



Teknolojik Yenilik, Doğal Kaynaklar ve Ekolojik Ayak İzi Arasındaki İlişki: Türkiye Örneği

Hasan Tahsin Yöyen¹

Öz

Bu çalışmanın amacı “Türkiye’de teknolojik yenilikler (TY) ve doğal kaynaklar (DK) ekolojik ayak izi (EA) üzerinde etkili midir?” sorusuna cevap vermektir. Araştırmada 1984-2019 dönemine ait yıllık veriler kullanılarak Toda-Yamamoto nedensellik testi uygulanmıştır. Literatürde genel itibarıyla TY’nin EA’yı azaltacağı, DK’nin ise EA’yı arttıracığı öne sürülmektedir. Ancak Türkiye özelinde gerçekleştirdiğimiz nedensellik analizi, her iki değişkenin de EA üzerinde doğrudan bir etkisi olmadığını ortaya koymaktadır. Araştırma bulguları Türkiye’de teknoloji politikalarının ve doğal kaynak gelirlerinin çevresel sürdürülebilirlik üzerinde belirgin bir rol oynamadığını göstermektedir. Çalışmanın diğer bulguları arasında, EA’nın TY’nin nedeni olduğu yer alır. Bu durum, artan çevresel baskının yeni teknolojilere yönelik yatırımları teşvik ettiği şeklinde yorumlanabilir. Çalışmanın sonuçları literatürdeki TY’nin EA üzerinde etkisiz olduğuna yönelik bulguları desteklerken, DK’nin EA’yı etkilemediği sonucuyla Türkiye özelinde yeni bir katkı sunmaktadır. Söz konusu çıktılardan hareketle Türkiye’nin çevresel sürdürülebilirlik politikalarında yenilenebilir enerji, enerji verimliliği ve atık yönetimi gibi alanlara odaklanması, teknolojinin bu alanlardaki faydalarını arttırmaya yönelik politikalar izlemesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Teknolojik Yenilik, Doğal Kaynaklar, Ekolojik Ayak İzi, Nedensellik Analizi

JEL Kodları: Q55, Q56, Q32

The Nexus Among Technological Innovation, Natural Resources and Ecological Footprint: The Case of Türkiye

Abstract

The aim of this study is to answer the question: ‘Are technological innovations (TI) and natural resources (NR) effective on ecological footprint (EF) in Türkiye?’. In the study, the Toda-Yamamoto causality test was applied using annual data for the period 1984-2019. The literature generally suggests that TI decreases EF, while NR increases EF. However, our causality analysis for Türkiye reveals that neither variable has a direct effect on EF. The findings suggest that technology policies and natural resource revenues do not play a significant role in environmental sustainability in Türkiye. Another finding is that EF is the cause of TI. This can be interpreted as increasing environmental pressure encouraging investments in new technologies. While the results of the study support the findings in the literature that TI has no effect on EF, they provide a novel contribution specific to Türkiye, concluding that NR does not affect EF. Based on these findings, it is recommended that Türkiye focus on renewable energy, energy efficiency, and waste management in its environmental sustainability policies and adopt strategies aimed at maximizing the environmental benefits of technology.

Keywords: Technological Innovation, Natural Resources, Ecological Footprint, Causality Analysis

JEL Codes: Q55, Q56, Q3

¹ Öğr. Gör. Dr., Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Kazım Karabekir Meslek Yüksekokulu, Sosyal Hizmet ve Danışmanlık Bölümü, htahsinyoyen@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1019-0453

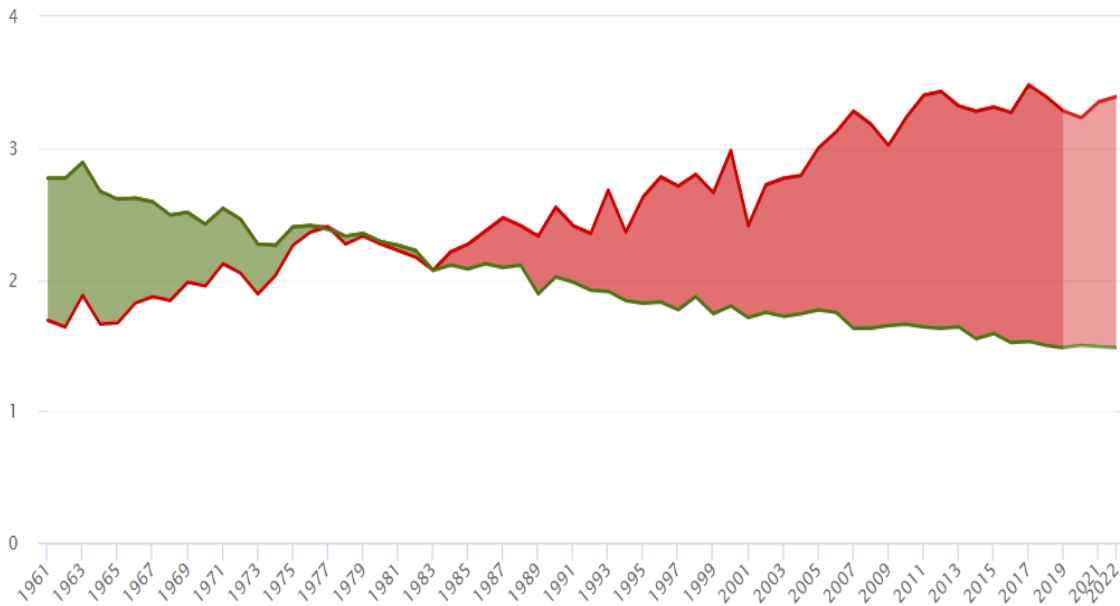
Giriş

Küresel ısınma ve iklim krizi son yılların en çok tartışılan çevre konularıdır. Geçmişte baktığımızda, özellikle sanayi devriminin ardından üretimde ve tüketimde büyük bir artış yaşanmıştır. Bununla birlikte yaşanan hızlı nüfus artışı ve kentleşme gibi etmenler insan faaliyetleri sonucunda çevreye verilen zararın git gide daha da büyümesine yol açmıştır. 1972 yılında Stockholm’de gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler Çevre Konferansı’ndan 2023’te Birleşik Arap Emirlikleri’nde düzenlenen BM İklim Değişikliği Konferansı’na kadar çevre sorunları küresel çapta tartışılmıştır ve tartışılmaya da devam etmektedir (United Nations, 1972; UN, 2024). Nitekim 2024 yılı sonunda yeni bir iklim değişikliği konferansının yapılması planlanmaktadır.

1980’lerin sonlarına doğru ilk defa BM Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu’nun “Ortak Geleceğimiz” raporunun tanımladığı “sürdürülebilir kalkınma” bugün dünyadaki her ülke için bir gerekliliktir. Zira gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarına karşılama yeteneklerine zarar vermeden kalkınmayı ifade eden bu anlayışın hayata geçirilmemesi durumunda sadece sosyal ve ekonomik yapıların değil insan hayatının tehlike altında olduğu açıktır (World Commission on Environment and Development, 1987).

