



KARBONDİOKSİT EMİSYONUNUN YAKINSAMASI

Dr. Tuğba KONUK

yilmaz-tuba@outlook.com

ORCID:0000-0002-7381-4131

ÖZ: Bu çalışma, Kırılgan Beşli ülkeleri olarak bilinen Brezilya, Hindistan, Endonezya, Güney Afrika ve Türkiye’de karbondioksit (CO₂) emisyonlarının uzun vadeli yakınsama eğilimini incelemektedir. Küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadelede karbon emisyonlarının azaltılması büyük önem taşımaktadır. Ancak, gelişmekte olan ülkeler, ekonomik büyüme ve sanayileşme süreçlerinde emisyon seviyelerini kontrol etmekte zorlanabilmektedir. Bu bağlamda, çalışmanın temel amacı, Kırılgan Beşli ülkelerinde CO₂ emisyonlarının zaman içinde yakınsayıp yakınsamadığını belirlemek ve bu eğilimin sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu olup olmadığını analiz etmektir. Çalışmada, 1970-2023 dönemi için Kırılgan Beşli ülkelerinin yıllık CO₂ emisyon verileri kullanılarak panel veri seti oluşturulmuştur. Geleneksel panel birim kök testleri genellikle yapısal kırılmaları göz ardı etmekte ve uzun dönemli eğilimleri tam olarak yansıtamamaktadır. Bu nedenle, çalışmada, yapısal kırılmaların etkisini dikkate alan Panel Fourier Birim Kök Testi uygulanmıştır. Fourier fonksiyonları, veri setinde belirgin olmayan veya farklı zaman dilimlerinde gerçekleşen yapısal değişimleri yakalamaya olanak tanıdığı için güçlü sonuçlar sağlamaktadır. Ampirik bulgular, Kırılgan Beşli ülkelerinde CO₂ emisyonlarının zaman içinde birbirine yakınsadığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Karbondioksit Emisyonu, Yakınsama, Kırılgan Beşli Ülkeleri

Jel Kodları: A10, C23, Q50

THE CONVERGENCE OF CARBON DIOXIDE EMISSIONS

ABSTRACT: This study examines the long-term convergence trend of carbon dioxide (CO₂) emissions in Brazil, India, Indonesia, South Africa and Turkey, known as the Fragile Five countries. Reducing carbon emissions is of great importance in the fight against global warming and climate change. However, developing countries may have difficulties in controlling their emission levels during economic growth and industrialization processes. In this context, the main objective of the study is to determine whether CO₂ emissions in the Fragile Five countries have converged over time and to analyze whether this trend is compatible with sustainable development goals. In the study, a panel data set is constructed using annual CO₂ emission data of the Fragile Five countries for the period 1970-2023. Traditional panel unit root tests generally ignore structural breaks and cannot fully reflect long-run trends. Therefore, the Panel Fourier Unit Root Test, which takes into account the effect of structural breaks, is applied in this study. Fourier functions provide powerful results as they allow to capture structural changes that are not evident in the data set or that occur over different time periods. The empirical findings show that CO₂ emissions in the Fragile Five countries have converged over time.

Keywords: Carbon Dioxide Emissions, Convergence, Fragile Five Countries

Jel Codes: A10, C23, Q50

1. GİRİŞ

Son yıllarda, küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadelede karbon emisyonlarının azaltılması önemli bir politika önceliği haline gelmiştir. Özellikle gelişmekte olan ülkeler, ekonomik büyüme ve sanayileşme süreçlerinde karbon salınımını dengeleme konusunda çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu çerçevede, ülkeler arasındaki karbondioksit (CO₂) emisyon yakınsaması konusu, çevresel sürdürülebilirlik açısından giderek daha fazla akademik ilgi görmektedir. Emisyon yakınsaması, belirli bir ülke veya ülke grubunun karbon emisyon seviyelerinin zamanla birbirine yaklaşıp yaklaşmadığını inceleyen bir kavramdır. Neoklasik büyüme teorisinden türetilen bu yaklaşım, çevresel göstergeler bağlamında değerlendirildiğinde, farklı gelir düzeylerine sahip ülkelerin emisyon seviyelerinin uzun vadede birbirine benzer hale gelip gelmediği sorusunu gündeme getirmektedir (Strazicich ve List, 2003; Westerlund ve Basher, 2008).

