

G7 ve BRICS-T¹ Ülkelerinde Stokastik Çevresel Yakınsamasının Geçerliliği: Panel KPSS ile Keskin ve Yumuşak Kırılmalar

Mustafa GÖKMENOĞLU²

Başyuru Tarihi: 05.10.2024

Kabul Tarihi: 29.01.2025

Makale Türü: Araştırma Makalesi

Öz

Bu çalışma, G7 ve BRICS-T ülkelerinin karbon emisyonları açısından çevresel yakınsamanın mı yoksa ıraksamanın mı geçerli olup olmadığını araştırmaktadır. Çalışmada, 1960-2022 yıllarına ait karbon emisyon verileri kullanılmış ve stokastik çevresel yakınsama metodolojisi kullanılmıştır. Veriler analiz yöntemindeki kısıtlılıkları aşmak için normalize edilmiş ve yatay kesit bağımlılığı testleriyle ülkeler arası bağımlılık analiz edilmiştir. Yapısal kırılmaların tespit edilmesi amacıyla Fourier fonksiyonları kullanılmış ve bu yöntemle ülkelerin veri yapısındaki kırılmalar da ortaya konulmuştur. Çalışmada, G7 ülkelerinden Almanya'nın karbon emisyonlarının ortalamaya ıraksadığı tespit edilmiştir. Öte yandan diğer G7 ülkelerinden olan ABD, Fransa ve Birleşik Krallık için ise karbon emisyonu serilerinin uzun vadede ortalamaya yakınsadığı belirlenmiştir. BRICS-T ülkeleri arasında Brezilya, Türkiye, Çin ve Güney Afrika'nın karbon emisyonlarının ıraksadığı görülürken, Rusya ve Hindistan'ın karbon emisyonlarının yakınsama eğilimi gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Gruplar arası Bartlett test istatistiklerinde G7 ve BRICS-T ülkeleri arasındaki karbon emisyon yakınsaması incelendiğinde, her iki grup arasında emisyon ortalamalarının birbirine tam anlamıyla yakınsama göstermediği tespit edilmiştir. Panel KPSS testleri, G7 ülkelerinin zamanla birbirine yakınsadığını, BRICS-T ülkelerinin ise emisyonlarında ıraksama yaşadığını ortaya koymaktadır. Hem homojen hem de heterojen serilerde G7 ülkelerinde yakınsama gözlenirken, BRICS-T ülkelerinde heterojen serilerde durağanlık gözlenmemiştir. Bu durum, G7 ülkelerinde karbon emisyonlarının ortak bir dengeye yöneldiğini, BRICS-T ülkelerinde ise bu dengenin henüz sağlanmadığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel Yakınsama Hipotezi, G7, BRICS-T.

1 G7 ülkeleri Kanada (CAN), Fransa (FRA), Almanya (DEU), İtalya (ITA), Japonya (JPN), İngiltere (GBR) ve ABD (USA), BRICS-T ülkeleri, Brezilya (BRA), Çin (CHN), Hindistan (IND), Rusya (RUS), Güney Afrika (SA) ve Türkiye (TUR)'den oluşmaktadır.

2 Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Maliye Bölümü, mustafa.gokmenoglu.1@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9188-1645

Validity of Stochastic Environmental Convergence in G7 and BRICS-T Countries: Sharp and Soft Breaks with Panel KPSS

Mustafa GÖKMENOĞLU³

Submitted by: 05.10.2024

Accepted by: 29.01.2025

Article Type: Research Article

Abstract

This study investigates whether convergence or divergence in environmental terms is valid for carbon emissions in G7 and BRICS-T countries. The study utilizes carbon emission data from 1960 to 2022 and applies stochastic environmental convergence methodology. The data were normalized to overcome limitations in the analytical method, and cross-sectional dependency tests were conducted to analyze inter-country dependencies. Fourier functions were employed to identify structural breaks, revealing disruptions in the data structures of the countries. The findings indicate that Germany's carbon emissions diverge from the average within the G7 group. On the other hand, the carbon emission series of the United States, France, and the United Kingdom were found to converge towards the long-term average. Among the BRICS-T countries, the carbon emissions of Brazil, Turkey, China, and South Africa were observed to diverge, while Russia and India showed tendencies of convergence. In the cross-group Bartlett test statistics, an analysis of carbon emission convergence between G7 and BRICS-T countries revealed that emission averages between the two groups did not fully converge. Panel KPSS tests indicate that G7 countries have shown convergence over time, while BRICS-T countries have experienced divergence in emissions. Convergence was observed in both homogeneous and heterogeneous series within the G7 countries, whereas no stationarity was found in the heterogeneous series of BRICS-T countries. This suggests that while G7 countries are moving towards a common equilibrium in carbon emissions, this equilibrium has not yet been achieved among BRICS-T countries.

Keywords: Environmental Convergence Hypothesis, G7, BRICS-T.

JEL Kodu: C33, P18, O47.

³ Süleyman Demirel University, Graduate School of Social Science, Dept. of Public Finance, mustafa.gokmenoglu.1@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9188-1645

Giriş

Literatürde yakınsama ile ilgili tartışmalar, 18. yüzyıla kadar uzanarak Hume dönemine dayanmaktadır ve günümüze kadar geçerliliğini korumaktadır (Elmslie, 1995, s. 207). Sala-i-Martinè (1996) göre yakınsama hipotezi “ülkeler birbirlerine yakınsayacak mı?”, “Sosyo-ekonomik benzerlik gösteren ülkeler birbirlerine yakınsayacak mı?” gibi sorularla daha ilgi çekici hale gelmektedir. Solow’un (1956) “*A Contribution to the Theory of Economic Growth*” isimli makalesiyle ekonometrik anlamda çalışmaların hız kazandığı yakınsama hipotezi, görece daha düşük refah seviyesine sahip ülkelerin, görece daha zengin ülkelere yakınsayıp yakınsamadığını ölçmektedir (Furceri, 2005).

Yakınsama analizleri, ülkelerin gelir, finansman, makro göstergeler, sağlık ve çevre kirliliği gibi göstergelerin benzer eğilimler gösterip göstermediğini test ederken, farklı gelir seviyelerine sahip ülkelerin gösterge performanslarının birbirine yaklaşıp yaklaşmadığını anlamamıza olanak tanımaktadır (Grossman ve Krueger, 1995; Stern, 2004). Analizlerin konu özelinde farklılaşmasının yanında çeşitli sınamaları da bulunmaktadır. Buna göre beta (β) ve sigma (σ) yakınsamasının yanında kulüp ve stokastik yakınsamada kullanılan metoda göre çeşitlenen sınama yöntemlerindedir (Pfaffermayr, 2009; Erdogan ve Okumus, 2021). Beta yakınsama genel olarak gelir yakınsamasında kullanırken gelirin büyümesine odaklanmaktadır. Öte yandan sigma yakınsaması ise gelir farklarının belirli koşullar altında birbirine yakınsayıp yakınsamadığını test etmektedir (Young, Higgins ve Levy, 2008, s. 1083). Phillips ve Sul’e (2007) göre kulüp yakınsamanın, belirli ülkelerin veya bölgelerin ekonomik performans, gelir düzeyi veya çevresel göstergeler gibi belirli kriterler açısından zamanla birbirine yakınsadığını ifade eden bir yaklaşım olduğunu ifade etmişlerdir. Bunun yanında stokastik yakınsama zaman içinde ekonomik veya çevresel göstergeler arasındaki farkların rastgele şoklar ve dışsal olaylar altında nasıl hareket ettiğini analiz etmektedir (Carlino ve Mills, 1993, s. 336).

Çevresel bozulma göstergelerinden biri olan karbon emisyon seviyelerine bakıldığında, özellikle 1900’lü yıllardan sonra bir artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Nitekim on yıllar itibariyle ortalama artışlara bakıldığında 1960-1970’lerde %59, 1970-1980’lerde %32, 1980-1990’larda %15, 1990-2000’lerde %9, 2000-2010’larda %31, 2010-2022 yılları arasında %12 artışın olduğu görülmektedir. 1900’lerin başından günümüze kadar gelinen süreçte kümülatif artışın %1803 olduğu görülmektedir (Carbon Atlas, 2024). Çevresel bozulmanın dünya genelinde bu denli yüksek olduğu bir dönemde Kuznets tarafından ortaya atılan ekonomik aktivitenin kirliliğe sebep olacağı görüşünden hareketle ülkelerin karbon emisyonlarının birbirlerine yakınsayıp yakınsamadığı merak uyandırmaktadır. Karbon emisyonları, iklim değişikliğinin en önemli tetikleyicilerinden biri olarak kabul edilmektedir. Atmosfere salınan karbondioksit, küresel ısınmaya yol açarak çevresel dengeleri bozmakta ve ekosistemlerin sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Bu nedenle, karbon emisyonlarının seviyesini ve dağılımını analiz etmek hem çevresel politika oluşturma süreçlerinde hem de sürdürülebilir kalkınma stratejilerinde kritik bir rol oynamaktadır. Aynı zamanda ekonomik aktivitedeki artışın karbon emisyonlarıyla paralel hareket etmesi, bu değişkenin yakınsama analizi için tercih edilmesindeki esas neden olmuştur. Bu çalışmanın amacı da ülke grubu içerisinde ve gruplar arasında ortalama karbon tüketimine yakınsamanın varlığının stokastik bir süreçte gerçekleşip gerçekleşmediğinin tespit edilmesidir. Bu amaç doğrultusunda dönemsel oluşan kırılmaların politik süreçlere ve karbon salınımına nasıl bir etki ettiğinin yorumlamasını gerçekleştirmektedir.

Çalışma, belirli zamanda ortaya çıkan rastgele şokları ve dışsal olayları dikkate alarak çevresel yakınsamanın ülke gruplarının kendi içerisinde ve ülke grupları arasında stokastik bir yakınsama olup olmadığını sınamaktadır. Bakıldığında literatürde birçok çalışma birçok farklı yöntem kullanarak stokastik yakınsamayı test etmiş, benzer ve farklı sonuçlar elde etmiştir. Nitekim Westerlund ve Basher (2008), Li, Zuo, Wang ve Zhang (2020) ve Erdogan ve Okumus (2021) gibi çalışmalar süreçte farklı ülke grupları ve zaman aralığında yakınsamanın varlığını test etmiş, benzer ve farklı sonuçlar tespit etmişlerdir. Bu çalışma esasında aynı amacı taşısa da farklı ülke gruplarını kendi içerisinde ve ülkelerin kendi grupları arasında yakınsamayı test ederek söz konusu çalışmalardan farklılaşmaktadır. Çalışmada özellikle kullanılan analiz yönteminin dinamik bir yapıyı içermesi, Fourier fonksiyonları ile keskin ve yumuşak kırılmaları yakalanabilmesi ve yatay kesitteki

ülkelerin politik çıkarımlarının daha rahat yapılabilmesini sağlamaktadır. Bu özelliğiyle de çalışma literatürde yer alan konu özelindeki diğer çalışmalardan ayrılmaktadır.

