

## Avrupa Ülkelerinde CO<sub>2</sub> Emisyonu Yakınsamasının Fourier Koentegrasyon Testi ile Analizi

### Analysis of The Conversion of CO<sub>2</sub> Emissions in European Countries with the Fourier Cointegration Test

**Barış Erkan Yazıcı\*** , **Nilgün Çil\*\*** 

#### Öz

Bu çalışmada yakınsama hipotezi çerçevesinde Avrupa ülkeleri arasında CO<sub>2</sub> emisyonunun yakınsayıp yakınsamadığı, Tsong vd. (2016) tarafından geliştirilen Fourier koentegrasyon testi ile araştırılmıştır. Bu kapsamda 1965-2019 dönemi için Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Kıbrıs, Çekya, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Almanya, Macaristan, İtalya, İrlanda, İtalya, Lüksemburg, Hollanda, Norveç, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovakya, İspanya, İsveç, İsviçre, Türkiye ve İngiltere ülkelerine ve Avrupa'nın ortalama CO<sub>2</sub> emisyonuna ait yıllık veriler kullanılmıştır. Bu çalışmada yakınsama hipotezi kapsamında CO<sub>2</sub> emisyonunun yakınsak olup olmadığının Fourier koentegrasyon yöntemi ile sınıadığı literatürdeki ilk çalışmadır. Tsong vd. (2016) Fourier Koentegrasyon testi sonuçlarına göre Avrupa ülkeleri olan Avusturya, Bulgaristan, Çekya, Danimarka, Finlandiya, Lüksemburg, Hollanda, Norveç, Romanya ve Türkiye ülkelerine ait kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu ile Avrupa'nın ortalama kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu arasında koentegre ilişki tespit edilmiştir. Bu sonuçlardan hareketle söz konusu ülkelerin kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu ile Avrupa'nın ortalama kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu arasında yakınsamanın varlığı belirlenmiştir. Buna karşın, Kıbrıs, Almanya, Macaristan, İrlanda, İtalya, Polonya, Portekiz, Slovakya, İspanya, İsviçre ve İngiltere'ye ait kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu ile Avrupa'nın ortalama kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu arasında koentegre ilişki tespit edilememiştir. Dolayısıyla söz konusu ülkeler ile Avrupa'nın ortalama kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu arasında yakınsamaya rastlanılmamıştır.

#### Anahtar Kelimeler

CO<sub>2</sub> Emisyonu, Yakınsama, Fourier Koentegrasyon

#### Abstract

In this paper, whether the CO<sub>2</sub> emissions converge among European countries or not has been inquired within the frame of convergence hypothesis under Fourier cointegration test which was developed by Tsong et al. (2016). In this context, annual data concerning Austria, Belgium, Bulgaria, Cyprus, Czechia, Denmark, Finland, France, Germany, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey and England for the period of 1965-2019 were used with addition of annual data concerning Europe's average CO<sub>2</sub> emissions. This paper is the first study in the literature to test whether the CO<sub>2</sub> emission is convergent within the frame of the convergence hypothesis under the Fourier cointegration method. As stated in the results of the Tsong et al. (2016) Fourier Cointegration test, a cointegrated relationship was found between the per capita CO<sub>2</sub> emissions of Austria, Bulgaria, Czechia, Denmark, Finland, Luxembourg, Netherlands, Norway, Romania, Turkey and the average per capita CO<sub>2</sub> emission of Europe. Based on these results, it has been determined that there is a convergence between

\* **Sorumlu Yazar:** Barış Erkan Yazıcı (Arş. Gör. Dr.), Nişantaşı Üniversitesi, İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Finans ve Bankacılık Bölümü, İstanbul, Türkiye. E-posta: baris.yazici@nisantasi.edu.tr ORCID: 0000-0001-7789-2244

\*\* **Nilgün Çil** (Prof. Dr.), İstanbul Üniversitesi, İktisat Fakültesi, Ekonometri Bölümü, İstanbul, Türkiye. E-posta: nilgun.cil@istanbul.edu.tr ORCID: 0000-0001-8341-7335

**Atf:** Yazıcı, B. E. ve Çil, N. (2021). Avrupa Ülkelerinde CO<sub>2</sub> Emisyonu Yakınsamasının Fourier Koentegrasyon Testi ile Analizi. *EKOIST Journal of Econometrics and Statistics*, 35, 1-18. <https://doi.org/10.26650/ekoist.2021.35.959182>

the per capita CO<sub>2</sub> emissions of these countries and the average per capita CO<sub>2</sub> emissions of Europe. On the other hand, no cointegrated relationship has been found between the per capita CO<sub>2</sub> emissions of Cyprus, Germany, Hungary, Ireland, Italy, Poland, Portugal, Slovakia, Spain, Switzerland, UK and the average per capita CO<sub>2</sub> emissions of Europe. Therefore, no convergence was determined between these countries and average per capita CO<sub>2</sub> emissions of Europe.

**Keywords**

CO<sub>2</sub> Emission, Convergence, Fourier Cointegration

***Extended Summary***

Global warming and climate change are among the issues that governments are most interested in as of the 21st century. It has been revealed that greenhouse gases have the most important effect among the causes of global warming, since this subject has been discussed. Greenhouse gases consist of nitrous oxide, methane, water vapor and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) gases, and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) is seen as the most important gas that creates a greenhouse effect among these gases. The emission of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) gas, which is the result of fossil fuels used in many sectors of the economy, is of great importance in the energy policy process of governments because of this situation.

As a result of the emission of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) gas, which comes out with the combustion of primary fossil fuels, polluting the nature and increasing global warming seriously affects the environmental and climatic conditions of the world. For this reason, carbon dioxide emission per capita (CO<sub>2</sub>) is used as a variable in almost all scientific research reports in order to determine the environmental pollution levels of countries. Therefore, it is important to know the stationary characteristics of the per capita CO<sub>2</sub> emission variable in order to create policies to be put forward thinking that prevent both environmental pollution and global warming. Because if the CO<sub>2</sub> emission variable is in a static structure, the shocks affecting this variable will be temporary. However, if the CO<sub>2</sub> emission variable is not in a stable structure, the shocks affecting this variable will be permanent and the variable deviating from the trend value will not return to its old trend.

