Demiryolu Mühendisliği **Railway Engineering**
Yıl: 2026, Sayı: 23 Year: 2026, Issue: 23
Makale No: 1839921 Article No: 1839921
Araştırma Makalesi Research Article
doi: 10.47072/demiryolu.1839921
http://dergipark.org.tr/demiryolu
e-ISSN: 2687-2463, ISSN: 2149-1607

Demiryolu Yük Taşımacılığı ve Kaynak Verimliliğinin Sera Gazı Emisyonları Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması: Bazı Avrupa Birliği Ülkeleri ve Türkiye Örneği

Muhammet KARANFİL[1], Ramazan YILDIZ*[2]

[1] *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Biga Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, Çanakkale, Türkiye*
[2] *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Yenice Meslek Yüksekokulu, Yönetim ve Organizasyon Bölümü, Çanakkale, Türkiye*

**ramazanyildizahmet@gmail.com*

(Alınış/Received: 10.12.2025, Kabul/Accepted: 13.01.2026, Yayımlama/Published: 20.01.2026)

Öz: Bu çalışma, Avrupa Birliği'nde en yüksek GSYİH'ye sahip Almanya, İspanya, Fransa, İtalya, Hollanda ve Türkiye'den oluşan ülkelerin demiryolu yük taşımacılığı, kaynak verimliliği ve sera gazı (SG) emisyonları arasındaki nedensellik ilişkileri incelemektedir. 2013–2023 yılları arasında kullanılan, araştırma verileri, "Eurostat" veri tabanından derlenmektedir. Veri setinin yapısı ve ülkeler arası karşılaştırma gerekliliği göz önünde bulundurularak, analizlerde panel veri yöntemi kullanılmıştır. Bazı araştırma sonuçlarına göre; panel düzeyinde demiryolu taşımacılığı ile SG emisyonları arasında anlamlı bir nedensellik tespit edilememiştir. Fakat kaynak verimliliğinin her iki değişkenle (demiryolu taşımacılığı ve SG) ilişkilerde belirleyici bir kanal olduğunu belirlenmiştir. Ülke bazında elde edilen sonuçlar heterojen durumdadır. Türkiye'de, SG'den kaynak verimliliğine doğru nedensellik bulunurken, Almanya ve İspanya'da kaynak verimliliğinden SG'ye doğru tek yönlü bir ilişki belirlenmiştir. İtalya ve Hollanda'da ise demiryolu taşımacılığından kaynak verimliliğine doğru nedensellik ilişki tespit edilememiştir. Bu sonuçlar, demiryolunun düşük karbon avantajının ülkeye özgü enerji altyapısı, elektrik kullanma düzeyi ve operasyonel verimlilik gibi faktörlere bağlı olarak değiştiğini ortaya koymaktadır. Çalışma, kaynak verimliliğinin hem çevresel performansı hem de ulaşım türlerinin dönüşümünü etkileyen stratejik bir değişken olduğunu ortaya koymaktadır. Bu alandaki karar vericilerin, genel anlamda bir stratejiden ziyade ülkeye özgü düşük karbon çözümlerinin geliştirilmesi gerektiği anlamına gelmektedir. Bulgular ayrıca; sürdürülebilir demiryolu taşımacılığını gerçekleştirmede, verimlilik artırıcı çalışmaların da göz önünde bulundurularak SG emisyonlarını azaltılmasında daha etkili olacağını göstermektedir.

***Anahtar kelimeler**:* Tedarik zinciri yönetimi, Demiryolu yük taşımacılığı, Lojistik yönetimi, Sera gazı emisyonları, Kaynak verimliliği

Investigating the Effects of Railway Freight Transport and Resource Efficiency on Greenhouse Gas Emissions: The Example of Some European Union Countries and Türkiye

Abstract: This study investigates the causal relationships between rail freight transport, resource efficiency, and greenhouse gas (GHG) emissions in the European Union's highest GDP countries: Germany, Spain, France, Italy, the Netherlands, and Turkey. Data for the period 2013–2023 are compiled from the Eurostat database. Given the structure of the data set and the need for cross-country comparisons, the panel data method was used in the analyses. Some research results indicate that no significant causality was found between rail transport and GHG emissions at the panel level. However, resource efficiency was determined to be a determining channel in the relationships between both variables (rail transport and GHG). The results obtained by country are heterogeneous. In Turkey, causality runs from GHG to resource efficiency, while in Germany and Spain, a unidirectional relationship runs from resource efficiency to GHG. However, no causality runs from rail transport to resource efficiency in Italy and the Netherlands. These results suggest that the low-carbon advantage of railways varies depending on factors such as country-specific energy infrastructure, electrification levels, and operational efficiency. The study demonstrates that resource efficiency is a strategic variable affecting both environmental performance and the transformation of transportation modes. This suggests that decision-makers in this area should develop country-specific low-carbon solutions rather than a

Atıf için/Cite as: M. Karanfil, R. Yıldız, "Demiryolu yük taşımacılığı ve kaynak verimliliğinin sera gazı emisyonları üzerindeki etkilerinin araştırılması: bazı Avrupa Birliği ülkeleri ve Türkiye örneği," *Demiryolu Mühendisliği*, sy. 23, no. 1839921, 2026, doi: 10.47072/demiryolu.1839921

general strategy. The findings also suggest that efficiency-enhancing efforts will be more effective in achieving sustainable railway transportation and reducing GHG emissions.

***Keywords**:* Supply chain management, Rail freight transportation, Logistics management, Greenhouse gas emissions, Resource efficiency

1. Giriş

Artan sera gazı emisyonu, dünya genelinde sıcaklıkların yükselmesine ve iklim değişikliğine yol açmaktadır. Bu durum, doğal ekosistemlerden insan faaliyetlerine kadar geniş bir alanda olumsuz etkiler oluşturmaktadır. İklim değişikliği, insan kaynaklı faaliyetlerin, özellikle karbon dioksit (CO_2), metan (CH_4) ve azot oksit (N_2O) gibi sera gazlarının atmosfere salınımı sonucunda meydana gelmektedir. Bunun sonucunda, günümüzde en acil ve karmaşık sorunlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Küresel çapta açığa çıkan sorunun çözümü için, uluslararası iş birliğine, hükümet politikalarına, bireysel çabalara ve kurumsal taahhütlere ihtiyaç duyulmaktadır. Avrupa Birliğindeki üye devletler sürdürülebilir yeşil tedarik zinciri faaliyetleri ile temiz ulaşıma yatırım yapmaktadırlar. Böylece, 2050 iklim hedeflerine iklimi nötr hale getirmeyi hedeflemektedirler. Bunların yanında enerji verimliliğinin arttırılması, doğal çevrenin korunması ve kamu farkındalığı artırması gibi hedefleri bulunmaktadır [1].