Bu çalışmada G7 ve BRICS-T ülke gruplarının ve karbon emisyonu verisinin seçilmesindeki temel amaç, küresel ekonomik dengelerde gelişmekte olan ülkelere doğru gerçekleşen ekonomik aktivite sonucunda karbon emisyonlarında bir artış olup olmadığını araştırmaktır. Goldman Sachs'ın (2023) raporunda öngörüldüğü gibi gelişmekte olan ülkeler (özellikle Asya) yönünde artan ekonomik aktivite, dünya milli gelirinin büyük bir kısmının bu bölgelere doğru kaymasına yol açmaktadır. Bu ekonomik büyümenin çevresel etkilerini anlamak ve karbon emisyonları açısından ülkeler arasında ve ülkelerin kendi içindeki dinamiklerin nasıl değiştiğini görmek amacıyla G7 ve BRICS-T grupları karşılaştırılmaktadır. Bu bağlamda G7 ülkeleri, tarihsel olarak gelişmiş ve daha çevre dostu politikalar uygulayan ekonomiler olarak bilinirken, BRICS-T ülkeleri hızlı sanayileşme ve ekonomik büyüme süreçlerinden geçmekte olup, karbon emisyonlarındaki artışların bu büyüme ile nasıl ilişkilendiği sorgulanmaktadır. Çalışma bu iki grup arasında ve gruplar arasında karbon emisyonlarında yakınsaması olup olmadığını tespit etmeyi amaçlamaktadır. Çalışma özellikle, gelişmekte olan ülkelere doğru kaydığı gözlemlenen ekonomik aktivitenin, karbon emisyonlarına etkisini inceleyerek bu iki grup arasındaki farklılıkları ve benzerlikleri analiz etmeyi hedeflemektedir.

Çevresel Yakınsamaya İlişkin Kısa Bir Yazın İncelemesi

Genel olarak yakınsama literatürü incelendiğinde uzun yıllardır üzerine araştırmalar yapılan ve tartışmaların günümüzde de sürdüğü güncel bir çalışma alanı olduğu görülebilmektedir. Çalışmalar neticesinde konu ve kapsama göre farklılık gösteren birçok sonucun elde edildiği anlaşılmaktadır. Aynı zamanda yakınsama, temelde görece farklı ekonomik düzeylere ait ülkelerin birbirlerine olan yakınsaması olarak anılsa da farklı konu başlıklarında literatürde tartışılmaya devam etmektedir. Nitekim gelir üzerine (Barro ve Sala, 1992; Islam, 1995; Mankiw, 1992), teknoloji üzerine (Jeong, Kim ve Choi, 2015; Lee, Han ve Sohn, 2015; Walther, Carr ve Choi, 2010; Yasunaga, Watanabe ve Korenaga, 2009), faiz oranları üzerine (Camarero, Ez ve Tamarit, 2002; Frankel ve Okongwu, 1996; Frömmel ve Kruse, 2015; Gabrisch ve Orłowski, 2010), sağlık harcamaları üzerine (Camarero ve diğerleri, 2002; Çelik, Omay ve Tuzlukaya, 2022; Wang, 2009) gibi birçok alanda çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Nitekim bu çalışma alanlarının içerisinde olan ve çalışmanın konusunu da oluşturan alanlardan bir tanesi de çevresel yakınsama hipotezi yaklaşımıdır.

Çevresel yakınsama hipotezi üzerine yapılan çalışmalar, farklı ülkelerin çevresel göstergelerinin zamanla benzer seviyelere ulaşp ulaşmadığını inceleyerek bu teoriye farklı bir bakış açısı kazandırmaktadır. Bu kapsamda literatürde yapılan çevresel yakınsama hipotezini test eden çalışmalar temel bozulma göstergesi olan karbon emisyonu altında değinilecek ve geniş perspektiften elde ettikleri bulgular inceleme altına alınacaktır. Karbon emisyonunu esas alan çalışmalara bakıldığında Strazicich ve List (2003) 21 sanayileşmiş ülke için 1960-1997 periyodunu incelemiş ve yakınsama lehine bulgular elde etmişlerdir. Aldy (2006) 88 ülkenin 1960-2000 yıllarına ilişkin verilerini Markov zincirleriyle tahmin etmiş ve yakınsamayı desteklediğini, Ezcurra (2007) 1960-1999 döneminde 140 ülkede kişi başına karbon emisyonlarının mekansal dağılımlarını incelemiş ve yakınsamanın desteklediğini bulgulamıştır. Westerlund ve Basher (2008) tarafından yapılan çalışmada 1870-2002 periyodunu kapsayan 16 gelişmiş ve 12 gelişmekte olan ülkeleri G28 ismiyle sınıflandırmış ve ülke kısıtı olarak kullanmıştır. Çalışmadan yakınsama lehine sonuçların ortaya çıktığını tespit etmişlerdir. Panopoulou ve Pantelidis (2009) kulüp yakınsama metodolojisiyle yapmış olduğu çalışmalarında 1960-2003 yıllarında 128 ülke için yakınsamanın farklı ülke grupları içerisinde gerçekleştiğini tespit etmişlerdir. Jobert, Karanfil ve Tykhonenko (2010) AB için 1971-2006 yıllarını kapsayan çalışmalarında yakınsamanın hızlı ve ülkelere göre farklılık gösterdiğini bulgulamışlardır. Ordás Criado ve Grether (2011) 166 bölge için 1960-2002 yıllarını kapsayan çalışmalarında kulüplere özgü yakınsama kalıplarının olduğunu tespit etmişlerdir. Herrerias (2012) AB-25'in 1920-2007 yıllarını kapsayan çalışmasında II. Dünya Savaşı'ndan önce yakınsamanın zayıf iken 1970'lerden sonra hızlandığını tespit etmiştir. Camarero, Castillo,

Picazo-Tadeo ve Tamarit (2013) 1980-2008 dönemi için 22 OECD ülkesinde ekonomik verimliliği karbon emisyonları üzerinden değerlendirmiş ve kulüp yakınsamanın dönem içerisinde gerçekleştiğini tespit etmiştir. Burnett (2016) 1960-2010 periyodunda ABD eyaletleri için yaptığı çalışmasında kulüp yakınsamayı test etmiş, yirmi altı kümeden oluşan bir grubun yakınsama dengesine yaklaştığını tespit etmiştir. Apergis ve Payne (2017) 1980-2013 periyodunda ABD eyaletleri için Phillips-Sui kulüp yaklaşımı ile karbon salınımlarının yakınsamasını test ettikleri çalışmalarında sektörel bazda kulüp yakınsamanın gerçekleştiğini tespit etmişlerdir. Acar, Söderholm ve Brännlund (2018) yapmış oldukları meta-analizde dünya çapında bir iraksamanın olduğunu ancak gelişmiş ülkelerde sonuçların yakınsama lehine gerçekleştiğini tespit etmişlerdir. Ulucak (2018) 120 ülkenin 1961-2009 dönemi için kulüp yakınsamasının olup olmadığını tespit etmeye çalışmıştır. Çevresel yakınsamanın genel olarak geçerli olmadığını ancak kulüpler içerisinde yakınsamanın geçerli olduğu sonucuna ulaşmıştır. Li, Zuo, Wang ve Zhang (2020) 129 ülkenin 1995-2015 yıllarını kapsayan çalışmalarında küresel emisyonun yakınsadığını, üretimdeki emisyon yakınsamasının tüketimden daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Erdogan ve Okumus (2021) hem stokastik hem de kulüp yakınsamayı test ettikleri çalışmalarında 1961-2016 yıllarında farklı gelir gruplarındaki ülkelerin gelir gruplarına göre yakınsamanın gerçekleştiğini ancak panelde bir iraksama olduğunu tespit etmişlerdir. Ursavaş ve Apaydın (2023) G7 için yaptıkları kulüp sınamasında G7 için her kulüpte geçerli olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Ursavaş ve Yilanci (2023) 1961-2016 periyodunda Güney Amerika Ortak Pazar ülkeleri için yaptıkları çalışmalarında farklı dönemlerde ülkelerin yakınsadıklarını tespit etmişlerdir.

Yöntem

Çalışmada G7 ve BRICS-T ülkelerinin hem grup içi hem de stokastik çevresel yakınsama test edilmiştir. Söz konusu kısıt dahilinde ülkelerin 1960-2022 yıllarına ilişkin karbon emisyonları veri kısıtı olarak girilmiştir. Ülke grupları içerisinde ortalamaya (AVE; Ortalama) doğru çevresel yakınsamanın varlığı tespit edilmeye çalışılırken stokastik yakınsaması da yine grup ortalamalarına göre tespit edilmiştir. Analizler öncesinde verilerin belirli bir düzeye alınması ve analiz yönteminden kaynaklı kısıtların ortadan kaldırılması için 0-1 aralığına taşınmıştır.

Panel veri analizlerinde dikkat edilmesi gereken noktalardan bir tanesi de yatay kesit bağımlılığın olup olmadığıdır. Zira herhangi bir şok durumunda panelde yer alan birimler birbirlerini etkileyebilmekte ve bağımlılıkları artabilmektedir. Bu kapsamda uygun varsayıma göre testlerin yapılması için öncül testlerden olan Breusch & Pagan (1980), Pesaran (2004) ve Baltagi vd. (2012) testleri uygulanmıştır. Testlerin genel hipotezleri ve matematiksel gösterim denklem 1-3 aralığında verilmiştir.

