024.2339610>
- Poulopoulos, S.G. (2016). Atmospheric environment. In S.G. Poulopoulos and V.J. Inglezakis (Eds.), *Environment and development basic principles, human activities, and environmental implications*. (pp. 45-136). Amsterdam: Elsevier.
- Radmehr, R., Shayanmehr, S., Baba, E.A., Samour, A. and Adebayo, T.S. (2024). Spatial spillover effects of green technology innovation and renewable energy on ecological sustainability: New evidence and analysis. *Sustainable Development*, 32(3), 1743-1761. <https://doi.org/10.1002/sd.2738>
- Shahbaz, M., Nasreen, S., Ahmed, K. and Hammoudeh, S. (2017). Trade openness–carbon emissions nexus: The importance of turning points of trade openness for country panels. *Energy Economics*, 61, 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.11.008>
- Shan, H. and Shao, S. (2024). Impact of green innovation on carbon reduction in China. *Scientific Reports*, 14, 14032. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-64554-y>
- Sharif, A., Saqib, N., Dong, K. and Khan, S.A.R. (2022). Nexus between green technology innovation, green financing, and CO₂ emissions in the G7 countries: The moderating role of social globalisation. *Sustainable Development*, 30(6), 1934-1946. <https://doi.org/10.1002/sd.2360>
- Shen, Y., Zhang, F., Gong, M. and Huang, J. (2022). The urbanization–environmental pollution nexus: An analysis based on a spatial perspective. *Emerging Markets Finance and Trade*, 58(8), 2355-2367. <https://doi.org/10.1080/1540496X.2021.1980382>
- Singh, S., Shukla, A. and Jain, K. (2024). Assessing the urbanization-induced impact on environmental parameters of a city from a remote-sensing perspective. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 34, 101169. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101169>
- Smarzynska, B.S. and Wei, S.J. (2001). *Pollution havens and foreign direct investment: Dirty secret or popular myth?* (Policy Research Working Paper No. 2673). Retrieved from <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/344a7ced-ba7e-57ff-a02f-00ebc5e10c65/content>
- Ssekibaala, D.S., Ariffin, M.I. and Duasa, J. (2022). Economic growth, international trade, and environmental degradation in Sub-Saharan Africa. *Journal of Economics and Development*, 24(4), 293-308. <https://doi.org/10.1108/JED-05-2021-0072>
- Stern, D.I. (2004). The rise and fall of the environmental Kuznets curve. *World Development*, 32(8), 1419-1439. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004>
- Suhrab, M., Soomro, J.A., Ullah, S. and Chavara, J. (2023). The effect of gross domestic product, urbanization, trade openness, financial development, and renewable energy on CO₂ emission. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(9), 22985-22991. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23761-8>
- Topcu, M. and Aras, I. (2017). Military expenditures and economic growth in central and eastern EU countries: Evidence from the post-cold war era. *European Review*, 25(3), 453-462. <https://doi.org/10.1017/S1062798717000114>
- UN. (2015). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development* (United Nations A/RES/70/1). Retrieved from <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>
- UNFCCC. (2020.). *What is the Kyoto Protocol*. Retrieved from https://unfccc.int/kyoto_protocol
- Wen, J., Ali, W., Hussain, J., Khan, N.A., Hussain, H., Ali, N. and Akhtar, R. (2022). Dynamics between green innovation and environmental quality: New insights into South Asian economies. *Economia Politica*, 39, 343-565. <https://doi.org/10.1007/s40888-021-00248-2>

- World Bank. (2024). *World development indicators* [Dataset]. Retrieved from <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>
- You, C., Khattak, S.I. and Ahmad, M. (2022). Do international collaborations in environmental-related technology development in the US pay off in combating carbon dioxide emissions? Role of domestic environmental innovation, renewable energy consumption, and trade openness. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 19693-19713. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17146-6>
- Zafar, M.W., Mirza, F.M., Zaidi, S.A.H. and Hou, F. (2019). The nexus of renewable and nonrenewable energy consumption, trade openness, and CO₂ emissions in the framework of EKC: Evidence from emerging economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 15162-15173. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04912-w>
- Zhang, L., Xu, M., Chen, H., Li, Y. and Chen, S. (2022). Globalization, green economy and environmental challenges: State of the art review for practical implications. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 870271. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.870271>
- Zhang, S., Liu, X. and Bae, J. (2017). Does trade openness affect CO₂ emissions: Evidence from ten newly industrialized countries? *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 17616-17625. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9392-8>
- Zhang, Y. and Cai, Q. (2022). Impact mechanism of new urbanization on environmental pollution: Empirical analysis based on spatial panel model. *Frontiers in Public Health*, 10, 928100. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.928100>

