

Araştırma Makalesi / Research Article

BRICS-T Ülkelerinde CO₂ Emisyonlarının Belirleyicileri: 2000–2022
Dönemi Panel Veri Analizi*Determinants of CO₂ Emissions in BRICS-T Countries: A Panel Data Analysis
for the Period 2000–2022*Koray UYGUR¹  & Ebru TOPCU² DOI : [10.63556/ankad.v10i2.355](https://doi.org/10.63556/ankad.v10i2.355)

Geliş/Received: 20/10/2025

Kabul/Accepted: 22/02/2026

Öz

Fosil yakıtların çevresel tahribat üzerinde önemli olumsuz etkileri bulunmaktadır. Fosil yakıtların yanması sonucunda karbondioksit miktarının artması çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bunun yanında kentleşme ve doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonları üzerine etkileri konusunda farklı görüş ve teorileri bulunmaktadır. Kentleşmenin çevre üzerindeki etkileri kent çevre geçiş teorisi ve kompakt kent teorisi ile açıklanırken, doğrudan yabancı yatırımların çevre üzerindeki etkileri ise kirlilik halesi hipotezi ile kirlilik cenneti hipotezi tarafından açıklanmaktadır. Bu çalışmanın amacı, 2000-2022 yılları arasında BRICS-T ülkelerinde kentleşme, doğrudan yabancı yatırımlar ve enerji tüketiminin CO₂ emisyonları üzerine etkilerinin incelenmesidir. Söz konusu bu altı ülke küresel ölçekteki karbon salınımının önemli bir miktarını açığa çıkarmaktadır. Yöntem olarak sabit etkili Driscoll-Kraay Standart Hatalar tahmincisi kullanılmıştır. Sonuç olarak doğrudan yabancı yatırımlar, kentleşme ve enerji tüketiminin CO₂ emisyonlarını pozitif etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Doğrudan yabancı yatırımlardaki bir birimlik artış CO₂ emisyonlarını 0.03 birim, kentleşmede meydana gelen bir birimlik artış CO₂ emisyonlarını 0.76 birim ve son olarak enerji tüketimindeki bir birimlik artış CO₂ emisyonlarını 0.10 birim artırmıştır.

Anahtar Kelimeler: Doğrudan Yabancı Yatırımlar, Kentleşme, CO₂ Emisyonu, Driscoll-Kraay Standart Hatalar Tahmincisi, Enerji Tüketimi

Abstract

Fossil fuels have significant negative impacts on environmental degradation. The combustion of fossil fuels increases carbon dioxide levels, contributing to environmental pollution. Additionally, there are varying perspectives and theories regarding the effects of urbanization and foreign direct investment (FDI) on CO₂ emissions. While the environmental impacts of urbanization are explained through the urban environmental transition theory and compact city theory, the effects of FDI on the environment are addressed by the pollution haven hypothesis and pollution halo hypothesis. This study aims to investigate the impacts of urbanization, FDI, and energy consumption on CO₂ emissions in BRICS-T countries over the period 2000–2022. These six countries account for a substantial share of global carbon emissions. As a methodological approach, the study employed a fixed effects estimator with Driscoll–Kraay standard errors. The results indicate that foreign direct investment, urbanization, and energy consumption exert positive effects on CO₂ emissions. Specifically, a one-unit increase in foreign

¹ Sorumlu Yazar/Corresponding Author, Dr. Öğr. Üyesi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, İktisat Teorisi, Nevşehir, Türkiye. E-posta: korayuygur75@gmail.com

² Doç. Dr., Alaaddin Keykubat Üniversitesi, İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret Bölümü, Uluslararası Ticaret, Alanya, Türkiye. E-posta: ebru.topcu@alanya.edu.tr

Önerilen Atf/Suggestion Citation

Uygur, K. & Topcu, E., (2026). BRICS-T Ülkelerinde CO₂ Emisyonlarının Belirleyicileri: 2000–2022 Dönemi Panel Veri Analizi. *Anadolu Kültürel Araştırmalar Dergisi*, 10(2), 892-907.

direct investment raises CO₂ emissions by 0.03 units, while a one-unit increase in urbanization leads to a 0.76-unit increase in CO₂ emissions. Finally, a one-unit increase in energy consumption is associated with a 0.10-unit rise in CO₂ emissions.

Keywords: *Foreign Direct Investment, Urbanization, CO₂ Emissions, Driscoll-Kraay Standard Errors Estimator, Energy Consumption*

GİRİŞ

Küresel ölçekte artan karbondioksit (CO₂) emisyonları, günümüz iklim değişikliğinin temel nedenlerinden biri olarak kabul edilmekte ve sürdürülebilir kalkınma açısından ciddi tehditler oluşturmaktadır. BRICS ülkelerinde sürdürülebilir ve hızlı ekonomik büyümenin yanı sıra hız kazanan kentleşme süreci, enerji talebinde sürekli bir artışa yol açmakta, sanayi yapılarındaki dönüşüm ise bu artışı desteklemektedir. Bu gelişmeler doğrultusunda CO₂ emisyonlarında artış eğilimi gözlemlenmektedir (Wang ve Guo, 2025). Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika'dan oluşan BRICS ülkeleri, hızlı ekonomik büyüme ve sanayileşme süreçleri nedeniyle küresel CO₂ emisyonlarındaki artışa önemli ölçüde katkı sağlamaktadır (Erkılıç, Gazeloğlu ve Özgören Ünlü, 2025). Bu ülkeler, artan enerji talebini karşılamaya çalışırken, karbon emisyonlarını azaltma zorunluluğu ile ekonomik büyümeyi sürdürme çabası arasında karmaşık bir denge kurma süreciyle karşı karşıyadır. Bu durum, çevresel sürdürülebilirlik ile ekonomik kalkınma arasında uyumlu bir stratejinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır (Mehta ve Shah, 2024). Bu bağlamda, BRICS ülkelerine Türkiye'nin de dahil edildiği BRICS-T ülkelerinde emisyonların belirleyicilerini analiz etmek, etkin çevre politikalarının tasarlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Türkiye, hızlı kentleşme, artan enerji talebi ve çevresel sürdürülebilirlik ile kalkınma arasında denge kurma çabası bakımından BRICS ülkeleriyle yapısal benzerlikler göstermektedir.

BRICS ülkeleri ve Türkiye'nin küresel CO₂ emisyonlarındaki payını ve bu ülkelerin emisyon düzeylerini birlikte değerlendirmek, çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir perspektif sunmaktadır. 2022 yılına ait küresel CO₂ emisyon verilerine göre, fosil yakıtlar ve sanayi kaynaklı toplam emisyon miktarı 37,29 milyar ton olarak gerçekleşmiştir. Bu emisyonların en büyük payı 11,35 milyar ton ile Çin'e aittir. Bu miktar küresel emisyonların yaklaşık %30,4'ünü oluşturmaktadır. Hindistan 2,83 milyar ton (%7,6), Rusya ise 1,8 milyar ton (%4,8) emisyonla sıralamayı takip etmektedir. Brezilya (483,84 milyon ton, %1,3), Türkiye (437,31 milyon ton, %1,2) ve Güney Afrika (405,31 milyon ton, %1,1) ise toplamda daha düşük emisyon seviyelerine sahip olmakla birlikte, bölgesel çevresel etkileri açısından dikkat çekicidir. Bu altı ülkenin toplam CO₂ emisyonu yaklaşık 16,3 milyar tondur. Bu miktar dünya genelindeki emisyonların %43,7'sine karşılık gelmektedir (Global Carbon Budget, 2024).

Literatürde yaygın olarak kabul edildiği üzere, CO₂ emisyonlarını etkileyen başlıca faktörler arasında kentleşme, doğrudan yabancı yatırımlar ve fosil yakıtlara dayalı enerji tüketimi de yer almaktadır. Kentleşme, genellikle çevresel kalitenin bozulmasıyla, özellikle de karbondioksit emisyonları aracılığıyla doğrudan ilişkilendirilmektedir. Kentleşmeyle birlikte gelir düzeyinin ve sanayi faaliyetlerinin artması, karbon salınımını artırmaktadır (Acharya ve Acharya, 2023). Bununla birlikte, kentleşmenin çevre üzerindeki etkisine yönelik, ampirik ve teorik bir görüş birliği bulunmamaktadır. Kentleşmenin çevre üzerindeki etkisi kent çevresel geçiş teorisi ve kompakt kent teorisi çerçevesinde iki farklı bakış açısı aracılığıyla ele alınabilmektedir. Kent çevresel geçiş teorisi, kentsel gelişim sürecinde çevresel koşulların nasıl değiştiğini açıklamaktadır. Diğer bir ifadeyle, bu teori kentler zenginleştikçe çevresel yüklerin niteliğinde meydana gelen değişimlere odaklanmaktadır. Sanayileşme ile birlikte kentler ekonomik olarak büyümekle birlikte, bu durum atmosferik kirliliğin artmasına yol açmaktadır. Servet birikimi sürecinde çevresel sorunlar daha dağınık, ertelenmiş ve nitelik açısından dönüşüme uğramış bir hale gelmektedir. Düşük gelirli kentlerde çevresel sorunlar genellikle yerel, acil müdahale gerektiren ve insan sağlığını doğrudan tehdit eden nitelikteyken; yüksek gelirli kentlerde çevresel yükler daha çok küresel düzeyde, kuşaklar arası gecikmeyle ortaya çıkan ve ekosistem bütünlüğünü tehdit eden sorunlar olarak kendini göstermektedir. Refah düzeyi yükselen kentli nüfus, enerji yoğun ürün ve hizmetlere olan talebi artırarak çevresel baskıyı artırabilmektedir. Buna karşılık, çevre bilinci oluşturmaya yönelik farkındalık kampanyaları ve sıkı çevre düzenlemeleri, bireyleri çevre dostu teknolojilere yönlendirebilmektedir. Bu nedenle artan refahın çevresel etkiler üzerinde olumlu mu

