



Araştırma Makalesi / Research Article

**AVRUPA BİRLİĞİ ÜLKELERİNDE EKONOMİK BÜYÜME VE ÇEVRESEL
BOZULMA İLİŞKİSİ: ÇEVRESEL KUZNETS EĞRİSİ TEMELLİ PANEL VERİ
ANALİZİ**

Erkan AĞASLAN¹

Öz

Küresel düzeyde sürdürülebilir kalkınma tartışmalarının önem kazandığı son yıllarda, ekonomik büyümenin çevresel etkileri akademik gündemin odağında yer almaktadır. Bu bağlamda, çalışma 2004–2024 döneminde Avrupa Birliği (AB) ülkeleri için Dünya Bankası verilerinden yararlanarak ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasındaki dinamik etkileşimi incelemekte; analiz, Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinin teorik temelleri üzerine inşa edilmektedir. Çalışmada milli gelir büyümesi, milli gelir büyümesinin karesi, enerji tüketimi, ticaret açıklığı, karbondioksit (CO₂) emisyonları ve doğrudan yabancı yatırımlardan oluşan temel makroekonomik değişkenleri içeren bir panel veri yapısı kullanılmıştır. AB ülkeleri arasında gözlenen güçlü ekonomik ve çevresel etkileşimler nedeniyle, analizde yatay kesit bağımlılığı dikkate alan ve daha sağlam standart hatalar sağlayan Driscoll–Kraay tahmincisi kullanılmıştır. Bulgular, GDPG katsayısının pozitif, GDPG² katsayısının negatif ve istatistiksel olarak anlamlı olmasıyla, CO₂ emisyonları üzerinde ÇKE'nin öngördüğü ters-U biçimli ilişkinin geçerli olduğunu göstermektedir. Ayrıca enerji tüketimi ve dışa açıklık CO₂ emisyonlarını artırıcı ve anlamlı etkilere sahipken, FDI değişkeni istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Sonuçlar, AB'de sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için enerji verimliliğinin yükseltilmesi, yenilenebilir kaynakların teşviki ve ticarete çevresel standartların güçlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ekonomik büyüme, Karbon emisyonu, Panel veri analizi, Kuznets eğrisi, Driscoll-Kraay yöntemi

Jel Kodu: O44, Q56, F43, C33

**THE RELATIONSHIP BETWEEN ECONOMIC GROWTH AND ENVIRONMENTAL
DEGRADATION IN EUROPEAN UNION COUNTRIES: A PANEL DATA ANALYSIS
BASED ON THE ENVIRONMENTAL KUZNETS CURVE**

Abstract

In recent years, as discussions on sustainable development have gained importance at the global level, the environmental impacts of economic growth have been at the center of the academic agenda. In this context, the study examines the dynamic interaction between economic growth and environmental degradation for European Union (EU) countries during the period 2004–2024, using World Bank data; the analysis is built on the theoretical foundations of the Environmental Kuznets Curve hypothesis. Due to the strong economic and environmental interactions observed among EU countries, the Driscoll–Kraay estimator, which accounts for cross-sectional dependence and provides more robust standard errors, was used in the analysis. The findings indicate that the inverse-U-shaped relationship predicted by the CGE model on CO₂ emissions is valid, with the GDPG coefficient being positive, the GDPG² coefficient being negative, and both statistically significant. Furthermore, while energy consumption and openness to trade have significant and increasing effects on CO₂ emissions, the FDI variable was found to be statistically insignificant. The results indicate that in order to achieve sustainable development goals in the EU, it is necessary to improve energy efficiency, promote renewable sources, and strengthen environmental standards in trade.

Keywords: Economic growth, carbon emissions, panel data analysis, Driscoll-Kraay method

Jel Codes: O44, Q56, F43, C33

¹ Dr.Öğr.Üyesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, İİBF, erkan.agaslan@dpu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8118-7222
Başvuru Tarihi (Received): 01.08.2025 **Kabul Tarihi** (Accepted): 25.10.2025

Giriş

Son yıllarda artan küresel ısınma ve ozon tabakasının gördüğü zarar neticesinde sürdürülebilir ekosistem bağlamında ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasındaki ilişki akademik literatürde yoğun biçimde tartışılan konular arasında yer almıştır (Pablo-Romero ve De Jesús, 2016, s. 1343). Sanayileşmenin tarihçesi incelendiğinde, fosil yakıtlar olan petrol ve türevleri, doğal gaz ve kömür kullanımı ile ekonomik büyümenin hızlandığı; ancak buna paralel olarak çevresel sorunların, özellikle de sera gazı emisyonlarının ve hava kirliliğinin ciddi boyutlara ulaştığı görülmektedir. Erken dönem endüstriler enerjiyi oldukça verimsiz kullanmıştır. Enerji tüketimine paralel şekilde artan atık ve kirlletici maddelerin kontrolsüz emisyonu ise ciddi iklim değişikliği ve çevre kirliliği sorunlarına yol açmıştır.

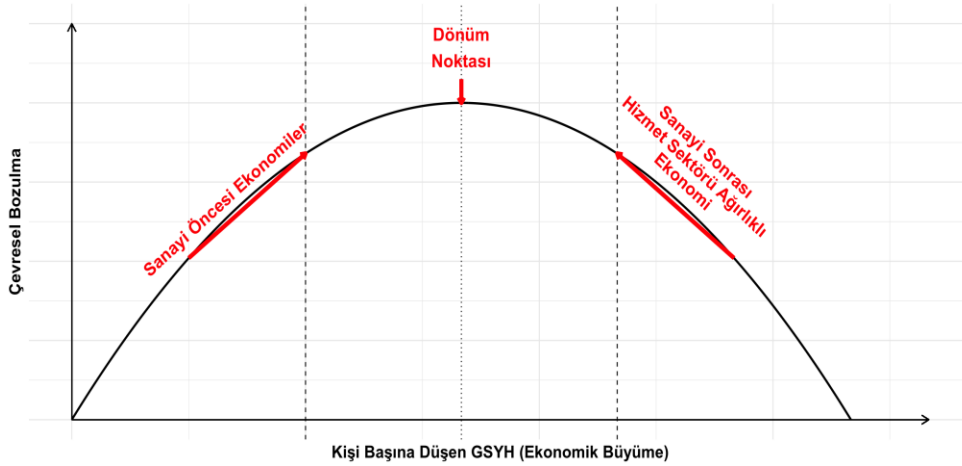
Geçmişte ekonomik büyümenin genellikle aşırı enerji tüketimi ve daha fazla kirlilik yaratan endüstrilere dayandığı düşünülmektedir. Çevre kirliliği, ekonomik büyümenin bir yan ürünü olarak kabul edilmiştir. Uzun vadede, dünya çapında ekonominin büyüklüğü sürekli olarak artmaya devam ederken bu sürekli ekonomik büyümenin çevreye daha fazla zarar verip vermediği en sık tartışılacak konulardan biri olmaktadır. Bu ikilem birçok araştırmacının da ilgisini çekmiştir (Guo ve Shahbaz, 2024, s. 1). Khanna ve diğerleri (2021) meta analizi ile gerçekleştirdikleri çalışmalarında 2021 yılında toplam 122 çalışmayla bu ilişkiyi ampirik olarak desteklemişlerdir.

