



ARAŞTIRMA MAKALESİ | RESEARCH ARTICLE

TÜRKİYE'DE ÇEVRESEL TEKNOLOJİK İNOVASYONLAR EKOLOJİK AYAK İZİNİ AZALTIYOR MU? ARDL SINIR TESTİ ANALİZİ

Bahar OĞUL

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İİBF

baharogul@yahoo.com

0000-0002-4335-9086

Atıf / Citation: Oğul, B. (2022). Türkiye'de çevresel teknolojik inovasyonlar ekolojik ayak izini azaltıyor mu? ARDL sınır testi analizi. *İnönü Üniversitesi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, (İNİJOSS), 11(2) 409-427

<https://doi.org/10.54282/inijoss.1116874>

Öz

Küreselleşmenin hızlanması; nüfus artışı, sanayileşme ve teknolojik gelişmeler ekonomik etkilerin yanı sıra çevresel etkilere de yol açmaktadır. Çevre sorunlarının geleceği tehdit altına almasıyla gerek ulusal gerek uluslararası önlemler ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu önlemler sonucunda sürdürülebilirlik kavramı ortaya çıkmıştır. Sürdürülebilirlik; ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan kaynak dağılımında etkinliğin gelecek nesiller için de sağlanması ve gelecek nesillerin günümüz imkanlarından faydalanmasını sağlamak anlamına gelmektedir. Çevresel tahribata yol açmadan büyümenin sağlanması ve sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleştirilmesi hedef edinilmektedir. Bunun için teknolojik gelişme ve inovasyon araçları gündeme gelmektedir. Çevresel sorunların artması sonucunda geleceğin tehdit altında olması ve ne tür önlemlerin alınması gerektiği bu alandaki çalışmaları artırmaktadır. Bu çalışmada 1990-2018 dönemine ait yıllık verilerle çevresel teknolojik inovasyonlar, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyümenin çevre kirliliği üzerindeki etkisi incelenmektedir. Çevresel teknolojik inovasyonların göstergesi olarak çevreyle ilgili patentlerin sayısı alınırken çevresel kirliliğin göstergesi olarak ekolojik ayak izi ölçümünden yararlanılmaktadır. Çevreye tahribatın en önemli göstergelerinden biri olan ekolojik ayak izi kavramı, kapsamlı bir şekilde çevresel kirliliği ölçmektedir. Ampirik analiz yönteminin kullanıldığı bu çalışmada değişkenler arasındaki eşbütünlük ilişkisi ARDL sınır testi ile sınanmaktadır. ARDL sınır testi sonucunda hem kısa hem de uzun dönemde çevresel teknolojik inovasyonlar ve yenilenebilir enerji tüketimindeki artışların ekolojik ayak izini azalttığı; fakat ekonomi büyümenin ekolojik ayak izini artırdığı bulgusuna ulaşılmaktadır. Çevre kalitesinin artırılması için çevresel teknolojik inovasyonların artırılması ve yenilenebilir enerji tüketiminin artırılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çevre kirliliği, Çevresel inovasyonlar, Yenilenebilir enerji tüketimi, ARDL sınır testi, Türkiye ekonomisi

DO ENVIRONMENTAL TECHNOLOGICAL INNOVATIONS REDUCE THE ECOLOGICAL FOOTPRINT IN TURKEY? ARDL BOUNDS TEST ANALYSIS

Abstract

The acceleration of globalization, population growth, industrialization and technological developments cause environmental effects as well as economic effects. As environmental problems threaten the future, both national and international measures have begun to emerge. As a result of these measures, the concept of sustainability has emerged. Sustainability means ensuring efficiency in resource distribution in terms of economic, social and environmental aspects for future generations and ensuring that future generations benefit from today's opportunities. It is aimed to achieve growth and sustainable development without causing environmental damage. For this, technological development and innovation tools come to the fore. In this study, the effects of environmental technological innovations, renewable energy consumption and economic growth on environmental pollution are examined with annual data for the period 1990-2018. While the number of patents related to the environment is taken as an indicator of environmental technological innovations, ecological footprint measurement is used as an indicator of environmental pollution. The concept of ecological footprint, which is one of the most important indicators of environmental damage, measures environmental pollution in a comprehensive way. In this study, in which the empirical analysis method is used, the cointegration relationship between the variables is tested with the ARDL bounds test. As a result of the ARDL bounds test, environmental technological innovations and increases in renewable energy consumption both in the short and long term reduce the ecological footprint; however, it is found that economic growth increases the ecological footprint. In order to increase environmental quality, it is recommended to increase environmental technological innovations and increase renewable energy consumption.

Keywords: Environmental pollution, Environmental innovations, Renewable energy consumption, ARDL bounds test, Turkish economy

GİRİŞ

1980'lerden günümüze dek ortaya çıkan bazı faaliyetlerin gerek ekonomik gerek çevresel etkileri bulunmaktadır. 1980-90'lı yıllarda hızlanan küreselleşme faaliyetleri, sanayileşme, nüfus artışı, kentleşme ve teknolojik gelişmeler sonucunda üretim ve tüketim faaliyetlerinin değişimi gerçekleşmiştir. Tüm bu sebepler çevresel kalite üzerinde de etkiler meydana getirmiştir. Çevresel sorunların artarak geleceği tehdit etmesi bu alandaki çalışmaları ve uluslararası önlemleri artırmıştır (Erden Özsoy ve Dinç, 2016: 36).

Ekonomik büyüme gerek bireysel gerek toplumsal refaha yol açtığı için ülke ekonomileri açısından önemli bir hedef olmaktadır. Fakat bu kavramın gerçekleştirilmesi noktasında refahın bir göstergesi olarak hasıla artışına odaklanılarak refah düzeyinin asgari unsurlara sahip olan bir çevre gerektirdiği çok dikkate alınmamaktadır. Oysa kaliteli bir çevrenin sunabileceği pek çok unsur göz ardı edilmektedir. Ekonomik büyüme isteği ise çevrenin fonksiyonlarını kısıtlamaktadır. Ekonomik büyüme için gerekli olan tüketim ve üretim artışı hem çevrenin sağladığı kaynakların miktarını azaltmakta hem de tüketim ve üretim faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan atıklar nedeniyle çevreye zarar vermektedir (Ulucak ve Erdem, 2017: 117). Çevreye zarar vermeden ekonomik büyümenin sağlanması, doğaya zarar vermeden ekonomik faaliyetlerin gerçekleştirilebilmesi ve gelecek nesillere doğayı temiz bırakmak için sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması gerekmektedir.

1972 yılında Stockholm İnsan Çevresi Konferansı'nda küresel anlamda ilk olarak ekonomik büyüme ve kalkınmayla ilişkilendirilen sürdürülebilirlik kavramı, sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde resmi olarak ilk kez 1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından yayımlanan "Ortak Geleceğimiz" (Brundtland Raporu) adlı raporda yer almıştır. Sürdürülebilirlik, bugünün ihtiyaçlarını gelecek nesillerin ihtiyaçlarından ödün vermeden karşılamak anlamına gelirken ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan kaynak dağılımında etkinliğin gelecek nesiller için de sağlanması ve gelecek nesillerin günümüz imkanlarından faydalanmasını sağlamaktır (Tosunoğlu, 2014: 138; Erden Özsoy ve Dinç, 2016: 36).