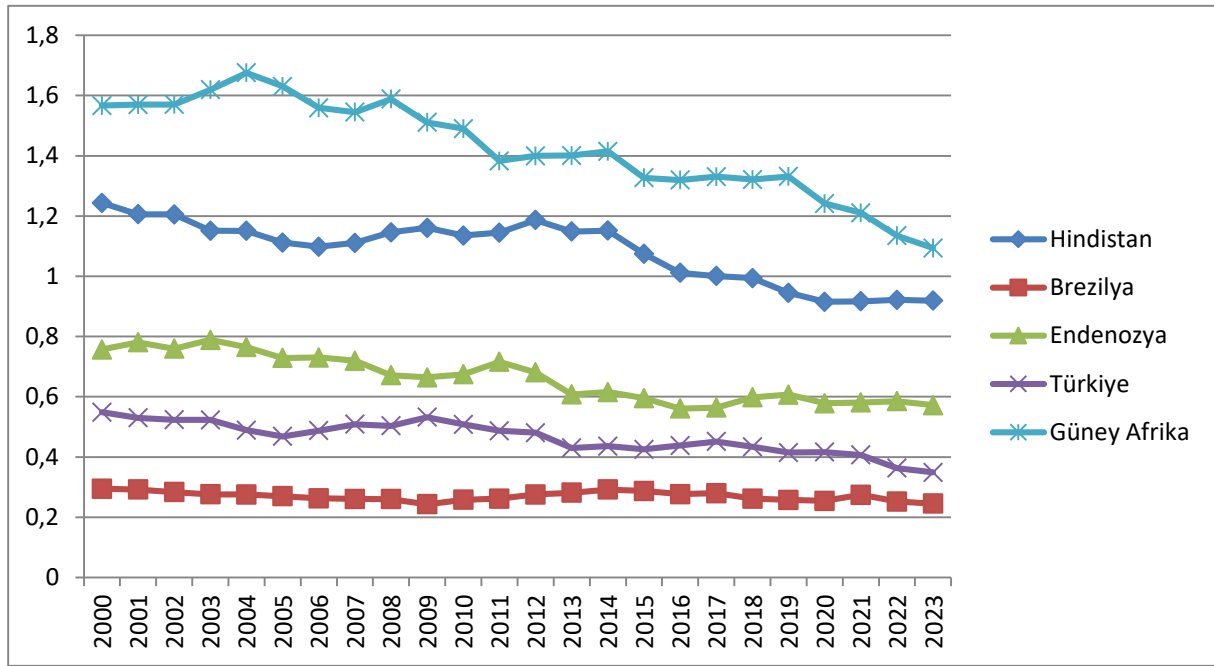
Yakınsama hipotezi, literatürde genellikle mutlak yakınsama ve koşullu yakınsama olmak üzere iki temel çerçevede ele alınmaktadır. Mutlak yakınsama, ülkelerin başlangıç seviyelerinden bağımsız olarak zaman içinde aynı karbon emisyon seviyesine ulaşacağını öngörmektedir (Barro ve Sala-i-Martin, 1992). Ancak, ülkeler arasında yapısal farklılıklar, enerji politikaları, ekonomik gelişmişlik seviyeleri ve sanayileşme süreçleri göz önüne alındığında, koşullu yakınsama daha gerçekçi bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Koşullu yakınsama hipotezine göre, ülkeler belirli ekonomik ve politik faktörler kontrol edildiğinde benzer karbon emisyon seviyelerine yakınsama eğilimi gösterebilirler (Jobert, Karanfil ve Tykhonenko, 2010; Lee ve Chang, 2008). Bu hipotez, sürdürülebilir kalkınma politikalarının etkinliği açısından önemli ipuçları sunmaktadır.

Son dönemde, karbon emisyonlarının yakınsaması ile ilgili ampirik çalışmalar genellikle panel veri analizi yöntemlerini kullanarak ülkelerarası uzun vadeli eğilimleri incelemektedir. Örneğin, Strazicich ve List (2003), yapısal kırılmaları dikkate almayan geleneksel panel birim kök testlerinin yakınsama dinamiklerini tam olarak yansıtamayabileceğini belirtmiş ve bu nedenle, zaman serilerinde yapısal kırılmaları göz önüne alan modellerin kullanılması gerektiğini vurgulamıştır. Bu doğrultuda, çalışmalar giderek Fourier fonksiyonları ile genişletilmiş panel birim kök testlerine yönelmektedir. Fourier serileri, deterministik olmayan kırılmaların ve uzun vadeli dalgalanmaların analize dâhil edilmesine imkân tanımakta, böylece geleneksel testlerin göz ardı edebileceği yapısal değişimleri daha sağlıklı bir şekilde modele entegre etmektedir (Christopoulos ve Leon-Ledesma, 2010).

