

# Sürdürülebilir Çevre Perspektifinde Türkiye'nin Ekolojik Açığı ve Yakınsama Analizi: Fourier KSS Birim Kök Testi

Ömer AKÇAYIR<sup>1</sup>, Fatih AKIN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Öğr. Gör. Dr., Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, omerakcayir@nevsehir.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1645-5312

<sup>2</sup> Öğr. Gör. Dr., Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, fatih.akin@erzincan.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7741-4004

**Öz:** Yerkürenin ürettiği biyokapasitenin oldukça üzerinde tüketilen rezervlerin kendisini yenilemesine imkan tanımaksızın ortaya çıkan ekolojik açık giderek artmakta ve gelecek nesillerin refahları hızla yok olmaktadır. Sürdürülebilir bir ekonomik büyüme için birtakım çabalar ortaya konulsa da, ekolojik açığın sürdürülebilirliği merak konusudur. Literatürde çok sayıda çalışmada, çevresel sürdürülebilirlik ve uzun dönem tahmini için yakınsama analizleri uygulanmış, ülke grupları arasında yakınsamanın varlığı araştırılmıştır. Çalışmada, 1961-2022 yılları arasında Türkiye'nin de dâhil olduğu 6 ülke, 4 kıta, 13 bölge ve dünya ortalamasına ait kişi başına düşen ekolojik açık verileri, Christopoulos ve León-Ledesma (2010) tarafından ortaya atılan Fourier tabanlı F-KSS birim kök testleri ile analiz edilmiştir. Uzun dönemde dünya ortalamasının ve birçok ülke ya da bölgenin ekolojik ayak izlerinin biyokapasitenin üzerinde olduğu ve düzelme seyri göstermediği sonucuna varılmıştır. Ayrıca Türkiye'nin, açıkların sürdürülemez olduğu bulgusuyla diğer 23 seriye yakınsayıp yakınsamadığı analiz edilmiştir. Türkiye'nin uzun vadede Çin, Doğu Asya, Afrika ve dünya ortalamasına yakınsadığı sonucuna ulaşılmıştır. Son dönemlerde Avrupa'da "karbon nötr kıta" vizyonu ile ortaya konulan hukuki düzenlemeler ve yaptırımların sonuç vermeye başladığı ve Türkiye'nin bu çevresel düzenlemelere çok daha hızlı entegrasyonun gerektiği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Ekolojik Ayak İzi, Yakınsama Analizi, Sürdürülebilir Çevre, Ekolojik Açık

**Jel Kodları:** Q01, O47, Q5, C32

## *Ecological Deficit and Convergence Analysis of Turkey in the Perspective of Sustainable Environment: Fourier KSS Unit Root Test*

**Atf:** Akçayır, Ö. ve Akın, F. (2024). Sürdürülebilir Çevre Perspektifinde Türkiye'nin Ekolojik Açığı ve Yakınsama Analizi: Fourier KSS Birim Kök Testi, *Politik Ekonomik Kuram*, 8(4), 1188-1202. <https://doi.org/10.30586/pek.1560723>

Geliş Tarihi: 03.10.2024  
Kabul Tarihi: 25.11.2024



**Telif Hakkı:** © 2024. (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Abstract:** The ecological deficit that emerges well above the biocapacity produced by the earth without allowing the reserves consumed to renew themselves is gradually increasing, and the welfare of future generations is rapidly disappearing. Although some efforts have been made for sustainable economic growth, the sustainability of the ecological deficit is a conundrum. Many studies in the literature have applied convergence analyses for environmental sustainability, and long-run forecasting and the existence of convergence among country groups has been investigated. In this study, the per capita ecological deficit data for 6 countries, including Turkey, 4 continents, 13 regions, and the world average between 1961 and 2022 are analysed with the Fourier-based F-KSS unit root tests proposed by Christopoulos and León-Ledesma (2010). In the long term, it was concluded that the ecological footprints of the world average and many countries and regions are above the biocapacity and do not show signs of improvement. It is also analysed whether Turkey converges to the other 23 series with the finding that deficits are unsustainable. It is concluded that Turkey converges to China, East Asia, Africa, and the world average in the long run. With the inference that Europe has started to get results from the legal regulations and sanctions that it has recently made with the vision of 'a carbon-neutral continent', it is thought that Turkey should be integrated into these environmental regulations immediately.

**Keywords:** Ecological Footprint, Convergence Analysis, Sustainable Environment, Ecological Deficit

**Jel Codes:** Q01, O47, Q5, C32

## 1. Giriş

Tarihsel olarak Sanayi Devriminin bir milat olarak kabulüyle, üretim ve tüketim çılgınlığının giderek artması sonucu küresel ekonomi büyümüş ve önemli teknolojik gelişmeler yaşanmıştır. Bu değişim ile birlikte sürekli artan enerji talebiyle kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtların tüketilmesi sonucu küresel ısınmayı artıran karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), azot oksitler (NO<sub>x</sub>) ve partikül madde gibi sera gazları ortaya çıkmakta, artan hava kirliliği asit yağmurlarını oluşturabilmekte ve ekolojik denge önemli düzeyde bozulmaktadır (Agbede vd., 2021; Dissanayake vd., 2023).

Küresel kaynakların giderek azalması ve kendini yenileme imkanı tanımaksızın ekolojik rezervlerin tüketilmesi sonucu ekonomik büyümenin sınırlarına ulaşıldığı düşünülmektedir. Roma Kulübü önderliğinde 1972'de Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nden (MIT) bir grup araştırmacının hazırladığı The Limits to Growth (Büyümenin Sınırları) raporu bu konudaki farkındalığı ve çabaları ateşlemiştir (Meadows vd., 1972). Sürdürülebilir büyüme arayışında ekolojik ayak izi yakınsaması fikrine büyük önem verilmektedir. Ekolojik ayak izi, mevcut teknoloji ve kaynak yönetimi tekniklerini kullanarak, bir nüfusun tükettiği kaynakları üretmek ve ürettiği atıkları asimile etmek için gereken verimli alan miktarını hesaplamaktadır (Global Footprint Network [GFN], 2024). Kaynak kullanımında daha adil ve sürdürülebilir bir küresel dağılım elde etmek için, yüksek ekolojik ayak izine sahip ülkeler veya bölgeler kişi başına düşen ortalama kaynak kullanımını ve atık üretimini azaltma eğilimindeyken, daha düşük ayak izine sahip olanlarda ise artma eğilimi söz konusu olabilmektedir. Bu süreç ekolojik ayak izi yakınsaması olarak tanımlanmaktadır (Solarin vd., 2019; Yılancı ve Pata, 2020; Tillaguango vd., 2021).

Ekolojik ayak izi yakınsaması, dünya üzerindeki atık üretim ve tüketim uygulamalarının sürdürülemez olduğu ve yerkürenin kaynaklarının sınırlı olduğu anlayışına dayanmaktadır. Yüksek gelirli uluslar, genellikle daha büyük ekolojik ayak izine sahip oldukları için sürdürülebilir uygulamaları daha fazla benimsemekte, kaynak kullanımını azaltarak verimliliği artırmakta ve çevresel politikaları teşvik ederek bu projelere ve yasal düzenlemelere destek vermektedirler. Öte yandan, genellikle daha küçük ekolojik ayak izine sahip olan düşük gelirli ulusların yaşam standartlarını yükseltmek için daha fazla kaynak tüketme eğiliminde olduğu görülmektedir (Apaydın vd., 2021).

Ekolojik ayak izi yakınsamasını sağlamak için eğitim ekseninde, bireysel ve grup davranışlarındaki iyileştirmeleri, teknolojik gelişmeleri ve yasal müdahaleleri içeren karmaşık bir strateji gerekmektedir. Atıkların azaltılmasını, sürdürülebilir tarımı, yenilenebilir enerji kaynaklarını ve enerji verimliliğini destekleyen politikalar oldukça büyük önem taşımaktadır. Teknolojik yeniliklerin, kaynak verimliliğini artırarak ve sürdürülebilir çevre alternatiflerinin yaratılmasını kolaylaştırarak ekolojik ayak izinin düşürülmesine önemli ölçüde katkı sağlaması beklenmektedir. Ayrıca, eğitim ve farkındalık kampanyaları yoluyla gelecek nesillere miras bırakılacak sürdürülebilir bir çevre kültürünün teşvik edilmesi, ekolojik ayak izi yakınsamasını kolaylaştıran davranışsal değişimleri etkileyebileceği öngörülmektedir (Tillaguango vd., 2021). Bu fikir aynı zamanda uluslararası bir işbirliğinin ne kadar önemli olduğuna da vurgu yapmaktadır. Gelişmiş ülkeler, eğitim, mali destek, teknoloji transferi ve kapasite geliştirme programları yoluyla, gelişmekte olan ülkelere sürdürülebilir kalkınma arayışlarında yardımcı olmakla yükümlüdürler. Bu işbirliği stratejisi ile tüm uluslar, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama kapasitesini tehlikeye atmadan sürdürülebilirliğe yaklaşabileceklerdir (Işık vd., 2021).

Ekolojik ayak izi yakınsamasının teorik alt yapısı genellikle çevresel Kuznets eğrisi (ÇKE) çerçevesinden analiz edilmektedir<sup>1</sup>; bu eğri çevresel bozulmanın başlangıçta ekonomik büyümeyle birlikte arttığını, ancak milli gelir daha yüksek seviyelere ulaştıkça ve toplumlar daha temiz teknolojiler ve daha katı çevresel düzenlemeleri

<sup>1</sup> Yurtkuran (2021a), Pata ve Yurtkuran (2023), Pata vd. (2023), Yurtkuran ve Pata (2024)

karşılatabildikçe nihayetinde azalacağını varsaymaktadır. Bu eğri, ülkeler geliştikçe ekolojik ayak izlerinin başlangıçta büyüyebileceğini, ancak sonunda küresel yakınlaşmaya katkıda bulunarak istikrara kavuşması veya azalması gerektiğini öne sürmektedir (Solarin, 2019; Yurtkuran, 2021a).

