

# Ekonomik Büyüme ve Yenilenebilir Enerji Tüketiminin Karbon Emisyonları Üzerine Etkilerinin Çok Boyutlu Panel Veri Modelleri ile Analizi

Mehmet Ali DEMİR<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Arş. Gör. Dr., Çankırı Karatekin Üniversitesi, İİBF, malidemir@karatekin.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0992-347X

**Öz:** Bu çalışmanın amacı, ekonomik büyüme ve yenilenebilir enerji tüketiminin CO<sub>2</sub> emisyon miktarı üzerindeki etkilerini analiz etmektir. Bu amaçla, 1999-2020 dönemi yıllık verileri kullanılarak 176 ülke için ülke-gelir düzeyi ve zaman boyutunun yer aldığı çok boyutlu panel veri modeli ile ampirik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Ampirik modelde bağımlı değişken olarak kişi başına CO<sub>2</sub> emisyon miktarı, bağımsız değişkenler olarak ise kişi başına düşen gelir (KBG) ve yenilenebilir enerji tüketimi (YET) yer almaktadır. Öncelikle uygun modele karar verebilmek için modelde yer alan her bir etkinin (ülke, gelir düzeyi ve zaman) istatistiksel olarak geçerliliği tesadüfi etkiler modeli en çok olabilirlik (LR) tahmini ile test edilmiştir. LR testi sonrasında uygun model için sabit etkiler grup içi dönüşümler uygulanmış ve elde edilen sonuçlar LR testi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen katsayılar birbirinden uzak olduğu varsayımından hareketle en uygun modelin sabit etkiler grup içi tahmin sonuçları olduğuna karar verilmiştir. Sabit etkiler grup içi tahmin sonuçlarına göre ekonomik büyüme ile CO<sub>2</sub> emisyonları arasında pozitif, yenilenebilir enerji tüketimi ve CO<sub>2</sub> emisyonları arasında ise negatif bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir. Bulgular KBG'deki %1'lik bir artışın CO<sub>2</sub> miktarını %0.526 oranında arttırdığını, buna rağmen YET'teki %1'lik bir artışın CO<sub>2</sub> emisyon miktarını %0.0313 oranında azalttığını ortaya koymuştur.

**Anahtar Kelimeler:** CO<sub>2</sub> emisyonu, Ekonomik büyüme, Yenilenebilir enerji tüketimi, Çok boyutlu panel veri modeli  
**Jel Kodları:** C23, Q43, Q50

## *Analysis of the Effects of Economic Growth and Renewable Energy Consumption on Carbon Emissions Using Multidimensional Panel Data Models*

**Atıf:** Demir, M. A. (2025).

Ekonomik büyüme ve yenilenebilir enerji tüketiminin karbon emisyonları üzerine etkilerinin çok boyutlu panel veri modelleri ile analizi.

*Fiscaeconomia*, 9(1), 731-748.  
<https://doi.org/10.25295/fsecon.1555319>

Geliş Tarihi: 24.09.2024  
Kabul Tarihi: 11.12.2024



**Telif Hakkı:** © 2025. (CC BY)  
(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

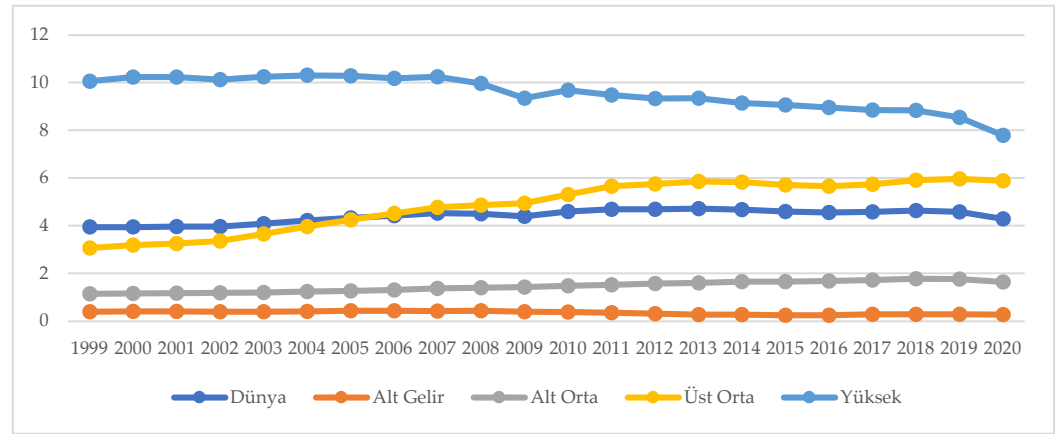
**Abstract:** The aim of this study is to analyze the effects of economic growth and renewable energy consumption on CO<sub>2</sub> emissions. For this purpose, an empirical study was carried out with a multidimensional panel data model including country-income level and time dimension for 176 countries using annual data for the period 1999-2020. The empirical model includes CO<sub>2</sub> emission amount per capita as the dependent variable, and per capita income (KBG) and renewable energy consumption (YET) as the independent variables. First, in order to decide on the appropriate model, the statistical validity of each effect (country, income level and time) in the model was tested with the random effects model maximum likelihood (LR) estimation. After the LR test, fixed effects within-group transformations were applied for the appropriate model and the results obtained were compared with the LR test results. Based on the assumption that the coefficients obtained were far from each other, it was decided that the most appropriate model was the fixed effects within-group estimation results. According to the fixed effects within-group estimation results, there is a positive relationship between economic growth and CO<sub>2</sub> emissions, and a negative relationship between renewable energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions. The findings show that a 1% increase in KBG increases the amount of CO<sub>2</sub> by 0.526%, whereas a 1% increase in YET reduces the amount of CO<sub>2</sub> emissions by 0.0313%.

**Keywords:** CO<sub>2</sub> emission, Economic growth, Renewable energy consumption, Multidimensional panel data model  
**Jel Codes:** C23, Q43, Q50

## 1. Giriş

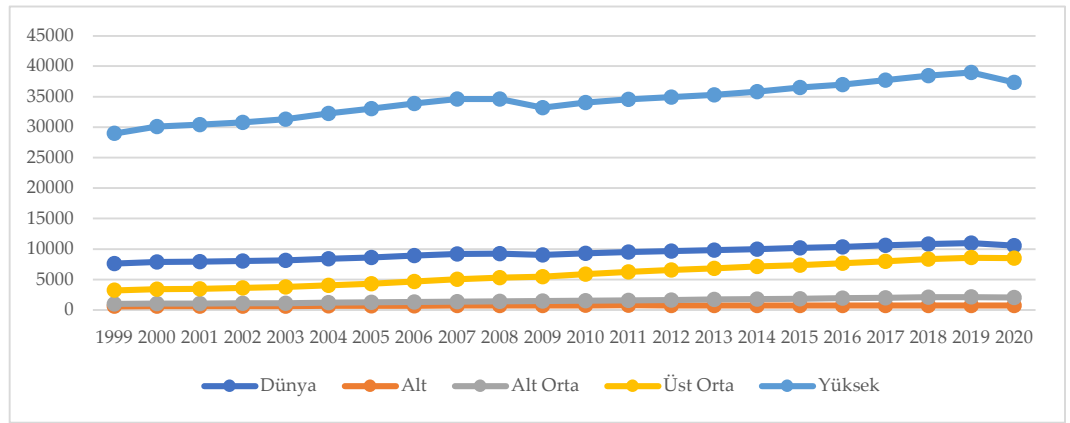
Günümüzde insan yaşantısının önemli bir parçası olarak kullanılan kömür, petrol ve doğalgaz gibi geleneksel enerji kaynaklarının yakın gelecekte tükeneceği öngörülmektedir. Ancak fosil yakıtlar olarak da bilinen bu enerji kaynakları, hala çoğu ülke tarafından temel enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır ve Dünya Bankası'nın 2015 verilerine göre toplam enerji tüketiminin %79,7'lik kısmı bu enerji kaynaklarından oluşmaktadır (World Bank, 2024). Ayrıca, küresel enerji tüketiminin önemli bir kısmının sanayi sektörü tarafından gerçekleştirildiği de bilinmektedir ve bu sektörde de yine fosil yakıtların kullanımı egemendir. Ancak, çevresel kaygılar son yıllarda AB ülkelerinde geleneksel enerji kaynakları kullanımında azalmaların meydana gelmesini sağlamıştır (Brodny & Tutak, 2022). Bu bağlamda, küresel olarak yoğun bir şekilde tüketiliyor olsalar da geleneksel enerji kaynaklarının çevreye etkileri yoğun bir şekilde tartışılmaktadır ve yapılan çalışmaların çoğu çevresel tahribatların büyük bir kısmının fosil yakıtların kullanımından kaynaklandığını ifade etmektedir (Williams, 1994). Hassan vd. (2021) de, çevresel bozulmanın insanlar ve tarım üzerinde olmak üzere iki temel negatif etkisinden bahseder. Buna göre, çevresel kirliliğin insan sağlığını olumsuz etkileyeceğini ve aynı zamanda kirli havanın ciddi mahsul kayıplarına neden olacağını ifade eder. Fosil yakıt kullanımı ayrıca, iklimde meydana gelen değişikliklerin ve küresel ısınmanın temel nedenlerinden biri olarak da görülmektedir. Öyle ki, herhangi bir sürdürülebilir uyum politikası uygulamaya konmadığı takdirde gelişmekte olan ülkelerin iktisadi büyümesinde 2040 yılına kadar %2-4 düzeyinde azalmalar meydana geleceği tahmin edilmektedir (Zoundi, 2017). Geleneksel enerji kullanımı, iktisadi büyüme ve karbondioksit emisyonu arasındaki ilişki de çevresel sürdürülebilirlik konusunda birtakım endişeleri içerisinde barındırmaktadır. Öyle ki, enerji tüketiminin iktisadi aktiviteyi artırarak büyümeyi sağladığı, ancak geleneksel enerji kaynaklarının bir yandan da çevresel bozulmanın en temel nedenlerinden biri olduğu da bilinmektedir (Saidi & Mbarek, 2016; Ben Jebli vd., 2020). Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve bu kaynaklara yönelik teknolojinin geliştirilmesi önemli hale gelmektedir. Aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, gelecekte ortaya çıkacak olan çevresel bozulmaya yönelik bir etkinin de azaltılması konusunda da önem arz etmektedir. Dolayısıyla daha sürdürülebilir bir çevre ve kalkınma anlayışı için ülkelerin geleneksel yakıtlardan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeleri şarttır. Bu bağlamda Birleşmiş Milletlerin 2030 yılı Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (UN, 2024) de bu konuya odaklanır ve küresel enerji karışımında yenilenebilir enerji kaynaklarının payının artırılmasını öngörür. Yenilenebilir enerji kaynakları, genellikle daha yüksek maliyetli yatırımları içermektedir ve yenilenebilir enerjinin depolanma kapasitesi geleneksel enerjiye göre daha düşüktür (Chen vd., 2022). Ancak, yenilenebilir enerji tüketiminde meydana gelen artışın çevresel kirliliğin azaltılmasına yardımcı olacağı öngörülmektedir ve bu bağlamda daha maliyetli olsalar da sürdürülebilir bir çevre anlayışı için oldukça önemli kaynaklar olarak görülmektedir.

