



BULLETIN OF ECONOMIC THEORY AND ANALYSIS

Journal homepage: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/beta>

OECD Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Tüketiminin Ekolojik Ayak İzine Etkisi

Yusuf MURATOĞLU  <https://orcid.org/0000-0003-1495-924X>

To cite this article: Muratoğlu, Y. (2025). OECD Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Tüketiminin Ekolojik Ayak İzine Etkisi. *Bulletin of Economic Theory and Analysis*, 10(2), 945-968.

Received: 24 Jun 2024

Accepted: 29 Jun 2025

Published online: 30 Jun 2025



This manuscript is licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License ([CC BY NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)).



©All right reserved



Bulletin of Economic Theory and Analysis

Volume 10, Issue 2, pp. 945-968, 2025

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/beta>

Original Article / Araştırma Makalesi

Received / Alınma: 24.06.2024 Accepted / Kabul: 29.06.2025

Doi: <https://doi.org/10.25229/beta.1504461>

OECD Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Tüketiminin Ekolojik Ayak İzine Etkisi

Yusuf MURATOĞLU^a

^a Doç. Dr., Hitit Üniversitesi; İİBF, İktisat Bölümü, Çorum, TÜRKİYE

<https://orcid.org/0000-0003-1495-924X>

ÖZ

Ekonomik büyümede meydana gelen değişimlerin çevresel bozulmaya etkileri mevcuttur. Kişi başına GSYH'daki artışların çevresel etkisi, politika yapıcılarını çevresel kalite üzerindeki olumsuz etkiyi önlemeye yöneltmiştir. Bu nedenle, ülkeler zenginleştikçe çevresel bozulmanın bir göstergesi olan ekolojik ayak izlerinde bir değişikliğin olup olmadığını saptamak politika yapıcılar açısından önemlidir. Bu açıdan değerlendirildiğinde çevresel koruma politikalarına yön verirken çevre kalitesini artırmada çözüm olarak yenilenebilir enerji bir çözüm aracı olarak düşünülebilir. Bu çalışmada kişi başına GSYH'da meydana gelen değişimlerin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi yenilenebilir enerji tüketimi ile doğumda beklenen yaşam süresi ve nüfus yoğunluğu gibi demografik değişkenlere bağlı olarak incelenmiştir. 38 OECD ülkesinin ele alındığı analizde 1990-2020 yılları arasında yer alan verilerden oluşan bir panel kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada Havuzlanmış Ortalama Grup Otoregresif Dağıtılmış Gecikme (PMG/ARDL) tahmincisi kullanılarak heterojenlik ve yatay kesit bağımlılığı sorununa karşı sağlam ve yansız sonuçlar elde edilmiştir. Ampirik sonuçlar yenilenebilir enerji tüketiminin, doğumda beklenen yaşam süresinin ve nüfus yoğunluğunun ekolojik ayak izini azalttığını ve çevresel kaliteyi artırdığını göstermektedir. Uzun dönem sonuçları incelendiğinde kişi başına GSYH'nın ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi pozitif ve anlamlı iken kişi başına GSYH'nın karesinin etkisi negatif ve anlamlıdır. Ekonomik büyümenin ilk aşamasında çevresel bozulma artarken, optimum seviyeye ulaştıktan sonra çevresel bozulma azalmaktadır. Ekonomik büyüme ile ekolojik ayak izi arasındaki ters U şeklinde bir ilişki mevcuttur.

Anahtar Kelimeler

Çevre Ekonomisi,
Yenilenebilir
Kaynaklar ve
Koruma, Panel Veri
Modelleri

JEL Kodu

Q5, Q20, C23

İletişim Yusuf Muratoğlu ✉ yusufmuratoglu@hitit.edu.tr Hitit Üniversitesi; İİBF, İktisat Bölümü, Çorum, TÜRKİYE
Atıf Muratoğlu, Y. (2025). OECD Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Tüketiminin Ekolojik Ayak İzine Etkisi. *Bulletin of Economic Theory and Analysis*, 10(2), 945-968.



This manuscript is licensed under Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International License ([CC BY NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)).

Impact of Renewable Energy Consumption on Ecological Footprint in OECD Countries

ABSTRACT

Changes in economic growth have impacts on environmental degradation. The environmental impact of increases in GDP per capita has led policy makers to prevent the negative impact on environmental quality. Therefore, it is important for policy makers to determine whether there is a change in ecological footprints, an indicator of environmental degradation, as countries become richer. From this perspective, renewable energy can be considered as a solution tool to improve environmental quality while guiding environmental protection policies. In this study, the impact of changes in GDP per capita on ecological footprint is analyzed in relation to renewable energy consumption and demographic variables such as life expectancy at birth and population density. In the analysis of 38 OECD countries, a panel consisting of data from 1990-2020 is used. In addition, the Pooled Mean Group Autoregressive Distributed Lag (PMG/ARDL) estimator is used to obtain robust and unbiased results against heterogeneity and cross-sectional dependence. Empirical results show that renewable energy consumption, life expectancy at birth and population density reduce ecological footprint and improve environmental quality. The long-run results show that the effect of GDP per capita on ecological footprint is positive and significant, while the effect of the square of GDP per capita is negative and significant. While environmental degradation increases in the first stage of economic growth, it decreases after reaching the optimum level. There is an inverted U-shaped relationship between economic growth and ecological footprint.

Keywords

Environmental Economics, Renewable Resources and Conservation, Panel Data Models

JEL Classification

Q5, Q20, C23

1. Giriş

1972 yılında Stockholm'de düzenlenen Birleşmiş Milletler İnsan Çevresi Konferansı (United Nations Conference on the Human Environment) çevresel bozulmaya ve iklim değişikliğine dünyanın dikkatini çeken en önemli gelişmelerden biri olmuştur (Uğurlu, 2019, 2022). Çevresel sürdürülebilirlik alanındaki küresel çabalara rağmen son otuz yılda çevresel bozulma daha belirgin hale gelmiştir. Birleşmiş Milletler (BM) Kyoto Protokolü, Paris Anlaşması ve Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları gibi birçok yeşil girişim başlatmaya çalışmıştır. Benzer şekilde, COP serisi (İklim Değişikliği Konferansları) de belirtilen bu girişimlerle aynı temayı taşımaktadır. COP27 kapsamında ekonomiler, sürdürülemez enerji kaynaklarından sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçiş yapmayı ve böylece ekolojik baskıyı önemli ölçüde azaltmayı kabul etmiştir (Udemba vd., 2024). Bununla birlikte çevresel sorunlarla ve iklim değişikliği ile mücadelenin yöntemlerinden biri de alternatif enerji kaynakları ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanımudur (Sims, 2004). Politika yapıcılar çevresel bozulmaya çözüm arayışı içinde olsalar da

ekonomik büyüme odaklı faaliyetler, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde çevre açısından bir tehdit olarak görünmektedir (Bekun vd., 2019). Bu nedenle, politika yapıcılarının, etkili bir enerji ve çevre politikası inşasına girişebilmeleri için, değişkenler arasındaki etkileşimi anlamaları önemlidir.