The aim of this study is to investigate whether the per capita CO<sub>2</sub> emission for selected countries of Europe converges to the average per capita CO<sub>2</sub> emission of Europe. In this context, the second section of the research includes the literature, and the third section includes the econometric method. Empirical findings including the data set are presented in the fourth section. Last section, the results obtained from the study are discussed. In this paper, whether the CO<sub>2</sub> emissions converge among European countries or not has been inquired within the frame of convergence hypothesis under Fourier cointegration test which was developed by Tsong et al. (2016). In this context, annual data concerning Austria, Belgium, Bulgaria, Cyprus, Czechia, Denmark, Finland, France, Germany, Hungary, Iceland, Ireland, Italy,

Luxembourg, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey and England for the period of 1965-2019 were used with addition of annual data concerning Europe's average CO<sub>2</sub> emissions. This paper is the first study in the literature to test whether the CO<sub>2</sub> emission is convergent within the frame of the convergence hypothesis under the Fourier cointegration method. As stated in the results of the Tsong et al. (2016) Fourier Cointegration test, a cointegrated relationship was found between the per capita CO<sub>2</sub> emissions of Austria, Bulgaria, Czechia, Denmark, Finland, Luxembourg, Netherlands, Norway, Romania, Turkey and the average per capita CO<sub>2</sub> emission of Europe. Based on these results, it has been determined that there is a convergence between the per capita CO<sub>2</sub> emissions of these countries and the average per capita CO<sub>2</sub> emissions of Europe. On the other hand, no cointegrated relationship has been found between the per capita CO<sub>2</sub> emissions of Cyprus, Germany, Hungary, Ireland, Italy, Poland, Portugal, Slovakia, Spain, Switzerland, UK and the average per capita CO<sub>2</sub> emissions of Europe. Therefore, no convergence was determined between these countries and average per capita CO<sub>2</sub> emissions of Europe.

It can be concluded that there is no problem with the environmental pollution policy for the countries that are close to the average per capita CO<sub>2</sub> emission of Europe and that they carry out policies in accordance with the European criteria. Contrary to this situation, it is suggested that for countries that are not convergent to Europe's average per capita CO<sub>2</sub> emissions, they should focus on environmental pollution policies and approach the average by adopting different policies apart from the ones they follow.

## Avrupa Ülkelerinde CO<sub>2</sub> Emisyonu Yakınsamasının Fourier Koentegrasyon Testi ile Analizi

Küresel ısınma ve iklim değişikliği, hükümetlerin 21. yüzyıl itibari ile en çok ilgilendikleri konular arasında yer almaktadır. Bu konu tartışılmaya başlandığından beri ise küresel ısınmanın sebepleri arasında en önemli etkiye sera gazlarının sahip olduğu ortaya konmuştur. Sera gazları, nitroksit, metan, su buharı ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) gazlarından meydana gelmektedir ve bu gazlar içerisinde karbondioksit (CO<sub>2</sub>), sera etkisi oluşturan en önemli gaz olarak görülmektedir. Ekonominin birçok sektöründe kullanılan fosil yakıtları sonucu ortaya çıkan karbondioksit (CO<sub>2</sub>) gazı salınımı, bu durumdan ötürü hükümetlerin enerji politikası sürecinde de büyük önem arz etmektedir. (Aslan, 2009:1428).

Birincil fosil yakıtlarının yanmasıyla beraber ortaya çıkan karbondioksit (CO<sub>2</sub>) gazının çevreye yayılımı sonucu doğayı kirletmesi ve küresel ısınmayı ciddi bir şekilde tehdit etmesi dünya çevre ve iklim şartlarını olumsuz etkilemektedir. Bundan dolayı ülkelerin çevresel kirlilik seviyelerini belirleyebilmek için bilimsel araştırma raporlarının hemen hemen hepsinde değişken olarak kişi başına düşen karbondioksit emisyonu (CO<sub>2</sub>) kullanılmaktadır. Dolayısıyla hem çevre kirliliğinin hem de küresel ısınmanın önüne geçilebilmesi adına ortaya konulacak politikaların oluşturulması için kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu değişkeninin durağanlık özelliklerinin bilinmesi önem arz etmektedir. Çünkü CO<sub>2</sub> emisyonu değişkeni durağan bir yapı içerisinde ise bu değişkeni etkileyecek şoklar geçici özellik gösterecektir. Fakat CO<sub>2</sub> emisyonu değişkeni durağan bir yapı içerisinde değil ise bu değişkeni etkileyecek şoklar kalıcı özellik gösterecek ve trend değerinden sapan değişken eski trendine dönmeyecektir (Acaravcı, 2013:2).

Bu çalışmanın amacı Avrupa'nın seçilmiş ülkeleri için kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonunun Avrupa'nın ortalama kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonuna yakınsayıp yakınsamadığını araştırmaktır. Bu çerçevede araştırmanın ikinci kısmında literatüre, üçüncü kısmında ise ekonometrik yönteme yer verilmektedir. Dördüncü kısımda veri setinin de yer aldığı ampirik bulgular sunulmaktadır. Beşinci ve son kısımda ise çalışmadan elde edilen sonuçlar tartışılmaktadır.

### Literatür

Acaravcı (2013), 1960 – 2009 dönemine ait 19 Kıta Avrupası ülkesi ve Türkiye için kişi başına CO<sub>2</sub> emisyonunun durağanlık özelliklerini incelemiştir. Tek yapısal kırılmayı dikkate alan birim kök testleri sonucuna göre İsviçre yakınsak bulunmuşken, Arnavutluk, Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Hollanda, İspanya, İsveç, İtalya, Lüksemburg, Macaristan, Norveç, Polonya, Portekiz, Romanya, Türkiye ve Yunanistan yakınsak bulunmamıştır. Çift yapısal kırılmayı dikkate alan birim kök testlerinin sonucuna göre ise Danimarka,

İsviçre, Norveç, Portekiz, Türkiye ve Yunanistan'da yakınsamaya rastlanılmışken; Arnavutluk, Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Finlandiya, Fransa, Hollanda, İspanya, İsveç, İtalya, Lüksemburg, Macaristan, Polonya ve Romanya'da ise yakınsama sonucuna rastlanılmamıştır.

Li ve Lin (2013), 1971–2008 döneminde kişi başına CO<sub>2</sub> emisyonlarındaki küresel yakınsamayı araştırmaktadır. Elde edilen sonuçlarda, gelir düzeyine göre gruplandırılan alt örnekler içinde mutlak bir yakınsama görülürken, 110 ülkeyi içeren tam örnekleme mutlak yakınsama konusunda çok az kanıtı rastlanmaktadır.

Camarero vd. (2013) yapmış oldukları çalışmada CO<sub>2</sub> emisyonu belirleyicilerinin OECD ülkeleri arasında birbirlerine yakınsayıp yakınsamadığını araştırmışlardır. Bu çalışmada her bir OECD ülkesi için veriler yıllık olup 1960 – 2008 dönemini kapsamaktadır. Elde edilen sonuçlara göre Orta ve Kuzey Avrupa'daki ülkeler yakınsama konusunda en iyi performansı gösterirken, Güney Avrupa'dan Portekiz ve Yunanistan en kötü performansı gösteren ülkeler arasında yer almaktadır. Ayrıca Akdeniz Avrupa ülkeleri arasında İspanya ve İtalya'da da yakınsamaya rastlamamışlardır.

Tiwari ve Mishra (2016), 18 Asya ülkesi için 1972 – 2010 dönemini kapsayan Dünya Kalkınma Göstergelerinden elde edilen verileri kullanarak CO<sub>2</sub> emisyonlarının yakınsamasını incelemiştir. Tiwari ve Mishra (2016) 18 Asya ülkesi için CO<sub>2</sub> emisyonunda yakınsama bulmuşlardır.

