



## Yenilenebilir Enerji Tüketiminin Karbondioksit Emisyonları Üzerindeki Eşik Etkisi: Avrupa Birliği Örneği

Ömer Akkuş<sup>1</sup>, Bahadır Furkan Güler<sup>2</sup>

**Öz:** Bu çalışma 21 Avrupa Birliği (AB) üyesi ülkede yenilenebilir enerji tüketiminin karbondioksit emisyonları üzerindeki etkisini 2001-2019 dönemi için incelemektedir. Bu çalışmada sabit parametredeki heterojenliğin yapısını ortaya koymaktan ziyade eğim parametrelerinin yapısı incelenmektedir. Bu bağlamda panel eşik değer modeli değişkenler arasındaki ilişkilerde rejim değişikliklerini ortaya çıkarmak amacıyla kullanılmıştır. Bulgular, yenilenebilir enerji tüketiminin tek bir eşik değerine sahip olduğunu ortaya koyarken, bu değişkenin karbondioksit emisyonunu iki farklı rejimde etkilediği belirlenmiştir. Her iki rejimin sonuçları, yenilenebilir enerji tüketimindeki artışın karbondioksit emisyonlarını azalttığını, ancak bu etkinin büyüklüğünün her rejimde farklı olduğunu ortaya koymaktadır. Bir diğer önemli sonuç ise AB üyesi ülkelerde yenilenebilir enerji tüketimine ilişkin politikaların, kesitsel bağımlılık nedeniyle birbirlerini etkileyecek olmasıdır. Bu sonuçlar, yenilenebilir enerji yatırımlarının artırılması ve enerji verimliliği politikalarının birlikte uygulanmasının önemine işaret etmektedir. Ayrıca, AB ülkeleri arasında ortak enerji politikalarının geliştirilmesi, sürdürülebilir enerji dönüşümünü destekleyebilir; ancak, bu süreçte ulusal farklılıkların ve uygulama esnekliğinin dikkate alınması gerekmektedir.

### Anahtar Sözcükler:

Yenilenebilir Enerji, Enerji Tüketimi, Karbondioksit Emisyonları, Panel Eşik Modeli, Avrupa Birliği

JEL: Q42, O52

**Geliş** : 16 Mart 2025  
**Düzeltilme** : 03 Mayıs 2025  
**Kabul** : 04 Haziran 2025  
**Tür** : Araştırma

## Threshold Effect of Renewable Energy Consumption on Carbon Dioxide Emissions: The Case of the European Union

**Abstract:** This study examines the effects of renewable energy consumption on carbon dioxide emissions in 21 European Union (EU) member countries for the period 2001-2019. In this study, instead of explaining the heterogeneity structure in the fixed parameters, the structural features of the slope parameters are analyzed. In this context, the panel threshold model is used to indicate regime changes in the relationships between variables. While the findings reveal that renewable energy consumption has a single threshold value, it has been determined that this variable affects carbon dioxide emissions with two different regimes. The results of both regimes reveal that an increase in renewable energy consumption reduces carbon dioxide emissions, but the magnitude of this effect is different in each regime. Another important result is that policies regarding renewable energy consumption in these EU members will affect each other due to cross-sectional dependency. These results indicate the importance of increasing renewable energy investments and implementing energy efficiency policies together. Moreover, the development of common energy policies across EU countries can support a sustainable energy transition, but this process needs to consider national differences and flexibility of implementation.

**Keywords:** Renewable Energy, Energy Consumption, Carbon Dioxide Emissions, Panel Threshold Model, European Union

JEL: Q42, O52

**Received** : 16 March 2025  
**Revised** : 03 May 2025  
**Accepted** : 04 June 2025

**Type** : Research

**Cite this article as:** Akkuş, Ö., & Güler, B. F. (2025). Yenilenebilir enerji tüketiminin karbondioksit emisyonları üzerindeki eşik etkisi: Avrupa Birliği örneği. *Business and Economics Research Journal*, 16(3), 243-259. <http://dx.doi.org/10.20409/berj.2025.466>

**Copyright:** © 2025 by the author(s). This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY-NC) International License.

<sup>1</sup> Assoc. Prof., PhD., Samsun University, Faculty of Political Sciences, Department of Economics and Finance, Samsun, Türkiye, omer.akkus@samsun.edu.tr (Corresponding Author)

<sup>2</sup> Res. Asst., Samsun University, Faculty of Political Sciences, Department of Economics and Finance, Samsun, Türkiye, furkan.guler@samsun.edu.tr

## 1. Giriş

Sera gazı emisyonlarının azaltılmasında belirleyici ve etkin rol oynayan yenilenebilir enerji kaynakları, sürdürülebilir kalkınmanın temel itici gücü olarak kabul edilmektedir. Fosil yakıt kullanımının yarattığı küresel iklim değişikliği tehdidini azaltmak ve daha yeşil enerji kaynağı kullanımının sürdürülebilir büyüme hedefleriyle uyumunu sağlamak için, Kyoto Protokolü ve Paris Anlaşması vb. aracılığıyla uluslararası koordinasyonun etkin şekilde sağlanması ve genişletilmesi gerekmektedir (Lee, 2018). Paris Anlaşması, her ülkenin iklim değişikliği ve küresel kirliliğe karşı önlemler alması, yenilenebilir enerjiye geçiş ve fosil yakıtlara olan ihtiyacın azaltılması için çeşitli teşvikler veya baskılar uygulaması gerektiğini belirtmektedir (Bhattacharya vd., 2016; Nguyen ve Kakinaka, 2019).

Yeşil ekonomik dönüşümü gerçekleştirebilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının teşvik edilmesi jeopolitik tartışmalarda en önemli gündem maddelerinden biri haline gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları süreklilik arz eden ve sınırlı akışa sahip doğal kaynaklardan elde edilmektedir. Akışı sınırlı yenilenebilir kaynaklar; güneş radyasyonu, rüzgâr, gelgitler, jeotermal, sıvı biyokütle ve okyanus akıntıları gibi doğal unsurlardan elde edilen enerji kaynaklarını içermektedir (Polcyn vd., 2022). Yenilenebilir enerjiye geçiş teşvik etmenin ve ülke politikalarını değiştirmenin arkasındaki temel etken, geleneksel fosil yakıtları değiştirmek, karbon bağımlılığını azaltmak ve endüstriyel kalkınma için yeni yollar ve yöntemler bulmaktır. Bu farklı yöntem ve uygulamaların nihai amacı sera gazı emisyonlarında kayda değer bir düşüşün sağlanmasını amaçlamaktadır (Miśkiewicz, 2021).

Küresel ekonominin enerji tüketimi için petrole olan bağımlılığının sera gazı salınımında ve ekolojik kirlilikte artışa neden olduğu tespitleri yapılmaktadır. Çevre kirliliğinin ve iklim değişiminin yarattığı olumsuz etkileri hafifletmek için AB, rüzgâr, güneş ve biyoenerji gibi yenilenebilir kaynakların kullanımına geçiş teşvik eden bir mekanizmalar kurmaya çalışmaktadır. AB, karbon emisyonlarını 1990'lardan başlayarak 2030 yılına kadar yaklaşık %40 oranında azaltmayı ve bu hedefe ulaşmak için çevresel sürdürülebilirliği artırmayı amaçlayan politikalarla yönelmektedir (Wang vd., 2022). Yenilenebilir Enerji 2024 raporuna göre, dünya çapında elektrik üretiminde yenilenebilir enerji oranının 2030 yılına kadar yaklaşık %46'ya yükselmesi beklenmektedir. Rüzgâr enerjisi ve güneş fotovoltaiklerinin yenilenebilir enerji üretiminde yaklaşık %30'luk toplam paya sahip olması öngörülmektedir. Hem güneş hem de rüzgâr enerjisinin 2030 yılına kadar yenilenebilir elektrik üretiminde hidroelektrik enerji kaynaklarını geçeceği tahmin edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminin 2030 yılına kadar 17.000 terawatt-saate (TWh) yükselmesi beklenmekte ve bu rakam 2023'e kıyasla yaklaşık %90'lık bir artışa işaret etmektedir. Raporda, fosil yakıtlardan temiz kaynaklara geçişin, iklim dönüşümüyle mücadele hedefleriyle tutarlı bir şekilde sera gazlarını azaltmada birincil strateji olması gerektiği vurgulanmaktadır. AB ülkelerinde yenilenebilir enerjiyle ilgili teşvik politikaları, bu tür enerjilerin kullanımını yaygınlaştırmaya başlamış ve karbon emisyonlarını en aza indirmede önemli bir bileşen haline gelmiştir. Yenilenebilir enerjiye geçiş destekleyen politikalar, iklim değişikliğinin yarattığı olumsuz etkilerin azaltılmasına önemli katkılarda bulunmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmak fosil yakıtlara olan bağımlılığın yarattığı çevresel etkileri azaltmak ve daha sürdürülebilir bir gelecek inşa etmek için kaçınılmaz görünmektedir (Mamkhezri ve Torell, 2021; Wang vd., 2022).