2023 yılında gelişmiş ekonomilerin GSYH'si %1,7 oranında artarken, emisyonlar %4,5 oranında azalmıştır. 2023'te 520 Mt azalan emisyonlar, günümüzde elli yıl önceki seviyelerine gerilemiştir. G7 ülkelerindeki gelişmelerin etkisiyle gelişmiş ekonomilerin kömür talebi ise 1900'lü yılların başındaki seviyesine dönmüştür. 2023'te gelişmiş ekonomilerdeki emisyon düşüşü; güçlü yenilenebilir enerji dağıtımı, ABD'de kömürden gaza geçiş gibi yapısal faktörlerin yanı sıra, bazı ülkelerde zayıf sanayi üretimi ve ılıman hava koşulları gibi döngüsel faktörlerin birleşiminden kaynaklanmıştır. Bu dönemde elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı %16'dan %34'e çıkarak iki kattan fazla büyümüştür. (IEA,2024) 2023'te küresel yıllık yenilenebilir enerji kapasitesi yaklaşık %50 artarak neredeyse 510 GW ulaşmıştır. Bu, son yirmi yılın en hızlı büyüme oranıdır. Mevcut politikalar ve piyasa koşulları altında, küresel yenilenebilir enerji kapasitesinin 2028 yılında 7.300 GW seviyesine ulaşması beklenmektedir. Ancak bu artış hızı, 2030 yılına kadar kapasitenin mevcut düzeyin 2,5 katına çıkmasını sağlasa da yenilenebilir enerji kapasitesini üçe katlama hedefinin gerisinde kalmaktadır. Hükümetlerin hedefi tutturmaların önündeki zorluklar ülkeden ülkeye farklılık gösterirken, dört temel başlık altında toplanabilir. Bunlar politik belirsizlikler ve yeni makroekonomik ortama yönelik geç kalınmış politika tepkileri, yenilenebilir enerjinin daha hızlı yayılmasını engelleyen şebeke altyapısına yetersiz yatırım, bürokratik engeller, izin süreçlerinin karmaşıklığı ve toplumsal kabul sorunları ve gelişmekte olan ekonomilerde yetersiz finansman olanakları şeklinde sıralanabilir (IEA, 2023).

Erken dönem çalışmaları, çevresel bozulmanın bir göstergesi olarak çoğunlukla CO₂ emisyonlarını kullanmaktadır. Ancak CO₂, toprak ve su kirliliğini hesaba katmadığından, toplam çevre bozulmasını değerlendirmek için kapsamlı bir ekolojik kriter gereklidir (Ansari, 2022). Son dönemde çalışmalarda çevresel kaliteyi ölçmek amacıyla birçok değişken kullanılırken, bunlardan en yaygın ekolojik ayak izidir (Li vd., 2022). Çünkü CO₂ emisyonları, büyük ölçekli enerji kullanımının neden olduğu toplam etkilerin sadece bir kısmını temsil etmektedir (Al-Mulali vd., 2015). Atmosferik dinamikleri hesaba katan CO₂ emisyonlarının aksine, ekolojik ayak izinin biyosferi de kapsadığı söylenebilir. CO₂ emisyonları yerine ekolojik ayak izini kullanmak, çevresel tahribata ilişkin daha doğru ve kapsamlı bir bakış açısı sağlamaktadır. Ekolojik ayak izinin, mera

alanları, orman arazileri, balıkçılık alanları, tarım, karbon emisyon seviyeleri ve yapılaşmış arazileri dikkate alarak çevre dinamiklerinin tüm yönlerini kapsamaktadır. CO₂ emisyonlarındaki bu eksiklik, mevcut literatürün ülkeler arasındaki çevresel bozulmaya ilişkin değerlendirmesini çarpıtmış olabilir (Ansari, 2022).

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi OECD ülkeleri ele alınarak incelenecektir. Bu amaçla ikinci bölümde literatür taraması yapılacak, üçüncü bölümde veri seti, model ve yöntem sunulacak, dördüncü bölümde elde edilen ampirik bulgular yorumlanacak ve tartışılacak, beşinci bölümde sonuç ve politika önerilerine yer verilecektir.

2. Literatür Taraması

Ekolojik ayak izi ve enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi araştıran akademik çalışmalarda son yıllarda bir artış görülmektedir (Li vd., 2022). Usman vd. (2020) ABD yenilenebilir enerji tüketimi, bazı makroekonomik değişkenler ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi incelemiş ve yenilenebilir enerji tüketiminin ekolojik ayak izini azalttığını bulmuştur. Sayed vd. (2021) küçük ve orta ölçekli rüzgar enerjisi, hidroelektrik, biyokütle ve jeotermal enerji üretim sistemlerinin çevresel etkilerini incelemiş ve yenilenebilir enerjinin çevresel etkisinin fosil yakıtlara göre çok daha az olduğu sonucuna ulaşmıştır. Maji & Adamu (2021) Nijerya için yenilenebilir enerji tüketiminin sektörel çevresel kalite üzerindeki etkisini ele almış ve sektörler arası farklılık olduğunu bulmuştur. Yenilenebilir enerji tüketiminin pozitif etkisi olmayan sektörlerin; tarım sektörü, imalat ve inşaat sektörü ve petrol sektörü olduğu; pozitif etkisi olan sektörlerin ise ulaştırma sektörü, konutlar, ticaret ve kamu hizmetleri sektörü olduğunu öne sürmüştür. Usman vd. (2020) yenilenebilir enerji ve ekolojik ayak izi ile ilgili ilişkiyi sınamıştır. ABD için yapılan çalışmada uzun dönemde yenilenebilir enerji ile ekolojik ayak izi arasındaki negatif ilişki olduğunu ve yenilenebilir enerjinin çevresel tahribatı azaltıcı etki yaptığını bulmuştur. Sinha vd. (2017) ve Apergis vd. (2018) yaptığı çalışmalarda, uzun dönemde yenilenebilir enerji kullanımının artırılmasıyla ekolojik ayak izinin veya CO₂ emisyonlarının kontrol edilebileceğini ortaya koymuştur. Danish vd. (2020) BRICS ülkelerini incelemiştir ve ekolojik ayak izinin bağımlı değişken olduğu modelde yenilenebilir enerjinin katsayısını negatif bulmuşlardır. Sharma vd. (2021), 1990-2015 yılları arasında Güney ve Güneydoğu Asya'daki sekiz gelişmekte olan ülkede, yenilenebilir enerji kullanımının artmasının bölgedeki ekolojik ayak izini önemli ölçüde azalttığını

ortaya koymuştur. Destek & Sinha (2020) yaptıkları çalışmada 24 OECD ülkesinde 1980-2014 döneminde yenilenebilir enerji tüketiminin ekolojik ayak izini azalttığı ve yenilenemeyen enerji tüketiminin çevresel bozulmayı artırdığı sonucuna varılmıştır. Abid vd. (2022), 1980-2017 döneminde Suudi Arabistan'da yenilenebilir enerji tüketimi ile ekolojik ayak izi arasındaki ilişkiyi incelemişler ve yenilenebilir enerji tüketimindeki artışın çevre kalitesini iyileştirdiğini, ekolojik ayak izini azalttığını bulmuşlardır. Ansari vd. (2021) çalışmalarında 1991-2016 dönemini kapsayan analiz için en çok yenilenebilir enerji tüketen ülkelerden oluşan bir örneklem seçmiş ve yenilenebilir enerji tüketiminin ekolojik ayak izi üzerinde negatif etkisi olduğu sonucuna varmıştır.

Literatür incelendiğinde ekonomik büyümenin ekolojik ayak izine etkisini araştıran çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmaların bazıları Çevresel Kuznet Eğrisi hipotezinin geçerliliğini sınamaktadır. Ahmed vd. (2021) 1985-2017 yılları arasında G7 ülkelerinde ekonomik büyüme ve ekolojik ayak izi arasındaki ilişkiyi incelemiştir ve ekonomik büyümenin ekolojik ayak izini artırdığını sonucuna ulaşmıştır. Danish vd. (2019) Pakistan'da 1971-2014 döneminde ekonomik büyümenin çevresel bozulmaya katkıda bulunan ekolojik ayak izini artırdığını ortaya koymuştur. Kongbuamai vd. (2021) 1995-2016 döneminde BRICS ülkelerinde ekonomik büyümenin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisini araştırmış ve ekonomik büyüme ile ekolojik ayak izi arasında pozitif bir ilişkinin olduğunu bulmuştur. Hassan vd. (2019) 1970-2014 döneminde ekonomik büyümenin ve doğal kaynakların Pakistan'ın ekolojik ayak izi üzerindeki etkisini, uzun dönemde tahmin etmektedir. Ekonomik büyüme başlangıçta ekolojik ayak izini artırırken, daha sonra çevresel kaliteyi iyileştirerek, Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezini Pakistan'da doğrulamaktadır. Ahmad vd. (2020) 1984-2016 yılları arasında 22 gelişmekte olan ülkede yaptıkları çalışmada, uzun dönemde ekonomik büyümenin ekolojik ayak izini artırdığını, ekonomik büyümenin karesinin ise ekolojik ayak izi üzerinde negatif bir etki gösterdiği, Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinin geçerli olduğu sonucuna varmıştır.

