

ARAŞTIRMA MAKALESİ

Türkiye’de Kişi Başına Gelir, Doğrudan Yabancı Yatırımlar ve Sabit Sermaye Oluşumunun CO₂ Emisyonları Üzerindeki Etkileri: 1991–2023 Dönemi İçin Zaman Serisi Analizi

Emre YİĞİT ¹

ÖZ

Bu çalışma, Türkiye ekonomisi için 1991–2023 dönemine ait yıllık veriler kullanılarak kişi başına CO₂ emisyonları ile gelir düzeyi (kişi başına gelir), doğrudan yabancı yatırımlar (FDI) ve sabit sermaye oluşumu (GCF) arasındaki uzun dönemli ilişkiyi incelemektedir. Analiz, Johansen eşbütünleşme yaklaşımı ile gerçekleştirilmiş; uzun dönem katsayıları FMOLS, DOLS ve CCR tahmincileri aracılığıyla elde edilmiştir. Bulgular, değişkenler arasında istikrarlı bir eşbütünleşme ilişkisinin varlığını göstermektedir. Gelir düzeyinin CO₂ emisyonları üzerinde güçlü ve istatistiksel olarak anlamlı pozitif bir etkisi bulunurken, FDI değişkeninin de emisyonları artırıcı yönde etkilediği tespit edilmiştir. Buna karşılık, sabit sermaye oluşumu genel olarak emisyonlar ile negatif ilişki sergilemekte, ancak bu ilişkinin anlamlılığı kullanılan yöntemle göre değişmektedir. Sonuçlar, Türkiye ekonomisinde çevresel sonuçların ekonomik faaliyetlerle birlikte yatırım yapısı ve niteliğiyle de yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Politika açısından, gelir artışı ve yatırım süreçlerinin çevresel sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu hale getirilmesi önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: CO₂ emisyonu, Doğrudan Yabancı Yatırımlar, Kişi başına gelir düzeyi, Sabit Sermaye Oluşumu

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Tokat/Türkiye, ORCID: 0000-0001-9721-2605, e-posta: emre.yigit@gop.edu.tr (Sorumlu Yazar)

RESEARCH ARTICLE

The Effects of GDP per Capita, Foreign Direct Investment, and Gross Capital Formation on CO₂ Emissions in Türkiye: A Time Series Analysis for the Period 1991–2023

Emre YİĞİT ²

ABSTRACT

This study examines the long-run relationship between CO₂ emissions and income level (GDP per capita), foreign direct investment (FDI), and gross capital formation (GCF) in Türkiye, using annual data for the period 1991–2023. The analysis is conducted within a time series econometric framework using the Johansen cointegration approach, while long-run coefficients are estimated through FMOLS, DOLS, and CCR estimators. The findings indicate the existence of a stable cointegration relationship among the variables. Income level has a strong and statistically significant positive effect on CO₂ emissions, while FDI is also found to increase emissions. In contrast, gross capital formation generally exhibits a negative relationship with emissions, although its statistical significance varies across estimation methods. The results suggest that environmental outcomes in Türkiye are influenced not only by the scale of economic activity but also by the structure and quality of investment. From a policy perspective, it is important to align income growth and investment processes with environmental sustainability objectives.

Keywords: CO₂ Emissions, Foreign Direct Investment, Per capita Income level, Gross Capital Formation

² Assist. Prof., Tokat Gaziosmanpaşa University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Tokat/Türkiye, ORCID: 0000-0001-9721-2605, e-mail: emre.yigit@gop.edu.tr (Corresponding Author)

1. Giriş

İklim değişikliği, son yıllarda hem akademik literatürde hem de politika gündemlerinde merkezi bir konuma yerleşmiştir. Küresel sıcaklık artışları, buzulların erimesi, ekstrem hava olayları ve biyolojik çeşitlilik kayıpları, karbon yoğun üretim ve tüketim yapılarının çevresel sonuçlarını daha görünür hâle getirmiştir. Bu bağlamda, karbondioksit (CO₂) emisyonları küresel ısınmanın temel belirleyicilerinden biri olarak öne çıkmakta ve ülkelerin ekonomik faaliyetleriyle yakından ilişkilendirilmektedir (Stern, 2007: 22). Bu nedenle, ekonomik faaliyetlerin bileşimi ile çevresel sonuçlar arasındaki ilişkinin analizi, sürdürülebilir kalkınma tartışmalarının merkezinde yer almaktadır.

CO₂ emisyonlarının belirleyicileri literatürde genellikle kişi başına gelir düzeyi (GDPPC), doğrudan yabancı yatırımlar (FDI) ve sabit sermaye oluşumu (GCF) gibi makroekonomik değişkenler çerçevesinde ele alınmaktadır. Kişi başına gelir düzeyi, ekonomik faaliyetlerin ölçeğini yansıtırken, doğrudan yabancı yatırımlar üretim yapısı ve teknoloji transferi üzerinden çevresel etkiler yaratabilmektedir. Bu bağlamda FDI’nin, enerji tüketimini artırarak çevresel baskıyı yükseltebileceği gibi, daha temiz teknolojilerin yayılımı yoluyla çevresel kaliteyi iyileştirebileceği de ileri sürülmektedir (Cole & Elliott, 2005). Dolayısıyla FDI’nin çevresel etkileri, yatırımın sektörel bileşimi ve ev sahibi ülkenin kurumsal yapısı ile yakından ilişkilidir (Eskeland & Harrison, 2003: 14). Benzer şekilde, sabit sermaye oluşumu da altyapı ve üretim kapasitesini artırarak CO₂ emisyonları yükseltebileceği gibi, enerji verimliliğini artıran ve düşük karbonlu teknolojileri içeren yatırımlar aracılığıyla emisyonları azaltıcı bir rol da üstlenebilmektedir. Bu yönüyle yatırım değişkenleri, çevresel etkiler bakımından tek yönlü değil, çok boyutlu bir yapı sergilemektedir.

