

DÜŞÜK GELİRLİ ÜLKELERDE KİŞİ BAŞINA KARBONDİOKSİT EMİSYONU DURAĞANLIĞININ TEST EDİLMESİ: DOĞRUSAL OLMAYAN BİRİM KÖK ANALİZİ

Testing Stationarity of Per Capita Carbon Dioxide Emissions in Low-Income Countries: Nonlinear Unit Root Analysis

Nurgün TOPALLI*

Öz

CO₂ (karbondioksit) emisyonu, iklim değişikliğinin ana nedeni olarak görölmektedir. Artan sayıda çalışmada kiři başına dűřen CO₂ emisyon serilerinin durağanlığı ve birim kök özellikleri, farklı teknikler kullanılarak araştırılmaktadır. Bu çalışmada dűřük-gelirli ölkelerde kiři başına dűřen CO₂ emisyonunun durağanlığı yapısal kırılmalı ve doğrusal olmayan birim kök testleri ile analiz edilmiştir. 1960-2016 dőnemi için yapısal kırılmalı Zivot-Andrews (1992), Lumsdaine ve Papell (1997), Lee ve Strazicich (2003, 2004) (LM) birim kök testleri uygulanmıştır. Kiři başına CO₂ emisyon serisi doğrusal olmama durumu gösterdiği için, analiz Leybourne, Newbold ve Vougas (1998) (LNV), Harvey ve Mills (2002) (HM), Kapetanios, Shin ve Snell (2003) (KSS), Sollis (2009), Kruse (2011), Hepsaė (2019) yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hem yapısal kırılmalı Zivot-Andrews (1992), Lumsdaine ve Papell (1997), Lee ve Strazicich (2003, 2004) (LM) birim kök testlerine göre hem de doğrusal olmayan Leybourne vd. (1998) (LNV), Harvey ve Mills (2002) (HM), Kapetanios vd. (2003), Sollis (2009), Kruse (2011), Hepsaė (2019) birim kök testlerine göre kiři başına CO₂ emisyonunun durağanlığı konusunda karma bulgular elde edilmiştir. Tüm bulgular, politika yapıcılar için çevresel ekonomik sonuçlar sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler:

CO₂ Emisyonu,
Dűřük Gelirli Ölkeler,
Doğrusal Olmayan
Birim Kök Testleri.

JEL Kodları:

C22, F64, Q53,
Q54

Abstract

CO₂ (carbon dioxide) emissions have been viewed as the main cause of climate change. An increasing number of studies investigate the stationarity and unit root properties of CO₂ emissions series per capita using different techniques. In this study, the stationarity of CO₂ emissions per capita in low-income countries is analyzed using structural breaks and nonlinear unit root tests. Zivot-Andrews (1992), Lumsdaine and Papell (1997), Lee and Strazicich (2003, 2004) (LM) unit root tests were applied for the period 1960-2016. Since the CO₂ emissions series per capita showed nonlinearity condition, the analysis was performed by using Leybourne, Newbold and Vougas (1998) (LNV), Harvey and Mills (2002) (HM), Kapetanios, Shin and Snell (2003) (KSS), Sollis (2009), Kruse (2011), Hepsag (2019) methods. According to both Zivot-Andrews (1992), Lumsdaine and Papell (1997), Lee and Strazicich (2003, 2004) (LM) unit root tests with structural breaks and nonlinear Leybourne et al. (1998) (LNV), Harvey and Mills (2002) (HM), Kapetanios et al. (2003) (KSS), Sollis (2009), Kruse (2011), Hepsag (2019) unit root tests, mixed findings were obtained on the stationarity of CO₂ emissions per capita. All findings provide environmental economic consequences for policy makers.

Keywords:

CO₂ Emissions, Low-
Income Countries,
Nonlinear Unit Root
Tests.

JEL Codes:

C22, F64, Q53,
Q54

* Do. Dr., Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniöersitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Faköltesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, nurguntopalli@nevsehir.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2299-5363

1. Giriş

CO₂ (karbondioksit) emisyonu önemli bir çevre kirliliği göstergesidir. Petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtların kullanımıyla salınan ve atmosferde sera etkisine neden olan başlıca gazın karbondioksit olduğu kabul edilmektedir (Yavuz ve Yilanci, 2013, s. 283-284). Dünya enerji tüketimindeki artış CO₂ emisyonunun yükselmesine ve küresel ısınmaya neden olmaktadır (Lee ve Chang, 2008, s. 1468). Bu nedenle ülkelerin CO₂ emisyonları küresel ısınma açısından büyük endişe kaynağı olarak görülmektedir (Heil ve Selden, 1999, s. 223)

Literatürde CO₂ emisyonunun durağan olup olmadığını birim kök testleri ile sınanan geniş bir literatür vardır. Uygulamada CO₂ emisyonunun durağanlığı genel olarak stokastik yakınsama çerçevesinde ele alınmaktadır. Stokastik yakınsama şokların etkileri ile ilgili olup, bu yakınsama türünde şokların göreceli değişkenler üzerindeki kalıcılığı üzerinde odaklanılmaktadır. Zaman serisi yakınsama testleri tipik olarak birim kök testleri kullanılarak uygulanmaktadır. Seri birim köke sahip ise şoklar kalıcıdır ve yakınsama gerçekleşmeyecektir. Eğer seri durağanlık özelliği gösterirse stokastik yakınsama göreceli değişkenin durağanlığına eşdeğer kabul edilmektedir. Bu durum i ülkesinde, değişkene yönelik gelen bir şokun ardından değişkenin deterministik ortalamasına/eğilimine döneceği anlamına gelmektedir. Diğer bir ifadeyle birim kök boş hipotezinin reddedilmesi zaman serilerinin durağanlığını, şokun etkisinin zamanla dağıldığını ve serilerin yakınsak bir davranışa sahip olduğunu göstermektedir. Birim kök boş hipotezinin reddedilememesi ise değişkenin yakınsak bir modele sahip olmadığı anlamına gelmektedir (Bayer ve Juessen, 2006, s. 4; Fallahi ve Vio, 2015, s. 246-247). Ülkeler ve bölgeler arasındaki kişi başına düşen CO₂ emisyon farklılıkları, gelir büyüme literatüründen alınan yakınsama ölçümleri ile araştırılmaktadır. İlgili literatür CO₂ emisyonu açısından değerlendirildiğinde stokastik yakınsamada kirlilik serilerinde birim kökün varlığını reddetmek, seriye yönelik rastgele bir şokun sabite veya sabit ve trende geri dönme eğiliminde olduğunu ifade etmektedir (Criado ve Grether, 2010, s. 4).

Bu çalışmada düşük gelirli ülkelerin 1960-2016 dönemi için kişi başına CO₂ emisyon miktarının durağanlık özelliği test edilmiştir. Konuyla ilgili yapılan uygulamalı çalışmaların büyük bir bölümü OECD üyesi ülkeler ve ülke gruplarına yöneliktir. Literatürde konuyu gelir gruplarına göre analiz eden çalışma sayısı sınırlıdır. Çalışmaların büyük bir bölümünde, serilerin doğrusal olduğu varsayımına dayanan birim kök testleri ve/veya yapısal kırılmaların ani değişimler şeklinde ele alındığı yapısal kırılmalı birim kök testleri kullanılmıştır. Son yıllarda bu geçişlerin ani (sharp) şekilde olmaktan çok yumuşak (smooth) geçişli şekilde olabileceğine yönelik yeni testler geliştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı düşük gelirli ülkelerin kişi başına CO₂ emisyon miktarını yumuşak geçişe izin veren doğrusal olmayan birim kök testleri ile analiz etmek ve CO₂ serisinin düşük gelirli ülkeler için durağan olup olmadığını test etmektir. Çalışmada bulguları karşılaştırmak amacıyla hem yapısal kırılmalı Zivot-Andrews (1992), Lumsdaine ve Papell (1997), Lee ve Strazicich (2003, 2004) LM birim kök testleri, hem de doğrusal olmayan Leybourne vd. (1998), Harvey ve Mills (2002), Kapetanios vd. (2003), Sollis (2009), Kruse (2011), Hepsağ (2019) birim kök testleri kullanılmıştır.

Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde konu ile ampirik literatür özetlenmiştir. Üçüncü bölümde kullanılan yöntemler ve elde edilen bulgulara yer verilmiştir. Son bölümde ise elde edilen bulgular çerçevesinde genel bir değerlendirme yapılmıştır.