Avrupa Birliği (AB), son yıllarda karayolu taşımacılığının artışı azaltarak çevresel sorunları da azaltmayı planlamaktadır. Bundan dolayı AB verimlikleri düşük olup karbon salınımı fazla olan karayolu taşımacılığındaki vergileri yükseltmektedir. Kara yoluna alternatif olarak verimlilikleri kara yoluna göre yüksek olan demiryolu ve su taşımacılığı gibi taşımacılık türlerine yönelmeyi teşvik etmişlerdir. Böylelikle SG emisyonlarını düşürülmesi planlanmaktadır. Bunların yanında, uluslararası demiryolu kuruluşları daha fazla demir yolu taşıma yaparak, SG emisyonunu azaltmayı planlamaktadırlar. Bundan dolayı, 2030 yılına kadar, 300 km'den daha uzun karayolu taşımacılığının büyük kısmını demiryolu taşımacılığına kaydırılması düşünülmektedir. Demiryolu taşımacılığı, hem SG emisyon değerlerinin düşük olması açısından hem de bitim yük başına düşen maliyet açısından çok büyük öneme sahip bir taşımacılık türüdür. Bundan dolayı demiryolu taşımacılığı; merkezi bir rol oynamakta, iklim değişikliğiyle mücadelede ve düşük karbonlu bir ulaşım açısından ön plana çıkan bir kara taşımacılığıdır [2].

Avrupa Birliği'nin 2025 yılı komisyon raporuna göre; 2050 yılına kadar SG emisyon oranları %90 oranında azaltılması hedeflenmektedir. Lojistik ulaşım faaliyetleri, AB'nin toplam sera gazı emisyonlarının yaklaşık %25'ini oluşturmaktadır. Demir yolu taşımacılığı, en düşük SG emisyon oranına sahip olan taşıma türü olarak öne çıkmaktadır. Bundan dolayı karbonu nötrlemek için en iyi taşıma türlerinden birsidir [3]. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre; Türkiye'deki SG emisyon oranı 1990 yılından 2022 yılına kadar bazı yıllarda biraz düşme olsa da sürekli yükselme trendinde olduğu anlaşılmaktadır. 1990 yılında, 228 milyon ton CO_2 eşdeğeri hesaplanırken, 2022 yılında 558,3 milyon ton CO_2 eşdeğeri hesaplanmıştır [4].

Sera gazları için, toplumsal farkındalığını arttırıp sera gazı salınımının azaltılması hayati öneme sahiptir. Bundan dolayı SG salınımını azaltmasına yönelik hem akademik camiada hem de işletmelerde birçok çalışmalar yapılmaktadır. Demir yolu taşımacılığı ile karbon salınımı konularında önde gelen yerli ve yabancı bilimsel akademik çalışmalar bulunmaktadır. Kirschstein ve Meisel, [5] demir yolu ve kara yolu yük taşımacılığının çevre dostu olup olmadığının değerlendirilmesi için SG emisyon modeli belirlemişlerdir. Çalışmada taşımacılığım SG emisyonları, seçilen rotaya, seyahat hızına ve her ülkeye özel emisyon faktörlerine bağlı olarak değiştiğini ispatlamışladır. Gandhi, vd. [6] demiryolu yük taşımacılığının sürdürülebilir performans değerlendirmesi üzerine Hindistan'da çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada, Hindistan'daki demir yolu yük taşımacılığı çevresel ve sosyal

açıdan en önemli performans göstergelerinden birisi olmaktadır. Fakat bunların yanında ekonomik anlamda dalgalanmaların olduğu belirlenmiştir. Bundan dolayı, çevresel ve ekonomiklik açısından en uygun taşıma modunun demiryolu ile intermodal taşımacılık olduğu belirlenmiştir. Steenhof, vd. [7] Kanada'da yük taşımacılığı ile SG emisyonları üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmada, Kanada'da önceleri dış ticaret ve karayolu taşımacılığına bağlı artışın SG emisyonlarının arttırdığı tespit edilmiştir. Buna rağmen demiryolu taşımacılığına yönelmenin olmasıyla, SG emisyonlarının azalmakta olduğu anlaşılmaktadır.

Yapılan yerli çalışmalarda; Cengiz [8] demir yolu taşımacılığı ilse SG emisyon oranlarının belirlenmesi üzerine çalışma yapmıştır. Demiryolu ile yapılan taşımacılığın gün geçtikçe artmakta olduğunu ve buna bağlı olarak SG emisyon oranlarının düşmekte olduğunu belirlemiştir. Ayrıca demir yolu taşımacılığına yapılan yatırımlar ile SG emisyonları arasında negatif ilişki tespit edilmiştir. Demirtürk [9] SG emisyon oranlarının azaltılmasına yönelik çalışma yapmıştır. Çalışmada SG emisyon oranlarının düşürülmesi için demir yoluna yapılan yatırımların arttırılması gerektiği ve taşımacılığın ağırlıklı olarak demir yolu taşımacılığına kaydırılması gerektiğinden bahsedilmektedir. Saraç ve Mescioğlu [10] demir yolu taşımacılığının ile diğer taşımacılık türlerinin SG emisyon oranlarını karşılaştırmışlardır. Araştırmada, Türkiye'de en düşük karbon emisyonunun demir yolu taşımacılığı olduğu belirlenmiştir.

Yapılan bilimsel çalışmalar ağırlıklı olarak, taşımacılık türlerinde SG emisyon oranlarının düşürülmesine yönelik yeni yöntemlerin geliştirilmesi üzerinedir. Bazı çalışmalarda ise, taşıma türleri ile SG oranlarının kıyaslaması yapılmıştır. Fakat, bazı Avrupa Ülkeleri ve Türkiye'nin demir yolu taşımacılığı ile SG emisyon oranları ve kaynak verimlilikleri üzerine bir çalışmaya rastlanamamıştır. Özellikle kaynak verimliliği ile sera gazlarının ülkeler arasında kıyaslama yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışma ile literatürdeki boşluk doldururken, ülkeler arası demir yolunun çevresel ve kaynak verimlilikleri performanslarının karşılaştırması yapılarak, karar vericilere SG emisyonlarının azalttırması için strateji oluşturmada rehberlik edebilecektir. Çalışmanın giriş bölümünde çalışmanın önemi, önde gelen çalışmalardan bazıları ve öğün değerine değinildikten sonra ikinci bölümde literatür taraması yapılmaktadır. Çalışmanın üçüncü bölümünde ekonometrik metodoloji ve yönteme değinildikten sonra, dördüncü bölümde ampirik bulgular yer almaktadır. Son bölümde ise sonuç ve öneriler kısmı bulunmaktadır.