Literatürde kişi başına gelir düzeyi ile CO₂ emisyonları arasındaki ilişki sıklıkla Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) hipotezi çerçevesinde tartışılmaktadır. Bu yaklaşım, gelir düzeyi arttıkça çevresel bozulmanın önce artıp daha sonra azaldığını ileri sürmektedir (Grossman & Krueger, 1995). Ancak ampirik bulgular, özellikle gelişmekte olan ülkelerde bu ilişkinin çoğunlukla doğrusal ve pozitif bir yapı sergilediğini göstermekte ve EKC hipotezinin genellenebilirliğine ilişkin tartışmaları gündeme getirmektedir.

Mevcut literatürde CO₂ emisyonları ile makroekonomik değişkenler arasındaki ilişkileri inceleyen çok sayıda ampirik çalışma bulunmakla birlikte, bu çalışmaların önemli bir kısmı yöntemsel tercihler, veri kapsamı ve değişken seçimi açısından belirli sınırlılıklar içermektedir. Türkiye özelinde yapılan çalışmalar incelendiğinde, analizlerin çoğunlukla sınırlı dönemleri kapsadığı, tek bir ekonometrik yöntemle dayandığı veya değişkenlerin ayrı ayrı ele alındığı görülmektedir. Özellikle doğrudan yabancı yatırımlar, kişi başına gelir düzeyi ve sabit sermaye oluşumunun çevresel etkilerini bütüncül bir çerçevede birlikte inceleyen çalışmaların görece sınırlı olduğu dikkat çekmektedir. Bu durum, yatırım bileşimi ile ekonomik faaliyetlerin çevresel etkilerinin birlikte değerlendirilmesini zorlaştırmakta ve literatürde önemli bir boşluk oluşturmaktadır.

Bu çalışma, söz konusu boşluğu doldurmayı amaçlayarak Türkiye ekonomisi için 1991–2023 dönemine ait yıllık veriler kullanmakta ve kişi başına CO₂ emisyonları ile doğrudan yabancı yatırımlar, sabit sermaye oluşumu ve kişi başına reel gelir arasındaki uzun dönemli ilişkiyi zaman serisi ekonometrisi çerçevesinde incelemektedir. Analizde, Johansen eşbütünleşme yaklaşımı kullanılarak değişkenler arasındaki uzun dönemli denge ilişkisi test edilmekte; ardından FMOLS, DOLS ve CCR tahmincileri aracılığıyla uzun dönem katsayıları karşılaştırmalı olarak tahmin edilmektedir. Bu çoklu tahmin yaklaşımı, elde edilen bulguların yöntemler arası tutarlılığını değerlendirmeye imkân tanımaktadır.

Çalışmanın temel katkısı, CO₂ emisyonlarının belirleyicilerini ekonomik faaliyetlerle birlikte yatırımın niteliğini temsil eden değişkenler üzerinden birlikte analiz etmesidir. Özellikle sabit sermaye oluşumuna ilişkin elde edilen bulguların negatif yönlü olması, yatırım miktarının tek başına çevresel etkileri açıklamakta yetersiz kaldığını ve yatırımın bileşimi ile teknolojik içeriğinin belirleyici olabileceğini göstermektedir. Bu yönüyle çalışma, Türkiye literatüründe yatırım–çevre ilişkisine ilişkin tartışmalara yeni bir ampirik bulgu sunmaktadır. Ayrıca farklı eşbütünleşme tahmincilerinin birlikte kullanılması, sonuçların sağlamlığını artırarak metodolojik açıdan da katkı sağlamaktadır.

Elde edilen bulguların, sürdürülebilir kalkınma politikalarının tasarımı açısından önemli çıkarımlar sunduğu değerlendirilmektedir. Özellikle kişi başına gelir düzeyindeki artışın çevresel baskılarla birlikte hareket etmesi ve yatırım dinamiklerinin bu ilişkiyi şekillendirmesi, ekonomik ve çevresel politikaların birlikte ele alınması gerektiğine işaret etmektedir.

2. Teorik Çerçeve

Çevresel sürdürülebilirliğin ekonomik kalkınma ile entegrasyonu, son yıllarda çevre iktisadı literatürünün temel tartışma alanlarından biri hâline gelmiştir. Özellikle CO₂ emisyonlarının temel makroekonomik göstergelerle olan ilişkisi, farklı teorik yaklaşımlar çerçevesinde ele alınmakta ve bu ilişkinin yönü ile niteliği konusunda literatürde tam bir görüş birliği bulunmamaktadır.

Doğrudan yabancı yatırımlar, ekonomik büyümeyi ve kişi başına gelir düzeyini destekleyen önemli bir finansman kaynağı olmakla birlikte, çevresel performans üzerinde de belirleyici etkiler doğurabilmektedir. Bu etkiler, ev sahibi ülkenin kurumsal yapısı, çevre politikalarının etkinliği ve yatırımcı firmaların teknolojik kapasitesi gibi faktörlere bağlı olarak farklılaşmaktadır (Eskeland & Harrison, 2003). Literatürde FDI'nin çevresel etkilerini açıklayan iki temel yaklaşım öne çıkmaktadır. Kirlilik Sığınağı Hipotezi, çok uluslu şirketlerin sıkı çevre düzenlemelerinden kaçınmak amacıyla üretim faaliyetlerini çevresel standartları daha düşük ülkelere kaydırıldığını ve bu süreçte ev sahibi ülkelerde çevresel bozulmanın arttığını ileri sürmektedir (Cole & Elliott, 2005; Jorgenson, 2007). Buna karşılık Kirlilik Halesi Hipotezi, doğrudan yabancı yatırımların gelişmiş ve çevre dostu teknolojilerin transferine olanak sağladığını ve bu yolla çevresel kaliteyi iyileştirdiğini savunmaktadır (Pao & Tsai, 2011).

Dolayısıyla, FDI’nin çevresel etkileri tek yönlü olmayıp, yatırımın sektörel bileşimi ve teknolojik içeriğine bağlı olarak farklılaşmaktadır.