Yenilenebilir enerji tüketiminin teşvik edilmesi ve karbondioksit emisyonlarının azaltılması çabaları literatürde bu iki değişken arasındaki ilişkilerin farklı yönlerinin farklı yöntemlerle inceleyen birçok çalışmanın ortaya çıkmasına neden olmuştur. Sadorsky (2009), Bölük ve Mert (2014), Jebli vd. (2015), Robalino-López vd. (2015), Zoundi Z. (2017), Balsalobre-Lorente vd. (2018) ve Ma vd. (2021) çalışmalarında panel eşbütünleşme yöntemi aracılığıyla bu iki değişken arasındaki nedensellik ilişkilerini ortaya çıkarmaya çalışırken Apergis vd. (2010) panel vektör hata düzeltme modeli, Jebli vd. (2020) genelleştirilmiş momentler yöntemi ile bu ilişkilerin farklı boyutlarını ölçmeye çalışmışlardır. Sinha ve Shahbaz (2018), Waheed vd. (2018), Chen vd. (2019) ve Yang vd. (2021) gecikmesi dağıtılmış otoregresif sınır testi yöntemini kullanarak yenilenebilir enerji tüketimi ve karbondioksit emisyonları arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmaya çalışırken Bilgili vd. (2016) ve Jamil vd. (2021) tamamen değiştirilmiş sıradan en küçük kareler ve dinamik sıradan en küçük kareler yöntemleri ile bu değişkenler arasındaki ilişkilerin yönü ve boyutunu ölçmeye çalışmışlardır. Literatürde başvurulan yöntemler yenilenebilir enerji tüketimi ve karbondioksit emisyonları

arasındaki ilişkiyi ölçmede sabit parametredeki heterojenliği dikkate alırken, bu çalışma sabit parametredeki heterojenliğin yapısını ortaya koymaktan ziyade eğim parametresinin yapısı incelemektedir. Bu çalışma 21 AB üyesi ülkede yenilenebilir enerji tüketiminin karbondioksit emisyonları üzerindeki etkisini 2001-2019 dönemi için panel eşik modeli aracılığıyla incelemektedir. Panel eşik modeli, rejim değişimlerinin etkilerini ortaya koyarken önemli politika çıkarımlarının yapılmasına da olanak sağlamaktadır. Bu çalışma doğrusal bir model yapısı yerine doğrusal olmayan bir yapının varlığına işaret ederek, eşik değerin modelde oynadığı rolü ortaya çıkarmayı amaçlamaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde enerji tüketimi ve karbondioksit emisyonları arasındaki ilişkileri inceleyen literatür taraması yer almaktadır. Üçüncü bölümde çalışmada kullanılan veriler, yöntem ve elde edilen bulgular tartışılırken son bölümde çalışmanın sonuçları ve öneriler yer almaktadır.

## 2. Literatür

Dünyadaki doğal dengeyi bozan iklim değişiminin etkileri, enerji tüketimi ile karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonu ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkileri değerlendiren kapsamlı bir literatürün ortaya çıkmasına neden olmuştur. Richmond ve Kaufmann (2006), Acaravci ve Öztürk (2010), Vavrek ve Chovancova (2016), Waheed vd. (2019), Piłatowska ve Geise (2021), Yang vd. (2022), Androniceanu ve Georgescu (2023), Di Febo vd. (2023), Madaleno ve Nogueira (2023) gibi çalışmalarla Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) ele alınmakta ve ekolojik değişikliklere neden olan sera gazı emisyonları ile ekonomik büyüme arasındaki bağlantı literatürde sıkça tartışılan bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Çevresel Kuznets eğrisi, gelir artışı ile çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi ters U eğrisi şeklinde karakterize edildiğini varsaymakta; Grossman ve Krueger (1991), Panayotou (1993), Selden ve Song (1994), Shafik (1994), Grossman ve Krueger (1995) bu hipotezi ortaya koyan ve test eden öncü çalışmalar olarak literatürdeki yerlerini aldıkları görülmektedir.

EKC geleneksel ters U ile sınırlı değildir; alternatif formlar da ortaya konulmuştur. Örneğin, Churcill vd. (2018), geleneksel ters U şeklindeki modelin yanı sıra hem N biçimli hem de ters N biçimli modellerin olduğunu belirlemişlerdir. Benzer şekilde, Balsalobre-Lorente vd. (2018), AB-5 ülkeleri için N biçimli bir şeklin olduğunu sonucuna ulaşmışlardır. Bu durum ekonomiler geliştikçe emisyonların başlangıçta arttığını, sonra azaldığını, gelir düzeyi daha yüksek seviyelere ulaştığında tekrar arttığını ve EKC dinamiklerinin karmaşıklığını yansıttığını göstermektedir. Buna ek olarak, Allard vd. (2018) 74 farklı ülkede N şeklinde bir EKC eğrisinin olduğunu sonucuna ulaşmışlardır. Bu ülke grupları arasında yalnızca üst-orta gelirli ülkelerin N şeklinde EKC ilişkisi yoktur. Diğer tüm gelir gruplarında N şeklinde bir EKC ilişkisi bulunmaktadır.

Birçok çalışma EKC'yi ampirik olarak doğrulamış olsa da bunun için hiçbir kanıt bulamayan önemli bir literatür de ortaya çıkmıştır. Örneğin, Jebli vd. (2015), Zoundi (2017), Liu vd. (2017), Inglesi-Lotz ve Doğan (2018), Zhang ve Liu (2019), Mikayilov vd. (2018) ve Vo vd. (2020) tarafından yapılan çalışmalar bir EKC ilişkisinin varlığını doğrulayan hiçbir kanıt elde edememiştir. Bu bulgular EKC'nin ülkeler, bölgeler veya metodolojik yaklaşımlar arasında değişkenlik gösterebileceğini düşündürmektedir. Bu değişkenlik aynı ülkeler veya bölgeler içinde yürütülen çalışmalarda da gözlemlenebilmektedir. Örneğin, Acaravci ve Öztürk (2010) ve Akbostancı vd. (2009) Türkiye için EKC'yi destekleyen hiçbir ampirik bulgu bulamamış fakat Bölük ve Mert (2015) ve Alola ve Donve (2021) tarafından yapılan ampirik çalışmalar EKC hipoteziyle tutarlı bulgular olduğunu ortaya koymuştur.

Çevre kirliliği bağlamında CO<sub>2</sub> ile enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi araştıran kapsamlı araştırmalar yürütülmüştür. Bu bağlamda, çevre-enerji-büyüme literatüründe Chiu ve Chang (2009), Sadorsky (2009), Menyah ve Wolde-Rufael (2010), Bengochea ve Faet (2012), Sulaiman vd. (2013), Iwata vd. (2013), Azlina vd. (2014), Apergis ve Payne (2014), López-Menéndez vd. (2014), Farhani ve Shahbaz (2014), Shafiei ve Salim (2014), Bölük ve Mert (2015), Al-Mulali vd. (2015), Dogan ve Seker (2016) ve Chen vd. (2022) yer almaktadır.

Ziaei (2025) enerji inovasyonuna odaklanmış ve zaman boyutunu dikkate almadan CO<sub>2</sub> emisyonları ile enerji tüketimi arasındaki asimetrik ilişkiyi analiz etmiştir. Çalışma, yenilenebilir enerjiye yapılan Ar-Ge yatırımlarının CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmada uzun vadede güçlü bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, Tello (2025) karbon vergilerinin çevresel emisyonları önemli ölçüde azalttığına dair ampirik kanıtlar sunmuştur. Buna karşılık, Bölük ve Mert (2014) yenilenebilir enerjide karbon emisyonlarındaki artışın

fosil yakıtlara göre iki kat daha az olduğunu tespit etmişlerdir. Menyah ve Wolde-Rufael (2010) ve Apergis vd. (2010) nükleer enerji tüketimi ile CO<sub>2</sub> emisyonları arasında ters yönlü bir ilişki olduğunu ortaya koymuşlardır, ancak bulgular CO<sub>2</sub> emisyonları ile yenilenebilir enerji tüketimi arasında nedensel bir ilişki olmadığını doğrulamaktadır. Sadorsky (2009) gelir artışının ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının G7 ülkelerinde yenilenebilir enerji tüketimini önemli ölçüde etkilediğini belirlemiştir.

**Tablo 1.** Yenilenebilir Enerji Tüketimi ve Karbondioksit Emisyonları Arasındaki İlişkiyi İnceleyen Çalışmalar

| Çalışma                       | Ülke/Bölge<br>Dönem               | Yöntem         | Bulgular/Sonuçlar                                      |
|-------------------------------|-----------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------|
| Sadorsky (2009)               | G7<br>1980–2005                   | PC             | CO <sub>2</sub> (+) REC                                |
| Menyah ve Wolde-Rufael (2010) | ABD<br>1960–2007                  | GC             | REC (≠) CO <sub>2</sub><br>CO <sub>2</sub> (≠) REC     |
| Apergis vd. (2010)            | 19 GOÜ ve GÜ<br>1984–2007         | PVECM          | REC (≠) CO <sub>2</sub><br>NUCLEAR (–) CO <sub>2</sub> |
| Bölük ve Mert (2014)          | 16 AB<br>1990–2008                | PC             | REC (+) CO <sub>2</sub>                                |
| Qi vd. (2014)                 | Çin<br>2010–2020                  | GEM            | REC (–) CO <sub>2</sub>                                |
| Robalino-López vd. (2014a)    | Ekvador<br>1980–2010              | SDM, SA        | REC (–) CO <sub>2</sub>                                |
| Robalino-López vd. (2014b)    | Ekvador<br>1980–2010              | SDM, EKC       | REC (–) CO <sub>2</sub>                                |
| Shafiei ve Salim (2014)       | OECD<br>1980–2011                 | STIRPAT        | REC (–) CO <sub>2</sub>                                |
| Çoban (2015)                  | Türkiye<br>1990–2012              | PC             | REC (–) CO <sub>2</sub>                                |
| Jebli vd. (2015)              | 24 Sahra Altı Afrika<br>1980–2010 | PC             | REC (≠) CO <sub>2</sub>                                |
| Robalino-López vd. (2015)     | Venezüella<br>1980–2025           | PC             | REC (–) CO <sub>2</sub>                                |
| Bilgili vd. (2016)            | 17 OECD<br>1977–2010              | FMOLS, DOLS    | REC (–) CO <sub>2</sub>                                |
| Dogan ve Seker (2016)         | AB<br>1980–2012                   | DHGC           | REC (–) CO <sub>2</sub>                                |
| Wesseh ve Lin (2016)          | 34 Afrika<br>1980–2011            | TPF            | REC (–) CO <sub>2</sub>                                |
| Zoundi Z. (2017)              | 25 Seçilmiş Afrika<br>1980–2012   | PC             | REC (–) CO <sub>2</sub>                                |
| Allard vd. (2018)             | 74 Ülke<br>1994–2012              | PQR            | REC (–) CO <sub>2</sub>                                |
| Balsalobre-Lorente vd. (2018) | AB-5<br>1985–2016                 | PC             | REC (–) CO <sub>2</sub>                                |
| Sinha ve Shahbaz (2018)       | Hindistan<br>1971–2015            | ARDL           | REC (–) CO <sub>2</sub>                                |
| Waheed vd. (2018)             | Pakistan<br>1990–2014             | ARDL           | REC (–) CO <sub>2</sub>                                |
| Chen vd. (2019)               | Çin<br>1980–2014                  | ARDL, VECM, GC | REC (–) CO <sub>2</sub>                                |
| Sharif vd. (2019)             | 74 Ülke<br>1990–2015              | PC             | REC (–) CO <sub>2</sub><br>NREC (+) CO <sub>2</sub>    |
| Yao (2019)                    | 17 GOÜ ve GÜ<br>1990–2014         | PC             | REC (–) CO <sub>2</sub>                                |