Milli gelir artışının enerji tüketimiyle kurduğu dinamik ilişki, iklim krizinin ağır sonuçlarıyla karşı karşıya olduğumuz günümüzde sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmanın temel taşlarından biridir. GSYİH büyümesi ile enerji tüketimi arasındaki ilişki, sürdürülebilir kalkınmayı teşvik edecek etkili bir enerji ve çevre politikası tasarlamak için önem arz etmektedir (Menegaki, 2014, s. 31)

Bu konu özelinde yapılan birçok ampirik çalışma, genellikle kişi başına düşen gelirle temsil edilen ekonomik faaliyet düzeyi ile çevresel kalite arasında ters-U şeklinde bir ilişki olduğunu öne sürmektedir (Kuznets, 1955; Sterpu vd., 2018; Altıntaş ve Kassauri, 2020; Frodyma vd., 2022; Voumik vd., 2022; Mohammed vd., 2024). Başka bir ifadeyle, ekonomik büyümenin ilk evrelerinde gelir artışı çevresel tahribatı artırmakta, ancak gelir belirli bir eşiği (dönüm noktası) aştıktan sonra çevresel bozulma azalma eğilimine girmektedir. Çevre sorunlarının artan yoğunluğu nedeniyle, Kuznets'in ünlü eğrisi 1990'larda gelir düzeyi ve çevre kalitesi arasındaki ilişkiyi tanımlamak üzere yeniden kurgulanmıştır (Zaman vd., 2016, s. 275). Ekonomik büyümenin itici gücü olan enerji talebinin kontrolsüz yükselişi, doğal kaynakların tükenmesine ve karbon salınımının hızla artmasına yol açarken, dengeli bir enerji politikasının yokluğu hem çevresel hem de sosyal açıdan geri dönülemez zararlar doğurmaktadır. Bu nedenle, enerji verimliliğini artıran, yenilenebilir kaynakları teşvik eden ve tüketici davranışlarını yönlendiren politikalar kritik önemdedir.

Grafik 1 Çevresel Kuznets eğrisinin grafiksel gösterimini temsil etmektedir. Ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasındaki teorik ilişkiyi görsel olarak ortaya koymaktadır. Çevresel Kuznets Eğrisi'ne göre, gelir düzeyi arttıkça çevre kirliliği başlangıçta yükselmekte, ancak belirli bir eşiğin aşılmasından sonra düşüş eğilimine girmektedir. Bu eğri matematiksel fonksiyonu itibarı ile dış bükey (konkav) bir eğri şeklinde çizilmektedir. Bu ters-U biçimli yapı, sanayileşmenin erken dönemlerinde artan çevresel baskının, teknolojik yenilikler ve çevre politikalarının etkisiyle zamanla azaldığını göstermektedir. Genel hatları itibarı ile eğri, ekonomik kalkınmanın çevresel etkilerinin doğrusal olmadığını ve sürdürülebilir büyüme politikalarının önemini görsel olarak daha açık bir şekilde ortaya koymaya yardımcı olmaktadır. Dolayısıyla grafik, çalışmanın temelini oluşturan Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinin özünü kavramsal olarak özetlemektedir.

Grafik 1: Çevresel Kuznets Eğrisi.



Kaynak: (Grossman ve Krueger, 1995) çalışmasından alınarak yazar tarafından R Programı ile yeniden oluşturulmuştur.

Grafik 1'de görüleceği üzere, kişi başına düşen milli gelir (ekonomik büyüme) arttıkça çevresel bozulma ters-U biçiminde evrilmektedir: Düşük gelir düzeylerinde (sanayi öncesi ekonomiler) ekonomik faaliyetlerin genişlemesi çevresel bozulmayı hızlandırırken, belirli bir eşik değerine ulaşıldığında (dönüm noktası) gelişmiş temizleme teknolojileri ve sıkı çevre politikaları ile bozulma azalmaya başlamaktadır (sanayi sonrası, hizmet sektörü ağırlıklı ekonomi). Bununla birlikte, çevresel Kuznets eğrisinin geçerliliği her çevresel gösterge için aynı değildir: çoğu çalışmada ters-U ilişkisi yerel hava kirleticileri (SO₂, toz vb.), ormansızlaşma ya da inşaat atıkları gibi belirli bağlamlarda güçlü biçimde desteklenirken, küresel boyutta CO₂ emisyonları veya su kirliliği gibi diğer göstergelerde tutarlı bir düşüş izlenmemektedir. Diğer bir ifade ile ekonomik büyüme ve çevresel bozulma arasındaki ters-U eğrisi yalnızca “kirlenme tipi”, “ülkenin gelişmişlik düzeyi” ve benimsenen “temiz teknoloji önlemleri” gibi koşullar sağlandığında gözlemlenmekte, tüm kirleticiler ve her coğrafi bağlam için otomatik bir genelleme olarak geçerli olmamaktadır (Bao ve Lu, 2023; Caravaggio, 2020; Cole vd., 1997). Global çapta yapılan çalışmalarda çevresel bozulmanın azalmaya başladığı “dönüm noktasının” kişi başına düşen gelir eşiği, kirletici türüne, ülkenin gelir grubuna ve uygulanan yonteme göre önemli ölçüde farklılaşmaktadır. Caravaggio tarafından (2020) 114 ülkeyi kapsayan bir ormansızlaşma çalışmasında, düşük ve orta gelirli ülke gruplarında bozulma artış hızı 3 790 USD gelir düzeyinde azalmaya başlamaktadır. Atmosferik kirleticiler ve özellikle SO₂ gibi yerel hava kirleticileri üzerine yapılan meta-analizde ise (Sarkodie ve Strezov, 2019) ortalama dönüm noktası yıllık gelir düzeyi 8910 USD olarak hesaplanmıştır. Karbon emisyonları bağlamında, 208 ülkeyi kapsayan bir çalışmada ise (Wang vd., 2023a) ters-U eğrisinin tepe noktası kişi başına 19203 USD olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, çevresel Kuznets eğrisi hipotezinin genel bir taslak sunduğunu; ancak “azalma” eşiğinin hangi gelir düzeyinde gerçekleşeceğinin çalışmanın mevzuatına, veri setine ve incelenen kirleticiye göre büyük ölçüde değiştiğini göstermektedir. Son araştırmalar, yenilenebilir enerji tüketimi, ticaret açıklığı ve insan sermayesinin çevresel Kuznets eğrisinin tepe noktasını aşağı çekmekte ve çevresel zararları azaltmada kritik roller oynadığını ortaya koymaktadır. Ayırtıcı analizler, yenilenebilir enerji tüketiminin çevresel Kuznets eğrisinin dönüş noktasından önce karbon emisyonlarını daha etkin biçimde azaltırken; insan sermayesinin dönüş noktasından sonra emisyon azaltımında daha güçlü bir etki ortaya koyduğunu; ticaret açıklığının ise yalnızca dönüş noktasını geçmiş ülkelerde karbon emisyonlarını düşürücü bir etki sergilediğini göstermektedir (Allard vd., 2018; Fakher vd., 2023; Leal ve Marques, 2022).

1. Literatür Taraması

Arı ve Zeren (2011) çalışmalarında Akdeniz bölgesinden 17 ülkeyi kapsayan 2000–2005 dönemi panel veri çalışmasında, kişi başına gelir ile karbon emisyonları arasındaki ilişkiler Çevresel Kuznets Eğrisi bağlamında analiz edilmiştir. Sonuçlara göre emisyon-gelir ilişkisi N-şekilli olup, yüksek gelir düzeylerinde emisyonların yine artabildiği gözlenmiştir. Ayrıca nüfus yoğunluğu ve enerji tüketiminin CO₂ emisyonları üzerinde anlamlı ve pozitif etkileri tespit edilmiştir.

Gülmez (2015) çalışmasında 24 OECD ülkesinde 2000–2012 dönemi için ekonomik büyüme ile hava kirliliği arasındaki uzun dönemli ilişkiyi Pedroni panel eşbütünleşme, FMOLS, DOLS ve Dumitrescu–Hurlin panel Granger nedensellik yöntemleriyle incelemektedir. Pedroni eşbütünleşme testleri, büyüme ve hava kirliliği değişkenlerinin uzun dönemde eşbütünleşik olduğunu; Panel FMOLS’e göre %1’lik büyüme artışının hava kirliliğini %2,9, Panel DOLS’a göre ise %3,91 artırdığını ortaya koymuştur. Nedensellik analizleri ise tek yönlü olarak ekonomik büyümeden hava kirliliğine doğru bir ilişki tespit etmiştir.