Kişi başına gelir düzeyi ile çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi açıklamada en yaygın teorik çerçeve EKC hipotezidir. Bu hipotezi, ekonomik büyümenin erken aşamalarında çevresel bozulmanın arttığını, ancak belirli bir gelir eşiğinin aşılmasıyla birlikte çevresel kalitenin iyileşmeye başladığını ileri sürmektedir (Grossman & Krueger, 1995). Ters-U şeklindeki ilişki, farklı mekanizmalar üzerinden açıklanmaktadır. İlk olarak, düşük gelir seviyelerinde ekonomik büyümenin öncelik kazanması, çevresel maliyetlerin göz ardı edilmesine neden olabilmektedir. Ancak gelir artışı ile birlikte çevre bilincinin yükselmesi ve düzenleyici politikaların etkinliğinin artması, çevresel iyileşmeyi destekleyebilmektedir (Panayotou, 1997). İkinci olarak, ekonomik gelişme sürecinde üretim yapısının daha az kirletici sektörlerle kayması ve hizmet sektörünün ağırlık kazanması, emisyonların azalmasına katkı sağlayabilmektedir (Dinda, 2004). Bununla birlikte, EKC hipotezinin ampirik geçerliliği özellikle gelişmekte olan ülkeler açısından tartışmalıdır. Birçok çalışmada kişi başına gelir düzeyi ile CO₂ emisyonları arasında doğrusal ve pozitif ilişkilerin sürdüğü, ters-U biçiminde bir ilişkinin her zaman gözlenmediği ortaya konulmuştur (Torras & Boyce, 1998). Bu durum, büyüme–çevre ilişkisinin ülkeye özgü yapısal özelliklere, enerji kullanımına ve kurumsal faktörlere bağlı olarak farklılaştığını göstermektedir. Bu çerçevede, EKC hipotezi çalışmada teorik bir referans noktası olarak ele alınmakta, ancak doğrudan test edilmemektedir.

Sabit sermaye oluşumu, ekonomik büyümenin temel belirleyicilerinden biri olup, altyapı, sanayi ve inşaat yatırımlarını kapsamaktadır. Bu tür yatırımlar, üretim kapasitesini artırarak ekonomik faaliyetleri desteklerken, çevresel etkiler bakımından farklı sonuçlar doğurabilmektedir. Özellikle enerji yoğun sektörlerde gerçekleştirilen sabit sermaye yatırımları, fosil yakıt kullanımını artırarak CO₂ emisyonlarının yükselmesine yol açabilmektedir (Shahbaz vd., 2013). Bu etki, çevresel düzenlemelerin sınırlı olduğu gelişmekte olan ülkelerde daha belirgin hale gelmektedir. Buna karşılık, sabit sermaye yatırımlarının yenilenebilir enerji altyapısına, çevre dostu teknolojilere ve sürdürülebilir ulaşım sistemlerine yönlendirilmesi durumunda, karbon emisyonlarının azaltılmasına katkı sağlanabilmektedir (Bhattacharya vd., 2015). Dolayısıyla, sabit sermaye oluşumunun çevresel etkileri tek yönlü değildir. Bu etkiler, yatırımın sektörel dağılımı, teknolojik içeriği ve uygulanan çevre politikalarının niteliğine bağlı olarak farklılaşmaktadır. Bu yönüyle GCF, çevresel bozulma üzerinde hem artırıcı hem de azaltıcı potansiyel barındıran çok boyutlu bir değişken olarak değerlendirilmektedir.

3. Literatür Özeti

CO₂ emisyonlarının makroekonomik belirleyicilerine ilişkin literatür, kullanılan yöntemler, ülke grupları ve analiz dönemlerine bağlı olarak farklı ve çoğu zaman çelişkili bulgular ortaya koymaktadır. Bu çalışmalar genel olarak doğrudan yabancı yatırımlar (FDI), kişi başına gelir düzeyi (GDPPC) ve

sabit sermaye oluşumu (GCF) değişkenlerinin çevresel etkileri çerçevesinde üç temel başlık altında değerlendirilebilir.

3.1. Doğrudan Yabancı Yatırımlar ve CO₂ Emisyonları

FDI'nin çevresel etkileri literatürde ağırlıklı olarak “kirlilik sığınağı” ve “kirlilik hale” hipotezleri çerçevesinde ele alınmaktadır. Ampirik bulguların önemli bir kısmı, özellikle gelişmekte olan ülkelerde doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonlarını artırıcı yönde etkili olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, Mutafoğlu (2012), Kılıçarslan ve Dumrul (2017) ile Kurt vd. (2019) tarafından Türkiye üzerine yapılan çalışmalar, FDI'nin uzun dönemde çevresel bozulmayı artırdığını ortaya koyarak kirlilik sığınağı hipotezini desteklemektedir. Benzer şekilde Usta (2023), N-11 ülkeleri için yaptığı panel veri analizinde doğrudan yabancı yatırımların çevre kirliliğini artırıcı yönde etkili olduğunu tespit etmiştir.

Bununla birlikte literatürde doğrudan yabancı yatırımların çevresel etkilerinin her zaman artırıcı olmadığına ilişkin bulgular da mevcuttur. Şahinöz ve Fotourehchi (2014) ile Akçay ve Karasoy (2018), Türkiye için yaptıkları analizlerde doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonlarını azaltıcı yönde etkili olduğunu ortaya koyarak kirlilik hale hipotezini destekleyen sonuçlara ulaşmıştır. Bu durum, FDI'nin çevresel etkilerinin yatırımın teknolojik içeriği ve sektörel dağılımına bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir.

Literatürde daha geniş ülke gruplarını kapsayan çalışmalar, doğrudan yabancı yatırımların çevresel etkilerinin homojen olmadığını ortaya koymaktadır. Mike ve Kardaşlar (2018), farklı gelir gruplarındaki ülkeler için yaptıkları analizde, FDI'nin düşük gelirli ülkelerde çevresel bozulmayı artırırken, yüksek gelirli ülkelerde çevresel kaliteyi iyileştirebildiğini göstermiştir. Benzer şekilde Soyhan vd. (2025), panel genelinde doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonları üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunmadığını, ancak ülke bazında önemli farklılıklar gözlemlendiğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, FDI'nin çevresel etkilerinin ülkelerin ekonomik yapısı, enerji yoğunluğu ve kurumsal özelliklerine bağlı olarak farklılaştığını göstermektedir.