Bu çalışmanın amacı, ele alınan 176 ülke için yenilenebilir enerji tüketimi ve iktisadi büyümenin karbon emisyonu (CO<sub>2</sub>) üzerindeki etkilerini çok boyutlu panel veri yöntemi kullanarak incelemektir. Çalışma, çok sayıda ülkeyi analize dahil etmesinin yanında, ele alınan ülkeler ve dönem için ilgili yöntemi kullanan bilinen ilk çalışmadır. Bu da çalışmanın literatüre en önemli katkısını ifade etmektedir. Çalışmanın ilerleyen bölümünde bir literatür incelemesi sunulacak, ardından ekonometrik yöntem, veriler ve bulgular verilecek ve sonuç bölümüyle çalışma nihayete erdirilecektir.



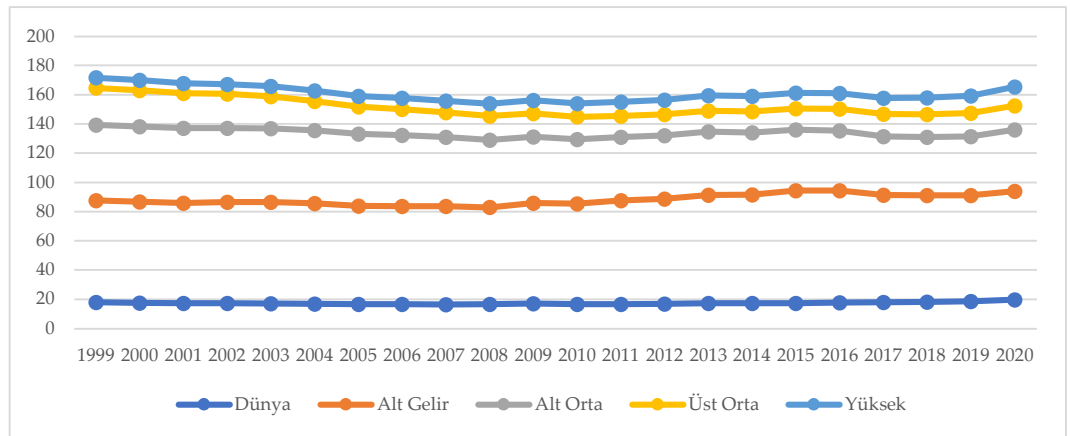
Şekil 1. CO2 Emisyon Değerleri (1999-2020)

Kaynak: Dünya Bankası (World Bank WDI, 2024)



Şekil 2. Kişi Başına Düşen GSYİH (Sabit, 2015, \$)

Kaynak: Dünya Bankası (World Bank WDI, 2024)



Şekil 3. Yenilenebilir Enerji Tüketimi (%)

Kaynak: Dünya Bankası (World Bank WDI, 2024)

## 2. Literatür İncelemesi

Çok sayıda çalışma enerji ayırımına gitmeden ya da yenilenebilir/yenilenemez enerji ayırımına giderek enerji tüketimi ve ekonomik büyümenin CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Bunlardan bazıları Shafiei & Salim (2014), Alam vd. (2016), Esso & Keho (2016), Aiyetan & Olomola (2017), Hanif (2018), Zhou vd. (2018), Stamatou &

Dritsakis (2019), Khan vd. (2020), Osobajo vd. (2020), Sahoo & Sahoo (2020), Balli vd. (2021), Ugur vd. (2023) tarafından gerçekleştirilmiştir. Ancak elde edilen sonuçlar karışıktır. Örneğin, Shafiei & Salim (2014), Ekonomik Kalkınma ve İş Birliği Örgütü ülkeleri için 1980'den 2011'e kadar olan verileri kullanarak CO<sub>2</sub> emisyonlarının belirleyicilerini STIRPAT modelini kullanarak keşfetmeye çalışmıştır. Elde edilen ampirik sonuçlar, yenilenebilir enerji tüketiminin CO<sub>2</sub> emisyonlarında artışa sebep olduğunu buna rağmen yenilenebilir enerji kullanımının ise CO<sub>2</sub> emisyonlarında azaltıcı bir etkisinin olduğunu göstermektedir. Ezzo & Kebo (2016) seçilmiş 12 Sahra Altı Afrika ülkesinden oluşan bir örneklem için enerji tüketimi, CO<sub>2</sub> emisyonları ve ekonomik büyüme arasındaki uzun vadeli ve nedensel ilişkileri 1971-2010 dönemini kapsayan yıllık verileri kullanarak Granger nedensellik testi ile incelemiştir. Elde edilen ampirik sonuçlar ülkeler arasında karışıktır. Uzun vadede enerji tüketimi ve ekonomik büyümenin çoğu ülkede atmosfer kirliliğindeki artışla ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır. Granger nedensellik testlerinden elde edilen sonuçlara göre, Benin, Demokratik Kongo Cumhuriyeti, Gana, Nijerya ve Senegal'de ekonomik büyümenin kısa vadede CO<sub>2</sub> emisyonlarına neden olduğuna dair kanıtlar ortaya koymuştur. Bu da ekonomik genişlemenin çevreyi etkilemeden sağlanamayacağına işaret etmektedir. Gabon, Nijerya ve Togo için CO<sub>2</sub> emisyonlarından ekonomik büyümeye doğru ters nedenselliğin kanıtı bulunmuştur. Bu durum, hava kirliliğini azaltmayı amaçlayan çevre politikalarının ekonomik büyüme üzerinde olumsuz etkileri olabileceğini göstermektedir. Kısa vadede, Nijerya'da ekonomik büyüme ile CO<sub>2</sub> emisyonları arasında çift yönlü bir nedensellik olduğu keşfedilmiştir. Benzer şekilde, uzun vadede, Kongo ve Gabon için aynı ilişki gözlemlenmiştir. Uzun vadede Benin, Fildişi Sahili, Nijerya, Senegal, Güney Afrika ve Togo'da enerji tüketimi ve ekonomik büyümenin CO<sub>2</sub> emisyonlarına sebep olduğu sonucuna varılmıştır. Bir diğer çalışmada Aiyetan & Olomola (2017), ekonomik büyümenin uzun vadede CO<sub>2</sub> emisyonlarını belirlemede önemli bir rol oynadığını, ancak kısa vadede böyle bir rol oynamadığını bulmuştur. Hanif (2018) ekonomik büyümenin; kentsel genişlemenin, fosil yakıtların, katı yakıtların ve yenilenebilir enerji tüketiminin, Sahra Altı Afrika'nın gelişmekte olan ekonomilerinde çevresel bozulma üzerindeki etkisini araştırmıştır. Bulgularını ayrıntılı olarak göstermek için yaptığı çalışmada, 1995'ten 2015'e kadar olan dönem için 34 gelişmekte olan ekonomiden oluşan bir panel GMM yöntemini benimsemiştir. Elde edilen sonuçlar, yemek pişirmek için fosil ve katı yakıt tüketiminin ve kentsel alanların genişlemesinin bir yandan CO<sub>2</sub> emisyonlarına önemli ölçüde katkıda bulunduğunu, diğer yandan hava kirliliğini teşvik ettiğini açıklamaktadır. Bulgular ayrıca ekonomik büyüme ile CO<sub>2</sub> emisyonları arasında ilginç bir korelasyon olduğunu ve belirgin bir ters U şeklinde yapı oluşturduğunu ortaya koymuştur. Bu ilişki, Sahra Altı Afrika'nın orta ve düşük gelirli ekonomilerinde bir çevresel Kuznets eğrisinin (EKC) varlığını doğrulamaktadır. Dahası, bulgular yenilenebilir enerji alternatiflerinin kullanımının CO<sub>2</sub> emisyonlarını kontrol ederek ve hanelerin toksik gazlarla doğrudan etkileşimini azaltarak hava kalitesini iyileştirdiğini ortaya koymaktadır. Böylece, yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitlendirilerek kullanımı ekonomilerin sürdürülebilir kalkınma amaçlarına ulaşmasına yardımcı olmaktadır. Islam vd. (2017) hipotezlerini panel eş-bütünleşme ve panel granger nedenselliğini kullanarak test etmiş ve sonuçlar enerji kullanımı, ekonomik büyüme ve CO<sub>2</sub> emisyonları arasında pozitif ilişkiler olduğunu göstermiştir. Zhou vd. (2018) tarafından yürütülen bir çalışmada, araştırmacılar, enerji kullanımı, finansal gelişme, ekonomik büyüme ve CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki ticaret açıklığı arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Analizleri, Çin, Hindistan, Brezilya, Meksika ve Güney Afrika gibi gelişmekte olan ülkeler ve Avrupa Birliği, Amerika Birleşik Devletleri, Kanada ve Japonya gibi gelişmiş ülkeler de dahil olmak üzere çeşitli ülkelere odaklanmıştır. Çalışma 1981'den 2013'e kadar uzanmakta ve konuya ilişkin kapsamlı bir görüş sağlamaktadır. Elde edilen ampirik sonuçlara göre bağımsız değişkenlerin CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki etkisinin nicelikler arasında heterojen olduğunu göstermektedir. Enerji tüketimi, CO<sub>2</sub> emisyonlarını arttırmaktadır. Ancak gelişmiş ülkelerde enerji