Çevresel tahribata yol açmadan büyümenin sağlanması ve sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleştirilmesi için teknolojik gelişme ve inovasyona yönelimin olup olmaması konusu tartışmalara yol açmaktadır. Schumpeter (1934)'te ekonomik kalkınmanın inovasyon tarafından yönlendirildiğini ifade ederken Romer (1986) içsel ekonomik büyüme modelinde araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) faaliyetlerinin, beşerî sermayenin ve teknik bilginin kullanımı ile teknolojik yeniliklerin ortaya çıkarılabileceğini ifade etmiştir. Teoride, Ar-Ge faaliyetlerindeki artışın teknolojik yenilikle beraber faktör verimliliği ve üretimde artışa yol açacağı fakat söz konusu teknolojik yeniliklerin çevreye olan etkisinin belirsiz olduğu da belirtilmiştir. Çevre-teknolojik inovasyonlar arasındaki ilişkinin belirsizliği bu alandaki çalışmaların yoğun bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamıştır. Teknolojik yenilik, üretim ya da üretim teknolojisindeki yeniliği, yeni fikirlerin ortaya çıkmasını, yeni patentlerin ve teknolojilerin geliştirilmesini ve tüm bunların uygulanmasını ifade etmektedir (Akyol ve Mete, 2021: 573-574). Çevresel inovasyonların ölçümü olarak Ar-Ge harcamaları, patent sayıları, inovasyon sayıları ve verimlilik değişimleri gibi unsurlar ele alınabilmektedir (Bal, 2019: 17).

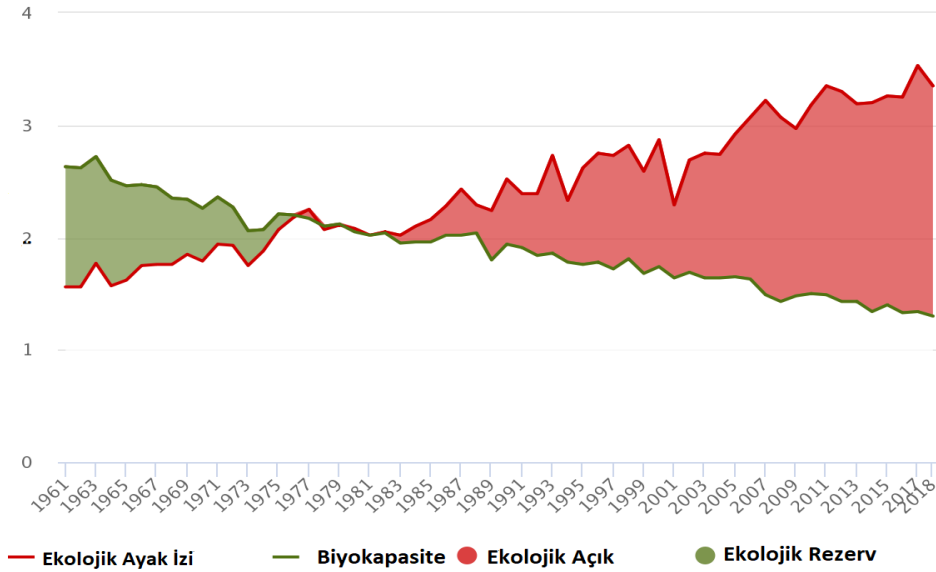
Çevreye tahribatın en önemli göstergelerinden biri ekolojik ayak izi kavramı, çevresel sorunlara yönelik bir değerlendirme ölçütü olarak ortaya çıkmıştır. Ekolojik ayak izi; bir bireyin, topluluğun veya faaliyetin mevcut teknoloji ve kaynak yönetimi uygulamalarını kullanarak tüketmiş olduğu bütün kaynakları üretmek ve üretilen bu atıkları bertaraf etmek için biyolojik olarak ne kadar verimli toprak ve su alanına ihtiyaç olduğunu ölçmektedir. Biyokapasite, ihtiyaç duyulan kaynakları üretme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Kişi başına düşen biyolojik kapasite ve kişi başına düşen ekolojik ayak izi farkı sonucunda rezerv veya açık ortaya çıkmaktadır (Küresel Ayak İzi Ağı, 2022). Bu ölçümler ortak bir hesaplama olarak küresel hektar üzerinden hesaplanmaktadır. Küresel hektar, dünyanın ortalama verimliliği üzerinden 1 hektar arazinin üretim kapasitesini temsil etmektedir (Türkiye'nin Ekolojik Ayak İzi Raporu, 2012: 6). Tüketim, üretim alanı ve nüfusun çarpımı ile ekolojik ayak izi ölçülmektedir.

Ekolojik ayak izi, doğanın arz ve talebini ölçen bir unsurdur. Ekolojik ayak izinin bileşimleri; karbon tutma ayak izi, orman ayak izi, tarım arazisi ayak izi, otlatma alanı ayak izi, yerleşme alanları ayak izi ile su ürünleri ve balıkçılık sahası ayak izi olarak meydana gelmektedir (TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, 2021). Ekolojik Ayak İzi, iklim değişikliğini başka bir deyişle çevresel faktörleri karbon emisyonlarını ölçmenin ötesinde kapsamlı bir şekilde ele alan bir değerlendirmedir. Hatta ekolojik ayak izinin önemli bir bileşimini karbon ayak izi oluşturmaktadır. İnsanlığın ekolojik açığının yarısından çoğunu oluşturan ve en hızlı büyüyen bileşimidir. Karbon ayak izi, bir faaliyet ya da kuruluş tarafından salınan karbon emisyonu olarak

bilinmektedir. 1961'den bu yana dek karbon ayak izi yaklaşık 11 kat artış göstermiştir. Bu durum ise gezegen için küresel bir önlem alınması gerektiğini göstermektedir (Küresel Ayak izi Ağı, 2022).

Yenilenebilir enerjiye geçiş, ülke ekonomileri açısından ekolojik ayak izini azaltmanın en güçlü yollarından biridir (Küresel Ayak izi Ağı, 2022). Yeşil ve alternatif enerji kaynakları (Güneş, rüzgar, biyoenerji vb.), enerji kaynaklarını dengeli kullanmak, enerji verimliliğini sağlamak gibi önlemler ekolojik ayak izini önleyebilmektedir (TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, 2021). Hatta yenilenebilir doğal kaynakların neden kullanılması gerektiği ve sonuçları ekolojik ayak izi raporlarında ortaya koyulmaktadır (WWF (Türkiye Doğal Hayatı Koruma Vakfı), 2022). Türkiye'de ilk kez WWF-Türkiye tarafından, Küresel Ayak İzi Ağı ile işbirliği içinde hazırlanmış olan Ekolojik Ayak İzi Raporu, çözüm önerileri sunarak sürdürülebilir kalkınma ve çevresel sürdürülebilirlik açısından hedefler ortaya koymaktadır (Türkiye'nin Ekolojik Ayak İzi Raporu, 2012: 4). Türkiye'ye ait olan ekolojik ayak izi, biyokapasite, ekolojik açık ve ekolojik rezerv verileri 1961-2018 dönemine ait verilerle gösterilmiştir.

**Şekil 1. Türkiye Ekonomisinde Ekolojik Ayak İzi ve Biyokapasite Verileri (1961-2018)
(Kişi Başına Küresel Hektar)**



Kaynak: Global Footprint Network, 2022.