Türkiye özelinde yapılan karşılaştırmalı çalışmalar da bu heterojen yapıyı desteklemektedir. Şahinoğlu ve Erdem (2022), doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonlarını artırıcı yönde etkili olduğunu, buna karşılık yurt içi yatırımların istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin bulunmadığını ortaya koymuştur.

3.2. Kişi başına gelir düzeyi ve CO₂ Emisyonları

Kişi başına gelir düzeyi ile CO₂ emisyonları arasındaki ilişki literatürde çoğunlukla Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) hipotezi çerçevesinde ele alınmaktadır. EKC hipotezi, ekonomik büyümenin erken aşamalarında çevresel bozulmanın arttığını, ancak belirli bir gelir seviyesinden sonra azalmaya başladığını ileri sürmektedir (Panayotou, 1997). Bununla birlikte, Panayotou (1997) bu ilişkinin yalnızca

gelir düzeyi ile açıklanamayacağını, çevresel politikalar ve kurumsal yapıların söz konusu ilişkiyi önemli ölçüde şekillendirdiğini vurgulamaktadır.

Ampirik çalışmalar incelendiğinde, kişi başına gelir düzeyi ile CO₂ emisyonları arasındaki ilişkinin tek yönlü olmadığı görülmektedir. Halıcıoğlu (2009) ve Usta (2023) gibi çalışmalar, ekonomik büyümenin çevresel bozulmayı artırıcı yönde etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Buna karşılık Kurt vd. (2019), kişi başına gelir düzeyinin emisyonları azaltıcı yönde etkili olabileceğini göstererek bu ilişkinin doğrusal olmadığını ortaya koymaktadır.

EKC hipotezine ilişkin bulgular da literatürde farklılık göstermektedir. Arouri vd. (2012), gelir ve emisyonlar arasındaki ilişkinin doğrusal olmayan bir yapı sergilediğini ancak EKC’ye güçlü bir destek sunmadığını belirtirken, Omri vd. (2015) ve Shahbaz vd. (2013) EKC hipotezini destekleyen bulgular elde etmiştir. Pao ve Tsai (2011) ise büyüme, enerji tüketimi ve CO₂ emisyonları arasında karşılıklı etkileşimlerin bulunduğunu ortaya koyarak, çevresel bozulmanın yalnızca gelir artışı ile açıklanamayacağını vurgulamaktadır. Bu bağlamda, Tamazian ve Rao (2010), çevresel performansın yalnızca ekonomik büyümeye değil, aynı zamanda kurumsal kalite ve finansal gelişmişlik düzeyine bağlı olarak şekillendiğini ortaya koymaktadır. Çalışmada, zayıf kurumsal yapı altında finansal serbestleşmenin çevresel bozulmayı artırabileceği vurgulanmaktadır. Bu bulgular, büyüme–çevre ilişkisinin çok boyutlu bir yapı sergilediğini göstermektedir.

3.3. Sabit Sermaye Oluşumu ve CO₂ Emisyonları

Sabit sermaye oluşumunun çevresel etkileri literatürde daha sınırlı sayıda çalışma tarafından ele alınmış olmakla birlikte, mevcut bulgular bu değişkenin homojen olmayan etkiler yarattığını göstermektedir. Satrović vd. (2020), Türkiye ve Kuveyt için yaptıkları analizde sabit sermaye oluşumu ile CO₂ emisyonları arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunduğunu ortaya koyarak, yatırım ve çevresel bozulma arasında karşılıklı bir etkileşim olduğunu göstermiştir.

Bununla birlikte, bazı çalışmalar sabit sermaye oluşumunun çevresel etkilerinin koşullara bağlı olarak değiştiğini ortaya koymaktadır. Prakash ve Sethi (2023), Hindistan ekonomisi için yaptıkları analizde, sabit sermaye oluşumunun liberalizasyon öncesi dönemde emisyonlar üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunmadığını, ancak liberalizasyon sonrası dönemde pozitif ve anlamlı bir etki yarattığını tespit etmiştir. Bu bulgu, yatırımın çevresel etkilerinin ekonomik yapı ve politika rejimlerine bağlı olarak farklılaştığını göstermektedir.

Öte yandan, Şahinoğlu ve Erdem (2022) tarafından Türkiye için yapılan analizde sabit sermaye oluşumunun CO₂ emisyonları üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunmadığı belirlenmiştir. Bu durum, yatırımın büyüklüğünden ziyade sektörel bileşimi ve enerji yoğunluğunun çevresel etkiler açısından daha belirleyici olduğunu göstermektedir. Bu çerçevede, Cole ve Elliott (2005) ile Bhattacharya vd.

(2015), sermaye birikiminin çevresel etkilerinin yatırımın yönü ve teknolojik içeriğine bağlı olarak değiştiğini vurgulamaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, CO₂ emisyonlarının makroekonomik belirleyicilerine ilişkin literatür, değişkenler arasındaki ilişkilerin tek yönlü ve homojen olmadığını ortaya koymaktadır. Doğrudan yabancı yatırımların çevresel etkileri bazı çalışmalarda artırıcı, bazı çalışmalarda azaltıcı ya da anlamsız bulunurken; kişi başına gelir düzeyi ile çevresel bozulma arasındaki ilişki doğrusal, doğrusal olmayan ve ülkeye özgü farklı yapılar sergilemektedir. Benzer şekilde, sabit sermaye oluşumunun etkileri de yatırımın niteliğine ve ekonomik yapıya bağlı olarak değişmektedir. Bu bulgular, çevresel bozulmanın belirleyicilerinin ülkelerin ekonomik, kurumsal ve yapısal özelliklerine bağlı olarak farklılaştığını ve bu ilişkilerin bütüncül bir çerçevede ele alınması gerektiğini göstermektedir.

