

CO₂ Emisyonu, Hava Yolu Taşımacılığı, Yenilenebilir Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki: Beşli Grup (G5) Örneği

(Araştırma Makalesi)

The Relationship between CO₂ Emissions, Air Transportation, Renewable Energy Consumption and Economic Growth: The Example of the Group of Five (G5)

Doi: 10.29023/alanyaakademik.1254086

Barış YILDIZ¹, Gizem AKBULUT YILDIZ²

¹ Doç. Dr., Gümüşhane Üniversitesi, barisyildiz61@gmail.com, Orcid No: 0000-0001-6186-4038

² Doç. Dr., Gümüşhane Üniversitesi, gizem-akbulut@hotmail.com, Orcid No: 0000-0001-7492-2428

ÖZET

Anahtar Kelimeler:
CO₂ Emisyonu, Hava Yolu Taşımacılığı, Yenilenebilir Enerji Tüketimi, Ekonomik Büyüme, Beşli Grup

Makale geliş tarihi:
21.02.2023

Kabul tarihi:
18.12.2023

Çalışmanın amacı, CO₂ emisyonu, hava yolu taşımacılığı, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi araştırmaktır. G5 (Brezilya, Çin, Hindistan, Meksika ve Güney Afrika) ülkelerini kapsayan bu çalışmada 1990-2018 dönemine ait panel veriler kullanılmıştır. Hava yolu taşımacılığı değişkeni, hava yolu yolcu taşımacılığı ve hava yolu yük taşımacılığı olmak üzere ayrı ayrı modellere dâhil edilmiştir. Ağırlıklandırılmış Ortalama Grup (AMG) tahmincisi kullanılarak modeller tahmin edilmiştir. Ampirik analiz sonucuna göre hava yolu yük taşımacılığı CO₂ emisyonunu istatistiksel olarak anlamlı ve negatif etkilerken hava yolu yolcu taşımacılığına ilişkin istatistiksel olarak anlamlı bir bulgu elde edilememiştir. Bununla birlikte, her iki modelde ekonomik büyüme CO₂ emisyonunu istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif, enerji tüketimi ise negatif etkilemektedir.

ABSTRACT

Keywords:
CO₂ Emissions, Air Transport, Renewable Energy Consumption, Economic Growth, The Group of Five

The aim of the study is to investigate the relationship between CO₂ emissions, air transportation, renewable energy consumption and economic growth. In this study covering the G5 (Brazil, China, India, Mexico, and South Africa) countries, panel data for the period 1990-2018 were used. The air transportation variable was included in the models separately, including air passenger transportation and air transportation. Augmented Mean Group (AMG) estimator. According to the empirical analysis result, while air freight transport has a statistically significant and negative effect on CO₂ emissions, no statistically significant finding regarding air passenger transport has been obtained. In both models, economic growth has a statistically significant and positive effect on CO₂ emissions, while energy consumption has a negative effect.

1. GİRİŞ

Sanayi Devrimi, 18. yüzyılın ikinci yarısında İngiltere’de başlamış, ardından önce Avrupa’ya ve sonrasında tüm dünyaya yayılmıştır. İlk olarak demir, çelik ve tekstil sektöründe başlayan devrim daha sonra diğer tüm sektörlerle yayılmıştır. Bu devrim ile kol gücünün yerini makineler almaya başlamış, pek çok teknolojik gelişme yaşanmış, enerjiye olan talep artmıştır. Ben Amar’a göre (2013:65) enerji, ekonomik kalkınmanın temel bileşenlerinden biri, kritik bir girdi ve dolayısıyla ekonomi için benzersiz bir konuma sahiptir. Enerji nihai tüketim, üretim faktörü ya da ara tüketim için kullanılabilir. Sosyal koşulların iyileştirilmesine katkıda bulunan enerji insan faaliyetinin de önemli bir parçasıdır.

Küresel anlamda ortaya çıkan ekonomik gelişmelere bağlı olarak enerjiye olan ihtiyacın artması ile birlikte özellikle elektrik üretimine yönelik kömür ve petrol gibi fosil yakıtlara olan ihtiyaçlar artmış, ilerleyen süreçte ise özellikle fosil yakıtlarla çalışan araba, tren, uçak ve gemi gibi ulaşım araçları kullanılmaya başlandığından büyük miktarda CO₂ salımı ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak enerji kullanımının artması ile birlikte küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunları gibi önemli sosyal ve çevresel olumsuz etkiler ortaya çıkararak özellikle havada en çok ısı tutma özelliğine sahip gaz olan CO₂ (Şengül & Pusa, 2019: 298) salımı seviyesi sanayi devrimi dönemi sonrasında hızlı bir şekilde yükselmiştir.

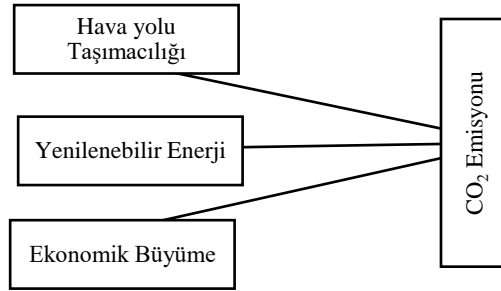
Günümüzde CO₂, egzoz gazının yaklaşık %70’ini oluşturan uçak emisyonlarının en büyük bileşenidir. CO₂ emisyonu salımından sonra, belirli bir gaz miktarının %30’u yaklaşık 30 yılda doğal olarak atmosferden dışarı çıkmaktadır, %50’si birkaç yüz yıl içinde kaybolmakta ve kalan %20’si atmosferde binlerce yıl kalmaktadır (EESI [Environmental and Energy Study Institute], 2019). Dünya çapında, uçuşlardan kaynaklı olarak 2019 yılında 914 milyon ton CO₂ ortaya çıkmış olup küresel olarak, insanlar 43 milyar tondan fazla CO₂ salımına sebep olmuştur. Bununla birlikte küresel havacılık endüstrisi, insan kaynaklı tüm CO₂ emisyonunun yaklaşık %2,1’ini üretmektedir (ATAG [Air Transport Action Group], 2020). 2008 yılında yaşanan krize rağmen dünya hava trafiği büyümeye devam etmiştir. Bu artışın en önemli nedeni Brezilya, Rusya, Hindistan ve Çin gibi gelişmekte olan ülkelerdeki talebin artmasıdır. Bu hava trafiğindeki büyüme ise ülkeden ülkeye değişmektedir. Hava taşıma faaliyetlerindeki bu artış enerji tüketimini de arttırmakta ve dolayısıyla çevresel etkilerinin dikkate alınmasını gerekli kılmaktadır. Hava taşımacılığı sektörünün çevresel etkisi, büyük ölçüde sera gazı emisyonları yoluyla küresel ısınmadaki payından kaynaklanmaktadır. CO₂, uçaklar tarafından yayılan en önemli sera gazı olarak kabul edilerek Avrupa Birliği (AB) Emisyon Ticareti Sistemine eklenmektedir (Alonso vd., 2014). Hava yolu taşımacılığı CO₂ emisyonlarındaki mutlak artışa ek olarak ısı tutucu su buharı (H₂O) ve azotoksitler (NO_x¹) gibi diğer iklim değişikliği gazlarından da sorumludur (Chèze, vd., 2013:91).

Diğer taraftan fosil yakıtların yarattığı hava kirliliği günümüzde çok ciddi sağlık sorunlarına yol açarak her yıl yaklaşık 5 milyon erken ölümün nedeni olmaktadır. CO₂ emisyonunu ve hava kirliliğini azaltmak için dünyanın hızlı bir şekilde düşük karbonlu enerji kaynaklarına, nükleer ve yenilenebilir teknolojilere geçmesi gerektiği ifade edilmektedir. Yenilenebilir enerjinin kullanımı önümüzdeki yıllarda enerji sistemlerini karbondan arındırmanın (Ritchie vd., 2019) ve CO₂ emisyonlarını azaltmanın en önemli yollarından biridir. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Enerji Bakanlığı’nın bir parçası ve ABD Federal İstatistik Sisteminin (Federal Statistical System of the United States) ana kuruluşlarından biri olan Enerji Enformasyon İdaresi’ne göre (Energy Information Administration-EIA) yenilenebilir enerji, doğal olarak yenilenme özelliğine sahip ancak sınırlı bir akışa sahip kaynaklardan elde edilen enerjidir. Yenilenebilir kaynaklar süreklilik arz ederler ve neredeyse tükenmezlerdir. Ancak birim zaman başına mevcut enerji miktarı sınırlıdır. (EIA, 2021).

Bilim insanları ve mühendisler sürekli olarak diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmak için çalışmaktadırlar. En umut verici üç tanesi gelgit enerjisi, dalga enerjisi ve alg yakıtıdır. Yenilenebilir kaynakları kullanarak en fazla enerjiyi üreten uluslara veya ulus gruplarına “Yenilenebilir Milletler” adı verilmektedir. ABD, Brezilya, Çin, Kanada, AB gibi ulus veya uluslar birliğinden oluşan bu yenilenebilir milletlerin birçoğu aynı zamanda yenilenemez enerjinin de önde gelen üreticileridir (National Geographic(a), 2022). Dünyanın dört bir yanındaki şehirler, eyaletler ve federal hükümetler, yenilenebilir enerjiyi artırmaya yönelik politikalar oluşturmaktadırlar. En az 29 ABD eyaleti, yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerjinin belirli bir yüzdesini zorunlu kılan politikalar olan yenilenebilir portföy standartları belirlemiştir. Yenilenebilir enerji büyümesini teşvik etmeye yönelik politikalar arasında karbon fiyatlandırması, yakıt ekonomisi ve bina verimliliği standartları yer almaktadır. Maalesef tüm bu çabalara rağmen temiz ve yenilenebilir enerji üretimi hala yeterli seviyede değildir (National Geographic(b), 2022). Dünya genelinde, 2016’da yenilenebilir enerji üretimine 312 milyar dolar, 2020’de ise 359 milyar dolar yatırım yapılmıştır. Biyoenerji talebinin 2021 yılından sonraki beş yıl içinde %28 artarak 2026’da 186 milyar litreye ulaşacağı tahmin edilmektedir (ITA [The International Trade Administration], 2022.).

¹ Hem nitrik oksit (NO) hem de nitrojen dioksit (NO₂) anlamına gelen ve ciddi solunum problemlerine neden olan yer seviyesindeki ozon oluşumunda ana bileşendir (<https://sagligim.gov.tr/hava-kirliligi.html>).

