



## Çevresel Ar-Ge Harcamalarını Hızlandırmak Karbon Emisyonlarını Azaltır mı?: Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezi Perspektifinde Panel Kantil Regresyon Kanıtları

Doğan BARAK\*  
Mustafa KOÇOĞLU\*\*

### Öz

Bu çalışmanın amacı, 1995 ve 2018 yıllarını içeren seçilmiş 30 OECD ülkesi için ekonomik büyüme, enerji kullanımı, yenilenebilir enerji kullanımı ve çevresel araştırma geliştirme (Ar-Ge) harcamalarının CO<sub>2</sub> emisyonları dağılımları üzerindeki etkilerini, Koenker (2004) tarafından geliştirilen panel kantil regresyon yöntemi ile tahmin etmektir. Bulgular, Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) hipotezinin geçerli olduğunu ortaya koymuştur. İlave olarak, yenilenebilir enerji kullanımının ve çevresel Ar-Ge harcamalarının CO<sub>2</sub> emisyonlarını azalttığını, enerji kullanımının ise CO<sub>2</sub> emisyonlarını artırdığını göstermektedir. Ayrıca, kantil katsayılarının sağlamlığı Gaussian sabit etki ve Bayesian sabit etki regresyon yöntemleri kullanılarak test edilmiştir. Böylece, çevresel Ar-Ge harcamalarını artırmaya yönelik politikaların geliştirilmesinin çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir bileşen olduğu saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Çevresel Ar-Ge Harcamaları, Enerji Kullanımı, ÇKE, Panel Kantil Regresyon.

**Makale Türü:** Araştırma Makalesi

## Does Accelerating Environmental R&D Spending Reduce Carbon Emissions?: Evidence for Panel Quantile Regression in the Perspective of the Environmental Kuznets Curve Hypothesis

### Abstract

This study aims to analyze the effects of economic growth, energy use, renewable energy use, and environmental research and development (R&D) expenditures on CO<sub>2</sub> emissions distributions for 30 selected OECD countries covering the years 1995 and 2018, using the panel quantile regression method developed by Koenker (2004). The findings revealed that the Environmental Kuznets Curve (ÇKE) hypothesis is valid. In addition, it shows that renewable energy use and environmental R&D expenditures reduce CO<sub>2</sub> emissions, while energy use increases CO<sub>2</sub> emissions. In addition, the robustness of the quantile coefficients was tested using Gaussian fixed-effect and Bayesian fixed-effects regression methods. Thus, it has been determined that the development of policies to increase environmental R&D expenditures is an important component in terms of environmental sustainability.

**Keywords:** Environmental R&D Expenditures, Energy Use, EKC, Panel Quantile Regression.

**Article Type:** Research Article

\* Dr. Öğr. Üyesi, Bingöl Üniversitesi, İİBF, İktisat Bölümü, [dbarak@bingol.edu.tr](mailto:dbarak@bingol.edu.tr), ORCID iD: 0000-0002-8812-7668

\*\* Dr. Öğr. Üyesi, Erciyes Üniversitesi, İletişim Fakültesi, Halka İlişkiler ve Tanıtım Bölümü, [mkocoglu@erciyes.edu.tr](mailto:mkocoglu@erciyes.edu.tr), ORCID iD: 0000-0002-2942-8276

## 1. GİRİŞ

Ekonomik faaliyetlerin sürekli ve dinamik olması neticesinde çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik büyüme arasındaki hassas optimizasyonun nasıl sağlanacağı önemli bir araştırma konusu olmuştur. Bu nedenle düşük karbonlu ekonomik büyümeye geçiş iklim değişikliği ve küresel ısınma ile mücadelede temel çözüm olarak görülmektedir. EIA (2021) verilerine göre, dünyada toplam enerji üretiminde ve tüketiminde 1980 yılından 2021 yılına kadar sırasıyla %104.76 ve %105.95 artış meydana gelmiştir. OECD ülkelerinde ise 1980 yılından 2021 yılına kadar toplam enerji üretiminde ve tüketiminde sırasıyla %49.54 ve %28.66 artış yaşanmıştır. Enerji üretiminde ve tüketiminde yaşanan bu artışa bağlı olarak dünyada ve OECD ülkelerinde CO<sub>2</sub> emisyonlarında da artış meydana gelmiştir. 1980 yılına kıyasla 2021 yılında dünyada CO<sub>2</sub> emisyonlarında %89.44 ve OECD ülkelerinde %5.57 artış söz konusu olmuştur. IEA (2022) raporuna göre, küresel olarak enerji ile ilgili CO<sub>2</sub> emisyonları 2021 yılında 2020'ye kıyasla %6'lık bir artış (36,3 gigaton'a) sağlayarak şimdiye kadarki en yüksek yıllık seviyelerine ulaştı. Dolayısıyla çevresel bozulmanın önüne geçmek için enerji ile ilgili karbon emisyonlarını azaltma ihtiyacı önem arz etmektedir (Baloch vd. 2021; Khan vd. 2022). IRENA (2019) raporunda küresel enerji dönüşümüne odaklanmıştır. Bu raporda enerji kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarının %75'ini yenilenebilir enerji ve elektrifikasyonun tek başına azaltabileceği belirtilmiştir. Ayrıca enerji verimliliği de dâhil edilirse bu oranın %90'ın üzerine çıkabileceği ifade edilmiştir. Bu nedenle, CO<sub>2</sub> emisyonlarını en aza indirmek için, enerji sistemi içinde temiz enerji kaynaklarına büyük bir ihtiyaç duyulmaktadır (Alam vd., 2021).

Çevre kirliliğinin üstesinden gelmede etkili olabilecek en iyi çözüm temiz enerji kaynaklarının kullanımınıdır (Zafar vd., 2019; Adebayo vd., 2022; Jahanger vd., 2023). Ar-Ge harcamaları, küresel emisyon sorunu için çözüm olarak kabul edilen başka bir faktördür. İnovasyon, üretkenlik ve ekonomik büyüme artışının yanı sıra düşük karbonlu enerjiye geçişi de teşvik etmektedir. Ayrıca, inovasyon, daha iyi ekonomik çıktı elde edilmesini sağlayarak teknolojik ilerlemeyi de hızlandırır (Godil vd., 2021). OECD (2010) raporunda, inovasyonun çevresel hedeflere makul bir maliyetle ulaşmada kritik öneme sahip olduğunu ifade etmiştir. OECD (2023) verilerine göre 1980 yılında dünya ve OECD ülkelerinde çevre teknolojileri ile ilgili patentlerin tüm teknolojiler içindeki oranı %8.5 iken 2019 yılında bu oran dünyada %9.9'a ve OECD ülkelerinde ise %10.4'e yükselmiştir. Yeşil yenilik, ekonomilerin karbonsuzlaştırılması için çok önemlidir, ancak iyileştirme planlarında çok az sayıda yeşil Ar-Ge önemi tanımlanmıştır. Tüm kurtarma harcamalarının %1'inden daha azı yeşil Ar-Ge'ye yöneliktir. Yeşil iyileştirme önlemlerinde OECD üyeleri, Avrupa Birliği ve seçilmiş OECD üyesi olmayan büyük ekonomilerde büyük artış olmuştur. Çevresel açıdan olumlu önlemlere ayrılan bütçe 677 milyar dolardan 1.090 milyar dolarına yükselmiştir (OECD, 2022).

İnovasyon, üreticilerin rekabet gücünü ve performansını artırarak ekonomik büyümeyi, küresel ticareti ve bölgesel zenginliği teşvik eden teknik ilerleme ve kalkınma arasındaki bağlantıyı ifade etmektedir (Terzioğlu vd., 2020). Yeşil yenilik ise, kirlilik ve kaynak kullanımının olumsuz etkileri gibi çevresel tehlikeleri azaltmak amacıyla yeni mal ve teknolojilerin geliştirilmesine yardımcı olan bir süreçtir (Takalo ve Tooranloo, 2021). Yeşil yenilik ekonomilerin çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmayı ve enerji de dahil olmak üzere doğal kaynakların daha verimli kullanılmasını amaçlamaktadır (Yücel ve Terzioğlu, 2023).

Yeşil yeniliğin çevre kirliliği ile olan ilişkisi teorik bir temelde özetlenebilir. Ekonomik büyüme daha fazla enerji kullanımı gerektirdiğinden çevre kirliliğini artırır (Mahmood vd., 2019; Simionescu, 2021; Wen vd., 2021b). Ancak, çevre dostu teknolojik yeniliklerin yaygınlaşması, yeşil büyümeyi teşvik etme hedefiyle ülkenin kalkınma sürecinin yeniden yapılandırılmasını sağlar (Afshan, Ozturk ve Yaqoob, 2022). Temiz teknolojiler enerji verimliliğini artırarak çevresel performansı artırır. Diğer

tarafından çevresel yenilikler de çevresel performansı artırarak çevre kirliliğini azaltabilir (Wen vd., 2021a). Çevresel Ar-Ge, teknolojiye yenilik yaparak, enerji verimliliğini artırarak, ekonomik büyümeyi teşvik ederek CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmaya yardımcı olur (Shao vd., 2021a). Çevresel Ar-Ge'ye belirli bir düzeyde yatırım yapılması ile çevresel performansı etkilemesi mümkün olabilir. Çünkü çevresel Ar-Ge'ye yapılan yatırım genellikle iyileştirilmiş veya üstün çevresel performansla sonuçlanacaktır (Lanoie vd., 2011; Lee, Min ve Yook, 2015). Bir hükümet tarafından belirlenen çevresel Ar-Ge bütçesi, bir teşvik etkisi aracılığıyla Ar-Ge faaliyetlerindeki risk etkilerini daraltarak inovasyon sürecine yol açar. Bu süreç, yerli tüketiciler tarafından uygulanan yeşil teknolojilerin üretilmesine yardımcı olur. Ayrıca, bu tür bütçeler, farklı işletmelere yeşil teknolojileri kullanma konusunda sübvansiyonlar ve vergi teşvikleri sağlamak için kullanılmaktadır (Jiang vd., 2022). Çevresel kamu Ar-Ge harcamaları, daha temiz teknolojilerin geliştirilmesine yönelik özel harcamalar için bir katalizör olabilir (Komen, Gerking ve Folmer, 1997). Dolayısıyla ekolojik yeniliğin teorik temellerine göre çevresel kalite, çevresel düzenlemeler, daha temiz üretim yenilikleri ve ticari faaliyetlerin çevresel ayak izini azaltarak çevreye duyarlı teknoloji aracılığıyla geliştirilebilir (Oyebanji ve Kirikkaleli, 2022). Teknolojik yenilikler uzun vadede kirliliğin kontrolünde önemli rol oynamaktadır (Wang N. vd., 2023). Çünkü teknolojik yeniliklerin çevre kirliliğini azaltmada başarılı olması çevre ile ilgili teknolojilerin olgunlaşmasına bağlıdır (Abbas vd., 2023). Başlangıçta kirliletiçi enerji kaynaklarının, yenilenebilir enerji tesislerinin kurulmasında, yenilenebilir enerji kullanımının artırılmasında ve enerji verimliliğine yatırım yapılmasında kullanılması çevre kirliliğini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. İlerleyen dönemlerde Ar-Ge faaliyetleri ve inovasyon sayesinde teknolojik ilerleme gerçekleşir. Yenilenebilir enerji üretim, taşıma ve depolama teknikleri ile enerji verimliliğinin geliştirilmesi ile çevre kirliliği azaltılabilmektedir (Aydın vd., 2023).