Long vd (2015) çalışmalarında 1952–2012 dönemini kapsayan Çin verisinde eşbütünleşme, Granger nedensellik, statik–dinamik regresyon ve etki tepki fonksiyonlarıyla analiz gerçekleştirmişlerdir. Kömürün hem ekonomik büyüme hem de CO₂ emisyonları üzerindeki baskın etkisi vurgularlarken; ayrıca GSYH ile CO₂, kömür, gaz ve elektrik tüketimi arasında çift yönlü ilişkiler bulmuşlardır. Sonuçlar, Çin’in enerji yapısını değiştirmesi; kömür oranını düşürüp hidro ve nükleer kapasiteyi artırması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Narayan vd (2016) çalışmalarında 81 ülkeyi kapsayan bir panelde ekonomik büyüme ile CO₂ emisyonları arasındaki dinamik ilişkiyi çapraz-korelasyon tahminleriyle incelemişlerdir. Yazarlar, gelirin mevcut seviyesi ile geçmiş emisyonlar arasında pozitif; gelirin mevcut seviyesi ile gelecek emisyonlar arasında negatif korelasyon arayarak EKC hipotezini test etmişlerdir. Bulgular, ülkelerin %12’sinde klasik ters-U (EKC) deseninin, %27’sinde ise artan gelirle gelecek emisyonların azalacağını açık işaretlerini ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, büyümenin uzun vadede emisyonları düşürebileceğini göstermektedir.

Başar ve Şaşmaz, (2016) çalışmalarında 1996–2011 dönemi için beş Nordik/Baltık ülkesinde uygulanan karbon vergisi politikasının etkileri Dumitrescu–Hurlin panel nedensellik testiyle araştırılmıştır. Bulgular, ekonomik büyümeden CO₂ emisyonlarına doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu; büyüme arttıkça emisyonların da artma eğiliminde bulunduğu sonucuna işaret etmiştir. Karbon vergisinin bu ilişkiyi zayıflatıp zayıflatmadığı derinlemesine incelenmemekle birlikte, çalışmanın odak noktası büyüme–emisyon etkileşiminin net biçimde varlığıdır. Bu, vergi politikalarının tasarımında büyüme dinamiklerinin göz ardı edilmemesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Mirza ve Kanwal (2017) çalışmalarında Pakistan verileri olan 1971–2014 aralığında Johansen eşbütünleşme, ARDL sınır testi ve VECM çerçevesinde kısa dönem, uzun dönem ve Granger nedensellik analizleri gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar, enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve CO₂ emisyonları arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi olduğunu göstermektedir. Politika önerisi olarak, Pakistan’ın enerji arz güvenliğini sağlarken yenilenebilir payı artırması ve emisyon azaltıcı önlemleri enerji politikalarının merkezine koyması vurgulanmıştır.

Şimşek ve Yiğit (2017) çalışmalarında 1990–2015 dönemi için BRİCT ülkelerinde nüfus, coğrafi alan, piyasa büyüklüğü ve büyüme hızı açısından benzerlik gösteren ülkelerde yenilenebilir enerji tüketimi, petrol fiyatları, kentleşme ve CO₂ emisyonlarının panel VAR çerçevesinde etkileşimleri Dumitrescu–Hurlin panel nedensellik testiyle analiz etmişlerdir. Sonuçlar, GSYH’den kentleşme, yenilenebilir enerji, petrol fiyatları ve karbon emisyonlarına doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi ortaya koymaktadır. Bu bulgu, büyüme politikalarının çevre ve enerji göstergeleri üzerindeki belirgin etkisini vurgulamaktadır.

Pala, (2018) çalışmasında 22 gelişmekte olan ülkenin 1990–2014 dönemi verileriyle ARDL yöntemi kullanılarak kısa ve uzun dönem nedensellik analizleri gerçekleştirmiştir. Uzun dönem sonuçları, Kazakistan, Makedonya ve Güney Afrika’da enerji tüketiminin büyümeyi pozitif etkilediğini, Brezilya, İran, Ürdün, Malezya, Peru, Romanya, Tayland ve Tunus’ta ise karbon emisyonlarının büyümeyi olumsuz etkilediğini göstermiştir. Finansal gelişmişlik (özel sektör kredileri/GSYH) Azerbaycan, İran, Kazakistan, Romanya ve Güney Afrika’da büyümeyi desteklerken, Karbon–büyüme ilişkisinin bazı ülkelerde negatif ve bazı ülkelerde pozitif yönlü olduğu tespit edilmiştir. Granger nedensellik testleri, farklı ülkelerde “büyüme”, “koruma”, “geri besleme” ve “tarafsızlık” hipotezlerinin geçerli olduğunu ortaya koyarak politika uyumunun ulusal bağlama bağlı olduğunu göstermiştir.

Yao vd., 2019 (2019) çalışmalarında 1990–2014 dönemi için 17 ülke ve altı coğrafi bölgeyi kapsayan panel veride, yenilenebilir enerji tüketim oranı (RER) ile çevresel Kuznets eğrisi ilişkisini eşbütünleşme ve FMOLS/DOLS yöntemleriyle analiz etmişlerdir. RER ile ekonomik büyüme arasında ters-U biçimli bir “Yenilenebilir Enerji Kuznets Eğrisi” (RKC) hipotezi önermektedir; bulgular hem RKC’yi hem de klasik EKC’yi doğrulamaktadır. Ampirik olarak, %10’luk RER artışının %1,6’lık CO₂ düşüşüne yol açtığı; RKC dönüm noktasının EKC’ninkinden önce gerçekleştiği saptamışlardır. Bu, yenilenebilir enerjinin erken teşvikiyle karbon emisyonlarını daha hızlı düşürebileceğimizi göstermektedir.

Batmaz vd (2019) çalışmalarında 1985–2014 dönemi Türkiye verileriyle yenilenebilir enerji kullanımını konu alan (2019) çalışmalarında, ekonomik büyüme ve karbon emisyonları arasındaki uzun dönem ilişkileri eşbütünleşme ve Granger nedensellik testleri ile analiz etmeyi amaçlamıştır. Ampirik sonuçlar; karbon emisyonu ile büyüme arasında doğrusal bir ilişki olmadığını, ancak doğrusal olmayan (nonlinear) uzun dönemli pozitif bir ilişki tespit edildiğini göstermektedir.

Özdemir ve Koç (2020) çalışmalarında kişi başına CO₂ emisyonu, reel GSYH, enerji ve yenilenebilir enerji kullanımı ile ticaret açıklığı değişkenleri kullanılarak, Türkiye’de çevresel Kuznets eğrisi hipotezi ARDL sınır testiyle sınanmıştır. Ampirik bulgular, emisyon ile gelir arasında N-şeklinde (küçükten büyüğe dönüm noktasıyla) bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur.

Atgür (2021) çalışmasında 1971–2014 dönemi Çin verileriyle yapılan Johansen eşbütünleşme tekniği kullanarak, OLS tahmini ve ECM–Granger testleri uygulanmıştır. Johansen ve OLS sonuçları, büyüme ve enerji tüketiminin karbon emisyonları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkileri olduğunu gösterirken, ECM–Granger nedensellik sonuçları istatistiksel anlamlılık sağlamamıştır. Bu, enerji–büyüme–emisyon ilişkisinin uzun dönemli bağlamda daha belirgin olduğunu, kısa dönemdeki etkileşimlerin ise karmaşık olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışma, Çin özelinde sürdürülebilir büyüme stratejilerinin gerekliliğine dikkat çekmektedir.

Destek vd. (2020) çalışmalarında 1990–2018 dönemi Almanya verileri kullanılarak karbon emisyon yoğunluğu endeksi, kişi başına elektrik tüketimi ve kişi başına GSYİH arasındaki ilişki VAR modelleri, Granger ve Toda–Yamamoto nedensellik analizleriyle incelemişlerdir. Ampirik bulgular, elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki sıkı etkileşimin yanı sıra, bu değişkenlerin karbon emisyonları üzerinde de anlamlı bir nedensellik ilişkisi olduğunu göstermektedir. Uzun dönemde yapılan analizler, enerji kullanımı ve büyüme dinamiklerinin çevresel etkiyle birlikte ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Kazanasma vd. (2023) çalışmalarında 1967–2017 yıllarını kapsayan veriler yardımıyla elektrik tüketimi, kişi başına GSYH ve CO₂ emisyonları arasındaki kısa ve uzun dönem dinamikler VECM, Johansen eşbütünleşme ve Granger nedensellik testleriyle incelenmiştir. Uzun dönemde elektrik tüketiminin büyümeyi pozitif, karbondioksit emisyonunun ise negatif yönde etkilediği belirlenmiştir. Granger nedensellik sonuçları, elektrik tüketiminden hem ekonomik büyümeye hem de CO₂ emisyonlarına tek yönlü nedensellik işaret etmektedir.