2. Literatür Taraması

Dünya bankası verilerine göre, demir yolu taşımacılığında Avrupa, Hindistan, Çin, Güney Kore ve Japonya gibi ülkelerde demiryolları hem yük hem de yolcu taşımacılığında merkezi bir rol oynamaktadır. Kuzey Amerika'da ise yük taşımacılığında öne çıkmaktadır. Batı Avrupa, yoğun ve entegre ağ yapısıyla öne çıkarken, Avustralya daha seyrek bir ağa sahiptir. Toplu yük taşımacılığı, düşük aktarma maliyetleri, enerji verimliliği ve düşük envanter maliyetleri sayesinde trenleri karayoluna kıyasla çok daha ekonomik hâle getirir; kömür, cevher, tahıl ve sıvılar gibi malzemeler üstü açık, hazneli veya tanker vagonlarla, konteyner trenleri ise toplu olmayan taşımacılıkta yaygın biçimde kullanılmaktadır [11]. Günümüzde SG emisyonu, küresel ısınma ve iklim değişikliği açısından önemli bir tehdit olarak algılanmaktadır. Bundan dolayı lojistik taşımacılığında, düşük karbon emisyonlu taşıma türlerine geçiş yapmak çok önem kazanmaktadır. Avrupa Çevre Ajansının değerlendirmelerine göre, demiryolu ve su taşımacılığı, yük ve yolcu taşımacılığı açısından kara yolu ve hava yolu taşımacılığına kıyasla kilometre başına ve taşınan birim yük başına çok daha düşük SG emisyonu yoğunluğuna sahip taşımacılık türleridir [12]. Bazı araştırma sonuçlarına göre demiryolu ile yapılan taşımacılık, karayoluna göre 3–10 kat daha az CO_2 salınımı yaptığı belirlenmiştir. Araştırmalara göre, demiryolunun enerji ve karbon verimliliği açısından yüksek düzeyli ulaşım türüdür. Ve ayrıca iklim değişikliğiyle mücadelede etkin bir araç olduğunu ortaya konmaktadır [13].

Tablo 1. Demiryolu taşımacılığı ve sera gazı etkileri

Yayın Konusu	Yazar(lar)	Yöntem	Sonuç
AB'de ulaşım faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının araştırılmaktadır.	Deixelberger, [14].	Panel veri analizi	Sera gazı emisyonları üzerinde en güçlü etkiye sahip değişkenlerin enerji yoğunluğu, ulaştırma faaliyeti, su payı ve yenilenebilir enerji payı olduğu belirlenmektedir.
Avrupa'da akılı ulaşım ve hız optimizasyonun sera gazındaki etkisi araştırılmaktadır.	Dongmin, vd. [15].	Maliyet ve SG emisyon karşılaştırmalı analizi	Akıllı ulaşım sistemlerindeki bazı güzergahlarda demiryolu taşımacılığında akıllı ulaşım sistemleri kullanılmasının daha etkili ve çevre dostu olduğu belirlenmiştir.
Çin'de SG emisyonları araştırılmaktadır.	Guo, vd. [16].	Panel veri analizi	Lojistik hacminin ve GSYİH'nin SG emisyonu üzerine etkisi bulunmaktadır.
Çin'de toplu taşımanın sera gazına etkisi incelenmektedir.	Ghannouhi, vd. [17].	Panel veri analizi	GSYİH ve dış ticaret SG emisyonları üzerinde önemli bir etkiye sahip olmaktadır.
Çin'de ulaşım kaynaklı SG emisyonları ile yapılaşma ilişkisi incelenmektedir.	Yang, vd. [18].	Panel veri analizi	SG emisyonunu azaltmak için, yapılaşma kontrol altına alınmalıdır.
Demir yolu taşımacılığında karbon salınımının azaltılması incelenmektedir.	Fonseca-Soares vd. [1]	Yaşam Döngüsü Analizi (LCA)	Demir yolu taşımacılığında karbon salınımının azaltılması konusunda çözülmemiş birçok sorunlar bulunmaktadır.
Demiryolu altyapısının tüketim ve büyüme üzerine etkileri araştırılmaktadır.	Wu, vd. [19].	Sürekli envanter yöntemini	Demiryolu altyapı yatırımları; turizmi ve sürdürülebilir ekonomik kalkınmayı doğrudan etkilemektedir.
Demiryolu düz hat yenilemesinin sera gazına etkisi araştırılmaktadır.	Krezo, vd. [20].	Parametrik çalışma	Demiryolu raylarının ömrünü uzatarak, yıllık CO2 emisyonlarının azaltılabileceği sonucuna varılmaktadır.
Demiryolu taşımacılığının demografik etkileri araştırılmaktadır.	Beyzatlar, [21].	VAR modeli	Demiryolu altyapısının gelişmesi ile kentleşme ve nüfus, karşılıklı olarak birbirini etkilemektedir.
Finlandiya'da tren ve kamyon taşımacılığının SG'na etkisi araştırılmaktadır.	Jäppinen, vd. [22].	Raster analizi	Uygun koşullar oluşursa demiryolu taşımacılığı, tedarik zinciri sera gazı emisyonlarının azaltılmasında önemlidir.
Gelişmekte olan ülkelerdeki sürdürülebilir demiryolu taşımacılığının geliştirilme çalışması yapılmaktadır.	Wangai, vd. [23].	Trend analizinden yöntemi	Sürdürülebilir demiryolu sistemlerinin geliştirilmesi ve yasal olarak desteklenmesi; Kenya'daki ulaşım ve ekonomi üzerinde olumlu etkileri olmaktadır.
Kentsel raylı ulaşımın karbon emisyonu üzerine çalışma yapılmaktadır.	Yuan, vd. [24].	Yaşam Döngüsü Analizi (LCA	Dinamik karbon emisyonu faktörü kütüphanesi oluşturulmasının gerekliliğini ve karbon emisyonu ölçümü ile dijital sistem teknolojisinin sisteme entegre edilmesi gerekliliğinden bahsedilmektedir.
Turizm taşımacılığının SG'ye etkisi araştırılmaktadır.	Sarıtaş ve Akar [25].	Panel veri analizi	Turizm taşımacılığı, karbon salınımını pozitif yönlü olarak etkilemektedir.
Türkiye'de demiryolu ulaştırma hizmetleri ile kalkınma arasında ilişki araştırılmaktadır.	Aytekin, [26].	Granger Nedensellik Analizi	Kalkınmayla ulaştırma hizmetleri arasında çift taraflı ilişkiye varken, ulaştırma hizmetlerinden kalınmaya doğru tek yönlü nedensellik ilişki tespit bulunmaktadır.
Ulaşım sektörü ve sürdürülebilir kalkınmanın SG emisyonuna etkisi araştırılmaktadır.	İbik, [27].	Panel veri analizi	En fazla SG emisyonunun karayolu taşımacılığından kaynaklanmaktır. En fazla SG emisyonuna neden olan yakıtın dizel yakıt olduğu anlaşılmaktadır.

Demiryolu taşımacılığı ve sera gazı üzerine, önde gelen bilimsel çalışmaların bazıları Tablo 1. de yer almaktadır. Literatür özet tablosunda, bilimsel çalışmaların yayın konusu, yazar(lar), araştırmanın metedoljisi ve araştırma sonuçları yer almaktadır.

