

ÇEVRESEL BOZULMANIN BELİRLEYİCİLERİ VE GÖSTERGELERE GÖRE DEĞİŞİMİ: BRICS-T ÜLKELERİNDEN KANITLAR

Determinants Of Environmental Degradation And Their Variation Across Indicators: Evidence From The Brics-T Countries

Esin KENDİR¹; Burcu ASLANTAŞ ATEŞ²; Harun YAKIŞIK³

ÖZ

Geliş Tarihi

11.04.2026

Kabul Tarihi

19.09.2026

Yayın Tarihi

26.09.2026

Anahtar Kelimeler

Çevresel
Sürdürülebilirlik,
Ekolojik Ayak İzi,
Driscoll–Kraay
Tahmincisi,
BRICS-T
Ekonomileri,
Karbon Yoğunluğu.

Küresel ölçekte artan enerji kullanımı, ticari entegrasyon ve ekonomik büyüme, çevresel bozulmayı çok boyutlu bir olgu hâline getirmiştir. Bu nedenle çevresel bozulmanın yalnızca karbondioksit emisyonlarıyla ölçülmesinin çevresel baskının tüm boyutlarını yansıtmada yetersiz kaldığı ileri sürülmektedir. Bu çalışma, BRICS-T ülkelerinde çevresel bozulmanın belirleyicilerini çevresel bozulmanın ekonomik ve düzenleyici kurumsal kapasiteyle olan ilişkisi üzerinden incelemeyi amaçlamaktadır. Analizde 2010–2020 dönemine ait panel veri kullanılmış; enerji kullanımı, ekonomik büyüme, ticari açıklık ve kurumsal kalite temel açıklayıcı değişkenler olarak ele alınmıştır. Uygun panel veri modeli Hausman testiyle belirlenmiş, model varsayımları çeşitli tanısal testlerle değerlendirilmiştir. Nihai tahminler Driscoll–Kraay dayanaklı standart artırırken karbon yoğunluğunu azalttığını göstermektedir. Ticari açıklık ekolojik ayak izini azaltmakta, karbon yoğunluğunu ise artırmaktadır. Ekonomik büyüme yalnızca karbon yoğunluğu üzerinde anlamlı etki göstermiştir. Ayrıca kurumsal kalite göstergesinin etkilerinin kullanılan çevresel bozulma göstergesine göre farklılaştığı belirlenmiştir. Bu bulgular, çevre politikalarının farklı çevresel göstergeler dikkate alınarak daha etkili ve kapsamlı biçimde tasarlanması gerektiğine işaret etmektedir

ABSTRACT

Submit Date

11.04.2026

Accept Date

19.09.2026

Publish Date

26.09.2026

Keywords

Environmental
Sustainability,
Ecological Footprint,
Driscoll–Kraay
Estimator,
BRICS-T Economies,
Carbon Intensity.

Rising energy use, deepening trade integration, and continued economic growth worldwide have made environmental degradation a multidimensional phenomenon. Accordingly, measuring environmental degradation solely in terms of carbon dioxide emissions may not fully capture the extent of environmental pressures. This study investigates the determinants of environmental degradation in BRICS-T countries using carbon dioxide emissions, the ecological footprint, and carbon intensity as alternative indicators. The analysis uses panel data covering the period 2010–2020 and includes energy use, economic growth, trade openness, and institutional quality as the main explanatory variables. The appropriate panel data model is selected using the Hausman test, and a series of diagnostic tests is conducted to identify potential violations of the model assumptions. The final models are estimated using Driscoll–Kraay robust standard errors. The findings indicate that energy use increases carbon dioxide emissions and the ecological footprint while reducing carbon intensity. Trade openness reduces the ecological footprint but increases carbon intensity. Economic growth has a statistically significant effect only on carbon intensity, whereas the effect of institutional quality varies across the three environmental indicators. These findings underscore the need for environmental policies that account for the multidimensional nature of environmental degradation.

¹  Dr., Türkiye, esinkendir@hotmail.com

²  Prof. Dr., Süleyman Demirel Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Türkiye, burcuates@sdu.edu.tr

³  Prof. Dr., Çankırı Karatekin Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Türkiye, haruny@karatekin.edu.tr

© Kendir, E; Aslantaş Ateş, B.; Yakışık, H. Bu çalışmanın telif hakları yazarlara aittir. / The copyright of this work belongs to the authors.



Bu çalışma [Creative Commons Attribution \(CC-BY\) 4.0 Lisansı](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) kapsamında lisanslanmıştır.

This study is licensed under a [Creative Commons Attribution \(CC-BY\) 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

1. Giriş

Küresel ölçekte artan enerji talebi, ekonomik büyüme hedefleri ve nüfus baskısı, çevresel sürdürülebilirliği yalnızca teknik bir çevre sorunu olmaktan çıkararak günümüzün temel ekonomik ve toplumsal politika başlıklarından biri hâline getirmiştir. Sanayileşme sürecinin hız kazanması ve fosil yakıtlara dayalı üretim yapılarının yaygınlaşması; başta iklim değişikliği olmak üzere karbon emisyonlarının artışı, doğal kaynaklar üzerindeki baskının yoğunlaşması ve ekosistemlerin bozulması gibi sorunları daha belirgin hâle getirmektedir. Söz konusu eğilimler, çevresel bozulmanın yalnızca çevre biliminin değil, iktisat, kamu politikası ve kalkınma tartışmalarının da merkezinde yer alan çok boyutlu bir sorun olduğunu göstermektedir.

Literatürde çevresel bozulmayı açıklamak amacıyla sıklıkla karbondioksit (CO₂) emisyonları kullanılmakla birlikte, bu göstergenin çevresel baskıyı tüm boyutlarıyla ortaya koymakta yetersiz kaldığı yönünde eleştiriler bulunmaktadır (Stern, 2004; Laurent, Olsen ve Hauschild, 2012; Ritchie, 2025). Bu çalışmalar, tek bir çevresel göstergeye odaklanmanın diğer baskı ve kaynak kullanımı etkilerini göz ardı edebileceğini vurgulamaktadır. CO₂ emisyonları çevresel bozulmanın önemli bir boyutunu ortaya koyarken, ekolojik ayak izi enerji kullanımı, doğal alanların kullanımı ve doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı kapsayarak çevresel baskıya daha geniş bir perspektif sunmaktadır (Dietz ve Rosa, 1997; Dietz, Rosa ve York, 2007; Nathaniel vd., 2020; Wang vd., 2024b). Buna ek olarak, karbon yoğunluğu ekonomik faaliyetlerin çevresel maliyetini üretim süreçlerinin verimliliği ve yapısal özellikleriyle birlikte değerlendirerek çevresel performansın farklı bir boyutunu yansıtmaktadır. Buna karşın, çevresel bozulmanın CO₂ emisyonları, ekolojik ayak izi ve karbon yoğunluğu gibi farklı göstergeler üzerinden eş zamanlı olarak ele alındığı çalışmaların görece sınırlı olduğu görülmektedir (Stern, 2004; Dietz, Rosa ve York, 2007; Destek ve Sinha, 2020; Akpanke, Deka, Ozdeser ve Seraj, 2024; Wang vd., 2024b). Bu çerçevede çalışma, BRICS-T ülkelerinde (Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin, Güney Afrika ve Türkiye) çevresel bozulmanın farklı göstergeler üzerinden belirleyicilerini incelemektedir. Çalışmanın üç çevresel göstergenin birlikte ele alınmasına dayanan yaklaşımı, çevresel bozulmanın belirleyicilerinin kullanılan göstergelere göre farklılaşıp farklılaşmadığının ortaya konulmasına olanak sağlamaktadır. Böylece çalışma, yalnızca çevresel bozulmanın temel belirleyicilerini belirlemekle kalmayıp, elde edilen sonuçların çevresel gösterge seçimine duyarlılığını da değerlendirmektedir. Bu yönüyle çalışma, çevresel bozulmanın ölçümünde gösterge seçiminin önemine ilişkin literatüre katkı sunmakta ve BRICS-T ülkeleri açısından daha kapsamlı karşılaştırmalı kanıtlar sağlamaktadır.

BRICS-T ülkeleri, küresel ekonomik büyümenin önemli bir bölümünü oluştururken, aynı zamanda hızla artan enerji talebi, yoğun fosil yakıt kullanımı ve buna bağlı yüksek çevresel baskı düzeyleriyle öne çıkmaktadır (Erkılıç vd., 2025; Audi vd., 2025). Bu ülkeler, gelişmiş ekonomiler ile gelişmekte olan ülkeler arasında konumlanmakta ve çevresel sürdürülebilirlik politikaları bakımından belirgin bir çeşitlilik sergilemektedir. Bu özellikleriyle BRICS-T ülkeleri, enerji kullanımı, ekonomik büyüme ve çevresel bozulma arasındaki ilişkilerin farklı çevresel göstergeler üzerinden incelenmesi açısından uygun bir araştırma alanı sunmaktadır.

Çevresel bozulmanın belirleyicilerine ilişkin literatürde enerji kullanımı, ekonomik büyüme ve yenilenebilir enerji gibi faktörler öne çıkmaktadır. Özellikle enerji kaynaklarının niteliği ve ekonomik faaliyetlerin enerji yoğunluğu, çevresel performansın şekillenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Yenilenebilir enerji kullanımının çevresel kaliteyi iyileştirdiğine yönelik bulgular bulunmakla birlikte, enerji tüketiminin niteliği ve fosil yakıtlara dayalı üretim yapıları çevresel bozulmayı artırabilmektedir (Destek ve Sinha, 2020; Chen vd., 2022; Ilyas vd., 2024). Bu nedenle enerji kullanımının ve diğer ekonomik belirleyicilerin çevresel göstergeler üzerindeki etkilerinin farklı göstergeler açısından birlikte değerlendirilmesi, enerji dönüşümü ve sürdürülebilir kalkınma politikalarının etkinliğinin anlaşılması açısından önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, enerji kullanımı, ekonomik büyüme, ticari açıklık ve kamusal göstergelerin çevresel bozulma üzerindeki etkilerini CO₂ emisyonları, ekolojik ayak izi ve karbon yoğunluğu olmak üzere üç farklı çevresel gösterge üzerinden incelemektir. Böylece çevresel baskının yalnızca tek bir boyutuna odaklanmak yerine, farklı göstergeler aracılığıyla birbirini tamamlayan çok boyutlu bir değerlendirme yapılması hedeflenmektedir. Ayrıca, aynı açıklayıcı değişkenlerin farklı çevresel göstergeler üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması, çevre politikalarının hangi mekanizmalar üzerinden daha etkili sonuçlar üretebileceğine dair önemli ipuçları sunmaktadır.

Bu çerçevede bu çalışma, üç temel araştırma sorusuna odaklanmaktadır. İlk olarak, enerji kullanımı ve ekonomik büyümenin çevresel bozulmayı CO₂ emisyonları, ekolojik ayak izi ve karbon yoğunluğu göstergeleri açısından nasıl etkilediği sorgulanmaktadır. İkinci olarak, ticari açıklık ve düzenleyici kurumsal kapasitenin çevresel performans üzerinde iyileştirici bir rol oynayıp oynamadığı araştırılmaktadır. Son olarak, çevresel baskının belirleyicilerinin kullanılan çevresel göstergelere bağlı olarak farklılaşıp farklılaşmadığı incelenmektedir.

