

YENİLENEBİLİR ENERJİ VE FOSİL YAKIT TÜKETİMİNİN EKOLOJİK AYAK İZİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ*

THE EFFECT OF RENEWABLE ENERGY AND FOSSIL FUEL CONSUMPTION ON ECOLOGICAL FOOTPRINT: THE CASE OF TÜRKİYE

Efe Can KILINÇ *

*Araştırma Makalesi / Geliş Tarihi: 29.05.2023
Kabul Tarihi: 30.09.2023*

Öz

Sanayi devriminden günümüze hayatın her alanında enerjinin kullanım oranlarının yükselmesine bağlı olarak insanlığın yerküre üzerindeki talep baskısı hızla artmıştır. Bu baskı nedeniyle dünyanın çehresi değişime uğramaya başlamış; başta iklim değişikliği olmak üzere canlı türlerinin azalması, hava kirliliği nedeniyle sağlık sorunlarının artması ve su kaynaklarının kuruması gibi sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu sorunların minimize edilmesinde atılan en önemli adımlardan birisi de yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanmak olmuştur. Bu çalışmada, Türkiye’de yenilenebilir enerji ile fosil yakıt tüketiminin ekolojik ayak izi üzerindeki etkileri 1984-2018 dönemine ait yıllık veriler için zaman serileri yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Eşbütünleşme testleri hem yenilenebilir enerji-ekolojik ayak izi hem de fosil yakıt-ekolojik ayak izi arasında uzun dönemli ilişki olduğunu göstermiştir. Uzun dönem katsayılarını elde etmek için kullanılan FMOLS tahmincisi ise ekolojik ayak izi üzerinde yenilenebilir enerji tüketimi ve nüfus değişkenlerinin negatif, fosil yakıt tüketimi, finansal gelişme endeksi ile kişi başına düşen gelir değişkenlerinin ise pozitif etki yaptığını ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Ekolojik Ayak İzi, Karbon Ayak İzi, Zaman Serileri Analizi

JEL Sınıflaması: Q4, Q5, Q57, C22

Abstract

Since the industrial revolution, the demand pressure of humanity on the world has increased rapidly due to the increase in the use of energy in all areas of life. Because of this pressure, the face of the world began to change; problems such as the decrease in living species, especially climate change, the increase in health problems due to air pollution and the drying up of water resources have emerged. One of the most important steps taken in minimizing these problems has been to make more use of renewable energy sources. In this study, the effects of renewable energy and fossil fuel consumption on the ecological footprint in Turkey were analyzed using time series methods for the annual data for the period 1984-2018. Cointegration tests have shown that there is a long-term relationship between both renewable energy-ecological footprint and fossil fuel-ecological footprint. The FMOLS estimator, which was used to obtain the long-term coefficients, indicated that renewable energy consumption and population variables had a negative effect on the ecological footprint, while the fossil fuel consumption, financial development index and GDP per capita variables had a positive effect.

Keywords: Renewable Energy, Ecological Footprint, Carbon Footprint, Time Series Analysis

JEL Classification: Q4, Q5, Q57, C22

* **Bibliyografik Bilgi (APA):** FESA Dergisi, 2023; 8(3) ,731 - 749 / DOI: 10.29106/fesa.1307807

* Doç. Dr., Kırıkkale Üniversitesi İİBF, efecankilinc@kku.edu.tr, Kırıkkale – Türkiye, ORCID: 0000-0002-3139-0684

1. Giriş

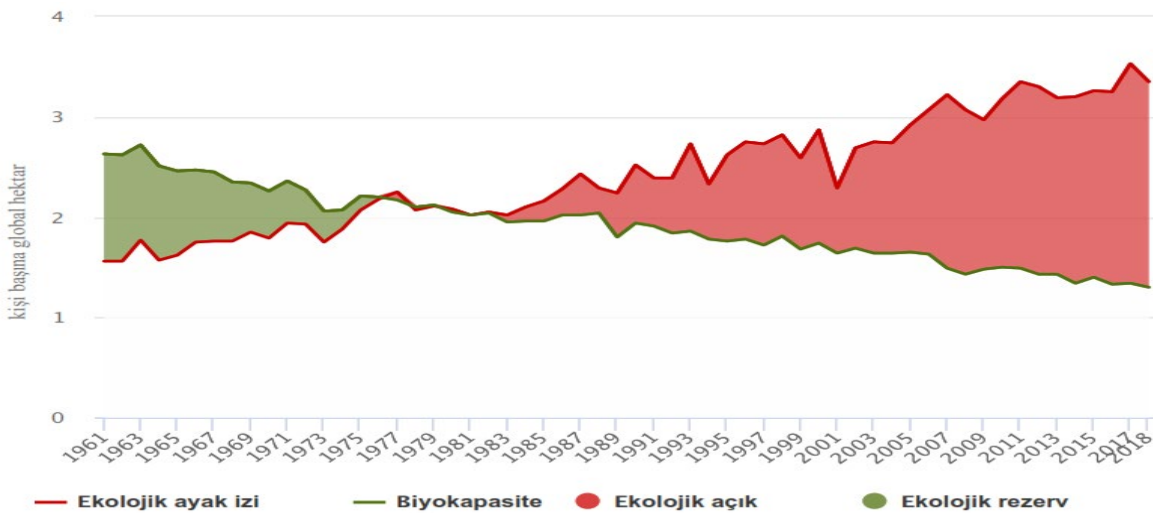
Günümüzde dünyanın karşı karşıya olduğu ve yakın gelecekte kendini daha da fazla hissettirecek olan en büyük problemlerden birisi; küresel sıcaklık artışı, hava kalitesinin azalması, ozon tabakasının incilmesi, doğal kaynakların kıtlaşması ile biyo-çeşitliliğin azalması şeklinde kendini gösteren çevresel bozulmadır. Enerji, gıda, su ve altyapıya yönelik talebin katlanarak artması ekosistemleri tehdit etmekte, ekolojik stresi artırmakta ve çevre üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır (Nan, vd., 2022, s. 1).

Geçmiş dönemlerde CO₂ emisyonunun büyüklüğü ve diğer sera gazı emisyonları çevresel kirliliğin temel belirleyicileri olarak görülse de, bu göstergeler çevresel bozulmanın çok yönlü özelliklerini yakalayamadıkları yönünde eleştiriler almaktadır. Bu noktada Wackernagel ve Rees (1998) çevresel bozulmanın birçok yönünü kapsaması için “ekolojik ayak izi” kavramını ortaya atmışlardır (Murshed, vd., 2021 s. 49969). Ekolojik ayak izi kavramı, 1990’lı yıllarda çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasına yönelik doğal kaynakların kullanımının değerlendirilmesi ve takip edilmesi için bir ölçüt olarak geliştirilmiştir (Alola, vd. 2022, s. 264).

Ekolojik ayak izi, dünyanın kendini yenileme kapasitesi kapsamında doğal kaynakların ne kadar kullanılması gerektiği konusunu ele alan bilimsel bir muhasebe göstergesidir (Alola, vd. 2022, s. 264). Ekolojik ayak izinin talep tarafında; tarım arazisi, ormanlık alanlar, inşaat (yapılaşma alanları), CO₂ emisyonları ve su kirliliği açısından insan talebinin doğa üzerindeki etkisi kapsamlı bir şekilde ölçülmektedir. Arz tarafında ise biyokapasite, insan talebini karşılayan mevcut doğal kaynakları temsil etmektedir (Pata, 2021a, s. 846-847).

Ekolojik ayak izi ile ilgili sistematik verileri Küresel Ayak İzi Ağı (Global Footprint Network-GFN) kuruluşu derlemektedir. GFN, “ekolojik limitleri karar verme sürecinin merkezine koymak suretiyle ekolojik limit aşımına son vermeye yardımcı olma” misyonuyla hareket eden ve 2003 yılında kurulmuş kar amacı gütmeyen bir organizasyondur. GFN tarafından sunulan 2018 yılı verilerine göre dünya genelinde kişi başına ekolojik ayak izi 2.77 global hektar (gha)† iken, biyokapasite 1.58 gha olarak gerçekleşmiştir. Dolayısıyla bu yıl itibariyle dünya genelinde ekolojik (1.19 gha) açık durumu sözkonusudur. Türkiye için de benzer bir senaryo geçerlidir. Aşağıdaki şekillerde Türkiye’nin ekolojik ayak izi istatistikleri detaylı olarak ele alınmaktadır.

Şekil 1’de kişi başına gha cinsinden Türkiye’nin ekolojik ayak izinin gelişimi görülmektedir. 1961 yılında kişi başına biyokapasite (ihtiyaç duyulan kaynakları üretme kapasitesi) 2.6 gha iken ekolojik ayak izi kişi başına 1.6 gha olarak gerçekleşmiştir. 1962-1975 döneminde aynı durum devam etmiş, 1976 yılında biyokapasite ile ekolojik ayak izi eşitlenmiştir. 1976 yılından sonra kişi başına ekolojik ayak izi kişi başına biyokapasitenin üzerinde seyretmiştir. 2018 yılına gelindiğinde kişi başına ekolojik ayak izi kişi başına 3.4 gha düzeyine çıkmış, biyokapasite ise kişi başına 1.3 gha düzeyine kadar inmiştir. Dolayısıyla 1961-1975 döneminde kişi başına biyokapasite (Türkiye bu dönemde net biyokapasite ihracatçısı) kişi başına ekolojik ayak izinden büyük olduğu için ekolojik rezerv, 1977-2018 döneminde (Türkiye bu dönemde net biyokapasite ithalatçısı) tam tersi bir durum gerçekleştiği için ekolojik açık sözkonusu olmuştur. Bir başka ifadeyle, ekolojik rezerv döneminde doğal kaynaklara olan talep biyokapasitenin altında, ekolojik açık dönemde ise biyokapasitenin üzerinde seyretmiştir.



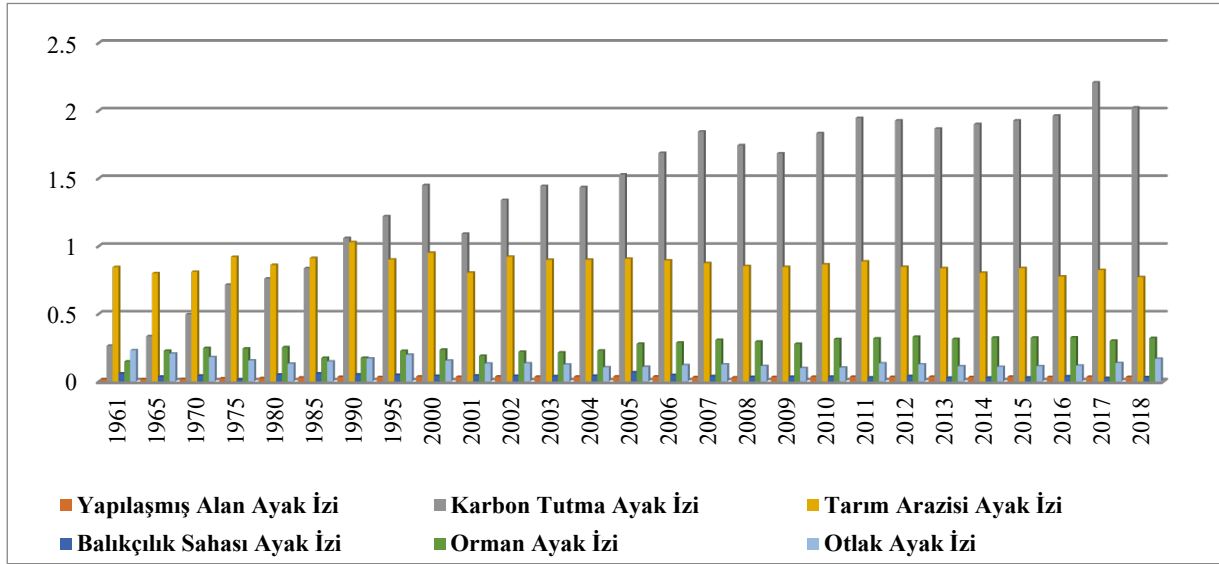
Kaynak: Global Footprint Network, 2022 National Footprint and Biocapacity Accounts

Şekil 1: Ekolojik Ayak İzinin Gelişimi (gha)

Kaynak: Global Footprint Network (2023)

† Global hektar, ekolojik ayak izi ve biyokapasitenin ölçü birimidir. Bu ölçü birimi, dünyanın ortalama verimliliği üzerinden bir hektar arazinin üretim kapasitesini göstermektedir (WWF, 2012, s. 6).

