



Türkiye’de Ekolojik Ayak İzinin Belirleyicileri: STIRPAT Modeli

Mine YILMAZER¹

Özet

İnsan kaynaklı ekolojik ayak izi, dünyanın taşıma kapasitesinin üzerine çıkmakta ve gelecek kuşakların yaşamlarını tehdit etmektedir. Ekolojik ayak izinin olumsuz etkisini azaltmak üzere politikalar geliştirilmesi ve fırsatlar yaratılması son derece önemlidir. Ekolojik ayak izinin kapsamı diğer çevre değişkenlerine göre daha geniştir ve literatürde henüz az sayıda çalışmaya konu olmuş bir kavramdır. Bu çalışmada insan faaliyetleri ile çevre ilişkisini açıklamaya yardımcı olan STIRPAT modeli ile ekolojik ayak izi kavramı bir araya getirilmiş, Türkiye’de insanın doğaya olumlu ve olumsuz etkisi analiz edilmeye çalışılmıştır. Türkiye’de 1973-2021 yılları arasında kişi başına düşen GSYİH, nüfus, enerji kullanımı, yeşil teknoloji patentleri ve ihracat ile ekolojik ayak izi arasındaki ilişki ARDL sınır testi ile incelenmiştir. Analiz sonuçları, değişkenler arasında uzun dönemli ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğunu göstermektedir. Bulgulara göre, kişi başına düşen GSYİH, nüfus ve enerji kullanımı ekolojik ayak izini artırmakta, yeşil teknoloji ve ihracat ise azaltmaktadır. Türkiye’nin son dönemde Paris Anlaşması’ni imzalayarak nötr karbon hedefi belirlediği ve Avrupa Yeşil Mutabakatı’na yönelik kriterleri uygulamaya başladığı dikkate alındığında, amaca uygun çevre politikalarına ihtiyacın arttığı görülmektedir. Bununla birlikte, Avrupa Yeşil Mutabakatı’na uyum politikalarının Türkiye’de sürekli artan ekolojik açığın azaltılmasına katkı yapması da mümkündür. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre Türkiye’de ekolojik ayak izinin azaltılması için tüketicinin çevre bilincinin artırılmasına, enerji verimliliğinin sağlanmasına, ihracatta ise çevre hassasiyetine ve yeşil teknoloji kullanımına ihtiyaç olduğu söylenebilir.

Anahtar kelimeler: Ekolojik ayak izi, STIRPAT modeli, biyolojik kapasite

Jel Kodu: Q56, Q57, F64

Determinants of Ecological Footprint in Türkiye: STIRPAT Model

Abstract

Anthropogenically ecological footprint exceeds the earth's carrying capacity and threatens the lives of future generations. It is extremely important to develop policies and create opportunities to reduce the negative impact of the ecological footprint. The scope of the ecological footprint is broader than other environmental variables and it is a concept that has been the subject of few studies in the literature. In this study, the STIRPAT model, which helps to explain the relationship between human activities and the environment, and the concept of ecological footprint were brought together, and the positive and negative effects of humans on nature in Türkiye were tried to be analyzed. The relationship between GDP per capita, population, energy use, green technology patents, exports and ecological footprint in Türkiye between 1973 and 2021 was examined with the ARDL bounds test. The results of the test show that there is a long run and statistically significant relationship between the variables. According to the findings, GDP per capita, population and energy use increase the ecological footprint, while green technology and exports reduce it. Considering that Türkiye has recently set a neutral carbon target by signing the Paris Agreement and started to implement the criteria for the European Green Deal, it is seen that the need for appropriate environmental policies has increased. However, it is also possible that compliance policies with the European Green Deal will contribute to reducing the ever-increasing ecological deficit in Türkiye. According to the findings of the study, it can be said that in order to reduce the ecological footprint in Türkiye, there is a need to increase consumer environmental awareness, ensure energy efficiency, and environmental sensitivity and use of green technology in exports.

Keywords: Ecological footprint, STIRPAT model, biocapacity

Jel Codes: Q56, Q57, F64

ATIF ÖNERİSİ (APA): Yılmaz, M. (2024). Türkiye’de ekolojik ayak izinin belirleyicileri: STIRPAT modeli. *İzmir İktisat Dergisi*. 39(3). 637-657. Doi: 10.24988/ije. 1373210

¹ Prof.Dr., Manisa Celal Bayar Üniversitesi/Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Finansman Bölümü, Manisa, Türkiye **EMAIL:** mine.yilmazer@cbu.edu.tr **ORCID:** 0000-0001-8674-792X

1. GİRİŞ

Birinci sanayi devriminin başında 800 milyon olan dünya nüfusu günümüzde 8 milyara ulaşmıştır; 2040 yılında 9 milyar olması beklenmektedir. Nüfusun ve insan faaliyetlerinin etkisiyle dünya kaynaklarının sınırlarını ve çevrenin kendisini yenileme kapasitesini aşan, iklim değişikliğine yol açan bir döneme girilmiştir. İklim değişikliği, dünyanın her bölgesini etkileyen küresel bir krizdir ve büyük ölçüde insan etkenli sera gazı emisyonundan kaynaklanmaktadır. Sera gazı emisyonunun en önemli nedeni fosil yakıt kullanımınıdır. Jeffrey Sachs Sürdürülebilir Kalkınma Çağı adlı kitabında fosil yakıt tüketiminin iklim krizinin merkezinde yer aldığını belirtmiştir. Sachs, bir tür «kalp nakli» organizasyonu ile fosil yakıt enerjisi kullanarak atan kalbi düşük karbon enerjisine dayalı bir alternatifle değiştirmek gerektiğini belirtmiştir (Sachs, 2019: 361).

İklim değişikliği konusunda bilimsel çalışmalar yapan Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'ne (IPCC) göre, Birinci Sanayi Devriminin gerçekleştiği 1850 yılından bu yana küresel sıcaklık artışının yaklaşık 1,5°C olduğu ve bu artışın büyük ölçüde insan faaliyetlerinden kaynaklandığı kanıtlanmıştır. Ekonomik büyüme, sanayileşme, fosil yakıt tüketimi, barınma ve arazi kullanımı, yanlış tarım uygulamaları, ormanların yok edilmesi gibi insan kaynaklı sera gazı emisyonu 2019 yılında 2010 yılına göre yaklaşık %12 ve 1990 yılına göre %54 artmıştır. IPCC tarafından, küresel emisyonlar dikkate alınarak gerçekleştirilen gelecek senaryoları ile sıcaklık artışı tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Buna göre, orta, yüksek ve çok yüksek sera gazı emisyon senaryolarının gerçekleşmesi durumunda 1850-1900'e göre 21. yüzyılda küresel ısınmanın 1,5°C'nin üzerine çıkması beklenmektedir. Çok düşük sera gazı emisyon senaryosu gerçekleşirse sıcaklığın 21. yüzyılda 1,5°C'nin altına gerilemesinin mümkün olduğu düşünülmektedir (IPCC, 2023).

IPCC'nin düşük sera gazı emisyonu senaryosunun gerçekleşebilmesi ve iklim değişikliği sorunlarının azaltılabilmesi için gelişmekte olan ülkeleri de kapsayan etkili çevre politikalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Olası sıcaklık artışının yaratacağı kuraklıktan etkilenecek ve verimli tarım arazileri zarara uğrayacak ülkeler arasında Türkiye'nin de olduğu IPCC tarafından vurgulanmaktadır. Sera gazı emisyonu, çevre kirliliği, atıklar ile yaratılan ekolojik ayak izinin doğa üzerindeki baskısı azaltılamazsa birçok felaketle karşılaşma olasılığı artmaktadır. Ekolojik ayak izi CO₂ emisyonu, inşaa alanı, ekilebilir arazi, otlak, orman ve su alanları üzerindeki insan etkisini gösteren ve son yıllarda nicel olarak hesaplanan bir kavramdır. Biyolojik kapasite ise insan tarafından doğaya verilen zararın bertaraf edilebilme durumunu göstermektedir. Türkiye'de 1984 yılından itibaren ekolojik ayak izinin biyolojik kapasiteyi aştığı ve ortaya çıkan ekolojik açığın özellikle son yıllarda hızla arttığı görülmektedir. Avrupa Birliği ülkeleri ise 1961 yılından sonra sürekli ekolojik açık ile karşı karşıyadır. Nordhaus (2020)'un deyişle insanlık bir iklim kumarı oynamaktadır ve bu kazanılması mümkün olmayan bir oyundur. Bu nedenle Avrupa Birliği 2019 yılında Avrupa Yeşil Mutabakatını imzalayarak ekolojik açığı artıran faaliyetlerin azaltılması konusunda önlemler almaya başlamış ve bu politikaların ticaret yaptığı üçüncü ülkelerde de uygulanması konusunda yaptırım uygulayacağını ilan etmiştir.

Bu çalışmanın amacı, dışa dönük sanayileşme politikaları uygulayan Türkiye'de ortaya çıkan ekolojik açığın insan etkenli bileşenlerini ortaya çıkararak çevre düzenlemelerine ilişkin yol gösterici ampirik bulgulara erişebilmektir. Buradan hareketle, Türkiye ile Avrupa Birliği arasındaki ticarete 2026 yılından itibaren yürürlüğe girecek olan sınırda karbon düzenlemesinin ekonomiye verebileceği zararı ve ilave maliyetleri azaltmak için alınması gereken önlemler tartışılacaktır. Ayrıca, IPCC'nin senaryolarına göre sıcaklık artışından ve kuraklıktan en çok etkilenecek ülkeler arasında yer alan Türkiye'de, geçici değil sürdürülebilir olan ve samimi bir şekilde uygulanması gereken çevre politikalarına yol gösterici öneriler sunulacaktır. Ekolojik ayak izini konu alan çalışmalar 2020 yılından bu yana yoğunlaşmaya başlamıştır ve Türkiye üzerine yapılan çalışmalar halen çok sınırlıdır. Bu çalışmada, Türkiye özelinde ekolojik ayak izinin belirleyicileri ele alınarak olumlu ve olumsuz değişkenlerin etkileri ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen bulguların Türkiye

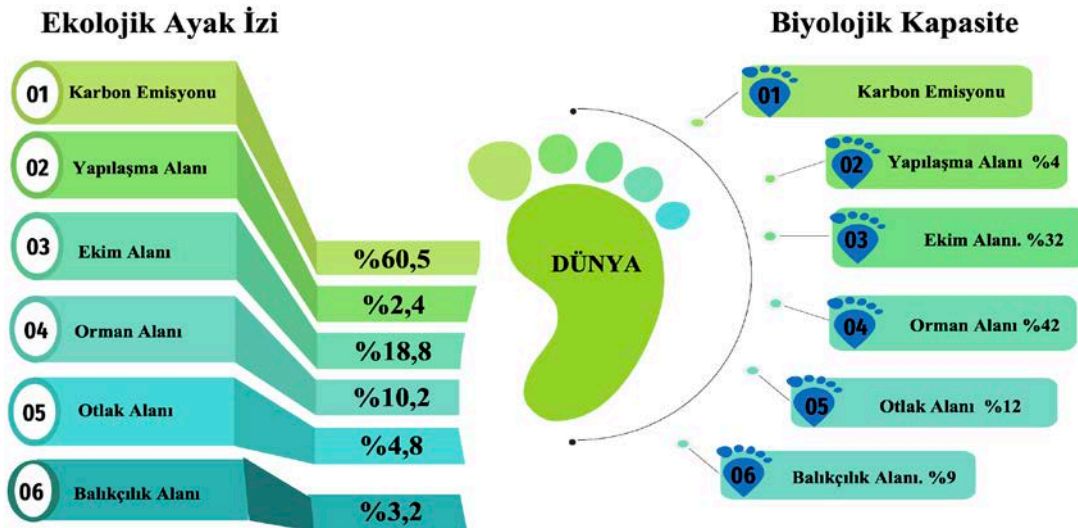
ve gelişmekte olan ülkeler hakkındaki literatüre katkıda bulunması beklenmektedir. Çalışmada, öncelikle ekolojik ayak izi ve biyolojik kapasite kavramları açıklanmaktadır. Sonrasında, teoride ekonomik değişkenlerin çevre üzerindeki etkisini inceleyen modeller ve bu modelleri test eden ampirik çalışmalar tanıtılmaktadır. Çalışmanın analiz kısmında Türkiye’de 1973-2021 dönemine ait veriler üzerinden STIRPAT yaklaşımına dayanan ekonometrik bir zaman serisi modeli ile ekolojik ayak izinin belirleyicileriyle olan ilişkisi test edilmektedir.