Literatürde yer alan çalışmalar bütüncül olarak değerlendirildiğinde, ekolojik yakınsamadan ziyade karbon emisyonu yakınsamasının ele alındığı görülmekte, çok sayıda ülke ve bölge örneğinde grupların uzun vadede birbirlerine yakınsayıp yakınsamadığı ampirik olarak test edilmektedir. Bu çalışmada Türkiye'nin dahil olduğu 24 farklı ülke, bölge ve kıtanın 1961-2022 yıllık dönemlerinin ekolojik yakınsaması yapısal kırılmalar altında da başarılı sonuçlar veren Fourier KSS birim kök testi ile araştırılmıştır. Türkiye özelinde bu kadar geniş örnekleme sahip detaylı bir ekolojik yakınsama analizine rastlanmamış olup, çalışmanın literatürdeki boşluğu doldurarak katkı sağlayacağı ve ülke politikalarına ışık tutacağı düşünülmektedir. Çalışma sırasıyla giriş bölümü, teorik çerçeve, literatür ve analiz kısmından oluşmaktadır.

## 2. Teorik Çerçeve

Yakınsama hipotezinin tarihsel gelişiminde Robert Solow, yakınsama hipotezinin temellerini atan ilk kişi olarak anılmaktadır. 1956 tarihli "*A Contribution to the Theory of Economic Growth*" başlıklı makalesinde Solow, neoklasik büyüme modelini tanıtmıştır. Solow'un büyüme modeli, yoksul ekonomilerin zengin ekonomilerden daha hızlı büyüyeceğini ve bunun da zaman içinde gelir seviyelerinde bir yakınsamaya yol açacağını öne sürmektedir. Bu model, ekonomik büyümenin sağlanmasında sermaye birikimi, işgücü artışı ve teknolojik ilerlemenin rolünü vurgulamaktadır (Solow, 1956).

Moses Abramovitz, 1986 tarihli "*Catching Up, Forging Ahead, and Falling Behind*" başlıklı çalışmasıyla yakınsama tartışmalarına önemli bir katkıda bulunmuştur. Abramovitz, başlangıçta daha düşük üretkenlik seviyelerine sahip ülkelerin, daha gelişmiş ekonomilerdeki mevcut teknolojileri benimseyerek daha hızlı büyüme potansiyeline sahip olduğunu savunmaktadır. Yakınsamanın sağlanmasında sosyal yeteneklerin ve teknolojik gelişmenin etkisine dikkat çekilmiştir (Abramovitz, 1986).

William J. Baumol, "*Productivity Growth, Convergence, and Welfare: What the Long-Run Data Show*" başlıklı 1986 tarihli makalesinde yakınsama hipotezi için ampirik destek sağlamıştır. Baumol'un analizi, daha düşük üretkenlik seviyelerine sahip ülkelerin daha hızlı büyüme oranları deneyimleme eğiliminde olduğunu göstermekte ve bu da yakınsama hipotezini desteklemektedir. Çalışması, üretkenlik büyümesini yönlendirmede teknolojik yayılmanın ve sermaye yatırımının rolünü ele almıştır (Baumol, 1986).

Robert J. Barro ve Xavier Sala-i-Martin, 1995 tarihli "*Economic Growth*" adlı eseriyle, yakınsama üzerine yapılan kapsamlı çalışmalarıyla tanınmaktadır. Çalışmada, mutlak ve koşullu yakınsama kavramlarını ortaya atmışlardır. Mutlak yakınsama, tüm ekonomilerin eninde sonunda aynı kişi başına gelir seviyesine yakınsayacağını öne sürerken, koşullu yakınsama tasarruf oranları, nüfus artışı ve beşeri sermaye gibi faktörlerdeki farklılıkları dikkate almaktadır. Ampirik çalışmaları, bölgeler ve ülkeler arasında koşullu yakınsama için güçlü kanıtlar sağlamıştır (Barro ve Sala-i-Martin, 1995).

Dan Ben-David, ticaret ve küreselleşmenin yakınsamayı teşvik etmedeki rolüne odaklandığı 1990'larda yaptığı araştırmalarda, açık ekonomilerin teknoloji transferi, artan rekabet ve daha büyük pazarlara erişim nedeniyle nasıl daha hızlı yakınsama yaşama eğiliminde olduğunu tespit etmiştir. Ben-David'in çalışmaları, ekonomik büyüme ve yakınsamayı kolaylaştırmada uluslararası ticaret politikalarının öneminin altını çizmiştir (Ben-David, 1993).

Andrew B. Bernard ve Steven N. Durlauf yakınsamanın ekonometrik analizine katkıda bulunmuşlardır. 1995 ve 1996 tarihli makaleleri yakınsama hipotezinin test edilmesi için önemli bir çerçeve sunmuş, çoklu faktörlerin dikkate alınması ve sağlam istatistiksel yöntemlerin kullanılması gerektiği vurgulanmıştır. Yakınsama sürecinin

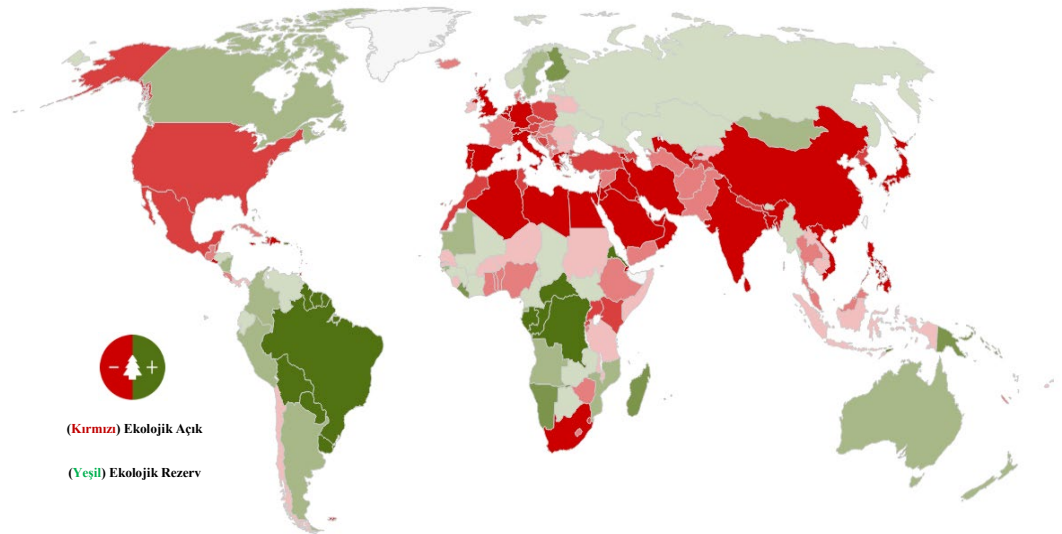
belirlenmesinde gelir düzeyi ve kurumsal kalite gibi başlangıç koşullarının önemine atıfta bulunulmuştur (Bernard ve Durlauf, 1995, 1996).

Yakınsama hipotezi, daha sonraki yıllarda çevre ekonomisi de dahil olmak üzere çeşitli alanlardaki uygulamalara zemin hazırlamıştır. Çevresel yakınsama, başlangıçta farklı çevresel kalite veya kirlilik emisyonu seviyelerine sahip ülkelerin veya bölgelerin zamanla daha benzer hale geldiği süreci ifade etmektedir (Lawson vd., 2020). 20. yüzyılın sonlarında çevresel kaygılar önem kazanmaya başlamıştır. Araştırmacılar ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi incelemeye başlamıştır. İnsan faaliyetlerinin çevresel etkilerini ölçen ekolojik ayak izi kavramı bu alanda önemli bir gösterge haline gelmiştir (Işık vd., 2021).

Solow'un yakınsama hipotezinin ekolojik ayak izi ile entegrasyonu 21. yüzyılın başlarında başlamıştır. Araştırmacılar, gelir yakınsamasına benzer şekilde, daha yüksek ekolojik ayak izine sahip ülkelerin daha düşük ayak izine sahip ülkelere doğru yakınsayıp yakınsamayacağını anlamayı amaçlamıştır. Son araştırmalar, Solow yakınsama analizinin ekolojik ayak izlerine uygulanmasını geliştirmeye devam etmektedir. Mekânsal ekonometri ve panel birim kök testleri gibi gelişmiş ekonometrik teknikler, daha sağlam ve detaylı içgörüler sağlamak için kullanılmaktadır. Bu çalışmalar, politika yapımcıların çevre politikalarının etkinliğini ve sürdürülebilir uygulamalarda küresel yakınsama potansiyelini anlamalarına yardımcı olmaktadır. Solow yakınsama analizinin ekolojik ayak izine uygulanması, ekonomik büyüme teorilerinin çevresel sürdürülebilirlikle bütünleştirilmesine yönelik önemli bir adımı temsil etmekte ve küresel çevre hedeflerine ulaşılması için değerli içgörüler sunmaktadır (Işık vd., 2021; Abbasi ve Haq, 2022).

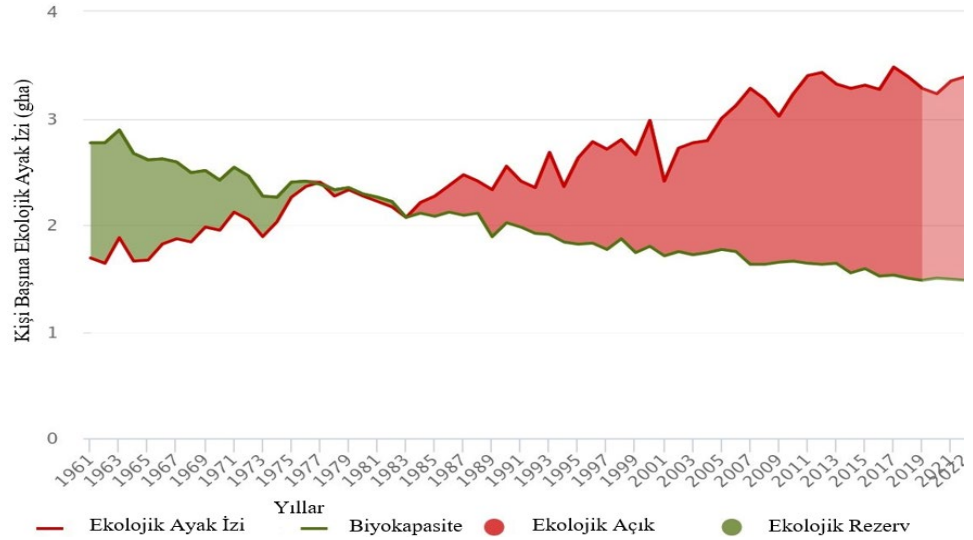
Ekolojik ayak izi ve biyokapasite verileri inşaat/yapı alanları, tarım alanları, karbon emisyonları, balıkçılık, ormancılık ve yeşil alanlar olmak üzere 6 ana başlıktan üretilen verilerin toplamlarından oluşmakta olup, küresel hektar (gha) birimi ile ölçülmektedir. Bir yerleşim yerinin ya da bölgenin sahip olduğu ya da ürettiği biyokapasitesinden ekolojik ayak izinden çıkarılması ile elde edilen veriler negatifse "ekolojik açık" pozitifse "ekolojik rezerv" adı verilmektedir. Ulusal ekolojik açık, ülkenin ticaret yoluyla net biyokapasite ithal ettiği, ulusal ekolojik varlıklarını tükettiği veya doğaya kendi ekosistemlerinin temizleyebileceğinden daha fazla zararlı atık yaydığı anlamına gelmektedir (GFN, 2024).