Bu nedenle bu çalışma, son yıllarda çevresel Ar-Ge harcamalarında artış yaşanan seçilmiş 30 OECD ekonomisine odaklanmaktadır. Bilinen literatür incelendiğinde çevresel sürdürülebilirlik ve çevre kirliliğini iyileştiren ya da kötüleştiren bileşenlere odaklanan çok sayıda araştırma olmasına rağmen çok az sayıdaki çalışma çevresel Ar-Ge harcaması ve CO<sub>2</sub> emisyonları arasındaki ilişkiye odaklanmıştır. Dolayısıyla, CO<sub>2</sub> emisyonları azaltılmasında çevresel AR-GE bütçesinin rolü dikkate alınarak gerekli olabilecek potansiyel etkilerin belirlenmesi ve olası etkilerinin politika çıkarımlarının sunulması önem arz etmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde yeşil teknolojik yenilikler ve çevre kirliliği ilişkisini konu alan ilgili literatür incelenmiştir. Çalışmanın metodolojisi üçüncü bölümde gösterilmiştir. Dördüncü bölüm ampirik verileri ve sonuçların yorumlanmasını içermektedir. Beşinci bölüm, sonuçların bir özetini ve politika önerilerini sunmaktadır.

## 2. LİTERATÜR

Çevre kirliliğinin belirleyicileri ve çevresel sürdürülebilirlik bağlamında çevre kirliliğini azaltan veya artıran farklı faktörlere odaklanan araştırmalar mevcuttur (Grossman ve Krueger, 1991; Grossman ve Krueger, 1995; Adedoyin vd., 2020; Anser, Apergis ve Syed, 2021; Alharthi, Dogan ve Taskin, 2021; Balsalobre-Lorente vd., 2022; Ansari, 2022; Freire vd., 2023; Fakher vd., 2023; Wang, Zhang ve Li, 2023; Apergis vd. 2023). Bu çalışmalardan bazıları çevre kirliliğinde ekonomik büyümenin rolüne odaklanmış ve çevre kirliliği ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi ortaya koyan Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezini araştırmışlardır. Diğer bazı çalışmalar ise enerjinin rolü üzerine odaklanmış, yenilenebilir ve fosil enerji kaynaklarının çevre kirliliği ile olan ilişkisini ortaya koymuşlardır. Bu temel bileşenlerin yanında birçok farklı faktörün çevre kirliliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çevre kirliliğinde kentleşmenin (Tiwari vd., 2022; Kocoglu vd., 2022), ticari açıklığın (Chhabra, Giri ve Kumar, 2022; Udeagha ve Breitenbach, 2023), finansal gelişmenin (Abid vd., 2022; Qalati vd., 2023),

doğrudan yabancı yatırımların (İbrahim ve Ajide, 2021; Iqbal, Tang ve Rasool, 2023), ormansızlaşmanın (Tsiantikoudis vd., 2019; Arshad vd., 2020), doğal kaynak bolluğunun (Isiksal vd. 2022; Jahanger, Usman ve Ahmad, 2022), ekonomik politika belirsizliğinin (Zhou vd., 2022; Danish vd., 2023) rolü tartışılmıştır.

Tüm bunların yanında yeşil büyüme için bir ölçü olan toplam CO<sub>2</sub> emisyonlarını (Mensah at al., 2019) azaltarak yeşil büyümeyi teşvik etmek için çevre koruma harcamalarının (Gholipour ve Farzanegan, 2018; Basoglu ve Uzar, 2019), çevresel düzenlemelerin (Ulucak vd., 2020; Wu ve Gao, 2021), Ar-Ge harcamalarının (Kihombo vd., 2021; Sheikh ve Hassan, 2023), çevresel Ar-Ge bütçesinin (Mensah at al., 2019; Shao vd., 2021a; Jiang vd., 2022) ve çevre ile ilgili teknolojik gelişmelerin (Hussain vd., 2022; Koseoglu, Yucel ve Ulucak, 2022) rolü de son zamanlarda sıklıkla incelenmektedir.

İlgili literatür incelendiğinde farklı yeşil teknolojik yeniliklerin (yenilenebilir enerji, enerji AR-GE yatırımları, çevresel Ar-Ge harcamaları, çevre ile ilgili teknolojiler, teknolojik yenilik, yeşil patent, Ar-Ge harcamaları, ICT) çevre kirliliği üzerindeki olası etkileri incelenmiştir. Tablo 1’de yeşil teknolojik yeniliklerin çevre kirliliği üzerindeki olası etkisi ile ilgili literatür özetlenmiştir.

Çevresel Ar-Ge harcamalarının çevre kirliliği üzerindeki etkisini ele alan çalışmalardan, Mensah vd. (2019), 28 OECD ülkesinde çevresel Ar-Ge harcamalarının çevre kirliliğine etkisini incelemiştir. İkinci nesil panel eşbütünleşme yöntemlerinin kullanıldığı çalışmada çevresel Ar-Ge harcamalarının CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmada faydalı olduğu sonucuna ulaşmıştır. Nosheen, Iqbal ve Abbasi (2021) 18 Avrupa ülkesinde çevresel Ar-Ge harcamalarının yeşil büyümeyi artırdığı sonucuna ulaşmıştır. G7 ülkelerinde Safi vd., (2021), Jiang vd. (2022) ve Jiang vd. (2023) çevresel Ar-Ge harcamalarının CO<sub>2</sub> emisyonlarına etkisini CS-ARDL yöntemi ile incelemiştirler. Elde edilen sonuçlar, çevresel Ar-Ge harcamalarının CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmada yardımcı olduğunu ortaya koymuştur. Shao vd. (2021a) ABD’de CO<sub>2</sub> emisyonlarına çevresel Ar-Ge harcamalarının etkisini 1990-2019 dönemi için ele almışlardır. DOLS ve FMOLS yöntemlerinin kullanıldığı çalışmada yukarıda elde edilen sonuçlara benzer şekilde sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar çevreyle ilgili bütçenin çevresel kaliteyi iyileştirmede olumlu bir etkisinin olduğunu ortaya koymaktadır.

**Tablo 1.** Yeşil Teknolojik Yenilikler ve Çevre Kirliliği İlişkinine İlişkin Literatür

Yazar(lar)	Ülke(ler)/Dönem	Metodoloji	Yeşil teknolojik yeniliklerin çevre üzerindeki etkisi
Yii ve Geetha (2017)	Malezya/1971-2013	VECM ve TYDL Granger nedensellik	-
Amri (2018)	Tunus/1975-2014	ARDL	Anlamsız
Ganda (2019)	OECD/2000-2014	GMM	+
Khan vd. (2019)	Pakistan/1971-2016	Dynamic ARDL simulations	-
Dauda vd. (2019)	6 ülke grubu, MENA, BRICS	Westerlund (2007) eşbütünleşme, FMOLS, DOLS	G6 (-), MENA, BRICS (+)
Mensah vd. (2019)	28 OECD/ 2000-2014	İkinci nesil panel eşbütünleşme	-
Shahbaz vd. (2020)	Birleşik Krallık/1870-2017	Bootstrap ARDL	-
Danish ve Ulucak (2020)	BRICS/1992-2014	Westerlund (2007) eşbütünleşme, CUP-FM ve CUP-BC	-
Wang vd. (2020)	N11/1990-2017	Westerlund (2007) eşbütünleşme, AMG, CCEMG, MG	-
Erdoğan vd. (2020)	G20/1971-2017	CCE & AMG	+/-
Shao vd. (2021a)	ABD/1990-2019	DOLS, FMOLS	-

Wen vd. (2021a)	Gelişmekte olan 5 Güney Asya ülkesi/1990-2014	DOLS, FMOLS, Dumitrescu-Hurlin nedensellik	-
Usman ve Hammar (2021)	APEC/1990-2017	Westerlund (2007) eşbütünleşme, FGLS, AMG, CCEMG, Dumitrescu-Hurlin nedensellik	+
Iqbal vd. (2021)	OECD/1970-2019	Westerlund (2007) eşbütünleşme, AMG	-
Safi vd., (2021)	G-7/1990-2019	Westerlund (2007) eşbütünleşme, CS-ARDL, CCEMG, Dumitrescu-Hurlin nedensellik	-
Nosheen, Iqbal ve Abbasi (2021)	18 Avrupa ülkesi/2000-2017	Westerlund (2007) eşbütünleşme, FMOLS	-
Su vd. (2021)	Brezilya/1990-2018	Bayer and Hanck cointegration, DOLS, CCR ve frequency-domain nedensellik	+
Hussain ve Dogan (2021)	BRICS	Pedroni, Kao ve Westerlund eşbütünleşme testleri, CS-ARDL, AMG, CCEMG	-
Shao vd. (2021b)	N11/1980-2018	CS-ARDL, AMG, CCEMG	-
Mahou vd. (2022)	Kaliforniya/1987-2017	ARDL, Granger nedensellik	+
Jiang vd. (2022)	G7/1990-2020	CS-ARDL	-
Razzaq vd. (2022)	BRICS/1990-2017	Quantile cointegration, Quantile causality ve Quantile on Quantile regression	-
Islam vd. (2022)	Bangladeş/1972-2017	Dynamic ARDL simulation	-
Bilal vd. (2022)	One Belt One Road/1991-2019	Westerlund (2007) eşbütünleşme, DSUR, FMOLS, DOLS	-
Afshan, Ozturk ve Yaqoob (2022)	27 OECD/1990-2017	Method of Moment Quantile-Regression (MM-QR)	-
Oyebanji ve Kirikkaleli (2022)	Batı Avrupa ülkeleri/1990-2018	Westerlund eşbütünleşme, FMOLS ve DOLS	-
Xia (2022)	Çin (30 eyalet)/2005-2019	CUP-FM ve CUP-BC	-
Khan vd. (2022)	Kanada/1989-2020	Dynamic ARDL simulations	-
Karimi Alavijeh vd. (2023)	EU-14 ülkeleri/2000-2019	MMQR, FE-OLS, FMOLS ve DOLS	-
Kirikkaleli, Sofuoğlu ve Ojekemi (2023)	ABD	Fourier ARDL ve Fourier TY nedensellik	-
Chen vd. (2023)	17 gelişmekte olan ülke/1995-2019	Driscoll-Kraay, FMOLS	-
Abbas, Balsalobre-Lorente ve Aljuaid (2023)	Çin/1990-2020	ARDL, FMOLS, DOLS ve CCR	+
Sharif vd. (2023)	5 İskandinav ülkesi/1995-2020.	Westerlund ve Edgerton (2008), CS-ARDL, AMG ve CCEMG	-
Danish, Ulucak ve Baloch (2023)	ABD/1985-2020	Dynamic ARDL simulation ve Kernel-based Regularized Least Squares (KRLS)	-
Amin vd. (2023)	Güney Asya ülkeleri/1995-2020	AMG ve CCEMG, Dumitrescu-Hurlin nedensellik	-
Aydin vd. (2023)	Avrupa Birliği/1990-2018	Westerlund (2008) eşbütünleşme, DCCE, Konya (2006) nedensellik, Dumitrescu-Hurlin nedensellik	-

Hao ve Chen (2023)	E7/1990-2020	FMOLS, DOLS, CCR, Panel ARDL	Finansal yenilik (-), yeşil yenilik (anlamsız)
Raihan vd. (2023)	Endonezya/1990-2020	FMOLS and CCR, Granger nedensellik	-
Fang (2023)	Çin (32 eyalet)/2005-2019	GMM	-
Wang N. vd. (2023)	Çin/2006-2018	Panel threshold model	-
Triki vd. (2023)	Suudi Arabistan/1980-2020	ARDL, NARDL	-
Zhang vd. (2023)	ABD/1990-2019	Augmented ARDL	-
Jiang vd. (2023)	G7/1989-2021	CS-ARDL, AMG, Dumitrescu ve Hurlin (2012) nedensellik	-
Mehmood (2023)	Pakistan, Hindistan, Bangladeş ve Sri Lanka/1984-2017	CS-ARDL	+
Liu Y. vd. (2023)	BRICS/2000-2020	CS-ARDL, CCEMG ve AMG	-
Wang R. vd. (2023)	Gelişmekte olan 14 Avrupa birliği ülkesi/1995-2020	Westerlund eşbütünleşme, CCEMG ve AMG, Dumitrescu ve Hurlin nedensellik	-
Adebayo, Uhumure ve Shale (2023)	Güney Afrika/1980-2020	Bayer-Hanck eşbütünleşme ARDL, Time-varying nedensellik	-
Dai vd. (2023)	Altı ASEAN ülkesi/1995-2018	Westerlund (2008) eşbütünleşme, CuP-FM & CuP-BC, Dumitrescu ve Hurlin nedensellik	-
Kirik kaleli ve Ali (2023)	İzlanda/1995Q1- 2019Q4	Fourier-augmented Dickey-Fuller birim kök, Fourier-autoregressive distributive lag ve Fourier-Toda and Yamamoto nedensellik	-
Shah vd. (2023)	15 doğal gaz tedarikçisi ekonomi/2000-2019	AMG, CS-ARDL	-
Javed vd. (2023)	İtalya/1994-2019	Dinamic ARDL, Breitung ve Candelon (2006) Frekans alanı nedensellik testi	-