Küresel ısınma ve iklim krizinin etkilerinden kurtulmanın bir başka deyişle sürdürülebilirliği sağlamanın yolu ekolojik ayak izini (EA) azaltmaktan geçmektedir. Eğer insanın doğada bıraktığı bu “kirli izler” azaltılabilir, dünyanın kendi kendine temizleyebileceği seviyelere düşürülebilirse, söz konusu krizlerden kaçınmak ve refah seviyesini korumak mümkün olur. EA insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki etkisini ölçen bir göstergedir. Basit bir tanımlamayla insanların tükettiği kaynakları tekrar üretmek ve çevreye saldırdığı atıkları temizleyebilmek için ne kadar toprak ve su gerektiğidir. Bu miktar küresel hektar cinsinden hesaplanır (Noordwijk vd., 2022; 2). Aşağıdaki şekil 1, Türkiye’de EA’nın 1960’lardan 2022’ye seyrini göstermektedir.

Şekil 1: Türkiye’de Ekolojik Ayak İzi ve Biyokapasite



Kaynak: data.footprintnetwork.org. 2020, 2021 ve 2022 yılı verileri tahminlerden oluşur.

Şekil 1'deki kırmızı çizgi EA'yı, yeşil çizgi ise biyokapasiteyi göstermektedir. 1983 yılı itibarıyla bu iki değişken aynı değerleri almış ve eşitlenmiş, bu yıldan sonra EA, biyokapasiteyi aşmıştır. Bu durumda doğal kaynakların kendini yenilemesi ve çevreye salınan atıkların temizlenmesi mümkün olmaz. Dolayısıyla şekil 1 sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için ekolojik aşırılığın ortadan kaldırılması, yani EA'nın düşürülmesi gerekliliğini gözler önüne sermektedir.

Bu minvalde bu çalışma Türkiye'de teknolojik yenilikler (TY) ve doğal kaynakların (DK) EA üzerindeki etkisini inceler. Çalışmanın temel motivasyonu Türkiye için çevresel sürdürülebilirlik bağlamında TY değişkenini ele alan sınırlı sayıda çalışma olmasıdır. Benzer şekilde DK değişkenini ele alan çalışmaya ise rastlanmamıştır. Diğer taraftan genel itibarıyla TY'nin çeşitli kanallarla EA'yı azaltacağı, DK'nin ise arttıracığı beklentisi, Türkiye'de bu iki faktörün EA üzerinde etkili olup olmadığı sorusuna cevap aramaya teşvik etmiştir. Araştırmanın bu soruya verdiği cevabın Türkiye'de TY ve DK'nin çevresel sürdürülebilirlikteki rolüne dair literatüre katkı yapması beklenmektedir.

1. Literatür

Bu başlık altında TY ve/veya DK'yi bağımsız değişken olarak kullanmış çalışmalardan örnekler sıralanmıştır. Literatürde Türkiye'de EA'yı/karbondioksit emisyonunu (CO₂) bağımlı değişken olarak ele alan çalışmalarda TY değişkeninin sınırlı düzeyde kullanıldığı, DK değişkeninin kullanımına ise rastlanmadığı söylenebilir. Diğer taraftan farklı ülkeler üzerinden söz konusu değişkenleri ele alan çok sayıda çalışma vardır.

Çalışmaların genel itibarıyla geçtiğimiz birkaç yıl içinde yayınlandığı görülmektedir. TY'nin bağımsız değişken olarak ele alındığı Türkiye özelindeki araştırmalarda TY'ye ek olarak finansal gelişme (FG), kentleşme, yenilenebilir enerji (YE) ve ekonomik büyüme (EB) rakamlarını da bağımsız değişken olarak kullanmışlardır. Bazı çalışmaların çevresel bozulmayı EA üzerinden değil CO₂ ile değerlendirdiği, bazı çalışmaların da TY'yi yalnızca çevresel teknolojiler (ÇT) üzerinden ele aldığı görülür. Diğer ülkeleri konu edinen çalışmalarda ise TY ve/veya DK'ye ek olarak YE, EB, ticari açıklık, küreselleşme, beşeri sermaye, nüfus yoğunluğu, ekonomik yapı, yaşam beklentisi, yenilenemeyen enerji, FG ve enerji tüketimi gibi değişkenlerin de bağımsız değişken olarak modelde yer aldığı görülmektedir.

Ahmad vd. (2020) yürüttükleri çalışmada 1984-2016 döneminde gelişmekte olan ülkelerde DK, TY ve EB'nin EA üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre uzun vadede DK ve EB, EA'yı arttırırken TY azaltmaktadır. Ayrıca DK, TY ve EB ile EA arasında çift yönlü nedensellik tespit edilmiştir.

Danish vd. (2020) 1992-2016 döneminde BRICS ülkelerinde DK, YE, EB ve kentleşmenin EA üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre DK, YE ve kentleşme EA'yı azaltmaktadır. Ayrıca DK, YE ve EB ile EA arasında çift yönlü nedensellik vardır.

Akyol ve Mete (2021) araştırmalarında 18 OECD üyesi ülkede 2005-2018 dönemi için ÇT'nin CO₂ üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Enerji tüketimi ve EB de modelde bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. Analiz sonuçları ÇT'nin CO₂'yi azalttığını göstermektedir. Enerji tüketimi ve EB ise CO₂'yi arttırmaktadır.

Chunling vd. (2021) 1992-2018 döneminde Pakistan’da TY, EB, ticari açıklık ve enerji sektöründeki kamu-özel sektör ortak yatırımlarının EA üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Analiz sonuçları tüm bağımsız değişkenlerle EA arasında uzun dönemli bir ilişki olduğunu göstermektedir. TY, EB, kamu-özel sektör ortak yatırımları ve ticari açıklık EA’yı arttırmaktadır.

Destek ve Manga (2021) 1995-2016 döneminde büyük yükselen piyasa ekonomilerinde (aralarında Türkiye’nin de yer aldığı 10 ülke) TY, FG, YE ve yenilenemeyen enerjinin EA ve CO₂ üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmanın bulguları TY’nin CO₂’yi azalttığını ancak EA üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir. FG ise hem CO₂ hem de EA’yı arttırmaktadır.

Khimbo vd. (2021) çalışmalarında 1990-2017 döneminde Batı Asya ve Orta Doğu ülkelerinde TY, FG, EB ve kentleşmenin EA üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Analiz sonuçlarına göre TY’deki artış EA’yı azaltırken FD’deki artışlar ve kentleşme EA’yı arttırmaktadır. Ayrıca FG’den EA’ya doğru tek yönlü, TY ve EA arasında ise çift yönlü nedensellik vardır.