GFN güncel verilerine göre, çok sayıda ülkenin ekolojik açık verdiği görülmekte, özellikle sanayileşmenin yüksek olduğu ülke ya da bölgelerin biyokapasitesinin üzerinde ekolojik ayaz izi bıraktığı (tüketim yaptığı) gözlenmektedir. Şekil 1'de 2022 yılı verilerine göre Dünya'nın ekolojik açık/rezerv haritası gösterilmiştir.



Şekil 1. Dünya Ekolojik Açık/Rezerv Haritası (GFN, 2024)

Haritanın renk dağılımına göre; ekolojik açık ekolojik rezervlerden fazladır yani dünyada ekolojik ayak izinin biyokapasiteyi aştığı söylenebilmektedir. Asıl merak konusu olan husus, bu açıkların sürdürülebilir olup olmadığıdır. Özellikle ekolojik açığın yüksek olduğu bölgeler; Orta Amerika, Kuzey Afrika, Avrupa, Orta Asya ve Güney Doğu Asya ülkeleri olmuştur. Türkiye'nin 1961-2022 yılları arasındaki verileriyle elde edilen Şekil 2'de ekolojik açık/rezerv durumu gösterilmiştir.



Şekil 2. Türkiye'nin Açık/Rezerv Durumu (GFN, 2024)

İlgili dönemlerde Türkiye'deki ekolojik ayak izi ve biyokapasite (kişi başına gha) verilerine göre, 1983 yılına kadar kişi başına düşen biyokapasite kişi başına düşen ekolojik ayak izinden büyük olmasına rağmen, bu yıldan sonra kişi başı ekolojik ayak izi kalıcı olarak kişi başı biyokapasiteden daha büyük hale gelmiştir. Yani, 1961-1983 dönemleri arasında "ekolojik rezerv" var iken, 1983-2022 dönemi arasında "ekolojik açık" bulunmaktadır. Ayrıca bu açığı meydana getiren makasın sürekli açıldığı ve dengeden giderek ıraksadığı net olarak gözlenmektedir. Fiili bu durum ilk değerlendirmeye sanayileşme, ekonomik büyüme, nüfus artışı ve küresel ısınma etkenleriyle açıklanabilmektedir. 2007 yılı istatistiklerine göre Türkiye'nin kişi başı tüketimi küresel ortalamasının 1.5 katına karşılık gelmektedir. İlgili tarih sonrasında ayrıca mülteci sayısındaki büyük artışın da etkisiyle hızlı bir nüfus artışı yaşanmakta bu da biyokapasitenin çok üzerinde bir ekolojik ayak izini ortaya çıkarmaktadır. Bunun doğal sonucu olarak ekolojik açık giderek yükselmektedir. Ayrıca küresel rekabetin bir gereği olarak tetiklenen ekonomik büyüme motivasyonu, yeşil olmayan (fosil yakıt) enerji kullanımı ve çevreci olmayan üretim anlayışı biyokapasitenin çok üzerinde bir ekolojik ayak izinin ortaya çıkmasına olumsuz katkı sağlamaktadır (WWF, 2012).

### 3. Literatür Taraması

Ekolojik ayak izi (EF-Ecological Footprint) yakınsama hipotezi, ülkelerin çevresel etkilerinin zaman içinde yakınsama eğiliminde olduğunu ileri sürmektedir. Son çalışmalar bu kavramı çeşitli metodolojiler ve zaman ölçekleri kullanarak incelemiştir. Literatürdeki çalışmaların büyük çoğunluğunda, karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonu yakınsamasının ele alındığı görülmektedir. Daha sonraki yıllarda çevreyi daha yüksek temsil kabiliyeti bulunan ekolojik ayak izinin analiz edildiği çalışmaların sayısı artmıştır (Tatar, 2022). Ayrıca çalışmaların çok azında zaman serileri analizi kullanılmış olup, çoğunlukla panel veri analizi yapılmıştır. Tablo 1'de literatürde yerini almış çalışmalar üç ana başlık altında özetlenmiştir. Özet sırasıyla; CO<sub>2</sub>, EF ve diğer (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, EF, CF, CO<sub>2</sub>) değişkenlerin kullanıldığı yakınsama analizlerinden oluşmaktadır.

Tablo 1. Çevresel Yakınsama Literatür Özeti

1. CO <sub>2</sub> İçin Yakınsama Analizleri			
Yazar (Yıl)	Ülke Grubu (Periyot)	Yöntem	Yakınsama
Strazicich & List (2003)	21 Ülke (1960–1997)	Panel Birim Kök Testi	+
Lanne & Liski (2004)	16 Sanayileşmiş Ülke (1870-2028)	Çoklu Kırılmalı Birim Kök Testi	-
Nguyen Van (2005)	100 Ülke (1966–1996)	Parametrik Olmayan Yaklaşım	+
Aldy (2006)	88 Ülke (1960-2000)	DF-GLS Birim Kök Testi	+
Aldy (2007)	ABD (1960-1999)	Panel Birim Kök Testi	+
Ezcurra (2007)	87 Ülke (1960-1999)	Parametrik Olmayan Yaklaşım	+
Romero-Ávila (2008)	23 Sanayileşmiş Ülke (1960-2002)	Panel Birim Kök Testi	+
Lee & Chang (2008)	21 OECD Ülkesi (1960-2000)	SURADF Panel Birim Kök Testi	+
Westerlund & Basher (2008)	16 Gelişmiş ve 12 Gelişmekte olan ülke (1870–2002)	Panel Birim Kök Testi	+
Panopoulou & Pantelidis (2009)	128 Ülke (1960–2003)	Panel Kulüp Yakınsama Testi	+
Brock vd. (2010)	173 Ülke (1960-1998)	Kesitsel Yaklaşım	+
Yavuz & Yilanci (2013)	G-7 Ülkeleri (1960-2005)	TAR Panel Birim Kök Testi	+
Christidou vd. (2013)	36 Ülke (1870-2006)	Panel Birim Kök Testi	+
Wang vd. (2014)	Çin'in Eyaletleri (1995–2011)	Panel Kulüp Yakınsama Testi	+
El-Montasser vd. (2015)	G-7 Ülkeleri (1990-2011)	Kırılmalı Panel Birim Kök Testi	-
Tiwari vd. (2016)	35 Sahra Altı Ülkesi (1960-2009)	Zaman ve Panel Birim Kök Testi	+
Burnett (2016)	ABD (1960–2010)	Panel Kulüp Yakınsama Testi	+
Acaravcı & Erdogan (2016)	Dünyanın 7 Bölgesi (1960–2011)	Panel Birim Kök Testi	+
Apergis & Payne (2017)	ABD (1980–2013)	Panel Kulüp Yakınsama Testi	+
Presno vd. (2018)	28 OECD Ülkesi (1901–2009)	Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi	+
Erdogan & Acaravcı (2019)	28 OECD Ülkesi (1960-2014)	Fourier Panel KPSS Birim Kök Testi	+
Churchill vd. (2020)	17 Gelişmekte olan ülke (1921-2014)	LM ve RALS LM Birim Kök Testi	+
Payne & Apergis (2021)	65 Gelişmekte Olan Ülke (1972-2014)	Panel Birim Kök Testi	+
Dogah & Churchill (2022)	7-ASEAN Ülkesi (1960-2018)	Panel Kulüp Yakınsama Testi	+
Ursavaş & Apaydın (2023)	G-7 Ülkeleri (1997-2018)	Panel Kulüp Yakınsama Testi	-
Apeaning & Labaran (2024)	54 Afrika Ülkesi (1980-2019)	Panel Kulüp Yakınsama Testi	+
2. Ekolojik Ayak İzi (EF) İçin Yakınsama Analizleri			
Yazar (Yıl)	Ülke Grubu (Periyot)	Yöntem	Yakınsama
Ulucak & Apergis (2018)	AB Ülkeleri (1961-2013)	Panel Kulüp Yakınsama Testi	+
Bilgili & Ulucak (2018)	G-20 Ülkeleri (1961-2014)	Yapısal Kırılmalı Panel KPSS Testi	+
Ozcan vd. (2019)	Yüksek gelirli ülkeler (1961–2013)	Panel Birim Kök Testi	+
Bilgili vd. (2019)	Dört Farklı Kıtadan 15 Ülke (1961-2014)	Panel KPSS Testi	+
Yilanci & Pata (2020)	ASEAN-5 (1961-2016)	TAR Panel Birim Kök Testi	+
Ulucak vd. (2020)	Sahra Altı Afrika (1961-2014)	Panel Kulüp Yakınsama Testi	-
Yurtkuran (2020)	N-11 Ülkeleri (1971-2016)	Fourier Durağanlık Testi	+
Işık vd. (2021)	UMSCA (1961-2016)	TAR Panel Birim Kök Testi	+
Erdogan & Okumus (2021)	Farklı Gelir Grupları (1961-2016)	Fourier Panel KPSS Testi	+
Tillaguango vd. (2021)	Latin Amerika Ülkeleri (1990-2016)	Panel Kulüp Yakınsama Testi	+
Yıldırım vd. (2021)	16 AB Ülkesi (1961-2016)	Fourier Panel KSS Testi	-
Yilanci vd. (2022a)	13 Akdeniz Ülkesi (1961-2014)	LM ve RALS-LM Birim Kök Testi	+
Belloc & Molina (2022)	Afrika Bölgesi (1970-2018)	Panel Kulüp Yakınsama Testi	-
Tatar (2022)	ASEAN-5 (1973-2017)	SURADF ve SURKSS Birim Kök Testi	+
Bayraktar vd. (2023)	BRICS-T (1992-2017)	Fourier Birim Kök Testi	+
Arogundade vd. (2023)	189 Ülke (1990-2017)	Panel Kulüp Yakınsama Testi	+
Dürrü & Konat (2023)	CIVETS Ülkeleri (1961-2018)	Fourier Kantil Birim Kök Testi	+
Çelik vd. (2023)	ECCAS ve ECOWAS Ülkeleri (1961-2017)	Bahmani-Oskooee vd. Panel Birim Kök Testi	+
Gómez & Rodríguez (2024)	Amerika Ülkeleri (1990-2022)	Panel Kulüp Yakınsama Testi	+
3. SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , EF, CF ve CO <sub>2</sub> İçin Yakınsama Analizleri			
Yazar (Yıl)	Ülke Grubu (Periyot)	Yöntem	Yakınsama
List (1999)	ABD (1929-1994)	Zaman Serisi Birim Kök Testi	+
Solarin (2019)	27 OECD Ülkesi (1961–2013)	RALS-LM	+
Haider & Akram (2019)	77 Ülke (1961-2014)	Panel Kulüp Yakınsama Testi	-
Yilanci (2022b)	G-7 Ülkeleri (1961-2016)	Panel Fourier Threshold Birim Kök Testi	+

