

Çevresel Teknolojiler Çevresel Kaliteyi Artırıyor Mu? OECD Ekonomileri İçin İnceleme¹

Ahmet Koluman²

Fatih Kaplan³

Özet

İklim değişikliğinin ulusal ekonomiler üzerindeki etkisi günümüzün en önemli fakat hâlâ yeterince dikkate alınmayan tehditlerinden biridir. Politika yapıcılar bu soruna giderek daha fazla önem vermeye başlamış olsalar da uluslararası ticaret ve yenilik literatüründe konu hâlâ sınırlı biçimde ele alınmaktadır. Bu çalışma, çevresel teknolojik inovasyonların çevresel kalite üzerindeki etkisini 28 OECD ülkesi için 1997–2022 dönemine ait panel veriler kullanarak analiz etmektedir. Çevresel kalite göstergesi olarak kişi başına CO₂ emisyonları dikkate alınmış; ana açıklayıcı değişken olarak ise tüm patentler içindeki çevreyle ilişkili teknolojik patentlerin payını temsil eden çevresel teknolojik inovasyon değişkeni kullanılmıştır. Ayrıca kişi başına gelir, ticari açıklık ve yenilenebilir enerji tüketimi modele kontrol değişkenler olarak dâhil edilmiştir. Yatay kesit bağımlılığı ve eğim heterojenliği dikkate alınarak panel ARDL-PMG yaklaşımı benimsenmiş; bulguların sağlamlığı FMOLS ve DOLS tahmincileri ile test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, uzun dönemde çevresel teknolojik inovasyonların CO₂ emisyonlarını anlamlı şekilde azalttığını ortaya koymaktadır. Yenilenebilir enerji tüketiminin emisyonları düşürdüğü, buna karşılık ekonomik büyüme ve ticari açıklığın CO₂ emisyonlarını artırdığı tespit edilmiştir. Dumitrescu–Hurlin panel nedensellik analizi ise çevresel teknolojik inovasyondan CO₂ emisyonlarına doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğunu göstermektedir. Bulgular genel olarak, OECD ülkelerinde çevre dostu teknolojik yeniliklerin çevresel bozulmayı azaltmada kritik bir rol oynadığını ortaya koymakta; teknoloji politikalarının yenilenebilir enerji stratejileriyle birlikte uygulanmasının iklim politikalarının etkinliğini artıracağına işaret etmektedir.

- 1 Bu çalışma 24-25 Ekim 2025 tarihlerinde çevrimiçi olarak düzenlenen 5. Uluslararası Dijital İşleme, Yönetim ve Ekonomi Kongresi'nde (ICDBME2025) özet halî sözlü bildiri olarak sunulan çalışmanın gözden geçirilmiş ve genişletilmiş halidir.
- 2 Öğr. Gör., Tarsus Üniversitesi, ORCID ID: 0000-0002-6157-3051
- 3 Prof. Dr., Tarsus Üniversitesi, ORCID ID: 0000-0001-7417-1126

Anahtar Kelimeler: Çevresel patentler, Çevresel Kuznets, OECD, Panel ARDL

GİRİŞ

Son yıllarda gittikçe artan çevresel baskılar, iklim değişikliğinin hızlanması ve sera gazı emisyonlarının sürdürülemez seviyelere ulaşması, ülkeleri çevre politikalarını yeniden gözden geçirmeye zorlamaktadır (IPCC, 2021). Özellikle karbondioksit (CO₂) emisyonları, enerji tüketimi, üretim yapıları ve teknolojik dönüşüm süreçleriyle doğrudan ilişkili olması nedeniyle çevresel bozulmanın en kritik göstergelerinden biri hâline gelmiştir (OECD, 2022). Bu çerçevede, ekonomik büyümenin çevresel kalite üzerindeki etkilerini anlamaya yönelik araştırmalar, çevre ekonomisi literatürünün en dinamik çalışma alanlarından birini oluşturmaktadır.

Sürdürülebilir kalkınma bağlamında, çevresel sorunların çözümünde teknolojik ilerlemenin belirleyici bir rol oynadığı giderek daha fazla kabul görmektedir. Özellikle çevre ile ilişkili teknolojik inovasyonlar (ÇTİ), enerji verimliliğinin artırılması, temiz üretim tekniklerinin geliştirilmesi, çevreci patentlerin yaygınlaşması ve karbon yoğunluğunun azaltılması gibi mekanizmalar yoluyla çevresel kaliteyi iyileştirebilecek temel bir araç olarak değerlendirilmektedir (OECD, 2011; Popp, 2019). Bu bağlamda, ekonomilerde gerçekleşen teknolojik dönüşümün çevresel etkilerinin araştırılması hem politika yapıcılar hem de araştırmacılar açısından büyük bir öneme sahiptir.

ÇTİ'lerin çevresel kalite üzerindeki etkisini değerlendirmede kullanılan analitik çerçevelerden biri de Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) hipotezidir. ÇKE hipotezi, ekonomik büyüme sürecinin çevresel bozulma üzerinde zaman içinde değişen etkileri olabileceğini öne sürerken, teknik etkinin teknolojik ilerleme kaynaklı çevre iyileştirici rolüne özellikle vurgu yapmaktadır (Grossman & Krueger, 1995; Panayotou, 1993). ÇTİ, bu teknik etki mekanizmasıyla doğrudan ilişki içinde olduğu için, inovasyon dinamiklerinin ÇKE hipotezinin geçerliliğini nasıl şekillendirdiğini incelemek önem kazanmaktadır. Bu durum, çevresel kaliteyi etkileyen süreçlerin yalnızca ekonomik büyüme ile açıklanamayacağını; teknolojik kapasite, enerji kullanım yapısı ve dışa açıklık gibi faktörlerin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Shahbaz vd., 2013).

Bu çalışma, ÇTİ'ler ile çevresel kalite arasındaki ilişki uzun dönemli ve kapsamlı bir veri seti kullanarak OECD ülkeleri özelinde analiz etmeyi amaçlamaktadır. OECD ülkelerinin tercih edilmesinin temel nedeni, bu ülkelerin yüksek düzeyde teknolojik kapasiteye sahip olmaları, çevre dostu

inovasyonların yaygınlaşmasında öncü konumda bulunmaları ve aynı zamanda çevresel baskıların yoğun yaşandığı gelişmiş ekonomiler olmalarıdır. Bu özellikler, ÇTİ–çevresel kalite ilişkisinin yapısını anlamak için OECD ülkelerini uygun bir laboratuvar niteliğine dönüştürmektedir.

Sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin giderek önem kazandığı günümüzde, çevre dostu teknolojilerin çevresel kalite üzerindeki etkilerinin anlaşılması hem akademik dünyada hem de politika yapıcılar nezdinde kritik bir önem taşımaktadır (UNEP, 2022). Bu bağlamda çalışma, giriş bölümünde ortaya konan kavramsal çerçeve üzerine inşa edilmektedir. Çalışmanın devamı ise şu şekilde yapılandırılmıştır. Birinci bölümde konuya ilişkin güncel tartışmaların ele alındığı literatür taramasına yer verilmektedir. İkinci bölümde veri seti ve model tanıtılmaktadır. Üçüncü bölümde araştırmanın ampirik bulguları sunulmakta, dördüncü ve son bölümde ise bu bulgular tartışılarak genel sonuç ve politika önerileri ortaya konulmaktadır.

1. LİTERATÜR TARAMASI

Çevresel kirliliğe neden olan faktörlerin araştırıldığı çalışmalar genellikle ÇKE hipotezine dayandırılmaktadır. Bu doğrultuda, ÇKE çerçevesinde çevresel teknolojik inovasyonlar ile çevresel kirlilik arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalar dikkate alınmaktadır. Literatürde, ÇTİ–çevresel kirlilik ilişkisinin farklı ülke gruplarında ve çeşitli ekonometrik yöntemler kullanılarak incelendiği geniş bir araştırma alanı bulunmaktadır.

Bu bağlamda, Yii ve Geetha (2017) Malezya için 1971–2013 dönemine ait verileri kullanarak ÇTİ'lerin CO₂ emisyonlarını hem kısa hem de uzun dönemde azalttığını belirlemiştir. Du vd. (2019) ise 71 ülke için gerçekleştirdikleri panel eşik analizi sonucunda, ÇTİ'lerin ancak belirli bir gelir eşiği aşıldığında CO₂ emisyonlarını azaltıcı bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde, Ulucak vd. (2020) BRICS ülkeleri için Panel Düzgün Geçişli Regresyon (PSTR) yöntemini kullanarak ÇTİ'lerin emisyonları azalttığını rapor etmiştir.

OECD ülkelerini kapsayan çalışmalarda da benzer bulgular görülmektedir. Akyol ve Mete (2021), Panel GMM yöntemiyle yaptıkları analizde ÇTİ artışlarının emisyonları düşürdüğünü bulurken Akçakanat vd. (2025), Driscoll–Kraay tahmincisini kullanarak benzer şekilde ÇTİ'lerin çevresel kaliteyi artırdığı sonucuna ulaşmıştır. Öte yandan Ahmed vd. (2022), İskandinav ülkelerinde ÇTİ'lerin ekonomik koşullara bağlı olarak farklı etkiler ürettiğini; genişleme dönemlerinde emisyonları azalttığını, durgunluk dönemlerinde ise artırabildiğini göstermiştir.

Türkiye ekonomisine odaklanan çalışmalar daha çeşitli sonuçlar sunmaktadır. Oğul (2022), ÇTİ'lerin ekolojik ayak izini azalttığını tespit ederken Koçak (2024) uzun dönemde CO₂ emisyonlarını azalttığını ortaya koymuştur. Aynı zamanda Çağlar (2022) ve Çamkaya (2024) benzer bulgular bildirmiştir. Vietnam örneğini inceleyen Hieu vd. (2023) ise ÇTİ-emisyon ilişkisini zayıf bulmuştur.

Daha geniş ülke gruplarını kapsayan yakın dönem çalışmalardan Shahbaz vd. (2024), en fazla emisyon üreten 30 ülkede ÇTİ'lerin özellikle alt ve orta kantillerde CO₂ emisyonlarını azalttığını göstermiş; Atılğan (2025) ise BRIC ülkeleri ve Türkiye için ÇTİ'lerin emisyon azaltıcı etkisini doğrulamıştır.

Literatür taraması genel olarak değerlendirildiğinde, çevresel teknolojik inovasyonların çevresel kalite üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmaların sayısı son yıllarda artış göstermiştir. Çalışmalarda yapılan analizler sonucunda çevresel teknolojik inovasyonların çevresel kalite üzerindeki etkilerine yönelik iki farklı sonuç ortaya çıkmıştır (Atılğan, 2025). İlk bulgular, çevresel teknolojik inovasyonların çevresel kaliteyi artırdığına (örneğin Yü ve Geetha 2017; Shahbaz vd., 2024; Akçakanat vd., 2025; Atılğan, 2025); ikinci bulgular ise çevresel kaliteyi azalttığına işaret etmektedir (Çağlar, 2022; Hieu vd., 2023; Çamkaya, 2024). Diğer taraftan çevresel kaliteyi etkileyen küresel ticaret dinamiklerine odaklanan çalışmalar da literatürde önemli bir yer tutmaktadır. Örneğin Aktaş vd., (2024), külp yakınsaması yaklaşımını kullanarak iklim değişikliğinin küresel bitkisel ürün ticareti üzerindeki etkilerini analiz etmekte ve uluslararası ticaret yapılarındaki bölgesel ayrışmaya çevresel sürdürülebilirlik açısından dikkat çekmektedir. Benzer şekilde Gouel ve Laborde (2018), ülkelerin iklim değişikliğine uyum sağlamasında uluslararası tarımsal ticaretin kritik rolünü vurgularken Chen ve Villoria (2019), iklim kaynaklı şokların küresel gıda tedarik zincirlerini ve ticaret akımlarını nasıl yeniden şekillendirdiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca Zhang ve Pei (2023), Çin-Afrika tarımsal ticaretinin belirleyicilerini iklim değişkenliği çerçevesinde inceleyerek iklim değişikliğinin bölgesel ticaret dinamiklerini giderek daha fazla etkilediğine dair ilave kanıtlar sunmaktadır. Bu bakımdan ÇTİ'lerin çevresel kalite üzerindeki etkilerine yönelik daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

