

Yenilenebilir Enerjinin Ekolojik Ayak İzi Üzerine Etkisi: Türkiye Örneği

Elif KOÇAK¹

¹ Dr., Gaziantep Üniversitesi, İİBF, esevimlioglu@outlook.com, ORCID ID: 0000-0003-2662-6565

Öz: Gelişmekte olan ülkelerin ekonomik büyüme hedeflerini gerçekleştirebilmek adına özellikle maliyet ve ulaşılabilirlik açısından daha avantajlı olan yenilenemeyen enerji kaynaklarını tercih ettiği bilinmektedir. Ekonomik büyümenin itici güçleri arasında yer alan söz konusu bu enerji kaynakları bir yandan ülkeleri büyüme hedeflerine ulaştırırken; diğer yandan çevresel bozulmaya neden olarak ekolojik ayak izini artırmakta ve gezegenin biyolojik taşıma kapasitesinin azalmasına neden olarak küresel ısınmanın tetikleyicisi konumunda yer almaktadır. Dolayısıyla bu tip kirletici kaynaklar yerine karbon nötr olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması çevre kalitesinin artırılabilmesi ve ekolojik ayak izinin azaltılarak küresel ısınmanın önüne geçilebilmesi adına hayati önem arz etmektedir. Aynı zamanda yenilenemeyen enerji kaynaklarının belirli bir ömrünün olması, buna karşın yenilenebilir enerji kaynaklarının tükenme ihtimalinin bulunmaması enerji sürdürülebilirliği açısından da son derece önemlidir. Bu çalışmanın amacı, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının ekolojik ayak izi üzerindeki etkisini araştırmaktır. Bu doğrultuda gelişmekte olan ülkeler arasında yer alan Türkiye için 2000-2020 gözlem aralığı baz alınmıştır. Değişkenler arasındaki ilişki ise ARDL sınır testi ve Toda Yamamoto nedensellik testi ile araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı ekolojik ayak izini azaltırken; gezegenin biyolojik taşıma kapasitesini artırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ekolojik Ayak İzi, Çevresel Teknoloji, Ekonomik Büyüme, Finansal Gelişme, Yenilenebilir Enerji

Jel Kodları: B23, C1, C22

The Impact of Renewable Energy On Ecological Footprint: The Case Of Turkey

Abstract: It is known that developing countries prefer non-renewable energy sources, which are more advantageous, especially in terms of cost and accessibility, in order to achieve their economic growth targets. While these energy resources, which are among the driving forces of economic growth, enable countries to achieve their growth targets, on the other hand, they increase the ecological footprint by causing environmental degradation and are the trigger of global warming by reducing the biological carrying capacity of the planet. Therefore, the use of carbon-neutral renewable energy sources instead of such polluting sources is of vital importance in order to increase environmental quality and prevent global warming by reducing the ecological footprint. At the same time, it is extremely important for energy sustainability that non-renewable energy resources have a certain lifespan, but there is no possibility of exhaustion of renewable energy resources. The aim of this study is to investigate the effect of using renewable energy resources on the ecological footprint. In this regard, the 2000-2020 observation interval was taken as a basis for Turkey, which is among the developing countries. The relationship between the variables was investigated with the ARDL bounds test and the Toda Yamamoto causality test. According to the results obtained, the use of renewable energy sources reduces the ecological footprint and increases the biological capacity of the planet.

Keywords: Ecological Footprint, Environmental Technology, Economic Growth, Financial Development, Renewable Energy

Jel Codes: B23, C1, C22

Atf: Koçak, E. (2024).
Yenilenebilir Enerjinin Ekolojik Ayak İzi Üzerine Etkisi: Türkiye Örneği, *Politik Ekonomik Kuram*, 8(1), 256-265.
<https://doi.org/10.30586/1411258>

Geliş Tarihi: 28.12.2023
Kabul Tarihi: 18.03.2024



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

1. Giriş

Son yıllarda gelişmekte olan ekonomiler olağanüstü bir büyüme yaşayarak küresel ekonominin adeta güç merkezi haline gelmiştir. Ekonomik büyüme yoksulluğun azaltılmasında ve refah seviyesinin artırılmasında büyük önem arz etmektedir. Ancak söz konusu ekonomik büyüme doğal çevrenin korunması hususunda bazı sorunlara yol açabilmektedir (Raza vd., 2023.) Özellikle gelişmekte olan ülkeler büyümenin zararlı çevresel etkilerinden ziyade, esas olarak yüksek büyüme oranlarıyla ilgilenmektedir. Dolayısıyla söz konusu bu ülkelerde fosil yakıt kullanımı yaygın olarak görülebilmektedir. Sanayileşme hızının artmasıyla birlikte fosil yakıt tüketiminde de artış meydana gelmiştir. Fosil yakıt kullanımı çevresel bozulmaya neden olarak toprak, su ve havanın çevresel atıkları absorbe etme yeteneğini azaltmaktadır. Dolayısıyla söz konusu enerji kaynaklarının gezegenin biyolojik taşıma kapasitesi üzerinde doğrudan olumsuz etkilerinin mevcut olduğunu söylemek mümkündür. Dünyanın bu taşıma kapasitesine "ekolojik ayak izi" adı verilmektedir.