yoksa olumsuz mu sonuç doğuracağı kesin olarak belirlenememektedir (Marcotullio ve Lee, 2003; Shahbaz vd., 2015). Öte yandan, kompakt kent teorisi, yüksek nüfus yoğunluğunun ölçek ekonomilerinden yararlanılarak çevresel zararların azaltılmasına katkı sağlayabileceğini öne sürmekte ve planlı kentleşmenin çevre üzerindeki olumsuz etkilerini sınırlayabileceğini savunmaktadır (Shahbaz vd., 2015). Genel olarak kompakt kent teorisi, uygun planlama ve gelişim süreçleriyle birlikte mekansal yoğunlaşmanın sunduğu çevresel, ekonomik ve sosyal avantajlardan yararlanmakta ve bu avantajları etkin bir şekilde kullanmaktadır (Bibri vd., 2020).

Emisyon düzeylerini etkileyen bir diğer önemli unsur, doğrudan yabancı yatırımlardır. Doğrudan yabancı yatırımların çevresel etkilerine ilişkin akademik literatürde kirlilik cenneti hipotezi ve kirlilik halesi hipotezi olmak üzere iki temel hipotez öne çıkmaktadır. Kirlilik cenneti hipotezi, yabancı yatırımların ev sahibi ülkelerde çevresel bozulmaya neden olduğunu savunmaktadır. Bu yaklaşıma göre, çevre açısından yoğun kirlilik yaratan sektörlerde faaliyet gösteren işletmeler, çevre standartlarının görece düşük olduğu ülkelere yönelme eğilimindedir. Bir diğer ifadeyle, doğrudan yabancı yatırımlar, ev sahibi ülkelere daha yüksek düzeyde kirlilik ve emisyon üreten sanayi kollarını da beraberinde getirebilmektedir. Bu sanayiler, yatırımcının kendi ülkesindeki çevre standartlarına ve düzenlemelerine aynı düzeyde uymayabilmektedir. Bu durum, kirlilik düzeylerinin artmasına yol açmaktadır (Huang vd., 2022; Wang vd., 2023; Boateng, vd., 2024). Kirlilik halesi hipotezi ise, doğrudan yabancı yatırımların, ev sahibi ülkelere gelişmiş üretim teknolojileri, modern yönetim uygulamaları ve çevre dostu çözümler taşıdığını savunmaktadır. Bu yaklaşım, çok uluslu şirketlerin çevre kirliliğini azaltmaya yönelik teknolojiler, yenilenebilir enerji sistemleri ve enerji verimliliği sağlayan uygulamalar gibi daha yeşil teknolojileri ev sahibi ülkelere aktardığını ve bu sayede çevresel koşulların iyileştirilmesine katkı sağladığını öne sürmektedir (Duan ve Jiang, 2021; Bagadeem vd., 2024). Ayrıca, bu şirketlerin uluslararası çevre standartlarına uyum doğrultusunda yeni üretim süreçleri ve yönetim becerilerini de ev sahibi ülkelere entegre ettikleri, dolayısıyla karbon emisyonlarının azaltılmasına katkıda buldukları ileri sürülmektedir (Mert ve Çağlar, 2020).

Enerji tüketimi de emisyon düzeylerinin belirlenmesinde kilit rol oynamaktadır. Enerji, insan yaşamının maddi temeli ve toplumsal gelişmenin vazgeçilmez bir unsurudur. Fosil enerji kaynakları, son yüzyılda dünya sanayisinin gelişmesinde temel itici gücü olmakla birlikte, beraberinde yoğun sera gazı emisyonlarına yol açarak küresel ısınma ve ciddi çevresel tahribatlara neden olmuştur (Dingbang vd., 2021). Fosil yakıt temelli enerji tüketimi ise doğrudan CO₂ salımına neden olduğundan, bu tür enerjiye bağımlı ekonomilerde emisyon düzeyleri genellikle daha yüksektir.

BRICS ülkelerine odaklanan ampirik çalışmalar, araştırma ve geliştirme harcamaları, kentleşme oranı, enerji tüketimi (fosil ve yenilenebilir), ekonomik büyüme, gelir dağılımı, yönetim göstergeleri, ticari açıklık ve tarımsal faaliyetler gibi çok sayıda değişkeni ele almış; bu değişkenlerin CO₂ emisyonları üzerindeki etkilerini farklı yöntemler kullanarak incelemiştir (bknz. Dong vd., 2017; Liu vd., 2020; Wang ve Zang, 2020; Pao ve Tsai, 2011; Haseeb vd., 2017; Rafique vd., 2020; Rahman vd., 2021; Balsalobre-Lorente, vd., 2022; Somoye ve Akinwande, 2023; Uddin vd., 2023; Chhabra vd., 2023; Apergis vd., 2023; Türk ve Barışık, 2024; Wang ve Guo, 2025; Fan vd., 2025)³. CO₂ emisyonlarının belirleyicilerine ilişkin literatür, kentleşme, doğrudan yabancı yatırımlar ve enerji tüketiminin çevresel baskılar üzerinde önemli rol oynadığını ortaya koymakla birlikte, bu değişkenlerin etkilerinin yönü ve büyüklüğü konusunda tam bir görüş birliği bulunmadığını göstermektedir. Mevcut literatürde BRICS ülkelerine ilişkin çalışmaların önemli bir bölümü, söz konusu değişkenleri ya tek tek ele almakta ya da geniş kontrol değişkenleri seti içerisinde ikincil unsurlar olarak değerlendirmektedir. Ayrıca Türkiye, çoğunlukla tek ülke örneği olarak ya da farklı ülke grupları kapsamında incelenmektedir. BRICS ülkeleriyle ortak bir çerçevede ele alınması ise oldukça sınırlı kalmaktadır. Bu durum, benzer sosyo-ekonomik ve çevresel dinamiklere sahip ülkeler arasında aynı analitik çerçeve altında analiz yapılmasını güçleştirmektedir. Bu bağlamda, bu çalışmanın amacı BRICS-T (Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin, Güney Afrika ve Türkiye) ülkeleri için 2000–2022 döneminde kentleşme, enerji tüketimi ve doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonları üzerindeki etkisini ampirik olarak incelemektir. Türkiye'nin BRICS ülkeleriyle benzer kalkınma dinamiklerine sahip olmasına rağmen bu literatürde sınırlı biçimde ele alınmış olması, çalışmanın özgün değerini artırmaktadır. Çalışma literatüre üç temel katkı

³ Bu çalışmalardan sadece Somoye ve Akinwande, 2023 (kentleşme-CO₂); Türk ve Barışık, 2024 (kentleşme-CO₂) ve Fan vd., 2025 (enerji tüketimi-CO₂) BRICS-T ülkelerini kapsamaktadır.

sunmaktadır. İlk olarak, CO₂ emisyonlarının belirleyicilerini analiz ederken BRICS ülkelerine Türkiye'yi dâhil ederek ülke grubunu genişletmektedir. İkinci olarak, kentleşme, doğrudan yabancı yatırımlar ve enerji tüketimini birlikte ele alarak bu değişkenlerin çevresel etkilerini bütüncül bir çerçevede değerlendirmektedir. Üçüncü olarak ise, Driscoll–Kraay standart hatalar tahmincisi kullanılarak yöntemsel farklılık sağlamaktadır. Bu yönüyle çalışma, BRICS-T kurgusu altında gerçekleştirilen sınırlı sayıdaki ampirik araştırmalar arasındaki önemli bir boşluğu doldurmayı hedeflemektedir.

LİTERATÜR İNCELEMESİ

Kentleşme, doğrudan yabancı yatırımlar, enerji tüketimi ve CO₂ emisyonları arasındaki ilişkileri inceleyen pek çok çalışma bulunmaktadır. İlgili çalışmalar kullanılan ekonometrik yöntem ve incelenen örnek grubu olmak üzere birtakım unsurlar tarafından ayrılmaktadır. Bu başlık altında sırasıyla doğrudan yabancı yatırımlar-CO₂ ilişkisi, kentleşme-CO₂ ilişkisi, enerji tüketimi-CO₂ ilişkisi ve kentleşme-doğrudan yabancı yatırımlar- enerji tüketimi- CO₂ ilişkisi olmak üzere dört alt başlık bulunmaktadır.