2. VERİ SETİ VE MODEL

2.1. Veri Seti

Bu çalışmanın amacı, çevresel teknolojik inovasyonların çevresel kalite üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Bu amaç doğrultusunda çalışmada 1997-2022 dönemine ait 28 OECD ülkesinin (Avusturya, Belçika, Kanada,

Çekya, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, Macaristan, İrlanda, İsrail, İtalya, Japonya, Kore Cumhuriyeti, Letonya, Litvanya, Meksika, Hollanda, Norveç, Polonya, Portekiz, Slovakya, İspanya, İsveç, Türkiye, Birleşik Krallık, Amerika Birleşik Devletleri verileri kullanılmıştır. Ülke örnekleme ve analiz dönemi verilerin ulaşılabilirliğine göre seçilmiştir. Çalışmada kullanılan değişkenler ve bu değişkenlere ait tanımlar Tablo 2.1’de sunulmuştur.

Tablo 2.1. Değişkenlerin tanımları ve açıklamalar

Sembol	Tanım	Kaynaklar
CO ₂	Kişi başına karbondioksit (CO ₂) emisyonları (t CO ₂ e/kişi)	Dünya Bankası
GDP	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (Kişi başına, nominal US\$)	Dünya Bankası
TRADE	İhracat + İthalat (GSYH içindeki pay - %)	Dünya Bankası
REN	Yenilenebilir enerji tüketimi (Toplam enerji tüketimindeki pay - %)	Dünya Bankası
TECH	Çevreyle ilgili teknolojik patentler (Tüm patentler içindeki pay - %)	OECD

Çalışmada yenilik göstergesi olarak, tüm patentler içerisinde çevreyle ilişkili teknolojik patentlerin payını ifade eden TECH değişkeni kullanılmıştır. Bu değişkene ait veriler OECD veri tabanından temin edilmiştir. Çevresel kirlilik göstergesi olarak ise kişi başına düşen CO₂ emisyonları kullanılmıştır. Bunun yanında, çevresel kirliliği açıklayıcı değişkenler olarak kişi başına GSYH (GDP), ticari açıklık (TRADE) ve yenilenebilir enerji tüketimi (REN) değişkenleri dâhil edilmiştir. Söz konusu değişkenlere ilişkin veriler Dünya Bankası’nın Dünya Kalkınma Göstergeleri (WDI) veri tabanından elde edilmiştir.

2.2. Model

Bu çalışmanın teorik altyapısı ekonomik kalkınma ile çevresel kirlilik arasındaki ilişkiye vurgu yapan ÇKE hipotezine dayanmaktadır. Ekonomik kalkınma ile çevresel kirlilik arasındaki ilişkinin tespitine yönelik ilk çalışmalar Grossman ve Krueger (1991, 1995), Shafik ve Bandyopadhyay (1992) ve Panayotou (1993) tarafından yapılmıştır. Panayotou (1993), ekonomik kalkınma ile çevresel kirlilik arasındaki ilişkide “Çevresel Kuznets Eğrisi - ÇKE” terimine vurgu yapan ilk çalışmadır. ÇKH hipotezine göre, ekonomik kalkınmanın ilk başlarında çevresel kirlilikte bir artış meydana gelmekte, daha sonra gelir düzeyi artmaya başladıkça çevresel kirlilikte bir azalış meydana

gelmektedir (Feridun vd., 2006: 41). Bu durum ters-U şeklinde bir ilişkiyi belirtmektedir (Sharma, 2011: 376).

ÇKE hipotezinin ortaya çıkmasında ölçek, kompozisyon ve teknik etki olmak üzere üç unsur bulunmaktadır (Grosman ve Krueger, 1991: 3-4). Ölçek etkisine göre, ekonomik kalkınmayla birlikte üretim ölçeği artmakta ve bunun sonucunda çevresel kalitede bir azalış meydana gelmektedir. Üretimi artırmak için daha fazla doğal kaynak kullanılmakta ve çevreye daha az önem gösterilmektedir (Dinda, 2004: 435). Kompozisyon etkisine göre, toplum tarımdan sanayi sektörüne, sanayi sektöründen de bilgi/hizmet sektörüne bir dönüşüm yaşamaktadır. Bu dönüşüm süreciyle birlikte çevresel kirlilikte bir azalış meydana gelmektedir (Churchill vd., 2018: 390). Teknik etkiye göre, ekonomik kalkınmayla birlikte yeni üretim teknikleri kullanılmakta, kaynaklar daha verimli işletilmekte ve çevreyi daha az kirleten yeni teknolojiler geliştirilmektedir (Ang, 2007: 4773).

Bu çalışmada ÇKE hipotezi kapsamında OECD ülkelerinde teknik etkinin geçerliliği test edilmektedir. Hipotezin geçerli olup olmadığının analiz edilmesinde ikinci dereceden ya da kübik modeller kullanılmaktadır. Ancak bu iki model kullanıldığında doğrusallık ya da çoklu doğrusal bağlantı sorunu ortaya çıkabilmektedir (Yılancı ve Pata, 2020: 32684). Bu nedenle Narayan ve Narayan (2010), kısa ve uzun dönemli gelir esnekliklerinin doğrusal bir model benimsenerek analiz edilmesi gerektiğini önermektedir. Doğrusal bir modelde, uzun dönemli gelir esnekliği kısa dönemli gelir esnekliğine göre daha az çıkması çevresel kalitenin zamanla arttığını göstermekte ve EKC hipotezi geçerli olduğunu ifade etmektedir (Pata ve Isik, 2021: 2). Bu doğrultuda Model 1 oluşturulmaktadır.

$$Y_{it} = \gamma + \beta_1 X_{it} + \beta_2 Z_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Model 1'de Y_{it} çevresel kaliteyi, X_{it} kişi başına geliri, Z_{it} kontrol değişkenleri ve ε_{it} hata terimini temsil etmektedir. Model 1, çevresel teknolojik inovasyonlar ile çevresel kalite arasındaki ilişki literatürdeki çalışmalara dayanarak geliştirilmiştir (Yii ve Geetha 2017; Shahbaz vd., 2024; Akçakanat vd., 2025; Atılcan, 2025).

$$LNCO2_{it} = \alpha + \delta_1 LNGDP_{it} + \delta_2 LNTRADE_{it} + \delta_3 LNREN_{it} + \delta_4 LNTECH_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

Model 2’de $CO_{2,it}$ çevresel kaliteyi temsilen kişi başına CO_2 emisyonları, GDP_{it} kişi başına düşen GSYH’yi, $TRADE_{it}$ ticari açıklığı, REN_{it} yenilenebilir enerji tüketimini ve $TECH_{it}$ çevresel teknolojik inovasyonları temsil etmektedir. Çalışmada kullanılan değişkenlerin doğal logaritmaları alınmıştır.

