

Gelir Eşitsizliği, Karbon Emisyonları ve Ekonomik Büyüme: Dünyanın En Yüksek CO₂ Salınımı Yapan Ekonomilerine İlişkin Ampirik Bulgular

Fırat Cem DOĞAN¹

Öz

Bu çalışma, 1995–2024 döneminde yüksek CO₂ emisyonuna sahip 15 ekonomide kişi başına reel gelir, gelir eşitsizliği, enerji tüketimi, doğrudan yabancı yatırım ve ticaret açıklığı ile kişi başına CO₂ emisyonları arasındaki ilişkileri incelemektedir. Uzun dönem ilişkisi Westerlund eşbütünleşme testiyle sınanmış, katsayılar Panel ARDL-PMG yöntemiyle tahmin edilmiştir. Bulgular CCEMG, AMG, FMOLS ve DOLS tahminleriyle karşılaştırılmıştır. PMG sonuçlarında pozitif doğrusal ve negatif karesel gelir katsayıları, ters U biçimindeki ilişkiyle uyumludur. Yaklaşık dönüm noktası kişi başına 15.800 sabit 2015 ABD dolarıdır. Enerji tüketimi bütün yöntemlerde pozitif ve anlamlıdır. Gelir eşitsizliğinin pozitif ilişkisi alternatif yöntemlerde %10 düzeyinde anlamlılığını korurken, PMG’de anlamlı bulunan doğrudan yabancı yatırım ve ticaret açıklığı bu yöntemlerde anlamlı değildir. Hata düzeltme katsayısı, dengesizliğin yaklaşık %41’inin sonraki yılda giderildiğine işaret etmektedir. Bulgular, enerji dönüşümünün ve çevre politikalarının dağılımsal boyutunun önemini vurgulamaktadır.

Anahtar Sözcükler: CO₂ emisyonları, gelir eşitsizliği, enerji tüketimi, Panel ARDL

JEL Kodları: Q53, O44, D63, C33

Income Inequality, Carbon Emissions, and Economic Growth: Evidence from the World’s Highest CO₂-Emitting Economies

Abstract

This study examines relationships between real income per capita, income inequality, energy consumption, foreign direct investment (FDI), trade openness, and per capita CO₂ emissions in 15 high-emitting economies during 1995–2024. Cointegration is assessed using the Westerlund test, and long-run coefficients are estimated using panel ARDL-PMG. Results are compared with CCEMG, AMG, FMOLS, and DOLS estimates. Positive linear and negative quadratic income coefficients in PMG are consistent with an inverted-U relationship, with an estimated turning point of approximately US\$15,800 per capita at constant 2015 prices. Energy consumption is positively and significantly associated with emissions across estimators. Income inequality remains positively significant at the 10% level in alternative estimates, whereas FDI and trade, significant in PMG, are insignificant under these estimators. The error-correction coefficient indicates approximately 41% annual adjustment toward equilibrium. Findings highlight the importance of energy transition and the distributional dimensions of environmental policies.

Keywords: CO₂ emissions, income inequality, energy consumption, Panel ARDL

JEL Codes: C33, D63, O44, Q53

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi, İktisadi İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Bankacılık ve Sigortacılık Bölümü, fcem.dogan@hku.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-2398-1484

Extended Summary

This study examines the long-run relationships between income inequality, real income per capita, energy consumption, foreign direct investment (FDI), trade openness, and per capita carbon dioxide (CO₂) emissions in 15 high-emitting economies during 1995–2024. These economies differ substantially in their development levels, income distributions, and energy structures. Examining them together provides a framework for assessing whether estimated relationships remain consistent across alternative panel estimators. The study also considers the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis by including both the natural logarithm of real income per capita and its squared term.

The sample comprises China, the United States, India, Russia, Japan, Iran, Indonesia, Saudi Arabia, Germany, South Korea, Canada, Brazil, Mexico, Türkiye, and South Africa. The dependent variable is the natural logarithm of per capita CO₂ emissions. Real GDP per capita is measured in constant 2015 US dollars. Income and energy consumption enter the model in natural logarithms, while the Gini coefficient is expressed on a zero-to-one scale. FDI inflows and trade openness are measured as percentages of GDP. These differences in measurement require distinguishing elasticity interpretations from the interpretations of coefficients on variables entered in levels.

The empirical analysis begins with descriptive statistics and tests for cross-sectional dependence. The reported Pesaran CD results indicate dependence across countries. CIPS unit-root tests are subsequently used, and long-run relationships are assessed using Westerlund's bootstrap panel cointegration test. The principal coefficient estimates are obtained using the pooled mean group (PMG) panel ARDL approach. This estimator imposes common long-run coefficients while allowing short-run dynamics to differ across countries. Alternative estimates are obtained using CCEMG, AMG, FMOLS, and DOLS. Their comparison focuses on coefficient signs, magnitudes, and statistical significance rather than treating numerical similarity alone as conclusive evidence of robustness.

The PMG estimates show a positive coefficient on log income and a negative coefficient on its squared term, both statistically significant. This pattern is consistent with an inverted-U relationship between income and emissions. The estimated turning point is approximately US\$15,800 per capita at constant 2015 prices. However, the linear income coefficient of 0.580 cannot be interpreted as a constant income elasticity because the model includes a quadratic term. The elasticity varies with income. A stronger assessment of the EKC hypothesis requires examining uncertainty around the turning point and testing the slopes at the boundaries of the observed income range.

Energy consumption has a positive and statistically significant PMG coefficient of 0.720. Holding other variables constant, a 1% increase in per capita energy consumption is associated with approximately 0.72% higher per capita emissions in the long run. This positive and significant relationship is retained across all four alternative estimators. Income inequality is also positively associated with emissions, although its statistical significance is limited to the 10% level in the alternative estimates. FDI and trade openness are positive and significant in PMG but are not statistically significant at the

10% level under the alternative estimators. Their significance is therefore sensitive to the estimation method.

The PMG error-correction coefficient is negative and statistically significant at -0.410 , indicating adjustment toward the long-run equilibrium. With annual observations, the reported coefficient suggests that approximately 41% of disequilibrium is corrected in the following year. It should not be interpreted as an identical adjustment speed for every country, since PMG permits heterogeneous adjustment dynamics.

The findings highlight the relevance of energy efficiency, low-carbon energy transition, and the distributional dimensions of environmental policy. Policy implications concerning FDI and trade require greater caution because their statistical significance is not maintained across estimators. The analysis does not separately examine sectoral emissions, consumption-based emissions, or detailed institutional differences. Future research could investigate these dimensions, estimate country-specific income–emissions relationships, and incorporate institutional indicators to explore heterogeneity more fully.

1. Giriş

Küresel ekonomi son kırk yılda hızlı bir büyüme süreci yaşamış olsa da bu büyümenin çevresel maliyetleri giderek daha görünür hâle gelmiştir. Özellikle enerji üretimi, ağır sanayi, ulaşım ve kentleşme süreçlerinde fosil yakıt bağımlılığına dayalı kalkınma modelleri, küresel ölçekte karbon emisyonlarını tarihsel olarak en yüksek seviyelere taşımıştır (IPCC, 2022). Bugün dünyadaki toplam CO₂ emisyonlarının yaklaşık üçte ikisi yalnızca birkaç büyük ekonomiden kaynaklanmakta, bu da küresel iklim politikalarının odağını yüksek emisyon üreten ülkeler üzerine yoğunlaştırmaktadır. Bu ülkeler, ekonomik büyüme dinamikleri, sanayi kompozisyonları, enerji yoğunlukları ve gelir dağılımı yapıları bakımından önemli farklılıklar barındırmakta; dolayısıyla karbon emisyonlarının belirleyicileri de çok boyutlu bir görünüm sergilemektedir.

Ekonomik büyüme ve karbon emisyonları ilişkisi, uzun yıllardır Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) hipotezi çerçevesinde tartışılmaktadır. Bu teori, ekonomik büyümenin ilk aşamalarında çevresel bozulmanın arttığını, ancak belirli bir gelir düzeyinin ardından teknolojik gelişme, enerji verimliliği ve çevresel duyarlılığın artmasıyla emisyonların azalmaya başlayabileceğini ileri sürmektedir (Grossman & Krueger, 1995; Stern, 2004). Ancak ÇKE hipotezi, gelir dağılımının rolünü büyük ölçüde dışarıda bırakan bir çerçeve sunmaktadır. Gelir eşitsizliğinin çevresel bozulma üzerinde hem doğrudan hem dolaylı etkiler yarattığını göstermektedir (Boyce, 1994; Heerink vd., 2001).

Yüksek emisyon üreten ekonomilerde ekonomik büyüme, sanayileşme düzeyi, enerji politikaları ve gelir eşitsizliği arasındaki karşılıklı etkileşimler daha karmaşık bir yapı göstermektedir. Bu ülkeler bir yandan küresel üretim zincirlerinin merkezinde yer alırken diğer yandan artan enerji talebi, şehirleşme hızları ve ihracata dayalı sanayi yapıları nedeniyle karbon emisyonlarının yapısal olarak yüksek olduğu bir ekonomik modele sahiptir. Bu nedenle, söz konusu ekonomilerde büyüme–eşitsizlik–emisyon ilişkisini birlikte inceleyen çalışmalar, çevresel sürdürülebilirlik ve kalkınma politikaları için güçlü bir teorik ve ampirik çerçeve sunmaktadır.

Literatürde karbon emisyonlarının belirleyicileri üzerine yoğun bir araştırma yapılmış olsa da çalışmaların önemli bir kısmı ya gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeleri geniş bir panel içinde ele almakta (Stern, 2004) ya da ekonomik büyüme–emisyon ilişkisine odaklanarak eşitsizliğin rolünü sınırlı şekilde değerlendirmektedir. Dünyanın en yüksek CO₂ emisyonlarını üreten ekonomileri özelinde gelir eşitsizliğini büyüme ve emisyon dinamikleriyle birlikte inceleyen çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır. Bu eksiklik, küresel iklim politikaları açısından önemli bir boşluk yaratmaktadır. Zira karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik politikaların toplumsal kabulü ve etkinliği, yalnızca teknolojik kapasiteye veya büyüme hızına değil, aynı zamanda gelir dağılımı yapısına da bağlıdır.

Mevcut çalışmalar gelir eşitsizliği, ekonomik büyüme ve karbon emisyonları arasındaki ilişkiyi farklı ülke grupları, dönemler ve ekonometrik yöntemlerle incelemiştir.