Şekil 1 incelendiğinde Türkiye'nin ekolojik açığının 1980'li yılların ortasından sonra ortaya çıkmaya başladığı görülmüştür. Ekolojik rezervi ise 1980'lere kadar azalış gösterirken sonraki dönemlerde ortadan kalkmıştır. Ekolojik ayak izinin ise yine bu dönemlerde artış seyri izlediği fakat biyokapasitesinin azaldığı görülmektedir.

Bu çalışmada Türkiye ekonomisi açısından ekolojik ayak izi üzerinde etki yaratan ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji tüketimi ve çevreyle ilgili teknolojik inovasyonların etkisi 1990-2018 dönemine ait yıllık verilerle ele alınmaktadır. Çalışmanın özgünlüğü hem son dönemlerde çevresel

kirliliği daha geniş bir şekilde kapsayan ekolojik ayak izi değişkeninin kullanılması hem de son dönemlerde gittikçe önemi artan çevresel teknolojik inovasyonların ele alınmasıdır. Bu değişkenlerle ilgili sınırlı sayıda çalışma mevcut olup özellikle Türkiye ekonomisi açısından bu açığın kapatılması gerektiği düşünülmektedir. Çalışmadaki amaç literatürdeki bu açığı kapatmaktır. Çalışmanın ilk bölümünde çevresel inovasyonlarla çevre ilişkisine dair yapılmış olan bazı ampirik çalışmalara yer verilecektir. Ampirik analiz bölümünün ilk kısmında veri seti ve model tanıtılacaktır. İkinci kısmında yöntemle ilgili bilgiler sunularak üçüncü kısmında ampirik bulgulara yer verilecektir. Çalışma sonuç ve değerlendirme bölümü ile sonlandırılacaktır.

1. LİTERATÜR

Küreselleşme sürecinin artması, nüfus artışı, ülke ekonomilerindeki büyümeye yönelik atılan adımlar ve teknolojik yenilikler sonucunda dünya üzerinde pek çok değişimler meydana gelmiştir. Bu değişiklikler ekonomik faaliyetlerin yanı sıra çevresel faktörlerin üzerinde de etkilere sebep olmuştur. Bu durumun böyle devam etmesi sonucunda çevresel etmenlere yönelik adımlar atılmıştır. Gerek çevreyle ilgili teknolojik inovasyonlar gerek bu alana yönelik araştırma geliştirme faaliyetlerinin artışı bunlara örnek teşkil etmektedir. Çevresel faktörler kaynakların azalmasına sebep olduğu için bu yönde önlemler alınmıştır. Yenilenebilir enerji tüketimine yönelim de bu süreçte meydana gelmiştir. Ayrıca çevreye zarar vermeden ekonomik büyüme ve kalkınmanın sağlanması ülke ekonomileri açısından birer hedef haline gelmiştir. Çevresel inovasyonlar ve çevre ile ilgili çalışmaların sayısı da son zamanlarda artış göstermeye başlamıştır. Bu bölümde çevresel inovasyonlar ve çevre kirliliği ile ilgili alan yazında yer alan bazı ampirik çalışmalara değinilmiştir.

Tablo 1. Çevre Kirliliği ve Çevresel İnovasyonların İlişkisini İnceleyen Ampirik Çalışmalar

Yazar	Dönem	Ülke	Değişken	Yöntemler	Sonuç
Wang vd. (2012)	1997-2008	Çin	Enerji teknoloji patentleri, ekonomik büyüme ve CO ₂ emisyonları	Pedroni, Kao ve Fisher eşbütünleşme testleri ve Panel VECM	Karbonsuz enerji teknoloji patentlerinin artışı CO ₂ emisyonunu azaltmaktadır.
Zhou vd. (2013)	1995-2009	Çin	Toplam faktör verimliliği, teknoloji, endüstriyel yapının iyileştirilmesi ve optimizasyonu, kişi başına düşen gelir, nüfus, ticari açıklık, kentleşme, altyapı, yerel yönetimlerin ekonomik katılımı, ölçek verimliliği, teknik etkinlik, enerji ve CO ₂ emisyonu	Panel GMM	Çevresel erişim politikaları, endüstriyel yapının gelişimi ve enerji verimliliğindeki iyileştirmeler CO ₂ emisyonunu azaltmaktadır.
Zhao vd. (2013)	1980-2010	Çin	Teknolojik İnovasyonlar ve CO ₂ emisyonu	Granger nedensellik ve ARDL sınır testi	Teknolojik inovasyonlar CO ₂ emisyonlarını azaltmaktadır.
Ahmad vd. (2016)	1980-2010	24 Avrupa ülkesi	Ekonomik büyüme, teknoloji göstergesi olarak patent başvuruları, yenilenebilir enerji kaynağı olan biyomas ve CO ₂ emisyonu	ARDL üç modeli (PMG, MG ve DFE)	Teknolojik ilerlemeler CO ₂ emisyonunu azaltmaktadır. Uzun vadede ekonomik büyüme ile CO ₂ emisyonu arasında ters-U ilişkisi vardır.

Tablo 2. Çevre Kirliliği ve Çevresel İnovasyonların İlişkisini İnceleyen Ampirik Çalışmalar (Devamı)

Yii ve Geetha (2017)	1971-2013	Malezya	Ekonomik büyüme, elektrik tüketimi, enerji fiyatı, teknolojik inovasyon ve CO ₂ emisyonu	VECM ve TYDL Granger nedensellik	Teknolojik inovasyonlar CO ₂ emisyonunu azaltırken; kısa dönemde teknolojik inovasyonlar CO ₂ emisyonunun nedenidir.
Zhang vd. (2017)	2000-2013	Çin'de 30 eyalet	Ekonomik büyüme, enerji tüketimi, Ar-Ge harcamaları, patentler, teknolojik inovasyonlar, internet kullanımı, çevreyle ilgili kamu politikaları, kirlilik denetimi ve CO ₂ emisyonu	Panel regresyon	Pek çok çevresel yenilik önlemleri karbon emisyonunu azaltmaktadır.
Fernandez (2018)	1990-2013	15 Avrupa Birliği ülkesi, ABD ve Çin	Ar-Ge harcamaları, enerji tüketimi ve CO ₂ emisyonu	Panel regresyon	Ar-Ge harcamalarındaki artış CO ₂ emisyonunu azaltırken; enerji tüketimindeki artışlar ise artırmaktadır.
Dinda (2018)	1963-2010	ABD	Gelir, faydalı patentler (teknolojik ilerleme) ve CO ₂ emisyonu	Johansen-Juselius eşbütünleşme ve VECM	Artan gelir üretim teknolojisindeki ilerlemeyle birlikte CO ₂ emisyonunun artışını azaltmaktadır.
Mensah vd. (2018)	1990-2014	28 OECD ülkesi	Ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji tüketimi, yenilenemez enerji tüketimi, patent başvuruları, Ar-Ge harcamaları ve CO ₂ emisyonu	STIRPAT modeli ve ARDL	İnovasyonlar çoğu ülkede CO ₂ emisyonunu azaltırken; çoğu ülkede ekonomik büyüme CO ₂ emisyonunu artırmaktadır. Yenilenemez enerji tüketimi CO ₂ emisyonunu artırırken; yenilenebilir enerji tüketimi azaltmaktadır.