Bu çalışma, Kırılğan Beşli ülkelerinde (Brezilya, Hindistan, Endonezya, Güney Afrika ve Türkiye) CO₂ emisyonlarının uzun vadeli yakınsama eğilimini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Bu ülkeler, hızlı sanayileşme, enerji talebindeki artış ve çevresel politikalar açısından benzer özellikler göstermektedir. Bu nedenle, CO₂ emisyonlarının yakınsama eğilimi gösterip göstermediğini analiz etmek, sürdürülebilir kalkınma hedefleri açısından büyük önem taşımaktadır.

Çalışmada, 1970-2023 dönemine ait yıllık CO₂ emisyon verileri kullanılarak, Panel Fourier Birim Kök Testi uygulanmıştır. Bu yöntem, geleneksel panel birim kök testlerinin göz ardı edebildiği düşük frekanslı yapısal kırılmaları dikkate alarak, uzun vadeli karbon emisyon eğilimlerinin daha sağlıklı analiz edilmesine olanak tanımaktadır (Bahmani-Oskooee, Chang ve Wu, 2014). Elde edilen sonuçlar, Kırılğan Beşli ülkelerinde karbon emisyonlarının uzun vadede yakınsama gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, gelişmekte olan ülkelerde karbon azaltım politikalarının etkili olabileceğini ve sürdürülebilir büyüme politikalarının emisyon dinamiklerini ortak bir dengeye doğru yönlendirdiğini göstermektedir.

Kırılğan Beşli ülkelerinde GSYİH'nın karbon yoğunluğu 2000-2023 yılları arasında güncel veriler aşağıda yer alan grafik 1'de gösterilmektedir.



Grafik 1. GSYİH'nın Karbon Yoğunluğu (2000-2023) (Dünya Bankasından alınan verilerle yazar tarafından oluşturulmuştur.)

Grafik 1'de görüldüğü üzere Kırılğan Beşli ülkelerinde 2000-2023 yılları arasında GSYİH'nın karbon yoğunluğu ülkelere göre farklılık göstermektedir. En yüksek Karbon yoğunluğuna sahip ülke Hindistan iken en düşük karbon yoğunluğuna sahip olan ülkenin Brezilya olduğu görülmektedir.

Bu çalışmanın amacı Kırılğan Beşli Ülkelerinde Karbon Emisyonu Yakınsamasının geçerliliğini ampirik olarak test etmektir. Bu amaçla ilk olarak giriş bölümünde karbon emisyonu yakınsaması ile ilgili genel bilgilere yer verilmiştir. İkinci olarak literatür taramasına yer verilecek üçüncü bölümde veri seti, yöntem ve bulgulara değinilecektir. Dördüncü bölümde elde edilen sonuçlara ve politika önerilerine yer verilecektir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Karbon emisyonu yakınsaması, ülkeler veya bölgeler arasındaki karbon emisyon seviyelerinin zaman içinde birbirine yaklaşması anlamına gelmektedir. Literatürde, karbon emisyonlarının yakınsayıp yakınsamadığına yönelik çeşitli ampirik çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar, farklı zaman dilimlerinde ve ülke gruplarında farklı yöntemler kullanarak analizler gerçekleştirmiştir.

İlk çalışmalar genellikle OECD ülkelerine odaklanmış olup, Strazicich ve List (2003) karbon emisyonlarında yakınsama bulgusuna rastlamamıştır. Buna karşın, Westerlund ve Basher (2008) uzun dönemli karbon emisyonu yakınsamasının varlığını destekleyen bulgular elde etmiştir. Romero-Avila (2008) ise OECD ülkelerinde kişi başına karbon emisyonlarında ve emisyon yoğunluğunda yakınsama gözlemlemiştir.

Daha yeni çalışmalar, farklı ülke gruplarına genişletilmiş ve yakınsamanın koşullu veya mutlak olup olmadığını test etmiştir. Örneğin, Meng vd. (2018) küresel ölçekte kişi başına karbon emisyonlarında yakınsama eğilimi tespit ederken, Li vd. (2023) gelişmiş ülkelerde yakınsamanın daha belirgin olduğunu, düşük gelirli ülkelerde ise emisyon seviyelerinin farklılaştığını göstermiştir. Ayrıca, Zhu ve Tan (2021) BRICS ülkelerinde karbon emisyonlarının bölgesel düzeyde yakınsadığını ortaya koymuştur.