Genel olarak ekolojik ayak izi, "bir ekonomideki katılımcıların tükettikleri tüm kaynakları üretmek ve ürettikleri tüm atıklarını sürekli olarak mevcut teknolojiyi kullanarak absorbe etmek için talep ettikleri toplam arazi ve su alanı" şeklinde tanımlanmaktadır (Sharif vd., 2020). 2018 yılı itibarıyla kişi başına düşen dünya ortalama ekolojik ayak izi 2.75 küresel hektara ulaşmıştır. Dünyanın ortalama biyolojik taşıma kapasitesi ise 1.63 küresel hektardır. Dolayısıyla dünyada 1.1 küresel hektar (kha) oranında ekolojik açık bulunmaktadır. Gezegenin biyolojik taşıma kapasitesinden daha küçük bir ayak izi, insanlığın uzun vadede hayatta kalabilmesi için kritik bir eşiktir. Ayrıca eğer bir ülke kendi ekolojik ayak izini absorbe edemiyorsa bu ülke ekolojik açığı olduğu için ekolojik borçlu olarak nitelendirilmektedir (Sahoo ve Sethi, 2021).

Gelişmekte olan ülkelerin 2040 yılına kadar dünya enerji tüketiminin %65'ini oluşturması beklenmektedir (EIA, 2013). Dolayısıyla söz konusu bu enerji tüketimi kirlitici fosil yakıtlarla gerçekleştirildiği takdirde, zaten açık olan biyolojik taşıma kapasitesi daha da yüksek hektarlara ulaşarak geri döndürülemez boyutlara ulaşacaktır. Dolayısıyla yenilenemeyen enerji kaynaklarından (NRES) ziyade çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarına (RES) geçilmesi hayati önem arz etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidroelektrik enerji, biyokütle enerjisi ve jeotermal enerji gibi insan zaman ölçeğinde doğal olarak yenilenen karbon nötr doğal kaynaklardır (Ellabban vd., 2014). RES'ler tükenme ihtimali olmamasından ötürü enerji sürdürülebilirliği açısından da son derece avantajlı konumda yer almaktadır (Khatami ve Goharian, 2022).

Bir ülkenin ekolojik ayak izini azaltmak çeşitli yollarla gerçekleştirilebilir ancak etkili yollardan biri yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş yapmaktır. Dolayısıyla politika oluşturma açısından yenilenebilir enerjinin ekolojik ayak izinin bir belirleyicisi olarak dikkate alınması ve böylece çevresel sürdürülebilirliğinin test edilmesi önem arz etmektedir. Çevre kirliliğinin ekolojik sistem üzerinde çok boyutlu etkilerinin olmasından ötürü çevresel bozulma için kullanılan temsili değişkenler de aynı ölçüde farklılık göstermektedir. Söz konusu temsili değişkenlerden en sık kullanılanı ise karbon emisyonudur. Ancak bu çalışmada karbon emisyonunun yanı sıra hava, ekili arazi, balıkçılık, orman, toprak, otlak alanları gibi daha kapsamlı göstergeleri barındıran ve ekosistemin taşıma kapasitesi kavramına dayanan ekolojik ayak izi göstergesi tercih edilmiştir. Ülke olarak Türkiye'nin seçilmesinin nedeni ise Türkiye'de 2000 yılında kişi başına düşen ekolojik ayak izi 2.97 kha iken, 2020 yılında %8.75 oranında artarak 3.23 kha'ya yükselmesidir. Bu veriler ışığında Türkiye'nin ekolojik ayak izi oranının dünya ortalamasının üzerinde seyrettiği görülmektedir. Dolayısıyla bu çalışma, Türkiye için RES'lerin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerinin araştırılması ve ilgili literatürün genişletilmesi adına önem taşımaktadır.

Çalışmanın literatüre sağlaması beklenen muhtemel katkılar şu şekildedir: i) Çevresel bozulma göstergesi olarak sadece hava kirliliğini baz alan CO₂ emisyonu kullanmak yerine; içerisinde hava, ekili arazi, balıkçılık, orman, toprak ve otlak alanları

gibi ölçütleri barındıran ekolojik ayak izi göstergesi kullanılmıştır. Böylece çevre kirliliğinin etkileri çok boyutlu ele alınarak çok daha kapsamlı araştırma sonuçları elde edilebilmektedir. ii) Finansallaşma göstergesi olarak çalışmalarda genellikle özel krediler ele alınmaktadır. Bu çalışmada ise özel krediler yerine bir çok alt endeksi bünyesinde barındıran finansal gelişme kullanılmıştır. iii) Çalışmada iki değişkenli model kullanmak yerine ampirik modelin sağlamlığını artırabilmek için reel gelir, çevresel teknoloji ve finansal gelişme gibi önemli kontrol değişkenleri de modele dahil edilerek söz konusu bu değişkenlerin de ekolojik ayak izi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. iv) Teknoloji değişkeni genel teknoloji olmayıp çevre ile ilgili teknolojileri kapsamaktadır. Böylece çevresel teknolojilerin ekolojik ayak izi üzerindeki etkileri doğrudan araştırılabilmektedir. v) Bu çalışma sonucunda RES'lerin yaygınlaştırılmasına yönelik politika kılavuzu sunularak çalışmanın ekolojik ayak izinin azaltılmasına yardımcı olması beklenmektedir.