4. Veri ve Metodoloji

Bu çalışmada, Türkiye ekonomisi için 1991–2023 dönemine ait yıllık veriler kullanılarak kişi başına CO₂ emisyonları ile FDI, GCF ve GDPPC arasındaki uzun dönemli ilişkiler analiz edilmektedir. Araştırma tasarımı zaman serisi ekonometrisine dayanmakta olup, değişkenlerin durağanlık özelliklerinin test edilmesi, eşbütünleşme ilişkilerinin belirlenmesi ve uzun dönem katsayılarının tahmin edilmesini içeren çok aşamalı bir metodolojik çerçeve izlenmektedir. Bu kapsamda, seriler arasındaki uzun dönemli ilişkinin varlığı Johansen eşbütünleşme yaklaşımı ile test edilmiş; eşbütünleşme ilişkisinin tespit edilmesinin ardından uzun dönem katsayıları Fully Modified Ordinary Least Squares (FMOLS), Dynamic Ordinary Least Squares (DOLS) ve Canonical Cointegrating Regression (CCR) tahmincileri kullanılarak elde edilmiştir. Bu çoklu tahmin yaklaşımı, farklı yöntemlerden elde edilen sonuçların karşılaştırılmasına imkân tanıyarak bulguların sağlamlığını değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Çalışmada kullanılan ekonometrik model aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$\ln CO_{2t} = \beta_0 + \beta_1 \ln FDI_t + \beta_2 \ln GCF_t + \beta_3 \ln GDPPC_t + \varepsilon_t \quad (1.1)$$

Modelde yer alan tüm değişkenler logaritmik forma dönüştürülmüştür. Logaritmik dönüşüm, değişkenler arasındaki ilişkilerin esneklikler üzerinden yorumlanmasına imkân tanımasının yanı sıra, serilerde ortaya çıkabilecek varyans problemlerini azaltarak tahmin sonuçlarının istatistiksel güvenilirliğini artırmaktadır. Bu çerçevede, tahmin edilen katsayılar bağımsız değişkenlerdeki oransal değişimlerin kişi başına CO₂ emisyonları üzerindeki uzun dönemli etkilerini yansıtan esneklik katsayıları olarak yorumlanmaktadır.

Analizde kullanılan değişkenler şu şekilde tanımlanmaktadır: CO₂, metrik ton cinsinden yıllık kişi başına karbon salımını ifade etmekte olup Dünya Bankası veri tabanından elde edilmiştir. FDI, gayrisafi yurt içi hasılaya oran (%GSYH) olarak ölçülmüş; GCF ise toplam sabit sermaye yatırımlarının GSYH içindeki payı şeklinde tanımlanmıştır. Kişi başına gelir düzeyi göstergesi olarak kullanılan GDPPC, sabit fiyatlarla hesaplanan kişi başına gayrisafi yurt içi hasılayı temsil etmektedir. Tüm değişkenler,

uluslararası literatürde yaygın olarak kullanılan ve ülkeler arası karşılaştırılabilirliği yüksek göstergelere dayanmaktadır. Bu yönüyle veri seti, hem teorik çerçeve ile uyumlu hem de ampirik analiz açısından güvenilir bir yapı sunmaktadır.

5. Bulgular

Ampirik analizlerde kullanılan zaman serilerinin istatistiki geçerliliği ve modelleme sürecindeki öngörü hatalarının azaltılması açısından durağanlık özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Zira durağan olmayan serilerle gerçekleştirilen regresyon analizleri sahte regresyon problemlerine yol açmakta ve elde edilen tahminlerin güvenilirliğini zayıflatmaktadır (Gujarati, 2004). Çalışmada kullanılan serilerin durağanlık özelliklerini belirlemek amacıyla Augmented Dickey-Fuller (ADF) birim kök testi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 1’de sunulmaktadır.

Tablo 1: ADF Birim Kök Testi Sonuçları

Değişkenler	Test Seviyesi	t İstatistiği	%5 Kritik Değer	p değeri
CO ₂	Düzyey	-2.5108	-3.5628	0.3210
CO ₂	Fark	-5.1468	-3.5683	0.0013***
FDI	Düzyey	-1.5839	-3.5628	0.7762
FDI	Fark	-4.2328	-3.5683	0.0116**
GCF	Düzyey	-2.8024	-3.5628	0.2070
GCF	Fark	-5.0274	-3.5683	0.0017***
GDPPC	Düzyey	-2.5878	-3.5628	0.2878
GDPPC	Fark	-4.0399	-3.5683	0.0180**

Not: ***, ** sırasıyla %1 ve %5 anlamlılık düzeylerini göstermektedir. ADF sabit ve trend içeren model altında uygulanmıştır.

Tablo 1’de sunulan analiz sonuçlarına göre; CO₂, FDI, GCF ve GDPPC değişkenlerinin tamamının düzey değerlerinde, hesaplanan t-istatistiklerinin MacKinnon (1996) %5 kritik değerlerinden mutlak değerce küçük olduğu ve p-değerlerinin 0.05 anlamlılık eşiğinin üzerinde kaldığı görülmektedir. Bu bulgular, serilerin düzey değerlerinde birim kök içerdikleri ve durağan olmadıkları yönündeki temel hipotezin reddedilemediğini göstermektedir.

Serilerin birinci farkları alındığında ise tüm değişkenlere ait p-değerlerinin istatistiksel olarak anlamlı düzeye ulaştığı tespit edilmiştir. CO₂ ve GCF değişkenleri %1 anlamlılık düzeyinde; FDI ve GDPPC değişkenleri ise %5 anlamlılık düzeyinde durağan hale geldiği görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar, analizde kullanılan tüm makroekonomik serilerin birinci dereceden bütünleşik, yani I(1) yapısında olduğunu kesinleştirmiştir. Değişkenlerin aynı dereceden bütünleşik olmaları, aralarındaki uzun dönemli denge ilişkisini araştıran Johansen eşbütünleşme testinin uygulanabilmesi için gerekli olan metodolojik uygunluğu sağlamaktadır.

VAR modeli için uygun gecikme uzunluğu bilgi kriterleri yardımıyla belirlenmiş olup, sonuçlar Tablo 2’de sunulmaktadır.

Tablo 2: Bilgi Kriterlerine Göre Gecikme Uzunluğu Seçimi

Gecikme	LogL	FPE	AIC	SC	HQ
0	36.704	1.42e-06	-2.11	-1.925	-2.05
1	142.771	4.32e-09*	-7.921	-6.996*	-7.619*
2	159.277	4.42e-09	-7.953*	-6.288	-7.410

Uygun gecikme uzunluğu farklı bilgi kriterleri kullanılarak belirlenmiştir. AIC kriteri 2 gecikmeyi önerirken, SC, HQ ve FPE kriterlerinin tamamı 1 gecikmeyi işaret etmektedir. Küçük örneklemelerde daha tutarlı sonuçlar verdiği kabul edilen SC ve HQ kriterleri esas alınarak modelde gecikme uzunluğu 1 olarak belirlenmiştir.