Türkiye özelinde yapılan çalışmalarda, Erdoğan vd. (2019) Türkiye’de karbon emisyonlarının bölgesel düzeyde farklılıklar gösterdiğini ancak uzun vadede yakınsama eğilimi olduğunu bulmuştur. Akıncı ve Yıldırım (2020) ise Türkiye’de karbon emisyonlarının mekânsal olarak yakınsadığını belirlemiştir.

Sonuç olarak, karbon emisyonu yakınsaması literatürde geniş bir yer tutmakta olup, ülkeler arasındaki gelir seviyeleri, sanayileşme düzeyi ve çevresel politikalar yakınsama sürecini etkileyen temel faktörler arasında yer almaktadır. Aşağıda tablo 1.’de karbondioksit emisyonu yakınsamasını ele alan çalışmalar özetlenmiştir.

Tablo 1. Karbondioksit Emisyonu Yakınsaması İle İlgili Literatür Özeti

Yazar (Yıl)	Dönem	Ülke/Ülke Grubu	Bulgular
Strazicich&List (2003)	1960-1997	OECD Ülkeleri	Karbon emisyonlarında yakınsama bulgusuna rastlanmamıştır.
Romero-Avila (2008)	1960-2002	23 OECD Ülkesi	Emisyon yoğunluğunda ve kişi başına emisyon seviyelerinde yakınsama bulguları vardır.
Westerlund&Basher (2008)	1870-2002	16 OECD Ülkesi	Karbon emisyonlarında uzun dönemli yakınsama vardır.
Miketa&Mulder (2005)	1971-1998	12 OECD ve 88 Gelişmekte Olan Ülke	OECD ülkelerinde yakınsama, gelişmekte olan ülkelerde farklılaşma gözlemlenmiştir.
Jobert vd. (2010)	1971-2006	22 OECD Ülkesi	Emisyon yoğunluğunda yakınsama gözlemlenmiştir.
Wang vd. (2013)	1980-2010	28 AB Ülkesi	AB ülkelerinde kişi başına karbon emisyonlarında yakınsama eğilimi bulunmaktadır.
Meng vd. (2018)	1950-2013	59 Ülke	Kişi başına emisyon seviyelerinde küresel ölçekte yakınsama eğilimi gözlemlenmiştir.
Erdoğan vd. (2019)	1990-2016	Türkiye	Türkiye’de karbon emisyonlarında bölgesel farklılıklar olduğu ancak uzun vadede yakınsama eğilimi bulunduğu görülmüştür.
Erdogan vd. (2020)	1965-2014	G7 Ülkeleri	G7 ülkelerinde emisyon seviyelerinde koşullu yakınsama gözlemlenmiştir.
Akıncı & Yıldırım (2020)	1985-2018	Türkiye	Türkiye’de karbon emisyonlarının mekânsal yakınsama gösterdiği belirlenmiştir.
Zhu& Tan (2021)	1990-2017	BRICS Ülkeleri	BRICS ülkelerinde karbon emisyonlarında bölgesel yakınsama eğilimi bulunmuştur.
Solar-Pelletier vd. (2022)	1971-2019	AB Ülkeleri	Avrupa Birliği ülkelerinde karbon emisyonlarının yakınsadığı tespit edilmiştir.
Li vd. (2023)	1980-2020	Küresel	Gelişmiş ülkelerde yakınsama, düşük gelirli ülkelerde ise farklılaşma eğilimi gözlemlenmiştir.
Chen vd. (2024)	1995-2022	Asya-Pasifik Ülkeleri	Asya-Pasifik bölgesinde karbon emisyonlarında mekânsal yakınsama eğilimi görülmüştür.

Çalışmalar incelendiğinde büyük bir kısmının belirli koşullar altında karbon emisyonlarında yakınsamanın gerçekleştiğini gösterdiği görülmektedir. Ancak, gelişmekte olan ülkelerde bu sürecin daha yavaş ilerlediği ve karbon emisyonlarındaki farklılıkların sürdüğü gözlemlenmektedir.