Not: “+” yakınsamanın olduğunu; “-” yakınsamanın olmadığını belirtmektedir. CO<sub>2</sub>: karbon dioksit, EF: ekolojik ayak izi, SO<sub>2</sub>: kükürt dioksit, NO<sub>2</sub>: azot dioksit, CF: karbon ayak izini ifade etmektedir.

Literatürde yakınsama analizlerinin yapıldığı çalışmalar dikkate alındığında, çoğunlukla karbon emisyonunun ele alındığı görülmekte, ayrıca ekolojik ayak izinin ya da spesifik bazı sera gazlarının veya bunların farklı kombinasyonlarının ele alındığı görülmektedir. Örneklem açısından ele alındığında ise, çok farklı ülke ve bölge gruplarının araştırmaya konu olduğu görülmektedir. Yöntem açısından ise, çoğunluğun panel veri analizi olduğu görülmektedir. Türkiye özelinde, hangi ülke, bölge ya da kıtaya yakınsadığını araştıran bir çalışmaya literatürde rastlanmamış olup bu yönüyle çalışma özgündür. Çalışmada Türkiye'nin bir çok ülke veya ülke grubuna yakınsayıp yakınsamadığı zaman serileri analizi yöntemiyle ele alınmıştır.

#### 4. Ekonometrik Analiz ve Bulgular

Ekolojik açık veren ülkelerden yola çıkarak çalışmada ülke bazında, Türkiye'nin yanı sıra, en yüksek düzeyde ekolojik açık veren Çin, ABD, Hollanda, Almanya ve Birleşik Krallık ülkeleri seçilmiştir. Bölge bazında ise Doğu Afrika, Doğu Asya, Doğu Avrupa, Latin Amerika ve Karayipler, Orta Afrika, Kuzey Amerika, Kuzey Afrika, Kuzey Avrupa, Güney Amerika, Güneydoğu Asya, Doğu Afrika, Batı Avrupa, Batı Asya bölgeleri ve kıta bazında Afrika, Asya, Avrupa, Okyanusya (Avusturalya Kıtası) kıtalarının 1961-2022 dönemlerine ait verileri ele alınmıştır. Ayrıca tüm dünya ülkelerinin ortalama verileri de çalışmada analiz edilmiştir. Veriler GFN açık erişim veri tabanından elde edilmiştir.

Çalışmada analizi yapılan 24 adet zaman serisine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 2'de gösterilmektedir. Tabloda ilk olarak ekvatora yakınlık derecesi arttıkça standart sapmanın yükseldiği göze çarpmaktadır. Zira küresel iklim değişikliklerinin ekolojik rezerv açısından ilk ve en şiddetli etkisi bu bölgelerde kendini göstermektedir. COP27 toplantısında iklim değişikliğinden en çok etkilenen ve en savunmasız on ülkenin sırasıyla Çad, Somali, Suriye, Demokratik Kongo Cumhuriyeti, Afganistan, Güney Sudan, Orta Afrika Cumhuriyeti, Nijerya, Etiyopya ve Bangladeş olduğu kabul edilmiştir (Iberdrola, 2024). Raporlanan bu durum istatistiki yorumun doğruluğunu desteklemektedir.

Tablo 2. Seriler İle İlgili Tanımlayıcı İstatistikler

Değişkenler	Ortalama	Ortanca (Medyan)	En Yüksek	En Düşük	Std. Sapma	Jarque-Bera	Olasılık	Gözlem Sayısı
Türkiye	-0.549	-0.476	1.124	-1.944	0.927	3.555	(0.169)	1961-2022 Yılları (62 Adet Gözlem)
ABD	-5.235	-5.391	-3.096	-6.738	1.045	4.316	(0.116)	
Çin	-1.052	-0.663	0.047	-2.817	0.944	7.529	(0.023)	
Hollanda	-5.091	-5.321	-2.631	-6.331	0.914	21.007	(0.000)	
Almanya	-4.131	-3.968	-2.709	-5.856	0.841	3.723	(0.155)	
Birleşik Krallık	-4.336	-4.437	-2.434	-5.849	0.802	3.377	(0.185)	
Doğu Avrupa	-1.197	-0.949	0.753	-3.713	1.581	7.495	(0.024)	
Batı Avrupa	-3.852	-3.913	-2.704	-5.125	0.626	1.627	(0.443)	
Kuzey Avrupa	-2.366	-2.415	-0.865	-3.900	0.693	0.690	(0.708)	
Doğu Afrika	-1.414	-1.485	0.244	-2.359	0.645	11.521	(0.003)	
Orta Afrika	4.980	4.152	11.531	1.160	3.160	5.531	(0.063)	
Kuzey Afrika	-0.594	-0.861	0.861	-1.723	0.738	6.660	(0.036)	
Güney Afrika	0.406	0.230	1.472	-0.136	0.514	6.959	(0.031)	
Güney Amerika	7.676	6.866	15.737	3.953	3.407	7.060	(0.029)	
Kuzey Amerika	-3.717	-3.915	-1.224	-5.286	1.048	5.040	(0.080)	
Latin Amerika ve Karayipler	5.036	4.451	11.257	2.259	2.611	7.564	(0.023)	
Batı Asya	-1.176	-1.005	0.764	-2.833	1.147	4.105	(0.128)	
Güneydoğu Asya	0.067	0.036	1.236	-0.843	0.615	3.994	(0.136)	
Doğu Asya	-1.342	-1.062	-0.114	-2.883	0.871	5.402	(0.067)	
Avrupa	-2.600	-2.297	-1.181	-4.020	0.798	4.803	(0.091)	
Asya	-0.739	-0.611	0.080	-1.597	0.528	4.161	(0.125)	
Afrika	0.793	0.557	2.777	-0.154	0.876	6.936	(0.031)	
Okyanusya	0.356	0.328	1.731	-0.785	0.528	1.847	(0.397)	
Dünya	-0.468	-0.527	0.825	-1.145	0.551	7.184	(0.028)	

Kaynak: Yazarın Hesaplamaları

Serilerin ortalamadan sapma ve uzun dönemde tekrar dengeye gelme açısından istikrarlı bir seyir izleyip izlemediğini araştırmak amacıyla serilere Christopoulos ve León-Ledesma (2010) tarafından ortaya atılan Fourier tabanlı F-KSS birim kök testleri uygulanmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında sürdürülebilirliğin tespiti amacıyla ekolojik açık veren 24 adet ülke, bölge ve kıta değişkenlerine ait serinin birim kök içerip içermediği araştırılacaktır. Bu aşamada, çalışmada seçilen serilerin ekolojik açık veren ülkeler olduğu ve bunların uzun dönemde sürdürülemez olup olmadığı test edilmek istenmiştir. İkinci aşamada ise Türkiye'nin diğer 23 ülke, bölge ve kıta değişkenlerine yakınsayıp yakınsamadığı yine F-KSS testi ile araştırılacaktır. Değişkenler arasındaki ilişkinin yönü ve şiddetini yorumlamak üzere Şekil 1'de Pearson korelasyon matrisi tablollaştırılmıştır. Bu matrise göre Türkiye'nin veri seti ile Çin, Afrika Kıtası, Orta Afrika, Doğu Afrika, Latin Amerika, Güney Amerika, Asya Kıtası, Doğu Asya, Güneydoğu Asya veri setleri arasında oldukça yoğun ve pozitif ilişki olduğu ifade edilebilir. Bu ilişki çalışma verilerinin seçimi açısından doğru seçim yapıldığını göstermektedir.