Bu sorular doğrultusunda geliştirilen hipotezler, enerji kullanımı, ekonomik büyüme, ticari açıklık ve düzenleyici kurumsal kalitenin çevresel bozulmanın farklı göstergeleri üzerindeki etkilerini ortaya koymaya odaklanmaktadır. Bu kapsamda, kişi başına enerji kullanımının çevresel bozulmayı temsil eden kişi başına karbondioksit (CO₂) emisyonları, ekolojik ayak izi ve GSYH'nin karbon yoğunluğu üzerinde artırıcı yönde bir etki oluşturacağı; ekonomik büyümenin ise üretim ve tüketim faaliyetlerinin genişlemesi ile teknolojik gelişmeler arasındaki etkileşime bağlı olarak söz konusu göstergeler üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olacağı öngörülmektedir. Benzer şekilde, ticari açıklığın üretim ölçeği, teknoloji transferi ve uluslararası rekabet kanalları aracılığıyla çevresel bozulmayı etkileyebileceği; düzenleyici kurumsal kalitenin güçlenmesinin ise çevre politikalarının etkin uygulanmasını sağlayarak çevresel bozulmayı azaltacağı beklenmektedir. Ayrıca, çevresel bozulmanın farklı boyutlarını yansıtan kişi başına karbondioksit (CO₂) emisyonları, ekolojik ayak izi ve GSYH'nin karbon yoğunluğu göstergelerinin aynı ekonomik ve kurumsal değişkenlere farklı düzeylerde tepki verebileceği değerlendirilmektedir. Bu doğrultuda aşağıdaki hipotezler test edilmektedir:

H₁: Kişi başına enerji kullanımının, kişi başına karbondioksit (CO₂) emisyonları, ekolojik ayak izi ve GSYH'nin karbon yoğunluğu üzerinde pozitif yönde etkisi bulunmaktadır.

H₂: Ekonomik büyümenin, kişi başına karbondioksit (CO₂) emisyonları, ekolojik ayak izi ve GSYH'nin karbon yoğunluğu üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmaktadır.

H₃: Ticari açıklığın, kişi başına karbondioksit (CO₂) emisyonları, ekolojik ayak izi ve GSYH'nin karbon yoğunluğu üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmaktadır.

H₄: Düzenleyici kurumsal kalitenin artması, kişi başına karbondioksit (CO₂) emisyonlarını, ekolojik ayak izini ve GSYH'nin karbon yoğunluğunu azaltmaktadır.

Bu hipotezler aracılığıyla çalışma, çevresel bozulmanın farklı göstergeleri üzerindeki ekonomik ve kurumsal belirleyicilerin etkilerini karşılaştırmalı olarak değerlendirmekte ve çevresel bozulmanın ölçümünde göstergeler arasındaki farklılıkları ortaya koymaktadır.

2. Literatür Taraması

Literatürde çevresel sürdürülebilirlik bağlamında enerji kullanımı, ekonomik büyüme, ticari açıklık ve düzenleyici kurumsal kapasite faktörlerinin çevresel bozulma üzerindeki etkilerini inceleyen çok sayıda ampirik çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar, çevresel baskıyı temsilen ağırlıklı olarak karbon emisyonları ve ekolojik ayak izi göstergelerini kullanmakta; son dönemde ise karbon yoğunluğu gibi çevresel performansı ve ekonomik faaliyet başına düşen emisyonları yansıtan göstergelerin kullanımının da arttığı görülmektedir. Elde edilen bulgular, kullanılan yöntemler, ülke grupları ve dönemlere bağlı olarak önemli ölçüde farklılaşmaktadır (Dietz ve Rosa, 1997; Azimi ve Rahman, 2023; Khan vd., 2023; Binici Erten ve Şarkgüneşi, 2025). Bu çeşitlilik, çevresel bozulmanın tek bir mekanizma üzerinden açıklanamayacağını, ülke ve zaman farklılıklarını dikkate alan analizlerin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Enerji kullanımı ile çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmaların büyük bir kısmı, enerji tüketimindeki artışın karbon emisyonlarını artırdığına işaret etmektedir. Özellikle fosil yakıtlara dayalı enerji yapısına sahip ülkelerde, enerji kullanımının ölçek etkisi yoluyla çevresel baskıyı artırdığı vurgulanmaktadır (Sadorsky, 2014; Pao ve Tsai, 2010; González-Álvarez ve Montañés, 2023; Bin Mohamad ve Ab-Rahim, 2024). Buna karşılık, bazı çalışmalar enerji kullanımının çevresel etkilerinin ülkelere özgü enerji bileşimi, teknolojik seviye ve düzenleyici kurumsal kapasite çerçevesinde farklılaştığını göstermektedir (Stern, 2004; Issa vd., 2024; Yang vd., 2023). Bu bulgular, enerji kullanımının çevresel etkilerinin ülkeler arasında heterojenlik gösterdiğini, seçilen çevresel göstergelere ve ülke özelliklerine bağlı olarak değişebildiğini göstermektedir.

Ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasındaki ilişki literatürde çoğunlukla Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) hipotezi çerçevesinde ele alınmaktadır. Bu kapsamda yapılan bazı çalışmalar, ekonomik büyümenin erken aşamalarında çevresel bozulmanın arttığını, ancak belirli bir gelir seviyesinden sonra çevresel kalitenin iyileşmeye başladığını ileri sürmektedir (Grossman ve Krueger, 1995; Stern, 2004; Huang vd., 2024). Bununla birlikte, özellikle gelişmekte olan ülkeleri kapsayan ampirik çalışmalar, ekonomik büyümenin her zaman çevresel iyileşmeye yol açmadığını; üretim yapısı ve enerji yoğunluğu yüksek ekonomilerde çevresel baskının artmaya devam ettiğini göstermektedir (Pata, 2021; Shahbaz vd., 2021; Ben Youssef ve Dahmani, 2024; Wang vd., 2025). Bu durum, ÇKE hipotezinin heterojen ve koşullara bağlı bir çerçeve sunduğuna işaret etmektedir.

Ticari açıklığın çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkileri literatürde tartışmalı bir alan oluşturmaktadır. Bazı çalışmalar, ticari açıklığın teknoloji transferi ve verimlilik artışı yoluyla çevresel kaliteyi iyileştirebileceğini ortaya koyarken, bazı çalışmaların ise ticaretin üretim ölçeğini ve enerji talebini artırarak çevresel baskıyı artırdığını göstermektedir (Zafar vd., 2019; Khan vd., 2022; Bakri vd., 2025). Özellikle gelişmekte olan ve çevresel düzenlemelerin görece zayıf olduğu ülkelerde, ticari açıklığın karbon yoğun üretim faaliyetlerini teşvik edebildiği bulgusuna ulaşılmıştır (Pata, 2021; Pham ve Nguyen, 2024). Bununla birlikte, Binici Erten ve Şarkgüneşi (2025), ticari küreselleşme ve yeşil ticari açıklık ile GSYH'nin karbon yoğunluğu arasında karşılıklı nedensellik bulunduğunu göstererek ticaret-çevre ilişkisinin yalnızca emisyon düzeyi üzerinden değil, ekonomik faaliyetlerin karbon yoğunluğu açısından da değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Bu farklılaşan bulgular, ticaret-çevre ilişkisinin tek yönlü bir etki ilişkisine indirgenemeyeceğini göstermektedir.

Son yıllarda literatürde öne çıkan bir diğer önemli boyut, düzenleyici kurumsal kapasite göstergelerinin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki rolüdür. Kurumsal kapasitesi yüksek ülkelerde çevresel düzenlemelerin daha etkin biçimde uygulandığı ve bu durumun karbon emisyonlarını sınırlayıcı bir etki yarattığı; buna karşılık, düzenleyici kurumsal kapasite eksikliklerinin bulunduğu ülkelerde ekonomik faaliyetlerin çevresel maliyetlerinin daha yüksek olduğu bulgusuna ulaşılmıştır (Abid, 2016; Yang vd., 2023; Almulhim vd., 2025; Hamrouni vd., 2025). Bu bulgular, çevresel sürdürülebilirliğin yalnızca piyasa yapılarıyla değil, düzenleyici kurumsal kapasite yapılarının etkinliğiyle de yakından ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Literatürde çevresel bozulmayı temsilen farklı göstergelerin kullanılması, elde edilen sonuçların da farklılaşmasına neden olmaktadır. Karbon emisyonlarını inceleyen çalışmalar daha çok üretim temelli çevresel baskıları yansıtırken, ekolojik ayak izi göstergesi tüketim, enerji kullanımı ve doğal kaynak baskısını birlikte ele alarak çevresel bozulmaya ilişkin daha kapsamlı bir değerlendirme sunmaktadır (Dietz ve Rosa, 1997; Azimi ve Rahman, 2023). Bu yaklaşım, ekolojik ayak izinin çevresel bozulmaya ilişkin farklı boyutları yansıtabilmesi nedeniyle karbon emisyonlarını tamamlayıcı bir gösterge olarak değerlendirilebileceğini ortaya koyan güncel ampirik çalışmalarla da desteklenmektedir (Wang vd., 2024; Kendir ve Yakışık, 2025). Buna ek olarak, karbon yoğunluğu göstergesi ekonomik faaliyet ile emisyonlar arasındaki ilişkiyi üretim başına düşen karbon salımı üzerinden değerlendirmekte ve çevresel performansın ölçülmesine farklı bir perspektif sunmaktadır (Huang vd., 2022; Tudor vd., 2023; Binici Erten ve Şarkgüneşi, 2025). Bu nedenle, tek bir çevresel göstergeye dayalı analizlerin çevresel sürdürülebilirliğin tüm boyutlarını temsil etmekte yetersiz kalabileceği vurgulanmaktadır. Çevresel bozulmanın farklı göstergeler üzerinden ele alınması, sonuçların göstergeye bağlı farklılaşmasının ortaya konulmasına olanak sağlamaktadır.

Genel olarak literatürde enerji kullanımı, ekonomik büyüme, ticari açıklık ve düzenleyici kurumsal kapasitenin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerine ilişkin bulguların ülke grupları, dönemler ve kullanılan yöntemlere bağlı olarak farklılaştığı görülmektedir. Ayrıca, karbon emisyonları, ekolojik ayak izi ve karbon yoğunluğu gibi farklı göstergelerin kullanılması, çevresel etkilerin farklı boyutlarının ortaya çıkarılmasına olanak sağlamaktadır. Bu durum, özellikle yükselen ekonomilerde söz konusu ilişkilerin çok boyutlu ve karşılaştırmalı analizlerle ele alınmasının önemini artırmaktadır. Bu çalışma, BRICS-T ülkeleri özelinde karbon emisyonları, ekolojik ayak izi ve karbon yoğunluğu göstergelerini birlikte kullanarak, enerji kullanımı, ekonomik büyüme, ticari açıklık ve düzenleyici kurumsal kapasite faktörlerinin çevresel etkilerini bütüncül bir çerçevede ele almayı amaçlamaktadır. Bu çerçevede, literatürde çevresel bozulmayı farklı göstergelerle ele alan çalışmaların ülke grupları, kullanılan yöntemler ve ulaşılan bulguları Tablo 1'de karşılaştırmalı olarak özetlenmiştir.

