

**Araştırma Makalesi**

**Yeşil Dönüşüm Bağlamında Türkiye’de Ekonomik Büyüme, Enerji ve Karbon Emisyonları İlişkisi: Çevresel Kuznets Eğrisi Yaklaşımı**

*The Relationship Between Economic Growth, Energy, and Carbon Emissions in Türkiye within the Context of Green Transformation: An Environmental Kuznets Curve Approach*

**Sercan DERELİ**

Dr. Öğr. Üyesi, Hacı Bayram Veli Üniversitesi

İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi

[sercan.dereli@hbv.edu.tr](mailto:sercan.dereli@hbv.edu.tr)

<https://orcid.org/0000-0002-4083-8559>

| Makale Geliş Tarihi | Makale Kabul Tarihi |
|---------------------|---------------------|
| 16.11.2025          | 24.01.2026          |

**Öz**

*Bu çalışma, Türkiye’de 1990-2023 döneminde ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve sanayi sektörünün karbondioksit emisyonları üzerindeki etkilerini inceleyerek Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) hipotezinin geçerliliğini değerlendirmektedir. Araştırmanın temel sorusu, gelir artışının çevresel bozulma üzerinde doğrusal olmayan bir ilişki oluşturup oluşturmadığı ve enerji-sanayi yapısının bu ilişkiyi nasıl şekillendirdiğidir. Bu kapsamda Dünya Bankası WDI veri setinden elde edilen yıllık seriler kullanılmış; kişi başına CO<sub>2</sub> emisyonu bağımlı değişken, kişi başına reel GSYH, GSYH’nin karesi, enerji tüketimi ve sanayi payı ise bağımsız değişkenler olarak modele dâhil edilmiştir. Kısa ve uzun dönem ilişkiler Gecikmesi Dağıtılmış Otokoregresif (ARDL) sınır testi yaklaşımıyla analiz edilmiştir. Bulgular, değişkenler arasında uzun dönemli eş bütünleşme bulunduğunu ve EKC hipotezinin Türkiye için geçerli olduğunu göstermektedir. Gelir artışı emisyonları artırırken, gelirin karesi negatif ve anlamlı bulunarak ters-U biçimli ilişkiyi doğrulamaktadır. Enerji tüketimi CO<sub>2</sub> emisyonlarını pozitif ve güçlü biçimde etkilemekte, sanayi payının etkisi ise anlamlı değildir. Hata düzeltme katsayısı, sistemin uzun dönem dengesine hızlı bir uyum gösterdiğini ortaya koymaktadır. Sonuçlar, çevresel sürdürülebilirliğin yenilenebilir enerjiye yönelim, enerji verimliliği ve yeşil sanayi politikalarıyla desteklenmesi gerektiğini göstermekte; Türkiye’nin 2053 net sıfır emisyon hedefiyle uyumlu bir dönüşüm ihtiyacına işaret etmektedir.*

**Anahtar Kelimeler:** Çevresel Kuznets Eğrisi, Enerji Tüketimi, Karbon Emisyonları

**Abstract**

*This study evaluates the validity of the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis by examining the effects of economic growth, energy consumption, and the industrial sector on carbon dioxide emissions in Türkiye for the period 1990-2023. The main research question is whether income growth creates a non-linear relationship with environmental degradation and how the energy-industry structure shapes this relationship. In this context, annual series obtained from the World Bank WDI dataset were used; per capita CO<sub>2</sub> emissions were included as the dependent variable, while per capita real GDP, the square of GDP, energy consumption, and the share of industry were incorporated into the model as independent variables. Short- and long-run relationships were analyzed through the Autoregressive Distributed Lag (ARDL) bounds testing approach. The findings indicate the presence*

**Önerilen Atıf /Suggested Citation**

Dereli, S., 2026. Yeşil Dönüşüm Bağlamında Türkiye’de Ekonomik Büyüme, Enerji ve Karbon Emisyonları İlişkisi: Çevresel Kuznets Eğrisi Yaklaşımı, Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi, 61(1), 261-282.

of a long-run cointegration relationship among the variables and show that the EKC hypothesis is valid for Türkiye. While income growth increases emissions, the square of income is negative and significant, confirming the inverted-U relationship. Energy consumption affects CO<sub>2</sub> emissions positively and strongly, whereas the effect of the industry share is not significant. The error-correction coefficient reveals a rapid adjustment of the system toward long-run equilibrium. The results suggest that environmental sustainability needs to be supported by a transition to renewable energy, energy efficiency measures, and green industrial policies, pointing to a transformation requirement aligned with Türkiye's 2053 net-zero emission target.

**Keywords:** Environmental Kuznets Curve, Energy Consumption, Carbon Emissions

“...bir çukurun içine gömülmüş olan bu maden ocağı, tuğladan alçak yapıları ve ürkütücü bir boynuz şeklinde yükselen bacasıyla, dünyayı yalayıp yutmak üzere oraya çöreklenmiş, doymak bilmez bir canavarı andırıyordu... (Zola, 2011: 14).”

## 1. Giriş

Sanayi Devrimi'nden bu yana ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve çevresel tahribat arasındaki ilişki, kalkınma iktisadının en tartışmalı alanlarından biri olmuştur. Fosil yakıtlara dayalı sanayileşme modeli üretim kapasitesini artırırken, doğa üzerindeki baskıyı da derinleştirmiş; ekonomik ilerlemenin ekolojik maliyetlerini görünür kılmıştır. Özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren çevresel bozulma ile ekonomik büyüme arasındaki gerilim, sürdürülebilir kalkınma politikalarının ve çevre ekonomisi literatürünün merkezine yerleşmiştir. Bu tartışmalar içinde öne çıkan Çevresel Kuznets Eğrisi (Environmental Kuznets Curve-EKC) hipotezi, kişi başına gelir ile çevresel bozulma göstergeleri arasında ters U biçimli bir ilişki bulunduğunu ileri sürmektedir. Buna göre kalkınmanın erken aşamalarında sanayileşme ve artan enerji talebi emisyonları yükseltirken, belirli bir gelir düzeyinin ardından teknoloji, çevre bilinci ve düzenleyici politikalar yoluyla çevresel iyileşme mümkün olabilmektedir. Ancak sonraki ampirik araştırmalar, bu ilişkinin evrensel olmadığını ve çevresel iyileşmenin gelir artışından ziyade bilinçli çevre politikaları, enerji dönüşümü ve teknolojik yeniliklerle sağlanabildiğini ortaya koymuştur.

Bu çerçevede son yıllarda giderek önem kazanan yeşil dönüşüm kavramı, ekonomik büyüme ile çevresel sürdürülebilirlik arasındaki ilişkiye yeni bir boyut kazandırmıştır. Yeşil dönüşüm; üretim ve tüketim biçimlerinin, enerji sistemlerinin ve sanayi yapısının ekolojik sınırlar içinde yeniden düzenlenmesini ifade etmektedir. Küresel ölçekte hız kazanan bu dönüşüm süreci, Türkiye ekonomisi açısından da stratejik bir önem taşımaktadır. Nitekim Türkiye, 2009 yılında Kyoto Protokolü'ne taraf olmuş, 2021'de Paris Anlaşması'nı onaylamış ve 2053 yılı için “net sıfır emisyon” hedefini benimseyerek sürdürülebilir kalkınma stratejisini düşük karbonlu büyüme ekseninde yeniden tanımlamıştır.

Bu çalışma, Türkiye'de 1990-2023 döneminde ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve sanayi payının karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonları üzerindeki etkilerini Çevresel Kuznets Eğrisi yaklaşımı çerçevesinde incelemektedir. Çalışmanın özgün katkısı, Türkiye'nin yeşil dönüşüm süreciyle bağlantılı olarak büyüme-enerji-çevre etkileşimini hem kavramsal hem de ampirik düzlemde ele almasıdır. Bu doğrultuda çalışmanın ikinci bölümünde yeşil dönüşümün kavramsal ve kurumsal boyutları küresel çerçevede tartışılmakta; üçüncü bölümde Türkiye'nin yeşil dönüşüm süreci ve karbon salınım dinamikleri değerlendirilmektedir. Dördüncü bölümde enerji-büyüme-çevre literatürü ile EKC hipotezine ilişkin ampirik çalışmalar incelenmektedir. Beşinci bölümde veri seti, model ve ekonometrik yöntem ile testler tanıtılmakta; ampirik bulgular aynı bölüm altında sunulmakta ve yorumlanmaktadır. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar politika çıkarımlarıyla birlikte tartışılmaktadır.

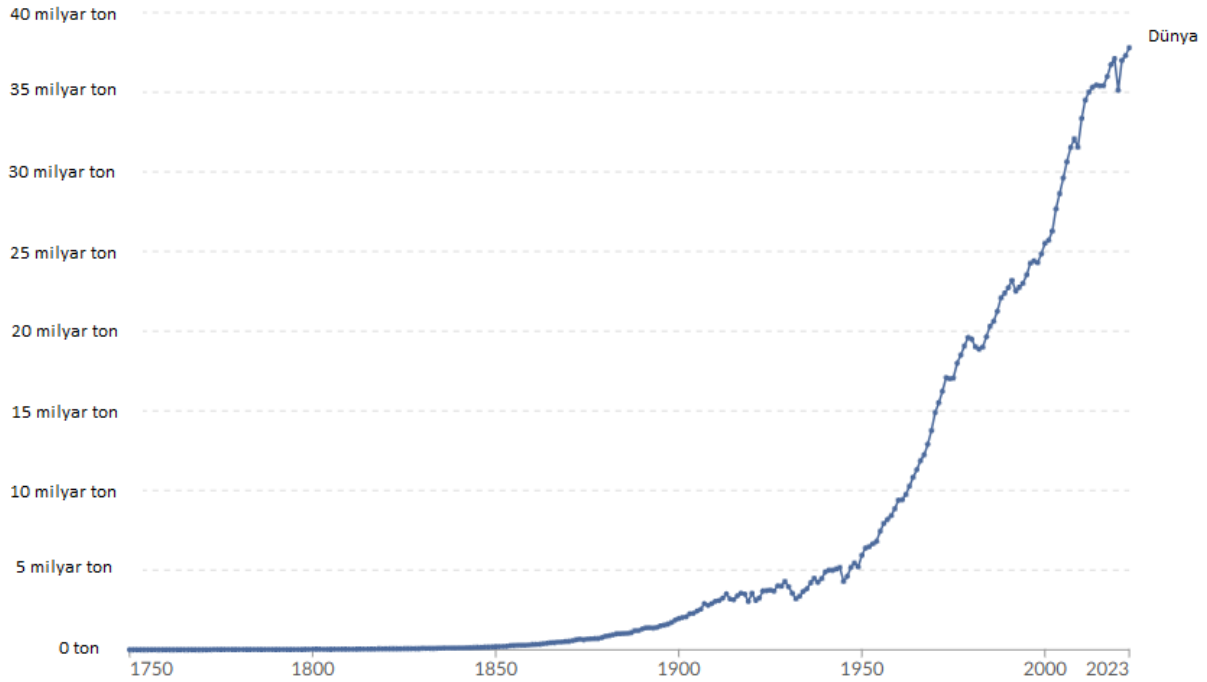
## 2. Küresel Çerçeve: Yeşil Dönüşümün Kavramsal ve Kurumsal Boyutları

Hobsbawm (2003a: 21), Sanayi Devrimi'ni “Yeni Taş Çağı'nda tarımın, metalurjinin ve kentlerin ortaya çıkışından bu yana insanlık tarihinde hiçbir dönüşüm, sanayileşmenin ortaya çıkışı kadar derin bir etki yaratmamıştır” ifadesiyle modern çağın en köklü kırılma noktalarından biri olarak tanımlamaktadır. Bu kırılma, yalnızca üretim tekniklerindeki değişimi değil, aynı zamanda insanın doğayla kurduğu güç ilişkisinin yeniden kuruluşunu da ifade etmektedir. Sanayileşmenin itici gücü, insanlığın enerjiyle kurduğu ilişkiyi kökten dönüştüren fosil yakıtlar olmuştur. Organik ekonominin görece sınırlı enerji döngüsünden kopuşla birlikte üretim, daha yoğun enerji kaynaklarına dayanarak ölçek büyütmüş; özellikle kömür, buhar gücü ve fabrika sistemi etrafında modern endüstriyel toplumun maddi temelini

oluşturmuştur (Wrigley, 2010: 21, 243-244; McNeill, 2002: 650). İngiltere örneğinde coğrafi olarak erişilebilir ve geniş kömür yatakları, sanayileşmenin sürekliliğini destekleyen stratejik bir üstünlük yaratmış; böylece enerji arzı ile ekonomik büyüme arasındaki potansiyel açığın kapatılması üretimin genişlemesini mümkün kılmıştır (Pomeranz, 2000: 66). Ancak bu genişleme aynı zamanda, enerji ve sermaye birikimi arasındaki bağın çevresel maliyetlerle birlikte kalıcılılaşmasına yol açmıştır. Nitekim sanayileşme, bir yandan üretkenliği artırırken diğer yandan karbon yoğun üretim düzeniyle ekolojik riskleri üretmiş; bu durum Beck'in (1992) "*risk toplumu*" kavramsallaştırmasıyla ifade ettiği üzere modernleşmenin refah üretirken aynı zamanda kendi varlığını tehdit eden riskleri de üreten yapısal niteliğini görünür kılmıştır (Hobsbawm, 2003b: 207).