Çalışmanın bir sonraki aşaması olan ikinci bölümünde literatür özetine değinilmiştir. Üçüncü bölümde model, veri seti ve yöntem tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde ampirik analiz gerçekleştirilerek analiz sonuçları yorumlanmıştır. Son olarak ise elde edilen bulgular değerlendirilerek politika önerilerinde bulunulmuştur.

2. Literatür Taraması

Yenilenebilir enerji ile çevresel bozulma arasındaki ilişkinin araştırıldığı çalışmalar incelendiğinde ağırlıklı olarak RES'lerin çevresel bozulmayı azalttığına dair sonuçların elde edildiği görülmüş, heterojen sonuçların mevcut olduğu görülmektedir. Aşağıda bu çalışmalara yer verilecektir.

Chiu ve Chang (2009), 30 OECD ülkesi için 1996-2005 dönem aralığında PTR modelini kullanarak gerçekleştirmiş oldukları araştırmaya göre, 30 OECD ülkesinin yenilenebilir enerji arzının, kullanılan toplam enerji arzının %8,39'unu oluşturması gerekmektedir. Söz konusu bu çalışmada yenilenebilir enerji arzı ancak bu seviyeye ulaştığında çevresel bozulmaya yönelik bir etki gözlemlenebileceği ifade edilmiştir.

Apergis vd. (2010), 19 gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeden oluşan bir grup için 1984-2007 gözlem aralığında panel hata düzeltme modeli ve Panel Granger nedensellik testi kullanarak ampirik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar nükleer enerji tüketimi ile çevresel bozulma arasında negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğunu ve yenilenebilir enerji tüketimi ile çevresel bozulma arasında pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğunu göstermektedir. Panel Granger nedensellik testi sonuçları kısa vadede nükleer enerji tüketiminin çevresel bozulmanın azaltılmasında etkili olduğunu; yenilenebilir enerji tüketiminin ise çevresel bozulmanın azaltılmasında etkili olmadığını göstermektedir. Bunun nedeninin ise aralıklı arz sorunları ile baş edebilmek için yeterli depolama teknolojisinin bulunmaması ve bunun sonucunda elektrik üreticilerinin pik yük talebini karşılamak amacıyla kirlitici enerji kaynaklarını kullanmak zorunda kalmaları olabileceği ifade edilmiştir.

Al-Mulali vd. (2015), Vietnam için 1981-2011 aralığını kapsayan dönemde ARDL metodunu kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında yenilenebilir enerji tüketiminin çevre kalitesi üzerinde hiçbir etkisi olmadığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte belli bir eşğin altındaki yenilenebilir enerjinin çevresel bozulmaya yol açtığı ifade edilmiştir.

Al-Mulali vd. (2016), Kenya için 1980-2012 aralığını kapsayan dönemde ARDL metodu kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında RES'lerin çevresel kaliteyi artırdığı; NRES'lerin ve kentleşmenin ise çevresel bozulmayı artırdığını bildirmişlerdir.

Souza vd. (2018), 5 MERCOSUR ülkesi için 1990-2014 periyodunu baz alarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında OLS regresyon yöntemi kullanılmış olup; yenilenebilir enerji, yenilenemeyen enerji, reel gelir ile çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre çevresel bozulmanın azaltılmasında yenilenebilir enerjinin etkili olduğu saptanmıştır.

Cai vd. (2018), G7 ekonomilerinde 1965-2015 periyodu için Bootstrap ARDL yaklaşımını kullanarak yenilenebilir enerji kullanımı ile çevresel bozulma arasındaki

ilişkiyi incelemişlerdir. Almanya için temiz enerji tüketimi ile çevresel bozulma arasında tek yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğunu tespit etmişlerdir.

Bekhet ve Othman (2018), Malezya için 1971-2015 periyodunda FMOLS-DOLS tahminlerini kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında sürdürülebilir kalkınmaya yönelik RES'in çevre kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Sonuçlar RES ile çevresel bozulma arasında ters N şeklinde bir ilişki ortaya çıkarmıştır. Bu bulgu, yenilenebilir enerjinin Malezya'daki çevresel bozulmayı azalttığı anlamına gelmektedir.

Jin ve Kim (2018), 30 ülke için 1990'dan 2014'e kadar olan dönemde FMOLS-DOLS tahminlerini kullanarak RES ile çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi araştıran bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Söz konusu çalışmanın sonuçlarına göre RES'lerin çevresel bozulmayı azaltıcı etkisi saptanırken; nükleer enerjinin çevresel bozulmaya neden olduğunu tespit etmişlerdir.

Bekun vd., (2019), 16 AB ülkesi için 1996-2014 gözlem aralığını baz alan dönemde MG-ARDL yöntemini kullanarak yenilenebilir enerji kaynakları (RES) ve yenilenemeyen enerji kaynakları (NRES) ile çevresel bozulma arasındaki bağlantıyı araştırmışlardır. Çalışmanın sonuçlarına göre NRES'lerin çevresel bozulmayı artırdığını, RES'lerin ise azalttığını ifade etmişlerdir.

