

**KİŞİ BAŞINA DÜŞEN KARBONDİOKSİT EMİSYONUNUN (CO₂) YAKINSAMASI:
FOURIER PANEL DURAĞANLIK TESTİNDEN BULGULAR¹****Dr. Öğr. Üyesi Ahmet KARDAŐLAR*** **ÖZET**

Son dönemlerde çevre kirliliği ve küresel ısınma (iklim değişikliği) sorunlarına yönelik olarak küresel ölçekte artan bir endişenin oluştuğu dikkat çekmektedir. Söz konusu sorunların temelinde ise ülkelerin ekonomik büyüme performanslarını artırma çabaları doğrultusunda neden oldukları karbondioksit emisyonları yer almaktadır. Bu çalışmanın amacı ise küresel ölçekte en fazla karbon salınımına (yani çevre kirliliğine) neden olan 20 ülke için kişi başına düşen CO₂ emisyonunun yakınsama özelliği gösterip göstermediğini araştırmaktır. Çalışma dönemi 1965-2020 yıllık gözlemleri kapsamaktadır. Analizler Li, Ranjbar ve Chang (2015) tarafından geliştirilen kırılmalı Fourier panel durağanlık testi ile gerçekteştirilmiştir. Panelin geneli için elde edilen durağanlık bulguları, kişi başına düşen nispi CO₂ emisyonunun durağanlığını ifade eden boş hipotezin reddedilemediğini ve dolayısıyla panelin durağan olduğunu ortaya koymaktadır. Öte yandan bireysel durağanlık test sonuçları ise 16 ülke (Almanya, Birleşik Krallık, Brezilya, Çin, Endonezya, Güney Afrika, İnan, İtalya, Hindistan, Japonya, Kanada, Meksika, Polonya, Suudi Arabistan, Türkiye ve Vietnam) için kişi başına düşen nispi CO₂ emisyonu serisinin durağan olduğuna ve bu ülkeler için yakınsama hipotezinin geçerli olduğuna işaret etmektedir. Diğer bir ifadeyle, söz konusu ülkelerde kişi başına düşen CO₂ emisyonuna yönelik şoklar geçici bir özellik göstermektedir. Bu durum dünyada çevre kirliliğine en fazla neden olan ülkelerin, kişi başına düşen CO₂ emisyonu parametreleri ile ilgili (gelecekte izleyeceği trende yönelik) tahminlerin yapılmasına imkan sağlamaktadır. Bununla birlikte yakınsamaya yönelik bulgular, Kyoto Protokolü çerçevesinde, ülkelerin emisyon azaltma yükümlülüklerini yerine getirebilmelerine ve beraberinde iklim politikalarına uyum gösterebilmelerine katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Karbondioksit Emisyonu, Çevre Kirliliği, Fourier Panel Durağanlık Testi.

Jel Kodları: C50, Q50.

¹ Bu çalışma 4-5 Aralık 2021 tarihinde düzenlenen “VIII. International Conference on Applied Economics and Finance” kongresinde aynı başlık ile özet bildiri olarak sunulmuş ve sonrasında genişletilerek makale haline getirilmiştir.

* Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Bahçe Meslek Yüksekokulu, Dış Ticaret Bölümü, Osmaniye/Türkiye, ahmetkardaslar@osmaniye.edu.tr.

Makale Geçmişi/Article History

Başvuru Tarihi / Date of Application : 23 Aralık / December 2021

Düzeltilme Tarihi / Revision Date : 25 Haziran/ June 2022

Kabul Tarihi / Acceptance Date : 30 Ağustos / August 2022

Araştırma Makalesi/Research Article

CONVERGENCE IN PER CAPITA CARBON DIOXIDE (CO₂) EMISSION: EVIDENCE FROM FOURIER PANEL STATIONARITY TEST

ABSTRACT

It is noteworthy that there has been an increasing global concern about environmental pollution and global warming (climate change) in recent years. The basis of these problems is the carbon dioxide emissions caused by the efforts of countries to increase their economic growth performance. The aim of this study is to investigate whether the per capita CO₂ emissions show convergence or not for the 20 countries that cause the most carbon emissions (or environmental pollution) on a global scale. The study period covers annual observations from 1965 to 2020. Analyses were carried out with the Fourier panel stationarity test which was developed by Li, Ranjbar and Chang (2015). The test results for the overall panel reveal that the null hypothesis of unit root in relative per capita CO₂ emissions cannot be rejected and therefore the panel is stationarity. On the other hand, individual test results indicate that the relative per capita CO₂ emission is stationarity for 16 countries (Brazil, Canada, China, Germany, India, Indonesia, Iran, Italy, Japan, Mexico, Poland, Saudi Arabia, South Africa, Turkey, United Kingdom, and Vietnam) and therefore the convergence hypothesis is valid for these countries. In other words, shocks to per capita CO₂ emissions in these countries are temporary. This makes it possible to make future estimations (trend) about the per capita CO₂ emission parameters of the countries that cause the most environmental pollution in the world. On the other hand, convergence findings contribute to countries' fulfilment of their emission reduction obligations within the framework of the Kyoto Protocol and also their adaptation to climate policies.

Keywords: Carbon Dioxide Emission, Environmental Pollution, Fourier Panel Stationarity Test.

JEL Codes: C50, Q50.