- “ H_0 : Yatay kesit bağımlılığı yoktur”
- “ H_1 : Yatay kesit bağımlılığı vardır” şeklindedir.

$$LM = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N T_{ij} \hat{P} i^2 j \rightarrow x^{2\frac{N(N-1)}{2}} \quad (1)$$

$$CD_{LM} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N (T \hat{P} i^2 j - 1)} \quad (2)$$

$$LM_{adj} = \sqrt{2T/N(N-1)} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N T \hat{P}_{ij} \frac{(T-k)P i^2 j - u_{Tij}}{\sqrt{u^2 T_{ij}}} \quad (3)$$

Kwiatkowski vd.'ye (1992) göre süreçte yapılan testlerden elde edilen sonuçların durağan oldukça sonraki süreçlerde durağanlığın ortadan kalkmadığını ve alternatif hipoteze ilişkin sonuçlar elde edilemediğini ifade etmişlerdir. Yang vd. (2014) dikkat çekilen bu soruna karşı durağanlığın belirli bir ortalama etrafında kalıcı olmasını hedefleyen testlerin yapılmasının daha doğru olacağını ve alternatif hipoteze de yansız yaklaşılabilir-

çeğini ifade etmişlerdir. Ekonomik ve politik anlamda yaşanan kırılmalar serilerde kırılmalara neden olmakta ve bu kırılmaların dikkate alınmaması sonuçların doğruluğunu saptırabilmektedir (Chang & Su, 2015: 301). Söz konusu kırılmaları sert ve yumuşak olarak ele alan Fourier fonksiyonlu Panel KPSS testi Llus Carrion i Silvestre vd. (2005) tarafından ortaya atılmıştır. Bu test hem paneli ele aldığı gibi hem de panelde yatay kesitte bulunan birimleri de ele almaktadır. Panelde kullanılacak bir seri için $y_{i,t}$ $i=1, \dots, N$ ve $t=1, \dots, T$ olmak üzere denklem 4'te birim kök testine ilişkin matematiksel gösterim yer almaktadır.

$$y_{i,t} = a_i + \beta_i t + \sum_{k=1}^{m_i} \theta_{i,k} DU_{i,k,t} DT_{Yi,k} + \epsilon_{i,t} \quad (4)$$

Frekansı düşük olan (örneğin yıllık) verilerde ani ve büyük konjonktür dalgalarının olması serilerdeki kukla değişkenlerin tam olarak yakalanamamasına sebep olmaktadır. Denklem 4'e göre $DU_{i,k,t}$ ve $DT_{Yi,k}$ kırılmaların esas almaktadır. Enders & Lee (2012) söz konusu kukla değişkenlerin yakalanabilmesi için denklemlerin Fourier fonksiyonları genişletilmesinin bu tür problemleri ortadan kaldıracağını iddia etmişlerdir. Denklemlerin Fourier fonksiyonu ile genişletilmesi düşük frekanslı serilerdeki periyodik ve periyodik olmayan kırılmaları tespit edebilecek ve daha doğru sonuçlar elde edilebilecektir (Yang, Chueh, vd., 2014: 1130).

Chang & Ranjbar (2012) tarafından modifiye edilen yöntem sert ve yumuşak yapısal kırılmaları esas alan Fourier dönüşümüyle genişletilmiştir. Modele ilişkin denklem 2 aşağıda yer almaktadır.

$$\omega_{i,k,t} = \rho_{1,i} + \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \rho_{2,i} + \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) \quad (5)$$

Genişletilmiş model denklem 3'te yer almaktadır.

$$y_{i,t} = a_i + \beta_i t + \sum_{k=1}^{m_i} \theta_{i,k} DU_{i,k,t} DT_{Yi,k} + \rho_{1,i} + \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \rho_{2,i} + \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \epsilon_{i,t} \quad (6)$$

Test zamanla değişimlere ayak uydurarak trenddeki değişimleri ortalama eğime göre dikkate almaktadır. Chang & Ranjbar (2012) bu yöntemi Hadri'nin (2000) zaman serisi için ele alan modelini panel için genişletmiş halini ortaya koymuşlardır. Panel için hesaplanan istatistik denklem 4'te yer almaktadır.

$$Z(\lambda) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{LM(\lambda_i) - \mu LM}{\sigma LM} \quad (7)$$

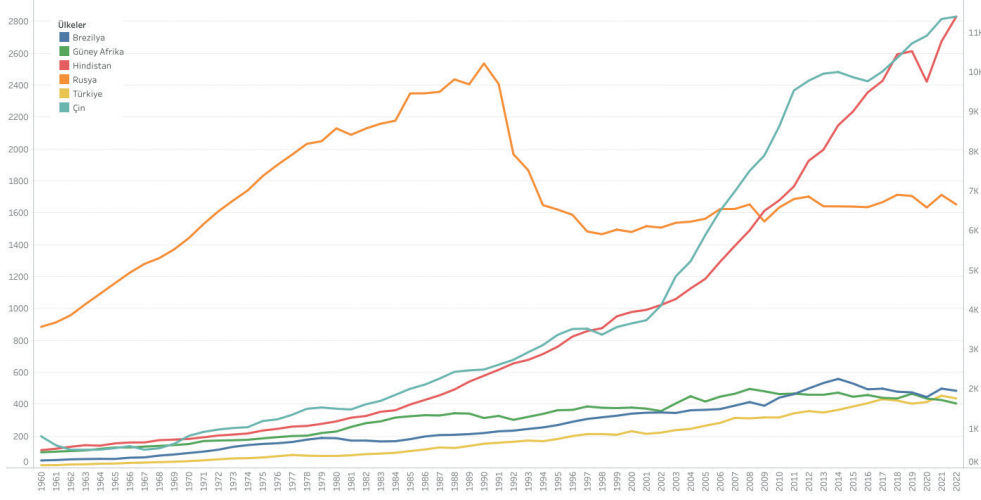
Bu denklem, Fourier fonksiyonlu panel KPSS test metodolojisini yansıtarak, panel veri setlerinde hem keskin hem de yumuşak yapısal kırılmaların entegrasyonu ile durağanlık testini ifade etmektedir. Denklemde yer alan μLM ve σLM LM istatistiğinin sıfır hipotezi altındaki ortalama ve standart sapmasını ifade etmektedir. Test hipotezleri aşağıda yer almaktadır.

- "H0: Seride birim kök yoktur."
- "H1: Seride birim kök vardır." şeklindedir.

Veri Seti ve Bulgular

Çalışmanın bu bölümünde öncelikle veri seti ve analizlerden elde edilen bulgular değerlendirilecektir. Değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistikler, yatay kesit bağımlılığı ve ilgili analizler yer almaktadır.

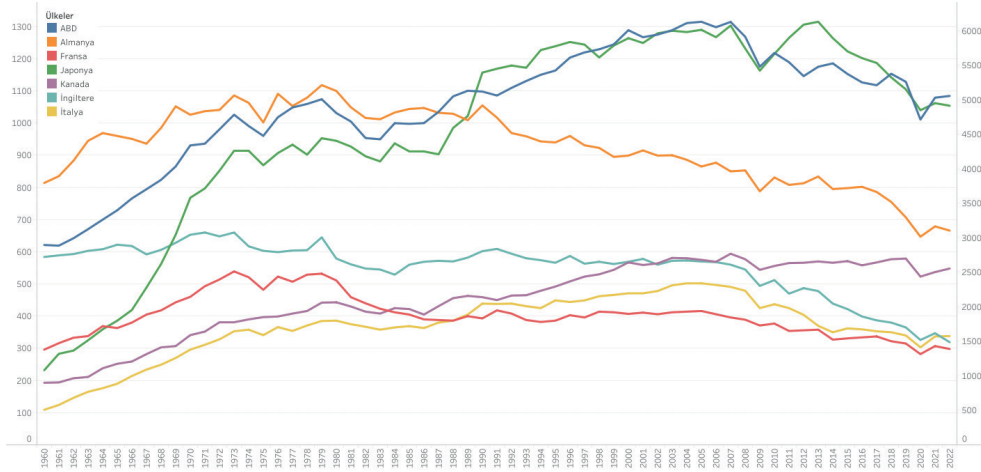
Stokastik bir yakınsamanın olup olmadığının anlaşılabilmesi için analiz 3 aşamalı olarak tasarlanmıştır. Bu kapsamda veri seçimi 1960-2022 yıllarını kapsayan G7, BRICS-T ve iki ülke grubunun karbon emisyon ortalamalarının farkları neticesinde ortaya çıkan gruplararası veri setinden oluşmaktadır.



Şekil 1. BRICS-T Ülkelerinin Karbon Emisyonu (1960-2022)

Kaynak: Ritchie'den (2024) düzenlenmiştir.

Şekil 1 incelendiğinde BRICS-T ülkelerinin karbon emisyonlarındaki farklılaşmalar gözlemlenmektedir. Özellikle Çin ve Hindistan, 1960'tan itibaren hızlı bir artış göstermiştir. Bu durum, her iki ülkenin sanayileşme süreçlerinin ve enerji taleplerindeki artışın bir yansımasıdır. Rusya, 1990'ların başında Sovyetler Birliği'nin dağılmasıyla emisyonlarında bir düşüş yaşamış, ancak sonrasında daha sabit bir emisyon seviyesi izlemiştir. Brezilya, Türkiye ve Güney Afrika'nın karbon emisyonları ise nispeten daha düşük seviyelerde ve daha sabit bir seyir izlemektedir.



Şekil 2. G7 Ülkelerinin Karbon Emisyonu (1960-2022)

Kaynak: Ritchie'den (2024) düzenlenmiştir.

Şekil 2'ye bakıldığında G7 ülkelerinin karbon emisyonları 1960'tan 2022'ye kadar görselleştirilmiştir. ABD, G7 ülkeleri arasında açık ara en yüksek emisyonla sahip olup, 1970'lerde ve 1990'ların sonlarına kadar emisyonlarında önemli bir artış yaşamıştır. Diğer G7 ülkeleri daha düşük emisyon seviyeleri sergilemiştir. Japonya, Almanya ve Kanada, 1 milyar ton seviyesinde daha sabit seyir izlerken, İngiltere, Fransa ve İtalya gibi ülkelerde emisyonlar 500 milyon tonun altında kalmıştır. Özellikle Almanya ve Japonya'nın emisyonlarında 2000'li yıllardan sonra düşüş gözlemlenmektedir. Bu durum, G7 ülkelerinin birçoğunun yenilenebilir enerjiye geçiş, karbon azaltıcı teknolojilerin kullanımı ve daha sıkı çevre politikalarının uygulanmaya başladıkları şeklinde yorumlanabilir. Bununla birlikte ABD'nin karbon emisyonlarının diğer G7 ülkelere kıyasla yüksek kalması, enerji üretiminde hala büyük ölçüde fosil yakıtlara bağımlı olduğunu işaret edebilir.