Yenilenebilir enerjinin çevre ve ekonomik koşullarda yeni bir denge kurmaktaki önemi gün geçtikçe artmaktadır. UNEP (2021) raporunda ifade edildiği üzere, Paris Anlaşmasına uygun olarak küresel sera gazı (GHG) emisyonu hızlı bir şekilde azaltılmalıdır. Dahası, küresel ısınmayı durdurma mücadelesini mümkün olduğunca yönetilebilir kılmak için emisyonun azaltılması gerekmektedir. Diğer taraftan ekonomik büyümenin de mümkün olan en uygun şekilde sürdürülebilir olması gereklidir. Ekonomik büyümenin en büyük lokomotifi ise enerjidir. Bu nedenle, ekonomik büyümenin sürdürülebilirliğinin sağlanmasının her zamankinden daha zorlu olduğu günümüzde, yenilenebilir enerji ile ekonomik büyümenin birbirini teşvik edici şekilde kullanılmasının önemini artan emisyon oranlarına bakıldığında daha da önem kazanmaktadır. Bu mekanizmadan beklenen, yenilenebilir enerjinin ekonomik büyümeyi teşvik etmesi, ekonomik büyüme için gerekli olan enerjinin ise yenilebilir kaynaklardan elde edilmesi ve böylece CO₂ emisyonunun bu mekanizma ile azaltılmasıdır.



Şekil 1. Çalışma Planı

Bu çalışmanın amacı, Şekil 1’de de görüldüğü üzere hava yolu taşımacılığı, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyümenin CO₂ emisyonu üzerindeki etkisini araştırmaktır. Çalışma, Beşli Ülke Grubu (G5) olarak ifade edilen Brezilya, Çin, Hindistan, Meksika ve Güney Afrika’yı ve 1990-2018 dönemini kapsamaktadır. G5 ifadesi, tarihsel olarak, Fransa, Japonya, Birleşik Krallık, ABD ve Batı Almanya gibi ülkelere atıfta bulunmak için kullanılmış olsa da çalışmada kullanılan ve Sosyal Yardım Beşlisi (O5) veya Artı Beşli (G8+5) olarak da adlandırılabilen G5 ülke grubu; hızla gelişen ve büyüyen, uluslararası düzende aktif bir rol için bir araya gelen, küresel zorluklara ortak çözümler üretmeye çalışan yani kısaca dünya sahnesinde giderek daha önemli olarak görülen beş ekonomiden oluşmaktadır. 2008 yılından itibaren var olan bu ülke grubu diğer “G” grupları gibi, üyeler ve diğer üye olmayanlar, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında diplomasi, ticaret, anlayış, diyalog ve politikayı teşvik etmeye gayret eden ülkelerin bir araya gelerek oluşturduğu bir topluluktur (Hayes, 2021; İto, 2012).

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Konuya ilişkin literatür incelendiğinde çalışmaların büyük çoğunluğunun CO₂ emisyonu, ekonomik büyüme ve enerji tüketimi arasındaki ilişkiye odaklandığını görmekteyiz. Bu çalışmaların bir kısmında kısa ve uzun dönem katsayılar tahmin edilirken, bir kısmında nedensellik analizleri ile ilişkinin yönü incelenmiştir. Dolayısıyla bu çalışmaların sonuçlarının, kullanılan yöntem, ele alınan ülkeye ve/veya ülke gruplarına ve döneme göre değiştiği dikkat çekmektedir. İlerleyen süreçte gelişen literatürle birlikte ampirik modellere; kentleşme, ticari açıklık, yenilenebilir enerji tüketimi gibi farklı değişkenler de dahil edilerek analizler yapılmıştır. İlgili literatür incelendiğinde en dikkat çekici noktalardan biri, spesifik olarak, hava taşımacılığı değişkeninin CO₂ emisyonu üzerindeki etkisini araştıran çalışmaların sayısının oldukça az olmasıdır. Bununla birlikte, CO₂ emisyonu, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme özelinde hava yolu taşımacılığını modele dahil eden çalışma sayısı ise, bilginiz dahilinde, çok daha azdır. Bu anlamda ulaşılabilen Adedoyin vd. (2021) tarafında yapılan analiz incelendiğinde ise hem örneklem ülke grubu hem de metodolojik olarak bu çalışmanın farklılaştığı görülmektedir. Literatürde yer alan ve çalışmada ele alınan karşılıklı ilişkileri özetleyen bazı önemli çalışmalar şu şekildedir:

Kasman ve Duman (2015) tarafından yeni AB üyesi ve aday ülkelerde CO₂ emisyonları, ekonomik büyüme, enerji tüketimi, ticaret ve kentleşme arasındaki ilişki 1992–2010 dönemi dikkate alınarak, panel birim kök testleri ve panel eşbütünlük yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen genel sonuçlara göre; reel gelir ve CO₂ emisyonu arasında Çevresel Kuznets Eğrisininin desteklendiğini gösteren ters “U” şeklinde bir eğrinin varlığına ulaşılmıştır. Kısa dönemde diğer bazı sonuçların yanında enerji tüketimi, ticari açıklık ve kentleşmeden CO₂ emisyonuna; Gayri Safi Yurtiçi Hasıla’dan (GSYH) enerji tüketimine doğru tek yönlü bir nedensellik olduğu bulgularına ulaşılmıştır. Uzun dönemde ise beş değişken arasında eş bütünlük bir ilişki olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Bu nedenle çalışmada bu ülkelerdeki politika yapıcılarının CO₂ emisyonunu kontrol altına almaya yönelik politikalar uygulamalarının önemine vurgu yapılmıştır.

Azam vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada Çin, ABD, Hindistan ve Japonya'da CO₂ emisyonunun ekonomik büyüme üzerinde etkisi olup olmadığı hipotezi incelenmiştir. Ampirik analiz için, 1971-2013 arasındaki döneme ait yıllık veriler kullanılmıştır. Veri özelliklerini kontrol etmek için ilgili ve uygun testler kullanıldıktan sonra, parametre tahmini için analitik bir teknik olarak panel Tamamen Değiştirilmiş En Küçük Kareler (FMOLS) yöntemi kullanılır. Çalışmaya göre CO₂ emisyonu ve enerji kullanımının ekonomik büyüme üzerinde önemli ölçüde olumsuz etkiler gösterdiği tespit edilmiştir. Diğer taraftan ticaret ve beşerî sermayenin ekonomik büyüme üzerinde önemli ölçüde olumlu etki gösterme eğiliminde olduğu görülmüştür. Ayrıca ülkeler tek tek ele alındığında ilgi dönemde CO₂ emisyonunun ABD, Çin ve Japonya'da ekonomik büyüme ile pozitif bir ilişki içinde olduğu tespit edilirken; Hindistan'da ise negatif bulunmuştur.

Ito (2016) çalışmasında 31 gelişmiş ülke ve 1996-2011 dönemini kapsayan çalışmada, panel En Küçük Kareler (OLS) ve Genelleştirilmiş Momentler Metodu (GMM) yöntemleri kullanılarak yapılan analiz sonucuna göre yenilenebilir enerji tüketimi CO₂ emisyonunu istatistiksel olarak anlamlı ve negatif, ekonomik büyüme ise pozitif etkilemektedir. Aynı yazar tarafından bu çalışma 2017 yılında geliştirilmiştir. 42 gelişmiş ülke ve 2002-2011 dönemini kapsayan çalışmada (Ito, 2017) ise GMM ve Havuzlanmış Ortalama Grup (PMG) tahmincilerini kullanarak analiz yapılmıştır. Ito (2017) çalışmasında elde edilen bulgular bir önceki çalışması ile paralellik göstermiştir.

Aye ve Edoja (2017) çalışmasında gelişmekte olan ülkelerde ekonomik büyümenin CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi dinamik bir panel eşik modelinden elde edilen kanıtlarla ortaya konulmaya çalışılmıştır. Analizde, 31 gelişmekte olan ülkeden alınan veriler kullanılmıştır. Yapılan analize göre; düşük büyüme rejimi altındaki ekonomik büyümenin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisinin olumsuz etkiye sahip olduğu, bu etkinin yüksek büyüme rejimindeki marjinal etkisinin ise pozitif olduğu tespit edilmiştir. Bu bulguların Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezini desteklemediği; CO₂ emisyonu, ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve finansal gelişme arasında önemli bir nedensellik ilişkisi olduğuna dair kanıtlar bulunduğu ifade edilmiştir.

Attiaoui vd. (2017) çalışması ise 22 Afrika ülkesi ve 1990-2011 dönemini kapsamaktadır. Oluşturulan modellerdeki katsayılarını tahmin etmek amacıyla Gecikmesi Dağıtılmış Otoregresif (ARDL)-PMG yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre uzun dönemde yenilenebilir enerji tüketimi, CO₂ emisyonunu istatistiksel olarak anlamlı ve negatif, ekonomik büyüme ise pozitif etkilemektedir.

Dong vd. (2018) tarafından Çin'de, Çevresel Kuznets Eğrisinin varlığının incelendiği çalışmada CO₂ emisyonunu azaltmada nükleer enerji ve yenilenebilir enerjinin rolleri ve bunlarla ekonomik büyüme arasındaki ilişki incelenmiştir. 1993-2016 yılları arasının ele alındığı ampirik çalışmada öncelikle yapısal kırılma birim kök testi yapılmıştır. Tüm değişkenler arasındaki eşbütünleşme ilişkisini incelemek ve yapısal kırılmaların etkisini gözlemlemek için ARDL sınır testi yaklaşımı kullanılmıştır. ARDL uzun ve kısa dönem tahminlerin geçerliliğini kontrol etmek için FMOLS, Dinamik OLS (DOLS) ve Kanonik Eşbütünleşme Regresyonu (CCR) gibi üç tahmin yöntemi kullanılarak, değişkenler arasındaki nedenselliğin yönünü tespit etmek için de Vektör Hata Düzeltme Modeli (VECM) Granger nedensellik yaklaşımı çalışmaya dahil edilmiştir. Buna göre; CO₂ emisyonu için Çevresel Kuznets Eğrisinin destekleyen kanıtlara ulaşılmıştır. Diğer taraftan ARDL tahminlerine göre hem uzun hem de kısa vadede, fosil yakıt tüketiminin Çin'de CO₂ emisyonu katkıda bulunabileceği görülmektedir. Diğer taraftan ise nükleer enerji ve yenilenebilir enerji tüketiminin artmasının çevre kalitesini iyileştirebileceğini görülmüştür.