Tablo 3. Çevre Kirliliği ve Çevresel İnovasyonların İlişisini İnceleyen Ampirik Çalışmalar (Devamı)

Erdoğan vd. (2019)	1971-2017	14 adet G20 ülkesi (Arjantin, Fransa, Brezilya, Kanada, Japonya, Kore, Güney Afrika, Almanya, Hindistan, Endonezya, Meksika, Türkiye, UK ve ABD)	Ekonomik büyüme, enerji tüketimi, patent başvuru sayısı ve CO ₂ emisyonu	Westerlund ve Egerton (2008) Panel LM eşbütünleşme ve CCE ile AMG tahmincileri	Sanayi sektöründeki inovasyon artışları karbon emisyonunu azaltırken inşaat sektöründe ise artırmaktadır.
Hashmi ve Alam (2019)	1999-2014	OECD ülkeleri	Nüfus, gelir, çevreyle ilgili vergiler, çevresel patentler, çevresel olmayan patentler ve CO ₂ emisyonu	Panel regresyon analizi, Kao (1999), Pedroni (1999, 2004) ve Westerlund (2005) panel eşbütünleşme testleri, Dumitrescu ve Hurlin (2012) nedensellik testi ve STIRPAT modeli	Çevresel patent sayıları ve çevreyle ilgili vergiler karbon emisyonunu azaltmaktadır.
Gu vd. (2019)	2005-2016	Çin	Enerji tüketimi, enerji teknolojik ilerleme, kişi başına düşen gelir, doğrudan yabancı yatırımlar, ensütriyel yapı ve CO ₂ emisyonu	GMM yöntemleri	Enerji teknolojik ilerleme ve enerji tüketimi ile karbon emisyonu arasında ters-U ilişkisi vardır.
Dauda vd. (2021)	1990-2016	9 Afrika ülkesi	Ekonomik büyüme, toplam patent başvuruları, yenilenebilir enerji tüketimi, beşeri sermaye, ticari açıklık, kentleşme ve CO ₂ emisyonu	Johansen (1988) eşbütünleşme, Westerlund (2007) eşbütünleşme, panel GMM ve OLS	İnovasyon ve CO ₂ emisyonu arasında ters-U ilişkisi varken; yenilenebilir enerji tüketimi panel geneli için CO ₂ emisyonunu azaltmaktadır.

Tablo 4. Çevre Kirliliği ve Çevresel İnovasyonların İlişisini İnceleyen Ampirik Çalışmalar (Devamı)

Akyol ve Mete (2021)	2005-2018	OECD kurucusu 18 ülke (Türkiye, ABD, Yunanistan, Avusturya, Kanada, İtalya, İngiltere, İsveç, Fransa, Hollanda, Almanya, Belçika, İspanya, Danimarka, İrlanda, İsviçre, Norveç, Portekiz)	Çevresel inovasyon (iklim değişikliğini önleyici patent sayıları), enerji tüketimi, gelir ve CO ₂ emisyonu	Panel GMM	Çevresel inovasyonlar CO ₂ emisyonunu azaltırken; ekonomik büyüme ve enerji tüketimi artırmaktadır.
----------------------	-----------	---	---	-----------	--

Literatürde yer alan hem zaman serisi hem de panel çalışmalarında çeşitli göstergelerin CO₂ emisyonu üzerindeki etkisinin incelendiği görülmektedir. Elde edilen bulguların farklılık gösterdiği ve bunun dönem, ülke, yöntem veya değişkenlerden kaynaklı olduğu söylenebilmektedir. Özellikle çevre kirliliğinde önde olan ülke veya ülkelerin tercih edilmesi durumu dikkat çekmektedir. Çevresel inovasyonlar ve çevre ilişkisi ile ilgili çalışmalar incelendiğinde farklı göstergelerin kullanıldığı görülmektedir. Çevresel teknoloji ile ilgili olarak çeşitli patent başvuruları, Ar-Ge harcamaları, enerji teknoloji patentleri, verimlilik, teknolojik ilerleme göstergesi olarak faydalı patentler ve çevreyle ilgili patentlerin kullanıldığı görülmektedir. Ayrıca ele alınan çalışmalarda çevresel kirliliğin göstergesi olarak CO₂ emisyonunun kullanıldığı görülmektedir.

Alan yazındaki Wang vd. (2012); Zhao vd. (2013); Zhou vd. (2013); Ahmad vd. (2016); Yii ve Geetha (2017); Zhang vd. (2017); Fernandez (2018); Dinda (2018); Mensah vd. (2018); Hashmi ve Alam (2019); Akyol ve Mete (2021) çalışmalarında çevreyle ilgili ilerlemeler veya teknolojik gelişmelerdeki artışların CO₂ emisyonunu azalttığı görülmektedir. Gu vd. (2019) ile Dauda vd. (2021) çalışmalarında inovasyon ile CO₂ emisyonu arasında ters-U ilişkisinin olduğu görülmektedir. Mensah vd. (2018) ile Dauda vd. (2021) çalışmalarında yenilenebilir enerji tüketimindeki artışların CO₂ emisyonunu azalttığı görülmektedir. Ekonomik büyüme değişkeninin ise CO₂ emisyonu üzerinde genellikle artış yarattığı görülmektedir.

2. AMPİRİK ANALİZ

Bu bölümde çevresel teknolojik inovasyonların çevre kalitesi üzerindeki etkisi incelenmektedir. Öncelikle veri seti ve model tanıtılacaktır. Modelde yer alan değişkenlerin birim kök düzeyi sılandıktan sonra eşbütünlük ilişkisine ait bulgulara yer verilecektir.