**Tablo 1.** Yenilenebilir Enerji Tüketimi ve Karbondioksit Emisyonları Arasındaki İlişkiyi İnceleyen Çalışmalar (Devamı)

| Çalışma                        | Ülke/Bölge<br>Dönem          | Yöntem      | Bulgular/Sonuçlar                                   |
|--------------------------------|------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------|
| Jebli vd. (2020)               | 102 Ülke<br>1990–2015        | GMMS, GC    | REC (–) CO <sub>2</sub>                             |
| Anwar vd. (2021)               | ASEAN<br>1990–2018           | MQR         | REC (–) CO <sub>2</sub><br>NREC (+) CO <sub>2</sub> |
| Jamil vd. (2021)               | G20<br>1990–2019             | FMOLS, DOLS | REC (–) CO <sub>2</sub>                             |
| Ma vd. (2021)                  | Fransa, Almanya<br>1995–2015 | PC          | REC (–) CO <sub>2</sub><br>NREC (+) CO <sub>2</sub> |
| Shahnazi ve Shabani<br>(2021)  | AB<br>2000–2017              | SDPD        | REC (–) CO <sub>2</sub>                             |
| Yang vd. (2021)                | 24 SREB<br>1995–2014         | ARDL        | REC (–) CO <sub>2</sub>                             |
| Chen vd. (2022)                | 97 Ülke<br>1995–2015         | PC          | REC (–) CO <sub>2</sub>                             |
| Karaaslan ve Çamkaya<br>(2022) | Türkiye<br>1980–2016         | ARDL, TYC   | REC (–) CO <sub>2</sub>                             |
| Rahman vd. (2022)              | 25 GOÜ<br>1990–2018          | ARDL        | REC (–) CO <sub>2</sub>                             |
| Demir vd. (2023)               | Türkiye<br>1972–2021         | ARDL        | REC (–) CO <sub>2</sub>                             |
| Rehman vd. (2023)              | Global<br>1985–2020          | NARDL       | REC (≠) CO <sub>2</sub><br>CO <sub>2</sub> (≠) REC  |
| Adebayo ve Ullah (2024)        | İsveç<br>1990–2020           | WC, WCT     | REC (–) CO <sub>2</sub>                             |
| Sadiq vd. (2024)               | BRIC<br>1990–2020            | CS-ARDL     | REC (–) CO <sub>2</sub>                             |
| Ziaei (2025)                   | 10 OECD<br>1990–2020         | NARDL       | REC (–) CO <sub>2</sub>                             |

Not: PC–Panel eşbütünleşme; PQR–Panel Kantil Regresyonu; PVECM–Panel vektör hata düzeltme modeli; FMOLS–Tamamen değiştirilmiş sıradan en küçük kareler; DOLS–Dinamik sıradan en küçük kareler; SDPD–Uzamsal dinamik panel veri modeli; ARDL–Gecikmesi Dağıtılmış Otoregresif Sınır Testi; GC–Granger nedenselliği; Kesitsel ARDL; NARDL–Doğrusal Olmayan ARDL; GMMS–Genelleştirilmiş momentler yöntemi; MQR–Momentler Kantil Regresyonu; STIRPAT–Regresyonla stokastik etkiler; C-GEM–Küresel Enerji Modeli; WC–Dalgacık tutarlılığı; WCT–Dalgacık tabanlı Granger nedenselliği; TYC–Toda-Yamamoto nedenselliği; SDM–Sistem dinamiği modellemesi; SA–Senaryo analizi; TPF–Translog üretim fonksiyonu; DHGC–Dumitrescu-Hurlin paneli Granger nedenselliği; BRIC–Brezilya, Rusya, Hindistan ve Çin; Gelişmekte olan Ülkeler ve Gelişmiş Ülkeler - GOÜ ve GÜ AB–Avrupa Birliği; ABD–Amerika Birleşik Devletleri; SREB–İpek Yolu Ekonomik Kuşağı

Yenilenebilir enerji tüketimi ile karbondioksit emisyonları arasındaki ilişki farklı yöntemler kullanılarak ortaya çıkarılmaya çalışılmaktadır. Bu ilişkiyi ortaya çıkarmak için başvurulan yöntemler arasında panel eşbütünleşme, panel kantil regresyonu, panel vektör hata düzeltme modeli, tamamen değiştirilmiş sıradan en küçük kareler, dinamik sıradan en küçük kareler, uzamsal dinamik panel veri modeli, gecikmesi dağıtılmış otoregresif sınır testi (ARDL), granger nedensellik, kesitsel ARDL, doğrusal olmayan ARDL, genelleştirilmiş momentler yöntemi, momentler kantil regresyonu, regresyonla stokastik etkiler, dalgacık tutarlılığı, dalgacık tabanlı granger nedensellik, Toda-Yamamoto nedensellik ve Dumitrescu-Hurlin panel granger nedensellik vb. bulunmaktadır. İncelenen ülke ve başvurulan yöntem elde edilen bulguların da farklılaşmasına neden olmaktadır. Yenilenebilir enerji tüketimi ile karbondioksit emisyonları arasında negatif yönlü ilişki elde eden çok sayıda çalışma olmasına rağmen pozitif yönlü ilişkinin varlığını teyit eden Sadorsky (2009) ve Bölük ve Mert (2014) çalışmaları bulunmaktadır. Bununla birlikte bu iki değişken arasında herhangi bir ilişkinin olmadığını ortaya koyan Menyah ve Wolde-Rufael (2010), Apergis vd. (2010), Jebli vd. (2015), Rehman vd. (2023) gibi sınırlı sayıda çalışmalar da bulunmaktadır. Tablo 1, yenilenebilir enerji tüketimi ile karbondioksit

emisyonları arasındaki ilişkileri incelenen ülke, kullanılan yöntem ve elde edilen bulgular açısından özetlemektedir.

### 3. Veri, Yöntem ve Bulgular

Bu çalışma Almanya, Fransa, İtalya, İspanya, Polonya, Hollanda, Belçika, Çekya, İsveç, Macaristan, Portekiz, Yunanistan, Avusturya, Danimarka, Finlandiya, İrlanda, Slovakya, Litvanya, Slovenya, Letonya ve Estonya'nın olduğu 21 AB üyesi ülkede yenilenebilir enerji tüketiminin karbondioksit emisyonları üzerindeki etkisini panel eşik model yöntemi aracılığıyla ortaya çıkarmaya çalışmaktadır. Çalışmada, 21 AB üyesi ülkeye odaklanılmasının nedeni hem veri bütünlüğü hem de yöntemsel sınırlılıklarla ilişkilidir. Çalışmada diğer üye ülkelerin verilerinde eksiklikler ve erişim sorunları olduğu için analize dahil edilmemiştir. Yenilenebilir enerji tüketiminin karbondioksit emisyonu üzerindeki etkisini ortaya çıkarmak için kurulan modelde kontrol değişkenleri kullanılmıştır. Kullanılan değişkenlerin kısaltmaları ve anlamları Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Değişkenler ve Anlamları

| Değişkenler     | Tanımlar                                                       | Kaynak                                                                      |
|-----------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| CO <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> emisyonu değişimi (kişi başına metrik ton) (%) | <a href="https://databank.worldbank.org">https://databank.worldbank.org</a> |
| enerjitük       | Enerji tüketimi değişimi (%)                                   | <a href="https://ourworldindata.org">https://ourworldindata.org</a>         |
| yenilenebilir   | Yenilenebilir enerji tüketimi değişimi (%)                     | <a href="https://ourworldindata.org">https://ourworldindata.org</a>         |
| büyüme          | Kişi başına düşen GSYİH büyümesi (yıllık %)                    | <a href="https://databank.worldbank.org">https://databank.worldbank.org</a> |
| nüfus           | Doğal Nüfus Artış Oranı (1.000 kişi başına)                    | <a href="https://data.un.org">https://data.un.org</a>                       |
| mobil           | Mobil abonelikler (100 kişi başına) değişimi (%)               | <a href="https://databank.worldbank.org">https://databank.worldbank.org</a> |
| internet        | İnternet kullanan bireyler (% nüfus)                           | <a href="https://databank.worldbank.org">https://databank.worldbank.org</a> |
| kentnüfus       | Kentsel nüfus artışı (yıllık %)                                | <a href="https://databank.worldbank.org">https://databank.worldbank.org</a> |

Enerji tüketimi, emisyonların temel belirleyicilerinden biridir ve Çevresel Kuznets Eğrisi literatüründe standart kontrol değişkeni olarak kullanılmaktadır. Ekonomik faaliyetlerin temel girdisi olarak enerji tüketimi, emisyonları doğrudan etkilemektedir. Literatürde pozitif yönlü ilişki güçlü şekilde desteklenmektedir (Ang, 2007; Apergis ve Payne, 2009; Shahbaz vd., 2012; Zhang ve Cheng, 2009). Ekonomik büyüme, EKC hipotezinin test edilmesi ve gelir-emisyon ilişkisinin kontrol edilmesi için kritik öneme sahiptir ve literatürde standart kontrol değişkeni olarak kullanılmaktadır. Düşük gelir seviyelerinde pozitif etki, yüksek gelir seviyelerinde negatif etki gözlemlenebilir. Ters-U şeklinde ilişki beklentisi bulunmaktadır (Dinda, 2004; Grossman ve Krueger, 1995; Shafik ve Bandyopadhyay, 1992; Stern, 2004). STIRPAT modeli kapsamında artan nüfus, enerji talebi ve kaynak kullanımı üzerinde etkili olup, dolayısıyla CO<sub>2</sub> emisyonlarında artışa neden olmaktadır (Dietz ve Rosa, 1997; Shi, 2003; York vd., 2003). Mobil telefon abonelikleri, dijitalleşme ve teknolojik gelişmişlik göstergesi olarak enerji verimliliği ve karbondioksit emisyonları üzerinde etkili olmakta ve verimlilik artışıyla emisyonların azaltılması beklenmektedir (Asongu, 2018; Higón vd., 2017; Danish vd., 2019; Salahuddin ve Gow, 2016). Kentsel nüfus hem enerji tüketim kalıplarını hem de ulaşım, konut ve endüstriyel faaliyetler yoluyla CO<sub>2</sub> emisyonlarını artırması beklenmektedir (Al-Mulali vd., 2012; Martínez-Zarzoso ve Maruotti, 2011; Poumanyvong ve Kaneko, 2010; Wang vd., 2016).