2. Ampirik Literatür

CO₂ emisyonunun durağan olup olmadığını test eden çalışmaların büyük bir bölümü konuyu stokastik yakınsama yaklaşımıyla ele almaktadır. Bu nedenle bu bölümde sadece CO₂ emisyonu ile ilgili gerçekleştirilen stokastik yakınsama literatürüne yer verilmiştir. Heil ve Selden (1999) alışması konu ile ilgili yapılan ilk çalışmalardandır. Bu alışmada IPS panel birim kök testi kullanılarak 135 ülke için CO₂'nin ve GDP serilerinin hem düzey değerlerinin hem de logaritmik değerlerinin birim köklü olup olmadığı test edilmiştir. Çalışma sonucunda 1973 yılında kırılmaya izin verildiği durumda, her iki seri için birim kök boş hipotezinin reddedildiği bulgusu elde edilmiştir. Barassi, Cole ve Elliott (2008) alışmasında 21 OECD ülkesinin 1950-2002 dönemi kişi başına CO₂ emisyon miktarı panel birim kök testleri ile analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda ilgili dönemde OECD ülkelerinde CO₂'nin birim kök içerdiği sonucuna ulaşılmıştır. Lee, Chang ve Chen (2008) alışmasında 21 OECD ülkesinin 1960-2000 dönemi için CO₂ emisyonunun durağan olup olmadığı yapısal kırılmasız ve yapısal kırılmalı birim kök testleri ile sınanmıştır. Bulgular görelili kişi başına CO₂ emisyonunun durağanlık gösterdiği şeklinde elde edilmiştir. Lee ve Chang (2009) alışmasında 21 OECD üyesi ülkesinin kişi başına CO₂ emisyonu çoklu yapısal kırılmalı ve yatay kesit bağımlılığını dikkate alan Carrion-i-Silvestre, Del Barrio Castro ve López-Bazo (2005) panel veri durağanlık testi ile sınanmıştır. Çalışma sonucunda modelde yapısal kırılma ve yatay kesit bağımlılığı dikkate alındığında kişi başına CO₂ emisyonunun durağan olduğu tespit edilmiştir. Ulucak ve Erdem (2012) alışmasında Türkiye'nin 1960-2000 dönemi kişi başına CO₂ emisyon verileri Lee-Strazicich yapısal kırılmalı birim kök testi ile analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda yapısal kırılmalar dikkate alındığında CO₂ serisinin durağan bir seri olduğu tespit edilmiştir. Acaravcı (2013) alışmasında 19 Kıta Avrupa ülkesi ve Türkiye'nin 1960-2000 dönemine ait kişi başına CO₂ emisyon verileri Lee ve Strazicich (2003, 2004) tarafından geliştirilen yapısal kırılmalı birim kök testleri ile analiz edilmiştir. Çalışmada tek yapısal kırılma dikkate alındığında 19 Kıta Avrupa ülkesinden 18'inde ve Türkiye'de CO₂'ye gelen şokların kalıcı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çift yapısal kırılma dikkate alındığında ise, 14 Kıta Avrupa ülkesinde kişi başı CO₂ değerine gelen şokların kalıcı nitelikte olduğu tespit edilmiştir. Çift yapısal kırılma dikkate alındığında Türkiye için sabit ve trendde iki kırılma altında durağanlık bulgusu elde edilmiştir. Magazzino (2019) alışmasında MENA ülkelerinin 1960-2013 dönemi için kişi başına CO₂ emisyon verilerinin durağanlığı test edilmiştir. Çalışmada geleneksel birim kök testleri ve yatay kesit bağımlılığını dikkate alan panel birim kök testi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda geleneksel birim kök testlerine göre 19 MENA ülkesi kişi başına görelili CO₂ emisyonu için I(0) ve I(1) olmak üzere karma bulgular elde edilmiştir. Yatay kesit bağımlılığını dikkate alan panel birim kök testi sonuçları ise durağan olmama durumunu destekleyen güçlü bulgular göstermiştir. Yıldız ve Boz (2020), 17 MENA ülkesinin kişi başına karbon emisyonlarını 1965-2014 dönemi için panel birim kök testi ile analiz etmişlerdir. Çalışmanın sonucunda kişi başına karbon emisyonu serisinin birinci farkında durağan olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Son yıllarda CO₂ emisyonunun durağanlığını doğrusal olmayan birim kök testleri ile analiz eden çalışmalar yapılmaktadır. Camarero, Mendoza ve Ordonez (2011) alışmasında 22 OECD ülkesinin 1870-2006 dönemindeki CO₂ emisyonu test edilmiştir. Çalışmada NG-Perron (2011) doğrusal birim kök testi, Lee ve Strazicich (2003) yapısal kırılmalı birim kök testi ve Kapetanios vd. (2003) tarafından önerilen yumuşak geçişli otoregresif (STAR) tipi doğrusal olmayan birim kök testi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda 1870-2006 dönemi dikkate alındığında kişi başına CO₂ emisyonunun durağan olduğu gözlemlenmiştir. 1950-2006 dönemi

dikkate alındığında ise yerel rejimde kişi başına CO₂ emisyonunun durağan olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Kapetanios vd. (2003) doğrusal olmayan birim kök testi sonuçları ise 22 OECD ülkesi arasında güçlü bir yakınsama olmadığını göstermiştir. Christidou, Panagiotidis ve Sharma (2013), 36 ülkenin 1870-2006 dönemi için kişi başına CO₂ emisyonu serisinin durağanlığını test etmişlerdir. Doğrusal olmayan panel birim kök testlerinin kullanıldığı çalışma sonucunda 150 yıllık dönem için kişi başına CO₂ emisyonunun durağan olduğu bulgusu elde edilmiştir. Yavuz ve Yilanci (2013) çalışmasında doğrusal olmayan Tar panel birim kök testi kullanılarak G7 ülkelerinin kişi başına CO₂ emisyonunun yakınsaması 1960-2005 dönemi için incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre ilk rejimde yakınsama olduğu ikinci rejimde ise ıraksama olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Mutlak veya koşullu yakınsamanın var olup olmadığı test edildiğinde ise kişi başına CO₂ emisyonunun ilk rejimde koşullu olarak yakınsadığı bulunmuştur. Ozcan ve Gultekin (2016) çalışmasında iki kırılmalı LM ve üç aşamalı RALS-LM birim kök testleri kullanılarak 28 OECD ülkesinin 1960-2013 dönemine ait kişi başına CO₂ emisyonunun yakınsaması test edilmiştir. İki kırılma durumunda çoğunlukla yakınsama olduğu bulgusu elde edilirken, yapısal kırılmalar dikkate alınmadığında ıraksama yaklaşımı ampirik geçerlilik kazanmaktadır. Presno, Landajo ve Gonzalez (2018) 28 OECD ülkesinin kişi başına CO₂ emisyonunun stokastik yakınsamasını 1901-2009 dönemini dikkate alarak rejimler arası yumuşak geçişe izin veren doğrusal olmayan modellerle test etmişlerdir. Çalışmada hem tüm ülkeleri dikkate alan ortak analiz, hem de ülkeleri gelişmiş ve gelişmekte olan şeklinde tanımlayan grup analizi gerçekleştirilmiştir. Ortak analiz sonuçları kişi başına CO₂ emisyonunun stokastik yakınsama gösterdiğine yönelik kanıtlar göstermiştir. Grup analizinde ise özellikle gelişmiş ülkeler arasında Beta yakınsaması açısından dağılımlar elde edilmiştir. Tiwari, Kyophilavong ve Albulescu (2016) çalışmasında 35 Sahra-altı Afrika ülkesinin 1960-2009 dönemindeki kişi başına CO₂ emisyonu doğrusal olmayan zaman serisi ve panel birim kök testi kullanarak analiz edilmiştir. Becker vd. (2006) testi sonuçları 27 Sahra-altı Afrika ülkesinde kişi başına CO₂ emisyonunun ortalamaya dönme eğiliminde olduğunu göstermiştir. Ancak SPSM panel birim kök testi sonuçlarına göre sadece 15 ülkenin kişi başına düşen CO₂ emisyonu durağandır. Panel birim kök testine Fourier fonksiyonları dahil edildiğinde ise analize dahil edilen tüm 35 ülke için kişi başına CO₂ emisyonunda durağanlık sonucuna ulaşılmıştır. Saliminezhad ve Bahramian (2020) çalışmasında dört petrol ihracatçısı ülkenin (Kanada, Irak, Rusya ve Suudi Arabistan) 1960-2017 dönemindeki kişi başına CO₂ emisyonu yakınsaması test edilmiştir. Çalışmada doğrusal olmayan üç birim kök testi (dalgacık modeli birim kök testi, Fourier kuantil birim kök testi ve Guriş (2019) doğrusal olmayan birim kök testi) kullanılmıştır. Standart birim kök testi sonuçları, ülkelerin hepsinde durağan olmama lehine güçlü kanıtlar göstermiştir. Fourier kuantil birim kök testi sonuçları kişi başına CO₂ emisyonunun, Kanada, Rusya ve Irak için orta kuantil aralıklarda ortalamaya geri dönen özellikleri takip ettiğini göstermektedir. Dalgacık birim kök testi sonuçlarından ise karma bulgular elde edilmiştir.