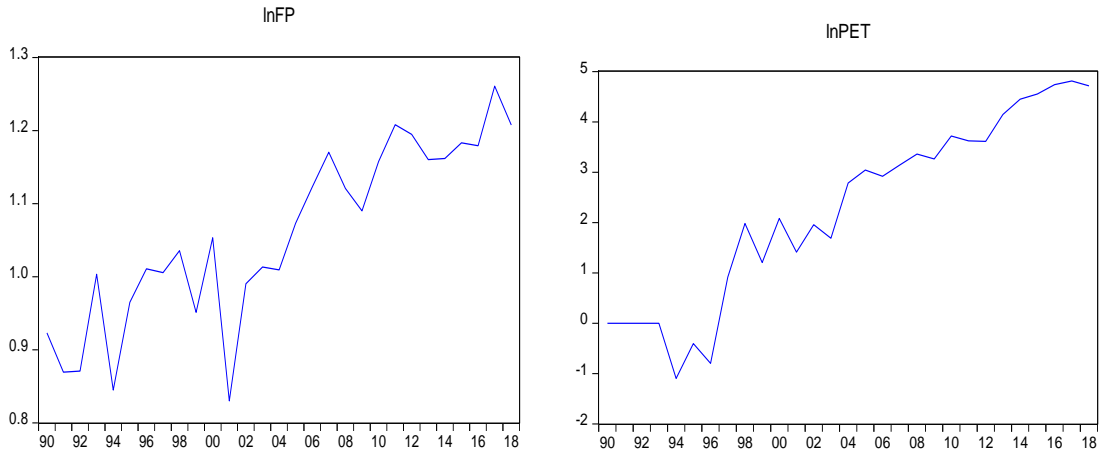
2.1. Veri Seti ve Model

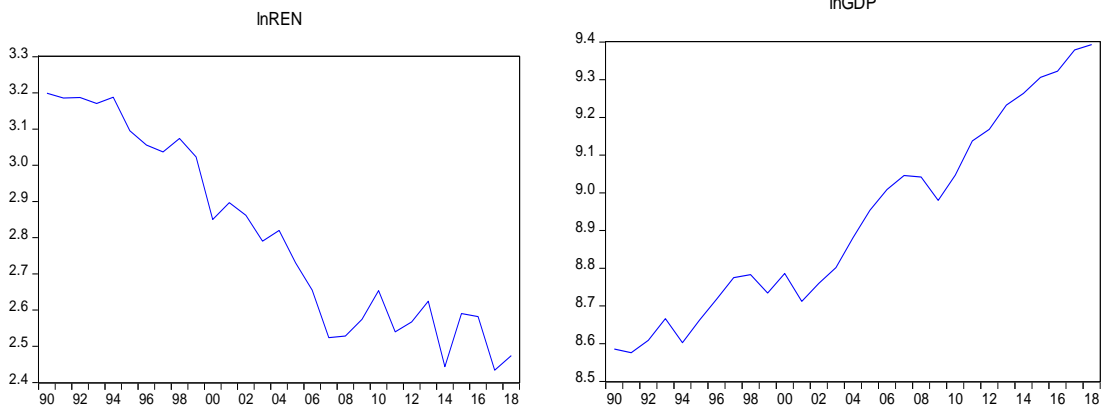
Bu çalışmada, Türkiye ekonomisi açısından kişi başına düşen gelir (2015 sabit fiyatlar US\$), yenilenebilir enerji tüketimi (toplam enerji tüketimi içindeki payı) ve çevreyle ilgili teknolojik inovasyonların (çevreyle ilgili teknolojik patentler) ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi 1990-2018 dönemine ait yıllık verilerle incelenmektedir. Kişi başına düşen gelir ve yenilenebilir enerji tüketimine Dünya Bankası (WDI) veri tabanından, çevreyle ilgili teknolojik inovasyonlara OECD veri tabanından ve ekolojik ayak izine Global Footprint Network veri tabanından erişilmiştir. Öncelikle değişkenler arasındaki ilişkiyi ampirik yöntemle ele almak için bir model oluşturulmuştur. Bu modelde değişkenlerin logaritmik dönüşümlerinden yararlanılmıştır.

$$\ln FP_t = a_0 + a_1 \ln PET_t + a_2 \ln REN_t + a_3 \ln GDP_t + \mu_t \quad (1)$$

Denklemden (1) yer alan $\ln FP_t$; Ekolojik ayak izinin logaritmik formunu, $\ln PET_t$; Çevreyle ilgili teknolojik patentlerin (inovasyonlar) logaritmik formunu, $\ln REN_t$; Yenilenebilir enerji tüketiminin logaritmik formunu, $\ln GDP_t$; Kişi başına düşen gelirin logaritmik formunu, a_0 ; Kesme terimini, a_1 , a_2 ve a_3 ; Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etki katsayısını ve μ_t ; hata terimini göstermektedir. Değişkenlere ait çizgi grafikleri Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 2. Değişkenlerin Çizgi Grafikleri





Şekil 2 incelendiğinde ekolojik ayak izi, çevresel teknolojik inovasyonların ve ekonomik büyümenin yıllar itibari ile artan bir seyir izlediği; fakat yenilenebilir enerji tüketiminin azalış trendinde olduğu görülmektedir.

2.2. Yöntem

Modeldeki serilerin birim kök düzeyini sınamak için Dickey ve Fuller (1979) tarafından geliştirilen Augmented Dickey Fuller (ADF) birim kök testinden faydalanılmıştır. Birim kök düzeyinin tespiti sonucunda değişkenlere zaman serisindeki ampirik yöntemlerin uygulanıp uygulanamayacağına karar verilmektedir. Ayrıca hangi testin uygulanabileceği de değişkenlerin birim kök düzeyine bakılarak belirlenmektedir.

Zaman serisi analizlerinde değişkenler arasındaki eşbütünlük ilişkisi çeşitli testlerle incelenebilmektedir. Fakat bu klasik eşbütünlük testlerinden olan Johansen- Juselius (1990) ve Engle-Granger (1987) eşbütünlük testleri hem sınırlı gözlem sayısına sahip olan örneklem durumlarında hem de aynı dereceden eşbütünlük değişkenlerin olması durumunda uygulanabilmektedir. Pesaran vd. (2001) tarafından geliştirilen ARDL sınır testinde ise bu kısıtlamalar söz konusu değildir. Küçük gözlem sayısına sahip örneklerde daha güvenilir sonuçlar veren bu testte, değişkenlerin aynı dereceden ya da farklı dereceden bütünlük olma şartı bulunmamaktadır. Teknik bir ifade ile değişkenlerin $I(0)$ - $I(0)$, $I(1)$ - $I(1)$ ya da $I(0)$ - $I(1)$ olduğu tüm durumlarda uygulanabilmektedir. Ancak değişkenlerin $I(2)$ olduğu durumlarda uygulanması mümkün değildir. Bu testte birim kök testlerinden yararlanılmasının sebebi de bu durumun tespit edilmesidir. ARDL sınır testinde gerek kısa gerek uzun dönem yorumu yapılabilirken katsayı yorumu da söz konusudur. Bu testte öncelikle değişkenler arasındaki eşbütünlük modeli kurulmaktadır.

$$\Delta \ln FP_t = a_0 + \sum_{j=1}^m a_j \Delta \ln FP_{t-j} + \sum_{j=0}^n \beta_j \Delta \ln PET_{t-j} + \sum_{j=0}^k \sigma_j \Delta \ln REN_{t-j} + \sum_{j=0}^l \theta_j \Delta \ln GDP_{t-j} + \gamma_1 \ln FP_{t-1} + \gamma_2 \ln PET_{t-1} + \gamma_3 \ln REN_{t-1} + \gamma_4 \ln GDP_{t-1} + \mu_t \quad (2)$$

Denklem (2)'de yer alan γ_1 , γ_2 , γ_3 ve γ_4 katsayıları uzun dönem; a_j , β_j , σ_j ve θ_j katsayıları kısa dönem etkilerini göstermektedir. Modelde uygun gecikme uzunlukları uygun bilgi kriterlerince tespit edilmektedir. Bu testte değişkenler arasındaki eşbütünlük ilişkisinin tespiti

hipotezlere göre karar verilmektedir. Sıfır hipotezinin reddedilememesi eşbütünleşme ilişkisinin olmadığını, reddedilmesi ise eşbütünleşme ilişkisinin olduğunu göstermektedir.

$$H_0 = \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = \gamma_4 = 0 \quad (3)$$

$$H_1 = \gamma_1 \neq \gamma_2 \neq \gamma_3 \neq \gamma_4 \neq 0 \quad (4)$$

Pesaran vd. (2001) tarafından belirlenmiş olan I(0) ile I(1) değerleriyle bulunan F istatistik değerinin karşılaştırılması yapılmaktadır. Hesaplanan F istatistik değerinin I(1) değerinden büyük olması halinde sıfır hipotezi reddedilmektedir. Başka bir ifadeyle modelde eşbütünleşme ilişkisi vardır şeklinde yorum yapılabilir. Hesaplanan F istatistik değerinin I(0) değerinden küçük olması halinde eşbütünleşme ilişkisinin olmadığını varsayan sıfır hipotezi kabul edilmektedir. F istatistik değerinin I(0) ve I(1) kritik değerler arasında olması halinde ise eşbütünleşme ilişkisiyle ilgili karar vermek için Banerjee vd. (1998)'e göre hata düzeltme terimi anlamlılığına bakılarak eşbütünleşme ilişkisinin olup olmadığına karar verilmektedir. Kısa dönem ilişkilerinin tespiti için hata düzeltme modeli oluşturulmaktadır.