kullanımın CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki etkisi, gelişmekte olan ülkelere göre daha fazladır. Stamatiou & Dritsakis (2019), ekonomik büyümenin CO<sub>2</sub> emisyonlarını artırabileceğini keşfetmiştir. Bunun dışında enerji tüketimindeki azalma sadece CO<sub>2</sub> emisyonunu değil aynı zamanda ekonomik büyümeyi de azaltmaktadır. Khan vd. (2020), 1965-2015 dönemine ait yıllık zaman serisi verilerini kullanarak Pakistan'daki enerji kullanımı, ekonomik büyüme ve CO<sub>2</sub> emisyonu arasındaki bağlantıyı ARDL yöntemiyle araştırmıştır. ARDL'nin tahmini sonuçları, enerji tüketimi ve ekonomik büyümenin Pakistan'daki CO<sub>2</sub> emisyonlarını kısa ve uzun vadede artırdığını göstermektedir. Tahmini sonuçlara dayanarak yenilenebilir enerji kaynakları, CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltabilen ve ayrıca Pakistan'ın sürdürülebilir ekonomik kalkınmasını sağlayabilen yeniden kullanılabilir kaynaklardır. Osobajo vd. (2020), 1994-2013 yılları arasında 70 ülkeden alınan verileri Granger nedensellik ve panel eşbütünleşme testleri, birleştirilmiş OLS regresyonu ve sabit etkiler yöntemlerini kullanarak enerji kullanımı ve ekonomik büyümenin CO<sub>2</sub> emisyonu üzerindeki etkisini araştırmıştır. Granger nedensellik testlerinin sonucu, çalışma değişkenlerinin (nüfus, sermaye stoğu ve ekonomik büyüme) CO<sub>2</sub> emisyonlarıyla iki yönlü bir nedensel ilişkiye sahip olduğunu, enerji kullanımının tek yönlü bir ilişkiye sahip olduğu bulunmuştur. Benzer şekilde, eşbütünleşme testlerinin sonucu, çalışma değişkenleri olan enerji kullanımı ve ekonomik büyümeyle CO<sub>2</sub> emisyonları arasında uzun dönemli bir yapının olduğunu ortaya koymuştur. Ancak, birleştirilmiş OLS ve sabit yöntemlerin kullanıldığı analiz, enerji kullanımı ve ekonomik büyüme ile CO<sub>2</sub> emisyonları arasında pozitif bir korelasyon olduğunu ortaya koymuştur. Rahman ve Vu (2020), karşılaştırmalı bir yaklaşım kullanarak, Avustralya ve Kanada için 1960-2015 dönemi için yenilenebilir enerji kullanımı, ekonomik büyüme, ticaret, kentleşme ve CO<sub>2</sub> emisyonları arasındaki bağlantıyı incelemiştir. Seçilen değişkenler arasındaki uzun vadeli ilişkileri keşfetmek için Otoregresif Dağıtılmış Gecikme (ARDL) sınır testleri kullanılmış ve nedensel ilişkiler vektör hata düzeltme modeli (VECM) Granger nedensellik testleri ile incelenmiştir. Bulgular, değişkenler arasında uzun vadeli ilişkilere dair kanıtlar olduğunu göstermektedir. Avustralya'daki sonuçlar kısa ve uzun vadede ekonomik büyümenin CO<sub>2</sub> emisyonlarını artırdığını, buna karşın kısa vadede ticaret ve yenilenebilir enerji tüketimlerinin CO<sub>2</sub> emisyonlarını azalttığını göstermektedir. Avustralya için VECM nedensellik testleri, kısa vadede ekonomik büyüme, ticaret ve yenilenebilir enerji tüketiminin CO<sub>2</sub> emisyonlarına neden olduğunu; uzun vadede nedensel ilişkilerin ise CO<sub>2</sub> emisyonları, ekonomik büyüme, ticaret ve yenilenebilir enerji tüketimi arasında bulunduğunu göstermektedir. Kanada örneğinde, uzun vadede ekonomik büyümenin ve kentsel nüfusun CO<sub>2</sub> emisyonlarını artırdığını göstermektedir. VECM nedensellik analizleri, CO<sub>2</sub> emisyonları, ekonomik büyüme ve yenilenebilir enerji tüketimi arasında uzun vadeli karşılıklı bir ilişki olduğuna dair kanıtlar olduğunu göstermektedir. Ayrıca, her iki ülkenin Kyoto Protokolünü resmi olarak 2007 ve 2002'de onaylamasının ardından CO<sub>2</sub> emisyonları Avustralya'da azalma eğilimindeyken Kanada'da azalma eğilimi göstermediğini ortaya koymuştur. Sahoo & Sahoo (2020) Hindistan'da yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketiminin CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki ilişkisini 1965'ten 2018'e kadar ayrıştırılmış verileri alarak incelemiştir. Çalışmada bağımsız değişkenlerin uzun vadeli esnekliğinin bağımlı değişkenler üzerindeki etkisini belirlemek için, ARDL sınır testi yaklaşımı kullanılmış ve değişkenlerin nedensellik yönleri Toda-Yamamoto Granger nedensellik testi ile araştırılmıştır. Analize dayanarak, zamanla hidroelektrik tüketiminin CO<sub>2</sub> emisyonları üzerinde mütevazı bir etkisi olduğu, ancak önemli bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Öte yandan, nükleer enerjinin kullanımı CO<sub>2</sub> emisyonları üzerinde dikkate değer bir olumsuz etkiye sahiptir. Ayrıca yenilenemeyen tüm enerji tüketim kaynaklarının CO<sub>2</sub> emisyonları üzerinde pozitif ve anlamlı etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Balli vd. (2021), panel veri metodolojisini kullanarak 1981-2021 yılları arasında Asya-Pasifik Ekonomik İş Birliği ülkelerinden (APEC) oluşan bir örneklem için CO<sub>2</sub> emisyonları, enerji kullanımı, ekonomik büyüme ve doğrudan yabancı yatırım arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Eşbütünleşme testi sonuçları Gayri Safi Yurtiçi Hasıla'nın (GSYİH) CO<sub>2</sub> emisyonları

üzerindeki etkisinin tahmin örneğindeki ülkeye göre değiştiğini göstermektedir. Diğer değişkenlerin etkilerine ilişkin karışık kanıtların aksine, enerji kullanımındaki artış tüm APEC ülkelerinde CO<sub>2</sub> emisyonlarını olumlu ve önemli ölçüde etkilemektedir.

Birçok önceki çalışma, yenilenebilir enerjinin ve ekonomik büyümenin çeşitli ülkelerdeki CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki etkisine odaklanmıştır (Dogan & Seker, 2016; Bhattacharya vd., 2017; Chen & Geng, 2017; Cherni & Jouini, 2017; Dong vd., 2017; Jebli & Youssef, 2017; Paramati vd., 2017; Yazdi & Beygi, 2017; Zaidi vd., 2017; Sinha & Shahbaz, 2018; Dong vd., 2018; Bekhet & Othman, 2018; Chen vd., 2018; Waheed vd., 2018; Özcan & Öztürk, 2019; Shaari vd., 2020). Ancak, onların sonuçları da birbirleriyle tutarlı değildir.

Cherni & Jouini (2017), Chen vd. (2018) ve Sinha & Shahbaz (2018), yenilenebilir enerji kullanımı ve ekonomik büyümenin CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki etkilerini incelemek için ARDL yaklaşımını kullanmış, ancak sonuçlar tutarlı değildir. Cherni & Jouini (2017), ekonomik büyümenin CO<sub>2</sub> emisyonlarına katkıda bulunduğunu, ancak yenilenebilir enerji kullanımının sırasıyla Tunus ve Türkiye'de CO<sub>2</sub> emisyonlarına katkıda bulunmadığını keşfetmiştir. Aksine, Sinha & Shahbaz (2018), yenilenebilir enerji kullanımının 1971'den 2015'e kadar Hindistan'da CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltabileceğini bulmuştur. Sonuçlar ayrıca ekonomik büyümenin erken aşamalarda CO<sub>2</sub> emisyonlarını artırdığını ve ardından son aşamalarda CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltabileceğini göstermiştir. Dolayısıyla, bulgular Çevresel Kuznets Eğrisi'ni (EKC) desteklemiştir. Dong vd. (2018) de EKC'nin var olduğu ve yenilenebilir enerji kullanımının CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmada hayati bir rol oynadığı konusunda tutarlı sonuçlar sağlamıştır. Çalışmada da aynı yöntem kullanılmış ancak 1965-2016 yılları arasındaki veriler analiz edilmek üzere Çin'de yürütülmüştür. Chen vd. (2018), yenilenebilir enerji tüketiminin 1980-2014 yılları arasında Çin'de CO<sub>2</sub> emisyonlarını olumsuz etkileyebileceğini desteklemiştir. Ancak, Dogan & Seker (2016), yenilenebilir enerji kullanımının OLS yaklaşımını kullanarak Avrupa Birliği'nde CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmadığını ileri sürmüştür. Paramati vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada yenilenebilir enerji tüketiminin Türkiye'de CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltabileceğine dair sonuçlara rastlanmıştır. Khoshnevis Yazdi & Ghorchi Beygi (2017), 1985-2015 dönemi boyunca 25 Afrika ülkesinden oluşan bir veri kümesi olan Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) modelinde, ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji, enerji kullanımı, finansal gelişmeler, ticaret açıklığı ve kentleşme büyümesinin CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki etkisini havuzlanmış ortalama grup yaklaşımı ve Granger nedensellik testini kullanarak incelemiştir. Elde edilen sonuçlar, yenilenebilir enerji tüketimindeki ve ticaret açıklığındaki artışların CO<sub>2</sub> emisyonlarını azalttığını ve EKC hipotezinin Afrika ülkeleri için desteklendiğini göstermiştir. Granger nedensellik sonuçları, ekonomik büyüme ile finansal gelişme ve CO<sub>2</sub> emisyonları arasında çift yönlü nedenselliğin varlığını ortaya koymuştur. Nedensellik testleri sonucunda, Afrika ülkelerinde yenilenebilir enerji tüketiminin CO<sub>2</sub> emisyonlarını etkilediği tek yönlü bir ilişki ortaya konmuştur. Shaari vd. (2020), seçilmiş ülkelerde (Kanada, Amerika Birleşik Devletleri, Polonya, Belçika, Suudi Arabistan, Cezayir, Gabon, İran, Malezya, Türkiye, Bangladeş, Mısır, Endonezya, Nijerya, Pakistan, Benin, Komorlar, Senegal, Tacikistan ve Uganda) kişi başına düşen GSYİH'ye göre yenilenebilir enerji kullanımı ve ekonomik büyümenin CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki etkilerini yüksek, üst-orta, alt-orta ve düşük gelirli ülkeler özelinde Panel ARDL yöntemi ile incelemiştir. Elde edilen sonuçlar uzun vadede yenilenebilir enerji tüketiminin CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltabileceğini göstermektedir. Ancak ekonomik büyüme ve nüfus artışı uzun vadede daha yüksek CO<sub>2</sub> emisyonlarına neden olabilmektedir. Kısa vadede sonuçlar daha yüksek ekonomik büyümenin daha yüksek CO<sub>2</sub> emisyonlarına katkıda bulunabileceğini göstermektedir. Aksine, daha yüksek nüfus artışı ve yenilenebilir enerji tüketimi kısa vadede CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmaya yardımcı olabilmektedir.