Acheampong vd. (2019), 46 Sahra Altı Afrika ülkesi örneğinde 1980-2015 aralığını kapsayan dönem için Fixed ve Random Effect tahminlerini kullanarak RES'lerin çevre üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Elde edilen bulgulara göre RES'ler ve doğrudan yabancı yatırımlar çevresel bozulmayı azaltmaya yardımcı olurken; nüfus artışı ve finansallaşma çevresel bozulmanın artmasına neden olmaktadır.

Cheng vd. (2019), OECD ülkeleri için 2000'den 2013'e kadar olan dönemde OLS metodunu kullanarak ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji ve çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Ampirik sonuçlar, EKC hipotezinin yenilenebilir enerji tüketimi ve çevresel bozulma ile doğrulandığını ortaya koymuştur.

Charfeddine ve Kahia (2019), MENA bölgesindeki 1980'den 2015'e kadar olan dönem için VAR tekniğini kullanarak yenilenebilir enerji tüketiminin çevresel bozulma üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bulgular yenilenebilir enerjinin çevre kalitesi üzerindeki etkisinin oldukça düşük seviyede kaldığını ortaya koymuştur.

Chandio vd. (2020), Pakistan örneğinde 1997'den 2017'ye kadar olan dönem aralığı için FMOLS-DOLS ve ARDL metodlarını kullanarak elektrik tüketimi, doğrudan yabancı yatırım ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Bulgular yenilenebilir enerjinin çevre kirliliğini azaltmada ve de doğrudan yabancı yatırım çekmede daha başarılı olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Destek ve Sinha (2020), OECD ekonomileri için 1980'den 2014'e kadar olan dönemde Mean Group (MG), FMOLS-MG ve DOLS-MG tekniklerini kullanarak ticaret, yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kullanımının ekolojik ayak izi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sonuçlara göre yenilenebilir enerji tüketiminin çevresel kaliteyi artırdığı ve ekolojik ayak izini azalttığı saptanmıştır. Ayrıca yenilenemeyen enerji kullanımının çevre kalitesinin bozulmasında etkili olduğu vurgulanmıştır.

Wolde-rufael ve Weldemeskel (2020), BRICTS ülkeleri için 1993-2014 gözlem aralığında PMG-ARDL metodlarını kullanarak RES ile çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi araştıran bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen bulgulara göre RES çevresel bozulmayı azaltmaktadır.

Başka bir incelemede Koengkan ve Fuinhas (2020), MERCOSUR ülkeleri açısından 1980'den 2014'e kadar olan dönemde panel vektör otoregresyonu kullanarak yenilenebilir enerji tüketimi ile çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Sonuçlar, yenilenebilir enerji ve fosil yakıtların tüketimi arasında bir ikame edilebilirlik etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Dolayısıyla çalışmada bu ülkelerdeki çevresel hasarın hafifletilmesinde yenilenebilir enerji reformlarının etkili olduğu ifade edilmiştir.

3. Model, Veri ve Yöntem

Yenilenebilir enerjinin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisinin incelendiği bu çalışmada Türkiye için 2000-2020 dönem aralığı baz alınmıştır. Ampirik modele küresel hektar cinsinden kişi başına düşen ekolojik ayak izi, yenilenebilir enerji tüketiminin toplam enerji tüketimi içerisindeki yüzdelik payı, finansal gelişme endeksi, kişi başına düşen GSYİH ve çevre ile ilgili teknolojiler (toplam değeri) değişkenleri dahil edilmiştir. Çevre ile ilgili teknolojiler "stats.OECD" veri tabanından, ekolojik ayak izi "Global Footprint Network" veri tabanından, finansal gelişme endeksi "IMF" veri tabanından, GSYİH ve yenilenebilir enerji "World Development Indicators" veri tabanından elde edilmiş olup; oluşturulan ampirik model aşağıdaki gibidir:

$$EF_t = \beta_0 + \beta_1 \ln RE_t + \beta_2 \ln GDP_t + \beta_3 \ln FD_t + \beta_4 \ln TEC_t + \mu_t \quad (1)$$

1 numaralı denklemde yer alan EF, global hektar cinsinden ekolojik ayak izini; GDP, 2015 sabit fiyatları ile dolar cinsinden kişi başına düşen gayri safi yurtiçi hasılayı; RE, yenilenebilir enerji kaynakları tüketimini; FD, finansal gelişme endeksini; TEC çevre ile ilgili teknolojileri ve μ_t hata terimini ifade etmektedir. Ayrıca tüm değişkenler logaritmik formda kullanılmıştır. Çalışmada serilerin durağanlık durumu ADF birim kök testi ile araştırılmıştır. Değişkenler arasındaki eşbütünlüşme ilişkisinin araştırılması için ARDL sınır testi kullanılmıştır. Kısa ve uzun dönem katsayı tahmini ARDL katsayı tahmincisi ile yapılmıştır. Değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisi ise Toda-Yamamoto nedensellik testi ile araştırılmıştır.