Çalışmada modelde kullanılan değişkenlere ilişkin gözlem sayıları, değişkenlerin sahip olduğu ortalama, minimum ve maksimum değerleri ile değişkenlerin standart sapmalarına ilişkin detaylı bilgiler Tablo 3'te tanımlayıcı istatistikler olarak sunulmuştur.

**Tablo 3.** Tanımlayıcı İstatistikler

| Değişkenler     | Gözlem | Ortalama | Std. Dev. | Min.   | Maks.  |
|-----------------|--------|----------|-----------|--------|--------|
| CO <sub>2</sub> | 399    | -0,865   | 5,584     | -18,38 | 26,49  |
| enerjitük       | 399    | -0,021   | 4,594     | -25,94 | 20,98  |
| yenilenebilir   | 399    | 9,257    | 22,630    | -40,55 | 176,80 |
| büyüme          | 399    | 2,051    | 3,670     | -14,27 | 24,00  |
| nüfus           | 399    | 0,021    | 0,283     | -0,58  | 0,99   |
| mobil           | 399    | 5,885    | 12,239    | -20,83 | 95,92  |
| internet        | 399    | 65,309   | 21,402    | 7,18   | 98,05  |
| kentnüfus       | 399    | 72,023   | 11,725    | 50,78  | 98,04  |

İki değişken arasındaki ilişkinin büyüklüğü ve gücünü tespit edebilmek ve değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü ortaya koyabilmek için çalışmada kullanılan değişkenlere ilişkin çift yönlü korelasyonlar Tablo 4'te verilmiştir. Çift yönlü korelasyonlarda katsayı değerinin 1'e yaklaşması ilişkinin güçlü olduğunu ortaya koyarken 0'a yaklaşması ilişkinin gücünün zayıfladığını göstermektedir.

**Tablo 4.** Pairwise Korelasyonlar

| Değişkenler | (1)     | (2)     | (3)    | (4)     | (5)     | (6)     | (7)    | (8)   |
|-------------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|--------|-------|
| (1)         | 1,000   |         |        |         |         |         |        |       |
| (2)         | -0,023  | 1,000   |        |         |         |         |        |       |
| (3)         | 0,033   | 0,143*  | 1,000  |         |         |         |        |       |
| (4)         | 0,242*  | 0,289*  | -0,087 | 1,000   |         |         |        |       |
| (5)         | -0,102* | -0,026  | -0,025 | -0,281* | 1,000   |         |        |       |
| (6)         | 0,083   | 0,206*  | 0,029  | 0,265*  | -0,167* | 1,000   |        |       |
| (7)         | -0,093  | -0,146* | -0,064 | -0,149* | 0,151*  | -0,624* | 1,000  |       |
| (8)         | -0,034  | -0,035  | 0,017  | -0,089  | 0,113*  | -0,132* | 0,355* | 1,000 |

(1) CO<sub>2</sub> (2) enerjitük (3) yenilenebilir (4) büyüme (5) nüfus (6) mobil (7) internet (8) kentnüfus  
 \*  $p < 0,1$ , \*\*  $p < 0,05$ , \*\*\*  $p < 0,01$

Yatay kesitlerin birbirinden bağımsız olması ile herhangi bir ülkeye gelen bir şoktan diğer ülkelerin etkilenmediği varsayımı yapılmaktadır. Sıfır hipotezi yatay kesit bağımlılığı yoktur şeklinde kurulmaktadır. Elde edilen sonuçlar yatay kesit bağımlılığı olmadığı boş hipotezini güçlü bir şekilde reddetmektedir. Tablo 5, yatay kesit bağımlılık sonuçlarını göstermektedir. Bu bulgular paneli oluşturan AB ülkeleri arasında bir yatay kesit bağımlılığının olduğunu göstermektedir. AB ülkelerinden birisinde meydana gelen bir yenilenebilir enerji tüketim şokunun diğer AB üyelerini de etkileyeceği çıkarımı yapılabilmektedir. Bu yüzden herhangi bir AB ülkesinin yenilenebilir enerji tüketim politikasını değiştirirken diğer üye ülkelerin de bu durumdan etkileneceği unutulmamalıdır.

**Tablo 5.** Pesaran (2004) Yatay Kesit Bağımlılık Testi

| Değişkenler     | CD-test | Prob. |
|-----------------|---------|-------|
| CO <sub>2</sub> | 22,144  | 0,000 |
| enerjitük       | 22,63   | 0,000 |
| yenilenebilir   | 6,923   | 0,000 |
| büyüme          | 40,855  | 0,000 |
| nüfus           | 7,036   | 0,000 |
| mobil           | 39,674  | 0,000 |
| internet        | 59,464  | 0,000 |
| kentnüfus       | 21,382  | 0,000 |

Yatay kesit birimleri arasında yatay kesit bağımlılığının varlığı beraberinde uygulanacak panel birim kök testlerini etkilemektedir. Bu yüzden bu çalışmada yatay kesit bağımlılığını dikkate alan Im, Pesaran ve Shin (IPS) (2003) panel birim kök testi kullanılmıştır. Panel birim kök testi sonuçları Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. IPS Birim Kök Testi

| Seviye<br>Değişkenler | Sabitli Panel |        | Sabit ve Trendli Panel |        |
|-----------------------|---------------|--------|------------------------|--------|
|                       | Stat          | Prob.  | Stat                   | Prob.  |
| CO <sub>2</sub>       | -0,371        | 0,355  | -0,560                 | 0,288  |
| enerjitük             | -10,911*      | 0,000  | -11,076*               | 0,000  |
| yenilenebilir         | -10,468*      | 0,000  | -10,676*               | 0,000  |
| büyüme                | -6,870*       | 0,000  | -6,930*                | 0,000  |
| nüfus                 | 0,805         | 0,790  | -1,086                 | 0,139  |
| mobil                 | -0,1113       | 0,4557 | -0,200                 | 0,421  |
| internet              | 0,227         | 0,590  | -0,2659                | 0,3952 |
| kentnüfus             | 1,9217        | 0,9727 | 1,404                  | 0,920  |
| Fark<br>Değişkenler   | Sabitli Panel |        | Sabit ve Trendli Panel |        |
|                       | Stat          | Prob.  | Stat                   | Prob.  |
| CO <sub>2</sub>       | -10,731*      | 0,000  | -10,782*               | 0,000  |
| enerjitük             | -13,336*      | 0,000  | -13,311*               | 0,000  |
| yenilenebilir         | -12,865*      | 0,000  | -16,760*               | 0,000  |
| büyüme                | -10,795*      | 0,000  | -10,786*               | 0,000  |
| nüfus                 | -2,430*       | 0,008  | -2,914*                | 0,002  |
| mobil                 | -6,492*       | 0,000  | -8,126*                | 0,000  |
| internet              | -7,851*       | 0,000  | -10,961*               | 0,000  |
| kentnüfus             | -5,103*       | 0,000  | -5,103*                | 0,000  |

Not: Gecikme Uzunluğu varsayılan olarak Akaike Bilgi Kriterine göre belirlenmiştir. \*\*\* p<0,10, \*\* p<0,05, \*p<0,01 anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Hansen (1999) panel eşik modellerinde değişkenlerin durağan olması gerektiğini, aksi halde sonuçların güvenilir olmayacağını belirtmektedir. Seo ve Shin (2016) panel eşik regresyon modellerinde, değişkenlerin durağanlık derecelerine göre uygun dönüşümlerin yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Caner ve Hansen (2004) eşik regresyon modellerinde, farklı durağanlık derecelerine sahip değişkenlerin birlikte kullanılabileceğini, ancak I(1) değişkenlerin birinci farklarının alınmasının gerekliliğini vurgulamaktadır. Sonuç olarak karma durağanlık yapısına sahip panel eşik modellerinde, I(0) değişkenler düzeyde, I(1) değişkenler ise birinci farkta modele dahil edilmelidir. Bu yaklaşım, hem sahte regresyon riskini ortadan kaldırmakta hem de modelin teorik ve ampirik olarak geçerliliğini sağlamaktadır. Panel veri modellerinde karşımıza çıkan temel problemlerden bir tanesi heterojenliktir. Panel veri modelleri ile yapılan çalışmalarda heterojenlikle karşılaşılmasının temel sebebi çalışılan her bir ülkenin farklı olması ve her bir ülkenin kendi yapısal özelliklerine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Klasik sabit etki veya rassal etki modelleri sadece sabit parametrelerdeki heterojenitenin tespit edilmesine olanak sağlamaktadır. Hsiao (2003) buradan yola çıkarak kurulan modellerdeki eğim parametrelerinin yapısını incelemiştir. Bu modeller arasında Hansen (1999) panel eşik modeli basit bir spesifikasyona sahip olmasına rağmen ekonomi politika çıkarımları için önemli öneriler sunmaktadır. Eşik modelleri değişkenler arasındaki ilişkilerde rejim değişimlerini göstermek amacıyla kullanılmaktadır (Wang, 2015). Hansen (1999) çalışmasında dengeli panel veri setinden  $(y_{it}, q_{it}, x_{it}; T \geq t \geq 1, n \geq i \geq 1)$  yola çıkmaktadır. Alt indis olarak gösterilen i birimleri t ise zamanı göstermektedir.  $y_{it}$ ; bağımlı değişkeni,  $q_{it}$ ; eşik değişkeni,  $x_{it}$ ; dışsal regresörlerin k boyutlu bir vektörünü, I(.) gösterge fonksiyonunu ve  $\gamma$  ise eşik değeri göstermektedir. Aşağıdaki formülasyon yapısal eşitliği temsil etmektedir:

$$y_{it} = \mu_i + \beta_1' x_{it} I(q_{it} \leq \gamma) + \beta_2' x_{it} I(q_{it} > \gamma) + e_{it} \quad (1)$$

Eşitlik 1'in başka bir şekilde gösterimi;

$$x_{it}(\gamma) = x_{it}I(q_{it} \leq \gamma)x_{it}I(q_{it} > \gamma) \text{ ve } \beta = (\beta_1' \beta_2') \text{ biçiminde yazıldığında eşitlik 1} \quad (2)$$

$$y_{it} = \mu_i + \beta'x_{it}(\gamma) + e_{it}$$

şeklinde yazılabilir.