2. EKOLOJİK AYAK İZİ

İnsanın yaşamsal gereksinimleri için gerçekleştirdiği üretim ve tüketim faaliyetleri ekolojik yaşamı tehdit eder hale gelmiştir. Sera gazı emisyonu, doğal kaynakların tüketilmesi, çevre kirliliği ve yaratılan atıklar dünyanın biyolojik taşıma kapasitesinin çok üzerine çıkmıştır. Bu ekolojik yıkımın boyutları üzerinde tartışabilmenin yolu ise nicel verilerle yapılan ölçümlerdir. Literatürde bu konudaki en önemli çalışmalar Wackernagel ve Rees (1996) ve Wackernagel vd. (1999) tarafından gerçekleştirilen ekolojik ayak izi ölçümüdür. Wackernagel’in başkanlığını yürüttüğü Küresel Ayak İzi Ağı (Global Footprint Network) tarafından her ülke için ekolojik ayak izi ve biyolojik kapasite hesaplamaları yapılmaktadır.

Şekil 1’de ekolojik ayak izi ve biyolojik kapasitenin bileşenleri gösterilmiştir. Ekolojik ayak izi, üretimde kullanılan doğal kaynakları yeniden üretmek ve atıkları ortadan kaldırmak için ne miktarda verimli arazi ve su kaynağına ihtiyaç duyulduğunu gösteren ve küresel hektar cinsinden hesaplanan bir ölçümdür. İhtiyaç duyulan kaynakları sağlayan ve atıkları ortadan kaldıran biyolojik kapasite ise gıda ve kereste sağlamak, kentsel altyapıyı barındırmak, fazla CO₂ emisyonunu yok etmek için gerekli olan verimli kara ve su alanıdır. Ekolojik zararı zamanla yok etme gücü olan biyolojik kapasite de küresel hektar cinsinden ölçülmektedir. Bu ölçümler, insanın doğaya verdiği zararı ölçmek, değerlendirmek, izleyip düzeltebilmek için son derece yararlı araçlardır. Küresel Ayak İzi Ağı’nın ölçümlerine göre, 2022 yılında ekolojik ayak izinin %60’ı karbon emisyonundan, %29’u ise ekim ve orman alanı kullanımından kaynaklanmaktadır. Buna karşılık biyolojik kapasitenin %74’ü ekim ve orman alanı ile sağlanmaktadır (Şekil 1).

Şekil 1: 2022 Yılı İtibariyle Küresel Ölçekte Ekolojik Ayak İzi ve Biyolojik Kapasite



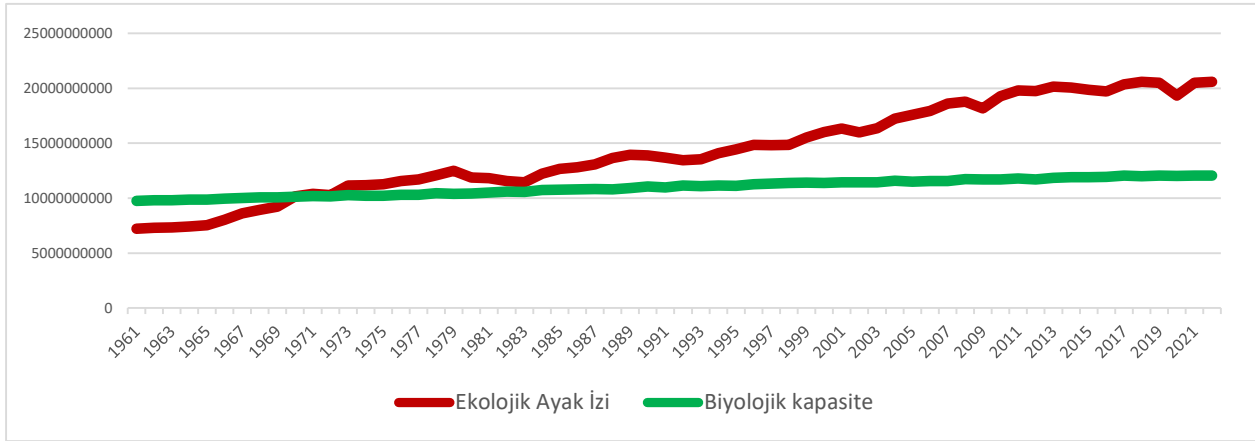
Kaynak: Global Footprint Network verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

Küresel Ayak İzi Ağı tarafından ekolojik ayak izi ve biyolojik kapasite ölçümleri kullanılarak ekolojik açık/rezerv hesaplamaları da yapılmaktadır. Ekolojik açık, ekolojik ayak izinin biyolojik kapasiteyi aştığı durumda ortaya çıkmaktadır. Bir ülkenin ekolojik açık vermesi ihtiyaç duyduğu biyolojik kapasiteyi ticaret yoluyla ithal ettiği, ülkenin ekolojik varlıklarını tasfiye ettiği ve atmosfere

ekosistemin yok edebileceğinden daha fazla CO₂ yaydığı anlamına gelmektedir. Bununla birlikte, ülkenin biyolojik kapasitesi ekolojik ayak izinden fazla ise ekolojik rezerv söz konusu olmaktadır (Global Footprint Network, 2023).

Şekil 2’de 1961-2022 dönemine ait küresel ekolojik ayak izi ve biyolojik kapasite ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Ekolojik ayak izinin 1970 yılına kadar doğanın taşıma kapasitesini aşmadığı, buna karşılık 1970 yılından itibaren ekonomik büyümenin yavaşladığı kriz dönemleri hariç hızla arttığı ve ekolojik açık yarattığı görülmektedir. 2008 küresel finans krizi ve 2020 Covid-19 salgını haricinde ekolojik açık son yıllarda çok yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu durum, doğa üzerinde gelecek kuşaklara yansıyan büyük bir yük bırakıldığını göstermektedir.

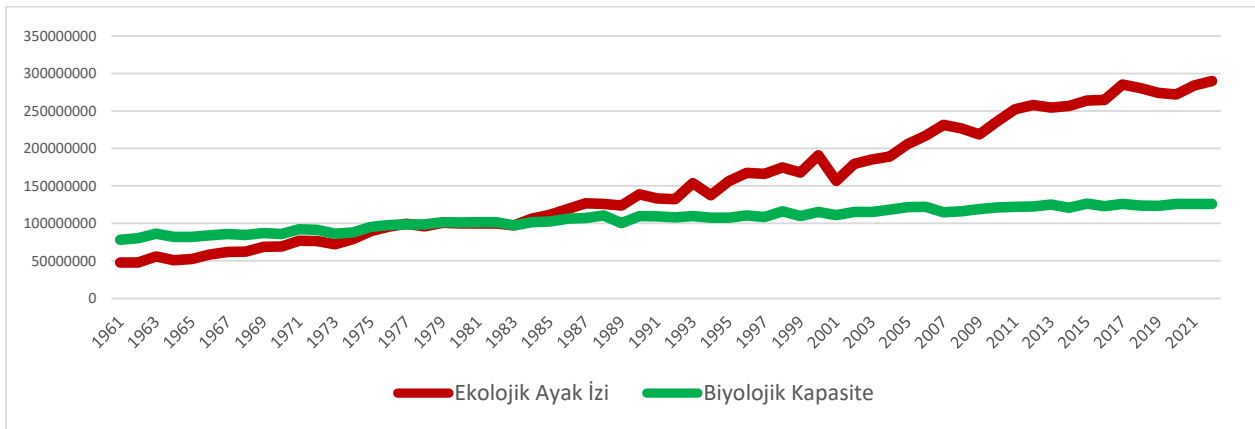
Şekil 2: Dünyada Ekolojik Ayak İzi ve Biyolojik Kapasite, 1961-2022



Kaynak: Global Kaynak: Footprint Network; <https://data.footprintnetwork.org>

Şekil 3’te 1961-2022 yılları arasında Türkiye’de ekolojik ayak izi ve biyolojik kapasite verileri yer almaktadır. Türkiye’de ekolojik açığın ortaya çıktığı ve sonrasında kalıcı hale geldiği 1984 yılından itibaren üretimin daraldığı resesyon dönemleri hariç açığın sürekli arttığı görülmektedir. Türkiye’de ekolojik ayak izi bileşenleri içinde karbon emisyonunun payı dünya ortalamasına benzer şekilde %60 civarındadır. Bununla birlikte Türkiye’de biyolojik kapasitenin yetersizliği dünya ortalamasından çok daha fazladır. 2022 yılı itibariyle, dünyada biyolojik kapasite açığı ekolojik ayak izinin %41’ini oluştururken aynı oran Türkiye’de %56’dır.

Şekil 3: Türkiye’de Ekolojik Ayak İzi ve Biyolojik Kapasite, 1961-2022



Kaynak: Global Footprint Network; <https://data.footprintnetwork.org>

Birinci sanayi devriminden bu yana küresel sera gazı emisyonunun en büyük sorumlusu olan gelişmiş ülkeler, 1990’lı yıllardan itibaren uluslararası çevre sözleşmelerinin yaptırımlarıyla önlem almak zorunda kalmıştır. Gelişmiş ülkeler sera gazı emisyonunu azaltmak için bu konuda problem

yaratan yatırımlarını doğal kaynakların korunmasına hassasiyet göstermeyen gelişmekte olan ülkelere yönlendirmektedir. Ekonomik sıkıntılar çeken ve kalkınma harcamalarına ihtiyaç duyan gelişmekte olan ülkeler ise bu tür yatırımları ihracat gelirlerini ve döviz birikimlerini artırıp borçlarını ödemek amacıyla kullanmaktadır. Bu nedenle son yıllarda, gelişmekte olan ülkeler aracılığı ile küresel taşıma kapasitesinin aşıldığı bir sürece girilmiştir (Rees, 1992: 127). Dünya nüfusunun ve sanayi üretiminin önemli bir kısmını oluşturan gelişmekte olan ülkeler, IPCC'nin çok düşük sera gazı senaryosuna uyum sağlayamazsa küresel ekolojik açık hız kesmeden yükselmeye devam edecektir.