4. Ampirik Analiz

Yenilenebilir enerji kaynaklarının ekolojik ayak izi üzerindeki etkisinin incelendiği bu çalışmada ilk olarak serilerin durağanlık durumu araştırılmıştır. Dickey ve Fuller (1981) tarafından geliştirilen ADF birim kök testi sonuçları, Tablo 1'de gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre serilerin düzey değerlerinde durağan olmadıkları ancak birinci fark değerlerinde durağan oldukları tespit edilmiştir.

Tablo 1. ADF Birim Kök Testi Sonuçları

Değişkenler	Sabit		Sabit ve Trend	
	Katsayı	Olasılık	Katsayı	Olasılık
lnEF	-0.9427	0.7525	-2.9995	0.1564
lnRE	-1.9991	0.2847	-2.1366	0.4961
lnGDP	-0.3992	0.8916	-3.0049	0.1562
lnFD	-2.4155	0.1508	-2.3254	0.8358
lnTEC	-1.4263	0.5488	-1.4236	0.8213
dlnEF	-8.1186	0.0000***	-3.7044	0.0505*
dlnRE	-4.6300	0.0021***	-5.3908	0.0022***
dlnGDP	-4.5004	0.0025***	-4.5063	0.0105**
dlnFD	-7.9642	0.0000***	-8.6860	0.0000***
dlnTEC	-3.7853	0.0110***	-3.8756	0.0346**

Not: (***),(**),(*) sırasıyla %1,%5,%10 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Serilerin durağanlık durumları tespit edildikten sonraki aşamada seriler arasındaki eşbütünlüşme ilişkisinin varlığının araştırılması gerekmektedir. Ancak bunun öncesinde ARDL modeli için uygun gecikme uzunluğunun seçilmesi gerekmektedir. Tablo 2'de yer alan LR (sequential modified LR test statistic), FPE (final prediction error) ardışık modifiye edilmiş LR test istatistiği ve SC (Schwarz information criterion) bilgi kriterlerine göre gecikme uzunluğunun 1 olarak seçilmesine karar verilmiştir.

Tablo 2. ARDL Modeli İçin Uygun Gecikme Uzunluğunun Belirlenmesi

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	66.93119	NA	1.02e-09	-6.519073	-6.270537	-6.477011
1	133.7180	91.39240*	1.40e-1*	-10.91768	-9.426460*	-10.66531
2	161.3837	23.29750	2.14e-11	-11.19829*	-8.464386	-10.73560*

Not: (*) optimal gecikme değerlerini ifade etmektedir.

Eşbütünleşme ilişkisinin varlığının araştırılması için ARDL sınır testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 3'te aktarılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde f-istatistiğinin tüm kritik değerlerin üzerinde olduğu ve dolayısıyla seriler arasında eşbütünleşme ilişkisinin olduğu saptanmıştır.

Tablo 3. ARDL Sınır Testi Sonuçları

Model	Gecikme Uzunlukları	f-istatistiği
$EF_t = f(RE_t, GDP_t, FD_t, TEC_t)$	(1, 1, 1, 0, 0)	8.79
Kritik Değerler	(I0)	(II)
%10	2.27	3.08
%5	2.57	3.49
%1	3.59	4.48

Not: (**),(**),(*) sırasıyla %1,%5,%10 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Seriler arasında eşbütünleşme ilişkisinin geçerliliği bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkilerinin araştırılmasına olanak tanımaktadır. Ancak söz konusu bu etkilerin araştırılmadan önce kurulan modelin teşhis testleri ile güvenilirliğinin test edilmesi gerekmektedir. Tablo 4'te yer alan teşhis testlerine göre; ARCH testi ile değişen varyans sorununun olmadığı, JB testi ile hata teriminin normal dağılım koşulunu sağladığı, Breusch-Godfrey (LM) testi otokorelasyon sorunun olmadığı, Ramsey-Reset testi modelde doğru fonksiyonel formun kullanıldığı, CUSUM ve CUSUMQ testleri parametrelerin istikrarlı olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4. ARDL Kısa ve Uzun Dönem Katsayı Tahmin Sonuçları

Bağımlı Değişken: EF	Katsayı	Olasılık
Kısa Dönem		
GDP	0.9086	0.0000***
FD	0.3999	0.0005***
RE	-0.1505	0.0054***
TEC	-0.0010	0.6809
CointEq(-1)	-0.9255	0.0000***
Uzun Dönem		
GDP	0.3456	0.0005***
FD	0.4231	0.0194**
RE	-0.3107	0.0050***
TEC	-0.0038	0.1976
Varsayım Testleri		
ARCH	0.0577	0.9441
JB	3.9114	0.1414
LM	1.9296	0.1956
RAMSEY	0.0669	0.8006
CUSUM	İstikrarlı	İstikrarlı
CUSUMQ	İstikrarlı	İstikrarlı