Eşitliği ( $\gamma$ ),  $\beta_1$  ve  $\beta_2$  olarak iki farklı rejime bölen kritik değer eşik parametresidir.  $\beta_1$  ve  $\beta_2$  belirlenebilmesi için  $x_{it}$ 'nin zamanla değişmiyor olması gerekmektedir. Hansen (1999) aynı zamanda eşik değer değişkeni ( $q_{it}$ )'nin de zamanla değişmediğini varsaymaktadır.

Modelde eşik etkisinin test edilmesi katsayıların her bir rejimde aynı olup olmadığının test edilmesi ile aynıdır.

$$H_0: \beta_1 = \beta_2$$

$$H_a: \beta_1 \neq \beta_2$$

$H_0$  hipotezi modelin doğrusal olduğu şeklinde iken alternatif hipotez modelin tek eşik değerli model olduğu şeklindedir. Eşik değer etkisinin anlamlılığının test edilebilmesi için F testi kritik değerleri bootstrap ile elde edilmektedir. Dengeli panel veri modelleriyle 2001-2019 döneminde AB ülkelerinde CO<sub>2</sub> emisyonu ile yenilenebilir enerji tüketimi arasında ilişki olup olmadığı incelenmiştir.

Kurulan panel eşik modeli şu şekildedir:

$$lCO_2 = \mu_i + \beta_1 \text{ yenilenebilir}_{it} I(\text{yenilenebilir}_{it} \leq \gamma) + \beta_2 \text{ yenilenebilir}_{it} I(\text{yenilenebilir}_{it} > \gamma) + \beta_3 \text{ enerjitük} + \beta_4 \text{ büyüme} + \beta_5 \text{ nüfus} + \beta_6 \text{ mobil} + \beta_7 \text{ internet} + \beta_8 \text{ kentsel nüfus} + e_{it} \quad (3)$$

Modelde bağımlı değişken CO<sub>2</sub> emisyonu değişkeni iken yenilenebilir enerji tüketimi değişkeni rejim bağımlı regresör değişkeni (regime-dependent regressor) ve eşik değişkeni olarak belirlenmiştir. Eşik değer tahmincisine ilişkin alt ve üst değerler ile eşik değer sayısı bulguları Tablo 7, sabit etkiler modeline ilişkin regresyon sonuçları ise Tablo 8'de verilmiştir.

**Tablo 7. Eşik Değer Tahmincisi**

| Model | Eşik değer | Alt   | Üst   |
|-------|------------|-------|-------|
| Th1   | 17,060     | 16,98 | 17,07 |

  

| Eşik değer | RSS      | MSE     | Fstat | Prob | Crit10 | Crit5  | Crit1  |
|------------|----------|---------|-------|------|--------|--------|--------|
| Tek Eşik   | 2,51E+04 | 69,6026 | 7,1   | 0,03 | 5,9359 | 6,7927 | 9,0227 |

Sıfır hipotezi linear modeli alternatif hipotez ise tek eşik değerli modeli temsil edecek şekilde kurulmaktadır. Bu modelin anlamlılığına ilişkin test sonuçları Tablo 7'de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, kurulan model için tek eşik düzeyinin varlığını kanıtlamaktadır. F istatistiği 7,10 değeri 6,79 kritik değerinden büyük için ( $F_{stat} = 7,10 > 6,79$ ) yenilenebilir enerji tüketimi değişkeni iki farklı rejimi barındırmaktadır. Çalışmadan elde edilen bulgular bu değerin 17,06 olduğunu göstermektedir.

Tablo 8'de modelin panel eşik sabit etkilerine yer verilmiştir. Regresyon sonuçlarına göre enerji tüketimi ve kişi başına düşen GSYİH büyümesi istatistiksel olarak anlamlıdır. Enerji tüketimindeki %1'lik bir artışın, CO<sub>2</sub> emisyonlarını 0,047 oranında artırdığı gözlenirken, kişi başına düşen GSYH büyümesinde %1'lik bir artışın CO<sub>2</sub> emisyonlarını 0,017 oranında artırdığı görülmektedir. Modelde yer alan diğer kontrol değişkenlerden doğal nüfus artış oranı, mobil abonelikler değişimi, internet kullanım oranı ve kentsel nüfus artışının CO<sub>2</sub> emisyonları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir.

**Tablo 8.** Panel Eşik Sabit Etkiler Regresyon

| Değişkenler               | Katsayı      | Std. Err. | t      | P>t   |
|---------------------------|--------------|-----------|--------|-------|
| CO <sub>2</sub>           |              |           |        |       |
| enerjitük                 | 0,047*       | 0,006     | 8,430  | 0,000 |
| büyüme                    | 0,017**      | 0,007     | 2,350  | 0,019 |
| nüfus                     | 0,961        | 1,431     | 0,670  | 0,502 |
| mobil                     | 0,005        | 0,003     | 1,390  | 0,164 |
| internet                  | -0,001       | 0,007     | -0,100 | 0,917 |
| kentnüfus                 | 0,006        | 0,088     | 0,060  | 0,949 |
| constant                  | -0,086**     | 0,039     | -2,230 | 0,026 |
| yenilenebilir             |              |           |        |       |
| $\beta_1$                 | -0,006*      | 0,002     | -3,630 | 0,000 |
| $\beta_2$                 | -0,003**     | 0,001     | -2,250 | 0,025 |
| sigma_u                   | 0,069        | Ülke      | 21     |       |
| sigma_e                   | 0,466        | Gözlem    | 399    |       |
| rho                       | 0,021        | F(8,370)  | 13     |       |
| F testi u <sub>i</sub> =0 | Prob>F=0,992 | Prob > F  | 0,000  |       |
| F(20,370)=0,39            |              |           |        |       |

Not: \*\*\* p<0,10, \*\* p<0,05, \*p<0,01 anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Elde edilen panel eşik sabit etkiler model sonuçları enerji tüketiminin artması durumunda AB ülkelerinde CO<sub>2</sub> emisyonunun da arttığını göstermektedir. Benzer şekilde bu ülkelerde yıllık büyüme oranlarındaki artışında CO<sub>2</sub> emisyonunu artırdığı sonucuna ulaşılmaktadır. Fakat enerji tüketiminin CO<sub>2</sub> emisyonunun artışına katkısı yıllık ekonomik büyümenin yaklaşık 2,76 katı kadar daha fazladır. Yenilenebilir enerji tüketimi için belirlenen iki farklı rejiminde modelde anlamlı olduğu ve CO<sub>2</sub> emisyonunu azalttığı belirlenmiştir. İlk rejimde yenilenebilir enerji tüketiminin CO<sub>2</sub> emisyonunu azaltıcı etkisi ikinci rejime göre iki kat daha fazladır. Yani yenilenebilir enerji tüketiminin eşik değerin ilk noktasına kadar CO<sub>2</sub> emisyonunun daha fazla azalttığı bu eşik değerden sonra ise yenilenebilir enerji tüketiminin CO<sub>2</sub> emisyonunu azaltıcı etkisinin daha az olduğu belirlenmiştir.

#### 4. Sonuç

Geleneksel enerji kaynaklarının çevreye olumsuz etkileri nedeniyle ülkeler alternatif enerji kaynaklarına yönelmektedir. Bu alternatif kaynaklardan biri de yenilenebilir enerjidir. Yenilenebilir enerji üretimine ayrılacak payın büyüklüğü gelir düzeylerine bağlı olarak ülkelerin öncelikleri ve finansman kabiliyetlerine göre farklılık göstermektedir. AB üyesi ülkeler, çevresel kaygılar ve enerji arzının sürekliliği gibi konularda daha yüksek bilinç ve farkındalığa sahip oldukları için, maliyetli yenilenebilir enerji projelerini finanse edebilmekte ve gelir artışlarına paralel olarak yenilenebilir enerji paylarını daha da artırma imkânına sahip olabilmektedirler. Yenilenebilir enerji aynı zamanda çevre kirliliği ve iklim değişikliğinin önemli bir unsuru olarak görülen CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılmasında da önemli bir rol üstlenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları dışında CO<sub>2</sub> emisyonlarını etkileyen birçok farklı faktör de bulunmaktadır. CO<sub>2</sub> emisyonlarının belirleyicilerini inceleyen literatürdeki çalışmalar enerji tüketimi, yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji tüketimi, ekonomik büyüme, kişi başına düşen GSYİH, nüfus artışı, dijitalleşme göstergeleri ve kentleşme gibi değişkenlere odaklanmıştır. Ancak bu çalışmaların büyük bir çoğunluğunda kullanılan doğrusal modeller ve kesitsel bağımlılığı göz ardı eden yaklaşımlar, elde edilen sonuçların güvenilirliğini sınırlandırmakta ve sistematik tahmin hatalarının ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Bu metodolojik eksikliklerin üstesinden gelmek için panel veri analizlerinde kesitsel bağımlılığı dikkate alan yaklaşımların hesaba katılması gerekmektedir. Bu yaklaşım, hem teorik çerçevenin geliştirilmesine katkı sağlamakta hem de uygulanabilir politika önerilerinin oluşturulmasında daha sağlam ve güvenilir sonuçlar elde edilmesine olanak tanımaktadır. Bu çalışma, AB üyesi ülkelerin enerji tüketiminde fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltma çabalarının ve yenilenebilir enerji kaynaklarının CO<sub>2</sub> emisyonları azaltmadaki etkinliğini ve

sürdürülebilir bir gelecek sağlama girişimlerini değerlendirirken, aynı zamanda metodolojik yaklaşımın önemini vurgulamıştır.

