

Gelir gruplarına göre enerji dönüşümü, kurumsal etkinlik ve CO₂ emisyonları: Genişletilmiş EKC yaklaşımına dayalı panel veri kanıtları

Energy transition, government effectiveness and CO₂ emissions by income groups: Panel data evidence from an extended EKC approach

Ökkeş Çelen¹ 

Taner Taş² 

Selim Baha Yıldız³ 

¹ Arş. Gör. Dr., Manisa Celal Bayar Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Ekonomi ve Finans Bölümü, Manisa, Türkiye, okkes.celen@cbu.edu.tr

ORCID: 0000-0002-5623-176X

² Doç. Dr., Manisa Celal Bayar Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Ekonomi ve Finans Bölümü, Manisa, Türkiye, taner.tas@gmail.com

ORCID: 0000-0002-2861-5467

³ Doç. Dr., Manisa Celal Bayar Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü, Muhasebe ve Finansman Anabilim Dalı, Manisa, Türkiye, baha.yildiz@cbu.edu.tr

ORCID: 0000-0002-0750-0556

Öz

Bu çalışma, 2002–2021 döneminde 140 ülke için kişi başına CO₂ emisyonlarının gelir gruplarına göre belirleyicilerini incelemektedir. Geleneksel Çevresel Kuznets Eğrisi yaklaşımı; kişi başına gelir, gelirin karesi, yenilenebilir enerji tüketimi, fosil yakıt tüketimi, enerji yoğunluğu, kentleşme ve hükümet etkinliğini içeren genişletilmiş bir panel modelle ele alınmıştır. Ülkeler Dünya Bankası gelir sınıflandırmasına göre dört gruba ayrılmış ve model tüm örneklem ile gelir grupları için ayrı ayrı tahmin edilmiştir. Tanısal testler sonrasında Driscoll–Kraay standart hatalı sabit etkiler modeli kullanılmıştır. Bulgular, kişi başına gelirin CO₂ emisyonlarıyla tüm örneklemde pozitif ilişkili olduğunu göstermektedir. Gelirin karesi yalnızca tüm örneklemde ve yüksek gelir grubunda negatif ve anlamlıdır; ancak hesaplanan dönüm noktaları büyük ölçüde gözlenen gelir aralıklarının dışındadır. Yenilenebilir enerji tüketimi emisyonlarla negatif, fosil yakıt tüketimi ve enerji yoğunluğu ise pozitif ilişkilidir. Sonuçlar, çevresel iyileşmenin yalnızca gelir artışına bağlı olmadığını ve enerji yapısı, enerji verimliliği ile kurumsal kapasitenin gelir grupları dikkate alınarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel Kuznets Eğrisi, CO₂ Emisyonları, Yenilenebilir Enerji, Gelir Grupları

JEL Kodları: Q43, Q53, C33

Sorumlu Yazar/Corresponding Author:

Ökkeş Çelen,

Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye, okkes.celen@cbu.edu.tr

Başvuru/Submitted: 22/05/2026

Revizyon/ Revised: 5/08/2026

Kabul/Accepted: 16/08/2026

Yayın/Online Published: 25/09/2026

Atıf/Citation: Çelen, Ö., Taş, T., & Yıldız, S.B., Gelir gruplarına göre enerji dönüşümü, kurumsal etkinlik ve CO₂ emisyonları: Genişletilmiş EKC yaklaşımına dayalı panel veri kanıtları, bmij (2026) 14 (3): 1265-1282, doi: <https://doi.org/10.15295/bmij.v14i3.2803>

Abstract

This study examines the determinants of per capita CO₂ emissions across income groups for 140 countries over 2002–2021. The Environmental Kuznets Curve framework is extended by incorporating per capita income, squared income, renewable energy consumption, fossil fuel consumption, energy intensity, urbanization, and government effectiveness. Countries are classified into four World Bank income groups, and the model is estimated separately for the full sample and each group. Following diagnostic tests, a fixed-effects model with Driscoll–Kraay standard errors is employed. The results show that per capita income is positively associated with CO₂ emissions in all samples. The squared income term is negative and statistically significant only in the full sample and high-income group; however, estimated turning points largely lie outside observed income ranges. Renewable energy consumption is negatively associated with emissions, whereas fossil fuel consumption and energy intensity are positively associated. Overall, the findings indicate that environmental improvement cannot be expected from income growth alone and should be considered together with energy structure, energy efficiency, institutional capacity, and income-group heterogeneity.

Keywords: Environmental Kuznets Curve, CO₂ Emissions, Renewable Energy, Income Groups

JEL Codes: Q43, Q53, C33

Extended Abstract

Energy transition, government effectiveness and CO₂ emissions by income groups: Panel data evidence from an extended EKC approach

Literature

This section positions the study within the Environmental Kuznets Curve literature and highlights the relevance of income-group heterogeneity, energy structure, and institutional capacity for explaining CO₂ emissions.

Research subject

This study investigates the determinants of per capita CO₂ emissions within the framework of the Environmental Kuznets Curve (EKC) by considering income-group heterogeneity, energy transition, energy intensity, urbanization, and government effectiveness.

Research purpose and importance

The main purpose is to examine whether the income-emissions relationship differs across low-income, lower-middle-income, upper-middle-income, and high-income countries. This is important because the EKC mechanism may not generate a universal turning point for CO₂ emissions, especially when energy structure and institutional capacity are considered.

Contribution of the article to the literature

The article contributes to the literature by testing an extended EKC model for a broad panel of 140 countries over 2002–2021 and by comparing the results across World Bank income groups. It also evaluates whether the estimated EKC turning points fall within the observed income ranges, thereby providing a more cautious interpretation of the EKC hypothesis.

Design and method

This section explains the empirical design of the study, the data sources, the model structure, and the panel data methods used in the analysis.

Research type

The study is designed as a quantitative empirical research article based on a balanced country-level panel dataset.

Research problems

The study addresses three main research problems. First, it examines whether per capita income and its squared term support the EKC hypothesis for CO₂ emissions. Second, it investigates whether renewable energy consumption, fossil fuel consumption, energy intensity, urbanization, and government effectiveness are associated with per capita CO₂ emissions. Third, it evaluates whether these relationships differ across income groups.

Data collection method

The dataset covers 140 countries over 2002–2021. CO₂ emissions, GDP per capita, renewable energy consumption, fossil fuel energy consumption, energy intensity, and urbanization data are obtained from the World Bank World Development Indicators. Government effectiveness data are obtained from the World Bank Worldwide Governance Indicators.

Quantitative/qualitative analysis

The study employs quantitative panel data analysis. The empirical analysis includes descriptive statistics, variance inflation factor analysis, fixed effects estimation, Hausman specification tests, diagnostic tests for heteroskedasticity, serial correlation and cross-sectional dependence, and fixed effects models with Driscoll–Kraay standard errors.

Research model

The empirical model is an extended EKC specification in which per capita CO₂ emissions are explained by centered log GDP per capita, the square of centered log GDP per capita, renewable energy consumption, fossil fuel consumption, energy intensity, urbanization, and government effectiveness. Country and year fixed effects are included to control for unobserved country-specific heterogeneity and common time shocks.

Research hypotheses

The study does not formulate formal hypotheses in an experimental sense. Instead, it evaluates the EKC expectation that income initially increases emissions while the squared income term may reduce them at higher income levels. It also examines whether renewable energy is negatively associated with CO₂ emissions, while fossil fuel consumption and energy intensity are positively associated with emissions.

Findings and discussion

This section summarizes the main empirical findings and discusses their implications in relation to the EKC hypothesis and the broader environmental economics literature.

Findings as a result of the analysis

The findings show that per capita income is positively and statistically significantly associated with CO₂ emissions in all samples. The squared income term is negative and statistically significant only in the full sample and the high-income group. However, the estimated turning points mostly lie outside the observed income ranges. Renewable energy consumption is negatively associated with CO₂ emissions in all income groups, whereas fossil fuel consumption and energy intensity are positively associated with emissions.

Hypothesis test results

The results provide limited support for the traditional inverted-U-shaped EKC hypothesis. Although the coefficient signs are consistent with the EKC pattern in the full sample and the high-income group, the estimated turning points are mostly outside

the observed income ranges. Therefore, the findings should not be interpreted as strong evidence of a completed EKC transition. Instead, they suggest that the marginal emission-increasing effect of income weakens in some samples.

Discussing the findings with the literature

The findings are consistent with the strand of the literature arguing that the EKC hypothesis is not universally valid for CO₂ emissions. They also support studies emphasizing the importance of energy structure, fossil fuel dependence, energy intensity, and institutional conditions in explaining emissions. The income-group results indicate that the income-emissions relationship is heterogeneous and that a single EKC mechanism cannot be assumed for all countries.

Conclusion, recommendation and limitations

This section presents the main conclusions of the article, policy implications derived from the findings, and the limitations that should be considered in future research.

Results of the article

The study concludes that income growth alone is not sufficient to reduce CO₂ emissions. While income remains positively associated with emissions across all income groups, renewable energy consumption is consistently linked to lower emissions. Fossil fuel consumption and energy intensity emerge as the main emission-increasing factors.

Suggestions based on results

The results suggest that climate and energy policies should be designed according to income-group differences. Low- and middle-income countries should prioritize renewable energy investments, energy efficiency improvements, and reductions in fossil fuel dependence. High-income countries should focus on translating institutional capacity into stronger environmental performance, reducing consumption- and production-based emissions, and accelerating the transition toward low-carbon energy systems.