Şekil 2’de Türkiye’de 1961-2018 dönemi için üretim alanlarındaki kişi başına düşen ekolojik ayak izi bileşenlerinin kişi başına global hektar cinsinden gelişimi yer almaktadır. “İnsan tüketimi için gerekli gıda ve lif, hayvan yemi, yağ bitkileri ve kauçuk üretimi için kullanılan alanın hesaplanması (WWF, 2012, s. 8)” olarak bilinen tarım arazisi ayak izi, 1990’lı yıllara kadar diğer ayak izi türlerinden daha yüksek bir paya sahiptir. “Okyanuslar tarafından tutulan CO₂ emisyonunun yanı sıra, fosil yakıt tüketimi, arazi kullanımı değişiklikleri ve kimyasal süreçlerden kaynaklanan emisyonların tutulması için gereken orman alanının hesaplanması” (WWF, 2012, s. 8) olarak tanımlanan karbon tutma ayak izi 1990’lı yıllardan itibaren tarım arazisi ayak izini geçmiştir. 2018 yılı itibariyle toplam ekolojik ayak izi içerisinde en yüksek paya sahip bileşen %60 ile karbon ayak izi olmuş, karbon ayak izini %23 ile tarım arazisi ayak izi takip etmiştir.



Şekil 2: Ekolojik Ayak İzi Bileşenlerinin Gelişimi (gha)

Kaynak: Global Footprint Network (2023).

Görüldüğü gibi, hem Türkiye hem de dünyada insan talebi doğal kaynak arzını çoktan aşmış durumdadır. İnsanlığın dünya üzerindeki bu baskısı devam ettiği sürece gelecekte canlı yaşamının büyük tehlikeye gireceği aşıkardır. İklim değişikliğe ile mücadele etmek ve insan talebinin çevre üzerindeki baskısını azaltmak için uluslararası düzeyde; Viyana Sözleşmesi (1985) ve Montreal Protokolü (1987), Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (1992), Kyoto Protokolü (1997) ile Paris İklim Anlaşması (2015)[‡] girişimleri ortaya konmuştur. Bu girişimlerin karbon salınımlarının azaltılması (2020 yılında 1990 yılına göre en az %18 azaltması) ve sıcaklık artışlarının dizginlenmesi (küresel sıcaklık artışı uzun vadede, sanayileşme öncesi döneme kıyasla 2 santigrat derecenin altına sınırlanması) gibi hedefleri vardır. Bu noktada çevresel kalitenin sistemli bir şekilde eski düzeyine getirilebilmesi ve sürdürülebilirliğin korunabilmesi için ulusal düzeyde atılması gereken adımlardan bir tanesi de yenilenebilir enerji kaynakları kullanım oranlarının artırılmasıdır (Raghuatla, vd., 2022). Fosil yakıtların yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının ikame edilmesi insanlığın ekolojik ihtiyaçlarını azaltmaktadır (Xue, vd., 2021, s. 2).

İklim değişikliği ve çevre kirliliği ile ilgili uluslararası inisiyatiflere taraf olan Türkiye, son yıllarda yenilenebilir enerji sektörüne önemli yatırımlar yapmış ve özellikle toplam elektrik üretimi içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının payını önemli ölçüde arttırmıştır. Nitekim toplam elektrik üretiminde yenilenebilir enerjinin payı 2000’li yılların başında %20 düzeylerinde iken, 2018 yılında %45 düzeylerine kadar yükselmiştir. Yenilenebilir enerji tüketimi ise 2018 yılında 2008 yılına göre yaklaşık %36 artış göstermiştir (IEA, 2021).

Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerin ekonomik faaliyetlerini yürütürken doğal kaynakları (kömür, petrol, mineral, su ve orman kaynakları) daha fazla kullandıkları ve bu nedenle çevresel bozulmanın yanı sıra ekolojik açık durumu ile karşı karşıya kaldıkları dikkate alındığında (Shahzad, 2021, s. 2), bu ülkelerin fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarını daha yüksek oranda ikame etmeye ihtiyaç duydukları düşünülmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye’de yenilenebilir enerji ile fosil yakıt tüketiminin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerini ekonometrik yöntemler kullanarak test etmektir. Çalışmanın diğer çalışmalardan ayrılan temel yönleri ise yenilenebilir enerji ile fosil yakıt tüketiminin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerinin ayrı ayrı test edilecek

[‡] Detaylı bilgi için bakınız, Dışişleri Bakanlığı (2023).

olması ve yapılan testlerde hem yapısal kırılmaların olduğu hem de yapısal kırılmaların olmadığı durumların dikkate alınmasıdır. Bu doğrultuda çalışma dört kısımdan oluşacak şekilde tasarlanmıştır: Yenilenebilir enerji, fosil yakıt tknetimi ve ekolojik ayak izi arasındaki ilişkiye yönelik yapılan ekonometrik çalışmaların özetinin verildiği ikinci kısmın ardından ekonometrik uygulamaya geçilmiş, çalışma sonuç ve değerlendirme kısmı ile tamamlanmıştır.

2. Literatür Araştırması

Literatür araştırmalarında, yenilenemeyen enerji tknetiminin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerini ele alan çalışmaların, yenilenebilir enerji tknetiminin etkisini ele alan çalışmalara[§] nazaran daha çok sayıda olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle Tablo 1’de, daha çok yenilenebilir enerji kullanımının ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerini zaman serileri analizi teknikleriyle test eden çalışmaların özetine yer verilmiştir. Bu alışmalar arasında Usman, vd. (2022) tarafından çalışmada, Pakistan için evre ile ilgili teknolojiler ile nükleer ve yenilenebilir enerjinin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi Doğrusal Olmayan Gecikmesi Dağıtılmış Otoregresif Model (NARDL) kullanılarak test edilmiştir. Çalışma sonucunda, yenilenebilir enerjideki ve evre ile ilgili teknolojilerdeki negatif ve pozitif değişimlerin emisyon düzeylerini düşürdüğü, nükleer enerjideki düşüşün ise uzun dönem emisyon düzeylerini arttırdığı grlmştir. Sharif, vd. (2021) tarafından Türkiye için yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji tknetiminin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisinin test edildiği çalışmanın bulguları her bir kantil için yenilenebilir enerjinin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisinin negatif, buna karşın yenilenemeyen enerji tknetiminin ise pozitif etkili olduğunu göstermiştir. Bulut (2021) tarafından Türkiye özelinde ekolojik ayak izinin belirleyicilerinin analiz edildiği çalışmanın bulguları, yenilenebilir enerjinin ekolojik ayak izi üzerine negatif etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Usman, vd. (2020), Pata (2021a) ile Caglar, vd. (2021) tarafından ABD için yapılan çalışmalarda da yenilenebilir enerjinin ekolojik ayak izi üzerinde negatif etkiye sahip olduğu grlmştir.

Örneklem olarak birden fazla ülkeyi ele alarak yenilenebilir enerjinin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerini araştıran ampirik çalışmalar da vardır. Örneğin, Sanat vd., (2022), G-20 lkelerinin kişi başına düşen ekolojik ayak izi bakımından birbirinden farklı oranlara sahip olduğunu, evre teknolojileri ile ilgili alınan patentlerin ve yenilenebilir enerji düzeyindeki artışın bu lkelerin ekolojik ayak izleri üzerine negatif etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Bucak ve Saygılı (2022), G7 lkeleri ve Türkiye için yaptıkları analizlerinde dışa açıklığın ve ekonomik büyümenin ekolojik ayak izi üzerinde pozitif, yenilenebilir enerji tknetiminin ise negatif etkiye sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Ansari vd. (2020) tarafından yenilenebilir enerjiyi en fazla tkneten seçilmiş ülkeler için yapılan çalışmada, ekolojik ayak izi üzerinde ekonomik büyüme ve yenilenemeyen enerji tknetiminin pozitif, yenilenebilir enerji tknetimi, küreselleşme ve kentleşmenin ise negatif etkiye sahip olduğu grlmştir. Benzer bir alışma Doğan, vd. (2022) tarafından Güney Asya lkeleri üzerine yapılmış, işsizlik ve yenilenebilir enerjideki artışların ekolojik ayak izini azalttığı, reel gelir düzeyi ve yenilenemeyen enerji tknetimindeki artışın ise tersi yönde etki yaptığı grlmştir. Zhang vd (2022), E5 lkelerinde jeotermal ve hidro enerji üretimindeki artışın çevresel bozulmayı arttırdığı, nükleer ve rüzgar gücü kaynaklarının yanı sıra Ar-Ge harcamalarının ise çevresel bozulmayı azalttığını gözlemlemişlerdir. Pata (2021b) tarafından BRIC lkeleri için; ekolojik ayak izi, küreselleşme, tarımsal faaliyetler, yenilenebilir enerji ve CO₂ emisyonları arasındaki ilişkinin test edildiği çalışmada Brezilya ve Çin’de yenilenebilir enerjinin ekolojik ayak izini azalttığı, küreselleşmenin ise ekolojik ayak izini arttırdığı tespit edilmiştir.

Tablo 1. Literatür zeti

Yazar (lar)	Kapsam	Yöntem	Bulgular
Nathaniel, vd. (2019)	Güney Afrika’da ekolojik ayak izi, finansal gelişme, kentleşme ve enerji tknetimi arasındaki ilişkinin 1965-2014 dönemi için test edilmesi	FMOLS, DOLS, CCR	Ekonomik büyüme ve finansal gelişme kısa dönemde evre üzerinde olumsuz etkiye sahiptir. Kentleşme ve enerji kullanımı ise uzun dönemde çevresel kaliteyi arttırmaktadır.
Usman, vd. (2020)	ABD için 1985 yılı birinci çeyreği ile 2014 yılının son çeyreğini kapsayan dönem için yenilenebilir enerji ile küreselleşmenin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisinin incelenmesi	Gecikmesi Dağıtılmış Otoregresif Model (ARDL), Granger nedensellik	Uzun dönemde ekolojik ayak izi üzerinde yenilenebilir enerji ve <i>reel çıktı düzeyi negatif</i> , finansal gelişme ve küreselleşme ise pozitif etkilidir. Ekolojik ayak izi, yenilenebilir enerji ve küreselleşme düzeyinden finansal gelişmeye,

[§] Yenilenemeyen enerji tknetiminin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerini ele alan çalışmalardan bazıları; Karasoy (2022), Karasoy (2021), Glmez, vd. (2021), Yağlıkara (2022) ve zbek (2023) şeklinde sıralanabilir.

			ekolojik ayak izi, yenilenebilir enerji ve küreselleşme düzeyinden reel çıktı düzeyine doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi vardır.
Sharif, vd. (2020),	Türkiye örnekleminde 1965 yılının birinci çeyreği ile 2017 yılının son çeyreğini kapsayan dönem için yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji tüketiminin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisinin test edilmesi	Kantil ARDL, Granger Nedensellik	Her bir kantil için yenilenebilir enerjinin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi negatif iken, ekonomik büyüme ve yenilenemeyen enerji tüketiminin etkisi ise pozitiftir. Ayrıca yenilenebilir enerji tüketimi, yenilenemeyen enerji tüketimi ve ekonomik büyüme ile ekolojik ayak izi arasında tek yönlü bir nedensellik ilişkisi vardır.
Ansari vd. (2020)	Yenilenebilir enerjiyi en fazla tüketen seçilmiş ölkelerde 1991-2016 dönemi için ekolojik ayak izi üzerinde etkili olan faktörlerin analiz edilmesi	Havuzlanmış Ortalama Grup Tahmincisi (PMGE), FMOLS, DOLS	Ekolojik ayak izi üzerinde ekonomik büyüme ve yenilenemeyen enerji tüketimi pozitif, yenilenebilir enerji tüketimi, küreselleşme ve kentleşme ise negatif etkiye sahiptir.
Pata (2021a)	ABD özelinde 1980-2016 dönemi için Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) hipotezi çerçevesinde; ekonomik karmaşıklık, küreselleşme, yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji tüketiminin CO2 emisyonları ve ekolojik ayak üzerindeki etkilerinin araştırılması	Tam Değiştirilmiş Enküçük Kareler (FMOLS), Dinamik Enküçük Kareler (DOLS), ve CCR (Kanonik Regresyon)	Gerek bağımlı değişkenin ekolojik ayak izi gerekse de CO2 emisyonu olduğu modellerde ÇKE hipotezi (ters U şeklinde) geçerlidir. Yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik karmaşıklık ile küreselleşme çevre kirliliğini azaltırken, yenilenemeyen enerji tüketimi çevre kirliliğini arttırmaktadır.
Cağlar, vd. (2021)	ABD ekonomisinde; ekonomik büyüme, biyokapasite, yenilenebilir enerji ve doğal kaynakların ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerinin ÇKE hipotezi bağlamında 1980-2017 dönemi için incelenmesi	ARDL	Biyokapasite ve ekonomik büyüme çevresel bozulmayı arttırırken, yenilenebilir enerji çevresel bozulmayı azaltmaktadır. Diğer yandan doğal kaynaklardaki pozitif şoklar çevresel bozulmayı azaltırken, negatif şoklar ise çevresel kaliteyi olumsuz etkilemektedir.
Bulut (2021)	Türkiye için ekolojik ayak izi belirleyicilerinin 1970-2016 dönemi kapsamında tespit edilmesi	ARDL	ÇKE hipotezi geçerli iken Kirlilik Sığmağı Hipotezi geçerli değildir. Yenilenebilir enerji ekolojik ayak izini negatif etkilerken, sanayileşmenin ekolojik ayak izi üzerinde bir etkisi yoktur.
Hadj (2021)	Suudi Arabistan özelinde biyoyakıt tüketiminin ekolojik ayak üzerindeki etkisinin 1984-2017 dönemi kapsamında araştırılması	NARDL	Kısa ve uzun dönemde biyoyakıt tüketimindeki ve kentleşme düzeyindeki artış ekolojik ayak izini azaltmaktadır. Kısa dönemde yeşil enerji projeleri finansse edildiğinden fosil yakıt ve doğal kaynak kullanımı ekolojik ayak izini düşürmektedir. Ancak uzun dönemde fosil yakıt ve doğal kaynak kullanımındaki artış ekolojik ayak izini arttırmaktadır.
Yavuz (2021)	Türkiye’de çevre vergilerinin ekolojik ayak izi üzerindeki	Regresyon analizi	Ekolojik ayak izini, çevre vergileri ve kişi başına düşen gelir pozitif,