3. MAKRO EKONOMİK DEĞİŞKENLER VE ÇEVRE İLİŞKİSİNİ ARAŞTIRAN MODELLER ve LİTERATÜR TARAMASI

Çevre sorununun temel kaynaklarından biri üretim ve tüketim faaliyetleridir ve ekonomi literatüründe bu konu hakkında teorik ve uygulamalı birçok çalışma yapılmıştır. Farklı makro değişkenlerle gösterilebilen insan faaliyetleri ile çevre ilişkisinin teorik altyapısı ekonomik büyüme yaklaşımlarına dayanmaktadır. Belirleyici değişken olarak üretim faktörleri verimliliğinin ele alındığı ekonomik büyüme yaklaşımları genel olarak iki ana model ile açıklanmaktadır. Solow (1956) ve Swan (1956) öncülüğünde oluşturulan dışsal büyüme modelleri, üretim faktörlerindeki verimliliğin sabit ve teknolojinin dışsal olduğu varsayımına dayanmaktadır. Buna karşılık içsel büyüme modellerinde beşeri sermayenin ekonomik büyümeye artan verimlilikle katkıda bulunduğu kabul edilmiştir (Arrow, 1962; Romer, 1986, 1990; Rebelo, 1991; Mankiw vd., 1992). Zaman içinde içsel büyüme modelleri sürdürülebilir büyüme yaklaşımını tartışmaya açmıştır. 1990'lı yıllardan itibaren ortaya çıkan ekonomik, sosyal ve çevresel eşanlı gelişmeyi açıklamak için kullanılan sürdürülebilir kalkınma kavramı büyüme modellerindeki bakış açısını değiştirmiştir. Bu bağlamda, yeşil büyüme yaklaşımının önem kazandığı görülmektedir. Nobel ödüllü iktisatçı Nordhaus (1974, 1992), üretim fonksiyonuna emek, sermaye ve toprak kullanımı yanında yenilenebilir ve yenilenemez (fosil yakıtlar) doğal kaynakları, çevre politikalarını ve yeşil teknolojiyi dahil eden bir içsel büyüme modeli üzerinden analizler yapmıştır. Günümüzde ekonomik büyümenin yarattığı doğal kaynak israfını öne çıkaran ve sera gazı emisyonunun belirleyicilerini ve onların etkilerini araştıran bazı hipotezler oluşturulmuştur. Oluşturulan bu hipotezler son yıllarda gerçekleştirilen birçok uygulamalı çalışma ile test edilmektedir.

Hipotezler arasında öne çıkanlardan biri Grossman ve Krueger (1991) tarafından geliştirilen ekonomik büyüme ile diğer çevresel göstergeler arasındaki ilişkiyi açıklayan Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezidir. İki değişken arasında ters U ilişkisi olduğunu savunan bu hipoteze göre, bugünün gelişmiş ülkelerinde ekonomik büyüme faaliyetleri kalkınmanın başlangıç aşamasında çevre baskısına ve CO₂ emisyonu artışına yol açmaktadır. Aynı hipotezde belirli bir gelir düzeyinden sonra CO₂ emisyonunun azaltılabildiği vurgulanmaktadır. 1990'lı yıllardan itibaren yapılan ampirik çalışmalarda, Çevresel Kuznets hipotezi kapsamında analizler yapılmış ve genellikle iki değişken arasında ters U ilişkisinin varlığını doğrulayan bulgulara erişilmiştir.

İnsan faaliyetlerinin çevre üzerindeki etkisini ölçmek için kullanılan diğer yöntem üç model üzerine kurulmuştur. Bunlardan ilki 1970'li yıllarda kullanılan IPAT (Influence, Population, Affluence, and Technology) modelidir (Ehrlich ve Holdren, 1971; Commoner, 1971; Holdren ve Ehrlich, 1974). IPAT modeli aşağıdaki gibidir:

$$I = P \times A \times T \quad (1)$$

I çevresel etkiyi (environmental impact), P nüfusu (population), A kişi başına üretimi (affluence) ve T teknolojiyi göstermektedir.

Wagoner ve Ausubel (2002), IPAT modelindeki T değişkenini enerji tüketiminin GSYİH'ya oranı (C) ve enerji tüketiminin emisyon etkisi (T) şeklinde ayrıştırarak ImPACT eşitliğini oluşturmuşlardır. Dietz ve Rosa (1994, 1997) ise IPAT ve ImPACT modellerini birleştirerek STIRPAT (Stochastic

Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology) olarak tanımladıkları yeni bir model geliştirmişlerdir. STIRPAT Modelinde, T değişkeni farklı göstergelerle ifade edilebilmektedir.

$$I_{it} = a_i P_{it}^b A_{it}^c T_{it}^d e_{it} \quad (2)$$

Belirleyici değişkenlerin etkisini ve etkinin şiddetini izleyebilmek için model logaritmik formda kullanılmaktadır (York vd., 2003b: 354). Formül 3'teki $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ nüfus, refah ve teknoloji değişkenlerinin çevre üzerindeki etkisini gösteren esneklik katsayılarıdır.

$$\ln I_{it} = \alpha_i + \beta_1 \ln (P_{it}) + \beta_2 \ln (A_{it}) + \beta_3 \ln (T_{it}) + e_{it} \quad (3)$$

STIRPAT modeli literatürde farklı değişkenler ve farklı ülkeler ele alınarak analiz edilmiştir. Dietz ve Rosa (1994) nüfus baskısının olumsuz etkisinden söz etmişlerdir. Holdren ve Ehrlich (1974), Bongaarts (1992), Shi (2003), Salim ve Shafei (2014) nüfus artışının doğal kaynak kullanımını yükselterek ekolojik tehdit yarattığını belirtmişlerdir. Bazı çalışmalarda, nüfus artışı yanında kentleşme olgusunun da enerji tüketimini, kaynak kullanımını ve sera gazını artırdığı kabul edilmektedir. Parikh ve Shukla (1995), Shen vd. (2005), Liddle (2004), York (2007) Liu (2009), Shahbaz vd. (2016) farklı gelir ve gelişmişlik düzeylerinde kentleşmenin CO₂ emisyonu üzerindeki etkisini ele alan çalışmalar yapmışlardır. Diğer taraftan Bongaarts (1992) ormanların yok edilmesinin, sera gazı emisyonu ve karbon yoğunluğunu azaltma mücadelesine engel oluşturduğunu belirtmiştir. Lin vd. (2009); Shafiei ve Salim (2014); Salim ve Rafiq (2012); Apergis ve Payne (2012); Aguirre ve Ibikunle (2014); Sadorsky (2009) gibi birçok çalışmada ise yenilenebilir enerji tüketiminin CO₂ emisyonuna pozitif, yenilenebilir enerji tüketiminin ise negatif etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. STIRPAT modelinde kullanılan diğer önemli değişkenler yeşil teknoloji yatırımları, devletin uyguladığı çevre politikaları, beşeri sermaye ve sivil toplum örgütlerinin yapısıdır. Stern vd. (1992), Marques ve Fuinhas (2012) ve Payne (2012) devletin uyguladığı çevre politikalarını, Shandra vd. (2004) sivil toplum örgütlerini, Apergis vd. (2013) Ar-Ge harcamalarını, Xu vd. (2021) doğrudan yabancı yatırımları, Voumik ve Ridwan (2023) doğrudan yabancı yatırımlarla birlikte eğitim düzeyini ele alarak STIRPAT modelini test etmişler ve söz konusu değişkenlerin CO₂ emisyonuna olumlu etkide bulunduğunu belirtmişlerdir. STIRPAT modelinin ilk araştırmalarında genel olarak CO₂ ya da sera gazı emisyonu gösterge olarak kullanılmıştır. Son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalarda daha geniş içeriğe sahip olan ekolojik ayak izi değişkeninin tercih edildiği göze çarpmaktadır.

STIRPAT modelini kullanarak ekolojik ayak izi üzerindeki insan etkisini ölçen çalışmaların çok önemli bir kısmında üretim ve tüketim faaliyetlerinin, enerji kullanımının, nüfus ve kentleşmenin ekolojik ayak izini artırdığı vurgulanmaktadır. Gerçekleştirilen ampirik çalışmalarda hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Örneğin York vd. (2003a) 142 ülkede nüfus, ekonomik büyüme, kentleşme ve coğrafi faktörler gibi değişkenlerin, Ahmed vd. (2020) ve Ma vd. (2022) Çin'de, Nathaniel ve Khan (2020) ise ASEAN ülkelerinde kentleşme ve tüketim harcamalarının ekolojik ayak izini güçlü bir şekilde etkilediğini vurgulamışlardır. Gupta vd. (2022) ise Bangladeş'te kentleşmenin, nüfusun, enerji tüketiminin ekolojik ayak izini artırdığını belirtmişlerdir. Diğer taraftan, bazı çalışmalarda söz konusu değişkenlerin etkisinin pozitiften negatife dönüp dönmediği araştırılmıştır. Destek vd. (2018) AB ülkeleri, Danish vd. (2020) BRICS ülkeleri, Oluç (2023) Türkiye, Wang vd. (2023) 36 OECD ülkesi, Usman vd. (2023) en yüksek ekolojik ayak izine sahip ülkeler üzerine yaptıkları çalışmalarda GSYİH, doğal kaynaklar, enerji tüketimi, yeşil teknoloji, kentleşme gibi değişkenlerle ekolojik ayak izi arasında ters U ilişkisi olduğu yani ekolojik ayak izini artıran etkinin belirli bir süre sonra enerji verimliliği ya da yeşil teknoloji ile negatife döndüğü sonucuna ulaşmışlardır. Enerji tüketimi konusunda fosil yakıt tüketiminin azaltılması ve yenilenebilir enerji kullanımı önemli unsurlardır. Örneğin, Doğan vd. (2020) BRICST ülkelerinde enerji yoğunluğun ekolojik ayak izini artıran en güçlü değişken olduğunu belirtmişlerdir. Bu kapsamda fosil enerji yerine yenilenebilir enerji kullanımını öne çıkaran çalışmalar yapılmıştır.

Huang vd. (2022) E7 ve G7 ülkelerinde (gelişmekte olan ve gelişmiş ülkeler) yenilenebilir enerji kullanımının ekolojik ayak izini azalttığını belirtmişlerdir. Diğer taraftan Usman vd. (2022) ve Hassan vd. (2023) ise gelişmiş ülkelerde nükleer enerji yatırımlarının kaynak tüketimini azaltarak ekolojik sürdürülebilirliğe katkı sağladığını savunmuşlardır.