1. GİRİŞ

1992'de İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesinden 2015 yılında imzalanıp 2016 yılında yürürlüğe giren Paris İklim Anlaşmasına kadar geçen süreçte ülkeler, çevre üzerindeki küresel etkinin ve buna bağlı olarak iklim değişikliği (ya da küresel ısınma) ile mücadele etmek için sera gazı emisyonlarını azaltma ihtiyacını fark etmişlerdir. Bu nedenle, özellikle Kyoto Protokolü, sera gazı emisyonlarını kısıtlamak için tasarlanmış bir dizi politikanın ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bununla birlikte, ülkeler arasında emisyonların azaltılmasına yönelik politikalar, emisyon yükümlülüklerinin tahsisine yönelik farklı görüşler nedeniyle bazı tartışmalara yol açmıştır (Payne, 2020). Özellikle Kyoto Protokolünde altı farklı sera gazı kabul görse de karbondioksit (CO₂) emisyonları, atmosferik yoğunluğun %70'ine katkıda bulunduğu için genellikle en önemli kirlilik kaynağı olarak kabul edilmektedir. Bu durum gündelik insan faaliyetleri sonucunda atmosfere yıllık ortalama 30 milyar ton CO₂ emisyonu salınımının gerçekleştiğini ifade etmektedir. Dolayısıyla küresel ısınmayı önlemek için

CO_2 emisyon oranlarını azaltmak, uluslararası kurumlar ve politika yapıcılar için en önemli endişe kaynaklarından biridir (Churchill vd.,2020).

Bu kapsamda uluslararası düzeyde hayata geçirilen protokol ve anlaşmalardan kişi başına düşen emisyon tahsis politikalarının kabul edilebilirliği, ülkeler arasındaki kişi başına emisyonların yakınsamasına veya ıraksamasına bağlı olduğu tartışılmıştır. Zira kapsamlı bir çevre politikasının tasarımı, yalnızca CO_2 emisyonunun etkilerini ve bunları etkileyen faktörleri anlamaya değil, aynı zamanda emisyonların yakınsama davranışlarını anlamaya da dayanmaktadır. Örneğin, EKC hipotezi, CO_2 emisyonlarının yakınsamasını veya ıraksamasının neden kaynakladığını açıklamamaktadır. CO_2 emisyonlarındaki yakınsama dinamiklerini anlamak, iklim değişikliği ve küresel ısınmayı azaltma stratejileri ile ilgili modeller geliştirirken politika yapıcılar için önemli bir faktördür (Payne, 2020; Churchill vd. 2020).

Bu nedenlerle literatürde iklim değişikliği ve küresel ısınmayı kontrol altına almak ve etkili politika önerileri geliştirmek için CO_2 emisyonunun yakınsaması analiz edilmektedir. İlgili yaklaşım çerçevesinde CO_2 emisyonlarının durağan olup olmadığı çeşitli birim kök testleri vasıtasıyla test edilerek yakınsamanın olup olmadığı araştırılmaktadır. CO_2 emisyonlarının zamanla ülkeler arasında daha fazla ayrılmaya-uzaklaşmaya yol açtığı anlamına gelen CO_2 ıraksaması kavramının aksine yakınsama kavramı kişi başına düşen CO_2 emisyonlarına ilişkin şokların zaman boyunca geçici bir davranış sergilediğini ve uzun dönemde denge durumuna geri döndüğünü ifade etmektedir.

Konu ile ilgili yapılan çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde genellikle gelir grupları, ekonomik yapı ve uluslararası kuruluşların yaptığı sınıflandırmalar dikkate alınarak kişi başına düşen CO_2 emisyonlarının yakınsamasının incelendiği gözlemlenmektedir. Bu çalışmada ise diğer çalışmalardan farklı olarak küresel ölçekte en fazla karbon salınımına (yani çevre kirliliğine) neden olan 20 ülke için kişi başına düşen CO_2 emisyonunun yakınsama özelliği gösterip göstermediği araştırılmaktadır. BP (2021) veri tabanına göre, bu ülkeler toplam CO_2 emisyonlarının yaklaşık %80'nini oluşturmaktadır. Dolayısıyla çalışmadan elde edilen sonuçların politika yapıcıların önemli bir rehber olmasının yanı sıra mevcut literatüre önemli bir yenilik ve katkı sağlaması amaçlanmaktadır. Ayrıca veri yapısındaki keskin ve yumuşak yapısal kırılmaları göz önünde bulunduran Li vd. (2015) tarafından geliştirilen yapısal kırılmalı Fourier panel durağanlık testinin kullanılması sonuçların güvenilirliği ve gücü noktasında literatürde var olan farklı görüşleri değerlendirmek adına önemli olduğu düşünülmektedir.

Çalışmanın kalan kısmı şu şekilde planlanmıştır: İkinci bölümde ampirik literatür tartışılmaktadır. Takip eden bölümlerde veri seti ve ekonometrik yöntem açıklanmakta, beşinci bölümde çalışmanın ampirik bulgularına yer verilmektedir. Sonuç kısmında ise elde edilen analiz sonuçlarının mevcut literatürle ilişkisi açıklanmakta ve son olarak politika önerileri ile çalışma tamamlanmaktadır.