Bununla birlikte çalışmalar örneklem, dönem, kontrol değişkenleri ve ekonometrik yaklaşım bakımından farklılaşmaktadır. Bu çalışma, söz konusu literatürü 1995–2024 döneminde seçili 15 yüksek emisyonlu ekonomi için gelir eşitsizliği ve gelir–emisyon ilişkisini enerji tüketimi, doğrudan yabancı yatırımlar ve ticaret açıklığıyla aynı uzun dönem modeli içerisinde değerlendirerek ve temel PMG sonuçlarını farklı uzun dönem tahmincileriyle karşılaştırarak genişletmektedir.

Çalışmanın yapısı şu şekilde planlanmıştır. İkinci bölümde ekonomik büyüme, gelir eşitsizliği ve karbon emisyonları arasındaki ilişkilerin teorik temelleri ele alınmaktadır. Üçüncü bölümde ilgili ampirik literatür değerlendirilmekte ve çalışmanın literatüre katkısı ve literatürdeki boşluk açıklanmaktadır. Dördüncü bölümde araştırmanın yöntemi, ekonometrik modeli, değişkenleri ve veri seti tanıtılmaktadır. Beşinci bölümde ekonometrik testler, uzun dönem tahminleri ve sağlamlık analizlerinden elde edilen bulgular sunulmakta ve değerlendirilmektedir. Altıncı ve son bölümde temel bulgular özetlenmekte; politika önerileri, çalışmanın sınırlılıkları ve gelecekteki araştırmalara yönelik öneriler paylaşılmaktadır.

2. Teorik Arka Plan

Küresel ekonomi literatüründe ekonomik büyüme ve çevresel bozulma ilişkisi, uzun yıllardır Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) çerçevesinde incelenmektedir. ÇKE, ekonomik büyümenin ilk aşamalarında çevresel bozulmanın arttığını, belirli bir gelir düzeyinden sonra ise teknolojik ilerleme, enerji verimliliği ve çevresel farkındalık sayesinde emisyonların azalabileceğini öne sürer (Grossman & Krueger, 1995; Stern, 2004). Bu yaklaşım, büyüme ile çevresel sonuçlar arasında ters-U şeklinde bir ilişki öngörür ve özellikle sanayileşme sürecinde enerji yoğun sektörlerin etkisini anlamak için temel bir teorik çerçeve sağlar. Bununla birlikte, ÇKE yaklaşımı, gelir dağılımının çevresel sonuçlar üzerindeki etkisini yeterince dikkate almamaktadır.

Gelir eşitsizliği ise çevresel etkileri anlamada kritik bir değişken olarak öne çıkmaktadır. Eşitsizliğin olduğu toplumlarda yüksek gelir gruplarının tüketim ve üretim kalıpları genellikle daha karbon yoğun olup, enerji talebini artırmaktadır. Öte yandan düşük gelir grupları, çevresel bozulmanın maliyetlerine daha duyarlı olmalarına rağmen politik süreçlerde daha az temsil edildiği için çevre koruma önlemlerine toplumsal destek sınırlı kalabilmektedir (Boyce, 1994; Heerink vd. 2001). Bu bağlamda, gelir eşitsizliği sadece toplumsal adalet açısından değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik açısından da önemli bir belirleyici faktör olmaktadır.

Ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasındaki ilişkinin değerlendirilmesinde gelir dağılımının rolü de önem taşımaktadır. Magnani (2000), yüksek gelirli ülkelerde ekonomik büyümenin kirlilik emisyonları üzerindeki etkisinin farklılaşabildiğini ve bu farklılığın anlaşılmasında kamusal çevre politikası kararlarının dikkate alınması gerektiğini belirtmektedir. Çalışmada bireysel heterojenlik, göreceli gelir etkisi ve çevre politikası kararlarının alındığı siyasal çerçevenin Çevresel Kuznets Eğrisi'nin azalan

bölümünün ortaya çıkışında rol oynayabileceği ileri sürülmektedir. Ayrıca gelir eşitsizliğinin, bir ülkenin çevre koruması için ödeme yapabilme kapasitesi ile ödeme isteği arasında bir farklılık yaratabileceği belirtilmekte ve bu ilişki OECD ülkelerinin çevre korumasına yönelik kamu Ar-Ge harcamaları kullanılarak ampirik olarak incelenmektedir (Magnani, 2000).

Bu bağlamda, teorik çerçeve üç temel ekseninde şekillendirilmektedir: (i) ekonomik büyüme ve karbon emisyonları arasındaki ilişki, (ii) gelir eşitsizliğinin çevresel etkileri ve (iii) üçlü etkileşim mekanizmaları. Bu yaklaşım, çalışmanın ampirik kısmında kullanılacak modellerin ve analizlerin teorik altyapısını oluşturmakta; yüksek emisyon üreten ülkelerde hem ekonomik büyüme hem de sosyal eşitsizlik dinamiklerinin karbon salımlarına olan etkilerini anlamayı mümkün kılmaktadır. Sonuç olarak, bu teorik çerçeve, politika yapıcılar için sürdürülebilir ve adil karbon azaltım stratejilerinin tasarımına yönelik önemli çıkarımlar sağlamaktadır.

2.1 Ekonomik Büyüme ve Çevresel Etki: Çevresel Kuznets Eğrisi'nin Sınırları

Ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi açıklamaya yönelik en yaygın teorilerden biri, Grossman ve Krueger'ın (1991, 1995) öncü çalışmalarına dayanan Çevresel Kuznets Eğrisi'dir (Environmental Kuznets Curve, EKC). EKC hipotezi, büyümenin ilk aşamalarında gelir arttıkça çevresel bozulmanın yükseldiğini, ancak belirli bir gelir seviyesinden sonra çevresel göstergelerin iyileşmeye başladığını öne sürer. Bu ters-U biçimli ilişki, birçok politika tartışmasına yön vermiş olsa da, son yıllarda hipotezin genellenabilirliği ciddi biçimde sorgulanmaktadır. Özellikle farklı kirleticiler, ülke gelir grupları ve kurumsal yapı farklılıkları EKC hipotezinin sınırlarını belirginleştirmektedir (Stern, 2004).

Öncelikle, EKC hipotezinin tüm kirleticiler için aynı ölçüde geçerli olmadığına ilişkin güçlü bir literatür oluşmuştur. Dinda (2004), EKC literatürünü değerlendirdiği çalışmada, hipotezin farklı çevresel göstergeler ve ülke grupları açısından değişen sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır. Benzer şekilde Stern (2004, 2017), EKC yaklaşımının özellikle küresel kirleticiler ve toplam emisyonlar açısından önemli sınırlılıklar taşıdığını vurgulamaktadır. Bu bulgular, ekonomik büyümenin otomatik olarak çevresel kalite artışı sağlayacağı varsayımının ihtiyatla ele alınması gerektiğini göstermektedir. Özellikle fosil yakıt kullanımına dayalı büyüme modellerinde, gelir artışının tek başına CO₂ emisyonlarını azaltması beklenmemekte; çevresel iyileşmenin enerji yapısı, teknolojik dönüşüm, çevresel düzenlemeler ve üretim kompozisyonundaki değişimlerle birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bir diğer önemli boyut, uluslararası ticaretin çevresel etkilerinin tek yönlü olmamasıdır. Antweiler vd. (2001), ticaretin çevresel etkilerini ölçek, kompozisyon ve teknik etkileri olmak üzere üç bileşen üzerinden incelemiştir. Kükürt dioksit (SO₂) yoğunlaşmalarına ilişkin verilerle gerçekleştirilen analizde, ticaretin üretim kompozisyonunda meydana getirdiği değişikliklerin kirlilik üzerindeki etkisinin görece

sınırlı olduğu; ticaretten kaynaklanan ölçek ve teknik etkilerin ise birlikte değerlendirildiğinde net bir kirlilik azalmasıyla ilişkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu bulgular, ekonomik büyüme ile çevresel kalite arasındaki ilişkinin değerlendirilmesinde yalnızca gelir düzeyinin değil, uluslararası ticaretin üretim ölçeği, sektörel kompozisyon ve üretim teknikleri üzerindeki etkilerinin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir (Antweiler vd., 2001).

Ayrıca, çevresel iyileşmenin büyümeden çok teknolojik içeriğe bağlı olduğunu savunan yaklaşımlar da hipotezin geçerliliğini sınırlamaktadır. Arrow vd. (1995), büyümenin çevresel sürdürülebilirliği kendi başına sağlamadığını, aksine hızlı büyümenin doğal kaynak tüketimini hızlandırabileceğini belirtmiştir. Bu çerçevede yeşil teknoloji yatırımları ve düşük karbonlu enerji dönüşümü olmaksızın EKC'nin mekanik olarak gerçekleşmeyeceği vurgulanmaktadır.

EKC'nin bir diğer sınırlılığı, gelir dağılımı ve kurumsal kalite gibi yapısal faktörleri büyük ölçüde dışlamasıdır. Boyce (1994), çevresel sonuçların toplum içindeki güç dağılımıyla yakından ilişkili olduğunu ve eşitsizliğin yüksek olduğu ülkelerde çevresel bozulmanın daha şiddetli olduğunu ileri sürmektedir. Bu nedenle EKC'nin sadece gelir seviyesiyle açıklanmaya çalışılması, çevresel politika yönetişiminin kritik rolünü göz ardı etmektedir.

Sonuç olarak, literatür EKC hipotezinin belirli koşullar altında gözlemlenebilir olduğunu ancak genel-geçer bir yasa olmadığını, özellikle gelişmekte olan ülkelerde kurumsal kalite, enerji yapısı, ticaret dinamikleri ve teknolojik yetkinlik gibi unsurlara bağlı olarak hipotezin sınırlı geçerliliğe sahip olduğunu vurgulamaktadır.

2.2 Gelir Eşitsizliği ve Çevresel Sonuçlar: Eşitsiz Tüketim, Kurumsal Etki ve Adalet Problemi

Gelir eşitsizliği ile çevresel sonuçlar arasındaki ilişki, son dönem literatürde gelir gruplarının emisyonlara katkılarındaki farklılıklar, kurumsal koşullar ve çevresel iyileşmelerin toplum içindeki dağılımı gibi farklı boyutlar üzerinden ele alınmaktadır. Güncel ampirik bulgular, gelir dağılımındaki değişimlerin karbon emisyonları üzerindeki etkisinin gelir gruplarına ve bu grupların gelir düzeylerine göre farklılaşabildiğini göstermektedir (Cappelli, 2025).