Bu çalışmada dengeli panel veri modelleriyle AB üyesi ülkelerde CO<sub>2</sub> emisyonu ile yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki ilişki panel eşik model aracılığıyla incelenmiştir. AB üyesi ülkeler birlik üyesi olmaları dolayısıyla benzer ekonomik özellikler taşıyalar da her bir ülkenin farklı olması ve her bir ülkenin kendi yapısal özelliklerinden dolayı heterojenlik sorunları ile karşılaşılmasına neden olmuştur. Bu yüzden bu çalışmada klasik sabit etki veya rassal etki modellerine başvurulmamıştır. Çünkü bu modeller sadece sabit parametrelerdeki heterojenitenin tespit edilmesine olanak sağlamaktadır. Sadece sabit parametrelerdeki heterojenlik değil eğim parametresinin yapısının incelenmesi daha tutarlı sonuçlara ulaşmamıza olanak sağlamıştır. Bu çalışmada Hsiao (2003) tarafından önerilen şekliyle eğim parametrelerinin yapısı incelenmiştir. Eğim parametrelerinin her bir rejimde aynı olup olmadığına modeldeki eşik etkisinin test edilmesi ile ulaşılmıştır. Modelin doğrusallığına karşın eşik değerin varlığı test edilmiş ve çalışmada tek eşik değer olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Eşik değerin etkisinin anlamlılığına ilişkin kritik değerler bootstrap ile elde edilmiştir. Bu bulgu sonuçları eğim parametresinin rejim değişiklikleri barındırdığını göstermiştir. Çalışmada yenilenebilir enerji tüketimi değişkeni rejim bağımlı regresör değişkeni ve eşik değişkeni olarak belirlenmiştir. Tek eşik etkisine karşılık birden fazla eşik etkisi test edilmiş ancak tek eşik değerin olduğu belirlenmiştir. Bu durum AB ülkelerinde yenilenebilir enerji tüketiminin CO<sub>2</sub> emisyonlarını iki farklı rejimde etkilediğini göstermiştir. Her iki rejimde de yenilenebilir enerji tüketiminin CO<sub>2</sub> emisyonlarını azalttığı sonucuna ulaşılmıştır bunların etki düzeylerinin farklılaştığı sonucuna ulaşılmıştır. İlk rejimde yenilenebilir enerji tüketiminin CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltıcı etkisi ikinci rejime göre daha büyüktür. Yani yenilenebilir enerji tüketimi birinci rejimde CO<sub>2</sub> emisyonlarını daha fazla azaltmakta iken ikinci rejimde yenilenebilir enerji tüketiminin CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltıcı etkisinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan modelde kullanılan kontrol değişkenlerden enerji tüketimindeki yüzdesel artış ve büyüme oranındaki artışların CO<sub>2</sub> emisyonlarını artırıcı etkileri olduğu gözlemlenirken, diğer kontrol değişkenlerden doğal nüfus artış oranı, mobil aboneliklerin değişim oranı, internet kullanım oranı ve yıllık kentsel nüfus artış oranı ile CO<sub>2</sub> emisyonları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkiye rastlanılmamıştır.

Rejim geçişi ve eşik değeri kavramı, enerji politikaları açısından büyük önem taşımaktadır. Çünkü yenilenebilir enerji politikalarının etkisi, belirlenen eşik değerlerin altında ve üstünde farklılık göstermektedir. Bu durum, politika tasarımı esnek ve rejimlere duyarlı stratejilerin geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Çalışmada AB üyesi ülkelerin uygulayacakları politikaların birbirlerini etkileyip etkilemediğini ve ülkeler arasında yatay kesit bağımlılığını ortaya çıkarabilmek için Pesaran (2004) yatay kesit bağımlılık testi uygulanmıştır. AB üyesi ülkelerin birinden gelen bir şoktan diğer ülkelerin etkilenip etkilenmediği test edilmiştir. Yatay kesit bağımlılığı olmadığı hipotezi güçlü bir şekilde reddedilmiş ve AB üyesi ülkeler arasında yatay kesit bağımlılığının olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar, AB üyesi ülkelere birinde meydana gelen bir enerji tüketim şokunun diğer AB üyelerini de etkileyeceği çıkarımı yapılmasına olanak sağlamıştır. Bu yüzden herhangi bir AB üyesi ülkenin enerji tüketim politikasını değiştirirken diğer üye ülkelerin de bu durumdan etkilenmeyeceği aşikârdır. Ülkelerin enerji politikalarını ortak karar mekanizmalarıyla belirlemeleri, şokların yayılımını azaltabilir ve sürdürülebilir enerji dönüşümünü destekleyebilir. Ancak, modelde sadece iki rejimin belirlenmesi ve veri setinin bölgesel farklılıkları tam olarak yansıtmayabileceği gibi sınırlılıklar mevcuttur. Ayrıca, metodolojik karmaşıklıklar ve veri kalitesi, sonuçların genellenebilirliğini kısıtlayabilmektedir. Bu nedenle, politika yapıcılarının bulguları değerlendirirken bölgesel ve yapısal farklılıkları göz önünde bulundurmaları önemlidir. Ancak, AB'nin mevcut durumda tam anlamıyla bütünleşik ve bağlayıcı bir ortak enerji politikası bulunmamaktadır. Her ne kadar AB, "enerji birliği" stratejisi kapsamında ortak hedefler ve çerçeve politikalar belirlemiş olsa da üye ülkelerin kullandıkları enerji türleri büyük ölçüde ulusal düzeyde belirlemektedir. Bu nedenle, ortak politika oluşturma sürecinde ulusal çıkarlar ve enerji arz güvenliği gibi faktörler dikkate alınmalı, esnek ve kapsayıcı bir yaklaşım benimsenmelidir.

## Beyan ve Açıklamalar (Declarations and Disclosures)

**Yazarların Etik Sorumlulukları (Ethical Responsibilities of Authors):** Bu çalışmanın yazarları, araştırma ve yayın etiği ilkelerine uyduklarını kabul etmektedirler.

**Çıkar Çatışması (Conflicts of Interest):** Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

**Finansal Destek (Funding):** Yazarlar, çalışmanın hazırlanması ve/veya yayınlanması sürecinde herhangi bir finansal destek almamışlardır.

**Yazar Katkı Oranı (Author Contributions):** Yazarlar, çalışmaya olan katkılarını şu şekilde beyan etmişlerdir: Kavramlaştırma ve çalışma dizaynı, Ö. Akkuş; verilerin toplanması, Ö. Akkuş ve B. F. Güler; verilerin analizi ve sonuçların yorumlanması, Ö. Akkuş ve B. F. Güler; çalışmanın ilk/taslak halinin yazılması Ö. Akkuş ve B. F. Güler; çalışmanın gözden geçirilmesi ve düzenlenmesi/düzeltilmesi, Ö. Akkuş ve B. F. Güler. Çalışmanın ilk ve son hali tüm yazarlar tarafından okunmuş ve onaylanmış olup, yazarlar çalışmalarıyla ilgili sorumluluğu kabul etmektedirler.

**İntihal Denetimi (Plagiarism Checking):** Bu çalışma, intihal tarama programı kullanılarak intihal taramasından geçirilmiştir.

## Kaynaklar

- Acaravci, A., & Ozturk, I. T. (2010). On the relationship between energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions, and economic growth in Europe. *Energy*, 35(12), 5412-5420. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.07.009>
- Adebayo, T. S., & Ullah, S. (2024). Towards a sustainable future: The role of energy efficiency, renewable energy, and urbanization in limiting CO<sub>2</sub> emissions in Sweden. *Sustainable Development*, 32(1), 244-259. <https://doi.org/10.1002/sd.2658>
- Akbostancı, E., Türüt-Aşık, S., & Tunç, G. İ. (2009). The relationship between income and environment in Turkey: Is there an environmental Kuznets curve? *Energy Policy*, 37(3), 861-867. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.09.088>
- Al-Mulali, U., Fereidouni, H. G., Lee, J. Y., & Sab, C. N. B. C. (2013). Examining the bi-directional long run relationship between renewable energy consumption and GDP growth. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 209-222. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.005>
- Al-Mulali, U., Saboori, B., & Ozturk, I. (2015). Investigating the environmental Kuznets curve hypothesis in Vietnam. *Energy Policy*, 76, 123-131. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.11.019>
- Allard, A., Takman, J., Uddin, G. S., & Ahmed, A. (2018). The N-shaped environmental Kuznets curve: An empirical evaluation using a panel quantile regression approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 5848-5861. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0907-0>
- Alola, A. A., & Donve, U. T. (2021). Environmental implication of coal and oil energy utilization in Turkey: Is the EKC hypothesis related to energy? *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 32(3), 543-559. <https://doi.org/10.1108/MEQ-10-2020-0220>
- Ang, J. B. (2007). CO<sub>2</sub> emissions, energy consumption, and output in France. *Energy Policy*, 35(10), 4772-4778. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.03.032>
- Anwar, A., Siddique, M., Dogan, E., & Sharif, A. (2021). The moderating role of renewable and non-renewable energy in environment-income nexus for ASEAN countries: Evidence from method of moments quantile regression. *Renewable Energy*, 164, 956-967. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.128>
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2009). CO<sub>2</sub> emissions, energy usage, and output in Central America. *Energy Policy*, 37(8), 3282-3286. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.03.048>
- Apergis, N., Payne, J. E., Menyah, K., & Wolde-Rufael, Y. (2010). On the causal dynamics between emissions, nuclear energy, renewable energy, and economic growth. *Ecological Economics*, 69(11), 2255-2260. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.06.014>
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2014). Renewable energy, output, CO<sub>2</sub> emissions, and fossil fuel prices in Central America: Evidence from a nonlinear panel smooth transition vector error correction model. *Energy Economics*, 42, 226-232. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.01.003>
- Asongu, S. A. (2018). ICT, openness and CO<sub>2</sub> emissions in Africa. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 9351-9359. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1239-4>
- Androniceanu, A., & Georgescu, I. (2023). The impact of CO<sub>2</sub> emissions and energy consumption on economic growth: A panel data analysis. *Energies*, 16(3), 1342. <https://doi.org/10.3390/en16031342>