2. LİTERATÜR

Bu bölümde kişi başında düşen CO_2 emisyonlarının yakınsaması inceleyen ampirik çalışmalar incelenmektedir: Strazicich ve List (2003), 1960-1997 dönemi için 21 sanayileşmiş ülkede kişi başına düşen CO_2 emisyonlarındaki yakınsamayı hem yatay kesit yöntemi hem de panel birim kök testleri analiz etmişlerdir. Yazarlar, kişi başına düşen CO_2 emisyonlarında güçlü bir yakınsama tespit etmişlerdir. Nguyen Van (2005), 100 ülkeden oluşan bir örneklem için 1966–1996 döneminde kişi başına CO_2 emisyonlarındaki yakınsamayı incelemek için parametrik olmayan yöntemler kullanmıştır. Yazar, sanayileşmiş ülkeler arasında CO_2 emisyonlarında bir yakınsamanın olduğunu ancak 100 ülkenin tamamı için bakıldığında yakınsama olduğuna dair çok az kanıt bulunduğunu ifade etmektedir. 1960-2000 döneminde CO_2 emisyonlarının yakınsamasını inceleyen Aldy (2006), 23 OECD ülkesi örnekleminin yakınsadığını ancak 88 ülkeyi dikkate alan örnekleme yakınsamanın aksine kanıtlar olduğunu öne sürmektedir. Lee ve Chang (2008), 21 OECD ülkesinde 1960-2000 döneminde kişi başına karbon emisyonlarının yakınsamasını panel görünüşte ilişkisiz regresyon modeliyle genişletilmiş Dickey-Fuller (SUARDF) birim kök testiyle analiz etmişlerdir. Analiz bulguları, 14 ülkede ıraksamaya 7 ülkede ise yakınsamaya işaret etmektedir. Benzer bir örneklem ve veri setinden hareketle Lee vd. (2008), 21 OECD ülkesinde 1960-2000 döneminde kişi başına karbon emisyonlarının yakınsamasını geleneksel ve geleneksel olmayan (yapısal kırılmayı dikkate alan) birim kök testleriyle araştırmışlardır. Ampirik bulgular, görece olarak kişi başına karbon emisyonlarının durağan olduğuna ve stokastik olarak yakınsadığına işaret etmektedir. Westerlund ve Basher (2008), 28 ülke için (16'sı gelişmiş 12 ise gelişmekte olan) sırasıyla 1870-2002 ile 1901-2002 dönemlerinde CO_2 emisyonlarının yakınsamasını panel birim kök testleriyle araştırmışlardır. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular, birim kök boş hipotezinin reddedilmesinden dolayı güçlü bir yakınsamaya işaret etmektedir. 1950-2002 döneminde yine diğer çalışmalarla benzer bir şekilde 21 OECD ülkesi için kişi başına düşen karbon emisyonlarının yakınsamasını yatay kesit bağımlılığını dikkate alan ve almayan farklı panel birim kök testleriyle analiz eden Barassi vd. (2008), ilgili dönemde OECD ülkelerinde yakınsamanın olmadığını tespit etmişlerdir. Romero-Ávila (2008), 1960-2002 döneminde 23 OECD ülkesi için karbon emisyonlarının yakınsamasını yapısal kırılmalara ve yatay kesit bağımlılığına izin veren panel birim kök testleriyle araştırmışlardır. Araştırma sonucunda, stokastik ve deterministik yakınsama lehine güçlü kanıtlar elde edilmiştir. Aslan (2009), Afrika, Merkezi ve Güney Amerika, Merkezi Asya, Merkezi Avrupa, Uzak Doğu, Orta Doğu, Okyanusya ve Batı Avrupa ülkelerinin Kuzey Amerika'ya CO_2 emisyonunun yakınsamasını test etmek için 1950–2004 dönemini panel birim kök testiyle incelemiştir. İncelemeler neticesinde yakınsamaya yönelik kanıt bulunamamıştır. Panopoulou ve Pantelidis (2009), 128 ülke için 1960-2003 dönemi verilerini kullanarak CO_2 emisyonlarının yakınsaması inceledikleri çalışmalarında ıraksama lehine kanıtlar elde etmişlerdir. Tüm örneklemin aksine kulüp yakınsama yaklaşımı çerçevesinde inceledikleri gruplarda örneğin, OECD ve Avrupa Parasal Birliği ülkelerinde yakınsama düşük gelirli ülkeler için ıraksama lehinde sonuçlara ulaşmışlardır.

Jobert vd. (2010), 1971-2006 dönemi verilerini kullanarak 22 Avrupa ülkesi için CO_2 emisyonunun yakınsamasını Bayesyen yaklaşımla analiz etmişlerdir. Yazarlar hem mutlak hem de koşullu yakınsamaya lehine kanıtlar elde etmişlerdir. Ulucak ve Erdem (2012), Türkiye için 1960-2006 döneminde kişi başında düşen CO_2 emisyonlarının durağanlığını yapısal kırılmayı dikkate alan birim kök testiyle incelemişlerdir. Yazarlar, ilgili dönemde kişi başına düşen karbon emisyonu serisinin durağan olduğunu dolayısıyla izlenen politikaların etkili olmadığını öne sürmektedirler. 19 Kıta Avrupası ülke ve Türkiye için 1960-2009 döneminde CO_2 emisyonunun yakınsamasını yapısal kırılmayı dikkate alan birim kök testiyle araştıran Acaravcı (2013), 19 Kıta Avrupası ülkesinin 14'inde kişi başı CO_2 değişkenine gelen şoklar kalıcı nitelikteyken (durağan değil), Türkiye için yakınsamanın geçerli olduğu sonucuna ulaşmıştır. Chiristidou vd. (2013), 36 ülkede 1870-2006 yılları arasındaki kişi başına CO_2 salınımının durağanlığını doğrusal olmayan panel birim kök testiyle araştırmışlardır. Yazarlar, ilgili dönemde serilerin durağan olduğunu dolayısıyla yakınsadığını tespit etmişlerdir. 1960-2005 yılları verilerini kullanarak G7 ülkeleri için kişi başına düşen CO_2 emisyonlarının yakınsamasını eşik değerli otoregresif (TAR) panel birim kök yöntemiyle analiz eden Yavuz ve Yılcı (2013), ilk rejimde koşullu yakınsama ikinci rejimde ise ıraksamanın olduğu sonucuna varmışlardır. Camarero vd. (2013), 1960-2008 döneminde OECD ülkelerinde karbon emisyonlarının yakınsamasını araştırdıkları çalışmalarında Orta ve Kuzey Avrupa ülkelerinin büyük bir çoğunluğunun yakınsama özellikleri sergilediklerini Güney Avrupa ülkelerinden Yunanistan ve Portekiz ile Akdeniz'e kıyısı olan ülkelere İtalya ve İspanya'da ise yakınsamanın olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Li vd. (2014) ise ABD'nin 50 eyaleti için 1990-2010 döneminde CO_2 salınımlarının yakınsamasını ardışık panel seçim yöntemiyle araştırmışlardır. Araştırma bulguları, 12 eyalet için yakınsamaya geriye kalan 38 eyalet içinse ıraksamaya işaret etmektedir.