Fosil yakıtlara dayalı sanayileşmenin üretimi ölçek büyütürken hızlandırması, enerji arzı ile ekonomik büyüme arasındaki bağı kömür ve buhar gücü etrafında kurumsallaştırması ve bu genişlemeyi karbon yoğun bir üretim rejimi üzerinden kalıcı çevresel maliyetlerle birlikte üretmesi şeklinde özetlenebilecek bu tarihsel arka plan, günümüzde büyüme-enerji-emisyon bağlantısının neden "kendiliğinden" çözülmediğini açıklayan temel zemini sunmaktadır. Bu çerçevede aşağıdaki Grafik 1, fosil yakıt kullanımı ve sanayi faaliyetlerinden kaynaklanan küresel karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonlarının Sanayi Devrimi'nden itibaren izlediği eğilimi göstermekte; özellikle 1950 sonrası dönemde emisyonların hızlanarak yükseldiğine işaret etmektedir. Bu görünüm, ekonomik büyümenin enerji talebiyle olan güçlü bağının ve fosil yakıt dayalı enerji rejiminin hâlen belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla tartışma, emisyon artışının "doğal" bir yan ürün olup olmadığı sorusundan çok, bu rejimin hangi politika ve kurumlarla dönüştürülebileceği sorusuna kaymaktadır.

**Grafik 1. Fosil Yakıtlar ve Sanayi Kaynaklı Karbondioksit Emisyonları**



**Kaynak:** Global Carbon Budget, 2024

Grafik 1'in ortaya koyduğu eğilim, büyüme-enerji-emisyon ilişkisinin kendiliğinden zayıflamadığını; dolayısıyla çözümün yalnızca piyasa dinamiklerine bırakılmayıp, enerji dönüşümünü hızlandıran politika ve kurumsal düzenlemelerle desteklenmesi gerektiğini göstermektedir. Bu çerçevede yeşil dönüşüm kavramı, büyüme ile çevresel sürdürülebilirlik arasındaki gerilimi yönetmeye yönelik yeni bir politika eksenini olarak öne çıkmaktadır. Başka bir ifadeyle yeşil dönüşüm, enerji rejimini ve üretim yapısını dönüştürmeyi hedefleyen; piyasa mekanizmalarını kurumsal düzenlemeler ve kamu politikalarıyla tamamlayan bir dönüşüm çerçevesini ifade etmektedir.

Yeşil dönüşüm, üretim ve tüketim biçimlerinin, enerji sistemlerinin ve sanayi yapısının ekolojik sınırlar içinde yeniden düzenlenmesini ifade etmektedir. Kavramsal kökeni, Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu’nun Ortak Geleceğimiz (Brundtland) Raporu’na uzanmaktadır. Rapor, ekonomik büyümenin çevresel kaynaklar üzerindeki baskısını sistematik biçimde tartışarak kalkınma ile çevre arasında kurulması gereken dengeyi “*sürdürülebilir kalkınma*” ilkesi etrafında tanımlamıştır (WCED, 1987). Sonraki literatür, yeşil dönüşümün yalnızca teknolojik bir iyileştirme süreci olmadığını; yönetim kapasitesi, politika araçları ve kurumsal düzenlemeler üzerinden işleyen çok boyutlu bir yeniden yapılanma süreci olduğunu vurgulamaktadır (Schmitz, 2015; Scoones vd., 2015; Wu ve ark., 2022; Amundsen ve Hermansen, 2021; Söderholm, 2020). Bu bakımdan yeşil dönüşüm, çevresel iyileşmeyi gelir artışının otomatik bir sonucu olarak gören yaklaşımların ötesine geçerek, dönüşümün somut politika setleriyle mümkün olabileceğini ileri sürmektedir. Karbon fiyatlama, emisyon ticaret sistemleri, yenilenebilir enerji teşvikleri ve yeşil finansman mekanizmaları bu politika setinin öne çıkan araçları arasında yer almaktadır.

Düşük karbonlu ekonomiye geçişin kurumsal çerçevesi ise sürdürülebilir kalkınma düşüncesinin küresel çevre yönetimi içinde giderek daha bağlayıcı hedeflere evrilmesiyle şekillenmiştir. Bu süreç; Rio Zirvesi ile küresel çevre yönetiminin kurumsallaşması, Kyoto Protokolü ile ilk bağlayıcı azaltım hedefleri, Paris Anlaşması ile tüm ülkeleri kapsayan karbon nötr hedefler ve raporlama yükümlülükleri, Avrupa Yeşil Mutabakatı ve Fit for 55 paketiyle bölgesel düzeyde yasal düzenlemeler, Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması ile de ticaret üzerinden karbon kaçakını önlemeye dönük uygulamalarla bütünleşen bir mimari ortaya koymaktadır (UN, 1992a; UN, 1992b; UN, 1992c; UN, 1992d; UN, 1997; UN, 2002; UN, 2012; UN, 2015a; UN, 2015b; EC, 2019; EC, 2021; EC, 2023; NEF, 2009; UNEP, 2011; Lipietz, 2013). Aşağıda, bu kurumsal gelişim çizgisi kronolojik olarak özetlenmiştir.

**Tablo 1. Yeşil Dönüşümün Uluslararası Gelişim Kronolojisi**

| Yıl  | Belge / Zirve                          | İçerik ve Katkı                                                                                                                                                        |
|------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1987 | Brundtland Raporu                      | Sürdürülebilir kalkınma kavramı tanımlandı.                                                                                                                            |
| 1992 | Rio Zirvesi                            | Rio Bildirgesi, Gündem 21, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi ile küresel çevre yönetiminin temelleri atıldı. |
| 1997 | Kyoto Protokolü                        | Sera gazı azaltımı için ilk bağlayıcı uluslararası anlaşma kabul edildi.                                                                                               |
| 2002 | Johannesburg Zirvesi                   | Sürdürülebilir kalkınma için uygulama planı benimsendi.                                                                                                                |
| 2012 | Rio+20 Zirvesi                         | “Yeşil ekonomi” kavramı uluslararası politika gündemine girdi.                                                                                                         |
| 2015 | Paris Anlaşması                        | Küresel ısınmayı 1,5°C ile sınırlama hedefi kabul edildi.                                                                                                              |
| 2015 | BM 2030 Gündemi                        | 17 sürdürülebilir kalkınma hedefi belirlendi.                                                                                                                          |
| 2019 | Avrupa Yeşil Mutabakatı                | AB’nin 2050 karbon nötrlük hedefi açıklandı.                                                                                                                           |
| 2021 | Fit for 55 Paketi                      | 1990 seviyelerine göre 2030’a kadar sera gazı emisyonlarını %55 azaltma planı kabul edildi.                                                                            |
| 2023 | Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması | Karbon kaçakını önlemeye yönelik ticaret düzenlemesi yürürlüğe girdi.                                                                                                  |

**Not:** Tablo tarafımızca hazırlanmıştır.

### 3. Türkiye’nin Yeşil Dönüşüm Süreci ve Karbon Salınım Dinamikleri

Sanayi Devrimi sonrası dönemde ekonomik büyüme odaklı kalkınma anlayışının çevresel maliyetlerinin belirginleşmesi, sürdürülebilirlik kavramını politika gündeminin merkezine taşımıştır. Bu bağlamda yeşil dönüşüm, insanın doğa üzerindeki yıkıcı müdahalelerini en aza indirmeyi hedefleyen yeşil ekonomi temelinde yalnızca teknolojik bir değişimi değil; aynı zamanda üretim, tüketim ve yönetim biçimlerinde kapsamlı bir dönüşümü ifade etmektedir (Amundsen ve Hermansen, 2021; Şahin, 2017: 24). Küresel ölçekte karbon yoğunluğunu azaltma ve düşük karbonlu büyüme hedefleriyle şekillenen bu gündem doğrultusunda, Türkiye de çevre ve kalkınma politikalarını yeniden biçimlendirmiş ve yeşil dönüşüm sürecine dâhil olmuştur.

Küresel düzeyde yeşil politikaların kurumsallaşmasıyla eşzamanlı olarak, Türkiye’nin iklim rejimine entegrasyonu da aşamalı bir biçimde şekillenmiştir. Bu kapsamda, Türkiye’nin uluslararası iklim

rejimine katılımı kademeli biçimde gerçekleşmiştir. Türkiye, 1992 yılında kabul edilen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında başlangıçta hem Ek-I hem de Ek-II listelerinde yer almış ve sanayileşmiş ülkelerle aynı yükümlülüklerle tabi tutulmuştur. Ancak Türkiye, ekonomik ve kurumsal koşullarının diğer gelişmiş ülkelere farklı olduğunu belirterek bu sınıflandırmaya itiraz etmiş ve özel statü talebinde bulunmuştur. Bu talep sonucunda, Avrupa Birliği'ne adaylık süreciyle eşzamanlı biçimde ve 2001 yılında Marakeş'te gerçekleştirilen 7. Taraflar Konferansı'nda alınan 26/CP.7 sayılı karar, Türkiye'nin sözleşmeye taraf olma sürecini kolaylaştıran en önemli gelişme olmuştur (Güler ve Dural, 2007; UNFCCC, 2001).

Bu düzenleme, Türkiye'nin hukuken gelişmiş ülke kategorisinde kalmasını sürdürürken, mali ve teknik yardım sağlama yükümlülüklerinden muaf tutulmasını sağlamıştır. Dolayısıyla Türkiye, gelişmiş ülke statüsünü korurken aynı zamanda gelişmekte olan ülkelerin kapasite geliştirme ve teknoloji transferi mekanizmalarından faydalanabilme yönünde esnek bir konum elde etmiştir. Türkiye'nin bu kendine özgü statüsü, literatürde "gelişmiş ülkeler arasında gelişmekte olan ülke" konumuna işaret etmektedir (Turhan ve ark., 2016). Bu özgün statü, ülkenin iklim politikalarında hem kalkınma önceliklerini hem de çevresel sorumluluklarını dengeleyebilmesine olanak tanıyan kurumsal bir çerçeve oluşturmuştur ve bu kurumsal temel, Türkiye'nin Kyoto ve Paris süreçlerindeki konumlanışını da belirlemiştir.

Nitekim, 2009 yılında Kyoto Protokolü'ne taraf olan Türkiye, geç katılımı nedeniyle sayısal emisyon azaltım yükümlülüğü üstlenmemiş; buna karşılık ulusal sera gazı envanteri ile izleme, raporlama ve doğrulama sistemlerini kurumsallaştırmıştır. Bu süreç, Türkiye'nin Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında sunduğu Ulusal Envanter Raporları aracılığıyla düzenli olarak belgelenmektedir (UNFCCC, 2024). Aynı dönemde, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerjiye yönelik yasal düzenlemeler hız kazanmıştır. Bu alanlardaki politika gelişmeleri Uluslararası Enerji Ajansı tarafından yayımlanan ülke raporları ve güncel ülke profillerinde ayrıntılı biçimde izlenmektedir (IEA, 2021). Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevre üzerindeki olumsuz etkileri azaltarak sürdürülebilir kalkınmayı desteklediği, enerji verimliliği ve yeşil dönüşümün kalkınmanın temel araçları arasında yer aldığı vurgulanmaktadır (Koyuncu ve Karabulut, 2021).

Bunu takiben, 2021 yılında Paris Anlaşması'nın TBMM tarafından onaylanmasıyla birlikte Türkiye, küresel iklim rejiminin yeni dönemine resmen dâhil olmuş; Ulusal Katkı Beyanı kapsamında koşullu emisyon azaltım hedefi belirlemiş ve 2053 yılı için "net sıfır emisyon" vizyonunu açıklamıştır (Republic of Türkiye, Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, 2021). Bu hedef, Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma stratejilerini düşük karbonlu büyüme perspektifiyle uyumlaştırma yönündeki kararlılığını göstermektedir ve iklim eylemi ile kalkınma hedeflerinin bütünleştirilmesine yönelik yeni bir kurumsal yapılanmayı da beraberinde getirmiştir (World Bank, 2024).

Yeşil dönüşüm süreci, yalnızca çevresel politika alanında değil, ekonomik ve sektörel düzeyde de köklü yansımalar yaratmaktadır. Avrupa Birliği'nin 2050 yılına kadar iklim nötrlüğü hedefini yasal olarak bağlayıcı hâle getiren Avrupa İklim Yasası ve Yeşil Mutabakat girişimi kapsamında, enerji, sanayi, ulaştırma ve binalar gibi tüm sektörlerin sera gazı emisyonlarını azaltarak karbon nötr bir ekonomiye geçişi amaçlanmaktadır. Bu çerçevede, ekonomik büyümenin kaynak kullanımından ayrıştırılması, enerji verimliliğinin artırılması ve temiz teknolojilere yönelik yatırımların hızlandırılması temel öncelikler hâline gelmiştir (EC, 2021).