Tablo 1. Literatür Özeti

Araştırmacı ve Yıl	Örneklem ve Dönem	Yöntem	Bulgular
CO₂ EMİSYONLARI VE EKONOMİK BÜYÜME			
Grossman ve Krueger (1995)	NAFTA ülkeleri (1977-1990)	Panel analiz	Ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasında ters-U ilişkisi bulunmuştur.
Dietz ve Rosa (1997)	Çoklu ülke grubu (1989)	STIRPAT (stokastik IPAT) modeli	Nüfus ve büyümenin emisyonları artırdığı belirlenmiştir.
Stern (2004)	Çoklu ülke grubu	Meta-analiz	EKC hipotezinin evrensel olarak geçerli olmadığı belirlenmiştir.
Pao ve Tsai (2010)	BRIC ülkeleri (1971-2005)	Eş bütünleşme ve nedensellik analizi	EKC ilişkisinin geçerli olduğu ve enerji tüketimi ile CO ₂ emisyonları arasında çift yönlü nedensellik bulunduğu belirlenmiştir.
Öztürk ve Acaravcı (2010)	Türkiye (1968-2005)	ARDL sınır testi, nedensellik analizi.	Türkiye için EKC'nin geçerli olmadığı ve uzun dönemli ilişkinin varlığı belirlenmiştir.
Sadorsky (2014)	Gelişmekte olan ülkeler (1971-2009)	Panel veri (heterojen eğimler, yatay kesit bağımlılığı)	Enerji yoğunluğu ve gelirin CO ₂ emisyonlarını artırdığı belirlenmiştir.
Allard vd. (2018)	74 ülke (1994–2012)	Panel regresyon	CO ₂ ile gelir arasında N-şekilli bir ilişki olduğu, yenilenebilir enerjinin emisyonları azalttığı bulgusu bulunmuştur.
Balsalobre-Lorente vd. (2018)	AB-5 ülkeleri (1985-2016)	Panel veri, EKC analizi	N-şekilli EKC ilişkisinin varlığı ve yenilenebilir elektriğin CO ₂ emisyonlarını azalttığı belirlenmiştir.
Zafar vd. (2019)	OECD ülkeleri (1990-2014)	İkinci nesil panel veri (Westerlund eşbütünleşme, CUP-FM, CUP-BC)	OECD ülkelerinde EKC'nin geçerli olduğu ve küreselleşme ile finansal gelişmenin CO ₂ emisyonlarını azalttığı belirlenmiştir.
Shahbaz vd. (2021)	Hindistan (1980- 2019)	Doğrusal olmayan ARDL (NARDL)	CO ₂ emisyonları üzerinde asimetrik etkilerin varlığı ve fosil yakıta dayalı büyümenin sürdürülebilir olmadığı belirlenmiştir.
Khan, Weili ve Khan (2022)	176 ülke (2000-2019)	OLS, Sabit Etkiler ve Genelleştirilmiş Momentler Yöntemi (GMM)	EKC ve kirlilik hale hipotezlerinin geçerli olduğu ve ticaret açıklığının emisyonları azalttığı tespit edilmiştir.
Rahman ve Alam (2022)	17 Asya-Pasifik ülkesi (1960–2020)	Driscoll–Kraay, PCSE	Enerji, büyüme, ticaret ve finansal gelişmenin CO ₂ emisyonlarını artırdığı; EKC'nin geçerli olduğu belirlenmiştir.
González-Álvarez ve Montañés (2023)	Çok ülke / makro düzey	Bai–Perron çoklu yapısal kırılma analizi	3E ilişkisinin yapısal kırılmalar altında değiştiği ve büyüme–emisyon ayrışmasının gözlemlendiği tespit edilmiştir.
Adebayo, Pata ve Akadiri (2024)	Tayland, (1975–2018)	Fourier kantil nedensellik	Kirlilik cenneti hipotezinin CO ₂ için geçerli olduğu belirlenmiştir.
Wang, Bilal ve Rehman (2025)	37 ülke, dört bölge (2000–2021)	CS-ARDL	Ekonomik büyüme ve sanayileşmenin CO ₂ emisyonlarını artırdığı, etkilerin bölgelere göre farklılaştığı tespit edilmiştir.
EKOLOJİK AYAK İZİ VE ÇEVRESEL BOZULMA			
Ahmed vd. (2019)	Malezya (1971-2014)	ARDL, Bayer–Hanck eşbütünleşme, nedensellik	Enerji tüketimi ve ekonomik büyümenin ekolojik ayak izini artırdığı, finansal gelişmenin ise azalttığı belirlenmiştir.
Nathaniel vd. (2020)	CIVETS ülkeleri	AMG, panel eşbütünleşme, nedensellik	Yenilenebilir enerjinin çevresel kaliteyi iyileştirdiği, yenilenemeyen enerjinin ise bozduğu belirlenmiştir.

Destek ve Sinha (2020)	OECD ülkeleri (1980 – 2014)	İkinci nesil panel veri yöntemleri	Yenilenebilir enerjinin çevresel bozulmayı azalttığı ve EKC'nin geçerli olmadığı belirlenmiştir.
Azimi ve Rahman (2023)	G20 ülkeleri (2000–2022)	Panel LİML	Kurumsal kalitenin, özellikle şeffaflık boyutunun, ekolojik ayak izini azalttığı tespit edilmiştir.
Li, Ali, Ayub ve Ullah (2024)	BRICS ülkeleri, (2000–2021)	CS-ARDL, AMG, CCE-MG (CD, Westerlund, CIPS/CADF)	GPR ve yenilenebilir enerji ile ekolojik ayak izinin azaldığı, EPU ve fosil enerji ile arttığı tespit edilmiştir.
Wang, Wang, Li ve Jiang (2024)	147 ülke (1995–2018)	Panel regresyon analizleri	EKC hipotezinin geçerli olduğu ve ticaret korumacılığının çevresel etkilerinin gelir gruplarına göre farklılaştığı tespit edilmiştir.
Kendir ve Yakışık (2025)	BRICS-T ülkeleri (2007–2020)	Panel veri (PMG, eşbütünleşme)	Yenilenebilir enerji yatırımlarının ekolojik ayak izini artırdığı, DYY'nin ise azalttığı belirlenmiştir.

KARBON YOĞUNLUĞU VE ÇEVRESEL PERFORMANS

Huang vd. (2022)	39 Afrika ülkesi (1992–2015)	Panel kantil regresyon	Çin ile ticaret ilişkilerinin karbon yoğunluğu üzerindeki etkilerinin heterojen olduğu; ekonomik büyüme, kentleşme ve enerji tüketiminin karbon yoğunluğunu artırdığı belirlenmiştir.
Tudor vd. (2023)	126 ülke ve gelir grupları	Sistem GMM	Yenilenebilir enerji ve ekonomik gelişmenin karbon yoğunluğunu azalttığı, enerji yoğunluğunun ise artırdığı belirlenmiştir.
Durgun (2025)	Türkiye (1990–2022)	Asimetrik zaman serisi analizi	Gelir eşitsizliğinin karbon yoğunluğu üzerindeki etkisinin asimetrik olduğu ve kurumsal kalitenin bu ilişkide önemli rol oynadığı belirlenmiştir.
Aykırı (2026)	Türkiye (1990–2022)	ARDL, FMOLS, DOLS, CCR	Uzun dönemde gelir artışlarının karbon yoğunluğunu artırdığı, gelirin karesinin ise azaltıcı etki gösterdiği belirlenmiştir.
Dinçer ve Akın (2026)	Türkiye (1992–2024)	Fourier Augmented ARDL (FAARDL)	Ekonomik büyüme ve ticaret açıklığının karbon yoğunluğunu azalttığı, finansal gelişme ve internet kullanımının ise artırdığı belirlenmiştir.
Binici Erten ve Şarkgüneşi (2025)	26 AB ülkesi ve Türkiye (1995–2020)	Panel nedensellik analizi	GSYH'nin karbon yoğunluğu ile ticari küreselleşme ve yeşil ticari açıklık arasında karşılıklı nedensellik ilişkisi olduğu belirlenmiştir.

KURUMSAL KALİTE VE ÇEVRESEL BOZULMA

Abid (2016)	Sahra Altı Afrika (1996–2010)	Panel veri.	Kurumsal kalite ve düzenleyici kapasitenin CO ₂ emisyonlarını azalttığı bulgusu bulunmuştur.
Yang, Huang, Sanyal, Khan, Alam ve Murshed (2023)	G7 ve E7 ülkeleri, (2000–2020)	Gelişmiş panel veri tahmin yöntemleri	Kurumsal kalitenin karbon ayak izini azalttığı ve düzenleyici rol oynadığı tespit edilmiştir.
Huang, Rahman, Meo, Ali ve Khan (2024)	BRI ülkeleri, (1998–2021)	Havuzlanmış regresyon, Sabit Etkiler ve Genelleştirilmiş Momentler Yöntemi (GMM)	BRI ülkelerinde EKC'nin geçerli olduğu ve kurumsal kalitenin çevresel yönetişimi güçlendirdiği belirlenmiştir.
Almulhim, Inuwa, Chaouachi ve Samour (2025)	BRICS ülkeleri, (1996–2020)	Westerlund eşbütünleşme testi, FE-OLS, GMM ve CCEMG	BRICS ülkelerinde yenilenebilir enerji ve kurumsal kalitenin CO ₂ emisyonlarını azalttığı belirlenmiştir.
Hamrouni, Hasni ve Ouerghi (2025)	Gelişmekte olan ekonomiler (EAGLE ülkeleri), (2000–2021)	ARDL–PMG panel veri analizi	Yapısal değişim ve kurumsal kalitenin CO ₂ emisyonlarını azalttığı, etkileşimlerinin bu etkiyi güçlendirdiği tespit edilmiştir.

ENERJİ, TİCARET VE TEKNOLOJİK DÖNÜŞÜM

Antweiler, Copeland ve Taylor (2001)	43 ülke (1971-1996)	Panel regresyon	Serbest ticaretin SO ₂ kirliliğini azalttığı belirlenmiştir.
Acheampong, Dzator ve Savage (2021)	45 Sahra Altı Afrika ülkesi (1960–2017)	GMM-PVAR	Ekonomik büyümenin CO ₂ 'yi artırdığı, yenilenebilir enerji-CO ₂ nedenselliğinin bulunmadığı belirlenmiştir.
Pata (2021)	BRIC ülkeleri (1971-2016)	Fourier ADL eşbütünleşme ve nedensellik analizi	Küreselleşmenin çevresel baskıyı artırdığı, yenilenebilir enerjinin ise azalttığı belirlenmiştir.
Khan, Sampene ve Ali (2023)	CEMAC ülkeleri (1990–2020)	CS-ARDL, FMOLS, DOLS, D-H Nedensellik	Enerji tüketiminin çevresel bozulmayı artırdığı, teknolojik inovasyon ve Ar-Ge harcamalarının ise azalttığı belirlenmiştir.
Ben Youssef ve Dahmani (2024)	88 ülke (2000–2021)	CS-ARDL	Dijitalleşmenin çevresel kalite üzerindeki etkilerinin gelir gruplarına göre farklılaştığı ve EKC'nin geçerli olduğu belirlenmiştir.
Bin Mohamad ve Ab-Rahim (2024)	Hindistan (1985–2021)	ARDL, NARDL	Fosil enerji kullanımının CO ₂ emisyonlarını artırdığı, nükleer ve yenilenebilir enerjinin ise azalttığı belirlenmiştir.
Issa, Tabash, Ahmed, Riyadh, Alnahhal ve Varma (2024)	BRICS ülkeleri, (1990–2022)	Panel Kantıl (Quantile) Regresyon	Enerji tüketiminin çevresel bozulmayı artırdığı, teknolojik inovasyonun ise bu etkiyi zayıflatığı belirlenmiştir.
Pham ve Nguyen (2024)	Gelişmekte olan ülkeler, (2003-2017)	Panel veri analizi yöntemleri	Ticaret açıklığının çevresel etkilerinin gelişmekte olan ülkelerde ülke koşullarına bağlı olarak farklılaştığı tespit edilmiştir.
Wang, Li ve Li (2024)	67 ülke, (1993–2019)	SYS-GMM ve Dinamik Panel Eşik Modelleri	Yapay zekânın ekolojik ayak izi ve CO ₂ emisyonlarını azalttığı, enerji dönüşümünü ise teşvik ettiği tespit edilmiştir.
Bakri, Chia ve Chia (2025)	22 Asya ülkesi, (2000–2019)	Eşik (Threshold) modeli, Panel Regresyon ve U-testi	Ticaret açıklığı ile karbon emisyonları arasında ters U şeklinde (EKC ile uyumlu) bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.
Odei, Dunyo ve Anderson (2025)	25 gelişmekte olan ülke, (2000–2020)	Sabit Etkiler, Difference ve System GMM	Ar-Ge'nin EKC'yi düzenlediği ve CO ₂ emisyonlarını azalttığı tespit edilmiştir.