Demografik değişkenlerin ekolojik ayak izi üzerinde etkileri de mevcuttur. Kongbuamai vd. (2020) 1974-2016 döneminde Tayland'da ekonomik büyüme ve nüfus yoğunluğunun ekolojik ayak izi üzerinde etkisini araştırmıştır. Uzun dönem sonuçları, ekonomik büyümenin ekolojik ayak izi ile pozitif ilişkiye sahip olduğunu, nüfus yoğunluğunun ekolojik ayak izi ile negatif ilişkili olduğunu göstermiştir. Ahmed vd. (2021) 1971-2016 döneminde Japonya'da nüfus yoğunluğunun ekolojik ayak izini azalttığı sonucuna varmıştır. Hussain vd. (2022) 1981-2016 dönemi için yaptığı çalışmada Pakistan'da nüfus yoğunluğunun ekolojik ayak izi üzerindeki etkisini araştırmıştır.

Çalışmada elde edilen sonuçlar, nüfus yoğunluğunun ekolojik ayak izi üzerindeki etkisinin negatif ve istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Bu sonuç nüfus yoğunluğunun çevresel bozulmaya katkıda bulunmadığını ifade etmektedir. Ahmed vd. (2019) 1971-2014 döneminde Malezya için yaptığı çalışmada nüfus yoğunluğunun, ekolojik ayak izini ve karbon ayak izini azalttığı sonucuna varmıştır. Charfeddine & Mrabet (2017) 15 MENA ülkesi için ekolojik ayak izi'ni çevresel bozulmanın bir göstergesi olarak kullanarak, 1975-2007 döneminde doğumda beklenen yaşam süresi ve doğurganlık oranı gibi sosyo-demografik değişkenlerin uzun dönemde çevre üzerinde pozitif etkileri olduğu sonucuna varmıştır.

Literatürdeki çalışmalar değerlendirildiğinde hem iktisadi hem de demografik değişkenlerdeki değişimlerin çevresel etkileri olduğu görülmektedir. Bununla birlikte ekonomik büyümenin çevre üzerindeki etkilerini belirlemek için Çevresel Kuznet Eğrisi hipotezi üzerinden analiz yapmak gerekli iken yüksek nüfusa sahip ülkelerde demografik değişkenlerin ekolojik ayak izine etkisini belirlemek gerekmektedir. Bu çalışmada farklı gelişmişlik düzeyine sahip OECD ülkelerinde kişi başına GSYH'nin, kişi başına GSYH'nin karesinin, yenilenebilir enerji tüketiminin, doğumda beklenen yaşam süresinin ve nüfus yoğunluğunun ekolojik ayak izine etkisi araştırılarak literatürdeki boşluğu kapatmak amaçlanmıştır.

3. Veri Seti, Model ve Ekonometrik Yaklaşım

3.1. Veri Seti

Çalışmada 38 OECD ülkesine ait 1990-2020 yıllarını içeren panel veri seti kullanılmıştır. Veri setinin 1990 yılından başlamasının en büyük nedeni coğrafi sınırların yeniden şekillenmesi ve demografik değişimlerdir. Özellikle Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği'nin dağılması ülke sınırlarının yeniden belirlenmesine neden olmuştur. Kurulan yeni ülkelerin veri setine dahil edilmesi amacıyla veriler 1990 yılından başlamış ve veri kısıtı nedeniyle bazı değişkenlerde en son 2020 yılı verilerine ulaşılmıştır. Çalışmada OECD ülkelerinin seçilmiş olmasının nedeni, ilgili ülke grubunun temel amaçları arasında sürdürülebilir ekonomik büyüme ve ekonomik gelişme ile çevrenin korunması arasındaki dengeyi sağlamak gibi amaçların yer almasıdır. Ayrıca OECD'nin 1961 yılında kurulmuş olması kurumsallaşma ve buna bağlı olarak verilerin güvenilirliği açısından değerlendirildiğinde avantaj sağlamaktadır.

Ekolojik ayak izi insan faaliyetlerinin doğal kaynaklar üzerindeki talebini niceliksel olarak ölçen bütüncül bir göstergedir. Bu kavram, belirli bir nüfusun tükettiği kaynakları karşılayabilmek

ve ortaya çıkan atıkları bertaraf edebilmek amacıyla gereken biyolojik olarak üretken kara ve deniz alanlarının miktarını temsil etmektedir. CO2 salımı gibi geleneksel çevresel kirlilik ölçütleriyle karşılaştırıldığında, ekolojik ayak izi daha kapsamlı bir gösterge sunmakta; yalnızca hava kalitesini değil, aynı zamanda su ve toprak gibi diğer çevresel bileşenleri de dikkate almaktadır. Bu çok boyutlu yapısı, ekolojik sürdürülebilirlik analizlerinde ekolojik ayak izini temel bir metrik haline getirmektedir. Bununla birlikte ekolojik ayak izi, gezegenin sınırlarını ve insanlığın bu sınırları ne ölçüde aştığını ölçmek için kullanılabilecek potansiyel bir araçtır. Kaynak kullanımının sınırlarını, dünyadaki doğal kaynakların dağılımını ve doğal kaynak kullanımının sürdürülebilirliğinin nasıl sağlanacağı gibi konuları araştırmak için kullanılabilir. Mevcut durumu ve tarihsel eğilimleri değerlendirmek, hedefler belirlemek, eylem seçeneklerini tanımlamak ve belirlenen hedeflere yönelik ilerlemeyi takip etmek için temel bir göstergedir. (Borucke vd., 2013).

Ekonomik büyüme çevresel baskıları artırıcı yönde etki yapabilir. Bu etkinin temel nedeni, ekonomik büyümenin genellikle artan üretim ve tüketim faaliyetleriyle birlikte sağlanmasıdır. Üretim artışı, daha fazla enerji tüketimine, hammadde kullanımına neden olurken, aynı zamanda daha çok atık üretimine neden olacaktır. Tüketim artışı ise daha fazla ürünün üretilmesine neden olacaktır. Özellikle az gelişmiş ülkeler üretim süreçlerinde enerji ihtiyaçlarını genellikle fosil yakıtlara sağlamaktadır. Az gelişmiş ülkeler çevre dostu teknolojilere yeterince yatırım yapmadıklarından, çevresel düzenlemeler konusunda geç kalmakta veya düzenlemeleri etkin bir şekilde uygulayamamaktadır. Bu durum ekolojik ayak izinin artmasına yol açmaktadır.

EKC hipotezi GSYH’de meydana gelen artışın belirli bir noktaya kadar çevresel bozulmayı artıracığını, bu noktadan sonra ise çevresel kalitenin iyileşmeye başlayacağını öne sürmektedir. Bu dönüş noktasının nedenleri arasında, gelişmiş ekonomilerde çevresel farkındalığın artışı ile çevreci yaklaşımların tetiklenmesi, artan çevre bilinci ile hükümetler tarafından daha sıkı çevresel düzenlemelerin yürürlüğe konulması, çevre dostu teknolojilere yapılan yatırımlarına artması, daha az kirlilik yaratan hizmet sektörünün ağırlık kazandığı bir dönüşümün sağlanması yer alabilir.