Bu dönüşüm yalnızca Avrupa Birliği ülkeleriyle sınırlı kalmamakta, Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (CBAM) gibi uygulamalar yoluyla ticaret ortaklarını da düşük karbonlu üretim modellerine yönlendirmektedir. Türkiye açısından bu süreç, ihracata dayalı sanayi yapısında yeşil üretim standartlarına geçişi zorunlu kılmıştır. OECD (2023) raporunda da belirtildiği üzere, ülkelerin yeşil dönüşüm sürecini başarıyla gerçekleştirebilmeleri, yalnızca teknolojik yeniliklere değil; aynı zamanda düzenleyici çerçevelerin, finansman mekanizmalarının ve piyasa teşviklerinin bu hedeflerle uyumlaştırılmasına bağlıdır.

Sonuç olarak, Türkiye, küresel yeşil dönüşümün normatif çerçevesine uyum sağlamaya yönelik kurumsal, finansal ve teknolojik bir dönüşüm sürecini benimsemiş; sürdürülebilir kalkınma hedeflerini düşük karbonlu büyüme ekseninde yeniden tanımlamaya başlamıştır. Bu dönüşüm, ilerleyen bölümlerde ayrıntılı biçimde incelenecek ekonomik ve çevresel dinamikler açısından belirleyici bir dönüm noktası oluşturmaktadır.

Türkiye'nin küresel iklim rejimine uyum çabaları, son yıllarda ulusal düzeyde daha belirgin bir kurumsal ve politika çerçevesine kavuşmaktadır. Ticaret Bakanlığı (2021) tarafından yayımlanan Yeşil Mutabakat Eylem Planı, düşük karbonlu üretim, döngüsel ekonomi ve sürdürülebilir finansman başlıklarında politika eksenlerini ortaya koymaktadır. Ayrıca, İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yayımlanan 2024-2030 İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı, emisyon azaltımına yönelik ulusal öncelikleri ve sektörel eylem alanlarını güncelleyerek bütünleşik bir yaklaşım sunmaktadır (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, İklim Değişikliği Bakanlığı, 2024). Karbon fiyatlama boyutunda ise Emisyon Ticaret Sistemi (ETS) altyapısının oluşturulmasına yönelik mevzuat çalışmaları, Türkiye'nin iklim politikasında piyasa temelli araçlara yönelimini güçlendirmektedir (İklim Değişikliği Bakanlığı, 2025). Buna paralel olarak Türkiye'nin UNFCCC'ye sunduğu İkinci Ulusal Katkı Beyanı (NDC), orta vadeli azaltım hedeflerini ve iklim politikası yönelimini uluslararası taahhüt düzleminde güncelleyerek çerçevelemektedir (Republic of Türkiye, 2025; UNFCCC, 2025). Bu kurumsal gelişmeler, çalışmada ekonometrik olarak ortaya konan büyüme-enerji-emisyon ilişkisinin, politika düzeyinde düşük karbonlu kalkınma perspektifiyle birlikte değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır.

#### 4. Literatür Taraması

1950'li yıllardan itibaren enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki sıkı ilişkinin çevre üzerindeki olumsuz etkileri giderek daha fazla sorgulanmaya başlanmıştır. Ekonomik büyüme artık yalnızca üretim kapasitesi ya da gelir artışıyla değil, çevresel sürdürülebilirlikle birlikte değerlendirilmesi gereken çok boyutlu bir süreç olarak görülmektedir. Bu durum, büyüme-çevre etkileşimini açıklamaya yönelik teorik yaklaşımların önemini artırmıştır. Bu bağlamda, enerji, büyüme ve çevre arasındaki ilişkiyi açıklamaya yönelik en yaygın teorik yaklaşımlardan biri EKC hipotezidir.

EKC hipotezi, çevresel bozulma göstergeleri ile kişi başına düşen gelir arasında ters U şeklinde bir ilişki öngörmektedir. Buna göre ekonomik büyümenin erken aşamalarında kirlilik artarken, belirli bir gelir eşiği aşıldıktan sonra çevre kalitesi iyileşme eğilimine girmektedir (Stern, 2017). Bu görüş, yüksek gelir seviyelerinde çevre kalitesine yönelik toplumsal talebin artması ve teknolojik gelişmelerin üretim süreçlerini daha temiz hale getirmesi varsayımına dayanmaktadır. Nitekim Selden ve Song (1994), Grossman ve Krueger (1995) ve Apergis ve Payne (2009) gibi çalışmalar bu hipotezi destekleyen bulgular sunmuştur.

Ancak literatürde bu ilişkinin evrensel geçerliliği konusunda farklı sonuçlar da elde edilmiştir. Harbaugh ve arkadaşları (2002) ile Cole (2003), ters U şeklindeki ilişkinin istatistiksel olarak her ülke ya da dönem için geçerli olmadığını göstermiştir. Dolayısıyla ekonomik büyümenin çevre sorunlarını kendiliğinden çözemeyeceğini; bu sürecin etkili çevre politikaları, enerji dönüşümü ve yapısal reformlarla desteklenmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Dinda (2004) da benzer biçimde, ekonomik faaliyetin fiziksel ve ekolojik temellerini doğru biçimde yansıtan, ekonomi ve çevre arasındaki geri bildirim mekanizmalarını içeren modellerin geliştirilmesi gerektiğini belirtmektedir.

Bu eleştirel hat, EKC'nin biçiminin (ters-U, U, N/ters-N vb.) ülke bağlamına, döneme ve model varsayımlarına duyarlı biçimde değişebildiğini gösteren bulgularla da uyumludur. Nitekim Grönland örneğinde ters-U yerine U-şekilli bir EKC tespit edilmesi (Arnaut ve Lidman, 2021), hipotezin tek bir "evrensel" desen olarak kabul edilmesinin güçlüğüne ortaya koymaktadır. Benzer biçimde Çin'e odaklanan çalışmalar, gelir-emisyon ilişkisinin N ve ters-N biçimlerinde gözlenebildiğini; mekânsal yayılma etkileri ile iller arası ticaret gibi kanalların sonuçları değiştirebildiğini göstermektedir (Kang ve ark., 2016; Wang ve He, 2019). Küresel ölçekte ya da farklı ülke gruplarında yürütülen güncel araştırmalar da jeopolitik riskler, enerji yoğunluğu, doğal kaynak rantları ve yönetim kalitesi gibi bileşenler dâhil edildiğinde EKC eğrisinin şeklinin ve dönüm noktasının kayabildiğini ve model spesifikasyonlarının bulgular üzerinde belirleyici olduğunu vurgulamaktadır (Li ve ark., 2024; Caporin ve ark., 2024).

Buna ek olarak literatürde sonuçların "*modelleme tercihlerine duyarlılığı*" doğrudan tartışma konusu hâline gelmiştir. Enerji tüketimi değişkeninin emisyon modellerine dâhil edilmesi, katsayılarda oynaklığa yol açarak ilişkinin büyüklüğünü ve yönünü değiştirebilmekte; bu da EKC bulgularının kullanılan değişken seti ve fonksiyonel form seçiminden etkilendiğini göstermektedir (Jaforullah ve King, 2017). Itkonen (2012) ise karbon Kuznets eğrisine ilişkin birçok bulgunun yanlış modelleme ve veri tabanı tanımlarından kaynaklanabileceğini ileri sürerken, büyümenin uzun vadede enerji kullanımı

ve kirlilik artışı üzerinde nedensel bir etkisinin bulunduğunu tespit etmektedir. Benzer şekilde asimetriyi hesaba katan yaklaşımlar, örneğin petrol fiyatlarının CO<sub>2</sub> üzerindeki asimetrik etkilerini inceleyen çalışmalar, EKC'nin ters-U biçiminde doğrulanmayabileceğini; kısa ve uzun dönemde sonuçların farklılaşabildiğini göstermektedir (Boufateh, 2019). Son dönem mekânsal panel ve heterojen katsayı yaklaşımları da bu uyarıları güçlendirerek, EKC ilişkisinin tek bir ortalama etkiyle temsil edilmesinin yanıltıcı olabileceğini; mekânsal bağımlılık ve heterojenliğin dikkate alınmasının bulguların güvenilirliği açısından kritik olduğunu ortaya koymaktadır (Schneider ve Mellon-Bedi, 2025).

Bu metodolojik tartışmaların işaret ettiği ortak nokta, gelir artışının tek başına “otomatik” bir çevresel iyileşme mekanizması olarak görülmesinin temkinle ele alınması gerektiğidir. Bu bağlamda Stern (2017), EKC hipotezini eleştirel biçimde yeniden değerlendirmiş ve ekonomik büyümenin çevresel bozulmayı kendiliğinden azaltmadığını ortaya koymuştur. Yazara göre, son on yıllardaki iyileşmeler gelir artışından değil; çevre politikaları, teknolojik yenilikler ve enerji dönüşümünden kaynaklanmaktadır. Bu bulgular, “gelir yükseldikçe çevre kendiliğinden temizlenir” varsayımının geçerli olmadığını ve çevre politikalarının ekonomik büyümeden bağımsız olarak güçlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Aksi halde, bu yanlış varsayım çevre politikalarının gevşetilmesine ve ekolojik risklerin derinleşmesine yol açabileceğini ifade etmektedir.

Nitekim son dönem araştırmalar farklı sonuçlara ulaşmaktadır: örneğin Muratoğlu ve arkadaşları (2024), OECD ülkelerinde sanayi sektörü dışında EKC hipotezinin geçerli olduğunu saptarken; Ansari (2023), Körfez İşbirliği Konseyi ülkelerinde kişi başına gelir ile ekolojik ayak izi arasında klasik ters-U biçiminde bir ilişki bulmuştur. Buna karşın Wang ve arkadaşları (2024), küresel ölçekte yürüttükleri analizde gelir-çevre ilişkisinin ters-U değil, N-şekilli bir desen izlediğini ve ekonomik büyümenin yüksek gelir düzeylerinde dahi çevresel baskıyı yeniden artırabildiğini göstermiştir. Benzer biçimde dijitalleşme/yenilik dinamiklerini EKC çerçevesine dâhil eden çalışmalar da ilişki biçiminin N-şekilli yapılar üzerinden okunabildiğini göstermektedir (Ullah ve ark., 2024). Ekolojik ayak izi ve ekonomik karmaşıklık gibi bileşenleri aynı çerçevede ele alan araştırmalar ise, ülke gruplarına göre farklı doğrusal olmayan desenlerin ortaya çıkabildiğine işaret etmektedir (Numan ve ark., 2022). Ayrıca gelişmekte olan ülkeler özelinde ekolojik ayak izi üzerinden EKC'yi test eden bulgular, çevresel iyileşmenin otomatik bir büyüme çıktısı değil, enerji kullanımı ve politika bileşimiyle yakından ilişkili olduğunu vurgulamaktadır (Nguyen ve ark., 2024).

Bu birbirinden farklı sonuçlar, ekonomik büyümenin çevresel tahribatı kendiliğinden azaltmadığını, çevresel iyileşmenin esasen enerji dönüşümü, çevre politikaları ve teknolojik yeniliklerle mümkün olabileceğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla literatürde tartışma, EKC'nin otomatik bir denge mekanizması olarak işleyip işlemediğinden ziyade, çevresel iyileşmeyi mümkün kılan politika araçlarının ve kurumsal düzenlemelerin hangi bileşimle tasarlanacağı sorusuna yönelmektedir. Bu çerçevede günümüz literatüründe tartışmalar, büyümenin çevre üzerindeki etkisini otomatik bir dengeye bırakmaktan çok, yeşil dönüşüm politikaları çerçevesinde yeniden tanımlamaya yönelmiştir. Yeşil dönüşüm, üretim ve tüketim biçimlerinin, enerji kaynaklarının ve sanayi yapısının ekolojik sınırlar içinde yeniden düzenlenmesini amaçlayan yeni bir paradigma olarak ekonomik büyüme ile çevresel sürdürülebilirliği aynı eksenle buluşturmayı hedeflemektedir.

Bu genel tartışmalar, Türkiye özelinde yürütülen ampirik çalışmalarla da desteklenmektedir. Türkiye’de EKC hipotezini sınanan araştırmalar, kullanılan dönem, yöntem ve çevresel göstergelere bağlı olarak farklı bulgular ortaya koymaktadır. Örneğin Halıcıoğlu (2009), 1960-2005 döneminde ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve CO<sub>2</sub> emisyonları arasındaki ilişkiyi incelemiş ve gelir ile emisyonlar arasında EKC hipotezini destekleyen ters-U biçimli bir ilişki tespit etmiştir. Buna karşılık Öztürk ve Acaravcı (2010), 1968-2005 dönemi için ekonomik büyüme ve enerji tüketiminin CO<sub>2</sub> emisyonlarını artırdığını; gelir artışının çevresel bozulmayı kendiliğinden tersine çevirdiğine dair bir kanıt bulunmadığını ve EKC hipotezinin Türkiye özelinde geçerli olmadığını göstermiştir. Pata (2018) ile Destek ve Sarkodie (2019) gibi daha yakın dönem çalışmalar ise çevresel iyileşmenin otomatik bir gelir etkisinden ziyade enerji bileşimi, yenilenebilir enerji kullanımı ve politika çerçevesi tarafından belirlendiğine işaret etmektedir. Benzer biçimde ekolojik ayak izi göstergesi üzerinden Türkiye’de yenilenebilir ve yenilenemez enerji ayrımını vurgulayan bulgular, enerji sepetinin belirleyici rolünü ortaya koymaktadır (Sharif ve ark., 2020). Bu çerçevede Türkiye literatürü, büyüme-çevre ilişkisinin tek bir “evrensel” desenle açıklanamadığını; çevresel sonuçların enerji dönüşümü ve çevre politikalarının niteliğine duyarlı

olduğunu ortaya koymaktadır.