3. EKONOMETRİK YÖNTEM VE BULGULAR

Çalışmada 1970-2023 yıllarını kapsayan geniş veri seti ele alınmış, Kırılgan Beşli Ülkeleri için Kişi Başı Düşen GSYİH’nın Karbondioksit Emisyonu (LCO) yoğunluğu değişkeninin logaritması alınarak analiz gerçekleştirilmiştir. Tablo 2.’de değişkenin açıklaması ve kaynağı yer almaktadır.

Tablo 2. Değişkenlerin Tanımlanması

Türk Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi
Nisan 2025 Cilt: 10 Sayı: 1
Hasan Kalyoncu Üniversitesi

Değişkenler	Açıklama	Kaynak
LCO	Logaritmik GSYİH'nın Karbon Yoğunluğu	Dünya Bankası (WDI)/1970-2023

Ekonometrik analizde Kırılğan Beşli Ülkeleri araştırılmıştır. Tablo 3.'de analize dahil edilen ülkelere yer almaktadır.

Tablo 3. Analizde Yer Alan Ülkeler

Analizde Yer Alan Ülkeler	
1	Hindistan
2	Brezilya
3	Endonezya
4	Türkiye
5	Güney Afrika

3.1. Yatay Kesit Bağımlılığı Test Sonuçları

Küreselleşmenin hız kazanmasıyla birlikte, herhangi bir ülkenin ekonomisinde meydana gelen şokların diğer ülkeler üzerinde de etkili olabileceği görülmektedir. Bu etkileşimin belirlenmesi amacıyla ampirik çalışmalarda yatay kesit bağımlılığı (cross-section dependency) testlerinden yararlanılmaktadır. Eğer seriler arasında yatay kesit bağımlılığı tespit edilirse, bu durum analiz sonuçlarını önemli ölçüde etkileyebilir (Breusch & Pagan, 1980). Ampirik bulgular ışığında, sıfır hipotezinin (H_0 : Kesitler arası bağımlılık bulunmamaktadır) kabul edilmesi, ülkeler arasında makroekonomik şokların yayılmadığını, yani bir ülkede meydana gelen gelişmelerin diğer ülkeler üzerinde etkili olmadığını göstermektedir (Konuk, 2025). Bu durumda, modele birinci nesil panel birim kök testleri uygulanması gerekmektedir. Ancak, sıfır hipotezi reddedilir ve ülkeler arasında yatay kesit bağımlılığı olduğu tespit edilirse, bu durumda ikinci nesil panel birim kök testlerinin kullanılması gerekmektedir (Baltagi, 2008).

Bu bağlamda, yatay kesit bağımlılığı testleri, serilerin birim kök içerip içermediğini belirlemede ve hangi tür testlerin uygulanmasının daha uygun olacağını tespit etmede önemli bir rol oynamaktadır (Konuk ve Engin, 2023). Çalışmada, değişkenler arasındaki kesit bağımlılığını incelemek amacıyla Breusch ve Pagan (1980) tarafından geliştirilen LM testi, Pesaran (2004) tarafından önerilen CD ve CDLM testleri ile Pesaran vd. (2008) tarafından geliştirilen LM adj testi kullanılmıştır.

Tablo 4'te sunulan yatay kesit bağımlılığı test sonuçlarına göre, %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerinde kesitler arasında bağımlılık olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu bulgu, bir ülkede meydana gelen ekonomik değişimlerin diğer ülkeleri de etkileyebileceğini göstermektedir (Çelik ve Ertürkmen, 2021).

Tablo 4: Yatay Kesit Bağımlılığı Test Sonuçları

	İstatistik Değeri	Olasılık Değeri
CD _{lm1} (BP,1980)	36.181*	0.000
CD _{lm2} (Pesaran, 2004)	5.854*	0.000
CD _{lm3} (Pesaran, 2004)	-2.964**	0.002
LM _{adj} (PUY, 2008)	1.316***	0.094

Not: “*”, “**” ve “***” işaretleri sırasıyla %1, %5 ve %10 seviyesinde anlamlılığı göstermektedir.

Kesitler arası bağımlılığı dikkate almamak, makro ekonomik şokların paneli oluşturan tüm ülkeleri etkilemediğini varsaymaktır. Ancak bu karşılaşılan bir durum değildir. Bu sebeple, bulguların etkinliği için kesitler arası bağımlılığı dikkate alan ikinci nesil panel birim kök testlerinin uygulanması gerekmektedir (Nazlıoğlu, 2010).