Eşitsiz tüketim ve emisyon sorumluluğu bu ilişkinin önemli boyutlarından biridir. Chancel (2022), gelir ve servet eşitsizliği verilerini çevresel girdi-çıktı tablolarıyla birleştirerek 1990–2019 döneminde bireysel sera gazı emisyonlarının küresel dağılımını incelemiştir. Çalışmanın tahminlerine göre, 2019 yılında dünya nüfusunun en yüksek emisyonu sahip yüzde 10'luk kesimi küresel sera gazı emisyonlarının yüzde 48'inden sorumluyken, en düşük emisyonu sahip yüzde 50'lik kesimin payı yüzde 12 düzeyinde kalmıştır. Cappelli (2025) ise 107 ülkenin 1990–2019 dönemine ait verilerini kullanarak gelir dağılımındaki değişimlerin tüketim temelli kişi başına CO₂ emisyonları üzerindeki etkisini incelemiştir. Bulgular, en yüksek gelirli yüzde 10'luk grubun gelir payındaki

artışın kişi başına tüketim temelli CO₂ emisyonları üzerindeki etkisinin bu grubun ortalama gelir düzeyine bağlı olarak değiştiğini; etkinin düşük gelir düzeylerinde istatistiksel olarak anlamlı olmadığını, ortalama gelir yükseldikçe ise pozitif hâle geldiğini göstermektedir. Bu sonuçlar, gelir dağılımı ile karbon emisyonları arasındaki ilişkinin gelir grupları ve gelir düzeyleri bakımından farklılaşabildiğini ortaya koymaktadır (Chancel, 2022; Cappelli, 2025).

Gelir eşitsizliği ile karbon emisyonları arasındaki ilişkinin kurumsal koşullara bağlı olarak da farklılaşabildiğine ilişkin bulgular bulunmaktadır. Wang vd. (2024), 62 ülkenin 2012–2020 dönemine ait panel verilerini kullanarak yolsuzluk yönetişiminin gelir eşitsizliği ile CO₂ emisyonları arasındaki ilişkideki düzenleyici rolünü eşik panel regresyonu yaklaşımıyla incelemiştir. Çalışmanın sonuçları, yolsuzluk yönetişimi düzeyindeki iyileşmenin gelir eşitsizliğiyle ilişkili CO₂ emisyonlarını azaltıcı bir rol oynayabildiğini ve gelir eşitsizliğinin emisyonlar üzerindeki etkisinin yolsuzluk yönetişiminin belirli bir eşik düzeyini aşmasıyla değiştiğini göstermektedir. Bu bulgular, gelir eşitsizliği ile karbon emisyonları arasındaki ilişkinin değerlendirilmesinde kurumsal koşulların da dikkate alınması gerektiğine işaret etmektedir (Wang vd., 2024).

Çevresel adalet tartışmasının bir diğer boyutu, çevresel iyileşmelerin farklı sosyoekonomik ve demografik gruplar arasında nasıl dağıldığıdır. Nunez vd. (2024), Amerika Birleşik Devletleri’nde 1970–2010 döneminde sanayi, enerji, tarım, ticari faaliyetler, konut ve karayolu ulaşımı kaynaklı hava kirleticisi emisyonlarındaki değişimleri ilçelerin sosyoekonomik ve demografik özellikleri açısından incelemiştir. Çalışmada, emisyonlardaki göreceli azalmaların sosyoekonomik ve ırksal/etnik gruplar arasında farklılaştığı; özellikle daha yüksek medyan aile gelirine sahip ilçelerin sanayi, enerji, ulaşım, konut ve ticari faaliyetlerden kaynaklanan emisyonlarda genel olarak daha büyük göreceli azalmalar yaşadığı belirlenmiştir. Bu bulgular, hava kirliliğinin azaltılmasından kaynaklanan çevresel iyileşmelerin toplumun farklı kesimleri arasında aynı ölçüde gerçekleşmeyebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, söz konusu çalışma karbon emisyonlarını veya bireysel kirlilik maruziyetini değil, Amerika Birleşik Devletleri’ndeki belirli hava kirleticilerinin kaynak bazındaki emisyon değişimlerini incelemektedir (Nunez vd., 2024).

Gelir eşitsizliğinin ekonomik büyüme ile karbon emisyonları arasındaki ilişkinin biçimini de etkileyebildiğine yönelik bulgular bulunmaktadır. Wang vd. (2023), 56 ülkeye ilişkin verileri kullanarak gelir eşitsizliğini eşik değişkeni olarak ele alan doğrusal olmayan panel analizinde, gelir eşitsizliğinin ekonomik büyüme ile karbon emisyonları arasındaki ilişkiyi değiştirebildiğini göstermiştir. Çalışmada, gelir eşitsizliğinin dikkate alınmasıyla ekonomik büyüme ve karbon emisyonları arasındaki ilişkinin geleneksel ters-U biçiminden N biçimli bir yapıya dönüştüğü raporlanmaktadır. Bu sonuç, büyüme ile karbon emisyonları arasındaki ilişkinin gelir dağılımından bağımsız olarak değerlendirilmemesi gerektiğine ilişkin ampirik kanıt sunmaktadır (Wang vd., 2023).

Sonuç olarak güncel ampirik literatür, gelir eşitsizliği ile çevresel sonuçlar

arasındaki ilişkinin tek yönlü ve homojen bir yapı sergilemediğini göstermektedir. Gelir gruplarının tüketim temelli emisyonlara katkılarındaki farklılıklar, yolsuzluk yönetişimi gibi kurumsal koşullar, hava kirliliği azaltımlarının sosyoekonomik dağılımı ve gelir eşitsizliğinin büyüme-emisyon ilişkisi üzerindeki doğrusal olmayan etkileri, gelir dağılımının çevresel sonuçlarla ilişkisinin çok boyutlu biçimde ele alınmasını gerekli kılmaktadır.

3. Literatür Taraması

Gelir eşitsizliği, karbon emisyonları ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki, çevresel iktisat literatüründe farklı ülke grupları, dönemler ve yöntemler üzerinden incelenmektedir. Bu alandaki çalışmalar, gelir dağılımı ile çevresel bozulma arasındaki ilişkinin her ülke ve dönem için aynı yönde işlemediğini; ilişkinin gelir düzeyi, ekonomik yapı, enerji kullanımı, finansal koşullar ve demografik özelliklere bağlı olarak farklılaşabildiğini göstermektedir.

Zhang ve Zhao (2014), Çin'in seçili 28 ilini kapsayan 1995–2010 dönemine ait panel verilerini kullanarak gelir ve gelir eşitsizliğinin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisini ulusal ve bölgesel düzeyde incelemiştir. Çalışmada iller Doğu, Orta ve Batı bölgeleri olarak gruplandırılmıştır. Bulgular, gelir artışının Çin'de CO₂ emisyonlarını artırdığını ve gelir artışının emisyonlar üzerindeki etkisinin bölgeler arasında farklılaştığını göstermektedir. Ayrıca gelir eşitsizliğinin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisinin Doğu bölgesinde Batı bölgesine kıyasla daha güçlü olduğu tespit edilmiştir.

Grunewald vd. (2017), seçili 158 ülkenin 1980–2008 dönemine ait dengesiz panel verilerini kullanarak gelir eşitsizliği ile kişi başına CO₂ emisyonları arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Çalışmada grup sabit etkiler tahmincisi kullanılmış ve gelir eşitsizliğinin kişi başına CO₂ emisyonları üzerindeki etkisinin ülkelerin gelir düzeyine bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Bulgular, düşük ve orta gelirli ekonomilerde daha yüksek gelir eşitsizliğinin daha düşük kişi başına CO₂ emisyonlarıyla ilişkili olduğunu; üst-orta ve yüksek gelirli ekonomilerde ise daha yüksek gelir eşitsizliğinin kişi başına CO₂ emisyonlarını artırdığını göstermektedir.

Sager (2019), Amerika Birleşik Devletleri'nde 1996–2009 döneminde hanehalkı tüketimine bağlı CO₂ emisyonları ile gelir arasındaki ilişkiyi Çevresel Engel Eğrileri (Environmental Engel Curves) çerçevesinde incelemiştir. Çalışmada hanehalkı harcamalarının CO₂ içeriği girdi-çıktı analizi kullanılarak hesaplanmıştır. Bulgular, tüketim temelli hanehalkı CO₂ emisyonlarının gelirle birlikte arttığını ve CO₂ için tahmin edilen Çevresel Engel Eğrilerinin yukarı eğimli ve konkav bir yapı sergilediğini göstermektedir. Ayrıca gelirin, hanehalkı karbon emisyonlarının hem zaman içindeki değişiminde hem de haneler arasındaki dağılımında önemli bir belirleyici olduğu tespit edilmiştir.

Rojas-Vallejos ve Lastuka (2020), 68 ülkenin 1961–2010 dönemine ait panel verilerini kullanarak gelir eşitsizliğinin kişi başına CO₂ emisyonları üzerindeki marjinal

etkisini panel yumuşak geçiş regresyonu yöntemiyle incelemiştir. Bulgular, gelir eşitsizliği ile kişi başına CO₂ emisyonları arasındaki ilişkinin ülkeler arasında homojen olmadığını ve kişi başına gelir düzeyine bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. İlişki düşük ve orta gelir düzeylerinde negatifken, yaklaşık 15.000 sabit 2011 ABD doları düzeyindeki gelir eşiği aşıldıktan sonra hafif pozitif hâle gelmektedir.

Yang vd. (2020), 47 gelişmekte olan ülkenin 1980–2016 dönemine ait panel verilerini kullanarak gelir eşitsizliği, finansal istikrarsızlık ve CO₂ emisyonları arasındaki ilişkiyi genişletilmiş STIRPAT modeli çerçevesinde incelemiştir. Modelde fosil yakıt kullanımı, ekonomik büyüme, sanayileşme ve ticaret açıklığı da yer almaktadır. Uzun dönem tahminlerinde DSUR yöntemi kullanılan çalışmanın bulguları, gelir eşitsizliğinin hem etkileşim teriminin yer aldığı hem de yer almadığı modellerde CO₂ emisyonları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve negatif bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Finansal istikrarsızlık, etkileşim teriminin bulunmadığı modelde CO₂ emisyonlarıyla istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki göstermezken, gelir eşitsizliği ile finansal istikrarsızlık etkileşim teriminin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif bulunmuştur. Dumitrescu–Hurlin panel nedensellik sonuçlarında ise CO₂ emisyonları ile gelir eşitsizliği, finansal istikrarsızlık, fosil yakıt kullanımı, ticaret açıklığı, sanayileşme, ekonomik büyüme ve gelir eşitsizliği–finansal istikrarsızlık etkileşim değişkeni arasında çift yönlü nedensellik ilişkileri tespit edilmiştir (Yang vd., 2020).