## 5. Veri ve Yöntem

Bu bölümde, öncelikle çalışmada kullanılan veri seti, değişkenler ve ekonometrik yöntem tanıtılmakta, ardından elde edilen bulgular yorumlanmaktadır. Türkiye’de ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve sanayi payının karbon emisyonları üzerindeki etkileri, 1990-2023 dönemine ait yıllık veriler kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmanın yöntemsel çerçevesi, önceki bölümlerde ortaya konan teorik ve kurumsal tartışmalara dayanmaktadır. Bu kapsamda model, önceki bölümlerde ortaya konan enerji-büyüme-çevre ilişkisini ve geliştirilen yeşil dönüşüm ile düşük karbonlu kalkınma perspektifini ampirik olarak sınamayı amaçlamaktadır. Değişkenlere ilişkin tanımlar ve veri kaynakları Tablo 2’de sunulmuş, ardından serilerin durağanlıkları ve uzun dönem ilişkileri farklı ekonometrik testlerle incelenmiştir.

### 5.1. Veri Seti

Bu çalışmada, Türkiye’de ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve sanayi payının karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonları üzerindeki etkileri 1990-2023 dönemine ait yıllık veriler kullanılarak incelenmiştir. Tüm değişkenlere ilişkin veriler Dünya Bankası’nın World Development Indicators (WDI) veri tabanından temin edilmiştir. Analizde kullanılan dönem, veri serilerinin sürekliliği ve karşılaştırılabilirliği esas alınarak belirlenmiştir.

Çalışmanın değişken seçimi, önceki bölümlerde ortaya konan enerji-büyüme-çevre ilişkisi ile tartışılan yeşil dönüşüm ve düşük karbonlu kalkınma çerçevesi dikkate alınarak yapılmıştır. Bu kapsamda, modelde kullanılan göstergeler yalnızca ekonomik büyümenin düzeyini değil, aynı zamanda Türkiye’nin enerji yoğunluğu ve sanayi yapısının çevresel etkilerini de yansıtmaktadır.

**Tablo 2. Analizde Kullanılan Değişkenler, Tanımları ve Veri Kaynakları**

| Değişken              | Tanım                                 | Ölçü birimi        | Dönüşüm                   |
|-----------------------|---------------------------------------|--------------------|---------------------------|
| CO <sub>2</sub>       | Kişi başına karbondioksit emisyonu    | Metrik ton         | lnCO <sub>2</sub>         |
| GDP, GDP <sup>2</sup> | Kişi başına reel GSYH (2015 sabit \$) | ABD doları         | lnGDP, lnGDP <sup>2</sup> |
| ENERGY                | Kişi başına enerji tüketimi           | Kg petrol eşdeğeri | lnENERGY                  |
| INDUSTRY              | Sanayi sektörünün GSYH içindeki payı  | %                  | lnINDUSTRY                |

**Kaynak:** World Development Indicators, 2025

Çalışmada bağımlı değişken olarak kişi başına düşen karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonu (kişi başına metrik ton) kullanılmıştır. Bağımsız değişkenler; ekonomik büyümeyi temsilen kişi başına düşen reel gayrisafi yurt içi hasıla (GDP, sabit 2015 ABD doları), enerji kullanımını göstermek üzere kişi başına enerji tüketimi (ENERGY, kilogram petrol eşdeğeri) ve ekonomik yapıyı temsilen sanayi sektörünün gayrisafi yurt içi hasıla içindeki payı (INDUSTRY, %) olarak tanımlanmıştır. EKC hipotezini sınamak amacıyla, bağımsız değişkenlerden GDP’nin karesi de modele dâhil edilmiştir.

Analizde, serilerin dağılım özelliklerini iyileştirmek ve katsayıların esneklik biçiminde yorumlanabilmesini sağlamak amacıyla tüm değişkenler doğal logaritmaya dönüştürülmüştür. Buna göre modelde yer alan değişkenler lnCO<sub>2</sub>, lnGDP, (lnGDP)<sup>2</sup>, lnENERGY ve lnINDUSTRY olarak tanımlanmıştır. Böylece katsayılar, ilgili değişkenlerdeki yüzde değişimlerin CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki oransal etkilerini göstermektedir.

Bu değişken yapısı, Türkiye’nin yeşil dönüşüm süreci ve 2053 net sıfır emisyon hedefiyle uyumlu biçimde, ekonomik büyüme ve çevresel sürdürülebilirlik arasındaki etkileşimin ampirik olarak ölçülmesine olanak tanımaktadır. Model, büyüme sürecinde enerji kullanım düzeyi ve sanayi sektörünün payı gibi faktörlerin karbon emisyonlarını ne ölçüde etkilediğini ortaya koyarak, Türkiye ekonomisinde çevresel maliyetlerin hangi kanallar üzerinden oluştuğunu analiz etmeyi amaçlamaktadır. Böylece, yeşil dönüşüm politikalarının etkinliği açısından ekonomik yapı, enerji yoğunluğu ve üretim bileşiminin CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki belirleyici rolü ampirik olarak değerlendirilmiştir.

### 5.2. Model

Çalışmada, ekonomik büyüme, enerji kullanımı ve sanayi faaliyetlerinin çevresel etkilerini Türkiye özelinde inceleyebilmek için EKC hipotezi temel alınmıştır. Bu hipotez, ekonomik büyümenin erken aşamalarında çevresel bozulmayı artırdığı, belirli bir gelir düzeyinin ardından ise çevresel iyileşmeye



yol açtığı varsayımına dayanmaktadır. Türkiye'nin 1990-2023 dönemi verileri kullanılarak bu ilişkinin geçerliliğini test etmek amacıyla aşağıdaki model tahmin edilmiştir:

$$\ln(\text{CO}_2)_t = \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{GDP}_t) + \beta_2 [\ln(\text{GDP}_t)]^2 + \beta_3 \ln(\text{ENERGY}_t) + \beta_4 \ln(\text{INDUSTRY}_t) + \varepsilon_t$$

Modelde,  $\ln \text{CO}_2$  kişi başına karbondioksit emisyonlarını;  $\ln \text{GDP}_t$  ve  $(\ln \text{GDP}_t)^2$  terimleri ekonomik büyümenin düzey ve ikinci dereceden etkilerini;  $\ln \text{ENERGY}_t$  enerji tüketimini;  $\ln \text{INDUSTRY}_t$  ise sanayi payını temsil etmektedir.

**Tablo 3. Değişkenler, Katsayılar ve Beklenen İşaretler**

| Değişken              | Katsayı   | Beklenen İşaret | Açıklama                                          |
|-----------------------|-----------|-----------------|---------------------------------------------------|
| $\ln \text{GDP}$      | $\beta_1$ | (+)             | Gelir artışı erken aşamada emisyonu artırır.      |
| $(\ln \text{GDP})^2$  | $\beta_2$ | (-)             | Belirli bir gelir eşiğinden sonra emisyon azalır. |
| $\ln \text{ENERGY}$   | $\beta_3$ | (+)             | Enerji tüketimi emisyonları artırır.              |
| $\ln \text{INDUSTRY}$ | $\beta_4$ | (±)             | Etki, sanayinin enerji yoğunluğuna bağlıdır.      |

Tablo 3'teki işaret beklentileri, EKC hipotezinin yanı sıra enerji-ekonomi literatüründeki bulgulara dayanmaktadır. Buna göre,  $\beta_1$  katsayısının pozitif ve  $\beta_2$  katsayısının negatif olması durumunda ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasında ters U biçimli bir ilişki beklenmektedir. Yani gelir düzeyi arttıkça karbon emisyonları başlangıçta yükselmekte, ancak belirli bir dönüm noktasından sonra azalma eğilimine girmektedir.  $\beta_3$  katsayısının pozitif olması beklenmektedir. Enerji tüketimindeki artış, özellikle fosil yakıt temelli enerji yapısında,  $\text{CO}_2$  emisyonlarını artırmaktadır.  $\beta_4$  katsayısının işareti ise belirsizdir (±); sanayi sektörünün enerji yoğunluğu yüksekse pozitif, ancak üretim süreçleri daha verimli veya yenilenebilir enerji odaklı ise negatif bir etki ortaya çıkabilmektedir.

#### **EKC Dönüm Noktası Formülü**

Merkezenmiş gelir değişkeni kullanıldığı için dönüm noktası önce log gelir düzeyinde aşağıdaki biçimde hesaplanmaktadır:

$$\ln(\text{GDP}^*) = -\frac{\beta_1}{2\beta_2}$$

Gelirin düzey değerine (2015 sabit \$) geri dönüş ise şu şekilde elde edilmektedir:

$$\text{GDP}^* = \exp\left(\overline{\{\ln(\text{GDP})\}} - \frac{\beta_1}{2\beta_2}\right)$$

Bu formüller,  $\text{CO}_2$  emisyonlarının en yüksek seviyeye ulaştığı kişi başına gelir düzeyini ( $\text{GDP}^*$ ) göstermektedir. Burada  $\text{GDP}^*$ , kişi başına reel GSYH'nin (2015 sabit \$) düzeyidir;  $\overline{\{\ln(\text{GDP})\}}$  ise örneklemdaki kişi başına reel GSYH'nin logaritmik ortalamasını ifade etmektedir. Logaritmik dönüşümden geri çevrildiğinde,  $\text{GDP}^*$  değeri çevresel bozulmadan çevresel iyileşmeye geçişin gerçekleştiği gelir eşiğini temsil etmektedir.

Bu bağlamda modelde yer alan gelir terimi merkezenmiş biçimde aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$C\_LNGDP2 = \left( \ln(\text{GDP}) - \overline{\{\ln(\text{GDP})\}} \right)^2$$

İkinci dereceden terim ise bunun karesi ( $C\_LNGDP2 = (C\_LNGDP)^2$ ) olarak modele dâhil edilmiştir. Bu yapı, ekonomik büyümenin çevresel etkisinin doğrusal olmadığını test etmeye yöneliktir. EKC hipotezine göre,  $\beta_1$ 'in pozitif ve  $\beta_2$ 'nin negatif işaretli olması durumunda ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasında ters-U biçiminde bir ilişki ortaya çıkmaktadır. Bu desen, gelir düzeyinin düşük olduğu erken kalkınma aşamalarında ekonomik büyümenin  $\text{CO}_2$  emisyonlarını artırdığını; belirli bir gelir eşiği aşıldıktan sonra ise teknolojik gelişme, enerji verimliliği ve çevresel farkındalık sayesinde emisyonların azalma eğilimine girdiğini göstermektedir. Modelin bu yapısı, Türkiye'nin net sıfır emisyon hedefiyle de uyumlu biçimde, ekonomik büyüme-çevre etkileşimini uzun ve kısa dönem dinamikleriyle birlikte incelemeye olanak tanımaktadır.

### 5.3. Ekonometrik Yöntem ve Testler

Çalışmada, değişkenler arasındaki uzun ve kısa dönem ilişkileri analiz edebilmek amacıyla zaman serisi temelli ekonometrik yöntemler kullanılmıştır. Modelin tahmininde *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL) sınır testi yaklaşımı tercih edilmiştir. ARDL yöntemi, Pesaran, Shin ve Smith (2001) tarafından geliştirilen ve değişkenlerin bütünleşme dereceleri  $I(0)$  veya  $I(1)$  olduğunda dahi güvenilir sonuçlar verebilen bir eş bütünleşme testidir. Bu yönüyle ARDL yaklaşımı, çalışmada kullanılan serilerin tamamının birinci farkta durağan ( $I(1)$ ) olmasına rağmen uzun dönem ilişkilerin tahmin edilmesine olanak tanımaktadır.

Bu yöntem, yeşil dönüşüm çerçevesiyle de uyumlu biçimde, ekonomik büyüme-çevre etkileşiminin hem geçici hem de kalıcı dinamiklerini aynı modelde inceleme imkânı sunmaktadır. Kısa dönem katsayıları çevresel politikaların ani etkilerini, uzun dönem katsayıları ise sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda kalıcı dönüşüm dinamiklerini yansıtmaktadır.

**Tablo 4. ADF Birim Kök Testi Sonuçları**

| Değişken          | $X_t (C+T)$ p-değeri | $\Delta X_t (C)$ p-değeri | Durağanlık Düzeyi | Karar |
|-------------------|----------------------|---------------------------|-------------------|-------|
| lnCO <sub>2</sub> | 0.1573               | 0.0000                    | 1. farkta durağan | I(1)  |
| lnGDP             | 0.2926               | 0.0000                    | 1. farkta durağan | I(1)  |
| lnENERGY          | 0.0589               | 0.0000                    | 1. farkta durağan | I(1)  |
| lnINDUSTRY        | 0.7677               | 0.0002                    | 1. farkta durağan | I(1)  |

Analiz süreci, öncelikle değişkenlerin durağanlık özelliklerinin belirlenmesiyle başlamıştır. Bu amaçla Augmented Dickey-Fuller (ADF) birim kök testi uygulanmış ve tüm serilerin birinci farkta durağan ( $I(1)$ ) oldukları tespit edilmiştir. ADF testi, serilerin bütünleşme derecelerini belirleyerek ARDL yaklaşımının temel ön koşulu olan  $I(2)$  değişken bulunmaması şartının sağlandığını doğrulamaktadır. Bu adım, modelde sahte regresyon riskini ortadan kaldırmak için kritik öneme sahiptir.