Bazı çalışmalar (Cederborg & Snöbohm, 2016; Aye vd., 2017; Osadume & University, 2021) ise sadece ekonomik büyüme ve CO<sub>2</sub> emisyonu ilişkisine odaklanmıştır. Örneğin, Cederborg & Snöbohm (2016), ekonomik büyümenin çevresel bozulma üzerindeki olası etkisini gözlemlemek amacıyla kişi başı GSYİH ile kişi başına düşen CO<sub>2</sub> emisyonları arasındaki ilişkiyi kesitsel veriler kullanarak 69 sanayi ülkesi ve 45 fakir ülke üzerinde

yürütmüştür. Çalışmada ekonomik büyümenin çevresel bozulma üzerindeki olası etkisine ilişkin farklı görüşlere sahip çeşitli teoriler incelenmiştir. Yapılan kapsamlı araştırmalar, ekonomik büyüme ile çevremizin bozulması arasında açık bir ilişki olduğunu sürekli olarak ortaya koymuştur, ancak bu ilişkinin etkisi farklıdır. Kesitsel çalışmanın ampirik sonucu, kişi başı gelir ile kişi başına düşen CO<sub>2</sub> emisyonları arasında potansiyel bir korelasyon olduğunu ileri sürmektedir. Korelasyon pozitifdir, bu da kişi başına düşen GSYİH'nin artmasının CO<sub>2</sub> emisyonlarının artmasına yol açtığını göstermektedir. Bazı teorilerin iddia ettiği gibi, yeterince yüksek bir GSYİH'ye ulaşıldığında emisyonların azalmaya başladığı bir dönüm noktası bulunamamıştır. Aye & Edoja (2017), ekonomik büyümenin CO<sub>2</sub> emisyonu üzerindeki etkisini analiz etmek için 1971-2013 yıllarını kapsayan 31 gelişmekte olan ülkeye ait panel veri kullanmıştır. Sonuçlar, ekonomik büyümenin düşük büyüme ortamında CO<sub>2</sub> emisyonu üzerinde negatif etkisinin varlığını, buna rağmen yüksek büyüme ortamında pozitif etkiye sahip olduğunu ve marjinal etkinin yüksek büyüme rejiminde daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu nedenle çalışmada elde edilen bulgular Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) hipotezini desteklememektedir; bunun yerine U şeklinde bir ilişki kurulmuştur. Osadume & University (2021), 1980 ile 2019 yılları arasında seçilmiş Batı Afrika ülkelerinde ekonomik büyümenin karbon emisyonları üzerindeki etkisini araştırmıştır. Sonuçlar ekonomik büyümenin karbon emisyonlarını önemli ölçüde etkilediği ve ekonomik büyümede %1'lik bir artışın karbon emisyonlarında %3,11121 birimlik artışa yol açacağı sonucunu ortaya koymuştur.

### 3. Ekonometrik Metodoloji

Bu çalışma için, iki birim etkisini ve bir zaman boyutunu hesaba katan gelişmiş bir üç boyutlu panel veri modeli kullanılacaktır. Amaç, kişi başı gelirin (KBG) ve yenilenebilir enerji tüketiminin (YET) kişi başına düşen CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı üzerindeki etkisini ortaya çıkarmaktır. Güvenilir verilerin bulunduğu 1999 ila 2020 yıllarını kapsayan 176 ülkeden veriler analiz edilecektir. Analizde birim boyutları olarak ülkeler ve gelir düzeyleri, zaman boyutu olarak ise yıllar dikkate alınmıştır.

Bir zaman boyutu ve iki birim boyutundan oluşan çok boyutlu panel veri modelinin denklemi genel olarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$Y_{ijt} = \alpha + \beta X_{ijt} + \mu_i + \gamma_j + \lambda_t + u_{ijt} \quad (1)$$

(i = 1 ... N, J = 1 ... M, t = 1 ... T)

Burada  $\mu$  ve  $\gamma$  birim etkileri temsil ederken,  $\lambda$  zaman etkisini temsil etmektedir. Bağımlı değişken vektörü Y olarak gösterilmektedir. Sabit terim  $\alpha$  ile ifade edilirken, bağımsız değişken matrisi ve hata terimi vektörleri sırasıyla X ve u olarak gösterilmektedir. Denklemden yer alan ülkeler ve gelir düzeyleri boyutlarını içeren birim etkiler birbirleri içerisinde yuvalanmış bir şekilde yer almaktadır (Yerdelen Tatoğlu, 2016, s. 61).

Geleneksel iki boyutlu panel veri modellerinden farklı olarak çok boyutlu panel veri modelleri, modele çok sayıda birim ve/veya zamansal etkinin ilave edilmesine olanak vererek kapsamlı ve aynı zamanda bilgilendirici bir yaklaşım sunmaktadır (Yerdelen Tatoğlu & İçen, 2019, s.29).

Çok boyutlu panel veri modellerini tahmin etmek, klasik panel veri modellerini tahmin etmeye kıyasla daha yüksek bir karmaşıklık düzeyi sunar. İlk olarak, tüm etkilerin varlığını analiz eder ve uygun spesifikasyon belirlenir. Modeli tahmin etmeye yönelik bir yaklaşım, sabit etkiler modeli gölge değişken en küçük kareler veya grup içi tahmin ediciler kullanmaktır. Bununla birlikte, model, rastgele etkiler modeli genelleştirilmiş en küçük kareler veya maksimum olabilirlik tahmin edicileri kullanılarak tahmin edilebilir. Rastgele etkiler, grup içi etkiler ve grup arası etkiler için tahmin edicilerin oluşturulması, bu etkilerin modele nasıl dahil edildiğine göre belirlenir (Yerdelen Tatoğlu, 2017, s. 49).

#### 4. Veri ve Ekonometrik Analiz

Bu çalışmada 176 ülke için 1999-2020 dönemini kapsayan yıllık veriler kullanılmıştır. Kullanılan veriler Dünya Bankası istatistikleri (World Bank, WDI) veri tabanından alınmıştır. Daha önce de bahsedildiği gibi analizde çok boyutlu panel veri modeli, ülkeler ve gelir düzeyleri için iki birim boyutu ile 1999-2020 dönemini kapsayan zaman boyutunu içermektedir. Sonuç olarak model toplamda üç boyutu kapsamaktadır. İncelenen 176 ülkenin isimleri ekte sunulmuştur. Modelde kullanılan değişkenler kişi başı gelir (KBG), kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı (CO<sub>2</sub>) ve toplam enerji tüketiminde yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının payı olarak ifade edilen yenilenebilir enerji tüketimi (YET) şeklindedir. Modelde değişkenler arasındaki değişen varyans sorununu aşarak tutarlı sonuçlar ve daha durağan davranış elde etmek için KBG ve CO<sub>2</sub> verileri doğal logaritma formlarına dönüştürülmüştür (Vogelvang, 2005; Shahbaz vd., 2012; Salahuddin vd., 2017).

**Tablo 1.** Değişkenler, Boyutlar ve Gösterimleri

Değişkenler	Gösterimi	Boyutlar	Gösterimi
Kişi Başı CO <sub>2</sub> emisyon miktarı	CO <sub>2</sub>	Ülke	$\mu_i$
Kişi Başı Gelir	KBG	Gelir Grubu	$\gamma_j$
Yenilenebilir Enerji Tüketimi	YET	Zaman	$\lambda_t$

Analizde kullanılacak model genel olarak şu şekilde formüle edilir:

$$CO_{2ijt} = \beta_0 + \beta_1 KBG_{ijt} + \beta_2 YET_{ijt} + \mu_i + \gamma_j + \lambda_t + u_{ijt} \quad (2)$$

$$i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, M, t = 1, \dots, T$$

Burada:

$CO_{2ijt}$ :  $t$  Döneminde  $i$ .ülke ve  $j$ .gelir düzeyi bazında kişi başına tüketilen karbondioksit emisyonu miktarını,

$KBG_{ijt}$ :  $t$  Döneminde  $i$ .ülke ve  $j$ .gelir düzeyi bazında kişi başına düşen gelir miktarını,

$YET_{ijt}$ :  $t$  Döneminde  $i$ .ülke ve  $j$ .gelir düzeyi bazında yenilenebilir kaynaklardan enerji tüketimini,

$i$ : Ülkelere ait birim boyutunu ( $i = 1 \dots 176$ ),

$j$ : Gelir düzeylerine göre ayrılmış ülke gruplarını ( $j = 1 \dots 4$ ),

$t$ : Zaman boyutunu ( $t = 1 \dots 22$ ),

$\mu_i$ : Ülke etkisi,

$\gamma_j$ : Gelir düzeyi etkisi ve

$\lambda_t$ : Zaman etkisini açıklamaktadır.

Analizde, bağımsız değişken KBG'nin CO<sub>2</sub> emisyonlarını arttırıcı bir etkiye sahip olması öngörülmekte ve katsayının pozitif çıkması beklenmektedir. Çünkü ülkelerin çoğu hala ekonomik büyüme ile kirlilik arasında artan doğrusal bir ilişkinin olduğu düşük büyüme rejiminde bulunmaktadır. Bir başka bağımsız değişken olan YET'in çevre için yararlı olması beklenmektedir çünkü temiz bir enerji ve fosil yakıtlara ikame edilmesi sebebiyle daha az kirliliğe yol açmaktadır. YET bağımsız değişkeninin katsayısının da negatif yönde olması beklenmektedir (Kahia vd., 2019, s. 874).