Hasanov vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, CO₂ emisyonu ile ekonomik büyüme ilişkisinin Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezini destekleyip desteklemediği, 1992-2013 dönemi için Kazakistan özelindeki kanıtlarla ortaya konulmaya çalışılmıştır. Kübik fonksiyonel form ile başlanan çalışmada Johansen, ARDL, DOLS, FMOLS ve CCR eşbütünleşme gibi 5 farklı yöntem kullanılmış ve ekonomik büyümenin CO₂ üzerindeki etkisinin uzun vadede monoton bir biçimde arttığı tespit edilmiştir. Bu da Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinin Kazakistan için geçerli olmadığını göstermektedir.

Kahia vd. (2019) çalışmalarında 12 MENA (Middle East and North Africa) ülkesi ve 1980-2012 dönemine ilişkin panel veriler kullanılarak Sistem GMM yöntemi uygulanmıştır. Ito (2016, 2017) çalışmasının bulgularına paralel olarak yenilenebilir enerji tüketimi, CO₂ emisyonunu negatif, ekonomik büyüme pozitif etkilemektedir.

Bilan vd. (2019) tarafından AB ülkeleri üzerine yapılan çalışmalarında 1995-2015 dönemine ait panel veriler kullanılarak analiz yapılmıştır. Hem FMOLS hem de DOLS tahmin sonuçlarına göre yenilenebilir enerji tüketimi CO₂ emisyonunu istatistiksel olarak anlamlı ve negatif etkilemektedir. Ekonomik büyüme değişkenine ilişkin istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif bulgu sadece DOLS tahmincisi ile elde edilmiştir.

Anwar vd. (2020), 1980-2017 dönemi için Uzak doğu ülkelerinden oluşturdukları panelde CO₂ emisyonları, ekonomik büyüme, kentleşme ve ticari açıklık arasındaki ilişkiyi sabit etkiler modelini kullanarak araştırmışlardır. Buna göre ekonomik büyüme, kentleşme ve ticari açıklık CO₂ emisyonu ile önemli ölçüde ilişkilidir.

Erdogan vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada çevresel Kuznets eğrisi hipotezi, hava taşımacılığı çerçevesinde sınanmıştır. Çalışmada 1995-2014 dönemine ve en fazla hava taşımacılığı yapan ilk 10 ülkeye ilişkin veriler kullanılarak analiz yapılmıştır. FMOLS tahmin sonuçlarına göre hava yolu ulaşımı ve ekonomik büyüme CO₂ emisyonu üzerinde pozitif bir etkiye sahiptir.

Jebli ve Kahia (2020) tarafından CO₂ emisyonları, ekonomik büyüme, yenilenebilir ve yenilenemeyen enerjiler ve hizmet geliştirme arasındaki karşılıklı bağımlılığın 1980-2014 dönemi ve 65 ülkeyi kapsayarak ele alındığı çalışmada Vektör Otoregresif (VAR) modeli, Granger nedenselliği ve Toda-Yamamoto testleri kullanılmıştır. Çalışmaya göre örnek ülkeler için çevresel Kuznets eğrisinin geçerliliği desteklemektedir.

Aydoğan ve Vardar (2020) tarafından E7 ülkelerini ve 1990-2014 dönemini kapsayan çalışmalarında OLS tahmin sonuçlarına göre yenilenebilir enerji tüketimi CO₂ emisyonu üzerinde negatif, ekonomik büyüme üzerinde pozitif bir etkiye sahiptir.

Shaari vd. (2020) çalışması 20 ülke ve 1990-2017 dönemini kapsamaktadır. Analizde PMG, Ortalama Grup (MG) ve DFE tahmincileri kullanılmıştır. Bulgulara göre yenilenebilir enerji tüketimi CO₂ emisyonunu negatif, sadece PMG sonucuna göre ekonomik büyüme pozitif etkilemektedir.

Adedoyin vd. (2021) tarafından 1970-2018 dönemi için Japonya’da CO₂ emisyonu, ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik karmaşıklık endeksi ve hava yolu taşımacılığı arasındaki kısa ve uzun vadeli ilişkilerinin analizi için gelecekteki karşı olgusal verileri yakalamak için ARDL, Dinamik ARDL ve Çekirdek Tabanlı Düzenleştirilmiş En Küçük Kareler (KRLS) yöntemleri kullanılmıştır. ARDL ve Dinamik ARDL modellerinden elde edilen ampirik kanıtlar CO₂ emisyonları, kişi başına düşen GSYH, yenilenebilir enerji ve ekonomik karmaşıklık endeksi gibi değişkenlerin birbirleri ile uzun vade ilişkisi olduğunu göstermektedir. Hava yolu taşımacılığı ise kısa vadede önemlidir. Buna göre; kişi başına GSYH'deki bir birim artış, CO₂ emisyonunu uzun vadede %0,84-0,96, kısa vadede ise %0,46-0,48 artırmaktadır. Yenilenebilir enerjideki bir birim artış, CO₂ emisyonunu uzun vadede %0,07, kısa vadede ise %0,04 oranında azaltmaktadır. Ekonomik karmaşıklık endeksindeki artış, uzun vadede emisyonu %0,81 oranında azaltmıştır. Diğer taraftan ekonomik karmaşıklık endeksinin, çevresel bozulmayı azaltma açısından doğrudan bir etkisi olmasa da GSYH' in CO₂ emisyonu artışı üzerindeki rolünü yumuşatarak, CO₂ emisyonunu ve dolayısıyla çevresel bozulmaları azaltma üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu tespiti yapılmıştır.

Diğer çalışmalardan farklı olarak Radmehr vd. (2021) çalışmasında Mekansal İki Aşamalı EKK (GS2SLS) tahmincisi kullanılarak analiz yapılmıştır. 21 Avrupa ülkesi ve 1995-2014 dönemine ilişkin panel veriler kullanılarak yapılan analiz sonucu elde edilen bulgular, Ito (2016, 2017), Kahia, Jebli & Belloumi (2019) ve Shaari vd. (2020) vb. çalışmaların sonuçlarına paraleldir. Buna göre ekonomik büyüme ile CO₂ emisyonu arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. Ekonomik büyüme ile yenilenebilir enerji tüketimi arasında da iki yönlü nedensellik ilişkisi vardır. Ayrıca bulgular yenilenebilir enerjiden CO₂ emisyonuna doğru tek yönlü bir ilişkiye işaret etmektedir.

Cao vd. (2022) çalışmalarında 36 OECD ülkesi ve 1985-2018 dönemine ait panel veriler kullanılarak araştırma yapılmıştır. ARDL-PMG tahmincisi kullanılarak yapılan analiz sonucunda yenilenebilir enerji tüketiminin CO₂ emisyonunu istatistiksel olarak anlamlı ve negatif, ekonomik büyümenin istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif etkilediği bulgusu elde edilmiştir.

Habib vd. (2022) tarafından G20 ülkelerinde, 1990-2016 döneminde hava yolu taşımacılığı yoğunluğunun CO₂ emisyonu üzerindeki etkisinin test edildiği çalışmada Ağırlıklandırılmış Ortalama Grup (AMG) ve CCEMG tahmincileri kullanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, hava yolu yük taşımacılığı, hava yolu yolcu taşımacılığı ve hava yolu kargo taşımacılığı yoğunluğunun CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi özellikle uzun dönemde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitifdir. Daha özelde ise hava yolu yolcu taşımacılığının G20 ülkelerinde çevresel bozulmayı arttırdığı tespit edilmiştir. Diğer taraftan kentleşme ve turizm, ekonomik büyüme ve hava yolu taşımacılığı faktörleri CO₂ emisyonunu pozitif etkilemektedir. Çalışmaya göre, ham petrol fiyatları ise CO₂ emisyonunu önemli ölçüde azaltmaktadır.

Literatür incelemesinde görüldüğü üzere CO₂ emisyonu, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme değişkenlerinin birlikte ya da ayrı ayrı ele alındığı pek çok çalışma olmasına rağmen “hava yolu taşımacılığı” değişkeninin modellere dahil edildiği çalışmaların halen daha çok sınırlı düzeyde olduğu dikkat çekmektedir. Ayrıca, mevcut çalışmalar dahilinde, G5 ülkeleri için çeşitli makroekonomik göstergelerle birlikte bu ilişkiyi inceleyen bir çalışmaya rastlanmamıştır.

3. VERİ SETİ VE YÖNTEM

Çalışmada kullanılan tüm veriler Dünya Bankası veri tabanından elde edilmiştir. Kullanılan değişkenlere ilişkin bilgiler Tablo 1’de sunulmuştur. Analizde kullanılan değişkenler 1990-2018 dönemini ve Brezilya, Çin, Hindistan,

Meksika ve Güney Afrika'dan oluşan G5 ülkelerini kapsamaktadır. Ele alınan dönem ve ülkeler, tüm veri serilerinin ulaşılabilirliğine göre seçilmiştir.

Tablo 1. Değişkenlerin Tanımı

Değişkenlerin Adı	Semboller	Birimi
CO ₂ emisyonu	CO ₂	Bin Metrik Ton
Hava yolu Yolcu Taşımacılığı	airp	Taşınan Yolcu Sayısı (Milyon)
Hava yolu Yük Taşımacılığı	airf	Milyon Ton-Kilometre
Kişi Başına GSYH	pcgdp	Sabit, 2015 US\$
Yenilenebilir Enerji Tüketimi	energy	Kişi Başına Kg Petrol Eşdeğeri

Literatür ışığında oluşturulan modeller aşağıdaki gibidir:

$$Model 1: \ln CO_{2it} = \beta_0 + \beta_1 \ln airp_{it} + \beta_2 \ln pcgdp_{it} + \beta_3 \ln energy_{it} + u_{it} \quad (1)$$

$$Model 2: \ln CO_{2it} = \beta_0 + \beta_1 \ln airf_{it} + \beta_2 \ln pcgdp_{it} + \beta_3 \ln energy_{it} + u_{it} \quad (2)$$

Yukarıdaki modellerde $i=1,2,\dots,5$ panel veri setindeki her bir ülkeyi, $t=1990,\dots,2018$ dönemi, β sabit terimi ve u ise stokastik terimi göstermektedir. Her iki modelde de bağımlı değişken CO₂ emisyonu olup bağımsız değişken kişi başına GSYH ve yenilenebilir enerji tüketimidir. Bununla birlikte model 1'de bağımsız değişken olarak hava yolu yolcu taşımacılığı verisi kullanılmış olup model 2'de hava yolu yük taşımacılığı verisi kullanılmıştır. Hava yolu taşımacılığına ilişkin bu değişkenler, Habib vd. (2022) çalışması referans alınarak modellere dahil edilmiştir. Modellerdeki tüm değişkenlerin logaritmaları alınmıştır.

