

Hava Taşımacılığı Talebinin Çevresel Bozulma Üzerindeki Etkisi

The Effect of Air Transport Demand on Environmental Degradation

Eda DİNERİ¹, Merve GÜNGÖR PARLAKYİĞİT²

Öz

Amaç: Çalışmanın amacı, 1997-2018 yılları arasında dünya CO₂ emisyonlarının 2/3'ünü oluşturan ilk 18 ülkenin hava taşımacılığı talebinin CO₂ ve GHG emisyonlarına olan etkisini panel veri analizi yöntemiyle incelemektir.

Tasarım/Yöntem: Çalışmada uzun dönem katsayı tahminleri PMG-ARDL yöntemi ile elde edilmekte, değişkenler arasındaki ilişkinin yönü D-H nedensellik testi ile analiz edilmektedir.

Bulgular: Analiz bulguları, yenilenebilir enerji ve kentsel nüfusun hem CO₂ emisyonları hem de GHG emisyonları üzerinde negatif bir etkiye sahip olduğunu, ekonomik büyüme, enerji yoğunluğu, hava yolcu ve hava yük taşımacılığının ise pozitif bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Sınırlılıklar: Panel veri analizinde yer alan ülkelerin tamamı için aynı dönem verilere ulaşılamadığı için ortak dönem olarak 1997-2018 dönemleri ele alınmıştır.

Özgünlük/Değer: Çalışma, dünya CO₂ emisyonlarının üçte ikisinden (2/3) sorumlu ilk 18 ülkeyi kapsamaktadır. Çalışmada, CO₂ emisyonlarının yanı sıra, çevresel etkinin daha geniş bir çerçevede değerlendirilmesi amacıyla toplam sera gazı emisyonları değişkeni bağımlı değişken olarak ayrı bir modelde analize dahil edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hava Taşımacılığı Talebi, Yenilenebilir Enerji, Çevresel Bozulma, Çevresel Sürdürülebilirlik

Abstract

Purpose: The study aims to investigate the impact of the air transport demand of the first 18 countries that contributed 2/3 of the world's CO₂ emissions on CO₂ and GHG emissions between 1997 and 2018 applying panel data analysis.

Design/Methodology: In the study, the long-term coefficient estimates are obtained applying the PMG-ARDL method while the direction of the relationship between the variables is analyzed through the D-H causality test.

Findings: The findings of the analysis show that while renewable energy and urban population have a negative impact, economic growth, energy intensity, air passenger and air freight transport have a positive impact both on CO₂ and GHG emissions.

Limitations: As data for all countries included in the panel data analysis could not be obtained for the same period, the 1997-2018 period was considered the common period.

Originality/Value: The study covers the top 18 countries responsible for 2/3 of the world's CO₂ emissions. In the study, in addition to CO₂ emissions, total greenhouse gas emissions variable was also included in the analysis in a separate model as a dependent variable to evaluate the environmental impact in a broader context.

Keywords: Air Transport Demand, Renewable Energy, Environmental Degradation, Environmental Sustainability

¹Doç. Dr., Hasan Kalyoncu Üniversitesi, İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, eda.dineri@hku.edu.tr, ORCID: 0000-0002-5637-594X

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu, Finans, Bankacılık ve Sigortacılık, gungormerve2013@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6546-3415

1. GİRİŞ

Hava yolculuğu tatil, arkadaş, akraba ziyareti veya iş amaçlı tercih edilen bir ulaşım türüdür. Artan hizmet sayısı, hizmet kalitesi, kısalan seyahat süresi gibi avantajları hava taşımacılığına olan artan talebi artırmakta ve havacılık sektörünün hızlı gelişimini yönlendirmektedir. Havayolu taşımacılığı; sosyal bağlantıların artması ve kısa sürede alternatif pazarlara erişim seçeneklerinin çoğalması sayesinde, bölgelere ve ülkelere ekonomik ve sosyal kalkınmada çok boyutlu faydalar sağlayan hızla gelişen bir sektör haline gelmektedir (Baker vd., 2015; Hu vd., 2015; Lam vd., 2020; Gössling & Humpe, 2020).

Hava taşımacılığı kapsamında havalimanları hem ulaşım hem de havayolu yönetimi açısından enerji tüketimine neden olmaktadır. Kontrol kuleleri, aydınlatma ve radyo navigasyon sistemleri gibi enerji tüketen altyapı ve tesisleri içermektedir (Baxter vd., 2018; Yıldız vd., 2022). Hava taşımacılığında yolcu ve kargo trafiği arttıkça, havacılık yakıt tüketimi ve emisyonları da buna bağlı olarak artmaktadır (Li vd., 2022). Öte yandan küresel faaliyetlerin artması, nüfus artışı, kentleşme ve ekonomik büyüme gibi faktörler nedeniyle uçaklar giderek en popüler ulaşım aracı haline gelmektedir. Ancak, havacılık operasyonlarından kaynaklanan enerji tüketimi sonucunda iklim değişikliği ve artan sıcaklıklar küresel olarak tüm dünyayı etkilemektedir. Bu nedenle hava taşımacılığında kaynaklanan enerji tüketimi, iklim değişikliği ve karbon emisyonları hızla artmaya devam ederek olumsuz bir dışsalılık yaratmakta ve gelecek nesillerin bile ödemek zorunda kalacağı sosyal maliyetlere neden olmaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde hava yolu taşımacılığı, bir taraftan ekonomik ve sosyal avantajları nedeniyle giderek gelişen bir sektör haline gelirken; diğer taraftan çevreye verdiği zararlar dünyanın geleceğini tehlikeye atmaktadır (Sgouridis vd., 201; Hu vd., 2015; Gössling & Humpe, 2020; Lam Lo vd., 2020; Falk & Hagsten, 2021; Lee vd., 2021; Miller, 2021; Hou vd., 2022; Köves & Bajmócy, 2022). Havacılık endüstrisi ulaştırma sektörüne önemli katkılar sağlamakla birlikte, büyük miktarda havacılık yakıtlarının yanması sonucu ortaya çıkan CO₂ emisyonlarından kaynaklanan emisyon yoğun bir endüstri niteliği taşımaktadır (EASA, 2021; Erdogan vd., 2020).

Jovanović ve Vračević (2016) çalışmalarında 2005-2040 döneminde hava taşımacılığı kaynaklı CO₂ emisyonlarının yaklaşık beş kat artacağını iddia etmişlerdir. Enerji verimliliğinde iyileşme olsa bile turizm sektöründeki gelişmelere bağlı olarak 2024 yılında CO₂ emisyonlarının 2005 yılına göre %50 oranında artacağını öngörmüşlerdir. Hava Taşımacılığı Eylem Grubu (ATAG) 2020 raporunda, küresel havacılık endüstrisinin 2038 yılına kadar dünya GSYİH 'sına doğrudan 1,7 trilyon ABD doları katkı yapacağı öngörülmektedir. Benzer şekilde Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) 2022 raporunda, havacılık CO₂ emisyonlarının 2019 yılında yaklaşık bir milyar tona ulaştığı, bu rakamın fosil yakıt kullanımından kaynaklanan küresel CO₂ emisyonlarının yaklaşık %2,8'ine karşılık geldiği öne sürülmektedir. Bu nedenle, hava taşımacılığında CO₂ emisyonları hızla artmakta ve hava yolculuğu karbon yoğun faaliyetlerden biri olarak kabul edilmektedir (IEA, 2022). Uluslararası Hava Taşımacılığı Biriminin (IATA) 2021 yılına ait projeksiyonlarına göre, hava yolculuğuna olan talebin 2050 yılında 10 milyar yolcuyu aşacağı tahmin edilirken, CO₂ emisyonlarının 2021-2050 döneminde yaklaşık 21,2 gigaton CO₂'ye ulaşacağı öngörülmektedir. IATA'nın 2023 yılı raporunda, havacılık sektörünün 2050 yılına kadar net sıfır karbon emisyonuna ulaşması için uçak teknolojisi, enerji alt yapısı, operasyonlar ve finans ve politika konularında bir dizi yol haritası oluşturulmuştur. Raporda havacılık sektörü enerji talebinin karşılanması için yenilenebilir enerjinin önemi vurgulanmıştır. IEA 2024 raporunda ise, havacılık sektörünün büyük ölçüde fosil yakıt bağımlılığının devam ettiğini ve yenilenebilir yakıt projelerinin henüz ortaya çıkmaya başladığı belirtilmiştir.