Ardından, seriler arasında uzun dönemli bir ilişki olup olmadığını sınamak amacıyla ARDL sınır testi (Bounds Test) gerçekleştirilmiştir. F-istatistiği, Pesaran, Shin ve Smith (2001) tarafından raporlanan kritik değerlerle karşılaştırılmış; F-istatistiği üst sınır değerini aştığında değişkenler arasında eş bütünleşme ilişkisi bulunduğu kabul edilmiştir. Sınır testi, farklı bütünleşme derecelerine sahip değişkenlerin uzun dönem ortak hareketini ölçmek açısından esneklik sağlamaktadır. Bu özellik, Türkiye örneğinde makroekonomik ve çevresel serilerin farklı dinamik özelliklerine rağmen aynı sistem içinde incelenebilmesine olanak tanımıştır.

**Tablo 5. ARDL Sınır Testi Sonuçları**

| Test        | F-İstatistiği | Alt Sınır (I0) | Üst Sınır (I1) | Sonuç             |
|-------------|---------------|----------------|----------------|-------------------|
| ARDL Bounds | 5.808         | 2.86           | 3.49           | Eş bütünleşme var |

Tablo 5'te sunulan ARDL sınır testi sonuçlarına göre, hesaplanan F-istatistiği (5.808) üst sınır değeri olan 3.49'un üzerinde gerçekleşmiştir. Bu bulgu, modelde yer alan değişkenler arasında uzun dönemli bir eş bütünleşme ilişkisinin bulunduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, CO<sub>2</sub> emisyonları ile ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve sanayi payı arasında uzun dönemde ortak bir denge ilişkisi mevcuttur.

ARDL modelinde uzun dönem ilişkisinin varlığı belirlendikten sonra, değişkenler arasındaki uzun dönem katsayıları tahmin edilmiştir.

**Tablo 6. ARDL Uzun Dönem Katsayı Tahmin Sonuçları**

| Değişken                                                     | Katsayı | Std. Hata | t-İstatistiği | p-Değeri    | Beklenen İşaret |
|--------------------------------------------------------------|---------|-----------|---------------|-------------|-----------------|
| C_LNGDP<br>(merkezlenmiş lnGDP)                              | 0.319   | 0.130     | 2.445         | 0.0257**    | +               |
| C_LNGDP <sup>2</sup><br>(merkezlenmiş (lnGDP) <sup>2</sup> ) | -0.281  | 0.066     | -4.256        | 0.0005***   | -               |
| LNENERGY                                                     | 0.598   | 0.166     | 3.596         | 0.0022***   | +               |
| LNINDUSTRY                                                   | -0.004  | 0.042     | -0.085        | 0.9336 (ns) | ±               |
| C (sabit)                                                    | -2.894  | 1.239     | -2.336        | 0.0320**    | —               |

**Not:** \*\*\*, \*\* ve \* sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerini ifade etmektedir. n.s. istatistiksel

olarak anlamsız katsayıları göstermektedir.

Anlamlılık düzeyleri  $***p<0.01$ ,  $**p<0.05$  ve  $*p<0.10$  olarak belirlenmiş olup, “n.s.” ifadesi istatistiksel olarak anlamsız sonuçları göstermektedir. p-değerleri iki kuyrukludur. Katsayılar, ARDL (3,3,0,3,0) modelinin uzun dönem formundan elde edilmiştir. Modelde yer alan “C\_” ibaresi, ilgili logaritmik serilerin ortalamadan arındırılmış (centered) hâlini ifade etmektedir. Bu dönüşüm,  $\ln GDP$  ve  $(\ln GDP)^2$  değişkenleri arasındaki yüksek korelasyonun neden olabileceği çoklu doğrusal bağlantı sorununu azaltarak parametre tahminlerinin güvenilirliğini artırmak amacıyla uygulanmıştır.

Uzun dönem katsayı tahminlerinin ardından elde edilen sonuçlar, ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve sanayi payının  $CO_2$  emisyonları üzerindeki uzun dönemli etkilerini göstermiştir. Bunu takiben, kısa dönem dinamikleri ve sistemin uzun dönem dengeye uyum hızını ölçebilmek amacıyla Hata Düzeltme Modeli (Error Correction Model - ECM) tahmin edilmiştir.

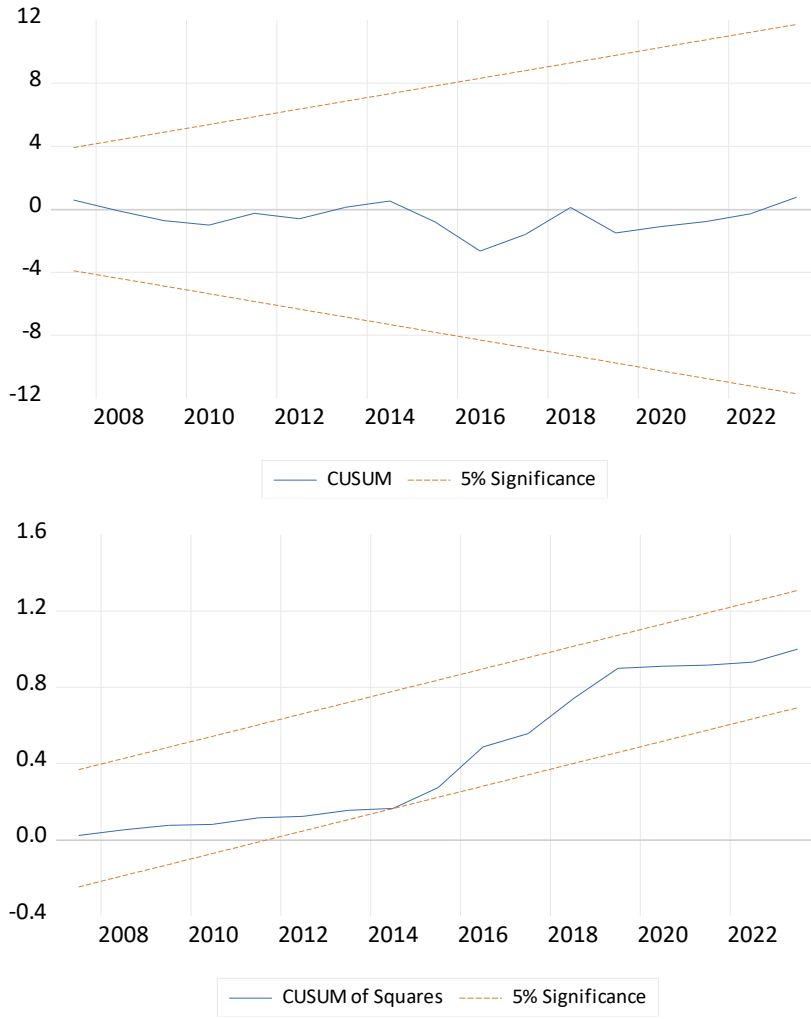
**Tablo 7. ARDL-ECM Kısa Dönem Katsayı Sonuçları**

| Değişken               | Katsayı | t-İstatistiği | p-Değeri   | Beklenen İşaret |
|------------------------|---------|---------------|------------|-----------------|
| $\Delta(C\_LNGDP)$     | -0.070  | -0.858        | 0.403 (ns) | —               |
| $\Delta(C\_LNGDP(-1))$ | -0.316  | -2.892        | 0.010**    | —               |
| $\Delta(C\_LNGDP(-2))$ | -0.393  | -3.843        | 0.001***   | —               |
| $\Delta(LNENERGY)$     | +0.845  | 7.667         | 0.000***   | +               |
| $\Delta(LNENERGY(-1))$ | +0.105  | 0.511         | 0.616 (ns) | +               |
| $\Delta(LNENERGY(-2))$ | +0.745  | 3.936         | 0.001***   | +               |
| $\Delta(LNINDUSTRY)$   | —       | —             | >0.10 (ns) | —               |
| <b>CointEq(-1)</b>     | -1.044  | -4.652        | 0.0002***  | —               |

**Not:** \*\*\*, \*\* ve \* sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerini ifade etmektedir. n.s. istatistiksel olarak anlamsız katsayıları göstermektedir.

Tablo 7’de yer alan katsayılar, ARDL (3, 3, 0, 3, 0) modelinin kısa dönem dinamiklerini ve sistemin uzun dönem dengeye uyum hızını göstermektedir.  $\Delta(LNINDUSTRY)$  değişkenine ilişkin kısa dönem etkisi modelde yer almamaktadır; bu değişken için gecikme sayısı sıfır olarak belirlenmiştir. CointEq(-1) katsayısı, sistemin uzun dönem dengesine dönüş hızını ifade etmekte olup -1.044 değeri ve %1 düzeyindeki anlamlılık seviyesi, dengenin kısa dönemde hızlı biçimde yeniden tesis edildiğini göstermektedir. Negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bir CointEq(-1) katsayısı, kısa dönem sapmaların uzun dönem dengeye doğru düzeldiğini ve sistemin çevresel ve ekonomik şoklara karşı dayanıklılığını yansıtmaktadır. Bu yönüyle ARDL-ECM yapısı, çevresel istikrarın kısa dönem dalgalanmalara karşı uyum kapasitesini incelemeye uygun bir araçtır.

Tahmin edilen ARDL-ECM modelinin güvenilirliğini sınamak için çeşitli tanı testleri uygulanmıştır. Breusch-Godfrey LM testi ile artık terimlerde otokorelasyon olup olmadığı, Breusch-Pagan-Godfrey testi ile değişen varyans (heteroskedastisite) sorunu, Jarque-Bera testi ile hata terimlerinin normal dağılım varsayımı kontrol edilmiştir. Ayrıca, modelin parametre ve varyans açısından zaman içinde kararlılığını değerlendirmek amacıyla CUSUM ve CUSUMSQ testleri uygulanmıştır. Bu testler sonucunda, modelin tüm istatistiksel varsayımları sağladığı ve parametrelerinin kararlı olduğu tespit edilmiştir. CUSUM ve CUSUMSQ testleri, parametre kararlılığına ek olarak olası yapısal kırılma veya rejim değişikliklerinin model sonuçlarını etkilemediğini göstermektedir.

**Grafik 2. CUSUM ve CUSUMQ Testleri**

Böylece ARDL sınır testi yaklaşımı, Türkiye örneğinde ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve sanayi payının CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki uzun ve kısa dönem etkilerinin bütüncül biçimde analiz edilmesine olanak sağlamıştır. Yöntem hem veri setinin özellikleri hem de çalışmanın kuramsal çerçevesiyle tam uyumlu olup, sonuçların güvenilir biçimde yorumlanması için sağlam bir ekonometrik temel sunmaktadır.

Bu çalışmada amaç, EKC hipotezinin uzun dönem varlığını test etmektir. Bu amaç doğrultusunda simetrik ARDL yaklaşımı temel yöntem olarak tercih edilmiştir. Bununla birlikte, yapısal kırılmaların ve doğrusal olmayan değişimlerin temel bulguları bozup bozmadığı; kırılmalı birim kök testleri, kırılma kuklası içeren ARDL spesifikasyonu ve Fourier sinüs-kosinüs terimleriyle genişletilmiş ARDL modeli aracılığıyla ayrıca sınanmıştır. Elde edilen bulgular, temel ARDL sonuçlarının dönemsel şoklar ve rejim değişimleri karşısında istikrarlı ve sağlam olduğunu göstermektedir.

#### ***Yapısal kırılmalar ve dayanıklılık kontrolleri***

İncelenen 1990-2023 dönemi, Türkiye ekonomisinde krizler, politika değişimleri ve enerji piyasalarındaki dönüşümler nedeniyle yapısal kırılmaların ve doğrusal olmayan değişimlerin gözlenebileceği bir zaman aralığına karşılık gelmektedir. Bu nedenle, serilerin durağanlık özellikleri standart birim kök testlerine ek olarak yapısal kırılmaları dikkate alan kırılmalı birim kök testiyle de sınanmıştır. Elde edilen bulgular, karbondioksit emisyonları serisinin düzeyde durağan olmadığını, birinci farkta ise durağanlaştığını göstermektedir.

Ayrıca, temel ARDL sonuçlarının olası yapısal değişimlere duyarlılığını değerlendirmek amacıyla iki tamamlayıcı dayanıklılık kontrolü uygulanmıştır. İlk olarak, belirli bir kırılma yılını temsil eden sabit terim kayması kukla değişkeni modele eklenerek tahminler yinelenmiştir. İkinci olarak ise, kırılma

tarihlerini önsel olarak belirlemeksizin doğrusal olmayan yapısal değişimleri yakalayabilmek amacıyla ARDL modeli Fourier sinüs ve kosinüs terimleriyle genişletilmiştir. Bu yaklaşımlar, temel ekonometrik bulguların dönemsel şoklar ve rejim değişimleri karşısındaki sağlamlığını sınamayı amaçlamaktadır.