Doğrudan Yabancı Yatırımlar- CO₂ İlişkisi

Shahbaz vd., (2019) 1990-2015 yılları arasında Ortadoğu ve Kuzey Afrika (MENA) bölgesinde doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonu üzerindeki etkilerini GMM ile incelemişlerdir. Başlangıçta doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonunu artırdığını, ancak doğrudan yabancı yatırımlar belirli bir düzeye ulaştıktan sonra CO₂ emisyonlarının azaldığı bir başka deyişle doğrudan yabancı yatırımlar ile CO₂ emisyonu arasında ters U şeklinde bir ilişki olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Farooq (2022) 2001-2009 yılları arasında 49 Asya ekonomisi için doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonları üzerindeki etkilerini EGLS, GMM ve FMOLS yöntemleriyle inceledikleri çalışmada, her üç yöntem içinde doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonunu pozitif etkilediği sonucuna ulaşmışlardır. Shabir vd. (2022) 2001-2019 yılları arasında 24 gelişmiş ve gelişmekte olan ülke için doğrudan yabancı yatırımlar ile CO₂ emisyonu arasındaki ilişkiyi DSUR yöntemiyle incelemişlerdir. Doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonunu negatif etkilediği sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca DSUR yönteminden elde edilen sonuçların doğruluğunu kontrol etmek için DCCE ve Panel Kantil Regresyonu uygulamışlardır ve elde edilen bulgular DSUR yöntemiyle tutarlılık göstermiştir. Pata, Dam ve Kaya (2023) 1995-2018 dönemi için ASEAN ülkelerinde doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonu üzerindeki etkisini panel ARDL-PMG yöntemiyle inceledikleri çalışmada uzun dönemde doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonlarını pozitif etkilediği sonucuna ulaşmışlardır. Kim ve Seok (2023) 1971-2015 yılları arasında Güney Kore için doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonu üzerindeki etkilerini ARDL yöntemiyle incelemişlerdir. Doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonunu pozitif etkilediği sonucuna ulaşmışlardır. Uddin vd. (2023) 1990-2018 yılları arasında BRICS ülkeleri için doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonu üzerindeki etkisini CS-ARDL yöntemiyle inceledikleri çalışmada doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonunu negatif etkilediği sonucuna ulaşmışlardır.

Kentleşme-CO₂ İlişkisi

Martínez-Zarzoso ve Maruotti (2011) 1975-2003 dönemi için seçilen 88 üst orta ve orta düşük gelirli ülkelerdeki kentleşmenin CO₂ emisyonu üzerindeki etkilerini FE yöntemiyle inceledikleri çalışmada, kentleşme ile CO₂ emisyonları arasında ters U şeklinde bir ilişki olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Sadorsky (2014) 1971-2019 yılları arasında gelişmekte olan 16 ülke için kentleşmenin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisini FE ve RE yöntemleriyle incelemiştir. Kentleşmenin CO₂ emisyonları üzerinde istatistiki olarak önemsiz etkisi olduğu sonucuna ulaşmıştır. Haseeb vd. (2017), 1990–2014 döneminde BRICS ülkelerinde kentleşme, enerji tüketimi ve kişi başına düşen GSYH'nin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisini STIRPAT modeli çerçevesinde FMOLS yöntemi ile incelemiştir. Bulgular, kentleşmenin Rusya hariç tüm BRICS ülkelerinde CO₂ emisyonlarını artırdığını göstermektedir. Ayrıca enerji tüketiminin Brezilya, Hindistan ve Çin'de CO₂ emisyonlarını artırdığı, Rusya'da azaltıcı etki yarattığı, Güney Afrika'da ise anlamlı bir etkisinin bulunmadığı tespit edilmiştir. Salahuddin vd. (2019) 1984-2016 yılları arasında 44 Sahra Altı Afrika ülkesi için kentleşmenin CO₂ emisyonları üzerindeki etkilerini MG, AMG ve CCEMG yöntemleriyle inceledikleri çalışmada, kentleşmenin CO₂ emisyonları üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Wang vd. (2021) 1960-2014 yılları

arasında 33 yüksek gelirli OECD ülkesi için kentleşmenin CO₂ emisyonu üzerindeki etkilerini dinamik panel ARDL yöntemiyle incelemişlerdir. CO₂ emisyonu ile ilgili olarak kişi başına CO₂ emisyonu, toplam CO₂ emisyonu ve CO₂ emisyon yoğunluğu değişkenleri alınmış olup kentleşmenin her üç değişkeni de negatif etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Somoye ve Akinwande (2023) 1990-2021 yılları arasında BRICS-T ülkeleri için kentleşmenin karbondioksit emisyonu üzerindeki etkilerini Havuzlanmış OLS ve FE modeli ile inceledikleri çalışmada, her iki yöntem içinde kentleşmenin karbondioksit emisyonlarını negatif etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Türk ve Barışık (2024) 1988-2018 yılları arasında BRICS-T ülkeleri için CO₂ emisyonu ile kentleşme arasındaki ilişkiyi CCE ve AMG yöntemiyle incelemişlerdir. Her iki yöntem içinde kentleşmenin CO₂ emisyonlarını pozitif etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Feng ve Li (2024) 2000-2020 yılları arasında kentleşmenin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini CUP-FM ve CUP-BC yöntemleriyle inceledikleri çalışmada kentleşmenin ekolojik bozulmayı hızlandırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Dutta ve Hazarika (2025) 2000-2019 yılları arasında Asya, Afrika, Orta Doğu ve Güney Amerika'dan seçilen 68 düşük, alt, orta gelirli ülkeler için kentleşme ile karbon emisyonları arasındaki ilişkiyi FMOLS yöntemiyle incelemişlerdir. Kentleşmenin karbon emisyonlarını pozitif etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

Enerji Tüketimi- CO₂ İlişkisi

Dong vd. (2017), 1985–2016 döneminde BRICS ülkeleri için AMG yöntemini kullanarak doğal gaz ve yenilenebilir enerji tüketimi ile CO₂ emisyonları arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Bulgular, doğal gaz ve yenilenebilir enerji tüketimindeki artışın CO₂ emisyonlarını azaltıcı etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Buna göre, doğal gaz tüketiminde meydana gelen %1'lik artış CO₂ emisyonlarını %0,1641 oranında, yenilenebilir enerji tüketimindeki %1'lik artış ise %0,2601 oranında azaltmaktadır. Agboola vd. (2021) 1971-2016 yılları arasında Suudi Arabistan için enerji tüketimi CO₂ emisyonu arasındaki ilişkileri ARDL yöntemiyle incelemişlerdir. Enerji tüketiminin hem kısa hem de uzun dönemde CO₂ emisyonlarını pozitif etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Rahman vd. (2021), BRICS ülkelerinde 1989–2019 döneminde FMOLS ve DOLS yöntemlerini kullanarak enerji tüketiminin CO₂ emisyonlarını pozitif etkilediğini tespit etmiştir. Selvanathan vd. (2021) 1990-2014 dönemi için 5 Güney Asya ülkesi için enerji tüketiminin CO₂ emisyonu üzerindeki kısa ve uzun dönem etkilerini FMOLS yöntemiyle incelemişlerdir. Enerji tüketiminin CO₂ emisyonunu kısa ve uzun dönemde pozitif etkilediği ancak uzun dönemde katsayının istatistiki olarak anlamlı olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Chhabra vd. (2023), 1991–2019 döneminde BRICS ülkelerinde Dinamik Ortak İlişkili Etkiler (DCCE) yöntemini kullanarak, yenilenemeyen kaynaklarda meydana gelen %1'lik bir artışın karbon emisyonlarını %0,91 oranında artırdığını tespit etmiştir. Bu sonuç, BRICS ülkelerinde ekonomik faaliyetlerin gerek hanehalkı gerekse sanayi düzeyinde büyük ölçüde fosil yakıt kullanımına bağlı olduğunu ve bunun karbon emisyonlarını yükselttiğini ortaya koymaktadır. Uddin vd. (2023) 1990-2018 yılları arasında BRICS ülkelerinde enerji tüketiminin CO₂ emisyonlarını pozitif yönde etkilediğini tespit etmiştir. Zhigolli ve Fetai (2024) 2001-2022 yılları arasında 8 Batı Balkan ülkesi için enerji tüketimi ile CO₂ emisyonları arasında ilişkileri RE modeli ile incelemişlerdir. Enerji tüketimi ile CO₂ emisyonları arasında pozitif bir ilişki olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Triantafyllidou ve Polychronidou (2025) 2000-2020 yılları arasında 27 Avrupa Birliği ülkesi için CO₂ emisyonu ile enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi FE modeli ile incelemişlerdir. Fosil yakıt tüketiminin CO₂ emisyonlarını pozitif etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Muhammad vd. (2025) 4 Güney Asya ülkesi için enerji tüketiminin karbondioksit emisyonu üzerindeki etkilerini FMOLS ve DOLS yöntemleri ile 1991-2020 yılları için inceledikleri çalışmada, enerji tüketiminin CO₂ emisyonlarını pozitif etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Fan vd. (2025) 1990-2020 yılları arasında BRICS-T ülkeleri için kentleşmenin ekolojik ayak izi üzerine etkilerini AMG ve CCEMG yöntemleriyle incelemişlerdir. Yenilenemeyen enerji tüketiminin ekolojik ayak izini pozitif etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