3.1. Ekonometrik Yöntem

3.1.1. Yatay kesit bağımlılığı ve homojenlik testleri

Panel veri çalışmalarında parametre tahminlerinin sonuçlarına ilişkin potansiyel sorunlardan biri yatay kesit bağımlılığıdır. N'nin küçük ve T'nin yeterince büyük olduğu durumlarda, hatalar arasındaki korelasyonlar, Zellner (1962) tarafından geliştirilen Görünürde İlişkisiz Regresyon Denklemi (SURE) kullanılarak istatistiksel olarak test edilebilmektedir. N sabit ve $T \rightarrow \infty$ olduğu için, log-olabilirlik oranı testleri de dahil olmak üzere geleneksel zaman serisi yöntemleri uygulanabilmektedir. Bu testin basit bir örneği, artıkların karelerinin ikili korelasyonunun ortalamasına dayanan Breusch ve Pagan (1980)'in Lagrange Çarpanı (LM) testidir. (Pesaran, 2021: 14). LM test istatistiği aşağıdaki gibidir:

$$LM = T \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{\rho}_{ij}^2 \quad (3)$$

LM testi, grup ortalaması sıfır ve bireysel ortalama sıfırdan farklı olduğunda sapmalı olacağı için Pesaran vd. (2008) tarafından bu sapma düzeltilmiştir. Düzeltilmiş (Adjusted) LM (LM_{adj}) olarak ifade edilen test istatistiği aşağıdaki gibidir (Pesaran vd., 2008: 108):

$$LM_{adj} = \sqrt{\left(\frac{2}{N(N-1)}\right)} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{(T-k)\hat{\rho}_{ij}^2 \mu_{Tij}}{v_{Tij}} \quad (4)$$

“Yatay kesit bağımlılığı yoktur” olarak ifade edilen boş hipotez (H₀), alternatif hipoteze (H₁) karşılık test edilmektedir. Bu hipotezler aşağıdaki gibidir:

$$H_0: cov(u_{it}u_{jt}) = 0 \text{ for all } t$$

$$H_1: cov(u_{it}u_{jt}) \neq 0 \text{ for at least one pair of } i \neq j$$

Panel veri analizlerinde ikinci önemli sorun eğim katsayılarının homojen olup olmadığına karar vermektir. Çalışmada birimlerin homojen veya heterojen özelliklerden hangisini gösterdiğini incelemek amacıyla öncelikle Swamy (1970) çalışmasında geliştirilen homojenlik testi uygulanmıştır. Bu test, uygun bir havuzlanmış tahminciden elde edilen birim eğim parametre tahminlerinin dağılımına dayanmaktadır. Swamy testi, F testinde olduğu gibi N'nin T'ye göre küçük olduğu panel örneklem için geliştirilmiş olup bu test yatay kesit için değişen varyansa izin vermektedir (Pesaran & Yamagata, 2008: 54). Eğim katsayılarına uygulanan Swamy istatistiği şu şekilde yazılabilir:

$$\hat{S} = \sum_{i=1}^N (\hat{\beta}_i - \hat{\beta}_{WFE})' \frac{X_i' M_T X_i}{\hat{\sigma}_i^2} (\hat{\beta}_i - \hat{\beta}_{WFE}) \quad (5)$$

Yukarıdaki denklemde $\hat{\beta}_i$ havuzlanmış EKK tahmincisini, $\hat{\beta}_{WFE}$ ağırlıklandırılmış sabit etkiler havuzlanmış tahminciyi, M_T özdeş matrisi ve $\hat{\sigma}_i^2$ in tahmincisini göstermektedir. N sabit ve $T \rightarrow \infty$ olduğu durumda, S testi

$k(N-1)$ serbestlik dereceli asimptotik ki-kare dağılımına sahiptir. Homojenlik testine ilişkin hipotezler aşağıdaki gibidir:

$$H_0: \beta_i = \beta \text{ for all } i,$$

$$H_1: \beta_i \neq \beta_j \text{ for a non - zero fraction of pairwise slopes for } i \neq j$$

“Eğim parametreleri homojendir” şeklinde ifade edilen boş hipoteze (H0) karşılık, alternatif hipotez (H1) test edilmektedir. Öncü çalışma olan Swamy (1970) testi daha sonra Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından geliştirilmiştir. Delta (Δ) olarak adlandırılan bu test hem N ve T büyük olduğu durumlarda geçerlidir hem de birime özgü standart hatalarla ağırlıklandırıldığı için artıkların değişen varyanslılığına izin vermektedir (Pesaran & Yamagata, 2008; Bersvendsen & Ditzgen, 2020). Delta test istatistiği aşağıdaki gibidir:

$$\hat{\Delta} = \sqrt{N} \left(\frac{N^{-1} \hat{S} - k}{\sqrt{2k}} \right) \quad (6)$$

$\hat{\Delta}$ testinin küçük örneklem özellikleri, hataların normal dağılıma sahip olduğu varsayımı altında geliştirilebilir. Testin sapması düzeltilmiş versiyonu aşağıdaki gibidir:

$$\hat{\Delta}_{adj} = \sqrt{N} \left(\frac{N^{-1} \hat{S} - E(\hat{z}_{iT})}{\sqrt{var(\hat{z}_{iT})}} \right) \quad (7)$$

Denklemden yer alan $E(\hat{z}_{iT}) = k$ ve $\sqrt{var(\hat{z}_{iT})} = 2k(T - k - 1)/T + 1$ olarak tanımlanmaktadır.

3.1.2. Panel birim kök testleri

Çalışmada ilk olarak, Reese ve Westerlund (2016) tarafından geliştirilen ve yatay kesit ortalamalarını dikkate PANICCA panel birim kök testi uygulanmıştır. Reese ve Westerlund (2016) çalışmasında hem genel hem de basit nitelikte ancak küçük örneklem performansı iyi olan bir test prosedürü önerilmiştir. Buna göre küçük örneklemelerde PANIC (Panel Analysis of Nonstationarity Idiosyncratic and Common Components) testine yönelik, tahmini PC (Principal Components)’den ziyade tahmini CA (Cross-Section Avarage) bileşenlerinin uygulanmasının daha doğru olduğu ifade edilmiştir. PANICCA testinin bazı avantajları vardır. İlk olarak, PANICCA, PANIC’in çoğu özelliğini taşır ve verilerin hem ortak hem de kendine özgü bileşenlerinin birim kök ve eşbütünlüğe özelliklerine ilişkin çıkarım sağlar. Bu nedenle PANICCA, eksiksiz bir panel birim kök işlevi olarak görülebilir. İkincisi, CA’ı temel alan PANICCA, genelliği göz önüne alındığında, oldukça basittir, temel ortalama alma ve en küçük kareler işlemlerinden başka bir işlem gerektirmez. Üçüncüsü, PANICCA, PANIC ile aynı asimptotik teoriye sahiptir. Bu nedenle uygun kritik değerler doğrudan Bai ve Ng (2004, 2010) çalışmalarından alınabilir. Dördüncüsü, PC yerine CA’nın kullanılması, özellikle uygulamalı çalışmalarda sıklıkla karşılaşılan, küçük ve orta büyüklükteki N panel veri setleri için çok daha iyi sonuçlar verir (Reese ve Westerlund, 2016: 962). Dolayısıyla $N < T$ olduğu durumlarda PANIC testi zayıf kaldığı için PANICCA birim kök testi uygulanmıştır. Her bir $p=0$ ve $p=1$ için eit’in birim kök testi için üç test istatistiği geliştirilmiştir ve bunlar Pa,p, Pb,p ve PMSB olarak ifade edilmiştir. PMSB, Bai ve Ng (2010)’in panel düzeltilmiş Sargan-Bhargava test istatistiklerini göstermektedir.

$p=0$ için;

$$P_{a,p} = \frac{\sqrt{NT}(\hat{\rho}_0^+ - 1)}{\sqrt{2\hat{\varphi}_\epsilon^4 / \hat{\omega}_\epsilon^4}} \quad (8)$$

$$P_{b,p} = \frac{\sqrt{NT}(\hat{\rho}_0^+ - 1)}{\sqrt{\hat{\varphi}_\epsilon^4 / [\hat{\omega}_\epsilon^2 N^{-1} T^{-2} \sum_{i=1}^N (e_{i,-1}^0)' e_{i,-1}^0]}} \quad (9)$$

$$PMSB_0 = \frac{\sqrt{N(N^{-1} T^{-2} \sum_{i=1}^N (e_{i,-1}^0)' e_{i,-1}^0 - \hat{\omega}_\epsilon^2 / 2)}}{\sqrt{\hat{\varphi}_\epsilon^4 / 3}} \quad (10)$$

$p=1$ için;

$$P_{a,p} = \frac{\sqrt{NT}(\hat{\rho}_1^+ - 1)}{\sqrt{36\hat{\sigma}_\epsilon^2 \hat{\varphi}_\epsilon^4 / 5\hat{\omega}_\epsilon^8}} \quad (11)$$

$$P_{b,p} = \frac{\sqrt{NT}(\hat{\rho}_1^+ - 1)}{\sqrt{6\hat{\varphi}_\epsilon^4 \hat{\sigma}_\epsilon^4 / [5\hat{\omega}_\epsilon^6 N^{-1} T^{-2} \sum_{i=1}^N (e_{i,-1}^1)' e_{i,-1}^1]}} \quad (12)$$

$$PMSB_1 = \frac{\sqrt{N(N^{-1} T^{-2} \sum_{i=1}^N (e_{i,-1}^1)' e_{i,-1}^1 - \hat{\omega}_\epsilon^2 / 6)}}{\sqrt{\hat{\varphi}_\epsilon^4 / 45}} \quad (13)$$

Birim kök testine ilişkin hipotezler aşağıdaki gibidir:

$$H_0: \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_N = 1$$

$$H_1: |\rho_i| < 1$$

“Seriler birim kök içermektedir” boş hipotezine (H0) karşılık, alternatif hipotez (H1) test edilmektedir. Birim kök boş hipotezi altında tüm test istatistikleri $N(0,1)$ ’ e yakınsamaktadır.