İlgili literatür, ekonomik faaliyetler ile çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi farklı teorik ve ampirik çerçeveler altında ele almakta; söz konusu çalışmalar Tablo 1'de karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. İlk dönem çalışmalarında çevresel bozulma ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki çoğunlukla Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) hipotezi çerçevesinde ele alınmıştır. Bu bağlamda, Grossman ve Krueger (1995) ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasında ters-U şeklinde bir ilişki bulunduğunu ortaya koyarken, Stern (2004) ÇKE hipotezinin genel geçer bir yapı sergilemediğini ve ampirik bulgularının tartışmalı olduğunu ileri sürmüştür. ÇKE yaklaşımını referans alan bazı çalışmalar, ekonomik büyümenin ilk evrelerinde çevresel bozulmanın arttığını, ancak belirli bir gelir düzeyinden sonra çevresel kalitenin iyileşmeye başladığını savunmaktadır (Grossman ve Krueger, 1995; Stern, 2004; Khan vd., 2022; Huang vd., 2024). Bununla birlikte, Öztürk ve Acaravcı (2010) başta olmak üzere, özellikle gelişmekte olan ülkeleri kapsayan ampirik çalışmalar, ekonomik büyümenin her zaman çevresel iyileşmeye yol açmadığını; üretim yapısı ve enerji yoğunluğu yüksek ekonomilerde çevresel baskının artmaya devam edebildiğini göstermektedir (Rahman ve Alam, 2022; Allard vd., 2018; Wang vd., 2025; Ben Youssef ve Dahmani, 2024). Elde edilen bulgular, ÇKE hipotezinin ülkeye ve koşullara bağlı bir yapı ortaya koyduğunu ve ekonomik büyüme-çevre ilişkisinin tek yönlü ve genel geçer bir yapıdan ziyade, ülke özellikleri, üretim yapısı, enerji yoğunluğu ve kullanılan çevresel göstergeleri dikkate alınarak değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Enerji-çevre ilişkisini ele alan çalışmalar, ağırlıklı olarak CO₂ emisyonlarını çevresel bozulmanın temel göstergesi olarak kullanmıştır. Bu kapsamda, Pao ve Tsai (2010) ile Sadorsky (2014), enerji tüketimi ve ekonomik büyümenin CO₂ emisyonlarını artırdığına işaret ederken, bu bulgular güncel ampirik çalışmalar tarafından da desteklenmektedir; örneğin Acheampong vd. (2021) ve Bin Mohamad ve Ab-Rahim (2024) enerji tüketimi ve ekonomik faaliyetlerin

karbon emisyonları üzerindeki artırıcı etkisini farklı ülke grupları için doğrulamıştır. Öte yandan, Allard vd. (2018) ekonomik büyüme ile CO₂ emisyonları arasında N-şekilli bir ilişki bulunduğunu ortaya koyarken, daha yakın tarihli çalışmalar bu doğrusal olmayan ilişki yapısının ülkelerin üretim yapısı ve enerji yoğunluğuna bağlı olarak değişebildiğini göstermektedir (Ben Youssef ve Dahmani, 2024; Wang vd., 2025). Bu çalışma bulguları, çevresel baskının yalnızca gelir düzeyine değil, enerji yapısı, üretim ölçeği ve ticari açıklık gibi yapısal faktörlere de bağlı olduğunu göstermektedir.

Bununla birlikte, son yıllarda literatürde ekolojik ayak izi (EFP) gibi daha kapsayıcı çevresel göstergelerin kullanımının belirgin biçimde arttığı görülmektedir. Dietz ve Rosa (1997) ile Nathaniel vd. (2020), çevresel baskının nüfus, ekonomik faaliyetler ve enerji yapısıyla ilişkili olduğunu ortaya koyarken, ekolojik ayak izi yaklaşımının çevresel bozulmayı yalnızca üretim süreçleriyle sınırlı olmayan, tüketim kalıpları ve doğal kaynak kullanımı üzerinden de değerlendirme fırsatı sunduğu görülmektedir. Bu doğrultuda, Nathaniel vd. (2020) ve Destek ve Sinha (2020), enerji bileşiminin çevresel göstergeler üzerindeki etkisinin önemli olduğunu; yenilenebilir enerji kullanımının çevresel baskıyı azaltıcı yönde sonuçlar verebildiğini göstermiştir. Benzer biçimde, daha yakın dönemli çalışmalar da ekolojik ayak izinin enerji tüketimi, ekonomik büyüme, kurumsal kalite ve küreselleşme süreçleriyle olan ilişkisini ortaya koyarak, çevresel bozulmanın çok boyutlu bir olgu olduğuna işaret etmektedir (Azimi ve Rahman, 2023; Li vd., 2024; Wang vd., 2024). Bu bulgular, çevresel bozulmanın yalnızca üretim temelli karbon salımları üzerinden değil, tüketim düzeyi, enerji bileşimi ve doğal kaynak baskısını birlikte içeren daha geniş bir çerçevede ele alınması gerektiğini göstermektedir. Ancak, söz konusu literatürün önemli bir kısmının hâlen enerji tüketimi odaklı analizlerle sınırlı kaldığı ve diğer yapısal faktörleri ikincil düzeyde ele aldığı dikkat çekmektedir.

Diğer taraftan, düzenleyici kurumsal kapasite faktörlerinin çevresel kalite üzerindeki rolünü inceleyen çalışmalar da literatürde giderek artmaktadır. Abid (2016), düzenleyici kurumsal kapasitenin güçlenmesinin CO₂ emisyonlarını azaltıcı yönde etkiler yarattığını ortaya koyarken, Yang vd. (2023) kurumsal kalitenin karbon ayak izini azaltıcı ve çevresel düzenlemeleri destekleyici bir rol oynadığını göstermiştir. Benzer şekilde, daha güncel çalışmalar da kurumsal kalite, yönetim yapıları ve çevresel düzenlemelerin etkinliğinin çevresel sürdürülebilirlik üzerinde belirleyici bir rol oynadığını vurgulamaktadır (Huang vd., 2024; Almulhim vd., 2025; Hamrouni vd., 2025). Bu çalışma bulguları, çevresel sürdürülebilirliğin yalnızca enerji tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkileriyle değil, aynı zamanda düzenleyici kurumsal kapasitenin niteliği ve etkinliğiyle de yakından ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, söz konusu çalışmaların büyük bir bölümünün tek bir çevresel göstergeye, çoğunlukla CO₂ emisyonları değişkeniyle yürütüldüğü; çevresel baskının tüketim, kaynak kullanımı ve ekolojik sınırlar gibi farklı boyutlarını birlikte ele almakta sınırlı kaldığı dikkat çekmektedir.

Çevresel bozulmanın ölçümünde karbon yoğunluğu göstergesinin kullanılması ise literatüre farklı bir boyut kazandırmaktadır. Karbon yoğunluğu, ekonomik faaliyet ile karbon emisyonları arasındaki ilişkiyi üretim başına düşen emisyonlar üzerinden değerlendirmeye olanak sağlamaktadır. Huang vd. (2022), Afrika ülkelerinde ekonomik büyüme, kentleşme ve enerji tüketiminin karbon yoğunluğunu artırdığını ortaya koyarken, Tudor vd. (2023) yenilenebilir enerji ve ekonomik gelişmenin karbon yoğunluğunu azaltabildiğini, enerji yoğunluğunun ise artırdığını göstermiştir. Türkiye üzerine yapılan güncel çalışmalarda da karbon yoğunluğunun gelir, kurumsal kalite, finansal gelişme ve ticari açıklık gibi değişkenlerle ilişkili olduğu ortaya konulmuştur (Durgun, 2025; Aykırı, 2026; Dinçer ve Akın, 2026). Ayrıca, Binici Erten ve Şarkgüneşi (2025), GSYH'nin karbon yoğunluğu ile ticari küreselleşme ve yeşil ticari açıklık arasında karşılıklı nedensellik ilişkisi bulunduğunu belirlemiştir. Bu bulgular, karbon yoğunluğunun yalnızca emisyon düzeyini değil, ekonomik faaliyetlerin çevresel verimliliğini de yansıtan tamamlayıcı bir gösterge olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.

Söz konusu literatürdeki çalışmaların büyük bir kısmı çevresel bozulmayı yalnızca CO₂ emisyonları ile ölçmekte, ekolojik ayak izi ve karbon yoğunluğu gibi alternatif göstergeleri aynı model çerçevesinde birlikte ele alan çalışmalar sınırlı kalmaktadır. Çevresel sürdürülebilirlik literatüründe enerji kullanımı, ekonomik büyüme, ticari açıklık ve kurumsal kapasite faktörlerinin çevresel göstergeler üzerindeki etkileri ayrı ayrı incelenmiş olmakla birlikte, söz konusu belirleyicileri CO₂ emisyonları, ekolojik ayak izi ve karbon yoğunluğu gibi çoklu çevresel göstergeler çerçevesinde birlikte ele alan çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Ayrıca mevcut çalışmaların önemli bir bölümü belirli ülke gruplarına veya tek ülke örneklerine odaklanırken, BRICS-T ülkelerini bu çok boyutlu çerçevede ele alan karşılaştırmalı analizler oldukça sınırlı kalmaktadır.

Bu çalışma ise, ilgili literatürdeki boşlukları ele almayı amaçlamaktadır. Çalışmada, CO₂ emisyonları (lnSDG13_CO₂), ekolojik ayak izi (lnEFP) ve karbon yoğunluğu (CI_GDP) olmak üzere üç farklı çevresel gösterge, aynı model çerçevesinde ele alınmaktadır. Ayrıca, çevresel bozulmanın belirleyicileri arasında enerji kullanımı, ekonomik büyüme, ticari açıklık ve düzenleyici kurumsal kapasite göstergeleri birlikte değerlendirilerek, çevresel baskının kullanılan göstergelere bağlı ve çok boyutlu yapısı ortaya konulmaktadır. BRICS-T ülkeleri örneğinde gerçekleştirilen bu analiz, çevresel göstergelerin farklı ekonomik ve düzenleyici kurumsal kapasite dinamiklerine nasıl tepki verdiğini karşılaştırmalı olarak inceleyerek literatüre özgün bir katkı getirmektedir.

3. Metodoloji

3.1. Veri Seti ve Örneklem

Bu çalışmada, BRICS-T ülkelerinde (Brezilya, Çin, Hindistan, Rusya, Güney Afrika ve Türkiye) enerji kullanımı, ekonomik yapı ve kurumsal faktörlerin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkileri 2010–2020 dönemini kapsayan yıllık veriler kullanılarak analiz edilmiştir. Analizler, Stata 18 istatistiksel yazılım programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada dengeli bir panel veri seti kullanılmış olup, toplam 66 gözlemden (6 ülke × 11 yıl) oluşmaktadır. Veri setinde eksik gözlem bulunmamakta olup, analizler tam ve dengeli veri yapısı üzerinden yürütülmüştür. Örneklem büyüklüğü, BRICS-T ülkelerinin sınırlı sayıda ancak yapısal olarak heterojen ekonomilerden oluşması nedeniyle bilinçli olarak tercih edilmiş; analizlerde ülke içi ve ülkeler arası farklılıkların birlikte değerlendirilmesine olanak sağlamıştır.

İncelenen dönem, küresel finans krizinin ardından çevresel sürdürülebilirlik, enerji dönüşümü ve yönetim politikalarının gelişmekte olan ülkelerde daha görünür hâle geldiği bir zaman aralığını temsil etmektedir. Ayrıca bu dönem, Paris Anlaşması ve Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri gibi küresel çevre politikalarının ulusal düzeyde politika çerçevelerine yansımaya başladığı bir süreci de kapsamaktadır. 2010–2020 döneminin tercih edilmesinde, çalışmada kullanılan CO₂ emisyonları, ekolojik ayak izi ve karbon yoğunluğu gibi farklı çevresel göstergeler ile enerji kullanımı, ekonomik büyüme, ticari açıklık ve düzenleyici kurumsal kapasite değişkenlerine ilişkin verilerin BRICS-T ülkeleri için ortak ve karşılaştırılabilir bir dönem kapsamında temin edilebilmesi de dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda dönem seçimi, yalnızca küresel çevre politikalarındaki gelişmeler temelinde değil, aynı zamanda veri sürekliliği, değişkenlerin karşılaştırılabilirliği ve analizde kullanılan göstergelerin ortak bir dönem içerisinde değerlendirilebilmesi esas alınarak belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan değişkenler, bu değişkenlerin tanımları ve veri kaynakları Tablo 2’de sunulmaktadır. Tablo, analizlerde yer alan değişkenlerin kapsamını ve hangi veri setlerinden elde edildiğini açık bir biçimde ortaya koymaktadır.