Kentleşme, Doğrudan Yabancı Yatırımlar, Enerji Tüketimi ve CO₂ İlişkisi

Rafique vd. (2020), BRICS ülkelerinde 1990–2017 dönemini kapsayan çalışmalarında AMG, FMOLS, DOLS ve FE yöntemlerini kullanarak, doğrudan yabancı yatırımlarının CO₂ emisyonlarını uzun dönemde negatif; buna karşılık kentleşme ve enerji tüketiminin karbon emisyonlarını pozitif yönde etkilediğini tespit etmişlerdir. Nathaniel vd. (2020) 1980-2016 yılları arasında doğrudan yabancı yatırımlar, kentleşme, enerji tüketimi ve CO₂ ilişkisini OLS yöntemiyle 10 Kıyı Akdeniz ülkesi için incelemişlerdir. Kentleşme ve doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonlarını negatif, enerji

tüketiminin ise CO₂ emisyonlarını pozitif etkilediği sonucuna ulaşmışlardır. Apergis vd. (2023), on bir OECD ülkesinden BRICS ülkelerine yönelen doğrudan yabancı yatırım akımlarının CO₂ emisyonları üzerindeki etkisini incelemiştir. Elde edilen bulgular, çevresel bozulma üzerinde DYY'nin hangi ülkeden geldiğinin önemli olduğunu dair kanıtlar sunmuştur. Danimarka ve Birleşik Krallık kaynaklı doğrudan yabancı yatırımların BRICS ülkelerinde CO₂ emisyonlarını artırdığı; Fransa, Almanya ve İtalya kaynaklı doğrudan yabancı yatırımlarının CO₂ emisyonlarını azalttığı tespit edilmiştir. Bu bulguların, kullanılan tahmin yöntemi seçimine (statik ve dinamik GMM ile panel Granger nedensellik testi) karşı istikrarlı ve güvenilir olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, enerji kullanımı ve kentsel nüfusun çoğu model spesifikasyonunda CO₂ emisyonları üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğunu ortaya konmuştur. Muhammad ve Khan (2021) 1990-2018 yılları arasında doğrudan yabancı yatırımlar, kentleşme ve enerji tüketiminin CO₂ emisyonları üzerindeki etkilerini 170 ülke için GMM yöntemiyle inceledikleri çalışmada kentleşme ile CO₂ emisyonları arasında negatif, doğrudan yabancı yatırımlar ve enerji tüketimi ile CO₂ emisyonları arasında pozitif bir ilişki olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Balsalobre-Lorente, vd. (2022) BRICS ülkeleri için 1990-2014 yılları arasında kentleşme, doğrudan yabancı yatırımlar ve enerji tüketiminin CO₂ üzerine etkilerini FMOLS ve DOLS yöntemleriyle incelemiştirler. Enerji tüketimi ve doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonunu pozitif, kentleşmenin ise CO₂ emisyonunu negatif etkilediği sonucuna ulaşmışlardır. Li, vd. (2022) 1991-2014 yılları arasında E-7 ülkeleri için kentleşme, doğrudan yabancı yatırımlar enerji tüketimi ve CO₂ emisyonu ilişkisinin DCCEMG ve DCCEPMG yöntemleriyle inceledikleri çalışmada, kentleşme ve enerji tüketiminde meydana gelen %1'lik artışın CO₂ emisyonunu sırasıyla %5,39 ve %2,53 artırdığı, bunun yanında doğrudan yabancı yatırımlardaki %1'lik artışın ise CO₂ emisyonunu %1,20 azalttığı sonucuna ulaşmışlardır. Udemba ve Keleş (2022) Türkiye için 1970-2018 yılları arasında kentleşme, enerji tüketimi ve doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonu üzerindeki etkileri ARDL yöntemiyle incelemiştirler. Kısa ve uzun dönemde doğrudan yabancı yatırımların çevre kalitesini olumlu etkilediği bunun yanında enerji tüketimi ve kentleşmenin ise olumsuz etkilediği sonucuna ulaşmışlardır. Georgescu ve Kinnunen (2023) 2000-2020 yılları arasında Finlandiya için kentleşme, doğrudan yabancı yatırımlar ve enerji tüketiminin CO₂ emisyonları üzerindeki etkilerini ARDL yöntemiyle incelemiştirler. Uzun dönemde kentleşmede meydana gelen bir birimlik artışın CO₂ emisyonlarını %1,39 azalttığı, doğrudan yabancı yatırımlardaki bir birimlik artışın CO₂ emisyonlarını %0,03 azalttığı (katsayı anlamlı değil) ve enerji tüketimindeki bir birimlik artışın ise CO₂ emisyonlarını %1,23 oranında artırdığı sonucuna ulaşmışlardır.

MODEL VE VERİ SETİ

Çalışmanın amacı BRICS-T (Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin, Güney Afrika ve Türkiye) ülkelerinde 2000-2022 yılları arasında kentleşme, enerji tüketimi ve doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonları üzerindeki etkisinin incelenmesidir. Bu amaçla, çalışmada CO₂ emisyonu bağımlı değişken olarak yer almıştır. CO₂ emisyonu çevre literatürü ile uyumlu olarak, kentleşme (urb), doğrudan yabancı yatırımlar (fdi) ve enerji tüketiminin (fec) fonksiyonu olarak açıklanmıştır. Verilerin teminindeki kısıt nedeniyle çalışma, 2000-2022 dönemiyle sınırlandırılmıştır. Söz konusu modelin fonksiyonel gösterimi 1 numaralı denklemde yer almaktadır:

$$CO_2 = y(urb, fdi, fec) \quad (1)$$

Kullanılan modelin panel veri formatında gösterimi ise 2 numaralı denklemde sunulmaktadır:

$$CO_{2,i,t} = \beta_1 urb_{i,t} + \beta_2 fdi_{i,t} + \beta_3 fec_{i,t} + v_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

Denklem (2)'de, i indisi ülkeleri, t indisi ise zaman boyutunu temsil etmektedir. v terimi ülke özgü etkileri simgelerken, ε terimi ise hata terimini göstermektedir. β katsayıları ise açıklayıcı değişkenlere ait eğim katsayılarını ifade etmektedir.

Çalışmada, yatay kesit bağımlılığı dışındaki bütün analizler Stata 19.5 programı ile yapılmıştır. Yatay kesit bağımlılığı ise Eviews 12 programıyla analiz edilmiştir.

Kullanılan değişkenlere ilişkin bilgiler tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Değişkenlere İlişkin Bilgiler

Değişken	Açıklama	Kaynak
Çevre kalitesi (CO ₂)	Kişi başına düşen CO ₂ emisyonu (LULUCF hariç), (t CO ₂ e/kişi)	Dünya Bankası
Kentleşme (urb)	Kent nüfusu (Toplam nüfusun %)	Dünya Bankası
Doğrudan yabancı yatırımlar (fdi)	Net girişler (% GSYH)	Dünya Bankası
Enerji tüketimi (fec)	Fosil enerji tüketimi (Toplam enerji tüketiminin %)	Dünya Bankası

Değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistik değerleri tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Tanımlayıcı İstatistikler

Değişken	Gözlem	Ortalama	Standart sapma	Minimum	Maksimum
CO ₂	138	5.841825	3.852103	0.9386827	14.0404
urb	138	62.33121	17.93272	27.667	87.555
fdi	138	2.184478	1.381852	-1.756418	9.660265
fec	138	80.84007	13.59065	49.73	93.65

Değişkenlere ilişkin korelasyon matrisi tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3. Korelasyon Matrisi

Değişkenler	CO ₂	urb	fdi	fec
CO ₂	1.000			
urb	0.3165	1.000		
fdi	-0.1347	0.1207	1.000	
fec	0.7008	-0.1596	-0.2352	1.000

Tablo 3’te sunulan korelasyon analizi sonuçlarına göre, bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon 0.1207 ile 0.2352 arasında değişmektedir. Bu bulgulara göre, bağımsız değişkenler arasında en düşük korelasyon doğrudan yabancı yatırımlar ile kentleşme arasında iken, en yüksek korelasyon doğrudan yabancı yatırımlar ile enerji tüketimi arasındadır. Bulgular, bağımsız değişkenler arasında çoklu doğrusal bağlantıya işaret eden yüksek bir korelasyon olmadığını ortaya koymaktadır.

Etik Kurulu Onayı

Kavramsal çerçevenin hazırlanması, veri toplama araçlarının uygulanması, verilerin toplanması, analizi ve yorumlanması dahil olmak üzere bu araştırmanın tüm aşamalarında etik ilkeler titizlikle gözetilmiştir. ANKAD Yayın Kurulu, ortaya çıkabilecek herhangi bir etik ihlalden sorumlu değildir; tüm sorumluluk yalnızca yazarlara aittir. Bu çalışmanın ANKAD dışındaki başka hiçbir akademik yayın organına değerlendirme için sunulmadığını beyan ederim. Bu çalışmanın yürütülmesinde “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi”nde belirtilen tüm kurallara uyulmuştur. Yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Davranışlar” başlıklı ikinci bölümünde tanımlanan hiçbir eylemde bulunulmamıştır. Bu çalışmada kamuya açık birincil kaynaklar kullanıldığından, etik kurul onayı gerekmemektedir.