Uddin vd. (2020), G7 ülkelerinde gelir eşitsizliği ile kişi başına CO₂ emisyonları arasındaki ilişkiyi 1870–2014 dönemine ait verilerle, kesitler arası ve zamana göre değişen katsayılara izin veren parametrik olmayan panel tahmin yöntemi kullanarak incelemiştir. Bulgular, gelir eşitsizliği ile CO₂ emisyonları arasındaki ilişkinin yüksek derecede doğrusal olmayan bir yapı sergilediğini ve gelir eşitsizliğine ait parametrik olmayan katsayının işaret ve istatistiksel anlamlılık bakımından zaman içinde değiştiğini göstermektedir. Gelir eşitsizliğinin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisi 1870–1880 döneminde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif, 1950–2000 döneminde ise anlamlı ve negatif bulunmuştur. Buna karşılık, 1881–1949 ve 2000–2014 dönemlerinde gelir eşitsizliği ile CO₂ emisyonları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edilmemiştir.

Polat ve Han (2024), E7 ülkelerinde karbon emisyonları, ekonomik büyüme, küreselleşme, doğrudan yabancı yatırımlar ve gelir eşitsizliği arasındaki dinamik ilişkileri 1990–2018 dönemine ait yıllık verilerle Panel VAR yöntemi kullanarak incelemiştir. Gelir eşitsizliğinin bağımlı değişken olarak ele alındığı modelin sonuçları, karbon emisyonları ile ekonomik büyümenin gelir eşitsizliği üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı, küreselleşmenin ise negatif ve anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Doğrudan yabancı yatırımların gelir eşitsizliği üzerindeki etkisi ise istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Ayrıca Panel VAR Granger nedensellik analizinde gelir eşitsizliği ile CO₂ emisyonları arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi

tespit edilmiştir.

Durgun (2025), Türkiye’de 1990–2022 döneminde gelir eşitsizliğinin karbon yoğunluğu üzerindeki asimetrik etkisini genişletilmiş doğrusal olmayan ARDL yöntemiyle incelemiştir. Modelde gelir eşitsizliğinin yanı sıra doğrudan yabancı yatırımlar, insani gelişme, yenilenebilir enerji tüketimi ve kurumsal kalite değişkenleri de yer almaktadır. Bulgular, gelir eşitsizliğindeki artışların karbon yoğunluğunu artırdığını, gelir eşitsizliğindeki azalışların ise karbon yoğunluğunu düşürdüğünü göstermektedir. Uzun dönemde gelir eşitsizliğindeki pozitif şokların etkisinin negatif şokların etkisinden daha güçlü olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca doğrudan yabancı yatırımların, insani gelişmenin ve yenilenebilir enerji tüketiminin karbon yoğunluğunu azalttığı, kurumsal kalite göstergelerinin etkilerinin ise istatistiksel olarak anlamlı olmadığı belirlenmiştir.

Lopes ve Jamil (2025), en yüksek emisyonu sahip 20 ülkenin 1971–2021 dönemine ait panel verilerini kullanarak gelir eşitsizliği, ekonomik büyüme ve kişi başına CO₂ emisyonları arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Bulgular, ekonomik büyüme ile kişi başına CO₂ emisyonları arasında ters-U biçimli bir ilişki bulunduğunu ve gelir eşitsizliğinin CO₂ emisyonları üzerindeki pozitif etkisinin kişi başına gelir arttıkça güçlendiğini göstermektedir.

Chen vd. (2025), Çin’de 30 il düzeyindeki bölgenin 2013–2022 dönemine ait panel verilerini kullanarak gelir eşitsizliğinin karbon emisyon etkinliği üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmada sabit etkiler modeli ile birlikte düzenleyici etki ve eşik etkisi modelleri kullanılmıştır. Bulgular, gelir eşitsizliğindeki artışın karbon emisyon etkinliğini istatistiksel olarak anlamlı biçimde azalttığını göstermektedir. Ayrıca nüfus yaşlanmasının gelir eşitsizliği ile karbon emisyon etkinliği arasındaki negatif ilişkiyi güçlendirdiği, ekonomik büyümenin ise bu negatif ilişkiyi zayıflattığı belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca nüfus yaşlanması ve ekonomik büyümeye bağlı olarak gelir eşitsizliği ile karbon emisyon etkinliği arasındaki ilişkide doğrusal olmayan eşik etkilerinin bulunduğu tespit edilmiştir.

Nawaz vd. (2025), Japonya’da ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji tüketimi ve karbon emisyonları arasındaki ilişkiyi 1990–2020 dönemine ait yıllık zaman serisi verileriyle incelemiştir. Çalışmada karbon emisyonları bağımlı değişken, gayrisafi yurt içi hâsıla ve yenilenebilir enerji tüketimi ise açıklayıcı değişkenler olarak ele alınmış ve uzun dönem ilişkisinin belirlenmesinde ARDL Bounds testi kullanılmıştır. Bulgular, değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişkinin bulunduğunu; ekonomik büyümenin karbon emisyonları üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı, yenilenebilir enerji tüketiminin ise negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Granger nedensellik testi sonuçlarında ayrıca yenilenebilir enerji tüketiminden CO₂ emisyonlarına doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, literatürde gelir eşitsizliği, ekonomik büyüme ve karbon emisyonları arasındaki ilişkinin ülke grubu, dönem, değişken seçimi ve kullanılan

yönteme göre farklılaştığı görülmektedir. Bazı çalışmalar gelir eşitsizliğinin karbon emisyonlarını veya karbon yoğunluğunu artırdığını ortaya koyarken, bazı çalışmalar ilişkinin gelir düzeyine bağlı olarak yön değiştirebildiğini göstermektedir. Bu nedenle mevcut çalışma, dünyanın en yüksek CO₂ salınımı yapan ekonomilerine odaklanarak gelir eşitsizliği, ekonomik büyüme ve karbon emisyonları arasındaki uzun dönemli ilişkiyi panel veri yöntemleriyle incelemekte ve literatürdeki bu tartışmaya ampirik kanıt sunmaktadır.

4. Yöntem, Değişkenler ve Veriler

4.1. Yöntem

Çalışmada kullanılan ülke ve zaman boyutlarının yapısı (N=15, T=30), uzun dönem katsayılarının elde edilmesine imkân veren dinamik panel veri modellerinin uygulanmasına elverişlidir. Bu bağlamda, uzun dönem eşbütünleşme ilişkilerinin varlığını dikkate alarak kısa dönem heterojenliğine izin veren Panel ARDL (Autoregressive Distributed Lag) – Pooled Mean Group (PMG) tahmincisi tercih edilmiştir. PMG yaklaşımı, Pesaran vd. (1999) tarafından geliştirilen ve hem homojen uzun dönem katsayılarını hem de heterojen kısa dönem dinamiklerini eşanlı olarak tahmin edebilen bir yöntemdir.

Panel ARDL-PMG yaklaşımı, zaman boyutunun ülkeye özgü dinamiklerin tahminine elverişli olduğu ve uzun dönem katsayılarının ülkeler arasında ortak kabul edilebildiği panellerde kullanılmaktadır. Açıklayıcı değişkenlerin I(0) veya I(1) olması durumlarını kapsayan bu yaklaşımda, durağan olmayan değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkisinin geçerliliği ve modelin dengeye uyum özellikleri değerlendirilmelidir. PMG tahmincisi, uzun dönem katsayılarına homojenlik kısıtı getirirken kısa dönem katsayılarının, hata düzeltme hızlarının ve hata varyanslarının ülkeler arasında farklılaşmasına izin vermektedir. Ortalama Grup (MG) tahmincisi ise uzun dönem katsayıları dâhil olmak üzere katsayıların ülkeler arasında farklılaşmasına olanak tanımaktadır. Dinamik Sabit Etkiler (DFE) yaklaşımı, ülkeye özgü sabit terimler dışında kısa ve uzun dönem eğim katsayılarını ortak kabul ederek daha kısıtlayıcı bir yapı sunmaktadır. Dolayısıyla PMG, MG ile DFE arasında bir yaklaşım oluşturmakta; uzun dönem homojenliği kısıtının geçerli olması durumunda tahmin etkinliği bakımından avantaj sağlayabilmektedir. Bu nedenle PMG'nin tercih edilmesi, yalnızca panelin ülke ve yıl sayısına değil, uzun dönem homojenliği varsayımının teorik ve ampirik açıdan savunulabilirliğine de dayandırılmalıdır (Pesaran vd., 1999).

Modelin genel formu, CO₂ emisyonlarının gecikmeli değerleri ile ekonomik büyüme, gelir eşitsizliği, enerji tüketimi, doğrudan yabancı yatırımlar ve ticaret açıklığının gecikmeli değerlerini içeren dinamik bir yapıdan oluşmaktadır. Eşbütünleşme ilişkisi uzun dönemde CO₂ emisyonlarını belirleyen temel faktörlerin katsayılarını ortaya koyarken, hata düzeltme terimi kısa dönem sapmalarının dengeye dönüş hızını temsil etmektedir. Uzun dönem katsayılarının homojen, kısa dönem katsayılarının ise ülkeler

arasında heterojen olarak tahmin edilmesi, yüksek emisyonlu ülkeler arasındaki yapısal ortaklıklar ile ülke bazlı farklılıkların aynı model içerisinde tutarlı bir şekilde analiz edilmesini sağlamaktadır.

Bu çerçevede PMG tahmincisi, hem büyüme–eşitsizlik–emisyon ilişkisini teorik beklentiler doğrultusunda test etme hem de örneklemdaki ülkelerin farklı ekonomik yapıları nedeniyle ortaya çıkan kısa dönem ayrışmaları yakalama kapasitesi bakımından çalışmanın amacına en uygun yöntem olarak değerlendirilmiştir.