3. Ekonometrik Metodoloji ve Yöntem

Ekonometrik yöntem olarak çalışmada panel veri analizinden yararlanılmıştır. Panel veride kullanılacak testleri belirlemek amacıyla ilk olarak homojenlik araştırması ve yatay kesit bağımlılığı test edilmiştir. Panel veri analizi dikkate alındığında Hsiao'ya [28] göre zaman ve yatay kesit boyutu birlikte yer aldığından daha güvenilir sonuçların ortaya çıkacağı ifade edilmektedir. Analiz kapsamında ele alınan denklemi Denklem 1. deki gibi ifade edebiliriz.

$$y_{it} = \alpha_i + \beta_i'.x_{it} + \mu_{it} \qquad \text{i=1,2,...N;} \qquad \text{t=1,2,...,T} \qquad (1)$$

Oluşturulan Denklem 1. de hata terimi yatay kesit ve geriye kalan etkiler olmak üzere iki ayrı bileşen içermektedir. Bu bileşenlerden yatay kesit bağımlılığına göre birimler arasındaki yatay kesit bağımlılığı dikkate alınmadığında zaman boyutu da panelde fazla ise hatalı sonuçlar ortaya çıkabilir. Bu bağlamda söz konusu nedenden dolayı yatay kesit bağımlılığı araştırılarak devamında durağanlık için kullanılacak testlerin belirlenmesi uygun olacaktır [29]. Homojenlik değerlendirmesine bakıldığında her bir ülkede eğim katsayıları Pesaran ve Yamagata'nın [32] Delta_Tilde ($\tilde{\Delta}$) testleri kullanılarak belirlenmektedir. Söz konusu testlere yönelik süreç Denklem 2. de gösterildiği gibidir.

$$\tilde{\Delta} = \sqrt{N}.\left(\frac{N^{-1}\tilde{S} - k}{\sqrt{2k}}\right),\ \tilde{\Delta}_{adj} = \sqrt{N}.\left(\frac{N^{-1}\tilde{S} - E(z_{iT})}{\sqrt{Var(z_{iT})}}\right) \qquad (2)$$

Homojenlik değerlendirmesinde Denklem 1.'e göre Denklem 2. de $\tilde{\Delta}$ ve küçük örneklemler için oluşturulan Düzeltilmiş Delta_Tilde ($\tilde{\Delta}_{adj}$) testleri yer almaktadır. Yatay kesit testinde bir değişkende ortaya çıkan şokun, diğer değişkenleri de etkileyeceğini ileri süren korelasyonun varlığı araştırılmaktadır. Dolayısıyla araştırma sonucunda bağımlılık varsa birim kök araştırmasında söz konusu bağımlılığı dikkate alan ikinci nesil birim kök testlerin kullanılması uygun olacaktır. Modelde ilgili korelasyon ilişkisi genel panel denkleminde aşağıda denklem 3. de gösterilmektedir.

$$Cov(\mu_{it}, \mu_{jt}) \neq 0 \qquad \text{en az bir kesit için } i \neq j \qquad (3)$$

Burada Denklem 1. için bağımlılık araştırmasında kalıntılar arasındaki korelasyonların istatistiki olarak anlamlı olup olmadığı çıkarımı Breusch-Pagan [30] ve Pesaran'nın [31] LM testi ile ortaya çıkarılmaktadır [31, 29]. LM test istatistiği ise Denklem 4. gösterildiği gibi oluşturulmaktadır.

$$LM_{BP} = T \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^{N} \hat{\rho}_{ij}^2 \sim X^2_{N.(N-1)/2} \qquad (4)$$

LM test istatistiğinden hareketle regresyon sonucu elde edilen kalıntılar arasındaki korelasyon katsayısı $\hat{\rho}_{ij}$'yi göstermektedir. Ayrıca model için oluşturulan hipotezler ise şöyledir; H_0: $p_{ij}=p_{ji}=0$, H_0: $p_{ij}=p_{ji}\neq 0$ ve $i\neq j$'dir. Çalışmanın devamında durağanlık için ikinci nesil birim kök testlerinden Pesaran [33] CADF testi kullanılmıştır. Yatay kesit bağımlılığı açısından ikinci kuşak birim kök testlerinden CADF sınaması için belirtilen regresyon denklemi denklem 5. de olduğu gibi belirlenmektedir.

$$\Delta y_{it} = \alpha_i + p_i^* y_{i,t-1} + d_0 \bar{y}_{t-1} + d_1 \Delta y_t + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

Denklem 5.'e göre ȳ birimlere ait t zamandaki ortalamayı, $\bar{y}_{t-1}$ ve Δy_t de en küçük kareler tahmincisine göre $t_i(N,T)$ t-istatistiklerini ifade etmektedir. Çalışmada yer alan her bir ülke için hesaplanan CADF regresyon denklemi koşulduktan sonra panelin tamamına yönelik CİPS istatistiği hesaplanmaktadır. CİPS istatistiği ise Denklem 6. da olduğu gibi verilmektedir.

$$\text{CİPS} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} CADF_i \quad (6)$$

Burada H_0: $p_i^* = 0$ bütün i'ler için H_1: $p_i^* < 0$ ise i = 1,., N_1 ve $p_i^* = 0$ ise i = N_1 + 1, N_1 + 2…., N'dir. CİPS istatistiğinden sonra hipotezlere bakıldığında hipotezlerde her iki istatistik de bağımlılığın sadece bir faktöre bağlı olduğu zaman durağanlığı sınamak için belirlenmiştir. Burada CİPS istatistiği için gecikmeli değişkenlerin t-istatistiklerinin ortalamaları alınırken farklı T ve N değerlerine yönelik farklılık söz konusudur [34,35]. Nedensellik araştırması açısından ise panelde Emirmahmutoğlu-Köse Panel Nedensellik Testi [36] kullanılmıştır. Bu testte p değişkenli heterojen panel VAR modelini Denklem 7. de verilmektedir [36].

$$Z_{i,t} = \mu_i + A_{i1} Z_{i,t-1} + \ldots.. + A_{iki} Z_{i,t-ki} + u_{i,t} \text{ ve } i = 1,2,\ldots..,N \text{ ve } t = 1,2,\ldots..T \quad (7)$$

Bu test temelde, Fisher [37] tarafından geliştirilen ve Toda ve Yamamoto [38] testine dayanan heterojen bir panel nedensellik analizidir. Burada i bireysel kesit birimlerini ve t zamanı ifade etmektir. μ_i sabit etkilerin p boyutlu vektörünü, $A_{i1.....}A_{iki}$ de birimler arasında değişmesine izin verilen parametrelerin sabit (pxp) matrislerini göstermektedir. k_i gecikme uzunluğunu göstermektedir. Toda ve Yamamoto [38] modelinden hareketle heterojen panellerde VAR (k_i+d max_i) denklemi ve Fisher [37] test istatistiği baz alınarak oluşturulan test istatistiği sırasıyla Denklem 8. ve Denklem 9. da gösterilmektedir [36].