Bu çalışmalardan farklı sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

i) Genel olarak literatürdeki çalışmaların birçoğu, yeşil teknolojik yeniliklerin çevresel kaliteyi iyileştirdiği sonucuna varmıştır (Yii ve Geetha, 2017; Khan vd., 2019; Shahbaz vd, 2020; Wang vd., 2020; Wen vd., 2021a; Razaq vd., 2022; Karimi Alavijeh vd., 2023; Kirikkaleli, Sofuoğlu ve Ojekem, 2023; Chen vd., 2023; Danish, Ulucak ve Baloch, 2023; Amin vd., 2023; Wang N. vd., 2023; Adebayo, Uhumure ve Shale, 2023; Dai vd., 2023; Kirikkaleli ve Ali, 2023; Shah vd., 2023; Javed vd., 2023). Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar temelde řu konuya dikkat çekmişlerdir: çevre kirliliğini azaltmak için alınan yenilikçi önlemler çevre kalitesinin gelişmesine neden olan teknolojileri geliştirir. Çevre teknolojisindeki gelişmeler çevre kalitesinin gelişmesini sağlayarak çevresel bozulmayı önleyebilir.

ii) Literatürdeki bazı çalışmalar yeşil teknolojik yeniliklerin çevresel kaliteyi bozduğunu bildirmiştir (Ganda, 2019; Dauda vd., 2019; Erdoğan vd., 2020; Su vd., 2021; Usman ve Hammar, 2021; Mahou vd., 2022; Abbas, Balsalobre-Lorente ve Aljuaid, 2023; Mehmood, 2023). Bu sonucun elde edilmesinde řu sebepler yer alabilir: a) çevre kalitesini iyileştirecek yeşil teknolojik yeniliklere yatırım yapılmaması (Su vd., 2021; Mehmood vd., 2023). b) yeşil teknolojik yeniliklerin kullanımının yetersiz olması, çevre sorunlarıyla yeterince başa çıkamaması, enerji icadıyla ilgili bazı teknolojilerin yeşil büyümeyi hızlandırmaması (Usman ve Hammar, 2021). c) çevre ile ilgili teknolojilerin çevre kalitesini iyileştirmede tam olarak yeterli olgunluğa ulaşamaması (Abbas, Balsalobre-Lorente ve Aljuaid, 2023)

iii) Diğer bazı ampirik çalışmalar yeşil teknolojik yenilikler ile çevresel kalite arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olmadığı sonucuna ulaşmıştır (Amri, 2018; Hao ve Chen, 2023).

### 3. VERİLER VE METODOLOJİ

#### 3.1. Veriler

Bu çalışma, seçilmiş 30 OECD ekonomisi için 1995'ten 2018'e kadar, kişi başına düşen GSYİH, enerji kullanımı, çevresel AR-GE bütçesi, yenilenebilir enerji kullanımı ve CO<sub>2</sub> emisyonları arasındaki ilişkiyi araştırmaktadır. Bu çalışmada kullanılan değişkenlere ilişkin tanımlamalar ve veri kaynakları Tablo 2'de sunulmuştur.

**Tablo 2.** Verilerin Tanımlanması ve Elde Edildiği Kaynaklar

Değişkenler	Açıklama	Kaynak
<i>CO<sub>2</sub></i>	CO <sub>2</sub> emisyonlar (kişi başına metric ton)	<a href="https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=world-development-indicators#">https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=world-development-indicators#</a>
<i>GDP</i>	Kişi başına GDP (sabit 2015 ABD Doları)	<a href="https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=world-development-indicators#">https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=world-development-indicators#</a>
<i>EC</i>	Enerji kullanımı (kişi başına düşen petrol eşdeğeri kg)	<a href="https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=world-development-indicators#">https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=world-development-indicators#</a>
<i>ERR&amp;D</i>	Çevre ile ilgili kamu Ar-Ge bütçesi (toplam kamu Ar-Ge'nin yüzdesi)	<a href="https://stats.oecd.org/#">https://stats.oecd.org/#</a>
<i>REN</i>	Yenilenebilir enerji kullanımı (toplam nihai enerji tüketiminin yüzdesi)	<a href="https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=world-development-indicators#">https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=world-development-indicators#</a>

Bu çalışmada kullanılan tüm değişkenlerin doğal logaritmaları alınmıştır. Değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amacıyla, Mensah vd. (2019), Shao vd. (2021a) ve Jiang vd. (2022) çalışmaları takip edilmiştir:

$$CO_{2it} = \theta_i + \beta_1 GDP_{it} + \beta_2 GDPSQ_{it} + \beta_5 EC_{it} + \beta_6 ERR\&D_{it} + \beta_1 REN_{it} + e_{it} \quad (1)$$

*t* ve *i* sembolleri sırasıyla yılı ve ülkeleri temsil etmektedir. CO<sub>2</sub> kişi başına karbon emisyonu, GDP kişi başına GSYİH, GDPSQ kişi başına düşen GSYİH'nin karesi, EC kişi başına enerji kullanımı, ERR&D çevresel Ar-Ge bütçesi, REN yenilenebilir enerji kullanımınıdır, *e<sub>it</sub>* standart hata terimini ifade eder.

Çalışmada kullanılan değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 3'te verilmiştir. Bulgulara göre GDPSQ ve REN değişkenleri diğerlerine göre en yüksek oynaklığa sahiptir. Minimum ve maksimum değerler arasındaki en yüksek fark GDPSQ, GDP ve EC değişkenlerine aittir. Bu ülkelerde geçerli olan kişi başına düşen ortalama GSYİH'nin yaklaşık olarak 10.3020 (ABD doları) olduğu hesaplanmıştır.

İstatistiklerden elde edilen bulgular, tüm serilerin normal dağılmadığını ve bu serilerin heterojen olduğunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla bu sonuçlar kantil regresyon modeli uygulamalarının kullanımını desteklemektedir.

**Tablo 3.** Tanımlayıcı İstatistikler

	<i>CO2</i>	<i>GDP</i>	<i>GDPSQ</i>	<i>EC</i>	<i>ERR&amp;D</i>	<i>REN</i>
Ortalama	2.0912	10.2624	105.7671	8.2593	0.7584	2.3951
Medyan	2.1354	10.4438	109.0735	8.2631	0.8516	2.3684
Maksimum	3.2427	11.5660	133.7732	9.8079	3.7377	4.3594
Minimum	0.2878	8.2716	68.4209	6.4242	-3.0642	-0.8128
Std. Hata	0.5253	0.6710	13.4082	0.5491	0.7634	1.0608
Skewness	-0.8919	-0.8390	-0.6709	-0.6214	-0.2965	-0.4193
Kurtosis	4.8881	3.3802	3.1119	4.9795	5.2643	2.7666
Jarque-Bera	202.4248	88.5769	54.2378	142.9506	154.0978	22.7343
Olasılık Değer	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Gözlem Sayısı	720	718	718	628	675	720

### 3.2. Metodoloji

Bu çalışmada kişi başına GSYİH, enerji kullanımı, çevresel Ar-Ge bütçesi ve yenilenebilir enerji kullanımı arasındaki ilişki Koenker (2004) tarafından önerilen Panel sabit etkili Kantil Regresyon (PQR) metodu ile tahmin edilmiştir. Kantil regresyon yöntemi, ilk olarak Koenker ve Bassett (1978) tarafından tanıtıldı. Koenker (2004) gözlemlenmeyen sabit etkileri ortadan kaldırmak için minimizasyon prosedüründe bir ceza terimini dikkate alan panel kantil regresyon modeli önermiştir (Zhu vd., 2018; Yan vd., 2019; Syed vd., 2022). Bu yöntem, özellikle serilerin normal dağılmadığı durumlar için önerilmiştir (bkz. Koenker ve Bassett, 1978; Zhu vd., 2016; Albuşescu vd., 2019; Khan, Khan ve Binh, 2020). Ayrıca, PQR metodu tahmin edilen ve gözlenen değişkenler arasındaki tüm önemli varyasyonları yakaladığı ve böylece hatalı regresyon katsayılarını önlediği için tercih edilir (Akram vd., 2021). PQR metodu bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenin kantil dağılımlarına göre panel sabit etkiler yöntemi ile denklem (2) formasyonunu takip eder:

$$Q_{yt}(\tau|x_t) = x_t^T \beta_\tau \quad (2)$$

Kantil regresyon yöntemi, heterojenliği dikkate alır, aykırı değerlere ve değişen varyansa karşı sağlam sonuçlar üretebileceği bilinmektedir (Zhou ve Li, 2019). Model formu denklem (2) takip edilerek aşağıdaki gibi panel veri varyasyonuna genişletilir:

$$Q_{y_{it}}(\tau_k|\alpha_{it}, x_{it}) = \alpha_i + x_{it}^T \beta(\tau_k), \quad i = 1, 2, \dots, N \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (3)$$

Denklem (3)'te  $\alpha_i$  gözlemlenmemiş bireysel sabit etkileri temsil eder,  $y_i$  CO<sub>2</sub> emisyonlarını,  $\tau$  kantil dağılımlarını ve  $x_i$  bağımsız değişkenlerin vektörünü temsil eder. Yukarıda da ifade edildiği gibi panel kantil regresyon, bilinmeyen parametreleri tahmin etmek için bir ceza terimi getirecektir. Parametreleri tahmin etme yöntemi aşağıdaki gibidir:



$$\min(\alpha, \beta) \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N \omega_k \rho_{\tau_k} \left( y_{it} - \alpha_i - x_{it}^T \beta(\tau_k) \right) + \lambda \sum_i^N |\alpha_i|, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (4)$$

Burada  $i$  ve  $t$  sırasıyla farklı bir ülkeyi ve farklı bir zaman aralığını temsil eder. Bu çalışmada,  $N=38$ ,  $T=24$ 'tür. Burada  $k$  farklı bir niceliksel değeri,  $x$  açıklayıcı bir değişkeni,  $\rho_{\tau_k}$  niceliğin bir kayıp fonksiyonunu,  $w_k$  ağırlık indeksini ve  $\lambda$  ceza faktörünü temsil eder. Bu nedenle, modelin özel formu aşağıdaki gibidir:

$$Q_{y_{it}}(\tau|\alpha_i, \varepsilon_t, x_{it}) = \alpha_i + \varepsilon_t + \beta_{1\tau}GDP_{it} + \beta_{2\tau}GDPSQ_{it} + \beta_{3\tau}EC_{it} + \beta_{4\tau}ERR\&D_{it} + \beta_{5\tau}REN_{it} \quad (5)$$

Burada  $i$  ve  $t$  sırasıyla ülkeler ve zamanı göstermektedir.

#### 4. AMPİRİK SONUÇLAR

Tablo 4, Pesaran (2004) CD testine dayalı olarak elde edilen yatay kesit bağımlılığının sonuçlarını açıklamaktadır. Sıfır hipotezi altında yatay kesit bağımlılık testinin sonuçları yatay kesit bağımsızlığının olduğunu şart koşturmaktadır. Bu nedenle yatay kesit bağımlılığının olmadığı sıfır hipotezi, çevresel Ar-Ge bütçesi hariç tüm değişkenler için reddedilmektedir. Heterojenlik testine ait sonuçlar da Tablo 4'te verilmektedir. Parametre heterojenliğini araştırmak için Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından geliştirilen test uygulanmıştır. Bu teste ait sıfır hipotezinin reddedilmesi, panel veri modellerinde eğim katsayılarının heterojen olduğunu göstermektedir.