3.1.3. Panel eşbütünleşme testi

İktisadi çalışmalarda değişkenler arasındaki eşbütünleşme ilişkisinin varlığı çoğunlukla Kao, Pedroni, Johansen vb. panel eşbütünleşme testleri sınanmıştır. Ancak bu testler, yatay kesit bağımlılığını göz ardı ettikleri için bu çalışmada LM bootstrap panel eşbütünleşme testi uygulanmıştır. Westerlund ve Edgerton (2007) tarafından geliştirilen bu test, McCoskey ve Kao (1998)’ un LM testine dayanmaktadır. Bu eşbütünleşme testi, yatay kesit bağımlılığını ve heterojeniteyi dikkate almakta, küçük örneklerde dahi tutarlı sonuçlar vermekte ve eşbütünleşme denkleminde otokorelasyon ve değişen varyansa izin vermektedir. LM Bootstrap panel eşbütünleşme testi aşağıdaki denklemde tanımlanmıştır:

$$LM_N^+ = \frac{1}{NT^2} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{\omega}_i^{-2} \hat{S}_{it}^2 \quad (14)$$

Yukarıdaki denklemde S_{it} , FMOLS yöntemi ile tahmin edilen modeldeki \hat{z}_{it} hata terimlerinin kısmi toplamlarını ve $\hat{\omega}_i^{-2}$ tahmin edilen hata terimlerinin uzun dönem varyansını göstermektedir. Bu testin boş hipotezi “seriler arasında eşbütünleşme ilişkisi vardır” iken alternatif hipotez “seriler arasında eşbütünleşme ilişkisi yoktur” şeklinde ifade edilmiştir. Yatay kesit bağımlılığı olduğu durumlarda bootstrap olasılık değerleri dikkate alınmaktadır.

3.1.4. Ağırlıklandırılmış ortalama grup (AMG) tahmincisi

Tüm MG temelli tahminciler arasında aynı metodolojiyi takip etmektedir. Birinci aşamada birim bazında OLS regresyonları tahmin edilir, ikinci aşamada ise birimler bazında tahmin edilen katsayıların ortalaması alınır. Pesaran ve Smith (1995) tarafından geliştirilen MG tahmincisi yatay kesit bağımlılığını göz ardı etmektedir. Buna karşılık, Pesaran (2006) tarafından geliştirilen Ortak İlişkili Etkiler Ortalama Grup (CCEMG) tahmincisi hem yatay kesit bağımlılığını hem de heterojeniteyi dikkate almaktadır. AMG tahmincisi ise CCEMG tahmincisine bir alternatif olarak Eberhardt ve Teal (2010) tarafından geliştirilmiştir (Eberhardt, 2012).

Eberhardt ve Teal (2010) tarafından iki aşamalı bir prosedür önerilmektedir:

$$(i) \Delta y_{it} = b' \Delta x_{it} + \sum_{t=2}^T c_t \Delta D_t + e_{it} \quad \Rightarrow \hat{c}_{it} \equiv \hat{\mu}_t \quad (15)$$

$$(ii) y_{it} = \alpha_{it} + b^{xit} + c_i t + d_i \hat{\mu}_t + e_{it} \quad \hat{b}_{AMG} = N^{-1} \sum_i \hat{b}_i \quad (16)$$

Birinci aşamada (i) model, durağan olmayan değişkenlerin ve gözlemlenemeyen faktörlerin, değişkenlerin düzeydeki değerleri ile yapılan regresyon analizinde sonuçların sapmalı olacağı düşüncesinden hareketle, standart bir birinci farklar OLS yöntemi ile tahmin edilmektedir. Burada $\hat{\mu}_t$ olarak temsil edilen değişken, zaman kukla katsayıları toplanarak elde edilmektedir. İkinci aşamada (ii) ise her bir yatay kesite ait $\hat{\mu}_t$ zaman kukla değişkeni ve doğrusal bir trend terimi modele dahil edilmektedir. Bu şekilde AMG tahminleri, birim ülke tahminlerinin ortalaması alınarak elde edilmektedir.

4. AMPİRİK BULGULAR

Bu çalışmada, hava taşımacılığı, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyümenin CO2 emisyonu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. G5 ülkelerini kapsayan çalışmanın korelasyon matrisi ve tanımlayıcı istatistiklerine ilişkin bilgiler EK Tablo A1 ve A2 sunulmuştur.

Yatay kesit bağımlılığı ve eğim homojenliği testlerine ilişkin sonuçlar Tablo 2 ve Tablo 3’te yer almaktadır. LM ve LMadj testleri sonuçlarına göre tüm değişkenler için yatay kesit bağımlılığının boş hipotezi %1 anlamlılık düzeyinde reddedilmiştir. Dolayısıyla modelde yatay kesit bağımlılığının olduğu tespit edilmiştir. Eğim homojenliğinin sınanmasına ilişkin test sonuçlarına göre de boş hipotez %1 anlamlılık düzeyinde reddedilmiştir. Bu durumda panelde eğim heterojenliği olduğu ve model tahmin aşamalarında dikkate alınması gerektiği görülmüştür.

Tablo 2. Yatay Kesit Bağımlılığı

Değişkenler	LM	Olasılık Değeri	LM _{adj}	Olasılık Değeri
	İstatistik		İstatistik	
lnCO ₂	264,6974***	0,000	56,8627***	0,000
lnairp	252,9172***	0,000	54,2286***	0,000

lnairf	144,1825***	0,000	29,9148***	0,000
lnpcgdp	251,0273***	0,000	53,8060***	0,000
lnenergy	147,2285***	0,000	30,5959***	0,000

Not: ***, istatistiksel olarak %1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tablo 3. Homojenite Test Sonuçları

Testler	Model 1		Model 2	
	İstatistik	Olasılık Değeri	İstatistik	Olasılık Değeri
$\hat{\Delta}$	4,408***	0,000	1,626**	0,052
$\hat{\Delta}_{adj}$	4,748***	0,000	1,751**	0,040
Swamy S	15.953,39***	0,000	15.806,53***	0,000

Not: **, * istatistiksel olarak %1 ve %5 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tablo 4'te PANIC ve PANICCA birim kök testleri sonuçları yer almaktadır.

Tablo 4. Panel Birim Kök Testleri

PANIC	lnCO ₂	lnairp	lnairf	lnpcgdp	lnenergy
pa	3,949 (1,000)	-1,196 (0,116)	0,445 (0,672)	-4,026*** (0,000)	3,494 (1,000)
pb	2,088 (0,982)	-1,052 (0,146)	0,414 (0,661)	-2,537*** (0,006)	9,590 (1,000)
PMSB	-1,145 (0,126)	-0,379 (0,352)	-0,081 (0,468)	-1,167 (0,112)	15,283 (1,000)
PANICCA	lnCO ₂	lnairp	lnairf	lnpcgdp	lnenergy
pa	0,582 (0,720)	0,254 (0,600)	-0,549 (0,291)	-0,180 (0,429)	0,275 (0,608)
pb	0,485 (0,686)	0,363 (0,642)	-0,612 (0,270)	-0,211 (0,416)	0,288 (0,613)
PMSB	-0,410 (0,341)	2,198 (0,986)	0,554 (0,710)	0,846 (0,801)	0,355 (0,639)

Not: ***, istatistiksel olarak %1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

PANICCA birim kök test sonuçlarına göre tüm seriler I(1), diğer bir ifadeyle birim kök içermektedir. Buna göre ülke ekonomilerine gelen bir şokun etkisi kalıcı niteliktedir. Ayrıca serilerin I(1) olması eşbütünlüşme testlerinin yapılabilmesi için de ön koşulu sağlamaktadır. Panel eşbütünlüşme testi sonucu elde edilen bulgular Tablo 5'te yer almaktadır.

Tablo 5. Panel Eşbütünlüşme Testleri

Testler	Model 1	Model 2
lm stat.	-0,160	0,426
Bootstrap Olasılık Değeri	0,999	0,985
Asymp Olasılık Değeri	0,564	0,335

Yatay kesit bağımlılığı olduğu durumlarda bootstrap kritik değerlerin dikkate alınması gerekmektedir. Buna göre boş hipotez reddedilememiştir. Dolayısıyla her iki modelde de seriler arasında eşbütünlüşme ilişkisi olduğu görülmüştür. Hem yatay kesti bağımlılığını hem de heterojeniteyi dikkate alan eşbütünlüşme katsayı tahmincisi AMG ile modeldeki katsayılar tahmin edilmiştir. Sonuçlar, Tablo 6 ve Tablo 7'de sunulmuştur.

Tablo 6. Model 1 Sonuçları

Ülkeler	Sabit	lnairp	lnpcgdp	lnenergy
Brezilya	0,04615*** (0,000)	-0,02142 (0,713)	0,49583*** (0,012)	-0,93713*** (0,000)
Çin	0,04514** (0,023)	0,06217 (0,303)	0,06922 (0,795)	-0,64111*** (0,000)
Hindistan	0,04820*** (0,000)	-0,00153 (0,972)	0,26366 (0,289)	-0,79395*** (0,008)
Meksika	0,03358*** (0,000)	-0,04364 (0,121)	0,85328*** (0,000)	-0,38173*** (0,000)
Güney Afrika	0,04155*** (0,000)	-0,05066 (0,559)	0,87350*** (0,011)	0,00593 (0,959)
Panel	0,04292*** (0,000)	-0,01101 (0,586)	0,51110*** (0,001)	-0,54960*** (0,001)

Wald chi2 293,67***
(0,000)

Not: ***, ** istatistiksel olarak %1 ve %5 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tablo 6'ya göre panel bazında kişi başına GSYH (lnpcgdp), CO₂ emisyonunu (lnCO₂) istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif etkilerken, yenilenebilir enerji tüketimi (lnenergy) istatistiksel olarak anlamlı ve negatif etkilemektedir. Ancak hava yolu yolcu taşımacılığı (lnairp) değişkenine ilişkin istatistiksel olarak anlamlı bir bulgu elde edilememiştir. Ülke bazında sonuçlar incelendiğinde Brezilya, Meksika ve Güney Afrika için kişi başına GSYH (lnpcgdp) CO₂ emisyonunu (lnCO₂) istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif etkilerken, Çin ve Hindistan için istatistiksel olarak anlamlı bir bulgu elde edilememiştir. Güney Afrika hariç diğer ülkelerde yenilenebilir enerji tüketimi (lnenergy) CO₂ emisyonunu (lnCO₂) istatistiksel olarak anlamlı ve negatif etkilemektedir. Hiçbir ülke için hava yolu yolcu taşımacılığına (lnairp) ilişkin istatistiksel olarak anlamlı bir bulgu elde edilememiştir.