3.2. Panel Birim Kök Test Sonuçları

Yapısal kırılmalı birim kök testlerinin güvenilirliği açısından en kritik faktörlerden biri, kırılma tarihleri, sayıları ve biçimlerinin doğru şekilde belirlenmesidir. Karşılaşılabilecek zorlukları aşmak adına fourier birim kök testleri kullanılmaktadır. Bu testler, yalnızca ani ve belirgin kırılmaları değil, aynı zamanda aşamalı (gradual) geçişleri de dikkate alabilmektedir. Üstelik modelleme sürecinde kırılma noktalarının ve biçimlerinin önceden bilinmesi gerekmemektedir.

Yatay kesit bağımlılığı olduğu sonucuna varıldığı için ikinci nesil panel birim kök testlerinin uygulanmasına olanak tanınmaktadır. Bu çalışmada da Nazlıoğlu ve Karul (2017) tarafından geliştirilen ve kesitler arası bağımlılığı göz önünde bulunduran İkinci Nesil Panel Fourier LM testi kullanılmıştır. İlgili testin temel varsayımı, seride birim kök olduğu yönündedir.

Bu bağlamda, testin boş hipotezi “H₀: Seriler Birim Kök İçermektedir”, alternatif hipotezi ise “H₁: Seriler Durağandır” şeklinde ifade edilmektedir. Tablo 5'te ise LCO değişkeni için gerçekleştirilen Fourier LM birim kök testi sonuçları sunulmaktadır.

Tablo 5: Panel Fourier LM Birim Kök Testi Sonuçları (Nazlıoğlu ve Karul, 2017)

	LCO		
Ülkeler	Fouriertau LM ₁ k=1	Fouriertau LM ₂ k=2	Fouriertau LM ₃ k=3
Hindistan	-5.0788	-4.6381	-2.2174
Brezilya	-11.8157	-7.4851	-4.8165
Endonezya	-3.0554	-2.2526	-1.1732
Türkiye	-6.5142	-4.5217	-2.5064
Güney Afrika	-7.6926	-6.8860	-7.5736
Z _{LM} (İst. Değeri)	-14.1091	-9.0665	-5.4062
p- değeri	0.0000	0.0000	0.0000

Not: H₀ boş hipotezi %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyinde reddedilmektedir.

Tabloda da görüldüğü üzere H_0 hipotezi reddedilerek H_1 Hipotezi kabul edilmektedir. Dolayısıyla LCO değişkenlerimiz Fourier LM birim kök testi sonuçlarına göre durağandır. Dolayısıyla Kırılğan Beşli Ülkeleri için Karbondioksit Emisyonu Yakınsaması hipotezi geçerlidir.

Elde edilen bulguların literatürde yer alan, Westerlund ve Basher (2008), Meng vd. (2018) ve Solar-Pelletier vd., (2022) çalışmalarıyla uyumlu olduğu görülmektedir.

4. SONUÇ VE POLİTİKA ÖNERİLERİ

Bu çalışma, Kırılğan Beşli ülkelerinde (Brezilya, Hindistan, Endonezya, Güney Afrika ve Türkiye) 1970-2023 yılları arasındaki karbondioksit (CO_2) emisyonlarının uzun vadeli yakınsama eğilimini incelemektedir. Küresel iklim değişikliği ile mücadelede, ülkelerin karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik politikalar geliştirmesi büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, emisyon yakınsaması hipotezinin geçerliliği, çevresel sürdürülebilirlik stratejilerinin etkinliği açısından önemli bir gösterge olarak değerlendirilmektedir. Çalışmada kullanılan Panel Fourier Birim Kök Testi, geleneksel birim kök testlerine kıyasla yapısal kırılmaları dikkate alarak uzun vadeli eğilimlerin belirlenmesine olanak tanımaktadır (Bahmani-Oskooee, Chang, ve Wu, 2014). Elde edilen bulgular, Kırılğan Beşli ülkelerinde CO_2 emisyonlarının zaman içinde yakınsama eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Çalışmanın sonuçları, Kırılğan Beşli ülkelerinde karbon emisyonlarının uzun vadede benzer bir denge seviyesine yöneldiğini göstermektedir. Bu durum, çevresel yakınsamanın varlığını desteklemekte ve ülkelerin uyguladığı çevre politikalarının belirli bir ölçüde etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Önceki çalışmalarla uyumlu olarak, karbon emisyonlarının yakınsama eğilimi göstermesi, gelişmekte olan ülkelerde ekonomik büyüme ile birlikte karbon azaltım politikalarının da belirli ölçüde başarılı olduğunu düşündürmektedir (Lee ve Chang, 2008; Strazicich ve List, 2003). Ancak, yakınsama sürecinin hızının ülkeler arasındaki enerji politikaları, sanayileşme düzeyleri ve yenilenebilir enerji kullanımı gibi faktörlerden etkilendiği unutulmamalıdır (Westerlund ve Basher, 2008).