Havacılık sektöründe emisyonları azaltma stratejileri ile verimliliği artırma stratejileri arasında tutarsızlıklar ortaya çıkabilmektedir. Her ne kadar, ülkelerin temel amacı ekonomik büyüme ve kalkınma olsa da çevreciler ve politika yapımcılar bu genişlemenin çevresel etkilerini azaltmak için çeşitli politika ve stratejiler geliştirmektedirler. Bu nedenle, ekonomik hedeflere ulaşabilmek için çevresel ayak izini de hesaba katarak CO₂ emisyonlarını yönetmek ve azaltmak esastır. Kabul edilecek önlemler, sosyal istikrar ve ekonomik ilerlemeyi hesaba katarak çok boyutlu bir yaklaşımla değerlendirilmelidir (Mayor & Tol, 2010; Lam vd., 2020; Falk & Hagsten, 2021).

IATA'nın 77. yıllık Genel Kurulu'nda (2021), küresel ısınmayı 1,5 C ile sınırlamayı hedefleyen Paris Anlaşması doğrultusunda, "Fly Net Zero" başlığı altında havacılık operasyonlarından 2050 yılına

kadar net sıfır karbon emisyonuna ulaşılması kararlaştırılmıştır. Toplantıda, bu taahhüdün tüm endüstrinin (havayolları, havalimanları, hava seyrüsefer servis sağlayıcıları, üreticiler) koordineli çabalarıyla gerçekleştirileceği vurgulanmıştır.

Yukarıda belirtilenler doğrultusunda araştırma, 1997-2018 yılları arasında STIRPAT modeli kapsamında hava taşımacılığı talebinin çevresel bozulma üzerindeki etkisini incelemeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmaya dahil edilen ölkelerin ortak özellikleri şunlardır ve bu açıdan önemlidir:

- Bu ölkeler, dünyanın en büyük ekonomileri arasında yer alan G20 ölkeleri grubunda yer almaktadır. Dünya ticaretinin %79'unu, küresel ekonominin %84'ünü, dünya karbon emisyonlarının %79'unu ve dünya nüfusunun %65'ini oluşturmaktadır (World Economic Forum, 2024).

- Uluslararası Temiz Taşımacılık Konseyi 2020 raporuna göre, emisyonların %85'i yolcu taşımacılığından kaynaklanmaktadır. Çalışmada belirtilen örnekleme de yer alan ölkeler gruplarından Uluslararası Temiz Ulaşım Konseyi (The International Council on Clean Transportation) 2020 raporunda ABD (%23), Avrupa Birliği (%19) ve Çin (%13), 2019 yılında yolcu operasyonlarından kaynaklanan CO₂ emisyonları bakımından en büyük üç pazar olduğu belirtilmektedir.

Bu çalışmanın mevcut literatüre göre farklılıkları şunlardır: i) Bu araştırma, hava taşımacılığı talebinin evre kirliliği üzerindeki etkilerini STIRPAT modeli çerçevesinde incelemektedir. ii) Etkileri karşılaştırmak için çevresel bozulma göstergelerinden karbon emisyonları ve sera gazı emisyonları ayrı değişkenler olarak iki modelde ele alınmaktadır.

Araştırma makalesinin geri kalan bölümleri şu şekilde yapılandırılmıştır. Bölüm 2, ilgili çalışmaların bir incelemesini sunmakta ve araştırmanın özğün yanını vurgulamaktadır. Bölüm 3, model, veri ve metodolojiyi ana hatlarıyla belirtmektedir. Bölüm 4'te ampirik bulgulara yer verilmektedir. Bölüm 5, politika önerileri ile sonuçlanmaktadır.

2. İLGİLİ ALIşMALARA GENEL BAKIş

Havacılık karbon emisyonları ve verimliliğine ilişkin literatür, çoğunlukla karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik politikaların etkinliğine ve uygulanabilir politika önerilerine odaklanmaktadır. Panel veri analizi çalışmalarında ise, hava taşımacılığı talebi, enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiler genel olarak incelenmektedir. Önceki çalışmalarda elde edilen ortak bulgu, hava taşımacılığı talebi ile ekonomik büyüme arasında pozitif bir ilişkinin varlığıdır (Hu vd., 2015; Brida vd., 2018; Balsalobre-Lorente vd., 2021; Nenavath, 2023; Zhang & Cheng, 2023; Raihan vd., 2024).

2.1. Hava Taşımacılığı ve evresel Bozulma ile İlgili alışmalar

Hava taşımacılığı talebi ile çevresel bozulma arasındaki bağlantı genellikle evresel Kuznets Eğrisi (EKC) hipotezi çerçevesinde incelenmiştir. Grossmann ve Krueger (1991) tarafından ortaya atılan bu hipotez, kişi başına düşen gelir ile çevresel bozulma arasındaki ilişkinin ters-U biçiminde olduğunu ifade etmektedir. Ekonomik büyümenin erken aşamalarında çevresel kirlilik artarken, evre kalitesi düşmektedir; ancak ekonomik büyümenin ilerleyen safhalarında kişi başına gelirin yükselmesi ile evre kalitesi artmakta diğer bir ifade ile çevresel bozulma azalmaktadır (Stern, 2017).

Erdogan vd. (2020) tarafından yapılan araştırmada, FMOLS ve Ortalama Grup (MG) tahmincilerinden istifade edilmiş, hava yolcu taşıyıcılığı kapsamındaki ilk 10 ölkede kentleşme ve hava taşımacılığının karbon emisyonları üzerindeki azaltıcı etkisi 1995-2014 dönemi için ortaya konulmuştur. Ayrıca alışmada EKC hipotezinin geçerli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Hassan vd. (2021) 21 OECD ölkesinde Havacılık Kuznets Eğrisi (AKC) ve EKC hipotezinin geçerliliğini incelemişlerdir. Genelleştirilmiş Momentler Yöntemi (GMM) ile yapılan analiz sonuçlarına göre, hava yük taşımacılığı alanında 1980-2018 döneminde U şeklinde bir ilişki ile EKC'nin varlığına dikkat çekmişlerdir. Ancak, EKC ve AKC hipotezlerinin OECD ölkeleri için geçerli olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Gyamfi vd. (2022) ise, 1995-2016 dönemi için, EKC hipotezinin geçerliliğini ve hava taşımacılığının emisyonlar üzerindeki artırıcı etkisini ortaya koymuştur.

Habib vd. (2022) tarafından yapılan araştırmanın bulguları, hava taşımacılığı yoğunluğu, hava yolcu taşımacılığı ve hava yük taşımacılığının 1990-2016 döneminde G20 ölkelerinde karbon emisyonlarındaki artışa katkıda bulunduğunu göstermiştir. Çalışma ayrıca, sektörde yenilenebilir enerji

kaynaklarının kullanımının teşvik edilmesi ve düşük karbonlu yakıt kullanan uçaklara yönelik araştırma ve geliştirmenin artırılması gerekliliğini vurgulamaktadır. Dursun (2022), 1970-2020 dönemi verilerine dayalı olarak Fransa ve Finlandiya için çok değişkenli regresyon yöntemini kullanarak EKC hipotezi kapsamında sivil havacılığı değerlendirmiştir. Araştırma bulguları, EKC hipotezinin Fransa için geçerli olduğunu ancak Finlandiya için geçerli olmadığını göstermektedir. Sivil havacılığın Fransa'da ekolojik ayak üzerinde önemli bir pozitif etkisi olmasına rağmen, Finlandiya için bir etkisi olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Zhang vd. (2022), çalışmalarında 1990-2018 döneminde BRICS ülkeleri için EKC hipotezinin uzun vadede geçerli olduğunu ve hem yük hem de yolcu taşımacılığının PM 2.5 konsantrasyonunu pozitif yönde etkilediğini göstermiştir. Bir diğer elde edilen önemli bulgu ise ekonomik büyümenin çevre kirliliğini artırdığı yönündedir.