Şahin ve Ünal (2023) çalışmalarında 1990–2020 dönemi Türkiye verileri kullanarak karbon emisyonu, ekonomik büyüme ve finansal gelişme arasındaki ilişkiyi incelemek istemişlerdir. Gregory–Hansen eşbütünleşme testi ve Hacker–Hatemi-J bootstrap nedensellik analiziyle kullandıkları çalışmalarında, eşbütünleşme sonuçları, değişkenlerin uzun dönemde ilişkili olduğunu gösterirken; bootstrap nedensellik analizleri karbon emisyonunun makroekonomik ve finansal gelişme üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığını ortaya koymuştur. Bu sonuç, Türkiye özelinde CO₂ emisyonlarının ne büyüme ne de finansal gelişme tarafından belirgin şekilde yönlendirilmediğini göstermektedir.

Benli (2024) 1974–2014 dönemi verileri kullanılarak geliştirdiği çalışmasında döngüsüz graflar analizi ile doğrudan yabancı yatırımların (FDI) karbon emisyonları üzerine dolaylı etkilerini ve ekonomik büyümeyle ilişkisini ortaya koymayı hedeflemiştir. Analiz, FDI’nin doğrudan değil, dış ticaret aracılığıyla karbon emisyonlarını tetiklediğini; ayrıca karbon emisyonları ile enerji tüketiminin ekonomik büyümeyi izlediğini göstermektedir. Sonuçta kirliliğin enerji tüketiminin de belirleyicisi olduğunu ve bu etki örgüsünün politika tasarımında dikkate alınması gerektiğini işaret etmektedir.

Literatürde genel olarak ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasındaki ilişki farklı ülke grupları, dönemler ve yöntemler kullanılarak geniş biçimde incelenmiştir. Çalışmaların bir kısmı OECD, AB, gelişmekte olan ülkeler ve Asya ekonomileri gibi farklı ülke örneklerine odaklanırken, kullanılan veri aralıkları 1950’lerden başlayarak 2020’lere kadar uzanmakta ve hem kısa dönemli hem de uzun dönemli panelleri kapsamaktadır. Yöntemsel açıdan panel eşbütünleşme testleri, FMOLS ve DOLS tahmincileri, ARDL, VECM, panel VAR, Granger nedensellik, etki-tepki fonksiyonları ve çapraz-korelasyon tahminleri sıklıkla tercih edilmiştir. Bulguların önemli bir kısmı Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezini destekleyen ters-U ilişkisine işaret ederken, bazı çalışmalarda N-şekilli veya doğrusal olmayan farklı desenler de gözlenmiştir. Ayrıca enerji tüketimi ve nüfus yoğunluğunun emisyonları artırıcı etkisi güçlü biçimde teyit edilirken, yenilenebilir enerji kullanımının azaltıcı rolü öne çıkmış, dışa açıklık ve doğrudan yabancı yatırımların etkileri ise bağlama göre değişkenlik göstermiştir. Genel olarak literatür, EKC hipotezinin belirli koşullar altında geçerlilik kazandığını, ancak her ülke ve kirlletici türü için evrensel bir yasa olarak kabul edilemeyeceğini ortaya koymaktadır.

Literatürde çevresel Kuznets eğrisi (ÇKE) üzerine pek çok çalışma yapılmış olsa da özellikle Avrupa Birliği ülkeleri için 2004–2024 dönemini kapsayan güncel ve uzun soluklu bir panel veri analizi eksikliği göze çarpmaktadır. Daha önceki araştırmalar çoğunlukla kişi başına düşen gelir düzeyine odaklanmış, milli gelir büyüme oranı ve karesini dikkate alan bir modelleme ise sınırlı kalmıştır. Ayrıca, enerji tüketimi, dışa açıklık ve doğrudan yabancı yatırımların birlikte ele alındığı çalışmalar da oldukça sınırlıdır. Bir diğer eksiklik, AB ülkeleri arasındaki güçlü ekonomik ve çevresel etkileşimlerden kaynaklanan yatay kesit bağımlılığının ihmal edilmesidir. Oysa bu durum dikkate alınmadığında, parametre tahminleri yanlı ve standart hatalar sapmalı olabilmektedir. Bu çalışma, söz konusu boşlukları gidermek amacıyla, Driscoll–Kraay sağlam standart hatalarını ve hem birinci hem de ikinci nesil birim kök testlerini kullanarak, ÇKE hipotezini güncel dönem, geniş değişken seti ve metodolojik açıdan daha sağlam bir çerçevede sınamaktadır.

2. Veri Seti, Yöntem ve Bulgular

Bu çalışmanın temel amacı, Avrupa Birliği ülkelerinde ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezi çerçevesinde panel veri analizi ile incelemektir. Bu doğrultuda, yatay kesit bağımlılığı test edilmiş ve yatay kesit bağımlılığının olması durumunda dikkate alan yöntemler kullanılarak model tahmin edilmiştir.

Çalışma Avrupa Birliği üyesi olan Almanya, Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Çekya, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Hırvatistan, Hollanda, İrlanda, İspanya, İsveç, İtalya, Kıbrıs, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Macaristan, Malta, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovakya,

Slovenya, Yunanistan ülkelerini kapsamaktadır. Dünya Bankası üzerinden temin edilen 2004 – 2024 dönemine ilişkin enerji kullanımı, açıklık ([ithalat + ihracat] / GDP), milli gelir büyümesi, karbon dioksit emisyonu, işsizlik ve doğrudan yabancı yatırımlar değişkenleri yer almaktadır. Modelin tahmininde literatürde de sıklıkla kullanılan (Colther ve Doussoulin, 2024; Jamel ve Maktouf, 2017; Jiang vd., 2019; Li vd., 2023; Lu vd., 2022a, 2022b; Maku ve Ikpuri, 2020; Siqin vd., 2021; T. Wang ve Henderson, 2022; Wu vd., 2025) Cobb Douglas üretim fonksiyonunun matematiksel yapısından faydalanılmıştır.

$$Y = f(A, K, L) \rightarrow Y = AK^{\alpha}L^{\beta} \quad (1)$$

burada Y toplam çıktıyı, A toplam faktör verimliliğini, K sermaye girdisini, L emek girdisini ve α ve β sırasıyla sermaye ve emeğin çıktı esnekliklerini temsil eder. Logaritmik dönüşüm oransal olmayan değişkenlerin daha varyanslarının daha kararlı ve stabil olmalarını sağlar (Türe ve Akdi, 2006). Bu nedenle oransal olmayan değişkenlerin logaritmaları alınmıştır. Ekonometrik metodoloji gereği verinin hem zaman boyutunun hem de birim boyutunun varlığı panel veri analizi yöntemlerinin kullanılmasını gerektirmektedir. Bu parametreler, mevcut teknolojiden etkilenen sabitlerdir. Model genel olarak;

$$CO_{2it} = \alpha_i + \beta_1 GDPG_{it} + \beta_2 GDPG_{it}^2 + \beta_3 OPENNESS_{it} + \beta_4 EC_{it} + \beta_5 FDI_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada GDPG milli gelir büyümesini, $GDPG^2$ milli gelir büyümesinin karesini, OPENNES dışa açıklık oranını, EC enerji tüketimini ve FDI doğrudan yabancı yatırımları ifade eden bağımsız değişkenler iken CO_2 kişi başına karbon dioksit emisyonunu, α_i ülkeye özgü sabit etkiyi ve ε ise hata terimini ifade etmektedir.