- Azlina, A. A., Law, S. H., & Mustapha, N. H. N. (2014). Dynamic linkages among transport energy consumption, income and CO<sub>2</sub> emission in Malaysia. *Energy Policy*, 73, 598-606. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.05.046>
- Balsalobre-Lorente, D., Shahbaz, M., Roubaud, D., & Farhani, S. (2018). How economic growth, renewable electricity and natural resources contribute to CO<sub>2</sub> emissions? *Energy Policy*, 113, 356-367. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.10.050>
- Bengochea, A., & Faet, O. (2012). Renewable energies and CO<sub>2</sub> emissions in the European Union. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 7(2), 121-130. <https://doi.org/10.1080/15567240902744635>
- Bhattacharya, M., Paramati, S. R., Ozturk, I., & Bhattacharya, S. (2016). The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from top 38 countries. *Applied Energy*, 162, 733-741. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.104>
- Bilgili, F., Koçak, E., & Bulut, Ü. (2016). The dynamic impact of renewable energy consumption on CO<sub>2</sub> emissions: A revisited environmental Kuznets curve approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 838-845. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.080>
- Bölük, G., & Mert, M. (2014). Fossil & renewable energy consumption, GHGs (greenhouse gases) and economic growth: Evidence from a panel of EU (European Union) countries. *Energy*, 74, 439-446. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.07.008>
- Bölük, G., & Mert, M. (2015). The renewable energy, growth and environmental Kuznets curve in Turkey: An ARDL approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 587-595. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.138>
- Caner, M., & Hansen, B. E. (2004). Instrumental variable estimation of a threshold model. *Econometric Theory*, 20(5), 813-843. <https://doi.org/10.1017/S0266466604205011>
- Chen, C. Pinar, M., & Stengos, T. (2022). Renewable energy and CO<sub>2</sub> emissions: New evidence with the panel threshold model. *Renewable Energy*, 194, 117-128, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.05.095>
- Chen, Y., Wang, Z., & Zhong, Z. (2019). CO<sub>2</sub> emissions, economic growth, renewable and non-renewable energy production and foreign trade in China. *Renewable Energy*, 131, 208-216. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.07.047>
- Chiu, C. L., & Chang, T. H. (2009). What proportion of renewable energy supplies is needed to initially mitigate CO<sub>2</sub> emissions in OECD member countries? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6-7), 1669-1674. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.026>
- 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.2018.09.004>
- Coroama, V. C., Hilty, L. M., & Birtel, M. (2012). Effects of Internet-based multiple-site conferences on greenhouse gas emissions. *Telematics and Informatics*, 29(4), 362-374. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2011.11.006>
- Çoban, O. (2015). Yenilenebilir enerji tüketimi karbon ve emisyonu ilişkisi: TR örneği. *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1(38), 195-208.
- Danish, Baloch, M. A., & Wang, B. (2019). Analyzing the role of governance in CO<sub>2</sub> emissions mitigation: The BRICS experience. *Structural Change and Economic Dynamics*, 51, 119-125. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2019.08.007>
- Demir, Y., İşleyen, Ş., & 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. <https://doi.org/10.53568/yyusbed.1255091>
- Di Febo, E., Angelini, E., & Le, T. (2023). From transition risks to the relationship between carbon emissions, economic growth, and renewable energy. *Risks*, 11(12), 210. <https://doi.org/10.3390/risks11120210>
- Dietz, T., & Rosa, E. A. (1997). Effects of population and affluence on CO<sub>2</sub> emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94(1), 175-179. <https://doi.org/10.1073/pnas.94.1.175>
- 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>
- Dogan, E., & Seker, F. (2016). Determinants of CO<sub>2</sub> emissions in the European Union: The role of renewable and non-renewable energy. *Renewable Energy*, 94, 429-439. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.078>
- Farhani, S., & Shahbaz, M. (2014). What role of renewable and non-renewable electricity consumption and output is needed to initially mitigate CO<sub>2</sub> emissions in MENA region? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 80-90. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.170>

- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). Environmental impacts of a 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>
- Hansen, B. E. (1999). Threshold effects in non-dynamic panels: Estimation, testing, and inference. *Journal of Econometrics*, 93(2), 345-368. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(99\)00025-1](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(99)00025-1)
- Higón, D. A., Gholami, R., & Shirazi, F. (2017). ICT and environmental sustainability: A global perspective. *Telematics and Informatics*, 34(4), 85-95. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tele.2017.01.001>
- Hsiao, C. (2003). *Analysis of panel data*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511754203>
- Im, K. S., Pesaran, M. H., & Shin, Y. (2003). Testing for unit roots in heterogeneous panels. *Journal of Econometrics*, 115(1), 53-74. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(03\)00092-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(03)00092-7)
- Inglesi-Lotz, R. (2016). The impact of renewable energy consumption to economic growth: A panel data application. *Energy Economics*, 53, 58-63. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.01.003>
- Inglesi-Lotz, R., & Dogan, E. (2018). The role of renewable versus non-renewable energy to the level of CO<sub>2</sub> emissions a panel analysis of sub-Saharan Africa's big 10 electricity generators. *Renewable Energy*, 123, 36-43. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.041>
- International Energy Agency. (2024). Renewables 2024: Global overview. <https://www.iea.org/reports/renewables-2024/global-overview>
- Iwata, H., Okada, K., & Samreth, S. (2010). Empirical study on the environmental Kuznets curve for CO<sub>2</sub> in France: the role of nuclear energy. *Energy Policy*, 38(8), 4057-4063. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.03.031>
- Jamil, K., Liu, D., Gul, R. F., Hussain, Z., Mohsin, M., Qin, G., & Khan, F. U. (2022). Do remittance and renewable energy affect CO<sub>2</sub> emissions? An empirical evidence from selected G-20 countries. *Energy & Environment*, 33(5), 916-932. <https://doi.org/10.1177/0958305X211029636>
- Jebli, M. B., Youssef, S. B., & Ozturk, I. (2015). The role of renewable energy consumption and trade: Environmental Kuznets curve Analysis for Sub-Saharan Africa countries. *African Development Review*, 27, 288-300. <https://doi.org/10.1111/1467-8268.12147>
- Jebli, M. B., Farhani, S., & Guesmi, K. (2020). Renewable energy, CO<sub>2</sub> emissions and value added: Empirical evidence from countries with different income levels. *Structural Change and Economic Dynamics*, 53, 402-410. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2019.12.009>
- Karaaslan, A., & Çamkaya, S. (2022). The relationship between CO<sub>2</sub> emissions, economic growth, health expenditure, and renewable and non-renewable energy consumption: Empirical evidence from Turkey. *Renewable Energy*, 190, 457-466. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.03.139>
- Lee, K. (2018). Long-run dynamics of renewable energy consumption on carbon emissions and economic growth in the European Union. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 26(1), 56-68. <https://doi.org/10.1080/13504509.2018.1492998>
- Liu, X., Zhang, S., & Bae, J. (2017). The impact of renewable energy and agriculture on carbon dioxide emissions: Investigating the environmental Kuznets curve in four selected ASEAN countries. *Journal of Cleaner Production*, 164, 1239-1247. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.086>
- López-Menéndez, A. J., Pérez, R., & Moreno, B. (2014). Environmental costs and renewable energy: Re-visiting the environmental Kuznets curve. *Journal of Environmental Management*, 145, 368-373. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.017>
- Ma, X., Ahmad, N., & Oei, P. Y. (2021). Environmental Kuznets curve in France and Germany: Role of renewable and nonrenewable energy. *Renewable Energy*, 172, 88-99. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.03.014>
- Madaleno, M., & Nogueira, M. C. (2023). How renewable energy and CO<sub>2</sub> emissions contribute to economic growth and sustainability-An extensive analysis. *Sustainability*, 15(5), 4089. <https://doi.org/10.3390/su15054089>
- Malmodin, J., & Lundén, D. (2018). The energy and carbon footprint of the global ICT and E&M sectors 2010-2015. *Sustainability*, 10(9), 3027. <https://doi.org/10.3390/su10093027>
- Mamkhezri, J., & Torell, G. L. (2021). Assessing the impact of exceptional drought on emissions and electricity generation: The case of Texas. *SAGE Publishing*, 43(4). <https://doi.org/10.5547/01956574.43.4.jmam>
- Martínez-Zarzoso, I., & Maruotti, A. (2011). The impact of urbanization on CO<sub>2</sub> emissions: Evidence from developing countries. *Ecological Economics*, 70(7), 1344-1353. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.02.009>