Lopez vd. (2016) yapmış oldukları çalışmada 10 Güney Amerika Bölgesi için 1980 – 2010 dönemlerini kapsayan kişi başına düşen CO<sub>2</sub> emisyonu yakınsamasını incelemiştir. Lopez vd. (2016) yaptıkları araştırmanın sonucuna göre ilgili bölgenin bir bütün olarak kişi başına düşen CO<sub>2</sub> emisyonuna ilişkin herhangi bir yakınsama modeli ortaya koymadığını belirtmişlerdir.

Ahmed vd. (2017), 1960 – 2010 dönemini kapsayan çalışmalarında tüm gelir gruplarını kapsayan 162 ülke için CO<sub>2</sub> emisyonu yakınsamasını incelemiştir. Serileri yıllık olarak elde etmişlerdir. Analizin sonucuna göre 18 yüksek gelirli OECD ülkesi, 2 yüksek gelirli OECD dışı ülke, 13 orta gelirli ülke ve 5 düşük gelirli ülke dahil 38 ülke arasında yakınsama elde edilmiştir. Geri kalan 124 ülke için ise CO<sub>2</sub> emisyon serilerinin durağan olmadığını bulmuşlar ve bu ülkelerde yakınsamaya rastlamamışlardır.

Kounetas (2018) yapmış olduğu çalışmada, 23 Avrupa ülkesinde 1970 – 2010 dönemleri arasında yıllık veriler ile enerji tüketimi ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının dağıtım dinamikleri, yoğunlukları ve karbonizasyon endekslerinin yakınsaklığını incelemiştir. 23 Avrupa ülkesi için kullanılan ilgili değişkenlerde yakınsama hipotezinin geçerli olmadığını sonucuna varmıştır.

Lin vd. (2018), 1950 – 2013 dönemlerini kapsayan ve G18 ülkelerini içeren çalışmalarında CO<sub>2</sub> emisyonu yakınsamasını incelemişlerdir. Araştırmanın sonucuna göre G18 ülkelerinin beşinde (Avustralya, Brezilya, Kanada, Almanya ve Hindistan) CO<sub>2</sub> emisyonlarının yakınsadığını tespit etmişlerdir.

Apergis ve Payne (2019) yaptıkları ampirik çalışmada NAFTA uygulanmasının Kanada, Meksika ve ABD ülkeleriyle ilişkili belirleyicilerinin (enerji yoğunluğu ve karbonizasyon indeksi) yakınsama davranışını ve CO<sub>2</sub> emisyonu yakınsamasını ne ölçüde etkilediğini incelemektedir. 1971 – 2014 dönemlerini kapsayan bu çalışmada NAFTA öncesi ve sonrası dönemde yakınsamaya rastlamışlardır. Bu durum sonucunda CO<sub>2</sub> emisyonu yakınsama davranışının ve belirleyicilerinin NAFTA'nın devreye girmesiyle önemli ölçüde değişmediğini ortaya koymuşlardır.

Churchill vd. (2020), 17 ülke için 1921 – 2014 dönemlerini kapsayan kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonunda stokastik yakınsamayı incelemişlerdir. Ampirik sonuçlara göre 11 ülke için (Bulgaristan, Çin, Kolombiya, Macaristan, Endonezya, Meksika, Peru, Polonya, Romanya, Rusya ve Ukrayna) kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonunda stokastik yakınsama belirlemişlerdir. Buna karşın Arjantin, Brezilya, Şili, Hindistan, Güney Afrika ve Türkiye için yakınsamaya dair herhangi bir kanıt bulamamışlardır.

## **Ekonometrik Yöntem**

### **Birim Kök Testleri**

Becker, Enders ve Lee (2006) yapmış oldukları çalışmada literatürdeki ilk yapısal kırılmalı birim kök testi olan Perron (1989) testinde sabitteki ve/veya trenddeki yapısal kırılmayı gölge değişken ile ele alınmasını eleştirerek yeni bir birim kök testi geliştirmişlerdir. Bunun dışında Leybourne vd. (1998) ve Harvey ve Mills (2002) birim kök testlerinde deterministik bileşenlerdeki yapısal kırılmanın bir yumuşak geçiş fonksiyonuyla tanımlanmasının da yapısal kırılma olgusunu yeterince kapsayamayacağını ifade etmişlerdir.

Deterministik bileşenlerde bilinmeyen formdaki ve sayıdaki yapısal kırılmayı Fourier terimleriyle genişleterek birim kök sınaması geliştirmişlerdir. Bu Fourier terimleri aslında sinüs ve kosinüs gibi trigonometrik terimleri ifade etmektedir. Bu test KPSS tipi bir durağanlık testidir ve bu sebeple Fourier KPSS durağanlık testi olarak da bilinmektedir.

Bu kısımda öncelikle deterministik bileşenlerdeki yapısal kırılmaları dikkate alan Fourier fonksiyonlarına ait teorik yapılar sunulmaktadır. Herhangi bir Fourier serisi aşağıdaki gibi gösterilmektedir (Becker vd., 2006:383):

$$\alpha(t) = \alpha_0 + \sum_{k=1}^n \alpha_k \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \sum_{k=1}^n b_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right); \quad n < \frac{T}{2} \quad (3.1)$$

(3.1) no'lu gösterimde k kısmi frekans sayısını, n toplam frekans sayısını, t deterministik trendi,  $\pi = 3,14$  ve T gözlem sayısını ifade etmektedir. Bu gösterimdeki toplam gözlem sayısı n'nin kolaylık açısından 1'e eşit olduğu varsayıldığında (3.1) no'lu gösterim aşağıdaki düzenlenmektedir (Becker vd., 2006:383):

$$\alpha(t) = \gamma_1 \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \gamma_2 \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) \quad (3.2)$$

(3.2) no'lu gösterimde yer alan Fourier terimlerinin aşağıda gösterilen yardımcı regresyon modeline dahil edilmesiyle yardımcı regresyon oluşturulmaktadır (Becker vd., 2006:385-386):

$$y_t = \alpha + \gamma_1 \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \gamma_2 \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + e_t \quad (3.3)$$

$$y_t = \alpha + \beta t + \gamma_1 \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \gamma_2 \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + e_t \quad (3.4)$$

Becker vd. (2006), (3.3) ve (3.4) no'lu denklemlerin en küçük kareler yöntemiyle çözülmesinin ardından kalıntıların elde edilerek ikinci aşamada kalıntılara KPSS (1992) tarafından önerilen test uygulanmaktadır. Test istatistikleri sabitli model ve trendli model için aşağıdaki biçimde elde edilebilmektedir (Becker vd., 2006: 386):

$$\tau_\mu(k) \text{ veya } \tau_\tau(k) = \frac{1}{T^2} \frac{\sum_{t=1}^T \tilde{S}_t(k)^2}{\tilde{\sigma}^2} \quad (3.5)$$

(3.5) no'lu gösterimde  $\tilde{S}_t(k)^2 = \sum_{j=1}^t \tilde{e}_j$  şeklinde elde edilmektedir. Burada  $\tilde{e}_j$  (3.3) ve (3.4) modellerinden elde edilen en küçük kareler kalıntılarıdır.  $\tilde{\sigma}^2 = \tilde{\gamma}_0 + 2 \sum w_j \tilde{\gamma}_j$  uzun dönem varyansın parametrik olmayan yöntemlerle elde edilen tahminini göstermektedir.