GREEN INNOVATION, TRADE OPENNESS AND ENVIRONMENTAL DEGRADATION: A STUDY ON G-7 COUNTRIES

EXTENDED SUMMARY

Aim

Climate change, global warming, and environmental pollution are among the significant challenges faced by humanity. These issues are particularly more pronounced in developed countries like the G-7 due to their leading roles in industrial and trade sectors. The historically high share of G-7 countries in greenhouse gas emissions increases their responsibility in addressing environmental problems. Except for the United States, the G-7 countries are parties to the Kyoto Protocol. Additionally, following the signing of the Paris Climate Agreement in 2015, the G-7 countries have taken significant steps to support environmental sustainability and create a green, low-carbon society. However, despite these efforts, they have not yet achieved full success in reducing CO₂ emissions (Li and Haneklaus, 2022). Despite these initiatives, the environmental costs brought about by economic development in these countries have not been sufficiently examined. In the relevant literature, studies addressing the impact of green innovation and trade openness on environmental degradation are relatively limited (see Shahbaz et al., 2017; Li and Haneklaus, 2022; Sharif et al., 2022; Olanrewaju et al., 2022; You et al., 2022; Adebayo and Ozkan, 2024; Jahanger et al., 2024). Among these studies, to the best of our knowledge, the only one focusing on the simultaneous effects of green innovation and trade openness is by Olanrewaju et al. (2022). The current study differentiates itself from this work in terms of methodology. In this context, the aim of this study is to examine the impact of green innovation and trade openness on environmental degradation in G-7 countries, which are among the world's most developed and industrialized nations, for the period 1995–2020. This study aims to contribute to the literature in two significant ways. First, it empirically reveals the potential of green innovation and trade openness to mitigate environmental degradation in G-7 countries.

Literature

There are many studies in the literature. Studies examining the effects of trade openness and green innovation on CO₂ emissions studies differ in terms of the method used, both the period and the country group examined, and their contributions to the literature. When the literature on the relationship between trade openness and CO₂ emissions is analyzed, it is observed that there is no consensus and that trade openness increases carbon dioxide emissions in some studies and decreases it in others. In the literature on green innovation and carbon dioxide emissions, it is generally observed that green innovation reduces carbon dioxide emissions. In the literature review, we first examined the relationship between CO₂ emissions and trade openness, then we focused on the relationship between green innovation and CO₂ emissions, and finally, we reviewed the effects of trade openness and green innovation on CO₂ emissions.

When the empirical literature is examined, the number of studies addressing the impact of green innovation and trade openness on environmental degradation is relatively limited. It is noteworthy that the existing studies are predominantly conducted on samples from developing

countries. Among these studies, only Olanrewaju et al. (2022) examine the simultaneous impact of green innovation and trade openness on environmental degradation within the sample of G7 countries. However, Olanrewaju et al. (2022) employ an analytical technique that does not account for cross-sectional dependence and heterogeneity problems. Pesaran (2006) emphasizes the importance of testing for cross-sectional dependence in panel data studies and notes that ignoring this dependence may produce inconsistent results. Moreover, unlike previous studies that use homogeneous panel estimation techniques where slope parameters are not allowed to vary across panel units, the current study employs a heterogeneous panel time series technique. In this way, the present study aims to introduce a methodological difference to the literature.

Methodology

First, the LM test was applied to detect cross-sectional dependence. Then, the stationarity of the series was examined using the CADF test, one of the second-generation unit root tests. Finally, the coefficient estimation was carried out using the AMG method.

Findings

The LM test results show that the series exhibited cross-sectional dependence. The CADF test results indicate that some variables were stationary in their levels while some variables were stationary in the first difference. According to the results of the AMG test, a one-unit increase in trade openness reduces CO₂ emissions by 0.52%, while a one-unit increase in green innovation decreases CO₂ emissions by 1.44%. Additionally, a one-unit increase in urbanization reduces CO₂ emissions by 6.05%. On the other hand, GDP has a positive impact on CO₂ emissions, with a 1% increase in GDP leading to a 0.551% rise in CO₂ emissions.

Conclusion

In this study, the effects of trade openness and green innovation on CO₂ emissions over the period 1995-2020 were analyzed using the AMG method. According to the AMG test results, a one-unit increase in trade openness reduces CO₂ emissions by 0.52%. This finding aligns with the results of studies by Ali, Law, and Zannah (2016); Zhang, Liu, and Bae (2017); and Zafar et al. (2019). It was found that a one-unit increase in green innovation reduces CO₂ emissions by 1.44%. This result is consistent with findings from studies by Meirun et al. (2021); Sharif et al. (2022); Ma et al. (2023); Geng et al. (2023); Albaker et al. (2023); Chen et al. (2023); Adebayo and Ozkan (2024); and Jahanger et al. (2024). Additionally, a one-unit increase in urbanization was found to reduce CO₂ emissions by 6.05%. On the other hand, GDP was observed to have a positive impact on CO₂ emissions, with a 1% increase in GDP leading to a 0.551% increase in CO₂ emissions.

Future researchers are recommended to examine the mutual effects of environmental innovation levels between G7 countries and their trade partners. Additionally, regional analyses could be conducted when investigating factors affecting environmental degradation.