



*Araştırma Makalesi / Research Article*

## KÖMÜR İHRAÇ EDEN ÜLKELERDE STIRPAT MODELİNE DAYALI ÇEVRESEL ETKİ ANALİZİ

Güller ŞAHİN<sup>1</sup>

### Öz

Ekosistemlerin sürdürülebilirliğine yönelik tehditleri gösteren artan sayıda kanıtlar, insan ve çevre arasındaki etkileşimlere ilişkin farklı ölçüm yöntemlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu bağlamda çevresel etkilerin geniş bir ölçümü olarak yaygın şekilde kullanılan yöntemlerden birisi de ekolojik ayak izi hesaplamalarıdır. Kümülatif CO<sub>2</sub> emisyon salımlarının yakıt türlerine göre başat faktörünün kömür olduğu dikkate alındığında bu çalışma, 1997 - 2018 dönem aralığında kömür ihraç eden ülkelerde ekolojik ayak izi, nüfus, refah ve teknoloji parametreleri arasındaki bağlantıları araştırmaktadır. STIRPAT modeli çerçevesinde kurulan ampirik analizde, değişkenler arasındaki olası ilişkiler için panel eşbütünleşme ve nedensellik metodolojileri takip edilmektedir. PMG-ARDL eşbütünleşme bulguları, uzun vadede nüfus yoğunluğu, yaşam beklentisi, işsizlik oranı, GSYH ve kentsel nüfus değişkenlerinin; kısa vadede ise işsizlik oranı değişkeninin ekolojik ayak izi ile istatistiksel olarak anlamlı olduğunu belirtmektedir. Bununla birlikte nüfus yoğunluğu ve işsizlik oranı, ekolojik ayak izini azaltırken; yaşam beklentisi, GSYH ve kentsel nüfus ise ekolojik ayak izini artırmaktadır. Ayrıca işsizlik oranının ekolojik ayak izi üzerindeki kısa vadeli etkisinin, uzun vadeli etkisinden yüksek olduğu görülmektedir. Dumitrescu & Hurlin nedensellik bulguları ise ekolojik ayak izi ile nüfus yoğunluğu, yaşam beklentisi, işsizlik oranı, GSYH ve kentsel nüfus arasındaki iki yönlü aktarımı, ekolojik ayak izinden nüfus yaşanmasına doğru ise tek yönlü aktarımı açıklamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Ekolojik Ayak İzi, Çevresel Etki Analizi, STIRPAT Modeli, Panel Eşbütünleşme ve Nedensellik Metodolojileri

**JEL Kodları:** Q56, Q57, C23

## ENVIRONMENTAL IMPACT ANALYSIS BASED ON THE STIRPAT MODEL IN COAL EXPORTING COUNTRIES

### Abstract

The growing of evidence showing threats to the sustainability of ecosystems has led to the emergence of different measurement methods for interactions between humans and the environment. In this context, one of the widely used methods as a broad measure of environmental impacts is ecological footprint calculations. Considering that coal are the dominant factor in cumulative CO<sub>2</sub> emissions according to fuel types, this study investigates the relationships between ecological footprint, population, affluence and technology parameters in coal exporting countries in the 1997 - 2018 period. In the empirical analysis established within the framework of the STIRPAT model, panel cointegration and causality methodologies are followed for possible relationships between variables. PMG-ARDL cointegration findings show that population density, life expectancy, unemployment rate, GDP and urban population variables in the long term; in the short term, it states that the unemployment rate variable is statistically significant with the ecological footprint. At the same time, population density and unemployment rate reduce the ecological footprint; life expectancy, GDP and urban population increase the ecological footprint. In addition, it is seen that the short-term effect of the unemployment rate on the ecological footprint is higher than the long-term effect. Dumitrescu & Hurlin causality findings explain the two-way transfer between ecological footprint and population density, life expectancy, unemployment rate, GDP and urban population, and one-way transfer from ecological footprint to population aging.