Daha önce de bahsedildiği gibi analizde kullanılan (2) numaralı denklem modeli, ülke ve gelir düzeyi için birim etkilerinin yanı sıra zaman etkisini de içeren üç boyutlu iç içe geçmiş panel veri modelidir. (2) numaralı denklem için uygun modele karar verebilmek için ilk olarak modelde yer alan her bir etkinin (ülke, gelir düzeyi ve zaman) istatistiksel olarak geçerliliği test edilmektedir. Ülke, gelir düzeyi ve zaman boyutu etkilerinin her birinin ayrı ayrı, birlikte (ülke-gelir düzeyi- zaman boyutu) ve her bir etkinin dışlanarak (ülke-gelir düzeyi, ülke-zaman boyutu veya gelir düzeyi-zaman boyutu) istatistiksel olarak tesadüfi etkiler modeli en çok olabilirlik (LR) tahmini (RE-LR) ile yapılmaktadır.



LR testi, etkilerin yer aldığı kısıtlanmamış modelin maksimum olabilirlik tahmininden elde edilen log-olasılık değerinin (kısıtsız), etkilerin bulunmadığı klasik modelin maksimum olabilirlik tahmininden elde edilen log-olasılık değeriyle (kısıtlı) karşılaştırılmasını içerir (Yerdelen Tatoğlu, 2017, s. 50).

LR test istatistiği ise aşağıdaki gibi formüle edilmektedir: (Kunst, 2009, s. 2)

$$LR = 2(\log L_u - \log L_R)$$

Olasılık değeri (LR) için test istatistiği, kısıt sayısı serbestlik derecesi ile ki-kare dağılımına uymaktadır (Yerdelen Tatoğlu, 2017, s. 50).

Örneğin, sadece birim ya da zaman etkilerinin varlığı sınanmak istendiğinde temel hipotezler şu şekilde olmaktadır:

$$H_0 = \sigma_\mu = 0$$

$$H_0 = \sigma_\gamma = 0$$

$$H_0 = \sigma_\lambda = 0$$

Bütün etkilerin (ülke-gelir düzeyi-zaman) birlikte sınanması için kısıtlı ve kısıtsız modellerin oluşturulması gerekmektedir. Analizde kullanılan (2) numaralı denklem için kısıtsız ve kısıtlı modeller sırasıyla şu şekilde oluşturulmuştur:

$$CO2_{ijt} = \beta_0 + \beta_1 KBG_{ijt} + \beta_2 YET_{ijt} + \mu_i + \gamma_j + \lambda_t + u_{ijt}$$

$$CO2_{ijt} = \beta_0 + \beta_1 KBG_{ijt} + \beta_2 YET_{ijt} + u_{ijt}$$

Bütün etkiler için temel hipotez ise:

$$H_0 = \sigma_\mu = \sigma_\gamma = \sigma_\lambda = 0$$

Şeklinde formüle edilirken, alternatif hipotez ise en az bir etkinin sıfırdan farklı olduğunu göstermektedir. Ülke-gelir düzeyi ve zaman boyutunun yer aldığı (2) numaralı denklemde her seferinde bir etkinin dışlanmasıyla 7 farklı LR test sonucu elde edilmektedir. Uygulamalardan elde edilen LR test sonuçlarına göre uygun modele karar verilmektedir (Demir, 2024, s. 139). (2) numaralı denklem için elde edilen LR test sonuçlarına ait istatistiksel değerler Tablo 2'de yer almaktadır.

**Tablo 2.** LR Test İstatistiği Sonuçları

Temel Hipotez	LR test istatistiği
$H_0 = \sigma_\mu = \sigma_\gamma = \sigma_\lambda = 0$	8404,90***
$H_0 = \sigma_\mu = \sigma_\gamma = 0$	8374,40***
$H_0 = \sigma_\mu = \sigma_\lambda = 0$	8385,07***
$H_0 = \sigma_\gamma = \sigma_\lambda = 0$	461,93***
$H_0 = \sigma_\mu = 0$	8331,41***
$H_0 = \sigma_\gamma = 0$	461,93***
$H_0 = \sigma_\lambda = 0$	1,36

\*\*\*: %1 anlamlılık düzeyini ifade etmektedir.

Tablo 2'de ilk olarak ülke-gelir düzeyi ve zaman boyutu etkilerinin birlikte istatistiksel olarak sınanıldığı LR testi sonuçlarını, daha sonraki üç test sonuçları etkilerin ikiye kombinasyonlarını ve son üç LR testi ise her etkinin ayrı ayrı istatistiksel olarak analiz edildiği sonuçları göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre, ilk 6 teste ait temel hipotez reddedilmiştir. Ancak zaman boyutunun sınanıldığı LR testi sonucunda ise zaman etkisinin anlamlı olmadığı sonucuna varılmıştır. LR testi sonuçlarına göre, ülke ve gelir düzeyi etkilerinin birlikte yer aldığı iki yönlü üç boyutlu panel veri modelinin en uygun model olduğu belirlenmiştir. CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı özelinde ülkelerin ve gelir düzeyine göre ayrılmış ülke gruplarının heterojen özellikler gösterdiği, ancak zamana göre homojen özelliğe sahip olduğu bir diğer ifadeyle heterojen özelliklere sahip olmadığı ifade edilebilmektedir.

Bu bağlamda en uygun modele karar verildikten sonra (2) numaralı model şu şekilde uyarlanmıştır:

$$CO2_{ijt} = \beta_0 + \beta_1 KBG_{ijt} + \beta_2 YET_{ijt} + \mu_i + \gamma_j + u_{ijt} \quad (3)$$

$$i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, M, t = 1, \dots, T$$

(3) numaralı model için sabit etkiler grup içi dönüşümler uygulanarak model tahmin edilmiştir.

(3) numaralı spesifikasyon için grup içi dönüşümler ise şu şekilde gerçekleştirilmiştir:

$$\overline{CO2}_{ijt} = CO2_{ijt} - \overline{CO2}_i - \overline{CO2}_j + \overline{CO2}$$

$$\overline{KBG}_{ijt} = KBG_{ijt} - \overline{KBG}_i - \overline{KBG}_j + \overline{KBG}$$

$$\overline{YET}_{ijt} = YET_{ijt} - \overline{YET}_i - \overline{YET}_j + \overline{YET}$$

Sabit etkiler grup içi dönüşümler (SE-GİD) yapıldıktan sonra elde edilen sonuçlar ile LR testi sonuçları karşılaştırılmıştır. Hangi modelin kullanılması gerektiği hem grup içi hem de en çok olabilirlik tahmin yönteminden elde edilen katsayılara göre değerlendirilmiştir. Eğer elde edilen katsayılar birbirine çok yakın ise tesadüfi etkiler modeli, eğer elde edilen katsayılar birbirinden uzak ise sabit etkiler modeli tercih edilmelidir. Bu varsayımlara göre en uygun modelin sabit etkiler grup içi tahmin sonuçları olduğuna karar verilmiştir. Sabit etkiler grup içi tahminci parametrelerinin geçerliliğini sınamak için değişen varyans testi, otokorelasyon testi ve çoklu doğrusal bağlantı testi gibi testler gerçekleştirilmiştir. VIF değeri 5 değerinin altında olduğundan modelde çoklu doğrusal bağlantı sorunu tespit edilmemiştir. Otokorelasyon ve/veya heteroskedasite problemi olan modellerde Arellano, Froot, Rogers standart hatalar kullanılarak tahminler yapılmıştır (Demir, 2024, s. 142). Böylece, Tablo 3'te hem SE-GİD hem de RE-LR testi tahmincisine ait kesin sonuçlara yer verilmiştir.

**Tablo 3.** Tahmin Sonuçları

Değişkenler	Sabit Etkiler (Grup içi Tahmin)	Tesadüfi Etkiler
<i>KBG</i>	0.5265944***	0.4057428***
<i>YET</i>	-.0313445***	-.0245922***
<i>Sabit Katsayı</i>	-	-2.143727***
<i>R<sup>2</sup></i>	0.9817	-
<i>VIF</i>	4.77	-
<i>White test</i>	408.1881	-
<i>Wooldridge test</i>	300.007	-
<i>Gözlem Sayısı</i>	3872	3872

\*\*\*, %1 anlamlılık düzeyini ifade etmektedir.

Sabit etkiler grup içi tahmin sonuçlarına göre modelde yer alan KBG ve YET bağımsız değişkenleri istatistiksel olarak anlamlıdır. KBG'deki %1'lik bir artmanın CO<sub>2</sub> miktarını %0.526 düzeyinde arttırdığı sonucu elde edilmiştir. Aynı zamanda parametre işareti de beklenildiği gibi pozitifdir. Elde edilen bu sonuçlar birçok çalışma (Mikayilov vd., 2018; Khan vd., 2020; Onefrei vd., 2022; Uğur, 2022; Alaganthiran & Anaba, 2022) ile benzer sonuçlara sahiptir. Örneğin, Onefrei vd. (2022), 2000-2017 yılları arasında 27 Avrupa Birliği ülkesi için ekonomik büyüme ve CO<sub>2</sub> arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Çalışma sonuçları GSYİH'de %1'lik bir yükselmenin CO<sub>2</sub> emisyonları üzerinde %0,072 düzeyinde pozitif değişime yol açtığını ortaya koymaktadır. Benzer şekilde Alaganthiran & Anaba (2022), 20 seçilmiş Sahra Altı Afrika (SAA) ülkesinde ekonomik büyümenin CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki etkilerini 2000-2020 yılları arasındaki verileri kullanarak analiz etmiştir. Bu çalışma ile 20 SAA ülkesinde ekonomik büyümenin %1'lik artması CO<sub>2</sub> emisyon seviyesini %0,02 seviyesinde arttıracak olduğunu göstermektedir.