İnsan faaliyetlerinin ekolojik dengeye verdiği zararı gösteren birçok çalışmanın yanında, literatürde zararın telafi edilmesi ve biyolojik verimliliğin artırılmasının önemini gösteren araştırmalara da rastlanmaktadır. York vd. (2004), yüksek gelirli ülkelerde ekolojik ayak izinin nispeten düşük olduğunu, buna karşılık biyolojik kapasitelerinin üretim düzeyini telafi edecek büyüklükte olmadığını ortaya çıkarmışlardır. Kırıkkaleli vd. (2023), ABD’de ekonomik büyümenin ekolojik ayak izi üzerindeki olumsuz etkisinin yeşil teknolojilerle azaltılabildiğini savunmuşlardır. Bu çerçevede, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve yeşil teknoloji yatırımlarının çevreye olumlu etkisini vurgulayan çalışmaların sayısı artmaktadır. Nathaniel ve Khan (2020) ASEAN ülkelerinde yoğun ekonomik büyüme ve dış ticaret faaliyetlerinin fosil enerji kullanımını artırarak çevresel bozulmaya yol açtığı sonucuna ulaşmışlardır. Wang (2021) BRIC ülkelerinde yenilenebilir enerji yatırımlarının ve küreselleşmenin ekolojik ayak izini azalttığını ortaya çıkarmıştır. Chu (2022) 20 OECD ülkesi için STIRPAT modeli kurmuş, çevreye dayalı teknolojilerin ve yenilenebilir enerji tüketiminin ekolojik ayak izini azalttığını belirtmiştir. Danish vd. (2020) BRICS, Doğan vd. (2020) BRICST ülkelerinde enerji yoğun üretimin çevre sorunlarını artırdığını ve yenilenebilir enerjinin önemini vurgulamışlardır. Usman vd. (2023) ekolojik ayak izi en yüksek ülkelerde geleneksel büyüme yerine yeşil büyüme, yenilenebilir enerji, eko-inovasyon ve beşeri sermayenin çevresel bozulmayı önlediğini savunmuştur.

Mevcut araştırmalarda, beşeri sermayenin ekolojik ayak izine etkisi konusunda farklı sonuçlar ortaya çıktığı gözlenmektedir. Başoğlu (2018) tarafından Türkiye üzerine yapılan çalışmada STIRPAT modeli kurulmuş Türkiye’de kişi başına gelir, nüfus, sanayi ve hizmetler sektöründe üretim, enerji kullanımı ve beşeri sermayenin ekolojik ayak izine etkisi incelenmiştir. Diğer değişkenler ekolojik ayak izini artırırken beşeri sermayenin azalttığı sonucuna ulaşılmıştır. Ahmed vd. (2020) Çin’de ekonomik büyüme ve kentleşmenin ekolojik ayak izini artırdığı, beşeri sermayenin çevresel bozulmayı hafiflettiği sonucuna ulaşmışlardır. Buna karşılık Huang vd. (2022) E7 ve G7 ülkelerde bilgi ve iletişim teknolojileri, beşeri sermaye, ekonomik karmaşıklık ve finansal gelişmenin ekolojik ayak izine etkilerini araştırmıştır. Finansal gelişme hariç diğer değişkenlerin kirlilik düzeyini artırdığını belirtmişlerdir. Wang (2021) ise BRIC ülkelerde beşeri sermaye ve finansal gelişmenin ekolojik ayak izini artırdığını ortaya çıkarmıştır. Usman vd. (2022)’a göre gelişmiş ülkelerde beşeri sermaye ekolojik ayak izini düşürmekte, ekonomik faaliyetler ise su, arazi ve orman rezervini eriterek ekolojiye zarar vermektedir. Kassouri ve Altıntaş (2020)’a göre MENA ülkelerinde insani gelişmenin artırılması ile ekolojik ayak izinin azaltılması konusunda denge sağlamak oldukça güçtür. Çalışmada, küreselleşmenin ve finansal gelişmenin beşeri sermayeye pozitif katkıda bulunduğu, sosyoekonomik kurumsallaşmanın ekolojik ayak izini düşürüp beşeri sermayeyi artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. York vd. (2003a) 142 ülke için yaptıkları analizde siyasi ve sivil özgürlükler, devletin uyguladığı çevre politikası gibi faktörlerin ekolojik ayak izi üzerinde etkili olmadığı sonucuna ulaşmışlardır.

Literatürden elde edilen bulgular genel olarak nüfus, gelir ve fosil enerji kullanımının çevre üzerinde yarattığı baskının teknolojik yenilik ve yenilenebilir enerji kaynakları ile azaltılabileceğini göstermektedir. Buna karşılık beşeri sermaye, finansal gelişme ve dış ticaretin ekolojik ayak izini azaltılabileceği beklentisi, özellikle gelişmekte olan ülkelerde her zaman doğrulanamamaktadır. Ampirik araştırmaların sonuçlarına göre, gelişmiş ülkelerde söz konusu etkenlerin ekolojik ayak izini azaltmakta başarılı olduğu, gelişmekte olan ülkelerde ise hızlı büyüme ve sanayileşme faaliyetlerine paralel olarak çevre düzenlemelerinin ve teknolojik yeniliklerin yetersiz kalması gibi nedenlerle beşeri sermaye, finansal gelişme ve dış ticaretin ekolojik ayak izini artırabildiği görülmektedir.

4. TÜRKİYE'DE EKOLOJİK AYAK İZİNİN BELİRLEYİCİLERİNE YÖNELİK EKONOMETRİK ANALİZ

Bu çalışmada, Dietz ve Rosa (1994, 1997) tarafından geliştirilen STIRPAT modeli kullanılarak ekolojik ayak izinin belirleyicileri 1973-2021 verileri üzerinden Türkiye örneğinde test edilmiştir. İnsan faaliyetlerinin çevre üzerindeki etkisini incelemek üzere kullanılan STIRPAT modelinde, son yıllarda CO₂ emisyonu yerine ekolojik ayak izinin yer almaya başladığı dikkat çekmektedir. Literatürde yer alan uygulamalı araştırmalarda gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelere göre farklı bulgulara erişilmiştir. Bu çalışmada diğer araştırmalara ilave olarak, 1984 yılından itibaren ekolojik açığın sürekli arttığı Türkiye'ye ait verilerle bir analiz yapılmıştır. Bu analizde ekolojik ayak izine ve biyolojik kapasitenin verimliliğine olumlu ve olumsuz etki yarattığı düşünülen değişkenler ele alınmıştır. Değişkenler bir önceki bölümde yer alan literatürdeki araştırmaların göstergelerine dayanarak seçilmiştir. Çalışmada, Nathaniel ve Khan (2020) ve Solarin vd. (2021)'in STIRPAT modellerine benzer şekilde aşağıdaki form kullanılmıştır.

$$efp_t = \beta_0 + \beta_1gdppc_t + \beta_2pop_t + \beta_3enit + \beta_4etech_t + \beta_5exp_t + e_t \quad (4)$$

Formül 4'te gösterilen modelde *efp* ekolojik ayak izini, *gdppc* kişi başına GSYİH'yı, *pop* toplam nüfusu, *en* kişi başına düşen enerji kullanımını, *etech* yeşil teknoloji patentlerini ve *exp* ihracatın GSYİH'ya oranını göstermektedir. Çalışmada Salim vd. (2019) ve Hotak vd. (2020)'nin modellerine benzer şekilde % değerle ifade edilen *exp* değişkeni hariç serilerin logaritmaları alınmıştır. STIRPAT yaklaşımından ve mevcut ampirik araştırmalardan yola çıkılarak kişi başına GSYİH, nüfus ve enerji kullanımının ekolojik ayak izini pozitif, yeşil patentlerin ve ihracatın negatif yönde etkilediği hipotezleri test edilmiştir. Değişkenlerin tanımı ve kaynakları Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1: Modelde kullanılan değişkenler ve kaynakları

	Değişken	Ölçüm	Kaynak
<i>efp</i>	Kişi başı ekolojik ayak izi	Küresel hektar	Global Footprint Network
<i>gdppc</i>	Kişi başına düşen GSYİH	2015 sabit fiyatlarıyla ABD \$	World Bank
<i>pop</i>	Toplam nüfus	Kişi sayısı	World Bank
<i>en</i>	Enerji kullanımı	Kişi başına petrol eşdeğeri kg	World Bank
<i>etech</i>	Çevre yönetimi ve iklim değişikliğine yönelik yeşil teknoloji patentleri	Toplam patent sayısı	OECD
<i>exp</i>	Mal ve hizmet ihracatı	İhracatın GSYİH'ya oranı	World Bank

Tablo 2'de değişkenlere ait zaman serisi verilerinin betimleyici istatistikleri sunulmaktadır. Tabloda verilerin standart sapma, çarpıklık ve basıklık değerleri görülmektedir. Analize dahil edilen altı veriye ait Jargue-Bera istatistiklerinin olasılık değerlerine bakıldığında, değişkenlerin normal dağılım gösterdiği görülmektedir.

Tablo 2: Betimleyici istatistikler

	Lnefp	lngdppc	lnpop	lnen	lnetech	Exp
Ortalama	8,186158	3,801869	7,7774371	3,028880	1,649798	18,34932
Medyan	8,207475	3,779801	7,787101	3,045292	1,631748	20,66623
Maksimum	8,4556674	4,125207	7,928270	3,220939	3,227522	35,30301
Minimum	7,816730	3,554290	7,580106	2,806480	-0,301030	3,218027
Standart Sapma	0,182674	0,164459	0,104118	0,131450	1,123766	8,100785
Çarpıklık	-0,195606	0,355394	-0,257099	-0,081715	-0,060422	-0,310473
Basıklık	1,835893	1,939719	1,894334	1,709965	1,617488	2,377936
Jarque-Bera	3,079225	3,326719	3,035747	3,452252	3,932135	1,577263
Olasılık	0,214464	0,189501	0,219177	0,177973	0,140006	0,454466
Gözlem Sayısı	49	49	49	49	49	49

Tablo 3'te değişkenlerin olasılık değerleriyle birlikte korelasyon matrisi verilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, açıklayıcı değişkenlerle bağımlı değişken arasında güçlü bir korelasyon vardır.

Tablo 3: Korelasyon matrisi

	Lnefp	lngdppc	lnpop	lnen	lnetech	Exp
lnefp	1,000000					
lngdppc	0,974840 (0,0000)	1,000000				
lnpop	0,990492 (0,0000)	0,967138 (0,0000)	1,000000			
lnen	0,993855 (0,0000)	0,980666 (0,0000)	0,985687 (0,0000)	1,000000		
lnetech	0,971662 (0,0000)	0,965608 (0,00009)	0,971713 (0,0000)	0,974603 (0,0000)	1,000000	
exp	0,900171 (0,0000)	0,880637 (0,0000)	0,935557 (0,00009)	0,899897 (0,00009)	0,886765 (0,0000)	1,000000

Analizin bundan sonraki aşamasında, ilk olarak değişkenlerin durağan olup olmadığı Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) ve Phillips-Perron (PP) birim kök testleri ile incelenmiştir. Değişkenler arasındaki eşbütünleşme ilişkisi Pesaran vd. (2001)'in ARDL (Autoregressive Distributed Lag Models) sınır testi ile belirlenmeye çalışılmıştır. Analizlerde Eviews 12 programı kullanılmıştır.

4.1 Birim Kök Analizi

Ekonometrik analizlerde güvenilir sonuçlara ulaşabilmek için verilerin durağan hale getirilmesi gerekmektedir. Genel olarak zaman serisine dayalı makro ekonomik değişkenler trend ve mevsimsellik etkisi nedeniyle durağanlık göstermemektedir. Bu durumda sahte regresyon sonuçlarından uzak kalabilmek için verilerin durağanlığını test eden birim kök testlerinin uygulanması gerekmektedir (Gujarati ve Porter, 2012: 748). Bu çalışmada değişkenlerin durağanlık ölçümleri ADF ve PP birim kök testleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Seriler düzey değerlerinde durağan ise $I(0)$, birinci farkta durağan oluyorsa $I(1)$ olarak tanımlanmaktadır.