Nathaniel vd. (2021) BRICS ülkelerinde DK, YE, EB ve beşeri sermayenin EA üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Elde edilen bulgular DK ve EB’nin EA’yı arttırdığını, YE’nin ise azalttığını göstermektedir. Beşeri sermaye ise EA’yı azaltacak seviyede değildir.

Usman ve Hammar (2021) 1990-2017 döneminde Asya Pasifik Ekonomik İşbirliği ülkelerinde TY, YE, FG, EB ve nüfusun EA üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmanın sonuçları FG ve YE’nin EA’yı azalttığını göstermektedir. Ancak TY, EB ve nüfus uzun vadede EA’yı artırır. Ayrıca tüm değişkenlerle EA arasında çift yönlü nedensellik olduğu tespit edilmiştir.

Zeraibi vd. (2021) çalışmada 1985-2016 döneminde Endonezya, Malezya, Filipinler, Tayland ve Vietnam’dan oluşan 5 Güney Doğu Asya ülkesinde yenilenebilir elektrik üretim kapasitesi, TY, FG ve EB’nin EA üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Analiz sonuçları yenilenebilir elektrik üretimi ve TY’deki artışların EA’yı azalttığını, FG ve EB’deki artışların ise EA’yı arttırdığını göstermektedir.

Awosusi vd. (2022) 1992-2018 döneminde BRICS ülkelerinde DK, EB, küreselleşme ve biyokütle enerjisinin EA üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Analiz sonuçları biyokütle enerjisi kullanımı ve küreselleşmenin EA’yı azalttığını göstermektedir. Diğer taraftan DK ve EB, EA’yı artırır.

Guan vd. (2022) 1995-2019 döneminde G-10 ülkelerinde uluslararası turizm, küreselleşme, TY ve EB’nin EA üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Analiz sonuçlarına göre turizm, küreselleşme ve EB, EA’yı arttırmaktadır. Diğer taraftan TY’nin EA’yı azalttığı sonucu elde edilmiştir.

Gupta vd. (2022) çalışmalarında 1990-2016 döneminde Bangladeş’te DK, EB, TY, kentleşme, nüfus yoğunluğu ve enerji tüketiminin EA ve hava kalitesi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Elde edilen bulgular kentleşme, nüfus yoğunluğu ve enerji tüketiminin EA’yı arttırdığını, TY ve DK’nin ise azalttığını göstermektedir.

Jahanger vd. (2022) çalışmalarında 1990-2016 döneminde 73 gelişmekte olan ülkede DK, TY, küreselleşme, beşeri sermaye, EB ve FG'nin EA üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre DK'deki artışlar EA'yı önemli ölçüde arttırmaktadır. Aksine TY'deki artışlar ise EA'yı azaltmaktadır. Ayrıca TY ve DK etkileşiminin doğal kaynakların tüketilmesi yoluyla yaşanan çevresel bozulmanın azaltılmasına yardımcı olduğu söylenebilir.

Oğul (2022) çalışmasında 1990-2018 döneminde ÇT, YE ve EB'nin EA üzerindeki etkisi incelenmiştir. ARDL sınır testinin sonuçlarına göre hem kısa hem de uzun dönemde ÇT ve YE, EA'yı azaltırken EB arttırmaktadır.

Rout vd. (2022) 1990-2018 döneminde BRICS ülkelerinde TY, YE, FG, EB, nüfus yoğunluğu, yenilenemez enerji ve teknolojik yayılımın EA üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Analiz sonuçları teknolojik yayılım ve yenilenemez enerji tüketiminin EA'yı arttırdığını, TY ve YE'nin ise azalttığını göstermektedir.

Sahoo ve Sethi (2022) 1990-2017 döneminde yeni sanayileşen ülkelerde kentleşme, ekonomik yapı, TY, EB, nüfus yoğunluğu, yaşam beklentisi ve enerji tüketiminin EA üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışmada elde ettikleri sonuçlara göre sanayileşme, kentleşme, nüfus yoğunluğu, yaşam beklentisi, EB ve enerji tüketimi EA'yı arttırmaktadır. Diğer taraftan hizmet sektörünün büyümesi EA'yı azaltır.

Sanatçı Aktaş ve Bilgili (2022) çalışmalarında 1994-2017 döneminde G-20 ülkelerinde ÇT (çevre ile ilgili kamu are-ge bütçesi), YE ve EB'nin EA üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Analiz sonuçlarına göre ÇT'nin EA üzerinde bir etkisi yoktur. Diğer taraftan YE'deki artışlar ise EA'yı azaltmaktadır.

Barak ve Koçoğlu (2023) çalışmalarında 1995-2018 döneminde 30 OECD üyesi ülkede ÇT, EB, YE ve enerji tüketiminin CO₂ üzerindeki etkisini araştırmıştır. Elde edilen sonuçlar ÇT ve YE'nin CO₂'yi azalttığını, enerji tüketiminin ise arttırdığını göstermektedir.

Bashir vd. (2023) 1990-2018 döneminde yeni sanayileşen ülkelerde kömür enerjisi, jeotermal enerji, ekonomik karmaşıklık, TY ve EB'nin EA üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Analiz sonuçları kömür enerjisi ve EB'nin hem kısa hem de uzun dönemde EA'yı arttırdığını göstermektedir. Diğer taraftan TY, ekonomik karmaşıklık ve jeotermal enerji ise EA'yı azaltmaktadır. Ayrıca jeotermal enerji, kömür enerjisi, ekonomik karmaşıklık ve TY, EA'nın Granger nedenidir.

Gültekin (2023) araştırmada 1980-2020 döneminde TY, FG ve EB'nin CO₂ üzerindeki etkisi incelenmiştir. ARDL modeli sonuçlarına göre FG ve EB, CO₂'yi arttırırken TY azaltmaktadır. Ayrıca FG ile CO₂ arasında çift yönlü nedensellik vardır. EB ve TY'den CO₂'ye tek yönlü nedensellik vardır.

Özarslan Doğan (2023) çalışmasında 1985-2020 döneminde TY, FG ve EB'nin EA üzerindeki etkisini ARDL sınır testi ve FMOLS tahmincisi ile araştırmıştır. Elde edilen bulgulara göre hem FG hem TY hem de EB'deki artışlar EA'yı arttırmaktadır.

Tekbaş ve Yıldırım (2023) araştırmalarında 2000-2019 döneminde gelişmekte olan 13 ülke için TY (ar-ge harcamaları), EB, YE ve ticari açıklığın CO₂ üzerindeki etkisini

incelemişlerdir. Analiz sonuçları ülkelere göre farklılık göstermektedir. Türkiye’de TY, CO₂’yi arttırmaktadır.

Akgün ve Özmerdivanlı (2024) analizlerinde E-7 ülkelerinde 1990-2019 döneminde TY, FG, YE, EB ve yenilenemeyen enerjinin EA üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Panel AMG tahmincisinin panel düzeyinde bulgularına göre YE, EB ve yenilenemeyen enerji EA’yı arttırmakta diğer değişkenler ise EA’yı etkilememektedir. Ülkeler ayrı ayrı ele alındığında TY ve FG’nin EA üzerindeki etkisinin ülkeden ülkeye değiştiği görülmüştür.