3. Veri, Yöntem ve Bulgular

Çalışmada düşük gelirli ülkelerin 1960-2016 dönemi kişi başına düşen CO₂ emisyon miktarları kullanılmıştır. CO₂ emisyon serisinin durağanlık özelliği kişi başına düşen CO₂ emisyon miktarı dikkate alınarak (Ayrıntılı bilgi için bkz. Acaravcı, 2013; Aslan, 2009; Ulucak ve Erdem, 2012; Yavuz ve Yilanci, 2013) gerçekleştirilmiştir. Düşük gelirli ülkelerin CO₂ emisyonuna ait zaman serisi verisi Dünya Bankası istatistiklerinden elde edilmiştir. Dünya Bankası sınıflamasına göre düşük gelirli ülkeler kişi başına geliri 1.035\$ ve altı olan ülkelerdir.

Dünya Bankası 2020 yılı sınıflamasına göre 29 ülke düşük gelirli ülke grubunda yer almaktadır (World Bank, 2021a). Bu çalışmada alt orta gelir grubunun, üst orta gelir grubunun, yüksek gelir grubunun ve dünya genelinin kişi başına CO₂ emisyon serileri doğrusallık gösterdiği için analiz dışında bırakılmıştır.

Tablo 1. Verinin Tanımı, Değeri ve Kaynağı

Değişken	Açıklaması	Değer	Kaynak
LOWIN	Düşük Gelirli Ülkeler	CO ₂ Emisyonu (kişi başına metrik ton)	Dünya Bankası

Kaynak: World Bank (2021b).

Analizlerde Gauss 6.0 ve Winrats 8.1 programları kullanılmıştır. Etik kurul izni ve/veya yasal/özel izin alınmasına gerek olmayan bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

3.1. Yöntem ve Model

Çalışmada ilk olarak doğrusal olmayan Leybourne vd. (1998), Harvey ve Mills (2002), Kapetanios vd. (2003), Sollis (2009), Kruse (2011), Hepsağ (2019) birim kök testleri açıklanmıştır. Ayrıca çalışmada karşılaştırma yapabilmek amacıyla doğrusal dışılığı dikkate almayan Zivot-Andrews (1992), Lumsdaine ve Papell (1997), Lee ve Strazicich (2003, 2004) (LM) yapısal kırılmalı birim kök testi sonuçlarına da yer verilmiştir.

3.1.1. Leybourne vd. (1998) Birim Kök Testi

Leybourne vd. (1998) çalışması tek yumuşak kırılmayı dikkate alan doğrusal olmayan birim kök testidir (Bostancı, 2019, s. 29). Bu çalışmada yumuşak geçişli üç regresyon modeli dikkate alınmaktadır (Leybourne vd., 1998, s. 84-85):

$$\text{Model A} \quad y_t = \alpha_1 + \alpha_2 S_t(\gamma, \tau) + v_t \quad (1)$$

$$\text{Model B} \quad y_t = \alpha_1 + \beta_1 t + \alpha_2 S_t(\gamma, \tau) + v_t \quad (2)$$

$$\text{Model C} \quad y_t = \alpha_1 + \beta_1 t + \alpha_2 S_t(\gamma, \tau) + \beta_2 S_t(\gamma, \tau) + v_t \quad (3)$$

v_t sıfır ortalamalı I(0) süreçtir. $S_t(\gamma, \tau)$ lojistik yumuşak geçiş fonksiyonunu, γ geçişin hızını, τ geçiş orta noktası zamanlamasını, T gözlem sayısını göstermektedir.

$$S_t(\gamma, \tau) = [1 + \exp\{-\gamma(t - \tau T)\}]^{-1} \quad \gamma > 0 \quad (4)$$

Eşitlik 4'te $S_t(\gamma, \tau)$ rejimler arasındaki geçişi kontrol etmektedir.

Model A'da y_t başlangıç değeri α_1 'den, son değeri $\alpha_1 + \alpha_2$ 'ye değişen ortalama etrafında durağandır. Model B'de sabitin başlangıç değeri α_1 'den, son değeri $\alpha_1 + \alpha_2$ 'ye değişmekte ve aynı zamanda sabit eğim terimine izin vermektedir. Model C'de sabit α_1 'den, $\alpha_1 + \alpha_2$ 'ye değişmekte, eğim de aynı zamanda ve aynı geçiş hızıyla birlikte β_1 'den $\beta_1 + \beta_2$ 'ye değişmektedir. Leybourne vd. (1998) çalışmasında hipotezler aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur (Leybourne vd., 1998, s. 86):

Temel Hipotez: $y_t = \mu_t, \mu_t = \mu_{t-1} + \varepsilon_t, \mu_0 = \psi$

Alternatif Hipotez: Model A, Model B ya da Model C

Temel Hipotez: $y_t = \mu_t, \mu_t = \kappa + \mu_{t-1} + \varepsilon_t, \mu_0 = \psi$

Alternatif Hipotez: Model B ya da Model C

v_t ve ε_t sıfır ortalamalı durağan süreç olduğu varsayılmaktadır.

Leybourne vd. (1998) çalışmasında test istatistiği iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemi kullanılarak tercih edilen modelin deterministik bileşeni tahmin edilmekte ve doğrusal olmayan en küçük karelere dayalı modelin kalıntıları hesaplanmaktadır (Leybourne vd., 1998, s. 86):

$$\text{Model A } \hat{v}_t = y_t - \hat{\alpha}_1 - \hat{\alpha}_2 S_t(\hat{\gamma}, \hat{\tau}) \quad (5)$$

$$\text{Model B } \hat{v}_t = y_t - \hat{\alpha}_1 t - \hat{\beta}_1 - \hat{\alpha}_2 S_t(\hat{\gamma}, \hat{\tau}) \quad (6)$$

$$\text{Model C } \hat{v}_t = y_t - \hat{\alpha}_1 t - \hat{\beta}_1 - \hat{\alpha}_2 S_t(\hat{\gamma}, \hat{\tau}) + \hat{\beta}_2 t S_t(\hat{\gamma}, \hat{\tau}) \quad (7)$$

İkinci aşamada olağan en küçük kareler (OLS) regresyonunda $\hat{\rho}$ ile ilişkili t oranı, ADF istatistiği hesaplanır.

$$\Delta \hat{v}_t = \hat{\rho} \hat{v}_{t-1} + \sum_{i=1}^k \hat{\delta}_i \Delta \hat{v}_{t-i} + \hat{\eta}_t \quad (8)$$

3.1.2. Harvey ve Mills (2002) (HM) Birim Kök Testi

Harvey ve Mills (2002) çalışması iki yumuşak kırılmayı dikkate alarak Leybourne vd. (2008) çalışmasının genişletilmiş şeklidir. Ayrıca bu test lojistik yumuşak geçiş fonksiyonuna asimetri parametresi ilave edilerek asimetriyi dikkate alan bir birim kök testidir (Bostancı, 2019, s. 29) Bu çalışmada üç model ele alınmaktadır. Her model, doğrusal trend altında iki yumuşak geçişli durağan bir süreci temsil etmektedir. Model A, eğim (trend) içermemekte ve yalnızca ortalamada geçişleri içermektedir. Model B sabit trend bileşeni altında sabitte geçişe izin vermektedir. Model C ise hem sabitte hem de trendde geçişe izin vermektedir (Harvey ve Mills, 2002, s. 676-677).

$$\text{Model A } y_t = \alpha_1 + \alpha_2 S_{1t}(\gamma_1, \tau_1) + \alpha_3 S_{2t}(\gamma_2, \tau_2) + v_t \quad (9)$$

$$\text{Model B } y_t = \alpha_1 + \beta_1 t + \alpha_2 S_{1t}(\gamma_1, \tau_1) + \alpha_3 S_{2t}(\gamma_2, \tau_2) + v_t \quad (10)$$

$$\text{Model C } y_t = \alpha_1 + \beta_1 t + \alpha_2 S_{1t}(\gamma_1, \tau_1) + \beta_2 t S_{1t}(\gamma_1, \tau_1) + \alpha_3 S_{2t}(\gamma_2, \tau_2) + \beta_3 t S_{2t}(\gamma_2, \tau_2) + v_t \quad (11)$$

v_t terimi hata terimi olup her bir model için sıfır ortalamalı durağan bir süreci ifade etmektedir.