Serilerin durağanlıkları belirlendikten sonra, aralarında uzun dönemli bir ilişki bulunup bulunmadığını tespit etmek amacıyla eşbütünleşme analizi uygulanmaktadır. Tablo 3 ile Johansen eşbütünleşme testi sonuçları sunulmaktadır.

Tablo 3: Johansen Eşbütünleşme Testi Sonuçları

Hipotez	Trace İstatistiği	%5 Kritik Değer	p-değeri
$r = 0$	57.41449	55.24578	0.0318
$r \leq 1$	28.61365	35.01090	0.2051

Johansen eşbütünleşme testi sonuçları, modelde yer alan değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişkinin varlığına işaret etmektedir. İz (trace) istatistiği sonuçlarına göre, “eşbütünleşme yoktur” ($r = 0$) hipotezi %5 anlamlılık düzeyinde reddedilmektedir (Trace = 57.41 > 55.24; $p = 0.0318$). Buna karşılık, “en fazla bir eşbütünleşme vektörü vardır” ($r \leq 1$) hipotezi reddedilememektedir ($p = 0.2051$). Bu bulgular, sistemde tek bir eşbütünleşme ilişkisi ($r = 1$) bulunduğunu göstermektedir.

Uzun dönem katsayılarının tahmininde FMOLS, DOLS ve CCR yöntemlerinden faydalanılmıştır. Bu tahminler, eşbütünleşik sistemlerde ortaya çıkabilecek eşanlılık ve otokorelasyon sorunlarını dikkate alarak tutarlı ve etkin parametre tahminleri sağlamaktadır. Ayrıca, farklı tahmin yöntemlerinden elde edilen sonuçların karşılaştırılması, bulguların sağlamlığının değerlendirilmesine imkân tanımaktadır. Elde edilen uzun dönem tahmin sonuçlarının karşılaştırmalı görünümü Tablo 4’te sunulmaktadır.

Tablo 4: Uzun Dönemli Tahmin Sonuçlarının Karşılaştırılması

Yöntem	Değişken	Katsayı	Std. Hata	t-İstatistiği	p-değeri
FMOLS	FDI	0.0555	0.0155	3.589	0.0012
	GCF	-0.2758	0.1276	-2.162	0.0393
	GDPPC	0.9384	0.0725	12.941	0.0000
DOLS	FDI	0.0589	0.0146	4.021	0.0009
	GCF	-0.4328	0.1945	-2.225	0.0399
	GDPPC	0.9921	0.0738	13.437	0.0000
CCR	FDI	0.0585	0.0168	3.478	0.0017
	GCF	-0.3132	0.1717	-1.824	0.0789
	GDPPC	0.9379	0.0795	11.794	0.0000

FMOLS, DOLS ve CCR tahmin sonuçları, modelde yer alan değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkilerin tutarlılık sergilediğini göstermektedir. Üç farklı tahmin yönteminden elde edilen katsayıların hem işaret hem de büyüklük bakımından benzer olması, bulguların yöntemsel tercihlere duyarlı olmadığını ve sonuçların ampirik açıdan sağlam olduğunu ortaya koymaktadır.

Kişi başına reel gelir değişkenine ilişkin bulgular, tüm tahmin yöntemlerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0.01$). Katsayıların yaklaşık 0.94 ile 0.99 aralığında değişmesi, kişi başına reel gelirdeki %1’lik bir artışın CO₂ emisyonlarında yaklaşık %0.9–1 oranında bir artışla ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, Türkiye ekonomisinde gelir düzeyi ile çevresel baskı arasında pozitif ilişki bulunduğuna işaret etmektedir. Elde edilen sonuçlar, kişi başına gelir ile CO₂ emisyonları arasında pozitif ilişki tespit eden çalışmalarla da uyum göstermektedir (Shahbaz vd., 2013; Tamazian ve Rao, 2010).

Doğrudan yabancı yatırımlar değişkenine ilişkin bulgular, tüm tahmin yöntemlerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Katsayıların yaklaşık 0.055–0.059 aralığında olması, FDI’deki artışların CO₂ emisyonlarını artırıcı yönde ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, literatürde sıklıkla tartışılan kirlilik sığınağı hipotezi ile uyumlu ampirik bulgular sunmaktadır. Buna göre, çok uluslu firmaların çevresel düzenlemelerin görece daha esnek olduğu ekonomilere yönelmesi, karbon yoğun üretim faaliyetlerinin bu ülkelere kaymasına neden olabilmektedir. Bununla birlikte, FDI’nin çevresel etkilerinin yatırımın sektörel bileşimi ve ev sahibi ülkenin düzenleyici çerçevesine bağlı olarak değişebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle elde edilen bulgular, kirlilik sığınağı hipotezini destekleyici nitelikte olmakla birlikte, söz konusu ilişkinin altında yatan mekanizmaların daha ayrıntılı biçimde ortaya konulabilmesi için sektörel düzeyde veri setlerine dayalı analizlere ihtiyaç bulunmaktadır.

Sabit sermaye oluşumu değişkenine ilişkin katsayıların negatif işaretli olması, sermaye birikimi ile CO₂ emisyonları arasında ters yönlü bir ilişki olabileceğine işaret etmektedir. FMOLS ve DOLS tahmincilerinde bu ilişkinin %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu, CCR

tahmincisinde ise benzer yönlü ancak daha zayıf bir istatistiksel ilişki bulunduğu görülmektedir. Bu bulgu, sabit sermaye oluşumunun çevresel etkilerinin tek yönlü olmadığını ve yatırımın niteliğine bağlı olarak farklılaşabileceğini göstermektedir. Literatürde sabit sermaye oluşumunun hem artırıcı hem de azaltıcı etkiler doğurabileceğine ilişkin bulgular dikkate alındığında (Grossman ve Krueger, 1995; Zhang, 2011), elde edilen sonuçların yatırımın bileşimine duyarlı bir yapı sergilediği söylenebilir.