**Tablo 8. Yapısal Kırılmalar ve Dayanıklılık Kontrolleri: ARDL Bulgularının Özeti (1990-2023)**

| Spesifikasyon                  | Seçilen model   | F-Bounds<br>(H0: seviye ilişkisi yok) | ECT/CointEq(-1) (işaret, anlamlılık)             | Uzun dönem işaretler (GDP, GDP <sup>2</sup> , ENERGY, INDUSTRY) | Not                                                                        |
|--------------------------------|-----------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| <b>Baz ARDL</b>                | ARDL(3,3,0,3,0) | 5.808                                 | Negatif, anlamlı ( $\approx -1.044$ ; $p<0.01$ ) | (+), (-), (+), anlamsız                                         | Metindeki temel model                                                      |
| <b>Kırılma kuklası (D2017)</b> | ARDL(3,3,0,3,0) | 5.365                                 | Negatif, anlamlı ( $\approx -1.024$ ; $p<0.01$ ) | (+), (-), (+), anlamsız                                         | D2017 anlamsız ( $p\approx 0.72$ ); ana katsayılar korunuyor               |
| <b>Fourier-ARDL (k=2)</b>      | ARDL(3,3,0,3,0) | 6.484                                 | Negatif, anlamlı ( $\approx -1.521$ ; $p<0.01$ ) | (+), (-), (+), anlamsız                                         | SIN2/COS2 tek tek anlamsız; eşbütünleşme ve hata düzeltme terimi çok güçlü |

**Not:** Uzun dönem işaretler sütunu; C\_LNGDP (pozitif), C\_LNGDP<sup>2</sup> (negatif), LNENERGY (pozitif) ve LNINDUSTRY (istatistiki olarak anlamsız) katsayılarının sırasıyla işaretlerini göstermektedir. “Anlamsız” ifadesi, ilgili katsayının istatistikî olarak anlamlı bulunmadığını belirtmektedir. Fourier terimleri yalnızca dayanıklılık analizi kapsamında kullanılan alternatif spesifikasyonda yer almakta; temel ARDL tahminleri bu terimler olmaksızın raporlanmaktadır.

#### 5.4. Ampirik Bulgular ve Yorum

Çalışmada analiz süreci, serilerin durağanlık özelliklerinin incelenmesiyle başlamıştır. Augmented Dickey-Fuller (ADF) birim kök testi sonuçlarına göre, tüm değişkenler seviye düzeyinde durağan değildir; birinci farkları alındığında durağan hale gelmektedir. Buna göre,  $\ln CO_2$ ,  $\ln GDP$ ,  $(\ln GDP)^2$ ,  $\ln ENERGY$  ve  $\ln INDUSTRY$  değişkenleri  $I(1)$  bütünleşme derecesine sahiptir. Bu bulgu, seriler arasında ikinci dereceden bütünleşik  $I(2)$  değişken bulunmadığını ve ARDL sınır testi yaklaşımının temel ön koşulunun sağlandığını göstermektedir. Çevre-büyüme ilişkisini dinamik bir perspektifle inceleyen öncü çalışmalar (Grossman ve Krueger, 1995; Stern, 2004; Apergis ve Payne, 2009), değişkenler arasındaki uzun dönemli eşbütünleşme ilişkisinin ve gecikmeli etkilerin önemini vurgulamaktadır. Bu çalışmaların ortaya koyduğu karmaşık ve zaman içindeki yapısal dönüşümleri içeren bulgular, güncel literatürde seriler arasındaki dinamik etkileşimi ve farklı bütünleşme derecelerini başarıyla modelleyebilen ARDL yaklaşımı gibi yöntemlerin kullanımına kuramsal ve ampirik bir zemin oluşturmaktadır.

Bununla birlikte, 1990-2023 dönemi Türkiye ekonomisinde krizler ve politika değişimleri nedeniyle yapısal kırılmaların gözlenebileceği bir zaman aralığına karşılık gelmektedir. Bu nedenle standart ADF testine ek olarak, Perron (1989), Vogelsang (1993) ve Vogelsang ve Perron (1998) yaklaşımına dayalı olarak yapısal kırılmaları dikkate alan kırılmalı ADF testi uygulanmıştır. “Dinamik kırılma” tipi kırılma varsayımı altında gerçekleştirilen test sonuçları,  $CO_2$  emisyonları serisinin düzeyde durağan olmadığını, birinci farkta ise durağanlaştığını göstermektedir.

ARDL sınır testi sonuçları, değişkenler arasında uzun dönemli bir eş bütünleşme ilişkisinin bulunduğunu göstermektedir. Elde edilen F-istatistiği değeri 5.808, Pesaran ve ark. (2001) tarafından raporlanan %5 anlam düzeyindeki üst sınır kritik değeri olan 3.490’un üzerindedir. Bu bulgu, modelde yer alan değişkenlerin uzun dönemde birlikte hareket ettiğini ve ekonomik büyüme, enerji tüketimi ile sanayi payının  $CO_2$  emisyonları üzerinde kalıcı etkiler yarattığını ortaya koymaktadır. Bu sonuç, enerji kullanımı, ekonomik büyüme ve çevresel baskılar arasındaki dinamik ilişkiyi inceleyen önceki ampirik çalışmalarla (Soytaş ve Sarı, 2009; Shahbaz ve ark., 2012; Destek ve Sarkodie, 2019) uyumludur. Uzun dönemli bu ilişki, yeşil dönüşüm perspektifinin ampirik bir yansıması niteliğindedir.

Uzun dönem katsayı tahmin sonuçları, EKC hipotezinin Türkiye için geçerli olduğunu göstermektedir. Ekonomik büyümeyi temsil eden  $\ln GDP$  değişkeninin katsayısı pozitif ( $\beta_1=0.319$ ), gelir karesini temsil eden  $(\ln GDP)^2$  katsayısı ise negatif ( $\beta_2=-0.281$ ) ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bu desen, ekonomik büyümenin erken aşamalarında çevresel bozulmayı artırdığını; ancak belirli bir gelir düzeyi aşıldıktan sonra emisyonların azalma eğilimine girdiğini (ters-U formu) kanıtlamaktadır. Bu bulgu, Türkiye literatüründe EKC hipotezini doğrulayan Bölük ve Mert (2015) gibi çalışmalarla paralellik göstermektedir.

Buna karşın; Türkiye için tekdüze artan veya N-şekilli bir ilişki bularak EKC hipotezini reddeden Akbostancı ve ark. (2009) ve Halıcıoğlu (2009) gibi çalışmaların bulgularından ayrılmaktadır. Bu durum, büyüme-çevre ilişkisinin kullanılan yöntem, değişken seti ve kapsanan döneme göre farklılık gösterebilen, gelir düzeyine duyarlı ve aşamalı bir yapı sergilediğini doğrulamaktadır.

Uzun dönem sonuçlarına göre enerji tüketimi ( $\ln ENERGY$ ) değişkeninin katsayısı pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır ( $\beta_3 = 0.598$ ,  $p<0.01$ ). Bu bulgu, Türkiye’de ekonomik büyümenin enerji talebine sıkı biçimde bağlı olduğunu ve fosil yakıt temelli enerji yapısının  $CO_2$  emisyonlarını artırdığını göstermektedir. Uzun dönem katsayılarına göre, enerji tüketiminde meydana gelen %1’lik bir artış, kişi başına  $CO_2$  emisyonlarını yaklaşık %0.6 oranında artırmaktadır. Bu sonuç, enerji tüketiminin emisyonlar üzerindeki belirleyici rolünü vurgulayan uluslararası literatürle (Ang, 2007; Apergis ve Payne, 2009; Shahbaz ve ark., 2012) tutarlıdır.

Sanayi payını temsil eden  $\ln INDUSTRY$  değişkeninin katsayısı negatif olmakla birlikte istatistiksel olarak anlamlı değildir ( $\beta_4 = -0.004$ ,  $p>0.10$ ). Bu bulgu, sanayi payının  $CO_2$  emisyonları üzerindeki etkisine ilişkin ampirik olarak doğrulanmış bir sonuca ulaşamadığını göstermektedir. Dolayısıyla,  $\ln INDUSTRY$  değişkeni üzerinden sanayi yapısının üretim teknolojisi, enerji yoğunluğu veya yakıt karması gibi unsurlarına ilişkin kesin ya da genelleyici bir yorumda bulunmak mümkün değildir. Nitekim literatürde sanayi payı değişkeninin istatistiksel olarak anlamsız ya da zayıf bulunduğu çalışmalar da (Beşer ve Hızarcı Beşer, 2017; Kılavuz ve Doğan, 2021) mevcuttur. Bu sonuç, sanayi politikalarının niteliğine dair bir çıkarımdan ziyade, kullanılan göstergenin bu model çerçevesinde  $CO_2$  emisyonlarını açıklamadaki sınırlılığına işaret etmektedir.

Uzun dönem katsayılarına dayanarak hesaplanan dönüm noktası ( $y^*$ ) değeri yaklaşık 14.236 ABD doları (2015 sabit \$) olup, bu değer analiz dönemi boyunca Türkiye’nin gelir düzeyi aralığı içerisinde yer almaktadır. Bu eşik değer, EKC literatüründe raporlanan gelir aralıklarıyla (Dinda, 2004) uyumludur. Türkiye’nin kişi başına reel GSYH’sinin bu eşiği 2023 yılında aşmış olması, çevresel iyileşmenin teorik olarak mümkün olduğu bir gelir düzeyine ulaşıldığını göstermektedir. Ancak bu durum, çevresel iyileşmenin otomatik olarak gerçekleşeceği anlamına gelmemekte; enerji dönüşümü ve düzenleyici politikaların belirleyici rolünü koruduğunu ortaya koymaktadır.

Kısa dönem dinamikleri, Hata Düzeltme Modeli (ECM) sonuçlarıyla incelenmiştir. Hata düzeltme terimi katsayısı  $CointEq (-1) = -1.044$  ( $p<0.01$ ) olup, negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu bulgu, kısa dönem sapmaların uzun dönem dengeye hızla düzeltildiğini göstermektedir. Benzer uyum mekanizmaları ve anlamlı hata düzeltme sonuçları, çevre-büyüme literatüründe ARDL veya Panel ECM yaklaşımını kullanan çalışmalarda da (Narayan ve Narayan, 2010; Shahbaz ve ark., 2012) rapor edilmiştir. Ayrıca, kısa dönemde de  $\ln INDUSTRY$  değişkenine ilişkin istatistiksel olarak anlamlı bir etki tespit edilmemiştir; bu durum, sanayi payının  $CO_2$  emisyonları üzerindeki etkilerinin bu model çerçevesinde kısa dönemde belirleyici olmadığını göstermektedir.

Modelin geçerliliği çeşitli tanı testleriyle sınanmıştır. Breusch-Godfrey LM testi, Breusch-Pagan-Godfrey testi ve Jarque-Bera testi sonuçları, modelin temel varsayımları sağladığını göstermektedir. Ayrıca CUSUM ve CUSUMSQ testleri, parametrelerin zaman boyunca istikrarlı olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, uzun dönem katsayıların örnekleme dönemine özgü geçici ilişkilerden ziyade yapısal bir ilişkiyi yansıttığını göstermekte olup, elde edilen sonuçların güvenilirliğini desteklemektedir.

Elde edilen bulgular bütüncül olarak değerlendirildiğinde, Türkiye’de ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve karbon emisyonları arasında güçlü bir uzun dönem ilişkisi bulunduğu görülmektedir. EKC hipotezinin geçerliliği, çevresel bozulmanın belirli bir gelir düzeyinden sonra azalma eğilimine girdiğini; ancak bu sürecin kendiliğinden değil, enerji dönüşümü ve etkin çevre politikalarıyla desteklenmesi gerektiğini göstermektedir. Bu sonuçlar, çevresel iyileşmenin gelir artışının otomatik bir

sonucu olmadığını vurgulayan çağdaş EKC literatürüyle (Stern, 2017; Sarkodie ve Strezov, 2019) örtüşmektedir.

## 6. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada, Türkiye’de ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve sanayi payının karbondioksit emisyonları üzerindeki etkileri 1990-2023 dönemi için ARDL sınır testi yaklaşımıyla incelenmiştir. Elde edilen bulgular, ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasındaki ilişkinin EKC hipoteziyle katsayı işaretleri itibarıyla uyumlu biçimde ters-U şeklinde bir desen sergilediğine işaret etmektedir. Buna göre, ekonomik büyümenin erken aşamalarında çevresel tahribat artmakta; bu ilişkinin tersine dönme potansiyeli gelir düzeyine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Bu bulgu, Türkiye için gelir-emisyon ilişkisinde ters-U olasılığına işaret eden (katsayı işaretleri düzeyinde) Halıcıoğlu (2009) ve Pata (2018) gibi çalışmalarla paralellik taşımakla birlikte, Öztürk ve Acaravcı’nın (2010) Türkiye özelinde EKC hipotezine yönelik destekleyici kanıt bulmadığı sonuçlarıyla farklılaşmaktadır. Bu çerçevede tahmin edilen dönüm noktası yaklaşık 14.236 ABD dolarıdır ve söz konusu eşik örneklem döneminin son yıllarında örneklem içinde aşıldığı için ters-U desenine ilişkin bulguların yorumunda dönem sonu gözlemlerine duyarlılık dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte literatür, EKC’nin her koşulda otomatik işleyen bir mekanizma olmadığını; çevresel iyileşmenin gelir artışından ziyade enerji bileşimi, teknoloji, düzenleyici çerçeve ve politika tercihleri tarafından şekillendiğini vurgulamaktadır. Nitekim bazı çalışmalarda Türkiye için EKC hipotezinin geçerli olmadığı ya da ilişkinin N-şekilli olduğu yönünde bulguların raporlanması, büyüme-çevre ilişkisinin dönemsel ve yapısal faktörlere duyarlı bir nitelik taşıdığını göstermektedir.