$S_{it}(\gamma_i, \tau_i)$ terimi geçiş fonksiyonlarını göstermektedir. Lojistik yumuşak geçiş fonksiyonu Eşitlik 12'deki gibi ifade edilmektedir.

$$S_{it}(\gamma_i, \tau_i) = [1 + \exp\{-\gamma_i(t - \tau_i T)\}]^{-1} \quad i=1,2 \quad (12)$$

T örneklem sayısını, $\tau_1 T$ ve $\tau_2 T$ sırasıyla iki geçişin orta noktalarını, γ_1 ve γ_2 sırasıyla geçiş hızlarını vermektedir.

Bu testin ilk aşaması kalıntı kareleri toplamını minimum yapan, Model A, B, C'nin doğrusal olmayan tahmininden oluşmaktadır. İkinci aşamada, elde edilen kalıntılar \hat{v}_t , ADF regresyonunun tahmininde kullanılmaktadır.

3.1.3. Kapetanios vd. (2003) Birim Kök Testi

Kapetanios vd. (2003) birim kök testi üstel yumuşak geçişli otoregresif (ESTAR) tipi modele dayalı birim kök testidir. Kapetanios vd. (2003) çalışmasında birinci dereceden otoregresif tek değişkenli yumuşak geçişli, STAR 1 modeli aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Kapetanios vd., 2003, s. 361):

$$y_t = \beta y_{t-1} + \gamma y_{t-1} \theta(\theta; y_{t-d}) + \varepsilon_t \quad t=1, \dots, T, \quad (13)$$

$\varepsilon_t \sim \text{idd}(0, \sigma^2)$; β ve γ bilinmeyen parametrelerdir. y_t sıfır ortalamalı stokastik süreci içermektedir.

Star modeline üstel formdaki geçiş fonksiyonu ilave edilerek Eşitlik 14 elde edilmektedir.

$$\theta(\theta; y_{t-d}) = 1 - \exp(-\theta y_{t-d}^2) \quad (14)$$

$\theta \geq 0$ ve $d \geq 1$ olup gecikme parametrelerini temsil etmektedir. Üstel geçiş fonksiyonu sıfır ile 1 arasında sınırlanmıştır. Eşitlik 13 ve 14 kullanılarak elde edilen üstel STAR(ESTAR) modeli aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$y_t = \beta y_{t-1} + \gamma y_{t-1} [1 - \exp(-\theta y_{t-d}^2)] + \varepsilon_t \quad (15)$$

Eşitlik 15'de uygun parametreler kullanılarak,

$$\Delta y_t = \Phi y_{t-1} + \gamma y_{t-1} [1 - \exp(-\theta y_{t-d}^2)] + \varepsilon_t \quad (16)$$

Eşitlik 16 elde edilmektedir. ($\Phi = \beta - 1$). Eğer θ pozitifse, bu ortalamaya geri dönüşün hızını etkili bir şekilde belirlemektedir.

$\Phi = 0$ ve $d = 1$ verilerek spesifik ESTAR modeli elde edilmektedir.

$$\Delta y_t = \gamma y_{t-1} [1 - \exp(-\theta y_{t-d}^2)] + \varepsilon_t \quad (17)$$

Ancak sıfır hipotezinde γ tanımlanmadığı için, ESTAR modeline birinci dereceden Taylor açılımı uygulanarak Eşitlik 18'deki yardımcı regresyon modeli elde edilmektedir.

$$\Delta y_t = \gamma y_{t-1}^3 + \varepsilon_t \quad (18)$$

$\gamma=0$ hipotezine karşı $\gamma<0$ hipotezine yönelik t istatistikleri elde edilmektedir.

3.1.4. Sollis (2009) Birim Kök Testi

Sollis (2009) birim kök testi genişletilmiş üstel yumuşak geçişli otoregresif süreci (AESTAR) içermektedir. Kapetanios vd. (2003) çalışmasındaki ESTAR spesifikasyonundan hareketle model oluşturulmuştur (Sollis, 2009, s. 119). Kapetanios vd. (2003) çalışmasına benzer olarak birinci dereceden Taylor açılımı uygulanarak Eşitlik 19'daki yardımcı regresyon modeli elde edilmiştir (Sollis, 2009, s. 121):

$$\Delta y_t = \Phi_1 y_{t-1}^3 + \Phi_2 y_{t-1}^4 + \eta_t \quad (19)$$

Eşitlik 19'daki modelin genişletilmiş şekli Eşitlik 20'de verilmiştir.

$$\Delta y_t = \Phi_1 y_{t-1}^3 + \Phi_2 y_{t-1}^4 + \sum_{i=1}^k K_i \Delta y_{t-i} + \eta_t \quad (20)$$

Genişletilmiş yardımcı regresyonda boş hipotez $H_0 = \Phi_1 = \Phi_2 = 0$ olarak tanımlanmıştır. Sollis (2009) testinin boş hipotezi birim kökü ifade ederken, alternatif hipotez simetrik ya da asimetrik ESTAR durağanlık olarak tanımlanmıştır.

3.1.5. Kruse (2011) Birim Kök Testi

Kruse (2011) birim kök testi üstel STAR (ESTAR) modeline dayanmaktadır. Kruse (2011) çalışmasında doğrusal olmayan zaman serisi modeli Eşitlik 21'de tanımlanmıştır. Modelde, c terimi üstel geçişte sıfıra eşit olmayan bir konum parametresidir (Kruse, 2011, s. 74-75).

$$\Delta y_t = \Phi y_{t-1} [1 - \exp\{-\gamma(y_{t-1} - c)^2\}] + \varepsilon_t \quad (21)$$

Kapetanios vd. (2003) çalışması takip edilerek Eşitlik 22'ye birinci dereceden Taylor açılımı uygulanarak Eşitlik 23'teki test regresyonu elde edilmiştir.

$$G(y_{t-1}; \gamma, c) = [1 - \exp\{-\gamma(y_{t-1} - c)^2\}] \quad \gamma=0 \quad (22)$$

$$\Delta y_t = \beta_1 y_{t-1}^3 + \beta_2 y_{t-1}^2 + \beta_3 y_{t-1} + u_t \quad (23)$$

Testin gücünü artırmak amacıyla Kapetanios vd. (2003) çalışması izlenerek $\beta_3 = 0$ olarak kabul edilmiş ve test regresyonu Eşitlik 24'teki gibi devam edilmiştir.

$$\Delta y_t = \beta_1 y_{t-1}^3 + \beta_2 y_{t-1}^2 + u_t \quad (24)$$

$$\beta_1 = \gamma\Phi \quad \text{ve} \quad \beta_2 = -2c\gamma\Phi$$

Testte Ho hipotezi birim kök, alternatif hipotez tam durağan ESTAR süreçtir.