Zhang ve Nian (2013), 1995-2010 yılları arasında Çin'de havacılık sektörü hariç ulaştırma sektöründe CO₂ emisyonları üzerinde yolcu taşımacılığının, ekonomik büyümenin ve nüfusun artan etkisini panel veri analizi ile ulusal ve bölgesel düzeyde ortaya koymuştur. Xu ve Lin (2015), 1980-2012 yılları arasında Çin ulaştırma sektöründeki CO₂ emisyonlarındaki değişimi etkileyen faktörleri Vektör Otoregresif modelinden yararlanarak incelemiştir. Sonuçlar, kentleşmenin büyük ölçekli üretim faaliyetleri nedeniyle artan CO₂ emisyonlarına katkıda bulunduğunu göstermektedir. Ayrıca enerji yoğunluğunun, enerji verimliliğindeki sınırlı iyileştirmeler ve kısa vadede yolcu sayısındaki artış nedeniyle CO₂ emisyonlarını artırdığı tespit edilmiştir. Tarr vd. (2022), Yeni Zelanda 'da uluslararası yolcu ve yük taşımacılığının CO₂ emisyonları üzerindeki etkisini 2007-2017 dönemi için incelemişlerdir. Yakıt ikmali verilerinden yararlanılan çalışmada, Yeni Zelanda'nın uluslararası hava taşımacılığı faaliyetlerinin CO₂ emisyonlarını artırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Demir (2022), Avrupa'da 32 ülkenin uçuş bilgilerinden yararlanarak hava taşımacılığından kaynaklanan karbon emisyonlarını tahmin etmiştir. Uçak ve yolcu sayıları ile hava taşımacılığından kaynaklanan CO₂ emisyonları arasındaki ilişki hesaplanmış ve yüksek korelasyonlu sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, Birleşik Krallık'ın en fazla yolcu ve uçak uçuşuna sahip iç ve dış hava taşımacılığı bileşenleri hesaplanmış ve bu modeller kullanılarak; uçuş sayısı, taşınacak yolcu sayısı ve Birleşik Krallık için 2029 yılına kadar hava taşımacılığıyla ilgili emisyonlar tahmin edilmiştir. Kaya ve Kayalica (2022), Avrupa Birliği'nin 28 üye ülkesinde havacılıkta CO₂ emisyonlarını etkileyen faktörleri 2008-2017 dönemi için araştırmışlardır. Analiz sonuçları, havacılık emisyonlarının belirleyicilerinin uçuş başına enerji tüketimi, taşınan milyon yolcu-kilometre, taşınan milyon ton/kilometre yük, ticari uçak filolarının sayısı, ülkelerin havalimanı sayısı ve ilgili ülkenin küreselleşme endeksi olduğunu göstermiştir. Javanmard vd. (2024), Kanada hava taşımacılığı sektörünü vaka çalışması olarak ele alarak, havayolu yolcu ve yük taşımacılığının talebini tahmin etmiş ve enerji tüketimi ile CO₂ emisyonları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Makine öğrenimi algoritmalarından yararlanılan çalışmada, 2050 yılında, 2019 yılına göre hava yolcusu sayısının %94 artarak %94,25'e, yük taşımacılığı talebinin ise %28,12 artarak %33,97'ye çıkacağı tahmin edilmiştir. Bunlara bağlı olarak enerji tüketiminin ve CO₂ emisyonlarının da önemli ölçüde artacağı ortaya konulmuştur.

İncelenen literatüre dayanarak, çeşitli çalışmalar, enerji tüketimi ve yenilenebilir enerji gibi faktörlerin yanı sıra ekonomik büyüme, kentleşme, hava yolcu taşımacılığı ve hava kargo taşımacılığının çevresel bozulma üzerindeki etkilerine ilişkin farklı sonuçlar ortaya koymuştur.

2.2. Özgünlük

Bu çalışmaların diğer çalışmalardan farkı, 2018 yılında dünya CO₂ emisyonlarının üçte ikisini ($\frac{2}{3}$) üreten ülkeleri incelemesidir. Bu bağlamda literatüre, söz konusu ülkeleri inceleyen bir çalışmanın bulunmaması açısından alana katkı sağlaması beklenmektedir.

Çalışmada CO₂ emisyonuna alternatif olarak, sera gazı emisyonları (GHG) alternatif bir model ile bağımlı değişken olarak ele alınmaktadır ve belirlenen değişkenlerin etkisi, Panel PMG- ARDL yöntemi ile analiz edilmektedir.

Çalışmanın hipotezleri şu şekildedir:

Hipotez 1: Hava taşımacılığına olan talebin artması ile çevresel bozulma arasında pozitif bir ilişki beklenmektedir.

Hipotez 2: Kentleşmenin, insan sermayesi yatırımları nedeniyle çevresel farkındalık konusunda farkındalığı artırmakta ve çevresel bozulma üzerindeki olumsuz etkiyi azaltması beklenmektedir.

Hipotez 3: Yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımların artırılmasının, çevresel bozulmayı önemli ölçüde azalttığı varsayılmaktadır.

Hipotez 4: Enerji yoğunluğu ile çevresel bozulma arasında pozitif bir ilişki beklenmektedir.

Hipotez 5: Ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasında pozitif yönlü bir ilişkinin olması öngörülmektedir.

3. MODEL, VERİ VE YÖNTEM

3.1. Model ve Veri

Bu araştırmada, 2018 yılında dünyanın CO₂ emisyonlarının yaklaşık üçte ikisini (2/3) üreten ilk 18 ülkede (Avustralya, Brezilya, Kanada, Çin, Fransa, Almanya, Hindistan, Endonezya, İrlanda, İtalya, Japonya, Meksika, Rusya, Güney Kore, İspanya, Türkiye, Birleşik Krallık, Amerika Birleşik Devletleri) hava yolcu taşımacılığı ve hava yük taşımacılığının CO₂ emisyonları ve sera gazı emisyonları (GHG) üzerindeki etkileri 1997-2018 dönemi için incelenmektedir. Bahsedilen ülke sıralaması “Our World in Data” da sitesinde yer alan “CO₂ emissions from aviation, 2018” raporundan elde edilmiştir. Yenilenebilir enerji değişkeni ise modele kontrol değişkeni olarak eklenmiştir. Çalışmada iki model kullanılmıştır ve bu iki ampirik model aşağıda gösterilmektedir.

Model 1

$$\ln CO_{2\ i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln GDP_{i,t} + \alpha_2 \ln ENERGY_{i,t} + \alpha_3 \ln URBAN_{i,t} + \alpha_4 \ln PASSENGER_{i,t} + \alpha_5 \ln FREIGHT_{i,t} + \alpha_6 \ln REN_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad [3.1]$$

Model 2

$$\ln GHG_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln GDP_{i,t} + \alpha_2 \ln ENERGY_{i,t} + \alpha_3 \ln URBAN_{i,t} + \alpha_4 \ln PASSENGER_{i,t} + \alpha_5 \ln FREIGHT_{i,t} + \alpha_6 \ln REN_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad [3.2]$$

Model 1'deki bağımlı değişken CO₂, kişi başına düşen CO₂ emisyonu metrik ton cinsinden temsil etmektedir. Model 2' de ise bağımlı değişken GHG, kişi başına düşen sera gazı emisyonlarını metrik ton cinsinden göstermektedir. Model 2'de, hava taşımacılığı talebinin çevre üzerindeki daha geniş etkisini incelemek amacıyla bağımlı değişken olarak sera gazı emisyonları (GHG) daha kapsamlı bir gösterge olarak eklenmiştir. Ehrlich ve Holdren (1971) tarafından geliştirilen IPAT modelinin genişletilmesi ile Dietz ve Rosa (1997) tarafından STIRPAT modeli oluşturulmuştur. Bu model nüfus-gelir-teknoloji etkileşiminin çevresel etkilerini incelenmektedir. Çalışmada da oluşturulan model STIRPAT çerçevesinde tasarlanmıştır.

Tablo 1: Değişkenler ve Beklenen İşaretleri

Değişkenler	Tanımlar	Beklenen İşaret
ln gdp	Kişi başına düşen gayri safi yurtiçi hasıla (Sabit 2015\$)	(+)
ln energy	Birim başına enerji yoğunluğunun GSYİH'ye oranı	(+)
ln urban	Kentsel nüfus	(-)
ln passenger	Hava taşımacılığında taşınan yolcu sayısı	(+)
ln freight	Hava kargo, her uçuş aşamasında taşınan yük, ekspres ve diplomatik çantaların hacmi (Milyon ton-km)	(+)
ln ren	Yenilenebilir enerji tüketimi %	(-)
ln CO ₂	CO ₂ emisyonu	
ln GHG	Sera gazı emisyonları	

Tüm değişkenler doğal logaritmik forma dönüştürülmüştür. Yıllık olarak oluşturulan veri seti, Dünya Bankası ve BP Dünya Enerji İstatistik İncelemesi veri tabanından elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan değişkenler ve beklenen işaretleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

3.2 Metodoloji

Bu çalışmada ekonometrik analiz için izlenen adımlar şu şekilde sıralanmaktadır.

- Yatay Kesit Bağımlılık Testi
- Homojenite Testi
- CIPS birim kök testi
- Eşbütünleşme testi
- Panel PMG-ARDL
- D-H Panel Nedensellik Testi

3.2.1. Yatay Kesit Bağımlılık (CSD) ve Eğim Homojenite Testi

Panel veri çalışmalarında yatay kesit bağımlılık ve eğim homojenite testleri, analizin ilk aşamasında kontrol edilmesi gereken testlerdir.