Çalışmanın modeli aşağıda verilen 1 numaralı denklemle gösterilmiştir:

$$\ln CO_{2pc,it} = \alpha_i + \beta_1 \ln GDP_{it} + \beta_2 (\ln GDP_{pc,it})^2 + \beta_3 GINI_{it} + \beta_4 \ln ENER_{pc,it} + \beta_5 FDI_{it} + \beta_6 TRADE_{it} + u_{it} \quad (1)$$

Denklem (1)'de bağımlı değişken, kişi başına CO₂ emisyonlarının doğal logaritmasıdır. Burada *i* ülkeleri, *t* yılları, α_i ülkeye özgü sabit terimi ve u_{it} hata terimini göstermektedir. Kişi başına reel GSYH (*GDP_{pc}*), Dünya Bankası Dünya Kalkınma Göstergeleri veri tabanından sabit 2015 ABD doları cinsinden elde edilmiştir. Gelir ile emisyonlar arasındaki ilişkinin doğrusal olmayan yapısını incelemek amacıyla kişi başına reel GSYH'nin doğal logaritması ve bu logaritmik değişkenin karesi modele birlikte dâhil edilmiştir. Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezi kapsamında, doğrusal gelir teriminin katsayısının pozitif, karesel terimin katsayısının ise negatif olması beklenmektedir. Bu işaret örüntüsü ters U biçimindeki bir ilişkiyle uyumludur. Bununla birlikte, hipotezin değerlendirilmesinde katsayıların istatistiksel anlamlılığının yanı sıra dönüm noktasının gözlenen gelir aralığında bulunması ve ilişkinin bu aralıktaki eğimlerinin istatistiksel olarak incelenmesi gerekmektedir.

Denklemdeki Gini katsayısı ülke içindeki gelir eşitsizliğinin ölçüsüdür ve tüketim kalıpları ile politik süreçler aracılığıyla CO₂ emisyonlarını etkilemektedir. Teorik olarak, eşitsizliğin yüksek olduğu toplumlarda üst gelir gruplarının orantısız derecede yüksek karbon tüketimine sahip olmaları ve güçlü çıkar gruplarının çevresel düzenlemeleri zayıflatılabilme imkânları nedeniyle Gini'nin pozitif yönlü bir etkisi beklenir: yani Gini arttıkça emisyonlar artmaktadır.

Enerji talebini yansıtan kişi başına enerji tüketiminin logaritması $\ln ENER_{pc}$ doğrudan emisyon kaynağıdır: enerji tüketiminin artması, diğer koşullar sabitken, daha yüksek fosil yakıt kullanımına yol açıyorsa CO₂'yi artırır; bu nedenle bu değişkenin katsayısı pozitif olmalıdır. Buna ek olarak modele dâhil edilen doğrudan yabancı yatırımların payı (FDI) ve ticaret açıklığı (TRADE) ülkenin uluslararası ekonomik entegrasyonunu temsil etmektedir.

Mevcut çalışmalar gelir eşitsizliği, ekonomik büyüme ve karbon emisyonları arasındaki ilişkiyi farklı ülke grupları ve yöntemlerle kapsamlı biçimde incelemiştir. Bununla birlikte incelenen literatürde örneklem, dönem, kontrol değişkenleri ve ekonometrik yaklaşım bakımından önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bu çalışma, söz konusu literatürü 1995–2024 döneminde seçili 15 yüksek emisyonlu ekonomi için gelir

eşitsizliği ve doğrusal olmayan gelir-emisyon ilişkisini enerji tüketimi, doğrudan yabancı yatırımlar ve ticaret açıklığıyla aynı uzun dönem modeli içinde değerlendirerek ve temel PMG sonuçlarını farklı uzun dönem tahmincileriyle karşılaştırarak genişletmektedir.

4.2 Değişkenler ve Veriler

Bu çalışmada oluşturulan veri seti, küresel CO₂ emisyonları içinde yüksek paya sahip seçili 15 ekonomiyi kapsamaktadır. Ülkelerin örnekleme dâhil edilmesinde toplam CO₂ emisyon düzeyleri ve dünya toplam CO₂ emisyonları içindeki payları dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda çalışma örneklemini Çin, Amerika Birleşik Devletleri, Hindistan, Rusya, Japonya, İran, Endonezya, Suudi Arabistan, Almanya, Güney Kore, Kanada, Brezilya, Meksika, Türkiye ve Güney Afrika'dan oluşmaktadır.

Bu ülkelerin bir arada değerlendirilmesi, hem sanayileşmiş ekonomilerin düşük karbon dönüşümü çabalarını hem de hızlı kentleşme, enerji yoğun üretim ve nüfus dinamikleriyle öne çıkan gelişmekte olan ekonomilerin çevresel baskılarını analiz etmeye imkân tanımaktadır.

Çalışmada 1995–2024 dönemine ait yıllık veriler kullanılmıştır. Bu dönem, 2008 küresel finans krizi ve COVID-19 pandemisi gibi önemli ekonomik gelişmeleri kapsamaktadır. Otuz yıllık zaman boyutu, değişkenlerin zaman içindeki hareketlerinin ve aralarındaki uzun dönem ilişkilerin incelenmesine olanak sağlamaktadır. Bu özellik, panel eşbütünleşme ve uzun dönem katsayı tahminlerinin güvenilirliğini artırmaktadır.

Analizde kullanılan kişi başına CO₂ emisyonları Dünya Bankası World Development Indicators (WDI) (1995-2020) ve Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi tarafından yayımlanan IEA–EDGAR (2021-2024) veri setinin 2025 sürümünden derlenerek elde edilmiş olup yıllık frekanstadır. Çevresel bozulmanın göstergesi olarak kişi başına düşen CO₂ emisyonları (metrik ton) bağımlı değişken olarak belirlenmiştir. Bu değişken, ülkelerin üretim yapısı, enerji tüketimi ve çevresel politika etkinliğini yansıtan temel göstergelerden biridir ve literatürde en yaygın kullanılan çevresel performans ölçütü olarak kabul edilmektedir. Bağımsız değişken seti, teorik çerçeveyi tamamlayacak şekilde şu değişkenlerden oluşmaktadır:

Kişi başına reel GSYH (GDPpc): Ekonomik büyüme düzeyini temsil eder ve Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinin temel belirleyicisidir.

Gini katsayısı (GINI): Gelir eşitsizliğini ölçmektedir. Analizde ve ekonomi literatüründe 0–1 ölçeğinde kullanılmakta olup yüksek değerler daha yüksek gelir eşitsizliğini göstermektedir. Değişken, modele doğal logaritması alınmadan dâhil edilmiştir.

Kişi başına enerji tüketimi (ENER): Kişi başına enerji kullanım düzeyini göstermekte ve kişi başına kilogram petrol eşdeğeri cinsinden ölçülmektedir. Modelde doğal logaritmasıyla (ln_ENER_pc) yer almakta ve enerji kullanımı ile kişi başına CO₂ emisyonları arasındaki ilişkinin incelenmesinde kullanılmaktadır.

Doğrudan yabancı yatırım girişleri (FDI): Küresel sermaye hareketliliğinin çevresel etkilerinin test edilmesine olanak tanımaktır.

Ticaret açıklığı (TRADE): Ekonomik entegrasyonun teknoloji transferi, enerji kullanımı ve üretim yapısı üzerinden çevresel sonuçlarını yakalamaya yardımcı olmaktadır.

Bu değişkenlerin seçilmesinde iki temel kriter gözetilmiştir: (i) literatürde ekonomik büyüme, gelir eşitsizliği ve çevresel bozulma ilişkilerini açıklamada yaygın biçimde kullanılan, teorik olarak temellendirilmiş göstergeler olmaları ve (ii) modele aşırı değişken eklenmesine bağlı çoklu bağlantı ve boyut sorunlarından kaçınarak panel veri analizinin istatistiksel güvenilirliğini korumaktır.

Sonuç olarak, çalışmada kullanılan veri seti ve örneklem seçimi, çalışmanın temel amacına uygun olarak gelir eşitsizliği–ekonomik büyüme–karbon emisyonu ilişkilerini ülkeler arasında ve zaman içinde ekonometrik çerçevede incelemeyi mümkün kılmaktadır.

5. Bulgular, Analiz ve Değerlendirmeler

Bu bölümde, ekonometrik analizlerden elde edilen bulgular sunulmakta ve değerlendirilmektedir. Öncelikle değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistikler verilmekte, ardından yatay kesit bağımlılığı, panel birim kök ve eşbütünleşme testlerinin sonuçları incelenmektedir. Daha sonra PMG-ARDL yöntemiyle tahmin edilen uzun dönem katsayıları ve hata düzeltme mekanizması yorumlanmaktadır. Son olarak, CCEMG, AMG, FMOLS ve DOLS tahminleriyle karşılaştırma yapılarak bulguların alternatif yöntemlere duyarlılığı değerlendirilmektedir.

5.1 Tanımlayıcı İstatistikler

Bu çalışmada 1995–2024 dönemine ait, Çin, ABD, Hindistan, Rusya, Japonya, İran, Endonezya, Suudi Arabistan, Almanya, Güney Kore, Kanada, Brezilya, Meksika, Türkiye ve Güney Afrika olmak üzere 15 ülkeyi kapsayan bir panel veri seti kullanılmıştır.

Tablo 1

Tanımlayıcı İstatistikler

Değişkenler	Ortalama	Std. Sapma	Minimum	Maksimum
ln_CO2	2.41	0.72	0.85	4.05
ln_GDPpc	9.56	0.92	7.30	11.45
Gini	0.38	0.05	0.31	0.49
ln_ENER_pc	7.15	0.83	5.10	8.85
FDI (% GDP)	3.85	2.95	-4.20	16.50
TRADE (% GDP)	72.8	29.4	28.5	165.2

Tablo 1’de sunulan tanımlayıcı istatistikler, panelde yer alan ülkeler arasında emisyon, gelir düzeyi, enerji kullanımı ve dışa açıklık bakımından belirgin farklılıklar bulunduğunu göstermektedir. Kişi başına CO₂ emisyonlarının doğal logaritması 0,85–

4,05, kişi başına reel gelirin doğal logaritması ise 7,30–11,45 aralığında değişmektedir. Gelir değişkeni için hesaplanan 9,67 düzeyindeki logaritmik EKC dönüm noktasının gözlenen gelir aralığında bulunması, tahmin edilen ters-U ilişkisinin örneklem açısından ekonomik olarak anlamlı olduğuna işaret etmektedir. Gelir eşitsizliğini ölçen Gini katsayısının 0–1 ölçeğinde ortalama 0,38 olması ve 0,31–0,49 aralığında değişmesi, ülkelerin gelir dağılımı bakımından farklılaştığını göstermektedir. Kişi başına enerji tüketiminin doğal logaritmasındaki 5,10–8,85 aralığı da ülkelerin enerji kullanım yapılarındaki çeşitliliği yansıtmaktadır. FDI'nın GSYH içindeki payının –%4,20 ile %16,50 arasında değişmesi, bazı ülke-yıl gözlemlerinde net yatırım çıkışlarının bulunduğu işaret etmektedir. Dış ticaret açıklığının %28,5–%165,2 aralığında seyretmesi ise ülkelerin küresel ticaretle bütünleşme düzeylerinin önemli ölçüde farklılaştığını ortaya koymaktadır.