Yazgan vd. (2016), iklim değişikliği performans indeksine göre iyi, orta, kötü ve çok kötü performans gösteren 30 ülke için 1960-2010 döneminde CO_2 emisyonlarının yakınsamasını doğrusal ve doğrusal olmayan birim kök testleriyle analiz etmişlerdir. Analiz sonuçlarına göre, her bir ülke grubu için ortalamaya yakınsama davranışının olduğu tespit edilmiştir. Tiwari vd. (2016), 1960-2009 döneminde 35 Sahra altı Afrika ülkesi için kişi başına düşen CO_2 emisyonlarının yakınsamasını doğrusal olmama durumunu ve yapısal kırılmaları dikkate alan birim kök testleriyle incelemişlerdir. Yazarlar, Fourier fonksiyonları dikkate alındığında ülkelerin tamamında karbon emisyonlarının durağanlık özelliği sergilediğini öne sürmektedirler. Ahmed vd. (2017), 162 ülke (yüksek, orta ve düşük gelirli) için 1960-2010 döneminde kişi başına düşen CO_2 emisyonlarının yakınsamasını dalgacık tabanlı birim kök testiyle analiz etmişlerdir. Analiz bulgularına göre, 162 ülke içinden aralarında yüksek, orta ve düşük gelirlerinin bulunduğu 38 ülkede yakınsama geriye kalan 124 ülkede ise ıraksama lehine kanıtlar elde edilmiştir. Düşük, orta ve yüksek gelirli 98 ülke için 1975-2014 döneminde kişi başına CO_2 salınımlarının durağanlığını doğrusal olmayan birim kök testiyle inceleyen Shahbaz vd. (2019), yalnızca 9 ülkede serilerin durağan olduğunu (yakınsama) tespit ederlerken geriye kalan ülkelerin tamamında kişi başına CO_2 serisinin durağan olmadığı (ıraksama) sonucuna ulaşmışlardır.

Churchill vd. (2020), 17 yükselen piyasa ekonomisi ülkeler için 1921-2014 döneminde CO_2 emisyonlarındaki stokastik yakınsamayı LM ve RALS-LM birim kök testleriyle araştırmışlardır. Ampirik bulgular, on bir ülke için göreceli olarak kişi başına CO_2 emisyonlarında stokastik yakınsamaya işaret ederken kalan altı ülkede yakınsamaya lehine kanıt bulunamamıştır. Apergis ve Payne (2020), NAFTA (ABD, Meksika ve Kanada) ülkeleri için 1971-2014 döneminde karbon emisyonları yoğunluğunun yakınsamasını panel birim kök testleriyle incelemişlerdir. Yazarlar gerek NAFTA'nın oluşum öncesi gerekse de sonraki süreçte yakınsamanın olduğunu ileri sürmüşlerdir. Topallı (2021), düşük gelirli ülkeler için 1960-2016 döneminde kişi başına CO_2 emisyonunun durağanlığını yapısal kırılmalı ve doğrusal olmayan birim kök testleriyle araştırmıştır. Araştırma sonucunda gerek geleneksel gerekse de doğrusal olmayan birim kök testi sonuçlarından karma bulgular elde etmiştir. Matsuki ve Pan (2021), 7 Asya ülkesi (Çin, Endonezya, Hindistan, Myanmar, Filipinler, Tayvan ve Tayland) ile ABD için 1907-2011 döneminde kişi başına düşen karbon emisyonlarının yakınsamasını geleneksel ve geleneksel olmayan birim kök testleriyle analiz etmişlerdir. Yazarlar, ilgili dönemde 7 Asya ülkesi ile ABD arasında kişi başına düşen karbon emisyonlarının yakınsadığına yönelik bulgular elde etmişlerdir. Son olarak Nazlıoğlu vd. (2021), 13 OPEC ve 18 petrol üretimi yapan ülkeler için 1960-2016 döneminde kişi başına düşen karbon emisyonlarının yakınsamasını çeşitli panel durağanlık testleriyle (geleneksel, yatay kesit bağımlılığını, ani ve yumuşak değişimleri dikkate alan) araştırmışlardır. Yazarlar ilgili dönemde yakınsamaya yönelik güçlü kanıtların olmadığı sonucuna ulaşmışlardır.

Literatür genel olarak incelendiğinde farklı veri setleri, örneklem ve tahmin yöntemleri kullanılmakta dolayısıyla bir konsensüsün olmadığı anlaşılmaktadır. Özellikle sonuçların güvenilirliği noktasında kullanılan yöntemin gücü ön planda olduğundan bu çalışmada veri yapısındaki keskin ve yumuşak yapısal kırılmaları göz önünde bulunduran Li vd. (2015) yapısal kırılmalı Fourier panel durağanlık testi kullanılarak literatüre önemli bir katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

3. VERİ SETİ

Bu çalışma küresel ölçekte en fazla karbon salınımına (yani çevre kirliliğine) neden olan 20 ülke için kişi başına düşen CO_2 emisyonunun yakınsama özelliği gösterip göstermediğini araştırmaktadır. Bu doğrultuda çalışmada kullanılacak kişi başına düşen nispi CO_2 emisyonu verileri Churchill, Inekwe ve Ivanovski (2020)'nin çalışmasından hareketle Denklem (1)'deki eşitlik yardımıyla düzenlenmiştir

$$\text{Nispi } CO_2 = \ln \left(\frac{\text{Kişi başına düşen } CO_{2i,t}}{\text{Kişi başına düşen ortalama } CO_{2i,t}} \right) \quad (1)$$

Denklem (1)'de yer alan nispi CO_2 emisyonu parametresi, her bir ülke için kişi başına düşen CO_2 emisyonunun, yirmi ülkenin tamamının ortalamasına bölünmesi ile elde edilmektedir. Buna göre nispi CO_2 emisyon değerlerinin durağan bir süreç izlemesi halinde, meydana gelecek şoklar geçici olacak ve böylece koşullu yakınsama hipotezi geçerli olacaktır. Buna karşın nispi CO_2 emisyonunun durağan

olmayan bir süreç izlemesi durumunda ise şoklar kalıcı ve yakınsama hipotezi ise geçersiz kabul edilecektir.