	etkisinin 1994-2017 dönemi kapsamında test edilmesi		yenilenebilir enerji tüketimi ise negatif etkilemektedir.
Shahzad, vd. (2021)	ABD’de 1965Q1- 2017Q4 dönemi için ekonomik karmaşıklık, fosil yakıt tüketimi ve ekolojik ayak izi arasındaki ilişkinin araştırılması	Kantil ARDL	Ekonomik karmaşıklık ve fosil yakıt tüketimi ekolojik ayak izini önemli ölçüde artırmaktadır.
Usman, vd. (2022)	Pakistan özelinde 1990-2020 dönemi için çevre ile ilgili teknolojiler ile nükleer ve yenilenebilir enerjinin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisinin test edilmesi	NARDL	Yenilenebilir enerjideki ve çevre ile ilgili teknolojilerdeki negatif ve pozitif değişimler emisyon düzeylerini düşürürken, nükleer enerjideki düşüş uzun dönemdeki emisyon düzeylerini artırmaktadır.
Arnaut ve Dada (2022)	Birleşik Arap Emirlikleri özelinde ekonomik karmaşıklık, yenilenemeyen ve yenilenebilir enerjinin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerinin 1995Q1-2017Q4 dönemi için test edilmesi	ARDL	Yenilenemeyen enerji, gelir düzeyi, finansal gelişme ve küreselleşme değişkenleri ekolojik ayak izi üzerinde pozitif, yenilenebilir enerji ve kentleşme oranı ise negatif etkilidir.
Dogan ve Shah (2022)	Birleşik Arap Emirlikleri örneğinde 1992-2017 dönemi kapsamında yenilenebilir enerji ve enerji yoğunluğunun ekolojik ayak izi üzerindeki etkisinin incelenmesi	Dinamik ARDL	Ekolojik ayak izi üzerinde enerji yoğunluğu, yenilenebilir enerji ve nüfus negatif, reel gelir düzeyi ise pozitif etkilidir.
Abid, vd. (2022)	Suudi Arabistan örneğinde 1980-2017 dönemi için yenilenebilir enerji tüketiminin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerinin incelenmesi	ARDL, Granger Nedensellik	Beşeri sermaye ve yenilenebilir enerji tüketimi ekolojik ayak izini azaltırken, ticari açıklık ve gelir düzeyi ekolojik ayak izini artırmaktadır. Nedensellik analizine göre gelir düzeyi ekolojik ayak izinin nedeni iken, beşeri sermaye de yenilenebilir enerji tüketiminin nedenidir.
Akadiri, vd. (2022)	Çin’de 1985 yılının birinci çeyreği ila 2019 yılının son çeyreğini kapsayan dönem için ekonomik karmaşıklık, enerji tüketimi (yenilenebilir ve yenilenemeyen), ekonomik büyümenin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisinin test edilmesi	Kantil Regresyon	Ekonomik karmaşıklık, enerji tüketimi (yenilenebilir ve yenilenemeyen), ve ekonomik büyüme ekolojik ayak izi üzerinde pozitif etkilidir. Bu değişkenler ayrıca farklı kantillerde ekolojik ayak izindeki değişimleri de açıklamaktadır.
Kalmaz ve Awosusi (2022)	Malezya ekonomisinde 1965-2017 dönemi kapsamında ekolojik ayak izinin belirleyicilerin saptanması	ARDL, FMOLS, DOLS	ARDL tahmininden elde edilen bulgulara göre ekonomik büyüme ve petrol tüketimi ekolojik ayak izi üzerinde pozitif, yenilenebilir enerji tüketimi ve sabit sermaye yatırımları ise negatif etkilidir. FMOLS ve DOLS tahmincilerine ait bulgular da bu sonuçları desteklemektedir.
Alola vd. (2022)	Çin örneğinde 1971-2016 dönemi için ekolojik ayak izinin dinamiklerinin belirlenmesi	Kantil regresyon, Granger nedensellik	Ekonomik büyüme ortanca kantilde, fosil yakıt ve birincil enerji kullanımı tüm kantillerde, <i>yenilenebilir enerji de düşük ve yüksek kantillerde ekolojik ayak izi üzerinde pozitif etkilidir.</i> Uzun dönemde birincil enerji tüketimi ve ekonomik büyümeden ekolojik ayak izine doğru nedensellik vardır. Ayrıca; kısa, orta ve uzun dönemde yenilenebilir enerjiden

			ekolojik ayak izine doğru tek yönlü nedensellik bulunmaktadır.
Oğul (2022)	Türkiye’de 1990-2018 dönemi için çevresel teknolojik inovasyonlar, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyümenin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisinin incelenmesi	ARDL	Kısa ve uzun dönemde çevresel teknolojik inovasyonlar ve yenilenebilir enerji tüketimindeki artışlar ekolojik ayak izini azaltırken; ekonomi büyüme ekolojik ayak izini artırmaktadır.
Aktaş ve Bilgili (2022),	1994-2017 dönemi için G-20 ülkelerinde çevre teknolojisi patentleri ile yenilenebilir enerjinin ekolojik ayak izi oranları üzerindeki etkisinin test edilmesi	Parametrik olmayan testler	Çevre teknolojileri ile ilgili alınan patentler ve yenilenebilir enerji düzeyindeki artış ekolojik ayak izini azaltmaktadır.
Bucak ve Saygılı (2022),	G7 ülkeleri ve Türkiye için 1998-2017 dönemi kapsamında dışa açıklık, ekonomik büyüme ve yenilenebilir enerji tüketimindeki değişimin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerinin araştırılması	Sabit Etkiler Modeli (FE)	Dışa açıklık ve ekonomik büyüme ekolojik ayak izi üzerinde pozitif, yenilenebilir enerji tüketimi ise negatif etkiye sahiptir.
Doğan, vd. (2022)	Güney Asya ülkeleri örneklemini için; işsizlik, yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji tüketimi, reel gelir ve ekolojik ayak izi arasındaki ilişkinin test edilmesi	FMOLS, DOLS, PMGE, FE, Kantil Regresyon	İşsizlik ve yenilenebilir enerjideki artışların ekolojik ayak izini azalttığı, reel gelir düzeyi ve yenilenemeyen enerji tüketimindeki artışın ise tersi yönde etki yaptığı görülmüştür.
Zhang (2022)	E5 ülkelerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının ve Ar-Ge harcamalarının ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerinin test edilmesi	Dinamik GMM ve FMOLS	Jeotermal ve hidro enerji üretimindeki artış çevresel bozulmayı arttırmakta, nükleer ve rüzgar gücü kaynakları ve Ar-Ge harcamaları ise çevresel bozulmayı azaltmaktadır.

3. Veri, Yöntem ve Bulgular

3.1. Veri Seti

Türkiye’de 1984-2018 dönemi** için yenilenebilir enerji ve fosil yakıt tüketiminin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerinin test edilmesinde kullanılan değişkenler; ekolojik ayak izi (LNEFOOT), yenilenebilir enerji tüketimi (LNRENC), fosil yakıt tüketimi (LNFEFC), kişi başına düşen gelir (LNGDPP), finansal gelişme endeksi (LNFIND) ve nüfus (LNPOP) olarak belirlenmiştir (bakınız, Tablo 2).

Tablo 2. Değişkenler

Değişken Adı	Kısaltma	Açıklama	Veri Kaynağı
Ekolojik Ayak İzi	LNEFOOT	Ekolojik ayak izi, halihazırdaki teknoloji ve kaynak yönetimiyle bir bireyin, topluluğun ya da faaliyetin tükettiği kaynakları üretmek ve neden olduğu atığı elemine etmek için gereken biyolojik olarak verimli toprak ve su alanı olarak tanımlanmaktadır (WWF, 2012: 6). Kişi başına global hektar cinsinden hesaplanmıştır.	Global Footprint Network
Yenilenebilir Enerji Tüketimi	LNRENC	Hidroelektrik dışındaki yenilenebilir enerji kaynaklarının ve biyoyakıtların tüketimini göstermektedir. Eksajul cinsinden hesaplanmıştır.	BP
Fosil Yakıt Tüketimi	LNFEFC	Kişi başına düşen fosil yakıt tüketimidir. Kömür, petrol ve gazdan elde edilen birincil enerji toplamıdır. Kilowatt cinsinden hesaplanmıştır.	Ourworldindata

** BP istatistiklerinden alınan yenilenebilir enerji tüketimi ile ilgili veriler 1984 yılından başladığı, ekolojik ayak izi verileri de 2018 yılına kadar derlendiği için analiz dönemi 1984-2018 olarak belirlenmiştir. Analiz döneminin güncel tarihleri içermemesi bu çalışmanın temel sınırlılıklarından birisi olarak değerlendirilebilir.

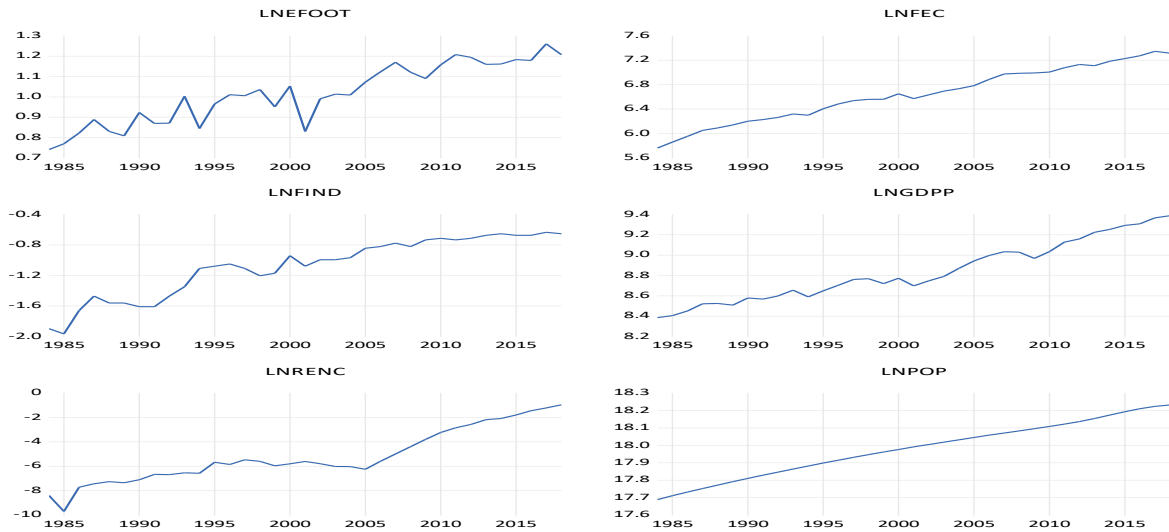
Kişi Başına Düşen Gelir	LNGDPP	Kişi başına düşen gelir GSYH'nin yıl ortası nüfusa oranıdır. 2015 yılı sabit dolar fiyatları cinsinden hesaplanmıştır.	World Bank
Finansal Gelişme Endeksi	LNFIN	Finansal gelişme endeksi gelişmiş finansal kurumların ve finansal piyasaların; derinlik (büyüklük ve likidite), erişim (bireylerin ve firmaların finansal hizmetlere erişebilme yetenekleri) ve etkinlikler (kurumların düşük maliyetli ve sürdürülebilir bir şekilde finansal hizmetler sağlama kabiliyetleri) bakımından durumlarını ortaya koymaktadır. Endeks 0 ila 1 arasında değer almakta olup, 1'e yaklařtıķça finansal gelişmişliğin arttığını göstermektedir.	IMF
Nüfus	LNPOP	Toplam nüfus, hukuki statü veya vatandaşlığa bakmadan tüm sakinleri sayan fiili nüfus (de facto) tanımına dayanmaktadır. Veriler yıl ortasına ait tahminlerdir.	World Bank

Tablo 3'te Türkiye'de yenilenebilir enerji ve fosil yakıt tüketiminin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerinin test edilmesinde kullanılan değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler sunulmaktadır. Değişkenlerin olasılık dağılımdaki asimetriyi yansıtan çarpıklık katsayısına göre LNRENC ve LNGDPP değişkenleri pozitif yönde sağa, LNEFOOT, LNFEFC, LNFIN ve LNPOP değişkenleri ise negatif yönde sola çarpıktır. Dağılım eğrisinin kuyruk dağılımını gösteren basıklık katsayısına göre tüm değişkenlerin basıklık değerleri 3'ten küçük olduğundan dağılımları normal dağılıma göre basıktır. Değişkenlerin normal dağılım gösterip-göstermediğinin test edilmesinde kullanılan ve sıfır hipotezi değişkenlerin normal dağıldığını gösteren Jarque-Bera testine göre ise tüm değişkenler için sıfır hipotezi reddedildiğinden değişkenlerin tamamının dağılımları normal dağılıma uygundur.