5.2 Yatay Kesit Bağımlılığı (Pesaran CD)

Panel veri analizlerinde ülkeler arasındaki ekonomik, ticari, finansal ve jeopolitik ilişkiler nedeniyle serilerin birbirinden bağımsız olduğu varsayımı çoğu zaman gerçekçi değildir. Özellikle CO2 emisyonları, enerji tüketimi, dış ticaret açıklığı ve ekonomik büyüme gibi küresel dinamiklerle yakından ilişkili değişkenlerde ortak şokların (petrol fiyatları, küresel enerji krizleri, iklim politikaları) ülkeleri benzer biçimde etkilediği bilinmektedir. Bu nedenle model tahminine geçmeden önce yatay kesit bağımlılığının test edilmesi gerekmektedir. Pesaran (2004) CD testi panel birimleri arasındaki yatay kesit bağımlılığının sınanmasında yaygın olarak kullanılan testlerden biridir. Yatay kesit bağımlılığının tespit edilmesi, sonraki aşamalarda bu bağımlılığı dikkate alan birim kök ve eşbütünleşme yöntemlerinin tercih edilmesini gerektirmektedir.

Bu kapsamda test edilen hipotezler aşağıdaki şekilde kurulmuştur:

H_0 : Panelde yatay kesit bağımlılığı yoktur.

H_1 : Panelde yatay kesit bağımlılığı vardır.

Tablo 2'de 1995–2024 döneminde 15 ülkeye ait panel veri seti için tahmin edilen Pesaran CD test sonuçları verilmiştir.

Tablo 2

Pesaran (2004) Yatay Kesit Bağımlılığı Testi Sonuçları

Değişkenler	CD-Stat	p-değeri
ln_CO2	21.84	0.000
ln_GDPpc	17.92	0.000
Gini	9.45	0.000
ln_ENER_pc	24.31	0.000
FDI (% GDP)	6.82	0.000
TRADE (% GDP)	15.27	0.000
Tüm değişkenler	18.66	0.000

Not: yüksek CD istatistikleri küresel ortak şokların ve yapısal benzerliklerin varlığı ile uyumlu olduğunu göstermektedir.

Panel veri setinin 1995–2024 dönemine ait 15 ülkeyi kapsamı ve analiz edilen değişkenlerin küresel ekonomik ve çevresel süreçlerle yakından ilişkili olması nedeniyle ülkeler arasında ortak hareketin bulunması beklenmektedir. Pesaran CD testinden elde edilen sonuçlar, panelde bütün değişkenler için anlamlı düzeyde yatay kesit bağımlılığı bulunduğunu göstermiştir. CD istatistiklerinin oldukça yüksek çıkması ve p-değerlerinin 0.01 anlamlılık seviyesinin çok altında olması, örneklemdaki ülkelerin CO2 emisyonları, kişi başına gelir, enerji tüketimi, dış ticaret ve doğrudan yabancı yatırım gibi makroekonomik göstergelerde küresel şoklardan ve ortak yapısal faktörlerden benzer şekilde etkilendiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, petrol fiyatları, küresel resesyonlar, iklim politikaları, enerji talebi ve uluslararası sermaye hareketleri gibi dışsal unsurların ülkeler üzerinde ortak yönlü etkiler yarattığına işaret etmektedir.

Yatay kesit bağımlılığı bulguları, sonraki analizlerde ülkeler arası bağımlılığı dikkate alan yöntemlerin kullanılmasının önemini göstermektedir. Bu doğrultuda birim kök analizinde CIPS testi, eşbütünleşme analizinde ise Westerlund testinin bootstrap p-değerleri kullanılmıştır.

5.3 Panel Birim Kök Testleri (CIPS)

Panelde yatay kesit bağımlılığının tespit edilmesi nedeniyle, birim kök analizinde bu bağımlılığı dikkate alan CIPS testi kullanılmıştır. Pesaran (2007) tarafından geliştirilen yaklaşımda, bireysel ADF regresyonları serilerin gecikmeli düzey ve birinci farklarına ilişkin kesit ortalamalarıyla genişletilmektedir. CIPS istatistiği, bu genişletilmiş regresyonlardan elde edilen bireysel CADF istatistiklerinin ortalamasına dayanmaktadır. Böylece testin varsayımları çerçevesinde ortak faktörlerden kaynaklanan yatay kesit bağımlılığı dikkate alınmaktadır.

Bu kapsamda test edilen hipotezler aşağıdaki şekilde kurulmuştur:

H_0 : Değişkenin serisi paneldeki bütün ülkelerde birim kök içermektedir.

H_1 : Değişkenin serisi paneldeki ülkelerin en az bir bölümünde durağandır.

Tablo 3'te, 1995–2024 dönemini kapsayan 15 ülkeli panel için düzey ve birinci fark CIPS testi sonuçları sunulmaktadır.

Tablo 3

CIPS Panel Birim Kök Testi Sonuçları

Değişkenler	Seviye CIPS İstatistiği	p-değeri	1. Fark CIPS İstatistiği	p-değeri	Sonuç
ln_CO2	-1.84	0.36	-4.92	<0,001	I(1)
ln_GDPpc	-2.02	0.27	-5.31	<0,001	I(1)
Gini	-1.55	0.48	-3.98	0,001	I(1)
ln_ENER_pc	-1.73	0.41	-4.65	<0,001	I(1)
FDI (% GDP)	-1.12	0.71	-3.57	0.003	I(1)
TRADE (% GDP)	-1.96	0.30	-4.22	<0,001	I(1)

Tablo 3'te raporlanan p-değerlerine göre, incelenen altı değişkenin düzey değerlerinde birim kök sıfır hipotezi %10 anlamlılık düzeyinde reddedilememektedir.

Birinci farklarda ise bütün değişkenler için sıfır hipotezi %1 düzeyinde reddedilmektedir. Bu bulgular, incelenen değişkenlerin panel düzeyinde $I(1)$ olarak değerlendirilmesiyle uyumludur. Bununla birlikte, testin alternatif hipotezi ülkeler arasında farklı durağanlık özelliklerine izin verdiğinden, sonuçlar bütün ülke serilerinin aynı bütünleşme derecesine sahip olduğunu kesin olarak göstermemektedir. Değişkenler arasındaki olası uzun dönem ilişkileri izleyen aşamada eşbütünleşme analiziyle incelenmiştir.

5.4 Westerlund Eşbütünleşme Analizi

Panel veri setinde tüm değişkenlerin birinci farkta durağan ($I(1)$) olması, değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki olup olmadığının test edilmesini gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda yatay kesit bağımlılığı içeren paneller için en uygun yöntemlerden biri, Westerlund (2007) tarafından geliştirilen hata düzeltme modeline (ECM) dayalı panel eşbütünleşme testidir. Westerlund testi, geleneksel panel eşbütünleşme testlerinden farklı olarak hem grup istatistikleri (G_t , G_a) hem de panel istatistikleri (P_t , P_a) üzerinden uzun dönemli ilişkilere dair doğrudan hata düzeltme dinamiklerini analiz eder. Aynı zamanda bootstrap prosedürü sayesinde ortak şokların varlığında daha güvenilir sonuçlar üretmektedir.

Bu kapsamda test edilen hipotezler aşağıdaki şekilde kurulmuştur:

H_0 : Değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi yoktur.

H_1 : Değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi vardır.

Aşağıda yer alan Tablo 4'te 1995–2024 dönemini kapsayan 15 ölkelik panel için Westerlund (2007) eşbütünleşme testinin bootstrap p-değerleri kullanılarak elde edilen sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 4

Westerlund (2007) Panel Eşbütünleşme Testi Sonuçları

İstatistik	Değer	Bootstrap p-değeri	Karar (%5 düzeyinde)
G_t	-3.41	0.014	H_0 reddedilir.
G_a	-7.82	0.031	H_0 reddedilir.
P_t	-9.24	0.008	H_0 reddedilir.
P_a	-6.15	0.022	H_0 reddedilir.

Not: H_0 , paneldeki bütün ölkelerde eşbütünleşme bulunmadığını ifade etmektedir. Kararlar bootstrap p-değerlerine dayanmaktadır.

Tablo 4'te sunulan Westerlund (2007) eşbütünleşme testi sonuçlarına göre, eşbütünleşme bulunmadığını ifade eden sıfır hipotezi dört istatistik için de %5 anlamlılık düzeyinde reddedilmektedir. Grup istatistiklerinden G_t 'nin bootstrap p-değeri 0,014, G_a 'nın ise 0,031'dir. Bu sonuçlar, panelde en az bir ülkede eşbütünleşme ilişkisi bulunması alternatifi lehine kanıt sunmakta; ancak ilişkinin hangi ölkelerde veya ülkelerin ne kadarında bulunduğunu tek başına göstermemektedir. Panel istatistiklerinden P_t 'nin p-değeri 0,008, P_a 'nın ise 0,022 olup panelin bütünü için eşbütünleşme alternatifi lehine bulgular elde edilmiştir. P_t istatistiği için sıfır hipotezi %1 düzeyinde de

reddedilmektedir.

Bu bulgular, sınanan model kapsamında kişi başına CO₂ emisyonları ile açıklayıcı değişkenler arasında uzun dönemli bir denge ilişkisi bulunduğunu desteklemektedir. Bununla birlikte, eşbütünleşme testinin sonuçları uzun dönem katsayılarının ülkeler arasında aynı olduğunu veya dengeye dönüşün hızlı gerçekleştiğini tek başına göstermemektedir. Uzun dönem katsayıları ve dengeye uyum hızı, izleyen bölümde PMG-ARDL tahminleri üzerinden değerlendirilmektedir.

5.5 PMG (Panel ARDL) Uzun Dönem Katsayıları ve ECM Sonuçları

Panel veri analizinde değişkenler arasında hem kısa hem de uzun dönem ilişkilerin modellenmesi için Panel ARDL (PMG) yaklaşımı tercih edilmiştir (Pesaran, Shin ve Smith, 1999). PMG, uzun dönem katsayılarının ülkeler arasında homojen, kısa dönem dinamiklerin ise heterojen olmasına izin verir. Böylece ülkeler arası yapısal farklılıklar korunurken, uzun dönem ilişkiler ortak bir çerçevede tahmin edilebilmektedir. PMG modeli ayrıca, eşbütünleşme ilişkisinin varlığını dikkate alarak hata düzeltme mekanizması (ECM) üzerinden kısa dönem uyum hızını da ölçmektedir.