3.1.6. Hepsağ (2019) Birim Kök Testi

Hepsağ (2019) birim kök testi hem lojistik yumuşak geçişli yapısal kırılmayı hem de doğrusal olmama (ESTAR) durumunu birlikte alan birim kök testidir. Hepsağ (2019) birim kök testinde Leybourne vd. (1998) çalışması temel alınarak üç yumuşak geçişli model tanımlanmıştır (Hepsağ, 2019, s. 1-3).

$$\text{Model A: } y_t = \alpha_1 + \alpha_2 S_t(\lambda, \tau) + v_t \quad (25)$$

$$\text{Model B: } y_t = \alpha_1 + \beta_1 t + \alpha_2 S_t(\lambda, \tau) + v_t \quad (26)$$

$$\text{Model C: } y_t = \alpha_1 + \beta_1 t + \alpha_2 S_t(\lambda, \tau) + \beta_2 t S_t(\lambda, \tau) + v_t \quad (27)$$

v_t sıfır ortalama ve sabit varyansa dayalı normal dağılım gösteren hata terimini, $S_t(\lambda, \tau)$ lojistik yumuşak geçiş fonksiyonunu, T gözlem sayısını göstermektedir.

$$S_t(\lambda, \tau) = [1 + \exp\{-\lambda(t - \tau T)\}]^{-1} \quad \lambda > 0 \quad (28)$$

τ geçişin orta noktasının zamanlamasını göstermektedir. Geçiş hızı λ parametresi tarafından belirlenmektedir. v_t 'nin sıfır ortalamalı $I(0)$ süreci olduğu varsayıldığında, Model A 'da y_t sabitte durağan olup, başlangıç değeri α_1 , son değeri $\alpha_1 + \alpha_2$ 'ye doğru değişmektedir.

Model B'de başlangıç değeri α_1 , son değeri $\alpha_1 + \alpha_2$ 'ye doğru değişmekte ve sabit eğim terimine izin verilmektedir. Model C'de sabit α_1 'den $\alpha_1 + \alpha_2$ 'ye değişmekte, eğim de aynı anda ve aynı geçiş hızıyla β_1 'den $\beta_1 + \beta_2$ 'ye değişmektedir.

Temel Hipotez $H_0: y_t = \mu_t, \mu_t = \mu_{t-1} + \varepsilon_t$ şeklinde oluşturulmuştur.

ε_t sıfır ortalamalı I(0) sũreci olduğu varsayılmıştır.

Hepsağ (2019) testinde ilk aşamada doğrusal olmayan en kũçük kareler yũntemi ile Model A, B, C tahmin edilmektedir. Ve bu modellerden doğrusal olmayan en kũçük kareler kalıntıları elde edilmektedir.

$$\text{Model A: } \hat{v}_t = y_t - \hat{\alpha}_1 + \hat{\alpha}_2 S_t(\hat{\lambda}, \hat{t}) \quad (29)$$

$$\text{Model B: } \hat{v}_t = y_t - \hat{\alpha}_1 - \hat{\beta}_1 t + \hat{\alpha}_2 S_t(\hat{\lambda}, \hat{t}) \quad (30)$$

$$\text{Model C: } \hat{v}_t = y_t - \hat{\alpha}_1 - \hat{\beta}_1 t + \hat{\alpha}_2 S_t(\hat{\lambda}, \hat{t}) - \hat{\beta}_2 t S_t(\hat{\lambda}, \hat{t}) \quad (31)$$

İkinci aşamada ilk aşamada elde edilen kalıntılara Kruse (2011) birim kũk testi uygulanmaktadır. Bu modelde sıfırdan farklı olduğu kabul edilen konum parametresi c'ye izin verilmektedir. Kruse (2011) ESTAR modeli modifiye edilerek Eşitlik 32'deki forma dũnũřtũrũlmũřtũr.

$$\Delta \hat{v}_t = \gamma \hat{v}_{t-1} (1 - \exp\{-\theta(\hat{v}_{t-1} - c)^2\}) + \varepsilon_t \quad (32)$$

\hat{v}_t birinci aşamadaki doğrusal olmayan en kũçük karelerden elde edilen kalıntılardır. Kruse'de (2011) ۆnerildięi gibi Eşitlik 32'ye birinci dereceden Taylor açılımlı uygulanmış ve Eşitlik 33 elde edilmiştir.

$$\Delta \hat{v}_t = \delta_1 \hat{v}_{t-1}^3 + \delta_2 \hat{v}_{t-1}^2 + \sum_{i=1}^p \psi_i \Delta \hat{v}_{t-i} + \varepsilon_t \quad (33)$$

Bu testte H_0 hipotezi birim kũk, alternatif hipotez yumuşak kırılmalı ESTAR durağanlığı içermektedir.

3.2. Doğrusallık Testleri ve Sonuçları

Çalışmada serilerin doğrusal olup olmadığını test etmek amacıyla Harvey ve Leybourne (2007) ile Harvey, Leybourne ve Xiao (2008) alışmaları kullanılmıştır. Harvey ve Leybourne (2007) alışmasında doğrusallık sıfır hipotezinin test edilebilmesi için Eşitlik 34'deki regresyon modeli ۆnerilmiřtir (Harvey ve Leybourne, 2007, s. 151-152):

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 y_{t-1} + \beta_2 y_{t-1}^2 + \beta_3 y_{t-1}^3 + \beta_4 \Delta y_{t-1} + \beta_5 (\Delta y_{t-1})^2 + \beta_6 (\Delta y_{t-1})^3 + \varepsilon_t \quad (34)$$

$$\beta_0 = \mu(1 - \delta_0 + \delta_1 \mu - \delta_2 \mu^2), \beta_1 = \delta_0 - 2\delta_1 \mu + 3\delta_2 \mu^2, \beta_2 = \delta_1 - 3\delta_2 \mu, \\ \beta_3 = \delta_2, \beta_4 = \lambda_0, \beta_5 = \lambda_1, \beta_6 = \lambda_2 \quad (35)$$

$$H_0: \beta_2, \beta_3, \beta_5, \beta_6 = 0, H_1: \beta_2, \beta_3, \beta_5, \beta_6 \neq 0 \text{ en az biri} \quad (36)$$

Bu testte H_0 hipotezi doğrusallığı gũstermektedir. Bununla birlikte H_0 hipotezi y_t 'nin dũzeyde mi yoksa birinci farkında mı doğrusal olduğunu belirtmemektedir. H_0 hipotezine karşın alternatif hipotez Wald istatistiği kullanılarak sınınmaktadır.

$$W_t = \frac{RRS_1 - RRS_0}{RRS_0/T} \quad (37)$$

RRS₁ ve RRS₀ sırasıyla y_t' nin kısıtsız ve kısıtlı OLS regresyonunun kalıntı kareleri toplamını göstermektedir.

Harvey vd. (2008) çalışması serinin birim kökü içerip içermediğine dair belirsizlik olduğu durumu da dikkate alan bir testtir. Bu testte veri yaratma süreci hem I(0) sürecinden hem de I(1) sürecinden elde edildiğinden etkinlik göstermektedir (Harvey vd., 2008, s. 1). Harvey vd. (2008) çalışmasında Kapetanios vd. (2003) ve Harvey ve Leybourne (2007) çalışmalarını izlenerek 38 ve 41 nolu Eşitlikte belirtilen regresyon modelleri oluşturulmuştur (Harvey vd., 2008, s. 4).

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 y_{t-1} + \beta_2 y_{t-1}^2 + \beta_3 y_{t-1}^3 + \sum_{j=1}^p \beta_{4,j} \Delta y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (38)$$

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \beta_{4,j} \Delta y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (39)$$

$$H_{0,0}: \beta_2 = \beta_3 = 0 \quad H_{1,0}: \beta_2 \neq 0 \text{ ve/veya } \beta_3 \neq 0 \quad (40)$$

$$\Delta y_t = \lambda_1 \Delta y_{t-1} + \lambda_2 (\Delta y_{t-1})^2 + \lambda_3 (\Delta y_{t-1})^3 + \sum_{j=2}^p \lambda_{4,j} \Delta y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (41)$$

$$\Delta y_t = \lambda_1 \Delta y_{t-1} + \sum_{j=2}^p \lambda_{4,j} \Delta y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (42)$$

$$H_{0,1}: \lambda_2 = \lambda_3 = 0, \quad H_{1,1}: \lambda_2 \neq 0 \text{ ve/veya } \lambda_3 \neq 0 \quad (43)$$

Sıfır hipotezi zaman serisinin doğrusallığını, alternatif hipotez doğrusal dışılığı ifade etmektedir.

Çalışmada serilerin doğrusallıklarının test edilmesi amacıyla Harvey ve Leybourne (2007) ve Harvey vd. (2008) testleri uygulanmış ve Tablo 2'de test sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 2. Doğrusallık Testi Sonuçları

Harvey ve Leybourne (2007)			
Değişken	Hesaplanan Test İstatistiği	4 Serbestlik Derecesine Göre Kikare Dağılım Tablo Değeri (%5)	Sonuç
LOWIN	31.99	9.48	Ho red
Harvey vd. (2008)			
Değişken	Hesaplanan Test İstatistiği	2 Serbestlik Derecesine Göre Kikare Dağılım Tablo Değeri (%5)	Sonuç
LOWIN	13.27	5.99	Ho red

Not: *Çalışmada uyumluluk olması amacıyla tüm analizlerde %5 anlamlılık düzeyi kritik değeri kullanılmıştır. Kikare tablo değerleri %5 anlamlılık düzeyine ait kritik değerdir.