**Tablo 4.** Yatay Kesit Bağımlılığı Heterojenlik Testi

Yatay kesit bağımlılığı						
	<i>CO2</i>	<i>GDP</i>	<i>GDPSQ</i>	<i>EC</i>	<i>ERR &amp; D</i>	<i>REN</i>
CD test	39.34	86.38	86.27	24.70	-1.53	56.07
Olasılık	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.126)	(0.000)
Heterojenlik testi						
Delta	12.319 (0.000)					
Delta adj.	15.387 (0.000)					
Not: * $p < 0.01$ , ** $p < 0.05$ and *** $p < 0.1$ .						

Tablo 5'te Fisher Type ADF (Choi, 2001) birim kök testi ile çalışmada kullanılan değişkenlerin durağanlıkları kontrol edilmiştir. Elde edilen sonuçlar serilerin düzeyde birim kökün varlığına ilişkin sıfır hipotezinin reddedilemeyeceğini göstermektedir. Dolayısıyla bu sonuç, çevre kirliliği, kişi başına düşen gelir, kişi başına düşen gelirin karesi, enerji kullanımı, çevresel Ar-Ge harcamaları ve yenilenebilir enerji kullanımı serilerinin düzeyde durağan olmadığını, ancak birinci farklarında sıfır hipotezinin reddedilerek birim köklere sahip olmadığını ve durağan olduğunu göstermektedir.

Birim kök testinden sonra değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişki Pedroni-ADF, Pedroni-PP (Pedroni, 1999, 2004), Kao-ADF (Kao, 1999) ve Westerlund (2005) eşbütünleşme testleri ile

incelenmiştir. Bu testlerden elde edilen sonuçlar değişkenler arasında uzun dönemli ilişki olduğunu ortaya koymaktadır.

**Tablo 5.** Panel Birim Kök ve Eşbütünleşme Testleri

Değişkenler	Fisher Type ADF		Eşbütünleşme	İstatistik
	Seviye	Fark		
<i>CO2</i>	48.4966	133.7219***	<b>Pedroni-ADF</b>	-8.2534***
<i>GDP</i>	52.4199	94.1475***	<b>Pedroni-PP</b>	-11.3178***
<i>GDPSQ</i>	51.4889	93.8630***	<b>Kao-ADF</b>	2.0939***
<i>EC</i>	26.4156	79.9947 **	<b>Westerlund (2005)</b>	-2.9691***
<i>ERR &amp; D</i>	45.9563	146.4205***		
<i>REN</i>	38.2054	120.9603***		

\*/\*\*/\*\* değişkenlerin sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Kao-ADF (Kao, 1999), Pedroni-ADF, Pedroni-PP (Pedroni (2004); Pedroni (1999) ve (Westerlund, 2005) sabit terimi içermektedir. Sıfır hipotezi, değişkenlerin eşbütünleşik olmadığıdır. Gecikme uzunluğu: AIC'ye göre seçilir.

Panel kantil regresyon bulguları Tablo 6'da verilmiştir. GDP ve GDPSQ'nun tüm kantillerde CO<sub>2</sub> emisyonları dağılımları üzerindeki etkisi tutarlı bir şekilde sırasıyla pozitif ve negatif olarak bulunmuştur. Elde edilen katsayıların istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Dolayısıyla GDP değişkenine ait katsayının pozitif ve GDPSQ değişkenine ait katsayının negatif olması, ekonomik büyüme ile CO<sub>2</sub> emisyonları arasında ters-U şeklinde bir ilişki olduğunu ortaya koyan Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezini doğrulamaktadır. Elde edilen bu bulgular literatürdeki birçok çalışma tarafından desteklenmektedir (Adedoyin vd., 2020; Alharthi, Dogan ve Taskin, 2021; Ansari, 2022; Balsalobre-Lorente vd., 2022; Wang, Zhang ve Li, 2023). Enerji kullanımının sonuçları, enerji tüketiminin tüm kantiller için CO<sub>2</sub> emisyonları ile pozitif ve anlamlı bir ilişkisi olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, literatürle desteklenmektedir (Anser, Apergis ve Syed, 2021; Ayhan vd., 2023; Liu H. vd., 2023; Ayad vd., 2023). Yenilenebilir enerji kullanımı sonuçları, yenilenebilir enerji kullanımının tüm kantiller için CO<sub>2</sub> emisyonları ile negatif ve anlamlı bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuç Dong, Dong ve Jiang (2020), Haldar ve Sethi (2021), Khan, Weil ve Khan (2022), Kirikkaleli, Güngör ve Adebayo (2022), Mohsin vd. (2023), Demir vd. (2023) çalışmalarının sonuçları ile tutarlıdır. Bu çalışmanın odak noktasını oluşturan çevresel Ar-Ge harcamalarının CO<sub>2</sub> emisyonları ile ilişkisine bakıldığında, sonuçlar çevresel Ar-Ge harcamalarının CO<sub>2</sub> emisyonları ile negatif ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Mensah vd. (2019) 28 OECD ülkesi için, Safi vd. (2021), Jiang vd. (2022) ve Jiang vd. (2023) G7 ülkeleri için ve Shao vd. (2021a) ABD için, Nosheen, Iqbal ve Abbasi (2021) 18 Avrupa ülkesi için bu çalışmanın sonuçları ile tutarlı olarak çevresel Ar-Ge harcamalarının CO<sub>2</sub> emisyonları üzerinde negatif bir etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır.

**Tablo 6.** Panel Kantil Regresyon

	<i>GDP</i>	<i>GDPSQ</i>	<i>EC</i>	<i>ERR&amp;D</i>	<i>REN</i>
10 <sup>th</sup>	2.229** (0.938)	-0.110** (0.0470)	0.391** (0.198)	-0.0273 (0.0193)	-0.166*** (0.0319)
20 <sup>th</sup>	2.136*** (0.719)	-0.106*** (0.0360)	0.410*** (0.152)	-0.0248* (0.0148)	-0.158*** (0.0244)
30 <sup>th</sup>	2.065*** (0.575)	-0.103*** (0.0288)	0.425*** (0.121)	-0.0229* (0.0118)	-0.151*** (0.0196)
40 <sup>th</sup>	2.006*** (0.484)	-0.101*** (0.0243)	0.437*** (0.102)	-0.0214** (0.00996)	-0.146*** (0.0165)
50 <sup>th</sup>	1.952*** (0.439)	-0.0988*** (0.0220)	0.448*** (0.0926)	-0.0199** (0.00903)	-0.141*** (0.0150)
60 <sup>th</sup>	1.887*** (0.449)	-0.0962*** (0.0225)	0.461*** (0.0949)	-0.0182** (0.00925)	-0.135*** (0.0153)
70 <sup>th</sup>	1.837*** (0.504)	-0.0941*** (0.0253)	0.472*** (0.106)	-0.0169 (0.0104)	-0.130*** (0.0171)
80 <sup>th</sup>	1.792*** (0.576)	-0.0923*** (0.0289)	0.481*** (0.122)	-0.0157 (0.0119)	-0.126*** (0.0196)
90 <sup>th</sup>	1.727** (0.709)	-0.0896** (0.0356)	0.494*** (0.150)	-0.0139 (0.0146)	-0.120*** (0.0241)

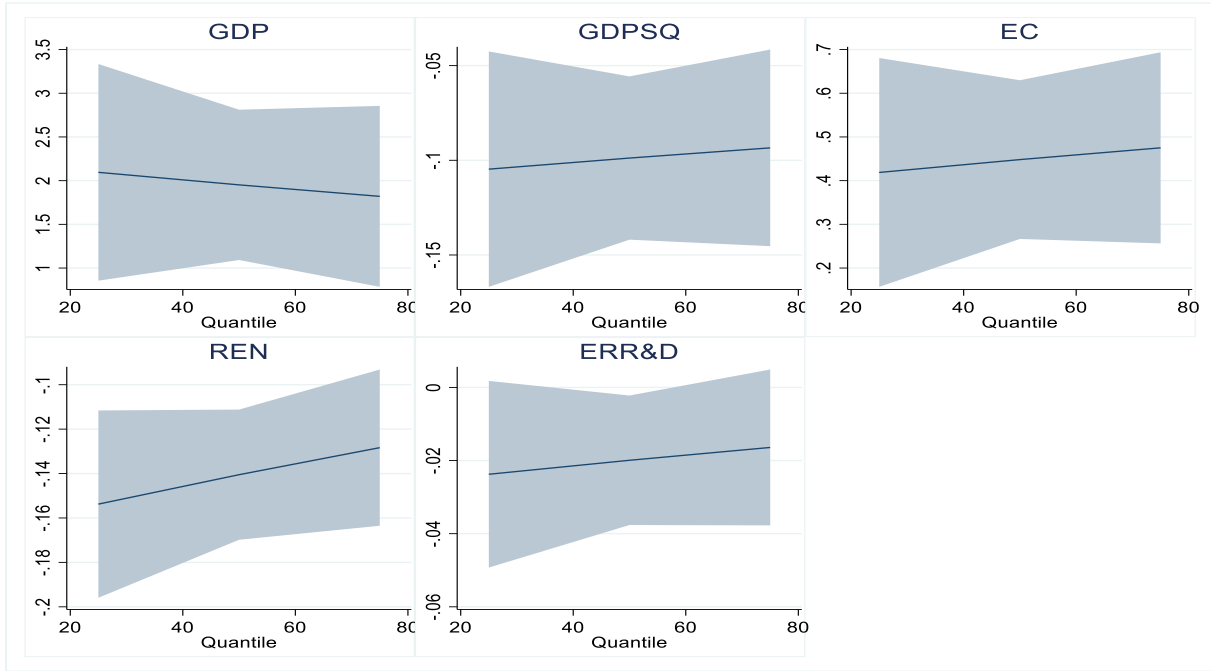
Notlar: \*\*\*/\*\*/\* sırasıyla değişkenlerin %1, %5 ve %10 düzeylerinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu gösterir. Parantez içerisindeki değerler standart hataları gösterir.

PQR metodolojisi ile tahmin edilen katsayıların sağlamlık kontrolleri, Tablo 7’de sunulan Gaussian temelli olasılık dağılımı yöntemini baz alan sabit etki ve Bayesian temelli olasılık dağılımını baz alan sabit etki metodlarıyla yeniden tahmin edilmiştir. Bayesian ve Gaussian olasılık dağılımı prosedürleri için Kim ve Schmidt (2000) çalışmasına bakılabilir. Bu tabloda, GDP’nin CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki marjinal etkilerinin pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı, GDPSQ değişkeninin CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki marjinal etkisinin negatif ve istatistiksel olarak anlamlı, enerji kullanımının CO<sub>2</sub> emisyonları üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yenilenebilir enerji kullanımı ve çevresel Ar-Ge harcamalarının CO<sub>2</sub> emisyonları üzerinde negatif bir etkiye sahip ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur. PQR, Gaussian sabit etki ve Bayesian sabit etki yöntemleriyle yapılan katsayı tahminleri tutarlı ve birbirini desteklemektedir.

**Tablo 7.** Gaussian ve Bayesian Olasılık Dağılımları ile Tahmin Edilen Panel Sabit Etki Katsayıları

Değişkenler	Gaussian Sabit etki	Bayesian Sabit etki
<i>GDP</i>	1.957*** (0.432)	1.9541** (0.413)
<i>GDPSQ</i>	-0.0990*** (0.0215)	-0.0980*** (0.0207)
<i>EC</i>	0.447*** (0.0437)	0.4626*** (0.0411)
<i>ERR&amp;D</i>	-0.0201*** (0.0069)	-0.02042*** (0.0071)
<i>REN</i>	-0.141*** (0.0113)	-0.1433*** (0.0103)
Sabit Katsayı	-10.85*** (2.205)	-11.0212 (2.0833)

Notlar: \*\*\*\*/\*\*/ srasıyla değişkenlerin %1, %5 ve %10 düzeylerinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu gösterir. Parantez içerisindeki değerler standart hataları gösterir.