YÖNTEM VE BULGULAR

Yatay Kesit Bağımlılık Testi

Yatay kesit bağımlılık testi, serilerin birim kök özellikleri incelenmeden önce hangi tür birim kök testinin uygulanacağına karar vermek amacıyla uygulanmaktadır. Bu kapsamda, panel verilerde yatay kesit bağımlılığının varlığı durumunda ikinci nesil birim kök testleri tercih edilirken, yatay kesit bağımlılığının bulunmaması durumunda birinci nesil birim kök testleri kullanılmaktadır. Bu çerçevede, yatay kesit bağımlılığının varlığını sınamak amacıyla kurulan hipotezler aşağıda sunulmaktadır:

H₀: Yatay kesit bağımlılığı yoktur.

H₁: Yatay kesit bağımlılığı vardır.

Yatay kesit bağımlılık testlerinin sonuçları Tablo 4’de gösterilmiştir.

Tablo 4. Yatay Kesit Bağımlılığı Sonuçları

	CO ₂	urb	fdi	fec
Breusch-Pagan LM	141.1719***	331.9207***	33.01387***	99.51919***
Pesaran scaled LM	23.03574***	57.86155***	3.288867***	15.43102***
Bias-corrected scaled LM	22.89938***	57.72518***	3.152503***	15.29466***

*** %1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tablo 4’de yer alan test sonuçlarına göre, analize dahil edilen dört değişken için de yatay kesit bağımlılığı yoktur şeklindeki temel hipotez %1 anlamlılık düzeyinde reddedilmiştir. Bu bulgular, serilerde yatay kesit bağımlılığının varlığına işaret etmektedir.

Birim Kök Testi

Serilerde yatay kesit bağımlılığının tespit edilmesi, birim kök analizinde birinci nesil testlerin yetersiz kalabileceğini göstermektedir. Bu nedenle ikinci nesil birim kök yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir. Bu doğrultuda çalışmada, ikinci nesil birim kök yöntemleri arasında yer alan Yatay Kesitli Geliştirilmiş IPS (Cross-sectionally augmented IPS-CIPS) yöntemi tercih edilmiştir. Pesaran (2007) tarafından geliştirilen bu yöntemde, CADF test istatistiklerinin aritmetik ortalaması test istatistiği olarak kabul edilmektedir (Acaravcı, Bozkurt ve Erdoğan, 2015). Bu kapsamda, birim kök analizine ilişkin kurulan hipotezler aşağıda sunulmaktadır:

H₀: Seriler durağan değildir (birim kök içermektedir)

H₁: Seriler durağandır (Birim kök içermemektedir)

Tablo 5’de CIPS testi sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 5. Birim Kök Testi Sonuçları

	CIPSI _{ST} Sabit+Trend (Seviye)	CIPSI _{ST} Sabit+Trend (1. Fark)
CO ₂	-1.873	-3.032**
urb	-1.962	-2.882**
fdi	-2.520	-5.136***
fec	-1.824	-4.607***

, * sırasıyla %5 ve %1 anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Tablo 5’te sunulan birim kök testi sonuçlarına göre, analize dahil edilen dört değişkenin tamamı seviye değerlerinde birim kök içermektedir. Buna karşılık, değişkenlerin birinci farkları alındığında durağan hâle geldikleri tespit edilmiştir. Bu doğrultuda, ekonometrik analizler durağanlaştırılmış seriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Regresyon Analizi

Baltagi (2008), analiz belirli bir N ülke grubuna (örneğin OECD üyesi ülkeler) odaklanıyorsa, sabit etkiler (fixed effects) modelinin uygun bir spesifikasyon olduğunu belirtmektedir. Ayrıca Gujarati ve Porter (2018) ise zaman boyutunun uzun (T büyük) ve yatay kesit boyutunun sınırlı (N küçük) olduğu panel veri setlerinde sabit ve rassal etkiler modellerinden elde edilen tahminler arasında belirgin farklar bulunmadığını ifade etmektedir. Bu tür durumlarda, hesaplama kolaylığı açısından sabit etkiler modelinin tercih edilebileceği vurgulanmaktadır. Bu çalışma, BRICS-T ülkelerine ait 2000-2022 dönemini kapsayan panel veriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu kriterler dikkate alındığında, sabit etkiler modelinin kullanılmasının uygun olduğuna karar verilmiştir. Katsayı tahminlerinde Driscoll-Kraay (1998) tarafından geliştirilen Driscoll-Kraay standart hatalar tahmincisi kullanılmıştır. Bu tahminci, panel veri analizlerinde değişen varyans ve otokorelasyon problemlerine karşı dirençli olmasının yanı sıra yatay kesit bağımlılığının bulunduğu durumlarda da güvenilir sonuçlar vermektedir (Krieger ve Meierrieks, 2020).

Tablo 7. Driscoll-Kraay Tahmin Sonuçları

Değişkenler	Katsayı
fdi	0.030*
fec	0.103***
urb	0.768**
Sabit	-0.317**

***, ** sırasıyla %10, %5 ve %1 anlamlılık seviyelerini göstermektedir.

Tablo 7’de sunulan bulgulara göre, doğrudan yabancı yatırımlar, enerji tüketimi ve kentleşme değişkenlerinin tamamı CO₂ emisyonları üzerinde pozitif ve istatistiki olarak anlamlı bir etkiye sahiptir. Regresyon bulguları doğrultusunda, doğrudan yabancı yatırımlardaki bir birimlik artış CO₂ emisyonlarını 0.03 birim, enerji tüketimindeki bir birimlik artış CO₂ emisyonlarını 0.10 birim ve kentleşmedeki bir birimlik artış ise CO₂ emisyonlarını 0.76 birim artırmaktadır.

TARTIŞMA

Bu çalışmadan elde edilen bulgular, BRICS-T ülkelerinde kentleşme, enerji tüketimi ve doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif etkiler yarattığını göstermektedir. Bu sonuçlar, çevresel bozulmanın özellikle hızlı yapısal dönüşüm sürecinden geçen yükselen ekonomilerde ekonomik ve demografik dinamiklerle yakından ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

➤ Doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonları üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgu, Muhammad ve Khan (2021), Balsalobre-Lorente, vd. (2022), Farooq (2022), Pata, Dam ve Kaya (2023) ve Kim ve Seok (2023) gibi çalışmalarda DYY'nin çevresel bozulmayı artırdığı yönündeki bulgularla tutarlıdır. Doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonlarını artırıcı etkisi, kirlilik cenneti hipotezi çerçevesinde değerlendirildiğinde teorik olarak anlamlıdır. Kirlilik cenneti hipotezi, çevresel açıdan yoğun kirlilik üreten sanayi faaliyetlerinin, zaman içerisinde gelişmiş ülkelere yönelme eğiliminde olduğunu ileri sürmektedir. Bu hipoteze göre, gelişmiş ekonomilerde çevre bilincinin artmasıyla birlikte uygulamaya konulan katı çevresel düzenlemeler, kirlitici sektörlerde üretim maliyetlerini önemli ölçüde artırmıştır. Buna karşılık, daha düşük işgücü maliyetlerine ve nispeten daha esnek çevre mevzuatına sahip olan gelişmekte olan ülkeler, bu tür sanayi faaliyetleri açısından görece daha cazip üretim alanları hâline gelmiştir (Akbostancı vd., 2004). Bir diğer ifadeyle, çevresel düzenlemelerin görece zayıf olduğu gelişmekte olan ülkeler, çevreye duyarlı teknolojiler yerine daha çok enerji yoğun ve kirlitici üretim faaliyetlerini çeken yatırımlara ev sahipliği yapabilmektedir. BRICS-T ülkelerinde doğrudan yabancı yatırımlardaki bir birimlik artışın CO₂ emisyonlarını 0.03 birim yükseltmesi, yatırım girişlerinin büyük ölçüde sanayi, enerji ve altyapı gibi karbon yoğun sektörlerde yoğunlaşmasıyla açıklanabilir. Bununla birlikte, BRICS ülkeleri özelinde yapılan Rafique vd. (2020) ve Uddin vd. (2023) gibi bazı çalışmalarda DYY'nin CO₂ emisyonlarını azaltabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu farklılık, Türkiye'nin örnekleme dâhil edilmesi ile DYY-emisyon ilişkisinin daha çok kirlilik cenneti hipotezi yönünde şekillenmesine katkı sağladığını göstermektedir. 2004-2024 döneminde Türkiye’de finans ve imalat sanayi Türkiye’de en fazla doğrudan yabancı yatırım çeken sektörler arasında yer almaktadır (TC Cumhurbaşkanlığı Yatırım ve Finans Ofisi, ty). Özellikle imalat sanayine yönelik doğrudan yabancı yatırımlar üretim hacmi ve enerji talebindeki artış yoluyla CO₂ emisyonları üzerinde yukarı yönlü bir baskı oluşturabilmektedir. Bulgular arasındaki farklılık, yöntemsel bir çelişkidir ziyade, BRICS-T ülkelerinde doğrudan yabancı yatırımların sektörel yönelimi ve büyük ölçüde incelenen dönemle ilişkilendirilebilir. İlgili literatürde bazı çalışmalarda doğrudan yabancı yatırımların emisyonları azaltıcı etkilerinin raporlanması yatırımın niteliğinin ve ev sahibi ülkelerin çevre politikalarının belirleyici rol oynadığını göstermektedir. Bu durum, çok uluslu işletmelerin kirlilik azaltma teknolojileri, yenilenebilir enerjiye ilişkin teknolojiler ve enerji tasarrufu sağlayan teknolojiler gibi daha çevreci teknolojileri ev sahibi ülkelere transfer ettiğini savunan (Duan ve Jiang, 2021) kirlilik halesi hipotezinin ancak güçlü kurumsal yapı ve etkin çevre düzenlemeleri altında geçerli olabileceğine işaret etmektedir. Çalışmadan elde edilen bulgular, BRICS-T ülkelerinde doğrudan yabancı yatırımların çeşitli teşvik mekanizmaları aracılığıyla düşük karbonlu üretimi destekleyen sektörlerle yönlendirilmesinin gerekliliğine işaret etmektedir. Bu çerçevede, yatırım