Limitations of the article

The study has several limitations. First, the number of low-income countries in the sample is limited, so the results for this group should be interpreted cautiously. Second, the study is based on a static panel data framework and does not directly estimate long-run cointegration relationships or dynamic adjustment mechanisms. Future studies may extend the analysis by using longer datasets, dynamic panel methods, panel cointegration approaches, or more detailed country-specific energy and institutional policy indicators.

Giriş

İklim değişikliği, enerji kullanımı ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki, çevre ekonomisi literatürünün temel tartışma alanlarından biridir. Bu ilişkinin en yaygın açıklama çerçevelerinden biri Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezidir. EKC hipotezine göre ekonomik büyümenin erken aşamalarında üretim ölçeğinin genişlemesi, sanayileşme ve enerji talebindeki artış çevresel bozulmayı artırırken, daha yüksek gelir düzeylerinde teknolojik gelişme, yapısal dönüşüm ve çevresel düzenlemelerin güçlenmesi çevresel baskıları azaltabilir (Grossman & Krueger, 1995; Selden & Song, 1994; Dinda, 2004). Bununla birlikte, bu mekanizmanın özellikle CO₂ emisyonları için otomatik, evrensel ve tüm gelir grupları bakımından geçerli bir ters-U ilişkisi ürettiği yönünde güçlü bir uzlaş bulunmamaktadır (Perman & Stern, 2003; Stern, 2004).

Bu tartışmanın temel nedenlerinden biri, gelir-emisyon ilişkisinde elde edilen negatif kareli gelir katsayısının her zaman iktisadi olarak anlamlı bir çevresel dönüşüm eşiğine karşılık gelmemesidir. Hesaplanan dönüm noktasının gözlenen gelir aralığının dışında kalması, EKC hipotezinin güçlü biçimde doğrulandığını değil, gelir artışının emisyonlar üzerindeki marjinal etkisinin zayıfladığını gösterebilir (Stern, 2004; Richmond & Kaufmann, 2006). Bu nedenle CO₂ emisyonları için EKC hipotezini değerlendirirken yalnızca katsayı işaretlerine değil, dönüm noktasının örneklem içinde yer alıp almadığına, enerji bileşiminin rolüne ve ilişkinin gelir gruplarına göre farklılaşıp farklılaşmadığına odaklanmak gerekir.

Bu çalışma, 2002–2021 döneminde 140 ülke için kişi başına CO₂ emisyonlarının belirleyicilerini gelir grupları itibarıyla incelemektedir. Çalışmada klasik EKC yaklaşımı yalnızca kişi başına gelir ve kareli gelir değişkenleriyle değil, yenilenebilir enerji tüketimi, fosil yakıt kullanımı, enerji yoğunluğu, kentleşme ve hükümet etkinliği değişkenlerini içeren genişletilmiş bir panel emisyon modeliyle test edilmektedir. Ülkeler Dünya Bankası gelir sınıflandırmasına göre düşük, alt-orta, üst-orta ve yüksek gelir gruplarına ayrılarak gelir-emisyon ilişkisinin kalkınma düzeyine göre farklılaşıp farklılaşmadığı değerlendirilmektedir. Bu yönüyle çalışma, EKC hipotezinin geçerliliğini yalnızca tüm örneklem düzeyinde değil, farklı gelir grupları bağlamında enerji dönüşümü ve kurumsal kapasite unsurlarıyla birlikte ele almaktadır.

Ampirik bulgular, kişi başına gelirin tüm örneklemelerde CO₂ emisyonlarıyla pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki sergilediğini göstermektedir. Kareli gelir değişkeni yalnızca tüm örneklemde ve yüksek gelir grubunda negatif ve anlamlıdır. Ancak hesaplanan dönüm noktalarının büyük ölçüde gözlenen gelir aralıklarının dışında kalması, güçlü bir EKC dönüşümünden ziyade gelir ile emisyonlar arasındaki pozitif ilişkinin bazı örneklemelerde zayıfladığına işaret etmektedir. Buna karşılık yenilenebilir enerji tüketimi tüm gelir gruplarında emisyonlarla negatif ilişkili bulunurken, fosil yakıt tüketimi ve enerji yoğunluğu emisyonlarla pozitif ilişkili bulunmuştur. Bu bulgular, CO₂ emisyonlarının yalnızca gelir artışına bağlı olarak azalacağı varsayımına temkinli yaklaşılması gerektiğini ve enerji dönüşümü, enerji verimliliği ve kurumsal etkinliğin gelir gruplarına göre farklılaşan rolünün dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Çalışmanın geri kalan bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir. İkinci bölümde EKC hipotezi, enerji yapısı, kurumsal etkinlik ve gelir gruplarına göre çevresel etkiler üzerine ilgili literatür özetlenmektedir. Üçüncü bölümde veri seti, değişkenler, ampirik model ve yöntem açıklanmaktadır. Dördüncü bölümde ampirik bulgular sunulmakta ve gelir gruplarına göre karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir. Son bölümde ise temel bulgular özetlenmekte, politika çıkarımları tartışılmakta ve çalışmanın sınırlılıkları ortaya konulmaktadır.

Literatür taraması

Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezi, ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığını ileri süren temel yaklaşımlardan biridir. Bu hipoteze göre ekonomik büyümenin ilk aşamalarında üretim ölçeğinin genişlemesi, sanayileşme, enerji talebi ve kaynak kullanımı çevresel bozulmayı artırmaktadır. Buna karşılık daha yüksek gelir düzeylerinde ekonomik yapının sanayiden hizmetler sektörüne doğru dönüşmesi, teknolojik gelişmelerin hızlanması, enerji verimliliğinin artması ve çevresel düzenlemelerin güçlenmesi çevresel baskıları azaltabilmektedir. Dinda (2004), EKC literatürünü bu çerçevede değerlendirerek gelir-çevre ilişkisinin ölçek, kompozisyon ve teknik etkiler üzerinden açıklanabileceğini belirtmektedir. Buna göre büyümenin erken dönemlerinde ölçek etkisi çevresel bozulmayı artırırken, ilerleyen gelişme aşamalarında kompozisyon ve teknik etkiler çevresel iyileşme yönünde işleyebilmektedir.

Bununla birlikte EKC hipotezinin ampirik geçerliliği konusunda literatürde güçlü bir uzlaş bulunmamaktadır. Perman ve Stern (2003), panel birim kök ve eşbütünleşme testlerinden hareketle

EKC'nin genel geçerliliğinin tartışmalı olduğunu ve ülkeler için ortak bir gelir-çevre ilişkisi varsaymanın sorunlu olabileceğini göstermektedir. Stern (2004) de klasik EKC yaklaşımının çoğu durumda zayıf bir istatistiksel temele dayandığını, çevresel bozulmanın gelirle birlikte otomatik biçimde azalmadığını ve özellikle emisyon göstergelerinde ilişkinin çoğunlukla monoton ya da zayıflayan pozitif bir yapı gösterebildiğini vurgulamaktadır. Bu yaklaşıma göre çevresel iyileşme yalnızca gelir artışının doğal bir sonucu olarak değil; teknolojik gelişme, enerji verimliliği, düzenleyici kapasite ve çevre politikalarının etkinliğiyle birlikte değerlendirilmelidir.

EKC hipotezine ilişkin tartışmalar özellikle CO₂ emisyonları söz konusu olduğunda daha belirgin hâle gelmektedir. Dinda (2004), EKC bulgularının daha çok SO₂ ve partikül madde gibi yerel ve kısa dönemli etkileri olan kirleticilerde gözlemlendiğini, CO₂ gibi küresel, birikimli ve enerji sistemiyle yakından ilişkili kirleticilerde ise ters-U biçimli ilişkinin daha zayıf olduğunu belirtmektedir. Stern (2004) de CO₂ emisyonlarında yüksek gelir düzeylerinde dahi gelir esnekliğinin çoğu zaman negatife dönmediğini, yalnızca birden küçük hâle gelebildiğini ifade etmektedir. Bu nedenle CO₂ emisyonları açısından EKC hipotezini değerlendirirken yalnızca gelir ve gelir karesi katsayılarının işaretlerine bakmak yeterli değildir. Hesaplanan dönüm noktasının gözlenen gelir aralığı içinde yer alıp almadığı ve modelin enerji yapısı gibi temel belirleyicileri içerip içermediği de dikkate alınmalıdır.

Dönüm noktalarının iktisadi olarak yorumlanabilirliği, EKC literatüründeki temel sorunlardan biridir. Richmond ve Kaufmann (2006), gelir ile enerji kullanımı ve karbon emisyonları arasındaki ilişkinin yakıt bileşimine, model spesifikasyonuna ve ülkelerin gelişmişlik düzeyine duyarlı olduğunu göstermektedir. Yazarlar, OECD ülkelerinde sınırlı bir dönüm noktası kanıtı bulurken, OECD dışı ülkelerde gelir ile enerji kullanımı ve karbon emisyonları arasında belirgin bir dönüm noktası olmadığını ortaya koymaktadır. Bu bulgu, ekonomik büyümenin tek başına karbon emisyonlarını azaltacağı varsayımına ihtiyatla yaklaşılması gerektiğini ve enerji bileşiminin modele dâhil edilmesinin önemini göstermektedir.