3. YÖNTEM VE BULGULAR

Panel zaman serisi analizine geçmeden önce çalışmada kullanılan değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 3.1’de sunulmuştur.

Tablo 3.1. Değişkenlerin tanımları ve açıklamalar

	CO_2	GDP	TRADE	REN	TECH
Ortalama	8,591	31,445	90,662	17,147	35,099
Medyan	8,303	28,749	77,911	12,450	33,718
Maksimum	21,013	109,269	250,109	61,400	100,000
Minimum	3,054	2,609	18,126	0,700	6,667
Std. Hata	3,691	19,310	43,344	14,298	11,176
Skewness	0,909	0,832	0,834	1,254	1,157
Kurtosis	3,736	4,003	3,202	3,960	5,914
Jarque-Bera	116,630	114,430	85,600	218,680	420,050
Gözlem Sayısı	728	728	728	728	728

Tablo 3.1’de yer alan tanımlayıcı istatistiklere göre, CO_2 emisyonlarının ortalama değeri 8,591, maksimum değeri 21,013 ve minimum değeri 3,054 olarak belirlenmiştir. En yüksek CO_2 emisyonuna sahip ülke Amerika Birleşik Devletleri (ABD) iken en düşük emisyonu sahip ülke Litvanya’dır. Kişi başına gelir açısından bakıldığında, ortalama değer 31,445 ABD dolarıdır. İncelenen dönem boyunca en yüksek kişi başına gelire sahip ülke Norveç, en düşük kişi başına gelire sahip ülke ise Litvanya olmuştur. Çevresel teknoloji yönetimi değişkenine ilişkin bulgular incelendiğinde, ortalama değer 35,099, maksimum değerin 100 ve minimum değerin 6,667 olduğu görülmektedir. Bu kapsamda, en yüksek çevresel teknoloji yönetimi değerine sahip ülke Estonya, en düşük değere sahip ülke ise Litvanya olarak tespit edilmiştir.

Panel zaman serisi modellerinde tahmin sonuçlarının tutarlı çıkabilmesi için ön test olarak yatay kesit bağımlılığının kontrol edilmesi gerekmektedir (Kaplan ve Aktaş, 2016: 107). Yatay kesit bağımlılığı, bir birime gelen bir şokun diğer tüm birimleri etkileyip etkilemediğini göstermektedir. Yatay kesit

bağımlılığının analizi için zaman boyutunun (T) ve yatay kesit boyutunun (N) büyüklüğü belirleyici olmaktadır. T'nin sonsuza giderken N'nin sabit olduğu durumlarda Breusch ve Pagan'ın (1980) Lagrange çarpanı (LM) testi kullanılabilir. Ancak bu test, yatay kesit boyutunun büyük olduğu panellerde geçerliliğini yitirmekte ve yanıltıcı sonuçlar üretebilmektedir. Bu bağlamda Pesaran (2004) yatay kesit boyutu ile zaman boyutunun sonsuza gittiği durumlar için CD_{LM} testini önermiştir. Ancak bu test yatay kesit bağımlılığının bulunmadığı sıfır hipotezi altında, asimptotik olarak standart normal dağılıma sahiptir. Diğer yandan CD_{LM} testi, N'nin T'den büyük olduğu durumlarda önemli çarpıklıklar sergileyebilmektedir. Bu nedenle Pesaran (2004) N'nin T'den büyük olduğu durumlar için ikinci bir test olarak CD testini önermiştir. Tablo 3.2'de yatay kesit bağımlılığına ait test sonuçları sunulmuştur.

Tablo 3.2. Yatay kesit bağımlılığı test sonuçları

DEĞİŞKENLER	LM	CD	CD_{LM}
LNCO ₂	5396.217***	40.08991***	182.5108***
LNGDP	8147.269***	89.39145***	282.5656***
LNTRADE	5252.594***	57.85928***	177.2873***
LNREN	6457.535***	56.14662***	221.1105***
LNTECH	3300.882***	44.73666***	106.3042***

*Not: ***, ** ve *, sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeylerinde istatistiki anlamlılığı göstermektedir.*

Tablo 3.2'de değişkenler için yapılan yatay kesit bağımlılık test sonuçlarına göre, tüm testler için yatay kesit bağımlılığı yoktur üzerine kurulan ana hipotez %1 anlamlılık düzeyinde reddedilerek ($p=0.00<0.01$) birimler arası korelasyonun olduğu tespit edilmiştir. Yatay kesit bağımlılığı analiz edildikten sonra parametrelerin homojenliği ya da heterojenliliği kontrol edilmiştir. Panel veri analizlerinde panelin homojen mi yoksa heterojen mi olduğunun belirlenmesi önem arz etmektedir (Kaplan ve Aktaş, 2015: 38). Panel veri analizlerinde tüm birimler (örneğin ülkeler) için ortak bir eğim katsayısının geçerli olduğu, yani modelin homojen olduğu varsayılmaktadır. Ancak bu varsayım ülkeye özgü özellikleri yakalayamamaktadır (Nazhoğlu vd., 2011). Bu bağlamda, ülke bazlı özgün dinamiklerin göz ardı edilmesi, modelin açıklama gücünü sınırlayabilmektedir. Bu nedenle Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından önerilen Delta ($\hat{\Delta}$) ve Delta tittle adj ($\hat{\Delta}_{adj}$) testleri ile eğim homojenliği kontrol edilmiştir. Tablo 3.3'te Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından önerilen Delta ve Delta_{adj} test sonuçları sunulmuştur.