Tablo 1

Değişkenlere İlişkin Tanımlayıcı İstatistikler

G7						
Ülke	Ortalama	Ortanca	Skewness	Kurtosis	Jarque-Bera	Olasılık
CAN	453.2158	462.8851	-0.742193	2.570444	6.268283	0.043537
FRA	401.6488	399.6196	0.445077	2.730301	2.270922	0.321274
DEU	929.2751	943.1848	-0.506866	2.510117	3.327547	0.189423
ITA	366.3345	368.9824	-0.900770	3.400157	8.939897	0.011448
JPN	987.4825	1053.798	-1.074596	3.196454	12.22624	0.002214
GBR	550.4222	571.6188	-1.352170	4.066169	22.18169	0.000015
USA	4930.969	5057.304	-0.797022	3.062392	6.680284	0.035432
BRICS-T						
BRA	264.0557	229.3940	0.290561	1.856190	4.320763	0.115281
CHN	4062.165	2606.096	0.844089	2.207883	9.128158	0.010419
IND	905.0803	615.3650	0.968517	2.656918	10.15823	0.006225
RUS	1696.493	1639.959	0.192116	2.873585	0.429488	0.806748
SA	311.6753	330.4971	-0.298386	1.709416	5.307078	0.070402
TUR	182.2017	158.1263	0.527104	1.981144	5.642230	0.059540

Tablo 1 incelendiğinde G7 ve BRICS-T ülkelerinin istatistikleri, bazı ülkelerin belirgin çarpıklık (skewness) ve düşük p-değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Japonya, Birleşik Krallık ve İtalya, en yüksek negatif çarpıklık ve en düşük p-değerlerine sahip ülkeler olduğu bunun da veri setlerinin normal dağılımdan sapmalar gösterdiğini ve emisyon değerlerinin dağılımında asimetrisi işaret ettiği tespit edilmiştir. BRICS-T ülkeleri arasında, Hindistan ve Çin'in çarpıklık ve p-değerleri (0.006 ve 0.010), emisyonların normal dağılımdan sapma eğiliminde olduğunu gösterir. Ancak, Rusya ve Brezilya, daha yüksek p-değerleriyle (0.807 ve 0.115) normalliğe daha yakın sonuçlar göstermektedir. Bu sapmalar, veri setlerinin çarpık dağılımlar gösterdiği ve emisyonlarda büyük dalgalanmalar olduğuna işaret etmektedir. Ülkelerin veri setinden elde edilen açıklayıcı istatistiklerin ardından kesitsel bağımlılık Tablo 2'de yer almaktadır.

Tablo 2

Yatay Kesitsel Bağımlılık

G7 Grup içi İstatistik		
Test	İstatistik	Olasılık
Breusch-Pagan LM	507.1263	0.0000
Pesaran scaled LM	75.01092	0.0000
Bias-corrected scaled LM	74.95447	0.0000
BRICS-T Grup içi İstatistik		
Test	İstatistik	Olasılık
Breusch-Pagan LM	556.7026	0.0000
Pesaran scaled LM	98.90091	0.0000
Bias-corrected scaled LM	98.85253	0.0000
Gruplararası		
Test	İstatistik	Olasılık
Breusch-Pagan LM	63.00000	0.0000
Pesaran scaled LM	43.84062	0.0000
Bias-corrected scaled LM	43.81449	0.0000

Tablo 2'ye bakıldığında panelde G7, BRICS-T ve gruplararası AVE değerlerinin H0 hipotezinin %1 anlamlılıkta reddedilerek alternatifinin kabul edildiği ve yatay kesitsel olarak bağımlı olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar ışığında çalışmanın devamında doğrusal olmayan serilerin varlığının tespit edilmesinin yerinde olacağına karar verilmiştir. Buna göre Tablo 3'te optimum frekans seçimi ve doğrusal olmayan terimlere sahip seriler tespit edilmiştir.

Tablo 3

Optimum Frekans Seçimi ve F-istatistiği Değerleri

G7 Grup içi					
Ülke	Opt. Frek.	F-ist.	%90	%95	%99
CAN	2	59.9045***	2.4209	3.1871	5.0531
FRA	5	33.6855***	2.4044	3.1444	4.9875
DEU	2	39.4421***	2.4027	3.2008	5.0908
ITA	5	25.2827***	2.4021	3.1650	4.9362
JPN	3	13.9794***	2.3918	3.1708	4.9015
GBR	5	3.4533**	2.3816	3.1519	4.9311
USA	2	124.5110***	2.3629	3.1191	4.9560
BRICS-T Grup içi					
BRA	5	2.1793	2.3956	3.1396	5.0710
CHN	5	12.8929***	2.4097	3.1668	5.0035
IND	2	128.2677***	2.3448	3.0853	4.9581
RUS	1	207.6636***	2.4165	3.1725	5.0431
SA	2	23.6462***	2.3882	3.1579	4.9809
TUR	5	9.0285***	2.3980	3.1810	5.0013
Gruplararası					
G7'ye	2	39.3827***	2.4892	3.2427	5.0665
BRICS-T'ye	2	39.3853***	2.4892	3.2427	5.0665

Not: *** %1'de, ** %5'te ve * %10'da anlamlılık düzeyinde serilerde doğrusal fonksiyonları içermesi gereken H0 hipotezinin reddedilmesi gerektiğini ifade etmektedir. Uygun frekans sayısı ve 5 kırılmaya kadar olan tarihler 20000 bootstrap simülasyonu ile tespit edilmiştir. “

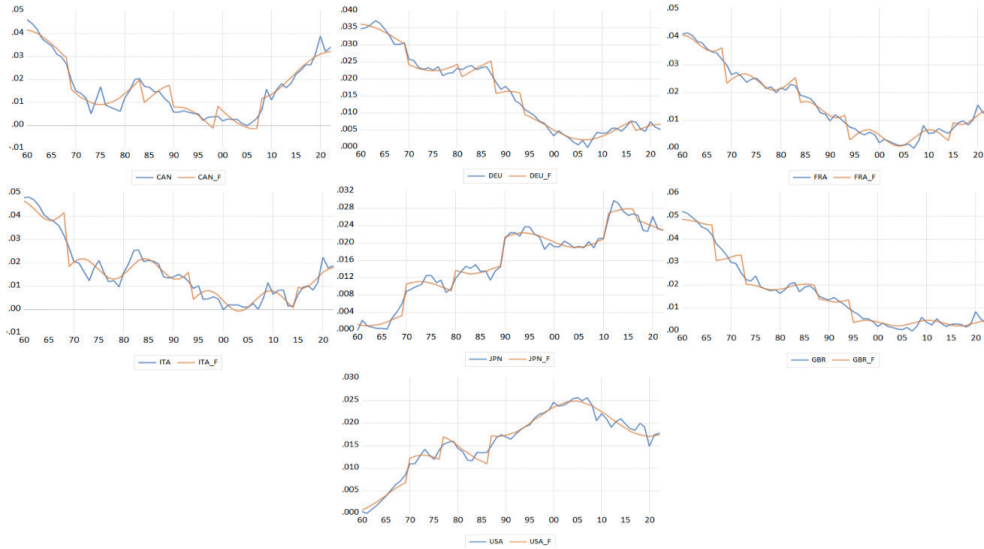
Tablo 3'e bakıldığında çoğu ülke için doğrusal olmayan bileşenlerin (Fourier terimleri) modele dahil edilmesinin önemli olduğu net bir şekilde gözlemlenmektedir. Özellikle Almanya, İtalya ve Kanada gibi ülkelerde F-istatistiklerinin oldukça yüksek çıkması, bu ülkelerde karmaşık yapısal kırılmaların mevcut olduğunu ve bu kırılmaların doğru bir şekilde modellenmesi için doğrusal olmayan bileşenlerin gerekli olduğunu göstermektedir. BRICS-T ülkeleri incelendiğinde, Hindistan, Rusya ve Çin'de çok yüksek F-istatistikleri ile yapısal kırılmaların belirgin olduğu gözlemlenmiştir. Gruplararası analizde hem G7 hem de BRICS-T grupları arasında F-istatistiklerinin 39.38* olması, her iki grup için de doğrusal modellerin yetersiz kaldığını ve yapısal kırılmaların dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Bu sonuç hem G7 hem de BRICS-T ülkelerinin benzer yapısal değişimler geçirdiğine işaret etmektedir.

Tablo 4

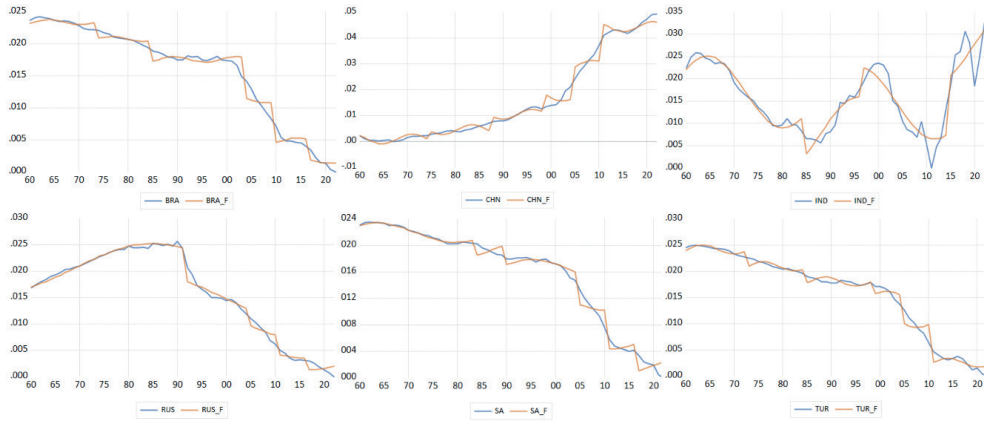
Ülkelerin Yapısal Kırılma Tarihleri

G7 Grup içi					
Ülke	TB1	TB2	TB3	TB4	TB5
CAN	1968	1983	1989	1998	2007
FRA	1968	1983	1993	2014	-
DEU	1969	1980	1987	1993	2016
ITA	1968	1993	2014	-	-
JPN	1969	1979	1989	2010	2016
GBR	1966	1972	1987	1994	-
USA	1969	1976	1986	-	-
BRICS-T Grup içi					
BRA	1973	1984	2003	2009	2016
CHN	1974	1987	1998	2004	2010
IND	1984	1996	2014	-	-
RUS	1991	2004	2010	2016	-
SA	1983	1989	2004	2010	2016
TUR	1972	1984	1998	2004	2010
Gruplararası					
G7	1992	1998	2004	2010	2016
BRICS-T	1992	1998	2004	2010	2016

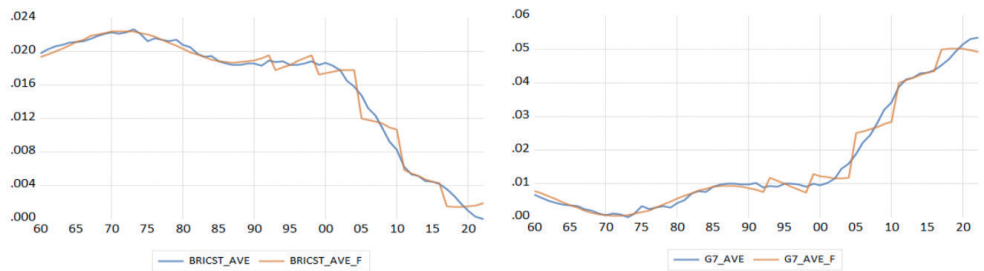
Tablo 4 incelendiğinde 5 kırılmayı esas alan modelde, kırılma tarihleri ülkelerin ekonomik ve politik yapılarında önemli değişimlerin yaşandığı dönemleri temsil etmektedir. Bu tarihler, ülkeler için pozitif ve negatif kırılma noktalarını işaret etmekte olup, örneğin Kanada ve Fransa gibi ülkelerde CO2 emisyonlarıyla ilgili yapısal dönüşümlerin yaşandığı önemli yıllar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tarihlerin belirlenmesi, analiz edilen ekonomik göstergelerin doğru bir şekilde modellenmesine ve her ülkenin benzersiz ekonomik tarihinin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olabilmektedir. Tablodaki verilerde ortaya çıkan kırılma noktalarına ilişkin politik tartışma sonuç kısmında daha ayrıntılı değerlendirilmektedir. Yapısal kırılma tarihlerinin belirlenmesinin ardından ülkelerin gerçek ve tahmin edilen zaman yolları Şekil 3-5'te verilmektedir.