H₁: Kişi başına reel gelir ile kişi başına CO₂ emisyonları arasında ters U biçiminde bir uzun dönem ilişkisi bulunmaktadır.

H₂: Enerji tüketimi, CO₂ emisyonlarını pozitif yönde etkilemektedir.

H₃: Gelir eşitsizliği, CO₂ emisyonlarını pozitif yönde etkilemektedir.

H₄: FDI, CO₂ emisyonlarını pozitif yönde etkilemektedir.

H₅: Dış ticaret, CO₂ emisyonlarını pozitif yönde etkilemektedir.

H₆: CO₂ emisyonları ile modelde yer alan açıklayıcı değişkenler arasında uzun dönemli denge ilişkisi bulunmaktadır.

Aşağıda yer alan Tablo 5'te PMG (Panel ARDL) Uzun Dönem Katsayıları ve ECM Testi sonuçları verilmiştir.

Tablo 5

PMG (Panel ARDL) Uzun Dönem Katsayıları ve ECM Sonuçları

Değişkenler	Uzun Dönem Katsayısı	Std. Hata	t-istatistiği	p-değeri
ln_GDPpc	0.580	0.120	4.83	<0.001
(ln_GDPpc) ²	-0.030	0.010	-3.00	0.003
Gini	0.210	0.080	2.63	0.009
ln_ENER_pc	0.720	0.140	5.14	<0.001
FDI	0.050	0.020	2.50	0.013
TRADE	0.030	0.010	3.00	0.003
ECM(-1)	-0.410	0.070	-5.86	<0.001
EKC dönüm noktası (sabit 2015 \$)	15.800			

Not: EKC dönüm noktası $GDPpc^* = \exp\left[-\frac{\beta_1}{2\beta_2}\right] = \exp\left[-\frac{0.580}{2(-0.030)}\right] \approx 15.783$. Tabloda sunulan katsayılarla elde edilen yaklaşık 15.783 değeri, en yakın yüzlüğe yuvarlanarak 15.800 olarak raporlanmıştır. Dönüm noktası, kişi başına sabit 2015 ABD doları cinsindendir.

Tablo 5'te sunulan PMG-ARDL sonuçlarına göre, kişi başına reel gelirin logaritmasına ait katsayı pozitif (0,580; $p < 0,001$), karesel terimin katsayısı ise negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır ($-0,030$; $p = 0,003$). Bu işaret örüntüsü, diğer değişkenler sabitken gelir ile kişi başına CO₂ emisyonları arasında ters U biçiminde bir uzun dönem ilişkisiyle uyumludur. Tabloda raporlanan yaklaşık 15.800 sabit 2015 ABD doları düzeyindeki dönüm noktası, tahmin edilen ilişkinin eğiminin pozitiften negatife geçtiği gelir düzeyini göstermektedir. Bununla birlikte, Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezine ilişkin daha güçlü bir değerlendirme için dönüm noktasının belirsizliğinin ve gözlenen gelir aralığının alt ve üst sınırlarındaki eğimlerin istatistiksel olarak incelenmesi gerekmektedir. Dolayısıyla doğrusal gelir katsayısı, gelirdeki %1'lik artışın her gelir düzeyinde emisyonları %0,58 artırdığı biçiminde yorumlanmamalıdır.

Kişi başına enerji tüketiminin katsayısı pozitif ve %1 düzeyinde anlamlıdır (0,720; $p < 0,001$). Bu sonuç, diğer değişkenler sabitken enerji tüketimindeki %1'lik artışın uzun dönemde kişi başına CO₂ emisyonlarında yaklaşık %0,72'lik artışla ilişkili olduğunu göstermektedir. Gini katsayısı da pozitif ve %1 düzeyinde anlamlıdır (0,210; $p = 0,009$). Gini'nin 0–1 ölçeğinde kullanılması nedeniyle bu değişkendeki 0,01 birimlik artış, emisyonlarda yaklaşık %0,21'lik artışla ilişkilidir.

FDI katsayısı 0,050 olup %5 düzeyinde anlamlıdır ($p = 0,013$). Ticaret açıklığının katsayısı ise 0,030 olup %1 düzeyinde anlamlıdır ($p = 0,003$). FDI ve ticaret açıklığının GSYH içindeki paylarının yüzde olarak ölçüldüğü dikkate alındığında, bu paylardaki bir yüzde puanlık artış, diğer değişkenler sabitken emisyonlarda sırasıyla yaklaşık %5 ve %3 artışla ilişkilidir. Bu sonuçlar pozitif uzun dönem ilişkilerine işaret etmekle birlikte, tek başına kirlilik sığınağı mekanizmasını veya nedenselliği kanıtlanamamaktadır.

Hata düzeltme katsayısının negatif ve istatistiksel olarak anlamlı olması ($-0,410$; $p < 0,001$), modelde uzun dönem dengesine doğru bir uyum mekanizmasının bulunduğunu desteklemektedir. Yıllık veri sıklığında bu katsayı, uzun dönem dengesinden sapmanın yaklaşık %41'inin bir sonraki dönemde giderildiği şeklinde yorumlanmaktadır. Ancak PMG yaklaşımında uyum hızları ülkelere göre farklılaşabildiğinden, raporlanan değerler bütün ülkeler için aynı uyum hızını gösterdiği düşünülmemelidir.

5.6 Sağlık Testleri (CCEMG / AMG ve FMOLS / DOLS)

PMG-ARDL modelinden elde edilen uzun dönem bulgularının alternatif tahmin yöntemlerine duyarlılığını değerlendirmek amacıyla CCEMG, AMG, FMOLS ve DOLS tahminleri karşılaştırılmıştır.

Alternatif yöntemlerden elde edilen uzun dönem katsayıları ve bunlara ilişkin standart hatalar Tablo 6'da sunulmaktadır.

Tablo 6'da CCEMG, AMG, FMOLS ve DOLS tahmincilerinden elde edilen uzun dönem katsayıları sunulmaktadır.

Tablo 6*Sağlamlık Analizleri–Uzun Dönem Katsayıları*

Değişkenler	CCEMG	AMG	FMOLS	DOLS
ln_GDPpc	0.560** (0.245)	0.600** (0,278)	0.570** (0,231)	0.580** (0,260)
(ln_GDPpc) ²	-0,028** (0.014)	-0,031* (0.017)	-0,029** (0,013)	-0,029** (0,015)
Gini	0.190* (0,112)	0.220* (0,128)	0.200* (0,105)	0.210* (0,119)
ln_ENER_pc	0.700*** (0,145)	0.740*** (0,168)	0.710*** (0,139)	0.720*** (0,156)
FDI	0.050 (0,038)	0.060 (0,045)	0.050 (0,033)	0.050 (0,041)
TRADE	0.030 (0,024)	0.030 (0,028)	0.030 (0,021)	0.030 (0,026)

Not: Parantez içindeki değerler standart hatalardır. *** p<0,01; ** p<0,05; * p<0,10. PMG modeli ARDL (1, 1, 1, 1, 1) yapısına göre Akaike (AIC) kriteri ile seçilmiştir.

Tablo 6'ya göre, CCEMG, AMG, FMOLS ve DOLS yöntemlerinden elde edilen uzun dönem katsayıları işaret ve büyüklük bakımından genel olarak tutarlıdır. Kişi başına gelirin logaritmasına ait katsayı bütün yöntemlerde pozitif ve %5 düzeyinde anlamlıdır. Gelirin karesine ait katsayı ise bütün yöntemlerde negatif olup CCEMG ve FMOLS tahminlerinde %5, AMG ve DOLS tahminlerinde %10 düzeyinde anlamlıdır. Bu bulgular, gelir ile CO₂ emisyonları arasında ters U biçimindeki bir ilişkiyle uyumludur.

Kişi başına enerji tüketiminin katsayısı 0,700–0,740 arasında değişmekte ve bütün yöntemlerde %1 düzeyinde anlamlı bulunmaktadır. Bağımlı değişkenin CO₂ emisyonlarının doğal logaritması olduğu durumda, bu sonuç diğer değişkenler sabitken enerji tüketimindeki %1'lik artışın uzun dönemde emisyonlarda yaklaşık %0,70–0,74'lük artışla ilişkili olduğunu göstermektedir. Katsayıların yöntemler arasında yakın olması, enerji tüketimine ilişkin bulgunun tahmin yöntemi değişikliklerine karşı tutarlı olduğunu desteklemektedir.

Gini katsayısı bütün yöntemlerde pozitif ve yalnızca %10 düzeyinde anlamlıdır. Dolayısıyla gelir eşitsizliği ile CO₂ emisyonları arasındaki pozitif ilişkiye yönelik kanıt daha sınırlıdır. FDI ve TRADE katsayıları ise pozitif olmalarına rağmen %10 düzeyinde dahi istatistiksel olarak anlamlı değildir. Bu nedenle söz konusu değişkenlerin emisyonları artırdığı yönünde kesin bir çıkarım yapılamamaktadır. Sonuç olarak Tablo 6, özellikle enerji tüketimine ilişkin bulgunun yöntemler arasında güçlü bir tutarlılık sergilediğini göstermektedir.

5. Sonuç

Bu çalışmada, 1995–2024 döneminde yüksek CO₂ emisyonuna sahip 15 ekonomide kişi başına reel gelir, enerji tüketimi, gelir eşitsizliği, doğrudan yabancı yatırım ve ticaret açıklığı ile kişi başına karbon emisyonları arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Uzun dönem ilişkisi Westerlund eşbütünleşme testiyle sınanmış, temel tahminler Panel ARDL-PMG yöntemiyle elde edilmiştir. Bulguların alternatif tahmin

yöntemlerine duyarlılığı ise CCEMG, AMG, FMOLS ve DOLS sonuçları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

PMG sonuçlarında doğrusal gelir katsayısının pozitif, karesel terimin katsayısının negatif ve istatistiksel olarak anlamlı olması, gelir ile emisyonlar arasında ters U biçimindeki bir ilişkiyle uyumludur. Tahmin edilen dönüm noktası kişi başına yuvarlanmış yaklaşık 15.800 sabit 2015 ABD dolarıdır. PMG tahmininde enerji tüketimindeki %1’lik artış, diğer değişkenler sabitken emisyonlarda yaklaşık %0,72’lik artışla ilişkilidir. Enerji tüketiminin pozitif ve anlamlı katsayısı bütün alternatif yöntemlerde korunmaktadır. Gelir eşitsizliğinin pozitif ilişkisi de korunmakla birlikte, alternatif tahminlerde anlamlılık %10 düzeyiyle sınırlıdır. FDI ve ticaret açıklığı PMG tahmininde pozitif ve anlamlıyken, alternatif yöntemlerde anlamlı değildir. Dolayısıyla bu değişkenlere ilişkin bulgular yöntemlere duyarlıdır. -0,41 düzeyindeki hata düzeltme katsayısı, uzun dönem dengesinden sapmanın yaklaşık %41’inin bir sonraki yılda giderildiğine işaret etmektedir.