Tablo 3.3. Eğim homojenliği test sonuçları

	Katsayı	P değeri
Delta	24.492	0.000
Delta _{adj}	27.925	0.000

Not: ***, ** ve *, sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeylerinde istatistiki anlamlılığı göstermektedir.

Tablo 3.3'teki Delta ve Delta_{adj} test sonuçlarına göre, parametrelerin homojen olduğunu ifade eden ana hipotez %1 anlamlılık düzeyinde reddedilerek ($p=0.00<0.01$) parametrelerin birimden birime değiştiği kabul edilmiştir.

Panel verilerde serilerin durağanlık özelliklerini test etmek amacıyla geliştirilen birinci ve ikinci nesil panel birim kök testleri bulunmaktadır. Birinci nesil testler, paneli oluşturan birimler arasında korelasyonun bulunmadığı varsayımına dayanmaktadır. Ancak birinci nesil birim kök testleri yatay kesitin bağımlı olduğu durumlarda önemli çarpıklıklara neden olabilmektedir. Bu nedenle yatay kesit bağımlılığını destekleyen panel birim kök testlerine ihtiyaç duyulmuş ve ikinci nesil birim kök testleri geliştirilmiştir. İkinci nesil birim kök testleri, serilerde yatay kesit bağımlı olduğu durumlarda birim kökün araştırılmasına olanak tanımaktadır (Hurlin ve Mignon, 2007). Bu kapsamda çalışmada ikinci nesil testler arasından Pesaran (2007) tarafından geliştirilen CIPS (Cross-sectionally Augmented IPS) testi kullanılmıştır. Tablo 3.4'te CIPS birim kök test sonuçları sunulmuştur.

Tablo 3.4. CIPS birim kök test sonuçları

DEĞİşKENLER	Düzey		Birinci Fark	
	Sabit	Sabit + Trend	Sabit	Sabit + Trend
LNCO2	-1,409	-2,462	-4,841***	-4,946***
LNGDP	-1,557	-2,351	-4,118***	-4,126***
LNTRADE	-1,643	-1,761	-3,687***	-3,843***
LNREN	-2,392***	-2,499	-4,956***	-5,031***
LNTECH	-3,696***	-3,623***	-5,551***	-5,610***
KRİTİK DEĞERLER	%10 = -2,07 %5 = -2,15 %1 = -2,30	%10 = -2,58 %5 = -2,66 %1 = -2,81	%10 = -2,07 %5 = -2,15 %1 = -2,30	%10 = -2,58 %5 = -2,66 %1 = -2,81

Not: ***, ** ve *, sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeylerinde istatistiki anlamlılığı göstermektedir.

Tablo 3.4'teki CIPS birim kök testi sonuçlarına göre, sabitli modelde LNCO₂, LNGDP ve LNTRADE değişkenleri birinci seviyede, LNREN ile LNTECH değişkenleri ise düzeyde durağan olduğu tespit edilmiştir. Diğer yandan sabitli ve trendli modelde LNTECH değişkeni hariç diğer tüm değişkenler birinci seviyede durağan olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışmada farklı düzeylerde durağanlığa izin veren panel Otoregresif Dağıtılmış Gecikmeli Model (Autoregressive Distributed Lag - ARDL) yaklaşımı kullanılmıştır. ARDL yaklaşımı ile ilgili olarak Pesaran vd. (1999) tarafından Ortalama Grup tahmincisi (Mean Group-MG) ile Havuzlanmış Ortalama Grup tahmincisi (Pooled Mean Group-PMG) olmak üzere iki tahminci geliştirilmiştir. MG tahminci kısa ve uzun dönem katsayıların elde edilmesine olanak sağlamasına rağmen hem uzun dönem hem de kısa dönemde eğim parametrelerinin homojen olduğunu varsaymaktadır (Yıldız, 2021: 94). Aynı zamanda ARDL modelindeki parametrelere herhangi bir kısıtlama getirmemekte ve uzun dönem parametreleri bireysel ARDL tahmininden elde edilen uzun dönem parametrelerin ortalaması alınarak hesaplamaktadır (Kalkan ve Pala, 2022: 200). MG tahmincisinin aksine PMG tahmincisi ise uzun dönem parametrelerini panelde tüm birimler için aynı olacak şekilde kısıtlamakta ve kısa dönem katsayılarında, hata düzeltme teriminde ve hata varyanslarında birimler arasında farklılık (heterojenlik) olacak şekilde izin vermektedir (Zaidi ve Saidi, 2018: 835). Tablo 3.5'te panel ARDL/PMG (2 3 3 3 3) sonuçları sunulmuştur.

Tablo 3.5. Panel ARDL/PMG test sonuçları

	Katsayı	Standart Hata	t- İstatistiği	P değeri
UZUN DÖNEM				
LNGDP	0,043***	0,013	3,249	0,001
LNTRADE	0,249***	0,051	4,917	0,000
LNREN	-0,303***	0,023	-13,059	0,000
LNTECH	-0,152***	0,020	-7,476	0,000
KISA DÖNEM				
ECM	-0,465***	0,078	-5,927	0,000
D(LNCO ₂ (-1))	-0,015	0,096	-0,153	0,879
D(LNGDP)	0,166*	0,063	2,614	0,009
D(LNGDP(-1))	-0,060*	0,031	-1,937	0,054
D(LNGDP(-2))	0,046	0,040	1,150	0,251
D(LNTRADE)	0,091**	0,046	2,009	0,046
D(LNTRADE(-1))	-0,075*	0,040	-1,876	0,062
D(LNTRADE(-2))	0,016	0,045	0,364	0,716
D(LNREN)	-0,125*	0,071	-1,764	0,079
D(LNREN(-1))	0,012	0,062	0,194	0,847

D(LNREN(-2))	-0,034	0,038	-0,886	0,376
D(LNTECH)	0,027	0,023	1,182	0,238
D(LNTECH(-1))	0,041	0,028	1,473	0,142
D(LNTECH(-2))	0,047	0,030	1,565	0,119
C	0,873***	0,146	5,997	0,000
TREND	-0,005***	0,001	-3,954	0,000