Şekil 3. G7 Ülkelerinin AVE Değerlerine İlişkin Gerçek ve Tahmini Zaman Yolları



Şekil 4. BRICS-T Ülkelerinin AVE Değerlerine İlişkin Gerçek ve Tahmini Zaman Yolları



Şekil 5. Gruplararası AVE Değerlerine İlişkin Gerçek ve Tahmini Zaman Yolları

Şekiller hususunda genel bir değerlendirme yapıldığında mavi renkle çizilen zaman yolu grafiğinin ülkelerin gerçekleşen karbon emisyonları olduğu ve turuncu renkte olan değerlerin ise ülkelerin tahmini karbon emisyonlarını göstermektedir. Genel olarak hem keskin hem de yumuşak kırılmaların Tablo 4'te de yer alan kırılma tarihleriyle örtüştüğü görülebilmektedir. Söz konusu kırılmaların doğrusal olmayan Fourier fonksiyonlarının modele eklenmesi gerekliliğini doğruladığı görülebilmektedir.

Tablo 5

Panelin Genel Test İstatistikleri

G7 Grup içi					
Yatay Kesit Bağımsızlığı Varsayımında			Olasılık		
Homojen İstatistik			0.9734		
Heterojen İstatistik			0.7288		
Yatay Kesit Bağımlılığı Varsayımında					
Bootstrap Dağılımı	PANKPSS	%90	%95	%97,5	%99
Homojen İstatistik	-1.9332	0.8973	2.0612	3.2766	4.7949
Heterojen İstatistik	-0.5710	-0.5257	-0.1294	0.2539	0.7369
BRICS-T Grup içi					
Yatay Kesit Bağımsızlığı Varsayımında			Olasılık		
Homojen İstatistik			0.9799		
Heterojen İstatistik			0.0000		
Yatay Kesit Bağımlılığı Varsayımında					
Bootstrap Dağılımı	PANKPSS	%90	%95	%97,5	%99
Homojen İstatistik	-2.0512	-1.8564	-1.7259	-1.5039	-1.1205
Heterojen İstatistik	4.5799	-1.5044	-1.2898	-1.0865	-0.7970
Gruplararası Yakınsama					
Yatay Kesit Bağımsızlığı Varsayımında			Olasılık		
Homojen İstatistik			0.2332		
Heterojen İstatistik			0.2332		
Yatay Kesit Bağımlılığı Varsayımında					
Bootstrap Dağılımı	PANKPSS	%90	%95	%97,5	%99
Homojen İstatistik	0.7283	-0.3390	-0.1070	0.1927	0.6195
Heterojen İstatistik	0.7284	0.2011	0.6502	1.1417	1.7701

Bartlett çekirdeği kritik değerleri ile: 20.000 kopya ve bootstrap tekniği ile tahmin edilmiştir.

Tablo 5'de panelin genelinden elde edilen G7, BRICS-T ve gruplararası yakınsama sınamaları yer almaktadır. Buna göre kesitsel bağımlılık ve bağımsızlık varsayımı altında heterojen ve homojen istatistiklere göre G7 grup içi yakınsamanın yatay kesit bağımsızlığı varsayımı altında hem homojen hem de heterojen panelde test edilen serilerin durağan olduğunu gösteren yüksek olasılık değerleri elde edilmiştir. Öte yandan yatay kesit bağımlılığı varsayıldığında, homojen serilerin durağan olmadığı ancak heterojen serilerin %90 anlamlılık seviyesinde durağan olabileceği sonucuna ulaşılmıştır. BRICS-T için yapılan testlerde yatay kesit bağımsızlığı varsayımında, homojen test istatistiği değerleri yine yüksek olup durağanlığı işaret ederken, heterojen test istatistiği serinin durağan olmadığını göstermektedir. Yatay kesit bağımlılığı varsayıldığında, homojen panelde serilerin durağan olmadığını ancak heterojen serilerde %90 anlamlılık düzeyinde durağanlık olasılığı düşük olmakla birlikte %95 düzeyinde durağanlığın reddedilebileceğini göstermektedir. Gruplararası yakınsama sınamasında bağımlılık varsayımında durağanlığı olduğu, bağımsızlık varsayımında ise serilerin durağan olmadığı tespit edilmiştir. Ülkelerin yatay kesitsel durumlarına göre farklılığın anlaşılabilmesi için bireysel birim kök test istatistikleri Tablo 6'da verilmektedir.

Tablo 6

Yatay Kesitte Bulunan Ülkelerin Bireysel Test İstatistikleri

G7 Grup içi					
Ülke	Barlett ist.	%90	%95	%97,5	%99
CAN	0.0425	0.0394	0.0454	0.0512	0.0596
FRA	0.0732	0.0521	0.0631	0.0751	0.0893
DEU	0.2926	0.0455	0.0538	0.0622	0.0720
ITA	0.0338	0.1036	0.1339	0.1646	0.2035
JPN	0.0291	0.0525	0.0611	0.0684	0.0786
GBR	0.0568	0.0480	0.0595	0.0703	0.0860
USA	0.0893	0.0934	0.1182	0.1437	0.1784
BRICS-T Grup içi					
Ülke	Barlett ist.	%90	%95	%97,5	%99
BRA	0.6047	0.0640	0.0769	0.0888	0.1058
CHN	0.2932	0.0593	0.0714	0.0825	0.0972
IND	0.0216	0.0600	0.0743	0.0885	0.1090
RUS	0.0367	0.0416	0.0484	0.0545	0.0618
SA	0.8212	0.0443	0.0523	0.0597	0.0695
TUR	0.1621	0.0530	0.0626	0.0708	0.0826
Gruplararası Yakınsama					
G7'ye	39.3827	2.4892	3.2427	4.0738	5.0665
BRICS-T'ye	39.3853	2.4892	3.2427	4.0738	5.0665

Kritik değerler 20.000 kopya kullanılarak Monte Carlo simülasyonu ile hesaplanmıştır.

Tablo 6 incelendiğinde Barlett istatistiklerinden serilerdeki korelasyona göre durağan olup olmadığı tespit edilmiştir. Buna göre Barlett istatistiği kritik değer üzerinde kalıyorsa bu durum serinin durağan olmadığı anlamına gelmektedir. G7 grup içi yakınsama test edildiğinde Almanya için Barlett istatistiği 0.2926, %90'dan daha yüksek bir değerdir. Bu durumda, serinin durağan olmadığını, ABD için 0.0893 ile %95, %97.5 ve %99 kritik değerlerinin altında kaldığı durağan olduğu, Fransa ve Birleşik Krallık için Barlett istatistikleri (0.0732 ve 0.0568) kritik değerlerle karşılaştırıldığında, bu ülkelerde serilerin durağan olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan BRICS-T grup içinde Brezilya ve Güney Afrika için Barlett istatistikleri (0.6047 ve 0.8212), %90 ve üstü kritik değerlerden serilerin durağan olmadığını Rusya ve Hindistan için ise Barlett istatistikleri (%95 kritik değerinin altında) durağanlık olduğunu bunun yanında Türkiye için elde edilen Barlett istatistiği 0.1621 ile serinin durağan olmadığı ve Çin'in Barlett istatistiği 0.2932 ile serinin durağan olmadığı anlaşılmıştır. G7 ve BRICS-T grupları arasında yapılan karşılaştırmalarda her iki grup için Barlett istatistikleri (39.3827 ve 39.3853) kritik değerlerin oldukça üzerinde çıkmıştır. Bu durum, grupların durağan olmadığını ve iki grup arasındaki farkların devam ettiğini, dolayısıyla tam yakınsama olmadığını göstermektedir.

Sonuç ve Değerlendirme

Yakınsama literatürünün temelleri, 18. yüzyıla kadar uzanan Hume'a dayanmaktadır ve çevresel etkiler, finansal durum, gelir, faiz, enflasyon gibi pek çok alanda farklı ülkelerin veya bölgelerin birbirlerine yakınsayıp yakınsamadığı incelenmektedir. Araştırılan konu başlığına göre farklılık gösterse de temel mantık, görece daha düşük seviyede olan bir ülkenin, daha zengin bir ülkeye veya ülkelerin ortalamasına yakınsayıp yakınsamadığını belirlemeye çalışmaktır. Bu yakınsama ve ıraksamanın tespit edilebilmesi için çeşitli test yöntemleri geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Bu yöntemler arasında beta, sigma, kulüp ve stokastik yakınsama

yer almaktadır. Bu çalışmada, stokastik çevresel yakınsama metodolojisi kullanılarak, ekonomik aktivitesi artan gelişmekte olan BRICS-T ülkelerinin, ekonomik anlamda lider konumdaki G7 ülkelere yakınsayıp yakınsamadığı araştırılmıştır. Ayrıca, G7 ve BRICS-T ülkelerinin kendi grupları içerisindeki stokastik çevresel yakınsama da incelenmiştir.