Öte yandan YET miktarında meydana gelecek %1'lik bir artış CO<sub>2</sub> emisyon miktarını %0.0313 azaltacaktır. Parametre işareti de beklenildiği gibi negatif yöndedir. Bir diğer ifadeyle, ülkelerin yenilenebilir enerji tüketimlerini arttırmaları çevresel kirlenmeyi azaltacaktır. Elde edilen sonuç birçok çalışma (Mirziyoyeva & Salahodjaev, 2022; Mukhtarov vd., 2022; Erdoğan vd., 2024) ile uyumludur. Mukhtarov vd. (2022), 1993-2019 yılları arasında Azerbaycan'da yenilenebilir enerji kullanımının, kişi başına düşen reel gelirin, ihracat ve ithalatın tüketime dayalı CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki etkisini Dinamik Sıradan En Küçük Kareler Yöntemi'ni (DOLS) kullanarak incelemiştir. Bulgulara göre, yenilenebilir enerji tüketiminde sadece %1'lik bir artışın, tüketime dayalı CO<sub>2</sub> emisyonlarında %0,26'lık kayda değer bir azalmaya yol açtığı gözlemlenmiştir. Benzer şekilde Mirziyoyeva & Salahodjaev (2022), 2000-2015 döneminde en fazla karbon yoğunluğuna sahip ülkelerde yenilenebilir enerji ile CO<sub>2</sub> emisyon yoğunluğu arasındaki ilişkiyi incelemek için panel veri teknikleri kullanmıştır. Sabit etkili regresyon ve iki adımlı GMM tahmincisine dayalı sonuçlar, yenilenebilir enerjinin CO<sub>2</sub> emisyonları üzerinde önemli bir olumsuz etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Tahminler, yenilenebilir enerji tüketimindeki yüzdelik bir artışın CO<sub>2</sub> emisyonlarında %0,98'lik bir azalmaya yol açtığını göstermektedir.

## 5. Sonuç

Bu çalışma, ekonomik büyüme ile yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi CO<sub>2</sub> emisyonları üzerinden incelemektedir. Bu amaca ulaşmak için kapsamlı bir ampirik çalışma yürütülmüştür. Çalışmada ülke, gelir düzeyi ve zaman boyutunu içeren çok boyutlu bir panel veri modeli kullanılmıştır. Veri seti, 1999'dan 2020'ye kadar uzanan ve 176 ülkeyi kapsayan yıllık verilerden oluşmaktadır. Ampirik modelde bağımlı değişken kişi başı CO<sub>2</sub> emisyon miktarına ait iken, bağımsız değişkenler kişi başı gelir (KBG) ve yenilenebilir enerji tüketimini (YET) kapsamaktadır. Öncelikle uygun modele karar verebilmek için modelde yer alan her bir etkinin (ülke, gelir düzeyi ve zaman) istatistiksel olarak geçerliliği tesadüfi etkiler modeli en çok olabilirlik (LR) tahmini ile test edilmiştir. LR testi sonrasında uygun model için sabit etkiler grup içi dönüşümler uygulanmış ve elde edilen sonuçlar LR testi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen katsayılar birbirinden uzak olduğu varsayımından hareketle en uygun modelin sabit etkiler grup içi tahmin sonuçları olduğuna karar verilmiştir. Sabit etkiler grup içi tahmin sonuçlarına göre 176 ülkede 1999-2020 dönemi için ekonomik büyümenin CO<sub>2</sub> emisyonlarını arttırdığını buna rağmen yenilenebilir enerji kullanımının ise CO<sub>2</sub> emisyonlarını azalttığı sonucuna varılmıştır. Araştırmaya göre, KBG'de %1'lik ufak bir artış CO<sub>2</sub> emisyonlarında %0,526'lık bir artışa yol açmıştır. Öte yandan, YET'te %1'lik bir artış CO<sub>2</sub> emisyonlarında %0,0313'lük bir düşüşe yol açmıştır. Hem ekonomik büyümenin hem de yenilenebilir enerji tüketiminin CO<sub>2</sub> üzerinde etkisini ortaya koyan bu çalışmaya ait elde edilen sonuçlar benzer çalışmalardan (Shafiei & Salim, 2014; Cederborg & Snöbohm, 2016; Shaari vd., 2020) elde edilen sonuçlar ile uyumlu haldedir.

Ekonomik büyümenin CO<sub>2</sub> emisyonlarındaki artışla doğrudan ilişkili olduğu göz önüne alındığında, politika yapımcıların doğru politikaları uygulamaya koymasına önemli hale gelmektedir. Bu da gerçekleştirilecek politikaların ekonomik büyümenin emisyonlardan ayrılmasına öncelik verilmesi şeklinde gerçekleştirilebilir. Osobajo vd. (2020) çalışmasında belirttiği gibi politika yapımcılar, enerji verimliliğini arttırmaya ve CO<sub>2</sub> emisyonuna katkıda bulunmayan, iktisadi büyümeyi teşvik etmeye odaklanan enerji ve ekonomiyle ilgili politikalar yapmaya dikkat etmelidir. Kaynakları daha temiz teknolojilere yönlendirmek, daha katı çevre kurallarını uygulamak bunlara örnek olarak gösterilebilir. Bu tür politikaların gerçekleştirilmesi, toplumun enerji tüketimini ve ekonomik büyümesini etkilemeden yapılmalıdır. Aynı zamanda politika yapımcıların, büyümenin çevresel sürdürülebilirliği tehlikeye atmamasını garanti altına almak için ekonomik büyüme politikalarını Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedef'lerinden on üçüncü hedef olan 'iklim değişikliği ve etkileri ile mücadele konusunda acilen eyleme geçilmesi' hedefi ile uyumlu hale getirmeleri sağlanmalıdır. Diğer yandan

politika yapımcılar için petrol ve kömür gibi yenilenemeyen enerjiden güneş ve biyoyakıt gibi yenilenebilir enerjiye geçiş, çevresel bozulmayı azaltmak için iyi bir hamle olarak görünmelidir. Ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarını çeşitlendirerek kullanması, ülke ekonomilerinin sürdürülebilir kalkınma amaçlarına ulaşmasına yardımcı olabilecektir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırımı teşvik etmek için sübvansiyon veya vergi indirimi gibi finansal teşvikler sunulabilir. Bu teşvikler, CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmak için önem arz eden konular arasındadır. Böylece çevresel kirlenmenin önüne geçilmesi sağlanabilecek ve gelecek kuşaklara temiz bir çevre miras olarak bırakılabilecektir.

## Kaynakça

- Aiyetan, I. R. & Olomola, P. A. (2017). Environmental degradation, energy consumption, population growth and economic growth: Does environmental kuznets curve matter for Nigeria?. *Economic and Policy Review*, 16(2), 1-14.
- Alaganthiran, J. R. & Anaba, M. I. (2022). The effects of economic growth on carbon dioxide emissions in selected Sub-Saharan African (SSA) countries. *Heliyon*, 8(11).
- Alam, M. M. A., Murad, M. W., Noman, A. H. M. & Ozturk, I. (2016). Relationships among carbon emissions, economic growth, energy consumption, and population growth: Testing environmental Kuznets curve hypothesis for Brazil, China, India, and Indonesia. *Ecological Indicators*, 70, 466-479.
- Aye, G. C. & Edoja, P. E. (2017). Effect of economic growth on CO<sub>2</sub> emission in developing countries: Evidence from a dynamic panel threshold model. *Cogent Economics & Finance*, 5(1), 1379239.
- Balli, E., Sigeze, C., Ugur, M. S. & Çatık, A. N. (2021). The Relationship between FDI, CO<sub>2</sub> emissions, and energy consumption in Asia-Pacific Economic Cooperation countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-18.
- Bekhet, H. A. & Othman, N. S. (2018). The role of renewable energy to validate dynamic interaction between CO<sub>2</sub> emissions and GDP toward sustainable development in Malaysia. *Energy Economics*, 72, 47-61.
- Bhattacharya, M., Churchill, S. A. & Paramati, S. R. (2017). The dynamic impact of renewable energy and institutions on economic output and CO<sub>2</sub> emissions across regions. *Renewable Energy*, 111, 157-167.
- Brodny, J. & Tutak, M. (2022). Analysis of the efficiency and structure of energy consumption in the industrial sector in the European Union countries between 1995 and 2019. *Science of the Total Environment*, 808, 152052.
- Cederborg, J. & Snöbohm, S. (2016). Is there a relationship between economic growth and carbon dioxide emissions?. <https://sh.diva-portal.org/smash/get/diva2:1076315/FULLTEXT01.pdf>
- 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.
- Chen, W. & Geng, W. (2017). Fossil energy saving and CO<sub>2</sub> emissions reduction performance, and dynamic change in performance considering renewable energy input. *Energy*, 12, 283-292.
- Chen, Y., Wang, Z. & Zhong, Z. (2018). CO<sub>2</sub> emissions, economic growth, renewable and non-renewable energy production and foreign trade in China. *Renewable Energy*, 131, 208-216.
- Cherni, A. & Jouini, S. E. (2017). An ARDL approach to the CO<sub>2</sub> emissions, renewable energy and economic growth nexus: Tunisian evidence. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42, 29056-29066.
- Demir, M. A. (2024). *Yükselen piyasa ekonomilerinde küreselleşmenin enerji üretimi üzerine etkilerinin çok boyutlu panel veri modelleri ile analizi*. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- 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.
- Dong, K., Sun, R. & Dong, X. (2018). CO<sub>2</sub> emissions, natural gas and renewables, economic growth: Assessing the evidence from China. *Science of the Total Environment*, 640, 293-302.
- Dong, K., Sun, R. & Hochman, G. (2017). Do natural gas and renewable energy consumption lead to less CO<sub>2</sub> emission? Empirical evidence from a panel of BRICS countries. *Energy*, 141, 1466-1478.
- Erdoğan, E., Serin Oktay, D., Manga, M., Bal, H. & Algan, N. (2024). Examining the effects of renewable energy and economic growth on carbon emission in Canada: Evidence from the nonlinear ARDL approaches. *Evaluation Review*, 48(1), 63-89.