Tablo 2. Değişkenler, Tanımları ve Veri Kaynakları

Değişken	Açıklama	Kaynak
lnSDG13_CO2	Kişi başına karbon dioksit (CO ₂) emisyonlarının doğal logaritması	World Bank (2025)
lnEFP	Ekolojik ayak izinin doğal logaritması	Global Footprint Network (2025)
CI_GDP	GSYH’nin karbon yoğunluğu (birim GSYH başına CO ₂ emisyonu)	World Bank (2025)
Energyuse	Kişi başına enerji kullanımı (kg petrol eşdeğeri)	World Bank (2025)
gdp_growth	Yıllık GSYH büyüme oranı (%)	World Bank (2025)
trade	Ticari açıklık (ihracat + ithalat / GSYH, %)	World Bank (2025)
GR	Kurumsal kalite (Regulatory Quality) göstergesi	World Bank (2025)

Tablo 2, çalışmada kullanılan değişkenlerin tanımlarını ve veri kaynaklarını özetlemekte, değişkenlerin kavramsal kapsamı ve veri setlerinin tutarlılığını ortaya koyarak izleyen ekonometrik analizler için açık ve sistematik bir metodolojik referans çerçevesi sunmaktadır. Çevresel bozulmayı temsilen birden fazla bağımlı değişken kullanılmıştır. Temel modelde, iklim değişikliği ile doğrudan ilişkili olması nedeniyle kişi başına karbon dioksit (CO₂)

emisyollarının doğal logaritması (lnSDG13_CO₂) bağımlı değişken olarak ele alınmıştır. Sağlamlık (robustness) analizi kapsamında, çevresel baskıyı emisyon temelli göstergelerin ötesinde daha geniş bir perspektiften yansıtan ekolojik ayak izinin doğal logaritması (lnEFP) alternatif bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. Ayrıca, çevresel bozulmanın altında yatan verimlilik ve yapısal dönüşüm mekanizmalarını incelemek amacıyla GSYH'nin karbon yoğunluğu (CI_GDP) bağımlı değişken olarak ele alınarak genişletilmiş bir model tahmin edilmiştir. Bu yaklaşım, çevresel bozulmanın farklı boyutlarını (emisyon temelli, tüketim temelli ve yapısal baskılar) eş zamanlı olarak yakalamayı amaçlayan ampirik çevre iktisadı literatürü ile uyumludur (Dietz ve Rosa, 1997; York vd., 2003; Clark ve York, 2005).

Bağımsız değişkenler; kişi başına enerji kullanımı, GSYH büyüme oranı, ticari açıklık ve düzenleyici kaliteyi temsilen kullanılan kurumsal kalite göstergesinden oluşmaktadır. Bu değişkenler, üretim yapısı, ölçek etkisi, dışa açıklık ve kurumsal kaliteyi yansıtan temel mekanizmaları temsil etmeleri nedeniyle çevresel iktisat literatüründe yaygın biçimde kullanılmaktadır. Çalışmada kullanılan değişkenlerin genel dağılımını ve temel özelliklerini ortaya koymak amacıyla ön analiz niteliğinde tanımlayıcı istatistikler hesaplanmıştır. Bu kapsamda değişkenlere ait ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerler Tablo 3'te sunulmaktadır.

Tablo 3. Değişkenlere Ait Tanımlayıcı İstatistikler

Değişkenler	Mean	SD	Min	Max
lnSDG13_CO2percapita	.6975322909	.3117554683	.1434203584	1.107679304
lnEFP	8.851806976	.4632803126	8.259682013	9.70148592
CI_GDP	.3400838405	.1720181956	.1238865523	.649769168
Energyuse	2195.340557	1379.796526	531.8670661	5259.908376
gdp_growth	3.646530456	3.817340631	-6.168917715	10.97996253
trade	45.27663579	10.8218808	22.77217811	62.82513239
GR	1.678030292	.8966802762	.16666667	3.1388888

Tablo 3'te sunulan tanımlayıcı istatistikler, BRICS-T ülkelerinde çevresel göstergeler ile ekonomik ve kurumsal değişkenler arasında belirgin ve yapısal bir heterojenlik bulunduğunu göstermektedir. Kişi başına CO₂ emisyonlarının logaritması ortalama 0,70 düzeyinde iken, minimum ve maksimum değerler arasındaki fark (0,14–1,11) ülkeler arasında çevresel baskının düzey ve yoğunluk açısından önemli ölçüde farklılaştığına işaret etmektedir. Benzer şekilde, ekolojik ayak izi değişkeninin ortalaması 8,85 olup, dağılım aralığının 8,26–9,70 arasında değişmesi çevresel yükün ülkeler bazında farklı tüketim ve kaynak baskısı profilleri sergilediğini ortaya koymaktadır.

Enerji kullanımına ilişkin değişkenin yüksek standart sapması (1.379,8), kişi başına enerji tüketiminin ülkeler arasında ciddi biçimde ayrıştığını göstermekte; bu durum üretim ve tüketim yapılarındaki enerji yoğunluğu ve teknoloji bileşimi farklılıklarını yansıtmaktadır. Ekonomik büyüme oranının negatif ve pozitif değerler alması (–6,17 ile 10,98 aralığında) ve ticari açıklık değişkeninin geniş bir dağılım göstermesi (22,8–62,8), ülkelerin büyüme dinamikleri ve küresel ekonomik entegrasyon düzeylerinin zaman ve ülke boyutlarında homojen olmadığını ortaya koymaktadır. Bu dağılım özellikleri hem ülkeler arası hem de zaman içi heterojenliğin dikkate alınmasını gerekli kılmakta; panel veri yaklaşımının ve heterojenliğe dayanıklı tahmincilerin kullanılmasını metodolojik açıdan desteklemektedir.

Çevresel sürdürülebilirliğin belirleyicilerini incelemek amacıyla aşağıdaki temel panel veri modeli tahmin edilmiştir:

$$Y_{it} = \alpha + \beta_1 \text{Enerji}_{it} + \beta_2 \text{Büyüme}_{it} + \beta_3 \text{Ticaret}_{it} + \beta_4 \text{Yönetişim}_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Burada Y_{it} , ülke i 'nin t dönemindeki çevresel göstergesini (lnSDG13_CO₂, lnEFP veya CI_GDP); μ_i , gözlemlenemeyen ülkeye özgü sabit etkileri; ε_{it} ise hata terimini ifade etmektedir. Model, ülkeler arası yapısal farklılıkların çevresel sonuçlar üzerindeki etkisini kontrol edebilmek amacıyla sabit etkiler yaklaşımı çerçevesinde kurulmuştur.

Sağlamlık (robustness) analizi kapsamında, temel model alternatif çevresel gösterge olarak ekolojik ayak izinin doğal logaritması (lnEFP) kullanılarak yeniden tahmin edilmiştir. Ayrıca, çevresel bozulmanın altında yatan verimlilik ve yapısal dönüşüm mekanizmalarını incelemek amacıyla GSYH'nin karbon yoğunluğu (CI_GDP) bağımlı değişken

olarak ele alınmış ve genişletilmiş bir model spesifikasyonu tahmin edilmiştir. Bu çoklu model yaklaşımı, çevresel bozulmanın farklı göstergelere duyarlı yapısını test etmeyi amaçlamaktadır.

3.2. Model Seçimi ve Tanısal Testler

Ekonometrik analiz sürecinde, tahmin edilecek panel veri modellerinin istatistiksel geçerliliğini ve güvenilirliğini sağlamak amacıyla model seçimi ve tanısal testler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, öncelikle değişkenler arasındaki çoklu doğrusal bağlantı olasılığı parametre tahminlerinin sapmasız ve etkin olmasını teminen ikili korelasyon matrisi ve Varyans Şişirme Faktörü (VIF) yardımıyla incelenmiştir. Elde edilen bulgular, nihai modellerde çoklu doğrusal bağlantının sorun oluşturacak düzeyde olmadığını göstermektedir. Bu kapsamda, her bir bağımlı değişken için hesaplanan Varyans Şişirme Faktörü (VIF) değerleri model bazında Tablo 4’te sunulmaktadır.

Tablo 4. Çoklu Doğrusal Bağlantı Sonuçları (VIF)

Model (Bağımlı Değişken)	Mean VIF	Max VIF	Kısa Açıklama
lnSDG13_CO2	1.35	1.46	Çoklu doğrusal bağlantı sorunu bulunmamaktadır.
lnEFP	1.35	1.46	Değişkenler arasında yüksek doğrusal bağlantı gözlenmemektedir
CI_GDP	1.29	1.45	Model tahminleri yüksek doğrusal bağlantıdan etkilenmemektedir

Tablo 4’te sunulan Varyans Şişirme Faktörü (VIF) sonuçları, her üç modelde de bağımsız değişkenler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir çoklu doğrusal bağlantı problemi bulunmadığını göstermektedir. Literatürde yaygın olarak kullanılan eşik değerler dikkate alındığında, VIF değerlerinin 5’in (hatta daha ihtiyatlı bir ölçüt olarak 10’un) altında olması çoklu doğrusal bağlantı açısından bir sorun bulunmadığına işaret etmektedir. Bu çalışmada elde edilen ortalama ve maksimum VIF değerlerinin 1.29–1.46 gibi oldukça düşük bir aralıkta kalması, model katsayılarının sapmasız, güvenilir ve istikrarlı biçimde tahmin edilebileceğini ortaya koymaktadır. Çoklu doğrusal bağlantı sorununun bulunmaması, sabit etkiler (FE) ve rassal etkiler (RE) yaklaşımlarının sağlıklı biçimde karşılaştırılmasına imkân tanımakta olup, bu doğrultuda uygun panel veri modelinin belirlenmesi amacıyla Hausman spesifikasyon testi uygulanmıştır. Hausman testine ilişkin sonuçlar Tablo 5’te sunulmaktadır.

Tablo 5: Hausman Test Sonuçları

Bağımlı Değişken	χ^2	sd	p-değeri	Tercih Edilen Model
lnSDG13_CO2	7.34	4	0.119	Rassal Etkiler (RE)
lnEFP	41.57	4	0.000	Sabit Etkiler (FE)
CI_GDP	3.14	4	0.535	Rassal Etkiler (RE)

Tablo 5’te sunulan Hausman test sonuçları, her bir bağımlı değişken için uygun panel veri modelinin belirlenmesine yönelik bulguları göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre, lnSDG13_CO₂ ve CI_GDP modellerinde Hausman test istatistiğine ait olasılık değerlerinin %5 anlamlılık düzeyinin üzerinde olması, rassal etkiler varsayımının reddedilemediğini ve bu modeller için sabit ve rassal etkiler tahminleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığını göstermektedir. Buna karşılık, lnEFP modeli için Hausman testine ait olasılık değerinin %5 anlamlılık düzeyinin altında olması, rassal etkiler varsayımının reddedildiğine ve sabit etkiler yaklaşımının daha uygun olduğuna işaret etmektedir. Bu bulgular doğrultusunda, analizlerin ilerleyen aşamalarında her bir bağımlı değişken için Hausman testi sonuçları esas alınarak uygun panel veri tahmincisi tercih edilmiştir.

Hausman testi sonucunda her bir bağımlı değişken için uygun panel veri modeli belirlendikten sonra, seçilen tahmincilerin temel varsayımlarının geçerliliğini değerlendirmek amacıyla tanısal testler uygulanmıştır. Bu kapsamda, yatay kesit bağımlılığı tüm modeller için Pesaran CD testi kullanılarak incelenmiş; otokorelasyon sorunu, model türünden bağımsız olarak Wooldridge testi ile test edilmiştir. Heteroskedastisite analizinde ise model türüne bağlı bir ayırım yapılmış; rassal etkiler (RE) modelleri için Breusch–Pagan Lagrange Çarpımı testi, sabit etkiler (FE) modeli için ise Modified Wald testi uygulanmıştır. Böylece, iki modelde rassal etkiler ve bir modelde sabit etkiler yaklaşımının benimsenmesi dikkate alınarak, her model için uygun tanısal testler tercih edilmiş ve elde edilen bulgular Tablo 6’da özetlenmiştir.