Bu çalışmada G7 ve BRICS-T ülkelerinin üretim ve tüketim faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan 1960-2022 yıllarına ait karbon emisyonları veri seti olarak kullanılmıştır. Ülkelerin karbon emisyon verileri, analiz yönteminin sınırlamalarından ve hatalarından arındırılması amacıyla 0-1 aralığında normalize edilmiştir. Ülkeler arası bağımlılıkların tespit edilmesi için yatay kesit bağımlılığı testleri uygulanmış ve elde edilen bulgulara göre, her ülkenin hem kendi başına hem de gruplar arasında bağımlılığın mevcut olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yapısal kırılmaların tespit edilmesi ve doğrusal olmayan Fourier bileşenlerinin modele dahil edilip edilmeyeceğine karar vermek için 20.000 tekrar ile optimum gecikme uzunluğu seçimi yapılmıştır. Test istatistiklerine dayanarak, analize dahil edilen her ülkenin ve gruplararası verilerin doğrusal olmayan yapılar içerdiği belirlenmiş ve bu nedenle Fourier fonksiyonları modele dahil edilmiştir. Bu yöntemle aynı zamanda ülkelerin veri yapısındaki kırılmalar da tespit edilmiştir. Beş kırılmalı modelde, Kanada için 1968, 1983, 1989, 1998 ve 2007 yıllarında kırılmalar tespit edilmiş olup, bu kırılmaların sanayi genişlemesi, enerji tüketimi, küresel petrol krizi artçıları ve iklim değişikliği kapsamındaki anlaşmalarla bağlantılı olduğu düşünülmektedir. Fransa'da ise 1968, 1983, 1993 ve 2014 yıllarında kırılmalar tespit edilmiştir. Fransa'daki kırılmaların küresel konjonktürden kaynaklı değişimlere bağlı olduğu, özellikle 1970'lerdeki petrol krizleri, 1990'lardaki küreselleşme hareketleri ve 2014 Paris İklim Anlaşması'na hazırlık sürecinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Almanya'nın karbon emisyonlarındaki kırılmaların 1969, 1980, 1987, 1993 ve 2016 yıllarında meydana geldiği belirlenmiştir. 1990'larda Doğu ve Batı Almanya'nın birleşmesi sonrası sanayi ve enerji altyapısındaki yeniden yapılanmanın önemli bir kırılma nedeni olduğu, 2016'daki kırılmanın ise Almanya'nın yenilenebilir enerjiye geçişi hızlandıran "Energiewende" politikalarının bir sonucu olduğu düşünülmektedir. İtalya'nın serilerinde 1968, 1993 ve 2014 yıllarında kırılmalar gözlenmiş olup, bu kırılmaların yerel ve küresel etkilerle bağlantılı olduğu değerlendirilmektedir. Japonya için 1969, 1979, 1989, 2010 ve 2016 yıllarında kırılmalar tespit edilmiştir. Japonya'nın emisyonlarındaki 1980'lere kadar olan dönemdeki kırılmaların enerji verimliliğine yönelik reformlar ve politikalarla, 2016'daki kırılmanın ise Fukushima felaketinin etkileriyle bağlantılı olduğu düşünülmektedir. İngiltere için tespit edilen kırılmalar ise 1966, 1972, 1987 ve 1994 yıllarında olup, bu kırılmaların kömür endüstrisinin çöküşü ve enerji piyasalarının serbestleştirilmesi gibi faktörlerle ilişkilendirildiği; 1990'lardaki karbon emisyonlarındaki azalmanın ise çevre politikalarının sıkılaşmasıyla ilgili olduğu düşünülmektedir. ABD'nin karbon emisyonlarındaki kırılmaların 1969, 1976 ve 1986 yıllarında gerçekleştiği görülmüş ve bu kırılmaların petrol krizleri ve enerji tüketiminde yapılan reformlarla ilişkili olduğu belirlenmiştir.

BRICS-T ülkeleri incelendiğinde, Brezilya için 1973, 1984, 2003, 2009 ve 2016 yıllarında kırılmalar tespit edilmiş ve bu kırılmaların tarım genişlemesi ve ormansızlaşma ile ilişkilendirilebileceği değerlendirilmiştir. Çin için kırılmaların 1974, 1987, 1998, 2004 ve 2010 yıllarında meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu kırılmalar, Çin'in sanayileşme ve kentleşme süreçleriyle doğrudan ilişkilidir ve 2000'li yıllardan itibaren emisyonlardaki hızlı artış, Çin'in dünya üretim merkezi olma süreciyle açıklanabilir. Hindistan'da ise kırılmaların hızlı endüstrileşme ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir. Rusya için 1991, 2004, 2010 ve 2016 yıllarında kırılmalar tespit edilmiş olup, bu kırılmaların özellikle Sovyetler Birliği'nin dağılmasından sonra yaşanan ekonomik kaos ve yeniden yapılanma süreçleriyle bağlantılı olduğu düşünülmektedir. Güney Afrika'da ise 2000 sonrası iklim değişikliği politikalarına uyum sağlama çabalarından kaynaklanan kırılmalar gözlenmiştir. Türkiye'de 1972, 1984, 1998, 2004 ve 2010 yıllarında kırılmalar tespit edilmiştir. Türkiye'nin 1970'ler ve 1980'lerdeki kırılmalarının enerji altyapısındaki değişiklikler ve sanayileşme süreçleriyle bağlantılı olduğu, 2000'lerde ise hızla büyüyen ekonomi ve artan enerji tüketiminin etkilerini yansıttığı düşünülmektedir. Her iki ülke grubunda da kırılmaların ortak dönemleri, küresel enerji krizleri ve iklim politikaları ile ilişkilendirilebilir. Özellikle 1990'lardaki Kyoto Protokolü ve 2010'daki Paris İklim Anlaşması bu kırılmaların önemli dönüm noktalarıdır.

Optimal gecikmelerin ve Fourier fonksiyonlarının eklenmesiyle kırılma tarihlerinin tespit edilmesinin ardından, panel ve yatay kesit birimlerinin ortalamaya yakınsayıp yakınsamadığını belirlemek amacıyla Panel KPSS testleri uygulanmıştır. Barlett istatistiklerine göre, serilerin durağan olup olmadığı, kritik değerlerle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. G7 grubu içinde Almanya'nın Barlett istatistiği yüksek çıkmış ve serinin durağan olmadığını göstermiştir. Bu durum, Almanya'nın karbon emisyonlarının iraksadığını ve uzun vadede sabit bir dengeye yakınsama göstermediğini işaret etmektedir. Öte yandan, ABD, Fransa ve Birleşik Krallık için Barlett istatistiklerinin düşük seviyelerde kalması, bu ülkelerde serilerin durağan olduğunu ve karbon emisyonlarının uzun vadede ortalamaya doğru yakınsadığını ortaya koymaktadır. BRICS-T grubunda ise Brezilya, Türkiye, Çin ve Güney Afrika için Barlett istatistiklerinin yüksek olması, bu ülkelerde serilerin durağan olmadığını ve karbon emisyonlarının iraksama eğiliminde olduğunu göstermektedir. Buna karşın, Rusya ve Hindistan için serilerin durağan olduğu ve karbon emisyonlarının zamanla birbirine yakınsadığı tespit edilmiştir. PANKPSS testinde, yatay kesit bağımsızlığı ve bağımlılığı varsayımlarına göre durağanlık analizi gerçekleştirilmiştir. G7 grubunda yatay kesit bağımsızlığı varsayıldığında hem homojen hem de heterojen panellerde serilerin durağan olduğu belirlenmiştir. Bu durum, G7 ülkelerinde karbon emisyonlarının zamanla birbirine yakınsadığını göstermektedir. Ancak yatay kesit bağımlılığı varsayıldığında, homojen serilerde durağanlık gözlemlenmemiş, yalnızca heterojen serilerde %90 anlamlılık düzeyinde durağanlık olasılığı olduğu görülmüştür. Bu da bazı G7 ülkelerinde kısmi bir yakınsamanın olabileceğini düşündürmektedir. BRICS-T grubu için PANKPSS test sonuçları, yatay kesit bağımsızlığı varsayıldığında homojen serilerin durağan olduğunu ve dolayısıyla grup içi karbon emisyonlarının yakınsadığını, ancak heterojen serilerin durağan olmadığını ve iraksama olduğunu ortaya koymaktadır. Yatay kesit bağımlılığı altında ise hem homojen hem de heterojen serilerde durağanlık olasılığı düşük çıkmış ve emisyonların iraksadığı sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen bulgular doğrultusunda mevcut literatürdeki bazı çalışmalarla benzerlikler ve farklılıklar göstermektedir. Örneğin, Strazicich ve List (2003) ile Westerlund ve Basher (2008) gibi çalışmalarda sanayileşmiş ülkelerde karbon emisyonlarının zamanla yakınsama eğilimi gösterdiği belirtilirken bu çalışmada da G7 ülkeleri için benzer şekilde uzun vadeli yakınsama bulguları elde edilmiştir. Ancak BRICS-T ülkelerinde elde edilen iraksama sonuçları, özellikle Brezilya, Türkiye, Çin ve Güney Afrika'nın karbon emisyonlarındaki artış eğilimleri, Acar, Söderholm ve Brännlund (2018) tarafından dünya genelinde iraksama lehine belirtilen bulgularla örtüşmektedir. Bununla birlikte bu çalışmanın öne çıkan farklarından biri ise Fourier fonksiyonlarını kullanarak hem keskin hem de yumuşak yapısal kırılmaları tespit etmesi ve bu yapısal değişikliklerin emisyon dinamiklerini nasıl etkilediğini analiz etmesidir. Bu yöntem, literatürdeki birçok çalışmada göz ardı edilen dinamikleri daha doğru bir şekilde yakalayarak özgün bir katkı sunmaktadır.

Çalışmadan elde edilen bulgular, ekonomik aktivite paralel olarak karbon salınımlarının birbirine yakınsaması veya iraksamasının ekonomi politiği açısından önemli yansımalar doğurduğunu göstermektedir. Ekonomik aktiviteye paralel olan karbon salınımlarının sürdürülebilir düzeylerde tutulması ve emisyonları azaltıcı politikaların benimsenmesi büyük önem arz etmektedir. Ülkelerin refah seviyelerini yükselttikten sonra daha çevre dostu politikalar üretmeleri ve bu durumun güçlendirilmesi ve kalkınmakta olan ülkeler için karbon salınımlarında daha adil bir geçiş süreci planlaması yapmaları gerekmektedir. Nitekim, çalışmada karşılaştırılan iki ülke grubunun da bu durumu yansıttığı görülmektedir: G7 ülkeleri daha çevre dostu bir yapıya sahipken, BRICS-T ülkelerinin adil geçiş stratejileri geliştirerek bu soruna çözüm bulmaları gerekmektedir. Özellikle sürdürülebilir sanayileşme ve yeşil teknolojilerin kullanılması, bu adaleti sağlamada etkili olabilir. Bu kapsamda, mevcut iş birliklerine ek olarak uluslararası iş birliklerinin artırılması ve sürdürülebilir karbon politikalarının daha işlevsel hale getirilmesi, ülkelerin ve ülke gruplarının birbirine yakınsayabileceği bir yapı oluşturulması açısından önem taşımaktadır. Bu sayede ülkeler hem sürdürülebilir bir yapıya kavuşacak hem de refahını diğer ülkelere doğru yakınsayabilecektir.