Aktürk ve Gültekin (2024) çalışmalarında 1997-2020 dönemini kapsayan verilerle OECD ülkelerinde TY, DK, YE ve EB’nin EA üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar TY, DK ve EB’deki artışların EA’yı arttırdığı, YE’deki artışların ise EA’yı azalttığı yönündedir.

Ali vd. (2024) çalışmalarında 1970-2019 döneminde ABD’de DK, TY, YE ve EB’nin EA üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre YE, EA’yı azaltırken DK arttırmaktadır. Nedensellik testi bulguları da TY, YE ve EB’den EA’ya doğru tek yönlü nedenselliğin olduğunu göstermektedir.

Dam vd. (2024) araştırmalarında 1992-2018 döneminde E-7 ülkelerinde TY, DK, EB, YE ve ticari açıklığın EA üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Analiz sonuçları TY ve YE’deki artışların EA’yı azalttığını göstermektedir. Diğer taraftan DK ve EB’deki artışlar EA’yı arttırmaktadır. Ayrıca TY’dan EA’ya, EA’dan da DK’ye tek yönlü nedensellik tespit edilmiştir. EB ile EA arasında çift yönlü nedensellik vardır.

Ergün ve Atay Polat (2024) araştırmalarında 1995-2020 yıllarında ÇT, YE, FG ve EB’nin CO₂ üzerindeki etkisini eşbütünleşme analizi ile incelemiştir. Analiz sonuçlarına göre ÇT, CO₂’yi azaltmaktadır. Aynı zamanda ÇT, YE ve FG’nin CO₂’nin kısa dönem nedeni olduğu tespit edilmiştir.

Koçak (2024) 1990-2018 döneminde ÇT, FG ve EB’nin CO₂ üzerindeki etkisini incelemiştir. Analiz sonuçları ÇT’nin CO₂’yi azalttığını göstermektedir. Ayrıca FG ve EB, CO₂’nin nedeni iken ÇT’den CO₂’ye bir nedensellik tespit edilmemiştir.

Pata vd. (2024) 1992-2020 döneminde BRICS ülkelerinde küreselleşme, TY ve EB’nin EA ve alt bileşenleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Elde edilen bulgular EB’nin EA’yı arttırdığını, TY’nin ise EA üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Ayrıca küreselleşmenin EA’nın alt bileşenlerinden beşini azalttığı sonucu elde edilmiştir.

Qing vd. (2024) araştırmalarında 1990-2020 döneminde 6 Güney Asya ülkesinde DK, TY, orman alanı, küreselleşme, YE ve EA arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Analiz sonuçlarına göre DK ve küreselleşme uzun vadede EA’yı arttırmaktadır. Diğer yandan TY, YE ve orman alanı EA’yı azaltmaktadır. Bunlara ek olarak DK’nin YE, TY ve orman alanıyla etkileşiminin de EA’nın azaltılmasına yardımcı olduğu sonucu elde edilmiştir.

Raza vd. (2023) 1990-2021 döneminde G-20 ülkelerinde TY, YE, EB, kentleşme, kurumsal kalite ve doğrudan yabancı yatırımların EA üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre YE ve TY, EA’yı azaltmaktadır. EB, doğrudan yabancı yatırımlar ve kentleşme ise EA’yı artırır.

Yağış (2024) 1984-2021 döneminde kentleşme, TY ve EB'nin CO₂ üzerindeki etkisini araştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre TY, CO₂'yi azaltırken kentleşme ve EB arttırmaktadır.

Literatürde Türkiye'yi ele alan çalışmaların çoğunda TY-ÇT'nin EA/CO₂'yi azalttığı, EB'nin ise arttırdığı bulgusuna erişilmiştir. Ayrıca TY-ÇT ve EB'nin, EA/CO₂'nin nedeni olduğu sonuçları elde edilmiştir. Diğer ülkeleri konu edinen araştırmalarda da EB'nin EA'yı arttırdığı sonucuna erişilmiştir. Ayrıca EB'nin EA'nın nedeni olduğu veya EB ile EA arasında çift yönlü nedensellik olduğu bulguları da mevcuttur. Diğer taraftan bu çalışmaların neredeyse tamamında DK, EA'yı arttırırken TY azaltmaktadır. Ek olarak DK ve TY ile EA arasında nedensel ilişki olduğu sonuçları da mevcuttur.

2. Veri ve Yöntem

Çalışmada kullanılan veriler 1984-2019 dönemine ait yıllık verilerdir. Bu aralığın seçilmesinin sebebi TY verilerinin 1984'e kadar geri gitmesi, EA verilerinin ise 2019'da son bulmasıdır. TY, yerleşiklerin ve yerleşik olmayanların toplam patent başvurularıyla temsil edilmektedir ve Dünya Bankası veri tabanından (data.worldbank.org/indicator) elde edilmiştir. DK; madenler, kömür, petrol veya orman gibi doğal kaynaklardan elde edilen toplam gelirin milli gelire oranını ifade eder. EB, ABD doları cinsinden kişi başına düşen gayri safi yurt içi hasılayı gösterir. DK ve EB verilerine de Dünya Bankası veri tabanından erişilmiştir. EA ise küresel hektar cinsinden kişi başına ekolojik ayak iziyle temsil edilmektedir. EA verileri Global Footprint Network'ün veri tabanından (data.footprintnetwork.org) elde edilmiştir.

Ekonometrik analiz "EViews" programının "13.0" versiyonu kullanılarak Toda-Yamamoto Nedensellik Testi ile gerçekleştirilmiştir. Toda ve Yamamoto (1995), zaman serilerinde nedenselliğinin test edilmesi için yeni bir yöntem ortaya koymuşlardır. Bu yöntemde serilerin aynı derecede durağan olmalarına gerek yoktur. Ayrıca serilerin seviye değerleri ile çalışıldığından veri kaybı da engellenmiş olur. VAR modelinin "k+d_{max}" değeriyle tahmin edilmesine dayanan yöntemde, "k" VAR modelinin optimum gecikme değerini, "d_{max}" değeri ise serilerin maksimum entegre olma derecesini ifade eder (Obinna & Innocent, 2024: 399).

$$EF_t = \beta_0 + \beta_1 \ln TI_t + \beta_2 NR_t + \beta_3 \ln GDP_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

Yukarıdaki denklemde kurulan modelin eşitliği yer almaktadır. Burada "EF" bağımlı değişkendir ve EA'yı temsil eder. Bağımsız değişkenlerden LnTI, TY'yi, NR, DK'yı, LnGDP ise EB'yi temsil etmektedir. "β₀" sabit terimi, "β₁, β₂, β₃" bağımsız değişkenlerin katsayılarını, "t" ise zaman boyutunu gösterir. "ε" hata terimidir. TY ve EB için elde edilen veriler logaritması alınarak modele dahil edilmiştir.