$$Z_{i,t} = \mu_i + A_{i1} Z_{i,t-1} + \ldots.. + A_{iki} Z_{i,t-ki} + \sum_{l=ki+1}^{ki+d\ maxi} A_{il} Z_{i,t-1} + u_{i,t} \text{ ve } i = 1,2,\ldots..,N \text{ ve } t = 1,2,\ldots..T \quad (8)$$

$$\lambda = -2 \sum_{i=1}^{N} \ln(p_i) \quad (9)$$

λ test istatistiği, 2N serbestlik derecesine ki-kare dağılımına sahiptir. Heterojen panellerde (k_i+d max_i) gecikmeli seviye VAR modelini ise Denklem 10. ve Denklem 11. deki gibi oluşturulmaktadır.

$$X_{i,t} = \mu_i^x + \sum_{j=1}^{ki+d\ maxi} A_{11,ij} X_{i,t-j} + \sum_{j=1}^{ki+d\ maxi} A_{12,ij} Y_{i,t-j} + u_i^x{}_{,t} \quad (10)$$

$$Y_{i,t} = \mu_i^y + \sum_{j=1}^{ki+d\ maxi} A_{21,ij} X_{i,t-j} + \sum_{j=1}^{ki+d\ maxi} A_{22,ij} Y_{i,t-j} + u_i^y{}_{,t} \quad (11)$$

Denklem 10.'a göre d max_i, her i için sistemde meydana gelmesi beklenen maksimum entegrasyon derecesini vermektedir. Burada Denklem 10. da y'den x'e nedensellik, Denklem 11. de x'ten y'ye nedensellik test edilmektedir [36].

4. Ampirik Bulgular

İlgili ülke grubuna yönelik demiryolu mal taşımacılığının ve kaynak verimliliğinin sera gazı emisyonu üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada ilk olarak kullanılan değişkenlere yönelik Tablo 2.'de genel tanımlayıcı değerler verilmektedir. Toplam üç değişken için ortalama, medyan, maksimum, minimum ve gözlem sayılarına ait değerler paylaşılmaktadır. Söz konusu değişkenlere bakıldığında sera gazı emisyonu, demiryolu mal taşımacılığı ve kaynak verimliliği değerleri kullanılmıştır. İlgili veriler "Eurostat" veri tabanlarından derlenmiştir.

Tablo 2. Değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler

Değişkenler- İstatistikler	Sera	Demiryolu	Kaynak
Ortalama	6521.502	108738.5	2.848877
Medyan	5580.932	75849.00	2.874400
Maksimum	10750.75	392962.0	5.463700
Minimum	4424.190	22254.00	0.773200
Gözlem sayısı	65	65	65

Panel veri açısından analiz kısmında oluşturulan modeller şu şekilde gösterilebilir; $Sera_{it} = \beta_0 + \beta_1 Demiryolu_{it} + e_{it}$ ve $Sera_{it} = \beta_0 + \beta_2 Kaynak_{it} + w_{it}$'dir. Oluşturulan modellere göre; Sera: Sera Gazı Emisyon Değeri (Kişi başına kilogram) Demiryolu: Demiryolu Mal Taşımacılığı (Bin ton) Kaynak: Kaynak verimliliği (Kilogram başına, Euro) ve β_0 sabit terim, e_{it} ve w_{it} ise hata terimini göstermektedir. Oluşturulan modele yönelik ilgili değişkenlerin analizinde ilk olarak homojenlik değerlendirilmesi, yatay kesit bağımlılığı ve sonuçlara göre birim kök değerlendirilmesi ardından panel nedensellik araştırması yapılmıştır.

Tablo 3. Homojenlik değerlendirme sonucu

İstatistikler	Test İstatistiği	Olasılık Değeri
Düzeltilmiş Delta Tilde	1.472	0.0710

Tablo 3.'de Homojenlik sınamasında her bir ülkeye yönelik eğim katsayıları için Pesaran ve Yamagata'nın [32] Delta_Tilde testleri dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır. Küçük örneklemler için Düzeltilmiş Delta_Tilde testleri verildiğinden burada örneklem hacmine uygun olan bu istatistik sonucu paylaşılmıştır. Ulaşılan sonuca göre % 10 anlamlılık düzeyinde oluşturulan modelde temel hipotez red edildiğinden dolayı değişkenler heterojendir. Dolayıyla grup değerler dikkate alınmaktadır.

Tablo 4. Yatay kesit bağımlılık sonucu

İstatistikler	Test İstatistiği	Olasılık Değerleri
Breusch-Pagan LM İstatistiği	34.578	0.003
Pesaran LM İstatistiği	3.554	0.000
Pesaran CD İstatistiği	0.473	0.318
Düzeltilmiş CD	1.301	0.097

Tablo 4.'de Breusch-Pagan LM, ve Pesaran LM test istatistiklerine göre ilgili serilerde yatay kesit bağımlılığı olduğu görülmektedir. Yatay kesit bağımlılığı söz konusu olduğu için ilgili değişkenler açısından çalışmada ele alınan ülkelerin herhangi birinde yaşanan bir şok diğer ülkeleri de etkilemektedir. Bu çıkarımdan hareketle durağanlık için ikinci nesil birim kök testlerinden Pesaran [33] testi kullanılmış ve sonuçlar Tablo 5 ve 6 de paylaşılmıştır. Ayrıca Pesaran CD ve düzeltilmiş CD istatistiğine göre ise temel hipotez kabul edilmektedir. Buradan yapılan çıkarıma göre de yatay kesit bağımlılığının olmadığı ifade edilmektedir. Dolayısıyla nedensellik analizinde hem yatay kesit bağımlılığını hem de yatay kesit bağımlılığının olmadığı durumu dikkate alan Emirmahmutoğlu-Köse Panel Nedensellik Testi [36] (Panel Fisher Test) uygulanmıştır.

Tablo 5. Panel durağanlık sonuçları

CİPS Sonuçları	Sera	Demiryolu	Kaynak	Kritik değer		
				% 1	% 5	%10
CİPS değeri	-14.53	-1.22	-1.57	-2.97	-2.52	-2.31
Fark CİPS	-12.80	-4.51	-2.72	-2.97	-2.52	-2.31

Fark CİPS birinci farkları göstermektedir.

CİPS durağanlık değerlerine göre % 1 anlamlılık düzeyinde sera gazı emisyon değeri için serinin düzey değerlerinde durağan olduğu belirlenmiştir. Diğer değişkelere bakıldığında ise düzey değerlerinde durağan olmadığı görülmektedir. Birinci dereceden fark alma işlemi ile demiryolu mal taşımacılığı değişkeni panelin geneli için % 1 anlamlılık düzeyinde durağan hale gelirken, kaynak verimliliği değişkeni de % 5'de durağan hale dönüşmüştür.