- Esso, L. J. & Keho, Y. (2016). Energy consumption, economic growth and carbon emissions: Cointegration and causality evidence from selected African countries. *Energy*, 114, 492–497.
- Hanif, I. (2018). Impact of economic growth, nonrenewable and renewable energy consumption, and urbanization on carbon emissions in Sub-Saharan Africa. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(15), 15057-15067.
- Hassan, A., Ilyas, S. Z., Jalil, A. & Ullah, Z. (2021). Monetization of the environmental damage caused by fossil fuels. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 21204-21211.
- Islam, R., Ghani, A. B. A. & Mahyudin, E. (2017). Carbon dioxide emission, energy consumption, economic growth, population, poverty and forest area: Evidence from panel data analysis. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 7(4), 99-106.
- Jebli, M. B. & Youssef, S. B. (2017). The role of renewable energy and agriculture in reducing CO2 emissions: Evidence for North Africa countries. *Ecological Indicators*, 74, 295-301.
- Kahia, M., Jebli, M. B. & Belloumi, M. (2019). Analysis of the impact of renewable energy consumption and economic growth on carbon dioxide emissions in 12 MENA countries. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 21, 871-885.
- Khan, M. K., Khan, M. I. & Rehan, M. (2020). The relationship between energy consumption, economic growth and carbon dioxide emissions in Pakistan. *Financial Innovation*, 6(1).
- Khoshnevis Yazdi, S. & Ghorchi Beygi, E. (2018). The dynamic impact of renewable energy consumption and financial development on CO2 Emissions: For selected African countries. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 13(1), 13-20.
- Kunst, R. M. (2009). *Econometric methods for panel data-Part II*. Avusturya: University of Vienna.
- Mikayilov, J. I., Galeotti, M. & Hasanov, F. J. (2018). The impact of economic growth on CO2 emissions in Azerbaijan. *Journal of Cleaner Production*, 197, 1558-1572.
- Mirziyoyeva, Z. & Salahodjaev, R. (2022). Renewable energy and CO2 emissions intensity in the top carbon intense countries. *Renewable Energy*, 192, 507-512.
- Mukhtarov, S., Aliyev, F., Aliyev, J. & Ajayi, R. (2022). Renewable energy consumption and carbon emissions: Evidence from an oil-rich economy. *Sustainability*, 15(1), 134.
- Onofrei, M., Vatamanu, A. F. & Cigu, E. (2022). The relationship between economic growth and CO2 emissions in EU countries: A cointegration analysis. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 934885.
- Osadume, R. & University, E. O. (2021). Impact of economic growth on carbon emissions in selected West African Countries, 1980–2019. *Journal of Money and Business*, 1(1), 8-23.
- Osobajo, O. A., Otitoju, A., Otitoju, M. A. & Oke, A. (2020). The impact of energy consumption and economic growth on carbon dioxide emissions. *Sustainability*, 12(19), 7965.
- Ozcan, B. & Ozturk, I. (2019). Renewable energy consumption-economic growth nexus in emerging countries: A bootstrap panel causality test. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 104, 30-37.
- Paramati, S. R., Mo, D. & Gupta, R. (2017). The effects of stock market growth and renewable energy use on CO2 emissions: Evidence from G20 countries. *Energy Economics*, 66, 360-371.
- Rahman, M. M. & Vu, X. B. (2020). The nexus between renewable energy, economic growth, trade, urbanisation and environmental quality: A comparative study for Australia and Canada. *Renewable Energy*, 155, 617-627.
- Sahoo, M. & Sahoo, J. (2022). Effects of renewable and non-renewable energy consumption on CO2 emissions in India: Empirical evidence from disaggregated data analysis. *Journal of Public Affairs*, 22(1), E2307.
- Saidi, K. & Mbarek, M. B. (2016). Nuclear energy, renewable energy, CO2 emissions, and economic growth for nine developed countries: Evidence from panel Granger causality tests. *Progress in Nuclear Energy*, 88, 364-374.
- Salahuddin, M., Alam, K., Ozturk, I. & Sohag, K. (2018). The effects of electricity consumption, economic growth, financial development and foreign direct investment on CO2 emissions in Kuwait. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(2), 2002-2010.
- Shaari, M. S., Abidin, N. Z. & Karim, Z. A. (2020). The impact of renewable energy consumption and economic growth on CO2 emissions: New evidence using panel Ardl study of selected countries. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(6), 617-623.
- Shafiei, S. & Salim, R. A. (2014). Non-renewable and renewable energy consumption and CO2 emissions in OECD countries: A comparative analysis. *Energy Policy*, 66, 547-556.
- 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.

- Sinha, A. & Shahbaz, M. (2018). Estimation of environmental Kuznets curve for CO2 emission: Role of renewable energy generation in India. *Renewable Energy*, 119, 703-711.
- Stamatiou, P. & Dritsakis, N. (2019). Causality among CO2 emissions, energy consumption and economic growth in Italy. *International Journal of Computational Economics and Econometrics*, 9(4), 268-286.
- Tatođlu, F. & İćen, H. (2019). Çevresel Kuznets eğrisinin çok boyutlu panel veri modelleri ile analizi. *Anadolu İktisat ve İşletme Dergisi*, 3(1), 26-38.
- Uğur, M. S., Çatık, A. N., Sigeze, C. & Balli, E. (2023). Time-varying impact at income and fossil fuel consumption on CO2 emissions in India. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(58), 121960-121982.
- Uğur, M. S. (2022). The relationship between foreign direct investment, economic growth, energy consumption and CO2 emissions: Evidence from ARDL model with a structural break for Turkey. *Ege Academic Review*, 22(3), 337-352.
- UN (2024). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*. <https://sdgs.un.org/2030agenda> (Erişim Tarihi: 07.09.2024).
- Vogelvang, B. (2005). *Econometrics: Theory and applications with EVIEWS* (1st Ed.). Prentice Hall, New Jersey.
- Waheed, R., Chang, D., Sarwar, S. & Chen, W. (2018). Forest, agriculture, renewable energy, and CO2 emission. *Journal of Cleaner Production*, 172, 4231-4238.
- Williams, L. O. (1994). Fossil fuels. *Applied Energy*, 47(2-3), 101-121.
- World Bank (2024). *IEA statistics*. <https://data.worldbank.org> (Erişim Tarihi: 08.09.2024).
- World Bank WDI (2024). <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>
- Yerdelen Tatoğlu, F. (2016). Üç boyutlu sabit ve tesadüfi etkili panel veri modellerinin tahmini için çeşitli yaklaşımlar. *Euroasian Econometrics, Statistics & Empirical Economics Journal*, (5), 60-70.
- Yerdelen Tatoğlu, F. (2017). Avrupa ülkelerinde okun yasasının çok boyutlu panel veri modelleri ile analizi. *Yönetim ve Çalışma Dergisi*, 1(1),42-55.
- Zaidi, I., Ahmed, R. M. A. & Siok, K. S. (2017). Examining the relationship between economic growth, energy consumption and CO2 emission using inverse function regression. *Applied Ecology and Environmental Research*, 15(1), 473-484.
- Zhou, Y., Sirisrisakulchai, J., Liu, J. & Sriboonchitta, S. (2018). The impact of economic growth and energy consumption on carbon emissions: Evidence from panel quantile regression. *Journal of Physics: Conference Series*, 1053, 1-8.
- Zoundi, Z. (2017). CO2 emissions, renewable energy and the environmental Kuznets curve, a panel cointegration approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 1067-1075.

---

**Çıkar Çatışması:** Yoktur.

**Finansal Destek:** Yoktur.

**Etik Onay:** Yoktur.

**Yazar Katkısı:** Mehmet Ali DEMİR (%100)

**Conflict of Interest:** None.

**Funding:** None.

**Ethical Approval:** None

**Author Contributions:** Mehmet Ali DEMİR (100%)

---

## EKLER

### Ek 1: Analize Dahil Edilen Ülkeler

Almanya, Amerika Birleşik Devletleri, Andorra, Angola, Antigua ve Barbados, Arjantin, Arnavutluk, Avustralya, Avusturya, Azerbaycan, Bahamalar, Bangladeş, Barbados, Belarus, Belçika, Belize, Benin, Birleşik Arap Emirlikleri, Birleşik Krallık, Bolivya, Bosna Hersek, Botsvana, Brezilya, Bulgaristan, Burkina Faso, Burundi, Butan, Cape Verde, Cezayir, Çad, Çekya, Çin, Danimarka, Demokratik Kongo Cumhuriyeti, Dominik Cumhuriyeti, Dominik, Ekvador, Ekvator Ginesi, El Salvador, Endonezya, Ermenistan, Estonya, Esvatini, Etiyopya, Fas, Fiji, Fil Dişi Sahilleri, Filipinler, Finlandiya, Fransa, Gabon, Gambiya, Gana, Gine Bissau, Gine, Grenada, Guatemala, Guyana, Güney Afrika, Güney Kore, Gürcistan, Haiti, Hırvatistan, Hindistan, Hollanda, Honduras, Irak, İran, İrlanda, İspanya, İsrail, İsveç, İsviçre, İtalya, İzlanda, Jamaika, Japonya, Kamboçya, Kamerun, Kanada, Katar, Kazakistan, Kenya, Kıbrıs, Kırgızistan, Kiribati, Kolombiya, Komorlar, Kongo Cumhuriyeti, Kosta Rika, Kuzey Makedonya, Küba, Lao, Lesotho, Letonya, Liberya, Libya, Litvanya, Lübnan, Lüksemburg, Macaristan, Madagaskar, Malavi, Maldivler, Malezya, Mali, Malta, Marşal Adaları, Mauritius, Meksika, Mısır, Mikronezya, Moğolistan, Moldova, Moritanya, Mozambik, Myanmar, Namibya, Nauru, Nepal, Nijer, Nijerya, Nikaragua, Norveç, Orta Afrika Cumhuriyeti, Özbekistan, Pakistan, Palau, Panama, Papua Yeni Gine, Paraguay, Peru, Polonya, Portekiz, Romanya, Ruanda, Rusya, Saint Kitts ve Nevis, Saint Vincent ve Grenadinler, Samoa, Senegal, Seyşeller, Sırbistan, Sierra Leone, Singapur, Slovakya, Slovenya, Solomon Adaları, Somali, Sri Lanka, St. Lucia, Sudan, Surinam, Suriye, Şili, Tacikistan, Tanzanya, Tayland, Togo, Tonga, Trinidad ve Tobago, Tunus, Tuvalu, Türkiye, Türkmenistan, Uganda, Ukrayna, Uruguay, Ürdün, Vanuatu, Vietnam, Yemen, Yeni Zelanda, Yunanistan, Zambiya, Zimbabve.