Tablo 6. Panel Veri Modellerine İlişkin Tanısal Test Sonuçları

Bağımlı Değişken	Model	Pesaran CD	Otokorelasyon (Wooldridge)	Heteroskedastisite
lnSDG13_CO ₂	RE	CD = 0.851 (p = 0.395)	F = 9.53 (p = 0.027)	BP χ^2 = 296.78 (p = 0.000)
lnEFP	FE	CD = 1.792 (p = 0.073)	F = 2.64 (p = 0.165)	Wald χ^2 = 81.02 (p = 0.000)
CI_GDP	RE	CD = -0.381 (p = 0.703)	F = 11.21 (p = 0.020)	BP χ^2 = 300.51 (p = 0.000)

Tablo 6’da Hausman testi sonucunda seçilen panel veri modelleri için uygulanan tanısal testlere ilişkin bulgular özetlenmektedir. Elde edilen sonuçlar, lnSDG13_CO₂ ve CI_GDP modellerinde otokorelasyon ve heteroskedastisite problemlerinin varlığına işaret etmektedir. lnEFP modeli açısından ise heteroskedastisite sorunu ön plana çıkmakta, yatay kesit bağımlılığına ilişkin bulguların istatistiksel olarak sınırda kaldığı görülmektedir.

Bu durum, panel veri modellerinde klasik standart hata tahmincilerinin güvenilirliğini zayıflatabilmekte ve istatistiksel çıkarımların tutarlılığını olumsuz etkileyebilmektedir. Literatürde, bu tür varsayım ihlallerinin eş zamanlı olarak var olduğu durumlarda yalnızca kümelemeye dayalı ya da modele özgü düzeltmelerin yeterli olmadığı açıkça vurgulanmaktadır. Bu nedenle, söz konusu problemlerin tamamına karşı aynı anda dayanıklı olan Driscoll–Kraay (1998) standart hataları kullanılarak tahminler gerçekleştirilmiştir. Driscoll–Kraay yaklaşımı, özellikle yatay kesit bağımlılığının ve zaman boyutlu korelasyonun söz konusu olduğu panellerde, katsayı tahminlerinin değil, standart hataların güvenilirliğini artırmakta ve istatistiksel çıkarımların tutarlılığını sağlamaktadır. Bu doğrultuda, her bir bağımlı değişken için Hausman testiyle belirlenen uygun panel veri modeli çerçevesinde, Driscoll–Kraay standart hataları kullanılarak elde edilen nihai regresyon sonuçları Tablo 7’de sunulmaktadır.

Tablo 7. Driscoll–Kraay Standart Hatalarıyla Panel Veri Regresyon Sonuçları

Değişken	lnSDG13_CO ₂ (RE–DK)	lnEFP (FE–DK)	CI_GDP (RE–DK)
Energyuse	0.000174*** (0.000008)	0.000111*** (0.000026)	–0.000055*** (0.000017)
gdp_growth	–0.003487 (0.003654)	–0.000071 (0.000980)	0.002931** (0.001207)
trade	0.001409 (0.001631)	–0.001808** (0.000681)	0.003389*** (0.000869)
GR	0.059577*** (0.009307)	–0.000950 (0.011960)	–0.018650 (0.013425)
Sabit	–0.074833	8.679719***	0.328001***
Gözlem	66	66	66
Ülke	6	6	6
Model	RE	FE	RE
Std. Hata	Driscoll–Kraay	Driscoll–Kraay	Driscoll–Kraay

Not: Parantez içi Driscoll–Kraay standart hatalar. *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.10.

Tablo 7’de Hausman testi sonucunda her bir bağımlı değişken için belirlenen uygun panel veri modeli çerçevesinde, Driscoll–Kraay standart hataları kullanılarak elde edilen nihai regresyon sonuçları sunulmaktadır. Parantez içerisinde yer alan değerler Driscoll–Kraay standart hataları göstermekte olup, katsayıların istatistiksel anlamlılık düzeyleri ***p<0.01, **p<0.05 ve *p<0.10 şeklinde raporlanmıştır.

Bulgular, modeller arasında ortak ve farklı etki mekanizmalarının bulunduğu işaret etmektedir. Enerji kullanımı değişkeni, lnSDG13_CO₂ ve lnEFP modellerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı katsayılara sahipken, CI_GDP modelinde negatif ve anlamlı bir etki göstermektedir. Bu bulgu, enerji kullanımının çevresel ve yapısal göstergeler üzerindeki etkilerinin bağımlı değişkenin niteliğine bağlı olarak farklılaştığını ortaya koymaktadır.

Kurumsal ve makroekonomik değişkenlere ilişkin bulgular incelendiğinde, CI_GDP değişkeninin lnSDG13_CO₂ modeliyle pozitif ve güçlü bir ilişki sergilediği, ancak lnEFP modelinde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki ortaya

koymadığı görülmektedir. Ekonomik büyüme (gdp_growth) değişkeni ise yalnızca CI_GDP modelinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir katsayıya sahipken, diğer modellerde anlamlı bulunmamıştır.

Ticari açıklık (trade) değişkeni, lnEFP modeli üzerinde negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki sergilerken, CI_GDP modelinde pozitif ve anlamlı bir katsayıya sahiptir. Bu durum, ticaretin tüketim temelli çevresel baskıları sınırlayabildiğini; buna karşılık üretim yapısı ve karbon yoğunluğu üzerinde artırıcı bir etkiyle ilişkili olabileceğini düşündürmektedir. GR değişkenine ilişkin katsayılar ise yalnızca lnSDG13_CO₂ modelinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Genel model sonuçları, tahmin edilen katsayıların yorumlanabilir ve çevresel göstergelere göre farklılaşan ilişki yapılarını ortaya koyduğunu göstermektedir.

Genel olarak Tablo 7’de sunulan bulgular, çevresel bozulmanın farklı göstergeleri açısından etki yönü ve büyüklüklerinin değiştiğini ortaya koymakta; bu durum, panel veri analizinde bağımlı değişken seçiminin, model spesifikasyonunun ve uygun standart hata tahmincisinin kullanımının önemini bir kez daha vurgulamaktadır.

5. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, BRICS-T ülkeleri için enerji kullanımı, ekonomik büyüme, ticari açıklık ve yönetim göstergelerinin çevresel bozulma ile ilişkisi; kişi başına CO₂ emisyonları (lnSDG13_CO₂), ekolojik ayak izi (lnEFP) ve karbon yoğunluğu (CI_GDP) olmak üzere üç farklı bağımlı değişken çerçevesinde analiz edilmiştir. Hausman testi sonuçlarına dayalı olarak belirlenen uygun panel veri modelleri altında Driscoll–Kraay standart hataları kullanılarak elde edilen bulgular, çevresel göstergelere göre farklılaşan ilişki mekanizmalarının varlığına işaret etmektedir.

Enerji kullanımı değişkeninin, lnSDG13_CO₂ ve lnEFP modellerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı katsayılarla sahip olduğu; buna karşılık CI_GDP modeli üzerinde negatif ve anlamlı bir ilişki sergilediği bulgusuna ulaşılmıştır. Bu sonuç, enerji kullanımındaki artışın mutlak çevresel baskıyı (CO₂ emisyonları ve ekolojik ayak izi) artırdığını, ancak üretim başına karbon yoğunluğu açısından görece bir verimlilik etkisiyle birlikte seyredebileceğini göstermektedir. Elde edilen bulgular, enerji tüketiminin çevresel bozulmayı artırdığına işaret eden Sadorsky (2014), Pao ve Tsai (2010) ve enerji tüketiminin çevresel bozulmayı artırdığını ortaya koyan Acheampong vd. (2021) ve Issa vd. (2024) ile uyumlu olup; karbon yoğunluğu üzerindeki azaltıcı ilişkinin ise enerji kullanımının çevresel etkilerinin kullanılan göstergelere göre farklılaşabileceğini ortaya koyduğu ve bu yönüyle Tudor vd. (2023) tarafından ortaya konulan enerji yoğunluğu–karbon yoğunluğu ilişkisine farklı bir perspektif sunduğu değerlendirilmektedir.

Karbon yoğunluğu (CI_GDP) bağımlı değişkenine ilişkin model sonuçları incelendiğinde, enerji kullanımı, ekonomik büyüme ve ticari açıklık değişkenlerinin karbon yoğunluğu üzerindeki etkilerinin farklılaştığı görülmektedir. Elde edilen bulgular, çevresel baskının yalnızca toplam emisyon düzeyi üzerinden değil, aynı zamanda üretim başına düşen karbon emisyonları ve ekonomik faaliyetlerin karbon yoğunluğu üzerinden de değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Bu durum, çevresel göstergelerin farklı boyutları temsil ettiğini ve tek bir göstergenin çevresel sürdürülebilirliği açıklamada yeterli olmayabileceğini vurgulayan Stern (2004) ile Dietz, Rosa ve York (2007) çalışmalarıyla uyumludur. Nitekim karbon yoğunluğunu doğrudan ele alan Huang vd. (2022) ve Tudor vd. (2023), karbon yoğunluğunun enerji kullanımı, ekonomik büyüme ve ticari ilişkiler gibi faktörlere duyarlı olduğunu ortaya koyarken, Binici Erten ve Şarkgüneşi (2025) de karbon yoğunluğunun ticari küreselleşme ve yeşil ticari açıklıkla karşılıklı nedensellik ilişkisi içerisinde olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, çalışmamızda elde edilen sonuçların karbon yoğunluğunun çevresel bozulmanın diğer göstergelerinden farklı dinamikler sergileyebileceği yönündeki bulgusunu desteklemektedir.

Ekonomik büyüme değişkeninin yalnızca CI_GDP modeli üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu, lnSDG13_CO₂ ve lnEFP modellerinde ise anlamlı bir ilişki sergilemediği görülmektedir. Bu sonuç, BRICS-T ülkelerinde ekonomik büyümenin toplam çevresel baskı göstergelerinden ziyade, üretim başına karbon yoğunluğu açısından daha belirgin bir ilişki sergilediğine işaret etmektedir. Bulgular, ekonomik büyümenin çevresel etkilerinin ülke grubu ve kullanılan göstergelere göre farklılaştığını savunan Stern (2004) ve Shahbaz vd. (2021) çalışmalarıyla genel olarak tutarlıdır. Bu sonuç aynı zamanda ekonomik büyümenin karbon yoğunluğu üzerindeki etkisinin ayrı bir boyut olarak ele alınması gerektiğini ortaya koyan Huang vd. (2022), Tudor vd. (2023) ve Aykırı (2026) çalışmalarıyla da ilişkilendirilebilir.

Ticari açıklık değişkenine ilişkin bulgular, çevresel göstergelere göre ayrılmaktadır. Ticari açıklığın lnEFP modeli üzerinde negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki sergilediği, buna karşılık CI_GDP modeli üzerinde pozitif ve anlamlı bir ilişkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç, ticaretin teknoloji transferi ve verimlilik kazanımları yoluyla ekolojik ayak izini sınırlayabildiğini; ancak üretim yapısı ve enerji talebi üzerinden karbon yoğunluğu açısından artırıcı bir etkiyle birlikte seyredebildiğini göstermektedir. Elde edilen bulgular, ticaretin çevresel etkilerinin tek yönlü olmadığını ortaya koyan Zafar vd. (2019) ve Pata (2021) çalışmalarıyla genel olarak uyumludur. Ayrıca, ticari açıklığın çevresel etkilerinin kullanılan göstergelere ve ülke koşullarına göre farklılaşabileceğini gösteren Pham ve Nguyen (2024) çalışması da bu bulguyu destekler niteliktedir.

Kurumsal kalite (GR) değişkeni yalnızca lnSDG13_CO₂ modeli üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir katsayıya sahiptir. Bu bulgu, kurumsal kalite düzeyindeki artışların her durumda çevresel iyileşmeyle eş zamanlı gerçekleşmeyebileceğini; özellikle yükselen ekonomilerde kurumsal yapıların çevresel politikaları etkin biçimde yönlendirmede kısa ve orta vadede sınırlı kalabildiğini göstermektedir. Sonuçlar, kurumsal kalite göstergesinin çevresel sonuçlar üzerindeki etkilerinin ülke ve bağlam özelinde değerlendirilmesi gerektiğini vurgulayan Abid (2016) çalışmasıyla uyumludur. Bununla birlikte, kurumsal kalitenin çevresel bozulmayı azaltıcı yönde etkili olduğunu ortaya koyan Yang vd. (2023), Huang vd. (2024), Almulhim vd. (2025) ve Hamrouni vd. (2025) çalışmaları, elde edilen bulgudan farklı sonuçlara ulaşmaktadır. Bu farklılık, kurumsal kalitenin çevresel etkilerinin ülke grubu, dönem ve kullanılan çevresel göstergelere bağlı olarak değişebileceğine işaret etmektedir.