Tablo 6. Birim durağanlık sonuçları

CADF Sonuçları	Sera	Demiryolu	Kaynak	Kritik değer		
				% 1	% 5	% 10
Almanya	-76.12	-2.53	-1.26	-5.75	-3.93	-3.26
İspanya	-2.36	-1.58	-0.95	-5.75	-3.93	-3.26
Fransa	-2.14	1.47	-1.44	-5.75	-3.93	-3.26
İtalya	-1.34	-1.21	-2.51	-5.75	-3.93	-3.26
Hollanda	-2.49	-2.55	-2.44	-5.75	-3.93	-3.26
Türkiye	-2.76	-0.92	-0.82	-5.75	-3.93	-3.26

Tablo 6. incelendiğinde sera gazı emisyon değeri değişkeninde Almanya için düzey değerinde durağanlık sağlanırken diğer ülkeler için durağanlık sağlanamamıştır. Demiryolu mal taşımacılığı ve kaynak verimliliği değişkenlerinin düzey değerlerine bakıldığında ise hiçbir ülke için durağanlık sağlanamamıştır.

Tablo 7. Panel nedensellik araştırması sonuçları

Değişkenler	Asimptotik Olasılık Değerleri	Bootstrap Olasılık Değerleri
Sera …. Demiryolu	0.433	0.954
Demiryolu ….. Sera	0.725	0.954
Sera …. Kaynak	0.055	0.448
Kaynak ….. Sera	0.002	0.503
Demiryolu ….. Kaynak	0.005	0.798
Kaynak ….. Demiryolu	0.000	0.373

Kullanılan değişkenler ile ilgili dönem açısından ele alınan ülkelerin herhangi birinde yaşanan bir şokun (dalgalanmanın) diğer ülkeleri etkilemesi ve/veya etkilememesi durumuna göre Bootstrap olasılık değerleri ile asimptotik olasılık değerleri arasında sonuç farklılıkları görülmektedir.

Bootstrap olasılık değerlerinin ya da asimptotik olasılık değerlerinin dikkate alınması yatay kesit bağımlılığının durumuna göre belirlenmektedir. Burada Emirmahmutoğlu–Köse testi için Breusch-Pagan LM, ve Pesaran LM test istatistiklerine göre ilgili serilerde yatay kesit bağımlılığı olduğu sonucundan hareketle Bootstrap değerler dikkate alınmaktadır. Pesaran CD ve düzeltilmiş CD istatistiğine göre ise yatay kesit bağımlılığı olmadığı sonucundan hareketle sonuç asimptotik değerler dikkate alınmaktadır

Emirmahmutoğlu-Köse Panel Nedensellik Testi [36] sonuçlarına göre % 10 anlamlılık düzeyinde sera gazı emisyonu ile demiryolu mal taşımacılığı arasında doğrudan bir nedensellik ilişkisi olmadığı görülmektedir. Sera gazı emisyonu ile kaynak verimliliği değişkeni arasında ise Boostrap değerlerine göre bir ilişki söz konusu değil iken asimptotik değerler dikkate alındığında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi söz konusudur. Burada ilgili değişkeler arasında hem sera gazı emisyonu değişkeninden kaynak verimliliği değişkenine doğru, hem de kaynak verimliliği değişkeninden sera gazı emisyonu değişkenine doğru bir nedensellik ilişkisi olduğu görülmektedir. Aynı şekilde demiryolu mal taşımacılığı ile kaynak verimliliği değişkeni

arasında da Boostrap değerlerine göre bir ilişki söz konusu değil iken asimptotik değerler dikkate alındığında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu görülmektedir.

Tablo 8. Birim nedensellik araştırması sonuçları 1

	Demiryolu ….. Sera		Sera ….. Demiryolu	
Ülkeler	Wald İstatistiği	Olasılık	Wald İstatistiği	Olasılık
Almanya	0.400	0.527	0.463	0.496
İspanya	0.605	0.437	0.001	0.970
Fransa	1.793	0.181	0.323	0.570
İtalya	0.018	0.892	4.359	0.037
Hollanda	0.813	0.367	0.216	0.642
Türkiye	0.008	0.928	0.863	0.353

Sera gazı emisyonu ile demiryolu mal taşımacılığı arasında belirlenen ülke grubu için panelin genelinde doğrudan bir nedensellik ilişkisi olmadığı bulgusunu Tablo 7'de ifade etmiştik. Grup içinde yer alan ülkelere birim bazında bakıldığında ise ilgili değişkenler arasında sadece İtalya için sera gazı emisyonu değişkeninden, demiryolu mal taşımacılığı değişkenine doğru tek yönlü bir nedensellik olduğu görülmektedir.

Tablo 9. Birim nedensellik araştırması sonuçları 2

	Sera ….. Kaynak		Kaynak ….. Sera	
Ülkeler	Wald İstatistiği	Olasılık	Wald İstatistiği	Olasılık
Almanya	1.737	0.187	6.002	0.014
İspanya	1.753	0.186	11.825	0.001
Fransa	0.193	0.660	0.127	0.721
İtalya	0.000	0.998	0.161	0.688
Hollanda	0.541	0.462	2.592	0.107
Türkiye	8.760	0.003	0.496	0.481

Tablo 9'daki sonuçlara bakıldığında Türkiye için sera gazı emisyonu değişkeninden, kaynak verimliliği değişkenine doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi vardır. Ayrıca Almanya ve İspanya da ise kaynak verimliliği değişkeninden, sera gazı emisyonu değişkenine doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu belirlenmiştir.

Tablo 10. Birim nedensellik araştırması sonuçları 3

	Demiryolu ….. Kaynak		Kaynak ….. Demiryolu	
Ülkeler	Wald İstatistiği	Olasılık	Wald İstatistiği	Olasılık
Almanya	0.284	0.594	0.917	0.338
İspanya	1.040	0.308	3.075	0.080
Fransa	0.000	0.991	32.219	0.000
İtalya	9.669	0.002	0.109	0.741
Hollanda	6.810	0.009	0.097	0.755
Türkiye	1.554	0.212	0.153	0.695

Tablo 10. incelendiğinde de İtalya ve Hollanda da demiryolu mal taşımacılığından, kaynak verimliliğine doğru tek yönlü bir nedensellik olduğu görülmektedir. Diğer taraftan İspanya ve Fransa için ise kaynak verimliliğinden, demiryolu mal taşımacılığına doğru tek yönlü bir nedensellik olduğu belirlenmiştir.

5. Sonuç ve Öneriler

Araştırmanın panel analizleri sonucunda, grup düzeyinde demiryolu yük taşımacılığı ile sera gazı emisyonları arasında doğrudan bir nedensellik ilişki bulunmamaktadır. Fakat, kaynak verimliliği ile SG ve demiryolu değişkenleri arasında hem grup hem de ülke bazında heterojen (ülkeye özgü) nedensel ilişkiler tespit edilmektedir. Özellikle: Türkiye, Almanya ve İspanya için SG ←→ Kaynak verimliliği arasında tek yönlü nedensellik tespit edilmektedir. İtalya, Hollanda, İspanya ve Fransa'da Demiryolu ←→ Kaynak verimliliği arasında tek yönlü nedensellik bulunmaktadır. Bu durumlar genel anlamda panel düzeyindeki SG ←→ Demiryolu ilişkisinin zayıf veya anlamsız çıkması, modelde heterojenlik ve yatay-kesit bağımlılıklarına bağlı heterojen etkilerle tutarlı olduğunu göstermektedir. Demiryolunun doğrudan panel düzeyinde SG'yi azaltıcı net etkisinin zayıf olması iki gerçeklikle uyumlu olduğunu göstermektedir. Bunlardan birincisi, demiryolunun birim yük taşıma başına düşük CO_2 yoğunluğuna sahip olduğu UIC ve IEA çalışmalarında vurgulanmaktadır. Bu durum ilişkinin olmaması veya zayıf olmasıyla ilişkilidir. İkicisi, ülkeden ülkeye ve ülkelerdeki uygulama koşullarına göre (altyapı koşulları, kullanım oranları, teknolojik yapılar, elektrik kullanım düzeyi vb.) farklılık göstermesinden dolayı ilişki düzeyleri de farklılaşmaktadır.