Enerji tüketimi değişkeninin pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı etkisi, Türkiye’nin fosil ağırlıklı enerji karmasıyla birlikte değerlendirildiğinde, büyüme sürecinin emisyonlar üzerinde güçlü bir baskıya neden olduğunu göstermektedir. Türkiye’nin toplam enerji arzında kömür ve doğalgazın payı 2023 itibarıyla yaklaşık %52 düzeyinde iken, fosil yakıtların toplam payı %80’in üzerindedir (IEA, 2024). Elektrik üretimi karması açısından da fosil kaynakların ağırlığı sürmekte olup, bu görünüm Ember’in (2025) Türkiye elektrik sektörü değerlendirmesinde raporlanan bulgularla uyumludur. Nitekim Öztürk ve Acaravcı (2010), Türkiye ekonomisinde kişi başına düşen enerji tüketiminin gelir esnekliğini 1.375 olarak tahmin ederek, gelir artışının enerji tüketimini güçlü biçimde artırdığını göstermektedir. Bu bulgu, ekonomik büyümenin enerji talebi üzerinde belirgin bir baskı yarattığını ve büyüme dinamiklerinin enerji kullanımına yapısal olarak duyarlı olduğunu teyit eder niteliktedir. Pata (2018) ise enerji bileşiminin önemini vurgulamakta; özellikle fosil yakıt/kömür ağırlıklı enerji kullanımının emisyonlar üzerindeki baskıyı artırabildiğini, fosil dışı enerji kullanımının ise emisyon dinamiklerini zayıflatabilecek bir kanal oluşturduğunu göstermektedir. Destek ve Sarkodie (2019) doğrudan CO<sub>2</sub> yerine ekolojik ayak izi göstergesi üzerinden, enerji tüketiminin çevresel bozulmayı artıran bir unsur olduğunu vurgulayarak bu genel mekanizmayı desteklemektedir. Bu çerçevede enerji arz güvenliği, dış ticaret dengesi ve çevresel sürdürülebilirliğin birbirinden bağımsız değerlendirilemeyeceği açıktır; ampirik bulguların işaret ettiği politika çıkarımları, yenilenebilir enerji yatırımlarının hızlandırılması ve enerji verimliliği teknolojilerinin yaygınlaştırılmasının çevresel iyileşme açısından tamamlayıcı değil, öncelikli politika alanları olduğunu göstermektedir.

Sanayi payı değişkeninin istatistiksel olarak anlamsız bulunması, sanayi sektörünün CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki etkisine ilişkin bu model çerçevesinde genelleyici bir sonuca ulaşamadığını göstermektedir. Bu bulgu, sanayi payının tek başına çevresel performansını temsil etmekte yetersiz kalabileceğine işaret etmekte; teknoloji yoğunluğu, enerji verimliliği ve üretim süreçlerinin niteliğini yansıtan göstergelerin sanayi-çevre ilişkisini açıklamada daha işlevsel olabileceğini düşündürmektedir. Türkiye üzerine yapılan bazı ampirik çalışmalarda sanayiye temsilen kullanılan göstergelerin (ör. sanayi istihdamı ya da sanayi katma değeri) CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki etkisinin zayıf ya da istatistiksel olarak anlamsız bulunduğu; bu nedenle sanayi-çevre ilişkisinin sektör içi dönüşümler ve teknolojik yapı dikkate alınmadan yorumlanmasının sınırlı kalacağı görülmektedir (Beşer ve Hızarcı Beşer, 2017; Kılavuz ve Doğan, 2021).

Kısa dönem analizlerinde hata düzeltme katsayısının negatif ve istatistiksel olarak anlamlı olması, sistemin uzun dönem dengesine güçlü bir biçimde geri döndüğünü göstermiştir. Bu bulgu, kısa dönem sapmaların uzun dönem denge etrafında zaman içinde düzeldiğini ve enerji-büyüme-çevre ilişkisinin

uzun dönemde dengeye yönelen bir dinamiğe sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuç, EKC çerçevesinde uzun dönem dinamiklerin belirleyici rolünü vurgulayan ampirik literatürle uyumludur.

Genel olarak çalışma sonuçları, Türkiye’de çevresel bozulmanın gelir artışıyla birlikte azalma eğilimine girebileceğini; ancak bu dönüşümün kendiliğinden değil, bilinçli ve eşgüdümlü politika müdahaleleriyle mümkün olabileceğini göstermektedir. Bu yönüyle bulgular, “büyüme arttıkça çevre kendiliğinden iyileşir” varsayımını eleştiren Stern (2017) ve benzeri çalışmaları desteklemektedir. Çevre-ekonomi ilişkisinin yönetimi, yalnızca büyüme hızına değil, büyümenin enerji bileşimine, üretim yapısına ve kurumsal politika çerçevesine odaklanmayı gerektirmektedir.

Bu çerçevede politika düzeyinde öncelikli alanlar; enerji dönüşümünün hızlandırılması yoluyla fosil yakıt bağımlılığının azaltılması, sanayi üretiminde temiz ve enerji-verimli teknolojilerin yaygınlaştırılması, yeşil finansman ve karbon fiyatlama mekanizmalarının etkin biçimde uygulanması ve Türkiye’nin ticaret politikalarının uluslararası iklim rejimleriyle uyumlu hale getirilmesi olarak öne çıkmaktadır. Bu politikaların, Türkiye’nin 2053 net sıfır emisyon hedefiyle tutarlı biçimde hayata geçirilmesi; çevresel kalitenin artırılmasının yanı sıra ekonomik ve sektörel dönüşümün hızlanmasına da katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak bu çalışma, Türkiye örneğinde çevresel bozulma ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin doğrusal olmayan yapısını ampirik olarak ortaya koymaktadır. Çalışma, yeşil dönüşümü doğrudan ölçen bir değişken seti sunmaktan ziyade, EKC bulgularını Türkiye’nin enerji yapısı ve politika çerçevesi bağlamında değerlendirmekte ve çevresel iyileşmenin ancak enerji dönüşümü, yapısal değişim ve etkin politika koordinasyonu ile mümkün olabileceğini göstermektedir. Bu yönüyle çalışma, Türkiye için elde edilen farklı EKC bulgularının yeşil dönüşüm tartışmaları çerçevesinde yeniden yorumlanmasına olanak tanıyan bir tartışma zemini sunmaktadır.

### Kaynakça

- Akbostancı, E., Türüt-Aşık, S., & Tunç, G. İ. (2009). The relationship between income and environment in Turkey: is there an environmental Kuznets curve?. *Energy Policy*, 37(3), 861-867.
- Amundsen, H. and Hermansen, E. A. (2021). Green transformation is a boundary object: An analysis of conceptualisation of transformation in Norwegian primary industries. *Environment and Planning E: Nature and Space*, 4(3), 864-885.
- Ang, J. B. (2007). CO<sub>2</sub> emissions, energy consumption, and output in France. *Energy Policy*, 35(10), 4772-4778.
- Ansari, M. A. (2023). An environmental Kuznets curve for ecological footprint: Evidence from GCC countries. *Carbon Management*, 14(1), 1-15.
- Apergis, N. and Payne, J. E. (2009). CO<sub>2</sub> emissions, energy usage, and output in Central America. *Energy Policy*, 37(8), 3282-3286.
- Arnaut, J., and Lidman, J. (2021). Environmental sustainability and economic growth in Greenland: testing the environmental Kuznets curve. *Sustainability*, 13(3), 1228.
- Beck, U. (1992). *Risk Society: Towards A New Modernity*. London: Sage Publications.
- Beşer, M. K., & Hızarcı Beşer, B. H. (2017). The relationship between energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions and GDP per capita: a revisit of the evidence from Turkey. *Alphanumeric Journal*, 5(3), 353-368.
- Boufateh, T. (2019). The environmental Kuznets curve by considering asymmetric oil price shocks: evidence from the top two. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(1), 706-720.
- Bölük, G., & Mert, M. (2015). The renewable energy, growth and environmental Kuznets curve in Turkey: an ARDL approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 587-595.
- Caporin, M., Cooray, A., Kuziboev, B., & Yusubov, I. (2024). New insights on the environmental Kuznets curve (EKC) for Central Asia. *Empirical Economics*, 66(5), 2335-2354.
- Cole, M. A. (2003). Development, trade, and the environment: How robust is the Environmental Kuznets



- Curve?. *Environment and Development Economics*, 8(4), 557-580.
- Destek, M. A., & Sarkodie, S. A. (2019). Investigation of environmental Kuznets curve for ecological footprint: the role of energy and financial development. *Science of the Total Environment*, 650, 2483-2489.
- Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets curve hypothesis: A survey. *Ecological Economics*, 49(4), 431-455.
- European Commission (EC). (2019). *The European Green Deal (COM(2019) 640 final)*. Brussels: European Commission. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52019DC0640>
- European Commission (EC). (2021). *'Fit for 55': Delivering the EU's 2030 Climate Target on the Way to Climate Neutrality (COM(2021) 550 final)*. Brussels: European Commission. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0550>
- European Commission (EC). (2023). *Regulation (EU) 2023/956 Establishing a Carbon Border Adjustment Mechanism. Official Journal of the European Union, L 130*, 52-104. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32023R0956>
- Ember. (2025). *Türkiye Elektrik Görünümü 2025 [Turkey Electricity Review 2025]*. London: Ember Climate. Retrieved from <https://ember-climate.org>
- Global Carbon Budget. (2024). *Global Carbon Budget 2024*. Retrieved from <https://www.globalcarbonproject.org>
- Grossman, G. M. and Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. *Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353-377.
- Güler, M. ve Dural, B. (2007). Climate change protection and its effect. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 8(2), 410-417.
- Halıcıoğlu, F. (2009). An econometric study of CO2 emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey. *Energy Policy*, 37(3), 1156-1164.
- Harbaugh, W. T., Levinson, A. and Wilson, D. M. (2002). Reexamining the empirical evidence for an environmental Kuznets curve. *Review of Economics and Statistics*, 84(3), 541-551.
- Hobsbawm, E. (2003a). *Sanayi ve İmparatorluk*. Ankara: Dost Kitabevi.
- Hobsbawm, E. (2003b). *Devrim Çağı: 1789-1848*. Ankara: Dost Kitabevi.
- International Energy Agency (IEA). (2021). *Turkey 2021: Energy policy review*. Paris: OECD/IEA. Retrieved from <https://www.iea.org>
- International Energy Agency (IEA). (2024). *Turkey 2024: Energy policy review*. Paris: OECD/IEA. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/>
- Itkonen, J. V. (2012). Problems estimating the carbon Kuznets curve. *Energy*, 39(1), 274-280.
- İklim Değişikliği Başkanlığı. (2025). *Türkiye Emisyon Ticaret Sistemi Yönetmeliği Taslağı*. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.
- Jaforullah, M., & King, A. (2017). The econometric consequences of an energy consumption variable in a model of CO2 emissions. *Energy Economics*, 63, 84-91.
- Kang, Y. Q., Zhao, T., & Yang, Y. Y. (2016). Environmental Kuznets curve for CO2 emissions in China: A spatial panel data approach. *Ecological indicators*, 63, 231-239.
- Kılavuz, E., & Doğan, İ. (2021). Economic growth, openness, industry and CO2 modelling: are regulatory policies important in Turkish economies?. *International Journal of Low-Carbon*

*Technologies*, 16(2), 476-487.