izinlerinin ve teşviklerinin, çevresel standartlara uyum kriteri temelinde değerlendirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

➤ Enerji tüketiminin CO₂ emisyonları üzerindeki güçlü ve pozitif etkisi, fosil yakıt temelli enerji yapısının çevresel sonuçlarını vurgulamaktadır. BRICS-T ülkelerinde enerji tüketimindeki bir birimlik artışın CO₂ emisyonlarını 0.10 birim artırması, bu ülkelerin enerji arzında kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil kaynaklara yüksek düzeyde bağımlı olmalarından kaynaklanmaktadır. Bu sonuç, Rafique vd. (2020), Nathaniel vd. (2020), Agboola vd. (2021), Muhammad ve Khan (2021), Rahman vd. (2021), Li, vd. (2022), Uddin vd. (2023); Georgescu ve Kinnunen (2023), Apergis vd., (2023), Chhabra vd. (2023), Zhigolli ve Fetai (2024), Triantafyllidou ve Polychronidou (2025) ve Muhammad vd. (2025) gibi farklı ülke örneklerini içeren birçok çalışmayla uyumludur. Bu bulgu, çevre dostu enerji dönüşümünün yavaş ilerlediği ve yenilenebilir enerji kullanımının sınırlı kaldığı ekonomilerde çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasının güçleştiğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, BRICS-T ülkelerinde fosil enerji tüketimine dayalı üretim ve tüketim yapısının çevre dostu enerji kaynakları lehine dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu dönüşümün sağlanabilmesi için etkin emisyon standartlarının belirlenmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik eden politika araçlarının hayata geçirilmesi büyük önem taşımaktadır.

➤ Kentsel büyüme çoğu zaman çevresel sorunların başlıca kaynağı olarak değerlendirilmektedir (Bekhet vd., 2019). Kentleşmenin CO₂ emisyonlarını artırıcı etkisi ise kent çevresel geçiş teorisi çerçevesinde açıklanabilir. Kent çevresel geçiş teorisi, kentleşmenin emisyonlar üzerindeki etkisinin tek yönlü olmadığını, aksine belirsiz ve çift yönlü bir nitelik taşıdığını ileri sürmektedir. Bu çerçevede ilk yaklaşım, kentleşmenin emisyonları artırıcı rolüne işaret etmektedir. Buna göre, kentsel alanlar genellikle sanayileşmenin yoğunlaştığı mekânlar olup, bu durum üretim kaynaklı emisyonların artmasına yol açmaktadır. Ayrıca kentsel nüfusun tüketim kalıplarının kırsal nüfusa kıyasla daha karbon-yoğun olması, kentleşmenin emisyonları artıran bir diğer mekanizması olarak öne çıkmaktadır (Salahuddin vd., 2019).⁴ Kentleşme ile birlikte, altyapı yatırımları, ulaşım talebi, konut inşaatları ve sanayi faaliyetlerindeki artış, enerji tüketimini ve dolayısıyla karbon emisyonlarını yükseltmektedir. BRICS-T ülkelerinde kentleşmedeki bir birimlik artışın CO₂ emisyonlarını 0.76 birim artırması, kentleşme sürecinin büyük ölçüde planlama ve çevresel düzenlemelerden bağımsız biçimde ilerlediğine işaret etmektedir. Kompakt kent teorisinin öngördüğü çevresel kazanımların aksine, bu ülkelerde kentleşmenin hâlen emisyon azaltıcı bir yapıya kavuşmadığı anlaşılmaktadır. Bu durum, kentleşmenin çevresel etkilerinin çevre politikalarının etkinliğiyle yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, Salahuddin vd. (2019), Rafique vd. (2020), Li, vd. (2022), Apergis vd. (2023), Feng ve Li (2024), Türk ve Barışık (2024) ve Dutta ve Hazarika (2025) çalışmalarının bulgularıyla paralellik göstermektedir. Kentleşmenin CO₂ emisyonlarını artırıcı etkisi dikkate alındığında, BRICS-T ülkelerinde kentsel büyümenin kompakt kent yaklaşımı çerçevesinde yeniden yapılandırılması önemli bir politika önceliği olarak ortaya çıkmaktadır.

SONUÇ

Bu çalışma, BRICS-T (Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin, Güney Afrika ve Türkiye) ülkeleri için 2000–2022 dönemi boyunca kentleşme, enerji tüketimi ve doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonları üzerindeki etkilerini panel veri yöntemiyle incelemiştir. Ampirik bulgular, incelenen tüm değişkenlerin CO₂ emisyonları üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, literatürdeki farklı ülke örnekleri üzerinden elde edilen bulgularla büyük ölçüde tutarlılık göstermektedir.

CO₂ emisyonları çevresel sürdürülebilirliğin temel göstergelerinden biridir. Çalışmadan elde edilen bulgular doğrultusunda, BRICS-T ülkelerinde çevresel sürdürülebilirliğe ulaşılabilmesi için üç temel politika alanı ön plana çıkmaktadır: (i) çevreye duyarlı doğrudan yabancı yatırımların teşvik edilmesi, (ii) enerji tüketiminde fosil yakıt bağımlılığının azaltılması ve yenilenebilir enerjiye geçişin

⁴ Teoriden türeyen ikinci yaklaşım ise, kentsel nüfusun görece daha yüksek gelir düzeyine ve çevresel sorunlara daha fazla duyarlılığa sahip olması nedeniyle, kirliliğin azaltılmasına yönelik politika ve uygulamaların geliştirilip hayata geçirilebileceğini savunmaktadır (Salahuddin vd., 2019)

hızlandırılması, (iii) kentleşme süreçlerinin planlı, çevre dostu ve düşük karbon odaklı bir yapıya kavuşturulması. Bu doğrultuda geliştirilecek bütüncül çevre ve kalkınma politikaları, söz konusu ülkelerde çevresel sürdürülebilirlik ve kalkınma arasında denge kurulmasına katkı sağlayacaktır.