Tablo 4'te Türkiye'de 1973-2021 dönemine ait ekolojik ayak izi ve onun belirleyicileri olarak ele alınan altı adet bağımsız değişkenin yıllık verilerine ait ADF ve PP birim kök test istatistikleri sonuçları sunulmaktadır.

Tablo 4: Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) ve Phillips-Perron (PP) birim kök testi bulguları

Seri		ADF		PP	
		Düzyey	Birinci Fark	Düzyey	Birinci Fark
lnefp	Sabit	-1,336055	-10,68915**	-1,558703	-11,41253**
	Sabit ve Trend	-5,014076**	-6,926221**	-5,042030**	-12,26428**
lngdppc	Sabit	0,734160	-6,483641**	1,220184	-6,464957**
	Sabit ve Trend	-1,825780	-6,583123**	-1,883455	-6,789437**
lnpop	Sabit	-4,188308**	-1,636602	-5,929141**	-0,620884
	Sabit ve Trend	-1,216637	-4,349364**	-0,620306	-2,045401
lnen	Sabit	-0,871864	-7,052887**	-0,884277	-7,158870**
	Sabit ve Trend	-3,064423	-7,311544**	-3,054423	-7,116484**
lnetech	Sabit	-1,383573	-11,18774**	-1,195566*	-11,40879**
	Sabit ve Trend	-1,755876	-11,26714**	-3,273012*	-11,56354**
exp	Sabit	-0,594141	-6,517223**	-0,258224	-7,398787**
	Sabit ve Trend	-3,008799	-6,452515**	-2,987864	-7,306551**

Not: * işaretine sahip verilerde %10, ** işaretine sahip verilerde %1 anlamlılık düzeyinde "seri birim kök taşıyor" şeklindeki H_0 hipotezi reddedilmektedir; test istatistiği MacKinnon kritik değerlerinden yüksektir.

Değişkenler farklı düzeylerde durağanlık gösterdiği ve $I(2)$ 'de durağan hale gelen bir değişken olmadığı için bir sonraki aşamada ARDL sınır testi ile eşbütünleşme analizi yapılmıştır.

4.2 Eşbütünleşme için ARDL Sınır Testi

Makro ekonomik seriler arasında eşbütünleşme ilişkisinin bulunması, serilerin ortaya çıkan şoklara benzer tepkiler verdiğini ve uzun dönemli bir dengenin varlığını göstermektedir. Eşbütünleşme

testlerinde genellikle Engle ve Granger (1987), Johansen (1988) ve Johansen ve Juselius (1990) analizleri öne çıkmaktadır. Bununla birlikte bu çalışmada Pesaran vd. (2001)'in ARDL sınır testi tercih edilmiştir. Bu testin kullanılma nedeni analizde ele alınan değişkenlerin farklı durağanlık derecelerine sahip olmasıdır. Aynı zamanda ARDL sınır testi, Pesaran vd. (2001)'nin belirttiği gibi kısa ve uzun dönemli eşbütünleşme ilişkisini gösterebilmekte ve düşük gözleme sahip örneklerde doğru sonuçlara ulaşmayı sağlayabilmektedir. Bu çalışmada kullanılan ARDL sınır testine ait model aşağıdaki gibidir.

$$\ln exp_t = \beta_0 + \beta_1 \ln exp_{t-1} + \beta_2 \ln gdp_{t-1} + \beta_3 \ln pop_{t-1} + \beta_4 \ln en_{t-1} + \beta_5 \ln etech_{t-1} + \beta_6 exp_{t-1} + \sum_{i=1}^k \beta_7 \Delta \ln exp_{t-i} + \sum_{i=1}^k \beta_8 \Delta \ln gdp_{t-i} + \sum_{i=1}^k \beta_9 \Delta \ln pop_{t-i} + \sum_{i=1}^k \beta_{10} \Delta \ln en_{t-i} + \sum_{i=1}^k \beta_{11} \Delta \ln etech_{t-i} + \sum_{i=0}^k \beta_{12} \Delta exp_{t-i} + \varepsilon_t \quad (5)$$

Eşitlik 5'te gösterilen ARDL sınır testi sonucunda elde edilen F test istatistiğinin alt ve üst kritik sınır değerlerinin üzerinde olması, değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisinin varlığını göstermektedir.

Eşbütünleşme analizine geçmeden önce, farklı bilgi kriterlerinden elde edilen sonuçlara en uygun gecikme uzunluğu belirlenmeye çalışılmıştır. Tablo 5'te görüldüğü gibi, * işareti uygun gecikme uzunluğunu vermektedir. Ölçütlere göre Schwarz bilgi kriterinde gecikme minimumdur.

Tablo 5: VAR uygun gecikme uzunluğunun belirlenmesi

Gecikme	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	271,5528	-	3,02e-13	-11,80235	-11,56146	-11,71254
1	581,8904	524,1257	1,55e-18	-23,99513	-22,30891*	-23,36652
2	648,9777	95,41311	4,25e-19	-25,37679	-22,24524	-24,20938
3	696,0498	54,39439*	3,29e-19	-25,86888	-21,29200	-24,16267
4	746,3274	44,69119	2,91e-19*	-26,50344*	-20,50344*	-24,25842*

LR: Ardışık Modifiye Edilmiş LR Test İstatistiği, **FPE:** Son Tahmin Hata Kriteri, **AIC:** Akaike Bilgi Kriteri, **SC:** Schwarz Bilgi Kriteri, **HQ:** Hannan-Quinn Bilgi Kriteri

Tablo 6'da ARDL sınır testinden elde edilen F istatistik değeri ile alt ve üst sınırları gösterilmektedir. Modelde Schwarz bilgi kriterine göre belirlenen gecikme değerleri ARDL (1, 1, 1, 1, 0, 0) şeklindedir. F istatistik değeri %1 anlamlılık düzeyinde alt ve üst sınır değerlerinden büyüktür. Bu sonuç, değişkenler arasında uzun dönemli eşbütünleşmenin varlığını göstermektedir.

Tablo 6: Ekolojik ayak izi ve belirleyici değişkenlerinin eşbütünleşme bulguları

Test İstatistiği	Değer	Belirleyici Değişken (K)
F İstatistiği	16,07750	5
Kritik Sınırlar		
Alt Sınır I(0)	Üst Sınır I(1)	Anlamlılık Düzeyi
2,08	3	%10
2,39	3,38	%5
3,06	4,15	%1

Analizin bir sonraki aşamasında belirleyici değişkenlerin uzun dönem katsayıları araştırılmıştır. Tablo 7'de uzun dönem katsayıları yanında modelin doğruluğunu belirlemek için kullanılan otokorelasyon, değişen varyans, spesifikasyon ve normal dağılım gibi tanı testlerinin sonuçları da gösterilmiştir. Tablo 8'deki veriler nüfus, enerji kullanımı ve ihracat değişkenlerinin ekolojik ayak izini %1 anlamlılık düzeyinde etkilediğini göstermektedir. Nüfus ve enerji kullanımı ekolojik ayak izini aynı yönde, ihracat ise ters yönde etkilemektedir. Elde edilen bulgulara göre, söz konusu dönemde kişi başına düşen GSYİH ekolojik ayak izini artırmakta, yeşil teknoloji ise azaltmaktadır. Bununla birlikte bu iki değişkenin katsayıları istatistiksel olarak anlamlı çıkmamıştır. Tablo 7'de modelin anlamlılığını ölçmek için yapılan tanısallık testler de özetlenmiştir. Söz konusu testlerde Ho

hipotezleri kabul edilmiştir. Bu sonuçlara göre değişkenler arasında otokorelasyon yoktur, değişen varyans sorunu çıkmamıştır, modelin normalliği testi de olumlu sonuçlar vermiştir.

Tablo 7: ARDL sınır testinin tahmin bulguları

Uzun Dönem Katsayılar	ARDL Sınır Testi	
	Katsayı	Olasılık
lngdppc	0,016605	0,7979
lnpop	1,2984771**	0,0000
lnen	0,531480**	0,0005
lnetech	-0,005638	0,5151
exp	-0,003796**	0,0003
c	-3,478125**	0,0091
Tanısal Testler	Test İstatistiği	Olasılık
Jarque-Bera Normallik Testi	0,602385	0,739935
Breush-Pagan-Godfrey Değişen Varyans Testi	0,917644	0,5206
Ramsey Sıfırlama Testi	3,859006	0,0570
Breush-Godfrey LM Seri Korelasyon Testi	0,353113	0,7049

Not: ** işareti katsayıların %1, * işareti %5 önem seviyesinde anlamlı olduğunu göstermektedir.

Çalışmada, hata düzeltme katsayısı ile değişkenlerin kısa dönem katsayılarına da bakılmış ve Tablo 8’de özetlenmiştir. Kısa dönemde ekolojik ayak izi ile kişi başına GSYİH ve enerji kullanımı arasında aynı yönde ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Bulgulara göre, ihracat kısa dönemde ekolojik ayak izini azaltmaya yardımcı olmaktadır ve bu etki istatistiksel olarak anlamlıdır. Nüfus ve teknoloji değişkenlerinin katsayıları istatistiksel olarak anlamlı çıkmamıştır. Diğer taraftan, hata düzeltme katsayısı kısa dönemde dengeden sapma olması durumunda uzun dönemli dengenin yeniden sağlanıp sağlanmadığını göstermektedir. Tahmin edilen hata düzeltme katsayısı -0,848643’dür. Sonuç, kısa dönemde ortaya çıkabilecek bir sapmanın uzun dönemde giderilebileceğini göstermektedir. Kremers vd. (1992)’nin çalışmasında açıkladığı gibi $1/0,85=1,17$ şeklinde elde edilen sonuç, kısa dönemli bir sapmanın yaklaşık 1 yıl sonra giderilebileceğini yansıtmaktadır.

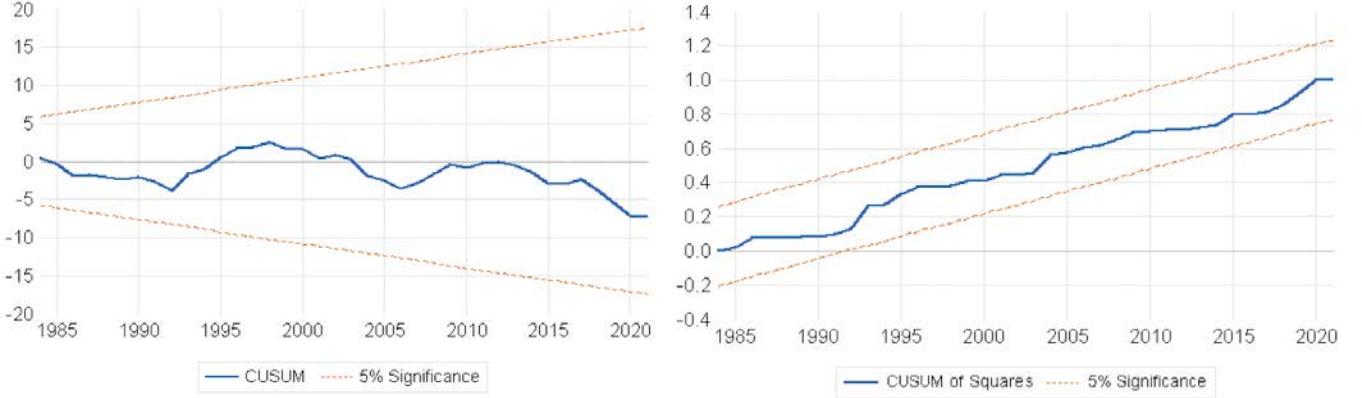
Tablo 8: Hata düzeltme modeli ve kısa dönemli katsayılar

Kısa Dönem Katsayılar	ARDL Sınır Testi	
	Katsayı	Olasılık
C	-2,951687	0,0035
lnfp(-1)	0,151357	0,1624
lngdppc	0,379514	0,0081
Lngdppc(-1)	-0,365423	0,0154
lnpop	-2,413931	0,1519
lnpop(-1)	3,515869	0,0395
lnen	0,824247	0,0000
lnen(-1)	-0,373210	0,0226
lnetech	-0,004785	0,5103
exp	-0,003222	0,0000
Hata Düzeltme Katsayısı	-0,848643*	0,0000
R ²	0,996914	
Düzeltilmiş R ²	0,996183	
F İstatistiği	1363,871	0,00000

Not: * işareti katsayıların %1 önem seviyesinde anlamlı olduğunu göstermektedir.