3. Ampirik Analiz

Bu bölümde analizi gerçekleştirebilmek için sırasıyla yürütülen testler ve sonuçlarına yer verilmiştir. Hangi analiz yönteminin uygulanacağına karar verilebilmesi için birim kök testinden elde edilecek sonuçlara ihtiyaç vardır. Bu minvalde öncelikle Dickey ve Fuller (1981) tarafından geliştirilen ADF (Augmented Dickey-Fuller) birim kök testi ve Kwiatkowski, Phillips, Schmidt ve Shin (1992) tarafından geliştirilen KPSS birim kök testi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1: ADF Birim Kök Testi Olasılık Değerleri

Değişkenler	Sabit I(0)	Trend ve Sabit I(0)	Sabit I(1)	Trend ve Sabit I(1)
EF	0.6783	0.0015*	0.0000*	0.0000*
LnTI	0.7983	0.2455	0.0009*	0.0055*
NR	0.0734	0.2624	0.0000*	0.0001*
LnGDP	0.4331	0.8188	0.0000*	0.0000*

*%1 anlamlılık düzeyi.

Tablo 1’de yer alan olasılık değerlerine göre EF trendli ve sabitli modelde seviyede durağan görünürken sabitli modelde birim kök içermektedir. Diğer tüm değişkenler hem sabitli hem de trendli ve sabitli modelde seviyede birim kök içerir. Birinci farkları alındığında ise durağanlaştıkları görülmüştür. Buradan tüm serilerin I(1) olduğu sonucuna erişilmiştir.

Tablo 2: KPSS Birim Kök Testi Kritik Değerleri ve Test İstatistikleri

Değişkenler	Sabit I(0)	Trend ve Sabit I(0)	Sabit I(1)	Trend ve Sabit I(1)
EF	0.6868 (0.4630)	0.0775** (0.1460)	0.1137** (0.4630)	0.0862** (0.1460)
LnTI	0.6935 (0.4630)	0.0950** (0.1460)	0.0707** (0.4630)	0.0534** (0.1460)
NR	0.1498** (0.4630)	0.1424** (0.1460)	0.1512** (0.4630)	0.0845** (0.1460)
LnGDP	0.6774 (0.4630)	0.0986** (0.1460)	0.2277** (0.4630)	0.0715** (0.1460)

**%5 anlamlılık düzeyi. Satırlarda üstte yer alan değerler test istatistiği, parantez içindeki değerler ise kritik değerlerdir.

Tablo 2’de ise KPSS birim kök testinin sonuçları yer almaktadır. Elde edilen test istatistiğinin kritik değerden küçük olması durumunda serinin durağan olduğunu bildiren sıfır hipotezi kabul edilir. Tablo 2’deki sonuçlara göre NR I(0) iken diğer değişkenler I(1)’dir. Birim kök testlerinden elde edilen bu sonuçlar seriler arasındaki nedensel ilişkinin Toda-Yamamoto nedensellik testi yaklaşımıyla incelenebileceğine işaret etmektedir. Ayrıca bu sonuç d_{max} değerinin “1” olarak elde edildiğini gösterir. Bununla birlikte ihtiyacımız olan “k” değerini elde etmek için VAR modeli optimum gecikme uzunluğunun belirlenmesi gerekir.

Tablo 3: VAR Modeli Optimum Gecikme Uzunluğu

Gecikme	LR	FPE	AIC	SC	HQ
1	162.0730*	8.18e-07*	-2.673968*	-1.776109*	-2.367772*
2	22.43389	8.92e-07	-2.630147	-1.014001	-2.078995

*bilgi kriterleri için uygun gecikme uzunluğu

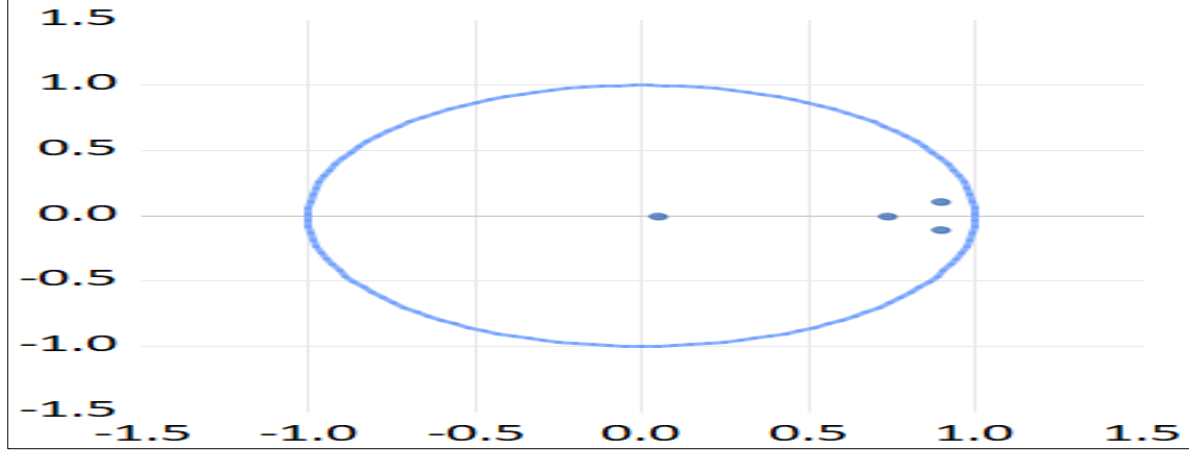
Tablo 3’te yer alan sonuçlar, tüm bilgi kriterleri için uygun gecikmenin “1” olduğunu göstermektedir. Böylece “k” değeri de “1” olarak elde edilir. Fakat k’nin “1” kabul edilebilmesi için VAR modelinin istikrar koşulunu sağlayıp sağlamadığının kontrol edilmesi gerekir. Bu doğrultuda öncelikle “LM Otokorelasyon Testi” ve “White Değişen Varyans Testi” gerçekleştirilerek modelde otokorelasyon ve değişen varyans probleminin olup olmadığına bakılmıştır.

Tablo 4: VAR Modeli İstikrarı

LM Otokorelasyon Testi		
Gecikme	Test İstatistiği	Olasılık Değeri
1	19.95324	0.2257
White Değişen Varyans Testi		
Gecikme	Test İstatistiği	Olasılık Değeri
1	63.62696	0.9101

Tablo 4’teki test sonuçları VAR modelinde değişen varyans ve otokorelasyon sorunu olmadığını göstermektedir. Zira olasılık değerlerinin 0,05’ten büyük olması sayesinde “otokorelasyon yoktur” ve “değişen varyans yoktur” hipotezleri kabul edilir. Son olarak AR karakteristik polinomlarının ters köklerine bakılarak modelin istikrarı kontrol edilmiştir.