Güncel çalışmalar da EKC ilişkisinin ülkeler ve gelir grupları arasında homojen olmadığını ortaya koymaktadır. Almeida vd. (2024), 1990–2020 dönemi için 158 ülke ve 44 bölge üzerinden gelir ile CO₂ emisyonları arasındaki ilişkiyi incelemiş ve EKC hipotezine ilişkin bulguların gelir gruplarına göre farklılaştığını göstermiştir. Çalışmada Dünya Bankası gelir sınıflandırması esas alınarak düşük, alt-orta, üst-orta ve yüksek gelirli ülkeler ayrı ayrı değerlendirilmiş, gelir-CO₂ ilişkisinin ülkeler ve bölgeler arasında ortak bir desen sunmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu bulgu, EKC hipotezinin tüm ülkeler için evrensel bir açıklama çerçevesi olarak ele alınamayacağını ve gelir gruplarına göre heterojenliğin dikkate alınması gerektiğini desteklemektedir.

Benzer biçimde Wang vd. (2024), 214 ülkeyi kapsayan çalışmalarında geleneksel ters-U biçimli EKC yaklaşımının ötesine geçerek N-biçimli EKC yapısını incelemiştir. Çalışmada ekonomik, kurumsal, teknolojik, kaynak temelli ve sosyal faktörler birlikte ele alınmış ve karbon emisyonlarının belirleyicilerinin ülke gruplarına göre farklılaştığı gösterilmiştir. Bu sonuç, yüksek gelir düzeylerinde dahi emisyonların yeniden artabileceğine ve teknolojik gelişme ile çevresel düzenlemelerin ölçek etkisini her durumda kalıcı biçimde bastıramayabileceğine işaret etmektedir. Dolayısıyla güncel literatür, EKC hipotezinin doğrusal olmayan fakat ülkeler arasında farklılaşan ve enerji, teknoloji, kurumlar ve kalkınma düzeyiyle birlikte şekillenen bir ilişki olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Sektörel ve bölgesel çalışmalar da EKC bulgularının model, sektör ve ülke grubu seçimine duyarlı olduğunu göstermektedir. Das Gupta vd. (2025), gelişmekte olan ve yükselen ekonomilerde sektör düzeyinde yaptıkları analizde EKC bulgularının sektörler arasında belirgin biçimde değiştiğini ortaya koymaktadır. Çalışmada bazı sektörlerde EKC hipotezini destekleyen bulgular elde edilirken, özellikle ulaştırma sektöründe emisyonların büyümeyle birlikte artmaya devam ettiği sonucuna ulaşılmıştır. Benzer biçimde Hu vd. (2026), Çin eyaletleri için yatay kesit bağımlılığını dikkate alan dinamik panel eşik modeliyle yaptıkları analizde, bu bağımlılık uygun biçimde kontrol edildiğinde EKC hipotezinin geçerliliğini yitirdiğini göstermektedir. Bu çalışmalar, EKC bulgularının bazı durumlarda gerçek bir çevresel dönüşümden çok model spesifikasyonu, ortak şoklar, bölgesel bağlantılar veya sektörel yapıdan kaynaklanabileceğini göstermektedir.

Enerji yapısı, CO₂ emisyonlarının açıklanmasında EKC yaklaşımını tamamlayan temel unsurlardan biridir. Fosil yakıt tüketiminin enerji bileşimi içindeki ağırlığı, karbon yoğun üretim yapısını doğrudan etkileyerek emisyon düzeylerini artırabilmektedir. Buna karşılık yenilenebilir enerji kullanımının artması, enerji üretiminde karbon yoğun kaynaklara olan bağımlılığı azaltarak emisyonların düşürülmesine katkı sağlayabilir. Richmond ve Kaufmann (2006), enerji bileşiminin modele dâhil edilmemesi durumunda gelir-emisyon ilişkisinden elde edilen dönüm noktalarının yanıltıcı olabileceğini vurgulamaktadır. Stern (2004) ise emisyon azaltımında gelir artışından çok enerji

yoğunluğundaki düşüşlerin, teknolojik gelişmenin ve emisyon azaltıcı politika araçlarının belirleyici olduğunu ifade etmektedir. Bu çerçevede enerji yoğunluğu, fosil yakıt tüketimi ve yenilenebilir enerji değişkenlerinin aynı model içinde ele alınması, gelir-emisyon ilişkisinin daha gerçekçi biçimde değerlendirilmesine imkân sağlamaktadır.

Enerji dönüşümü ve fosil yakıt bağımlılığına odaklanan ampirik çalışmalar da bu yaklaşımı desteklemektedir. Acaroğlu vd. (2023), Türkiye için 1971–2015 döneminde CO₂ emisyonları ve ekolojik ayak izini çevresel bozulma göstergeleri olarak kullanmış ve enerji çeşitlendirmesi bağlamında EKC hipotezini incelemiştir. Çalışmanın bulguları, kömür tüketiminin hem CO₂ emisyonlarını hem de ekolojik ayak izini artırdığını, hidroelektrik enerji kullanımının ise CO₂ emisyonlarını azaltıcı yönde sonuç verdiğini göstermektedir. Benzer biçimde Zaland ve Imamoglu (2024), Çin için 1990–2020 döneminde yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kullanımı bağlamında EKC hipotezini yeniden ele almış ve yenilenebilir enerji tüketiminin kısa ve uzun dönemde CO₂ emisyonlarını azaltıcı yönde etkili olduğunu, fosil yakıt tüketiminin ise özellikle kısa dönemde emisyonları artırdığını ortaya koymuştur. Bu bulgular, gelir-emisyon ilişkisinin enerji bileşimi dikkate alınmadan yorumlanmasının eksik kalacağını göstermektedir.

Kurumsal kapasite de çevresel performansın önemli belirleyicilerinden biridir. Etkin kamu kurumları, çevresel düzenlemelerin uygulanması, enerji dönüşümüne yönelik politika araçlarının geliştirilmesi, çevre standartlarının izlenmesi ve düşük karbonlu yatırımların teşvik edilmesi açısından kritik rol oynamaktadır. Bununla birlikte kurumsal etkinliğin çevresel sonuçları ülkelerin kalkınma düzeyi, üretim yapısı, enerji talebi ve politika önceliklerine bağlı olarak farklılaşabilir. Bu nedenle hükümet etkinliği gibi kurumsal göstergelerin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisi tek yönlü ve tüm ülkeler için aynı biçimde işleyen bir mekanizma olarak değerlendirilmemelidir. Nitekim Wang vd. (2024), kurumsal ve teknolojik faktörlerin karbon emisyonları üzerindeki etkilerinin ülke gruplarına göre değişebildiğini göstermektedir.

Kurumsal kalite ve enerji bileşimini birlikte değerlendiren çalışmalar da bu ilişkinin karmaşık yapısına işaret etmektedir. Mahmoodi ve Dahmardeh (2022), Avrupa ve Asya'daki yükselen ekonomilerde ekonomik büyüme, yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kullanımı ile yönetim kalitesini EKC çerçevesinde incelemiş ve yönetim kalitesinin ekolojik ayak izini azaltıcı yönde etkili olduğunu göstermiştir. Saboori vd. (2024) ise MENA ülkeleri için kurumsal kaliteyi toplam ve alt boyutları itibarıyla ele almış, yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji tüketimi ile ticaret değişkenlerini de modele dâhil ederek kurumsal kalitenin ve yenilenebilir enerjinin CO₂ emisyonlarının azaltılmasında önemli bir rol oynayabileceğini ortaya koymuştur. Bu çalışmalar, hükümet etkinliği ve genel kurumsal kapasite göstergelerinin çevresel performans üzerindeki etkisinin enerji yapısı ve kalkınma düzeyiyle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini desteklemektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, mevcut literatür EKC hipotezinin özellikle CO₂ emisyonları açısından tartışmalı olduğunu, gelir-emisyon ilişkisinin ülkeler ve gelir grupları arasında farklılaşabildiğini ve enerji yapısı ile kurumsal kapasitenin bu ilişkiyi önemli ölçüde etkileyebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, CO₂ emisyonlarını gelir grupları itibarıyla inceleyen ve aynı model içinde yenilenebilir enerji tüketimi, fosil yakıt tüketimi, enerji yoğunluğu, kentleşme ve hükümet etkinliği değişkenlerini birlikte dikkate alan çalışmalar görece sınırlıdır. Bu çalışma, 2002–2021 döneminde 140 ülkeyi kapsayan geniş bir panel veri setiyle söz konusu boşluğa katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Ayrıca ülkeleri Dünya Bankası gelir sınıflandırmasına göre düşük, alt-orta, üst-orta ve yüksek gelir gruplarına ayırarak gelir-emisyon ilişkisinin kalkınma düzeyine göre nasıl farklılaştığını karşılaştırmalı biçimde ortaya koymaktadır.

Veri, model ve yöntem

Bu bölümde çalışmada kullanılan veri seti, değişkenler, ampirik model ve tahmin yöntemi açıklanmaktadır. Çalışmanın temel amacı, kişi başına CO₂ emisyonlarının belirleyicilerini gelir grupları itibarıyla incelemek ve gelir-emisyon ilişkisinin enerji yapısı, enerji yoğunluğu, yenilenebilir enerji kullanımı, kentleşme ve kurumsal etkinlik dikkate alındığında nasıl farklılaştığını ortaya koymaktır. Bu doğrultuda öncelikle veri seti ve değişkenler tanıtılmakta, ardından EKC çerçevesinden yararlanan genişletilmiş panel emisyon modeli sunulmakta ve son olarak model seçim süreci ile kullanılan panel veri tahmin yöntemleri açıklanmaktadır.