## Analysis of the Effects of Economic Growth and Renewable Energy Consumption on Carbon Emissions Using Multidimensional Panel Data Models

Mehmet Ali DEMİR

### Extended Abstract

Today, it is predicted that traditional energy sources such as coal, oil and natural gas, which are used as an important part of human life, will be depleted in the near future. However, these energy sources, also known as fossil fuels, are still used as the main energy source by most countries, and according to the World Bank's 2015 data, 79.7% of total energy consumption consists of these energy sources (World Bank, 2024). It is also known that a significant portion of global energy consumption is carried out by the industrial sector, and the use of fossil fuels is also dominant in this sector. However, environmental concerns have led to decreases in the use of traditional energy sources in EU countries in recent years (Brodny & Tutak, 2022). In this context, although they are consumed intensively globally, the environmental effects of traditional energy sources are intensely discussed, and most studies indicate that a large part of environmental damage is caused by the use of fossil fuels (Williams, 1994). Hassan et al. (2021) also mentions two main negative effects of environmental degradation: on humans and agriculture. Accordingly, it states that environmental pollution will negatively affect human health and that polluted air will cause serious crop losses. Fossil fuel use is also seen as one of the main causes of climate change and global warming. In fact, it is estimated that if no sustainable adaptation policy is implemented, the economic growth of developing countries will decrease by 2-4% by 2040 (Zoundi, 2017). The relationship between traditional energy consumption, economic growth and carbon dioxide emissions also contains some concerns about environmental sustainability. In fact, it is known that energy consumption provides growth by increasing economic activity, but traditional energy sources are also one of the main causes of environmental degradation (Saidi & Mbarek, 2016; Ben Jebli et al., 2020). Therefore, the development of renewable energy sources and technology for these sources is also important in reducing such an impact in the future. Therefore, for a more sustainable environment and development approach, it is essential for countries to shift from traditional fuels to renewable energy sources. In this context, the United Nations' 2030 Sustainable Development Goals (UN, 2024) also focus on this issue and foresee an increase in the share of renewable energy sources in the global energy mix. Renewable energy sources generally involve higher-cost investments and the storage capacity of renewable energy is lower than traditional energy (Chen et al., 2022). However, it is anticipated that the increase in renewable energy consumption will help reduce environmental pollution and in this context, although they are more costly, they are seen as very important sources for a sustainable environmental approach.

Many previous studies have focused on the impact of renewable energy and economic growth on CO<sub>2</sub> emissions in various countries (Dogan & Seker, 2016; Bhattacharya et al., 2017; Chen & Geng, 2017; Cherni & Jouini, 2017; Dong et al., 2017; Jebli & Youssef, 2017; Paramati et al., 2017; Yazdi & Beygi, 2017; Zaidi, 2017; Sinha & Shahbaz, 2018; Dong et al., 2018; Bekhet et al., 2018; Chen et al., 2018; Waheed et al., 2018; Özcan & Öztürk, 2019; Shaari et al., 2020). However, their results are not consistent with each other. Cherni & Jouini (2017), Chen et al. (2018) and Sinha & Shahbaz (2018) used the ARDL approach to study the effects of renewable energy consumption and economic growth on CO<sub>2</sub> emissions, but their results are not consistent. Cherni & Jouini (2017) discovered that economic growth contributes to CO<sub>2</sub> emissions, but renewable energy consumption does not contribute to CO<sub>2</sub> emissions in Tunisia and Turkey, respectively. On the contrary, Sinha & Shahbaz (2018) found that renewable energy consumption could reduce CO<sub>2</sub> emissions in India from 1971 to 2015. The results also showed that economic growth increases CO<sub>2</sub> emissions in the early stages and then reduces CO<sub>2</sub> emissions in the final stages. Hence, the findings supported the Environmental Kuznets Curve (EKC). Dong et al.



(2018) also provided consistent results that EKC exists and renewable energy consumption plays a vital role in reducing CO<sub>2</sub> emissions. The same method was used in the study, but it was conducted in China to analyze data between 1965-2016. Chen et al. (2018) supported that renewable energy consumption could negatively affect CO<sub>2</sub> emissions in China between 1980-2014. However, Dogan & Seker (2016) suggested that renewable energy consumption did not reduce CO<sub>2</sub> emissions in the European Union using the OLS approach. The study conducted by Paramati et al. (2017) found results indicating that renewable energy consumption could reduce CO<sub>2</sub> emissions in Turkey. Yazdi & Beygi (2017) examined the effects of economic growth, renewable energy, energy consumption, financial developments, trade openness and urbanization growth on CO<sub>2</sub> emissions in the Environmental Kuznets Curve (EKC) model, which is a dataset consisting of 25 African countries during the period 1985-2015, using the pooled average group approach and the Granger causality test. The results show that increases in renewable energy consumption and trade openness reduce CO<sub>2</sub> emissions and the EKC hypothesis is supported for African countries. Granger causality results revealed the existence of bidirectional causality between economic growth and financial development and CO<sub>2</sub> emissions. Causality tests revealed that there is a unidirectional causality running from renewable energy consumption to CO<sub>2</sub> emissions in African countries. Shaari et al. (2020) examined the effects of renewable energy consumption and economic growth on CO<sub>2</sub> emissions according to GDP per capita in selected countries (Canada, United States, Poland, Belgium, Saudi Arabia, Algeria, Gabon, Iran, Malaysia, Turkey, Bangladesh, Egypt, Indonesia, Nigeria, Pakistan, Benin, Comoros, Senegal, Tajikistan and Uganda) using the Panel ARDL method for high-income, upper-middle-income, lower-middle-income and low-income countries. The results show that renewable energy consumption can reduce CO<sub>2</sub> emissions in the long run. However, economic growth and population growth may lead to higher CO<sub>2</sub> emissions in the long run. In the short run, the results show that higher economic growth may contribute to higher CO<sub>2</sub> emissions. Conversely, higher population growth and renewable energy consumption may help reduce CO<sub>2</sub> emissions in the short run.

This study uses annual data covering the period 1999-2020 for 176 countries. The data used are obtained from the World Bank WDI online database. As mentioned before, in the established multidimensional panel data model, there are two unit dimensions covering countries and income levels, and the years covering the period 1999-2020 constitute the time dimension, thus there are a total of three dimensions in the model. The variables used in the model are annual per capita income (PPI), annual per capita CO<sub>2</sub> emissions (CO<sub>2</sub>), and renewable energy consumption (REC), which is expressed as the share of renewable energy resources in total energy consumption. In order to overcome the problem of heteroscedasticity between the variables in the model and obtain consistent results and more stationary behavior, PPI and CO<sub>2</sub> data were transformed into natural logarithm forms (Vogelvang, 2005; Shahbaz et al., 2012; Salahuddin et al., 2017).

The model to be used in the analysis is generally formulated as follows:

$$CO2_{ijt} = \beta_0 + \beta_1 KBG_{ijt} + \beta_2 YET_{ijt} + \mu_i + \gamma_j + \lambda_t + u_{ijt}$$

$$i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, M, t = 1, \dots, T$$

The model consists of a three-dimensional nested panel data model with two unit effects, country and income level, and one time effect. In order to decide on the appropriate model, firstly the statistical validity of each effect (country, income level and time) in the model is tested. The random effects model is estimated statistically with maximum likelihood (LR) by estimating each of the country, income level and time dimension effects separately, together (country-income level-time dimension) and excluding each effect (country-income level, country-time dimension or income level-time dimension).

The LR test statistic is formulated as follows: (Kunst, 2009, p. 2)

$$LR = 2(\log L_u - \log L_R)$$

According to the LR test results, it was decided that the most suitable model is the two-way three-dimensional panel data model with country and income level effects. It can be stated that in the context of CO<sub>2</sub> emission amount, countries and country groups separated by income level have heterogeneous characteristics, but they show homogeneity in time, in other words, they do not have heterogeneous characteristics.

After deciding on the most appropriate model according to the LR test results, fixed effects within-group transformations were performed for this model. These transformations were performed as follows:

$$\begin{aligned}\overline{CO2}_{ijt} &= CO2_{ijt} - \overline{CO2}_i - \overline{CO2}_j + \overline{CO2} \\ \overline{KBG}_{ijt} &= KBG_{ijt} - \overline{KBG}_i - \overline{KBG}_j + \overline{KBG} \\ \overline{YET}_{ijt} &= YET_{ijt} - \overline{YET}_i - \overline{YET}_j + \overline{YET}\end{aligned}$$

After performing fixed effects within-group transformations, the results obtained were compared with the LR test results. The model to be used was evaluated according to the coefficients obtained from both within-group and maximum likelihood estimation methods. If the obtained coefficients are very close to each other, the random effects model should be preferred, if the obtained coefficients are far from each other, the fixed effects model should be preferred. According to these assumptions, it was decided that the most appropriate model was the fixed effects within-group estimation results. Tests such as heteroscedasticity test, autocorrelation test and multiple linearity test were performed to test the validity of the fixed effects within-group estimator parameters. Since the VIF value was below 5, no multiple linearity problem was detected in the model. In models with autocorrelation and/or heteroskedasticity problems, estimations were made using Arellano, Froot, Rogers standard errors (Demir, 2024, p. 142).

According to the fixed effects within-group estimation results, the independent variables KBG and YET in the model are statistically significant. A 1% increase in KBG increases the amount of CO<sub>2</sub> by 0.526%. On the other hand, a 1% increase in the YET rate will reduce the amount of CO<sub>2</sub> emissions by 0.0313%. The parameter sign is also negative as expected.

Considering that economic growth is directly related to the increase in carbon dioxide emissions, it becomes important for policymakers to implement the right policies. This can be achieved by prioritizing the separation of economic growth from emissions. Directing resources to cleaner technologies and implementing stricter environmental rules can be given as examples. At the same time, policymakers should ensure that economic growth policies are aligned with the thirteenth goal of the United Nations Sustainable Development Goals, which is to 'take urgent action to combat climate change and its impacts', in order to ensure that growth does not jeopardize environmental sustainability. On the other hand, for policymakers, the transition from non-renewable energy such as oil and coal to renewable energy such as solar and biofuels should be seen as a good move to reduce environmental degradation. Financial incentives such as subsidies or tax breaks can be offered to encourage investment in renewable energy sources. These incentives are among the important issues for reducing CO<sub>2</sub> emissions.