Panel veri analizinde analize başlamadan önce ilk dikkat edilmesi gereken nokta yatay kesit bağımlılığıdır. Yatay kesit bağımlılığı, mekansal veya yayılma etkileri nedeniyle ortaya çıkabilir veya gözlemlenmeyen (veya gözlemlenemeyen) ortak faktörlerden kaynaklanabilir (Baltagi ve Hashem Pesaran, 2007). Yatay kesit bağımlılığı ihmal edildiğinde birimler arası ortak şoklar ve/veya ortak süreçlerin ihmal edilmesi sonucu parametre sonuçları yanıltıcı ve parametrelere ilişkin standart hatalar sapmalı olarak elde edilebilir. Rassal etkiler ve sabit etkiler modellerinin tahmin sonuçlarının güvenilirliği zayıflamaktadır (Pesaran, 2006). Bu durumda yatay kesit bağımlılığının çalışmaya başlanılmadan önce test edilmesi gerekir.

Çalışmada kullanılan verilerin öncelikle durağan olup olmadıklarının incelenmesi gerekmektedir. Ancak bu testler de yatay kesit bağımlılığın olup olmadığı serileri uygulanması bakımından kategorilere ayrılmaktadır. Yatay kesit bağımlılığı dikkate almayan geleneksel birim kök sınamaları birinci nesil birim kök sınamaları olarak ifade edilirken ikinci nesil panel birim kök testleri, panel veri setlerinde yatay kesit bağımlılığını dikkate alarak daha güvenilir sonuçlar elde etmeyi amaçlar. Bu kapsamda, Phillips ve Sul, (2003) artık faktör modellerine dayalı bir yapı önererek ortak faktörlerin etkisini ortogonalizasyon (korelasyonsuzlaştırma) yoluyla asimptotik olarak ortadan kaldırmayı amaçlamışlardır. Moon ve Perron (2004) ise, ortak faktörlerden arındırılmış gözlemler üzerinden bir panel birim kök testi geliştirerek faktör yüklerini temel bileşenler analizi (PCA) ile tahmin etmiş ve özellikle modelde deterministik trendler bulunmadığında testin yüksek asimptotik güce sahip olduğunu göstermiştir. Bai ve Ng (2004) ise daha genel bir çerçevede, hem ortak faktörlerin hem de bireysel serilerin birim kök ve eşbütünleşme özelliklerini dikkate alarak modelin ilk farklarını kullanarak ortak faktörlerin dinamik yapısını da modellemişlerdir. Bu çalışmalar, panel veri setlerinde yaygın olan yatay kesit bağımlılığı sorununu istatistiksel olarak ele alan ve literatürde “ikinci nesil” birim kök testleri olarak sınıflandırılan yöntemlerin temelini oluşturmaktadır. (Breitung ve Pesaran, 2007; Choi, 2006). Çalışmada öncelikle Pesaran CD yatay kesit bağlanım testine (Pesaran, 2004) ilişkin hipotezler verilmiştir.

H_0 : Yatay kesit bağılanımı yoktur.

H_1 : Yatay kesit bağılanımı vardır.

Çalışmada yatay kesit bağımlılığını test etmek için Pesaran (2004) CD testi tercih edilmiştir. Bunun temel nedeni, panel veri setlerinde özellikle ülkeler arası güçlü ekonomik ve çevresel etkileşimler söz konusu olduğunda, hata terimleri arasında korelasyon bulunma olasılığının yüksek olmasıdır. Geleneksel testler bu bağımlılığı dikkate almadığından yanlış sonuçlara yol açabilmektedir. Pesaran CD testi ise hem küçük T–büyük N hem de büyük T–büyük N paneller için uygulanabilir olması, ayrıca modeldeki artıklar üzerinden doğrudan ortalama korelasyon katsayılarını kullanarak yatay kesit bağımlılığını etkin biçimde ölçmesi nedeniyle literatürde yaygın kabul görmüş ve güvenilir bir yöntemdir. Bu yönüyle testin uygulanması, çalışmada kullanılan ekonometrik tahminlerin sağlamlığını artırmakta ve elde edilen bulguların güvenilirliğini desteklemektedir. Testin matematiksel ifadesi denklem (1)’de verilmektedir.

$$CD = \sqrt{\left(\frac{2}{N(N-1)}\right) \left(\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \sqrt{T_{ij}} \hat{\rho}_{ij}\right)} \quad (3)$$

Burada CD test istatistiğini, phata terimleri arasındaki korelasyonu, N paneldeki birim sayısını ve T zaman dönemi sayısını ifade etmektedir.

Pesaran CD test sonuçlarına ilişkin sonuçlar tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: Pesaran Yatay Kesit Bağılanım Testi Sonuçları

Değişken	Test İstatistiği	p değeri
GDPG	72,7053	0,0000
GDPG ²	61,2397	0,0000
CO ₂	0,6251	0,5319*
EC	53,5606	0,0000
OPENNESS	31,6426	0,0000
FDI	0,3187	0,7500*

* 0.05 anlamlılık düzeyinde yatay kesit bağılanım olmadığına ilişkin yokluk hipotezi reddedilememiştir.

Tablo 1 sonuçlarına göre GDPG, EC ve OPENNESS değişkenlerine ilişkin ikinci nesil birim kök testleri uygulanması gerekirken EC ve FDI değişkenlerine ilişkin birinci nesil birim kök testleri uygulanması gerekmektedir. Çalışmada birinci nesil birim kök testi olarak IPS testi (Im vd., 2003) ikinci nesil birim kök testi olarak ise CIPS testi (Pesaran, 2007) uygulanmıştır.

CIPS testinin matematiksel ifadesi denklem (2)’de verilmiştir.

$$\Delta y_{it} = \alpha_i + \rho_i y_{i,t-1} + c_i \bar{y}_{t-1} + d_i \Delta \bar{y}_t + v_{it} \quad (4)$$

Denklem (4)’te yer alan Δy_{it} birim i’nin (ülke, firma vb.) t dönemindeki bağımlı değişkeninin birinci farkını, α_i birime özgü sabit terimi (heterojen sabit), ρ_i gecikmeli düzey değişkeninin katsayısını (birim kök varlığı/yokluğu), $y_{i,t-1}$ birim i’nin t–1 dönemindeki bağımlı değişken değerini, $\bar{y}_{t-1}$ tüm yatay kesitlerin ortalama değerini (ortak faktörlerin etkisi), $c_i \bar{y}_{t-1}$ ortak şokların gecikmeli etkisini kontrol eden terimi, $d_i \Delta \bar{y}_t$ ortak şokların kısa dönemli (birinci fark) etkisini ve v_{it} hata terimini temsil etmektedir.

Buradan hareketle IPS testi ise denklem (5)’te yer almaktadır.

$$\Delta y_{it} = \alpha_i + \rho_i y_{i,t-1} + \sum_{j=1}^{p_i} \gamma_{ij} \Delta y_{i,t-j} + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

Denklem (4)'te yer alan ifadelerden farklı olarak denklem (5)'te

$\sum_{j=1}^{p_i} \gamma_{ij} \Delta y_{i,t-j}$ gecikmeli farkların toplamı, (Genişletilmiş Dickey-Fuller yaklaşımında olduğu gibi serideki otokorelasyonu gideren genişletme), p_i birim i için optimal gecikme uzunluğunu, γ_{ij} gecikme katsayıları ve ε_{it} hata terimini ifade etmektedir.

olarak yer almaktadır. Bir sonraki aşamada değişkenlerin durağanlık düzeylerinin belirlenmesi amacıyla birim kök testleri yapılmış ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Birim Kök Testi Sonuçları

Değişken	Test İstatistiği	p değeri
GDPG	-2,4254	0,0076*
GDPG ²	-3,0398	0,0012*
CO ₂	-2,9940	0,0014*
EC	-2,3860	0,0085*
OPENNESS	-3,8610	0,0001*
FDI	-2,9869	0,0014*

* 0,05 anlamlılık düzeyinde yokluk hipotezi reddedilmiştir.