Bu testin uygulanmasında en önemli nokta (3.3) ve (3.4) no'lu denklemlerin tahmininde frekans sayısı olan k'nın doğru şekilde elde edilmesidir. Çünkü bu testin istatistiksel dağılımı k'nın doğru olarak belirlenmesine duyarlıdır. Becker vd. (2006) geliştirmiş oldukları testin kritik değerlerini elde ederken k frekans sayısına göre hesaplamışlardır. Uygun k'nın belirlenmesinde izlenen yol k için 1, 2, 3, 4 ve 5 değerleri tek tek verilerek (3.3) ve (3.4) modelleri tahmin edilmekte ve hangi k frekans sayısında modellere ait kalıntı kareler toplamı en küçük olarak elde ediliyorsa o frekans sayısı uygun frekans sayısı olarak değerlendirilmektedir.

Becker vd. (2006) tarafından geliştirilen Fourier durağanlık testinde sıfır hipotezi durağanlığı ifade ederken alternatif hipotez ise birim kökü ifade etmektedir. Hesaplanan  $\tau_\mu(k)$  ve  $\tau_\tau(k)$  test istatistikleri kritik değerlerden küçük olması

durumunda sıfır hipotezi reddedilememekte ve zaman serisinin durağan olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Diğer taraftan hesaplanan  $\tau_\mu(k)$  ve  $\tau_\tau(k)$  test istatistikleri kritik değerlerden büyük olması durumunda sıfır hipotezi reddedilmekte ve zaman serisinin birim kök sürecine sahip olduğu belirlenmektedir.

Bu testte önerilen bir diğer analiz ise zaman serisinin durağanlığının tespit edilmesinin ardından sinüs ve kosinüs olarak ifade edilen Fourier terimlerinin istatistiksel açıdan anlamlılığının sınanmasıdır. Becker vd. (2006) durağanlık koşulunun sağlanması altında bu sınamanın gerçekleştirilebilmesi için  $F_\mu(k)$  veya  $F_\tau(k)$  testlerini önermişlerdir. Bu test aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Becker vd., 2006: 391):

$$F_i(k) = \frac{(SSR_0 - SSR_1(k))/2}{SSR_1(k)/(T-q)}, \quad i = \mu, \tau \quad (3.6)$$

(3.6) no'lu gösterimde  $SSR_0$  trigonometrik terimlerin olmadığı durumda modelden elde edilen kalıntı kareler toplamını,  $SSR_1$  trigonometrik terimlerin olduğu durumdaki modelin kalıntı kareler toplamını göstermektedir. T toplam gözlem sayısını ve q ise toplam bağımsız değişken sayısını ifade etmektedir.

Bu testlerin dağılımları zaman serisinin durağanlığına bağlıdır. Dolayısıyla bu test sonucuna göre durağan olarak belirlenen zaman serisi için bu F testleri kullanılabilir. Sıfır hipotezi  $\gamma_1 = \gamma_2 = 0$  biçiminde, alternatif hipotez ise  $\gamma_1 \neq \gamma_2 \neq 0$  şeklinde oluşturulmaktadır.

Hesaplanan F test istatistiği  $F_\mu(\hat{k})$  veya  $F_\tau(\hat{k})$  kritik değerlerinden küçük olması durumunda sıfır hipotezi reddedilememekte ve Fourier terimlerinin istatistiksel açıdan anlamsızlığını göstermektedir. Bu sonuç Becker vd. (2006) tarafından önerilen Fourier durağanlık testinin kullanılmasının doğru olmadığını ve bunun yerine klasik KPSS testinin kullanılması gerektiğini göstermektedir.

Diğer taraftan hesaplanan F test istatistiği  $F_\mu(\hat{k})$  veya  $F_\tau(\hat{k})$  kritik değerlerinden büyük olması durumunda sıfır hipotezi reddedilmekte ve Fourier terimlerinin anlamlı olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Fourier terimlerinin anlamlı olması sonucu Becker vd. (2006) tarafından önerilen testin mevcut zaman serisinin durağanlığının araştırılmasında uygun test olduğunu ifade etmektedir.

### **Tsong vd. (2016) Fourier Koentegrasyon Testi**

Tsong vd. (2016) tarafından geliştirilen ve literatürdeki ilk Fourier koentegrasyon testi olan çalışmada temelde kalıntılara dayalı ve iki aşamalı bir yöntemin izlendiği test olarak nitelendirilebilmektedir. Koentegrasyon analizi uygulanan çalışmalar dikkate alındığında koentegrasyon kavramının karşılığı olan zaman serileri arasındaki uzun dönemli ilişkinin sınanmasında genellikle uzun döneme sahip veri setleriyle



çalışılmaktadır. Dolayısıyla veri setinin uzun döneme yayıldığı değişkenlerle yapılan analizlerde yapısal kırılmaya rastlamak olası bir durumdur. Tsong vd. (2016) bu noktaya dikkat çekerek uzun dönemli ilişkilerde ortaya çıkacak yapısal kırılmaların sayısının, konumunun ve biçiminin önem arz etmediği Fourier koentegrasyon testini geliştirmişlerdir.

Aslında bu test Shin (1994) tarafından geliştirilen koentegrasyon testinin Fourier fonksiyonlarıyla genişletilmiş halidir. Bu testteki önemli noktalardan bir tanesi de sıfır hipotezinin koentegrasyonun varlığı olarak tanımlanmasıdır. Esasen bu test aynı zamanda Becker vd. (2006) tarafından geliştirilen Fourier durağanlık testinin koentegrasyon versiyonudur.