Yenilenebilir enerji kaynakları çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir rol oynamaktadır. Çünkü yenilenebilir enerji kullanımının karbon emisyonlarını düşürücü ve buna bağlı olarak ekolojik ayak izini azaltıcı bir etkisi vardır. Fosil yakıtların kullanımı ise, sera gazı emisyonlarını ve diğer çevresel kirlilik değişkenlerini artıracığından ekolojik ayak izini artırır.

Eğitimde geçen süre ve doğumda yaşam beklentisi insani gelişme düzeyi ile yakından ilgilidir. Eğitimli toplumların çevresel sorunlara duyarlılığı daha fazladır. Yüksek yaşam süresi genellikle bireylerin daha iyi sağlık hizmetleri almasının yanında, temiz su ve oksijen gibi çevresel faktörlerle de yakından ilişkilidir. Yaşam kalitesini artırmanın bir yolu da çevre koruma politikalarından geçmektedir. Bununla birlikte daha sağlıklı bireylerin kaynakları daha verimli kullanma eğiliminde olabileceği de düşünülebilir. Bu insani gelişmişliğin çevre üzerinde olumlu etkileri olabileceğini göstermektedir.

Yüksek nüfus yoğunluğuna sahip kentsel alanlarda, altyapı hizmetleri daha verimli şekilde sağlanabilir. Toplu taşıma sistemleri bireysel araç kullanımını azaltabilir, enerji kullanımında verimlilik sağlanabilir. Buna bağlı olarak kişi başına kaynak tüketimi azalırken ekolojik ayak izi üzerinde olumlu etki ortaya çıkmaktadır.

Bu bağlamda, ekolojik ayak izinin ortak belirleyicilerini ortaya koymayı hedefleyen bu çalışmada, kişi başına GSYH'yi, kişi başına GSYH'nin karesini, yenilenebilir enerji tüketimini, doğumda beklenen yaşam süresini ve nüfus yoğunluğu değişkenleri kullanılmıştır.

3.2. Model

Modelde yer verilen değişkenler literatürdeki çalışmalardan yola çıkılarak belirlenmiştir. Değişkenlerdeki varyansı azaltmak için ve değişen varyans ile sahte regresyon durumundan kaçınmak için serilerde logaritmik dönüşüm yapılmıştır. Ampirik analizde kullanılan değişkenlerin tanımları ve elde edildikleri kaynaklar Tablo 1'de sunulmuştur. Denklem 1 bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

$$EAI = F(GSYH, GSYH^2, YENE, DBYS, NÜYO) \quad (1)$$

Denklem 1'de sırasıyla ekolojik ayak izini, kişi başına GSYH'yi, kişi başına GSYH'nin karesini, yenilenebilir enerji tüketimini, doğumda beklenen yaşam süresini ve nüfus yoğunluğunu temsil etmek için EAI, GSYH, GSYH², YENE, DBYS ve NÜYO kullanılmıştır.

$$LnEAI_{it} = \alpha + \beta_1 GSYH_{it} + \beta_2 GSYH_{it}^2 + \beta_3 YENE_{it} + \beta_4 DBYS_{it} + \beta_5 NÜYO_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

Denklem 2 çalışmada kullanılan panel veri modelini göstermektedir. Denklemde α sabit terimi, β 'lar esneklik katsayılarını ve ε hata terimini temsil etmektedir. Ayrıca, t ve i alt simgesi sırasıyla zaman ve ülkeyi ifade etmektedir.

Tablo 1

Değişkenlere Ait Bilgiler

Değişken	Tanım	Birim	Kaynak
EAİ	Ekolojik ayak izi	Küresel hektar (kha)	York Üniversitesi Ekolojik Ayak İzi Girişimi
GSYH	Kişi başına GSYH	Sabit 2015 \$	Dünya Bankası
GSYH ²	Kişi başına GSYH Karesi	Sabit 2015 \$	Dünya Bankası
YENE	Yenilenebilir enerji tüketimi	% Toplam enerji tüketimi	Dünya Bankası
DBYS	Doğumda beklenen yaşam süresi	Yıl	Dünya Bankası
NÜYO	Nüfus yoğunluğu	km ² başına düşen kişi sayısı	Dünya Bankası

3.3. Ekonometrik yaklaşım

Panel veri setleri hem zaman serisinin hem de yatay kesit boyutunun bir araya getirilerek oluşturulduğu için genellikle yatay kesit bağımlılığı ve heterojenlik sorunlarıyla karşı karşıyadır. Bu bağlamda, geçerli ve güvenilir sonuçlar elde edebilmek amacıyla, analiz sürecinde kullanılacak birim kök testlerinin, eşbütünleşme analizlerinin ve tahmin yöntemlerinin söz konusu özellikleri dikkate alacak şekilde seçilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, öncelikle panel verideki yatay kesit bağımlılığını test etmek üzere, Pesaran (2004) tarafından geliştirilen CD (Cross-sectional Dependence) testi uygulanmıştır. Söz konusu bağımlılığın varlığı dikkate alınarak serilerin durağanlık derecesi, yatay kesit bağımlılığına duyarlı olan CADF (Cross-sectionally Augmented Dickey-Fuller) birim kök testi yardımıyla belirlenmiştir. Uzun dönemli ilişkilerin varlığı ise, Kao (1999), Pedroni (1999; 2004) ve Westerlund (2005) tarafından önerilen panel eşbütünleşme testleri aracılığıyla sınanmıştır. Bu testlerin uygulanmasında, panel verilerde sıklıkla karşılaşılan yatay kesit bağımlılığı sorununu minimize etmeyi amaçlayan Levin, Lin ve Chu (2002) tarafından önerilen yöntem dikkate alınmıştır. Analizin tahmin aşamasında ise hem kısa hem de uzun dönem ilişkilere aynı model çerçevesinde ulaşılabilmesine olanak tanıyan Pesaran, Shin ve Smith (1999) tarafından geliştirilen Havuzlanmış Ortalama Grup Otoregresif Dağıtılmış Gecikme ARDL (PMG/ARDL) tahmincisi tercih edilmiştir. Bu yöntem, serilerin bütünleşme derecelerinin I(0) veya I(1) olmasından bağımsız olarak kullanılabilmekte ve panel veri yapısında daha esnek ve güvenilir tahminler sunmaktadır.

4. Ampirik bulgular

Değişkenlere ait özet istatistikler Tablo 2’de sunulmuştur. Tabloya göre en yüksek standart sapma değerine doğumda beklenen yaşam süresi sahipken, değişkeni yenilenebilir enerji tüketimi değişkeni takip etmiştir. Doğumda beklenen yaşam süresi değişkeninin mevcut ölüm oranlarına bağlı olması ve yenilenebilir enerjinin iklim koşullarına göre farklılık göstereceği düşünüldüğünde sonuçların olağan olduğu sonucuna varılabilir.

Tablo 2

Özet İstatistikler

Değişkenler	Gözlem Sayısı	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Ln (EAİ)	1164	1.7360	0.4665	0.6729	3.7623
Ln (GSYH)	1145	10.1060	0.7591	8.2143	11.6299
Ln (GSYH ²)	1145	102.7085	15.1086	67.4762	135.2564
Ln (YENE)	1178	2.4730	1.0381	-0.8209	4.4163
Ln (DBYS)	1144	4.2156	1.3183	0.7981	6.2749
Ln (NÜYO)	1178	4.3522	0.0474	4.1845	4.4374

Tablo 3’te tanı testleri sunulmuştur. Sunulan tanı testleri sonuçları, panel veri modelinin temel varsayımlarının geçerliliği hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Tablo 3’teki bulgulara göre, Wooldridge Otokorelasyon testi otokorelasyon probleminin varlığını göstermektedir. Bir diğer önemli test olan Wald testi değişen varyans (heteroskedastisite) probleminin varlığına işaret etmektedir. Son olarak, CD testi paneldeki birimler arasında yatay kesit bağımlılığı probleminin mevcut olduğunu göstermektedir.