3.2.1.1. Yatay Kesit Bağımlılık Testi

Panel veri analizinde kullanılan birim kök ve eşbütünleşme testleri, paneli oluşturan birimler arasındaki kesitsel bağımlılık özelliklerine ve dolayısıyla birimler arasındaki korelasyona duyarlıdır. Panel birimleri arasında yerel veya küresel ortak şoklar, ekonomik ve finansal entegrasyon, uluslararası ticaret, petrol fiyat şokları, finansal krizler ve gözlemlenemeyen bileşenler gibi paneli oluşturan kesitsel bağımlılığa neden olabilir (Guo vd., 2021; Habib vd., 2022). Bu bağlamda, paneldeki bir birimde meydana gelen bir şok, tüm kesitsel birimleri etkiliyorsa, karşılıklı bağımlılığı hesaba katan ikinci nesil panel veri analizi yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir. Hata terimini etkileyen bir şok tüm panel birimlerini etkilediğinde, bu etkinin düzeyi değerlendirilir. Paneldeki birimler arasında kesitsel bağımlılık bulunduğu, birinci nesil birim kök testlerinin sıfır hipotezini reddetme gücü zayıflamaktadır (Erdoğan vd., 2022). Bu nedenle, yatay kesit bağımlılığı doğru bir şekilde ele alınmazsa; önyargılı ve tutarsız tahminlere yol açabilir. Yatay kesit bağımlılığın varlığını incelemek için Breusch-Pagan LM testleri, Pesaran LM ve Pesaran CD testlerinden yararlanılmıştır.

3.2.1.2. Homojenite Testi

Büyük örneklemli dinamik panel veri modellerinde, kesitlerin demografik ve ekonomik yapılarındaki farklılıklar eğimlerin heterojenliğine yol açabilir. Heterojenlik sorununu aşmak için Pesaran & Yamagata (2008), Eğim Homojenliği Testini geliştirmiştir.

$H_0: \beta_i = \beta$ Eğim katsayısı bölümler arasında sabittir ve zaman içinde değişmediği kabul edilir.

$H_1: \beta_i \neq \beta_j$ Eğim katsayıları heterojendir.

3.2.2. CIPS Panel Birim Kök Testi

Pesaran (2007) tarafından önerilen CIPS birim kök testi, panel veri setlerinde kesitsel bağımlılık ve heterojenliği dikkate alan birim kök testidir. CIPS (Cross-Sectionally Im-Pesaran Shin) istatistiği, Pesaran (2007) önermesiyle her birim için tahmin edilen CADF regresyonuna dayanmaktadır. Paneldeki birimlere ait CADF test istatistiklerinin ortalaması alınarak CIPS istatistiği elde edilmektedir. CIPS istatistik denklemi aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$CIPS = N^{-1} \sum_{i=1}^N CADF_{it} \quad [3.3]$$

Birim kök için hipotez testi aşağıdaki gibi ifade edilir:

$H_0: \beta_i = 0$, tüm i için Seri tüm birimler için durağan değildir.

$H_1: \beta_i < 0$, Seri durağandır. (En az bir değişken için) (Pesaran, 2007).

CIPS kritik değeri istatistiksel değerlerden büyükse sıfır hipotezi reddedilmektedir.

3.2.3. Westerlund (2005) Eşbütünleşme Testi

Westerlund (2005) tarafından geliştirilen eşbütünleşme testi, panel veri analizinde değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkiyi araştırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu test, küçük örneklerde bile iyi sonuçlar veren verilerin zamansal bağımlılıklara izin vermesi ve yatay kesit bağımlılığını dikkate alması gibi avantajlara sahiptir (Lu, 2020). Eşbütünleşme testinde H_0 hipotezi “eşbütünleşme yoktur”, alternatif hipotez “paneldeki bazı birimler eşbütünleşme vardır” anlamını taşımaktadır.

3.2.4. PMG -ARDL Yöntemi

PMG-ARDL yöntemi regresyon katsayılarını tahmin etmek amacıyla uygulanmaktadır. Pesaran vd. (1999) tarafından geliştirilen PMG tahmin edicisi hem kısa vadeli hem de uzun vadeli tahminleri eř zamanlı olarak sağlayabilmektedir. PMG modeli aşağıdaki gibi formüle edilir:

$$\ln CO_{2\ i,t} = \sum_{j=1}^p Q_{ij} (\ln CO)_{2\ it-j} + \sum_{j=0}^q p_{ij} x_{it-j} + \mu_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad [3.4]$$

- x_{it} bağımsız değişkenleri temsil eder,
- p_{ij} ilgili regresyon katsayılarının vektörüdür,
- Q_{ij} bağımlı değişkenin gecikmeleriyle regresyon katsayısını ifade eder
- μ_i bireysel özgü hata terimidir,
- $\varepsilon_{i,t}$ hata terimidir (Verbic et al., 2021).

Kısa vadeli dinamiklerin hata düzeltme modelleri aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\Delta \ln CO_{2\ i,t} = \alpha_0 + \sum_{j=1}^p Q_{ij} \Delta (\ln CO)_{2\ it-j} + \sum_{j=0}^q p_{ij} x_{it-j} + \delta ECT_{t-1} + \varepsilon_{i,t} \quad [3.5]$$

- p bağımlı değişkenlerin gecikme sırasını belirtir, q regresörün gecikme sırasını belirtir,
- ECT hata terimini göstermektedir.

3.2.5. D-H Panel Granger Nedensellik Testi

Dumitrescu ve Hurlin (2012) tarafından geliştirilen Panel Granger nedensellik testi; paneli oluşturan ülkeler arasındaki yatay kesit bağımlılığını dikkate alabilen ve hem $T > N$ hem de $N > T$ durumlarında tutarlı sonuçlar verebilen bir yöntemdir. Bu test yardımıyla hava taşımacılığı talebi ile çevresel bozulma arasındaki nedensellik ilişkisi test edilmektedir.

4. AMPİRİK BULGULAR VE TARTIşMA

Çalışmada analiz bulgularına geçilmeden önce Tablo 2’de değişkenlere ait tanımlayıcı istatistiklere yer verilmektedir.

Tablo 2: Tanımlayıcı İstatistikler

Değişkenler	Ortalama	Medyan	Standart Sapma	Min.	Max.
lnCO₂	1.89185	2.09469	0.78722	-0.15198	3.06039
lngdp	9.71464	10.31553	1.14277	6.50048	11.1891
lnenergy	0.34237	0.26313	0.38351	-0.52087	1.71487
lnurban	4.23385	4.34607	0.27591	3.29687	4.51760
lnren	2.24990	2.27568	1.01269	-0.39089	3.96484

Inpassenger	17.91073	17.8833	0.93346	15.90779	20.6056
Infreight	7.37120	7.55819	1.38578	4.67280	10.6686
Inghg	6.74061	6.54402	1.08826	4.07244	9.37768

Yatay kesit bağımlılığı test sonuçları Tablo 3'te sunulmuştur. Üç test sonucu, sıfır hipotezinin (H_0) %1 anlamlılık düzeyinde reddedildiğini göstermektedir. Bu, durum paneldeki ülkeler arasında güçlü bir kesitsel bağımlılık bulunduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 3: CSD Testi Sonuçları

	Model 1		Model 2	
	Test istatistikleri	Olasılık değeri	Test istatistikleri	Olasılık değeri
Breusch- Pagan LM	1023.802*	0.000	1150.374*	0.000
Pesaran Scaled LM	48.75147*	0.000	55.98706*	0.000
Pesaran CD	7.209906*	0.000	9.859848*	0.000

Not: *, **, *** %1, %5, %10 anlamlılık düzeylerini temsil etmektedir.

Tablo 4'te yer verilen eğim homojenliği testi sonuçları, H_0 hipotezi %1 anlamlılık düzeyinde reddedildiğini göstermektedir. Eğim katsayılarının hem Model 1 hem de Model 2 için heterojen olduğu ortaya konulmaktadır. Araştırmanın konusu olan panel ülkelerinde yer alan değişkenlerdeki değişimin, CO₂ emisyonları ve GHG emisyonları açısından ülkeden ülkeye farklılık gösterdiğini söyleyebiliriz.

Tablo 4: Homojenite Testi Sonuçları

	Model 1		Model 2	
	Test istatistikleri	Olasılık değeri	Test istatistikleri	Olasılık değeri
Delta Tilde	13.381*	0.000	9.451*	0.000
Delta Tilde Adjusted	16.773*	0.000	11.848*	0.000

Not: *, **, *** %1, %5 ve %10 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlılığı ifade etmektedir.

Tablo 5'te yer alan CIPS birim kök test sonuçları, tüm değişkenlerin sabitte durağan olmadığını ancak birinci farkları alındığında durağan hale geldiğini göstermektedir. Kentleşme değişkeni, düzeyde %10 düzeyinde durağan bulunmuş ve birinci farkı alındığında %1 düzeyinde durağan hale getirilmiştir. Bu nedenle, sıfır hipotezini reddedilmiştir. I(1) düzeyinde durağan olan değişkenlerin uzun dönem eşbütünleşme ilişkileri, Westerlund (2005) eşbütünleşme testi ile incelenmektedir.