Yapılan birim kök testi sonuçlarına göre, tüm değişkenlerin test istatistikleri 0.05 anlamlılık düzeyinde kritik değerin altında olup, buna karşılık gelen p-değerleri 0.05'ten küçük bulunmuştur; bu da panel veri setindeki ilgili serilerin tamamının 0.05 düzeyinde istatistiksel olarak durağan olduğunu göstermektedir. Denklem 2'de verilen ilişkin test edilmesi için değişkenlerin durağan olmaları gerektiğinden elde edilen sonuçlara göre modelin tahmin edilmesinde ekonometrik bir sorun gözlenmemektedir. Ancak denklemin tahmini sonrasında elde edilen hatalarda yatay kesit bağlanım sorunu olup olmadığının belirlenmesi son derece önemlidir. Denklem 2'de yer alan ifade havuzlanmış model ile tahmin edilmiştir. Modelden elde edilen hata terimleri üzerinden, yatay kesit birimleri arasında bağımlılık olup olmadığını test etmek amacıyla Pesaran (2004) tarafından geliştirilen CD testi uygulanmıştır. Test sonucunda test istatistiği olarak 68,239 elde edilirken bu test istatistiğine ilişkin p değeri 0,0000 olarak bulunmuştur. Bu durumda bu panel veri regresyon denklemini tahmin ederken yatay kesit bağlanımı dikkate alan bir yöntem ile tahmin etmek gerekmektedir. Bunun için literatürde sıklıkla kullanılan (Anser vd., 2020; Halder ve Sethi, 2022; Haseeb vd., 2023; Hayford vd., 2023; Hodu Ngangnchi vd., 2024; Le vd., 2020; J. Xie vd., 2024; L. Xie vd., 2023) Driscoll - Kraay (1998) yöntemi kullanılmaktadır. Driscoll ve Kraay, panel veri modellerinde değişen varyans, otokorelasyon ve özellikle yatay kesit bağımlılığına karşı tutarlı standart hata tahminleri elde edebilmek için düzeltme getirmişlerdir. Bu yöntemde sabit etkiler modeli temel alınarak katsayı tahminleri yapılmakta ve standart hatalar, (Newey ve West, 1987) tipi düzeltmeye benzer şekilde genişletilmiş panel veri yapısında hesaplanmaktadır. Önerilen kovaryans matrisi denklem (6)'da verildiği şekildedir.

$$\hat{V}_{DK} = (X'X)^{-1} \left(\sum_{t=-T+1}^{T-1} w_t \hat{\Gamma}_t \right) (X'X)^{-1} \quad (6)$$

Denklem (6)'da yer alan ifadede Γ otokovaryans matrisini, w ağırlıklandırma fonksiyonunu, T zaman boyutunu ve X açıklayıcı değişkenler matrisini temsil etmektedir. Çalışmada verilen denklem 2 tahmini Driscoll-Kraay yöntemi ile tahmin edilmiş ve sonuçlar tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3: Driscoll-Kraay Yöntemi Tahmin Sonuçları

Değişken	Katsayı	Standart Hata	t istatistiği	p değeri
GDP	1,2259	0,3497	3,5055	0,0005
GDP ²	-0,6307	0,2286	-2,7583	0,0058
EC	0,5744	0,2649	2,1684	0,0301
OPENNESS	0,1001	0,0103	9,7535	0,0000

FDI	-0,0092	0,0157	-0,5851	0,5585*
-----	---------	--------	---------	---------

* 0.05 anlamlılık düzeyinde değişkenlere ilişkin istatistiksel olarak anlamlıdır.

Çalışmadan elde edilen tahmin sonuçları, Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezini destekler niteliktedir. Modelde milli gelir büyümesi (GDP) pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bulunurken ($\beta_1 = 1,2259$; $p < 0,05$), milli gelir büyümesinin karesi (GDP²) negatif ve anlamlıdır ($\beta_2 = -0,6307$; $p < 0,05$). Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezine göre bu ilişkinin ters U şeklinde çıkabilmesi için milli gelir büyümesi ve milli gelir büyümesi değişkenlerinin pozitif ve anlamlı olarak tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu bulgu, ekonomik büyümenin başlangıçta çevresel bozulmayı artırdığını, ancak belli bir gelir düzeyinden sonra çevresel kalitenin iyileşmeye başladığını ortaya koymaktadır. Dolayısıyla modelde ters-U biçimli bir ilişki tespit edilmiş ve ÇKE hipotezi ampirik olarak doğrulanmıştır.

Bu sonuçların yanı sıra enerji tüketimi (EC) değişkeni pozitif ve anlamlıdır ($\beta_3 = 0,5744$; $p < 0,05$), bu da enerji kullanımındaki artışın karbon emisyonlarını yükselttiğini göstermektedir. Dışa açıklık oranı (OPENNESS) değişkeni de pozitif ve yüksek derecede anlamlıdır ($\beta_4 = 0,1001$; $p < 0,05$); bu durum artan ticari açıklığın çevresel baskıyı artırdığını işaret etmektedir. Öte yandan doğrudan yabancı yatırımlar (FDI) değişkeni istatistiksel olarak anlamsız çıkmıştır ($\beta_5 = -0,0092$; $p > 0,05$), bu nedenle bu değişkenin CO₂ emisyonları üzerinde anlamlı bir etkisi tespit edilememiştir.

3. Sonuç

Bu çalışmanın temel amacı, Avrupa Birliği ülkelerinde 2004–2024 dönemine ait panel veriler kullanarak, ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezi çerçevesinde incelemektir. Bu doğrultuda, kişi başına düşen milli gelir büyümesi, kişi başına milli gelir büyümesi karesi, enerji tüketimi, dışa açıklık ve doğrudan yabancı yatırımlardan oluşan makroekonomik belirleyicilerin karbondioksit (CO₂) emisyonları üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Analizde, yatay kesit bağımlılığı gibi panel veri yapısına özgü sorunları gidermek amacıyla Driscoll-Kraay tahmincisi tercih edilmiştir. Böylece, büyüme ve çevresel bozulma arasındaki dinamiklerin daha sağlıklı biçimde ortaya konması amaçlanmaktadır.

Çalışmanın bulguları, Avrupa Birliği ülkelerinde ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasındaki ilişkinin Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) çerçevesinde ters-U biçiminde işlediğine işaret etmektedir. Büyüme (GDP) katsayısının pozitif ve anlamlı, büyümenin karesi (GDP²) katsayısının negatif ve anlamlı bulunması, literatürde EKC hipotezini destekleyen geniş bir çalışma grubu ile uyumludur (Grossman ve Krueger, 1995; Yao vd., 2019; Wang vd., 2023). Bununla birlikte, EKC'nin evrensel bir yasa olmadığı, kirlетici türüne, ülke/gelir grubuna ve yöntem seçimine duyarlı olduğu yolundaki eleştirel değerlendirmelerle (Guo ve Shahbaz, 2024; Leal ve Marques, 2022; Sarkodie ve Strezov, 2019) tutarlı biçimde, çalışmanın sonuçları da örnekleme ve değişken tanımlarına bağlı olarak yorumlanmalıdır. Öyle ki kimi çalışmalarda N-şekilli veya doğrusal olmayan alternatif kalıplar da rapor edilmiştir (Arı ve Zeren, 2011; Özdemir ve Koç, 2020; Allard vd., 2018).

Çalışmanın diğer bir ampirik diğer bulgusu olan enerji tüketimi (EC) katsayısının pozitif ve anlamlı olması, enerji talebindeki artışların CO₂ emisyonlarını yükselttiğine ilişkin oldukça yerleşik bulguları destekler niteliktedir (Long vd., 2015; Destek vd., 2020; Mirza ve Kanwal, 2017). Dışa açıklık (OPENNESS) katsayısının pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı çıkması ise ticaretin çevresel baskıları artırabildiğini göstermektedir; bu, ticaret–çevre bağlantısında politika ve teknoloji bileşenlerinin belirleyici olduğuna işaret eden bulgularla uyumludur (Cole vd., 1997; Jamel ve Maktouf, 2017). Doğrudan yabancı yatırımlar (FDI) katsayısının anlamsız bulunması, AB bağlamında FDI'nin çevre üzerinde tek başına net bir etki yaratmadığına, etkilerin dolaylı kanallar (ticaret, teknoloji bileşimi) üzerinden şekillenebileceğine işaret etmektedir (Borensztein vd., 1998; Benli, 2024).