$$\Delta \ln FP_t = a_0 + \sum_{j=1}^m a_j \Delta \ln FP_{t-j} + \sum_{j=0}^n \beta_j \Delta \ln PET_{t-j} + \sum_{j=0}^k \sigma_j \Delta \ln REN_{t-j} + \sum_{j=0}^l \theta_j \Delta \ln GDP_{t-j} + \varphi ECM_{t-1} + \mu_t \quad (5)$$

Modelde uzun dönemli ilişkisinin tespitinden sonra kısa dönemde meydana gelebilecek sapmaların ne kadar zamanda düzeltileceğini gösteren yani düzeltme katsayısını veren hata terimi φ katsayısıdır. Bu katsayının istatistiksel olarak anlamlı ve negatif olması beklenen bir durum olarak yorumlanmaktadır.

2.3. Bulgular

Dickey ve Fuller (1981) tarafından geliştirilen Genişletilmiş Dickey ve Fuller (ADF) birim kök testi, zaman serisi analizlerinde sıklıkla kullanılan bir testtir. Bu test, DF (1979) testinin daha yüksek dereceden otoregresif süreçlere uygulanabilmesi amacıyla modifiye edilmiş halini göstermektedir. Tablo 5'te ADF birim kök testinin sonuçları verilmiştir.

Tablo 5. ADF Birim Kök Testi

Değişkenler		<i>lnFP</i>	<i>lnPET</i>	<i>lnREN</i>	<i>lnGDP</i>
Sabitli	Düzy	-0.986879	-0.503447	-1.023164	0.402939
	Fark	-9.694194***	-7.175868***	-5.895503***	-5.421471***
Değişkenler		<i>lnFP</i>	<i>lnPET</i>	<i>lnREN</i>	<i>lnGDP</i>
Sabitli ve Trendli	Düzy	-5.315792***	-3.507641	-2.868748	-2.334681
	Fark	-9.477911***	-7.028407***	-5.891292***	-5.408709***

Not: "****" ifadesi %1 düzeyinde istatistiksel anlamlılığı göstermektedir. Birim kök testinde uygun gecikme uzunluğu Akaike Bilgi Kriterine göre seçilmiştir.

Tablo 5 incelendiğinde değişkenlerin düzeyde ve birinci farkında birim kök düzeylerinin sınıandığı görülmektedir. Tüm değişkenlerin hem sabitli hem de sabitli ve trendli modelde birinci farkında durağanlaştığı başka bir ifade ile I(1) olduğu bulgusu elde edilmiştir.

Değişkenlerin birim kök düzeyi ARDL sınır testinin uygulanabileceğini göstermektedir. Modelin optimum gecikme uzunluğu Akaike Bilgi Kriteri (AIC) göz önünde bulundurularak belirlenmektedir. Tablo 6'da F istatistik değerine göre eşbütünleşme ilişkisinin olup olmadığına karar verilmektedir.

Tablo 6. ARDL Sınır Testi Sonuçları

Model	k	F istatistiği	%5 Kritik Değerler		%1 Kritik Değerler	
			I(0)	I(1)	I(0)	I(1)
ARDL (4,4,4,4)	3	7.481454***	I(0)	I(1)	I(0)	I(1)
			3.23	4.35	4.29	5.61

Not: "****" ifadesi %1 düzeyinde istatistiksel anlamlılığı göstermektedir.

Tablo 6'ya göre F istatistik değerinin alt ve üst kritik değerlerden daha büyük olduğu görülmektedir. Bu durum değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisinin olduğunun bir kanıtı niteliğindedir.

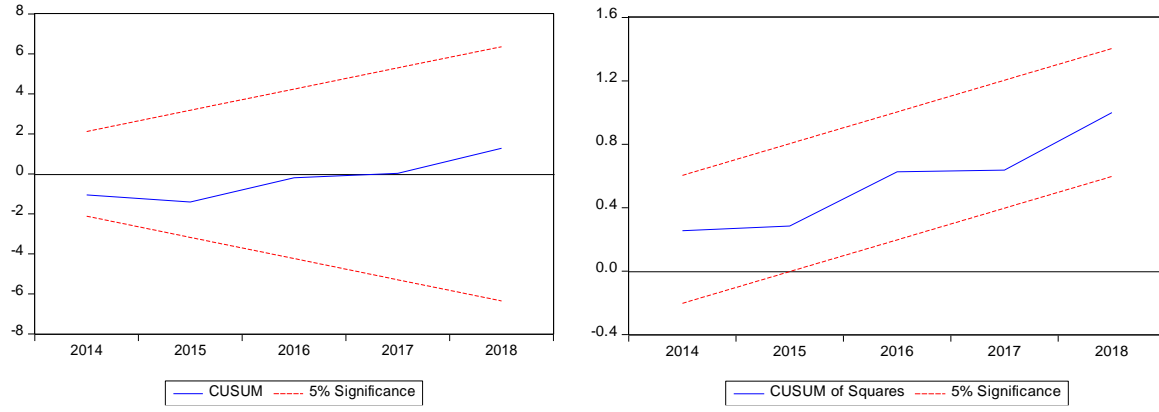
Eşbütünleşme ilişkisinin tespitinden sonra modelin uygunluğunu test eden tanısal (teşhis, diagnostik) testlere Tablo 7 ve Şekil 3'te yer verilmiştir.

Tablo 7. Tanısal Testlerin Sonuçları

Test	İstatistik	Olasılık
Ramsey RESET	1.896447	0.2405
Jargue-Bera Normallik	0.907449	0.635258
Breusch-Godfrey Seri Korelasyon LM	0.460325	0.6693
Heteroskedasticity: ARCH	0.063824	0.8029
Cusum	İstikrarlı	
Cusum of Squares	İstikrarlı	

Tablo 7'de yer alan tanısal testlere göre; modelin değişen varyans, otokorelasyon ile spesifikasyon sorunun olmadığı ve hata teriminin normal dağıldığı sonucuna ulaşılmaktadır.

Şekil 3. Cusum ve Cusum of Squares Testi



Şekil 3'te modelin istikrarlı olup olmadığı bulgusu elde edilmektedir. Brown vd. (1975) tarafından geliştirilen Cumulative Sum (CUSUM) ve Cumulative Sum of Squares (CUSUMQ) sonuçları modelin istikrarlı olduğunu göstermektedir.

Tablo 8 ve 9'da bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki kısa ve uzun dönem etkilerini gösteren ARDL sınır testine ait sonuçlar verilmektedir.

Tablo 8. ARDL Katsayı Tahmini Sonuçları

	Katsayı	Olasılık Değeri
Değişkenler	Uzun Dönem	
<i>lnPET</i>	-0.127090**	0.0102

Tablo 9. ARDL Katsayı Tahmini Sonuçları (Devamı)

<i>lnREN</i>	-0.641273***	0.0054
<i>lnGDP</i>	0.680539***	0.0076
Değişkenler	Kısa Dönem	
<i>D(lnPET)</i>	-0.082340***	0.0043
<i>D(lnREN)</i>	-0.196511*	0.0953
<i>D(lnGDP)</i>	1.311563***	0.0004
<i>ECM(-1)</i>	-1.363343***	0.0010

Not: "****" ifadesi %1, "***" ifadesi %5 ve "**" ifadesi %10 düzeyinde istatistiksel anlamlılığı göstermektedir.