Analizler 1965-2020 yıllık gözlemleri kapsamaktadır. Çalışmaya dahil edilen ülkeler sırasıyla Amerika Birleşik Devletleri, Almanya, Avustralya, Birleşik Krallık, Brezilya, Çin, Endonezya, Güney Afrika, Güney Kore, Hindistan, İran, İtalya, Japonya, Kanada, Meksika, Polonya, Suudi Arabistan, Türkiye ve Vietnam'dır. Bunun dışında Rusya'nın da analizlere dahil edilmesi planlanmış ancak veri kısıtı nedeniyle çalışmanın kapsam dışında tutulmuştur. Veriler BP Statistical Review veri tabanından temin edilmiştir.

4. EKONOMETRİK YÖNTEM

4.1. Li, Ranjbar, Chang (LRC, 2015) Panel Durağanlık Testi

Li vd. (2015) panel durağanlık testi, Carrion-i Silvestre vd. (2005) durağanlık testinin panel ve tek değişkenli versiyonlarının bir uzantısıdır. Li vd. (2015) panel durağanlık testinin bazı önemli avantajları bulunmaktadır. Panel birim kök testlerinin çoğunda birim kök boş hipotezlerinin reddedilmesi, hepsinin değil yalnızca bazı ülkelerin durağan olduğu anlamına gelmektedir. Bununla birlikte, Li vd. (2015) durağanlık testinde boş hipotez panelin tüm üyelerinin durağan olduğunu ifade etmektedir. Böylece, Carrion-i Silvestre vd. (2005) testi için boş hipotez reddedilmezse, paneldeki tüm serilerin durağan olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. İkincisi, Li vd. (2015) panel durağanlık testi hem keskin kırılmaları hem de Fourier fonksiyonu kullanarak yumuşak yapısal kırılmaları dikkate almaktadır. Carrion-i Silvestre vd. (2005) durağanlık testi için boş hipotez altında oluşturulan veri yaratma süreci Denklem (2) ile verilen modele dayanmaktadır:

$$y_{it} = \alpha + \beta t + \sum_{k=1}^m \theta_{ik} DU_{k,t} + \sum_{k=1}^m \rho_{ik} DT_{k,t} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

Burada α sabit terimi, t trend terimini, m ise uygun kırılma sayısını ifade etmektedir. Carrion-i Silvestre vd. (2005) testi için test istatistiği Denklem (3) kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$Z(\lambda) = \frac{(\sum_{i=1}^N LM(\lambda_i) - N\bar{\mu}_{LM})^{0.5}}{\sigma_{LM}} \rightarrow^d N(0,1) \quad (3)$$

Burada $LM(\lambda_i)$, Kwiatkowski vd. (1992) test istatistiğidir. $\bar{\mu}_{LM}$, $LM(\lambda_i)$ dağılımının ortalamasını σ_{LM} ise $LM(\lambda_i)$ dağılımının standart sapmasını göstermektedir. Li vd. (2015) testinde, yumuşak geçişli yapısal kırılmaları modele dâhil etmek amacıyla Denklem (2)'ye Fourier terimlerini dâhil edilmektedir:

$$y_t = \alpha + \beta t + \sum_{i=1}^{m+1} \theta_i DU_{i,t} + \sum_{i=1}^{m+1} \rho_i DT_{i,t} + \gamma_1 \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \gamma_2 \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \varepsilon_t \quad (4)$$

Denklem (4)'te k frekans sayısını, t trend terimini ve T ise örneklem büyüklüğünü ifade etmektedir. Burada keskin yapısal kırılmaları tespit etmek amacıyla kullanılan DU ve DT kukla değişkenleri Denklem (5) ve Denklem (6) yardımıyla elde edilmektedir:

$$DU_{k,t} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } TB_{k-1} < t < TB_k \text{ ise} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5)$$

$$DT_{k,t} = \begin{cases} t - TB_{k-1} & \text{Eğer } TB_{k-1} < t < TB_k \text{ ise} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (6)$$

Li vd. (2015), iki adımlı bir tahmin prosedürü önermişlerdir. İlk adımda uygun kırılma sayısı m ve optimum frekans sayısı k^* belirlenmektedir. Buna göre belirlenecek maksimum frekans değeri için Bai ve Perron (1998) tarafından önerilen prosedür kullanarak Denklem (4) tahmin edilmektedir. Ardından kalıntı kareler toplamının minimum olduğu frekans değeri uygun frekans değeri (k^*) değeri olarak belirlenmektedir. Daha sonra k^* değeri kullanılarak Denklem (4) yeniden tahmin edilmekte ve uygun kırılma sayısı ve konumu belirlenmektedir. İkinci adımda Denklem (4) için trigonometrik terimlerin anlamlılığı Becker vd. (2006) tarafından önerilen F testi kullanılarak test edilmektedir:

$$F(k^*) = \frac{(SSR_0 - SSR_1(k^*))/2}{SSR_1(k^*)/(T - q)} \quad (7)$$

Burada SSR_0 ve $SSR_1(k^*)$ Denklem (4)'den elde edilen, sırasıyla trigonometrik terimleri içeren ve içermeyen kalıntı kareler toplamını, q değeri ise regresörlerin sayısını göstermektedir.

5. AMPİRİK SONUÇLAR

Bu çalışmada, kişi başına CO_2 emisyonunun yakınsama özelliği gösterip göstermediği, Li vd. (2015) tarafından geliştirilen kırılmalı Fourier panel durağanlık testi ile analiz edilmiştir. Tablo 1'de Pesaran vd. (2008) tarafından geliştirilen yatay kesit bağımlılığı testi sonucu ve panelin geneli için durağanlığın test edileceği panel KPSS istatistiklerine ait sonuçlar yer almaktadır.