Çalışmada literatür genelinden farklı olarak keskin ve yumuşak kırılmaları esas alması ile bulgular elde edilebilmiştir. Ancak her çalışmada olduğu gibi bu çalışmada da belirli kısıtlar bulunmaktadır. Metodolojik ve veri kaynaklı sınırlamalardan oluşmakta olduğu görülebilmektedir. İlk olarak analiz için kullanılan karbon

emisyon verileri, yalnızca 1960-2022 yılları arasındaki dönemi kapsamaktadır. Bu zaman aralığı daha uzun tarihsel süreçleri veya gelecekteki potansiyel değişiklikleri dikkate almamakta ve dolayısıyla emisyon dinamiklerinin daha kapsamlı bir değerlendirmesini sınırlamaktadır. Ayrıca Fourier fonksiyonları ile keskin ve yumuşak kırılmaların tespit edilmesine rağmen bu yöntemler, veri serilerindeki tüm yapısal değişiklikleri mükemmel şekilde modelleyemeyebileceği düşünülmektedir. Örneğin, ani politik değişiklikler veya beklenmedik çevresel olaylar gibi dışsal faktörler analizlerde bu kapsamda yeterince temsil edilmeyebilir. Buna ek olarak çalışmada ele alınan G7 ve BRICS-T ülkeleri, ekonomik ve politik yapıları açısından büyük çeşitlilik göstermektedir. Bu durum, analiz edilen ülkelerin karbon emisyonları üzerindeki etkilerin homojen varsayılmasını zorlaştırmakta ve sonuçların genelleştirilmesini sınırlamaktadır. Yatay kesit bağımlılığı testleri uygulanmış olsa da ülkeler arasındaki kompleks ekonomik ilişkilerin tam olarak açıklanamaması, modelin öngörü gücünü zayıflatabilir. Son olarak verilerin 0-1 aralığında normalize edilmesi, veri kayıplarına veya bazı önemli değişkenliklerin göz ardı edilmesine neden olabilir. Bu kısıtlar sonuçların yorumlanmasında ve politika önerilerinin uygulanabilirliğinde dikkate alınmalıdır. Bu kısıtları gelecekte konu üzerine çalışacak olan araştırmacılar için göz önünde bulundurması gereken konu başlıkları arasındadır. Bunun yanında araştırmacıların çalışma kısıtlarının kapsamını genişleterek literatüre katkı yapabileceği düşünülmektedir.

Kaynakça

- Acar, S., Söderholm, P. ve Brännlund, R. (2018). Convergence of per capita carbon dioxide emissions: Implications and meta-analysis. *Climate Policy*, 18(4), 512-525. doi:10.1080/14693062.2017.1314244
- Aldy, J. E. (2006). Per Capita Carbon Dioxide Emissions: Convergence or Divergence? *Environmental and Resource Economics*, 33(4), 533-555. doi:10.1007/s10640-005-6160-x
- Apergis, N. ve Payne, J. E. (2017). Per capita carbon dioxide emissions across U.S. states by sector and fossil fuel source: Evidence from club convergence tests. *Energy Economics*, 63, 365-372. doi:10.1016/j.eneco.2016.11.027
- Baltagi, B. H., Feng, Q. ve Kao, C. (2012). A Lagrange Multiplier test for cross-sectional dependence in a fixed effects panel data model. *Journal of Econometrics*, 170(1), 164-177.
- Barro, R. J. ve Sala, X. I. M. (1992). Public Finance in Models of Economic Growth. *Review of Economic Studies*, 59(4), 645-661. doi:10.2307/2297991
- 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. doi:10.2307/2297111
- Burnett, J. W. (2016). Club convergence and clustering of U.S. energy-related CO2 emissions. *Resource and Energy Economics*, 46, 62-84. doi:10.1016/j.reseneeco.2016.09.001
- Camarero, M., Castillo, J., Picazo-Tadeo, A. J. ve Tamarit, C. (2013). Eco-Efficiency and Convergence in OECD Countries. *Environmental and Resource Economics*, 55(1), 87-106. doi:10.1007/s10640-012-9616-9
- Camarero, M., Ez, J. O. ve Tamarit, C. R. (2002). Tests for interest rate convergence and structural breaks in the EMS: Further analysis. *Applied Financial Economics*, 12(6), 447-456. doi:10.1080/09603100010005294
- Carbon Atlas. (2024). Global Carbon Atlas. *Global Carbon Atlas*. 30 Eylül 2024 tarihinde <https://globalcarbonatlas.org/> adresinden erişildi.
- Carlino, G. A. ve Mills, L. O. (1993). Are U.S. regional incomes converging?: A time series analysis. *Journal of Monetary Economics*, 32(2), 335-346. doi:10.1016/0304-3932(93)90009-5
- Chang, M.-J. ve Su, C.-Y. (2015). Does real interest rate parity really hold? New evidence from G7 countries. *Economic Modelling*, 47, 299-306. doi:10.1016/j.econmod.2015.03.005
- Chang, T. ve Ranjbar, O. (2012). *Can the BRICS countries catch up with the US? When sharp drifts and smooth breaks wed*. Working Paper. Taiwan: Feng Chia University.
- Çelik, E. U., Omay, T. ve Tuzlukaya, Ş. (2022). Testing Health Expenditure Convergence In 21 OECD Countries By Using Nonlinear Unit Root Tests. *Konuralp Medical Journal*, 14(S1), 192-205. doi:10.18521/ktd.1056926

- Elmslie, B. T. (1995). Retrospectives: The Convergence Debate Between David Hume and Josiah Tucker. *The Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 207-216.
- Enders, W. ve Lee, J. (2012). A Unit Root Test Using a Fourier Series to Approximate Smooth Breaks. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 74(4), 574-599. doi:10.1111/j.1468-0084.2011.00662.x
- Erdogan, S. ve Okumus, I. (2021). Stochastic and club convergence of ecological footprint: An empirical analysis for different income group of countries. *Ecological Indicators*, 121, 107123. doi:10.1016/j.ecolind.2020.107123
- Ezcurra, R. (2007). The world distribution of carbon dioxide emissions. *Applied Economics Letters*, 14(5), 349-352. doi:10.1080/13504850500426285
- Frankel, J. A. ve Okongwu, C. (1996). Liberalized Portfolio Capital Inflows in Emerging Markets: Sterilization, Expectations, and the Incompleteness of Interest Rate Convergence. *International Journal of Finance & Economics*, 1(1), 1-23. doi:10.1002/(SICI)1099-1158(199601)1:1<1::AID-IJFE1>3.0.CO;2-K
- Frömmel, M. ve Kruse, R. (2015). Interest rate convergence in the EMS prior to European Monetary Union. *Journal of Policy Modeling*, 37(6), 990-1004. doi:10.1016/j.jpolmod.2015.08.002
- Furceri, D. (2005). β and σ -convergence: A mathematical relation of causality. *Economics Letters*, 89(2), 212-215. doi:10.1016/j.econlet.2005.05.026
- Gabrisch, H. ve Orłowski, L. T. (2010). Interest Rate Convergence in Euro-Candidate Countries: Volatility Dynamics of Sovereign Bond Yields. *Emerging Markets Finance and Trade*, 46(6), 69-85. doi:10.2753/REE1540-496X460605
- Goldman Sachs. (2023). The Path to 2075—Capital Market Size and Opportunity (Daly/Gedminas). 30 Eylül 2024 tarihinde <https://www.gspublishing.com/content/research/en/reports/2023/06/08/50ccfb98-b82c-4ba6-976d-d541f83239be.html> adresinden erişildi.
- Grossman, G. M. ve Krueger, A. B. (1995). Economic Growth and the Environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353-377. doi:10.2307/2118443
- Hadri, K. (2000). Testing for stationarity in heterogeneous panel data. *The Econometrics Journal*, 3(2), 148-161. doi:10.1111/1368-423X.00043
- Herrerias, M. J. (2012). CO2 weighted convergence across the EU-25 countries (1920–2007). *Applied Energy*, 92, 9-16. doi:10.1016/j.apenergy.2011.10.034
- Islam, N. (1995). Growth Empirics: A Panel Data Approach. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(4), 1127-1170. doi:10.2307/2946651
- Jeong, S., Kim, J.-C. ve Choi, J. Y. (2015). Technology convergence: What developmental stage are we in? *Scientometrics*, 104(3), 841-871. doi:10.1007/s11192-015-1606-6
- 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. doi:10.1016/j.eneco.2010.03.005
- Kwiatkowski, D., Phillips, P. C. B., Schmidt, P. ve Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that economic time series have a unit root? *Journal of Econometrics*, 54(1), 159-178. doi:10.1016/0304-4076(92)90104-Y
- Lee, W. S., Han, E. J. ve Sohn, S. Y. (2015). Predicting the pattern of technology convergence using big-data technology on large-scale triadic patents. *Technological Forecasting and Social Change*, 100, 317-329. doi:10.1016/j.techfore.2015.07.022
- Li, C., Zuo, J., Wang, Z. ve Zhang, X. (2020). Production- and consumption-based convergence analyses of global CO2 emissions. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121723. doi:10.1016/j.jclepro.2020.121723
- Lluís Carrion i Silvestre, J., Del Barrio Castro, T. ve López Bazo, E. (2005). Breaking the panels: An application to the GDP per capita. *The Econometrics Journal*, 8(2), 159-175. doi:10.1111/j.1368-423X.2005.00158.x
- Mankiw, G. N. (1992). Keynesian Economics Today: The Reincarnation of Keynesian Economics. *European Economic Review*, 36, 559-565.
- Ordás Criado, C. ve Grether, J.-M. (2011). Convergence in per capita CO2 emissions: A robust distributional approach. *Resource and Energy Economics*, 33(3), 637-665. doi:10.1016/j.reseneeco.2011.01.003
- Panopoulou, E. ve Pantelidis, T. (2009). Club Convergence in Carbon Dioxide Emissions. *Environmental and Resource Economics*, 44(1), 47-70. doi:10.1007/s10640-008-9260-6