Değişkenler arasındaki kısa ve uzun dönem ilişkileri saptandıktan sonra, Brown vd. (1975)’nin belirttiği gibi ilişkinin zaman içinde belirli bir aralıkta dalgalanıp dalgalanmadığını gösteren CUSUM ve CUSUM-Kare testlerinin sonuçlarına bakılmıştır.

Şekil 4: CUSUM ve CUSUM-Kare Testleri



CUSUM ve CUSUM-Kare testlerinden elde edilen bulgular, tahmin edilen katsayıların kritik değerlerin içinde olduğunu göstermektedir (Şekil 4). Modelden elde edilen bulgular, ilgili dönemde katsayıların kararlı olduğunu ve yapısal kırılma sorunu ile karşılaşmadığını ortaya çıkarmıştır.

5. SONUÇ

İklim değişikliğinden kaynaklanan olumsuz etkilerin gelecekte çok daha belirgin şekilde yaşanacağı coğrafi bölgelerden biri Türkiye'dir. Kuraklığın, orman yangınlarının, sel, erozyon ve fırtına gibi iklim değişikliğine dayalı doğa olaylarının, hava, su ve toprak kirliliğinin yoğun etkileri ortaya çıktıkça Türkiye'de çevre farkındalığının arttığı ve alınması gereken önlemlerin sıklıkla konuşulduğu görülmektedir. Bu çalışmada insan faaliyetleri ile çevre ilişkisini açıklayan STIRPAT modeli ile 2000'li yıllardan itibaren nicel değerlerle ifade edilmeye başlanan ekolojik ayak izi kavramı bir araya getirilmiş, Türkiye'de insanın doğaya olumlu ve olumsuz etkisi analiz edilmeye çalışılmıştır.

IPCC'nin raporları, sera gazı emisyonu nedeniyle dünyanın taşıma kapasitesinin üzerine çıktığını göstermektedir. Küresel ısınmaya yönelik gelecek senaryolarında, orta ve yüksek sera gazı emisyonunun devamı durumunda küresel ısınmanın yakın gelecekte 1,5°C'nin çok üzerine çıkacağı, eğer çok düşük sera gazı emisyonuna ulaşırsa 1,5°C'nin altına düşülebileceği vurgulanmıştır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülke ayrımı yapmadan bu durumun bir insanlık sorunu olduğu kabul edilmek zorundadır. Bugünkü sera gazı emisyonunun asıl sorumlusu olan gelişmiş ülkeler belirli ölçüde önlem alarak emisyon artışını azaltmaya başlamışlardır. Buna karşılık sanayileşmeye ve refah artışına devam eden gelişmekte olan ülkeler yüksek maliyetler içeren önlemleri alma konusunda yetersiz kalmaktadır. Günümüzde insanın neden olduğu emisyonları azaltma yönünde en ciddi uluslararası çaba 2016 yılında yürürlüğe giren Paris Anlaşması'dır. Küresel sera gazı emisyonunun %90'undan fazlasını gerçekleştiren ülkeler anlaşmayı imzalamıştır. 2021 yılında Paris Anlaşması'nı onaylayan Türkiye 2053 yılına kadar sıfır karbon taahhüdünde bulunmuştur. Aynı zamanda Türkiye, IPCC'nin 2022 yılında gerçekleştirilen COP27 konferansında niyet beyanını vermiş ve 2030 yılına kadar sera gazı emisyonunu %41 azaltmayı taahhüt etmiştir. Bu taahhüdün yerine getirilmesi için çok daha ciddi çevre politikalarına ve samimi uygulamalara ihtiyaç olduğu kesindir.

Bu çalışmanın uygulama aşamasında, gelişen piyasa ekonomisi olan ve son yıllarda küresel CO₂ emisyonu ve ekolojik açığı artan Türkiye'de STIRPAT modeli kurularak insan faaliyetlerinin ekolojik ayak izine etkisi test edilmeye çalışılmıştır. CO₂ emisyonunun ötesine geçen, hava, su ve toprak kirliliği ile biyolojik kapasiteye ciddi zarar veren faaliyetleri gösteren ekolojik ayak izini STIRPAT modelinde kullanan uluslararası çalışmalar ancak 2020 yılından itibaren yoğunlaşmıştır. Türkiye'de ise ekolojik ayak izi ve belirleyicileri üzerine çok sınırlı çalışma mevcuttur. Bu nedenle, bu çalışmadan elde edilen bulguların literatürde yol gösterici olabileceği düşünülmektedir. Araştırmada 1973-2021 yılları arasında kişi başına düşen GSYİH, nüfus, enerji kullanımı, yeşil teknoloji patentleri ve ihracatın

ekolojik ayak izine etkisi eşbütünleşme analizi ile test edilmiştir. Bu dönemde Türkiye, dışa dönük sanayileşme atılımları gerçekleştirmiş, Avrupa Birliği ile üyelik müzakerelerini yürütmüş, uluslararası çevre anlaşmalarına taraf olmuş, doğal kaynak tasarrufu ve CO₂ emisyonunu azaltmaya yönelik önlemler almaya ve yeşil teknoloji yatırımları yapmaya başlamıştır. Aynı dönem Türkiye’de hızlı nüfus artışının yaşandığı, refah seviyesinin yükseldiği buna bağlı olarak üretim ve tüketim faaliyetlerinin arttığı yılları içermektedir. Bu çabalar Türkiye’de, ne yazık ki birçok gelişmekte olan ülkeye benzer şekilde ekosistem üzerindeki baskıları yükseltmektedir.

Çalışmanın amacı, döngüsel ekonomi uygulamalarını ve CO₂ emisyonunu da içeren ekolojik ayak izini etkileyen olumlu ve olumsuz değişkenleri ortaya çıkararak tartışma yaratabilmektir. Modele dahil edilen değişkenler üretici ve tüketici sorumluluklarını aynı anda yansıtabilmektedir. Gerçekleştirilen analiz sonucunda, Türkiye’de 1973-2021 yılları arasında kişi başına düşen GSYİH, nüfus, enerji kullanımı, yeşil teknoloji patentleri ve ihracat ile ekolojik ayak izi arasında uzun dönemli ve istatistiksel olarak anlamlı bir eşbütünleşme ilişkisi bulunmuştur. Bulgulara göre, kişi başına düşen GSYİH, nüfus ve enerji kullanımı ekolojik ayak izini artırmakta, yeşil teknoloji ve ihracat ise azaltmaktadır. Türkiye’de 1973-2021 yılları arasında ekolojik ayak izine etkisi en yüksek olan değişken nüfustur. Nüfustaki %1’lik artış ekolojik ayak izini %1,29 yükseltmektedir. Benzer şekilde enerji kullanımındaki %1 artış ekolojik ayak izini %0,53 yükseltmektedir. Analiz sonuçları, kişi başına GSYİH’nın ekolojik ayak izini yükselttiğini göstermekle birlikte bu ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığını ortaya çıkarmıştır. Bu bağlamda çalışmanın bulguları, gelişmekte olan ülkelerde nüfus artışı, enerji kullanımı ve ekonomik büyümenin ekolojik ayak izini artırdığını savunan York vd. (2003a), Nathaniel ve Khan (2020), Solarin vd. (2021), Gupta (2022), Doğan vd. (2020), Danish vd. (2020) ve Ma vd. (2022)’nin sonuçlarına benzemektedir. Bu çalışmadan elde edilen bir diğer sonuç, ihracatın ve yeşil teknolojinin küçük düzeyde de olsa ekolojik ayak izini azalttığı yönündedir. Bu kapsamda, yeşil teknolojinin çevre sorunlarının azalmasına yardımcı olduğunu savunan Gupta vd. (2022), Chu (2022), Usman vd. (2023), Javed vd. (2023) ve Appiah vd. (2023)’nin çalışmalarına benzer sonuç elde edildiği görülmektedir. Elde edilen bulgular aynı zamanda, Destek vd. (2018), Kassouri ve Altıntaş (2020) ve Wang (2021)’in ticari açıklığın ekolojik ayak izini azalttığı yönündeki sonuçlarını doğrulamaktadır. Bununla birlikte, Nathaniel ve Khan (2020) ASEAN ülkelerinde, Solarin vd. (2021) Nijerya’da, Javed vd. (2023) İtalya’da dış ticaretin ekolojik ayak izini artırdığı sonucundan farklı olarak bu çalışmanın bulguları Türkiye’de ihracatın ekolojik ayak izini azaltmaya yardımcı olduğunu ortaya çıkarmıştır. Diğer taraftan Başoğlu (2018) tarafından Türkiye üzerine yapılan çalışmada beşeri sermayenin önemi üzerinde durulurken, bu çalışmada beşeri sermayenin yarattığı yeşil teknoloji ile ihracat ele alınmış; ticari açıklığın etkisi değerlendirilmeye çalışılmıştır. Kurulan modelin eşbütünleşme tanı testleri, modelin güvenli olduğunu göstermiştir. Gerçekleştirilen CUSUM ve CUSUM-Kare testleri ile katsayıların kararlı olduğu ve yapısal kırılmalardan etkilenmediği sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak insan sayısı, refah düzeyi ve enerji kullanımı arttıkça ekolojik ayak izi hızla yükselmektedir. Türkiye’de insan etkisi yoğun bir şekilde ekolojik ayak izini etkilemiştir ve halen tüketicilerde son derece yetersiz olan çevre bilincinin artırılması gerekmektedir. Buna karşılık uluslararası ölçekte çevre duyarlılığının derinleşmeye başladığı son yıllarda, ihracatta rekabetçiliği artırmaya çalışan firmaların geliştirdiği yeşil teknoloji patentlerinin ekolojik açığı dengelemeye yardımcı olduğu görülmektedir. Diğer taraftan ihracatın ve yeşil teknoloji patentlerinin azaltıcı etkisi çok yüksek çıkmamıştır. Türkiye’de çevre politikalarının ve yeşil yatırımların henüz başlangıç düzeyinde olması nedeniyle sonuçların görülebilmesi için zamana ihtiyaç olduğu söylenebilir.