*Not: ***, ** ve *, sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeylerinde istatistiki anlamlılığı göstermektedir.*

Tablo 3.5'deki sonuçlara göre, uzun dönemde GDP'de meydana gelen %1'lik artış CO₂ emisyonlarını %0,043 artırmaktadır. Diğer yandan kısa dönemde bu etkinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Kısa dönemde GDP'de meydana gelen %1'lik artış CO₂ emisyonlarını %0,166 artırmaktadır. Bu sonuç ÇKE hipotezi kapsamında OECD ülkelerinde ters-U şeklindeki ilişkinin olduğunu göstermektedir. Nitekim Narayan ve Narayan (2010), kişi başına gelirin CO₂ emisyonları üzerindeki kısa dönem etkisinin uzun dönem etkisine göre daha yüksek olmasının, ekonomik büyümenin ilerleyen dönemlerde emisyonları azaltabileceğini belirtmiştir. Tablo 3.5'deki sonuçlara göre, uzun dönemde ticari açıklıkta meydana gelen %1'lik artışın CO₂ emisyonlarını %0,249 artırdığı; kısa dönemde ise ticari açıklıktaki %1'lik artışın CO₂ emisyonlarını %0,091 artırdığı tespit edilmiştir. Bu sonuçların aksine yenilenebilir enerji tüketiminin CO₂ emisyonlarını azalttığı sonucuna ulaşılmıştır. Uzun dönemde yenilenebilir enerji tüketiminde meydana gelen %1'lik artışın, CO₂ emisyonlarını %0,303 oranında azalttığı; kısa dönemde ise %0,125 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Son olarak çevresel teknolojilerin CO₂ emisyonları üzerinde etkisi uzun dönemde istatistiki olarak anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Uzun dönemde çevresel teknolojik inovasyonlarda %1'lik artış CO₂ emisyonlarını %0,152 oranında azaltmaktadır. Çalışmada uzun dönem tahmin sonuçlarının sağlamlılığını kontrol etmek için FMOLS ve DOLS tahmincileri kullanılmıştır. Bu tahmincilere ait sonuçlar Tablo 3.6'da sunulmuştur.

Tablo 3.6. Uzun dönem katsayı sonuçları

FMOLS				
	Katsayı	Standart Hata	t- İstatistiği	P değeri
LNGDP	0,148***	0,018	8,013	0,000
LNTRADE	0,168***	0,0340	4,222	0,000
LNREN	-0,194***	0,025	-7,678	0,000
LNTECH	-0,050***	0,015	-3,297	0,001
DOLS				
LNGDP	0,147***	0,023	6,544	0,000
LNTRADE	0,138**	0,059	2,359	0,019
LNREN	-0,175***	0,035	-4,990	0,000
LNTECH	-0,067**	0,030	-2,211	0,028

Not: ***, ** ve *, sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeylerinde istatistiki anlamlılığı göstermektedir.

Tablo 3.6'da yer alan FMOLS tahmincisi sonuçlarına göre, uzun dönemde GDP'nin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisi pozitif olup emisyonları %0,148 oranında artırmaktadır. Benzer şekilde, ticari açıklığın CO₂ emisyonlarını %0,168 oranında artırdığı tespit edilmiştir. Buna karşılık yenilenebilir enerji tüketimi CO₂ emisyonlarını %0,194 oranında azaltmakta, çevresel teknolojik inovasyonlardaki %1'lik artış ise CO₂ emisyonlarını %0,050 oranında azaltmaktadır.

Tablo 3.6'da yer alan DOLS tahmincisi sonuçlarına göre, uzun dönemde GDP'de %1'lik artış CO₂ emisyonlarını %0,147 oranında; ticari açıklıkta %1'lik artış CO₂ emisyonlarını %0,138 oranında artırdığı tespit edilmiştir. Diğer yandan yenilenebilir enerji tüketimi CO₂ emisyonlarını %0,175 oranında, çevresel teknolojik inovasyonlardaki %1'lik artış ise CO₂ emisyonlarını %0,067 oranında azalttığı tespit edilmiştir.

Uzun ve kısa dönem tahmincilerinin ardından değişkenler arasındaki olası nedensel ilişkileri tespit etmeyi amaçlayan Dumitrescu–Hurlin panel nedensellik testi uygulanmıştır. Dumitrescu–Hurlin panel nedensellik testinin sonuçları Tablo 3.7'de sunulmuştur.

Tablo 3.7. Panel nedensellik sonuçları

	W istatistiği	ZH ^{NC} test istatistiği	P değeri
LNGDP $\neq$ LNCO ₂	13,481	2,895	0,004
LNCO ₂ $\neq$ LNGDP	9,229	0,472	0,637
LNTRADE $\neq$ LNCO ₂	5,472	6,807	0,000
LNCO ₂ $\neq$ LNTRADE	6,268	8,482	0,000
LNREN $\neq$ LNCO ₂	4,663	11,222	0,000
LNCO ₂ $\neq$ LNREN	3,188	6,576	0,000
LNTECH $\neq$ LNCO ₂	12,113	2,116	0,034
LNCO ₂ $\neq$ LNTECH	9,302	0,514	0,607

Not: ***, ** ve *, sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeylerinde istatistiki anlamlılığı göstermektedir.

Tablo 3.7'deki bulgulara göre, GSYH'den CO₂ emisyonlarına doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. Ayrıca, ticari açıklık ile CO₂ emisyonları ve yenilenebilir enerji tüketimi ile CO₂ emisyonları arasında çift yönlü nedensellik ilişkileri bulunmuştur. Son olarak, çevresel teknolojik inovasyonlardan CO₂ emisyonlarına doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, 1997-2022 dönemine ait 28 OECD ülkesinin verileri kullanılarak çevresel teknolojik inovasyonlar ile CO₂ emisyonları arasındaki ilişki analiz edilmiştir. PMG, FMOLS ve DOLS gibi panel tahmincileri ile analizlerin yapıldığı çalışmada, çevresel teknolojileri temsilen çevreyle ilgili patentlerin toplam patentler içerisindeki payı kullanılmıştır. Ayrıca modele, kontrol değişkenleri olarak kişi başına GSYH, ticari açıklık ve yenilenebilir enerji tüketimi değişkenleri dâhil edilmiştir.