Tablo 8 ve 9'da ARDL sınır testine göre kısa ve uzun dönem katsayı sonuçları verilmiştir. Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisi ARDL sınır testine göre hem kısa hem de uzun dönemde istatistiksel olarak anlamlıdır. ARDL uzun dönem sonuçlarına göre; çevresel teknolojik inovasyonların ve yenilenebilir enerji tüketiminin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi negatif iken ekonomik büyümenin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi pozitifdir. Uzun dönemde çevresel teknolojik inovasyonlarda meydana gelen %1'lik artış ekolojik ayak izini %0.12

azaltırken; yenilenebilir enerji tüketimindeki %1'lik artış ekolojik ayak izini %0.64 azaltmaktadır. Ekonomik büyümede meydana gelen %1'lik artış ise ekolojik ayak izini %0.68 artırmaktadır.

ARDL kısa dönem sonuçlarına göre; çevresel teknolojik inovasyonların ve yenilenebilir enerji tüketiminin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi negatif iken ekonomik büyümenin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi pozitiftir. Kısa dönemde çevresel teknolojik inovasyonlarda meydana gelen %1'lik artış ekolojik ayak izini %0.08 azaltırken yenilenebilir enerji tüketimindeki %1'lik artış ekolojik ayak izini %0.19 azaltmaktadır. Ekonomik büyümede meydana gelen %1'lik artış ise ekolojik ayak izini %1.31 artırmaktadır.

Tablo 9'da yer alan $ECM(-1)$ ise kısa dönemli bir sapmanın ne kadar sürede giderileceğini göstermektedir. Bu katsayının negatif ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir.

3. SONUÇ

Ekonomik faaliyetlerin ortaya çıkması sonucunda çevresel etkiler de görülmeye başlanmıştır. Çevresel etkiler göz ardı edilerek sadece refah artışının sağlanmaya çalışılması ise günümüzde bazı sorunları da beraberinde getirmiştir. İklim değişikliği ve hava ve su kirliliği gibi problemler nedeniyle küresel çapta olumsuzluklar meydana gelmiştir. Bu sorunu önlemek için stratejilere yönelim olmuştur. Bu çalışmada Türkiye ekonomisi açısından 1980-2018 dönemindeki çevresel inovasyonlar ve çevre kirliliği ilişkisi ele alınmıştır. Çevresel teknolojik inovasyonların göstergesi olarak çevreyle ilgili patentler ve çevresel kirlilik göstergesi olarak ise ekolojik ayak izi alınmıştır. Ekolojik ayak izi, çevresel kirliliği geniş bir şekilde kapsamaktadır. Çalışmada değişkenler arasındaki eşbütünlük ilişkisi ARDL sınır testi ile incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre hem kısa hem de uzun dönemde çevreyle ilgili teknolojik inovasyonlar ve yenilenebilir enerji tüketimindeki artışların ekolojik ayak izini azalttığı ve ekonomik büyümenin ise ekolojik ayak izini artırdığı görülmüştür. Çevresel teknolojiler ve yenilenebilir enerji tüketimi çevre kalitesinin azalmasını engellerken ekonomik büyüme çevre kalitesinin azalmasına yol açmaktadır.

Yenilenebilir enerji tüketimindeki artışlar ekolojik ayak izini görünse de toplam enerji tüketimi içinde yenilenebilir enerji tüketiminin payı hala çok düşüktür. Yenilenebilir enerji tüketiminin kullanımına yönelik adımların atılması gerekmektedir. Çevreye daha az zarar veren ve verimliliği yüksek olan enerji kaynaklarına yönelik eğilim gerçekleştirilmelidir. Bu enerjilerin kullanımının maliyeti düşürülmelidir. Teknolojik gelişmelerle birlikte ekolojik ayak izinin azalması, teknolojiye yönelik daha iyi adımların atılması gerektiğini göstermektedir. Özellikle son dönemlerde artan patent sayılarının artışı teşvik edilmelidir. Çevre teknolojileri ile ilgili Ar-Ge harcamaları artırılmalı ve inovasyonların sayısı yükseltilmelidir. Hem kamu hem de özel sektör yatırımlarının bu alanlara doğru dönüşümü sağlanmalıdır. Ekonomik büyüme ve kalkınmanın ekolojik ayak izini artırmaya karşılık ortak bir işbirliği içinde politikalar geliştirilmelidir. Düşük karbon emisyonu hedef alınarak çevre kirliliği minimize edilmelidir.

EXTENDED ABSTRACT

In this study, the effects of economic growth, renewable energy consumption and environmental technological innovations that have an impact on the ecological footprint of the

Turkish economy are discussed with annual data for the period 1990-2018. The originality of the study is both the use of the ecological footprint variable, which covers environmental pollution more broadly, and the handling of environmental technological innovations, which have recently become increasingly important. There are a limited number of studies on these variables, and it is thought that this gap should be closed, especially in terms of the Turkish economy. The aim of the study is to fill this gap in the literature. Many changes have occurred in the world as a result of the increase in the globalization process, population growth, steps taken towards growth in the country's economies and technological innovations. These changes have had effects on environmental factors as well as economic activities. As this situation continued, steps were taken to address environmental factors. Both technological innovations related to the environment and the increase in research and development activities in this field are examples of these. Since environmental factors cause a decrease in resources, measures have been taken in this direction. The trend towards renewable energy consumption has also occurred in this process. In addition, ensuring economic growth and development without harming the environment has become a target for national economies.

The number of environmental innovations and studies on the environment has also started to increase recently. In the literature, it has been observed that the effect of various indicators on CO₂ emissions has been examined in both time series and panel studies. When the studies on environmental innovations and the relationship between the environment are examined, it is seen that different indicators are used. It has been observed that various patent applications, R&D expenditures, energy technology patents, efficiency, utility patents as an indicator of technological progress, and environmental patents are used in relation to environmental technology. In addition, it has been observed that CO₂ emission is used as an indicator of environmental pollution in the studies discussed.

In this study, the effects of per capita income (2015 fixed prices US\$), renewable energy consumption (share in total energy consumption) and environmental technological innovations (environmentally related technological patents) on the ecological footprint of the Turkish economy are analyzed annually for the period 1990-2018 analyzed with data. Per capita income and renewable energy consumption were accessed from the World Bank Indicators (WDI) database, environmental technological innovations from the OECD database, and ecological footprint from the Global Footprint Network database. First of all, a model was created to deal with the relationship between the variables empirically. In this model, logarithmic transformations of the variables were used.

$$\ln FP_t = a_0 + a_1 \ln PET_t + a_2 \ln REN_t + a_3 \ln GDP_t + \mu_t$$

$\ln FP_t$ in equation; Logarithmic form of ecological footprint, $\ln PET_t$ Logarithmic form of environmental technological patents (innovations), $\ln REN_t$; Logarithmic form of renewable energy consumption, $\ln GDP_t$; Logarithmic form of income per capita, a_0 ; Cut off term, a_1 , a_2 and a_3 ; The effect coefficient of the independent variables on the dependent variable and μ_t ; indicates the error term. Augmented Dickey Fuller (ADF) unit root test developed by Dickey and Fuller (1979) was used to test the unit root level of the series in the model. The cointegration relationship between the variables was handled with the ARDL bounds test.