Tablo 1. Pesaran vd. (2008) Yatay Kesit Bağımlılığı Testi ve Panel Durağanlık Testi Sonuçları

	Test İstatistiği	p-değeri
Pesaran vd. (2008) Yatay Kesit Bağımlılığı Testi	22.708	0.000
Panel Durağanlık Testi	Test İstatistiği	p-değeri
Homojen Panel KPSS İstatistiği	-3.865	0.999
Heterojen Panel KPSS İstatistiği	-4.103	0.999

Çalışmada öncelikle birimler arasındaki yatay kesit bağımlılığının varlığının araştırılması gerekmektedir. Buna göre, ele alınan verilere Pesaran vd. (2008) tarafından geliştirilen yatay kesit bağımlılığı testi uygulanmış ve test istatistiği 22.708 ve p-değeri ise 0.000 olarak elde edilmiştir. Elde edilen p-değeri 0.05'den küçük olduğundan yatay kesit bağımlılığının olmadığını ifade eden boş hipotez

reddedilmektedir. Dolayısıyla yatay kesit bağımlılığı testi sonucu birimler arasında yatay kesit bağımlılığının bulunduğunu göstermektedir. Birimler arasında yatay kesit bağımlılığı bulunduğu durumlarda duraganlık sınamalarında yatay kesit bağımlılığını göz önünde bulunduran ekonometrik testlerin kullanılması gerekmektedir. Bu çalışmada yatay kesit bağımlılığını dikkate alan ve Li vd. (2015) tarafından geliştirilen panel duraganlık testi kullanılmıştır. Panelin geneli için elde edilen test istatistiklerine ilişkin p-değerleri 0.05'den büyük olduğundan kişi başına nispi CO₂ emisyonunun duraganlığını ifade eden boş hipotez reddedilememekte ve panelin duragan olduğuna karar verilmektedir. Tablo 2'de ülkelere ait duraganlık testi sonuçları ile Fourier fonksiyonu için uygun frekans sayıları ve F istatistikleri sonuçları yer almaktadır.

Tablo 2. Birimlerin Duraganlık Testi Sonuçları

Ülkeler	Barlett		Fourier Fonksiyonu		
	Test İstatistikleri	Kritik Değer (%5)	k^*	F istatistiği	Kritik Değer (%5)
Çin	0.081*	0.114	3	33.08*	3.21
ABD	0.097	0.065	1	29.28*	3.21
Hindistan	0.088*	0.148	3	22.75*	3.24
Japonya	0.056*	0.076	1	18.69*	3.28
İran	0.067*	0.126	3	15.90*	3.22
Almanya	0.118*	0.166	3	24.91*	3.24
Kore	0.187	0.076	4	13.68*	3.15
Suudi Arabistan	0.017*	0.170	4	18.79*	3.18
Endonezya	0.084*	0.100	3	38.75*	3.23
Kanada	0.055*	0.128	2	149.21*	3.20
Güney Afrika	0.079*	0.120	2	37.66*	3.19
Brezilya	0.042*	0.102	3	39.94*	3.23
Meksika	0.134*	0.235	3	2.23	3.21
Avustralya	0.054	0.053	1	208.16*	3.10
Türkiye	0.092*	0.114	3	34.28*	3.21
Birleşik Krallık	0.064*	0.119	3	38.91*	3.25
İtalya	0.112*	0.261	3	8.16*	3.20
Vietnam	0.065*	0.090	1	154.74*	3.24
Polonya	0.047*	0.173	1	122.75*	3.10

Not: *, % 5 düzeyinde duraganlığı ve Fourier terimlerin anlamlılığını ifade etmektedir.

Tablo 2'de yer alan duraganlık testi sonuçlarına göre 16 ülke (Çin, Hindistan, Japonya, İran, Almanya, Suudi Arabistan, Endonezya, Kanada, Güney Afrika, Brezilya, Meksika, Türkiye, Birleşik Krallık, İtalya, Vietnam ve Polonya) için elde edilen test istatistikleri %5 kritik değerlerden küçük olduğundan duraganlığı gösteren boş hipotez reddedilememektedir. Buna göre söz konusu ülkeler için kişi başına düşen CO₂ emisyonu serilerinin duragan olduğu ve yakınsama hipotezinin bu ülkeler için geçerli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Analizde kullanılan her bir ülkeye ait Fourier fonksiyonu için hesaplanan F istatistiği sonuçları incelendiğinde, Meksika hariç tüm ülkeler için elde edilen F istatistikleri %5 kritik değerden büyük olarak elde edilmiştir. Buna göre boş hipotez reddedilerek trigonometrik terimlerin anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tablo 3'de ele alınan her bir ülke için tespit edilen kırılma tarihleri yer almaktadır. Çalışmada maksimum kırılma sayısı 2 olarak belirlenmiştir.

Bununla birlikte Polonya hariç (uygun kırılma sayısı 1) olmak üzere tüm ülkeler için uygun kırılma sayısı 2 olarak belirlenmiştir.

Tablo 3. Ülkelerin Kırılma Tarihleri

Ülkeler	Kırılma Tarihleri	
Çin	1982	2002
ABD	1974	2008
Hindistan	1986	2006
Japonya	1969	1975
İran	1974	1999
Almanya	1987	2003
Kore	1977	1991
Suudi Arabistan	1985	2009
Endonezya	1980	2000
Kanada	1990	2015
Güney Afrika	1980	2010
Brezilya	1977	1999
Meksika	1973	1979
Avustralya	1997	2009
Türkiye	1982	2002
Birleşik Krallık	1982	2003
İtalya	1969	2008
Vietnam	1981	1993
Polonya	1989	-