**Keywords:** Ecological Footprint, Environmental Impact Analysis, STIRPAT Model, Panel Cointegration and Causality Methodologies

**JEL Codes:** Q56, Q57, C23

<sup>1</sup> Dr., Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi, İdari ve Mali İşler Daire Başkanlığı, guller.sahin@ksbu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-5987-359X

**Başvuru Tarihi** (Received): 07.05.2022 **Kabul Tarihi** (Accepted): 20.07.2022

## Giriş

Sanayi Devrimi'nden sonraki süreçte antropojenik faaliyetlerin artması ve doğal sermayenin aşırı kullanımı, su, enerji, altyapı ve diğer doğal kaynaklara olan talebi artırmış; bu durum ise iklimin değişmesine, arazilerin aşınmasına, ekolojik tahribata, biyolojik çeşitliliğin azalmasına ve kirliliğin artmasına neden olmuştur (Usman, Ozturk ve Naqvi, 2022: 1). Süreç içerisinde belirtilen çevresel sorunlar, tüm dünya ülkelerinde giderek önemli ekonomik ve sosyal sorunlar meydana getirmiştir. Dolayısıyla ülkelerin sürdürülebilir büyümeleri ve küresel Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine ulaşmalarında kilit bir zorluk oluşturmuştur. Bu kapsamda ekosistem ve canlılar arasında sağlıklı bir ilişkiyi sürdürmenin temel amacı, ekonomi, siyaset, toplum ve ekolojik çevrenin bütüncül bir yaklaşımla sürdürülebilir kalkınmaya dâhil edilmesidir. Ekolojik çevre, ekonomik gelişmenin maddi temelidir ve ekolojik çevrenin korunması üretkenliği artırmaktadır. Hızlı ekonomik büyüme ile kaynakların arz ve talebi arasında giderek daha belirgin hale gelen çelişkinin arka planında, gelişme baskısını etkin bir şekilde hafifletmek ve sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmek zorunludur (Li, Xiao ve Tian, 2022: 1). İnsanoğlu günümüze kadar büyük bir çevresel maliyetle ekonomik refaha ulaşmıştır, ancak ekolojik ayak izinin küçültülememesi durumunda sürdürülebilir kalkınmanın devam etmeyeceği de açıktır.

Çevresel sorunların aciliyetine ve büyüklüğüne bağlı olarak, sürdürülebilir kalkınma ve çevre korumaya yönelik politikalar dünya çapında büyük bir ilgi görmüş; çevrecilerin, ekonomistlerin, karar vericilerin ve farklı platformlardan pek çok araştırmacının odak noktası haline gelmiştir. Bu noktada, çevresel etki analizlerinde çevre kalitesinin göstergeleri olarak CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, PM ve ormansızlaşma gibi birçok parametrenin literatürde sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Özellikle karbon emisyonlarını çevre kalitesinin bir göstergesi olarak kullanmak, ekolojik ayak izinden yararlanarak ekolojik muhasebe ve biyolojik kapasite, çevresel bozulmanın daha geniş bir ölçüsü olarak yaygın şekilde kabul edilmektedir. Ancak özellikle toprak, petrol, orman ve madencilik gibi kaynak stokları için CO<sub>2</sub> emisyonlarının yetersiz bir gösterge olarak görünebileceği belirtilmektedir. Bununla birlikte sürdürülebilir kalkınma ekseninde çevresel bozulmaya odaklanmak için kapsamlı bir göstergeye ihtiyaç olduğu söylenmektedir. Özellikle ekolojik sürdürülebilirliğe ek olarak çevresel bozulmanın belirlenmesinde ekolojik ayak izinin kullanılması önerilmektedir. Çevresel bozulmanın daha kapsamlı bir göstergesi olarak kabul edilen ekolojik ayak izi, çevre ve ekonomi çalışmalarında genel bir çevresel parametre özelliğine sahiptir. Benzer şekilde Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli Raporu'nda da 'iklim değişikliği, arazi bozulması, çölleşme, gıda güvenliği, sürdürülebilir arazi yönetimi ve karasal ekosistemlerdeki sera gazı akışları' için dünya çapındaki ekolojik taşıma kapasitesi üzerindeki baskıyı azaltmaya yönelik girişimler tavsiye edilmektedir (Başoğlu, 2018: 134; Usman ve diğerleri, 2022: 1-2; Yurtkuran, 2020: 204).