Tablo 7. Model 2 Sonuçları

Ülkeler	Sabit	lnairf	lnpcgdp	lnenergy
Brezilya	0,04568*** (0,000)	-0,02906 (0,416)	0,48382*** (0,005)	-0,92225*** (0,000)
Çin	0,04489** (0,019)	-0,06386* (0,070)	0,25552 (0,298)	-0,65391*** (0,000)
Hindistan	0,04574*** (0,000)	-0,01769 (0,573)	0,31914 (0,186)	-0,82792*** (0,004)
Meksika	0,03240*** (0,000)	-0,00027 (0,992)	0,71379*** (0,000)	-0,40739*** (0,000)
Güney Afrika	0,03912*** (0,000)	0,00438 (0,892)	0,76968** (0,012)	-0,01264 (0,991)
Panel	0,04157*** (0,000)	-0,02130* (0,081)	0,50839*** (0,000)	-0,56482*** (0,001)
Wald chi2	349,54*** (0,000)			

Not: ***, **, ve * istatistiksel olarak %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tablo 7'de panel bazındaki sonuçlar incelendiğinde kişi başına GSYH (lnpcgdp) ve yenilenebilir enerji tüketimi (lnenergy) için model 1 ile paralel sonuçlar elde edilmiştir. Model 1'den farklı olarak ise hava yolu yük taşımacılığı (lnairf) CO₂ emisyonunu (lnCO₂) istatistiksel olarak anlamlı ve negatif etkilemektedir. Ülke bazında sonuçlar incelendiğinde ise Çin ve Hindistan hariç diğer ülkelerde kişi başına GSYH (lnpcgdp) CO₂ emisyonunu (lnCO₂) istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif etkilemektedir. Güney Afrika hariç diğer ülkelerde yenilenebilir enerji tüketimi (lnenergy) CO₂ emisyonunu (lnCO₂) istatistiksel olarak anlamlı ve negatif etkilemektedir. Sadece Çin için hava yolu yük taşımacılığı (lnairf) CO₂ emisyonunu (lnCO₂) istatistiksel olarak anlamlı ve negatif etkilemektedir.

4.1. Dirençlilik Analizi

Çalışmanın bu bölümünde, AMG tahmincisinden elde edilen bulgular; MG tahmincisi ve CCEMG² tahmincisi olmak üzere iki farklı yöntem kullanılarak dirençlilik (robustness) açısından ayrıca test edilmiştir. MG, CCEMG ve AMG sonucu elde edilen bulgular Tablo 8'de yer almaktadır. MG ve CCEMG tahmincilerinin uzun dönem tahminlerine ilişkin tüm değişkenlerin işaretlerinin benzer olması, AMG tahmincisinin tutarlı ve dirençli olduğunu göstermektedir.

Tablo 8. Analiz Sonuçları

Değişkenler	MG	CCEMG	AMG
Model 1:			
lnairp	-0,01861 (0,471)	-0,01343 (0,444)	-0,01101 (0,586)
lnpcgdp	0,50541** (0,017)	0,47582*** (0,007)	0,51110*** (0,001)
lnenergy	-0,55793*** (0,006)	-0,61586*** (0,000)	-0,54960*** (0,001)
Sabit	0,02023*** (0,001)	0,00403 (0,557)	0,04292*** (0,000)
Ülkeler	5	5	5
Gözlem Sayısı	140	140	140
RMSE	0,0238	0,0181	0,0213

² MG ve CCEMG testleri için daha detaylı bilgiler ve teknik açıklamalar Pesaran and Smith (1995) and Pesaran (2006) çalışmalarında yer almaktadır.

Wald chi2	21,31*** (0,000)	1856,48*** (0,000)	293,67*** (0,000)
Model 2:			
lnairf	-0,01661 (0,310)	-0,02645*** (0,006)	-0,02130* (0,081)
lnpcgdp	0,47925*** (0,005)	0,47833*** (0,008)	0,50839*** (0,000)
lnenergy	-0,57934*** (0,003)	-0,64617*** (0,000)	-0,56482*** (0,001)
Sabit	0,01875*** (0,005)	0,00581 (0,394)	0,04157*** (0,000)
Ülkeler	5	5	5
Gözlem Sayısı	140	140	140
RMSE	0,0239	0,0180	0,0213
Wald chi2	24,25*** (0,000)	1588,80*** (0,000)	349,54*** (0,000)

Not: ***, **, ve * istatistiksel olarak %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyini göstermektedir. RMSE, Kök Ortalama Kare Hatasını göstermektedir.

MG, CCEMG ve AMG tahmincileri ile tahmin edilen Model 1 sonuçlarına göre kişi başına GSYH (lnpcgdp) CO₂ emisyonunu (lnCO₂) istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif etkilerken, yenilenebilir enerji tüketimi (lnenergy) istatistiksel olarak anlamlı ve negatif etkilemektedir. Hava yolu yolcu taşımacılığına ilişkin istatistiksel olarak anlamlı bir bulgu elde edilememiştir.

Model 2 sonuçlarına göre ise CCEMG ve AMG tahmincisi sonucu elde edilen kişi başına GSYH (lnpcgdp) ve yenilenebilir enerji tüketimi (lnenergy) bulguları MG ile paralellik göstermektedir. CCEMG ve AMG tahmin sonuçlarına göre hava yolu yük taşımacılığı (lnairf) CO₂ emisyonunu (lnCO₂) istatistiksel olarak anlamlı ve negatif etkilemekte olup, MG tahmincisine göre istatistiksel olarak anlamlı bir bulgu elde edilememiştir.

5. SONUÇ

Küresel düzeyde yaşanan gelişmelerle birlikte ülkeler arasında artan ekonomik rekabet, umulundan farklı sonuçlarda ortaya çıkarmıştır. Ekonomik büyüme ve sonrasında ortaya çıkan kalkınma süreçleri dünyayı ciddi düzeyde kirlilik ile karşı karşıya bırakmıştır. Çevresel bozulmaların bu hızla devam etmesinin insanlığı, ilerleyen süreçte geri dönülmez problemlerle karşı karşıya bırakacağı açıktır. Bu süreçlerin yarattığı etkilerin artık çok daha görünür olması ülkeleri pek çok önlem almaya itmektedir. Örneğin Yeşil Dönüşüm gibi ekonomik, çevresel ve sosyal sistemlerin değişimine yönelik pek çok araç ve politika hayata geçirilmeye gayret edilmektedir. Ekonomik büyümeden vazgeçmenin mümkün olmadığı bu süreçte çevreye daha duyarlı sürdürülebilir politikaların hayata geçirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Emisyon oranlarının azaltılması, yenilenebilir enerjinin geliştirilmesi, üretim ve tüketimde kaynak kullanım verimliliğinin artırılması, çevreye duyarlı ürün ve hizmetlerin sunulması, kentleşmenin amaçlarla uyumlu olmasının sağlanması gibi pek çok eylemin, ekonomi ve politika yapıcılar tarafından küresel bakış açısıyla kapsayıcı ve adaletli bir biçimde geliştirilmesi gerekmektedir. Emisyon oranlarının artışında pek çok faktör etkili olmakla birlikte son on yıllar boyunca artan hava yolu taşımacılığı bu faktörlerin en önemlilerinden biri haline gelmiştir. Bu nedenle artan emisyon oranları üzerinde hava yolu taşımacılığının etkisi çalışmanın ana motivasyonu olmuş, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme değişkenleri ile birlikte çalışmaya dahil edilmiştir. G5 olarak ifade edilen Brezilya, Çin, Hindistan, Meksika ve Güney Afrika ülkeleri daha önce ifade edildiği üzere hızla büyüyen ve ciddi düzeyde yüksek nüfusa sahip ülkelerdir. Bu bağlamda çalışmada Brezilya, Çin, Hindistan, Meksika ve Güney Afrika'da hava taşımacılığı, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyümenin CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi 1990-2018 dönemi dikkate alınarak ampirik olarak araştırılmıştır. Ampirik analizde, katsayılar, AMG yöntemi kullanılarak tahmin edilmiştir.

Panel bazında elde edilen ampirik sonuçlara göre, hava yolu yük taşımacılığı CO₂ emisyonunu istatistiksel olarak anlamlı ve negatif etkilerken, hava yolu yolcu taşımacılığına ilişkin istatistiksel olarak anlamlı bir bulgu elde edilememiştir. Bu bulgular Habib vd. (2022) çalışmasının bulguları ile örtüşmemektedir. Diğer taraftan genel olarak bakıldığında hava yolu yük taşımacılığı diğer tüm yük taşımacılık türlerinden (modern kamyon veya kamyon, modern tren, modern gemi, zeplin gibi) yük ve km başına çok daha fazla CO₂ salımı yaratmaktadır (BVF, 2019). Chandler vd. (2002) tarafından yapılan çalışmaya göre bu beş ülke ekonomik kalkınma ve yoksulluğun azaltılması, enerji güvenliği ve yerel çevre koruma gibi motivasyonlarla CO₂ emisyonlarını azaltmak için yoğun çaba sarf etmeyi taahhüt etmişleridir. Birçok gelişmekte olan ülke kendilerini bağlayan düşük emisyon oranları hedefleri için isteksiz davranmasına ve hatta önce daha zengin ülkelerin harekete geçmesini istedikleri halde bu beş ülke kendi emisyonlarını azaltan çabalar ortaya koymuşlardır. Dolayısı ile düşük emisyon oranlarına ulaşmak konusunda 2010 ve 2020 yılları için kendilerine hedefler koymuş, bu hedefleri doğrultusunda belirledikleri miktarlarda emisyon azaltımını sağlayabilmek için alternatif stratejiler de üretmişlerdir. Dolayısı ile bu beş ülkenin sera gazı emisyon oranı artışlarını önemli ölçüde azaltmak üzere gösterdikleri çabalar bu sonucun ortaya çıkmasına neden olmuş olabilir. Diğer taraftan, dünya genelinde hava yolu yük taşımacılığının artan miktarına paralel olarak

bu ülkelerde de artan bir trendle yük taşımacılığı hava yolu ile yapılmaya başlanmıştır. Böylece karayolundan çekilen çok miktardaki araçla birlikte karbon emisyon oranlarında yaşanan emisyon düşüş miktarı artan hava yolu yük taşımacılığından kaynaklanan emisyon yükseliş miktarından fazla olabilir. Yani artan hava yolu yük taşımacılığının yaratabileceği pozitif emisyon etkisi negatife dönmüş olabilir.