Not: (**),(**),(*) sırasıyla %1,%5,%10 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Kısa ve uzun dönem katsayı tahmin sonuçları birbirinden farklı olabilmektedir. Ancak asıl etkileşimin uzun dönemde gerçekleşmesinden ötürü en doğru bulguları uzun

dönem katsayı tahmin sonuçları vermektedir. Tablo 4'te yer alan ARDL kısa ve uzun dönem katsayı tahmin sonuçlarına göre reel gelir artışının her iki dönemde de ekolojik ayak izini artırdığı saptanmıştır. Buna göre, reel gelirden meydana gelen %1'lik bir artış ekolojik ayak izini kısa vadede %0.90 oranında artırmaktadır. Uzun vadede ise reel gelirdeki %1'lik bir artış ekolojik ayak izini %0.34 oranında artırmaktadır. Bu bulgu, yeni sanayileşen ülkelerden biri olan Türkiye'de gerçekleşen ekonomik büyüme faaliyetlerinin doğal kaynak kullanımını hızlandırmakta olduğunu işaret etmektedir. Bu durum ise ekolojik ayak izini artırırken; gezegenin biyolojik taşıma kapasitesini azaltmaktadır. Finansal gelişmenin de benzer şekilde hem kısa vadede hem de uzun vadede ekolojik ayak izini artırdığı tespit edilmiştir. Finansal genişlemedeki %1'lik bir artış kısa vadede ekolojik ayak izini %0.39 oranında artırmaktadır. Uzun vadede ise finansallaşmadaki %1'lik bir artış ekolojik ayak izini %0.42 artırmaktadır. Bu sonuç hane halklarının krediye erişimlerinin kolaylaştığını ve enerji yoğun ürünleri satın aldıklarını işaret etmektedir. Fosil yakıtların tüketilme nedenlerinden biri de enerji üretimi için kullanılmasıdır. Dolayısıyla enerji yoğun ürünlerin kullanılması karbon ayak izini artırdığı gibi ekolojik ayak izini de artırmaktadır. Çalışmanın ana odağını oluşturan RES'lerin ise hem kısa dönem hem de uzun dönem de beklenildiği üzere ekolojik ayak izini azalttığı sonucuna ulaşılmıştır. Kısa vadede RES'lerde meydana gelen %1'lik bir artışın ekolojik ayak izini %0.15 oranında azalttığı saptanmıştır. Uzun vadede ise RES'lerdeki %1'lik bir artış ekolojik ayak izini %0.31 oranında azaltmaktadır. Analiz sonucunda sürdürülebilir enerji kaynakları kullanımının çevresel bozulmaya yol açmadığını hatta çevresel bozulmayı azalttığı anlaşılmaktadır. Böylece söz konusu temiz enerji kaynakları bir yandan ekolojik ayak izini azaltırken; diğer yandan gezegenin biyolojik taşıma kapasitesini de artırmaktadır. Söz konusu bu bulgu, Destek ve Sinha (2020); Sahoo ve Sethi (2021); Ansari vd., (2021); Sharma vd.,(2021) çalışmalarıyla tutarlıdır. Çevresel teknolojilerin ise her iki dönemde de ekolojik ayak izine anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Çevre teknolojilerinin katsayısının negatif ancak istatistiksel olarak anlamsız olması, söz konusu bu teknolojilerin henüz yeterli seviyeye ulaşmadığı anlamına gelmektedir. Bu sonuç çevresel teknolojilerin çevresel bozulmayı azaltmasının ancak belirli bir eşik üzerinde olmasıyla mümkün olabileceğini göstermektedir. Son olarak, beklenildiği üzere hata düzeltme katsayısı negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Tablo 5. Toda-Yamamoto Nedensellik Testi Sonuçları

Sıfır Hipotezi	Wald İstatistiği	Olasılık	Nedensellik
FD→EF	4.692786	0.0303**	VAR
GDP→EF	4.330596	0.0374**	VAR
RE→EF	0.515850	0.4726	YOK
TEC→EF	0.295770	0.5865	YOK
EF→FD	0.128143	0.7204	YOK
GDP→FD	0.313354	0.5756	YOK
RE→FD	0.719080	0.3964	YOK
TEC→FD	0.831489	0.3618	YOK
EF→GDP	0.284522	0.5938	YOK
FD→GDP	0.921958	0.3370	YOK
RE→GDP	1.431057	0.2316	YOK
TEC→GDP	0.309137	0.5782	YOK
EF→RE	0.435801	0.5092	YOK
FD→RE	3.140362	0.0764*	VAR
GDP→RE	0.153837	0.6949	YOK
TEC→RE	0.814410	0.3668	YOK
EF→TEC	0.850182	0.3565	YOK
FD→TEC	0.315985	0.5740	YOK
GDP→TEC	3.869732	0.0492**	VAR
RE→TEC	0.238755	0.6251	YOK