Bu bağlamda, analizden elde edilen bulgular, Türkiye’de çevreyi olumlu ve olumsuz etkileyen değişkenlerin rolünün belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Makro ekonomik değişkenler ve çevre ilişkisi literatürde sıklıkla tartışılmakta ve ampirik çalışmalara konu olmaktadır. Bununla birlikte kurulan modeller yeni verilerle sürekli güncellenmektedir. STIRPAT modelinde ekolojik ayak izinin

kullanılması yeni olduğu için araştırma sayısı çok fazla değildir. Türkiye'nin son dönemde Paris Anlaşması'nı imzalaması ve Avrupa Yeşil Mutabakatı sonrasında çevre politikalarını güncellemek zorunda kalması özellikle ekolojik ayak izi kavramının önemini ortaya çıkarmıştır. Avrupa Yeşil Mutabakatı'nın içeriğinde yer alan nötr karbon, temiz enerji, döngüsel ekonomi, yeşil tarım, sıfır kirlilik ve ekosistemi ve biyolojik çeşitliliği koruyan politika önerileri, insan kaynaklı ekolojik ayak izini doğrudan etkileyen uygulamalardır. Söz konusu uygulamalar, günümüzde Avrupa Birliği sınırlarını aşmaya başlamıştır. Avrupa Birliği ülkeleri, 2026 yılından itibaren bu standartlara uymayan ticari ortaklarına sınırda karbon düzenlemesi ile yaptırım uygulayacağını taahhüt etmektedir. Uygulamanın gerçekleştirileceği öncü sektörlerin gübre, demir çelik, alüminyum, elektrik üretimi ve çimento olduğu belirtilmiştir (Avrupa Komisyonu, 2021). Enerji yoğun olan bu sektörler Türkiye'nin ihracatında yüksek paya sahiptir. Diğer taraftan Nordhaus (2015) tarafından önerilen İklim Kulübü önerisi, G7 ülkeleri tarafından 2 Haziran 2022 tarihinde alınan bir kararla hayata geçirilmiştir. Bu çerçevede karbon kaçağı ile mücadele, karbon fiyatlandırması, nötr iklim ve yeşil teknolojinin geliştirilmesine yönelik önlemler alınmıştır. Kararda ayrıca G20 ülkeleri başta olmak üzere uluslararası ortaklar İklim Kulübü'ne davet edilmiştir (G7 Germany, 2022). Bu gelişmeler ışığında, küresel ekonomiye entegre olan ve Avrupa Birliği ülkeleriyle güçlü bir ticari ortaklık içinde bulunan Türkiye'de ekolojik ayak izini azaltma çabaları büyük önem kazanmaktadır. Türkiye'de ekolojik ayak izinin azaltılmasına yönelik politikalar enerji yoğun sektörlerde ve tekstil, tarım, elektronik, beyaz eşya, otomotiv gibi döngüsel ekonomi uygulamalarının öne çıktığı alanlarda uygulanmaya başlanmıştır. Bu konuda başarı sağlayan firmalar, Avrupa Birliği pazarında üçüncü ülkelere göre avantaj elde edebilmektedir. Ülke içinde ve küresel ölçekte değer zincirleri içinde yer alan firmalar dışsallığın etkisiyle çevre politikalarına uyum sağlayabilmekte ve rekabetçiliği artırabilmektedir. Çevreye yönelik finansal desteklerin tabana yayılmasının ekolojik açığın azaltılmasında etkili bir politika olduğu düşünülmektedir.

İnsan eliyle doğaya verilen zararı giderebilmenin yolu biyolojik kapasiteyi desteklemekten geçmektedir. Türkiye'nin biyolojik kapasitesi ne yazık ki dünya ortalamasının altındadır. Üstelik Türkiye, küresel ısınmadan ve kuraklıktan en çok etkilenecek ülkeler arasındadır. Bunun en önemli nedenleri arasında hızlı ve çarpık kentleşme, ormansızlaşma, yanlış tarım uygulamaları, su kaynaklarının tüketilmesi ve kirlenmesi yer almaktadır. Doğaya verilen zararın telafi edilmesi için Türkiye'de uluslararası iklim değişikliğini önleme politikalarına uyum sağlanması, üretim ve tüketim faaliyetlerinde farkındalığın artırılması, "kirlenen öder" prensibinin içselleştirilmesi gerekmektedir. Araştırma bulgularının gösterdiği gibi, yerli ve yabancı yatırımlarla yeşil teknolojinin desteklenmesi, çevreye duyarlı ürünlerin ihracatına öncelik verilmesi nüfus, ekonomik büyüme ve enerji kullanımının yarattığı ekolojik açığı giderme konusunda çok değerli adımlardır. Son yıllarda, ihracata dayalı sektörlerde Avrupa Yeşil Mutabakatı'na uyum kriterleri ve nötr karbon niyet beyanı çerçevesinde önlemler alınmaya başlanmıştır. Araştırma bulgularının da gösterdiği gibi, mevcut politikaların artarak uygulanması ve devamlılığının sağlanması durumunda, gelecek senaryolarını olumlu yönde etkilemek mümkün olacaktır.

Çalışmada STIRPAT modelinin teknoloji değişkeni olarak modele dahil edilebilecek ve ekolojik ayak izini azaltacağı öngörülen bazı değişkenler ele alınamamıştır. Örneğin yenilenebilir enerji, beşeri sermaye değişkenleri 1990 yılı öncesine ait veri bulunamadığı, karbon vergisi ise henüz veriye erişim olmadığı için kullanılamamıştır. Ayrıca, Türkiye'nin küresel değer zinciri içinde yer alması ve ihraç ürünlerinin birçok ithal girdi içermesi nedeniyle Avrupa Birliği'nin emisyon sınırı beklentisini ispatlama konusunda bazı sorunlar yaşanabilecektir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, ihraç ürünlerinin ve teknoloji yatırımlarının sektör bazında incelenmesi mümkündür. Ayrıca, ithalat ve ihracatta uygulanan karbon vergisinin zaman serisi verileri ulaşılabilecek hale geldiğinde, modelin biraz daha genişletilmesi söz konusu olacaktır.

KAYNAKÇA

- Aguirre, M. ve Ibikunle, G. (2014). Determinants of renewable energy growth: A global sample analysis. *Energy Policy*, 69, 374-384.
- Ahmed, Z., Asghar, M.M., Malik, M.N., Nawaz, K. (2020). Moving towards a sustainable environment: the dynamic linkage between natural resources, human capital, urbanization, economic growth, and ecological footprint in China. *Resources Policy*, 67, 101677.
- Apergis, N., Payne, J. E. (2012). Renewable and non-renewable energy consumption-growth nexus: Evidence from a panel error correction model. *Energy Economics*, 34(3), 733-738.
- Apergis, N., Eleftheriou, S., Payne, J.E. (2013). The relationship between international financial reporting standards, carbon emissions, and R&D expenditures: Evidence from European manufacturing firms. *Ecological Economics*, 88, 57-66.
- Arrow, K.J. (1962). The economic implications of learning by doing, *The Review of Economic Studies*, 29, 155-73.
- Avrupa Komisyonu (2021).
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_21_3661; 20.12.2023.
- Başoğlu, A. (2018). STIRPAT modeli kapsamında Türkiye’de ekolojik ayak izinin belirleyicileri. *İktisat Seçme Yazılar*, (Ed: Erdem, H.F ve Başoğlu, A.), 133-155.
- Bongaarts, J. (1992). Population growth and global warming, *Population and Development Review*, 18, 299-319.
- 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), 149-192.
- Chu, L.K. (2022). Determinants of ecological footprint in OCED countries: do environmental-related technologies reduce environmental degradation? *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 23779-23793. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17261-4>
- Commoner, B. (1971). Economic growth and ecology-a biologist’s view. *Monthly Labor Review*, 94(11), 3-13.
- Danish, Ulucak, R., Khan, S.U. (2020). Determinants of the ecological footprint: Role of renewable energy, natural resources, and urbanization. *Sustainable Cities and Society*, 54, 101996.
- Destek, M.A., Ulucak, R., Dogan, E. (2018). Analyzing the environmental Kuznets curve for the EU countries: the role of ecological footprint. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 29387-29396.
- Dietz, T., Rosa, E.A. (1994). Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology. *Human Ecology Review*, 1(2), 277-300.
- Dietz, T., Rosa, E.A. (1997). Effects of population and affluence on CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 94, 175-179.
- Dogan, E., Ulucak, R., Kocak, E., Isik, C. (2020). The use of ecological footprint in estimating the Environmental Kuznets Curve hypothesis for BRICST by considering cross-section dependence and heterogeneity. *Science of The Total Environment*, 723, 138063.
- Ehrlich, P.R., Holdren, J.P. (1971). Impact of population growth, *Science*, 171, 1212-1217.

- Engle, R.F., Granger, C. W. (1987). Co-integration and error correction: Representation, estimation, and testing. *Econometrica*, 55(2), 251-276.
- G7 Germany (2022). G7 Statement on Climate Club.
<https://www.g7germany.de/resource/blob/974430/2057926/2a7cd9f10213a481924492942dd660a1/2022-06-28-g7-climate-club-data.pdf>; 20.12.2023.
- Global Footprint Network (2023).
https://data.footprintnetwork.org/?_ga=2.25606709.925223553.1651752002-1174839785.1620499561#/abouttheData; (08.08.2023).
- Grossman, G., Krueger, A.B. (1991). Environmental impacts of a North-American free trade agreement. *NBER Working Paper* 3914.
- Gujarati, D.N., Porter, D.C. (2012). Temel Ekonometri (Çev: Ü. Şenesen, G.G. Şenesen), Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Gupta, S., Saini, M., Sahoo, M. (2022). Determinants of ecological footprint and PM2.5: Role of urbanization, natural resources and technological innovation. *Environmental Challenges*, 7, 100467.
- Hassan, S.T., Batool, B., Wang, P., Zhu, B., Sadiq, M. (2023). Impact of economic complexity index, globalization, and nuclear energy consumption on ecological footprint: First insights in OECD context. *Energy* 263(A). 125628.
- Holdren, J.P., Ehrlich, P.R. (1974). Human population and global environment. *American Scientist*, 62, 282-292.
- Hotak, S., Islami, M., Kakinaka, M., Kotani, K. (2020) Carbon emissions and carbon trade balances: International evidence from panel ARDL analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 24115-24128.
- Huang, Y., Hasee, M., Usman, M., Ozturk, İ. (2022). Dynamic association between ICT, renewable energy, economic complexity and ecological footprint: Is there any difference between E-7 (developing) and G-7 (developed) countries? *Technology in Society*, 68, 101853.
- IPCC (2023)
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_SummaryForPolicymakers.pdf; (04.09.2023).
- Javed, A., Rapposelli, A., Khan, F., Javed, A. (2023). The impact of green technology innovation, environmental taxes, and renewable energy consumption on ecological footprint in Italy: Fresh evidence from novel dynamic ARDL simulations. *Technological Forecasting and Social Change*, 191, 122534.
- Johansen, S. (1988). Statistical analysis of cointegration vectors. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12(2-3), 231-254.
- Johansen, S., Juselius, K. (1990). Maximum likelihood estimation and inference on cointegration—with applications to the demand for money. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 52(2), 169-210.
- Kassouri, Y., Altıntaş, H. (2020). Human well-being versus ecological footprint in MENA countries: A trade-off? *Journal of Environmental Management*, 263, 110405.
- Kirikkaleli, D., Sofuoğlu, E., Ojekemi, O. (2023). Does patents on environmental technologies matter for the ecological footprint in the USA? Evidence from the novel Fourier ARDL approach. *Geoscience Frontiers*, 14(4), 10156.