Tablo 3

Tanı Testleri Sonuçları

Testler	Test İstatistiği	p-değeri
Wooldridge Otokorelasyon Testi	15.788	0.0003
Wald Testi (Değişen Varyans)	775.62	0.0000
CD Test (Yatay Kesit Bağımlılığı)	21.559	0.0000

Tablo 4'te sunulan Pesaran (2004) CD testi sonuçları, panel veri analizinin kritik bir önkoşulu olan yatay kesit bağımlılığının varlığını incelemektedir. Elde edilen bulgular, serilerin tamamında yatay kesit bağımlılığının mevcut olduğunu göstermektedir. Bu sonuçların ekonometrik modelleme açısından en önemli çıkarımı, analizde birinci nesil panel veri tekniklerinin kullanılmasının hatalı sonuçlar doğuracağıdır. Dolayısıyla, analiz sürecinin devamında yatay kesit bağımlılığını dikkate alan ikinci nesil panel birim kök testleri kullanılmalıdır.

Tablo 4

Değişkenler için Yatay Kesit Bağımlılığı Testi Sonuçları

Değişkenler	CD-test	p-değeri	Ortalama p	Ortalama abs p
Ln (EAI)	34.799	0.000	0.24	0.44
Ln (GSYH)	129.099	0.000	0.90	0.90
Ln (GSYH ²)	128.909	0.000	0.90	0.90
Ln (YENE)	54.359	0.000	0.37	0.63
Ln (DBYS)	64.06	0.000	0.44	0.86
Ln (NÜYO)	141.463	0.000	0.96	0.96

Tablo 5'te, serilerin durağanlık özelliklerini araştırmak amacıyla kullanılan ve yatay kesit bağımlılığını dikkate alan ikinci nesil testlerden biri olan CADF birim kök testi sonuçları sunulmuştur. Analizin ilk aşaması olan düzey değerlerine bakıldığında, test edilen altı değişkenin tamamı için elde edilen bulgular, serilerin düzey değerlerinde birim kök içerdiği yönündedir. Dolayısıyla, tüm serilerin düzeyde durağan olmadığı sonucuna varılmıştır. Analizin ikinci aşamasında serilerin birinci farkları alınmıştır. Bu işlem sonrasında yapılan testle Ln (EAI), Ln (GSYH), Ln (GSYH²), Ln (YENE), Ln (NÜYO) değişkenlerinin %1 anlamlılık düzeyinde ve Ln (DBYS) değişkeninin ise %5 anlamlılık düzeyinde durağan olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sonuç olarak, tüm seriler düzeyde durağan değilken birinci farkları alındığında durağan hale geldikleri için, bu değişkenlerin tamamı birinci dereceden entegre, yani I(1) oldukları tespit edilmiştir. Bu bulgu, değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişkinin (eşbütünleşme) varlığının araştırılması için gerekli ön koşulun sağlandığını göstermesi açısından kritik bir öneme sahiptir.

Tablo 5

Birim Kök Testi Sonuçları

Değişkenler	Ln (EAI)	Ln (GSYH)	Ln (GSYH ²)	Ln (YENE)	Ln (DBYS)	Ln (NÜYO)
Düzy						
Z[t-bar]	1.209	-0.648	-0.388	-0.125	1.369	0.067
p-value	0.887	0.259	0.349	0.450	0.915	0.527
İlk Fark						
Z[t-bar]	-16.329	-3.979	-3.877	-5.841	-1.758	-3.453
p-value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.039	0.000

Veri setine Kao (1999), Pedroni (1999, 2004) ve Westerlund (2005) eşbütünleşme testleri uygulanmıştır. Yatay kesit bağımlılığının etkisini azaltmak için Levin, Lin ve Chu (2002)'nin önerdiği prosedür uygulanmıştır. Her zaman dilimi için paneller arasında serinin ortalaması hesaplanmış ve bu ortalama seriden çıkarılmıştır. Kısaca seriden kesit ortalamaları çıkarılmıştır. Eşbütünleşme testlerinden elde edilen bulgular Tablo 6'da sunulmuştur. Analiz sonuçları tüm testlerde eşbütünleşmenin varlığını doğrulaaktadır.

Tablo 6

Eşbütünleşme Testleri Sonuçları

Test Türü	Test İstatistiği	p-değeri
Pedroni Eşbütünleşme Testi		
Modified Phillips–Perron t	-0.5562	0.2890
Phillips–Perron t	-13.1084	0.0000
Augmented Dickey–Fuller t	-11.9424	0.0000
Kao Eşbütünleşme Testi		
Modified Dickey–Fuller t	-6.9254	0.0000
Dickey–Fuller t	-6.8138	0.0000
Augmented Dickey–Fuller t	-3.1958	0.0007
Unadjusted modified Dickey–Fuller t	-12.6718	0.0000
Unadjusted Dickey–Fuller t	-8.7329	0.0000
Westurlund Eşbütünleşme Testi		
Variance ratio	-3.6100	0.0002

Uzun dönem ilişkinin varlığı eşbütünleşme testi yardımıyla doğrulandıktan sonra, değişkenlerin uzun dönemli esnekliklerini tahmin etmek için Havuzlanmış Ortalama Grup Otoresif Dağıtılmış Gecikme (PMG/ARDL) tahmincisi kullanılmıştır. Analizde, uzun dönem esnekliklerinde herhangi bir anormal boyut etkisinden kaçınmak için panel veri serilerinin doğal logaritma değerleri kullanılmıştır. Elde edilen bulgular Tablo 7’de sunulmuştur.

Tablo 7

PMG/ARDL Tahmin Sonuçları

Bağımlı Değişken: Ln (EAI)			
Uzun Dönem Sonuçları			
Bağımsız Değişkenler	Katsayı	Standard Hata	Z
Ln (GSYH)	1.2773	0.2830	4.51
Ln (GSYH ²)	-0.0364	0.0144	-2.53
Ln (YENE)	-0.1564	0.0091	-17.12
Ln (DBYS)	-0.3769	0.0628	-6.00
Ln (NÜYO)	-1.4153	0.2915	-4.85
ec	-0.5692	0.0584	-9.75
Kısa Dönem Sonuçları			
Ln (GSYH)	-24.8970	23.1425	-1.08
Ln (GSYH ²)	1.1234	1.0118	1.11
Ln (YENE)	-0.0151	0.0466	-0.33
Ln (DBYS)	1.2689	1.4649	0.87
Ln (NÜYO)	1.0606	0.5110	2.08
Sabit	0.3580	0.0610	5.87
Gözlem Sayısı	1083		
Ülke Sayısı	38		
Zaman	31		