- Menyah, K., & Wolde-Rufael, Y. (2010). CO<sub>2</sub> emissions, nuclear energy, renewable energy and economic growth in the US. *Energy Policy*, 38(6), 2911-2915. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.01.024>
- Mikayilov, J. I., Galeotti, M., & Hasanov, F. J. (2018). The impact of economic growth on CO<sub>2</sub> emissions in Azerbaijan. *Journal of Cleaner Production*, 197, 1558-1572. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.269>
- Miśkiewicz, R. (2021). The impact of innovation and information technology on greenhouse gas emissions: A case of the Visegrád countries. *Journal of Risk and Financial Management*, 14(2), 59. <https://doi.org/10.3390/jrfm14020059>
- Nguyen, K. H., & Kakinaka, M. (2019). Renewable energy consumption, carbon emissions, and development stages: Some evidence from panel cointegration analysis. *Renewable Energy*, 132, 1049-1057. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.08.069>
- Pesaran, M. H. (2004). General diagnostic tests for cross section dependence in panels. IZA Discussion Papers No. 1240.
- Panayotou, T. (1993). Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development. ILO, Technology and Employment Programme, Geneva. *Ecological Economics*, 36(3), 513-531.
- Piłatowska, M., & Geise, A. (2021). Impact of clean energy on CO<sub>2</sub> emissions and economic growth within the phases of renewables diffusion in selected European countries. *Energies*, 14(4), 812. <https://doi.org/10.3390/en14040812>
- Polcyn, J., Us, Y., Lyulyov, O., Pimonenko, T., & Kwilinski, A. (2022). Factors influencing the renewable energy consumption in selected European countries. *Energies*, 15(1), 108. <https://doi.org/10.3390/en15010108>
- Poumanyong, P., & Kaneko, S. (2010). Does urbanization lead to less energy use and lower CO<sub>2</sub> emissions? A cross-country analysis. *Ecological Economics*, 70(2), 434-444. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.09.029>
- Qi, T., Zhang, X., & Karplus, V. J. (2014). The energy and CO<sub>2</sub> emissions impact of renewable energy development in China. *Energy Policy*, 68, 60-69. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.12.035>
- Rahman, M. M., Sultana, N., & Velayutham, E. (2022). Renewable energy, energy intensity and carbon reduction: Experience of large emerging economies. *Renewable Energy*, 184, 252-265. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.11.068>
- Rehman, A., Alam, M. M., Ozturk, I., Alvarado, R., Murshed, M., Işık, C., & Ma, H. (2023). Globalization and renewable energy use: How are they contributing to upsurge the CO<sub>2</sub> emissions? A global perspective. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(4), 9699-9712. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22775-6>
- Richmond, A. K., & Kaufmann, R. K. (2006). Is there a turning point in the relationship between income and energy use and/or carbon emissions? *Ecological Economics*, 56(2), 176-189. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.01.011>
- Robalino-López, A., Mena-Nieto, A., & García-Ramos, J. E. (2014a). System dynamics modeling for renewable energy and CO<sub>2</sub> emissions: A case study of Ecuador. *Energy for Sustainable Development*, 20, 11-20. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2014.02.001>
- Robalino-López, A., García-Ramos, J. E., Golpe, A. A., & Mena-Nieto, Á. (2014b). System dynamics modelling and the environmental Kuznets curve in Ecuador (1980-2025). *Energy Policy*, 67, 923-931. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.12.003>
- Robalino-López, A., Mena-Nieto, Á., García-Ramos, J. E., & Golpe, A. A. (2015). Studying the relationship between economic growth, CO<sub>2</sub> emissions, and the environmental Kuznets curve in Venezuela (1980-2025). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 602-614. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.081>
- Sadiq, M., Hassan, S. T., Khan, I., & Rahman, M. M. (2024). Policy uncertainty, renewable energy, corruption and CO<sub>2</sub> emissions nexus in BRICS-1 countries: A panel CS-ARDL approach. *Environment, Development and Sustainability*, 26(8), 21595-21621. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03546-w>
- Sadorsky, P. (2009). Renewable energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions and oil prices in the G7 countries. *Energy Economics*, 31, 456-62. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2008.12.010>
- Salahuddin, M., Alam, K., Ozturk, I., & Sohag, K. (2018). The effects of electricity consumption, economic growth, financial development and foreign direct investment on CO<sub>2</sub> emissions in Kuwait. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2002-2010. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.009>
- Salahuddin, M., & Gow, J. (2016). The effects of Internet usage, financial development and trade openness on economic growth in South Africa: A time series analysis. *Telematics and Informatics*, 33(4), 1141-1154. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2015.11.006>
- Selden, T. M., & Song, D. (1994). Environmental quality and development: Is there a Kuznets curve for air pollution emissions? *Journal of Environmental Economics and Management*, 27(2), 147-162. <https://doi.org/10.1006/jeem.1994.1031>

- Seo, M. H., & Shin, Y. (2016). Dynamic panels with threshold effect and endogeneity. *Journal of Econometrics*, 195(2), 169-186. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2016.03.005>
- Shafiei, S., & Salim, R. A. (2014). Non-renewable and renewable energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions in OECD countries: A comparative analysis. *Energy Policy*, 66, 547-556. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.064>
- Shafik, N. (1994). Economic development and environmental quality: An econometric analysis. *Oxford Economic Papers*, 46(Supplement\_1), 757-773. [https://doi.org/10.1093/oep/46.Supplement\\_1.757](https://doi.org/10.1093/oep/46.Supplement_1.757)
- Shafik, N., & Bandyopadhyay, S. (1992). Economic growth and environmental quality: Time series and cross-country evidence (Vol. 904). World Bank Publications.
- Shahbaz, M., Lean, H. H., & Shabbir, M. S. (2012). Environmental Kuznets curve hypothesis in Pakistan: Cointegration and granger causality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2947-2953. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.015>
- Shahnazi, R., & Shabani, Z. D. (2021). The effects of renewable energy, spatial spillover of CO<sub>2</sub> emissions and economic freedom on CO<sub>2</sub> emissions in the EU. *Renewable Energy*, 169, 293-307. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.016>
- Sharif, A., Raza, S. A., Ozturk, I., & Afshan, S. (2019). The dynamic relationship of renewable and nonrenewable energy consumption with carbon emission: A global study with the application of heterogeneous panel estimations. *Renewable Energy*, 133, 685-691. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.052>
- Shi, A. (2003). The impact of population pressure on global carbon dioxide emissions, 1975-1996: Evidence from pooled cross-country data. *Ecological Economics*, 44(1), 29-42. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00223-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00223-9)
- Sinha, A., & Shahbaz, M. (2018). Estimation of environmental Kuznets curve for CO<sub>2</sub> emission: Role of renewable energy generation in India. *Renewable Energy*, 119, 703-711. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.12.058>
- Stern, D. I. (2004). The rise and fall of the environmental Kuznets curve. *World Development*, 32(8), 1419-1439. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004>
- Sulaiman, J., Azman, A., & Saboori, B. (2013). The potential of renewable energy: Using the environmental Kuznets curve model. *American Journal of Environmental Sciences*, 9(2), 103. <https://doi.org/10.3844/ajessp.2013.103.112>
- Tello, W. P. (2025). Policy interactions and electricity generation sector CO<sub>2</sub> emissions: A quasi-experimental analysis. *Energy Policy*, 198, 114434. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114434>
- Vavrek, R., & Chovancova, J. (2016). Decoupling of greenhouse gas emissions from economic growth in V4 countries. *Procedia Economics and Finance*, 39, 526-533. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(16\)30295-7](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(16)30295-7)
- Vo, D. H., Vo, A. T., Ho, C. M., & Nguyen, H. M. (2020). The role of renewable energy, alternative and nuclear energy in mitigating carbon emissions in the CPTPP countries. *Renewable Energy*, 161, 278-292. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.093>
- Waheed, R., Chang, D., Sarwar, S., & Chen, W. (2018). Forest, agriculture, renewable energy, and CO<sub>2</sub> emission. *Journal of Cleaner Production*, 172, 4231-4238. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.287>
- Wang, J. H., Mamkhezri, J., Khezri, M., Karimi, M. S., & Khan, Y. A. (2022). Insights from European nations on the spatial impacts of renewable energy sources on CO<sub>2</sub> emissions. *Energy Reports*, 8, 5620-5630. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.04.005>
- Wang, Q. (2015). Fixed-effect panel threshold model using Stata. *The Stata Journal*, 15(1), 121-134. <https://doi.org/10.1177/1536867X1501500108>
- Wang, Y., Zhang, C., Lu, A., Li, L., He, Y., ToJo, J., & Zhu, X. (2017). A disaggregated analysis of the environmental Kuznets curve for industrial CO<sub>2</sub> emissions in China. *Applied Energy*, 190, 172-180. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.109>
- Waheed, R., Sarwar, S., & Wei, C. (2019). The survey of economic growth, energy consumption, and carbon emission. *Energy Reports*, 5, 1103-1115. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.07.006>
- Wesseh Jr, P. K., & Lin, B. (2016). Can African countries efficiently build their economies on renewable energy? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 161-173. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.082>
- Yang, Z., Abbas, Q., Hanif, I., Alharthi, M., Taghizadeh-Hesary, F., Aziz, B., & Mohsin, M. (2021). Short-and long-run influence of energy utilization and economic growth on carbon discharge in emerging SREB economies. *Renewable Energy*, 165, 43-51. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.141>
- Yang, X., Ramos-Meza, C. S., Shabbir, M. S., Ali, S. A., & Jain, V. (2022). The impact of renewable energy consumption, trade openness, CO<sub>2</sub> emissions, and income inequality on economic growth. *Energy Strategy Reviews*, 44, 101003. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.101003>

- Yao, S., Zhang, S., & Zhang, X. (2019). Renewable energy, carbon emission and economic growth: A revised environmental Kuznets curve perspective. *Journal of Cleaner Production*, 235, 1338-1352. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.069>
- York, R., Rosa, E. A., & Dietz, T. (2003). STIRPAT, IPAT and ImPACT: Analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts. *Ecological Economics*, 46(3), 351-365. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00188-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00188-5)
- Zhang, C., & Liu, C. (2015). The impact of ICT industry on CO<sub>2</sub> emissions: A regional analysis in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 12-19. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.011>
- Zhang, S., & Liu, X. (2019). The roles of international tourism and renewable energy in environment: New evidence from Asian countries. *Renewable Energy*, 139, 385-394. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.046>
- Zhang, X. P., & Cheng, X. M. (2009). Energy consumption, carbon emissions, and economic growth in China. *Ecological Economics*, 68(10), 2706-2712. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.05.011>
- Ziaei, S. M. (2025). Public spending on Energy innovations and CO<sub>2</sub> impacts: Evidence from selected OECD countries. *Green Technologies and Sustainability*, 3(1), 100137. <https://doi.org/10.1016/j.grets.2024.100137>
- Zoundi, Z. (2017). CO<sub>2</sub> emissions, renewable energy and the environmental Kuznets curve, a panel cointegration approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 1067-1075. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.018>

**This Page Intentionally Left Blank**