**Şekil 1.** Kantil Regresyon Katsayıları

Şekil 1, kantil regresyon sonuçlarını vermektedir. Dikey eksen değişkenlere ait katsayıları ve yatay eksen kantil dağılımlarını göstermektedir.

GDP'nin ve GDPSQ'nun CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki etkisi tüm kantillerde sırasıyla pozitif ve negatiftir. Bu sonuç ÇKE hipotezini doğrulamaktadır. Enerji kullanımı CO<sub>2</sub> emisyonlarını artırıyor ve

enerji kullanımı katsayısı tüm dönemler için artmaktadır. Yenilenebilir enerji tüketimi ve çevresel Ar-Ge harcamaları CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmaktadır.

## 5. SONUÇ VE POLİTİKA ÖNERİLERİ

Çevre kirliliği ve çevresel Ar-Ge harcamaları arasındaki etkileşim, Koenker (2004) tarafından önerilen Panel sabit etkili Kantil Regresyon (PQR) modeli ile tahmin edilmiştir. Bu yöntem heterojenliği dikkate aldığından, değişen varyansa karşı sağlam sonuçlar ürettiğinden ve serilerin normal dağılım göstermesini gerektirmediğinden tercih edilmiştir. Pedroni-ADF, Pedroni-PP, Kao-ADF ve Westerlund (2005) eş-bütünleşme testlerinin sonuçları kişi başına GSYİH, enerji kullanımı, çevresel Ar-Ge bütçesi ve yenilenebilir enerji kullanımı arasında uzun dönemli bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Panel kantil sonuçları söz konusu ülkelerde ÇKE hipotezinin geçerli olduğunu, enerji kullanımının CO<sub>2</sub> emisyonlarını artırdığını ve yenilenebilir enerji kullanımının CO<sub>2</sub> emisyonlarını azalttığını rapor etmektedir. Çalışmanın odak noktasını oluşturan çevresel Ar-Ge harcamaları CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltarak çevre kalitesini artırdığı tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar sağlamlılık için uygulanan Gaussian sabit etki ve Bayesian sabit etki yöntemlerinin sonuçları ile tutarlı sonuçlar ortaya koymuştur. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalar ile oldukça tutarlıdır.

Ar-Ge harcamaları ekonomik ilerlemenin (Lichtenberg, 1992; Zachariadis, 2003) ve verimliliğın (Ulku, 2004; Fraumeni ve Okubo, 2005) arkasındaki temel güçtür. Ar-Ge harcamaları enerji (Churchill, Inekwe ve Ivanovski, 2021), istihdam (Van Roy, Vértesy ve Vivarelli, 2018) ve kirlilik (Fernández, López ve Blanco, 2018) politikaları üzerinde önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle Ar-Ge harcamalarının ekonomi üzerindeki etkisi çok yönlüdür. Ar-Ge harcamaları kirliliği azaltmaya yönelik politikalar üzerinde etkili olduğundan yeşil büyümeye yönelik politikalara ışık tutar. Her ne kadar toplam Ar-Ge harcamaları kirliliğın azaltılmasında önemli rol oynasa da doğrudan çevreyi ilgilendiren enerji Ar-Ge harcamalarının (Balsalobre, Álvarez ve Cantos, 2015; Jin vd., 2017) ve çevresel Ar-Ge harcamalarının (Mensah vd., 2019; Jiang vd., 2023) kirliliği azaltmadaki rolü daha etkin olabilir. Çevreyle ilgili bütçenin çevresel kaliteyi iyileştirmede olumlu bir etkisi vardır. Dolayısıyla, 12 Aralık 2017'de Paris'teki Tek Gezegen Zirvesi'nde başlatılan OECD Paris İşbirliği Yeşil Bütçeleme (PİYB) süreci sürdürülebilir büyümeye katkıda bulunabilir. PİYB, ulusal harcama ve gelir süreçlerinin çevresel ve diğer hedeflerle uyumlu hale getirilmesindeki ilerlemeleri değerlendirmek ve teşvik etmek için yeni, ileri teknolojiler geliştirmeyi amaçlamaktadır. Nosheen, Iqbal ve Abbasi (2021) ekonomilerin farklı çevresel hedeflere ulaşmasında yeşil bütçelemenin iki kanalla destekleyici rol oynadığını belirtmişlerdir. Bunlardan ilki, maliye ve bütçe politikalarının çevresel etkilerini değerlendirir. İkincisi ise, yerel ve küresel anlaşmaların gerekliliklerine yönelik tutarlılıklarını değerlendirir. Mensah vd. (2019) enerji üretimi ve tüketimi için verilen teşviklerin çevreye vermiş olduğu zararların üstesinde yeşil bütçe ile gelinebileceğini belirtmiştir. Yukarıda yer alan açıklamalar ışığında çevresel Ar-Ge harcamalarını hızlandırmanın karbon emisyonlarını azaltacağı sonuçlarımızdan açıkça görülmektedir.

Bu çalışmada seçilen 30 OECD ülkesi içinde 1995-2018 dönemi dikkate alındığında 1995 yılına kıyasla 2018 yılında çevre kirliliğini azaltmak için çevresel Ar-Ge harcamalarında en fazla artış meydana gelen ülkelerin başında Japonya (%648.36), Letonya (%625.36) İsrail (%327.73) ve Avustralya (%202.42) gelmektedir. Ancak diğer taraftan İrlanda (%140.94), Hollanda (%82.63), Danimarka (%74.12) ve Avusturya (%73.69) ülkelerinde 1995 yılına kıyasla 2018 yılında çevresel Ar-Ge harcamalarında azalma meydana gelmiştir. Çevresel Ar-Ge harcamalarında azalma oluşan ülkeler, çevresel etkilerin değerlendirildiği maliye ve bütçe politikalarını benimseyerek ve bölgesel ve küresel anlaşmaların gerekliliklerini yerine getirerek çevresel kalitenin iyileştirilmesinde etkin rol oynayabilirler.

Barak, D. & Koçoğlu, M. (2023). Çevresel Ar-Ge Harcamalarını Hızlandırmak Karbon Emisyonlarını Azaltır Mı? Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezi Perspektifinde Panel Kantil Regresyon Kanıtları. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 25(45), 768-792.

### **Etik Beyan**

“Çevresel Ar-Ge Harcamalarını Hızlandırmak Karbon Emisyonlarını Azaltır Mı? Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezi Perspektifinde Panel Kantil Regresyon Kanıtları” başlıklı çalışmanın yazılması ve yayınlanması süreçlerinde Araştırma ve Yayın Etiği kurallarına riayet edilmiş ve çalışma için elde edilen verilerde herhangi bir tahrifat yapılmamıştır. Çalışma için etik kurul izni gerektirmemektedir.

### **Katkı Oranı Beyanı**

Çalışmadaki yazarların tümü çalışmanın yazılmasından taslağın oluşturulmasına kadar tüm süreçlere katkı yapmış ve nihai halini okuyarak onaylamıştır.

### **Çatışma Beyanı**

Yapılan bu çalışma gerek bireysel gerekse kurumsal/örgütsel herhangi bir çıkar çatışmasına yol açmamıştır.

### **KAYNAKÇA**

- Abbas, J., Balsalobre-Lorente, D. ve Aljuaid, M. (2023). Environmental-Related Technologies and Carbon Neutrality Challenges in Emerging Economies? A Case Study of China. <https://assets.researchsquare.com/files/rs-2426437/v1/6d5d6c51-8f8a-4e5a-9c06-e51c7482cff0.pdf?c=1672857072>, (10.03.2023)
- Abid, A., Mehmood, U., Tariq, S. ve Haq, Z. U. (2022). The Effect of Technological Innovation, FDI, and Financial Development on CO<sub>2</sub> Emission: Evidence from the G8 Countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-9. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15993-x>
- Adebayo, T. S., Awosusi, A. A., Rjoub, H., Agyekum, E. B. ve Kirikkaleli, D. (2022). The Influence of Renewable Energy Usage on Consumption-Based Carbon Emissions in MINT Economies. *Heliyon*, 8(2), e08941.
- Adebayo, T. S., Uhumamure, S. E. ve Shale, K. (2023). A Time-Varying Approach to the Nexus Between Environmental Related Technologies, Renewable Energy Consumption and Environmental Sustainability in South Africa. *Scientific Reports*, 13(1), 4860. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32131-4>
- Adedoyin, F., Abubakar, I., Bekun, F. V. ve Sarkodie, S. A. (2020). Generation of Energy and Environmental-Economic Growth Consequences: Is There Any Difference Across Transition Economies?. *Energy Reports*, 6, 1418-1427.
- Afshan, S., Ozturk, I. ve Yaqoob, T. (2022). Facilitating Renewable Energy Transition, Ecological Innovations and Stringent Environmental Policies to Improve Ecological Sustainability: Evidence From MM-QR Method. *Renewable Energy*, 196, 151-160.
- Akram, R., Chen, F., Khalid, F., Huang, G. ve Irfan, M. (2021). Heterogeneous Effects of Energy Efficiency and Renewable Energy on Economic Growth of BRICS Countries: A Fixed Effect Panel Quantile Regression Analysis. *Energy*, 215, 119019.
- Alam, M. S., Apergis, N., Paramati, S. R. ve Fang, J. (2021). The Impacts of R&D Investment and Stock Markets on Clean-Energy Consumption and CO<sub>2</sub> Emissions in OECD Economies. *International Journal of Finance & Economics*, 26(4), 4979-4992.
- Albulescu, C. T., Tiwari, A. K., Yoon, S. M. ve Kang, S. H. (2019). FDI, Income, and Environmental Pollution in Latin America: Replication and Extension Using Panel Quantiles Regression Analysis. *Energy Economics*, 84, 104504.

- Barak, D. & Koçoğlu, M. (2023). Çevresel Ar-Ge Harcamalarını Hızlandırmak Karbon Emisyonlarını Azaltır Mı? Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezi Perspektifinde Panel Kantil Regresyon Kanıtları. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 25(45), 768-792.
- Alharthi, M., Dogan, E. ve Taskin, D. (2021). Analysis of CO<sub>2</sub> Emissions and Energy Consumption by Sources in MENA Countries: Evidence from Quantile Regressions. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 38901-38908. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13356-0>
- Amin, N., Shabbir, M. S., Song, H., Farrukh, M. U., Iqbal, S. ve Abbass, K. (2023). A Step Towards Environmental Mitigation: Do Green Technological Innovation and Institutional Quality Make A Difference?. *Technological Forecasting and Social Change*, 190, 122413. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122413>
- Amri, F. (2018). Carbon Dioxide Emissions, Total Factor Productivity, ICT, Trade, Financial Development, and Energy Consumption: Testing Environmental Kuznets Curve Hypothesis for Tunisia. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 33691-33701.
- Ansari, M. A. (2022). Re-visiting the Environmental Kuznets Curve for ASEAN: A Comparison Between Ecological Footprint and Carbon Dioxide Emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 168, 112867.
- Anser, M. K., Apergis, N. ve Syed, Q. R. (2021). Impact of Economic Policy Uncertainty on CO<sub>2</sub> Emissions: Evidence from Top Ten Carbon Emitter Countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 29369-29378. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12782-4>
- Apergis, N., Kuziboev, B., Abdullaev, I. ve Rajabov, A. (2023). Investigating the Association Among CO<sub>2</sub> Emissions, Renewable and Non-renewable Energy Consumption in Uzbekistan: An ARDL Approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(14), 39666-39679. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-25023-z>
- Arshad, Z., Robaina, M., Shahbaz, M. ve Veloso, A. B. (2020). The Effects of Deforestation and Urbanization on Sustainable Growth in Asian Countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 10065-10086.
- Ayad, H., Sari-Hassoun, S. E., Usman, M. ve Ahmad, P. (2023). The Impact of Economic Uncertainty, Economic Growth and Energy Consumption on Environmental Degradation in MENA Countries: Fresh Insights from Multiple Thresholds NARDL Approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(1), 1806-1824.
- Aydin, M., Degirmenci, T., Gurdal, T. ve Yavuz, H. (2023). The Role of Green Innovation in Achieving Environmental Sustainability in European Union Countries: Testing The Environmental Kuznets Curve Hypothesis. *Gondwana Research*, 118, 105-116, <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.01.013>
- Ayhan, F., Kartal, M. T., Kılıç Depren, S. ve Depren, Ö. (2023). Asymmetric Effect of Economic Policy Uncertainty, Political Stability, Energy Consumption, And Economic Growth on CO<sub>2</sub> Emissions: Evidence from G-7 Countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(16), 47422-47437. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25665-7>
- Baloch, M. A., Ozturk, I., Bekun, F. V. ve Khan, D. (2021). Modeling the Dynamic Linkage Between Financial Development, Energy Innovation, and Environmental Quality: Does Globalization Matter?. *Business Strategy and the Environment*, 30(1), 176-184.
- Balsalobre, D., Álvarez, A. ve Cantos, J. M. (2015). Public Budgets for Energy RD&D and the Effects on Energy Intensity and Pollution Levels. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 4881-4892.