	Afrika	Asya	Çin	Doğu Afrika	Doğu Asya	Doğu Avrupa	Avrupa	Almanya	Latin Amerika	Orta Afrika	Hollanda	Kuzey Amerika	Kuzey Afrika	Kuzey Avrupa	Olyanusya	Güney Amerika	Güneydoğu Asya	Güney Afrika	TÜRKİYE	Birleşik Krallık	ABD	Doğu Asya	Doğu Avrupa	DÜNYA	
Afrika	1.00																								
Asya	0.92	1.00																							
Çin	0.84	0.98	1.00																						
Doğu Afrika	1.00	0.92	0.84	1.00																					
Doğu Asya	0.88	1.00	1.00	0.88	1.00																				
Doğu Avrupa	-0.61	-0.72	-0.72	-0.64	-0.71	1.00																			
Avrupa	-0.49	-0.65	-0.69	-0.51	-0.65	0.93	1.00																		
Almanya	-0.14	-0.37	-0.47	-0.16	-0.41	0.74	0.88	1.00																	
Latin Amerika	1.00	0.92	0.84	0.99	0.88	-0.60	-0.47	-0.11	1.00																
Orta Afrika	1.00	0.94	0.87	1.00	0.91	-0.67	-0.56	-0.22	0.99	1.00															
Hollanda	0.69	0.55	0.44	0.67	0.51	-0.15	0.13	0.46	0.72	0.65	1.00														
Kuzey Amerika	0.43	0.20	0.04	0.42	0.13	0.01	0.39	0.59	0.46	0.37	0.84	1.00													
Kuzey Afrika	0.93	0.78	0.68	0.93	0.72	-0.48	-0.34	-0.02	0.93	0.92	0.68	0.90	1.00												
Kuzey Avrupa	-0.68	-0.71	-0.73	-0.69	-0.71	0.64	0.78	0.55	-0.66	-0.72	-0.04	0.27	-0.56	1.00											
Olyanusya	0.85	0.85	0.79	0.83	0.83	-0.49	-0.35	-0.01	0.87	0.84	0.75	0.48	0.71	-0.47	1.00										
Güney Amerika	1.00	0.92	0.85	0.99	0.89	-0.60	-0.48	-0.12	1.00	0.99	0.71	0.45	0.92	-0.67	0.87	1.00									
Güneydoğu Asya	0.98	0.97	0.92	0.98	0.95	-0.72	-0.61	-0.29	0.98	0.99	0.62	0.33	0.87	-0.73	0.85	0.98	1.00								
Güney Afrika	0.92	0.84	0.76	0.89	0.81	-0.39	-0.22	0.10	0.93	0.89	0.82	0.56	0.87	-0.43	0.88	0.92	0.87	1.00							
TÜRKİYE	0.96	0.98	0.94	0.96	0.97	-0.71	-0.61	-0.31	0.96	0.98	0.61	0.29	0.84	-0.71	0.85	0.96	0.99	0.88	1.00						
Birleşik Krallık	-0.69	-0.75	-0.78	-0.69	-0.76	0.52	0.88	0.47	-0.67	-0.72	-0.09	0.27	-0.53	0.96	-0.53	-0.68	-0.73	-0.49	-0.73	1.00					
ABD	0.18	-0.06	-0.21	0.18	-0.12	0.19	0.50	0.69	0.22	0.13	0.71	0.97	0.29	0.48	0.27	0.21	0.07	0.35	0.04	0.49	1.00				
Doğu Asya	0.96	0.98	0.94	0.96	0.96	-0.71	-0.62	-0.33	0.96	0.97	0.58	0.27	0.86	-0.71	0.84	0.96	0.98	0.88	0.99	-0.73	0.01	1.00			
Doğu Avrupa	0.06	-0.17	-0.29	0.04	-0.21	0.52	0.76	0.94	0.10	-0.01	0.69	0.79	0.18	0.52	0.19	0.09	-0.08	0.30	-0.10	0.46	0.85	-0.12	1.00		
DÜNYA	0.97	0.93	0.86	0.96	0.90	-0.53	-0.38	-0.04	0.98	0.96	0.79	0.50	0.89	-0.56	0.91	0.98	0.96	0.96	0.95	-0.61	0.26	0.95	0.18	1.00	

Şekil 3. Pearson Korelasyon Matrisi

Kaynak: Yazarın Hesaplamaları

Birim kök testlerinde yapısal kırılmaların dikkate alınmaması ya da içsel olarak kırılma tarihlerinin tahmin edilmesi ve doğrusal dışılığın dikkate alınmaması bulguların güvenilirliğini etkilemektedir (Yurtkuran, 2021b). Yapısal kırılmaların belirlenmesinde birçok yöntem literatürde yer almakta olup, genellikle yapısal kırılmaların ani gerçekleştiği varsayılmıştır. Oysa bu durum hem ekonominin hem de istatistik biliminin doğasına aykırıdır. Leybourne vd. (1998) (LNV) ve Harvey ve Mills (2002) testleri yapısal kırılmaların daha yumuşak ve yavaş olduğu varsayımıyla testler geliştirmiştir (Hepsağ, 2022). Becker vd. (2006) çalışmasında durağanlık sınamasına ait modellerde F-KPSS adıyla Fourier fonksiyonlarını ilk kez kullanmışlardır. Bu testler yapısal kırılmalar tarihlerini belirlemekte, yapısal kırılmalar altında birim köklerin varlığı test edebilmektedir.

Christopoulos ve León-Ledesma (2010) tarafından geliştirilen hem yumuşak kırılmanın hem de doğrusal dışılığın dikkate alındığı bir test olan Fourier ADF ve Fourier KSS (F-KSS) testinde iki aşamalı bir yöntem izlenmekte olup, trigonometrik terimlerden faydalanılmaktadır. Denklem (1)'deki model EKK ile tahmin edilerek en küçük kalıntı kareler toplamı ile frekans (k) değerleri belirlenmektedir.



$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \sin \sin \left( \frac{2\pi kt}{T} \right) + \alpha_2 \cdot \cos \cos \left( \frac{2\pi kt}{T} \right) + v_t \quad (1)$$

T: Gözlem Sayısı    t: Trend     $\alpha_i$ : Katsayı     $v_t$ : Hata Terimleri    k: Frekans

Testin ilk aşamasında tıpkı Fourier ADF (F-ADF) testinde olduğu gibi kalıntı kareler toplamı en küçük olan (min-SSR) olan modele ait frekans (k) değeri tercih edilmektedir. İlk aşamada elde edilen kalıntıların Kapetanios vd. (2003). (KSS) testinin öngördüğü şekilde ESTAR süreci izlediği varsayılmaktadır (Hepsağ, 2022).

$$\Delta \hat{\epsilon}_{t-1} = \gamma \hat{\epsilon}_{t-1} [1 - \exp(-\theta \hat{\epsilon}_{t-1}^2)] + v_t \quad (2)$$

(2)'nolu denkleme Taylor açılımı uygulanarak aşağıdaki denklem tahmin edilmektedir.

$$\Delta \hat{\epsilon}_t = \delta \hat{\epsilon}_{t-1}^3 + \sum_{i=1}^m \Delta \hat{\epsilon}_{t-i} + v_t \quad (3)$$

Denklem 3'ün tahmininde birim kökün varlığı için  $H_0: \delta=0$  ve  $H_1: \delta>0$  hipotezleri test edilmekte ve aşağıdaki test istatistiği elde edilmektedir.

$$F - t_{NL} = \frac{\hat{\delta}}{SE(\hat{\delta})} \quad (4)$$

Denklem 4'deki  $F-t_{NL}$  test istatistiğinden elde edilen sonucun Christopoulos ve León-Ledesma (2010) kritik değerlerinden mutlak değerce büyük olması halinde temel hipotez reddedilir ve serinin durağan olduğuna karar verilir. Ardından Fourier terimlerinin anlamlılığını ölçen  $F_{\mu}(k)$  değerini bulurken hipotezin sınanmasında Beckers vd. (2006) çalışmasının kritik değerleri esas alınmaktadır.

Çalışmada ilk olarak Türkiye dâhil 6 ülke 4 kıta 13 bölge ve dünya ortalaması verilerinin durağan olup olmadıkları F-KSS ile araştırılmış ve Tablo 3'de rapor edilmiştir. Christopoulos ve León-Ledesma (2010) orijinal çalışmasında sadece sabitli model yer almakta, sabitli ve trendli model Hepsağ (2020) eserinde ayrıca hesaplanarak yer verilmiştir. Gözlem sayılarına ve "k" frekans değerlerine göre kritik değerler, sabit modeller için Christopoulos ve León-Ledesma (2010) orijinal makaleden sabitli ve trendli modeller için ise Hepsağ (2022) eserinden alınmıştır.

**Tablo 3.** Fourier KSS Birim Kök Testi Sonuçları

Değişkenler	Sabitli Model						Sabitli ve Trendli Model					
	k	$F-t_{NL}(\mu)$	Kritik Değer	$F_{\mu}(k)$	Kritik Değer	KARAR	k	$F-t_{NL}(\mu)$	Kritik Değer	$F_t(k)$	Kritik Değer	KARAR
Türkiye (TR)*	1	-1.36	-3.59	-	-	I(1)	3	-4.78	-3.64	7.64	4.97	I(0)
ABD	1	-3.27	-3.59	-	-	I(1)	1	-3.23	-4.08	-	-	I(1)
Çin (CH)	1	-0.43	-3.59	-	-	I(1)	1	-1.67	-4.08	-	-	I(1)
İngiltere (UK)	2	-1.33	-3.25	-	-	I(1)	2	-1.83	-3.86	-	-	I(1)
Almanya (GER)	1	-2.63	-3.59	-	-	I(1)	1	-2.69	-4.08	-	-	I(1)
Hollanda (NL)	2	-1.57	-3.25	-	-	I(1)	2	-3.13	-3.86	-	-	I(1)
Doğu Avrupa (EEU)	1	-2.87	-3.59	-	-	I(1)	1	-3.07	-4.08	-	-	I(1)
Kuzey Avrupa (NEU)	2	-2.48	-3.25	-	-	I(1)	2	-1.89	-3.86	-	-	I(1)
Batı Avrupa (WEU)	1	-2.24	-3.59	-	-	I(1)	1	-2.24	-4.08	-	-	I(1)
Avrupa Kitası (EU)	1	-2.50	-3.59	-	-	I(1)	1	-2.58	-4.08	-	-	I(1)
Doğu Asya (EAS)	1	-0.88	-3.59	-	-	I(1)	1	-1.57	-4.08	-	-	I(1)
Batı Asya (WAS)	1	-1.61	-3.59	-	-	I(1)	2	-1.82	-3.86	-	-	I(1)
Güney Doğu Asya (SEAS)	1	-0.44	-3.59	-	-	I(1)	1	-2.51	-4.08	-	-	I(1)
Asya Kitası (AS)	1	-0.98	-3.59	-	-	I(1)	1	-1.34	-4.08	-	-	I(1)
Güney Afrika (SAF)	2	-2.76	-3.25	-	-	I(1)	2	-1.83	-3.86	-	-	I(1)
Kuzey Afrika (NAF)	1	-1.91	-3.59	-	-	I(1)	1	-4.04	-4.08	-	-	I(1)
Doğu Afrika (EAF)	1	-0.86	-3.59	-	-	I(1)	1	-1.50	-4.08	-	-	I(1)
Orta Afrika (MAF)	1	-0.09	-3.59	-	-	I(1)	1	-0.66	-4.08	-	-	I(1)
Afrika Kitası (AFR)	1	-1.26	-3.59	-	-	I(1)	1	-0.53	-4.08	-	-	I(1)
Kuzey Amerika (NAM)	1	-2.96	-3.59	-	-	I(1)	2	-2.07	-3.86	-	-	I(1)
Güney Amerika (SAM)	1	-0.67	-3.59	-	-	I(1)	1	-1.40	-4.08	-	-	I(1)
Okyanusya Kitası (OCE)*	1	-2.26	-3.59	-	-	I(1)	3	-4.46	-3.64	13.17	4.97	I(0)
Dünya Ortalaması (WRLD)	1	-1.78	-3.59	-	-	I(1)	2	-1.89	-3.86	-	-	I(1)
Latin Amerika & Karayipler (LAC)	1	-0.95	-3.59	-	-	I(1)	1	-1.04	-4.08	-	-	I(1)

Not: \* işaretine sahip sonuçlar %5 anlamlılık düzeyinde durağanlığı ifade etmektedir.