Bu çalışma, 1997-2018 dönem aralığında kömür ihraç eden ülkelerde ekolojik ayak izi, nüfus, refah ve teknoloji parametreleri arasındaki bağlantıları araştırmaktadır. Çalışma, giriş bölümünün ardından beş bölümden meydana gelmektedir. Birinci bölümde ekolojik ayak izi kavramı tanıtılmakta, sonrasında ampirik analize temel oluşturan veri seti ve metodoloji belirtilmektedir. Üçüncü bölümde alan yazın incelemesine yer verilmekte, dördüncü bölümde elde edilen bulgular açıklanmakta, sonuç ve tartışma bölümü ile çalışma tamamlanmaktadır.

### 1. Ekolojik Ayak İzi

İnsanlık tarihindeki izlek, özellikle son dönemlerde şaşırtıcı ekonomik ve sosyal gelişmeler yaşandığının resmini çizmektedir. Ancak giderek daha fazla artan sayıda işaret bunun çevre ve kaynaklar pahasına olduğunu göstermektedir. Ekonomik büyümenin yönlendirdiği insan faaliyetleri, su, hava ve toprak dâhil olmak üzere ekosistemler üzerinde neredeyse ölçülemez büyüklükte etkilere sahiptir. Çevre kirliliği, türlerin yok olması, küresel ısınma, genetik modifikasyon, gıda kıtlığı ve aşırı hava olayları ekosistemin insanlara yaptığı uyarılardan bazılarıdır (Wang, Zhang ve Li, 2022: 1).

Sürdürülebilir kalkınmanın bir ölçütü olarak kabul edilen ekolojik ayak izi (ecological footprint - EF) kavramı ile ilgili ilk çalışma, William Rees tarafından 1992 yılında yapılmıştır (Tosunoğlu, 2014: 138). Ekolojik ayak izi kavramı, insan tüketiminin çevre üzerindeki baskısını ölçmek için kullanılmaktadır. Ekonomik gelişmenin doğal kaynakların sömürsünü yansıtan, ekolojik çevrede insanların ekonomik faaliyetleri tarafından tutulan ‘ayak izi’ olarak kabul edilmektedir (Li ve diğerleri, 2022: 1-2).

Ekolojik ayak izi kavramına ilişkin teorik çerçevenin ampirik çalışmalarda ekolojik ölçümler için uygulanması, 1996 yılında M. Wackernagel ve W. Rees tarafından gerçekleştirilmiştir (Erden Özsoy ve Dinç, 2016: 43; Tosunoğlu, 2014: 138). Ekolojik ayak izi muhasebesi, doğanın arz ve talebini ölçmektedir. ‘Biyolojik kapasite’ kavramı, doğal kaynakların ya da doğal sermayenin arzını; ‘ekolojik ayak izi’ kavramı ise doğal kaynaklara ya da doğal sermayeye olan talebi açıklamaktadır (Yurtkuran, 2020: 193). Biyolojik kapasite, bir bölgenin (coğrafi bir alanın) yenilenebilir doğal kaynakları üretme kapasitesine işaret etmekte ve alan cinsinden hesaplanarak ‘küresel hektar’ birimi ile belirtilmektedir. Bir bölgenin biyolojik kapasitesini belirleyen faktörler, alanın sınırları içerisinde kalan balıkçılık sahaları, otlaklar, tarım arazileri ve orman alanlarının yüzölçümü ile söz konusu toprağın veya suyun ne kadar üretken olduğudur (Özman, 2022). ‘Ekolojik ayak izi’, mevcut teknoloji ve kaynakların kullanımı ile birlikte birey, toplum ya da faaliyetlerin tükettiği tüm kaynakları üretmek ve oluşan atıkları ortadan kaldırmak için biyolojik anlamda ne kadar verimli toprak ve su alanı gerektiğinin bir göstergesidir (Apaydın, 2020: 27; Başoğlu, 2018: 134; Wang ve diğerleri, 2022: 1). Söz konusu gösterge sayesinde ekosistemler üzerinde insan faaliyetleri sonucunda oluşan talep ile doğal kaynak arzı arasındaki denge incelenmektedir. Doğal kaynakların talebi ile doğal sermaye arasındaki dengesizliğin belirlenmesi, doğal kaynakların kendini yenileme sınırları içerisinde kullanıp kullanılmadığını ortaya koymaktadır (Özman, 2022).