- Barak, D. & Koçoğlu, M. (2023). Çevresel Ar-Ge Harcamalarını Hızlandırmak Karbon Emisyonlarını Azaltır Mı? Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezi Perspektifinde Panel Kantil Regresyon Kanıtları. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 25(45), 768-792.
- Balsalobre-Lorente, D., Ibáñez-Luzón, L., Usman, M. ve Shahbaz, M. (2022). The Environmental Kuznets Curve, Based on the Economic Complexity, and the Pollution Haven Hypothesis in PIIGS Countries. *Renewable Energy*, 185, 1441-1455.
- Basoglu, A. ve Uzar, U. (2019). An Empirical Evaluation About the Effects of Environmental Expenditures on Environmental Quality in Coordinated Market Economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 23108-23118.
- Bilal, A., Li, X., Zhu, N., Sharma, R. ve Jahanger, A. (2022). Green Technology Innovation, Globalization, and CO2 Emissions: Recent Insights from the OBOR Economies. *Sustainability*, 14(1), 236.
- Chen, F., Ali, S., Ma, J., Arshad, S. ve Ahmad, S. (2023). Material Productivity and Environmental Degradation: Moderating Role of Environment-Related Technologies in Achieving Carbon Neutrality. *Gondwana Research*, 117, 155-168. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.01.010>
- Chhabra, M., Giri, A. K. ve Kumar, A. (2022). Do Technological Innovations and Trade Openness Reduce CO2 Emissions? Evidence from Selected Middle-Income Countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(43), 65723-65738.
- Choi, I. (2001). Unit Root Tests For Panel Data. *Journal of International Money and Finance*, 20, 249–272. [https://doi.org/10.1016/S0261-5606\(00\)00048-6](https://doi.org/10.1016/S0261-5606(00)00048-6).
- Churchill, S. A., Inekwe, J. ve Ivanovski, K. (2021). R&D Expenditure and Energy Consumption in OECD Nations. *Energy Economics*, 100, 105376.
- Dai, J., Ahmed, Z., Sinha, A., Pata, U. K. ve Alvarado, R. (2023). Sustainable Green Electricity, Technological Innovation, and Ecological Footprint: Does Democratic Accountability Moderate the Nexus?. *Utilities Policy*, 82, 101541. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2023.101541>
- Danish, -, Ulucak, R. (2020). How Do Environmental Technologies Affect Green Growth? Evidence from BRICS Economies. *Science of the Total Environment*, 712, 136504.
- Danish, Ulucak, R. ve Baloch, M. A. (2023). An Empirical Approach to the Nexus Between Natural Resources and Environmental Pollution: Do Economic Policy and Environmental-Related Technologies Make Any Difference?. *Resources Policy*, 81, 103361.
- Dauda, L., Long, X., Mensah, C. N. ve Salman, M. (2019). The Effects of Economic Growth and Innovation on CO2 Emissions in Different Regions. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 15028-15038.
- Demir, Y., İşleyen, Ş. ve Özen, K. (2023). Seçili Enerji Tüketimlerinin Karbondioksit Emisyonu Üzerindeki Etkisinin ARDL Sınır Testi ile Belirlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (59), 80-107.
- Dong, K., Dong, X. ve Jiang, Q. (2020). How Renewable Energy Consumption Lower Global CO2 Emissions? Evidence from Countries with Different Income Levels. *The World Economy*, 43(6), 1665-1698.
- Erdoğan, S., Yıldırım, S., Yıldırım, D. Ç. ve Gedikli, A. (2020). The Effects of Innovation on Sectoral Carbon Emissions: Evidence from G20 Countries. *Journal of Environmental Management*, 267, 110637.



- Barak, D. & Koçoğlu, M. (2023). Çevresel Ar-Ge Harcamalarını Hızlandırmak Karbon Emisyonlarını Azaltır Mı? Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezi Perspektifinde Panel Kantil Regresyon Kanıtları. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 25(45), 768-792.
- Fakher, H. A., Ahmed, Z., Acheampong, A. O. ve 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.
- Fang, Z. (2023). Assessing the Impact of Renewable Energy Investment, Green Technology Innovation, and Industrialization on Sustainable Development: A Case Study of China. *Renewable Energy*, 205, 772-782.
- Fernández, Y. F., López, M. F. ve Blanco, B. O. (2018). Innovation for Sustainability: The Impact of R&D Spending on CO2 Emissions. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3459-3467.
- Fraumeni, B. M. ve Okubo, S. (2005). R&D in the National Income and Product Accounts: A First Look at its Effect on GDP. *Measuring Capital in the New Economy* içinde (ss. 275-322). University of Chicago Press.
- Freire, F. D. S., da Silva, N. O. ve De Oliveira, V. R. F. (2023). Economic Growth and Greenhouse Gases in Brazilian States: Is the Environmental Kuznets Curve Applicable Hypothesis?. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(15), 44928-44942. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25411-z>
- Ganda, F. (2019). The Impact of Innovation and Technology Investments on Carbon Emissions in Selected Organisation for Economic Co-operation and Development Countries. *Journal of Cleaner Production*, 217, 469-483.
- Gholipour, H. F. ve Farzanegan, M. R. (2018). Institutions and the Effectiveness of Expenditures on Environmental Protection: Evidence from Middle Eastern Countries. *Constitutional Political Economy*, 29, 20-39.
- Godil, D. I., Yu, Z., Sharif, A., Usman, R. ve Khan, S. A. R. (2021). Investigate the Role of Technology Innovation and Renewable Energy in Reducing Transport Sector CO2 Emission in China: A Path toward Sustainable Development. *Sustainable Development*, 29(4), 694-707.
- Grossman, G. M. ve Krueger, A. B. (1991). Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement. <https://www.nber.org/papers/w3914>, (18.03.2023)
- Grossman, G. M. ve Krueger, A. B. (1995). Economic Growth and the Environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353-377.
- Haldar, A. ve Sethi, N. (2021). Effect of Institutional Quality and Renewable Energy Consumption on CO2 emissions– An Empirical Investigation for Developing Countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(12), 15485-15503.
- Hao, Y. ve Chen, P. (2023). Do Renewable Energy Consumption and Green Innovation Help to Curb CO2 Emissions? Evidence from E7 Countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(8), 21115-21131.
- Hussain, M. ve Dogan, E. (2021). The Role of Institutional Quality and Environment-Related Technologies in Environmental Degradation for BRICS. *Journal of Cleaner Production*, 304, 127059.
- Hussain, M., Mir, G. M., Usman, M., Ye, C. ve Mansoor, S. (2022). Analysing the Role of Environment-Related Technologies and Carbon Emissions in Emerging Economies: A Step towards Sustainable Development. *Environmental Technology*, 43(3), 367-375.

- Barak, D. & Koçoğlu, M. (2023). Çevresel Ar-Ge Harcamalarını Hızlandırmak Karbon Emisyonlarını Azaltır Mı? Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezi Perspektifinde Panel Kantil Regresyon Kanıtları. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 25(45), 768-792.
- Ibrahim, R. L. ve Ajide, K. B. (2021). Nonrenewable and Renewable Energy Consumption, Trade Openness, and Environmental Quality in G-7 countries: The Conditional Role of Technological Progress. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 45212-45229.
- IEA (2021), World Energy Balances: Overview, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview>, License: CC BY 4.0., (02.03.2023)
- IEA (2022), Global Energy Review: CO2 Emissions in 2021, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-co2-emissions-in-2021-2>, License: CC BY 4.0, (02.03.2023)
- Iqbal, A., Tang, X. ve Rasool, S. F. (2023). Investigating the Nexus Between CO2 Emissions, Renewable Energy Consumption, FDI, Exports and Economic Growth: Evidence from BRICS Countries. *Environment, Development and Sustainability*, 25(3), 2234-2263.
- Iqbal, N., Abbasi, K. R., Shinwari, R., Guangcai, W., Ahmad, M. ve Tang, K. (2021). Does Exports Diversification and Environmental Innovation Achieve Carbon Neutrality Target of OECD Economies?. *Journal of Environmental Management*, 291, 112648.
- IRENA (2019), Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050 (2019 edition), International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- Isiksal, A. Z., Assi, A. F., Zhakanov, A., Rakhmetullina, S. Z. ve Joof, F. (2022). Natural Resources, Human Capital, and CO2 Emissions: Missing Evidence from the Central Asian States. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(51), 77333-77343.
- Islam, M. S., Hossain, M. E., Khan, M. A., Rana, M. J., Ema, N. S. ve Bekun, F. V. (2022). Heading towards Sustainable Environment: Exploring the Dynamic Linkage Among Selected Macroeconomic Variables and Ecological Footprint Using a Novel Dynamic ARDL Simulations Approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-20.
- Jahanger, A., Ozturk, I., Onwe, J. C., Joseph, T. E. ve Hossain, M. R. (2023). Do Technology and Renewable Energy Contribute to Energy Efficiency and Carbon Neutrality? Evidence from Top Ten Manufacturing Countries. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 56, 103084.
- Jahanger, A., Usman, M. ve Ahmad, P. (2022). Investigating the Effects of Natural Resources and Institutional Quality on CO2 Emissions During Globalization Mode in Developing Countries. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(9), 9663-9682. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04638-2>
- Javed, A., Rapposelli, A., Khan, F. ve Javed, A. (2023). The Impact of Green Technology Innovation, Environmental Taxes, and Renewable Energy Consumption on Ecological Footprint in Italy: Fresh Evidence from Novel Dynamic ARDL Simulations. *Technological Forecasting and Social Change*, 191, 122534.
- Jiang, S., Chishti, M. Z., Rjoub, H. ve Rahim, S. (2022). Environmental R&D and Trade-Adjusted Carbon Emissions: Evaluating The Role of International Trade. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(42), 63155-63170.
- Jiang, Y., Hossain, M.R., Khan, Z. et al. (2023). Revisiting Research and Development Expenditures and Trade Adjusted Emissions: Green Innovation and Renewable Energy R&D Role for Developed Countries. *Journal of Knowledge Economy*. <https://doi.org/10.1007/s13132-023-01220-0>