6. SONUÇ

Dünyanın karşı karşıya kaldığı en büyük çevre sorununun iklim değişikliği olduğu kabul görmektedir. İklim değişikliğiyle başa çıkmak için CO_2 emisyonlarını azaltılması gerekmektedir. Çevre kirliliği göstergelerinin en önemlilerinden biri olan CO_2 emisyonları, çoğunlukla fosil yakıtların kullanımı sonucu ortaya çıkmaktadır. Özellikle dünyadaki enerji tüketimine yönelik artan talep doğal olarak CO_2 emisyonlarını arttırmakta ve küresel ısınmaya neden olmaktadır. Bu bağlamda CO_2 emisyonlarını azaltmak ve dolayısıyla iklim değişikliğini önüne geçmek adına çeşitli açıdan etkili politikalara ve zorunlu bir uluslararası iş birliğine ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle CO_2 emisyonlarındaki yakınsama dinamiklerini anlamanın, iklim değişikliği ve küresel ısınmayı azaltma stratejileri ile ilgili modeller geliştirirken politika yapımcılar için önemli bir faktör (Payne, 2020; Churchill vd. 2020) olduğu bilinmektedir. Bu hususlar göz önünde bulundurularak bu çalışma küresel ölçekte en fazla CO_2 salınımına (yani çevre kirliliğine) neden olan 20 ülke için kişi başına düşen CO_2 emisyonunun yakınsama özelliği gösterip göstermediğini araştırmıştır. Çalışma dönemi 1965-2020 yıllarını kapsayan gözlemlerden oluşmaktadır. Analizler veri yapısındaki keskin ve yumuşak yapısal kırılmaları göz önünde bulunduran Livd. (2015) kırılmalı Fourier panel durağanlık testi ile gerçekleştirilmiştir.

Durağanlık testine geçilmeden önce serilere Pesaran vd. (2008) tarafından geliştirilen yatay kesit bağımlılığı testi uygulanmıştır. İlgili test sonuçları ekseninde birimler arasında yatay kesit bağımlılığının bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır. Daha sonra yatay kesit bağımlılığını ve yapısal formdaki değişimleri de modelleyebilen Li, vd. (2015) Fourier panel durağanlık testi uygulanmıştır. Panel durağanlık

sonuçlarından hareketle panelin geneli için serilerin durağan olduğunu ve dolayısıyla yakınsama hipotezinin geçerli olduğuna karar verilmiştir. Dolayısıyla en çok CO₂ emisyonunu salınımı gerçekleştiren bu ülkelerde uzun dönemde kişi başına düşen CO₂ emisyonlarındaki bir şok geçici bir etki göstermekte zamanla birbirlerine yakınsamaktadır. Bununla birlikte heterojen tahmin sonuçları dikkate alındığında ABD, Güney Kore ve Avustralya’da yakınsama hipotezinin geçerli olmadığı belirlenmiştir. Bu ülkelerde başına düşen CO₂ emisyonlarındaki bir şok geçici bir etkiden ziyade kalıcı bir etki göstermekte ve uzun dönemde diğer ülkelere yakınsamamaktadır. Ayrıca bu ülkelerde uygulanan iklim değişikliği ve küresel ısınmayı önlemek için yapılan düzenleme ve politikaların etkili olmadığı söylenebilir. Tüm bu hususlar göz önünde bulundurulduğunda çalışmaya konu olan ülkelerin dünyadaki CO₂ emisyonlarının yaklaşık %80’ini oluşturdukları ve emisyonların oluşumunun büyük çoğunluğunun fosil yakıt tüketiminden kaynaklı olduğu dolayısıyla çevrenin sürdürülebilirliği noktasında bu ülkelerin yenilebilir enerji tüketimi ve üretiminin teşvik etmeleri elzemdir. Ayrıca genel anlamda sera gazı emisyonlarını spesifik olarak ise CO₂ emisyonlarını azaltmak için çevre vergileri, teşvik ve sübvansiyon mekanizmalarının yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Acaravcı, A. (2013) “Yapısal Kırımlar ve Karbon Emisyonu: Kıta Avrupa Ülkeleri için Ampirik bir Uygulama”, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 3: 1-11.
- Ahmed, M., Khan, A. M., Bibi, S., and Zakaria, M. (2017) “Convergence of Per Capita CO₂ Emissions across the Globe: Insights Via Wavelet Analysis”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 86-97. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.053>
- Aldy, J. E. (2006) “Per Capita Carbon Dioxide Emissions: Convergence or Divergence?”, *Environmental and Resource Economics*, 33(4): 533-555, <https://doi.org/10.1007/s10640-005-6160-x>.
- Apergis, N., and Payne, J. E. (2020) “NAFTA and the Convergence of CO₂ Emissions Intensity and Its Determinants”, *International Economics*, 161: 1-9, <https://doi.org/10.1016/j.inteco.2019.10.002>.
- Aslan, A. (2009) “Kişi Başına Karbon Dioksit Emisyon Yakınsama Analizi: 1950-2004”, *Ege Akademik Bakış*, 9(4): 1427-1439.
- Bai, J., and Perron, P. (1998) “Estimating and Testing Linear Models with Multiple Structural Changes”, *Econometrica*, 47-78, <https://doi.org/10.2307/2998540>.
- Barassi, M. R., Cole, M. A., and Elliott, R. J. (2008) “Stochastic Divergence or Convergence of Per Capita Carbon Dioxide Emissions: Re-Examining the Evidence”, *Environmental and Resource Economics*, 40(1): 121-137, <https://doi.org/10.1007/s10640-007-9144-1>.