Elde edilen bulgulara göre uzun dönemde tüm değişkenler anlamlıdır. Hata düzeltme teriminin (ec), katsayısı negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu durum uzun dönemli ilişkinin varlığını göstermektedir. Hata düzeltme teriminin (ec) katsayısı, kısa dönemde meydana gelen dengesizliklerin uzun dönem dengesine doğru düzeltilme hızını göstermektedir. Uzun dönemde

kişi başına GSYH'deki %1'lik artış ekolojik ayak izini %1.27 artırmaktadır. Bu bulgu, ekonomik büyümenin ekolojik ayak izi üzerinde pozitif bir etkisi olduğunu ve çevresel sürdürülebilirlik açısından olumsuz bir etki yaratacağını göstermektedir. Uzun dönemde kişi başına GSYH'nin karesinde meydana gelen %1'lik artış ise ekolojik ayak izini %0.03 azaltmaktadır. Bu sonuç Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezini ifade etmektedir, belirli bir GSYH düzeyinden sonra, GSYH artışının çevresel bozulma üzerindeki artırıcı etkisinin azaldığını veya tersine döndüğünü ifade etmektedir. Katsayının mutlak değerinin GSYH katsayısına göre daha küçük olması, çevresel iyileşmenin yavaş bir süreç olduğunu veya belirli bir gelir seviyesinin üzerinde daha belirgin hale geldiğini göstermektedir. Benzer şekilde uzun dönemde yenilenebilir enerji tüketiminde, doğuştan beklenen yaşam süresinde ve nüfus yoğunluğunun da meydana gelen %1'lik artış ekolojik ayak izini sırasıyla %0.15, %0.37 ve 1.41 azaltmaktadır. Bu sonuç, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artmasının çevresel kirliliği azaltmada kilit bir rol oynadığını göstermektedir. Ayrıca daha uzun yaşam süresi genellikle daha iyi eğitim ve sağlık hizmetlerinden faydalanma ve çevresel kalite ile ilişkilendirilebilir. Bu durum bireylerin çevre açısından daha sürdürülebilir yaşam tarzlarına yöneldiğini göstermektedir. Daha yoğun nüfuslu bölgelerde altyapı ve enerji verimliliği, bireysel kaynak tüketiminin azalması ve toplu taşıma kullanımı gibi faktörler nüfus yoğunluğunun ekolojik ayak izi üzerinde negatif etkisini açıklamaktadır.

5. Sonuç

Bu çalışmada, 38 OECD ülkesine ait 1990-2020 periyodu için yenilenebilir enerji tüketiminin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Benimsenen ekonomik büyüme rotasının çevresel açıdan uygun olup olmadığı analiz edilmiştir. Seçilen ülke grubu ve periyoda bağlı olarak coğrafi sınırlardaki ve demografideki değişimler nedeniyle, doğuştan beklenen yaşam süresi ve nüfus yoğunluğu da bağımsız değişken olarak modele dahil edilmiştir.

Panel veri modelinde en doğru tahminciyi seçmek için ilk önce yatay kesit bağımlılığı araştırılmış, daha sonra yatay kesit bağımlılığını ele alan birik kök testi yapılmış, uzun dönemli ilişkinin varlığı yatay kesit bağımlılığını azaltan eşbütünleşme testleri yardımıyla araştırılmış ve uzun dönem katsayıları PMG/ ARDL yöntemiyle tahmin edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde hata düzeltme terimi (ECM), negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Başka bir ifade ile bulgular, ekolojik ayak izinin uzun dönem denge patikasından sapması halinde kişi başına GSYH, kişi başına GSYH'nin karesi, yenilenebilir enerji

tüketimi, doğumda beklenen yaşam süresi ve nüfus yoğunluğu ile otomatik olarak dengeye gelebileceğini, dengesizliğin mevcut olması durumunda ekolojik ayak izinin 0,5692'lık bir hızla uzun dönem dengesini kurabileceğini göstermektedir.

Kişi başına GSYH'nin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi uzun dönemde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıyken, kişi başına GSYH'nin karesinin etkisi negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu sonuç çevresel Kuznet eğrişi yaklaşımı ile tutarlıdır. OECD ülkelerinde ekonomik büyümenin ilk aşamasında çevre kalitesi düşerken, ekonomik büyüme optimum seviyeye ulaştıktan sonra çevre kalitesi iyileşmeye başlamaktadır. Bu durum ekonomik büyüme ile çevre kalitesi arasındaki ters U şeklindeki ilişkiyi desteklemektedir. Uzun dönemde kişi başına GSYH'nin ekolojik ayak izini pozitif etkilemesinin nedeni, gelişmekte olan ülkelerin sanayileşme sürecinin çevre üzerindeki negatif etkisi olabilir. Ancak kişi başına GSYH'nin karesinin ekolojik ayak izi üzerindeki negatif etkisi, yüksek kişi başına GSYH seviyesine ulaşan ülkelerde çevre koruma politikalarının daha çok benimsendiğini ve yeşil teknolojilerin kullanımının daha fazla arttığını göstermektedir.

Yenilenebilir enerji tüketiminin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi uzun dönemde negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Yenilenebilir enerji kullanımının çevre üzerindeki olumlu etkisi literatürle uyumludur. Yenilenebilir enerji tüketiminin artan kullanımı uzun dönemde ekolojik ayak izinin kontrol altına alınmasını sağlamaktadır. Bu nedenle çevresel tahribatı azaltmak için yenilenebilir enerji kullanılmasına yönelik çevre düzenlemeleri yapılmalıdır. Yenilenebilir enerji tüketiminin ekolojik ayak izini önemli ölçüde azalttığı göz önüne alındığında, hükümetler yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişi teşvik eden politikaları uygulaması gerekmektedir. Bu kapsamda sübvansiyonların sağlanması, vergi indirimlerinin sunulması, yenilenebilir enerji yatırımları için finansman olanaklarının artırılması, enerji piyasasında gerekli düzenlemelerin yapılması ve altyapı iyileştirmelerinin yapılması şeklinde politikalar uygulanmalıdır.

Uzun dönemde doğuştan beklenen yaşam süresinin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Doğumda beklenen yaşam süresinin uzaması genellikle daha iyi sağlık hizmetlerinden faydalanılması ve temiz çevre koşulları ile yakın ilişkilidir. Doğuştan beklenen yaşam süresinin çevreye olumlu etkisi bireylerin yaşlandıkça tüketim alışkanlıklarının değişmesi ve daha az tüketime yönelmelerinden kaynaklanabilir. Ayrıca yüksek yaşam beklentisi olan toplumlarda çevresel bilincin daha yüksek olabileceği düşünülmektedir. Bu bağlamda sağlık

hizmetlerine erişimin kolaylaştırılması, eğitim kalitesinin yükseltilmesi ve çevresel okuryazarlığın teşvik edilmesi gibi politikalar uygulanmalıdır.

Nüfus yoğunluğunun da uzun dönemde ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Gelir artışının kırsaldan kente göç olgusunu arttırdığını düşündüğümüzde ve Çevresel Kuznet Eğrisi hipoteziyle bağdaştırdığımızda gelir arttıkça insanlar arasında çevre bilinci de artacaktır. Bununla birlikte nüfus yoğunluğunun ekolojik ayak izini azaltıcı etkisi, çevreye duyarlı kentleşme politikalarının önemini vurgulamaktadır. Daha yoğun yerleşim yerlerinde verimli altyapı kullanımı, enerji verimli binaların teşvik edilmesi, toplu taşıma ağlarının güçlendirilmesi, yeşil alanların korunması ve artırılması ve daha az bireysel kaynak tüketiminin özendirilmesi gibi politikalar çevresel ayak izini azaltmak için uygulanmalıdır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Etik komite onayı ve/veya yasal/özel izin gerektirmeyen bu çalışma, araştırma ve yayın etiğine uygundur.

Araştırmacının Katkı Oranı Beyanı

Yazar makalenin tek yazarı olduğu için katkı oranı %100'dür.

Araştırmacının Çıkar Çatışması Beyanı

Bu çalışmada herhangi bir potansiyel çıkar çatışması yoktur.