Ekonomik büyümenin CO₂ emisyonunu istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif etkilediği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, hava yolu taşımacılığının analize dahil edildiği Erdogan vd. (2020) ve Habib vd. (2022) çalışmalarını destekler niteliktedir. Hava yolu taşımacılığının CO₂ emisyonu üzerindeki pozitif etkisini azaltmak için ise; enerji açısından verimli politikaların geliştirilmesinin, katalitik konvertör gibi yüksek teknoloji inovasyonunun desteklenmesi ile yakıt verimliliği yüksek ve düşük karbon salımı olan araçların tasarlanmasının ve üretilmesinin, hava yolu taşıma faaliyetlerinin uyumlaştırılarak sefer sayılarının azaltılmasına yönelik uygulamaların planlanmasının önemli olduğu söylenebilir. Çevreye daha duyarlı bir ulaşım imkânı portföyü geliştirilmek ve bu politikaları desteklemek amacıyla demiryolu taşımacılığı (Erdogan vd., 2020) ya da sadece bir gemi ile 400'den fazla tırın trafikten çekebildiği Ro-Ro taşımacılığı (Globelink Ünimar, 2022) gibi ulaşım imkânları da hava yolu ulaşımı ile birlikte daha dengeli bir biçimde kullanılabilir. Diğer taraftan uluslararası denizcilik faaliyetlerinin kullanılmasından bahsederken; birçok kargo gemisinin petrol arıtma sürecinin çamurlu tortularından üretilen "bunker yakıtı" nı hala kullanması gibi nedenlerle, 2019 yılındaki CO₂ emisyonunun %2'sinden sorumlu olmasını da dikkate almak gerekmektedir. Yani en yüksek emisyon salımının ortaya çıktığı hava yolu taşımacılığını azaltmak için önerilen deniz ulaşım faaliyetlerinin de dikkatle izlenmesinde, düzenlenmesinde fayda vardır. Örneğin dünyanın en büyük konteyner taşımacılığı şirketi olan Maersk'ın, bu konuya bir çözüm olarak karbon nötr olduğunu iddia ettiği "e-metanol" ile gemilerini hareket ettirmeye yönelik çalışmalar yaptığını ifade etmesi bu açıdan önemlidir (Meacock, 2021).

Ayrıca, hava yolu taşımacılığının CO₂ emisyonları üzerindeki pozitif etkisini azaltmak için normal jet yakıtları yerine ikame edilmeye çalışılan Sürdürülebilir Havacılık Yakıtı (SAF-Sustainable Aviation Fuel) gibi yakıt türlerinin kullanımının artırılması da önem arz etmektedir. Çünkü SAF'ın havayollarında kullanılması halinde; hava kalitesine pozitif yönde katkı sunabileceği, düşük enerji maliyetleri gibi ekonomik fırsatlar sunabileceği, enerji arzına çeşit ve istikrar bağlamında katkı yapabileceği, sunduğu verimlilik ile uçak operasyonlarını iyileştirebileceği ve nihayetinde iklim değişikliğini azaltabileceği umulmaktadır. Ancak mevcut süreçte, SAF üretim miktarları, pazar büyüklüğü sürekli artan havayollarının yakıt ihtiyaçlarının hala sadece küçük bir kısmını sağlayabilmektedir (Heyne vd., 2021: 1). Diğer taraftan ilgili ülkelerdeki fosil yakıt kullanım miktarlarının yüksek olmasının da bu ilişkinin yönünü belirlediği söylenebilir. Çalışmadan elde edilen ekonomik büyüme-CO₂ ilişkisi bulguları, Zhang ve Wang (2013), Kasman ve Duman (2015), Azam vd. (2016), Aye ve Edoja (2017), Hasanov vd. (2019), Anwar vd. (2020), Adedoyin vd. (2021) ve Radmehr, vd. (2021) çalışmalarını destekler niteliktedir. Ekonomik büyüme ve CO₂ emisyonu diğer pek çok çalışmada ifade edildiği üzere birbiri ile ilişkilidir. Yani ekonomik büyüme ve kirlilik iç içe geçmiş konular gibi görünmektedir. Başka bir açıdan bakıldığında ise ilgili ülke grubunun artan nüfusunun enerji talebinin de karşılanmasını gerektirmektedir. Bu durumun çevresel etkilerinin görmezden gelinerek sürdürülebilmesi ise mümkün değildir. Ekonomik büyümeden de vazgeçmek mümkün olmadığına göre sürdürülebilir ekonomik büyümenin sağlanması ve çevreye daha duyarlı olunması adına ekonomik büyümenin lokomotifleri olan enerjinin; güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve doğal gaz gibi temiz ve yenilenebilir enerjiden sağlanması çok daha önemli bir hale gelmektedir. Bu amaçla yenilenebilir enerji kaynaklarına uzun vadeli yatırımların teşvik edilmesi gerekmekte ve dolayısı ile ekonomik büyüme modellerine ciddi zarar vermeyen dönüşümleri planlayarak düşük karbonlu teknolojilerin geliştirilmesine önem verilmelidir. Çalışmada elde edilen bulgular da bunu desteklemektedir.

Yenilenebilir enerji tüketiminin CO₂ emisyonu üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı ancak negatif etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Yani yenilenebilir enerjiye yapılacak yatırımlar CO₂ emisyonunu azaltma potansiyeline sahiptir. Bu bulgu; Ito (2016), Attiaoui vd. (2017), Dong vd. (2018), Kahia vd. (2019), Bilan vd. (2019), Jebli ve Kahia (2020), Aydoğan ve Vardar (2020), Shaari vd. (2020), Adedoyin vd. (2021), Radmehr vd. (2021), Cao vd. (2022) çalışmalarını destekler niteliktedir. Ülke bazında elde edilen bulguların ise ülkeye göre farklılık gösterdiği dikkat çekmektedir. Sonuç olarak politika yapıcılar, yenilenemeyen enerji kaynaklarının daha az kullanılmasına, verimli enerji kaynaklarına dayalı hava yolu taşımacılığı politikalarının uygulanmasına, hava yolu taşımacılığında yenilenebilir enerji maliyetlerini azaltmaya yönelik teşviklere daha fazla önem vermesi gerekmektedir.

EXTENDED SUMMARY

Purpose: Many actions such as reducing emission rates, developing renewable energy, increasing resource use efficiency in production and consumption, providing environmentally sensitive products and services, and ensuring that urbanization is compatible with the goals should be developed by economic and policy makers in an inclusive and fair manner with a global perspective. Although many factors are effective in the increase in emission rates, air transportation, which has been increasing over the last decades, has become one of the most important factors. In this context, this study aims to investigate the impact of air transportation, renewable energy

consumption and economic growth on CO₂ emissions. In this context, the study covers G5 (Brazil, China, India, Mexico and South Africa) countries and the period 1990-2018.

Data and Method: The study covers G5 (Brazil, China, India, Mexico and South Africa) countries and the period 1990-2018. In the light of the literature, two models were constructed in the study. In both models, CO₂ emission (metric tons) data is used as the dependent variable. In the first model, data on air passenger transportation (Number of Passengers Carried (Million)) is used as the independent variable, while in the second model, data on Air Freight Transportation (Million Ton-Kilometer) is used. In both models, GDP Per Capita (Constant, 2015 US\$) and Renewable Energy Consumption (Kg Oil Equivalent per Capita) data are included as independent variables. Before applying panel data analysis methods, various a priori tests are applied. One of these a priori tests is cross-section dependence. In order to test whether there is cross-section dependence, the Lagrange Multiplier (LM) test developed by Breusch and Pagan (1980) and the Adjusted LM (LMadj) test developed by Pesaran et al. (2008) are applied. Then, the homogeneity of slope coefficients is tested by Swamy and Delta test. The stationarity of the series is investigated with the PANICCA panel unit root test developed by Reese and Westerlund (2016), which takes into account cross-section averages. In this study, the LM Bootstrap panel cointegration test, which takes into account cross-sectional dependence and heterogeneity, provides consistent results even in small samples and allows for autocorrelation and heteroscedasticity in the cointegration equation, is applied. This test, developed by Westerlund and Edgerton (2007), is based on the LM test of McCoskey and Kao (1998). The coefficients in the econometric models are estimated with the Augmented Mean Group (AMG) estimator, which takes into account both cross-sectional dependence and heterogeneity.

Findings: According to the results of LM and LMadj tests for cross-section dependence, the null hypothesis of cross-section dependence for all variables is rejected at 1% significance level. Therefore, it is determined that there is cross-section dependence among the variables. According to the results of the test for slope homogeneity, the null hypothesis is rejected at the 1% significance level. In this case, it is seen that there is slope heterogeneity in the panel and it should be taken into account in the model estimation stages. In the second stage, panel unit root tests were applied. According to PANICCA unit root test results, all series contain I(1), i.e. unit root. Accordingly, the effect of a shock to the country economies is permanent. Moreover, the fact that the series are I(1) provides a prerequisite for cointegration tests. In case of cross-section dependence, bootstrap critical values should be taken into account. As a result of the cointegration test, the null hypothesis could not be rejected. Therefore, it is determined that there is a cointegration relationship between the series in both models. According to the results of the AMG test, which is a cointegration coefficient estimator that takes into account both cross-sectional dependence and heterogeneity, in the first model, GDP per capita has a statistically significant and positive effect on CO₂ emissions, while renewable energy consumption has a statistically significant and negative effect. However, no statistically significant finding was obtained for the air passenger transportation variable. When the country-based results are analyzed, GDP per capita affects CO₂ emissions statistically significantly and positively for Brazil, Mexico and South Africa, while no statistically significant finding is obtained for China and India. Renewable energy consumption has a statistically significant and negative effect on CO₂ emissions in all countries except South Africa. There is no statistically significant finding for air passenger transportation for any country. According to the results of the second model estimated, parallel results with Model 1 are obtained for GDP per capita and renewable energy consumption on a panel basis. Unlike Model 1, air freight transportation has a statistically significant and negative effect on CO₂ emissions. When the results by country are analyzed, GDP per capita has a statistically significant and positive effect on CO₂ emissions in all countries except China and India. Renewable energy consumption has a statistically significant and negative effect on CO₂ emissions in all countries except South Africa. Only for China, air freight transportation has a statistically significant and negative effect on CO₂ emissions.

In the empirical analysis of the study, the findings obtained from the AMG estimator are further tested for robustness check using two different methods, namely the MG estimator and the CCEMG estimator. According to the results of Model 1 estimated with MG, CCEMG and AMG estimators, GDP per capita has a statistically significant and positive effect on CO₂ emissions, while renewable energy consumption has a statistically significant and negative effect. No statistically significant finding was obtained for air passenger transportation.

According to the results of Model 2, the findings of GDP per capita and renewable energy consumption obtained from the CCEMG and AMG estimators are in line with the MG. According to the CCEMG and AMG estimation results, air freight transportation has a statistically significant and negative effect on CO₂ emission, while no statistically significant finding was obtained according to the MG estimator.