Ülke ve bölge örnekleme seçilirken Şekil 1’de kırmızı ile gösterilen ve ekolojik açık veren ülke veya bölgeler tercih edilmiştir. Bu tercihin doğal sonucu olarak F-KSS testinin sabit modellerine göre değişkenlerin tamamı, sabitli ve trendli modellerine göre ise Türkiye ve Okyanusya (Avusturalya) kıtası hariç serilerin tamamı birim kök içermekte olup, durağan değildir. Mevcut koşullar ve diğer tüm dış etkenlerin sabit olduğu varsayımı altında, serilerin durağan olmaması, biyokapasitenin (ya da ekolojik rezervlerin) ekolojik ayak izini karşılama gücünün zayıf olduğu ve çevrenin ekolojik denge açısından sürdürülebilir olmadığı anlamına gelmektedir. Uzun dönemde serilerdeki ortalamadan sapmalar ortalamaya tekrar geri dönmekte ve negatif yönde ortalamadan uzaklaşmaktadır. Bu açıdan örnekleme seçiminin doğru olduğu ve Şekil 1’de gösterilen rezerv/açık gruplandırmasının makul olduğu net olarak yorumlanabilmektedir.

Yine F-KSS Fourier tabanlı birim kök analizinin yapıldığı ampirik analizinin ikinci aşamasında ise dünyanın çevre dengesi açısından negatif seyrine kıyasen Türkiye’nin hangi ülke, kıta ya da bölgeye yakınsadığı test edilmek istenmiştir. Bu nedenle Türkiye’nin kendisi dışındaki diğer 23 örnekleme yakınsayıp yakınsamadığı F-KSS testiyle araştırılmıştır. Türkiye’nin veri seti ile diğer veri setlerinin farkı alınmış ve ikişerli kombinasyonları ile durağan olup olmadıkları araştırılmıştır. Tablo 4’te ise birim kök testi sonuçları rapor edilmiştir. Serilerin durağan olması Türkiye’nin ülke, bölge ya da kıtaya yakınsadığı anlamı taşıırken, birim köklü olması uzun dönemde yakınsamanın olmadığı anlamına gelmektedir.

**Tablo 4.** Fourier KSS Birim Kök Testi Sonuçları

Yakınsama Değişkenleri	Sabitli Model						Sabitli ve Trendli Model					
	k	F <sub>-t</sub> ( $\mu$ )	Kritik Değer	F <sub>t</sub> (k)	Kritik Değer	KARAR	k	F <sub>-t</sub> (t)	Kritik Değer	F <sub>t</sub> (k)	Kritik Değer	KARAR
TR→ABD	1	-1.83	-3.59	-	-	I(1)	1	-3.26	-4.08	-	-	I(1)
TR→CH*	1	-5.87	-3.59	132.67	4.92	I(0)	1	-5.95	-4.08	130.32	4.67	I(0)
TR→UK	1	-0.05	-3.59	-	-	I(1)	2	-2.32	-3.86	-	-	I(1)
TR→GER	1	0.01	-3.59	-	-	I(1)	2	-2.45	-3.86	-	-	I(1)
TR→NL	1	-2.89	-3.59	-	-	I(1)	2	-2.89	-3.86	-	-	I(1)
TR→WEU	1	-0.06	-3.59	-	-	I(1)	1	-2.97	-4.08	-	-	I(1)
TR→NEU	1	0.13	-3.59	-	-	I(1)	2	-2.18	-3.86	-	-	I(1)
TR→EEU	1	-0.25	-3.59	-	-	I(1)	1	-1.66	-4.08	-	-	I(1)
TR→EU	1	-0.24	-3.59	-	-	I(1)	1	-2.39	-4.08	-	-	I(1)
TR→EAS*	1	-7.15	-3.59	108.37	4.92	I(0)	1	-7.04	-4.08	97.04	4.67	I(0)
TR→WAS	1	-1.65	-3.59	-	-	I(1)	3	-1.97	-3.64	-	-	I(1)
TR→SEAS*	1	-1.53	-3.59	-	-	I(1)	3	-4.24	-3.64	5.88	4.67	I(0)
TR→AS*	1	-1.14	-3.59	-	-	I(1)	1	-5.32	-4.08	22.04	4.62	I(0)
TR→SAF	1	-0.03	-3.59	-	-	I(1)	2	-2.68	-3.86	-	-	I(1)
TR→NAF	1	-1.91	-3.59	-	-	I(1)	1	-2.68	-4.08	-	-	I(1)
TR→EAF*	1	-1.16	-3.59	-	-	I(1)	1	-4.57	-4.08	37.81	4.62	I(0)
TR→MAF*	1	-0.59	-3.59	-	-	I(1)	1	-4.37	-4.08	529.89	4.62	I(0)
TR→AF*	1	-4.15	-3.59	124.16	4.92	I(0)	1	-4.47	-4.08	111.49	4.67	I(0)
TR→NAM	1	-2.44	-3.59	-	-	I(1)	1	-3.37	-4.08	-	-	I(1)
TR→LAC	1	-1.96	-3.59	-	-	I(1)	1	-1.68	-4.08	-	-	I(1)
TR→SAM	1	-1.18	-3.59	-	-	I(1)	1	-1.36	-4.08	-	-	I(1)
TR→OCE	1	-0.99	-3.59	-	-	I(1)	3	-3.03	-3.64	-	-	I(1)
TR→WRLD*	1	-1.29	-3.59	-	-	I(1)	1	-4.28	-4.08	24.17	4.62	I(0)

Not: \* işaretine sahip sonuçlar %5 anlamlılık düzeyinde durağanlığı ifade etmektedir.

Türkiye hem sabitli hem de sabitli ve trendli modellere göre Çin’e, Asya kıtasının doğu bölgesine ve Afrika kıtasına yakınsamaktadır. Sadece sabitli ve trendli modellere göre ise ayrıca Güneydoğu Asya, Asya kıtası, Doğu ve Orta Afrika’ya ve dünya ortalamasına yakınsamaktadır. Genel olarak kutuplardan ekvator çizgisine doğru gidildikçe ekolojik rezervlerin ekolojik ayak izini karşılama düzeyi azalmakta, çevrenin

sürdürülebilirliği yüksek risk içermektedir (Iberdrola, 2024). Türkiye'nin ise, ekolojik açığı oldukça yüksek olan ülke ve bölgelere yakınsadığı sonucuna ulaşabilmektedir.

### 5. Sonuç ve Öneriler

Ekolojik ayak izi yakınsaması, küresel ve bölgesel çevre sürdürülebilirliğe ulaşmak için kritik bir hedef haline gelmiştir. Literatürde çok sayıda çalışmanın bu hususa ilişkin ampirik analizler yaptığı görülmekte olup, zaman serileri analizinin yapıldığı ve doğrudan Türkiye örneklemenin seçildiği çalışmaların sayısı oldukça azdır. Çalışmada Türkiye'nin ekolojik açığının sürdürülebilir olup olmadığı ve hangi ülke, bölge ya da kıtaya yakınsadığı araştırılarak çalışmanın literatüre katkı sağlaması amaçlanmıştır. Zira ülkenin çevresel olarak nereye yakınsadığı politika üretmek açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle çalışmada, Türkiye'nin dâhil olduğu 24 farklı ülke, bölge ya da kıtanın 1961-2022 yıllık dönemlerinin ekolojik yakınsaması yapısal kırılmalar altında da güçlü olan Fourier KSS birim kök testi ile araştırılmıştır. Çalışmanın ampirik analiz bulgularına göre, Türkiye Çin'e, Asya Kıtasının doğu bölgesine, Afrika Kıtasına ve dünya ortalamasına yakınsamaktadır. Türkiye'nin, Çin ve Asya gibi dünyanın en kirli ünvanına sahip çevresel sürdürülebilirlik anlamında en tartışmalı ülke veya bölgelere yakınsaması, olumsuz bir durum olarak değerlendirilmektedir. Buna karşın, Avrupa'da "karbon nötr kıta" vizyonu ile ortaya konulan, Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM) ve Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM) başta olmak üzere birçok hukuki düzenleme ve yaptırımlardan sonuç alınmaya başlandığı düşünülmektedir. Bu yönüyle Türkiye ile Avrupa arasında bir yakınsama söz konusu değildir. Doğrudan ekolojik ayak izi yakınsamasını Türkiye ekseninde konu olan literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, çalışmanın sonuçları Yurtkuran (2020), Dürrü & Konat (2023) ve Bayraktar vd. (2023) çalışmasının sonuçları ile büyük oranda örtüşmektedir. Literatür özetinde detaylı olarak gösterilen bir çok çalışma ile ise ortak bazı hususlarda kısmi örtüşmeler söz konusudur.