Çalışmada elde edilen bulgulara göre, kişi başına gelirden meydana gelen artışın uzun dönemde kıyasla kısa dönemde çevresel kaliteyi daha fazla bozduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuç, OECD ülkeleri için ÇKE hipotezinin geçerli olduğunu göstermektedir. Diğer yandan ticari açıklıkta meydana gelen bir artışın CO₂ emisyonlarını artırdığı tespit edilmiştir. Bu durum, OECD ülkelerinde ölçek etkisinin geçerli olduğunu; diğer bir ifadeyle, dış ticaret hacminin genişlemesinin üretim ve tüketim faaliyetlerini artırarak çevresel baskıyı güçlendirdiğini göstermektedir. Son olarak çalışmada yenilenebilir enerji tüketiminin CO₂ emisyonlarını azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Elde edilen temel bulgu, çevresel teknolojik inovasyonların CO₂ emisyonları üzerindeki azaltıcı etkisinin kısa dönemden ziyade uzun dönemde belirginleştiğini göstermektedir. Bu sonuç, çevresel teknolojilerin emisyon azaltma potansiyelinin anlık bir etki yaratmaktan ziyade, bir yapısal dönüşüm süreci içerisinde zamanla ortaya çıktığını düşündürmektedir. Bu uzun dönemli etki, çevresel patentlerin üretim süreçlerine entegre edilmesi, ticarileştirilmesi ve firmalar tarafından benimsenmesinin uzun bir zaman dilimi gerektirmesi gibi temel unsurlarla açıklanmaktadır.

Çalışmada elde edilen bulgular doğrultusunda çeşitli politika önerileri sunulmuştur. Analiz sonuçları, özellikle çevresel teknolojik inovasyonlar açısından politika yapıcılarının uzun vadeli ve istikrarlı bir politika çerçevesi benimsemeleri gerektiğine işaret etmektedir. Bu kapsamda, çevresel teknolojilerin gelişimini desteklemek amacıyla Ar-Ge faaliyetlerine daha fazla kaynak ayırması ve işletmeleri yeşil teknoloji inovasyonlarına yönlendirmesi gerekmektedir. Aynı zamanda bu teknolojilerin yayılımını hızlandırmak için fikri mülkiyet hakları, yeşil finans ve kamu desteklerine ilişkin yenilikçi mekanizmaların geliştirilmesi önerilmektedir.

5. Kaynaklar

- Ahmed, N., Areche, F. O., Nieto, D. D. C., Borda, R. F. C., Gonzales, B. C., Senkus, P., ... & Skrzypek, A. (2022). Nexus between cyclical innovation in green technologies and CO₂ emissions in Nordic countries: Consent toward environmental sustainability. *Sustainability*, 14(18), 11768. <https://doi.org/10.3390/su141811768>
- Akçakanat, Ö., Özkul, G., Özdemir, O., & Kasım, M. (2025). The impact of environmental technologies and environmental policy stringency on environmental degradation. *Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi*, 10(Özel Sayı), 318-335. <https://doi.org/10.30784/epfad.1813824>
- Aktaş, A. R., Kaplan, F., & Koluman, A. (2024). Analyzing global crop trade patterns and regional differentiation in the face of climate change: A club convergence approach. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 10(4), 455-464
- Akyol, M., & Mete, E. (2021). Çevresel teknolojik inovasyonların CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi: OECD ülkeleri örneği. *İstanbul İktisat Dergisi*, 71(2), 569-590. <https://doi.org/10.26650/ISTJECON2021-935480>
- Ang, J. B. (2007). CO₂ emissions, energy consumption, and output in France. *Energy Policy*, 35(10), 4772-4778. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.03.032>
- Atılgan, D. (2025). Çevresel teknolojik inovasyonun küresel ısınma üzerine etkisi: BRIC ve Türkiye ülkeleri üzerine ampirik bir inceleme. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 52, 1-14. <https://doi.org/10.61904/sbe.1591309>
- Chen, K., & Villoria, N. (2019). Climate shocks, food supply chains, and global food trade. *Environmental Research Letters*, 14(5), 054010. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab0d87>
- Churchill, S. A., Inekwe, J., Ivanovski, K., & Smyth, R. (2018). The Environmental Kuznets Curve in the OECD: 1870-2014. *Energy Economics*, 75, 389-399. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.09.008>
- Çağlar, A. E. (2022). Türkiye’de çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinin araştırılmasında çevresel patentlerin rolü: Genişletilmiş ARDL ile kanıtlar. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 15(4), 913-929. <https://doi.org/10.25287/ohuiibf.1100797>
- Çamkaya, S. (2024). Türkiye’de çevresel teknolojilerin çevresel kirlilik üzerindeki etkisi: Fourier yaklaşımlarından ampirik kanıtlar. *Third Sector Social Economic Review*, 59(4), 2024-2043. <https://doi.org/10.15659/3.sektor-sosyal-ekonomi.24.10.2316>
- Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets Curve hypothesis: A survey. *Ecological Economics*, 49(4), 431-455. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.02.011>