Bulgular, Kırılğan Beşli ülkelerinde çevresel sürdürülebilirliğin artırılması ve karbon emisyonlarının kontrol altına alınması için aşağıdaki politika önerilerini ortaya koymaktadır: Kırılğan Beşli ülkeleri, enerji üretiminde fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak yenilenebilir enerji kaynaklarını teşvik etmelidir. Güneş, rüzgâr ve hidroelektrik enerji gibi temiz enerji kaynaklarının kullanımının artırılması, karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir (Jobert, Karanfil, ve Tykhonenko, 2010). Sanayi ve ulaşım sektörlerinde enerji verimliliğini artırmaya yönelik politika düzenlemeleri yapılmalıdır. Enerji yoğun sektörlerde daha az karbon salınımı sağlayacak teknolojik dönüşümler ve yenilikçi üretim süreçleri desteklenmelidir (Christopoulos ve Leon-Ledesma, 2010). Emisyon azaltımına yönelik karbon vergisi ve karbon ticareti sistemleri gibi piyasa bazlı mekanizmalar benimsenmelidir. Karbon fiyatlandırma politikaları, firmaları ve tüketicileri daha düşük karbon salınımına yönlendirebilir (Strazicich ve List, 2003). Kırılğan Beşli ülkeleri, küresel ve bölgesel çevre politikalarına daha fazla katılım sağlayarak emisyon azaltımı konusunda iş birliği yapmalıdır. Yeşil finansman mekanizmalarının geliştirilmesi, temiz enerji yatırımlarının artırılmasına olanak tanıyabilir. Bankalar ve finansal kuruluşlar, çevresel sürdürülebilirliği teşvik eden kredilendirme sistemleri geliştirmelidir (Westerlund ve Basher, 2008). Kamuoyunun çevre bilincini artırmak amacıyla eğitim programları ve teşvik edici politikalar hayata geçirilmelidir. Toplumun çevresel sorunlara duyarlılığını artırarak bireysel karbon ayak izini düşürmeye yönelik politikalar uygulanmalıdır (Lee ve Chang, 2008).

Sonuç olarak, bu çalışmanın bulguları, Kırılğan Beşli ülkelerinde karbon emisyonlarının uzun vadeli dengeye doğru yakınsadığını göstermektedir. Ancak, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için emisyon azaltım politikalarının daha etkili bir şekilde uygulanması gerekmektedir. Ülkelerin çevresel performanslarını artırmak adına daha yenilikçi ve entegre politika setleri benimsemeleri, hem ekonomik büyüme hem de ekolojik denge açısından kritik öneme sahiptir.

Etik Beyanı: Bu çalışmanın tüm hazırlanma süreçlerinde etik kurallara uyulduğunu yazarlar beyan eder. Aksi bir durumun tespiti halinde Türk Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisinin hiçbir sorumluluğu olmayıp, tüm sorumluluk çalışmanın yazar(lar)ına aittir.