Tablo 3. Tanımlayıcı İstatistikler

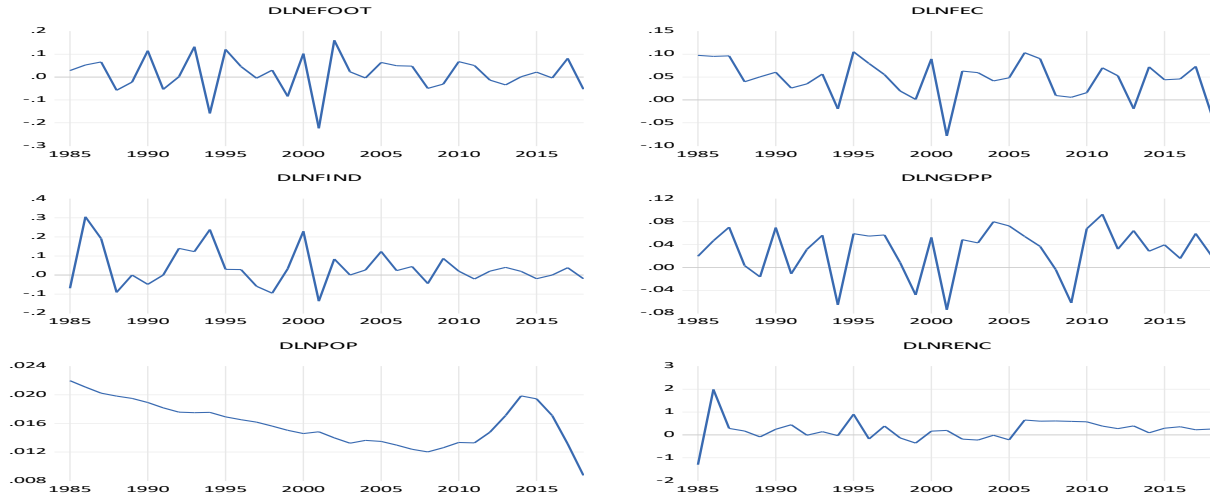
Değişken	LNEFOOT	LNRENC	LNFEFC	LNGDPP	LNFIN	LNPOP
Ortalama	1,014968	-5,218132	6,636969	8,839641	-1.084801	17,97880
Medyan	1,010800	-5,791619	6,633933	8,768310	-0.994252	17,99101
Maksimum	1,260815	-0,967977	7,346490	9,387550	-0.634878	18,23205
Minimum	0,740892	-9,699889	5,761863	8,385470	-1.966113	17,68893
Std, Sapma	0,146487	2,199468	0,447840	0,293951	0.387578	0,158513
Çarpıklık	-0,171758	0,414321	-0,143602	0,346861	-0.674174	-0,150603
Basıklık	1,846635	2,379674	1,960024	1,965168	2.332970	1,936264
Jarque-Bera	2,112036	1,562535	1,697553	2,263517	3.300169	1,782461
Olasılık	0,347838	0,457825	0,427938	0,322466	0.192034	0,410151
Gözlem	35	35	35	35	35	35

şekil 3'te değişkenlerin düzey değerlerinin gelişimi yer almaktadır. Buna göre ele alınan değişkenlerin 1984-2018 döneminde genel olarak pozitif bir trend izledikleri görölmektedir. Bu değişkenlerden LNEFOOT değişkeninde 1991, 1994, 1999, 2001, 2009 yıllarında aşağı yönlü belirgin kırılmalar olduğu anlaşılmaktadır.



şekil 3. Değişkenlerin Düzey Değerlerinin Gelişimi

Değişkenlerin birinci farklarının gelişiminin gösterildiği Şekil 4'e bakıldığında değişkenlerin genelde ortalamaya dönmeye eğiliminde oldukları, bu nedenle durağan olma özelliklerini taşıdıkları tespit edilmektedir.



Şekil 4. Değişkenlerin Birinci Farklarının Gelişimi

3.2. Model

Yenilenebilir enerji ve fosil yakıt tüketiminin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerinin test edilmesi için iki farklı model kullanılmıştır. Modellerin oluşturulmasında; Ahmed ve Wang (2019), Usman, vd. (2020), Dogan ve Shah (2021), Pata (2021a), Pata (2021b), Akadiri vd., (2022) ile Usman, vd. (2022) çalışmalarından yararlanılmıştır. Modellerin her ikisinde de bağımlı değişken ekolojik ayak izidir. Birinci modelde yenilenebilir enerji tüketiminin ikinci modelde ise fosil yakıt tüketiminin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi test edilmektedir. Bu modeller aşağıda gösterilmektedir:

$$\text{Model 1: } LNEFOOT_t = a_0 + \beta_1 LNRENC_t + \beta_2 LNGDPP_t + \beta_3 LNFIND_t + \beta_4 LNPOP_t + \varepsilon_t$$

$$\text{Model 2: } LNEFOOT_t = a_0 + \beta_1 LNFEFC_t + \beta_2 LNGDPP_t + \beta_3 LNFIND_t + \beta_4 LNPOP_t + \varepsilon_t$$

Yenilenebilir enerji kaynakları ile kıyaslandığında yenilenebilir enerjinin çevre üzerindeki etkisi sınırlı düzeydedir (Rehman, vd. 2021, s.4). Ülkelerin ekonomik gelişme düzeylerini devam ettirebilmesi için enerji tüketimi bir gerekliliktir, ancak sadece yenilenebilir enerji kaynakları olan; güneş, rüzgar, jeotermal, gelgit ve hidroenerji uzun dönem sürdürülebilir bir gelişme sürecini sağlayabilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları sürdürülebilir bir ekosistemi sağlayarak çevre üzerindeki insan baskısını hafifletmektedir (Kalmaz ve Awosusi, 2022, s.12-13 ; Oğul, 2022, s.412). Diğer yandan yenilenebilir enerjinin ekolojik ayak izini arttırdığı yönde bulgular elde edilen çalışmalar da mevcuttur. Örneğin, Akadiri, vd. (2022) tarafından Çin örneğinde; ekonomik karmaşıklık, yenilenebilir ve yenilenebilir enerji tüketiminin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmada, yenilenebilir enerji tüketiminin ekolojik ayak izini pozitif etkilediği tespit edilmiştir. Bu etki, yenilenebilir enerji tüketimi içerisinde yüksek bir orana sahip biyokütle yakıtının yanması nedeniyle ekolojik ayak izi üzerinde baskı oluşması ile açıklanmıştır.

Ülkeler rekabet güçlerini ve ticaret hacimlerini arttırabilmek, nihai olarak da ekonomik olarak büyümek ve gelişmek için giderek daha fazla enerji kaynaklarını tüketmektedirler. Birincil enerji kaynaklarını daha fazla kullanan ülkelerde çevre üzerinde kalıcı hasarlar bırakılmaktadır (Yağlıkara, 2022, s.657). Kısa ve uzun dönem ayrımı yapıldığında, kısa dönemde ekolojik ayak izi azaltılabilir, uzun dönemde ise arttırabilir. Petrol ve türevlerine bağlı bir ülke için fosil enerji tüketimine yönelik talebin artması kısa dönemde yeşil enerji projelerinin finansmanı için bir kaynak oluşturabilmektedir (Hadj, 2021, s.69339). Buna göre, kısa dönemde fosil yakıt tüketimi arttıkça ekolojik ayak izinin azalabileceği, buna karşın uzun dönemde artacağı düşünülmektedir.

Kişi başına gelir ile çevre kirliliği arasındaki ilişki Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezi bağlamında üç aşamada ele alınmaktadır. Ölçek aşamasında daha fazla üretim için daha fazla girdi kullanılmakta, üretim süreci sonucunda ortaya çıkan zehirli atıklar çevresel bozulmaya neden olmaktadır. Yapısal dönüşüm aşamasında sermaye-yoğun üretimden hizmetler-yoğun üretime geçilmekte, teknolojik-yoğun bilgi üretiminin artmasıyla çevresel bozulma azalmaktadır. Ekonomik gelişmenin son aşaması olan teknolojik etki aşamasında üretim sürecindeki eski teknolojiler yeni ve temiz teknolojiler ile değiştirilmekte ve böylece çevresel bozulma düzeyinde düşüş

yaşanmaktadır (Cağlar, vd., 2021). Dolayısıyla ekonomik gelişmenin ilk dönemlerinde ekolojik ayak izinin artması beklenmektedir.

Finansal gelişmenin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi 4 kanaldan açıklanmaktadır. Teknik ve yapısal etkilere göre finansal gelişme, enerjide etkinliği sağlayan yeni çevre dostu teknolojilerin düşük faiz oranlarıyla finanse edilmesini ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına katkı verilmesini olanaklı hale getirerek karbon emisyonlarını ve ekolojik ayak izini azaltabilmektedir. Diğer yandan, doğrudan etki ile servet etkilerine göre finansal gelişme ile finansal araçlara erişim kolay ve düşük maliyetli olduğundan imalat sanayindeki üretim ve kaynak tüketimi artmaktadır. Bu da çevre üzerinde baskı oluşturmaktadır (Usman, 2020 ; Karasoy, 2021: 214).

Nüfusun artışının ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi ise Topdağ vd., (2020)'de açıklanmıştır. Buna göre, nüfus artışı kişi başına düşen ayak izini azaltmakta, buna karşın toplam ayak izini ise arttırmaktadır. Kent nüfusu açısından bakıldığında ise Nathaniel, vd. (2020)'de ifade edildiği gibi, fosil yakıt bakımından zengin rezervlere sahip ölkelerde kent nüfusu arttıkça bu rezervlerin aşırı kullanımıyla ekolojik ayak izinin artabileceği belirtilmektedir. Diğer yandan kentleşmenin sağladığı pozitif dışsallıklar ve ölçek ekonomileri sayesinde üretkenlik artabilmekte, böylece kentsel alanlarda aynı miktardaki ürün daha az girdiyle üretilebilmektedir. Bununla birlikte diğer sektörlere kıyasla çevre üzerindeki daha az negatif etkiye sahip olan hizmetler sektörü müşteri yoğunlaşmasına ihtiyaç duymakta, bu ise kentleşmeye olan ihtiyacı arttırmaktadır. Yeşil altyapı ve hizmetlerin kentsel ortamlarda inşa edilmesi, bakımı ve işletilmesi çok daha kolay ve ekonomik olduğundan kentleşme oranının artmasıyla daha fazla insanın uygun fiyatlı çevre dostu hizmetlere erişmesi mümkün olmakta, böylece çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlanmaktadır (Prasetyanto, 2023: 104-105).