Tablo 5: CIPS Birim Kök Test Bulguları

	Düzy, sabit	Birinci fark, sabit
lngdp	-0.005	-2.998*
lnenergy	-0.877	-4.334*
lnurban	-1.749***	-1.886*
Lnren	-1.164	-4.262*
Inpassenger	-0.751	-4.015*
Infreight	-0.992	-4.468*
lnCO ₂	-0.089	-3.644*

lnGHG

-0.899

-3.834*

Not: *, **, ***birinci farkında %1, %5 ve %10 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlılığı ifade etmektedir.

Tablo 6'da %1 ve %5 anlamlılık düzeylerinde eşbütünleşmenin olmadığı yönündeki sıfır hipotezi (H_0) reddedilmiştir. Eşbütünleşme testinden sonra PMG- ARDL yönteminden yararlanılarak uzun dönem katsayı tahminleri yapılmaktadır.

Tablo 6: Westerlund (2005) Eşbütünleşme Testi Sonuçları

	İstatistik (Model 1)	İstatistik (Model 2)
(Varyans Oran) VR_G	-4.3373* (0.000)	-2.0400** (0.0207)

Not: Parantez içindeki (.) değer olasılık değerini ifade eder. *, **, *** ise %1, %5, %10 düzeyindeki anlamlılık düzeyini ifade eder.

Katsayı tahmin sonuçları aşağıda yer alan Tablo 7'de sunulmuştur. Ekonomik büyüme değişkeni, hem CO₂ emisyonları hem de GHG emisyonları üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahiptir. Ulaştırma alanındaki önceki çalışmalarda bu sonuçları desteklemektedir. Örneğin Erdogan vd. (2020), Gyamfi vd. (2022), Bekun vd. (2023) gibi çalışmalar da ekonomik büyümenin erken aşamalarında CO₂ emisyonlarını artırdığını bulmuşlardır. Saikawa vd. (2017), ulaştırma sektörünün Çin'de artan ekonomik büyüme dönemlerinde büyümeye bağlı olarak geliştiğini ve ulaştırma sektörünün, incelenen dört sektör arasında CO₂ emisyonlarını artıran ikinci sektör olduğunu belirtmişlerdir. Simões ve Schaeffer (2005), ekonomik büyümenin Brezilya'da CO₂ emisyonlarını artırdığını tespit etmişlerdir. Bununla birlikte ekonomik büyümedeki artışın, havalimanı yolcu sayısının ve havalimanı altyapı yatırımlarının da artacağını ve bunun sonucunda daha yüksek CO₂ emisyonlarının ortaya çıktığını belirtmişlerdir.

Tablo 7: PMG- ARDL Uzun Dönem Analiz Sonuçları

	MODEL 1 (bağımlı değişken: CO2)	MODEL 2 (bağımlı değişken: GHG)
Değişkenler	PMG-ARDL Sonuçlar	
lnGdp	0.261134 (0.000)	0.631649 (0.000)
lnurban	-0.126407 (0.000)	-0.311795 (0.008)
lnenergy	0.400011 (0.000)	1.174732 (0.000)
lnpassenger	0.078628 (0.009)	0.127943 (0.000)
lnfreight	0.123621 (0.000)	0.147320 (0.000)
lnren	-0.371408 (0.000)	-0.022095 (0.0193)

Not: Parantez (.) içindeki değer olasılık değerini ifade eder.

Kentsel nüfus değişkeni, CO₂ ve GHG emisyonları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve negatif bir etkiye sahiptir. Bu sonuçlar Erdogan vd. (2020), Sarkodie vd. (2020), Benjamin vd. (2022), ve Sarfraz vd. (2022) tarafından yapılan çalışmalarla tutarlıdır. Bu çalışmalardan farklı olarak Arvin vd. (2015), G20 ülkelerinde kentleşmenin artan ulaşım ihtiyaçları nedeniyle çevresel bozulmaya neden olduğunu ortaya koymuştur. Tüm çalışmalar göz önüne alındığında, sürdürülebilir kentleşmenin sağlanabilmesi için ulaşım sistemlerine odaklanmanın gerekliliği vurgulanabilir.

Enerji yoğunluğunun, hem CO₂ hem de GHG emisyonları üzerinde pozitif yönlü bir etkisi mevcuttur. Enerji yoğunluğunun literatür çalışmalarında beklenen etkisi pozitifdir ve çalışmada elde edilen sonuç ile uyumludur. Son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde; Gershon vd. (2024) seçilmiş Afrika ülkelerinde enerji tüketiminin çevresel bozulma üzerinde pozitif bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Huang ve Ren (2024), 160 gelişmekte olan ülkeleri inceledikleri çalışmalarında, enerji tüketiminde fosil yakıt kullanımının çevresel bozulmayı artırdığı sonucunu elde etmişlerdir. Ahmed & Ahmed (2023), çalışmalarında Çin, Hindistan, ABD ve Rusya ülkelerinin yüksek enerji tüketimi ve

emisyollarının yüksek olan ölkeler olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında enerji tüketimi ile sera gazı emisyonları arasında pozitif yönlü bir ilişkinin bulunduğunu ortaya koymuşlardır.

Literatürle uyumlu olarak, yenilenebilir enerjinin CO₂ ve GHG emisyonları üzerinde azaltıcı etkisi bulunmuştur. Benzer şekilde Bekun vd. (2023), çalışmalarında yenilenebilir enerjinin Türkiye'de çevre kalitesinin iyileştirilmesine katkıda bulunduğunu sonucunu elde etmişlerdir, Sharif vd. (2019) tarafından yürütölen, en yüksek karbon emisyonuna sahip olan 74 ekonominin dikkate alındığı çalışmada yenilenebilir enerji tüketiminin çevresel bozulma üzerinde negatif bir etkiye sahip olduğunu tespit edilmiştir. Ahmad ve Majeed (2019), ise seçilmiş Güney Asya ölkeleri için benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

Hava yolcu taşımacılığı ve hava yük taşımacılığı değişkenleri, CO₂ emisyonları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif bir etkiye sahiptir. Bu sonuçlar, Habib vd. (2022), Trevisan ve Bordignon (2020), Jovanović ve Vracarevic (2016) çalışma bulgularına benzemektedir. Trevisan ve Bordignon (2020) çalışmasında yolcu taşımacılığı ve yük taşımacılığının emisyonları artırdığını; yolcu taşımacılığının ürettiği toplam emisyonların, yük taşımacılığından daha düşük olduğunu vurgulamıştır. Jovanović ve Vračarević (2016), turistik geziler nedeniyle hava taşımacılığına olan talebin yoğunlaşacağını, CO₂ emisyonlarının ise artacağını belirtmiştir. Çalışmalarında emisyonları azaltabilmesi için teknolojik gelişmelerin ve enerji verimliliği politikalarının önemini vurgulamışlardır.

Tablo 8: D-H Nedensellik Sonuçları (lnCO₂)

	W stat	Z bar	Prob.
lnco ₂ #Angdp	6.6036	16.810	0.000*
lngdp #lnco ₂	3.7184	8.151	0.000*
lnco ₂ #lnurban	10.3833	28.1499	0.000*
lnurban #lnco ₂	15.3228	42.9683	0.000*
lnco ₂ #lnenergy	5.6739	14.0216	0.000*
lnenergy #lnco ₂	2.3129	3.9417	0.000*
lnco ₂ #lnren	4.1893	9.5680	0.000*
lnren #lnco ₂	3.9929	8.9786	0.000*
lnco ₂ #lnpassenger	5.2403	12.6128	0.000*
lnpassenger #lnco ₂	2.5728	4.5385	0.000*
lnco ₂ #lnfreight	4.3384	10.0151	0.000*
lnfreight #lnco ₂	2.6794	5.0922	0.000*