Genel olarak elde edilen bulgular, çevresel bozulmanın tek bir gösterge ile açıklanmasının yetersiz kaldığını; kullanılan çevresel göstergenin, değişkenlerin ilişki yönü ve büyüklüğü üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçların bazıları literatürdeki bulgularla örtüşürken, bazıları ise farklı yönlerde sonuçlara ulaşan çalışmalarla ayrılmaktadır. Örneğin, enerji kullanımının lnSDG13_CO₂ ve lnEFP üzerindeki artırıcı etkisi, enerji tüketiminin çevresel bozulmayı artırdığını ortaya koyan Sadorsky (2014), Pao ve Tsai (2010) ve Acheampong vd. (2021) çalışmalarıyla uyumluyken, CI_GDP üzerindeki azaltıcı etkisi enerji yoğunluğunun karbon yoğunluğunu artırdığını belirleyen Tudor vd. (2023) çalışmasından farklılaşmaktadır. Benzer şekilde, ekonomik büyümenin yalnızca CI_GDP üzerinde anlamlı olması, büyüme–çevre ilişkisinin kullanılan göstergelere göre farklılaşabileceğini ortaya koyan literatürle uyumlu olmakla birlikte, büyümenin CO₂ emisyonlarını artırdığını bulan Wang vd. (2025) ve ekonomik büyümenin çevresel baskıyı artırdığını gösteren bazı çalışmaların sonuçlarından ayrılmaktadır. Bu yönüyle çalışma, literatürde genellikle tek bir çevresel göstergelere odaklanan analizlerden ayrılmakta ve BRICS-T ülkeleri için çok boyutlu ve karşılaştırmalı bir çevresel değerlendirme sunmaktadır. Ayrıca enerji kullanımı, ticaret ve kurumsal faktörlerin çevresel etkilerinin aynı ampirik çerçevede birlikte ele alınması, çalışmanın literatüre özgün ve tamamlayıcı katkısını oluşturmaktadır.

6. Çalışmanın Sınırlılıkları ve Gelecek Araştırmalar İçin Öneriler

Bu çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. İlk olarak, analiz 2010–2020 dönemiyle sınırlandırılmıştır. Görece kısa bir dönemin kullanılması, özellikle BRICS-T ülkelerinden oluşan sınırlı bir örnekleme toplam gözlem sayısının düşük kalmasına yol açmakta ve bulguların genellenebilirliğini sınırlandırabilmektedir. Gelecek çalışmalarda daha uzun dönemlerin incelenmesi, çevresel göstergeler ile ekonomik ve kurumsal değişkenler arasındaki ilişkilerin daha kapsamlı biçimde değerlendirilmesini sağlayabilir.

İkinci olarak, analiz yalnızca BRICS-T ülkelerini kapsamaktadır. Farklı ülke gruplarını ve gelişmişlik düzeylerini kapsayan daha geniş ve heterojen örneklemle yapılacak çalışmalar, bulguların ülkeler ve gelişmişlik düzeyleri bakımından karşılaştırılabilirliğini ve genellenebilirliğini artırabilir.

Üçüncü olarak, çalışmada çevresel bozulmanın belirleyicileri enerji kullanımı, ekonomik büyüme, ticari açıklık ve düzenleyici kurumsal kapasiteyle sınırlandırılmıştır. Gelecek çalışmalarda teknolojik yenilik, yeşil finansman, enerji dönüşümü ve sektörel enerji kullanımı gibi değişkenlerin modele dâhil edilmesi, çevresel bozulmanın altında yatan mekanizmaların daha ayrıntılı biçimde incelenmesine katkı sağlayabilir.

Ayrıca analiz, doğrusal panel veri modellerine dayanmaktadır. Bununla birlikte literatürde, çevresel bozulma ile ekonomik değişkenler arasındaki ilişkilerin doğrusal olmayan, eşik etkileri içeren veya asimetric yapılar sergileyebileceğini gösteren bulgular bulunmaktadır. Bu nedenle gelecek çalışmalarda doğrusal olmayan panel veri

yöntemlerinin, asimetrik modellerin veya dinamik eşik modellerinin kullanılması, söz konusu ilişkilerin farklı boyutlarının ortaya konulmasını sağlayabilir.

Son olarak, çalışmada kullanılan çevresel göstergeler makro düzeydedir ve mikro ya da sektörel düzeydeki çevresel etkileri doğrudan yansıtmamaktadır. Sektör, firma veya bölge düzeyinde yapılacak analizler, çevre politikalarının etkinliğinin ve dağılımsal etkilerinin daha ayrıntılı biçimde değerlendirilmesine katkıda bulunabilir.

Kaynakça

- Abid, M. (2016). Impact of economic, financial, and institutional factors on CO₂ emissions: Evidence from Sub-Saharan Africa. *Utilities Policy*, 41, 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2016.06.009>
- Acheampong, A. O., Dzator, J., ve Savage, D. A. (2021). Renewable energy, CO₂ emissions and economic growth in sub-Saharan Africa: Does institutional quality matter? *Journal of Policy Modeling*, 43(5), 1070–1093. <https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2021.03.011>
- Adebayo, T. S., Pata, U. K., ve Akadiri, S. S. (2024). A comparison of CO₂ emissions, load capacity factor, and ecological footprint for Thailand's environmental sustainability. *Environment, Development and Sustainability*, 26, 2203–2223. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02810-9>
- Ahmed, Z., Wang, Z., Mahmood, F., Hafeez, M., ve Ali, N. (2019). Does globalization increase the ecological footprint? Empirical evidence from Malaysia. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(18), 18565–18582. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05224-9>
- Akpanke, T. A., Deka, A., Ozdeser, H., ve Seraj, M. (2024). Ecological footprint in the OECD countries: Do energy efficiency and renewable energy matter? *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 15289–15301. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32151-1>
- Allard, A., Takman, J., Uddin, G. S., ve Shahbaz, M. (2018). The N-shaped environmental Kuznets curve: An empirical evaluation using a panel quantile regression approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 5848–5861. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0907-0>
- Almulhim, A. A., Inuwa, N., Chaouachi, M., ve Samour, A. (2025). Testing the impact of renewable energy and institutional quality on consumption-based CO₂ emissions: Fresh insights from MMQR approach. *Sustainability*, 17(2), 704. <https://doi.org/10.3390/su17020704>
- Antweiler, W., Copeland, B. R., ve Taylor, M. S. (2001). Is free trade good for the environment? *American Economic Review*, 91(4), 877–908. <https://doi.org/10.1257/aer.91.4.877>
- Audi, M., Poulin, M., Ahmad, K., ve Ali, A. (2025). Modeling disaggregate globalization to carbon emissions in BRICS: A panel quantile regression analysis. *Sustainability*, 17(6), 2638. <https://doi.org/10.3390/su17062638>
- Aykırı, M. (2026). The Impact of Economic Growth and Environmental Indicators on Carbon Intensity: Evidence from Türkiye. *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 17(33), 158-180. <https://doi.org/10.36543/kauibfd.2026.008>
- Azimi, M. N., ve Rahman, M. M. (2023). Impact of institutional quality on ecological footprint: New insights from G20 countries. *Journal of Cleaner Production*, 423, 138670. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138670>
- Bakri, M. A., Chia, Y.-E., ve Chia, R. C.-J. (2025). Trade openness and carbon emissions using threshold approach: evidence from selected Asian countries. *Carbon Research*, 4, Article 47. <https://doi.org/10.1007/s44246-025-00211-x>
- Balsalobre-Lorente, D., Shahbaz, M., Roubaud, D., ve Farhani, S. (2018). How economic growth, renewable electricity and natural resources contribute to CO₂ emissions? *Energy Policy*, 113, 356–367. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.10.050>
- Ben Youssef, A., ve Dahmani, M. (2024). Assessing the impact of digitalization, tax revenues, and energy resource capacity on environmental quality: Fresh evidence from CS-ARDL in the EKC framework. *Sustainability*, 16(2), 474. <https://doi.org/10.3390/su16020474>
- Bin Mohamad, A. H. H., ve Ab-Rahim, R. (2024). Do the various sources of energy consumption affect the environmental degradation in India?. *International Journal of Renewable Energy Development*, 13(2), 168-178. <https://doi.org/10.61435/ijred.2024.55836>
-

- Charfeddine, L., ve Kahia, M. (2019). Impact of renewable energy consumption and financial development on CO2 emissions and economic growth in the MENA region: a panel vector autoregressive (PVAR) analysis. *Renewable energy*, 139, 198-213. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.010>
- Chen, C., Pinar, M., ve Stengos, T. (2022). Renewable energy and CO2 emissions: New evidence with the panel threshold model. *Renewable Energy*, 194, 117–128. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.05.095>
- Clark, B., ve York, R. (2005). Carbon metabolism: Global capitalism, climate change, and the biospheric rift. *Theory and Society*, 34(4), 391–428. <https://doi.org/10.1007/s11186-005-1993-4>
- Daghabagi, H., Hasni, R., ve Ouerghi, I. (2025). The moderating effect of institutional quality on the relationship between structural change and CO₂ emissions in emerging economies. *Ecological Indicators*, 100817. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100817>
- Destek, M. A., ve Sinha, A. (2020). Renewable, non-renewable energy consumption, economic growth, trade openness and ecological footprint: Evidence from organisation for economic Co-operation and development countries. *Journal of cleaner production*, 242, 118537. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118537>
- Dietz, T., Rosa, E. A., ve York, R. (2007). Driving the human ecological footprint. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(1), 13-18. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[13:DTHEF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[13:DTHEF]2.0.CO;2)
- Dietz, T., ve Rosa, E. A. (1997). Effects of population and affluence on CO2 emissions. *Proceedings of the national academy of sciences*, 94(1), 175-179. <https://doi.org/10.1073/pnas.94.1.175>
- Dinçer, S., & Akın, F. (2026). Türkiye’de Karbon Yoğunluğunun Azaltılmasında Dijitalleşme, Finansal Gelişme, Ticaret Açıklığı ve Ekonomik Büyümenin Rolü. *BİLTÜRK Journal of Economics and Related Studies*, 8, 259-276. <https://doi.org/10.47103/bilturk.1986137>
- Driscoll, J. C., & Kraay, A. C. (1998). Consistent covariance matrix estimation with spatially dependent panel data. *Review of Economics and Statistics*, 80(4), 549–560. <https://doi.org/10.1162/003465398557825>
- Durgun, B. (2025). Karbon Yoğunluğunu Azaltmada Gelir Eşitsizliğinin Asimetrik Etkisi: Kurumsal Kalite Önemli mi?. *Fiscaoeconomia*, 9(1), 656-685. <https://doi.org/10.25295/fsecon.1569931>
- Erkılıç, E., Gazeloğlu, C., ve Özgören Ünlü, E. (2025). Renewable energy solution to carbon emissions: BRICS countries in the grip of globalization and economic growth. *Sustainability*, 17(9), 4117. <https://doi.org/10.3390/su17094117>
- Ertan, İ. B., & Şarkgüneşi, A. (2025). Gayrisafı yurt içi hasılanın karbon yoğunluğu, ticari küreselleşme ve yeşil ticari açıklık ilişkisi: AB ve Türkiye için panel nedensellik analizi. *Trakya Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi E-Dergi*, 14(2), 100-111. <https://doi.org/10.47934/tefeas.14.02.02>
- Faizi, A., Ak, M. Z., Alsabhan, T. H., Shahzad, M. R., Alshagri, R., & Khan, S. (2025). Evaluating the role of renewable energy natural resources and globalization in environmental quality in OIC countries. *Scientific Reports*, 15(1), 33496. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-16872-y>
- Gayen, D., Chatterjee, R., ve Roy, S. (2024). A review on environmental impacts of renewable energy for sustainable development. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 21(1–2). <https://doi.org/10.1007/s13762-023-05380-z>
- González-Álvarez, M. A., ve Montañés, A. (2023). CO₂ emissions, energy consumption, and economic growth: Determining the stability of the 3E relationship. *Economic Modelling*, 120, 106195. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2023.106195>
- Grossman, G. M., ve Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. *Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353–377. <https://doi.org/10.2307/2118443>
- Huang, J., Berhe, M. W., Dossou, T. A. M., & Pan, X. M. (2022). The heterogeneous impacts of Sino-African trade relations on carbon intensity in Africa. *Journal of Environmental Management*, 316, 115233. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115233>
- Huang, Y., Rahman, S. U., Meo, M. S., Sibte-E. Ali, M., ve Khan, S. (2024). Revisiting the environmental Kuznets curve: Assessing the impact of climate policy uncertainty in the Belt and Road Initiative. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(36), 10579–10593. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31471-y>
- Ilyas, M., Mu, Z., Akhtar, S., Hassan, H., Shahzad, K., Aslam, B., ve Maqsood, S. (2024). Renewable energy, economic development, energy consumption and its impact on environmental quality: New evidence from South East Asian countries. *Renewable Energy*, 223, 119961. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.119961>