Bu bulgular ışığında, AB ülkelerinde sürdürülebilir büyümenin sağlanabilmesi için enerji verimliliğini artıran ve yenilenebilir kaynakları teşvik eden politikaların önceliklendirilmesi gerekmektedir. Ticaret politikalarında çevresel standartların güçlendirilmesi, açıklığın çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltabilir. Ayrıca, doğrudan yabancı yatırımların çevre dostu teknolojilere yönlendirilmesi için teşvik mekanizmaları geliştirilmelidir.

Kaynakça

- Allard, A., Takman, J., Uddin, G. S., and Ahmed, A. (2018). The N-shaped environmental Kuznets curve: an empirical evaluation using a panel quantile regression approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(6), 5848–5861. doi: 10.1007/S11356-017-0907-0/TABLES/14
- Altıntaş, H., & Kassouri, Y. (2020). Is the environmental Kuznets Curve in Europe related to the per-capita ecological footprint or CO₂ emissions? *Ecological Indicators*, 113, 106187. doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106187
- Anser, M. K., Alharthi, M., Aziz, B., and Wasim, S. (2020). Impact of urbanization, economic growth, and population size on residential carbon emissions in the SAARC countries. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 22(4), 923–936. doi: /10.1007/s10098-020-01833-y
- Arı, A., ve Zeren, F. (2011). CO₂ Emisyonu ve ekonomik büyüme: Panel veri analizi. *Yönetim ve Ekonomi*, 18(2), 37-47.
- Atgür, M. (2021). Ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve karbon emisyonları ilişkisi: Çin örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 23(1), 172–186. doi: 10.32709/akusosbil.696857
- Bai, J., and Ng, S. (2004). A PANIC Attack on unit roots and cointegration. *Econometrica*, 72(4), 1127–1177. doi: 10.1111/j.1468-0262.2004.00528.x
- Baltagi, B. H., and Hashem Pesaran, M. (2007). Heterogeneity and cross section dependence in panel data models: theory and applications introduction. *Journal of Applied Econometrics*, 22(2), 229–232. doi: 10.1002/jae.955
- Bao, Z., and Lu, W. (2023). Applicability of the environmental Kuznets curve to construction waste management: A panel analysis of 27 European economies. *Resources, Conservation and Recycling*, 188, 106667. doi: 10.1016/j.resconrec.2022.106667
- Başar, Y., ve Şaşmaz, M. Ü. (2016). Karbon vergisi, ekonomik büyüme ve co₂ emisyonu arasındaki nedensellik: Danimarka, Finlandiya, Hollanda, İsveç ve Norveç Örneği. *International Journal of Applied Economic and Finance Studies*, 1(1), 32–41.
- Batmaz, T., Bayraç, H. N., ve Güllü, M. (2019). Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının büyüme ve karbon emisyonu ilişkisi. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 6(3), 645–658.
- Benli, M. (2024). Türkiye’de Ar-Ge, büyüme ve dış ticaret üçgeni: yönlendirilmiş döngüsüz graflar analizi. *Sakarya Üniversitesi İktisat Dergisi*, 13(3), 349–358.
- Borensztein, E., De Gregorio, J., and Lee, J.-W. (1998). How does foreign direct investment affect economic growth? *Journal of International Economics*, 45(1), 115–135. doi: 10.1016/S0022-1996(97)00033-0
- Breitung, J., and Pesaran, M. H. (2007). Unit roots and cointegration in panels. In *The Econometrics of Panel Data* (ss. 279–322). Springer Berlin Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-540-75892-1_9

- Caravaggio, N. (2020). A global empirical re-assessment of the Environmental Kuznets curve for deforestation. *Forest Policy and Economics*, 119, 102282. doi: 10.1016/j.forpol.2020.102282
- Choi, I. (2006). Combination unit root tests for cross-sectionally correlated panels. In B. H. Baltagi (Ed.), *Panel data econometrics: Theoretical contributions and empirical applications* içinde (ss. 311–333). Elsevier.
- Cole, M. A., Rayner, A. J., and Bates, J. M. (1997). The environmental Kuznets curve: an empirical analysis. *Environment and Development Economics*, 2(4), 401–416. doi: 10.1017/S1355770X97000211
- Colther, C., and Doussoulin, J. P. (2024). Recent pplications and developments of the Cobb–Douglas Function: From productivity to sustainability. *Journal of the Knowledge Economy*, 16(1), 1646–1666. doi: 10.1007/s13132-024-02061-1
- Destek, M. A., Shahbaz, M., Okumus, I., Hammoudeh, S., and Sinha, A. (2020). The relationship between economic growth and carbon emissions in G-7 countries: evidence from time-varying parameters with a long history. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(23), 29100–29117. doi: /10.1007/s11356-020-09189-y
- Driscoll, J. C., and Kraay, A. C. (1998). Consistent covariance matrix estimation with spatially dependent panel data. *Review of Economics and Statistics*, 80(4), 549–560. doi: 10.1162/003465398557825
- Fakher, H. A., Ahmed, Z., Acheampong, A. O., and Nathaniel, S. P. (2023). Renewable energy, nonrenewable energy, and environmental quality nexus: An investigation of the N-shaped Environmental Kuznets Curve based on six environmental indicators. *Energy*, 263, 125660. doi: 10.1016/j.energy.2022.125660
- Frodyma, K., Papież, M., & Śmiech, S. (2022). Revisiting the Environmental Kuznets Curve in the European Union countries. *Energy*, 241, 122899. doi: 10.1016/j.energy.2021.122899
- Grossman, G. M., and Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353–377. doi: 10.2307/2118443
- Gülmez, A. (2015). OECD Ülkelerinde ekonomik büyüme ve hava kirliliği ilişkisi: Panel veri analizi. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(3), 18–30.
- Guo, X., and Shahbaz, M. (2024). The existence of environmental Kuznets curve: Critical look and future implications for environmental management. *Journal of Environmental Management*, 351, 119648. doi: 10.1016/j.jenvman.2023.119648
- Haldar, A., and Sethi, N. (2022). Environmental effects of information and communication technology - Exploring the roles of renewable energy, innovation, trade and financial development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 153, 111754. doi: 10.1016/j.rser.2021.111754
- Haseeb, A., Xia, E., Saud, S., Usman, M., and Quddoos, M. U. (2023). Unveiling the liaison between human capital, trade openness, and environmental sustainability for BRICS economies: Robust panel-data estimation. *Natural Resources Forum*, 47(2), 229–256. doi: 10.1111/1477-8947.12277
- Hayford, I. S., Ofori, E. K., Gyamfi, B. A., and Gyimah, J. (2023). Clean cooking technologies, information, and communication technology and the environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(48), 105646–105664. doi: 10.1007/s11356-023-29577-4