Kaynakça

- Abid, M., Sakrafi. H., Gheraia, Z., & Abdelli, H. (2022). Does renewable energy consumption affect ecological footprints in Saudi Arabia? A bootstrap causality test. *Renewable Energy*, 189, 813-821. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.03.043>
- Ahmad, M., Jiang, P., Majeed, A., Umar, M., Khan, Z., & Muhammad, S. (2020). The dynamic impact of natural resources, technological innovations and economic growth on ecological footprint: an advanced panel data estimation. *Resources Policy*, 69, 101817. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101817>
- Ahmed, Z., Ahmad, M., Rjoub, H., Kalugina, O. A., & Hussain, N. (2022). Economic growth, renewable energy consumption, and ecological footprint: Exploring the role of environmental regulations and democracy in sustainable development. *Sustainable Development*, 30(4), 595-605. <https://doi.org/10.1002/sd.2251>
- Ahmed, Z., Wang, Z., Mahmood, F., Hafeez, M., & Ali, N. (2019). Does globalization increase the ecological footprint? Empirical evidence from Malaysia. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 18565-18582. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05224-9>
- Al-Mulali, U., Weng-Wai, C., Sheau-Ting, L., & Mohammed, A. H. (2015). Investigating the environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis by utilizing the ecological footprint as an indicator of environmental degradation. *Ecological indicators*, 48, 315-323. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.029>
- Ansari, M. A. (2022). Re-visiting the Environmental Kuznets curve for ASEAN: A comparison between ecological footprint and carbon dioxide emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 168, 112867. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112867>
- Ansari, M.A., Haider, S. & Masood, T. (2021). Do renewable energy and globalization enhance ecological footprint: an analysis of top renewable energy countries?. *Environ Sci Pollut Res* 28, 6719–6732. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10786-0>
- Apergis, N., Jebli, M. B., & Youssef, S. B. (2018). Does renewable energy consumption and health expenditures decrease carbon dioxide emissions? Evidence for sub-Saharan Africa countries. *Renewable energy*, 127, 1011-1016. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.05.043>
- Bekun, F. V., Emir, F., & Sarkodie, S. A. (2019). Another look at the relationship between energy consumption, carbon dioxide emissions, and economic growth in South Africa. *Science of the Total Environment*, 655, 759-765. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.271>
- Borucke, M., Moore, D., Cranston, G., Gracey, K., Iha, K., Larson, J., ... & Galli, A. (2013). Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: The National Footprint Accounts' underlying methodology and framework. *Ecological indicators*, 24, 518-533. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.08.005>

- Charfeddine, L., & Mrabet, Z. (2017). The impact of economic development and social-political factors on ecological footprint: A panel data analysis for 15 MENA countries. *Renewable and sustainable energy reviews*, 76, 138-154. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.031>
- Danish, Hassan, S. T., Baloch, M. A., Mahmood, N., & Zhang, J. (2019). Linking economic growth and ecological footprint through human capital and biocapacity. *Sustainable Cities and Society*, 47, 101516. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101516>
- Danish, Ulucak, R., & Khan, S. U.-D. (2020). Determinants of the ecological footprint: Role of renewable energy, natural resources, and urbanization. *Sustainable Cities and Society*, 54, 101996. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101996>
- Destek, M. A., & Sinha, A. (2020). Renewable, non-renewable energy consumption, economic growth, trade openness and ecological footprint: Evidence from organisation for economic Co-operation and development countries. *Journal of cleaner production*, 242, 118537. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118537>
- Hassan, S. T., Xia, E., Khan, N. H., & Shah, S. M. A. (2019). Economic growth, natural resources, and ecological footprints: evidence from Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 2929-2938. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3803-3>
- Hussain, M., Usman, M., Khan, J. A., Tarar, Z. H., & Sarwar, M. A. (2022). Reinvestigation of environmental Kuznets curve with ecological footprints: empirical analysis of economic growth and population density. *Journal of Public Affairs*, 22(1), e2276. <https://doi.org/10.1002/pa.2276>
- International Energy Agency (2023). *Renewables 2023, Analysis and Forecast to 2028*. International Energy Agency.
- International Energy Agency (2024). *CO2 Emissions in 2023: A New Record High, But Is There Light at the End of the Tunnel?*. International Energy Agency.
- Kao, C. (1999). Spurious regression and residual-based tests for cointegration in panel data. *Journal of econometrics*, 90(1), 1-44. [https://doi.org/10.1016/s0304-4076\(98\)00023-2](https://doi.org/10.1016/s0304-4076(98)00023-2)
- Kongbuamai, N., Bui, Q., & Nimsai, S. (2021). The effects of renewable and nonrenewable energy consumption on the ecological footprint: the role of environmental policy in BRICS countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 27885-27899. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12551-3>
- Kongbuamai, N., Zafar, M. W., Zaidi, S. A. H., & Liu, Y. (2020). Determinants of the ecological footprint in Thailand: the influences of tourism, trade openness, and population density. *Environmental science and pollution research*, 27, 40171-40186. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09977-6>

- Levin, A., Lin, C. F., & Chu, C. S. J. (2002). Unit root tests in panel data: asymptotic and finite-sample properties. *Journal of econometrics*, 108(1), 1-24. [https://doi.org/10.1016/s0304-4076\(01\)00098-7](https://doi.org/10.1016/s0304-4076(01)00098-7)
- Li, R., Wang, X., & Wang, Q. (2022). Does renewable energy reduce ecological footprint at the expense of economic growth? An empirical analysis of 120 countries. *Journal of Cleaner Production*, 346, 131207. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131207>
- Maji, I. K., & Adamu, S. (2021). The impact of renewable energy consumption on sectoral environmental quality in Nigeria. *Cleaner Environmental Systems*, 2, 100009. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2021.100009>
- Pedroni, P. (1999). Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors. *Oxf. Bull. Econ. Statistics* 61 (1), 653–670. <https://doi.org/10.1111/1468-0084.0610s1653>
- Pedroni, P. (2004). Panel cointegration; asymptotic and finite sample properties of pooled time series tests with an application to the purchasing power parity hypothesis. *Econ. Theory* 20 (3), 597–625. <https://doi.org/10.1017/S0266466604203073>
- Pesaran, H., (2003), A Simple Panel Unit Root Test in the Presence of Cross Section Dependence, *Cambridge Working Papers in Economics* 0346, Faculty of Economics (DAE), University of Cambridge.
- Pesaran, M. H. (2004). General diagnostic tests for cross section dependence in panels. *Cambridge Working Papers in Economics*, 0435(3), 1–39. <https://doi.org/10.2139/ssrn.572504>
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. P. (1999). Pooled mean group estimation of dynamic heterogeneous panels. *Journal of the American Statistical Association*, 94, 621–634. <https://doi.org/10.1080/01621459.1999.10474156>
- Sayed, E. T., Wilberforce, T., Elsaid, K., Rabaia, M. K. H., Abdelkareem, M. A., Chae, K.-J., & Olabi, A. G. (2021). A critical review on environmental impacts of renewable energy systems and mitigation strategies: Wind, hydro, biomass and geothermal. *Science of The Total Environment*, 766, 144505. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144505>
- Sharma, R., Sinha, A., & Kautish, P. (2021). Does renewable energy consumption reduce ecological footprint? Evidence from eight developing countries of Asia. *Journal of Cleaner Production*, 285, 124867. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124867>
- Sims, R. E. H. (2004). Renewable energy: A response to climate change. *Solar Energy*, 76(1), 9-17. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(03\)00101-4](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(03)00101-4)
- Sinha, A., Shahbaz, M., & Balsalobre, D. (2017). Exploring the relationship between energy usage segregation and environmental degradation in N-11 countries. *Journal of cleaner production*, 168, 1217-1229. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.071>

- Udemba, E. N., Shah, S. A. R., Philip, L. D., & Zhao, G. (2024). The mediating role of green energy and environmental policies in sustainable development for BRICS economies: A tripartite impact of entrepreneurial activities, urban development and economic growth on ecological footprint. *Sustainable Development*, 32(5), 4649-4670. <https://doi.org/10.1002/sd.2916>
- Uğurlu, E. (2019). Renewable Energy Strategies for Sustainable Development in the European Union. İçinde D. Kurochkin, E. V. Shabliy, & E. Shittu (Ed.), *Renewable Energy: International Perspectives on Sustainability* (ss. 63-87). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14207-0_3
- Uğurlu, E. (2022). Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. İçinde D. Kurochkin, M. J. Crawford, & E. V. Shabliy (Ed.), *Energy Policy Advancement Climate Change Mitigation and International Environmental Justice*. Springer International Publishing. <https://www.springerprofessional.de/en/renewable-energy-sources-and-climate-change-mitigation/19933458>
- Usman, O., Akadiri, S. S., & 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. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09170-9>
- Usman, O., Alola, A. A., & Sarkodie, S. A. (2020). Assessment of the role of renewable energy consumption and trade policy on environmental degradation using innovation accounting: Evidence from the US. *Renewable Energy*, 150, 266-277. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.151>
- Westerlund, J. (2005). New simple tests for panel cointegration. *Econ. Rev.* 24 (3), 297–316. <https://doi.org/10.1080/07474930500243019>