3.3. Yöntem ve Bulgular

Bu kısımda, yenilenebilir enerji ve fosil yakıt tüketiminin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisinin analiz edilmesinde kullanılan yöntemlere ve bu yöntemlerin kullanılması neticesinde elde edilen temel bulgulara yer verilmektedir. Çalışmada öncelikle serilerin durağan olup-olmadıkları Augmented Dickey Fuller (ADF) birim kök testi ile Carrion-i-Silvestre vd. (2009) çoklu yapısal kırılmalı birim kök testi kullanılarak araştırılmış, ardından seriler arasında bir eşbütünleşme ilişkisinin olup-olmadığı ise Bayer-Hanck (2013) ile Maki (2012) eşbütünleşme testleri kullanılarak test edilmiştir. Eşbütünleşme testlerinden sonra uzun dönem katsayıları FMOLS kullanılarak tahmin edilmiştir.

3.3.1. Geleneksel Birim Kök Testleri

Ekonometrik çalışmalarda kullanılan klasik tahmin yöntemlerinde serilerin ortalama ve varyanslarının zamandan bağımsız, bir başka ifadeyle durağan olduğuna varsayılmaktadır. Ancak özellikle makroekonomik değişkenlerin önemli bir kısmı nominal ve gerçek değerleri zaman içerisinde sabit kalmamakta, varyansı değişiklik göstermektedir. Durağan olmayan değişkenler ile yapılan regresyon tahminlerinden elde edilen kalıntılar da durağan olmamakta, böylece sahte regresyon sorunu ile karşı karşıya kalılabilmektedir (Yavuz, 2004: 240-241). Bu nedenle yapılacak ekonometrik analizlerde olası bir sahte regresyon sorununa yol açmamak için değişkenlerin durağan olup-olmadıkları birim kök testleri kullanılarak incelenmektedir.

Dickey ve Fuller (1981), yüksek mertebeden bir otoregressif süreçten ($Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + e_t$) yola çıkarak birim kök testini geliştirmişlerdir. Testin yapılabilmesi için aşağıda yer alan eşitlik EKK kullanılarak tahmin edilmektedir:

$$\Delta Y_t = aY_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \phi_i \Delta Y_{t-i} + e_t \quad (1)$$

Doğrusal trendli model ise

$$\Delta Y_t = \delta + aY_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \phi_i \Delta Y_{t-i} + e_t \quad (2)$$

Eşitliklerde $\sum_{i=1}^{p-1} \phi_i \Delta Y_{t-i}$ durağan bir süreçtir ve e_t sıfır ortalama ve σ^2 varyans ile normal ve bağımsız dağılmaktadır. Testin sıfır hipotezi ($H_0: a = 0$) zaman serilerinin birim kök içerdiğini, alternatif hipotezi ($H_0: a < 0$) zaman serilerinin birim kök içermediğini göstermektedir (Sjösten, 2022: 4-5).

Tablo 4'te sunulan ADF birim kök testi bulgularına göre; LNEFOOT ve LNFEC değişkenleri sabitli durumda birim kök içeriyorken, sabitli ve trendli durumda ise birim kök içermemektedir. LNPOP değişkeni için tam tersi bir durum sözkonusudur. LNGDPP, LNFIND ve LNRENC değişkenleri ise hem sabitli hem de sabitli ve trendli

durumlar için düzeyde birim kök içermektedir. Bu nedenle değişkenlerin tamamının düzeyde durağan olmadığı görölmüştür. Durağan olmayan bu değişkenlerin birinci farkları alındığında durağan duruma geldikleri tespit edilmiştir.

Tablo 4. ADF Birim Kök Testi Bulguları

Sabit/Trend	Sabitli		Sabitli & Trendli	
Değişken	t-ist	Olasılık	t-ist	Olasılık
LNEFOOT	-1,2703	0,6314	-5,9148	0,0001
LNFIND	-1,9259	0,3169	-2,5495	0,3041
LNGDPP	0,2534	0,9721	-2,0933	0,5309
LNFEFC	-1,8071	0,3709	-3,9168	0,0221
LNRENC	-0,0067	0,9515	-1,8139	0,6758
LNPOP	-4,0603	0,0036	-2,7547	0,2232
Birinci Farklar				
Değişken	t-ist	Olasılık	t-ist	Olasılık
ALNEFOOT	-10,373	0,0000	-10,2292	0,0000
ALNFIND	-5,7872	0,0000	-6,1519	0,0000
ALNGDPP	-6,1822	0,0000	-6,1667	0,0001
ALNFEFC	-6,1785	0,0000	6,3586	0,0000
ALNRENC	-8,616	0,0000	-8,4081	0,0000
ALNPOP	-1,952	0,3055	-4,0871	0,0155

3.3.2. Yapısal Kırılmalı Birim Kök Testleri

Carrion-i-Silvestre vd. (2009) çoklu yapısal kırılmalı birim kök testinde maksimum beş yapısal kırılmaya izin verilmekte ve kırılma noktaları içsel olarak belirlenmektedir. Bu testte serilerin durağanlığının sınanmasında beş farklı istatistik kullanılmaktadır:

$$P_T^{GLS}(\lambda^0) = \{S(\bar{a}, \lambda^0) - \bar{a}S(1, \lambda^0)\}/s^2(\lambda^0) \quad (3)$$

$$MP_t^{GLS}(\lambda^0) = \left[c^{-2}T^{-2} \sum_{t=1}^T \tilde{y}_{t-1}^2 + (1 - \bar{c})T^{-1}\tilde{y}_t^2 \right] / s(\lambda^0)^2 \quad (4)$$

$$MZ_a^{GLS}(\lambda^0) = (T^1\tilde{y}_T^2 - s(\lambda^0)^2) \left(2T^{-2} \sum_{t=1}^T \tilde{y}_{t-1}^2 \right)^{-1} \quad (5)$$

$$MSB^{GLS}(\lambda^0) = \left(s(\lambda^0)^{-2}T^{-2} \sum_{t=1}^T \tilde{y}_{t-1}^2 \right)^{1/2} \quad (6)$$

$$MZ_t^{GLS}(\lambda^0) = (T^1\tilde{y}_T^2 - s(\lambda^0)^2) \left(4s(\lambda^0)^2T^{-2} \sum_{t=1}^T \tilde{y}_{t-1}^2 \right)^{-1/2} \quad (7)$$

Denklemlerde yer alan $s(\lambda^0)^2$ terimi $s(\lambda^0)^2 = s_{ek}^2 / (1 - \sum_{j=1}^k \hat{b}_j)^2$ denklemi kullanılarak hesaplanmaktadır. s_{ek}^2 terimi de $s_{ek}^2 = (T - k)^{-1} \sum_{t=k+1}^T \hat{e}_{t,k}^2$ formülüyle, $\{\hat{b}_j, \hat{e}_t, k\}$ $\Delta \tilde{y}_t = b_0\tilde{y}_{t-1} + \sum_{j=1}^k b_j \Delta \tilde{y}_{t-j} + e_{t,k}$ enküçük kareler regresyonundan, \tilde{y}_t ise $\tilde{y}_t = y_t - \psi'Z_t(\lambda^0)$ denkleminden elde edilmektedir. Deterministik bileşenler ile ilgili olan ψ parametreleri $S^*(\psi, \bar{a}, \lambda^0) = \sum_{t=1}^T (y_t^{\bar{a}} - \psi'Z_t^{\bar{a}}(\lambda^0))^2$ amaç fonksiyonunun minimize edilmesiyle hesaplanabilmektedir. Testin sıfır hipotezi “yapısal kırılmalar altında birim kök vardır” şeklindedir (Carrion-i-Silvestre vd., 2009, s. 1759-1762).

Çalışmada, belirlenen analiz dönemi için birden fazla yapısal kırılma (1990, 1994, 2000-2001 Türkiye ekonomik krizleri ile 2008 Küresel Finans Krizi) olduğu dikkate alınmış, bu kapsamda değişkenlerin durağanlığı aynı zamanda Carrion-i-Silvestre vd. (2009) tarafından geliştirilen çoklu yapısal kırılmalı birim kök testi kullanılarak araştırılmıştır.

Tablo 5’te yer alan bu testin temel bulgularına göre değişkenlerin tamamı için test istatistik değerleri kritik değerlerden büyük olduğundan yapısal kırılmalar altında birim kök olduğunu gösteren H_0 hipotezi kabul edilmiştir. Test tarafından belirlenen kırılma tarihleri olan; 1995, 2000, 2007-2008 tarihlerinin ekonomik krizlere ve kriz sonrası dönemlere işaret ettiği söylenebilir. Bununla birlikte yenilenebilir enerji ile ilgili önemli dönüm noktaları olan 2005-2006 tarihlerinin de başarıyla tespit edildiği görölmüştür. Nitekim Türkiye’de 2005 yılında çıkartılan “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun” ile yenilenebilir enerji piyasalarına dönük önemli bir düzenleme yapılmıştır.

Tablo 5. Carrion-i-Silvestre vd. (2009) Çoklu Yapısal Kırılmalı Birim Kök Testi

Değişken	PT	MPT	MZ _a	MSB	MZ _t	Kırılma Tarihleri
LNEFOOT	15,079 (7,662)	15,765 (7,662)	-16,527 (-44,488)	0,174 (0,121)	-2,875 (-4,116)	1998, 2004, 2011
LNFIND	19,509 (7,700)	19,987 (7,700)	-13,183 (-34,715)	0,193 (0,119)	2,547 (-4,139)	1987, 1992, 2000
LNGDPP	19,150 (8,357)	19,946 (8,357)	-14,822 (-35,608)	0,184 (0,118)	-2,721 (-4,198)	1995, 2000, 2008
LNFECE	19,045 (8,289)	19,786 (8,289)	-14,827 (-35,728)	0,179 (0,118)	-2,668 (-4,207)	1987, 2005, 2007
LNRENC	17,428 (7,874)	17,825 (7,874)	-16,153 (-36,107)	0,172 (0,117)	-2,773 (-4,233)	1988, 1997, 2005
LNPOP	29,674 (7,617)	31,056 (7,617)	-8,417 (-35,566)	0,223 (0,118)	-1,879 (-4,208)	1989, 1997, 2007

Not: Parantez içindeki değerler, bootstrap kullanılarak 1000 yinleme ile elde edilmiş kritik değerleri (%5 seviyesi için) göstermektedir.

3.3.3. Eşbütünleşme testleri

Değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkisinin tespitinde Engle ve Granger (EG, 1987), Johansen (JOH, 1988), Boswijk (BO, 1994) ve Banerjee, vd. (BDM, 1998) tarafından geliştirilen eşbütünleşme testleri kullanılabilir. Bu testlerden EG testi kalıntı, JOH testi sistem temellidir. BO ve BDM testleri ise hata düzeltme temelli testleri önermektedir. Seriler arasındaki uzun dönemli ilişkiler seçilen eşbütünleşme testine oldukça duyarlı olduğundan bu testlerin sonuçları birbiri ile çelişebilmektedir. Ayrıca bu testlere ait olasılık değerleri arasında da güçlü korelasyonlar bulunmamaktadır. Bu noktada Bayer-Hanck (2013) tarafından durağan olmayan zaman serileri analizinde bu testlerin tamamını dikkate alan bir eşbütünleşme testi geliştirilmiştir. Bahsi geçen farklı eşbütünleşme testlerinin kombinasyonu olan Bayer-Hanck (2009) eşbütünleşme testi bu anlamda daha güvenilir sonuçlar üretebilmektedir (Bayer ve Hanck, 2012, s. 1 ; Pata, 2021a, s. 853). Bayer ve Hanck (2012), eşbütünleşme testlerine ait olasılık değerlerinin birleştirilebilmesi için Fisher (1932) tarafından geliştirilen ki-kare testini önermişlerdir:

$$\tilde{\chi}_I^2 := -2 \sum_{i \in T} \ln(p_i) \quad (8)$$

$$EG - JOH = -2[\ln(EG_p) + \ln(JOH_p)] \quad (9)$$

$$EG - JOH - BO - BDM = -2[\ln(EG_p) + \ln(JOH_p) + \ln(BO_p) + \ln(BDM_p)] \quad (10)$$

Denklemlerde, EG_p , JOH_p , BO_p ve BDM_p sırasıyla Engle ve Granger (1987), Johansen (1988), Boswijk (1994) ve Banerjee, vd. (1998) testlerinin olasılık değerlerini göstermektedir.

Serilerin aynı dereceden durağan olması nedeniyle aralarında bir eşbütünleşme ilişkisi olup-olmadığı öncelikle yapısal kırılmaların dikkate alınmadığı Bayer-Hanck (2013) eşbütünleşme testleri kullanılarak araştırılmış ve elde edilen bulgular Tablo 6'da özetlenmiştir. Buna göre her iki modelde de Fisher test istatistikleri kritik değerden büyük olduğundan eşbütünleşme ilişkisi olmadığını gösteren sıfır hipotezi reddedilebilmekte, dolayısıyla değişkenler arasında uzun dönem ilişkisi olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 6. Bayer-Hanck (2013) Eşbütünleşme Testi Bulguları

Modeller/Testler	EG-JOH	EG-JOH-BO-BDM
Model 1	20.906801	77.153833
Model 2	58.657488	130.95392
Kritik Değer (%5)	10.576	20.143

Not: Tüm modellerde maksimum gecikme uzunluğu 3 olarak alınmış ve model olarak sabitli ve trendli model seçilmiştir. H_0 hipotezi: Değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi yoktur.