Şekil 2: AR Karakteristik Polinomlarının Ters Kökleri



Şekil 2’deki noktalarının her birinin çemberin içinde yer alması VAR modelinin durağan olduğunu, modelin tahminlerinin kararlı olacağını göstermektedir. Böylece “ d_{max} ” ve “ k ” değerlerinin toplamı olan “2” gecikmeli VAR modeli tahminiyle Toda-Yamamoto nedensellik testi gerçekleştirilebilir.

Tablo 5’te yer alan sonuçlarda beş durumda “X, Y’nin nedeni değildir” şeklindeki H_0 hipotezinin reddedildiği görülür. Zira elde edilen olasılık değerleri 0,05’ten küçüktür. Bu durumda LnGDP’nin EF ve NR’nin nedeni olmadığı, EF’nin LnGDP ve LnTI’nın nedeni olmadığı, LnTI’nın LnGDP’nin nedeni olmadığı hipotezleri reddedilmiştir. Yani EB ile EF arasında çift yönlü nedensellik vardır. Ek olarak EB, DK’nin, EA, TY’nin, TY de EB’nin nedenidir. Diğer taraftan, tabloda yer alan H_0 hipotezlerinden kabul edilenlere göre DK ve TY’nin, EA’nın nedeni olmadığı sonucu dikkat çekicidir. Bu minvalde Türkiye’de DK ve TY’ye dair politikaların EA üzerinde etkili olmadığı söylenebilir. EA’nın TY’nin nedeni olduğu sonucu ise çevresel bozulmadaki artışın teknolojiye yapılan yatırımlara etki ettiği şeklinde yorumlanabilir.

Tablo 5: Toda-Yamamoto Nedensellik Testi Sonuçları

H₀ Hipotezi	Test İstatistiği	Olasılık Değeri	Karar
NR \Rightarrow EF	1.688731	0,193768	Kabul
LnTI \Rightarrow EF	0.503559	0.47794	Kabul
LnGDP \Rightarrow EF	8.014473	0.00464*	Red
EF \Rightarrow NR	3.114904	0.077579	Kabul
LnTI \Rightarrow NR	3.138697	0.076455	Kabul
LnGDP \Rightarrow NR	4.937936	0.026273**	Red
EF \Rightarrow LnTI	9.370088	0.002206*	Red
NR \Rightarrow LnTI	0.458784	0.498193	Kabul
LnGDP \Rightarrow LnTI	3.7164524	0.053879	Kabul
EF \Rightarrow LnGDP	5.223892	0.022279**	Red
NR \Rightarrow LnGDP	0.001600	0.968097	Kabul
LnTI \Rightarrow LnGDP	5.495113	0.01907**	Red

*%1 anlamlılık düzeyi, **%5 anlamlılık düzeyi.

Sonuç

Sürdürülebilirlik küresel çapta son birkaç on yılın temel konularından biri, günümüzün belki de en önemli meselesidir. Sürdürülebilirliğin sağlanması ekosistemin muhafaza edilmesini gerektirir. Bu da EA'nın azaltılmasıyla gerçekleştirilebilir. Artan EA çevreye git gide daha fazla zarar verildiği anlamına gelir. TY'nin çeşitli yollarla EA'nın azaltılmasında etkili olması beklenir. Örneğin yeni teknolojilerle enerji tasarrufu sağlanabilir veyahut yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerjinin verimliliği artabilir. Bu teknolojiler sayesinde doğal kaynaklar daha verimli işlenebilir ve etkili atık yönetimi ile çevreye verilen zarar azaltılabilir. Diğer taraftan DK'nin EA'yı arttırması beklenmektedir. Nitekim bu kaynakların elde edilmesi ve işlenmesi sırasında çevreye zarar verilir. Örneğin altın veya kömür çıkarmak için ormanlara zarar verilebilir ve çok miktarda su tüketilir. Ayrıca kömür gibi madenlerin kullanımını da karbon salınımını arttırır.

Bu çalışma Türkiye'de TY ve DK'nin, EA üzerinde etkili olup olmadığını ortaya koymayı amaçlamıştır. Yürütülen nedensellik analizinin sonuçlarına göre Türkiye'de TY ve DK'nin EA üzerinde doğrudan bir etkisi yoktur. Bu durum, ülkemizde teknoloji ve doğal kaynak yönetimi politikalarının çevre kalitesi üzerinde belirleyici bir rol oynamadığını göstermektedir. Çalışmanın bu bulguları Pata vd. (2024) ile Destek ve Manga (2021)'nin "TY'nin EA üzerinde bir etkisi yoktur" şeklindeki sonuçlarını desteklemektedir. Diğer taraftan DK'nin EA'yı etkilemediği sonucu literatürde Türkiye için yeni bir bulgudur. Bu sonuç Türkiye'de doğal kaynaklardan elde edilen gelirlerin toplam gelir içindeki payının bir sonucu olarak görülebilir. Örneğin Dünya Bankası veri tabanına göre 2021'de Brezilya'da bu oran %7,9, Norveç'te %10 iken Türkiye'de %0,8 olarak gerçekleşmiştir. 2021 yılı OECD ortalaması ise %1,4'tür. Ayrıca Türkiye'de doğal kaynaklardan elde edilen ham maddelerin önemli bir kısmı işlenmeden ihraç edilmektedir.

Bu sonuçlara ek olarak literatüre paralel şekilde EB ve EA arasında çift yönlü nedensellik tespit edilmiştir. Türkiye'de yaşanan ekonomik büyümenin çevre sağlığını olumsuz etkilediği açıktır. Artan EA'nın EB'nin sebebi olması ise bir geri besleme döngüsünü ifade eder. EA'daki artış bir nevi üretim ve tüketimdeki artışı ifade etmektedir. Artan üretim ve tüketim de büyümeyi hızlandırır. TY'nin EB'nin nedeni olduğu sonucu ise TY'nin yarattığı katma değer artışı ve verimlilik ile açıklanabilir. Ayrıca TY'nin EB'yi arttırması dolaylı olarak EA artışına katkı yaptığı anlamına gelebilir. Son olarak EA'nın TY'nin nedeni olması, artan çevresel baskının Türkiye'de teknoloji yatırımlarını teşvik ettiği şeklinde yorumlanabilir. EA'daki artışlarla oluşan çevresel baskı, çevre sorunlarına dair çözüm arayışlarını hızlandırabilir. Doğal kaynakların tükenme riskleri de verimliliği arttıracak ve kirliliği azaltacak teknolojileri teşvik edebilir.

Çalışmadan elde edilen bulgular sürdürülebilirlik tartışmalarında TY ve DK'nin etkilerinin bağlama özgü olduğunu ortaya koymaktadır. TY'nin varlığı kadar etkin bir şekilde kullanılması da önemlidir. Bu çerçevede, Türkiye'de teknolojinin çevresel sürdürülebilirliği desteklemesi için bütünleşik çevre politikalarına entegre edilmesi gerekir. Özellikle yenilenebilir enerji, enerji verimliliği ve atık yönetimi konularındaki yenilikçi projelerin devlet tarafından teşvik edilmesi EA'nın azaltılması, dolayısıyla sürdürülebilirlik hedefi doğrultusunda en etkili yol olacaktır.