Veri seti

Çalışmada, 2002–2021 dönemini kapsayan ve 140 ülkeye ait yıllık gözlemlerden oluşan panel veri seti kullanılmıştır. Ülke örnekleme, gelir düzeyine göre ortaya çıkabilecek heterojenliğin incelenmesi amacıyla Dünya Bankası'nın ülke gelir sınıflandırması esas alınarak alt gruplara ayrılmıştır. Dünya

Bankası sınıflandırması ülkeleri kişi başına gayri safi milli gelir düzeylerine göre düşük gelirli, alt-orta gelirli, üst-orta gelirli ve yüksek gelirli ekonomiler olarak gruplandırmaktadır. Çalışmada ülkelerin gelir gruplarına ayrılmasında Dünya Bankası'nın 2025 yılı gelir sınıflandırması esas alınmış ve ülkeler analiz dönemi boyunca bu sınıflandırmaya göre sabit gruplarda değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, çalışmada yer alan ülkeler ilgili gelir gruplarıyla eşleştirilmiş ve tüm örneklem analizine ek olarak gelir grubu bazlı alt örneklem analizleri yürütülmüştür. Böylece enerji yoğunluğu, fosil yakıt tüketimi, yenilenebilir enerji kullanımı, kentleşme ve hükümet etkinliği ile kişi başına CO₂ emisyonları arasındaki ilişkilerin ülkelerin kalkınma düzeyine göre farklılaşıp farklılaşmadığı değerlendirilmiştir. Düşük gelir grubunda yer alan ülke sayısının sınırlı olması nedeniyle, bu gruba ilişkin bulgular yorumlanırken örneklem büyüklüğünden kaynaklanabilecek tahmin hassasiyeti ayrıca dikkate alınmıştır. Çalışmada kullanılan veriler Dünya Bankası'nın Dünya Kalkınma Göstergeleri (WDI) ve Dünya Yönetişim Göstergeleri (WGI) veri tabanlarından temin edilmiştir. Farklı göstergelere ait veriler ülke ve yıl bazında eşleştirilerek ortak bir panel veri setinde birleştirilmiştir. Nihai ülke örnekleme, 2002–2021 döneminde modelde kullanılan tüm değişkenler için kesintisiz gözleme sahip ülkeler esas alınarak oluşturulmuştur. Bu koşulu sağlamayan ülkeler örneklem dışında bırakılmış ve böylece 140 ülke ile 2.800 ülke-yıl gözleminden oluşan dengeli bir panel veri seti elde edilmiştir. Bu yapı, tüm örneklem ve gelir grupları için gerçekleştirilen tahminlerde ortak ve karşılaştırılabilir bir veri çerçevesinin kullanılmasına imkân sağlamaktadır.

Tablo 1: Değişken Tanımları ve Veri Kaynakları

Değişken adı	Değişken tanımı	Veri kaynağı
lco2	LULUCF hariç kişi başına CO ₂ emisyonu	Dünya Bankası – WDI
lgdp	Kişi başına GSYH, 2015 sabit ABD doları	Dünya Bankası – WDI
lenergy	Birincil enerji yoğunluğu düzeyi (MJ/\$2017 SAGP GSYH)	Dünya Bankası – WDI
lfossil	Fosil yakıt enerji tüketiminin toplam enerji tüketimi içindeki payı	Dünya Bankası – WDI
gov_eff	Hükümet etkinliği göstergesi	Dünya Bankası – WGI
lren	Yenilenebilir enerji tüketiminin toplam nihai enerji tüketimi içindeki payı	Dünya Bankası – WDI
lurban	Kentsel nüfusun toplam nüfus içindeki payı	Dünya Bankası – WDI

Çalışmada kullanılan değişkenlerin tanımları ve veri kaynakları Tablo 1’de verilmiştir. Bağımlı değişken LULUCF hariç kişi başına CO₂ emisyonu olup, açıklayıcı değişkenler kişi başına gelir, enerji yoğunluğu, fosil yakıt tüketimi, yenilenebilir enerji tüketimi, kentleşme oranı ve hükümet etkinliği göstergesinden oluşmaktadır. Modelde hükümet etkinliği değişkeni dışındaki tüm değişkenler doğal logaritmik biçimde kullanılmıştır. Değişkenlere uygulanan logaritmik dönüşümler, veri setindeki özgün değerler üzerinden gerçekleştirilmiş ve herhangi bir ikame işlemi uygulanmamıştır. CO₂ emisyonu, kişi başına gelir, enerji yoğunluğu, fosil yakıt tüketimi, yenilenebilir enerji tüketimi ve kentleşme değişkenleri Dünya Bankası Dünya Kalkınma Göstergeleri (WDI) veri tabanından; hükümet etkinliği değişkeni ise Dünya Bankası Dünya Yönetişim Göstergeleri (WGI) veri tabanından elde edilmiştir (World Bank, 2024a, 2024b; Kaufmann vd., 2010).

Tablo 2: Tanımlayıcı İstatistikler

Değişken	Gözlem	Ortalama	Std. Sapma	Minimum	Maksimum
lco2	2,800	0.930	1.485	-3.549	3.982
lgdp	2,800	8.727	1.411	5.533	11.630
lren	2,800	2.768	1.559	-2.303	4.588
lfossil	2,800	4.047	0.690	0.536	4.605
lenergy	2,800	1.510	0.503	0.086	3.239
lurban	2,800	4.028	0.440	2.656	4.605
gov_eff	2,800	0.069	0.999	-2.203	2.322

Not: gov_eff değişkeni negatif değerler içerdiği için logaritması alınmadan modele dahil edilmiştir.

Veri setinin genel yapısını görmek amacıyla hesaplanan tanımlayıcı istatistikler Tablo 2’de yer almaktadır. Buna göre veri seti, çalışmada kullanılan değişkenler bakımından dengeli bir panel yapısı göstermektedir. Değişkenlerin logaritmik biçimde kullanılması, seriler arasındaki ölçek farklılıklarını azaltmakta ve katsayıların esneklik yorumu çerçevesinde değerlendirilmesine imkân sağlamaktadır.

Kişi başına CO₂ emisyonu, kişi başına gelir, fosil yakıt tüketimi, enerji yoğunluğu ve kentleşme değişkenlerinde gözlenen minimum ve maksimum değerler, örnekleme yer alan ülkeler arasında ekonomik gelişmişlik, enerji yapısı ve çevresel performans bakımından belirgin farklılıklar bulunduğunu göstermektedir. Hükümet etkinliği göstergesinin negatif ve pozitif değerler alması ise ülkeler arasında kurumsal kapasite bakımından önemli bir heterojenlik olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 3: Varyans Şişirme Faktörü (VIF) Testi Sonuçları

Değişken	VIF
c_lgdp	7.64
c_lgdp2	2.17
lfossil	3.75
lurban	3.26
gov_eff	4.44
lren	2.14
lenergy	1.43
Ortalama VIF	3.55

Açıklayıcı değişkenler arasındaki çoklu doğrusal bağlantının düzeyini değerlendirmek amacıyla VIF testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 3'te sunulmuştur. En yüksek VIF değeri merkezlenmiş kişi başına gelir değişkeni için 7,64, ortalama VIF değeri ise 3,55 olarak hesaplanmıştır. Tüm VIF değerlerinin literatürde yaygın olarak kullanılan 10 eşliğinin altında kalması, modelde ciddi düzeyde bir çoklu doğrusal bağlantı sorunu bulunmadığına işaret etmektedir (Gujarati & Porter, 2009; Hair vd., 2010). Bununla birlikte, c_lgdp değişkenine ait VIF değerinin daha sıkı eşiklere göre orta düzeyde doğrusal bağlantıya işaret edebileceği dikkate alınmalıdır. Gelir ve gelir karesi arasındaki yapısal ilişki merkezleme yoluyla azaltılmış olmakla birlikte tamamen ortadan kalkmadığından, ilgili katsayılar bu durum göz önünde bulundurularak yorumlanmıştır.

Ampirik model

Çalışmada kişi başına CO₂ emisyonlarının belirleyicilerini incelemek amacıyla, EKC çerçevesinden yararlanılan genişletilmiş bir panel emisyon modeli tahmin edilmiştir. Modelde gelir-emisyon ilişkisinin doğrusal olmayan yapısını dikkate alabilmek için, EKC literatüründeki standart yaklaşım doğrultusunda kişi başına gelir değişkeni ile bu değişkenin karesi birlikte kullanılmıştır (Dinda, 2004; Stern, 2004). Bunun yanında enerji yoğunluğu, fosil yakıt tüketimi, yenilenebilir enerji tüketimi, kentleşme oranı ve hükümet etkinliği değişkenleri modele dâhil edilmiştir. Böylece CO₂ emisyonlarının yalnızca gelir düzeyiyle değil, aynı zamanda enerji yapısı, enerji verimliliği, kentleşme ve kurumsal kapasite ile birlikte nasıl şekillendiği analiz edilmiştir. Çalışmada tahmin edilen model aşağıdaki gibidir:

$$lco2_{it} = \alpha_i + \lambda_t + \beta_1 c_lgdp_{it} + \beta_2 c_lgdp^2_{it} + \beta_3 lren_{it} + \beta_4 lfossil_{it} + \beta_5 lenergy_{it} + \beta_6 lurban_{it} + \beta_7 gov_eff_{it} + \varepsilon_{it}$$

Burada *i* ülkeleri, *t* yılları göstermektedir. α_i ülke sabit etkilerini, λ_t yıl sabit etkilerini ve ε_{it} hata terimini ifade etmektedir. Ülke sabit etkileri ülkeler arasındaki gözlenemeyen ve zaman içinde değişmeyen yapısal farklılıkları kontrol ederken, yıl sabit etkileri tüm ülkeleri etkileyebilecek ortak dönemsel şokları dikkate almaktadır. Panel veri modellerinde sabit etkiler yaklaşımı, yatay kesit birimleri arasındaki gözlenemeyen ve zaman içinde değişmeyen heterojenliği kontrol etmeye imkân verdiği için yaygın biçimde kullanılmaktadır (Baltagi, 2021; Wooldridge, 2010).