Tsong vd. (2016) çalışmalarında koentegrasyon ilişkisini dikkate alan aşağıdaki yardımcı regresyon modelini önermişlerdir:

$$y_t = d_t + x_t' \beta + \eta_t, \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (3.7)$$

(3.7) no'lu gösterimde  $\eta_t = \gamma_t + v_{1t}, \gamma_{t-1} + u_t, \gamma_0 = 0$  ve  $x_t = x_{t-1} + v_{2t} = 0$  olarak tanımlanmıştır.  $u_t$  sıfır ortalamalı ve sabit varyanslı tesadüfi değişkendir.  $\gamma_t$  rassal yürüyüş süreci olarak tanımlanmaktadır. Bu gösterimde  $d_t$  deterministik bileşenler olarak ifade edilmektedir (Tsong vd., 2016: 1088):

$$d_t = \sum_{i=0}^m \delta_i t^i + f_t \quad (3.8)$$

Deterministik bileşenler arasındaki ayırım  $m$ 'nin 0'a veya 1'e eşit olması ile ifade edilebilmektedir.  $m = 0$  ise sabitli durumu  $m = 1$  ise sabitli ve trendli durumu göstermektedir.  $f_t$  ise aşağıdaki gösterilmektedir (Tsong vd., 2016: 1088):

$$f_t = \alpha_k \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \beta_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) \quad (3.9)$$

Bu yöntemde (3.7) no'lu gösterimde verilen  $y_t$  ve  $x_t$  değişkenlerinin birinci mertebeden durağan I(1) olması gerekmektedir. Bu testte koentegrasyonun varlığını ifade eden sıfır hipotezi  $\sigma_u^2 = 0$  olarak ifade edilirken koentegre ilişkinin olmadığını gösteren alternatif hipotez  $\sigma_u^2 > 0$  olarak gösterilmektedir.

Becker vd. (2006) ve Enders ve Lee (2012a, 2012b) tarafından belirtildiği üzere  $n$  toplam frekans sayısını göstermek üzere aşağıdaki eşitliğe ulaşılmaktadır:

$$B(t) = \alpha_0 + \sum_{k=1}^n \alpha_k \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \sum_{k=1}^n \beta_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right); \quad n \leq \frac{T}{2} \quad (3.10)$$

(3.10) no'lu gösterimde  $n$ 'in 1 eşit olduğu varsayılarak aşağıdaki denkleğe ulaşılmaktadır:

$$B(t) \approx f_t = \alpha_k \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \beta_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) \quad (3.11)$$

Nihai olarak koentegrasyonun varlığının sınanması amacıyla kullanılan yardımcı regresyon modeli aşağıdaki biçime dönüşmektedir (Tsong vd., 2016: 1089):

$$y_t = \sum_{i=0}^m \delta_i t^i + \alpha_k \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \beta_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + x_t' \beta + \sum_{i=-l}^l \varphi_i \Delta x_{t-i}' + v_{1t} \quad (3.12)$$

(3.12) no'lu yardımcı regresyon modeli en küçük kareler yöntemiyle tahmin edilememektedir.  $x_t$  bağımsız değişkeninin katı dışsal bir değişken olduğu varsayımının ihlal edilmesi durumunda (uygulamada bu durum oldukça kısıtlayıcı bir varsayımdır) klasik en küçük kareler tahminçileri etkin tahminçiler olamamaktadır. Bunun yerine uzun dönem denkleminde koentegre vektörün tahmininde dinamik en küçük kareler (dols) yönteminin kullanılması gerekmektedir. Dinamik en küçük kareler yönteminin kullanılmasıyla etkin tahminçiler elde edilebilmektedir.

Tsong vd. (2016) tarafından geliştirilen Fourier Koentegrasyon testi iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada (3.12) no'lu yardımcı regresyon modeli dinamik en küçük kareler yöntemi ile tahmin edilmektedir. Bu testte de frekans sayısı  $k$ 'nın doğru şekilde belirlenmesi önem arz etmektedir. Yardımcı regresyon modelinin tahmini aşamasında  $k$  için 1, 2 ve 3 değerleri denenmektedir. Hangi frekans sayısında elde edilen modele ait kalıntı kareler toplamı en küçük ise o frekans uygun frekans sayısı olarak belirlenir. İkinci aşamada ise uygun frekans sayısı belirlenen modele ait kalıntılara KPSS tipi birim kök testi uygulanmaktadır. Elde edilen test istatistiği aşağıdaki gibidir:

$$CI_f^m = T^{-2} \hat{\omega}_1^{-2} \sum_{t=1}^T S_t^2 \quad (3.13)$$

Sabitli ve sabitli ve trendli durum için ayrı ayrı elde edilen kritik değerlerle yukarıda gösterilen test istatistiği karşılaştırılmaktadır.  $CI_f^m$  test istatistiği kritik değerlerden daha küçükse koentegrasyonun varlığını sıfır hipotezi reddedilememektedir. Diğer taraftan  $CI_f^m$  test istatistiğinin kritik değerlerden büyük olması durumunda ise sıfır hipotezi reddedilmekte ve değişkenler arasında uzun dönemli ilişki olmadığı sonucuna ulaşılmaktadır.

Genel olarak Fourier tipi testlerde Fourier terimlerinin anlamlılığının sınanması durumu Tsong vd. (2016) tarafından geliştirilen Fourier koentegrasyon testi için de geçerlidir. Bu testte değişkenler arasında koentegre ilişkinin bulunması durumunda ve şartında Fourier terimlerinin anlamlılığı sınanmaktadır. (3.12) no'lu yardımcı regresyon modelinde yer alan  $\alpha_k = \beta_k = 0$  şeklindeki sıfır hipotezi  $\alpha_k \neq \beta_k \neq 0$  alternatif hipotezine karşı test edilmektedir. Bu test için elde edilen F istatistiğinin Tsong vd. (2016) tarafından hesaplanan kritik değerlerden küçük olması durumunda sıfır hipotezi reddedilmekte ve Fourier terimlerinin anlamsız olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Bu sonuca göre Tsong vd. (2016)'nın önerdiği Fourier koentegrasyon testi kullanılamayacak ve bunun yerini Shin (1994) geliştirilen koentegrasyon testi alternatif olarak kullanılabilir. Sıfır hipotezinin reddedilmesi durumunda ise

Fourier terimlerinin anlamlı olduğu belirlenecek ve Tsong vd. (2016)'nın testinin uygun test olduğu ifade edilecektir.

Bu test literatürdeki ilk Fourier koentegrasyon testi olmasına ve kullanılabilirliği açısından sorun yaşanmamasına rağmen bir dezavantajı bulunmaktadır. Tsong vd. (2016) geliştirmiş oldukları bu testte koentegrasyonun varlığı tespit edildikten ve uzun dönem modeliyle birlikte koentegre vektör elde edildikten sonra bir hata düzeltme modeli tanımlanmamıştır. Dolayısıyla bu testin uygulanmasıyla elde edilebilecek sonuçlar, koentegrasyonun varlığı veya yokluğu ve koentegre ilişkinin bulunması durumunda ise uzun dönem modeline ait katsayı tahminleridir.