- Hodu Ngangnchi, F., Ajong Aquilas, N., and Emmanuel Mbella, M. (2024). Natural resource use, industrialization and climate change in Africa: Blueprints for sustainable regional development. *Research in Globalization*, 9, 100245. doi: 10.1016/j.resglo.2024.100245
- Im, K. S., Pesaran, M. H., and Shin, Y. (2003). Testing for unit roots in heterogeneous panels. *Journal of Econometrics*, 115(1), 53–74. doi: 10.1016/S0304-4076(03)00092-7
- Jamel, L., and Maktouf, S. (2017). The nexus between economic growth, financial development, trade openness, and CO₂ emissions in European countries. *Cogent Economics and Finance*, 5(1), 1341456. doi: 10.1080/23322039.2017.1341456
- Jiang, R., Li, R., and Wu, Q. (2019). Investigation for the decomposition of carbon emissions in the USA with C-D function and LMDI methods. *Sustainability*, 11(2), 334. doi: 10.3390/su11020334
- Kazanasmaz, E., Demirel, B. L., Karatepe, S., ve Hızarcı, A. E. (2023). Ekonomik büyüme, elektrik tüketimi ve karbon emisyonu ilişkisi: Türkiye örneği. *Muhasebe ve Finans İncelemeleri Dergisi*, 6(2), 248–265. doi: 10.32951/mufider.1356297
- Khanna, T. M., Baiocchi, G., Callaghan, M., Creutzig, F., Guías, H., Haddaway, N. R., Hirth, L., Javaid, A., Koch, N., Laukemper, S., Löschel, A., Zamora Dominguez, M. del M., and Minx, J. C. (2021). A multi-country meta-analysis on the role of behavioral change in reducing energy consumption and CO₂ emissions in residential buildings. *Nature Energy*, 6(9), 925–932. doi: /10.1038/s41560-021-00866-x
- Kuznets, S. (1955). Economic growth and income inequality. *The American Economic Review*, 45(No:1), 1–28. <https://www.jstor.org/stable/1811581>
- Le, T.-H., Le, H.-C., and Taghizadeh-Hesary, F. (2020). Does financial inclusion impact CO₂ emissions? Evidence from Asia. *Finance Research Letters*, 34, 101451. doi: 10.1016/j.frl.2020.101451
- Leal, P. H., and Marques, A. C. (2022). The evolution of the environmental Kuznets curve hypothesis assessment: A literature review under a critical analysis perspective. In *Heliyon* (Vol. 8, Issue 11). Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e11521
- Li, B., Du, Y., and Chen, G. (2023). The effects of carbon trading on resident income: a theoretical and empirical study on the pilot carbon market in China. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(59), 123843–123861. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30903-z>
- Long, X., Naminse, E. Y., Du, J., and Zhuang, J. (2015). Nonrenewable energy, renewable energy, carbon dioxide emissions and economic growth in China from 1952 to 2012. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 680–688. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.176>
- Lu, W., Wu, H., and Wan, L. (2022a). Driving effect of CO₂ emissions on economic growth—application of empirical likelihood for generalized method of moments. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, 51(12), 7500–7512. doi: 10.1080/03610918.2020.1839095
- Lu, W., Wu, H., and Wan, L. (2022b). Driving effect of CO₂ emissions on economic growth—application of empirical likelihood for generalized method of moments. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, 51(12), 7500–7512. doi: 10.1080/03610918.2020.1839095
- Maku, O. A., and Ikpori, P. O. (2020). A multivariate analysis between renewable energy, carbon emission and economic growth: New evidences from selected Middle East and North Africa countries. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(6), 440–450. doi: 10.32479/ijeeep.10074

- Menegaki, A. N. (2014). On energy consumption and GDP studies; A meta-analysis of the last two decades. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 31–36. doi: 10.1016/j.rser.2013.08.081
- Mirza, F. M., and Kanwal, A. (2017). Energy consumption, carbon emissions and economic growth in Pakistan: Dynamic causality analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 1233–1240. doi: 10.1016/j.rser.2016.10.081
- Mohammed, S., Gill, A. R., Ghosal, K., Al-Dalahmeh, M., Alsafadi, K., Szabó, S., Oláh, J., Alkerdi, A., Ocwa, A., & Harsanyi, E. (2024). Assessment of the Environmental Kuznets Curve within EU-27: Steps toward environmental sustainability (1990–2019). *Environmental Science and Ecotechnology*, 18, 100312. doi: 10.1016/j.es.2023.100312
- Moon, H. R., and Perron, B. (2004). Testing for a unit root in panels with dynamic factors. *Journal of Econometrics*, 122(1), 81–126. doi: 10.1016/j.jeconom.2003.10.020
- Narayan, P. K., Saboori, B., and Soleymani, A. (2016). Economic growth and carbon emissions. *Economic Modelling*, 53, 388–397. doi: 10.1016/j.econmod.2015.10.027
- Newey, W. K., and West, K. D. (1987). a simple, positive semi-definite, heteroskedasticity and autocorrelation consistent covariance matrix. *Econometrica*, 55(3), 703. doi: 10.2307/1913610
- Özdemir, B. K., ve Koç, K. (2020). Türkiye’de Karbon Emisyonları, Yenilenebilir Enerji Ve Ekonomik Büyüme. *Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 11(1), 66–86. doi: /10.18354/esam.665191
- Pablo-Romero, M. del P., and De Jesús, J. (2016). Economic growth and energy consumption: The Energy-Environmental Kuznets Curve for Latin America and the Caribbean. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1343–1350. doi: 10.1016/j.rser.2016.03.029
- Pala, A. (2018). Gelişmekte olan ülkelerde enerji tüketimi, karbon emisyonu ve ekonomik büyüme ilişkisinin ARDL yaklaşımı ile incelenmesi. *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 14, 1-29.
- Pesaran, M. H. (2004). General diagnostic tests for cross section dependence in panels. *SSRN Electronic Journal*. doi: 10.2139/ssrn.572504
- Pesaran, M. H. (2006). Estimation and inference in large heterogeneous panels with a multifactor error structure. *Econometrica*, 74(4), 967–1012. doi: 10.1111/j.1468-0262.2006.00692.x
- Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22(2), 265–312. doi: /10.1002/jae.951
- Phillips, P. C. B., and Sul, D. (2003). Dynamic panel estimation and homogeneity testing under cross section dependence. *The Econometrics Journal*, 6(1), 217–259. doi: 10.1111/1368-423X.00108
- Şahin, C., ve Ünal, S. (2023). Karbon salınımının, ekonomik büyüme ve finansal gelişme ile ilişkisi: Türkiye örneği. *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, 15(29), 367–376.
- Sarkodie, S. A., and Strezov, V. (2019). A review on Environmental Kuznets Curve hypothesis using bibliometric and meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 649, 128–145. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.276
- Şimşek, T., ve Yiğit, E. (2017). BRİCT ülkelerinde yenilenebilir enerji tüketimi, petrol fiyatları, CO₂ emisyonu, kentleşme ve ekonomik büyüme üzerine nedensellik analizi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 12(3), 117–136. doi: /10.17153/oguiibf.335630

- Siqin, Z., Niu, D., Li, M., Zhen, H., and Yang, X. (2021). Carbon dioxide emissions, urbanization level and industrial structure: empirical evidence from North China. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 34528–34545. doi: 10.21203/rs.3.rs-342919/v1
- Stern, N. (2007). *The Economics of climate change*. Cambridge University Press. doi: 10.1017/CBO9780511817434
- Türe, H., ve Akdi, Y. (2006). Mevsimsel eşbütünleşme: Tüketim ve GSYİH. *İktisat, İşletme ve Finans*, 21(242), 101–113.
- Voumik, L. C., Rahman, M., & Akter, S. (2022). Investigating the EKC hypothesis with renewable energy, nuclear energy, and R&D for EU: fresh panel evidence. *Heliyon*, 8(12), e12447. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e12447
- Wang, Q., Zhang, F., and Li, R. (2023). Revisiting the environmental Kuznets Curve hypothesis in 208 counties: The roles of trade openness, human capital, renewable energy and natural resource rent. *Environmental Research*, 216, 114637. doi: 10.1016/j.envres.2022.114637
- Wang, T., and Henderson, D. J. (2022). Estimation of a varying coefficient, fixed-effects Cobb–Douglas production function in levels. *Economics Letters*, 213, 110354. doi: 10.1016/j.econlet.2022.110354
- Wu, Z., Xu, X., and He, M. (2025). The impact of green finance on urban carbon emission efficiency: Threshold effects based on the stages of the digital economy in China. *Sustainability*, 17(3), 854. doi: 10.3390/su17030854
- Xie, J., Ahmed, Z., Zhang, P., Khan, S., and Alvarado, R. (2024). Financial expansion and CO₂ mitigation in top twenty emitters: Investigating the direct and moderating effects of the digital economy. *Gondwana Research*, 125, 1–14. doi: /10.1016/j.gr.2023.07.013
- Xie, L., Mu, X., Hu, G., Tian, Z., and Li, M. (2023). How do information and communication technology and urbanization affect carbon emissions? Evidence from 42 selected “Belt and road initiative” countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(14), 40427–40444. doi: 10.1007/s11356-022-25003-3
- Yao, S., Zhang, S., and Zhang, X. (2019). Renewable energy, carbon emission and economic growth: A revised environmental Kuznets Curve perspective. *Journal of Cleaner Production*, 235, 1338–1352. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.07.069
- Zaman, K., Shahbaz, M., Loganathan, N., and Raza, S. A. (2016). Tourism development, energy consumption and environmental Kuznets Curve: Trivariate analysis in the panel of developed and developing countries. *Tourism Management*, 54, 275–283. doi: 10.1016/j.tourman.2015.12.001