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Türkiye ekonomisi için 1991–2023 dönemine ait yıllık veriler kullanılarak kişi başına CO₂ emisyonları ile doğrudan yabancı yatırımlar, sabit sermaye oluşumu ve kişi başına reel gelir arasındaki uzun dönemli ilişkiler zaman serisi ekonometrisi çerçevesinde incelenmiştir. Johansen eşbütünleşme testi sonuçları, söz konusu değişkenler arasında uzun dönemli bir denge ilişkisinin varlığını ortaya koymaktadır. FMOLS, DOLS ve CCR tahmincilerinden elde edilen bulgular ise, kişi başına reel gelir ve doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonları ile pozitif yönlü; sabit sermaye oluşumunun ise genel olarak negatif yönlü ilişkili olduğunu göstermektedir.

Çalışmada elde edilen bulgular, Türkiye ekonomisinde çevresel sonuçların ekonomik faaliyetlerle birlikte, yatırım dinamikleri ile de yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Özellikle kişi başına gelir düzeyindeki artışın CO₂ emisyonları ile birlikte hareket etmesi, ekonomik yapının hâlen karbon yoğun özellikler taşıdığına işaret etmektedir. Bu durum, ekonomik gelişme sürecinin çevresel sürdürülebilirlik ile henüz tam olarak ayrılmadığını göstermektedir. Benzer şekilde, doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonları üzerindeki artırıcı etkisi, yatırım girişlerinin çevresel kalite üzerindeki etkilerinin yatırımın niteliğine ve düzenleyici çerçeveye bağlı olarak değişebileceğini ortaya koymaktadır. Çalışmada elde edilen bulgulardan bir diğeri ise sabit sermaye oluşumuna ilişkin katsayıların negatif işaretli olmasıdır. Bu sonuç, yatırım artışının her koşulda çevresel bozulmayı artırmadığını ve yatırım bileşiminin belirleyici olabileceğini göstermektedir.

Politika açısından değerlendirildiğinde, bulgular kişi başına gelir ve yatırım süreçlerinin çevresel boyutunun birlikte ele alınması gerektiğini göstermektedir. Kişi başına gelir düzeyindeki artışın CO₂ emisyonları artırıcı yönde ilişkili olması, büyüme politikalarının enerji verimliliği, temiz üretim teknolojileri ve düşük karbonlu sektörlere yönlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Doğrudan yabancı yatırımların özellikle teknoloji yoğun ve düşük karbonlu yatırımların teşvik edilmesi faydalı olabilir. Ayrıca sabit sermaye oluşumunun potansiyel azaltıcı etkisi dikkate alındığında, kamu ve özel sektör yatırımlarının enerji verimliliği ve sürdürülebilir altyapı alanlarına yönlendirilmesi, çevresel performansın iyileştirilmesine katkı sağlayabilir.

Kaynakça

Akçay, S., & Karasoy, A. (2018). Doğrudan yabancı yatırımlar ve karbondioksit emisyonu ilişkisi: Türkiye örneği. *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, 73(2), 501–526.

- Arouri, M. E. H., Youssef, A. B., M’henni, H., & Rault, C. (2012). Energy consumption, economic growth and CO₂ emissions in Middle East and North African countries. *Energy Policy*, 45, 342–349.
- Bhattacharya, A., Oppenheim, J., & Stern, N. (2015). *Driving sustainable development through better infrastructure: Key elements of a transformation program*. Brookings Institution.
- Cole, M. A., & Elliott, R. J. R. (2005). FDI and the capital intensity of dirty sectors: A missing piece of the pollution haven puzzle. *Review of Development Economics*, 9(4), 530–548.
- Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets curve hypothesis: a survey. *Ecological economics*, 49(4), 431–455.
- Eskeland, G. S., & Harrison, A. E. (2003). Moving to greener pastures? Multinationals and the pollution haven hypothesis. *Journal of Development Economics*, 70(1), 1–23.
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353–377.
- Gujarati, D. N. (2004). *Basic econometrics* (4th ed.). McGraw-Hill.
- Halıcıoğlu, F. (2009). An econometric study of CO₂ emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey. *Energy Policy*, 37(3), 1156–1164.
- Jorgenson, A. K. (2007). Does foreign investment harm the air we breathe and the water we drink? *Organization & Environment*, 20(2), 137–156.
- Karaaslan, A., & Çamkaya, S. (2022). The relationship between CO₂ emissions, economic growth, health expenditure, and renewable and non-renewable energy consumption: Empirical evidence from Turkey. *Renewable Energy*, 190, 457–466.
- Kılıçarslan, Z., & Dumrul, Y. (2017). Foreign direct investments and CO₂ emissions relationship: the case of Turkey. *Business and Economics Research Journal*, 8(4), 647–660.
- MacKinnon, J. G. (1996). Numerical distribution functions for unit root and cointegration tests. *Journal of applied econometrics*, 11(6), 601–618.
- Mike, F., & Kardaşlar, A. (2018). Doğrudan yabancı sermaye yatırımlarının çevre kirliliği üzerine etkisi. *Journal of Management and Economics Research*, 16(3), 178–191. <https://doi.org/10.11611/yead.377182>
- Mutafoglu, T. H. (2012). Foreign direct investment, pollution, and economic growth: Evidence from Turkey. *Journal of Developing Societies*, 28(3), 281–297.
- Omri, A., Daly, S., Rault, C., & Chaibi, A. (2015). Financial development, environmental quality, trade and economic growth: What causes what in MENA countries. *Energy Economics*, 48, 242–252.
- Özekenci, E. K. (2023). Karbondioksit emisyonu (CO₂) ile ihracat, enerji, doğrudan yabancı yatırımlar ve kişi başına gelir düzeyi arasındaki ilişki: Türkiye örneği. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 40, 83–98. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.1251325>
- Panayotou, T. (1997). Demystifying the environmental Kuznets curve: Turning a black box into a policy tool. *Environment and Development Economics*, 2(4), 465–484.
- Pao, H. T., & Tsai, C. M. (2011). Multivariate Granger causality between CO₂ emissions, energy consumption, FDI and GDP: Evidence from a panel of BRIC countries. *Energy*, 36(1), 685–693.
- Prakash, R., & Sethi, N. (2023). Relationship between fixed capital formation and carbon emissions: Impact of trade liberalization in India. *Cogent Economics & Finance*, 11(1), 2245274.