Gelecek çalışmalarda öncelikle, BRICS-T ülkelerinin farklı dinamikleri göz önünde bulundurularak ülke bazlı ayrıntılı analizlerin yapılması, her ülkenin CO₂ emisyonlarını etkileyen özgün dinamiklerini daha iyi anlamaya katkı sağlayacaktır. Ayrıca, enerji tüketimi ve doğrudan yabancı yatırımların sektörel düzeyde ayrıştırılarak incelenmesi, hangi sektörlerin çevresel baskıyı daha fazla artırdığını ortaya koymak açısından büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- Acaravcı, A., Bozkurt, C. & Erdoğan, S. (2015). MENA Ülkelerinde Demokrasi-Ekonomik Büyüme İlişkisi. *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi*, 3(4), 119-129.
- Acharya, K. R., & Acharya, H. (2023). Urbanization and Carbon Emission in South Asia. *Quest Journal of Management and Social Sciences*, 5(1), 28-34.
- Agboola, M. O., Bekun, F. V., & Joshua, U. (2021). Pathway to Environmental Sustainability: Nexus Between Economic Growth, Energy Consumption, CO₂ Emission, Oil Rent and Total Natural Resources Rent in Saudi Arabia. *Resources Policy*, 74, 102380.
- Akbostancı, E., Tunç, G. İ., & Türüt-Aşık, S. (2004). Pollution haven hypothesis and the role of dirty industries in Turkey's exports (ERC Working Papers No. 0403). Economic Research Center, Middle East Technical University.
- Apergis, N., Pinar, M., & Unlu, E. (2023). How do foreign direct investment flows affect carbon emissions in BRICS countries? Revisiting the pollution haven hypothesis using bilateral FDI flows from OECD to BRICS countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 14680–14692. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23185-4>
- Bagadeem, S., Gohar, R., Wong, W. K., Salman, A., & Chang, B. H. (2024). Nexus Between Foreign Direct Investment, Trade Openness, and Carbon Emissions: Fresh Insights Using Innovative Methodologies. *Cogent Economics & Finance*, 12(1).
- Balsalobre-Lorente, D., Driha, O. M., Halkos, G., & Mishra, S. (2022). Influence of Growth and Urbanization on CO₂ Emissions: The Moderating Effect of Foreign Direct Investment on Energy Use in BRICS. *Sustainable Development*, 30(1), 227-240.
- Baltagi, B.H. (2008) *Econometric Analysis of Panel Data*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester.
- Bekhet, H. A., Othman, N. S., & Yasmin, T. (2020). Interaction between environmental Kuznets curve and urban environment transition hypotheses in Malaysia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(1), 384–402.
- Bibri, S. E., Krogstie, J., & Kärrholm, M. (2020). Compact City Planning and Development: Emerging Practices and Strategies for Achieving the Goals Of Sustainability. *Developments in the Built Environment*, 4, 100021.
- Boateng, E., Annor, C. B., Amponsah, M., & Ayibor, R. E. (2024). Does FDI Mitigate CO₂ Emissions Intensity? Not When Institutional Quality is Weak. *Journal of Environmental Management*, 354, 120386.
- Chhabra, M., Giri, A. K., & Kumar, A. (2023). Do trade openness and institutional quality contribute to carbon emission reduction? Evidence from BRICS countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 50986–51002. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25789-w>
- Dingbang, C., Cang, C., Qing, C., Lili, S., & Caiyun, C. (2021). Does New Energy Consumption Conducive to Controlling Fossil Energy Consumption and Carbon Emissions? Evidence From China. *Resources Policy*, 74, 102427.

- Dong, K., Sun, R., & Hochman, G. (2017). Do natural gas and renewable energy consumption lead to less CO₂ emission? Empirical evidence from a panel of BRICS countries. *Energy*, 141, 1466–1478.
- Driscoll, J. C., & Kraay, A. C. (1998). Consistent Covariance Matrix Estimation with Spatially Dependent Panel Data. *The Review of Economics and Statistics*, 80(4), 549–560.
- Duan, Y., & Jiang, X. (2021). Pollution Haven or Pollution Halo? A Re-Evaluation on the Role of Multinational Enterprises in Global CO₂ Emissions. *Energy Economics*, 97, 105181.
- Dutta, U. P., & Hazarika, N. (2025). Urbanization and Carbon Emissions: Panel Evidence From 68 Low-Income and Lower-Middle-Income Countries. *Journal of Urban Affairs*, 47(1), 269-288.
- Erkiliç, E., Gazeloğlu, C., & Özgören Ünlü, E. (2025). Renewable Energy Solution to Carbon Emissions: BRICS Countries in the Grip of Globalization and Economic Growth. *Sustainability*, 17, 4117.
- Fan, L., Usman, M., Haseeb, M., & Kamal, M. (2025). The Impact of Financial Development and Energy Consumption on Ecological Footprint in Economic Complexity-Based EKC Framework: New Evidence from BRICS-T Region. *Natural Resources Forum*. 49(2), 1536-1559
- Farooq, U. (2022). Foreign Direct Investment, Foreign Aid, and CO₂ Emissions in Asian Economies: Does Governance Matter?. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 7532-7547.
- Feng, H., & Li, Y. (2024). The Role of Fintech, Natural Resources, Environmental Taxes and Urbanization on Environmental Sustainability: Evidence from the Novel Panel Data Approaches. *Resources Policy*, 92, 104970.
- Georgescu, I., & Kinnunen, J. (2023). The Role of Foreign Direct Investments, Urbanization, Productivity, and Energy Consumption in Finland's Carbon Emissions: An ARDL Approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 87685-87694.
- Global Carbon Budget (2024) With major processing by Our World in Data, https://ourworldindata.org/grapher/annual-co2-emissions-per-country?tab=discrete-bar&time=2022&country=OWID_WRL~IND~RUS~BRA~TUR~CHN~ZAF
- Gujarati, D. N. & Porter, D. C. (2018). Temel Ekonometri (Beşinci Basımdan Çeviri). Ü. Şenesen & G. Günlük Şenesen (Çev.). İstanbul: Literatür Yayıncılık.
- Haseeb, M., Hassan, S., & Azam, M. (2017). Rural–urban transformation, energy consumption, economic growth, and CO₂ emissions using STIRPAT model for BRICS countries. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 36(2), 523–531.
- Huang, Y., Chen, F., Wei, H., Xiang, J., Xu, Z., & Akram, R. (2022). The Impacts of FDI Inflows on Carbon Emissions: Economic Development and Regulatory Quality as Moderators. *Frontiers in Energy Research*, 9, Article 820596.
- Kim, S. E., & Seok, J. H. (2023). The Impact of Foreign Direct Investment on CO₂ Emissions Considering Economic Development: Evidence From South Korea. *The Journal of International Trade & Economic Development*, 32(4), 537-552.
- Krieger, T., & Meierrieks, D. (2020). Population size and the size of government. *European journal of political economy*, 61, 101837.
- Li, K., Zu, J., Musah, M., Mensah, I. A., Kong, Y., Owusu-Akomeah, M., ... & Agyemang, J. K. (2022). The Link Between Urbanization, Energy Consumption, Foreign Direct Investments and CO₂ Emanations: An Empirical Evidence From the Emerging Seven (E7) Countries. *Energy Exploration & Exploitation*, 40(2), 477-500.
- Liu, J.-L., Ma, C.-Q., Ren, Y.-S., & Zhao, X.-W. (2020). Do Real Output and Renewable Energy Consumption Affect CO₂ Emissions? Evidence for Selected BRICS Countries. *Energies*, 13(4), 960.

- Marcotullio, P. J., & Lee, Y.-S. (2003, February 4–5). *Urban environmental transitions and urban transportation systems: A comparison of the North American and Asian experience*. In Proceedings of the International Workshop on Policy Integration Towards Sustainable Urban Energy Use for Cities in Asia. East-West Center, Honolulu, Hawaii. Institute for Global Environmental Strategies.
- Martínez-Zarzoso, I., & Maruotti, A. (2011). The Impact of Urbanization on CO₂ Emissions: Evidence from Developing Countries. *Ecological economics*, 70(7), 1344-1353.
- Mehta, D., & Shah, M. A. (2024). BRICS Carbon Emissions: Asymmetric Impact of Energy Mix, Financial Development, and Digitalization. *Sustainable Environment*, 10(1).
- Mert, M., & Çağlar, A. E. (2020). Testing Pollution Haven and Pollution Halo Hypotheses for Turkey: A New Perspective. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 32933–32943
- Muhammad, B., & Khan, M. K. (2021). Foreign Direct Investment Inflow, Economic Growth, Energy Consumption, Globalization, and Carbon Dioxide Emission Around the World. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 55643-55654.
- Muhammad, N., Khan, Z. U., Iqbal, M. A., Ullah, I., & Ahmad, N. (2025). Impact of Energy Consumption and Economic Growth on Environmental Degradation: Evidence from South Asian Countries. *Journal of Asian Development Studies*, 14(1), 320-334.
- Nathaniel, S., Aguegboh, E., Iheonu, C., Sharma, G., & Shah, M. (2020). Energy Consumption, FDI, and Urbanization Linkage in Coastal Mediterranean Countries: Re-Assessing the Pollution Haven Hypothesis. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 35474-35487.
- Pao, H.-T., & Tsai, C.-M. (2011). Multivariate Granger causality between CO₂ emissions, energy consumption, FDI (foreign direct investment) and GDP (gross domestic product): Evidence from a panel of BRIC (Brazil, Russian Federation, India, and China) countries. *Energy*, 36(1), 685–693.
- Pata, U. K., Dam, M. M., & Kaya, F. (2023). How Effective are Renewable Energy, Tourism, Trade Openness, and Foreign Direct Investment on CO₂ Emissions? An EKC Analysis for ASEAN Countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 14821-14837.
- Pesaran, M. Hashem (2007). A Simple Panel Unit Root Test in the Presence of Cross-Section Dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22, 265–312.
- Rafique, M. Z., Li, Y., Larik, A. R., & Monaheng, M. P. (2020). The Effects of FDI, Technological Innovation, and Financial Development on CO₂ Emissions: Evidence From the BRICS Countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 23899-23913.
- Rahman, H. U., Zaman, U., & Górecki, J. (2021). The Role of Energy Consumption, Economic Growth and Globalization in Environmental Degradation: Empirical Evidence from the BRICS Region. *Sustainability*, 13(4), 1924. <https://doi.org/10.3390/su13041924>
- Sadorsky, P. (2014). The Effect of Urbanization on CO₂ Emissions in Emerging Economies. *Energy economics*, 41, 147-153.
- Salahuddin, M., Ali, M. I., Vink, N., & Gow, J. (2019). The Effects of Urbanization and Globalization on CO₂ Emissions: Evidence from the Sub-Saharan Africa (SSA) Countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 2699-2709.
- Salahuddin, M., Gow, J., Ali, M. I., Hossain, M. R., Al-Azami, K. S., Akbar, D., & Gedikli, A. (2019). Urbanization–globalization–CO₂ emissions nexus revisited: Empirical evidence from South Africa. *Heliyon*, 5(6), Article e01974.
- Selvanathan, E. A., Jayasinghe, M., & Selvanathan, S. (2021). Dynamic Modelling of Inter-Relationship Between Tourism, Energy Consumption, CO₂ Emissions and Economic Growth in South Asia. *International Journal of Tourism Research*, 23(4), 597-610.