- Barak, D. & Koçoğlu, M. (2023). Çevresel Ar-Ge Harcamalarını Hızlandırmak Karbon Emisyonlarını Azaltır mı? Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezi Perspektifinde Panel Kantil Regresyon Kanıtları. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 25(45), 768-792.
- Jin, L., Duan, K., Shi, C. ve Ju, X. (2017). The Impact of Technological Progress in the Energy Sector on Carbon Emissions: An Empirical Analysis from China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(12), 1505.
- Kao, C. (1999). Spurious Regression and Residual-Based Tests for Cointegration in Panel Data. *Journal of Econometrics*, 90(1), 1-44.
- Karimi Alavijeh, N., Ahmadi Shadmehri, M. T., Nazeer, N., Zangoei, S. ve Dehdar, F. (2023). The Role of Renewable Energy Consumption on Environmental Degradation in EU Countries: Do Institutional Quality, Technological Innovation, and GDP Matter?. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(15), 44607-44624. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25428-4>
- Khan, H., Khan, I. ve Binh, T. T. (2020). The Heterogeneity of Renewable Energy Consumption, Carbon Emission and Financial Development in the Globe: A Panel Quantile Regression Approach. *Energy Reports*, 6, 859-867.
- Khan, H., Weili, L. ve Khan, I. (2022). Examining the Effect of Information and Communication Technology, Innovations, and Renewable Energy Consumption on CO2 Emission: Evidence from BRICS Countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(31), 47696-47712.
- Khan, I., Zakari, A., Ahmad, M., Irfan, M. ve Hou, F. (2022). Linking Energy Transitions, Energy Consumption, and Environmental Sustainability in OECD Countries. *Gondwana Research*, 103, 445-457.
- Khan, M. K., Babar, S. F., Oryani, B., Dagar, V., Rehman, A., Zakari, A. ve Khan, M. O. (2022). Role of Financial Development, Environmental-Related Technologies, Research and Development, Energy Intensity, Natural Resource Depletion, and Temperature in Sustainable Environment in Canada. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 622-638.
- Khan, M. K., Teng, J. Z., Khan, M. I. ve Khan, M. O. (2019). Impact of Globalization, Economic Factors and Energy Consumption on CO2 Emissions in Pakistan. *Science of the Total Environment*, 688, 424-436.
- Kihombo, S., Saud, S., Ahmed, Z. ve Chen, S. (2021). The Effects of Research and Development and Financial Development on CO2 Emissions: Evidence from Selected WAME Economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(37), 51149-51159.
- Kim, Y. ve Schmidt, P. (2000). A Review and Empirical Comparison of Bayesian and Classical Approaches to Inference on Efficiency Levels in Stochastic Frontier Models with Panel Data. *Journal of Productivity Analysis*, 14(2), 91-118.
- Kirikaleli, D. ve Ali, K. (2023). Patents on Environmental Technologies and Environmental Degradation in a Scandinavian Country: Evidence from Novel Fourier-based Estimators. *Geological Journal*. <https://doi.org/10.1002/gj.4722>
- Kirikaleli, D., Güngör, H. ve Adebayo, T. S. (2022). Consumption-based carbon emissions, renewable energy consumption, financial development and economic growth in Chile. *Business Strategy and the Environment*, 31(3), 1123-1137.
- Kirikaleli, D., Sofuoğlu, E. ve Ojekemi, O. (2023). Does Patents on Environmental Technologies Matter for the Ecological Footprint in the USA? Evidence from the Novel Fourier ARDL Approach. *Geoscience Frontiers*, 101564.

- Barak, D. & Koçoğlu, M. (2023). Çevresel Ar-Ge Harcamalarını Hızlandırmak Karbon Emisyonlarını Azaltır Mı? Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezi Perspektifinde Panel Kantil Regresyon Kanıtları. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 25(45), 768-792.
- Kocoglu, M., Awan, A., Tunc, A. ve Aslan, A. (2022). The Nonlinear Links Between Urbanization and CO2 in 15 Emerging Countries: Evidence from Unconditional Quantile and Threshold Regression. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(12), 18177-18188.
- Koenker, R. (2004). Quantile Regression for Longitudinal Data. *Journal of Multivariate Analysis*, 91(1), 74-89.
- Koenker, R. ve Bassett Jr, G. (1978). Regression Quantiles. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 33-50.
- Komen, M. H., Gerking, S. ve Folmer, H. (1997). Income and Environmental R&D: Empirical Evidence from OECD Countries. *Environment and Development Economics*, 2(4), 505-515.
- Koseoglu, A., Yucel, A. G. ve Ulucak, R. (2022). Green Innovation and Ecological Footprint Relationship for a Sustainable Development: Evidence from Top 20 Green Innovator Countries. *Sustainable Development*, 30(5), 976-988.
- Lanoie, P., Laurent-Lucchetti, J., Johnstone, N. ve Ambec, S. (2011). Environmental Policy, Innovation and Performance: New Insights on the Porter Hypothesis. *Journal of Economics & Management Strategy*, 20(3), 803-842.
- Lee, K. H., Min, B. ve Yook, K. H. (2015). The Impacts of Carbon (CO2) Emissions and Environmental Research and Development (R&D) Investment on Firm Performance. *International Journal of Production Economics*, 167, 1-11.
- Lichtenberg, F.R., (1992). R&D Investment and International Productivity Differences. *NBER Working Paper Series*, 4161.
- Liu, H., Wong, W. K., Cong, P. T., Nassani, A. A., Haffar, M. ve Abu-Rumman, A. (2023). Linkage among Urbanization, Energy Consumption, Economic Growth and Carbon Emissions. Panel Data Analysis for China Using ARDL Model. *Fuel*, 332, 126122.
- Liu, Y., Lei, P., Zhao, Z. ve Sun, Y. (2023). Influence of Green Financing, Technology Innovation, and Trade Openness on Consumption-Based Carbon Emissions in BRICS Countries. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 36(2), 2142262.
- Mahmood, H., Alkhateeb, T. T. Y., Al-Qahtani, M. M. Z., Allam, Z. A., Ahmad, N. ve Furqan, M. (2019). Energy Consumption, Economic Growth and Pollution in Saudi Arabia. <https://mpira.ub.uni-muenchen.de/109143/>
- Mahou, Y., Ben Youssef, S. ve Ben Jebli, M. (2022). Inspecting the Influence of Renewable Energy and R&D in Defending Environmental Quality: Evidence for California. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(59), 88751-88762.
- Mehmood, U. (2023). Analyzing the Role of Political Risk, GDP, and Eco-Innovations Towards CO2 Emissions in South Asian Countries. *Journal of Knowledge Economy*. <https://doi.org/10.1007/s13132-023-01292-y>
- Mensah, C. N., Long, X., Dauda, L., Boamah, K. B., Salman, M., Appiah-Twum, F. ve Tachie, A. K. (2019). Technological Innovation and Green Growth in the Organization for Economic Cooperation and Development Economies. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118204.
- Mohsin, M., Orynbassarov, D., Anser, M. K. ve Oskembayev, Y. (2023). Does Hydropower Energy Help to Reduce CO2 Emissions in European Union Countries? Evidence from Quantile Estimation. *Environmental Development*, 45, 100794.

- Barak, D. & Koçoğlu, M. (2023). Çevresel Ar-Ge Harcamalarını Hızlandırmak Karbon Emisyonlarını Azaltır mı? Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezi Perspektifinde Panel Kantil Regresyon Kanıtları. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 25(45), 768-792.
- Nosheen, M., Iqbal, J. ve Abbasi, M. A. (2021). Do Technological Innovations Promote Green Growth in the European Union?. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 21717-21729.
- OECD (2010). Taxation, Innovation and the Environment. <https://www.oecd.org/greengrowth/tools-evaluation/46177075.pdf>, (15.04.2023).
- OECD (2020). OECD Green Budgeting Framework. <https://www.oecd.org/environment/green-budgeting/OECD-Green-Budgeting-Framework-Highlights.pdf>, (29.03.2023)
- OECD (2022). Assessing environmental impact of measures in the OECD Green Recovery Database. <https://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/assessing-environmental-impact-of-measures-in-the-oecd-green-recovery-database-3f7e2670/#snotes-d4e970>, (29.03.2023)
- OECD (2023). Patents on Environment Technologies (indicator). doi: 10.1787/fff120f8-en (23.04.2023)
- Oyebanji, M. O. ve Kirikkaleli, D. (2022). Green technology, green electricity, and Environmental Sustainability in Western European Countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(13), 38525-38534.
- Pedroni, P. (1999). Critical Values for Cointegration Tests in Heterogeneous Panels with Multiple Regressors. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61(S1), 653–670.
- Pedroni, P. (2004). Panel Cointegration: Asymptotic and Finite Sample Properties of Pooled Time Series Tests with an Application to the PPP Hypothesis. *Econometric Theory*, 20(3), 597–625.
- Qalati, S. A., Kumari, S., Tajeddini, K., Bajaj, N. K. ve Ali, R. (2023). Innocent Devils: The Varying Impacts of Trade, Renewable Energy and Financial Development on Environmental Damage: Nonlinearly Exploring the Disparity between Developed and Developing Nations. *Journal of Cleaner Production*, 386, 135729.
- Raihan, A., Pavel, M. I., Muhtasim, D. A., Farhana, S., Faruk, O. ve Paul, A. (2023). The Role of Renewable Energy Use, Technological Innovation, and Forest Cover Toward Green Development: Evidence from Indonesia. *Innovation and Green Development*, 2(1), 100035.
- Razzaq, A., Wang, Y., Chupradit, S., Suksatan, W. ve Shahzad, F. (2021). Asymmetric Inter-Linkages between Green Technology Innovation and Consumption-Based Carbon Emissions in BRICS Countries Using Quantile-on-Quantile Framework. *Technology in Society*, 66, 101656.
- Safi, A., Chen, Y., Wahab, S., Zheng, L. ve Rjoub, H. (2021). Does Environmental Taxes Achieve the Carbon Neutrality Target of G7 Economies? Evaluating the Importance of Environmental R&D. *Journal of Environmental Management*, 293, 112908.
- Shah, S. A. R., Zhang, Q., Abbas, J., Balsalobre-Lorente, D. ve Pilaş, L. (2023). Technology, Urbanization and Natural Gas Supply Matter for Carbon Neutrality: A New Evidence of Environmental Sustainability under the Prism of COP26. *Resources Policy*, 82, 103465.
- Shahbaz, M., Nasir, M. A., Hille, E. ve Mahalik, M. K. (2020). UK's Net-Zero Carbon Emissions Target: Investigating the Potential Role of Economic Growth, Financial Development, and R&D Expenditures Based on Historical Data (1870–2017). *Technological Forecasting and Social Change*, 161, 120255.
- Shao, X., Zhong, Y., Li, Y. ve Altuntaş, M. (2021a). Does Environmental and Renewable Energy R&D Help to Achieve Carbon Neutrality Target? A Case of the US Economy. *Journal of Environmental Management*, 296, 113229.