Not: (**),(**),(*) sırasıyla %1,%5,%10 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Toda Yamamoto nedensellik testi serilerin hangi düzeyde entegre olduklarına bakılmaksızın daima düzey değerleri kullanılarak standart vektör otoregresif (VAR) modeli üzerinden kurulmaktadır. VAR modelinin gecikme uzunluğuna (k) maximum entegrasyon derecesi (d_{max}) eklenmektedir (Toda ve Yamamoto, 1995). LR (sequential modified LR test statistic), FPE (final prediction error) ardışık modifiye edilmiş LR test istatistiği ve SC (Schwarz information criterion) kriterlerine göre gecikme uzunluğunun 1 olarak seçilmesine karar verilmiştir. Serilerin tamamı I(1) oldukları için maximum entegrasyon derecesi ($d_{max}=1$) olarak belirlenmiştir. Daha sonra VAR modelindeki uygun gecikme uzunluklarına (Lag (k)=1) maximum bütünleşme derecesi (Lag (k+ d_{max})=1+1) eklenerek ilgili sonuçlar elde edilmiştir. Söz konusu testin hipotezleri aşağıdaki gibidir (Yılancı ve Özcan, 2010):

$$y_t = y_0 + \sum_{i=1}^{k+d_{max}} \alpha_{1i} y_{t-1} + \sum_{i=1}^{k+d_{max}} \beta_{1i} x_{t-1} + \varepsilon_{1t} \quad (2)$$

$$X_t = X_0 + \sum_{i=1}^{k+d_{max}} \alpha_{2i} y_{t-1} + \sum_{i=1}^{k+d_{max}} \beta_{2i} x_{t-1} + \varepsilon_{2t} \quad (3)$$

Denklem (2) için; $H_0 : \beta_{1i} = 0$ hipotezi, X değişkeni Y değişkeninin granger nedeni değildir.

Denklem (3) için; $H_1 : \beta_{1i} \neq 0$ hipotezi, X değişkeni Y değişkeninin granger nedenidir.

Nedensellik testleri katsayı tahmin sonuçlarını güçlendirmek için uygulanmaktadır. Tablo 5'te yer alan Toda Yamamoto nedensellik test sonuçlarına göre finansal gelişmeden ekolojik ayak izine tek yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu saptanmıştır. Reel gelir artışından ekolojik ayak izine tek yönlü nedensellik ilişkisinin varlığı tespit edilmiştir. Bu iki bulgu da kısa ve uzun dönem katsayı tahmin sonuçları ile tutarlıdır. Finansal genişlemeden RES'lere tek yönlü nedensellik ilişkisi olduğu raporlanmıştır. Reel gelirden çevresel teknolojilere nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. RES'ten ekolojik ayak izine herhangi bir nedensellik ilişkisine rastlanmamıştır. Söz konusu bu bulgu çalışmanın kısa ve uzun dönem bulgularını desteklemektedir.

5. Sonuç

Bu çalışmada gelişmekte olan ve yeni sanayileşen ülkeler arasında yer alan Türkiye için 2000-2020 yılları arası baz alınarak yenilenebilir enerjinin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Elde edilen bulgulara göre, GDP'deki artış ekolojik ayak izini artırmaktadır. Gelişmekte olan ülkeler enerji yoğun sektörlerle ekonomik büyüme faaliyetlerini gerçekleştirmektedir. Ekonomik büyüme faaliyetlerinin fosil yakıtlarla gerçekleştirilmesi ise çevresel bozulmaya yol açmaktadır. Özellikle yeni sanayileşen ülkelerde RES'lere yeterli yatırım yapılmadığı takdirde hem maliyet avantajından dolayı hem de erişilebilirliğinin görece daha kolay olmasından dolayı, bünyesinde yüksek karbon barındıran NRES kullanımının artmasına yol açtığı bilinmektedir.

Finansal genişlemenin de hem kısa vadede hem de uzun vadede ekolojik ayak izini artırdığı saptanmıştır. Bu bulgu, hem hane halklarının hem de sermaye sahiplerinin enerji yoğun ürünlere yöneldiği anlamını taşımaktadır.

Çalışmanın ana odak noktasını oluşturan RES'lerin ise ekolojik ayak izini azalttığı tespit edilmiştir. RES'lerin hem üretimi hem de tüketimi esnasında karbon emisyonu salınımına neden olmaması sayesinde gezegenin biyolojik taşıma kapasitesinin artmasına yardımcı olmaktadır. Bu bulgu, Destek ve Sinha (2020); Sahoo ve Sethi (2021); Ansari vd., (2021); Sharma vd., (2021) çalışmalarıyla uyum göstermektedir.

Çevresel teknolojilerin ise katsayısı negatif olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı değildir. Bu bulgu, çevresel teknolojilerin ekolojik ayak izi üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı anlamına gelmektedir. Aynı zamanda söz konusu bulgu çevresel teknolojilerin ekolojik ayak izini azaltabilmesi için belirli bir eşiğe ulaşması gerektiği anlamını taşımaktadır.

Elde edilen tüm bulgular genel olarak değerlendirildiğinde ekonomik büyüme faaliyetlerinin NRES yerine RES ile yapılması önerilmektedir. Bunun için RES'lere yeterli yatırımlar yapılarak NRES kullanımının önüne geçilmesi sağlanmalıdır. Kirlenici faaliyetlerde bulunanlar için gerekli cezai tedbirler uygulanmalıdır. Çevresel teknolojilerin belirli bir eşiğin üzerine çıkabilmesi için hem Ar-Ge çalışmaları hem de söz konusu teknolojilerin yaygınlaştırılması gerekli finansal desteklerle sağlanmalıdır. Sürdürülebilir enerjiler üretim ve tüketim faaliyetlerine entegre edilerek doğal kaynakların tüketilme hızı yavaşlatılmalıdır. Ayrıca hane halklarının enerji tasarruflu ürünlere yönelmeleri için gerekli teşviklerin sağlanması önerilmektedir.