Dünya kaynaklarının kendisini yenilemesine izin vermeksizin mütemediyen eksilmesine karşın, hedonist duygular ve ekonomik rekabet nedeniyle beslenen üretim ve tüketim olgusu özellikle son yıllarda olumsuz etkisini net olarak hissettirmektedir. Bu negatif durum sonucu, büyüme kavramının yerini sürdürülebilir büyüme kavramı almıştır. Artık tek başına üretim ve pazarlamayı merkez kavram olarak ele alıp kalkınmaktan ziyade, stratejik ve sürdürülebilir çevreyle uyumlu olarak büyümeye odaklanılmaktadır. Zira gelecek nesillerin sadece refahlarının değil yaşama haklarının da ellerinden alındığı bir gerçeklik söz konusudur. Bu sebeple devletlerin üç ana erki olan yasama, yürütme ve yargının bütüncül çalışmasıyla ortaya koyacağı uzak vizyon hedefleri ile disiplinli ve programlı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Uluslararası bir ortak menfaatin sistematik çabalarıyla ortaya konulan protokollerin ve mutabakatların özellikle gelişmiş ülkelerin öncülüğünde uygulanması ekolojik rezervlerin korunması açısından hayati önem arz etmektedir. Üretim modellerinden tüketim teşviklerine kadar tüm paydaşların dâhil olmasıyla dünya kaynaklarının etkin, verimli ve yenilenebilir niteliklerle ele alınması gerekmektedir. Bu nedenle yeşil finansman olanaklarının derinleştirilmesiyle, yeşil yatırım ve projelerin tüm kurum ve kişiler yönünden teşvik edilmesine her zamankinden daha fazla ihtiyaç bulunmaktadır. Ülkelerin sanayileşmeyle beraber ekolojik rezervlerinin hızla tükendiği bilindiğine göre, gelişmekte olan ülkelerin sanayileşmesinde, kamu maliyesi ve vergilendirme politikalarının tamamında yeşil yatırımlara öncelik tanınması ve çevreci projelerin sübvansede edilmesi gerekmektedir. Ayrıca ekolojik rezerv verilerinin disiplinli ve gerçekçi olarak takip edilmesi, sürdürülebilirliğin sağlanması açısından önem arz etmektedir.

Jeopolitik konum, sanayileşme, eğitim, yasal düzenlemeler ve kamu politikaları gibi birçok nedenle sürdürülebilirlik ekolojik rezerv dağılımlarının asimetrikliği takip edilmeli, selektif uygulamalarla bazı kesimlerin bunlardan muaf tutulması engellenmeli, SKDM gibi doğru politikalarla karbon kaçağının önlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın devamı niteliğinde araştırmacılara Türkiye özelinde yeşil finansman, ar-ge, patent ve teknoloji yakınsamalarını araştırmaları önerilmektedir. Zira yeşil ya da çevreci yatırım oranlarının yeşil olmayan yatırımlara kıyasen farkları net bir artış göstermedikçe uzun vadede yakınsamanın gerçekleşmesinin mümkün olmadığı düşünülmektedir.

## Kaynakça

- Abbassi, F.; Haq, M. (2022). A spatial econometric analysis of convergence in global environmental performance. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 37513-37526.
- Abramovitz, M. (1986). Catching Up, Forging Ahead, and Falling Behind. *The Journal of Economic History*, 46(2), 385-406. <http://www.jstor.org/stable/2122171>
- Acaravcı, A.; Erdogan, S. (2016). The convergence behavior of CO<sub>2</sub> emissions in seven regions under multiple structural Breaks. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 6(3), 575-580 <http://www.econjournals.com/index.php/ijeeep/article/view/2725>
- Agbede, E. A.; Bani, Y.; Azman-Saini, W.; Naseem, N. A. M. (2021). The impact of energy consumption on environmental quality: Empirical evidence from the MINT countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 54117-54136. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14407-2>
- Aldy, J. E. (2006). Per Capita Carbon Dioxide Emissions: Convergence or Divergence?. *Environmental and Resource Economics*, 33, 533-555. <https://doi.org/10.1007/s10640-005-6160-x>
- Aldy, J. E. (2007). Divergence in State-Level per Capita Carbon Dioxide Emissions. *Land Economics*, 83(3), 353-369. <http://www.jstor.org/stable/27647777>
- Apaydin, Ş.; Ursavaş, U.; Koç, Ü. (2021). The impact of globalization on the ecological footprint: do convergence clubs matter?. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 53379-53393. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14300-y>
- Apeaning, R. W.; Labaran, M. (2024). Club convergence of per capita greenhouse gas emissions in Africa: A multi-sectoral analysis of trends and drivers. *Sustainable Futures*, 7, 100191. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2024.100191>
- Apergis, N.; Payne, J. E. (2017). Per capita carbon dioxide emissions across U.S. states by sector and fossil fuel source: Evidence from club convergence tests. *Energy Economics*, 63, 365-372. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.11.027>
- Arogundade, S.; Hassan, A.; Akpa, E.; Mduduzi, B. (2023). Closer together or farther apart: are there club convergence in ecological footprint?. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 15293-15310. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23203-5>
- Bahmani-Oskooee, M.; Chang, T.; Wu, T. (2014). Revisiting purchasing power parity in African countries: panel stationary test with sharp and smooth breaks. *Applied Financial Economics*, 24(22), 1429-1438. <https://doi.org/10.1080/09603107.2014.925068>
- Barro, R. J.; Sala-i-Martin, X. (1995). *Economic Growth*. New York, McGraw Hill.
- Baumol, W. J. (1986). Productivity Growth, Convergence, and Welfare: What the Long-Run Data Show. *The American Economic Review*, 76(5), 1072-1085. <http://www.jstor.org/stable/1816469>
- Bayraktar, Y.; Koc, K.; Toprak, M.; Ozyilmaz, A.; Olgun, M. F.; Balsalobre-Lorente, D.; Soylu, O. B. (2023). Convergence of per capita ecological footprint among BRICS-T countries: evidence from Fourier unit root test. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 63022-63035. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26532-1>
- Becker, R.; Enders, W.; 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>
- Belloc, I.; Molina, J. A. (2022). The ecological footprint in Africa: identifying convergence clubs from 1970 to 2018. *Applied Economics Letters*, 30(19), 2808-2813. <https://doi.org/10.1080/13504851.2022.2107984>
- Ben-David, D. (1993). Equalizing Exchange: Trade Liberalization and Income Convergence. *Quarterly Journal of Economics*, 108(3), 653-679. <https://doi.org/10.2307/2118404>
- Bernard, A. B.; Durlauf, S. N. (1995). Convergence in International Output. *Journal of Applied Econometrics*, 10(2), 97-108. <https://doi.org/10.1002/jae.3950100202>
- Bernard, A. B.; Durlauf, S. N. (1996). Interpreting Tests of the Convergence Hypothesis. *Journal of Econometrics*, 71(1-2), 161-173. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01699-2](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01699-2)
- Bilgili, F. & Ulucak, R. (2018). Is there deterministic, stochastic, and/or club convergence in ecological footprint indicator among G20 countries? *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 35404-35419. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3457-1>

- Bilgili, F.; Ulucak, R.; Koçak, E. (2019). *Implications of Environmental Convergence: Continental Evidence Based on Ecological Footprint*. In: Shahbaz, M., Balsalobre, D. (eds) *Energy and Environmental Strategies in the Era of Globalization*. Green Energy and Technology. Springer, Cham. ss. 133-165. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-06001-5\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-06001-5_6)
- Brock, W.; Taylor, A.; Scott, M. (2010). The green solow model. *Journal of Economic Growth*, 15(2), 127-153. <https://doi.org/10.1007/s10887-010-9051-0>
- Burnett, J. W. (2016). Club convergence and clustering of U. S. energyrelated CO<sub>2</sub> emissions. *Resource and Energy Economics*, 46, 62-84. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2016.09.001>
- Çelik, O.; Adali, Z.; Bari, B. (2023). Does ecological footprint in ECCAS and ECOWAS converge? Empirical evidence from a panel unit root test with sharp and smooth breaks. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 16253-16265. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23178-3>
- Christidou, M.; Panagiotidis, T.; 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>
- Christopoulos, D. K.; León-Ledesma, M. A. (2010). Smooth Breaks and Non-Linear Mean Reversion: Post-Bretton Woods Real Exchange Rates. *Journal of International Money and Finance*, 29(6), 1076-1093. <https://doi.org/10.1016/j.jimonfin.2010.02.003>
- Churchill, S. A.; Inekwe, J.; Ivanovski, K. (2020). Stochastic convergence in per capita CO<sub>2</sub> emissions: Evidence from emerging economies, 1921-2014. *Energy Economics*, 86, 104659. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104659>
- Dissanayake, H.; Perera, N.; Abeykoon, S.; Samson, D.; Jayathilaka, R.; Jayasinghe, M.; Yapa, S. (2023). Nexus between carbon emissions, energy consumption, and economic growth: Evidence from global economies. *PLoS ONE*, 18(6), e0287579. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287579>
- Dogah, K. E.; Awaworyi Churchill, S. (2022) Carbon emissions convergence and determinant analysis: evidence from ASEAN countries. *Journal of Environmental Management*, 323, 116299. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2022.116299>
- Dürri, Z.; Konat, G. (2023). CIVETS Ülkelerinde Ekolojik Dengenin Stokastik Yakınsaması: Fourier Kantil Birim Kök Testi Yaklaşımı. *İktisadi İdari Ve Siyasal Araştırmalar Dergisi*, 8("Cumhuriyet'in 100. Yılında Türkiye'nin Sosyo-Ekonomisi" Özel Sayısı), 137-152. <https://doi.org/10.25204/iktisad.1149267>
- El-Montasser, G.; Inglesi-Lotz, R.; Gupta, R. (2015). Convergence of greenhouse gas emissions among G7 countries. *Applied Economics*, 47(60), 6543-6552. <https://doi.org/10.1080/00036846.2015.1080809>
- Erdogan, S.; Acaravci, A. (2019). Revisiting the convergence of carbon emission phenomenon in OECD countries: New evidence from Fourier panel KPSS test. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(24), 24758-24771. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05584-2>
- Erdogan, S.; Okumus, I. (2021). Stochastic and club convergence of EF: An empirical analysis for diferent income group of countries. *Ecological Indicators*, 121, 107123. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107123>
- Ezcurra, R. (2007). Is there cross-country convergence in carbon dioxide emissions? *Energy Policy*, 35(2), 1363-1372. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.04.006>
- Global Footprint Network (GFN). (2024). *Countries With Biocapacity Deficit* <https://data.footprintnetwork.org/> (Erişim Tarihi: 13.08.2024)
- Gómez, M.; Rodríguez, J. C. (2024). Analysis of the Convergence of Environmental Sustainability and Its Main Determinants: The Case of the Americas (1990-2022). *Sustainability*, 16(16), 6819. <https://doi.org/10.3390/su16166819>
- Haider, S.; Akram, V. (2019). Club convergence analysis of ecological and carbon footprint: Evidence from a cross-country analysis. *Carbon Management*, 10(5), 451-463. <https://doi.org/10.1080/17583004.2019.1640135>
- Harvey, D. I.; Mills, T. C. (2002). Unit roots and double smooth transition. *Journal of Applied Statistics*, 29(5), 675-683. <https://doi.org/10.1080/02664760120098739>
- Hepsağ, A. (2022). *Ekonometrik Zaman Serileri Analizlerinde Güncel Yöntemler (WinRATS Uygulamalı)*, DER Yayınları: İstanbul.
- Iberdrola (2024) Countries Most Affected By Climate Change <https://www.iberdrola.com/sustainability/top-countries-most-affected-by-climate-change> (Erişim Tarihi: 12.11.2024)
- Işık, C.; Ahmad, M.; Ongan, S.; Ozdemir, D.; Irfan, M.; Alvarado, R. (2021). Convergence analysis of the ecological footprint: Theory and empirical evidence from the USMCA countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 32648-32659. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12993-9>
- Kapetanios, G.; Shin, Y.; Snell, A. (2003). Testing for a Unit Root in the Nonlinear STAR Framework. *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)