### Ampirik Bulgular

Yapılan çalışmada seçilmiş Avrupa ülkelerinin (Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Kıbrıs, Çekya, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Almanya, Macaristan, İzlanda, İrlanda, İtalya, Lüksemburg, Hollanda, Norveç, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovakya, İspanya, İsveç, İsviçre, Türkiye, İngiltere) karbondioksit emisyonu yakınsaması incelenmekte ve 1965-2019 arasındaki dönemi kapsayan yıllık veriler kullanılmaktadır. Verilere British Petrol istatistik veri tabanından ulaşılmıştır. Yakınsama hipotezinin geçerliliğinin sınanmasında genellikle birim kök testleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak Narayan (2007) tarafından belirtildiği üzere yakınsama hipotezinin koentegrasyon analizi ile sınanabileceği temel alınarak Avrupa ülkelerinin CO<sub>2</sub> emisyonu açısından yakınsama olup olmadığı Tsong vd. (2016) tarafından geliştirilen Fourier Koentegrasyon testi ile sınanmıştır. Ampirik uygulamada aşağıdaki model yapısı dikkate alınmıştır:

$$\ln CO_{2i,t} = \alpha + \beta \ln \bar{CO}_{2t} + \varepsilon_t \quad (4.1)$$

(4.1) no'lu gösterimde  $CO_{2i,t}$  i. ülkenin t zamanında yapmış olduğu CO<sub>2</sub> emisyonu düzeyini,  $\bar{CO}_{2t}$  ise t zamanında seçilmiş Avrupa ülkelerinin ortalama CO<sub>2</sub> emisyonu düzeyini ifade etmektedir.  $\ln$  ise doğal logaritmayı göstermektedir. i. ülkenin CO<sub>2</sub> emisyonu değişkeni ile seçilmiş Avrupa ülkelerinin ortalama CO<sub>2</sub> emisyonu değişkeni arasında koentegre ilişkinin varlığı, i. ülkenin CO<sub>2</sub> emisyonunun seçilmiş Avrupa ülkelerinin ortalamasına yakınsadığı anlamını taşımaktadır.

Tablo 1

*ADF Birim Kök Testi Sonuçları*

| Ülkeler     | ADF Test İstatistiği (Düzy) |
|-------------|-----------------------------|
| Avusturya   | -2.415* (0)                 |
| Belçika     | -2.255*(0)                  |
| Bulgaristan | -1.318* (0)                 |
| Kıbrıs      | -1.187* (0)                 |
| Çekya       | -2.562* (1)                 |
| Danimarka   | -2.050* (0)                 |
| Finlandiya  | -2.353* (0)                 |
| Fransa      | -2.933* (0)                 |
| Almanya     | -2.722* (0)                 |
| Macaristan  | -1.964* (0)                 |
| İzlanda     | -3.260* (1)                 |
| İrlanda     | -1.626* (0)                 |
| İtalya      | -3.263* (0)                 |
| Lüksemburg  | -2.118* (1)                 |
| Hollanda    | -2.577* (0)                 |
| Norveç      | -3.177* (0)                 |
| Polonya     | -2.508* (0)                 |
| Portekiz    | -0.709* (0)                 |
| Romanya     | -2.944* (0)                 |
| Slovakya    | -2.837* (0)                 |
| İspanya     | -1.522* (0)                 |
| İsveç       | -0.504* (0)                 |
| İsviçre     | -3.323* (0)                 |
| Türkiye     | -2.561* (0)                 |
| İngiltere   | -1.021* (0)                 |
| Ortalama    | -2.857* (0)                 |

\*%5, anlamlılık düzeyinde sıfır hipotezi olan birim kökün varlığının reddedilemediğini göstermektedir.

Tablo 1’de sunulan ADF birim kök testi sonuçlarına göre Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Kıbrıs, Çekya, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Almanya, Macaristan, İzlanda, İrlanda, İtalya, Lüksemburg, Hollanda, Norveç, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovakya, İspanya, İsveç, İsviçre, Türkiye ve İngiltere’nin kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu değişkenleri ve bu ülkelere ait ortalama kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu değişkeninin %5 anlamlılık düzeyinde birim köke sahip olduğu görülmektedir. ADF birim kök testinin yapısal kırılmayı dahil etmediğinden dolayı güçsüz bir test olduğu bilindiğinden değişkenlerin düzeylerine Becker vd. (2006) tarafından geliştirilen Fourier durağanlık testi de uygulanmıştır. Bu teste ait sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2

*Fourier Durağanlık Testi Sonuçları*

| Ülkeler     | k* | Lm Test İst. | F-İstatistiği |
|-------------|----|--------------|---------------|
| Avusturya   | 2  | 0.145*       | 38.754**      |
| Belçika     | 2  | 0.099        | 55.921        |
| Bulgaristan | 1  | 0.068*       | 102.676**     |
| Kıbrıs      | 1  | 0.082*       | 57.136**      |
| Çekya       | 1  | 0.064*       | 44.442**      |
| Danimarka   | 1  | 0.071*       | 41.289**      |
| Finlandiya  | 1  | 0.068*       | 26.720**      |
| Fransa      | 2  | 0.108        | 46.090**      |
| Almanya     | 1  | 0.074*       | 47.807**      |
| Macaristan  | 1  | 0.063*       | 67.491**      |
| İzlanda     | 2  | 0.116        | 17.679**      |
| İrlanda     | 1  | 0.066*       | 34.163**      |
| İtalya      | 1  | 0.068*       | 20.862**      |
| Lüksemburg  | 1  | 0.101*       | 28.480**      |
| Hollanda    | 2  | 0.145*       | 22.393**      |
| Norveç      | 2  | 0.142*       | 26.752**      |
| Polonya     | 1  | 0.066*       | 130.493**     |
| Portekiz    | 1  | 0.064*       | 100.166**     |
| Romanya     | 1  | 0.067*       | 149.036**     |
| Slovakya    | 1  | 0.065*       | 131.649**     |
| İspanya     | 2  | 0.142*       | 26.050**      |
| İsveç       | 2  | 0.110        | 22.627**      |
| İsviçre     | 1  | 0.075*       | 13.354**      |
| Türkiye     | 1  | 0.082*       | 65.734**      |
| İngiltere   | 1  | 0.076*       | 23.145**      |
| Ortalama    | 1  | 0.067*       | 20.315**      |

\*%5, anlamlılık düzeyinde sıfır hipotezi olan durağanlığın varlığının reddedildiğini göstermektedir.

\*\*%5 anlamlılık düzeyinde Fourier terimlerinin istatistiksel açıdan anlamlılığını göstermektedir.

Tablo 2’de sunulan Fourier durağanlık sonuçlarından hareketle %5 anlamlılık düzeyinde Avusturya, Bulgaristan, Kıbrıs, Çekya, Danimarka, Finlandiya, Almanya, Macaristan, İrlanda, İtalya, Lüksemburg, Hollanda, Norveç, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovakya, İspanya, İsveç, Türkiye ve İngiltere’nin kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu değişkenleri ve bu ülkelere ait ortalama kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu değişkeninin düzeyde birim köke sahip olduğu anlaşılmıştır. Ancak Belçika, Fransa, İzlanda ve İsveç ülkelerine ait kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu değişkenlerinin %5 anlamlılık düzeyinde düzeyde durağan olduğu belirlenmiştir. Söz konusu değişkenlerin I(0) olduğu kararına varılmıştır. Ayrıca düzeyde durağan olduğu belirlenen bu ülkelere ait değişkenlerin durağanlığının sınanmasında Fourier terimlerinin %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel açıdan anlamlı olduğu tespit edildiğinden bu ülkeler için kullanılan Becker vd. (2006) Fourier durağanlık testinin uygun olduğu da görülmüştür.