Yapısal kırılmalar altında kullanılan Maki (2012) eşbütünleşme testinde dört farklı model kullanılmaktadır:

$$Model\ 0: y_t = \mu + \sum_{i=1}^k \mu_i D_{i,t} + \beta' x_t + u_t \quad (11)$$

$$Model\ 1: y_t = \mu + \sum_{i=1}^k \mu_i D_{i,t} + \beta' x_t + \sum_{i=1}^k \beta'_i x_t D_{i,t} + u_t \quad (12)$$

$$Model\ 2: y_t = \mu + \sum_{i=1}^k \mu_i D_{i,t} + \gamma_t + \beta' x_t + \sum_{i=1}^k \beta'_i x_t D_{i,t} + u_t \quad (13)$$

$$Model\ 3: y_t = \mu + \sum_{i=1}^k \mu_i D_{i,t} + \gamma_t + \sum_{i=1}^k \gamma_i t D_{i,t} + \beta' x_t + \sum_{i=1}^k \beta'_i x_t D_{i,t} + u_t \quad (14)$$

Denklemlerde yer alan $t = 1, 2 \dots T$ zamanı, y_t bağımlı değişkeni, x_t açıklayıcı değişkenleri gösteren $m \times 1$ boyutundaki vektörü, γ sabit terimi, β trend değişkenini, k kırılma sayısını, u_t hata terimini ve $D_{i,t}$ ise yapay değişkeni temsil etmektedir. $D_{i,t}$ 'nin değeri test istatistik değerinden büyükse 1 değilse 0 değerini almaktadır ve bu değerlere göre yapısal kırılma tarihleri belirlenmektedir. Yukarıdaki denklemlerden ilki, sabit terimde kırılmaya izin veren trendsiz modeli (level shifts model), ikincisi sabit terim ve eğimde kırılmaya izin veren trendsiz modeli (regime shifts model), üçüncüsü sabit terim ve eğimde kırılmaya izin veren trendli modeli (regime shift with trend model) ve sonuncusu da sabit terim, eğim ve trendde kırılmaya izin veren modeli (level, trend, regime shift model) göstermektedir. Buradaki modeller, yapısal kırılma sayısı bir olduğunda ($k=1$) Gregory ve Hansen (1996), iki olduğunda ($k=2$) ise Hatemi-J (2008) tarafından önerilen eşbütünleşme testleri ile tutarlıdır. Maki (2012) tarafından geliştirilen testte, Bai ve Perron (1998) tarafından önerilen yapısal kırılmalar ile Kapetanios (2005) tarafından geliştirilen yapısal kırılmalar ile birim kök testine dayalı olarak, tanımlanmamış kırılma sayısının, önsel (a priori) olarak ayarlanmış maksimum kırılma sayısından küçük veya ona eşit olabileceği varsayılmaktadır. Maki (2012) tarafından geliştirilen test ise ikiden fazla kırılma için tutarlı sonuçlar üretmektedir. Bu testin sıfır hipotezi yapısal kırılmalar altında eşbütünleşme ilişkisi olmadığını ifade etmektedir (Yurtkuran, 2021, ss. 162-163 ; Altay ve Yılmaz, 2016, s. 80).

Değişkenler arasında yapısal kırılmalar altında bir eşbütünleşme ilişkisi olup-olmadığı ise Maki (2012) çoklu yapısal kırılmalı eşbütünleşme testi kullanılarak araştırılmıştır ve elde edilen bulgular Tablo 7'de verilmiştir. Bulgulara göre hem yenilenebilir enerji tüketiminin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerinin test edildiği birinci modelde de hem de fosil yakıt tüketiminin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerinin test edildiği ikinci modelde test istatistik değerleri kritik değerlerden büyüktür. Dolayısıyla bu modeller için yapısal kırılma altında eşbütünleşme ilişkisi olmadığını gösteren H_0 hipotezi reddedilebilmektedir. Bulgular, hem yenilenebilir enerji hem de fosil yakıt tüketiminin ekolojik ayak izi ile yapısal kırılmalar altında eşbütünleşme ilişkisine sahip olduğunu göstermektedir. Model 1 için kullanılacak kırılma tarihleri; 1995, 2002 ve 2005, Model 2 için kullanılacak kırılma tarihleri ise 1990, 1994 ve 2008 olarak belirlenmiştir.

Tablo 7. Maki (2012) Çoklu Yapısal Kırılmalı Eşbütünleşme Testi

Model 1			
	Test istatistiği	Kırılma Tarihleri	Kritik Değerler
Düzey	-7,914***	1991, 1997, 2014	%1= -6,501 %5= -5,992 %10= -5,714
Rejim	-6,331**	2003, 2005, 2014	%1= -6,741 %5= -6,214 %10= -5,974
Rejim ve trend	-8,688***	1990, 1995, 2012	%1= -8,336 %5= -7,803 %10= -7,481
Düzey, trend ve rejim	-8,049*	1989, 1996, 2002	%1= -8,865 %5= -8,254 %10= -7,977
Model 2			
	Test istatistiği	Kırılma Tarihleri	Kritik Değerler
Düzey	-7,511***	1995, 2008, 2014	%1= -6,501 %5= -5,992 %10= -5,714
Rejim	-8,196***	1990, 1997, 2011	%1= -6,741 %5= -6,214 %10= -5,974
Rejim ve trend	-7,489*	1993, 2002, 2012	%1= -8,336 %5= -7,803 %10= -7,481
Düzey, trend ve rejim	-8,141*	1990, 1994 ^a	%1= -8,865 %5= -8,254 %10= -7,977

Not: Kritik değerler, Maki (2012) Tablo-1'den elde edilmiştir. H_0 hipotezi seriler arasında yapısal kırılma altında eşbütünleşme olmadığını göstermektedir. Gözlem sayısı dikkate alınarak serilerde üç yapısal kırılmaya izin verilmiştir. ^a: Model, iki tane kırılma tarihi vermiştir.

Eşbütünleşme testlerinden elde edilen bulgular genel olarak değerlendirildiğinde, hem yapısal kırılmasız hem de yapısal kırılmalı eşbütünleşme testleri, yenilenebilir enerji tüketimi-ekolojik ayak izi ile ve fosil yakıt tüketimi-ekolojik ayak izi arasında uzun dönemli ilişki olduğunu göstermiştir. Yapısal kırılmaları dikkate almayan Bayer-

Hanck (2013) eşbütünleşme testi ile belirlenemeyen yapısal kırılma tarihleri Maki (2012) eşbütünleşme testi kullanılarak belirlenmiştir.

3.3.4. Uzun Dönem Eşbütünleşme Katsayılarının Tahmini

Değişkenler arasında uzun dönem ilişkileri tespit edildikten sonra bu ilişkilerin yönleri ve dereceleri öncelikle yapısal kırılmalar olmadan; FMOLS eşbütünleşme tahmincisi kullanılarak tahmin edilmiştir.

Phillips ve Hansen (1990) tarafından geliştirilen FMOLS tahmincisi, bir eşbütünleşme ilişkisinden ortaya çıkan serisel korelasyon ve içsellik sorunlarını çözebilmek için kullanılan EKK tahmincisinin değiştirilmiş bir versiyonudur (Mahmood ve Shahid, 2014, s. 60). Eşbütünleşme regresyonundaki problemleri yarı-parametrik bir yöntemle gideren FMOLS tahmincisi, artıkların simetrik ve tek taraflı uzun dönemli kovaryans matrislerinin ön tahminlerini yapmaktadır. Bu tahminci aşağıdaki gibi gösterilmektedir:

$$\hat{\theta}_{FMOLS} = \begin{bmatrix} \hat{\beta} \\ \hat{\gamma}_1 \end{bmatrix} = \left(\sum_{t=1}^T Z_t Z_t' \right)^{-1} \sum_{t=2}^T Z_t y_t^* - T \begin{bmatrix} \hat{\lambda}_{12}^* \\ 0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

Yukarıdaki denklemde $Z_t^* = (X_t', D_t')$, tahmin edilmiş sapma düzeltme terimi $\lambda_{12}^* = \lambda_{12} - \hat{\omega}_{12} \hat{\Omega}_{22}^{-1} \hat{\Lambda}_{22}$, değiştirilmiş veri $y_t^* = y_t - \hat{\omega}_{12} \hat{\Omega}_{22}^{-1} \hat{v}_2$ 'dir. $\hat{\Omega}$ ile $\hat{\Lambda}$ ise $\hat{v}_t = (\hat{v}_{1t} \hat{v}_{2t}')$ artıkların kullanılmasıyla elde edilen uzun dönem kovaryans matrisleridir (Mahmood ve Shahid, 2014, s. 60 ; Alwafai, 2019, s. 31).

Tablo 8'de FMOLS eşbütünleşme tahmincisine ait bulgular özetlenmiştir. Buna göre,

- *Birinci modelde; yenilenebilir enerji tüketimi ve nüfus değişkenlerinin ekolojik ayak izi üzerinde negatif, kişi başına düşen gelir ve finansal gelişme değişkenlerinin pozitif,*
- *İkinci modelde; fosil yakıt tüketimi, kişi başına düşen gelir ve finansal gelişme endeksi değişkenlerinin ekolojik ayak izi üzerinde pozitif, nüfusun ise negatif etkili olduğu görülmektedir.*

Tablo 8. FMOLS Bulguları

Değişken /Model	Model 1			Model 2		
	Katsayı	t ist	Olasılık	Katsayı	t ist	Olasılık
LNRENC	-0,0193	-3,7361	0,0008			
LNFEFC				0,9493	9,3543	0,0000
LNGDPP	0,5729	9,0301	0,0000	0,1826	2,8032	0,0089
LNFINDD	0,2498	7,6919	0,0000	0,1428	4,3047	0,0002
LNPOP	-0,5240	-3,6923	0,0009	-2,4592	-	0,0000
C	5,5378	2,4914	0,0187	37,4655	10,8488	0,0000
R ²	0,91			0,94		

Çalışmada değişkenler arasında uzun dönem ilişkileri tespit edildikten sonra bu ilişkilerin yönleri ve dereceleri ayrıca Maki (2012) eşbütünleşme testi ile belirlenen yapısal kırılma tarihleri dikkate alınarak tahmin edilmiştir. Birinci modeldeki yapısal kırılma tarihleri kriz sonrası döneme (1995, 2002) ve yenilenebilir enerji kullanarak elektrik üretimi ile ilgili yasal düzenlemenin yapıldığı yıla göre belirlenmiştir. İkinci modeldeki yapısal kırılma tarihleri ise kriz yıllarını (1990, 1994, 2008) temsil etmektedir. Tablo 9'da yer alan yapısal kırılma tarihleri kullanılarak elde edilen bulgular, kırılma tarihleri dikkate alınarak elde edilen bulgular ile paralellik göstermektedir. Buna göre; ekolojik ayak izi üzerinde yenilenebilir enerji tüketimi ile nüfus negatif etkili iken, kişi başına düşen gelir, finansal gelişme endeksi ve fosil yakıt tüketimi ise pozitif etkilidir. Diğer yandan yapısal kırılmaları temsilen oluşturulan yapay değişken birinci modelde istatistiksel olarak anlamlı ve negatiftir, ikinci modelde de negatif ancak anlamlı değildir. Yenilenebilir enerji tüketiminin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisinin ele alındığı modelde kullanılan kukla değişkenin negatif ve anlamlı olması, kriz dönemlerinde çevre üzerindeki baskının nispeten zayıflamasıyla ve Türkiye'de 2005 yılında çıkartılan yenilenebilir enerji kullanımının artırılmasına yönelik kanunun etkisiyle açıklanabilir.