Extended Abstract

This study aims to investigate the impact of technological innovations (TI) and natural resources (NR) on the ecological footprint (EF) in Türkiye. Global warming and the climate crisis have become increasingly significant issues in recent years. EF is a critical indicator in understanding these processes within the framework of environmental sustainability. It measures the environmental impact of human activities and represents the amount of land and water required to regenerate consumed resources and absorb the waste generated. In this context, the positive effects of TI on the environment and the potential harm caused by the use of NR to environmental sustainability constitute the main motivation of this study. The literature generally suggests that TI reduces EF, while NR increases EF. However, the impact of these two variables on environmental sustainability in Türkiye has not been sufficiently examined. While there are limited studies on the environmental effects of TI in Türkiye, no research has been found addressing the impact of NR on the environment. To fill this gap, this study aims to analyze the role of TI and NR in influencing EF within the context of Türkiye.

The study uses annual data from the period 1984–2019. EF is measured in global hectares per capita, TI is represented by total patent applications, and NR is defined as the ratio of revenues from natural resources to gross domestic product (GDP). Economic growth (EG) is included in the model as per capita GDP (in USD). The data were obtained from the World Bank and Global Footprint Network databases. For the econometric analysis, the Toda-Yamamoto causality test was employed. This method is suitable for testing causality relationships in time series data and does not require variables to be stationary at the same level. First, the Augmented Dickey-Fuller (ADF) unit root test was conducted to determine the stationarity levels of the variables. The results indicated that EF is stationary in the model with a constant and trend, while TI, NR, and EG become stationary after taking their first differences. Thus, the required “dmax” value was determined to be 1. Subsequently, the optimal lag length for the VAR model was calculated as 1, resulting in a two-lag VAR model for the causality analysis.

The results of the causality analysis reveal that neither TI nor NR has a direct effect on EF. This finding deviates from the general consensus in the literature, which posits that TI reduces EF and NR increases it. In the case of Türkiye, it appears that these two variables do not play a significant role in environmental sustainability. Instead, EF was found to cause TI. This result suggests that increased environmental degradation stimulates investments in new technologies. Rising environmental pressures may drive the development of more efficient and environmentally friendly technologies. Another significant finding is the bidirectional causality relationship between EF and EG. This indicates that while economic growth increases environmental pressures, environmental degradation simultaneously supports economic growth through a feedback mechanism. For instance, an increase in EF reflects higher production and consumption, which stimulates economic growth, while economic growth leads to increased environmental costs. This underscores the importance of balancing environmental sustainability and economic growth in Türkiye.

The study's findings suggest that technology policies and natural resource revenues do not have a decisive role in environmental sustainability in Türkiye. The conclusion that TI has

no effect on EF aligns with previous studies in the literature (e.g., Pata et al. (2024), Destek and Manga (2021)). However, the finding that NR does not affect EF provides a novel contribution to the context of Türkiye. This result may be explained by the limited share of natural resource revenues in Türkiye's total income and the fact that a significant portion of natural resources is exported without processing. The finding that EF causes TI highlights the triggering effect of increasing environmental pressures on technological investments. The study is significant in demonstrating that environmental pressures can encourage the development of sustainable technologies. Additionally, the bidirectional causality relationship between EF and EG underscores the need for policies that mitigate the adverse environmental impacts of economic growth. Based on the findings, it is recommended that Türkiye focus on renewable energy, energy efficiency, and waste management. Steps to enhance the benefits of technology in these areas will make a significant contribution to environmental sustainability.

This study makes a significant contribution to the literature as one of the first to examine the effects of TI and NR on EF within the context of Türkiye. The findings suggest that policymakers should develop balanced and long-term strategies that consider the impacts of EG while acknowledging that TI and NR currently do not have a direct effect on EF in achieving environmental sustainability goals.

Etik Beyanı: Bu çalışmanın tüm hazırlanma süreçlerinde etik kurallara uyulduğunu yazarlar beyan eder. Aksi bir durumun tespiti hâlinde Artvin Çoruh Üniversitesi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi'nin hiçbir sorumluluğu olmayıp, tüm sorumluluk çalışmanın yazarlarına aittir.

Ethical Approval: The authors declare that ethical rules are followed in all preparation processes of this study. In the case of a contrary situation, Artvin Coruh University International Journal of Social Sciences has no responsibility, and all responsibility belongs to the study's authors.

Kaynakça

- 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>
- Akgün, E., & Özmerdivanlı, A.. (2024). Finansal gelişme, teknolojik yenilik ve ekolojik ayak izi arasındaki ilişki: E7 ülkeleri örneği. *Journal of Emerging Economies and Policy*, 9(1), 150-165
- Akyol, M. ve Mete, E. (2021). Çevresel teknolojik inovasyonların CO2 emisyonu üzerindeki etkisi: OECD ülkeleri örneği. *İstanbul İktisat Dergisi-Istanbul Journal of Economics*, 71(2), 569-590. <https://doi.org/10.26650/ISTJECON2021-935480>
- Aktürk, E. ve Gültekin, S. (2024). Teknolojik gelişim ile ekolojik ayak izi ilişkisi: OECD ülkeleri uygulaması. *Efil Journal of Economic Research*, 7(1), 104-117.
- Ali, M., Joof, F., Samour, A., Tursoy, T., Balsalobre-Lorente, D., & Radulescu, M. (2023). Testing the impacts of renewable energy, natural resources rent, and technological innovation on the ecological footprint in the USA: evidence from bootstrapping ARDL. *Resources Policy*, 86, 104139. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104139>
- Awosusi, A. A., Adebayo, T. S., Altuntaş, M., Agyekum, E. B., Zawbaa, H. M., & Kamel, S. (2022). The dynamic impact of biomass and natural resources on ecological footprint in BRICS economies: a quantile regression evidence. *Energy Reports*, 8, 1979-1994. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.01.022>
- Barak, D. ve Koçoğlu, M. (2023). Çevresel ar-ge harcamalarını hızlandırmak karbon emisyonlarını azaltır mı? çevresel kuznets eğrisi hipotezi perspektifinde panel kantil regresyon kanıtları. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 25(45), 768-792.
- Bashir, M. A., Dengfeng, Z., Filipiak, B. Z., Bilan, Y., & Vasa, L. (2023). Role of economic complexity and technological innovation for ecological footprint in newly industrialized countries: does geothermal energy consumption matter? *Renewable Energy*, 217, 119059. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119059>