Fonseca-Soares ve ark. [1] tarafından yapılan demiryolunun karbon etkisinin inceleme çalışmasında, ülkeye özel enerji bilgisinin kritik ve çeşitli olduğunu vurgulamaktadır. Yapılan bu çalışmada da ülkelerin demiryolunun karbon etkisinin heterojenliği örtüşmektedir. Gandhi vd. [6] çalışması, demiryolu yük taşımacılığının sürdürülebilirlik açısından üçlü performans (çevresel, ekonomik, sosyal) göz önünde bulundurulduğunda pozitif çıktılar vermektedir. Ayrıca, demiryolunun çevresel faydasının altyapı ve operasyonel verimlilikle sıkı ilişkide olduğunu belirlemişlerdir. Yapılan bu çalışmada da kaynak verimliliğinin SG üzerinde ve demiryolu ile karşılıklı ilişki içerimde olduğu belirlenmiştir. Bu durum, Gandhi'nin vurguladığı operasyonel / verimlilik kanalını doğrular nitelikte olduğunu göstermektedir. Steenhof vd. [7] karayolu ve demir yolu ve SG emisyonu üzerine yapmış oldukları çalışmada, kara yolu taşımacılığı SG emisyon artışlarında ana sürükleyici olduğunu belirlemişlerdir. Yapılan bu çalışmada, demiryolu ile SG arasındaki net panel etkisi zayıf çıkmaktadır. Bu durumun sebebi; bazı ülkelerde taşımacılıkta karayolu payının hâlâ baskın olması veya demiryolunun ulaşılabilirliğinin zayıf olması ya da ara demir yolu bağlantı sorunlarından kaynaklanabileceği anlamına gelmektedir.

İtalya ve Hollanda ülkelerinde, demiryolu → kaynak verimliliği kanalını güçlendirecek yatırımlar (terminal dijitalleşmesi, yük birleştirme, intermodal bağlantılar) teşvik edilmesi gerekmektedir. Demiryolunun gerçek karbon avantajı, çekiş enerji kaynağına bağlı olmaktadır. Bundan dolayı elektrikli trenlerin beslendiği elektriğin yenilenebilir payı arttırılması gerekmektedir. Türkiye gibi ülkelerde SG seviyelerinin kaynak verimliliğini etkilediği görülmektedir. Bundan dolayı SG emisyon azaltma hedefleriyle birlikte işletmelerin verimliliklerinin iyileştirmesi gerekmektedir. Çalışmadaki verilerin belirli bir dönem aralığında olması araştırmanın kısıtını oluşturmaktadır. Araştırma sonucunda kısaca, kaynak verimliliği demiryolu taşımacılığında anahtar rol oynarken, SG emisyonunun düşürülmesinde etkili olan önemli bir faktördür. Demiryolu taşımacılığının kullanım yoğunluğu, kullanılan altyapı, teknoloji, yakıt tipi, altyapı vb. durumlardan dolayı ülkeden ülkeye SG emisyon ilişkilerinde farklı sonuçlar çıkarmaktadır. Yapılan araştırma sonuçları, literatürde rapor edilen demiryolunun genel düşük SG emisyon avantajını destekler niteliktedir. Bundan dolayı karar vericilerin demir yolu taşımacılığında tek tip reçete yerine hedeflenmiş, ülkeye özgü stratejiler geliştirmesi gerekmektedir.

Kaynakça

[1] D. F. Soares, S. A. Eliziario, J. D. Galvincio, and A. F. R. Ridao "Greenhouse gas emissions in railways : systematic review of research progress," *Buildings*, vol.14, no. 2, pp. 1–22, 2024.

[2] S. Lebedevas, S. Dailydka, V. Jastremskas, and P. Rapalis, "Research of energy efficiency and reduction of environmental pollution in freight rail transportatıon," *Transport*, vol. 32, no. 3, pp. 291–301, 2017, doi: 10.3846/16484142.2016.1230888

[3] ECR, "Report from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions on simplification, implementation and enforcement", 2021. [Online]. Erişim adresi: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52025DC0871 [21.10.2025], COM(2025).

[4] TÜİK, "Türkiye İstatistik Kurumu", 2025. [Online]. Erişim adresi: https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2022-53701, [30.11.2025]

[5] T. T. Kirschstein, and F. Meisel, "GHG-emission models for assessing the eco-friendliness of road and rail freight transports", *Transportation*, Research Part B: Methodological Vol. 73, pp. 13-33, 2015.

[6] N. Gandhi, R. Kant and J. Thakkar, "Sustainable performance assessment of rail freight transportation using triple bottom line approach: an application to indian railways", *Transport Policy*, vol. 128, pp. 254-273, 2022.

[7] P. Steenhof, C. Woudsma, and E. Sparling, "Greenhouse gas emissions and the surface transport of freight in canada", *Transportation Research Part D: Transport And Environment*, vol. 11, no. 5, pp. 369-376, 2006.

[8] Ö. Cengiz, "Demiryolu mühendisliği demiryolu mühendisliği railway engineering," *Demiryolu Mühendisliği*, no. 21, pp. 111-123, 2025, doi: 10.47072/demiryolu.1602560 http://dergipark.org.tr/demiryolu e-ISSN: 2687-2463, ISSN: 2149-1607.

[9] D. Demirtürk, "Ulaşimda sera gazi etkisini azaltmaya yönelik çalişmalar*", Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, vol. 9, no. 4, pp. 1080 – 1092, 2021, e-ISSN: 1308-6693

[10] U. Saraç ve T. Mescioğlu, "Demiryolu lojistiğinin diğer taşıma modlarıyla karşılaştırılması: türkiye ve seçilmiş ülkeler üzerine bir değerlendirme", *The International New Issues in Social Sciences (tini-SOS)*, issn: 2149-4266, e-issn: 2645- 9140, Year 2023 Winter – vol. 11, no. 2, 2023.