- Kremers, J.J., Ericsson, N. R., Dolado, J.J. (1992). The power of cointegration tests. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 54 (3), 325-348.
- Liddle, B. (2004). Demographic dynamics and per capita environmental impact: Using panel regressions and household decompositions to examine population and transport. *Population and Environment*, 26 (1) 23-39.
- Liu, Y. (2009). Exploring the relationship between urbanization and energy consumption in China using ARDL (autoregressive distributed lag) and FDM (factor decomposition model). *Energy*, 34(11), 1846-1854.
- Lin, S., Zhao, D., Marinova, D. (2009). Analysis of the environmental impact of China based on STIRPAT model, *Environmental Impact Assessment Review*, 29(6), 341-347.
- Ma, H., Liu, Y., Li, Z, Wangn, Q. (2022). Influencing factors and multi-scenario prediction of China's ecological footprint based on the STIRPAT model. *Ecological Informatics*, 69, 101664.
- Mankiw, N.G., Romer, D., Weil, D.N. (1992). A contribution to the empirics of economic growth, *Quarterly Journal of Economics*, 107, 407-37.
- Marques, A. C., Fuinhas, J. A. (2012). Is renewable energy effective in promoting growth? *Energy Policy*, 46, 434-442.
- Nathaniel, S., Khan, S.A.R. (2020). The nexus between urbanization, renewable energy, trade, and ecological footprint in ASEAN countries. *Journal of Cleaner Production*, 272, 122709.
- Nordhaus, W.D. (1974). Resource as a constraint on growth. *The American Economic Review*, 64(2), 22-26.
- Nordhaus, W.D. (1992) An optimal transition path for controlling greenhouse gases. *Science*, 258, 1315-1319.
- Nordhaus, W.D. (2015). Climate Clubs: Overcoming Free-riding in International Climate Policy. *American Economic Review* 105(4), 1339-1370.
- Nordhaus, W.D. (2020). *İklim Kumarı-Isınan Dünyada Risk, Belirsizlik ve İktisat*. Doğan Kitap Yayınevi.
- Oluç, İ. (2023). İnsani kalkınma ile karbonsuz ekolojik ayak izi ilişkisi: Sürdürülebilir kalkınmaya farklı bir bakış açısı. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 41(2), 271-293.
- Parikh J., Shukla, V. (1995). Urbanization, energy use and greenhouse effects in economic development: results from a cross-national study of developing countries. *Global Environmental Change*, 5(2), 87-103.
- Payne, J. E. (2012). The causal dynamics between us renewable energy consumption, output, emissions, and oil prices. *Energy Sources Part B*, 7, 323-330.
- Rebelo, S. (1991). Long-run policy analysis and long-run growth. *Journal of Political Economy*, 99, 500-521.
- Rees, W.E. (1992). Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out. *Environment and Urbanization*, 4(2), 121-130.
- Romer, P.M. (1986). Increasing returns and long-run growth. *The Journal of Political Economy*, 94, 1002-37.
- Romer, P.M. (1990). Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, 98(5), 71-102.

- Sachs, J. (2019). *Sürdürülebilir Kalkınma Çağı*. Yeditepe Üniversitesi Yayınları.
- Sadorsky, P. (2009). Renewable Energy Consumption and Income in Emerging Economies. *Energy Policy*, 37(10), 4021-4028.
- Salim, R.A., Shafiei, S. (2014). Urbanization and renewable and nonrenewable energy consumption in OECD countries: An empirical analysis. *Economic Modelling*, 38, 581-591.
- Salim, R.A., Rafiq, S. (2012). Why do some emerging economies proactively accelerate the adoption of renewable energy? *Energy Economics*, 34, 1051-1057.
- Salim, R., Rafiq, S., Shafiei, S., Yao, Y. (2019). Does urbanization increase pollutant emission and energy intensity? Evidence from some Asian developing economies. *Applied Economics*, 51(1), 1-17.
- Sevüktekin, M., Çınar, M. (2017). *Ekonometrik Zaman Serileri Analizi Eviews Uygulamaları*. Dora Yayınları.
- Shafiei, S., Salim, R.A. (2014). Non-renewable and renewable energy consumption and CO₂ emissions in OECD countries: A comparative analysis. *Energy Policy*, 66, 547-556.
- Shahbaz, M., Loganathan, N., Muzaffar, A.T., Ahmed, K., Jabran, M.A. (2016). How urbanization affects CO₂ emissions in malaysia? the application of stirpat model. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57C, 83-93.
- Shandra, J.M., London, B., Whooley, O.P., Williamson, J.B. (2004). International nongovernmental organizations and carbon dioxide emissions in the developing world: A quantitative, cross-national analysis. *Sociological Inquiry*, 74(4), 520-545.
- Shen, L., Cheng, S., Gunson, A.J., Wan, H. (2005). Urbanization, sustainability and the utilization of energy and mineral resources in China. *Cities*, 22(4), 287-302.
- Shi, A. (2003). The impact of population pressure on global carbon dioxide emissions, 1975–1996: evidence from pooled cross-country data. *Ecological Economics*, 44(1), 29-42.
- Solarin S.A., Nathaniel S.P., Bekun F.V., Okunola A.M., Alhassan A. (2021). Towards achieving environmental sustainability: environmental quality versus economic growth in a developing economy on ecological footprint via dynamic simulations of ARDL. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(14), 17942-17959. doi: 10.1007/s11356-020-11637-8. Epub 2021
- Solow, R. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *Quarterly Journal of Economics*, 70, 65–94.
- Stern, P.C., Young, O.R., Druckman, D. (Eds.) (1992). *Global environmental change: Understanding the human dimensions*. National Academy Press, Washington, D.C.
- Swan, R. (1956). Economic growth and capital accumulation. *Economic Record*, 32, 334-61.
- Usman, A., Öztürk, İ., Naqvi, S.M., Zafar, S.M., Javed, M.I. (2022). Revealing the nexus between nuclear energy and ecological footprint in STIRPAT model of advanced economies: Fresh evidence from novel CS-ARDL model. *Progress in Nuclear Energy*, 148, 104220.
- Usman, A., Öztürk, İ., Naqvi, S.M., Zafar, S.M. Javed, M.I. (2023). Green versus conventional growth in the EKC framework of top pollutant footprint countries: Evidence based on advanced panel data techniques. *Geological Journal* <https://doi.org/10.1002/gj.4822>
- Voumik, L.C., Ridwan, M. (2023). Impact of FDI, industrialization, and education on the environment in Argentina: ARDL approach. *Heliyon*, 9, e12872

- Wackernagel, M., Rees, W.E. (1996). *Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth*. Gabriola Island, Canada: New Society Publishers.
- Wackernagel, M., Onisto, L., Bello, P., Linares, A.C., Falfán, I.S.L., García, J.M., Guerrero, A.I.S., Guerrero, M.G.S. (1999). National natural capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecological Economics*, 29(3), 375-390.
- Wang, Q., Yang, T., Li, R. (2023). Economic complexity and ecological footprint: The role of energy structure, industrial structure, and labor force. *Journal of Cleaner Production*, 412, 137389.
- Wang, X.G. (2021) Determinants of ecological and carbon footprints to assess the framework of environmental sustainability in BRICS countries: A panel ARDL and causality estimation model. *Environmental Research*, 197, 111111.
- Xu, C., Zha, W., Zhang, M., Cheng, B. (2021). Pollution haven or halo? The role of the energy transition in the impact of FDI on SO2 emissions. *Science of The Total Environment*, 763. 143002.
- York, R., Rosa, E. A., Dietz, T. (2003a). Footprints on the earth: The environmental consequences of modernity. *American Sociological Review*, 68(2), 279–300. <https://doi.org/10.2307/1519769>
- York, R., Rosa, E.A., Dietz, T. (2003b). STIRPAT, IPAT and ImPACT: Analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts. *Ecological Economics*, 46, 351-365.
- York, R. (2007). Demographic trends and energy consumption in European Union nations, 1960–2025. *Social Science Research*, 36(3), 855-872.



© Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license.
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

EXTENDED ABSTRACT

Determinants of Ecological Footprint in Türkiye: STIRPAT Model

1. Introduction

Production and consumption activities have increasingly threatened ecological life. Greenhouse gas emissions, natural resource use, environmental pollution and waste have exceeded the world's biological carrying capacity. In this study, the dimensions of anthropogenically ecological destruction in Türkiye are discussed. In this context, the determinants of the Ecological Footprint are analyzed, and the effects of positive and negative variables are examined. In the study, firstly, the concepts of Ecological Footprint and Biological Capacity are explained. Afterwards, theoretical models examining the impact of economic variables on the environment and empirical studies testing these models are introduced. In the analysis part of the study, the relationship between the Ecological Footprint and its determinants was tested with an econometric time series model based on the STIRPAT approach, using data for the period 1973-2021 in Türkiye.

2. Data Set and Method

In this study, the STIRPAT model developed by Dietz and Rosa (1994, 1997) was used. In the model, the determinants of the Ecological Footprint between 1973 and 2021 were analyzed for Türkiye, tested. which has been experiencing an increasing Ecological Deficit since 1984. In this analysis, variables that are assumed to have positive and negative effects on Ecological Footprint and was discussed. The long-run relationship between variables was examined with the ARDL bounds test.

3. Empirical Findings

ARDL Boundary Test was applied to determine whether there is a long-run relationship between GDP per capita, population, green technology patents, exports and energy use and Ecological Footprint in Türkiye in the period 1973-2021. The analysis results show that there is a long-run and statistically significant cointegration relationship between the variables. In Türkiye, population and energy use strongly increase the Ecological Footprint, while GDP per capita increases the Ecological Footprint in a limited way. Therefore, environmental awareness of consumers in Türkiye needs to be increased. Exports and green technology patents have a reducing effect, but their coefficients are not high. Since environmental policies and green investments have gained momentum in Türkiye in recent years, it is thought that their results will be seen over time.

4. Discussion and Conclusion

Türkiye is one of the geographies where the negative effects of climate change will be experienced more clearly. Ecological Footprint has been increasing rapidly in recent years. The aim of the study is to create discussion by revealing the positive and negative variables affecting circular economy practices and the ecological footprint including CO₂ emissions. The variables included in the model can reflect producer and consumer responsibilities simultaneously. As a result of the analysis, a long-run and statistically significant relationship was found between GDP per capita, population, energy use, green technology patents and exports and ecological footprint in Türkiye between 1973 and 2021. According to the findings, per capita GDP, population, and energy use increase the ecological footprint, while green technology and exports can reduce it. As the research findings show, supporting green technology with domestic and foreign investments and prioritizing the export of environmentally friendly products are very valuable steps in eliminating the ecological deficit created by population, economic growth, and energy use. In order to compensate for the damage caused to nature, Türkiye needs to comply with international climate change prevention policies, raise awareness in production and consumption activities, and internalize the "polluter pays" principle. In recent years, measures have begun to be taken in export-oriented sectors within the

framework of European Green Deal compliance criteria and carbon neutral declaration of intent. If existing policies are increasingly implemented and maintained, it will be possible to positively affect future scenarios.