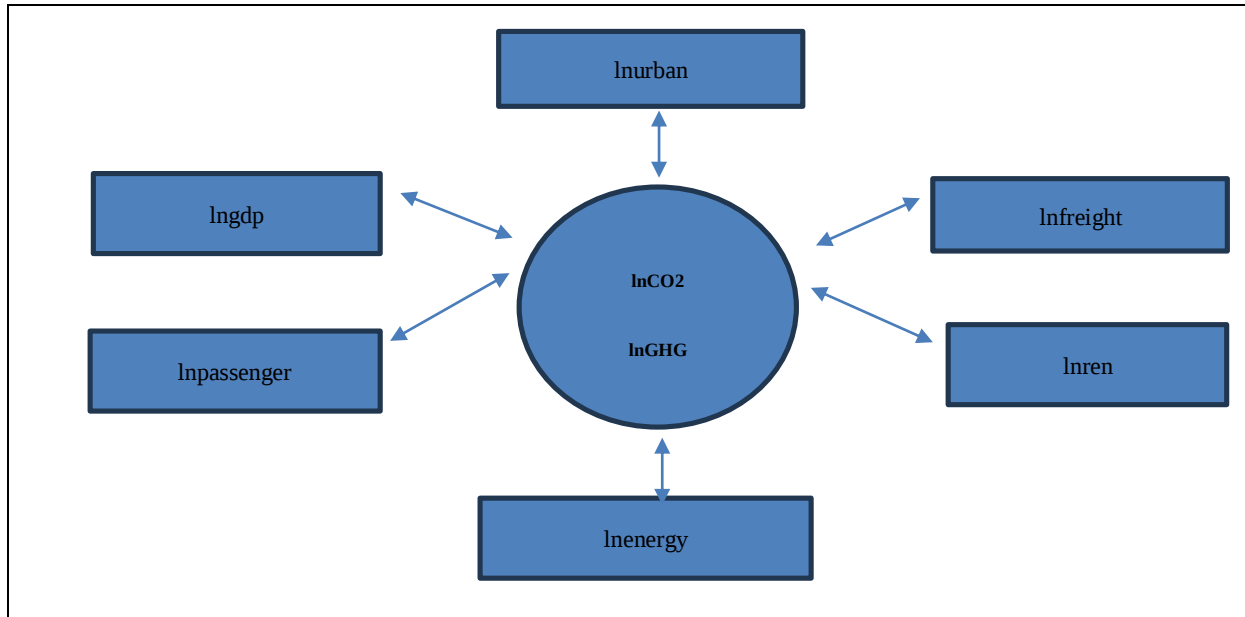
Not: “*”, “**” ve “***” sırasıyla %1, %5 ve %10'da anlamlılığı ifade etmektedir.

Uzun vadeli katsayı tahminlerinden sonra, değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü belirlemek için D-H Panel Nedensellik testi uygulanmıştır. Test sonuçları Tablo 8 ve Tablo 9'da sunulmuştur. D-H panel nedensellik analizinin ampirik kanıtları, CO₂ emisyonu ile hava yolcu taşımacılığı, hava yükü taşımacılığı, yenilenebilir enerji, ekonomik büyüme, enerji ve kentsel nüfus arasında iki yönlü nedensellik ilişkisi bulunduğunu ortaya koymaktadır. Bulgulara göre, hava yolcu taşımacılığı ve hava yükü taşımacılığı CO₂ emisyonlarına neden olmaktadır. Tablo 9'da GHG emisyonları dikkate alındığında D-H analizi bulgularını göstermekte, elde edilen bulgular CO₂ emisyonları bulguları ile aynı yönlü nedensellik ilişkilerinin mevcudiyetini ortaya koymaktadır.

Tablo 9: D-H Nedensellik Sonuçları (lnGHG)

	W stat	Z bar	Prob.
lnghg $\nrightarrow$ lngdp	3.7908	8.3725	0.000*
lngdp $\nrightarrow$ lnghg	3.5442	7.6327	0.000*
lnghg $\nrightarrow$ lnurban	4.8134	11.4402	0.000*
lnurban $\nrightarrow$ lnghg	8.4965	22.4865	0.000*
lnghg $\nrightarrow$ lnenergy	4.4770	5.2545	0.000*
lnenergy $\nrightarrow$ lnghg	3.4526	3.0814	0.002*
lnghg $\nrightarrow$ lnren	4.2021	9.6064	0.000*
lnren $\nrightarrow$ lnghg	2.5770	4.7310	0.000*
lnghg $\nrightarrow$ lnpassenger	3.6971	8.0913	0.000*
lnpassenger $\nrightarrow$ lnghg	2.5693	4.7079	0.000*
lnghg $\nrightarrow$ lnfreight	5.7674	7.9918	0.000*
lnfreight $\nrightarrow$ lnghg	3.3750	2.9169	0.003*

Not: “*”, “**” ve “***” sırasıyla %1, %5 ve %10’da anlamlılığı ifade etmektedir.

Şekil 1: Değişkenler Arasındaki İlişkinin Yönü

5. SONUÇ VE POLİTİKA ÖNERİLERİ

Bu çalışmanın amacı, 2018 yılında dünya CO₂ emisyonlarının 2/3'ünü üreten 18 ülkede 1997-2018 dönemi için hava taşımacılığı talebinin CO₂ emisyonları ve sera gazı emisyonları (GHG) üzerindeki etkisini incelemektir. Çalışmada PMG-ARDL yöntemi ve D-H nedensellik testi uygulanmıştır. Yatay kesit bağımlılığı testi sonucunda Ho hipotezinin reddedildiği ortaya konulmuştur. Delta testi sonuçları, Ho hipotezinin reddedildiğini ve eğim katsayılarının her iki model için heterojen olduğunu göstermektedir.

CIPS panel birim kök test sonuçları, değişkenlerin sabitte birinci farklarda durağan olduğunu göstermektedir. Panel eşbütünleşme testleri sonuçları ekonomik büyüme, enerji yoğunluğu, kentsel

nüfus, hava yolcu taşımacılığı, hava yük taşımacılığı ve CO₂ emisyonu arasındaki uzun vadeli ilişkiyi desteklemektedir ve bu nedenle değişkenlerin birlikte hareket ettiği söylenebilir.

Eşbütünleşme ilişkisini gözlemledikten sonra, model 1 ve model 2 için uzun vadeli regresyon katsayılarını tahmin etmek adına Panel PMG- ARDL yöntemlerinden yararlanılmıştır. Sonuçlara göre, ekonomik büyüme, enerji yoğunluğu, hava yolcu taşımacılığı ve hava yük taşımacılığının, hem CO₂ ve hem de GHG emisyonları üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Benzer sonuçları Jovanović ve Vracarevic (2016), Saikawa vd. (2017), Erdogan vd. (2020), Trevisan ve Bordignon (2020), Habib vd. (2022), ve Gyamfi vd. (2022) çalışmalarında elde etmişlerdir. Kentsel nüfus ve yenilenebilir enerji, CO₂ ve GHG emisyonları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve negatif bir etkiye sahiptir. Bu sonuçlar Sharif vd. (2019), Ahmad ve Majeed (2019), Erdogan vd. (2020); Sarkodie vd. (2020), Sarfraz vd. (2022), ve Bekun vd. (2023) tarafından elde edilen bulgularla da tutarlıdır.

Çalışmanın son aşamasında, değişkenler arasındaki ilişkinin yönü D-H panel nedensellik testi ile ortaya çıkarılmıştır. Ampirik bulgular, CO₂ emisyonları ile hava yolcu taşımacılığı, hava yük taşımacılığı, yenilenebilir enerji, ekonomik büyüme, enerji yoğunluğu ve kentsel nüfus arasında iki yönlü nedensellik olduğunu göstermektedir. Aynı bulgular CO₂ emisyonları yerine GHG emisyonları dikkate alındığında da geçerlidir.

Araştırma sonucunda şu politika önerileri sunulabilir.

- Çalışmadan elde edilen bulgulara göre, enerji yoğunluğu, hem CO₂ hem de GHG emisyonunu artırırken, yenilenebilir enerji CO₂ ve GHG emisyonunu azaltmaktadır. Bu sonuçlar doğrultusunda, enerji yoğunluğunun çoğunlukla fosil yakıt tüketiminden kaynaklanması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları yeterli değildir, bu nedenle bu ülkelerde yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımlar artırılmalıdır. Sürdürülebilir bir çevre için, emisyonları azaltan alternatif yakıtlar kullanılmalıdır. Bu nedenle, ekonomik büyümeyi tehlikeye atmadan, enerji yoğunluğunu azaltacak ve temiz enerji kaynaklarını artıracak politikalar (hava taşımacılığı sektöründe doğal gaz, biyodizel ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir yakıtların kullanımını, hibrit motorları, biyoyakıtların jet yakıtlarıyla harmanlandığı teknolojileri ve elektrifikasyon gibi düşük karbonlu teknolojilerin kullanımını teşvik etmek) uygulanmalıdır. Ayrıca yenilenebilir enerji yatırımlarını artırmak için yeşil tahviller gibi finansal mekanizmalar ile teşvikler sağlanmalıdır. Bu öneriler, Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SDG7) ile de uyumludur. Enerji açısından verimli bir hava taşımacılığı sistemini iyileştirmek hem enerji tasarrufu sağlar hem de sera gazı (GHG) emisyonlarını azaltır.