- Barak, D. & Koçoğlu, M. (2023). Çevresel Ar-Ge Harcamalarını Hızlandırmak Karbon Emisyonlarını Azaltır Mı? Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezi Perspektifinde Panel Kantil Regresyon Kanıtları. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 25(45), 768-792.
- Shao, X., Zhong, Y., Liu, W. ve Li, R. Y. M. (2021b). Modeling the Effect of Green Technology Innovation and Renewable Energy on Carbon Neutrality in N-11 Countries? Evidence from Advance Panel Estimations. *Journal of Environmental Management*, 296, 113189.
- Sharif, A., Kartal, M. T., Bekun, F. V., Pata, U. K., Chan, L. F. ve Depren, S. K. (2023). Role of Green Technology, Environmental Taxes, and Green Energy Towards Sustainable Environment: Insights from Sovereign Nordic Countries by CS-ARDL Approach. *Gondwana Research*. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.01.009>
- Sheikh, A. ve Hassan, O. I. (2023). Impact of Economic Growth, Energy use and Research and Development Expenditure on Carbon Emissions: An Analysis of 29 OECD Countries. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 13(1), 454-464.
- Simionescu, M. (2021). The Nexus between Economic Development and Pollution in the European Union New Member States. The Role of Renewable Energy Consumption. *Renewable Energy*, 179, 1767-1780.
- Su, Z. W., Umar, M., Kirikkaleli, D. ve Adebayo, T. S. (2021). Role of Political Risk to Achieve Carbon Neutrality: Evidence from Brazil. *Journal of Environmental Management*, 298, 113463.
- Syed, Q. R., Bhowmik, R., Adedoyin, F. F., Alola, A. A. ve Khalid, N. (2022). Do Economic Policy Uncertainty and Geopolitical Risk Surge CO2 Emissions? New Insights from Panel Quantile Regression Approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(19), 27845-27861.
- Takalo, S. K. ve Tooranloo, H. S. (2021). Green Innovation: A Systematic Literature Review. *Journal of Cleaner Production*, 279, 122474.
- Terzioğlu, M. K., Yücel, M. A., Demirkıran, S. ve Acaroğlu, D. (2020). Kentsel İnovasyonun Kentleşme Üzerine Mekânsal Etkisi. *İdealkent*, 11(30), 592-620.
- Tiwari, A. K., Kocoglu, M., Banday, U. J. ve Awan, A. (2022). Hydropower, Human Capital, Urbanization and Ecological Footprints Nexus in China and Brazil: Evidence from Quantile ARDL. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(45), 68923-68940.
- Triki, R., Kahouli, B., Tissaoui, K. ve Tlili, H. (2023). Assessing the Link between Environmental Quality, Green Finance, Health Expenditure, Renewable Energy, and Technology Innovation. *Sustainability*, 15(5), 4286.
- Tsiantikoudis, S., Zafeiriou, E., Kyriakopoulos, G. ve Arabatzis, G. (2019). Revising the Environmental Kuznets Curve for Deforestation: An Empirical Study for Bulgaria. *Sustainability*, 11(16), 1-16.
- Udeagha, M. C. ve Breitenbach, M. C. (2023). On the Asymmetric Effects of Trade Openness on CO2 Emissions in SADC with a Nonlinear ARDL Approach. *Discover Sustainability*, 4(1), 2.
- Ulku, H., (2004). R&D, Innovation, and Economic Growth: An Empirical Analysis. *IMF Working Paper*, 04/185.
- Ulucak, R., Khan, S. U. D., Baloch, M. A. ve Li, N. (2020). Mitigation Pathways toward Sustainable Development: Is There Any Trade-off between Environmental Regulation and Carbon Emissions Reduction? *Sustainable Development*, 28(4), 813-822.
- Usman, M. ve Hammar, N. (2021). Dynamic Relationship between Technological Innovations, Financial Development, Renewable Energy, and Ecological Footprint: Fresh Insights Based on

Barak, D. & Koçoğlu, M. (2023). Çevresel Ar-Ge Harcamalarını Hızlandırmak Karbon Emisyonlarını Azaltır Mı? Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezi Perspektifinde Panel Kantil Regresyon Kanıtları. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 25(45), 768-792.

the STIRPAT Model for Asia Pacific Economic Cooperation Countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(12), 15519-15536.

- Van Roy, V., Vértesy, D. ve Vivarelli, M. (2018). Technology and Employment: Mass Unemployment or Job Creation? Empirical Evidence from European Patenting Firms. *Research Policy*, 47(9), 1762-1776.
- Wang, N., Wei, C., Zhao, X., Wang, S., Ren, Z. ve Ni, R. (2023). Does Green Technology Innovation Reduce Anthropogenic PM<sub>2.5</sub> Emissions? Evidence from China's Cities. *Atmospheric Pollution Research*, 14(3), 101699. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2023.101699>
- Wang, Q., Zhang, F. ve 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.
- Wang, R., Mirza, N., Vasbieva, D. G., Abbas, Q. ve Xiong, D. (2020). The nexus of Carbon Emissions, Financial Development, Renewable Energy Consumption, and Technological Innovation: What should be the Priorities in light of COP 21 Agreements?. *Journal of Environmental Management*, 271, 111027.
- Wang, R., Usman, M., Radulescu, M., Cifuentes-Faura, J. ve Balsalobre-Lorente, D. (2023). Achieving Ecological Sustainability Through Technological Innovations, Financial Development, Foreign Direct Investment, and Energy Consumption in Developing European Countries. *Gondwana Research*, 119, 138-152. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.02.023>
- Wen, J., Ali, W., Hussain, J., Khan, N. A., Hussain, H., Ali, N. ve Akhtar, R. (2021a). Dynamics between Green Innovation and Environmental Quality: New Insights into South Asian Economies. *Economia Politica*, 1-23. <https://doi.org/10.1007/s40888-021-00248-2>
- Wen, J., Mughal, N., Zhao, J., Shabbir, M. S., Niedbała, G., Jain, V. ve Anwar, A. (2021b). Does Globalization Matter for Environmental Degradation? Nexus among Energy Consumption, Economic Growth, and Carbon Dioxide Emission. *Energy Policy*, 153, 112230.
- Westerlund, J. (2005). New Simple Tests For Panel Cointegration. *Econometric Reviews*, 24(3), 297–316.
- Wu, X. ve Gao, M. (2021). Effects of Different Environmental Regulations and their Heterogeneity on Air Pollution Control in China. *Journal of Regulatory Economics*, 60(2-3), 140-166.
- Xia, Q. (2022). Does Green Technology Advancement and Renewable Electricity Standard Impact on Carbon Emissions in China: Role of Green Finance. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(3), 6492-6505.
- Yan, D., Kong, Y., Ren, X., Shi, Y. ve Chiang, S. (2019). The Determinants of Urban Sustainability in Chinese Resource-based Cities: A Panel Quantile Regression Approach. *Science of the Total Environment*, 686, 1210-1219.
- Yii, K. J. ve Geetha, C. (2017). The Nexus Between Technology Innovation and CO<sub>2</sub> Emissions in Malaysia: Evidence from Granger Causality Test. *Energy Procedia*, 105, 3118-3124.
- Yücel, M. A. ve Terzioğlu, M. K. (2023). Sürdürülebilir Kalkınma ve Eko-İnovasyon: Dinamik Mekânsal Etkileşim. *Verimlilik Dergisi*, 171-186.

Barak, D. & Koçoğlu, M. (2023). Çevresel Ar-Ge Harcamalarını Hızlandırmak Karbon Emisyonlarını Azaltır Mı? Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezi Perspektifinde Panel Kantil Regresyon Kanıtları. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 25(45), 768-792.

Zachariadis, M. (2003). R&D, Innovation, and Technological Progress: a Test of the Schumpeterian Framework without Scale Effects. *Canadian Journal of Economics/Revue Canadienne D'économique*, 36(3), 566-586.

Zafar, M. W., Zaidi, S. A. H., Sinha, A., Gedikli, A. ve Hou, F. (2019). The Role of Stock Market and Banking Sector Development, and Renewable Energy Consumption in Carbon Emissions: Insights from G-7 and N-11 Countries. *Resources Policy*, 62, 427-436.

Zhang, M., Abbasi, K. R., Inuwa, N., Sinisi, C. I., Alvarado, R. ve Ozturk, I. (2023). Does Economic Policy Uncertainty, Energy Transition and Ecological Innovation Affect Environmental Degradation in the United States? *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 36(1), 1-28.

Zhou, A. ve Li, J. (2019). Heterogeneous Role of Renewable Energy Consumption in Economic Growth and Emissions Reduction: Evidence from a Panel Quantile Regression. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 22575-22595.

Zhou, X., Jia, M., Altuntaş, M., Kirikkaleli, D. ve Hussain, M. (2022). Transition to Renewable Energy and Environmental Technologies: The Role of Economic Policy Uncertainty in Top Five Polluted Economies. *Journal of Environmental Management*, 313, 115019.

Zhu, H., Duan, L., Guo, Y. ve Yu, K. (2016). The Effects of FDI, Economic Growth and Energy Consumption on Carbon Emissions in ASEAN-5: Evidence from Panel Quantile Regression. *Economic Modelling*, 58, 237-248.

Zhu, H., Xia, H., Guo, Y. ve Peng, C. (2018). The Heterogeneous Effects of Urbanization and Income Inequality on CO2 Emissions in BRICS Economies: Evidence from Panel Quantile Regression. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 17176-17193.

## **Ek**

### **Seçilmiş OECD Ülkeleri**

Avusturalya	Danimarka	İzlanda	Letonya	Slovakya
Avusturya	Estonya	İrlanda	Lüksemburg	Slovenya
Belçika	Finlandiya	İsrail	Meksika	İspanya
Kanada	Fransa	İtalya	Hollanda	İsveç
Kolombiya	Almanya	Japonya	Norveç	Birleşik Krallık
Çekya	Yunanistan	Kore Cumhuriyeti	Portekiz	ABD



---

**Extended Abstract**

---

**Does Accelerating Environmental R&D Spending Reduce Carbon Emissions?: Evidence for Panel Quantile Regression in the Perspective of the Environmental Kuznets Curve Hypothesis**

---

Due to the continuous and dynamic nature of economic activities, how to achieve the delicate optimisation between environmental sustainability and economic growth has become an important research topic. Therefore, the transition to low-carbon economic growth is seen as the main solution to combat climate change and global warming.

This study focuses on 30 selected OECD economies that have experienced an increase in environmental R&D expenditure in recent years. Although there are many studies focusing on the components that improve or worsen environmental sustainability and pollution, very few studies have focused on the relationship between environmental R&D expenditures and CO<sub>2</sub> emissions. Therefore, it is important to identify the possible effects of considering the role of environmental R&D budget in reducing CO<sub>2</sub> emissions and to present the policy implications of its possible effects. This study examines the relationship between GDP per capita, energy use, environmental R&D budget, renewable energy use and CO<sub>2</sub> emissions for 30 selected OECD economies from 1995 to 2018.

The study examines the presence of cross-sectional dependence (CD) using the Pesaran (2004) CD test. The test developed by Pesaran and Yamagata (2008) used to examine the heterogeneity of the parameters. The stationarity of the variables tested by the Fisher type ADF (Choi, 2001) unit root test. The long run relationship between the variables is analysed by Pedroni-ADF, Pedroni-PP (Pedroni, 1999, 2004), Kao-ADF (Kao, 1999) and Westerlund (2005) cointegration tests. The results indicate that there is a CD between the series, that the series are stationary in first differences and that there is a long-run relationship between the variables. The relationship between the variables was estimated using the Panel Fixed Effect Quantile Regression (PQR) method proposed by Koenker (2004). The quantile regression method was first introduced by Koenker and Bassett (1978). This method was specifically proposed for cases where the series are not normally distributed. Furthermore, the PQR method is preferred because it captures all significant variation between the predicted and observed variables, thus avoiding spurious regression coefficients.

The results of the panel quantile regressions show that the effects of GDP and GDPSQ on the distribution of CO<sub>2</sub> emissions in all quantiles are consistently positive and negative, respectively. The coefficients obtained are statistically significant. Therefore, the positive coefficient of the GDP variable and the negative coefficient of the GDPSQ variable confirm the Environmental Kuznets Curve hypothesis that there is an inverted U-shaped relationship between economic growth and CO<sub>2</sub> emissions. The results for energy consumption show that energy consumption has a positive and significant relationship with CO<sub>2</sub> emissions for all quantiles. The results for renewable energy use show that renewable energy use has a negative and significant relationship with CO<sub>2</sub> emissions for all quantiles. When analysing the relationship between environmental R&D expenditure, which is the focus of this study, and CO<sub>2</sub> emissions, the results show that environmental R&D expenditure is negatively related to CO<sub>2</sub> emissions. The robustness checks of the coefficients estimated with the PQR method were re-estimated with fixed-effects methods based on Gaussian-based probability distribution and fixed-effects methods based on Bayesian-based probability distribution. The coefficient estimates from PQR, Gaussian fixed effects and Bayesian fixed effects methods are consistent and mutually supportive.

R&D expenditure is the main driver of economic progress and productivity. R&D expenditure plays an important role in energy, employment, and environmental policies. The impact of R&D expenditure on the economy is therefore multifaceted. As R&D expenditure has an impact on policies to reduce pollution, it sheds light on green growth policies. Although total R&D expenditure plays an important role in reducing pollution, the role of energy R&D expenditure directly related to the environment and environmental R&D expenditure may be more effective in reducing pollution. The environmental budget has a positive effect on the improvement of environmental quality. Countries with a decrease in environmental R&D expenditure can play an active role in improving environmental quality by adopting fiscal and budgetary policies that assess environmental impacts and by complying with the requirements of regional and global agreements.

---