- Shabir, M., Ali, M., Hashmi, S. H., & Bakhsh, S. (2022). Heterogeneous Effects of Economic Policy Uncertainty and Foreign Direct Investment on Environmental Quality: Cross-Country Evidence. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 2737-2752.
- Shahbaz, M., Balsalobre-Lorente, D., & Sinha, A. (2019). Foreign Direct Investment–CO₂ Emissions Nexus in Middle East and North African Countries: Importance of Biomass Energy Consumption. *Journal of cleaner production*, 217, 603-614.
- Shahbaz, M., Loganathan, N., Muzaffar, A. T., Ahmed, T., Ahmed, K., & Jabran, M. A. (2015). How Urbanization Affects CO₂ Emissions in Malaysia? The Application of STIRPAT Model. *MPRA Paper No. 68422*.
- Somoye, O. A., & Akinwande, T. S. (2023). Can Urbanization Influence Carbon Dioxide Emissions? Evidence from BRICS–T Countries. *Journal of Contemporary Urban Affairs*, 7(1), 164-174.
- Triantafyllidou, A., & Polychronidou, P. (2025). Energy Consumption, Economic Growth and CO₂ Emissions: Empirical Evidence for EU Countries. *Scientific Annals of Economics and Business*, 72(1), 59-78.
- Türk, M. M., & Barışık, S. (2024). CO₂ Emisyonunun Ekonomik Büyüme ve Kentleşme ile Etkileşimi: BRICS-T Ülkeleri Örneği. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 13(2), 510-533.
- Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Yatırım ve Finans Ofisi (ty). Türkiye'de Uluslararası Doğrudan Yatırım. <https://www.invest.gov.tr/tr/whyturkey/sayfalar/fdi-in-turkey.aspx>
- Uddin, I., Usman, M., Saqib, N., & Makhdam, M. S. A. (2023). The Impact of Geopolitical Risk, Governance, Technological Innovations, Energy Use, and Foreign Direct Investment on CO₂ Emissions in the BRICS Region. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 73714-73729.
- Udemba, E. N., & Keleş, N. İ. (2022). Interactions Among Urbanization, Industrialization and Foreign Direct Investment (FDI) in Determining the Environment and Sustainable Development: New Insight from Turkey. *Asia-Pacific Journal of Regional Science*, 6, 191-212.
- Wang, H., Guo, X. (2025). Forecasting CO₂ Emissions in BRICS Countries Using the Grey Breakpoint Prediction Models. *Carbon Balance Management* 20(7).
- Wang, Q., Yang, T., Li, R., & Wang, X. (2023). Reexamining the Impact of Foreign Direct Investment on Carbon Emissions: Does Per Capita GDP Matter?. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10, 406.
- Wang, Q., & Zhang, F. (2020). Does increasing investment in research and development promote economic growth decoupling from carbon emission growth? An empirical analysis of BRICS countries. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119853.
- Wang, W. Z., Liu, L. C., Liao, H., & Wei, Y. M. (2021). Impacts of Urbanization on Carbon Emissions: An Empirical Analysis from OECD Countries. *Energy policy*, 151, 112171.
- World Bank. World development indicators [Dataset]. Retrieved from <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>
- Zhigolli, G., & Fetai, B. (2024). The Relationship Between CO₂ Emissions and GDP per Capita, Energy Consumption, Industrial Production in the Case of Western Balkan Countries. *Ekonomika misao i praksa*, 33(2), 539-553.

Araştırma Makalesi / Research Article

**BRICS-T Ülkelerinde CO₂ Emisyonlarının Belirleyicileri: 2000–2022
Dönemi Panel Veri Analizi**

*Determinants of CO₂ Emissions in BRICS-T Countries: A Panel Data Analysis
for the Period 2000–2022*

Koray UYGUR  & Ebru TOPCU 

DOI : [10.63556/ankad.v10i1.355](https://doi.org/10.63556/ankad.v10i1.355)

Geliş/Received: 20/10/2025

Kabul/Accepted: 22/02/2026

Extended Abstract

Introduction

The global increase in carbon dioxide (CO₂) emissions is widely recognized as a primary driver of contemporary climate change and poses a significant threat to sustainable development. In BRICS countries, the combination of sustained and rapid economic growth and accelerating urbanization has led to a continuous rise in energy demand, further intensified by structural transformations in industrial sectors. As a result, a persistent upward trend in CO₂ emissions has been observed (Wang and Guo, 2025). Comprising Brazil, Russia, India, China, and South Africa, the BRICS nations have made substantial contributions to global CO₂ emissions due to their rapid industrialization and economic expansion (Erkılıç vd., 2025). These countries now face the complex challenge of balancing the need to meet rising energy demands with the imperative to reduce carbon emissions, highlighting the difficulty of aligning environmental sustainability with economic development (Mehta and Shah, 2024). In this context, a comprehensive analysis of the determinants of emissions in the BRICS-T group, which significantly includes Turkey as part of the expanded BRICS framework, appears essential for formulating effective and sustainable environmental policies. Turkey exhibits notable structural similarities with other BRICS countries in terms of rapid urbanization, rising energy demand, and the persistent challenge of reconciling environmental sustainability with ambitious economic growth objectives. Understanding these dynamics is essential for formulating integrated and context-specific strategies that promote sustainable development. In this context, the primary aim of the study is to empirically examine the effects of urbanization, energy consumption, and foreign direct investment on CO₂ emissions for the BRICS-T countries over the period 2000 to 2022.

Method

The study employs panel data analysis to investigate the effects of urbanization, energy consumption, and foreign direct investment on CO₂ emissions in BRICS-T countries over the period 2000–2022. Given the presence of cross-sectional dependence, second-generation unit root tests were applied to ensure the stationarity of the variables. For coefficient estimation, the study utilized the Driscoll–Kraay standard errors estimator within the fixed effects framework.

Result and Discussion

This study investigates the effects of urbanization, energy consumption, and foreign direct investment on CO₂ emissions in BRICS-T countries (Brazil, Russia, India, China, South Africa, and Türkiye) over the period 2000–2022, using panel data techniques. The empirical findings indicate that all examined variables exert a positive and statistically significant impact on CO₂ emissions. These results are largely consistent with previous findings in the literature based on different country samples.

The strong and positive impact of energy consumption on CO₂ emissions underscores the environmental consequences of a fossil fuel-based energy structure. In BRICS-T countries, a one-unit increase in energy consumption is associated with a 0.10-unit rise in CO₂ emissions, reflecting the high dependence of these economies on fossil energy sources such as coal, oil, and natural gas. This result is consistent with a broad body of empirical literature covering diverse country samples, including Rafique et al. (2020), Nathaniel et al. (2020), Agboola et al. (2021), Muhammad and Khan (2021), Rahman et al. (2021), Li et al. (2022), Uddin et al. (2023), Georgescu and Kinnunen (2023), Apergis et al. (2023), Chhabra et al. (2023), Zhigolli and Fetai (2024), Triantafyllidou and Polychronidou (2025), and Muhammad et al. (2025). The results indicate that foreign direct investment has a positive effect on CO₂ emissions. This finding is consistent with the existing literature, which documents that FDI contributes to environmental degradation, as reported by Muhammad and Khan (2021), Balsalobre-Lorente et al. (2022), Farooq (2022), Pata, Dam, and Kaya (2023), and Kim and Seok (2023). In BRICS-T countries, a one-unit increase in urbanization leads to a 0.76-unit rise in CO₂ emissions, indicating that the urbanization process has largely progressed independently of effective planning and environmental regulation. Contrary to the environmental gains predicted by compact city theory, urbanization in these countries has not yet evolved into an emissions-reducing structure. This finding suggests that the environmental impacts of urbanization are closely linked to the effectiveness of environmental policies and urban governance frameworks. The result is consistent with the findings of Salahuddin et al. (2019), Rafique et al. (2020), Li et al. (2022), Apergis et al. (2023), Feng and Li (2024), Türk and Barışık (2024), and Dutta and Hazarika (2025).

CO₂ emissions constitute one of the key indicators of environmental sustainability. In light of the empirical evidence, three main policy areas emerge as priorities for achieving environmental sustainability in BRICS-T countries: (i) promoting environmentally friendly foreign direct investment, (ii) reducing dependence on fossil fuels in energy consumption while accelerating the transition toward renewable energy sources, and (iii) restructuring urbanization processes to be planned, environmentally sustainable, and low-carbon oriented. The implementation of integrated environmental and development policies in line with these priorities would contribute to establishing a balance between environmental sustainability and economic development in these countries.