Tablo 9. FMOLS Bulguları (Yapay Değişkenli)

Değişken/ Model	Model 1			Model 2		
	Katsayı	t ist	Olasılık	Katsayı	t ist	Olasılık
LNRENC	-0,0148	-4,3715	0,0002			
LNFEFC				1,2067	38,5861	0,0000
LNGDPP	0,5161	12,4863	0,0000	0,3385	16,8806	0,0000
LNFINDD	0,2551	11,8544	0,0000	0,1401	13,7165	0,0000
LNPOP	-0,4141	-4,5004	0,0001	-3,4704	-51,8684	0,0000

DUMMY	-0,0436	-5.3792	0,0000	-0,0019	-0,5754	0,5696
C	4,0945	2,8433	0,0082	52,5566	49,2921	0,0000
R²	0,90			0,92		

Yapay değişkenli FMOLS modelinden elde edilen bulgular yapay değişkenlerin kullanılmadığı FMOLS modelinden elde edilen bulgular ile karşılaştırıldığında her ne kadar katsayıların işaretleri konusunda bir farklılık olmasa da katsayıların büyüklüğü anlamında farklılık ortaya çıktığı görülmüştür. Buna göre yapay değişkenli FMOLS modelinde özellikle LNFEFC ve LNRENC katsayılarının büyüdüğü tespit edilmiştir.

3.3.5. Nedensellik İlişkilerinin Tahmini

Çalışmada ekolojik ayak izi ile fosil yakıt tüketimi, yenilenebilir enerji tüketimi, finansal gelişme, kişi başına düşen gelir ve nüfus arasındaki nedensellik ilişkilerinin tahmininde Toda-Yamamoto (TY) nedensellik testinin geliştirilmiş versiyonu olan Hacker ve Hatemi-j (2006) Bootstrap TY nedensellik testi kullanılmıştır. TY nedensellik testinde değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisi araştırılırken değişkenlerin durağan olup-olmadıkları ve eşbütünleşme ilişkisine sahip olup-olmadıkları bilgisine ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu testte değişkenlerin olduğu gibi kullanılmaları, bir başka ifadeyle fark almadan kullanılmaları nedeniyle gözlem sayısında bir düşüş yaşanmamakta ve bilgi kayıpları sözkonusu olmamaktadır (Soyu, vd. 2022, s. 173). Hacker ve Hatemi-j (2006), TY testinin asimptotik standart ki-kare dağılımına bağlı olmasından ötürü küçük örneklem ile yapılan analizlerde başarısız olduğunu tespit etmişler ve küçük örneklem de güvenilir sonuçlar üreten bootstrap dağılımına sahip yeni bir test (MWALD) geliştirmişlerdir (Çalışkan, vd., 2017: 50).

Hacker ve Hatemi-j (2006), Toda-Yamamoto tarafından önerilen test istatistikleri tanımlanmadan önce örneklem büyüklüğü T için şu eşitlikleri tanımlamışlardır:

$$Y := (y_1, \dots, y_T), (n \times T) \text{ matris}$$

$$\hat{D} := (\hat{v}, \hat{A}_1, \dots, \hat{A}_p, \dots, \hat{A}_{p+d}), (n \times (1 + n(p + d))) \text{ matris}$$

$$Z_t := \begin{bmatrix} 1 \\ y_t \\ y_{t-1} \\ \vdots \\ y_{t-p-d+1} \end{bmatrix}, a((1 + n(p + d) \times 1) \text{ matris}$$

$$Z = (Z_0, \dots, Z_{T-1}), a((1 + n(p + d)) \times T \text{ matris}$$

$$\hat{\delta} := (\hat{\varepsilon}_1, \dots, \hat{\varepsilon}_T), (n \times T) \text{ matris}$$

Bu eşitlikler kullanılarak tahmin edilmiş sabit terimi (\hat{v}) içeren VAR(p+d) modeli şu şekilde ifade edilebilir:

$$Y = \hat{D}Z + \hat{\delta} \quad (15)$$

Kısıtsız regresyondan elde edilen kalıntıların ($n \times T$) matrisi olan $\hat{\delta}_u$ ile bu kalıntıların varyans-kovaryans matrisi $S_U = \hat{\delta}'_u \hat{\delta}_u / T$ hesaplanmaktadır. Böylece geliştirilmiş Wald (MWALD) test istatistiği şu şekilde ifade edilebilir:

$$MWALD = (C\hat{\beta})' [C(Z'Z)^{-1} \oplus S_U] C^{-1} (C\hat{\beta}) \quad (16)$$

Yukarıdaki denklemde, \oplus Kronker çarpımı, C , $p \times n(1 + n(p + d))$ matrisidir. MWALD test istatistiği, p serbestlik derecesi ile asimptotik olarak ki-kare dağılımına sahiptir. Teestin sıfır hipotezi ise $H_0 = C\beta = 0$ şeklindedir (Hacker ve Hatemi-j, 2006, s.1491).

Tablo 10'da ekolojik ayak izi ile fosil yakıt tüketimi, yenilenebilir enerji tüketimi, finansal gelişme, kişi başına düşen gelir ve nüfus arasındaki ilişkiye yönelik kullanılan Bootstrap TY nedensellik testi bulguları yer almaktadır. Tabloda verilen Bootstrap olasılık değerlerinden anlaşılacağı gibi, ekolojik ayak izi ile fosil yakıt tüketimi değişkenleri arasında iki yönlü nedensellik bulunmaktadır. Buna karşın, ekolojik ayak izi ile diğer değişkenler arasında herhangi bir nedensellik ilişkisi tespit edilememiştir.

Tablo 10. Bootstrap Toda-Yamamoto Nedensellik Testi Bulguları

Nedensellik Yönü	Optimal gecikme	Test istatistiği	Asimptotik olasılık	Bootstrap olasılık
LNFEFC→LNEFOOT	1	2.958	0.085	0.084
LNEFOOT→LNFEFC	1	4.387	0.036	0.033

LNRENC→LNEFOOT	3	0.055	0.997	0.991
LNEFOOT→LNRENC	3	3.259	0.353	0.380
LNFIND→LNEFOOT	2	1.209	0.546	0.529
LNEFOOT→LNFIND	2	2.624	0.269	0.258
LNGDPP→LNEFOOT	2	0.014	0.993	0.994
LNEFOOT→LGDPP	2	2.561	0.278	0.276
LNPOP→LNEFOOT	3	1.242	0.743	0.744
LNEFOOT→LNPOP	3	6.075	0.108	0.144

Not: Maksimum eşbütölleşme derecesi (dmax) 1 olarak alınmıştır. Testlerde 10000 Bootstrap simölasyonu uygulanmıştır.

4. Sonuç ve Değerlendirme

Bilindiği gibi, yenilenebilir enerji sayesinde zehirli gaz salınımlarının azaltılmasını sağlayan temiz (çevre dostu) teknolojilerin kullanımı mümkün olmakta, enerji verimliliği sağlanmakta, odun, kömür ve petrol gibi yenilenemeyen kaynakların kullanımı oransal olarak azalmakta ve bunların bir sonucu olarak insanlığın dünya üzerindeki talep baskısı (ekolojik ayak izi) düşmektedir.

Türkiye’de 1984-2018 dönemi için yenilenebilir enerji ve fosil yakıt tüketiminin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada öncelikle değişkenlerin durağan olup olmadıkları hem yapısal kırılmaz (ADF) hem de yapısal kırılmalı (Carrion-i-Silvestre, vd., 2009) birim kök testleriyle incelenmiştir. Yapılan testler sonucunda çalışmada kullanılan değişkenlerin birinci farkları alındığında durağan hale geldikleri tespit edilmiştir. Değişkenlerin aynı seviyeden durağan olmaları nedeniyle aralarındaki olası eşbütölleşme ilişkileri yapısal kırılmaların dikkate alınmadığı Bayer-Hanck (2013) ve yapısal kırılmaların dikkate alındığı Maki (2012) eşbütölleşme testleri ile test edilmiş, her iki testin sonucuna göre değişkenler arasında uzun dönem ilişkisi olduğu görölmüştür. Uzun dönem ilişkisi tespit edildikten sonra bu ilişkinin yönü ve kuvveti FMOLS tahmincisi kullanılarak araştırılmıştır. Elde edilen bulgular, yenilenebilir enerji tüketiminin ekolojik ayak izi üzerine negatif etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bunun yanı sıra nüfus değişkeni ile yapısal kırılmaları temsil eden yapay değişkenin de işareti negatif çıkmıştır. Diğer yandan fosil yakıt tüketimi ile kişi başına düşen gelirin ekolojik ayak izi üzerinde pozitif etki yapıldığı görölmüştür. Bootstrap TY nedensellik testinden elde edilen bulgular da fosil yakıt tüketimi ile ekolojik ayak izi arasında iki yönlü nedensellik ilişkisi olduğunu ortaya koymuştur.

Fosil yakıt tüketimi arttıkça ekolojik ayak izinin artması beklenen bir durumdur. Nitekim Shahzad, vd. (2021)’de belirttiği gibi gelişmekte olan ölkelerde ekonomik faaliyetler sürdürölürken ilk etapta fosil yakıt tüketimi yüksektir ve bu durum ölkelerin ekolojik açık ile karşı karşıya kalmalarına neden olmaktadır. Pata (2021a), Akadiri, vd. (2022), Kalmaz ve Awosusi (2022), Murshed, vd. (2021) ve Shahzad, vd. (2021) tarafından yapılan çalışmalarda da fosil yakıt tüketiminin ekolojik ayak izi üzerinde pozitif etkili olduğu görölmüştür.

Diğer yandan, yenilenebilir enerjinin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisinin negatif olması üzerinde durulması gereken bir noktadır. Oğul (2022)’de vurgulandığı gibi, yenilenebilir enerjiye geçiş ölkelerin ekolojik ayak izlerini azaltmalarının en kritik yollarından birisi olarak kabul edilmektedir. Yeşil ve alternatif enerji kaynaklarının kullanım oranlarının artırılması hem enerjide verimliliği sağlayacak hem de çevresel bozulmayı azaltacaktır. Çalışmadan, yenilenebilir enerjinin ekolojik ayak izini azalttığı yönde elde edilen bulgular; Dogan ve Shah (2022), Usman, vd. (2020), Pata (2021a), Kalmaz ve Awosusi (2022), Caglar, vd. (2022), Bulut (2020), Nan, vd. (2022), Arnaut ve Dada (2022), Yavuz (2021) ve Oğul (2022) çalışmalarından elde edilen bulgular ile örtüşmekte iken, yenilenebilir enerjinin ekolojik ayak izini arttırdığı yönde bulguların elde edildiği Akadiri vd., (2022) ve Alola, vd., (2022) çalışmalardan farklılık göstermektedir.

Kişi başına düşen gelirin ekolojik ayak izini pozitif etkilemesi de teorik beklentiler ile uyum göstermektedir. Özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ölkelerde ilk etapta gelirdeki artış kaynakların daha fazla kullanılmasına, yani enerji talebinin artmasına yol açmakta, bu da çevre üzerindeki tahribatı arttırmaktadır. Dogan ve Shah (2022), Kalmaz ve Awosusi (2022), Caglar, vd. (2022), Bulut (2020), Nathaniel, vd. (2019), Topdağ, vd., (2020), Arnaut ve Dada (2022) ve Oğul (2022) çalışmalarında da kişi başına düşen gelir ile ekolojik ayak izi arasında pozitif ilişki tespit edilmiştir.

Finansal gelişme endeksinin ekolojik ayak izini arttırması Arnaut ve Dada (2022)’de ifade edildiği gibi, finansal kaynakların daha çok eski veya verimsiz teknoloji ile altyapıyı geliştirmeyi ve çevreyi ikinci planda tutma pahasına hanehalkı gelirini finanse etmek için kullanıldığını göstermektedir. Arnaut ve Dada (2022), Karasoy (2021) ve Nathaniel, vd. (2019) çalışmalarında finansal gelişme ile ekolojik ayak izi arasında pozitif ilişki olduğu görölmüştür.

Nüfusun ekolojik ayak izi üzerinde negatif etkili olması ise Topdağ vd. (2020)’de değinildiği gibi, nüfustaki artışının kişi başına düşen ekolojik ayak izi alanını azaltırken, toplam ekolojik ayak izini arttırması ile

açıklanabilmektedir. Çalışmadan elde edilen bulgular Topdağ, vd. (2020) ile Dogan ve Shah (2022) çalışmalarından elde edilen bulgular ile örtüşmektedir.

Çalışmanın bulguları, Türkiye’de ekolojik ayak izinin azaltılmasında yenilenebilir enerjinin etkili olduğunu, fosil yakıt tüketiminin ise çevre üzerindeki baskıyı arttırdığını göstermiştir. Bu nedenle öncelikle fosil yakıt tüketiminin toplam enerji tüketimi içerisindeki payının azaltılmasına yönelik stratejiler geliştirilmesi ve bu stratejilerin uygulamaya dökülmesi elzemdir. Türkiye’de ekolojik ayak izinin azaltılabilmesi için; enerji tüketimi sepetine yenilenebilir enerji kaynaklarının daha fazla dahil edilmesiyle enerji bileşiminde çeşitliliğinin sağlanması ve enerji üretimi, iletimi ve dağıtım süreçlerinin uygun şekilde ayrıştırılması yoluyla yenilenebilir enerji sektörünün gelişimine özel sektör katılımının teşvik edilmesi (Murshed, vd., 2021) ve yenilenebilir enerji Ar-Ge harcamalarına daha fazla ağırlık verilmesi ile elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payının artırılması (Bulut, 2021) önerilebilir. Bununla birlikte, sektörlere özgü ekolojik ayak izi araştırmalarının yapılması, bu sayede politika yapıcılara fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılabileceği belirli alanlara öncelik vermeleri için daha iyi bakış açılarının sunulması sağlanabilir (Kalmaz ve Awosusi, 2022).