- Hava yolcu taşımacılığı ve hava yük taşımacılığı, CO₂ emisyonlarını artırmaktadır. Hava taşımacılığına yönelik talebin giderek artmasıyla birlikte, çevresel bozulmayı azaltmaya yönelik olarak hava taşımacılığı stratejilerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Örneğin, çevresel bozulmayı azaltmak için teknolojik gelişmelerin teşvik edilmesi ve daha az yakıt tüketen araçların üretilmesi gerekmektedir (Habib vd., 2022). Çevresel bozulmanın yarattığı dışsallıkların içselleştirilebilmesi için hava yolcu taşımacılığı ve hava yük taşımacılığında vergi politikaları uygulanmalıdır (Hassan vd., 2021; Krenek vd., 2014).

- Kentleşmenin, CO₂ ve GHG emisyonları üzerindeki azaltıcı etkisi, insan sermayesi yatırımlarındaki artışın sonucu olarak çevresel farkındalığın gelişmesi ile açıklanabilir. Çevresel sürdürülebilirliğin devam ettirilebilmesi için kentleşme sürecinde çevresel farkındalığın belirli stratejiler ile istikrarlı bir şekilde desteklenmesi, sürdürülebilirliğin korunmasına katkı sağlayacaktır.

KISALTMALAR

AKC: Havacılık Kuznets Eğrisi

ATAG: Hava Taşımacılığı Eylem Grubu

CSD: Yatay Kesit Bağımlılığı

D-H: Dumitrescu-Hurlin

EKC: Çevresel Kuznets Eğrisi

FMOLS: Tamamen Geliştirilmiş En küçük Kareler

GMM: Genelleştirilmiş Momentler Yöntemi

IATA: Uluslararası Hava Taşımacılığı Birimi

IEA: Uluslararası Enerji Ajansı

MG: Ortalama Grup Tahmincisi

PMG-ARDL: Havuzlanmış Ortalama Grup -Otoregresif Dağıtılmış Gecikmeli Model

Etik Beyan: Bu alışmada “Etik Kurul” izini alınmasını gerektiren bir yöntem kullanılmamıştır.

Yazar Katkı Beyanı: 1. Yazarın katkı oranı %50, 2. Yazarın katkı oranı ise %50’dir.

ıkar Beyanı: Yazarlar arasında ıkar atışması yoktur.

Ethics Statement: In this study, no method requiring the permission of the “Ethics Committee” was used.

Author Contributions Statement: 1st author’s contribution rate is 50%, 2nd author’s contribution rate is 50%.

Conflict of Interest: There is no conflict of interest among the authors.

KAYNAKA

- Ahmad, W., & Majeed, M. T. (2019). The impact of renewable energy on carbon dioxide emissions: An empirical analysis of selected South Asian countries. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9(4), 527-534. <https://cyberleninka.ru/article/n/the-impact-of-renewable-energy-on-carbon-dioxide-emissions-an-empirical-analysis-of-selected-south-asian-countries>
- Ahmed, M., Shuai, C., & Ahmed, M. (2023). Analysis of energy consumption and greenhouse gas emissions trend in China, India, the USA, and Russia. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(3), 2683-2698. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04159-y>
- Air Transport Action Group (ATAG) (2021). Aviation Beyond Orders. Erişim Tarihi: 10.01.2023.
- Arvin, M. B., Pradhan, R. P., & Norman, N. R. (2015). Transportation intensity, urbanization, economic growth, and CO2 emissions in the G-20 countries. *Utilities Policy*, 35, 50-66. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2015.07.003>
- Baker, D., Merkert, R., & Kamruzzaman, M. (2015) Regional aviation and economic growth: cointegration and causality analysis in Australia. *Journal of Transport Geography*, 43, 140-150. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.02.001>
- Balsalobre-Lorente, D., Driha, O. M., Bekun, F. V., & Adedoyin, F. F. (2021). The asymmetric impact of air transport on economic growth in Spain: fresh evidence from the tourism-led growth hypothesis. *Current issues in tourism*, 24(4), 503-519. <https://doi.org/10.1080/13683500.2020.1720624>
- Baxter, G., Srisaeng, P., & Wild, G. (2018). Sustainable airport energy management: The case of Kansai international airport. *International Journal for Traffic & Transport Engineering*, 8(3). [http://dx.doi.org/10.7708/ijtte.2018.8\(3\).07](http://dx.doi.org/10.7708/ijtte.2018.8(3).07)
- Bekun, F. V., Gyamfi, B. A., Etokakpan, M. U., & akir, B. (2023). Revisiting the pollution haven hypothesis within the context of the environmental Kuznets curve. *International Journal of Energy Sector Management*, 17(6), 1210-1231. <https://doi.org/10.1108/IJESM-12-2020-0013>
- Benjamin, A. A. (2022). Retraction Note: Air transport and rail transport impact on environment: evidence from India, China, Brazil, Mexico, Indonesia, Turkey and Russia. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 32959-32966. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18575-7>

- Brida, J. G., Monterubbianesi, P. D., & Zapata-Aguirre, S. (2018). Exploring causality between economic growth and air transport demand for Argentina and Uruguay. *World Review of Intermodal Transportation Research*, 7(4), 310-329. <https://doi.org/10.1504/WRITR.2018.095256>
- CO₂ emissions from aviation, 2018. <https://ourworldindata.org/grapher/co2-emissions-aviation> Erişim Tarihi: 10.01.2023
- Demir, A. S. (2022). Modeling and forecasting of CO₂ emissions resulting from air transport with genetic algorithms: the United Kingdom case. *Theoretical and Applied Climatology*, 150, 777-785. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04203-4>
- Dietz, T., & Rosa, E. A. (1997). Effects of population and affluence on CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94(1), 175-179. <https://doi.org/10.1073/pnas.94.1.175>
- Dogan, E., Ulucak, R., Kocak, E., & Isik, C. (2020). The use of ecological footprint in estimating the environmental Kuznets curve hypothesis for BRICST by considering cross-section dependence and heterogeneity. *Science of the Total Environment*, 723, 138063. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138063>
- Dumitrescu, E. I., & Hurlin, C. (2012). Testing for Granger non-causality in heterogeneous panels. *Economic Modelling*, 29(4), 1450-1460. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2012.02.014>
- Dursun, E. (2022). The Nexus among civil aviation, energy performance efficiency and GDP in terms of ecological footprint: Evidence from France and Finland. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 12(5), 243-251. <https://doi.org/10.32479/ijeep.13399>
- Ehrlich, P. R., & Holdren, J. P. (1971). Impact of population growth. *Science*, 171(3977), 1212-1217. <https://www.jstor.org/stable/1731166>
- European Union Aviation Safety Agency (EASA), European Aviation Environmental Report, 2022. Erişim Tarihi: 10.01.2023.
- Erdogan, S., Gedikli, A., Cevik, E. I., & Erdogan, F. (2022). Eco-friendly technologies, international tourism and carbon emissions: Evidence from the most visited countries. *Technological Forecasting and Social Change*, 180, 121705. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121705>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101935>
- Falk, M. T., & Hagsten, E. (2021). Determinants of CO₂ emissions generated by air travel vary across reasons for the trip. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 22969–22980. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12219-4>
- Gershon, O., Asafo, J. K., Nyarko-Asomani, A., & Koranteng, E. F. (2024). Investigating the nexus of energy consumption, economic growth and carbon emissions in selected African countries. *Energy Strategy Reviews*, 51, 101269. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101269>
- Gössling, S., & Humpe, A. (2020). The global scale, distribution and growth of aviation: Implications for climate change. *Global Environmental Change*, 65(102194). <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102194>
- Graver, B., Zhang, K., & Rutherford, D. (2019). emissions from commercial aviation, 2018. International Council on Clean Transportation. https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_CO2-commercial-aviation-2018_20190918.pdf
- Guo, J., Zhou, Y., Ali, S., Shahzad, U., & Cui, L. (2021). Exploring the role of green innovation and investment in energy for environmental quality: An empirical appraisal from provincial data of China. *Journal of Environmental Management*, 292, 112779. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112779>