Harvey ve Leybourne (2007), Harvey vd. (2008) test sonuçlarına göre LOWIN serisi için doğrusallık Ho hipotezi reddedilmektedir. Diğer bir ifadeyle kişi başına düşen CO₂ serisi doğrusal değildir. Bu nedenle çalışmada düşük gelirli ülke gruplarının CO₂ emisyonunun durağan olup olmadığını test etmek amacıyla doğrusal olmayan birim kök testleri kullanılmıştır.

3.3. Birim Kök Testi Sonuçları

Çalışmada öncelikli olarak karşılaştırma yapabilmek amacıyla doğrusal dışılığı dikkate almayan geleneksel yapısal kırılmalı birim kök testleri sonuçlarına yer verilmiştir. Tablo 3'de

yapısal kırılmayı dikkate alan Zivot-Andrews (1992), Lumsdaine ve Papell (1997), Lee ve Strazicich (2003, 2004) (LM) doğrusal birim kök test sonuçları özetlenmiştir.

Tablo 3. Yapısal Kırılmalı Birim Kök Testi Sonuçları

Tek Kırılma		Zivot-Andrews (1992) Birim Kök Testi Sonuçları		
LOWIN	Kırılma Tarihi	Hesaplanan Test İstatistiği	Test İstatistiği	Sonuç
Model A	1989	-4.3636	-4.8000	Birim Kök
Model B	1971	-3.0454	-4.4200	Birim Kök
Model C	1989	-6.3090	-5.0800	Yapısal Kırılmalı Durağan
İki Kırılma		Lumsdaine ve Papell (1997) Birim Kök Testi Sonuçları		
LOWIN	Kırılma Tarihi	Hesaplanan Test İstatistiği	Test İstatistiği	Sonuç
Model AA	1989; 2008	-6.0065	-6.1600	Birim Kök
Model BB	1988; 1994	-4.7256	-6.6200	Birim Kök
Model CC	1977; 1989	-7.7096	-6.7500	Yapısal Kırılmalı Durağan
Tek Kırılma		Lee ve Strazicich (2004) LM Birim Kök Testi Sonuçları		
LOWIN	Kırılma Tarihi	Hesaplanan Test İstatistiği	Test İstatistiği	Sonuç
Model A	1988	-0.6913	-3.4870	Yapısal Kırılmalı Birim Kök
Model C	1992	-3.7031	-4.3484	Yapısal Kırılmalı Birim Kök
İki Kırılma		Lee ve Strazicich (2003) LM Birim Kök Testi Sonuçları		
LOWIN	Kırılma Tarihi	Hesaplanan Test İstatistiği	Test İstatistiği	Sonuç
Model AA	1991; 2008	-0.7393	-3.5630	Yapısal Kırılmalı Birim Kök
Model CC	1981; 1996	-5.5698	-6.1750	Yapısal Kırılmalı Birim Kök

Not: *Model A= Sabitte Tek Kırılma, Model B= Trendde Tek Kırılma, Model C= Hem Sabitte Hem Trendde Tek Kırılma, Model AA= Sabitte İki Kırılma, Model BB= Trendde İki Kırılma, Model CC= Hem Sabitte Hem Trendde İki Kırılma, ** Kritik Değerler %5 anlamlılık düzeyi kritik değerleridir.

Hesaplanan test istatistiği değeri mutlak değer olarak test istatistiği değerinden küçük olduğu durumda birim kökün varlığını gösteren Ho hipotezi reddedilememektedir. Zivot-Andrews (1992) ve Lumsdaine ve Papell (1997) birim kök testi sonuçlarına göre Model A, Model AA, Model B, Model BB test sonuçlarına göre LOWIN değişkeni birim köke sahiptir. Sabit ve trendde sırasıyla tek ve iki kırılmaya izin veren Model C ve Model CC test sonuçlarına göre ise LOWIN değişkeni düzeyde yapısal kırılmalı durağandır. Lee ve Strazicich (2003, 2004) LM birim kök testi sonuçlarına göre LOWIN değişkeninin tüm modellerde yapısal kırılmalı birim kök içerdii gözlemlenmiştir. Ancak bu birim kök testleri doğrusal dışlığı dikkate almamaktadır. Bu nedenle ilgili değişkenin durağan olup olmadığı doğrusal olmayan birim kök testi sonuçları ile karşılaştırılıp değerlendirilecektir.

Yapısal kırılmaların kademeli olarak modellenmesi ekonomik gerçeğliğe daha uygun olarak değerlendirilmektedir. Literatürde yapısal değişmelerin kademeli olarak değişmesi

yumuşak geçiş kavramı ile ifade edilmektedir (Bostancı, 2019, s. 29). Çalışmada yumuşak geçişli doğrusal olmama durumunu dikkate alan birim kök testi sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi Sonuçları

Tek Kırılma		Leybourne vd. (1998) (LNV) Birim Kök Testi		
LOWIN	T	Hesaplanan Test İstatistiği	Tablo Değeri**	Sonuç
Model A (S_{α})	50	-2.52828	-4.363	Birim Kök
Model B ($S_{\alpha(\beta)}$)	50	-2.80057	-5.053	Birim Kök
Model C ($S_{\alpha\beta}$)	50	-3.76037	-5.395	Birim Kök
İki Kırılma		Harvey ve Mills (2002) (HM) Birim Kök Testi		
LOWIN	T	Hesaplanan Test İstatistiği	Tablo Değeri***	Sonuç
Model AA ($S_{2\alpha}$)	50	-3.63628	-5.73	Birim Kök
Model BB ($S_{2\alpha(\beta)}$)	50	-3.78392	-6.48	Birim Kök
Model CC ($S_{2\alpha\beta}$)	50	-2.75421	-7.16	Birim Kök
		Kapetanios vd. (2003) (KSS) Birim Kök Testi		
LOWIN		Hesaplanan Test İstatistiği	Tablo Değeri****	Sonuç
Case I	-	-2.88798	-2.93	Birim Kök
Case II	-	-3.05730	-3.40	Birim Kök
		Sollis (2009) Birim Kök Testi		
LOWIN	T	Hesaplanan Test İstatistiği	Tablo Değeri*****	Sonuç
Model 1	50	5.13984	4.886	Simetrik ya da asimetrik durağan
Model 2	50	16.18794	6.546	Simetrik ya da asimetrik durağan
		Kruse (2011) Birim Kök Testi		
LOWIN	-	Hesaplanan Test İstatistiği	Tablo Değeri*****	Sonuç
$d_t = 1$	-	8.19501	10.17	Birim Kök
$d_t = [1 t]'$	-	9.19348	12.82	Birim Kök
		Hepsağ (2019) Birim Kök Testi		
LOWIN	T	Hesaplanan Test İstatistiği	Tablo Değeri*****	Sonuç
Model A	50	11.15981	9.66	Yumuşak Yapısal kırılma altında Estar durağanlık
Model B	50	11.15981	15.61	Birim Kök
Model C	50	16.93581	12.40	Yumuşak yapısal kırılma altında Estar durağanlık

Not: *Model A= Sabitte 1 yumuşak kırılma, Model B= Deterministik trend altında sabitte 1 yumuşak kırılma, Model C= Hem sabit ve hem trendde 1 yumuşak kırılma, Model AA= Sabitte 2 yumuşak kırılma, Model BB= Deterministik trend altında sabitte 2 yumuşak kırılma, Model CC= Hem sabit ve hem trendde 2 yumuşak kırılma, Case 1= Sabitli Modeli, Case2=Sabitli ve Trendli Modeli, Model 1= Sabitli model, Model 2=Sabitli ve Trendli, Model $d_t = 1 \rightarrow$ Sabitli Modeli, $d_t = [1 t]'$ \rightarrow Sabitli ve Trendli Modeli göstermektedir ** Tablo değerleri Leybourne, McCabe and Tremayne (1996) çalışmasından alınmıştır. ***Tablo değerleri Harvey ve Mill (2002) çalışmasından alınmıştır. **** Tablo değerleri Kapetanios vd. (2003) çalışmasından alınmıştır. *****Tablo değeri Sollis (2009) çalışmasından alınmıştır. *****Tablo değeri Kruse (2011) çalışmasından alınmıştır. ***** Tablo değeri Hepsağ (2019) çalışmasından alınmıştır.