Avusturya, Bulgaristan, Kıbrıs, Çekya, Danimarka, Finlandiya, Almanya, Macaristan, İrlanda, İtalya, Lüksemburg, Hollanda, Norveç, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovakya, İspanya, İsveç, Türkiye ve İngiltere’nin kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu

değişkenlerinin düzeyde durağan olmadığının belirlenmesinin ardından birinci farklarına ADF birim kök testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3

*ADF Birinci Fark Birim Kök Testi Sonuçları*

| Ülkeler     | ADF Test İstatistiği (Birinci Fark) |
|-------------|-------------------------------------|
| Avusturya   | -7.645* (0)                         |
| Bulgaristan | -5.786* (0)                         |
| Kıbrıs      | -5.904* (0)                         |
| Çekya       | -5.156* (0)                         |
| Danimarka   | -8.685* (0)                         |
| Finlandiya  | -8.095* (0)                         |
| Almanya     | -7.717* (0)                         |
| Macaristan  | -5.643* (0)                         |
| İrlanda     | -6.236* (0)                         |
| İtalya      | -4.816* (0)                         |
| Lüksemburg  | -5.386* (0)                         |
| Hollanda    | -6.005* (0)                         |
| Norveç      | -6.351* (0)                         |
| Polonya     | -5.886* (0)                         |
| Portekiz    | -8.357* (0)                         |
| Romanya     | -4.891* (0)                         |
| Slovakya    | -7.209* (0)                         |
| İspanya     | -6.567* (0)                         |
| İsviçre     | -8.524* (0)                         |
| Türkiye     | -8.023* (0)                         |
| İngiltere   | -7.825* (0)                         |
| Ortalama    | -5.885* (0)                         |

\* %5, anlamlılık düzeyinde sıfır hipotezi olan birim kökün varlığının reddedildiğini göstermektedir.

Avusturya, Bulgaristan, Kıbrıs, Çekya, Danimarka, Finlandiya, Almanya, Macaristan, İrlanda, İtalya, Lüksemburg, Hollanda, Norveç, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovakya, İspanya, İsviçre, Türkiye ve İngiltere'nin kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu değişkenlerinin ve ortalama kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu değişkeninin birinci farkında (I(1)) durağan hale geldiği sonucuna varılmıştır.

Avusturya, Bulgaristan, Kıbrıs, Çekya, Danimarka, Finlandiya, Almanya, Macaristan, İrlanda, İtalya, Lüksemburg, Hollanda, Norveç, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovakya, İspanya, İsviçre, Türkiye ve İngiltere'nin kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu değişkenlerinin ve ortalama kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu değişkeninin I(1) olduğunun belirlenmesinin ardından Tsong vd. (2016) tarafından geliştirilen Fourier koentegrasyon testine geçilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 4'te gösterilmiştir:

Tablo 4

*Tsong vd. (2016) Fourier Koentegrasyon Test Sonuçları*

| Ülkeler     | k* | Test İst. | F-İstatistiği |
|-------------|----|-----------|---------------|
| Avusturya   | 2  | 0.043*    | 10.515**      |
| Bulgaristan | 2  | 0.063*    | 10.981**      |
| Kıbrıs      | 1  | 0.084     | 12.921        |
| Çekya       | 2  | 0.076*    | 11.949**      |
| Danimarka   | 1  | 0.043*    | 9.196**       |
| Finlandiya  | 1  | 0.047*    | 17.108**      |
| Almanya     | 1  | 0.050     | 15.213        |
| Macaristan  | 1  | 0.100     | 6.908         |
| İrlanda     | 1  | 0.051     | 6.132         |
| İtalya      | 1  | 0.072     | 10.179        |
| Lüksemburg  | 1  | 0.044*    | 7.816**       |
| Hollanda    | 2  | 0.080*    | 5.117**       |
| Norveç      | 3  | 0.056*    | 6.596**       |
| Polonya     | 1  | 0.059     | 5.527         |
| Portekiz    | 2  | 0.102     | 8.238         |
| Romanya     | 2  | 0.066*    | 10.095**      |
| Slovakya    | 1  | 0.070     | 7.551         |
| İspanya     | 2  | 0.100     | 7.208         |
| İsviçre     | 1  | 0.089     | 17.766        |
| Türkiye     | 2  | 0.081*    | 8.450**       |
| İngiltere   | 1  | 0.050     | 7.403         |

\*%5, anlamlılık düzeyinde sıfır hipotezi olan koentegrasyonun varlığının reddedilemediğini göstermektedir.

\*\*%5 anlamlılık düzeyinde Fourier terimlerinin istatistiksel açıdan anlamlılığını göstermektedir.

Tablo 4'te verilen Tsong vd. Fourier Koentegrasyon testi sonuçlarına göre %5 anlamlılık seviyesinde Avusturya, Bulgaristan, Çekya, Danimarka, Finlandiya, Lüksemburg, Hollanda, Norveç, Romanya ve Türkiye ülkeleri için koentegrasyonun varlığını ifade eden sıfır hipotezi reddedilememektedir. Ayrıca koentegrasyonun varlığının tespit edilmesinin ardından Fourier terimlerinin %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel açıdan anlamlı olduğu tespit edildiğinden bu ülkeler için kullanılan Tsong vd. (2016) Fourier koentegrasyon testinin uygun olduğu da görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre Avrupa ülkeleri olan Avusturya, Bulgaristan, Çekya, Danimarka, Finlandiya, Lüksemburg, Hollanda, Norveç, Romanya ve Türkiye'nin kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu, Avrupa ortalamasına yakınsamaktadır. Başka bir ifade ile bu ülkelerin kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonları ile Avrupa'nın ortalama kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu ortak hareket etmektedir.

## Sonuç

Bu çalışmanın amacı yakınsama hipotezi çerçevesinde Avrupa ülkeleri arasında CO<sub>2</sub> emisyonunun yakınsayıp yakınsamadığının Tsong vd. (2016) tarafından geliştirilen Fourier koentegrasyon testi ile araştırmaktır. Bu kapsamda 1965-2019 dönemi için Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Kıbrıs, Çekya, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Almanya, Macaristan, İzlanda, İrlanda, İtalya, Lüksemburg, Hollanda, Norveç, Polonya,

Portekiz, Romanya, Slovakya, İspanya, İsveç, İsviçre, Türkiye ve İngiltere ülkelerine ve Avrupa'nın ortalama CO<sub>2</sub> emisyonuna ait yıllık veriler kullanılmıştır. Bu çalışmada yakınsama hipotezi kapsamında CO<sub>2</sub> emisyonunun yakınsak olup olmadığının Fourier koentegrasyon yöntemi ile sınındığı literatürdeki ilk çalışmadır.