Gelir değişkeni modelde merkezlenmiş biçimde kullanılmıştır. Bu amaçla kişi başına GSYH'nin doğal logaritmasından, ilgili örneklemin ortalama kişi başına log GSYH değeri çıkarılmış ve merkezlenmiş log kişi başına gelir değişkeni elde edilmiştir. Ardından bu değişkenin karesi alınarak merkezlenmiş log kişi başına gelir karesi oluşturulmuştur. Merkezleme işlemi, kişi başına gelir değişkeni ile kareli gelir değişkeni arasındaki yüksek doğrusal ilişkiyi azaltmakta ve model katsayılarının daha sağlıklı yorumlanmasına katkı sağlamaktadır. Model, tüm örneklem ve gelir grupları için ayrı ayrı tahmin edilmiştir. Bu yaklaşım, açıklayıcı değişkenlerin CO₂ emisyonları üzerindeki etkilerinin farklı kalkınma düzeylerinde aynı olup olmadığını karşılaştırmalı biçimde değerlendirmeye imkân vermektedir.

Ampirik bulgular

Bu bölümde, kişi başına CO₂ emisyonlarının belirleyicilerine ilişkin ampirik bulgular sunulmaktadır. Öncelikle genişletilmiş sabit etkiler modeli tahmin edilmekte, ardından modelin güvenilirliğini

değerlendirmek amacıyla değişen varyans, otokorelasyon ve yatay kesit bağımlılığı testleri raporlanmaktadır. Tanısal test sonuçları doğrultusunda, nihai değerlendirme Driscoll-Kraay standart hatalarıyla tahmin edilen sabit etkiler modeline dayandırılmaktadır. Son olarak, gelir-emisyon ilişkisinin doğrusal olmayan yapısını değerlendirmek amacıyla EKC dönüm noktası tahminleri sunulmaktadır.

Tablo 4: Genişletilmiş Sabit Etkiler Modeli Sonuçları

Değişkenler	Tüm	Düşük	Alt-Orta	Üst-Orta	Yüksek
c_lgdp	0.897*** (0.019)	0.654*** (0.094)	1.038*** (0.046)	0.875*** (0.036)	0.871*** (0.022)
c_lgdp ²	-0.020*** (0.005)	0.312*** (0.078)	-0.027 (0.017)	-0.000 (0.022)	-0.056*** (0.009)
lren	-0.006*** (0.001)	-0.033*** (0.005)	-0.009*** (0.001)	-0.004** (0.002)	-0.005*** (0.001)
lfossil	0.753*** (0.021)	0.380*** (0.071)	0.781*** (0.032)	0.583*** (0.111)	0.499*** (0.031)
lenergy	0.652*** (0.016)	0.490*** (0.095)	0.741*** (0.033)	0.463*** (0.033)	0.850*** (0.018)
lurban	0.166*** (0.050)	0.776*** (0.198)	0.303*** (0.086)	-0.364*** (0.108)	0.106 (0.082)
gov_eff	-0.033*** (0.011)	-0.039 (0.061)	-0.080*** (0.022)	0.026 (0.022)	0.026** (0.010)
Gözlem	2,800	240	720	780	1,060
Ülke	140	12	36	39	53
Within R ²	0.819	0.878	0.917	0.640	0.883
F testi	457.94***	55.89***	279.36***	48.97***	284.40***
Hausman $\chi^2(7)$	110.65***	39.93***	44.75***	56.67***	109.53***
Ülke FE	Var	Var	Var	Var	Var
Yıl FE	Var	Var	Var	Var	Var

Not: Parantez içindeki değerler standart hataları göstermektedir. ***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerini ifade etmektedir.

Model sabit etkiler tahmincisiyle tahmin edilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 4'te gösterilmiştir. Sabit etkiler ve rassal etkiler modelleri arasındaki tercih Hausman spesifikasyon testiyle değerlendirilmiş (Hausman, 1978) ve test sonuçları tüm örneklerde sabit etkiler modelini desteklemiştir. Merkezlenmiş log kişi başına gelir değişkeni (c_lgdp) tüm örneklerde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Merkezlenmiş log kişi başına gelir karesi (c_lgdp²) tüm örneklerde ve yüksek gelir grubunda negatif ve anlamlı, düşük gelir grubunda pozitif ve anlamlı, alt-orta ve üst-orta gelir gruplarında ise istatistiksel olarak anlamsızdır. Tablo 4'teki sonuçlar klasik standart hatalara dayanan temel sabit etkiler tahminlerini göstermektedir.

Tablo 4'te yenilenebilir enerji tüketimi (lren) tüm örneklerde negatif ve anlamlı, fosil yakıt tüketimi (lfossil) ile enerji yoğunluğu (lenergy) ise pozitif ve anlamlıdır. Kentleşme oranı (lurban) tüm örneklerde, düşük gelir ve alt-orta gelir gruplarında pozitif ve anlamlı, üst-orta gelir grubunda negatif ve anlamlı, yüksek gelir grubunda ise anlamsızdır. Hükümet etkinliği (gov_eff) tüm örneklerde ve alt-orta gelir grubunda negatif ve anlamlı, düşük ve üst-orta gelir gruplarında anlamsız, yüksek gelir grubunda ise pozitif ve anlamlıdır. Bu tahminler tanısal testlerden önceki temel sonuçlar olduğundan, nihai istatistiksel çıkarım Driscoll-Kraay standart hatalarıyla elde edilen Tablo 6 sonuçlarına dayandırılmıştır.

Tablo 5: Tanısal Test Sonuçları

Test/ Gösterge	Tüm	Düşük	Alt-Orta	Üst-Orta	Yüksek
Modified Wald χ^2	391721.82***	787.58***	8801.02***	20305.36***	13384.05***
p-değeri	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Wooldridge F	104.843***	8.484**	99.473***	71.211***	78.000***
p-değeri	0.000	0.014	0.000	0.000	0.000
Pesaran CD	4.859***	-2.867***	0.703	4.906***	0.063
p-değeri	0.000	0.004	0.482	0.000	0.950
Ort. mutlak korelasyon	0.386	0.371	0.396	0.483	0.336

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

Sabit etkiler tahminlerinden sonra modelin hata yapısına ilişkin tanısal testler yapılmıştır. Bu kapsamda değişen varyans için Modified Wald testi, otokorelasyon için Wooldridge testi ve yatay kesit bağımlılığı için Pesaran CD testi kullanılmıştır (Wooldridge, 2010; Pesaran, 2004). Test sonuçları Tablo 5'te raporlanmıştır. Modified Wald testi sonuçları, tüm örneklerde değişen varyans sorunu bulunduğunu göstermektedir. Wooldridge testi de tüm örneklem ve gelir gruplarında birinci dereceden otokorelasyonun varlığına işaret etmektedir. Pesaran CD testi sonuçlarına göre yatay kesit bağımlılığı tüm örneklem, düşük gelir ve üst-orta gelir gruplarında istatistiksel olarak anlamlıdır; alt-orta ve yüksek gelir gruplarında ise anlamlı değildir. Ortalama mutlak korelasyon değerleri ise hata terimleri arasında özellikle üst-orta gelir grubunda daha belirgin olmak üzere ortak hareketlilik bulunduğunu göstermektedir. Bu bulgular, klasik sabit etkiler standart hatalarının güvenilir olmayabileceğini ve nihai değerlendirmede dirençli standart hata kullanımının gerekli olduğunu ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda Driscoll-Kraay standart hataları, değişen varyans, otokorelasyon ve yatay kesit bağımlılığına karşı dirençli çıkarım sağlaması nedeniyle tercih edilmiştir. Bu tercih, çalışmanın temel amacının ülke ve yıl sabit etkileri altında elde edilen katsayılarla ilişkin güvenilir istatistiksel çıkarım yapmak olmasıyla da uyumludur. Driscoll-Kraay yaklaşımı, iki yönlü sabit etkiler modelinin katsayı tahminlerini korurken kovaryans matrisini söz konusu hata yapısına karşı dirençli hâle getirmekte ve üç sorunun aynı çerçevede ele alınmasına imkân vermektedir (Driscoll & Kraay, 1998; Hoechle, 2007). Ayrıca gelir grupları arasında yatay kesit boyutu farklılaşırken zaman boyutunun bütün örneklerde 20 yıl olması nedeniyle ortak ve karşılaştırılabilir bir tahmin çerçevesinin sürdürülmesi amaçlanmıştır; sınırlı zaman boyutunda aşırı gecikme kullanımından kaçınmak için maksimum gecikme uzunluğu iki olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, panelin zaman boyutunun 20 yıl ile sınırlı olması nedeniyle bulgular uzun dönemli eşbütünleşme katsayıları olarak değil, statik sabit etkiler modeli kapsamında dirençli standart hatalarla elde edilen ilişki tahminleri olarak yorumlanmıştır. Ampirik analizler Stata 17 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 6: Driscoll–Kraay Standart Hatalı Sabit Etkiler Modeli Sonuçları