- Pesaran, M. H. (2004). *General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels* (Working Paper No: 1229). Cambridge: CESifo.
- Pfaffermayr, M. (2009). Conditional β - and σ -convergence in space: A maximum likelihood approach. *Regional Science and Urban Economics*, 39(1), 63-78. doi:10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.004
- Phillips, P. C. B. ve Sul, D. (2007). Transition Modeling and Econometric Convergence Tests. *Econometrica*, 75(6), 1771-1855. doi:10.1111/j.1468-0262.2007.00811.x
- Ritchie, H. (2024). CO₂ emissions dataset: Our sources and methods. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/co2-dataset-sources> adresinden erişildi.
- Sala i Martin, X. (1996). Regional cohesion: Evidence and theories of regional growth and convergence. *European Economic Review*, 40(6), 1325-1352.
- Solow, R. M. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94. doi:10.2307/1884513
- Stern, D. I. (2004). The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve. *World Development*, 32(8), 1419-1439. doi:10.1016/j.worlddev.2004.03.004
- Strazicich, M. C. ve List, J. A. (2003). Are CO₂ Emission Levels Converging Among Industrial Countries? *Environmental and Resource Economics*, 24(3), 263-271. doi:10.1023/A:1022910701857
- Ulucak, R. (2018). Çevre Kalitesi Açısından Yakınsama Hipotezine Yeni Bir Bakış: Ekolojik Ayak İzi ve Kulüp Yakınsamaya Dayalı Ampirik Bir Analiz. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 18(4), 29-38. doi:10.18037/ausbd.552674
- Ursavaş, N. ve Apaydın, Ş. (2023). The Convergence in Greenhouse Gas Emissions Across G-7 Countries. *Fiscaoeconomia*, 7(1), 327-340.
- Ursavaş, U. ve Yilanci, V. (2023). Convergence analysis of ecological footprint at different time scales: Evidence from Southern Common Market countries. *Energy & Environment*, 34(2), 429-442. doi:10.1177/0958305X221120930
- Walther, J. B., Carr, C. ve Choi, S. S. W. (2010). Interaction of Interpersonal, Peer, and Media Influence Sources Online: A Research Agenda for Technology Convergence. *A Networked Self* içinde . New York: Routledge.
- Wang, Z. (2009). The convergence of health care expenditure in the US states. *Health Economics*, 18(1), 55-70. doi:10.1002/hec.1343
- 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. doi:10.1007/s10640-007-9143-2
- Yang, G. J.-A., Chueh, H. ve Lee, C.-H. (2014). Examining the theory of capital structure: Signal factor hypothesis. *Applied Economics*, 46(10), 1127-1133. doi:10.1080/00036846.2013.864040
- Yang, G. J.-A., Ying, Y.-H., Chang, K. ve Lee, C.-H. (2014). Investigating Stationarity in Tourist Arrivals to Taiwan Using Panel Kps with Sharp Drifts and Smooth Breaks. *Tourism Analysis*, 19(5), 573-580. doi:10.3727/108354214X14116690097819
- Yasunaga, Y., Watanabe, M. ve Korenaga, M. (2009). Application of technology roadmaps to governmental innovation policy for promoting technology convergence. *Technological Forecasting and Social Change*, Knowledge Driven Planning Tools for Emerging and Converging Technologies, 76(1), 61-79. doi:10.1016/j.techfore.2008.06.004
- Young, A. T., Higgins, M. J. ve Levy, D. (2008). Sigma Convergence versus Beta Convergence: Evidence from U.S. County-Level Data. *Journal of Money, Credit and Banking*, 40(5), 1083-1093. doi:10.1111/j.1538-4616.2008.00148.x

Extended Abstract

Purpose: The purpose of this study is to investigate whether environmental convergence in terms of carbon emissions is valid among G7 and BRICS-T countries. The study utilizes carbon emission data from 1960 to 2022, applying the stochastic environmental convergence methodology. The focus is on examining whether the carbon emissions of these countries converge over time, with particular attention to the differences between the two groups. While G7 countries are known for implementing more environmentally friendly policies, BRICS-T countries are undergoing rapid industrialization. Therefore, the main objective of this study is to compare the carbon emission dynamics between these two groups, evaluate the effectiveness of

environmental policies, and highlight the environmental impacts of economic growth, particularly in developing countries.

Design and Methodology: This study aims to test environmental convergence or divergence in terms of carbon emissions among G7 and BRICS-T countries. The stochastic environmental convergence methodology is applied to carbon emission data from 1960 to 2022 to examine both intra-group and inter-group dynamics. The data were normalized within the 0-1 range to overcome methodological limitations. Initially, cross-sectional dependency tests (Breusch & Pagan, Pesaran, Baltagi) were conducted to assess the presence of dependency between the countries within each group.

To identify structural breaks, Fourier functions were employed. These components were integrated into the model to capture sudden and significant changes in the series, enabling a more accurate analysis of the non-linear structures of the data. Stationarity analyses were then performed using the Panel KPSS test, focusing on both intra-group and inter-group dynamics.

The stationarity tests were utilized to determine whether carbon emissions converge towards the average over time. To detect structural breaks in the panel, optimal lag lengths were selected based on 20,000 replications, and the results were evaluated according to each country's break dates. Finally, stationarity was assessed in both homogeneous and heterogeneous series through Panel KPSS tests, analyzing whether G7 and BRICS-T countries tend to converge over time in terms of carbon emissions.

Findings: This study analyzes whether G7 and BRICS-T countries exhibit environmental convergence or divergence in terms of carbon emissions. Using data from 1960 to 2022, significant findings were obtained both within and between the two groups. First, the Panel KPSS tests indicate that G7 countries have shown long-term convergence in carbon emissions. Specifically, Bartlett statistics for the United States, France, and the United Kingdom were found to be low, meaning that the series are stationary, and carbon emissions have converged toward the average over time. These results suggest that G7 countries are moving toward a balance in carbon emissions, and their environmental policies have been effective.

However, a different outcome was observed for Germany. The Bartlett statistic for Germany was high, indicating that the series is not stationary. This suggests that Germany's carbon emissions show a tendency toward divergence and have not reached a stable long-term equilibrium. The differences in Germany's industrial structure and energy policies are considered key factors contributing to this outcome.

In the BRICS-T group, Brazil, Turkey, China, and South Africa were found to have non-stationary series for carbon emissions. This indicates that these countries have not shown convergence in carbon emissions; rather, they exhibit divergence. Particularly in countries like China and India, rapid industrialization and increasing energy demand have led to continuous growth in carbon emissions. China's rise as a global manufacturing hub has resulted in a significant increase in emissions, with notable structural breaks in the data.

On the other hand, for Russia and India, the analysis showed that carbon emissions are stationary, indicating that these countries have converged in terms of carbon emissions over time. In Russia, carbon emissions decreased after the dissolution of the Soviet Union and have since stabilized at a more consistent level. In India, despite rapid industrialization, carbon emissions have gradually reached a balance.

In the cross-group analysis, it was found that there is no full convergence between G7 and BRICS-T countries in terms of carbon emissions. A significant gap exists between the two groups, with BRICS-T countries showing divergence in emissions, while G7 countries exhibit convergence. These results highlight the differences in environmental policies and the environmental impacts of economic growth between developed and developing countries.

In conclusion, while G7 countries have shown long-term convergence in carbon emissions, BRICS-T countries have not yet reached such an equilibrium. As industrialization and economic growth continue in BRICS-T countries, it is expected that carbon emissions will continue to diverge.

Research Limitations

Data Limitations: The research relies on carbon emission data from 1960 to 2022. This dataset may contain missing data or measurement errors for certain countries. Additionally, methodological differences in calculating carbon emissions could affect the accuracy of the data.

Focus Solely on Carbon Emissions: The study focuses exclusively on carbon emissions as an indicator of environmental performance. Other environmental indicators (e.g., water consumption, air quality, waste management) have been overlooked, which may limit the scope of environmental convergence explored in this study.

Limitations of the Stochastic Convergence Methodology: The stochastic environmental convergence methodology focuses only on specific structural breaks and stationarity tests. Other potential methodological approaches (e.g., dynamic panel data models) could yield different results. Moreover, while Fourier functions are suitable for detecting non-linear structures, they have not been compared with other methods for identifying structural breaks.

Differences Among Countries: The socioeconomic, political, and technological differences between G7 and BRICS-T countries complicate the analysis of carbon emissions. In particular, the rapid industrialization processes and volatile energy policies in BRICS-T countries may influence the results.

Impact of Global Policies: Although the study focuses on cross-country carbon emissions, the effects of global environmental policies (e.g., the Paris Climate Agreement) have not been examined in detail. The influence of such policies on the carbon emissions of individual countries has been only partially assessed.

Implications: Theoretical, Practical and Social

Theoretical Recommendations: Future studies should expand the environmental convergence hypothesis to include other environmental indicators, such as water consumption, air quality, and energy efficiency, rather than focusing solely on carbon emissions. Additionally, employing alternative methods (e.g., dynamic panel data models) and comparing their results with the current methodologies could broaden the theoretical framework and yield more comprehensive outcomes.

Practical Recommendations: The environmental impacts of industrialization processes in developing countries should be examined in greater detail. These countries' environmental policies can be analyzed in relation to economic growth and environmental sustainability. Furthermore, different structural break analysis methods could be employed to more effectively detect structural shifts in the data.

Social Recommendations: At the social level, the effects of public policies aimed at raising environmental awareness and reducing carbon emissions should be studied. In developing countries, the contributions of individuals to environmental sustainability and how these contributions can be enhanced through social awareness should be explored. These recommendations could help improve the social acceptance of environmental policies and contribute to their successful implementation.

Originality: This study makes significant contributions to the literature by analyzing the environmental convergence hypothesis in terms of carbon emissions for G7 and BRICS-T countries. First, while many studies in the literature have focused on environmental convergence, primarily among developed countries or a limited number of developing nations, this study offers a broader global perspective by comparing two country groups with differing levels of economic development. Examining the dynamics of emission increases during the industrialization processes of developing BRICS-T countries addresses a relatively underexplored area in the literature. Second, the study introduces a more sophisticated methodology by using Fourier functions to detect structural breaks in environmental convergence analyses. While most studies focus on stationarity tests and traditional methods, the integration of Fourier components allows for a more accurate identification of non-linear structures in the data. This methodological innovation is one of the study's key original aspects. Finally, by employing panel data methods to test cross-group dependency and independence assumptions, the study offers a unique approach that considers not only intra-country changes but also interactions between country groups. This analysis provides a more comprehensive understanding of the impact of environmental policies and economic processes across different countries.