- Chunling, L., Memon, J. A., Thanh, T. L., Ali, M., & Kirikkaleli, D. (2021). The impact of public-private partnership investment in energy and technological innovation on ecological footprint: the case of Pakistan. *Sustainability*, 13(18), 10085. <https://doi.org/10.3390/su131810085>
- Dam, M. M., Kaya, F., & Bekun, F. V. (2024). How does technological innovation affect the ecological footprint? evidence from E-7 countries in the background of the SDGs. *Journal of Cleaner Production*, 443, 141020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141020>
- Danish., Ulucak, R., & Khan, S. U. D. (2019). Determinants of the ecological footprint: role of renewable energy, natural resources, and urbanization. *Sustainable Cities and Society*, 46, 101996. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101996>
- Destek, M. A., & Manga, M. (2021). Technological innovation, financialization, and ecological footprint: evidence from BEM economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(21), 21991–22001. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11845-2>
- 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.
- Ergün, S., & Atay Polat, M. (2024). Türkiye’de yeşil inovasyon ve çevresel kalite arasındaki ilişkinin analizi. *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, 16(Özel Sayı), 36-49.
- Guan, C., Rani, T., Yueqiang, Z., Ajaz, T., & Haseki, M. I. (2022). Impact of tourism industry, globalization, and technology innovation on ecological footprints in G-10 countries. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 35(1), 6688–6704. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2022.2052337>
- Gupta, M., Saini, S., & Sahoo, M. (2022). Determinants of ecological footprint and PM2.5: Role of urbanization, natural resources and technological innovation. *Environmental Challenges*, 7, 100467. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100467>
- Gültekin, H. (2023). Finansal gelişme, inovasyon ve CO2 emisyonları: ARDL sınır testi yaklaşımı. *Econder International Academic Journal*, 7(1), 25-39.
- Jahanger, A., Usman, M., Murshed, M., Mahmood, H., & Balsalobre Lorente, D. (2022). The linkages between natural resources, human capital, globalization, economic growth, financial development, and ecological footprint: the moderating role of technological innovations. *Resources Policy*, 76, 102569. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102569>
- Kihombo, S., Ahmed, Z., Chen, S., Adebayo, T. S., & Kirikkaleli, D. (2021). Linking financial development, economic growth, and ecological footprint: what is the role of technological innovation? *Environmental Science and Pollution Research*, 28(45), 61235–61245. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14993-1>
- Koçak, E. (2024). Çevresel teknolojik inovasyonun küresel ısınma üzerindeki etkisine ilişkin bir inceleme: Türkiye’den kanıtlar. *Fiscaeconomia*, 8(2), 478–494. <https://doi.org/10.25295/fsecon.1405227>
- Kwiatkowski, D., Phillips, P. C. B., Schmidt, P., & Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. *Journal of Econometrics*, 54(1-3), 159-178. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(92\)90104-Y](https://doi.org/10.1016/0304-4076(92)90104-Y)
- Nathaniel, S. P., Yalçiner, K., & Bekun, F. V. (2021). Assessing the environmental sustainability corridor: linking natural resources, renewable energy, human capital, and ecological footprint in BRICS. *Resources Policy*, 70, 101924. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101924>
- Noordwijk, M., Pham, T., Leimona, B., Duguma, L., Baral, H., Khasanah, N., Dewi, S., & Minang, P. A. (2022). Carbon footprints, informed consumer decisions and shifts towards responsible agriculture, forestry, and other land uses?. *Carbon Footprints*, 1(1), 4. <https://doi.org/10.20517/cf.2022.02>
- Obinna, O., & Innocent, E. (2024). Does financial development lead to poverty reduction in Nigeria? evidence from a Toda Yamamoto causality test. *Journal of Economics and Allied Research* 9(1), 392-407.
- Oğul, B. (2022). Türkiye’de çevresel teknolojik inovasyonlar ekolojik ayak izini azaltıyor mu? ARDL sınır testi analizi. *İnönü Üniversitesi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi, (INJOSS)*, 11(2) 409-427.
- Özarslan Doğan, B. (2023). Ekolojik sürdürülebilirlikte finansal gelişme ve teknolojik inovasyon etkisi: Türkiye’den kanıtlar. *Akademik Hassasiyetler*, 10(23), 200-217.
- Pata, U. K., Tiwari, A. K., & Erdogan, S. (2024). Technological innovation, globalization, and ecological quality: a disaggregated ecological footprint approach for BRICS countries. *Journal of Environmental Management*, 370, 122518. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122518>

- Qing, L., Usman, M., Radulescu, M., & Haseeb, M. (2024). Towards the vision of going green in South Asian region: the role of technological innovations, renewable energy, and natural resources in ecological footprint during globalization mode. *Resources Policy*, 88, 104506. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104506>
- 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(95), 95376–95393. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-29011-9>
- Rout, S. K., Gupta, M., & Sahoo, M. (2022). The role of technological innovation and diffusion, energy consumption and financial development in affecting ecological footprint in BRICS: an empirical analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(25), 25318–25335. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17734-6>
- Sahoo, M., & Sethi, N. (2022). The dynamic impact of urbanization, structural transformation, and technological innovation on ecological footprint and PM2.5: evidence from newly industrialized countries. *Environment, Development and Sustainability*, 24(5), 4244–4277. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01614-7>
- Sanatçı, Aktaş, G. & Bilgili, A. (2022). Çevre teknolojisi patentleri ve yenilenebilir enerjinin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerine ilişkin ampirik bir çalışma. *Kent Akademisi Dergisi*, 15(3):1052-1068. <https://doi.org/10.35674/kent.1023069>
- Tekbaş, M. ve Yıldırım, M. (2023). Gelişmekte olan ülkelerde inovasyon ve ekonomik büyümenin CO2 emisyonu üzerine etkisi. *Journal of Emerging Economies and Policy*, 8(2), 507-516.
- Toda, H. Y., & Yamamoto, T. (1995). Statistical inference in vector auto regression with possibly integrated processes. *Journal of Econometrics*, 66(1-2), 225-250.
- United Nations. (1972). <https://www.un.org/en/conferences/environment/stockholm1972> adresinden 14.09.2024 tarihinde alınmıştır.
- United Nations. (2024). <https://unfccc.int/cop28> adresinden 14.09.2024 tarihinde alınmıştır.
- Usman, M., & Hammar, N. (2021). Dynamic relationship between technological innovations, financial development, renewable energy, and ecological footprint: fresh insights based on the STIRPAT model for Asia Pacific Economic Cooperation countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(13), 15519–15536. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11640-z>
- World Commission on Environment and Development. (1987). <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf> adresinden 15.09.2024 tarihinde alınmıştır.
- Yağış, O. (2024). Türkiye’de teknolojik yenilikler ve ekonomik büyümenin çevre kalitesi üzerindeki etkileri: ARDL sınır testi. *Abant Sosyal Bilimler Dergisi*, 24(1), 103-117.
- Zeraibi, A., Balsalobre-Lorente, D., & Murshed, M. (2021). The influences of renewable electricity generation, technological innovation, financial development, and economic growth on ecological footprints in ASEAN-5 countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(37), 51003–51021. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14301-x>