- Gyamfi, B. A., Bekun, F. V., Balsalobre-Lorente, D., Onifade, S. T., & Ampomah, A. B. (2022). Beyond the environmental Kuznets curve: Do combined impacts of air transport and rail transport matter for environmental sustainability amidst energy use in E7 economies? *Environment, Development and Sustainability*, 24, 11852-11870. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01944-6>
- 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(29), 44020-44041. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18904-w>
- Hassan, S. A., Nosheen, M., Rafaz, N., & Haq, I. (2021). Exploring the existence of aviation Kuznets curve in the context of environmental pollution for OECD nations. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 15266-15289. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01297-0>
- Hou, S., Chen, X., & Qiu, R. (2022). Sustainable biofuel consumption in air passenger transport driven by carbon-tax policy. *Sustainable Production and Consumption*, 31, 478-491. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.03.016>
- Hu, Y., Xiao, J., Deng, Y., Xiao, Y., & Wang, S. (2015). Domestic air passenger traffic and economic growth in China: Evidence from heterogeneous panel models. *Journal of Air Transport Management*, 42, 95-100. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2014.09.003>
- Huang, Z., & Ren, X. (2024). Impact of natural resources, resilient economic growth, and energy consumption on CO2 emissions. *Resources Policy*, 90, 104714. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104714>
- International Air Transport Association (IATA) (2021). Our Commitment to Fly Net Zero by 2050. <https://www.iata.org/en/programs/environment/flynetzero/>
- IATA Releases Strategic Roadmaps to Showcase Critical Steps to Reach Net Zero by 2050. <https://www.iata.org/en/pressroom/2023-releases/2023-06-04-03/>
- International Energy Agency (IEA) (2022, Mar 8). Global CO2 emissions rebounded to their highest level in history in 2021. <https://www.iea.org/news/global-co2-emissions-rebounded-to-their-highest-level-in-history-in-2021>
- Javanmard, M. E., Tang, Y., & Martínez-Hernández, J. A. (2024). Forecasting air transportation demand and its impacts on energy consumption and emission. *Applied Energy*, 364, 123031. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123031>
- Jovanović, M., & Vračarević, B. (2016). Challenges ahead: mitigating air transport carbon emissions. *Polish Journal of Environmental Studies*, 25(5), 1975-1984. <https://doi.org/10.15244/pjoes/62700>
- Kaya, G., & Kayalica, Ö. (2022). Aviation-caused CO2 emissions reduction efficiency in EU-28 under CORSIA compliance. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 5(2), 33-52. <https://doi.org/10.51513/jitsa.1164739>
- Krenek, A. & Schratzenstaller, M. (2016). Sustainability-oriented EU Taxes: The Example of a European Carbon-based Flight Ticket Tax. Retrieved from Umeå universitet website: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:umu:diva-120832>
- Köves, A., & Bajmócy, Z. (2022). The end of business-as-usual? – A critical review of the air transport industry's climate strategy for 2050 from the perspectives of Degrowth. *Sustainable Production and Consumption*, 29(1), 228–238. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.10.010>
- Lam, L. P., Martini, G, Porta, F., & Scotti, D. (2020). The determinants of CO2 emissions of air transport passenger traffic: An analysis of Lombardy (Italy). *Transport Policy*, 91(2020), 108–119. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.11.010>
- Lee, D. S., Fahey, D. W., Skowron, A., Allen, M. R., Burkhardt, U., Chen, Q., Doherty, S. J., Freeman, S., Forster, P. M., Fuglestedt, J., Gettelman, A., De León, R. R., Lim, L. L., Lund, M. T., Millar, R. J., Owen, B., Penner, J. E., Pitari, G., Prather, M. J., Sausen, R. R., ..., & Wilcox, L. J. (2021).

- The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment*, 244, 117834. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834>
- Li, F., Li, F., Cai, B., & Lv, C. (2022). Mapping carbon emissions of China's domestic air passenger transport: From individual cities to intercity networks. *Science of The Total Environment*, 851, 158199. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158199>
- Lu, W. C. (2020). The interplay among ecological footprint, real income, energy consumption, and trade openness in 13 Asian countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(36), 45148-45160. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10399-7>
- Mayor, K., & Tol, R. S. (2010). The impact of European climate change regulations on international tourist markets. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 15(1):26-36. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2009.07.002>
- Miller, C. A. (2021). Savings in per-passenger CO2 emissions using rail rather than air travel in the northeastern U.S. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 71(12): 1458-1471. <https://doi.org/10.1080/10962247.2020.1837996>
- Nenavath, S. (2023). Does transportation infrastructure impact economic growth in India?. *Journal of facilities management*, 21(1), 1-15. <https://www.emerald.com/insight/1472-5967.htm>
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. P. (1999). Pooled Mean Group Estimation of Dynamic Heterogeneous Panels. *Journal of the American Statistical Association*, 94(446), 621–634. <https://doi.org/10.1080/01621459.1999.10474156>
- Pesaran, M. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22(2):265–312. <https://doi.org/10.1002/jae.951>
- Pesaran, M. H., & Yamagata, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels. *Journal of Econometrics*, 142(1), 50-93. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2007.05.010>
- Phillips, P. C., & Hansen, B. E. (1990). Statistical inference in instrumental variables regression with I (1) processes. *The Review of Economic Studies*, 57(1), 99-125. <https://doi.org/10.2307/2297545>
- Raihan, A., Voumik, L. C., Akter, S., Ridzuan, A. R., Fahlevi, M., Aljuaid, M., & Saniuk, S. (2024). Taking flight: Exploring the relationship between air transport and Malaysian economic growth. *Journal of Air Transport Management*, 115, 102540. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2024.102540>
- Renewables 2024 Analysis and Forecast to 2030. <https://www.iea.org/reports/renewables-2024> .
- Saikawa, E, Kim, H, Zhong, M., Avramov, A., Zhao, Y., Janssens-Maenhout, G., ... & Zhang, Q. (2017). Comparison of emissions inventories of anthropogenic air pollutants and greenhouse gases in China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17(10), 6393-6421. <https://doi.org/10.5194/acp-17-6393-2017>
- Sarfraz, M., Naseem, S., & Mohsin, M. (2022). Adoption of renewable energy, natural resources with conversion information communication technologies and environmental mitigation: Evidence from G-7 countries. *Energy Reports*, 8, 11101-11111. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.08.248>
- Sarkodie, S. A., Owusu, P. A., & Leirvik, T. (2020). Global effect of urban sprawl, industrialization, trade and economic development on carbon dioxide emissions. *Environmental Research. Letters*, 15(3). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab7640>
- Sgouridis, S., Bonnefoy, P. A., & Hansman, R. J. (2011). Air transportation in a carbon constrained world: Long-term dynamics of policies and strategies for mitigating the carbon footprint of commercial aviation. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(10), 1077-1091. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2010.03.019>
- Sharif, A., Raza, S. A., Ozturk, I., & Afshan, S. (2019). The dynamic relationship of renewable and nonrenewable energy consumption with carbon emission: a global study with the application of

- heterogeneous panel estimations. *Renewable energy*, 133, 685-691. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.052>
- Stern, D. I. (2017). The environmental Kuznets curve after 25 years. *Journal of Bioeconomics*, 19, 7-28. <https://doi.org/10.1007/s10818-017-9243-1>
- Tarr, A. P., Smith, I. J., & Rodger, C. J. (2022). Carbon dioxide emissions from international air transport of people and freight: New Zealand as a case study. *Environmental Research Communications*, 4(7), 075012. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/abf15d>
- The International Council on Clean Transportation (2020). CO₂ emissions from commercial aviation: 2013, 2018, and 2019. <https://theicct.org/>. Erişim Tarihi: 01.10.2024
- Trevisan, L., & Bordignon, M. (2020). Screening Life Cycle Assessment to compare CO₂ and Greenhouse Gases emissions of air, road, and rail transport: An exploratory study. *Procedia CIRP*, 90, 303-309. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.100>
- Verbič, M., Satrović, E., & Muslija, A. (2021). Environmental Kuznets curve in Southeastern Europe: the role of urbanization and energy consumption. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(41), 57807-57817. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14732-6>
- World Economic Forum. (2024, Nov 15). What is the G20 and why does it matter?. <https://www.weforum.org/stories/2024/11/g20-summit-what-you-need-to-know/>
- Westerlund, J. (2005). New simple tests for panel cointegration. *Econometric Reviews*, 24(3), 297-316. <https://doi.org/10.1080/07474930500243019>
- Xu, B., & Lin, B. (2015). Carbon dioxide emissions reduction in China's transport sector: a dynamic VAR (vector autoregression) approach. *Energy*, 83, 486-495. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.02.052>
- Yildiz, O. F., Yilmaz, M., & Celik, A. (2022). Reduction of energy consumption and CO₂ emissions of HVAC system in airport terminal buildings. *Building and Environment*, 208, 108632. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108632>
- Zhang, Y., & Cheng, L. (2023). The role of transport infrastructure in economic growth: Empirical evidence in the UK. *Transport Policy*, 133, 223-233. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.01.017>
- Zhang, C., & Nian, J. (2013). Panel estimation for transport sector CO₂ emissions and its affecting factors: A regional analysis in China. *Energy Policy*, 63, 918-926. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.07.142>
- Zhang, H., Razzaq, A., Pelit, I., & Irmak, E. (2022). Does freight and passenger transportation industries are sustainable in BRICS countries? Evidence from advance panel estimations. *Economic research-Ekonomska istraživanja*, 35(1), 3690-3710. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2021.2002708>