Kaynakça

- Acheampong, A. O., Adams, S., & Boateng, E. (2019). Do globalization and renewable energy contribute to carbon emissions mitigation in Sub-Saharan Africa?. *Science of the Total Environment*, 677, 436-446.
- Al-Mulali, U., Saboori, B., & Ozturk, I. (2015). Investigating the environmental Kuznets curve hypothesis in Vietnam. *Energy policy*, 76, 123-131.
- Al-Mulali, U., Solarin, S. A., & Ozturk, I. (2016). Investigating the presence of the environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis in Kenya: an autoregressive distributed lag (ARDL) approach. *Natural Hazards*, 80, 1729-1747.
- Ansari, M. A., Haider, S., & Masood, T. (2021). Do renewable energy and globalization enhance ecological footprint: an analysis of top renewable energy countries?. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 6719-6732.
- Apergis, N., Payne, J. E., Menyah, K., & Wolde-Rufael, Y. (2010). On the causal dynamics between emissions, nuclear energy, renewable energy, and economic growth. *Ecological Economics*, 69(11), 2255-2260.
- Bekhet, H. A., & Othman, N. S. (2018). The role of renewable energy to validate dynamic interaction between CO2 emissions and GDP toward sustainable development in Malaysia. *Energy economics*, 72, 47-61.
- Bekun, F. V., Alola, A. A., & Sarkodie, S. A. (2019). Toward a sustainable environment: Nexus between CO2 emissions, resource rent, renewable and nonrenewable energy in 16-EU countries. *Science of the total Environment*, 657, 1023-1029.
- Cai, Y., Sam, C. Y., & Chang, T. (2018). Nexus between clean energy consumption, economic growth and CO2 emissions. *Journal of cleaner production*, 182, 1001-1011.
- Chandio, A. A., Jiang, Y., Ahmad, F., Akram, W., Ali, S., & Rauf, A. (2020). Investigating the long-run interaction between electricity consumption, foreign investment, and economic progress in Pakistan: evidence from VECM approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 25664-25674.
- Charfeddine, L., & Kahia, M. (2019). Impact of renewable energy consumption and financial development on CO2 emissions and economic growth in the MENA region: a panel vector autoregressive (PVAR) analysis. *Renewable energy*, 139, 198-213.
- Cheng, C., Ren, X., & Wang, Z. (2019). The impact of renewable energy and innovation on carbon emission: An empirical analysis for OECD countries. *Energy Procedia*, 158, 3506-3512.
- Chiu, C. L., & Chang, T. H. (2009). What proportion of renewable energy supplies is needed to initially mitigate CO2 emissions in OECD member countries?. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6-7), 1669-1674.
- de Souza, E. S., Freire, F. D. S., & Pires, J. (2018). Determinants of CO 2 emissions in the MERCOSUR: the role of economic growth, and renewable and non-renewable energy. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 20769-20781.
- 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.
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1981). Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 1057-1072.

Ellabban, O., Abu-Rub, H., & Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and sustainable energy reviews*, 39, 748-764.

Energy information Administration (2013) future world energy demand driven by trends in developing countries. Retrieved from <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=14011>

Jin, T., & Kim, J. (2018). What is better for mitigating carbon emissions–Renewable energy or nuclear energy? A panel data analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 464-471.

Khatami, F., & Goharian, E. (2022). Beyond Profitable Shifts to Green Energies, towards Energy Sustainability. *Sustainability*, 14(8), 4506.

Koengkan, M., & Fuinhas, J. A. (2020). Exploring the effect of the renewable energy transition on CO2 emissions of Latin American & Caribbean countries. *International Journal of Sustainable Energy*, 39(6), 515-538.

Raza, A., Habib, Y., & Hashmi, S. H. (2023). Impact of technological innovation and renewable energy on ecological footprint in G20 countries: The moderating role of institutional quality. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(42), 95376-95393.

Sahoo, M., & Sethi, N. (2021). The intermittent effects of renewable energy on ecological footprint: evidence from developing countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(40), 56401-56417.

Sharif, A., Baris-Tuzemen, O., Uzuner, G., Ozturk, I., & 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.

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.

Toda, H. Y., & Yamamoto, T. (1995). Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes. *Journal of econometrics*, 66(1-2), 225-250.

Wolde-Rufael, Y., & Weldemeskel, E. M. (2020). Environmental policy stringency, renewable energy consumption and CO2 emissions: Panel cointegration analysis for BRIICTS countries. *International Journal of Green Energy*, 17(10), 568-582.

Yılançı, V., & Özcan, B. (2010). Yapısal kırılmalar altında Türkiye için savunma harcamaları ile GSMH arasındaki ilişkinin analizi. *CÜ İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 11(1), 21-33.

Çıkar Çatışması: Yoktur

Finansal Destek: Yoktur

Etik Onay: Yoktur

Yazar Katkısı: Elif KOÇAK (%100)

Conflict of Interest: None

Funding: None

Ethical Approval: None

Author Contributions: Elif KOÇAK (100%)