- Issa, S. S., Tabash, M. I., Ahmed, A., Riyadh, H. A., Alnahhal, M., ve Varma, M. (2024). Investigating the relationship between energy consumption and environmental degradation with the moderating influence of technological innovation. *Journal of Risk and Financial Management*, 17(9), 419. <https://doi.org/10.3390/jrfm17090419>
- Józwik, B., Kyophilavong, P., Dash, A. K., ve Gavryshkiv, A. V. (2022). Revisiting the Environmental Kuznets Curve hypothesis in South Asian countries: The role of energy consumption and trade openness. *Energies*, 15(22), 8709. <https://doi.org/10.3390/en15228709>
- Kendir, E., ve Yakışık, H. (2025). Yenilenebilir Enerji Yatırımlarının Ekolojik Ayak İzine Etkisi: BRICS-T Ülkeleri Örneği. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 14(1), 540-557. <https://doi.org/10.15869/itobiad.1615883>
- Khan, A., Sampene, A. K., ve Ali, S. (2023). Towards environmental degradation mitigation: The role of regulatory quality, technological innovation and government effectiveness in the CEMAC countries. *Heliyon*, 9(6), e17029. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17029>
- Khan, H., Liu, W., ve Khan, I. (2022). Environmental innovation, trade openness and quality institutions: An integrated investigation about environmental sustainability. *Environment, Development and Sustainability*, 24(3), 3832–3862. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01590-y>
- Laurent, A., Olsen, S. I., ve Hauschild, M. Z. (2012). Limitations of carbon footprint as indicator of environmental sustainability. *Environmental Science ve Technology*, 46(7), 4100–4108. <https://doi.org/10.1021/es204163f>
- Li, H., Sibte-e-Ali, M., Ayub, B., ve Ullah, I. (2023). Analysing the impact of geopolitical risk and economic policy uncertainty on environmental sustainability: Evidence from BRICS countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(34), 53565–53578. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26553-w>
- Narayan, P. K., ve Narayan, S. (2010). Carbon dioxide emissions and economic growth: Panel data evidence from developing countries. *Energy Policy*, 38(1), 661–666. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.005>
- Nathaniel, S., Nwodo, O., Sharma, G., ve Shah, M. (2020). Renewable energy, urbanization, and ecological footprint linkage in CIVETS. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(16), 19616-19629. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08466-0>
- Odei, S. A., Dunyo, S. K., ve Anderson, H. J. (2025). Research and development, economic growth, CO₂ emissions and environmental Kuznets curve. *Sustainable Futures*, 9, 100541. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.100541>
- Öztürk, İ., ve Acaravcı, A. (2010). CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 3220–3225. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.005>
- Pao, H.-T., ve Tsai, C.-M. (2010). CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in BRIC countries. *Energy Policy*, 38(12), 7850–7860. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.08.045>
- Pata, U. K. (2021). Linking renewable energy, globalization, agriculture, CO₂ emissions and ecological footprint in BRIC countries. *Renewable Energy*, 173, 197–208. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.03.125>
- Pham, D. T., ve 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>
- Rahman, M. M., ve Alam, K. (2022). CO₂ emissions in Asia-Pacific region: Do energy use, economic growth, financial development, and international trade have detrimental effects? *Sustainability*, 14(9), 5420. <https://doi.org/10.3390/su14095420>
- Ritchie, H. (2025). Resource use matters, but material footprints are a poor way to measure it. Published online at OurWorldinData.org. Retrieved from <https://archive.ourworldindata.org/20251125-173858/material-footprint-limitations.html>
- Sadorsky, P. (2014). The effect of urbanization on CO₂ emissions in emerging economies. *Energy Economics*, 41, 147–153. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.11.007>
- Shahbaz, M., Sharma, R., Sinha, A., ve Jiao, Z. (2021). Analyzing nonlinear impact of economic growth drivers on CO₂ emissions: Designing an SDG framework for India. *Energy Policy*, 148, 111965. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111965>
- 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>
-

- Tudor, C. D., Horobet, A., Mnohoghiței, I., Sova, R., & Belascu, L. (2023). Decarbonization through carbon intensity mitigation: evidence from global and income-based panels. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 36(3). <https://doi.org/10.1080/1331677X.2023.2188420>
- Wang, Q., Li, Y., ve Li, R. (2024a). Ecological footprints, carbon emissions, and energy transitions: The impact of artificial intelligence (AI). *Humanities and Social Sciences Communications*, 11(1), Article 1043. <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03520-5>
- Wang, Q., Wang, X., Li, R., Zhang, Y., Chen, L., ve Liu, H. (2024b). Reinvestigating the environmental Kuznets curve (EKC) of carbon emissions and ecological footprint in 147 countries: A matter of trade protectionism. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11, Article 160. <https://doi.org/10.1057/s41599-024-02639-9>
- Wang, X., Bilal, R., ve Rehman, J. U. (2025). Economic development and carbon emissions across world regions: Exploring heterogeneous drivers. *Journal of Environmental Management*, 396, 128048. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.128048>
- Yang, J.-H., Huang, H., Sanyal, S., Khan, S., Alam, M. M., ve Murshed, M. (2023). Heterogeneous effects of energy productivity improvement on consumption-based carbon footprints in developed and developing countries: The relevance of improving institutional quality. *Gondwana Research*, 124, 61–76. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.06.013>
- York, R., Rosa, E. A., ve Dietz, T. (2003). STIRPAT, IPAT and ImPACT: Analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts. *Ecological Economics*, 46(3), 351–365. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00188-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00188-5)
- Zafar, M. W., Saud, S., ve Hou, F. (2019). The impact of globalization and financial development on environmental quality: evidence from selected countries in the Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). *Environmental science and pollution research*, 26(13), 13246-13262. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04761-7>
<https://data.worldbank.org>
<https://www.footprintnetwork.org/>

EXTENDED SUMMARY

Purpose

This study examines the relationship between energy consumption, economic growth, trade openness, institutional quality, and environmental degradation in BRICS-T countries (Brazil, China, India, Russia, South Africa, and Türkiye) over the period 2010–2020. It investigates whether carbon dioxide emissions alone adequately represent environmental degradation and whether the relationships vary across three indicators: per capita CO₂ emissions (lnSDG13_CO₂), ecological footprint (lnEFP), and carbon intensity of GDP (CI_GDP).

Methodology

The study uses a balanced panel dataset comprising 66 country-year observations. Separate panel regression models are estimated for the three environmental indicators. The Hausman test guides model selection, indicating random-effects models for lnSDG13_CO₂ and CI_GDP and a fixed-effects model for lnEFP. Diagnostic tests assess multicollinearity, heteroskedasticity, autocorrelation, and cross-sectional dependence. The final estimations use Driscoll–Kraay standard errors to account for the detected violations of standard error assumptions.

Findings

The results differ across the three environmental indicators. Energy consumption is positively associated with CO₂ emissions and ecological footprint but negatively associated with carbon intensity. Carbon intensity is positively associated with CO₂ emissions and has no statistically significant relationship with ecological footprint. Economic growth has a statistically significant positive relationship only with carbon intensity. Trade openness is negatively associated with ecological footprint and positively associated with carbon intensity. Institutional quality is positively associated only with CO₂ emissions. These differences show that the choice of environmental indicator affects the conclusions drawn about economic and institutional factors.

Conclusions

Environmental degradation in BRICS-T countries has multiple dimensions, and a single indicator does not capture all the relationships examined in this study. The findings support assessing emissions, ecological footprint, and carbon intensity together when evaluating environmental sustainability. They also point to the relevance of energy efficiency, low-carbon structural transformation, and effective implementation of environmental policies.

Originality and Value

The study contributes a comparative assessment of environmental degradation in BRICS-T countries by examining CO₂ emissions, ecological footprint, and carbon intensity within the same country and time framework. This approach distinguishes emissions-based, consumption-based, and structural dimensions of environmental pressure and shows how conclusions vary with the indicator used. The findings provide a basis for more targeted environmental and economic policies.

YAZARLARIN BEYANI / DECLARATION OF THE AUTHORS

Katkı Oranı Beyanı	☐ Yazar, çalışmanın tümüne tek başına katkı sağlamıştır. ☒ Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağlamıştır. ☐ Çalışmaya birinci yazar %XX oranında, ikinci yazar %XX oranında, üçüncü yazar %XX oranında katkı sağlamıştır.
Declaration of Contribution Rate	☐ The author contributes the study on his/her own. ☒ The authors have equal contributions. ☐ The first author contributes XX%, the second author contributes XX%, the third author contributes XX%.
Çatışma Beyanı	☒ Çalışmada herhangi bir potansiyel çıkar çatışması söz konusu değildir. ☐ Yazarlar, çalışmadan XXX (firma, kurumu, kişinin) etkilenebileceğini ve ortaya çıkacak çıkar çatışması durumunu yönetmek için onaylanmış bir planının olduğunu beyan etmektedir.
Declaration of Conflict	☒ There is no potential conflict of interest in the study. ☐ Authors declare that XXX (firm, institution, person) may be affected from the study and in case of a conflict of interest they have a confirmed plan in order to administer the case.
Yayın Etiği Beyanı	☒ Çalışmada etik dışı bir husus bulunmadığını, araştırma ve yayın etiğine özenle uyulduğunu beyan ederiz. ☒ Bu çalışma, etik kurul belgesi gerektiren bir çalışma değildir. ☐ Bu çalışma için _____ Üniversitesi, Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulundan ____/____/____ tarih ve _____ sayılı kararı ile etik kurul onayı alınmıştır.
Declaration of Publication Ethics	☒ We hereby declare that the study has not unethical issues and that research and publication ethics have been observed carefully. ☒ This study does not require ethics committee approval. ☐ Ethical approval for this study was obtained from the Scientific Research and Publication Ethics Committee of _____ University with decision number _____ dated ____/____/____.
Üretken Yapay Zekâ Kullanım Beyanı	☒ Bu çalışmanın hiçbir aşamasında üretken yapay zekâ araçlarından faydalanılmamıştır. ☐ Bu çalışmanın hazırlanması sırasında yazar(lar), [NEDEN] amacıyla [ARAÇ/HİZMET ADI] kullanmıştır. Bu araç/hizmeti kullandıktan sonra, yazar(lar) içeriği gerektiği şekilde gözden geçirip düzenlemiş ve yayınlanan makalenin içeriği konusunda tüm sorumluluğu üstlenmiştir.
Declaration of Generative AI Use	☒ No generative artificial intelligence tools were used at any stage of this study. ☐ During the preparation of this study the author(s) used [NAME OF TOOL / SERVICE] in order to [REASON]. After using this tool/service, the author(s) reviewed and edited the content as needed and take(s) full responsibility for the content of the published article.
Destek ve Teşekkür Beyanı	☒ Çalışmada herhangi bir kurum ya da kuruluştan mali destek alınmamıştır. ☐ Bu çalışma, X Projesi (Proje No: XXXXXX) tarafından desteklenmektedir. ☐ Diğer (Belirtiniz)
Declaration of Support and Acknowledgments	☒ No financial support is taken from any institution or organization. ☐ The study is supported by X Project (Project No: XXXXX). ☐ Others (Specify)