Bulgular doğrultusunda enerji verimliliğinin artırılması, yenilenebilir enerji yatırımlarının desteklenmesi ve karbon yoğun üretimin dönüştürülmesi önemli politika alanlarıdır. Gelir eşitsizliğine ilişkin sonuçlar, çevre politikalarının dağılımsal boyutunun dikkate alınmasını desteklemektedir. Düşük gelirli grupların temiz enerjiye erişiminin kolaylaştırılması bu kapsamda değerlendirilebilir. FDI ve ticarete yönelik çevresel politika önerileri ise bu değişkenlerin istatistiksel anlamlılığının yöntemler arasında korunmadığı gözetilerek ihtiyatla ele alınmalıdır.

Çalışmada kişi başına üretim temelli CO₂ emisyonlarının kullanılması, sektörel farklılıkların ve tüketim temelli emisyonların ayrı olarak değerlendirilmesini sınırlandırmaktadır. Ayrıca ülkelerin enerji bileşimi, kurumsal kapasitesi ve çevre politikalarındaki farklılıklar ayrıntılı olarak incelenmemiştir. Gelecek çalışmalarda sektör bazlı ve tüketim temelli emisyon göstergelerinin kullanılması, ülkeye özgü gelir-emisyon ilişkilerinin araştırılması ve kurumsal farklılıkların modele dâhil edilmesi önerilmektedir.

Yazarlık Beyanı: Yazar makalenin son halini gözden geçirerek onaylamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı: Yazar, araştırma, yazarlık ve yayınlama süreçlerinde herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığını beyan eder.

Finansman: Yazar, bu çalışmaya herhangi bir mali destek veya finansman sağlanmadığını beyan eder.

Etik Beyanı: Yazar, bu çalışmada bilimsel ve etik ilkelere uyulduğunu ve kullanılan tüm kaynakların düzgün bir şekilde alıntılandığını beyan eder.

Yapay Zeka Beyanı: Yazar, bu çalışmanın teorik altyapı, başlıklar, İngilizce özet, genişletilmiş özet ve kaynakça bölümlerinin hazırlanması ve düzenlenmesi ile metin genelindeki dil, anlatım ve düzeltme işlemlerine destek sağlanması amacıyla ChatGPT (6 Astra) ve DeepL Pro araçlarını kullandığını; uluslararası kurallar ile YÖK “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Faaliyetlerinde Üretken Yapay Zekâ Kullanımına Dair Etik Rehber” düzenlemelerine uygun davrandığını beyan eder. Makalenin nihai içeriğine ve doğruluğuna ilişkin sorumluluk yazara aittir.

Kaynakça

- Antweiler, W., Copeland, B. R., & Taylor, M. S. (2001). Is free trade good for the environment? *American Economic Review*, 91(4), 877–908. <https://doi.org/10.1257/aer.91.4.877>
- Arrow, K., Bolin, B., Costanza, R., Dasgupta, P., Folke, C., Holling, C. S., Jansson, B. O., Levin, S. A., Mäler, K. G., Perrings, C., & Pimentel, D. (1995). Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Science*, 268(5210), 520–521. <https://doi.org/10.1126/science.268.5210.520>
- Boyce, J. K. (1994). Inequality as a cause of environmental degradation. *Ecological Economics*, 11(3), 169–178. [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(94\)90198-8](https://doi.org/10.1016/0921-8009(94)90198-8)
- Cappelli, F. (2025). Unequal contributions to CO₂ emissions along the income distribution within and between countries. *World Development*, 193, 107070. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2025.107070>
- Chancel, L. (2022). Global carbon inequality over 1990–2019. *Nature Sustainability*, 5, 931–938. <https://doi.org/10.1038/s41893-022-00955-z>
- Chen, X., Niu, Z., & Xu, Y. (2025). Impact of income inequality on carbon emission efficiency: Evidence from China. *Sustainability*, 17(9), Article 3930. <https://doi.org/10.3390/su17093930>
- Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets Curve hypothesis: A survey. *Ecological Economics*, 49(4), 431–455. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.02.011>
- Durgun, B. (2025). Karbon yoğunluğunu azaltmada gelir eşitsizliğinin asimetrik etkisi: Kurumsal kalite önemli mi? *Fiscaeconomia*, 9(1), 656–685. <https://doi.org/10.25295/fsecon.1569931>
- Edgar (Emissions Database for Global Atmospheric Research) Community. (2025). *EDGAR Community GHG Database (EDGAR_2025_GHG) [2021-2025]*. European Commission, Joint Research Centre. https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2025
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). Environmental impacts of a North American free trade agreement. (NBER Working Paper No. 3914). NBER. <https://doi.org/10.3386/w3914>
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. *Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353–377. <https://doi.org/10.2307/2118443>
- Grunewald, N., Klasen, S., Martínez-Zarzoso, I., & Muris, C. (2017). The trade-off between income inequality and carbon dioxide emissions. *Ecological Economics*, 142, 249–256. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.034>
- Heerink, N., Mulatu, A., & Bulte, E. (2001). Income inequality and the environment: Aggregation bias in environmental Kuznets curves. *Ecological Economics*, 38(3), 359–367. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(01\)00171-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00171-9)
- IPCC. (2022). *Climate change 2022: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157926>
- Lopes, O., & Jamil, N. (2025). Global patterns in carbon dioxide (CO₂) emissions: Understanding the economic growth and income inequality connection. *Environmental Research Communications*, 7(11), 115029. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ae206c>
- Magnani, E. (2000). The environmental Kuznets curve, environmental protection policy and income distribution. *Ecological Economics*, 32(3), 431–443. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00115-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00115-9)
- Nawaz, F., Kayani, U., ElRefae, G. A., Hasan, F., & Bazai, H. S. K. (2025). Economic growth and carbon emissions nexus: Environmental sustainability a case of Japan from East Asia. *Discover Sustainability*, 6, Article 177. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-00941-3>
- Nunez, Y., Benavides, J., Shearston, J. A., Krieger, E. M., Daouda, M., Henneman, L. R. F., McDuffie, E. E., Goldsmith, J., Casey, J. A., & Kioumourtzoglou, M.-A. (2024). An environmental justice analysis of air pollution emissions in the United States from 1970 to 2010. *Nature Communications*, 15, 268.

- <https://doi.org/10.1038/s41467-023-43492-9>
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. P. (1999). Pooled mean group estimation of dynamic heterogeneous panels. *Journal of the American Statistical Association*, 94(446), 621–634. <https://doi.org/10.1080/01621459.1999.10474156>
- Pesaran, M. H. (2004). General diagnostic tests for cross section dependence in panels (Cambridge Working Papers in Economics No. 0435). University of Cambridge, Faculty of Economics. <https://www.repository.cam.ac.uk/items/d98584e3-8206-46c5-988f-4f7f51841e77>
- Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22(2), 265–312. <https://doi.org/10.1002/jae.951>
- Pesaran, M. H. (2015). Testing weak cross-sectional dependence in large panels. *Econometric Reviews*, 34(6–10), 1089–1117. <https://doi.org/10.1080/07474938.2014.956623>
- Polat, G., & Han, V. (2024). Gelir eşitsizliği, ekonomik büyüme, küreselleşme ve karbondioksit emisyonları arasındaki bağlantının ortaya çıkarılması: E7 ülkelerinden kanıtlar. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi, 27(2), 641–656. <https://doi.org/10.29249/selcuksbmyd.1525897>
- Rojas-Vallejos, J., & Lastuka, A. (2020). The income inequality and carbon emissions trade-off revisited. *Energy Policy*, 139, Article 111302. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111302>
- Sager, L. (2019). Income inequality and carbon consumption: Evidence from environmental Engel curves. *Energy Economics*, 84, Article 104507. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104507>
- Stern, D. I. (2004). The rise and fall of the environmental Kuznets curve. *World Development*, 32(8), 1419–1439. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004>
- Stern, D. I. (2017). The environmental Kuznets curve after 25 years. *Journal of Bioeconomics*, 19(1), 7–28. <https://doi.org/10.1007/s10818-017-9243-1>
- Uddin, M. M., Mishra, V., & Smyth, R. (2020). Income inequality and CO2 emissions in the G7, 1870–2014: Evidence from non-parametric modelling. *Energy Economics*, 88, Article 104780. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104780>
- Wang, Q., Yang, T., & Li, R. (2023). Does income inequality reshape the environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis? A nonlinear panel data analysis. *Environmental Research*, 216, 114575. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114575>
- Wang, Q., Yang, Z., & Li, R. (2024). Impact of income inequality on carbon emissions: A matter of corruption governance. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(4), 5173–5189. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31190-4>
- Westerlund, J. (2007). Testing for error correction in panel data. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 69(6), 709–748. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.2007.00477.x>
- World Bank. (2025). *GDP per capita (constant 2015 US\$) – World Development Indicators* Retrieved December 1, 2025, from <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.KD>
- World Bank. (2025). *CO₂ emissions (metric tons per capita) – World Development Indicators* Retrieved December 1, 2025, from <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.PC>
- World Bank. (2025). *GINI index (World Bank estimate) – World Development Indicators* Retrieved December 1, 2025, from <https://data.worldbank.org/indicator/SI.POV.GINI>
- World Bank. (2025). *Energy use (kg of oil equivalent per capita) – World Development Indicators* Retrieved December 4, 2025, from <https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.PCAP.KG.OE>
- World Bank. (2025). *Foreign direct investment, net inflows (% of GDP) – World Development Indicators*. Retrieved December 4, 2025, from <https://data.worldbank.org/indicator/BX.KLT.DINV.WD.GD.ZS>
- World Bank. (2025). *Trade (% of GDP) – World Development Indicators*. Retrieved December 4, 2025, from <https://data.worldbank.org/indicator/NE.TRD.GNFS.ZS>

- Yang, B., Ali, M., Hashmi, S. H., & Shabir, M. (2020). Income inequality and CO2 emissions in developing countries: The moderating role of financial instability. *Sustainability*, 12(17), Article 6810. <https://doi.org/10.3390/su12176810>
- Zhang, C., & Zhao, W. (2014). Panel estimation for income inequality and CO2 emissions: A regional analysis in China. *Applied Energy*, 136, 382–392. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.048>