Kaynakça

Abid, M., Gheraia, Z., and Abdelli, H. (2022). Does renewable energy consumption affect ecological footprints in Saudi Arabia? A Bootstrap Causality Test. *Renewable Energy*, 189, 813-821.

Akadiri, S. S., Adebayo, T. S., Asuzu, O. C., Onuogu, I. C., and Oji-Okoro, I. (2022). Testing the role of economic complexity on the ecological footprint in China: a nonparametric causality-in-quantiles approach. *Energy & Environment*.

Alwafai, A. Y. N. (2019). *The impact of financial development on income inequality*. Unpublished master's thesis, Eastern Mediterranean University (EMU), Gazimagusa.

Alola, A., A., Adebayo, T., S. and Onifad, S. T. (2022). Examining the dynamics of ecological footprint in China with spectral Granger causality and quantile-on-quantile approaches, *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 29 (3), 263-276.

Ansari, M. A., Haider, S. and Masood, T. (2021). Do renewable energy and globalization enhance ecological footprint: an analysis of top renewable energy countries?. *Environmental Science Pollution Research*, 28, 6719–6732.

Altay, H. ve Yılmaz, A. (2016). Türkiye’de ihracat artışlarının istihdam üzerindeki etkisinin incelenmesi. *Finans Politik ve Ekonomik Yorumlar*, (616), 75-86.

Banerjee A., Dolado J. and Mestre R. (1998). Error-correction mechanism tests for cointegration in a single-equation framework. *Journal of Time Series Analysis*, 19(3), 267–283.

Bayer, C. and Hanck, C. (2013). Combining non-cointegration tests. *Journal of Time Series Analysis*, 34(1), 83-95.

Boswijk H. P. (1994). Testing for an unstable root in conditional and structural error correction models. *Journal of Econometrics*, 63(1), 37–60.

Bucak, Ç. and Saygılı, F. (2022). Türkiye’de ve G7 ülkelerinde dışa açıklık ve ekolojik ayak izi ilişkisi: yatay kesit bağımlılığı altında panel veri analizi. *Anadolu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(3), 346-365.

Bulut, U. (2021). Environmental sustainability in Turkey: an environmental Kuznets curve estimation for ecological footprint, *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 28(3), 227-237.

BP (2023, 20 Şubat). Erişim adresi: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics.html>

Çaglar, A. E., Yavuz, E., Mert, M. and Kilic, E. (2022). The ecological footprint facing asymmetric natural resources challenges: evidence from the USA. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-14.

Çalışkan, Ş., Karabacak, M., & Meçik, O. (2017). Türkiye ekonomisinde eğitim harcamaları ve ekonomik büyüme ilişkisi: Bootstrap Toda-Yamamoto nedensellik testi yaklaşımı. *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (33), 45-56.

Carrion-i-Silvestre, J.L., Kim, D and Perron, P. (2009). GLS-based unit root tests with multiple structural breaks under both the null and the alternative hypotheses. *Econometric Theory*, 25, 1754-1792.

Dışişleri Bakanlığı (2023). Girişimci ve insani dış politika. Erişim, 7 Mayıs 2023, <https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa>

- Dickey, D. A. and Fuller, W. A. (1981). Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. *Econometrica*, 49(4), 1057–1072.
- Dogan, E. and Shah, S., F. (2022). Analyzing the role of renewable energy and energy intensity in the ecological footprint of the United Arab Emirates. *Sustainability*, 14, 227.
- Dogan, E., Majeed, M. T. and Luni, T. (2022). Revisiting the nexus of ecological footprint, unemployment, and renewable and non-renewable energy for South Asian economies: Evidence from novel research methods. *Renewable Energy*, 194, 1060-1070.
- Hacker, R., & Hatemi-J, A. (2006). Tests for causality between integrated variables using asymptotic and bootstrap distributions: Theory and application. *Applied Economics*, 38(13), 1489–1500.
- Hadj, B. (2021). Nonlinear impact of biomass energy consumption on ecological footprint in a fossil fuel-dependent economy. *Environ Sci Pollut Res*. 28, 69329–69342.
- Global Footprint Network (2023, 20 Şubat). Erişim adresi: <https://data.footprintnetwork.org/#/>
- Gölmez, A., Özdilek, E. ve Karakaş, D. N. (2021). Ekonomik büyüme, ticari açıklık ve enerji tüketiminin ekolojik ayak izine etkileri: G7 ülkeleri için panel eşbütünlük analizi. *Econder International Academic Journal*, 5 (2), 329-342.
- IEA (2021), Turkey 2021 Energy Policy Review, 5 Mayıs 2023, https://iea.blob.core.windows.net/assets/cc499a7b-b72a-466c-88de-d792a9daff44/Turkey_2021_Energy_Policy_Review.pdf
- IMF (2023, 20 Şubat). Erişim adresi: <https://data.imf.org/?sk=388dfa60-1d26-4ade-b505-a05a558d9a42>
- Johansen S. (1988). Statistical analysis of cointegration vectors. *J Econ Dyn Control*, 12(2), 231–254.
- Kalmaz, B., D. and Awosusi, A., A., (2022). Investigation of the driving factors of ecological footprint in Malaysia. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(37), 56814-56827.
- Karasoy, A. (2021). Küreselleşme, sanayileşme ve şehirleşmenin Türkiye'nin ekolojik ayak izine etkisinin genişletilmiş ARDL yöntemiyle incelenmesi. *Hitit Sosyal Bilimler Dergisi*, 14(1), 208-231.
- Maki, D. (2012). Tests for cointegration allowing for an unknown number of breaks. *Economic Modelling*, 02392, 1-5.
- Mehmood, B. and Shahid, A. (2014). Aviation demand and economic growth in the Czech Republic: Cointegration estimation and causality analysis. *Statistika*, 94(1), 54-63.
- Murshed, M., Rahman, M. A., Alam, M. S., Ahmad, P. and Dagar, V. (2021). The nexus between environmental regulations, economic growth, and environmental sustainability: linking environmental patents to ecological footprint reduction in South Asia. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(36), 49967-49988.
- Nan, Y., Sun, R., Mei, H., Yue, S. and Yuliang, L. (2022). Does renewable energy consumption reduce energy ecological footprint: evidence from China. *Environmental Research: Ecology*, 2(1), 015003.
- Nathaniel, S., Nwodo, O., Adediran, A., Sharma, G., Shah, M., ve Adeleye, N. (2019). Ecological footprint, urbanization, and energy consumption in South Africa: including the excluded. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 27168-27179.
- Nathaniel S., Nwodo O., Sharma G., Shah M. (2020). Renewable energy, urbanization, and ecological footprint linkage in CIVETS. *Environmental Science and Pollution Research*, 27: 19616–19629.
- Oğul, B. (2022). Türkiye'de çevresel teknolojik inovasyonlar ekolojik ayak izini azaltıyor mu? ARDL sınır testi analizi. *İnönü Üniversitesi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi, (INIJOSS)*, 11(2), 409-427.
- Ourworldindata (2023, 20 Şubat). Erişim adresi: <https://ourworldindata.org/grapher/co-emissions-per-capita?tab=chart>
- Özbek, S. (2023). Ekonomik büyüme, küreselleşme ve ekolojik ayak izi ilişkisi: ASEAN-5 ülkeleri üzerine ekonometrik bir analiz. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 14(37), 123-138.
- Pata, U. K. (2021a). Renewable and non-renewable energy consumption, economic complexity, CO2 emissions, and ecological footprint in the USA: testing the EKC hypothesis with a structural break. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 846-861.
- Pata, U. K. (2021b). Linking renewable energy, globalization, agriculture, CO2 emissions and ecological footprint in BRIC countries: A sustainability perspective. *Renewable Energy*, 173, 197-208.

- Phillips, P. C. and Hansen, B. E. (1990). Statistical inference in instrumental variables regression with I(1) Processes. *The Review of Economic Studies*, 57 (1), 99–125.
- Prasetyanto, P. K., Sugiharti, R. R., & Panjawa, J. L. (2023). Urbanization-Growth-Environment: How Are They Related? An Evidence from the Global Asia-Pacific Region. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 13(2), 100.
- Shahzad, U., Fareed, Z., Shahzad, F., & Shahzad, K. (2021). Investigating the nexus between economic complexity, energy consumption and ecological footprint for the United States: New insights from quantile methods. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123806.
- Soyu, E. Demirtaş, C., ve Özgür, M. I. (2022). Ekonomik, finansal ve politik risk ile büyüme arasındaki nedensellik ilişkisi: Türkiye örneği. *Journal of Economic Policy Researches*, 9(1), 165-186.
- Raghutla, C., Padmagirisan, P., Sakthivel, P., Chittedi, K. R., and Mishra, S. (2022). The effect of renewable energy consumption on ecological footprint in N-11 countries: Evidence from Panel Quantile Regression Approach. *Renewable Energy*, 197, 125-137.
- Sanatçı, Aktaş, G. ve Bilgili, A. (2022). Çevre teknolojisi patentleri ve yenilenebilir enerjinin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerine ilişkin ampirik bir çalışma. *Kent Akademisi Dergisi*, 15(3), 1052-1068.
- Sharif, A., Baris-Tuzemen, O., Uzuner, G., Ozturk, I., and Sinha, A. (2020). Revisiting the role of renewable and non-renewable energy consumption on Turkey’s ecological footprint: Evidence from Quantile ARDL approach. *Sustainable Cities and Society*, 57, 102138.
- Sjösten, L. (2022), A Comparative Study of the KPSS and ADF Tests in terms of Size and Power, Uppsala Universitat, Bachelor’s thesis in Statistics.
- Topdağ, D., Tuğçe, A., and Çelik, İ. E. (2020). Estimation of the global-scale ecological footprint within the framework of STIRPAT models: The quantile regression approach. *İstanbul İktisat Dergisi*, 70(2), 339-358.
- Usman, M., Jahanger, A. , Radulescu, M. , Balsalobre-Lorente, D. (2022). Do nuclear energy, renewable energy, and environmental-related technologies asymmetrically reduce ecological footprint? evidence from Pakistan. *Energies*, 15, 3448.
- Usman, O., Akadiri, S. S., and Adeshola, I. (2020). Role of renewable energy and globalization on ecological footprint in the USA: implications for environmental sustainability. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(24), 30681-30693.
- Xue, L., Haseeb, M., Mahmood, H., Alkhateeb, T. T. Y., and Murshed, M. (2021). Renewable energy use and ecological footprints mitigation: evidence from selected South Asian economies. *Sustainability*, 13(4), 1613.
- WWF (2012), Türkiye’nin ekolojik ayak izi raporu Erişim, 1 Mayıs 2023, https://www.footprintnetwork.org/content/images/article_uploads/Turkey_Ecological_Footprint_Report
- Yağlıkara, A. (2022). Ekonomik, politik ve sosyal küreselleşmenin ekolojik ayak izi üzerindeki etkileri: ASEAN-5 ölkeleri örneği. *Fiscaoeconomia*, 6(2), 656-676.
- Yavuz, N. (2004). Durağanlığın Belirlenmesinde KPSS ve ADF Testleri: İMKB Ulusal-100 Endeksi ile Bir Uygulama . *İstanbul Üniversitesi İktisat Fakóltesi Mecmuası* , 54 (1) , 239-247.
- Yavuz, E. (2021). Çevre vergileri ile ekolojik ayak izi arasındaki ilişki: Türkiye üzerine kanıtlar, *Journal of Social, Humanities and Administrative Sciences*, 7(45), 1937-1945.
- Yurtkuran, S. (2021). Türkiye’de Feldstein-Horioka hipotezinin geçerliliği: DOLS uzun dönem tahmincisi ve Fourier Granger nedensellik testi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 35(1), 151-169.
- World Bank (2023, 20 Şubat). Erişim adresi: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators#>
- Zhang, O., Shah, S. A. R. and Yang, L. (2022). Modeling the effect of disaggregated renewable energies on ecological footprint in E5 economies: Do economic growth and R&D matter?, *Applied Energy*, 310, 118522.