Değişkenler	Tüm	Düşük	Alt-Orta	Üst-Orta	Yüksek
c_lgdp	0.897*** (0.054)	0.654*** (0.156)	1.038*** (0.065)	0.875*** (0.110)	0.871*** (0.032)
c_lgdp ²	-0.020*** (0.004)	0.312*** (0.070)	-0.027 (0.017)	-0.000 (0.014)	-0.056*** (0.006)
lren	-0.006*** (0.001)	-0.033*** (0.005)	-0.009*** (0.001)	-0.004* (0.002)	-0.005*** (0.001)
lfossil	0.753*** (0.061)	0.380*** (0.112)	0.781*** (0.068)	0.583*** (0.128)	0.499*** (0.067)
lenergy	0.652*** (0.061)	0.490*** (0.065)	0.741*** (0.026)	0.463*** (0.119)	0.850*** (0.048)
lurban	0.166*** (0.031)	0.776*** (0.179)	0.303*** (0.058)	-0.364*** (0.083)	0.106 (0.102)
gov_eff	-0.033*** (0.008)	-0.039 (0.098)	-0.080*** (0.020)	0.026 (0.029)	0.026*** (0.006)
Gözlem	2,800	240	720	780	1,060
Ülke	140	12	36	39	53
Within R ²	0.819	0.878	0.917	0.640	0.883
F testi	42015.48***	408.37***	1142.24***	10589.27***	1158.55***
Maks. gecikme	2	2	2	2	2
Ülke FE	Var	Var	Var	Var	Var
Yıl FE	Var	Var	Var	Var	Var

Not: Parantez içindeki değerler Driscoll–Kraay standart hatalarını göstermektedir. ***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerini ifade etmektedir.

Tanısal bulgular dikkate alınarak model Driscoll–Kraay standart hatalarıyla yeniden tahmin edilmiş ve sonuçlar Tablo 6’da verilmiştir. Nihai değerlendirme, değişen varyans, otokorelasyon ve bazı örneklemelerde yatay kesit bağımlılığı tespit edilmesi nedeniyle bu tabloya dayandırılmıştır. Bulgulara göre merkezlenmiş log kişi başına gelir (c_lgdp) tüm örneklemelerde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Merkezlenmiş log kişi başına gelir karesi (c_lgdp²) ise tüm örneklemde ve yüksek gelir grubunda negatif ve anlamlıdır; düşük gelir grubunda pozitif ve anlamlı, alt-orta ve üst-orta gelir gruplarında ise anlamsızdır. Düşük gelir grubunda yalnızca 12 ülke yer aldığından, bu gruba ilişkin katsayıların diğer gelir gruplarına kıyasla daha ihtiyatlı değerlendirilmesi gerekmektedir.

Enerji değişkenleri açısından yenilenebilir enerji tüketimi (lren) tüm örneklemelerde negatif ve istatistiksel olarak anlamlı katsayıya sahiptir. Fosil yakıt tüketimi (lfossil) ile enerji yoğunluğu (lenergy) ise tüm örneklemelerde pozitif ve anlamlıdır. Kentleşme oranı (lurban) tüm örneklem, düşük gelir ve alt-orta gelir gruplarında pozitif ve anlamlı; üst-orta gelir grubunda negatif ve anlamlı; yüksek gelir grubunda ise istatistiksel olarak anlamsızdır. Hükümet etkinliği (gov_eff) tüm örneklemde ve alt-orta gelir grubunda negatif ve anlamlı, düşük ve üst-orta gelir gruplarında anlamsız, yüksek gelir grubunda ise pozitif ve anlamlıdır.

EKC dönüm noktalarının hesaplanmasında merkezlenmiş gelir değişkeni dikkate alınmıştır. Buna göre merkezlenmiş log gelir düzeyindeki dönüm noktası $c_lgdp^* = -\beta_1/(2\beta_2)$ formülüyle hesaplanmıştır. Elde edilen değere ilgili örneklemin ortalama log kişi başına gelir düzeyi eklenerek $lnGDP^* = c_lgdp^* + ln\bar{GDP}$ elde edilmiş, ardından $GDP^* = \exp(lnGDP^*)$ dönüşümü uygulanarak eşik gelir düzeyi ABD doları cinsinden hesaplanmıştır. Hesaplanan eşik değerlerin iktisadi olarak yorumlanabilirliği, ilgili örneklemde gözlenen gelir aralığı dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Tablo 7: EKC Dönüm Noktası Tahminleri

Gösterge	Tüm	Düşük	Alt-Orta	Üst-Orta	Yüksek
β_1	0.8971	0.6542	1.0380	0.8747	0.8711
β_2	-0.0195	0.3125	-0.0266	-0.0002	-0.0564
Merkezlenmiş log dönüm noktası	22.978	-1.047	19.479	—	7.724
Log dönüm noktası	31.705	5.420	26.966	—	17.923
Eşik gelir düzeyi	5.88e+13	225.78	5.14e+11	—	60,766,294
Gözlenen gelir aralığı	252.81–112,417.90	252.81–2,356.20	364.86–8,955.54	1,535.21–14,040.62	4,264.27–112,417.90

Not: Kareli gelir katsayısının istatistiksel olarak anlamsız olduğu alt-orta gelir grubunda hesaplanan eşik değer, yalnızca katsayılarından elde edilen matematiksel karşılığı göstermek ve gruplar arası karşılaştırılabilirliği korumak amacıyla raporlanmıştır; ekonomik olarak anlamlı bir dönüm noktası şeklinde yorumlanmamıştır.

Gelir-emisyon ilişkisinin doğrusal olmayan yapısını değerlendirmek amacıyla hesaplanan EKC dönüm noktası tahminleri Tablo 7’de sunulmuştur. Tüm örneklemde ve yüksek gelir grubunda kişi başına gelir katsayısı pozitif, kareli gelir katsayısı negatiftir. Bununla birlikte, her iki örneklem için hesaplanan eşik gelir düzeyleri gözlenen gelir aralıklarının oldukça üzerinde kalmaktadır. Düşük gelir grubunda kareli gelir katsayısı pozitif ve anlamlıdır; hesaplanan değer U-biçimli ilişkinin minimum noktasını göstermekte ve gözlenen gelir aralığının altında yer almaktadır. Alt-orta gelir grubunda kareli gelir katsayısı negatif olmakla birlikte istatistiksel olarak anlamsızdır. Bu nedenle tabloda karşılaştırma amacıyla gösterilen matematiksel eşik değer, ekonomik olarak geçerli bir dönüm noktası şeklinde değerlendirilmemiştir. Üst-orta gelir grubunda ise kareli gelir katsayısı sıfıra oldukça yakın ve istatistiksel olarak anlamsız olduğundan dönüm noktası hesaplanmamıştır.

Tartışma

Gelir ve kareli gelir katsayıları birlikte değerlendirildiğinde, bulgular klasik EKC hipotezine yalnızca sınırlı destek sunmaktadır. Tüm örneklem ve yüksek gelir grubunda katsayı işaretleri ters-U biçimli yapıyla uyumlu olsa da eşik gelir düzeylerinin gözlenen gelir aralıklarının dışında kalması, örneklem içinde tamamlanmış bir çevresel dönüşümün gerçekleşmediğini göstermektedir. Bu sonuç, CO₂ emisyonlarının gelir artışıyla otomatik olarak azalacağı varsayımına ihtiyatla yaklaşan Perman ve Stern (2003), Stern (2004) ile Richmond ve Kaufmann’ın (2006) değerlendirmeleriyle örtüşmektedir. Gelir-emisyon ilişkisinin gelir grupları arasında farklılaşması ise Almeida vd. (2024) ve Wang vd. (2024) tarafından vurgulanan ülke grubu heterojenliğiyle uyumludur.

Enerji değişkenlerine ilişkin bulgular, gelir katsayılarına kıyasla daha tutarlı bir görünüm sergilemektedir. Yenilenebilir enerji tüketiminin bütün gelir gruplarında emisyonlarla negatif ilişkili olması, buna karşılık fosil yakıt tüketimi ile enerji yoğunluğunun pozitif sonuç vermesi, enerji bileşiminin ve enerji kullanım etkinliğinin CO₂ emisyonları açısından temel belirleyiciler olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar, yenilenebilir enerjinin emisyon azaltıcı ve fosil yakıt kullanımının emisyon artırıcı rolünü ortaya koyan Acaroğlu vd. (2023) ile Zaland ve Imamoglu’nun (2024) bulgularını desteklemektedir. Dolayısıyla çevresel iyileşmenin yalnızca gelir artışından beklenmesi yerine, enerji dönüşümünü ve enerji verimliliğini doğrudan hedefleyen politikaların önceliklendirilmesi gerekmektedir.

Kentleşme katsayısının gelir gruplarına göre farklılaşması, kentleşmenin çevresel etkisinin kalkınma aşamasına bağlı olabileceğine işaret etmektedir. Düşük ve alt-orta gelir gruplarındaki pozitif ilişki, hızlı kentsel genişleme, altyapı ihtiyacı ve artan enerji talebiyle birlikte değerlendirilebilirken; üst-orta gelir grubundaki negatif ilişki, daha yoğun altyapı kullanımı, teknolojik gelişme ve enerji verimliliği kazanımlarıyla ilişkili olabilir. Bununla birlikte çalışma bu kanalları doğrudan test etmediğinden, kentleşme sonuçları nedensel bir mekanizma olarak değil, gelir gruplarına göre değişen koşullu ilişkiler olarak yorumlanmalıdır.