According to ARDL long-term results, while the effect of environmental technological innovations and renewable energy consumption on the ecological footprint is negative, the effect of economic growth on the ecological footprint is positive. While the 1% increase in environmental technological innovations in the long term reduces the ecological footprint by 0.12%, 1% increase in renewable energy consumption reduces the ecological footprint by 0.64%. The 1% increase in economic growth increases the ecological footprint by 0.68%. According to ARDL short-term results, while the effect of environmental technological innovations and renewable energy consumption on the ecological footprint is negative, the effect of economic growth on the ecological footprint is positive. In the short term, 1% increase in environmental technological innovations reduces the ecological footprint by 0.08%, while 1% increase in renewable energy consumption reduces the ecological footprint by 0.19%. The 1% increase in economic growth increases the ecological footprint by 1.31%. According to the findings, it has been seen that technological innovations related to the environment and increases in renewable energy consumption both in the short and long term reduce the ecological footprint, and economic growth increases the ecological footprint. While environmental technologies and renewable energy consumption prevent the decrease in environmental quality, economic growth leads to a decrease in environmental quality.

Çıkar Çatışması Bildirimi

Yazar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve yayımlanmasına ilişkin herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan etmemiştir.

Destek/Finansman Bilgileri

Yazar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve yayımlanması için herhangi bir finansal destek almamıştır.

Etik Beyan / Ethical Statement: Bu araştırma için etik kurul iznine ihtiyaç yoktur.

KAYNAKÇA

- Ahmed, A., Uddin, G. S., & Sohag, K. (2016). Biomass energy, technological progress and the Environmental Kuznets Curve: Evidence from selected European Countries. *Biomass and Bioenergy*, 90, 202-208.
- Akyol, M., & Mete, E. (2021). Çevresel teknolojik inovasyonların CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi: OECD ülkeleri örneği. *İstanbul İktisat Dergisi*, 71(2), 569-590.
- Bal, E. (2019). Çevresel inovasyon faaliyetlerinin işletmelerin uluslararası rekabetçiliğine etkisi: Marmara Bölgesi kimya sektörü örneği. [Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi].
- Banerjee, A., Dolado, J., & Mestre, R. (1998). Error-correction mechanism tests for cointegration in a single-equation framework. *Journal of Time Series Analysis*, 19(3), 267-283.
- Brown, R. L., Durbin, J., & Evans, J. M. (1975). Techniques for testing the constancy of regression relationships over time. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 37(2), 149-163.

- Dauda, L., Long, X., Mensah, C. N., Salman, M., Boamah, K. B., Ampon-Wireko, S., & Dogbe, C. S. K. (2021). Innovation, trade openness and CO₂ emissions in selected countries in Africa. *Journal of Cleaner Production*, 281, 125143.
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366), 427-431.
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1981). Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 49(4), 1057-1072.
- Dinda, S. (2018). Production technology and carbon emission: Long-Run relation with short-run dynamics. *Journal of Applied Economics*, 21(1), 106-121.
- Engle, R. F., & Granger, C. W. J. (1987). Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 55(2), 251-276.
- Erden Özsoy, C., & Dinç, A. (2016). Sürdürülebilir kalkınma ve ekolojik ayak izi. *Finans Politik ve Ekonomik Yorumlar*, 53(619), 35-55.
- Erdoğan, S., Yıldırım, S., Yıldırım, D. Ç., & Gedikli, A. (2019). *G20 ülkelerinde inovasyon ve CO₂ emisyonu*. S. Erdoğan ve diğerleri (Ed.), Uluslararası Enerji Ekonomi ve Güvenlik Kongresi (193-202).
- Fernández, Y. F., López, M. F., & Blanco, B. O. (2018). Innovation for sustainability: The impact of R&D spending on CO₂ emissions. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3459-3467.
- Global Footprint Network (Küresel Ayak İzi Ağı), (2022). <https://www.footprintnetwork.org/>
- Global Footprint Network (Küresel Ayak İzi Ağı), (2022). <https://www.footprintnetwork.org/our-work/climate-change/>
- Gu, W., Zhao, X., Yan, X., Wang, C., & Li, Q. (2019). Energy technological progress, energy consumption, and CO₂ emissions: Empirical evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, 236, 117666.
- Hashmi, R., & Alam, K. (2019). Dynamic relationship among environmental regulation, innovation, CO₂ emissions, population, and economic growth in OECD countries: A panel investigation. *Journal of Cleaner Production*, 231, 1100-1109.
- Johansen, S., & Juselius, K. (1990). Likelihood estimation and inference on cointegration-with applications to the demand for money. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 52(2), 169-210.
- Mensah, C. N., Long, X., Boamah, K. B., Bediako, I. A., Dauda, L., & Salman, M. (2018). The effect of innovation on CO₂ emissions of OCED countries from 1990 to 2014. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(29), 29678-29698.
- OECD (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü), (2022). <https://stats.oecd.org/>
- Pesaran, H. M., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289-326.
- Romer, P. (1986). Increasing returns and long-run growth. *Journal of Political Economy*, 94(5), 1002- 1037.
- Schumpeter, J. A. (1934). *The theory of economic development: An inquiry in to profits*. Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle.

- Tosunoğlu, B. (2015). Sürdürülebilir küresel refah göstergesi olarak ekolojik ayak izi. *Hak İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*, 3(5), 132-149.
- TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, Özlem Kılıç Ekici, 644.
https://bilimteknik.tubitak.gov.tr/sites/default/files/posterler/54x80_poster_dogadaki_ayak_izlerimiz_temmuz_2021.pro_1.pdf
- Türkiye'nin Ekolojik Ayak İzi Raporu (2012).
https://www.footprintnetwork.org/content/images/article_uploads/Turkey_Ecological_Footprint_Report_Turkish.pdf
- Ulucak, R., & Erdem, E. (2017). Ekonomik büyüme modellerinde çevre: Ekolojik ayak izini esas alan bir uygulama. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 35(4), 115-147.
- Wang, Z., Yang, Z., Zhang, Y., & Yin, J. (2012). Energy technology patents-CO₂ emissions nexus: An empirical analysis from China. *Energy Policy*, 42, 248-260.
- World Bank (WDI), (2022). <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators#>
- WWF (Türkiye Doğal Hayatı Koruma Vakfı), (2022).
<https://www.wwf.org.tr/?1412/turkiyeninekolojikayakizibilancosu>
- Yii, K. J., & Geetha, C. (2017). The nexus between technology innovation and CO₂ emissions in Malaysia: Evidence from Granger causality test. *Energy Procedia*, 105, 3118-3124.
- Zhang, Y. J., Peng, Y. L., Ma, C. Q., & Shen, B. (2017). Can environmental innovation facilitate carbon emissions reduction? Evidence from China. *Energy Policy*, 100, 18-28.
- Zhao, X., Ma, Q. & Yang, R. (2013). Factors influencing CO₂ emissions in china's power industry: Co-Integration analysis. *Energy Policy*, 57, 89-98.
- Zhou, X., Zhang, J., & Li, J. (2013). Industrial structural transformation and carbon dioxide emissions in China. *Energy Policy*, 57, 43-51.