- Lanne, M.; Liski, M. (2004). Trends and Breaks in Per-Capita Carbon Dioxide Emissions, 1870-2028. *The Energy Journal*, 25(4), 41-65. <https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol25-No4-3>
- Lawson, L. A.; Martino, M.; Nguyen-Van, P. (2020). Environmental convergence and environmental Kuznets curve : A unified empirical framework. *Ecological Modelling*, 437, 109289. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109289>
- Lee, C. C.; Chang, C. P. (2008). New evidence on the convergence of per capita carbon dioxide emissions from panel seemingly unrelated regressions augmented dickey-fuller tests. *Energy*, 33(9), 1468-1475. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2007.06.003>
- Leybourne, S.; Newbold, P.; Vougas, D. (1998). Unit Roots and Smooth Transitions. *Journal of Time Series Analysis*, 19(1), 83-97. <http://dx.doi.org/10.1111/1467-9892.00078>
- List, J. A. (1999). Have Air Pollutant Emissions Converged among U. S. Regions? Evidence from Unit Root Tests. *Southern Economic Journal*, 66(1), 144-155. <https://doi.org/10.2307/1060840>
- Meadows, D. H.; Meadows, D. L.; Randers, J.; Behrens, W. W. (1972). *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. New York, NY: Universe Books. <https://doi.org/10.1349/ddlp.1>
- Nguyen Van, P. (2005). Distribution dynamics of CO<sub>2</sub> emissions. *Environmental and Resource Economics*, 49(4), 495-508. <https://doi.org/10.1007/s10640-005-7687-6>
- Ozcan, B.; Ulucak, R.; Dogan, E. (2019). Analyzing long lasting effects of environmental policies: Evidence from low, middle- and high-income economies. *Sustainable Cities and Society*, 44, 130-143. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.09.025>
- Panopoulou, E.; Pantelidis, T. (2009). Club convergence in carbon dioxide emissions. *Environmental and Resource Economics*, 44(1), 47-70. <https://doi.org/10.1007/s10640008-9260-6>
- Pata, U. K.; Yurtkuran, S. (2023). Is the EKC hypothesis valid in the five highly globalized countries of the European Union? An empirical investigation with smooth structural shifts. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(1), 17.
- Pata, U. K., Yurtkuran, S., Ahmed, Z., & Kartal, M. T. (2023). Do life expectancy and hydropower consumption affect ecological footprint? Evidence from novel augmented and dynamic ARDL approaches. *Heliyon*, 9(9).
- Payne, J. E.; Apergis, N. (2021). Convergence of per capita carbon dioxide emissions among developing countries: evidence from stochastic and club convergence tests. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(26), 33751-33763. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09506-5>
- Presno, M. J., Landajo, M.; González, P. F. (2015). Stochastic convergence in per capita CO<sub>2</sub> emissions. An approach from nonlinear stationarity analysis. *Energy Economics*, 70, 563-581. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.10.001>
- Romero-Ávila, D. (2008). Convergence in carbon dioxide emissions among industrialised countries revisited. *Energy Economics*, 30(5), 2265-2282. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2007.06.003>
- Solarin, S. A. (2019). Convergence in CO<sub>2</sub> emissions, carbon footprint and ecological footprint: Evidence from OECD countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(6), 6167-6181. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3993-8>
- Solarin, S. A.; Tiwari, A. K.; Bello, M. O. (2019). A multi-country convergence analysis of ecological footprint and its components. *Sustainable Cities and Society*, 46, 101422. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101422>
- Solow, R. M. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94. <https://doi.org/10.2307/1884513>
- Strazicich, M. C.; List, J. A. (2003). Are CO<sub>2</sub> Emission Levels Converging Among Industrial Countries?. *Environmental and Resource Economics*, 24, 263-271. <https://doi.org/10.1023/A:1022910701857>
- Tatar, H. E. (2022). Asean-5 Ülkelerinde Ekolojik Ayak İzi Yakınsaması: SURADF ve SURKSS Birim Kök Testi. *Fiscaoeconomia*, 6(3), 1018-1035. <https://doi.org/10.25295/fsecon.1071194>
- Tillaguango, B.; Alvarado, R.; Dagar, V.; Murshed, M.; Pinzón, Y.; Méndez, P. (2021). Convergence of the ecological footprint in Latin America: the role of the productive structure. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(42), 59771-59783. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14745-1>
- Tiwari, A. K.; Kyophilavong, P.; Albulescu, C. T. (2016). Testing the stationarity of CO<sub>2</sub> 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.; Apergis, N. (2018). Does convergence really matter for the environment? An application based on club convergence and on the ecological footprint concept for the EU countries. *Environmental Science & Policy*, 80, 21-27. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.11.002>

- Ulucak, R.; Kassouri, Y.; Çağrı İlkay, S.; Altıntaş, H.; Garang, A. P. M. (2020). Does convergence contribute to reshaping sustainable development policies? Insights from Sub-Saharan Africa. *Ecological Indicators*, 112, 106140. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106140>
- Ursavaş, N.; Apaydın, Ş. (2023). The Convergence in Greenhouse Gas Emissions Across G-7 Countries. *Fiscaoeconomia*, 7(1), 327-340. <https://doi.org/10.25295/fsecon.1143345>
- Wang, Y.; Zhang, P.; Huang, D.; Cai, C. (2014). Convergence behavior of carbon dioxide emissions in China. *Economic Modelling*, 43, 75-80. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2014.07.040>
- Westerlund, J.; Basher, S. A. (2008). Testing for convergence in carbon dioxide emissions using a century of panel data. *Environmental and Resource Economics*, 40(1), 109-120. <https://doi.org/10.1007/s10640-007-9143-2>
- WWF (2012) Türkiye'nin Ekolojik Ayak İzi Raporu [http://awsassets.wwftr.panda.org/downloads/turkiyenin\\_ekolojik\\_ayak\\_izi\\_raporu.pdf](http://awsassets.wwftr.panda.org/downloads/turkiyenin_ekolojik_ayak_izi_raporu.pdf)
- Yavuz, N. C.; Yilanci, V. (2013). Convergence in per capita carbon dioxide emissions among G7 countries: A TAR panel unit root approach. *Environmental and Resource Economics*, 54, 283-291. <https://doi.org/10.1007/s10640-012-9595-x>
- Yilanci, V.; Gorus, M. S.; Solarin, S. A. (2022b). Convergence in per capita carbon footprint and ecological footprint for G7 countries: Evidence from panel Fourier threshold unit root test. *Energy & Environment*, 33(3), 527-545. <https://doi.org/10.1177/0958305X211011461>
- Yilanci, V.; Pata, U. K (2020). Convergence of per capita ecological footprint among the ASEAN-5 countries: Evidence from a non-linear panel unit root test. *Ecological Indicators*, 113, 106178. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106178>
- Yilanci, V.; Ulucak, R.; Ozgur, O. (2022a). Insights for a sustainable environment: Analysing the persistence of policy shocks to ecological footprints of Mediterranean countries. *Spatial Economic Analysis*, 17(1), 47-66. <https://doi.org/10.1080/17421772.2021.1919313>
- Yildirim D. C.; Yildirim, S.; Erdogan, S.; Demirtas, I.; Couto, G.; Castanho, R. A. (2021). Time-varying convergences of environmental footprint levels between European Countries. *Energies*, 14(7), 1813. <https://doi.org/10.3390/en14071813>
- Yurtkuran, S. (2020). N11 Ülkelerinde Ekolojik Ayak İzi Yakınsaması: Fourier Durağanlık Testinden Yeni Kanıtlar. *Uluslararası Ekonomi Ve Yenilik Dergisi*, 6(2), 191-210. <https://doi.org/10.20979/ueyd.681354>
- Yurtkuran, S. (2021a). Çevresel Kuznets eğrisi hipotezinin geçerliliği ve yeşil lojistik: Türkiye örneği. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 24(45), 171-201.
- Yurtkuran, S. (2021b). Türkiye'de işsizlik histerisi hipotezi: Fourier birim kök testleri'nden yeni kanıtlar. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 12(1), 70-80. <https://doi.org/10.36362/gumus.832175>
- Yurtkuran, S., & Pata, U. K. (2024). The effect of nuclear and fossil fuel energy R&D expenditures on environmental qualities in Canada. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 68, 103872.

---

**Çıkar Çatışması:** Yoktur.

**Finansal Destek:** Yoktur.

**Etik Onay:** Yoktur.

**Yazar Katkısı:** Ömer AKÇAYIR (%50), Fatih AKIN (%50)

**Conflict of Interest:** None

**Funding:** None

**Ethical Approval:** None

**Author Contributions:** Ömer AKÇAYIR (50%), Fatih AKIN (50%)

---