[11] WBOD, "World Bank Open Data", 2025. [Online]. Erişim adresi: https://data.worldbank.org/indicator/Is.Rrs.Totl.Km [30.11.2025]

[12] EEA, "European Environment Agency", 2025. [Online]. Erişim adresi: https://www.eea.europa.eu/en, [30.11.2025]

[13] UIC, "Union Internationale Des Chemins De Fer", 2025. [Online]. Erişim adresi: https://uic.org/sustainability/ener gy-efficiency-and-co2-emissions, [30.11.2025]

[14] B. H. Deixelberger, "Non-stationary panel data analysis on the example of ghg emissions of transport activity in the EU", *Master ' s Thesis*, October, 2021.

[15] X. Dongmin, H. Youfang, and Y. Bin, "A study of cost and emıssıons consıderıng speed optımızatıon ın trans eurasıa transportatıon based on intelligent transportatıon," International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, vol. 9, no. 1, pp. 191–214, 2016.

[16] X. Guo, D. Ren, and J. Shi, "Carbon emissions, logistics volume and GDP in China : empirical analysis based on panel data model," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, pp. 24758–24767, 2016, doi: 10.1007/s11356-016-7615-z.

[17] I. Ghannouchi, F. Ouni, and F. Aloulou, "Investigating the impact of transportation system and economic growth on carbon emissions : Application of GMM System for 33 european countries,'' *Environ. Science Pollution Research*, vol. 30, no. 39, pp. 1–19, 2023, doi: 10.1007/s11356-023-28595-6.

[18] W. Yang, T. Li, and X. Cao, "Examining the impacts of socio-economic factors, urban form and transportation development on CO2 emissions from transportation in China: a panel data analysis of China's provinces", *Habitat International*,vol. 49, pp. 212-220, 2015.

[19] C. Wu, N. Zhang, and L. Xu, "Travelers on the railway: an economic growth model of the effects of railway transportation infrastructure on consumption and sustainable economic growth", *Sustainability*, vol. 13, no. 12, 2021.

[20] S. Krezo, O. Mirza, Y. He, P. Makim, and S. Kaewunruen, "Field investigation and parametric study of greenhouse gas emissions from railway plain-line renewals", *Transportation Research Part D: Transport And Environment,* vol. 42, pp. 77-90, 2016.

[21] M. A. Beyzatlar, "Türkiye'de demiryolu taşımacılığı ve altyapısının demografik etkileri", *Kent Akademisi*, vol. 14, no. 4, pp. 1203–1218, 2021.
[22] E. Jäppinen, O. Korpinen, and T. Ranta, "The effects of local biomass availability and possibilities for truck and train transportation on the greenhouse gas emissions of a small-diameter energy wood supply chain," pp. 166–177, 2013, doi: 10.1007/s12155-012-9244-9.
[23] A. W. Wangai, D. Rohacs and A. Boros, "Supporting the sustainable development of railway transport in developing countries", *Sustainability*, vol. 12, no. 9, 2020.
[24] Z. Yuan, X. Yuan, Y. Yang, J. Chen, Y. Nie, M. Cao and L. Chen, "Greenhouse gas emission analysis and measurement for urban rail transit : A review of research progress and prospects," *Digital Transportation and Safety*, vol. 2, no. 1, pp. 36−51, 2023.
[25] T. Sarıtaş ve G. Akar, "Turizmin co2 emisyonuna etkisi: panel veri analizi," *Ekonomi Maliye İşletme Dergisi,* vol. 5, no. 1, pp. 104–117, 2022, doi: 10.46737/emid.1109310.
[26] İ. Aytekin, "Türkiye'de karayolu ve demiryolu ulaştırma hizmetleri ile kalkınma arasındaki nedensellik ilişkisinin analizi," *Anatolian Journal Of Economics And Business*, vol. 6, no. 1, pp. 17–35, 2022.
[27] T. İbik, "Sürdürülebilir kalkınma ve ulaşım sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonu : 2010-2021 Yılı Kayseri İli Örneği", *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, vol. 20, no. 4, 2024.
[28] C. Hsiao, *Analysis of Panel Data,* Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
[29] B. H. Baltagi, *Econometric Analysis of Panel Data*, Fifth Edition. United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd, 2014.
[30] T. S. Breusch and A. R. Pagan, "The lagrange multiplier test and its application to model specifications in econometrics," *Review of Economic Studies*, vol. 47, no. 1, pp. 239-53,1980.
[31] M. H. Pesaran, "General diagnostic tests for cross section dependence in panels," *University of Cambridge, USC & IZA Bonn,* Discussion Paper No. 1240, 2004.
[32] M. H. Pesaran, and T. Yamagata, "Testing slope homogeneity in large panels," *Journal of Econometrics*, vol. 142, pp. 50-93, 2008.
[33] M. H. Pesaran, "A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence," *Journal of Applied Econometrics*, vol. 22, pp. 265-312, 2007.
[34] F. Y. Tatoğlu, *İleri Panel Veri Analizi, Stata Uygulamalı*, Beta Yayın, İstanbul, 2012.
[35] M. Öksüzkaya, "Seçilmiş AB ülkeleri için gelir-tüketim ilişkisi: panel veri yaklaşımı," Çukurova Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2013.
[36] F. Emirmahmutoğlu and ve N. Köse, "Testing for granger causality in heterogeneous mixed panels", *Economic Modelling*, vol. 28, pp. 870-876, 2011.
[37] R. A. Fisher, *Statistical Methods for Research Workers*, Thirteenth edition. Oliver and Boyd, Edinburgh. 1958.
[38] H. Y. Toda, and T. Yamamoto, "Statistical ınference in vector autoregressions with possibly ıntegrated processes," Journal of Econometrics vol. 66, pp. 225–250, 1995.

Özgeçmiş



Muhammet KARANFİL
Lisans eğitimini Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Biga İİBF, Ekonometri Bölümünde tamamlamıştır. Yüksek lisans ve Doktora eğitimini de Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Biga İİBF, İktisat Anabilim Dalında tamamlamıştır. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Biga Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümünde. Öğretim Üyesi olarak çalışmaktadır. İlgi alanına giren araştırma konuları dış ticaret, ekonomik büyüme, enflasyon, panel veri analizi ve zaman serisi analizidir.
E-Posta: mkaranfil@comu.edu.tr



Ramazan YILDIZ
Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği bölümünde lisans ve yüksek lisansını tamamladıktan sonra 2021 yılında Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi İşletme Bölümü'nde doktora eğitimini tamamlamıştır. 2012 yılında itibaren Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Yenice Meslek Yüksekokulu Yönetim ve Organizasyon Bölümü Lojistik Programında öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır. Tedarik zinciri yönetimi ve lojistik yönetimi konularında bilimsel akademik çalışmaları bulunmaktadır.
E-Posta: ramazanyildizahmet@gmail.com

Beyanlar:
Bu makalede bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.
Yazarların katkıları: Ramazan YILDIZ: Kavramsallaştırma ve Literatür Taraması. Muhammet KARANFİL: Ekonometrik Metodoloji, Yöntem, Uygulama, Kaynaklar, Doğrulama, Yazma-orijinal taslak hazırlama, Yazma-gözden geçirme ve düzenleme.