Hükümet etkinliği katsayısının tüm örneklemde ve alt-orta gelir grubunda negatif, yüksek gelir grubunda ise pozitif bulunması kurumsal kapasitenin çevresel sonuçlarının tek yönlü olmadığını göstermektedir. Yüksek gelir grubundaki pozitif katsayı, hükümet etkinliğinin doğrudan emisyon artırdığı biçiminde yorumlanmamalıdır. Hükümet etkinliği çevre politikalarına özgü olmayan geniş kapsamlı bir kurumsal göstergedir ve yüksek kurumsal kapasite; yüksek üretim ölçeği, tüketim düzeyi, ulaşım talebi ve enerji kullanımıyla eş zamanlı olarak gözlenebilir. Bu nedenle söz konusu katsayı, ülke ve yıl sabit etkileri ile diğer kontrol değişkenleri altında ortaya çıkan koşullu bir ilişkiyi yansıtmaktadır.

Kurumsal etkilerin ülke gruplarına ve enerji yapısına göre farklılaşabileceğini belirten Mahmoodi ve Dahmardeh (2022), Saboori vd. (2024) ve Wang vd. (2024) ile uyumlu olarak, bulgular kurumsal kapasitenin çevresel performansa dönüşebilmesi için çevre politikalarının niteliği ve uygulanma önceliğinin ayrıca dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Temel ve genişletilmiş EKC modellerinin karşılaştırılması, dönüm noktası tahminlerinin model spesifikasyonuna duyarlı olduğunu göstermektedir. Özellikle tüm örneklem ve yüksek gelir grubunda temel modelden elde edilen eşikler gözlenen gelir aralığında yer alırken, genişletilmiş modelde bu eşikler örneklem aralığının dışına çıkmaktadır. Bu sonuç, enerji yapısı, enerji yoğunluğu, kentleşme ve kurumsal kapasite gibi değişkenlerin dikkate alınmasının gelir-emisyon ilişkisinin biçimini ve hesaplanan eşik düzeylerini önemli ölçüde değiştirebildiğine işaret etmektedir. Dolayısıyla EKC bulguları güçlü ve değişmez bir yapısal eşikten ziyade model spesifikasyonuna duyarlı kanıtlar olarak değerlendirilmelidir.

Sonuç

Bu çalışmada, 2002–2021 döneminde 140 ülkeye ait panel veri seti kullanılarak kişi başına CO₂ emisyonlarının belirleyicileri gelir grupları itibarıyla incelenmiştir. Çalışma, klasik EKC hipotezini doğrudan doğrulamaktan ziyade, gelir-emisyon ilişkisinin enerji yapısı, enerji yoğunluğu, yenilenebilir enerji kullanımı, kentleşme ve hükümet etkinliği dikkate alındığında gelir gruplarına göre nasıl farklılaştığını ortaya koymayı amaçlamıştır. Bu kapsamda tüm örneklem ile düşük gelirli, alt-orta gelirli, üst-orta gelirli ve yüksek gelirli ülke grupları ayrı ayrı analiz edilmiştir.

Ampirik bulgular, kişi başına gelirin tüm örneklemelerde CO₂ emisyonlarıyla pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki sergilediğini göstermektedir. Kareli gelir değişkeni ise yalnızca tüm örneklemde ve yüksek gelir grubunda negatif ve anlamlı bulunmuştur. Ancak hesaplanan dönüm noktalarının gözlenen gelir aralıklarının dışında kalması, örneklem içinde tamamlanmış güçlü bir EKC dönüşünün varlığına işaret etmemektedir. Bu nedenle bulgular, klasik EKC hipotezinin güçlü biçimde desteklendiğinden çok, gelir ile emisyonlar arasındaki pozitif ilişkinin bazı örneklemelerde zayıfladığı şeklinde yorumlanmalıdır.

Enerji değişkenlerine ilişkin sonuçlar daha belirgin ve tutarlıdır. Yenilenebilir enerji tüketimi tüm örneklemelerde CO₂ emisyonlarıyla negatif ilişkili bulunurken, fosil yakıt tüketimi ve enerji yoğunluğu tüm gelir gruplarında emisyonlarla pozitif ilişkili bulunmuştur. Bu sonuçlar, emisyon azaltımında yalnızca gelir artışına bağlı çevresel iyileşme beklentisinin yeterli olmayabileceğine; enerji bileşimi ve enerji kullanım etkinliğinin de dikkate alınması gerektiğine işaret etmektedir. Gelir grupları itibarıyla değerlendirildiğinde, düşük ve orta gelirli ülkelerde yenilenebilir enerji yatırımlarının desteklenmesi, enerji verimliliğini artıracak teknolojik kapasitenin geliştirilmesi ve fosil yakıt bağımlılığının azaltılması önemli politika alanları olarak değerlendirilebilir. Yüksek gelirli ülkelerde ise mevcut kurumsal kapasitenin çevresel performansa daha etkili biçimde yansıtılması, tüketim ve üretim kaynaklı emisyonların azaltılması ve enerji talebinin daha düşük karbonlu kaynaklara yönlendirilmesi önem taşımaktadır. Hükümet etkinliği değişkeninin gelir gruplarına göre farklı katsayılar vermesi, kurumsal kapasite ile çevresel sonuçlar arasındaki ilişkinin ekonomik yapıya göre değişebileceğine işaret etmektedir.

Çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle düşük gelir grubunda ülke sayısının sınırlı olması, bu gruba ilişkin bulguların ihtiyatlı yorumlanmasını gerektirmektedir. Ayrıca çalışma statik panel veri yaklaşımına dayandığı için uzun dönemli eşbütünleşme ilişkisi veya dinamik uyum süreci doğrudan analiz edilmemiştir. Bu nedenle bulgular, değişkenler arasındaki uzun dönemli denge ilişkilerinden ziyade, ülke ve yıl sabit etkileri kontrol edildikten sonra ortaya çıkan koşullu ilişki tahminleri olarak değerlendirilmelidir. Ayrıca, gözlemsel panel veri yapısı ters nedensellik, eşanlılık ve atlanmış değişkenlerden kaynaklanabilecek içsellik sorunlarını bütünüyle ortadan kaldırmadığından, elde edilen katsayılar nedensel etkiler olarak değil, koşullu ilişkiler olarak yorumlanmalıdır. Gelecek çalışmalarda daha uzun dönemli veri setleriyle dinamik panel modelleri, panel eşbütünleşme yaklaşımları veya ülke gruplarına özgü kurumsal ve enerji politikası göstergeleri kullanılarak daha ayrıntılı analizler yapılabilir. Buna rağmen mevcut bulgular, CO₂ emisyonlarının azaltılmasında yalnızca gelir artışına bağlı çevresel iyileşme beklentisinin yeterli olmadığını; enerji dönüşümü, enerji verimliliği ve kurumsal kapasitenin gelir gruplarına duyarlı biçimde ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Hakem Değerlendirmesi / Peer-review:

Dış bağımsız

Externally peer-reviewed

Çıkar Çatışması / Conflict of interests:

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir.

The authors have no conflict of interest to declare.

Finansal Destek / Grant Support:

Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadıklarını beyan etmişlerdir.

The authors declared that this study has received no financial support.

Etik Beyan / Ethical Statement:

Bu çalışmada halka açık, ülke düzeyinde ikincil ve toplulaştırılmış veriler kullanıldığından etik kurul izni gerekmemektedir.

As this study uses publicly available, country-level secondary and aggregated data, ethics committee approval is not required.

Veri Erişim Beyanı / Data Availability Statement:

Bu çalışmada kullanılan veriler, Dünya Bankası Dünya Kalkınma Göstergeleri (WDI) ve Dünya Yönetişim Göstergeleri (WGI) veri tabanlarından kamuya açık olarak temin edilmiştir.

The data used in this study are publicly available from the World Bank's World Development Indicators (WDI) and Worldwide Governance Indicators (WGI) databases.

Yapay Zekâ Kullanım Beyanı / Artificial Intelligence Use Statement:

Bu çalışmanın hazırlanması sürecinde yapay zekâ destekli araçlardan yalnızca dil, anlatım ve biçimsel düzenlemelere yönelik destek amacıyla yararlanılmıştır. Araştırma tasarımı, veri analizi, bulguların yorumlanması ve nihai akademik içerik tamamen yazarların sorumluluğundadır.

Artificial intelligence-assisted tools were used solely to support language, expression, and formatting during the preparation of this manuscript. The research design, data analysis, interpretation of the findings, and final academic content remain entirely the responsibility of the authors.

Yazar Katkıları / Author Contributions:

Fikir/Kavram/Tasarım - *Idea/Concept/ Design*: Ö.Ç., T.T., S.B.Y., Veri Toplama ve/veya İşleme - *Data Collection and/or Processing*: Ö.Ç., T.T., Analiz ve/veya Yorum - *Analysis and/or Interpretation*: T.T., Kaynak Taraması - *Literature Review*: Ö.Ç., T.T., S.B.Y., Makalenin Yazımı - *Writing the Article*: S.B.Y., Eleştirel İnceleme - *Critical Review*: Ö.Ç., T.T., S.B.Y., Onay - *Approval*: Ö.Ç., T.T., S.B.Y.

Kaynakça / References

Acaroğlu, H., Kartal, H. M., & García Márquez, F. P. (2023). Testing the environmental Kuznets curve hypothesis in terms of ecological footprint and CO₂ emissions through energy diversification for Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 63289–63304. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26278-w>

Almeida, D., Carvalho, L., Ferreira, P., Dionísio, A., & Ul Haq, I. (2024). Global dynamics of environmental Kuznets curve: A cross-correlation analysis of income and CO₂ emissions. *Sustainability*, 16(20), 9089. <https://doi.org/10.3390/su16209089>

Baltagi, B. H. (2021). *Econometric analysis of panel data* (6th ed.). Springer.