Leybourne vd. (1998), Harvey ve Mills (2002), Kapetanios vd. (2003), Kruse (2011) birim kök testi sonuçlarına göre Ho hipotezi reddedilememektedir. Kişi başına CO₂ emisyon serisi birim kök içermektedir. Bu sonuç ilgili dönemde düşük gelirli ülkelerde CO₂ emisyonuna gelen şokların etkisinin kalıcı olduğu şeklinde yorumlanabilir. Sollis (2009) ve Hepsağ (2019) birim kök testi sonuçları değerlendirildiğinde ise Ho hipotezi reddedilmektedir. Serinin durağan olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Düşük gelirli ülkelerde kişi başına düşen CO₂ emisyonuna yönelik uygulanan doğrusal olmayan birim kök testi sonuçlarından karma bulgular elde edilmiştir.

4. Sonuç

Ülkelerin refahlarını artırmak amacıyla ekonomik büyüme çabaları her geçen gün fosil yakıt kullanımlarını daha fazla artırmıştır. Bu durum ise beraberinde iklim değişikliği ve küresel ısınma sorununu getirmiştir. Atmosferdeki CO₂ emisyon miktarındaki yükseliş sera gazlarının artmasının en önemli göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir.

Bu çalışmada düşük gelirli ülkelerin 1960-2016 dönemi için kişi başına CO₂ emisyonunun durağan olup olmadığı test edilmiştir. Çalışmada ilk olarak serinin doğrusal olup olmadığı Harvey ve Leybourne (2007) ve Harvey vd. (2008) testleri kullanılarak analiz edilmiştir. İlgili serinin doğrusal olduğu yönündeki Ho hipotezi reddedilmiştir. Çalışmada öncelikli olarak Zivot-Andrews (1992), Lumsdaine ve Papell (1997), Lee ve Strazicich (2003, 2004) (LM) yapısal kırılmalı birim kök testleri uygulanmış ve sonuçlarına yer verilmiştir. Zivot-Andrews (1992), Lumsdaine ve Papell (1997) birim kök testlerinde Model C ve Model CC'ye göre ilgili seri durağan olarak bulunmuştur. Lee ve Strazicich (2003, 2004) (LM) birim kök testi sonuçlarına göre ilgili serinin birim köklü olduğu, diğer bir ifadeyle seriye gelen şokların etkisinin kalıcı olduğu bulgusu elde edilmiştir. Çalışmada daha sonra LOWIN değişkeninin durağan olup olmadığı, doğrusal olmayan yumuşak geçişli yapısal değişimleri dikkate alan Leybourne vd. (1998) (LNV) birim kök testi, Harvey ve Mills (2002) (HM) birim kök testi, Kapetanios vd. (2003) (KSS) birim kök testi, Sollis (2009) birim kök testi, Kruse (2011) birim kök testi, Hepsağ (2019) birim kök testi kullanılarak analiz edilmiştir. Leybourne vd. (1998) (LNV) birim kök testi, Harvey ve Mills (2002) (HM), Kapetanios vd. (2003) (KSS), Kruse (2011) birim kök testi sonuçlarına göre kişi başına CO₂ emisyonunun birim köke sahip olduğu yönünde bulgular elde edilmiştir. Sollis (2009) ve Hepsağ (2019) birim kök test sonuçları ise ilgili serinin durağan olduğunu göstermiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde hem geleneksel hem de doğrusal olmayan birim kök testi sonuçlarından karma bulgular elde edilmiştir. Bu sonuç geleneksel yapısal kırılmalı birim kök testi kullanan Lee vd. (2008), Acaravcı (2013) ve doğrusal olmayan yöntemler kullanan Camarero vd. (2011), Ozcan ve Gultekin (2016), Tiwari vd. (2016), Presno vd. (2018), Saliminezhad ve Bahramian (2020) çalışmaları ile benzerlik göstermektedir.

CO₂ emisyonuna gelen bir şokun kalıcı mı yoksa geçici mi olduğunun belirlenmesi sürdürülebilir çevre politikaları açısından önem arz etmektedir. CO₂ emisyon serisinin durağan bulunması, seriye gelen şokların kalıcı olmadığı bu nedenle uygulanacak çevre politikalarının etkisinin geçici olacağı şeklinde yorumlanabilir. CO₂ emisyon serisinin birim kök içermesi ise seriye gelen şokların kalıcı olacağı ve serinin şoklardan kalıcı olarak etkileneceği anlamına gelmektedir. Bu bağlamda uygulanacak çevre politikaları uzun vadede etkili olacaktır. Çevre dostu enerji ve teknoloji kullanımı hem çevreye verilen tahribatı azaltmakta hem de insanların yaşam kalitesini artırarak refahlarını yükseltmektedir. Bu nedenle politika yapımcıların

N. Topallı, “Düşük Gelirli Ülkelerde Kişi Başına Karbondioksit Emisyonu Durağanlığının Test Edilmesi: Doğrusal Olmayan Birim Kök Analizi”

uygulayacakları çevre politikalarında CO₂ emisyonunu dikkate almaları gerekmektedir. Çevre kirliliği söz konusu olduğunda ülkeler hem yerel hem de küresel ölçekte politikalara ihtiyaç duymaktadır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Çıkar Çatışması Beyanı

Bu çalışmada herhangi bir potansiyel çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Acaravcı, A. (2013). Yapısal kırılmalar ve karbon emisyonu: Kıta Avrupa ülkeleri için ampirik bir uygulama. *Neşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 3, 1-11
Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/nevsosbilen>
- Aslan, A. (2009). Kişi başına karbon dioksit emisyon yakınsama analizi: 1950-2004. *Ege Akademik Bakış*, 9(4), 1427-1439. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/eab>
- Barassi, M. R., Cole, M. A. and Elliott, R. J. R. (2008). Stochastic divergence or convergence of per capita carbon dioxide emissions: Re-examining the evidence. *Environ Resource Econ*, 40, 121-137. doi:10.1007/s10640-007-9144-1
- Bayer, C. and Juessen, F. (2006). Convergence in West German regional unemployment rates. *Ressourcen aus und für Forschung, Lehre und Studium*, 1-29. doi:10.17877/DE290R-15394
- 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>
- Bostancı, F. C. (2019). *Yeni bir asimetrik yumuşak kırılmalı birim kök testi ve uygulaması* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Camarero, M., Mendoza, Y. and Ordóñez, J. (2011). *Re-examining CO₂ emissions. Is the assessment of convergence meaningless?* (Working Papers, 2011/06). Retrieved from <http://www.doctreballeco.uji.es/wpficheros/>
- Carrion-i-Silvestre, J. L., Del Barrio-Castro, T. and López-Bazo, E. (2005). Breaking the panels: An application to the GDP per capita. *The Econometrics Journal*, 8(2), 159-175. <https://doi.org/10.1111/j.1368-423X.2005.00158.x>
- 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>
- Criado, C. O. and Grether, J-M. (2010). *Convergence in per capita CO₂ emissions a robust distributional approach* (CEPE Working Paper No. 70). Retrieved from <https://ethz.ch/content/dam/ethz/>
- Fallahi, F. and Voia, M-C. (2015). Convergence and persistence in per capita energy use among OECD countries: Revisited using confidence intervals. *Energy Economics*, 52(Part A), 246-253. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.10.004>
- Güriş, B. (2019). A new nonlinear unit root test with Fourier function. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 48(10), 3056-3062. <https://doi.org/10.1080/03610918.2018.1473591>
- Harvey, D. I. and Leybourne, S. J. (2007). Testing for time series linearity. *Econometrics Journals*, 10, 149-165. Retrieved from <https://www.jstor.org/>
- Harvey, D. I., Leybourne, S. J. and Xiao, B. (2008). A powerful test for linearity when the other of integration is unknown. *Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics*, 12(3), 1-24. <https://doi.org/10.2202/1558-3708.1582>
- Harvey, D. I. and Mills, T. C. (2002). Unit roots and double smooth transition. *Journal of Applied Statistics*, 29(5), 675-683. <https://doi.org/10.1080/02664760120098739>
- Heil, M. T. and Selden, T.M. (1999). Panel stationarity with structural breaks: Carbon emissions and GDP. *Applied Economics Letters*, 6(4), 223-225. <https://doi.org/10.1080/135048599353384>
- Hepsağ, A. (2019). A unit root test based on smooth transition and nonlinear adjustment. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 50(3), 625-632. <https://doi.org/10.1080/03610918.2018.1563154>
- Kapetanios, G., Shin, Y. and Snell, A. (2003). Testing for a unit root in the nonlinear STAR frame work. *Journal of Econometrics*, 112(2), 359-379. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(02\)00202-6](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(02)00202-6)
- Kruse, R. (2011). A new unit root test against ESTAR based on a class of modified statistics. *Statistical Papers*, 52, 71-85. <https://doi.org/10.1007/s00362-009-0204-1>