EXTENDED ABSTRACT

The United Nations Conference on the Human Environment, held in Stockholm in 1972, was one of the most important developments that drew the world's attention to environmental degradation and climate change (Uğurlu, 2019, 2022). Despite global efforts in the field of environmental sustainability, environmental degradation has become more pronounced over the past thirty years. The United Nations has attempted to launch numerous green initiatives, such as the Kyoto Protocol, the Paris Agreement, and the Sustainable Development Goals. Similarly, the COP series also carries the same theme as these initiatives. Within the scope of COP27, economies have agreed to transition from unsustainable energy sources to sustainable energy sources, thereby significantly reducing ecological pressure (Udemba et al., 2024). However, one of the methods of combating environmental issues and climate change is the use of alternative energy sources and renewable energy sources (Sims, 2004). Although policymakers are seeking solutions to environmental degradation, economic growth-oriented activities appear to be a threat to the environment in both developed and developing countries (Bekun et al., 2019). Therefore, policymakers need to understand the interaction between variables to embark on the construction of an effective energy and environmental policy.

In 2023, while the GDP of developed economies grew by 1.7%, emissions decreased by 4.5%. Emissions, which decreased by 520 Mt in 2023, have now fallen to levels seen fifty years ago. Due to developments in G7 countries, coal demand in developed economies has returned to the levels seen at the beginning of the 1900s. The decline in emissions in developed economies in 2023 was due to a combination of structural factors, such as strong renewable energy deployment and the shift from coal to gas in the United States, as well as cyclical factors, such as weak industrial production and mild weather conditions in some countries. During this period, the share of renewable energy sources in electricity production more than doubled, rising from 16% to 34%. (IEA, 2024)

In 2023, global annual renewable energy capacity increased by approximately 50% to nearly 510 GW. This is the fastest growth rate in the last twenty years. Under current policies and market conditions, global renewable energy capacity is expected to reach 7,300 GW by 2028. However, while this growth rate would increase capacity to 2.5 times the current level by 2030, it falls short of the goal of tripling renewable energy capacity. The challenges governments face in

meeting their targets vary from country to country but can be grouped under four main headings. These include political uncertainty and delayed policy responses to the new macroeconomic environment, insufficient investment in grid infrastructure that hinders the faster deployment of renewable energy, bureaucratic barriers, complex permitting processes and social acceptance issues, and insufficient financing in developing economies (IEA, 2023).

Early studies mostly used CO₂ emissions as an indicator of environmental degradation. However, since CO₂ does not take into account soil and water pollution, a comprehensive ecological criterion is needed to assess total environmental degradation (Ansari, 2022). In recent studies, many variables have been used to measure environmental quality, with the most common being the ecological footprint (Li et al., 2022). This is because CO₂ emissions represent only a portion of the total effects caused by large-scale energy use (Al-Mulali et al., 2015). Using the ecological footprint instead of CO₂ emissions provides a more accurate and comprehensive perspective on environmental damage (Ansari, 2022).

This study uses a panel data set covering the years 1990-2020 for 38 OECD countries. The reason for selecting OECD countries for this study is that the group's fundamental objectives include achieving a balance between sustainable economic growth and development and environmental protection. In addition, the fact that the OECD was established in 1961 provides an advantage in terms of institutionalisation and, consequently, the reliability of the data.

When reviewing the literature, it is observed that changes in both economic and demographic variables have environmental impacts. This study aims to fill the gap in the literature by investigating the impact of per capita GDP, the square of per capita GDP, renewable energy consumption, life expectancy at birth, and population density on the ecological footprint in OECD countries with different levels of development.

When examining the summary statistics of the variables, life expectancy at birth had the highest standard deviation value, followed by renewable energy consumption. Considering that the life expectancy at birth variable is dependent on current mortality rates and that renewable energy varies depending on climatic conditions, the results can be considered normal.

The Wooldridge Autocorrelation test indicates the presence of an autocorrelation problem. Another important test, the Wald Test, points to the presence of a problem of heteroscedasticity. Finally, the CD Test shows that there is a cross-sectional dependence problem among the units in

the panel. Pesaran (2004) CD test results show that cross-sectional dependence is present in all series.

The CADF unit root test was used to investigate the stationarity properties of the series. Since all series were non-stationary at the level but became stationary when their first differences were taken, it was determined that all of these variables were first-order integrated.

To identify the long-term relationship, cointegration tests proposed by Kao (1999), Pedroni (1999, 2004), and Westerlund (2005) were applied. To reduce the effect of cross-sectional dependence, the procedure proposed by Levin, Lin, and Chu (2002) was applied. The analysis results confirm the existence of cointegration in all tests.

To estimate their long-term flexibility, the Pooled Mean Group Autoregressive Distributed Lag (PMG/ARDL) estimator was used.

According to the findings, all variables are significant in the long term. The coefficient of the error correction term (ec) is negative and statistically significant. In the long term, a 1% increase in per capita GDP increases the ecological footprint by 1.27%. This finding indicates that economic growth has a positive effect on the ecological footprint and will have a negative impact on environmental sustainability. A 1% increase in the square of per capita GDP in the long term reduces the ecological footprint by 0.03%. This result reflects the Environmental Kuznets Curve hypothesis, which states that after a certain level of GDP, the increasing effect of GDP growth on environmental degradation decreases or reverses. The fact that the absolute value of the coefficient is smaller than the GDP coefficient indicates that environmental improvement is a slow process or becomes more pronounced above a certain income level. Similarly, in the long term, a 1% increase in renewable energy consumption, life expectancy at birth, and population density reduces the ecological footprint by 0.15%, 0.37%, and 1.41%, respectively. This result shows that the increased use of renewable energy sources plays a key role in reducing environmental pollution. In addition, longer life expectancy is generally associated with better access to education and healthcare and environmental quality. This indicates that individuals are moving towards more environmentally sustainable lifestyles. In more densely populated areas, factors such as infrastructure and energy efficiency, reduced individual resource consumption, and use of public transport explain the negative impact of population density on the ecological footprint.

The increasing use of renewable energy consumption ensures that the ecological footprint is controlled in the long term. Therefore, environmental regulations can be implemented to reduce environmental damage by using renewable energy. Considering that renewable energy consumption significantly reduces the ecological footprint, governments need to implement policies that encourage the transition to renewable energy sources. In this context, policies such as providing subsidies, offering tax breaks, increasing financing opportunities for renewable energy investments, making necessary regulations in the energy market, and improving infrastructure should be implemented.

The increase in life expectancy at birth is generally closely related to better health services and clean environmental conditions. The positive impact of life expectancy at birth on the environment may stem from changes in consumption habits as individuals age and shift toward lower consumption. Additionally, it is thought that environmental awareness may be higher in societies with high life expectancy. In this context, policies such as facilitating access to healthcare services, improving the quality of education, and promoting environmental literacy should be implemented.

When we consider that income growth increases rural-to-urban migration and relate this to the Environmental Kuznets Curve hypothesis, we see that as income increases, environmental awareness among people also increases. However, the effect of population density in reducing the ecological footprint emphasises the importance of environmentally sensitive urbanisation policies. Policies such as efficient infrastructure use in denser settlements, promoting energy-efficient buildings, strengthening public transport networks, protecting and increasing green spaces, and encouraging reduced individual resource consumption should be implemented to reduce the ecological footprint.