- Satrović, E., Muslija, A., & Abul, S. J. (2020). The relationship between CO₂ emissions and gross capital formation in Turkey and Kuwait. *South East European Journal of Economics and Business*, 15(2), 28–42.
- Shahbaz, M., Lean, H. H., & Shabbir, M. S. (2013). Environmental Kuznets curve hypothesis in Pakistan: Cointegration and Granger causality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 165–173.
- Soyhan, S., Görür, Ç., & Mollavelioğlu, M. Ş. (2025). Doğrudan yabancı yatırım girişlerinin çevresel kirliliğe etkisi: En çok yatırım alan ülkelerden kanıtlar. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 71, 213–225.
- Stern, N. (2007). *The economics of climate change: The Stern review*. Cambridge University Press.
- Şahinoğlu, T., & Erdem, U. (2022). Türkiye’de doğrudan yabancı yatırımlar ve yurtiçi yatırımların CO₂ emisyonu üzerindeki etkisinin ampirik analizi. *International Journal of Social and Humanities Sciences Research*, 9(79), 19–28.
- Şahinöz, A., & Fotourehchi, Z. (2014). Kirlilik emisyonu ve doğrudan yabancı sermaye yatırımları: Türkiye için kirlilik sığınağı hipotezi testi. *Sosyoekonomi*, 21(21).
- Tamazian, A., & Rao, B. B. (2010). Do economic, financial and institutional developments matter for environmental degradation? Evidence from transitional economies. *Energy Economics*, 32(1), 137–145.
- Torras, M., & Boyce, J. K. (1998). Income, inequality, and pollution: A reassessment of the environmental Kuznets curve. *Ecological Economics*, 25(2), 147–160.
- Usta, C. (2023). Doğrudan yabancı yatırımlarının çevresel kirliliğe etkisi: N-11 ülkeleri örneği. *Uluslararası Ekonomi İşletme ve Politika Dergisi*, 7(1), 58–73.
- Kurt, Ü., Kılıç, C., & Özekicioğlu, H. (2019). Doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi: Türkiye için ARDL sınır testi yaklaşımı. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 22(1), 213–224.
- Wang, Q., & Zhang, F. (2021). The effects of trade openness on decoupling carbon emissions from economic growth: Evidence from 182 countries. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123838.
- Zhang, Y. J. (2011). The impact of financial development on carbon emissions: An empirical analysis in China. *Energy policy*, 39(4), 2197–2203.

Extended Abstract

The relationship between economic activity and environmental degradation has become a central issue in contemporary macroeconomic and environmental policy debates. In particular, the increase in carbon dioxide (CO₂) emissions associated with economic expansion, capital accumulation, and globalization processes has raised serious concerns regarding the sustainability of development in emerging economies. Türkiye represents a significant case in this context, as it has experienced substantial structural transformation, increasing foreign direct investment inflows, and rising income levels since the 1990s. In this regard, the main objective of this study is to analyze the long-run determinants of CO₂ emissions in Türkiye over the period 1991–2023 by focusing on foreign direct investment (FDI), gross capital formation (GCF), and GDP per capita (GDPPC).

The empirical framework of the study is based on time series econometrics, which allows for the identification of long-run relationships among non-stationary variables. In the first step, the stationarity properties of the variables are examined using the Augmented Dickey-Fuller (ADF) unit root test under a specification that includes both constant and trend components. The results indicate that all variables are non-stationary in levels but become stationary after first differencing. This finding implies that all series are integrated of order one, I(1), thereby satisfying the necessary precondition for cointegration analysis.

In the second step, the optimal lag length for the vector autoregression (VAR) model is determined using several information criteria, including Akaike (AIC), Schwarz (SC), Hannan-Quinn (HQ), and Final Prediction Error (FPE). While the AIC suggests a lag length of two, the SC, HQ, and FPE criteria consistently indicate one lag. Given the relatively small sample size and the tendency of AIC to overestimate lag length, the lag order is set to one based on SC and HQ criteria. This parsimonious specification enhances the reliability of the model and prevents over-parameterization.

To investigate the existence of a long-run equilibrium relationship among the variables, the Johansen cointegration test is employed. The results based on the trace statistic indicate the presence of a cointegration relationship at the 5% significance level and suggest the existence of a single cointegrating vector. These findings provide evidence of a stable long-run relationship among CO₂ emissions, FDI, GCF, and GDP per capita.

Following the confirmation of cointegration, long-run coefficients are estimated using Fully Modified Ordinary Least Squares (FMOLS), Dynamic Ordinary Least Squares (DOLS), and Canonical Cointegrating Regression (CCR) methods. These estimators are widely used in the literature as they correct for potential endogeneity and serial correlation problems in cointegrated systems and provide robust long-run estimates.

The empirical findings reveal three main results. First, GDP per capita has a strong and positive effect on CO₂ emissions, indicating that increases in income per capita lead to higher environmental

pressure in Türkiye. Second, foreign direct investment is found to have a positive and statistically significant impact on CO₂ emissions, suggesting that FDI inflows may be associated with environmentally intensive activities. Third, gross capital formation has a negative effect on CO₂ emissions, implying that domestic investment may contribute to improvements in production efficiency or the adoption of relatively cleaner technologies.

From a policy perspective, the findings suggest that the environmental impact of income growth and foreign direct investment should be carefully managed through sustainable policy frameworks. In particular, strengthening environmental regulations, promoting green technologies, and directing foreign investments toward environmentally friendly sectors emerge as key policy priorities. Additionally, enhancing the environmental efficiency of capital formation processes may help establish a balance between economic activities and environmental sustainability.

In conclusion, this study provides empirical evidence that GDP per capita and foreign direct investment increase CO₂ emissions in Türkiye, while gross capital formation plays a mitigating role. By jointly analyzing these variables within a time series framework and employing multiple cointegration estimators, the study contributes to the literature on the environmental consequences of macroeconomic dynamics in emerging economies.