- Koyuncu, T. and Karabulut, G. (2021). Türkiye’de sürdürülebilir kalkınma ve yeşil ekonomi açısından yenilenebilir enerji: ampirik bir çalışma. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 17(2), 466-482.
- Li, R., Wang, Q., & Guo, J. (2024). Revisiting the environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis of carbon emissions: exploring the impact of geopolitical risks, natural resource rents, corrupt governance, and energy intensity. *Journal of Environmental Management*, 351, 119663.
- Lipietz, A. (2013). Fears and hopes: The crisis of the liberal productivist model and its green alternative. *Capital & Class*, 37(1), 127-141.
- McNeill, J. R. (2002). *Dünya Tarihi*. Ankara: İmge Kitabevi.
- Muratoğlu, Y., Songur, M., Uğurlu, E., & Şanlı, D. (2024). *Testing the Environmental Kuznets Curve hypothesis at the sector level: Evidence from PNARDL for OECD countries*. *Frontiers in Energy Research*, 12, 1452906.
- Narayan, P. K., & Narayan, S. (2010). Carbon dioxide emissions and economic growth: Panel data evidence from developing countries. *Energy Policy*, 38(1), 661-666.
- NEF (New Economics Foundation). (2009). *The Great Transition: A Tale Of How It Turned Out Right*. London: New Economics Foundation.
- Nguyen, M. Q., Dimou, M., Vu, T. T. H., Schaffar, A., The, C. P., & Nguyen, N. Q. (2024). Testing the ecological footprint of economic growth in developing countries. The case of Vietnam. *Journal of International Development*, 36(5), 2457-2477.
- Numan, U., Ma, B., Meo, M. S., & Bedru, H. D. (2022). Revisiting the N-shaped environmental Kuznets curve for economic complexity and ecological footprint. *Journal of Cleaner Production*, 365, 132642.
- OECD. (2023). *Green transition indicators 2023*. Paris: OECD Publishing.
- Öztürk, I., & Acaravcı, A. (2010). CO2 emissions, energy consumption and economic growth in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 3220-3225.
- Pata, U. K. (2018). Renewable energy consumption, urbanization, financial development, income and CO2 emissions in Turkey: testing EKC hypothesis with structural breaks. *Journal of cleaner production*, 187, 770-779.
- Perron, P. (1989). The great crash, the oil price shock, and the unit root hypothesis. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 57(6), 1361-1401.
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). *Bounds testing approaches to the analysis of level relationships*. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289-326.
- Pomeranz, K. (2000). *The Great Divergence: China, Europe, And The Making Of The Modern World Economy*. New Jersey: Princeton University Press.
- Republic of Türkiye, Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change. (2021). *Long-term strategy for climate change and Turkey’s net-zero by 2053 target*. Ankara: MoEUCC.
- Republic of Türkiye. (2025). *Türkiye Cumhuriyeti İkinci Ulusal Katkı Beyanı (NDC 3.0) [Türkçe sürüm]*. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, İklim Değişikliği Başkanlığı.
- Sarkodie, S. A., & Strezov, V. (2019). A review on environmental Kuznets curve hypothesis using bibliometric and meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 649, 128-145.
- Schmitz, H. (2015). Green transformation: Is there a fast track? Scoones, I., Leach, M. and Newell, P. (Ed), *The Politics of Green Transformations*, New York, Routledge, 170-181.
- Schneider, P., & Mellon-Bedi, S. (2025). The Environmental Kuznets Curve Revisited: A Spatial Panel Model with Heterogeneous Coefficients. *Energy Economics*, 143, 108237.

- Scoones, I., Newell, P. and Leach, M. (2015). *The Politics Of Green Transformations*. New York: Routledge.
- Selden, T. M. and 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.
- Shahbaz, M., Lean, H. H., & Shabbir, M. S. (2012). Environmental Kuznets curve hypothesis in Pakistan: cointegration and Granger causality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2947-2953.
- Sharif, A., Baris-Tuzemen, O., Uzuner, G., Ozturk, I., & Sinha, A. (2020). Revisiting the role of renewable and non-renewable energy consumption on Turkey's ecological footprint: Evidence from Quantile ARDL approach. *Sustainable cities and society*, 57, 102138.
- Şahin, Ü. (2017). *Sunuş: Yeşil düşünceden yeşil ekonomiye*. Aşıcı, A. A. ve Şahin, Ü. (Ed.) *Yeşil Ekonomi*, İstanbul: Yeni İnsan Yayınevi, 22-34.
- Soytaş, U., & Sarı, R. (2009). Energy consumption, economic growth, and carbon emissions: challenges faced by an EU candidate member. *Ecological Economics*, 68(6), 1667-1675.
- Söderholm, P. (2020). The green economy transition: The challenges of technological change for sustainability. *Sustainable Earth*, 3(1), 6.
- Stern, D. I. (2004). The rise and fall of the environmental Kuznets Curve. *World Development*, 32(8), 1419-1439.
- Stern, D. I. (2017). The environmental Kuznets curve after 25 years. *Journal of Bioeconomics*, 19(1), 7-28.
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, İklim Değişikliği Başkanlığı. (2024). *İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı (2024-2030)*.
- T.C. Ticaret Bakanlığı. (2021). *Yeşil Mutabakat Eylem Planı*.
- Turhan, E., Cerit Mazlum, S., Şahin, Ü., Şorman, A. H., & Cem Gündoğan, A. (2016). Beyond special circumstances: climate change policy in Turkey 1992-2015. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 7(3), 448-460.
- Ullah, A., Dogan, M., Pervaiz, A., Bukhari, A. A. A., Akkus, H. T., & Dogan, H. (2024). The impact of digitalization, technological and financial innovation on environmental quality in OECD countries: Investigation of N-shaped EKC hypothesis. *Technology in Society*, 77, 102484.
- UN (United Nations). (1992a). *Rio Declaration on Environment and Development*. United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, Brazil. Retrieved from [https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A\\_CONF.151\\_26\\_Vol.I\\_Declaration.pdf](https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_CONF.151_26_Vol.I_Declaration.pdf)
- UN (United Nations). (1992b). *Agenda 21: Programme of Action for Sustainable Development*. United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, Brazil. Retrieved from <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>
- UN (United Nations). (1992c). *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)*. Retrieved from <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>
- UN (United Nations). (1992d). *Convention on Biological Diversity*. Retrieved from <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-en.pdf>
- UN (United Nations). (1997). *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Retrieved from <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- UN (United Nations). (2002). *Report of the World Summit on Sustainable Development: Johannesburg, South Africa, 26 August-4 September 2002*. United Nations.

- UN (United Nations). (2012). *The Future We Want: Outcome Document of the United Nations Conference on Sustainable Development (Rio+20)*. United Nations.
- UN (United Nations). (2015a). *Paris Agreement*. United Nations Framework Convention on Climate Change.  
Retrieved from [https://unfccc.int/sites/default/files/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf)
- UN (United Nations). (2015b). *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations General Assembly.  
Retrieved from <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- UNEP (United Nations Environment Programme). (2011). *Towards a green economy: Pathways to sustainable development and poverty eradication*. Nairobi: UNEP.
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). (2001). *Decision 26/CP.7: Capacity building in developing countries*. Retrieved from <https://unfccc.int>
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). (2024). *National inventory reports of Turkey 2024*. Retrieved from <https://unfccc.int>
- Vogelsang, T. J. (1993). *Essays on testing for nonstationarities and structural change in time series models*. Princeton University.
- Vogelsang, T. J. & Perron, P. (1998). Additional tests for a unit root allowing for a break in the trend function at an unknown time. *International Economic Review*, 39(4), 1073-1100.
- Wang, Y., & He, X. (2019). Spatial economic dependency in the Environmental Kuznets Curve of carbon dioxide: The case of China. *Journal of Cleaner Production*, 218, 498-510.
- Wang, Q., Li, Y., & Li, R. (2024). Rethinking the Environmental Kuznets Curve hypothesis across 214 countries. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11(1), 1-19.
- World Bank. (2024). *World Development Indicators 2024*. Washington, DC: World Bank.
- World Bank. (2025). World Development Indicators. <https://databank.worldbank.org> (Erişim Tarihi: 20 Eylül 2025).
- Wrigley, E. A. (2010). *Energy And The English Industrial Revolution*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wu, C., Li, Y. and Qi, L. (2022). Assessing the impact of green transformation on ecological well-being performance: A case study of 78 cities in Western China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(18), 1-19.
- WCED (World Commission on Environment and Development). (1987). *Our common future*. Oxford: Oxford University Press.
- Zola, É. (2011). *Germinal*. İstanbul: Can Yayınları.

**Research Article**

**Yeşil Dönüşüm Bağlamında Türkiye’de Ekonomik Büyüme, Enerji ve Karbon Emisyonları İlişkisi: Çevresel Kuznets Eğrisi Yaklaşımı**

*The Relationship Between Economic Growth, Energy, and Carbon Emissions in Türkiye within the Context of Green Transformation: An Environmental Kuznets Curve Approach*

**Sercan DERELİ**

Dr. Öğr. Üyesi, Hacı Bayram Veli Üniversitesi

İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi

[sercan.dereli@hbv.edu.tr](mailto:sercan.dereli@hbv.edu.tr)

<https://orcid.org/0000-0002-4083-8559>

**Extend Summary**

The relationship between economic growth, energy consumption, and environmental quality has become one of the central debates in contemporary development economics, particularly for countries undergoing structural transformation. In Türkiye’s case, this interaction has gained further importance due to the country’s commitment to global climate governance and its long-term ambition to achieve net-zero emissions by 2053. This study examines the link between economic growth, energy use, industrial structure, and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions in Türkiye over the period 1990-2023, testing the validity of the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis within the broader context of the country’s green transformation agenda. The analysis aims to reveal not only the statistical relationship between the variables but also the structural and policy implications of this interaction for Türkiye’s transition toward a low-carbon development pathway.

The global shift away from fossil-fuel-based growth models has highlighted the need for comprehensive sustainability-oriented development strategies. Türkiye has gradually aligned its policy framework with international climate commitments, becoming a party to the Kyoto Protocol in 2009, ratifying the Paris Agreement in 2021, and announcing a national net-zero objective for 2053. Despite these commitments, the Turkish economy continues to rely heavily on fossil fuels, and the energy intensity of its growth pattern remains high. For this reason, understanding the long-run and short-run dynamics between growth, energy, industrial activity, and emissions is essential for designing realistic and effective green transformation policies.

The empirical analysis employs annual data obtained from the World Bank’s World Development Indicators. Per capita CO<sub>2</sub> emissions constitute the dependent variable, while per capita real GDP, the squared term of GDP, per capita energy consumption, and the share of industry in GDP are included as independent variables. All variables are transformed into natural logarithms to reduce skewness and allow for elasticity-based interpretation of coefficients. The inclusion of the squared income term enables a formal test of the non-linear income-environment relationship posited by the EKC hypothesis.

Methodologically, the study applies the Autoregressive Distributed Lag (ARDL) bounds-testing approach. This method is particularly suitable for analyzing time series with mixed integration orders, provided none of the variables is integrated of order two. Unit root tests (ADF) confirm that all variables are I(1), and the ARDL bounds test indicates a statistically significant long-run cointegration relationship among them. These results justify estimating both long-run coefficients and the associated

short-run dynamics through an error-correction specification.

The long-run findings strongly support the EKC hypothesis for Türkiye. The coefficient on  $\ln GDP$  is positive and statistically significant, whereas the coefficient of  $(\ln GDP)^2$  is negative and significant. This pattern implies that economic growth initially exacerbates environmental degradation but eventually contributes to improvements in environmental quality once a certain income threshold is surpassed. The estimated turning point corresponds to approximately 14,236 USD (2015 constant prices), a level that Türkiye approached toward the end of the sample period. This suggests that the Turkish economy is at a stage where structural reforms and technological upgrading can meaningfully accelerate environmental improvements.

Energy consumption emerges as one of the most influential drivers of CO<sub>2</sub> emissions. A 1% increase in per capita energy use raises emissions by roughly 0.60% in the long run. This finding reflects the persistent dominance of fossil fuels in Türkiye's energy mix—coal and natural gas together account for more than half of total energy supply and a similar share in electricity generation. Such dependence places significant pressure on both the country's environmental performance and its external balance. Therefore, the empirical results underscore the centrality of energy transition—particularly the expansion of renewable energy capacity and improvements in energy efficiency—in Türkiye's broader sustainability agenda.

By contrast, the share of industry in GDP does not exhibit a statistically significant long-run effect on emissions. This outcome is compatible with Türkiye's gradual shift from industry toward services over the past three decades, a transition that has reduced the relative weight of energy-intensive manufacturing. At the same time, the lack of significance may reflect limited technological upgrading in industrial production, meaning that improvements in industrial efficiency have not been substantial enough to produce a measurable environmental effect. These findings point to the need for industrial policies that focus on clean production technologies, digital transformation, and eco-innovation rather than solely on output expansion.

Short-run dynamics are captured through the Error Correction Model (ECM). The error-correction term is negative and highly significant ( $-1.044$ ), indicating a rapid adjustment toward the long-run equilibrium. This suggests that short-term deviations caused by economic or energy-related shocks tend to be corrected quickly, and the system gravitates back to its underlying structural relationship. Such a strong adjustment speed signals that policy interventions affecting the energy-growth-environment nexus can have relatively immediate effects.

Diagnostic tests confirm the robustness of the model: there is no evidence of serial correlation or heteroskedasticity, the residuals are normally distributed, and CUSUM/CUSUMSQ graphs demonstrate parameter stability over time. Together, these results affirm that the ARDL(3,3,0,3,0) specification provides a reliable representation of the underlying relationships.

Overall, the study's findings reveal that Türkiye stands at a critical juncture. While the EKC hypothesis appears valid for the country, suggesting that higher income levels may facilitate environmental improvements, economic growth on its own is insufficient to ensure a sustained reduction in emissions. The long-run impact of energy consumption highlights the structural nature of Türkiye's environmental challenges. Without a determined shift toward renewable energy, improved efficiency, and a cleaner industrial base, the environmental gains implied by the EKC framework will remain limited.

From a policy perspective, the results stress the need for an integrated green transformation agenda: reducing fossil fuel dependency, accelerating the energy transition, reorienting industrial policy toward low-carbon technologies, and developing financial and regulatory mechanisms aligned with the 2053 net-zero vision. Such a strategy would not only support environmental sustainability but also strengthen v's competitiveness in a global economy increasingly shaped by green standards and carbon-related trade regulations. In conclusion, this study demonstrates that Türkiye's growth-energy-environment relationship is structurally intertwined and that meaningful environmental progress hinges on proactive, well-coordinated policies. The empirical evidence offers a solid basis for designing a coherent green transformation strategy capable of reducing emissions while sustaining economic development in the long run.