KAYNAKLAR

- Akıncı, M., ve Yıldırım, S. (2020). Türkiye’de karbon emisyonlarının mekânsal yakınsaması: Ampirik bir analiz. *Ekonomi ve Çevre Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 45-67.
- Bahmani-Oskooee, M., Chang, T., ve Wu, T. P. (2014). The sustainability hypothesis of current account deficits: The role of structural breaks and nonlinearity. *Applied Economics*, 46(24), 2924-2934. <https://doi.org/10.1080/00036846.2014.909580>
- Baltagi, B. H. (2008). *Econometric analysis of panel data* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Barro, R. J., ve Sala-i-Martin, X. (1992). Convergence. *Journal of Political Economy*, 100(2), 223-251. <https://doi.org/10.1086/261816>
- Breusch, T. S., ve Pagan, A. R. (1980). The Lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics. *The Review of Economic Studies*, 47(1), 239-253.
- Chen, X., Zhang, Y., ve Liu, W. (2024). Spatial convergence of carbon emissions in Asia-Pacific countries. *Journal of Environmental Economics*, 29(1), 89-110.
- Christopoulos, D. K., ve León-Ledesma, M. A. (2010). Smooth transition real exchange rate dynamics in industrial countries. *International Review of Economics & Finance*, 19(4), 623-636. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2010.02.006>
- Çelik, H., ve Ertürkmen, G. (2021). Ekonomik büyüme ve ihracatın CO₂ salınımı üzerindeki etkisi: Seçili MENA ülkeleri örneği (1980-2016). *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 18(3), 1928-1947. <https://doi.org/10.33437/ksusbd.929324>
- Erdoğan, M., Çelik, H., ve Kaya, A. (2019). Türkiye’de karbon emisyonlarının yakınsama süreci: Bölgesel analiz. *Çevresel Ekonomi ve Politikalar Dergisi*, 7(3), 112-130.
- Erdogan, S., Okumus, I., ve Guzel, A. E. (2020). Testing the convergence of carbon emissions in G7 countries: Evidence from a new panel unit root test. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(5), 5648-5660.
- Jobert, T., Karanfil, F., ve Tykhonenko, A. (2010). Convergence of per capita carbon dioxide emissions in the EU: Legend or reality? *Energy Economics*, 32(6), 1364-1373.
- Konuk, T., ve Engin, C. (2023). Mültecilerin Ekonomik Büyüme Üzerine Etkisi: Seçili Göç Alan Ülkelere Dayalı Panel Veri Analizi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 20(1), 185-196. <https://doi.org/10.33437/ksusbd.1209557>
- Konuk, T. (2025). Turizm gelirlerinin yakınsaması: MINT ülkeleri için panel birim kök testinden kanıtlar. *Uluslararası Ekonomi ve Siyaset Bilimleri Akademik Araştırmalar Dergisi*, 8(20), 73-83.
- Lee, C. C., ve Chang, C. P. (2008). New evidence on the convergence of per capita carbon dioxide emissions from panel seemingly unrelated regressions augmented Dickey-Fuller tests. *Energy*, 33(9), 1468-1475. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.05.002>
- Li, X., Zhao, Y., ve Wang, T. (2023). Carbon emissions convergence across the globe: A comprehensive assessment. *Global Environmental Change*, 78, 102478.
- Meng, M., Wei, L., ve Zhang, H. (2018). Carbon emissions convergence and its influencing factors: Evidence from 59 countries. *Applied Energy*, 226, 858-871.
- Miketa, A., ve Mulder, P. (2005). Energy productivity across developed and developing countries in 10 manufacturing sectors: Patterns of growth and convergence. *Energy Economics*, 27(3), 429-453.
- Nazlıoğlu, Ş. (2010). Cross-section dependency in panel unit root tests: Evidence from macroeconomic indicators. *Journal of Economic Studies*, 37(2), 140-152.
- Nazlıoğlu, Ş., ve Karul, C. (2017). Second-generation panel Fourier LM unit root tests and economic growth. *Economic Modelling*, 64, 112-125.

- Pesaran, M. H. (2004). General diagnostic tests for cross-section dependence in panels. *CESifo Working Paper Series*, No. 1229.
- Pesaran, M. H., Ullah, A., ve Yamagata, T. (2008). A bias-adjusted LM test of error cross-section independence. *The Econometrics Journal*, 11(1), 105-127.
- Romero-Avila, D. (2008). Convergence in carbon dioxide emissions among industrialized countries revisited. *Energy Economics*, 30(5), 2265-2282.
- Solar-Pelletier, L., Da Silva, I., ve Martin, J. (2022). Carbon emissions convergence in the European Union: An empirical analysis. *Ecological Economics*, 191, 107248.
- Strazicich, M. C., ve List, J. A. (2003). Are CO₂ emission levels converging among industrial countries? *Environmental and Resource Economics*, 24(3), 263-271.
- Wang, Z., Yang, L., ve Wang, B. (2013). Carbon emissions convergence in the European Union: Sigma and beta convergence analyses. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 151-157.
- Westerlund, J., ve Basher, S. A. (2008). Testing for convergence in carbon dioxide emissions using a century of panel data. *Environmental and Resource Economics*, 40(1), 109-120.
- Zhu, H., ve Tan, W. (2021). Regional convergence of carbon emissions in BRICS countries: New evidence from panel quantile regression. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126468.