Conclusions: Policy makers should pay more attention to the reduced use of non-renewable energy sources, the implementation of air freight transportation policies based on efficient energy sources, and incentives to reduce renewable energy costs in air freight tran

KAYNAKÇA

- Adedoyin, F.F., Ozturk, I., Bekun, F.V., Agboola, P.O., & Agboola, M.O. (2021). Renewable and non-renewable energy policy simulations for abating emissions in a complex economy: evidence from the novel dynamic ARDL, *Renewable Energy*, 177:1408-1420.
- Alonso, G., Benito, A., Lonza, L., & Kousoulidou, M. (2014). Investigations on the distribution of air transport traffic and CO₂ emissions within the European Union, *Journal of Air Transport Management*, 36:85-93.
- Anwar, A., Younis, M., & Ullah, I. (2020). Impact of urbanization and economic growth on CO₂ emission: a case of far east Asian countries, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(7), 2531.
- ATAG (2020). Aviation benefits beyond borders, https://aviationbenefits.org/media/167517/aw-oct-final-atag_abb-2020-publication-digital.pdf
- Attiaoui, I., Toumi, H., Ammouri, B., & Gargouri, I. (2017). Causality links among renewable energy consumption, CO₂ emissions, and economic growth in Africa: evidence from a panel ARDL-PMG approach, *Environmental Science And Pollution Research*, 24(14):13036-13048.
- Aydoğan, B., & Vardar, G. (2020). Evaluating the role of renewable energy, economic growth and agriculture on CO₂ emission in E7 countries, *International Journal of Sustainable Energy*, 39(4):335-348.
- Aye, G.C., & Edoja, P.E. (2017). Effect of economic growth on CO₂ emission in developing countries: evidence from a dynamic panel threshold model, *Cogent Economics & Finance*, 5(1):1379239.
- Azam, M., Khan, A.Q., Abdullah, H.B., & Qureshi, M.E. (2016). The impact of CO₂ emissions on economic growth: evidence from selected higher CO₂ emissions economies, *Environmental Science and Pollution Research*, 23(7):6376-6389.
- Bai, J., & Ng, S. (2004). A panic attack on unit roots and cointegration, *Econometrica*, 72(4):1127-1177.
- Bai, J., & Ng, S. (2010). Panel unit root tests with cross-section dependence: a further investigation, *Econometric Theory*, 26(4):1088-1114.
- Ben Amar, M. (2013). Economic growth: the case of African countries, *The Journal of Energy and Development*, 38(1&2):65-78.
- Bersvendsen, T., & Ditzen, J. (2020). *xthst: testing for slope homogeneity in Stata*, Centre For Energy Economics Research And Policy Working Paper, (11).
- Bilan, Y., Streimikiene, D., Vasylieva, T., Lyulyov, O., Pimonenko, T., & Pavlyk, A. (2019). Linking between renewable energy, CO₂ emissions, and economic growth: challenges for candidates and potential candidates for the EU membership, *Sustainability*, 11(6), 1528.
- Breusch, T.S., & Pagan, A.R. (1980). The lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics, *Review of Economic Studies*, 47(1):239-253.
- BVF (2019). *Klimaschutz und luftverkehr*, https://www.fluglaerm.de/wp-content/uploads/2020/07/20190830_BVF-Position-Klimaschutz-und444-Flugverkehr.pdf
- Cao, H., Khan, M.K., Rehman, A., Dagar, V., Oryani, B., & Tanveer, A. (2022). Impact of globalization, institutional quality, economic growth, electricity and renewable energy consumption on carbon dioxide emission in OECD countries, *Environmental Science and Pollution Research*, 29(16):24191-24202.
- Chandler, W., Secrest, T.J., Logan, J., Schaeffer, R., Szklo, A.S., Schuler, M.E., ... & Alpan-Atamer, S. (2002). *Climate change mitigation in developing countries. Brazil, China, India, Mexico, South Africa, and Turkey*. Pew Center on Global Climate Change, Arlington.
- Chèze, B., Chevallier, J., & Gastineau, P. (2013). Will technological progress be sufficient to stabilize CO₂ emissions from air transport in the mid-term?, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 18:91-96.
- Dong, K., Sun, R., Jiang, H., & Zeng, X. (2018). CO₂ emissions, economic growth, and the environmental kuznets curve in China: what roles can nuclear energy and renewable energy play?, *Journal of Cleaner Production*, 196:51-63.
- Eberhardt, M., & Teal, F. (2010). *Productivity analysis in global manufacturing production, economics series, Working Papers 515*, University of Oxford, Department of Economics.

- Eberhardt, M. (2012). Estimating panel time-series models with heterogeneous slopes, *The Stata Journal*, 12(1):61-71.
- EESI (2019). *The growth in greenhouse gas emissions from commercial aviation, Part 1 of a Series on Airlines and Climate Change [Fact sheet]*, https://www.eesi.org/files/FactSheet_Climate_Impacts_Aviation_2019rev2021.pdf
- EIA (2021). *What is renewable energy?* <https://www.eia.gov/energyexplained/renewable-sources/>
- Erdogan, S., Adedoyin, F.F., Bekun, F.V., & Sarkodie, S.A. (2020). Testing the transport-induced environmental Kuznets curve hypothesis: the role of air and railway transport, *Journal of Air Transport Management*, 89, 101935.
- Habib, Y., Xia, E., Hashmi, S.H., & Yousaf, A.U. (2022). Testing the heterogeneous effect of air transport intensity on CO₂ emissions in G20 countries: an advanced empirical analysis, *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 44020–44041
- Hasanov, F.J., Mikayilov, J.I., Mukhtarov, S., & Suleymanov, E. (2019). Does CO₂ emissions–economic growth relationship reveal EKC in developing countries? evidence from Kazakhstan, *Environmental Science and Pollution Research*, 26(29):30229-30241.
- Hayes, A. (2021), *Group of Five (G-5)*, <https://www.investopedia.com/terms/g/g5.asp>
- Heyne, J., Rauch, B., Le Clercq, P., & Colket, M. (2021). Sustainable aviation fuel prescreening tools and procedures, *Fuel*, 290, 120004.
- Globelink Ünimar (2022). *Ro-Ro taşımacılığı*, <https://globelink-unimar.com/ro-ro-tasimaciligi/>
- ITA (2022, 21 Mart). *Renewable energy*, <https://www.trade.gov/renewable-energy>
- Ito, K. (2016). CO₂ emissions, renewable and non-renewable energy consumption, and economic growth: evidence from panel data for developed countries, *Economics Bulletin*, 36(1):553-559.
- Ito, K. (2017). CO₂ emissions, renewable and non-renewable energy consumption, and economic growth: evidence from panel data for developing countries, *International Economics*, 151:1-6.
- Jebli, M.B., & Kahia, M. (2020). The interdependence between CO₂ emissions, economic growth, renewable and non-renewable energies, and service development: evidence from 65 countries, *Climatic Change*, 162(2):193-212
- Kahia, M., Ben Jebli, M., & 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(4):871-885.
- Kasman, A., & Duman, Y.S. (2015). CO₂ emissions, economic growth, energy consumption, trade and urbanization in new EU member and candidate countries: a panel data analysis, *Economic Modelling*, 44:97-103.
- Mccoskey, S.i & Kao, C. (1998). A residual-based test of the null of cointegration in panel data, *Econometric Reviews*, 17(1):57-84.
- Meacock, P. (2021). *International shipping responsible for 2% of global CO₂ emissions; the leading company maersk aims for a solution*, <https://impakter.com/international-shipping-global-co2-emissions/>
- National Geographic (a) (2022, 6 Şubat), *Renewable energy*, <https://education.nationalgeographic.org/resource/renewable-energy>
- National Geographic (b) (2022, 6 Şubat), *Renewable energy explained*, <https://education.nationalgeographic.org/resource/renewable-energy-explained>
- Pesaran, M.H. & Smith, R.P. (1995), Estimating long-run relationships from dynamic heterogeneous panels, *Journal of Econometrics*, 68, 79–113.
- Pesaran, M.H. (2006), Estimation and inference in large heterogeneous panels with a multifactor error structure, *Econometrica*, 74(4):967-1012.
- Pesaran, M.H., & Yamagata, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels, *Journal of Econometrics*, 142(1):50-93.
- Pesaran, M.H., Ullah, A., & Yamagata, T. (2008). A bias-adjusted LM test of error cross-section independence, *The Econometrics Journal*, 11(1):105-127.

- Pesaran, M.H. (2021). General diagnostic tests for cross-sectional dependence in panels, *Empirical Economics*, 60(1):13-50.
- Radmehr, R., Henneberry, S.R., & Shayanmehr, S. (2021). Renewable energy consumption, CO₂ emissions, and economic growth nexus: a simultaneity spatial modeling analysis of EU countries, *Structural Change and Economic Dynamics*, 57, 13-27.
- Reese, S., & Westerlund, J. (2016). PANICCA-PANIC on cross-section averages, *Journal of Applied Econometrics*, 31(6):961-981.
- Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2019). *Energy*, <https://ourworldindata.org/energy-access>
- 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.
- Swamy, P.A. (1970). Efficient inference in a random coefficient regression model, *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 38(2):311-323.
- The University of Toronto (2012). *Group of five*, University of Toronto, <http://www.g8.utoronto.ca/g5/index.html>
- UNEP (2021). *The heat is on – a world of climate promises not yet delivered*, <https://unepccc.org/wp-content/uploads/2021/10/emissions-gap-report-2021-full-report.pdf>
- Westerlund, J., & Edgerton, D.L. (2007). A panel bootstrap cointegration test, *Economics Letters*, 97(3):185-190.
- Zellner, A. (1962). An efficient method of estimating seemingly unrelated regressions and tests for aggregation bias, *Journal of American Statistical Association*, No 57.
- Zhang, M., & Wang, W. (2013). Decouple indicators on the CO₂ emission-economic growth linkage: the Jiangsu Province case, *Ecological Indicators*, 32:239-244.

EKLER

Tablo A1. Tanımlayıcı İstatistikler

Testler	lnCO ₂	lnairp	lnairf	lnpcgdp	lnenergy
Ortalama	13,54757	17,29929	7,029799	8,29657	3,12257
Medyan	13,03532	17,00627	6,932996	8,72464	3,00374
Maksimum	16,14896	20,23132	10,13683	9,20490	4,07163
Minimum	12,19733	15,35987	4,964242	6,26817	2,19338
Standart Sapma	1,118991	1,079248	1,141299	0,89280	0,65446
Skewness	1,004603	0,652639	0,807429	-0,95664	-0,00277
Kurtosis	2,760221	2,980625	3,707529	2,456336	1,322715
Jarque-Bera	24,73703	10,29578	18,77970	23,90249	16,99711
Olasılık Değeri	0,000004	0,00581	0,000084	0,0000	0,00020
Gözlem Sayısı	145	145	145	145	145

Tablo A2. Korelasyon Matrisi

	lnCO ₂	lnairp	lnairf	lnpcgdp	lnenergy
lnCO₂	1,000				
lnairp	0,7638	1,0000			
lnairf	0,7838		1,0000		
lnpcgdp	-0,3428	0,1195	0,0403	1,0000	
lnenergy	-0,0059	0,0265	0,0517	-0,5876	1,0000