- Das Gupta, S., Baudino, M., & Sarkar, S. (2025). Does the environmental Kuznets curve hold across sectors? Evidence from developing and emerging economies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 211, 115201. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.115201>
- 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>
- Driscoll, J. C., & Kraay, A. C. (1998). Consistent covariance matrix estimation with spatially dependent panel data. *The Review of Economics and Statistics*, 80(4), 549–560. <https://doi.org/10.1162/003465398557825>
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353–377. <https://doi.org/10.2307/2118443>
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Basic econometrics* (5th ed.). McGraw-Hill Irwin.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2010). *Multivariate data analysis* (7th ed.). Pearson.
- Hausman, J. A. (1978). Specification tests in econometrics. *Econometrica*, 46(6), 1251–1271. <https://doi.org/10.2307/1913827>
- Hoechle, D. (2007). Robust standard errors for panel regressions with cross-sectional dependence. *The Stata Journal*, 7(3), 281–312. <https://doi.org/10.1177/1536867X0700700301>
- Hu, Y., Guan, K., & Wang, S. (2026). Challenging the environmental Kuznets curve in China: Evidence from a dynamic panel threshold model with cross-sectional dependence. *Journal of Environmental Management*, 398, 128432. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.128432>
- Kaufmann, D., Kraay, A., & Mastruzzi, M. (2010). *The worldwide governance indicators: Methodology and analytical issues* (Policy Research Working Paper No. 5430). World Bank. <http://documents.worldbank.org/curated/en/630421468336563314>
- Mahmoodi, M., & Dahmardeh, N. (2022). Environmental Kuznets curve hypothesis with considering ecological footprint and governance quality: Evidence from emerging countries. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 849676. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.849676>
- Perman, R., & Stern, D. I. (2003). Evidence from panel unit root and cointegration tests that the environmental Kuznets curve does not exist. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 47(3), 325–347. <https://doi.org/10.1111/1467-8489.00216>
- Pesaran, M. H. (2004). *General diagnostic tests for cross section dependence in panels* (CESifo Working Paper No. 1229; IZA Discussion Paper No. 1240).
- Richmond, A. K., & Kaufmann, R. K. (2006). Is there a turning point in the relationship between income and energy use and/or carbon emissions? *Ecological Economics*, 56(2), 176–189. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.01.011>
- Saboori, B., Mahdavian, S. M., & Radmehr, R. (2024). Assessing the environmental impact of institutional quality at aggregate and disaggregate levels: The role of renewable and non-renewable energy consumption and trade in MENA countries. *Sustainable Environment*, 10(1), 2426833. <https://doi.org/10.1080/27658511.2024.2426833>
- Selden, T. M., & Song, D. (1994). Environmental quality and development: Is there a Kuznets curve for air pollution emissions? *Journal of Environmental Economics and Management*, 27(2), 147–162. <https://doi.org/10.1006/jeem.1994.1031>
- 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>
- Wang, Q., Li, Y., & Li, R. (2024). Rethinking the environmental Kuznets curve hypothesis across 214 countries: The impacts of 12 economic, institutional, technological, resource, and social factors. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11, 292. <https://doi.org/10.1057/s41599-024-02736-9>
- Wooldridge, J. M. (2010). *Econometric analysis of cross section and panel data* (2nd ed.). MIT Press.
- World Bank. (2024a). *World development indicators*. World Bank. Erişim tarihi: 10 Ocak 2026. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>
- World Bank. (2024b). *Worldwide governance indicators*. World Bank. Erişim tarihi: 10 Ocak 2026. <https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=worldwide-governance-indicators>

Zaland, Z., & Imamoglu, H. (2024). Revisiting the environmental Kuznets curve hypothesis in the context of renewable and non-renewable energy in China. *Business & Management Studies: An International Journal*, 12(2), 240–252. <https://doi.org/10.15295/bmij.v12i2.2348>

Appendix (Ekler)

Eklerde sunulan temel EKC modeli, genişletilmiş model sonuçlarının model spesifikasyonuna duyarlılığını değerlendirmek amacıyla karşılaştırmalı bir referans olarak raporlanmıştır. Temel model ile genişletilmiş model karşılaştırıldığında, özellikle tüm örneklem ve yüksek gelir grubunda hesaplanan dönüm noktalarının kontrol değişkenlerinin modele dâhil edilmesiyle önemli ölçüde değiştiği görülmektedir. Temel modelde söz konusu eşik değerler gözlenen gelir aralığında yer alırken, enerji yapısı, enerji yoğunluğu, kentleşme ve hükümet etkinliğinin dikkate alındığı genişletilmiş modelde eşikler gözlenen gelir aralığının dışına çıkmaktadır. Bu farklılık, EKC dönüm noktalarının model spesifikasyonuna duyarlı olduğuna ve elde edilen eşiklerin evrensel ya da değişmez bir gelir düzeyi olarak yorumlanmaması gerektiğine işaret etmektedir. Bu nedenle çalışmanın temel değerlendirmesi, daha kapsamlı kontrol setini içeren genişletilmiş model sonuçlarına dayandırılmıştır.

Appendix 1: (Ek 1:) Temel EKC Modeli Tahmin Sonuçları

Örneklem	Model	N	Ülke	β_1	β_2	R ²	Hausman
Tüm örneklem	FE	2,800	140	0.592*** (0.027)	-0.176*** (0.008)	0.4315	54.54***
Düşük gelir	FE	240	12	0.528*** (0.084)	0.746*** (0.084)	0.6587	4.73*
Alt-orta gelir	RE	720	36	1.052*** (0.063)	-0.156*** (0.037)	0.5583	1.02
Üst-orta gelir	RE	780	39	0.608*** (0.034)	0.003 (0.027)	0.4264	2.40
Yüksek gelir	RE	1,060	53	0.258*** (0.035)	-0.169*** (0.018)	0.4530	1.87

Appendix 2: (Ek 2:) Temel EKC Modeli Dönüm Noktası Tahminleri

Örneklem	EKC deseni	Merkezlenmiş log dönüm noktası	Log dönüm noktası	Eşik düzeyi	Gelir aralığı	Örneklem içinde mi?
Tüm örneklem	Ters-U	1.678	10.405	33,028.03	252.81–112,417.88	Evet
Düşük gelir	U-biçimli	-0.354	6.112	451.32	252.81–2,356.20	Evet
Alt-orta gelir	Ters-U; eşik dışı	3.370	10.857	51,889.04	364.86–8,955.54	Hayır
Üst-orta gelir	Doğrusal pozitif	-115.761	-107.192	2.80e-47	1,535.20–14,040.62	Hayır
Yüksek gelir	Ters-U	0.761	10.960	57,501.83	4,264.27–112,417.88	Evet

Appendix 3: (Ek 3:) Örneklemde Yer Alan Ülkelerin Gelir Gruplarına Göre Sınıflandırılması

Düşük gelir	Alt-orta gelir	Üst-orta gelir	Yüksek gelir
Burkina Faso	Angola	Arnavutluk	Avustralya
Çad	Bangladeş	Cezayir	Avusturya
Kongo Cumhuriyeti	Demokratik Benin	Arjantin	Bahreyn
Etiyopya	Bolivya	Ermenistan	Belçika
Madagaskar	Kamboçya	Azerbaycan	Brunei Darüsselam
Mozambik	Kamerun	Belarus	Bulgaristan
Nijer	Kongo Cumhuriyeti	Bosna-Hersek	Kanada
Ruanda	Fildişi Sahili	Botsvana	Şili

Düşük gelir	Alt-orta gelir	Üst-orta gelir	Yüksek gelir
Sudan	Mısır	Brezilya	Kosta Rika
Togo	Esvatini	Çin	Hırvatistan
Uganda	Gana	Kolombiya	Kıbrıs
Yemen	Haiti	Küba	Çekya
	Honduras	Dominik Cumhuriyeti	Danimarka
	Hindistan	Ekvador	Estonya
	Ürdün	El Salvador	Finlandiya
	Kenya	Ekvator Ginesi	Fransa
	Kırgız Cumhuriyeti	Gabon	Almanya
	Lao Demokratik Halk Cumhuriyeti	Gürcistan	Yunanistan
	Lübnan	Guatemala	Hong Kong ÖİB, Çin
	Fas	Endonezya	Macaristan
	Myanmar	İran	İzlanda
	Namibya	Irak	İrlanda
	Nepal	Jamaika	İsrail
	Nikaragua	Kazakistan	İtalya
	Nijerya	Libya	Japonya
	Pakistan	Malezya	Kore Cumhuriyeti
	Filipinler	Mauritius	Kuveyt
	Senegal	Meksika	Letonya
	Sri Lanka	Moldova	Litvanya
	Tacikistan	Moğolistan	Lüksemburg
	Tanzanya	Kuzey Makedonya	Malta
	Tunus	Paraguay	Hollanda
	Özbekistan	Peru	Yeni Zelanda
	Vietnam	Güney Afrika	Norveç
	Zambiya	Surinam	Umman
	Zimbabve	Tayland	Panama
		Türkiye	Polonya
		Türkmenistan	Portekiz
		Ukrayna	Katar
			Romanya
			Rusya Federasyonu
			Suudi Arabistan
			Singapur
			Slovak Cumhuriyeti
			Slovenya
			İspanya
			İsveç
			İsviçre
			Trinidad ve Tobago
			Birleşik Arap Emirlikleri
			Birleşik Krallık
			Amerika Birleşik Devletleri
			Uruguay