Tsong vd. (2016) Fourier Koentegrasyon testi sonuçlarına göre Avrupa ülkeleri olan Avusturya, Bulgaristan, Çekya, Danimarka, Finlandiya, Lüksemburg, Hollanda, Norveç, Romanya ve Türkiye ülkelerine ait kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu ile Avrupa'nın ortalama kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu arasında koentegre ilişki tespit edilmiştir. Bu sonuçlardan hareketle söz konusu ülkelerin kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu ile Avrupa'nın ortalama kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu arasında yakınsamanın varlığı belirlenmiştir. Buna karşın, Kıbrıs, Almanya, Macaristan, İrlanda, İtalya, Polonya, Portekiz, Slovakya, İspanya, İsviçre ve İngiltere'ye ait kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu ile Avrupa'nın ortalama kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu arasında koentegre ilişki tespit edilememiştir. Dolayısıyla söz konusu ülkeler ile Avrupa'nın ortalama kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu arasında yakınsamaya rastlanılmamıştır.

Avrupa'nın ortalama kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonuna yakınsak bulunan ülkeler için çevre kirliliği politikası ile ilgili herhangi bir sorunun görülmediği, Avrupa kriterlerine uygun bir şekilde politika yürüttükleri sonucuna varılabilmektedir. Bu durumun aksine Avrupa'nın ortalama kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonuna yakınsak olmayan ülkeler için ise çevre kirliliği politikaları üzerine yoğunlaşmaları gerektiği ve izledikleri politikalar dışında daha farklı politikalar benimseyerek ortalamaya yaklaşmaları önerilmektedir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak veya kullanımını artırmak, sera gazlarının emisyonunu azaltacağından CO<sub>2</sub> emisyonu yakınsamasına katkı sağlayacaktır.

---

**Hakem Değerlendirmesi:** Dış bağımsız.

**Yazar Katkısı:** Çalışma Konsepti/Tasarımı: N.Ç.; Veri Toplama: B.E.Y.; Veri Analizi /Yorumlama: B.E.Y.; Yazı Taslağı: N.Ç.; İçeriğin Eleştirel İncelemesi: N.Ç.; Son Onay ve Sorumluluk: B.E.Y.

**Çıkar Çatışması:** Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir.

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

**Peer-review:** Externally peer-reviewed.

**Author Contributions:** Conception/Design of study: N.Ç.; Data Acquisition: B.E.Y.; Data Analysis/Interpretation: B.E.Y.; Drafting Manuscript: N.Ç.; Critical Revision of Manuscript: N.Ç.; Final Approval and Accountability: B.E.Y.

**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.

---

## Kaynakça/References

Acaravcı, A. (2013). Yapısal Kırılmalar ve Karbon Emisyonu: Kıta Avrupa Ülkeleri İçin Ampirik Bir Uygulama. *Neşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (3), 1–11.



- Ahmed, M., Khanc, A. M., Bibid, S., 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>
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2019). NAFTA and the convergence of CO2 emissions intensity and its determinants. *International Economics*. doi:10.1016/j.inteco.2019.10.002
- Aslan, A. (2009). Kişi Başına Karbondioksit Emisyonu Yakınsama Analizi: 1950–2004. *Ege Akademik Bakış*, 9(4), 1427–1439.
- Becker, R., Enders, W. ve 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.
- Camarero, M., Picazo-Tadeo A.J., Tamarit, C. (2013). Are the determinants of CO2 emissions converging among OECD countries? *Economics Letter*, 118(1), 159–162. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2012.10.009>.
- Churchill, A., S., Inekwe J., Ivanovski, K. (2020). Stochastic convergence in per capita CO<sub>2</sub> emissions: Evidence from emerging economies, 1921–2014, *Energy Economics*, Volumu 86, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104659>.
- Dickey, D. A., Fuller, W. A. (1981). Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. *Econometrica*, 49, 1057–1072.
- Enders, W., Lee, J. (2012a). The flexible Fourier form and Dickey–Fuller type unit root tests. *Economics Letter*, 117(1), 196–199 <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2012.04.081>.
- Enders, W., Lee, J. (2012b). A unit root test using 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>.
- Harvey, D., Mills, T. (2002). Unit roots and double smooth transitions. *Journal of Applied Statistics*, 29(5), 675–683, <https://doi.org/10.1080/02664760120098739>.
- Husted, S. (1992), The Emerging U.S. Current Account Deficit in the 1980s: A Cointegration Analysis. *The Review of Economics and Statistics*, 74(1), 159–166.
- Kwiatkowski, D., Phillips, P. C. B., Schmidt, P., 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, 159–178.
- Kounetas, K. E. (2018). Energy consumption and CO2 emissions convergence in European Union member countries. A tonneau des Danaïdes? *Energy Economics*, 69, 111–127. doi:10.1016/j.eneco.2017.11.015
- Leybourne, S., Newbold, P., Vougas, D. (1998). Unit Roots and Smooth Transitions. *Journal of Time Series Analysis*, 19(1), 83–97, <https://doi.org/10.1111/1467-9892.00078>.
- Li, X., & Lin, B. (2013). Global convergence in per capita CO2 emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 357–363. doi:10.1016/j.rser.2013.03.048.
- Lin, J., Inglesi-Lotz, R., & Chang, T. (2018). Revisiting CO2 emissions convergence in G18 countries. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 13(5), 269–280. doi:10.1080/15567249.2018.1460422.
- Narayan, P. K. (2007). Testing convergence of Fiji’s tourism markets, *Pacific Economic Review*, Vol 12, s. 651–663.
- Perron, P. (1989). The Great Crash, the oil price shock and the unit root hypothesis, *Econometrica* 57, 1361–1401.

- Robalino-López, A., García-Ramos, J. E., Golpe, A. A., & Mena-Nieto, A. (2016). CO2 emissions convergence among 10 South American countries. A study of Kaya components (1980–2010). *Carbon Management*, 7(1-2), 1–12. doi:10.1080/17583004.2016.1151502.
- Shin, Y., (1994), A residual-based test of the null of cointegration against the alternative of no cointegration. *Economic Theory*, 10(1), 91–115.
- Tiwari, A. K., Nasir, M. A., Shahbaz, M., & Raheem, I. D. (2020). Convergence and Club Convergence of CO2 Emissions at State Levels: A Nonlinear Analysis of the USA. *Journal of Cleaner Production*, 125093. doi:10.1016/j.jclepro.2020.125093
- Tiwari, C., & Mishra, M. (2016). Testing the CO2 Emissions Convergence: Evidence from Asian Countries. *IIM Kozhikode Society & Management Review*, 6(1), 67–72. doi:10.1177/2277975216674073
- Tsong, C. C., Lee, C. F., Tsai, L. J., Hu, T. C. (2016). The Fourier approximation and testing for the null of cointegration, *Empirical Economics*, 51(3), 1085–1113.