- Becker, R., Enders, W., and Lee, J. (2006) “A Stationarity Test in the Presence of an Unknown Number of Smooth Breaks”, *Journal of Time Series Analysis*, 27(3): 381-409, <https://doi.org/10.1111/j.1467-9892.2006.00478.x>.
- BP (2021) “Statistical Review of World Energy”, (70th Edition), <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> Erişim Tarihi: 25.12.2021.
- Camarero, M., Picazo-Tadeo, A. J., and Tamarit, C. (2013) “Are the Determinants of CO2 Emissions Converging Among OECD Countries?”, *Economics Letters*, 118(1): 159-162, <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2012.10.009>.
- Carrion-i-Silvestre, J. L., del Barrio-Castro, T., and Lopez-Bazo, E. (2005) “Breaking the Panels: An Application to the GDP Per Capita”, *The Econometrics Journal*, 159-175.
- Christidou, M., Panagiotidis, T., and Sharma, A. (2013) “On the Stationarity of Per Capita Carbon Dioxide Emissions Over a Century”, *Economic Modelling*, 33: 918-925, <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2013.05.024>.
- Churchill, S. A., Inekwe, J., and Ivanovski, K. (2020) “Stochastic Convergence in Per Capita CO2 Emissions: Evidence from Emerging Economies, 1921–2014”, *Energy Economics*, 86: 104659, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104659>.
- Enders, W., and 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, <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.2011.00662.x>.
- Jobert, T., Karanfil, F., and Tykhonenko, A. (2010) “Convergence of Per Capita Carbon Dioxide Emissions in the EU: Legend or Reality?”, *Energy Economics*, 32(6): 1364-1373, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.03.005>.
- Kwiatkowski, D., Phillips, P. C., Schmidt, P., and 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(1-3): 159-178, [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(92\)90104-Y](https://doi.org/10.1016/0304-4076(92)90104-Y).
- Lee, C. C., and 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>.
- Lee, C. C., Chang, C. P., and Chen, P. F. (2008) “Do CO2 Emission Levels Converge Among 21 OECD Countries? New Evidence from Unit Root Structural Break Tests”, *Applied Economics Letters*, 15(7): 551-556, <https://doi.org/10.1080/13504850500426236>.

- Li, J. P., Ranjbar, O., and Chang, T. (2017) “Unemployment Hysteresis in PIIGS Countries: A New Test with Both Sharp and Smooth Breaks”, *The Singapore Economic Review*, 62(05): 1165-1177, <https://doi.org/10.1142/S0217590815500782>.
- Li, X. L., Tang, D. P., and Chang, T. (2014) “CO2 Emissions Converge in the 50 US States—Sequential Panel Selection Method”, *Economic Modelling*, 40: 320-333, <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2014.04.003>.
- Maddala, G. S., and Wu, S. (1999) “A Comparative Study of Unit Root Tests with Panel Data and a New Simple Test”, *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61(S1): 631-652, <https://doi.org/10.1111/1468-0084.0610s1631>.
- Matsuki, T., and Pan, L. (2021) “Per Capita Carbon Emissions Convergence in Developing Asia: A Century of Evidence from Covariate Unit Root Test with Endogenous Structural Breaks”, *Energy Economics*, 99: 105326, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105326>.
- Nazlıoğlu, S., Payne, J. E., Lee, J., Rayos-Velazquez, M., and Karul, C. (2021) “Convergence in OPEC Carbon Dioxide Emissions: Evidence from New Panel Stationarity Tests with Factors and Breaks”, *Economic Modelling*, 100: 105498, <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2021.105498>.
- Nguyen Van, P. (2005) “Distribution Dynamics of CO2 Emissions”, *Environmental and Resource Economics*, 32(4): 495-508, <https://doi.org/10.1007/s10640-005-7687-6>.
- Panopoulou, E., and Pantelidis, T. (2009) “Club Convergence in Carbon Dioxide Emissions”, *Environmental and Resource Economics*, 44(1): 47-70, <https://doi.org/10.1007/s10640-008-9260-6>.
- Payne, J. E. (2020) “The Convergence of Carbon Dioxide Emissions: A Survey of the Empirical Literature”, *Journal of Economic Studies*, 47(7): 1757-1785, <https://doi.org/10.1108/JES-12-2019-0548>.
- Pesaran, M. H., Ullah, A., and Yamagata, T. (2008) “A Bias-Adjusted LM Test of Error Cross-Section Independence”, *The Econometrics Journal*, 11(1): 105-127, <https://doi.org/10.1111/j.1368-423X.2007.00227.x>.
- Romero-Ávila, D. (2008) “Convergence in Carbon Dioxide Emissions among Industrialised Countries Revisited”, *Energy Economics*, 30(5): 2265-2282, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2007.06.003>.
- Shahbaz, M., Khraief, N., and Hammoudeh, S. (2018) “How do Carbon Emissions Respond to Economic Shocks? Evidence from Low-, Middle-, and High-Income Countries”, *The Journal of Energy and Development*, 44(1/2): 161-196.

- Strazicich, M. C., and List, J. A. (2003) “Are CO₂ Emission Levels Converging among Industrial Countries?”, *Environmental and Resource Economics*, 24(3): 263-271, <https://doi.org/10.1023/A:1022910701857>.
- Tiwari, A. K., Kyophilavong, P., and Albulescu, C. T. (2016) “Testing the Stationarity of CO₂ Emissions Series in Sub-Saharan African Countries by Incorporating Nonlinearity and Smooth Breaks”, *Research in International Business and Finance*, 37: 527-540, <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2016.01.005>.
- Topallı, N. (2021) “Düşük Gelirli Ülkelerde Kişi Başına Karbondioksit Emisyonu Durağanlığının Test Edilmesi: Doğrusal Olmayan Birim Kök Analizi”, *Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi*, 6(3): 608-626, <https://doi.org/10.30784/epfad.899797>.
- Ulucak, R., ve Erdem, E. (2012) “Çevre-İktisat İlişkisi ve Türkiye’de Çevre Politikalarının Etkinliği”, *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi (AKAD)*, 4(6): 78-98.
- Westerlund, J., and 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, <https://doi.org/10.1007/s10640-007-9143-2>.
- Yavuz, N. C., and Yılancı, V. (2013) “Convergence in Per Capita Carbon Dioxide Emissions Among G7 Countries: A TAR Panel Unit Root Approach”, *Environmental and Resource Economics*, 54(2): 283-291, <https://doi.org/10.1007/s10640-012-9595-x>.
- Yazgan, Ş., Mollavelioğlu, M. Ş., ve Ceylan, R. (2016) “İklim Değişimi Performans İndeksine Göre Ülkelerin CO₂ Salınım Yoğunluk Performansının Yakınsama Analizi”, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 11(2): 119-142.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Finansal Destek: Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

Teşekkür: -

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Conflict of Interest: The authors have no conflict of interest to declare.

Grant Support: The authors declared that this study has received no financial support.

Acknowledgement: -