- Du, K., Li, P., & Yan, Z. (2019). Do green technology innovations contribute to carbon dioxide emission reduction? Empirical evidence from patent data. *Technological Forecasting and Social Change*, 146, 297–303. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.05.020>
- Feridun, M., Ayadi, F. S., & Balouga, J. (2006). Impact of trade liberalization on the environment in developing countries: The case of Nigeria. *Journal of Developing Societies*, 22(1), 39–56. <https://doi.org/10.1177/0169796X06062965>
- Gouel, C., & Guimbard, H. (2018). Nutrition transition and the structure of global food demand. *American Journal of Agricultural Economics*, 100(5), 1287–1307. <https://doi.org/10.1093/ajae/aay030>
- Gouel, C., & Laborde, D. (2018). The crucial role of international trade in adaptation to climate change. *American Economic Journal: Economic Policy*, 10(4), 1–38. <https://doi.org/10.1257/pol.20160296>
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). *Environmental impacts of the North American Free Trade Agreement* (NBER Working Paper No. 3914). National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w3914>
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353–377. <https://doi.org/10.2307/2118443>
- Hieu, N. T., Le Thanh, H., & Anh, B. T. M. (2023). Scrutinizing time-varying interlinkages between digitalization, green technologies, CO₂ emissions, and energy productivity in Vietnam. *Journal of Cleaner Production*, 415, 137581. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137581>
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jaffe, A. B., Newell, R. G., & Stavins, R. N. (2002). Environmental policy and technological change. *Environmental and Resource Economics*, 22(1–2), 41–70. <https://doi.org/10.1023/A:1015519401088>
- Kalkan, Y. ve Pala, F. (2022). Yüksek teknoloji ihracatı belirleyicilerinin panel Ardl analizi ile incelenmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (35), 193–204. <https://doi.org/10.20875/makusobed.1110014>
- Kaplan, F., & Aktaş, A. (2015). A causality analysis of tourism revenues and economic growth on selected Mediterranean countries. *Available at SSRN* 2586834.
- Kaplan, F., & Aktaş, A. R. (2016). Petrol bağımlısı ülkelerde reel petrol fiyatlarının reel döviz kuruna etkisi. *Business and Economics Research Journal*, 7(2), 103–113. <https://doi.org/10.20409/berj.2016217498>
- Koçak, E. (2024). Çevresel Teknolojik inovasyonun küresel ısınma üzerindeki etkisine ilişkin bir inceleme: Türkiye’den kanıtlar. *Fiscaoeconomia*, 8(2), 478–494. <https://doi.org/10.25295/fsecon.1405227>

- Narayan, P. K., & Narayan, S. (2010). Carbon dioxide emissions and economic growth: Panel data evidence from developing countries. *Energy Policy*, 38(1), 661–666. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.005>
- Nazlioglu, S., Kayhan, S., & Adiguzel, U. (2014). Electricity consumption and economic growth in Turkey: Cointegration, linear and nonlinear Granger causality. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 9(4), 315–324. <https://doi.org/10.1080/15567249.2010.500470>
- OECD. (2011). *Invention and transfer of environmental technologies*. OECD Publishing.
- OECD. (2022). *OECD environmental performance review 2022*. OECD Publishing.
- Oğul, B. (2022). Türkiye’de çevresel teknolojik inovasyonlar ekolojik ayak izini azaltıyor mu? ARDL sınır testi analizi. *İnönü Üniversitesi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(2), 409–427. <https://doi.org/10.54282/inijoss.1116874>
- Panayotou, T. (1993). Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development (Working Paper No. WP238). International Labour Office.
- Pata, U. K., & Yilanci, V. (2020). Financial development, globalization and ecological footprint in G7: Further evidence from threshold cointegration and fractional frequency causality tests. *Environmental and Ecological Statistics*, 27(4), 803–825. <https://doi.org/10.1007/s10651-020-00477-5>
- Pesaran, M. H. (2004). General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels. Cambridge Working Papers in Economics no. 435. University of Cambridge
- Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22(2), 265–312. <https://doi.org/10.1002/jae.951>
- Pesaran, M. H., & Yamagata, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels. *Journal of Econometrics*, 142(1), 50–93. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2007.05.010>
- Pesaran, M., Shin, Y., (1999). An autoregressive distributed lag modeling approach to cointegration analysis. In: Strom, S. (Ed.), *Econometrics and Economic Theory in the 20th Century: The Ragnar Frisch centennial Symposium*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Popp, D. (2019). Environmental policy and innovation: A decade of research. *International Review of Environmental and Resource Economics*, 13(3–4), 265–337. <https://doi.org/10.1561/101.00000121>
- Porter, M. E., & van der Linde, C. (1995). Toward a new conception of the environment–competitiveness relationship. *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 97–118. <https://doi.org/10.1257/jep.9.4.97>

- Shafik, N., & Bandyopadhyay, S. (1992). *Economic growth and environmental quality: Time series and cross-country evidence* (World Bank Working Paper No. WPS 904). The World Bank.
- Shahbaz, M., Patel, N., Du, A. M., & Ahmad, S. (2024). From black to green: Quantifying the impact of economic growth, resource management, and green technologies on CO₂ emissions. *Journal of Environmental Management*, 360, 121091. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121091>
- Shahbaz, M., Solarin, S. A., Mahmood, H., & Arouri, M. (2013). Does financial development reduce environmental degradation? Evidence from a panel of selected countries. *Energy Economics*, 40, 422–432. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.07.003>
- Sharma, S. S. (2011). Determinants of carbon dioxide emissions: Empirical evidence from 69 countries. *Applied energy*, 88(1), 376–382. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.07.022>
- Stern, N. (2007). *The economics of climate change: The Stern review*. Cambridge University Press.
- Ulucak, R., Danish, & Kassouri, Y. (2020). An assessment of the environmental sustainability corridor: Investigating the non-linear effects of environmental taxation on CO₂ emissions. *Sustainable Development*, 28(4), 1010–1018. <https://doi.org/10.1002/sd.2050>
- UNEP. (2022). *Global environment outlook 6: Healthy planet, healthy people*. United Nations Environment Programme.
- Yıldız, G. A. (2021). OPEC üyesi orta doğu ülkelerinde CO₂ emisyonu, enerji tüketimi ve ticari açıklık: panel ARDL yaklaşımı. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 35(1), 83–102. <https://doi.org/10.16951/atauniiibd.737957>
- Yü, K.-J., & Geetha, C. (2017). The nexus between technology innovation and CO₂ emissions in Malaysia: Evidence from Granger causality test. *Energy Procedia*, 105, 3118–3124. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.654>
- Yilanci, V., & Pata, U. K. (2020). Investigating the EKC hypothesis for China: The role of economic complexity on ecological footprint. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 32683–32694. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09434-4>
- Zaidi, S., & Saidi, K. (2018). Environmental pollution, health expenditure and economic growth in Sub-Saharan African countries: A panel ARDL approach. *Sustainable Cities and Society*, 41, 833–840. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.04.034>
- Zhang, W., & Pei, Y. (2023). Determinants of China–Africa agricultural trade under climate change. *Agricultural Economics*, 54(3), 345–362. <https://doi.org/10.1111/agec.12779>