- 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 test. *Energy*, 33(9), 1468-1475. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.05.002>
- Lee, C-C. and Chang, C-P. (2009). Stochastic convergence of per capita carbon dioxide emissions and multiple structural breaks in OECD countries. *Economic Modelling*, 26(6), 1375-1381. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2009.07.003>
- Lee, C-C., Chang, C-P. and Chen, P-F. (2008). Do CO₂ emission levels convergence 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>
- Lee, J. and Strazicich, M. C. (2003). Minimum lagrange multiplier unit root test with two structural breaks. *The Review of Economics and Statistics*, 85(4), 1082-1089. Retrieved from <https://www.jstor.org/>
- Lee, J. and Strazicich, M. C. (2004). *Minimum LM unit root test with one structural break* (Appalachian State University Working Papers 04-17). Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/7080165.pdf>
- Leybourne, S. J., McCabe, B. P. and Tremayne, A. R. (1996). Can economic time series be differenced to stationarity? *Journal of Business & Economic Statistics*, 14(4), 435-446. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-131X\(199604\)15:3<253::AID-FOR622>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-131X(199604)15:3<253::AID-FOR622>3.0.CO;2-C)
- Leybourne, S., Newbold, P. and Vougas, D. (1998). Unit roots and smooth transition. *Journal of Time Series Analysis*, 19(1), 83-97. <https://doi.org/10.1111/1467-9892.00078>
- Lumsdaine, R. L. and Papell, D. H. (1997). Multiple trend breaks and the unit-root hypothesis. *The Review of Economics and Statistics*, 79(2), 212-218. Retrieved from <https://www.jstor.org/>
- Magazzino, C. (2019). Testing the stationarity and convergence of CO₂ emissions series in MENA countries. *International Journal of Energy Sector Management*, 13(4), 977-990. <https://doi.org/10.1108/IJESM-09-2018-0008>
- Ozcan, B. and Gultekin, E. (2016). Stochastic convergence in per capita carbon dioxide (CO₂) emissions: Evidence from OECD countries. *Eurasian Journal of Business and Economics*, 9(18), 113-134. doi:10.17015/ejbe.2016.018.07
- Presno, M. J., Landajo, M. and Gonzalez, P.F. (2018). Stochastic convergence in per capita CO₂ emissions. An approach from nonlinear stationarity analysis. *Energy Economics*, 70, 563-581. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.10.001>
- Saliminezhad, A. and Bahramian, P. (2020). Convergence in per capita CO₂ emissions: Evidence from nonlinear unit root tests in top four oil exporter countries. *International Journal of Energy Sector Management*, 14(6), 1143-1155. <https://doi.org/10.1108/IJESM-10-2019-0023>
- Sollis, R. (2009). A simple unit root test against asymmetric STAR nonlinearity with an application to real exchange rates in Nordic countries. *Economic Modelling*, 26(1), 118-125. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2008.06.002>
- 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>
- Ulucak, R. ve Erdem, E. (2012). Çevre-iktisat ilişkisi ve Türkiye'de çevre politikalarının etkinliği. *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, 4(6), 78-98. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/pub/kilisiibfakademik>
- World Bank. (2021a). *World Bank country and lending groups*. Retrieved from <https://datahelpdesk.worldbank.org/>
- World Bank. (2021b). *Development indicators*. Retrieved from <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>

- Yavuz, N. . and Yilanci, V. (2013). Convergence in per capita carbon dioxide emissions among G7 countries: A TAR panel unit root approach. *Environmental Resource Economics*, 54(2), 283-291. doi:10.1007/s10640-012-9595-x
- Yıldız, Ü. and Boz, F.. (2020). Econometric analysis of convergence in carbon emissions per capita for MENA countries. *BAİBÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 20(3), 579-588. https://doi.org/10.11616/basbed.v20i56819.749539
- Zivot, E. and Andrews, D. W. K. (1992). Further evidence on the great crash, the oil-price shock and the unit-root hypothesis. *Journal of Business & Economic Statistics*, 10(3), 251-270. https://doi.org/10.2307/1391541

TESTING STATIONARITY OF PER CAPITA CARBON DIOXIDE EMISSIONS IN LOW-INCOME COUNTRIES: NON-LINEAR UNIT ROOT ANALYSIS

EXTENDED SUMMARY

Purpose of Study

This study aims to investigate the stationarity of per capita carbon dioxide (CO₂) emissions series in low-income countries for period of 1960-2016. The stationarity and unit root properties of per capita CO₂ emissions series are explored by an increasing amount of studies which include different methodologies. In most of the studies, unit root tests based on the assumption that structural breaks are considered as sudden changes and that the series are linear with structural breaks are used. In recent years, new tests have been developed to show that these transitions can be smooth rather than sharp. Examining the time series properties of CO₂ series is crucial for both researchers and the policymakers. In fact, if CO₂ emissions have a unit-root, this suggests that these series do not revert to its equilibrium level after being hit by a shock.

Literature Review

There are many studies in the literature that test the stationarity feature of CO₂ emissions per capita. Generally, in most of these studies (Barassi, Cole and Elliott, 2008; Heil and Selden, 1999; Lee, Chang and Chen, 2008; Lee and Chang, 2009), traditional unit root tests and unit root tests with structural breaks were used. In recent years, studies have been conducted to analyze the convergence of CO₂ emissions by nonlinear unit root tests. In these studies, different findings were obtained regarding the stationarity of CO₂ emissions, depending on the country and the method (Camarero, Mendoza and Ordóñez 2011; Christidou, Panagiotidis and Sharma, 2013; Ozcan and Gultekin, 2016; Presno, Landajo and Gonzalez, 2018; Saliminezhad and Bahramian, 2020; Tiwari, Kyophilavong and Albulescu, 2016; Yavuz and Yilanci, 2013).

Methodology

In this study, the stationarity of CO₂ emissions per capita in low-income countries is analyzed using structural breaks and nonlinear unit root tests methods. Firstly, the linearity of CO₂ per capita series was tested by using Harvey and Leybourne (2007) and Harvey et al. (2008). Secondly, in order to compare the results of the unit root tests with structural breaks and the nonlinear unit root test results, Zivot-Andrews (1992), Lumsdaine and Papell (1997), Lee and Strazicich (2003, 2004) (LM) unit root tests were applied for the period of 1960-2016. Due to it was determined that the CO₂ emissions series per capita showed nonlinearity, Leybourne et al. (1998) (LNV), Harvey and Mills (2002) (HM), Kapetanios et al. (2003) (KSS), Sollis (2009), Kruse (2011), Hepsag (2019) nonlinear unit root tests were used.

Results

The results show different evidences about per capita CO₂ emissions in the low-income countries depending on methods. There is evidence to support both the stationarity and non-stationarity of CO₂ emissions. According to Zivot-Andrews (1992) and Lumsdaine and Papell (1997) unit root tests after having verified the presence of one and two break in intercept and slope model, the unit root tests results showed evidence in favor of stationarity. However, according to Lee and Strazicich (2003, 2004) LM unit root test results, it was found that CO₂ emissions were non-stationarity for all models. In addition, after applying nonlinear unit root tests it is also found that CO₂ emissions per capita in low-income countries showed different evidence depending on the method used.

Conclusion

Effective policy results emerge from the empirical results of CO₂ emissions. Sustainable environmental policies are based on the characteristics of the CO₂ emissions series. Therefore, determining whether shocks for CO₂ emissions are permanent or temporary is important for setting feasible goals for sustainable environmental policies. Policy makers should take into account CO₂ emissions in their environmental policies because per capita CO₂ emissions are essentially associated with a quality of human life. As a result of the continued reliance on fossil fuels, issues of reducing CO₂ emissions have been and will be the leading agenda in improving development of sustainability.