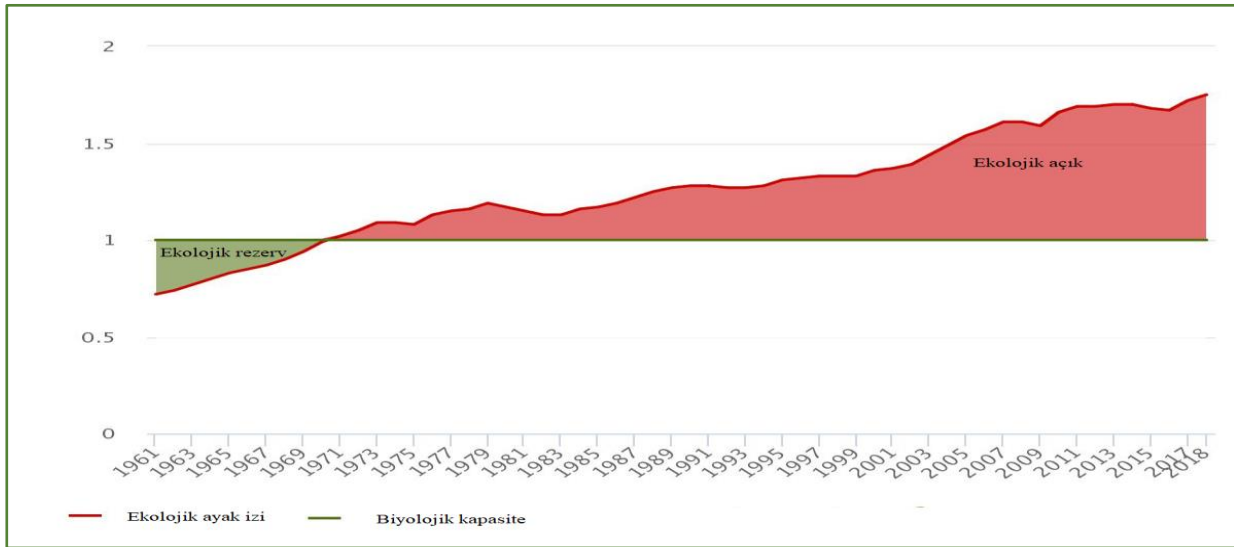
Üretim, tüketim ve biyolojik kapasiteye göre ayrı ayrı hesaplanan ekolojik ayak izinin bileşenleri ekolojik üretken alanlar (fosil enerji alanı, ekilebilir araziler, otlak alanları, orman alanları, yerleşim alanları ve deniz alanları) ile karbon emisyonlarıdır (Mızık ve Yiğit Avdan, 2020: 458; Wang ve diğerleri, 2022: 1). Karbon ayak izi, küresel ekolojik ayak izinin en hızlı artan bileşenini oluşturmakta ve toplam ayak izinin % 60’ından fazlasına karşılık gelmektedir. Ekolojik ayak izi muhasebesinde, tüketimin ve üretimin ekolojik ayak izi arasındaki uzaklık önemlidir. Tüketimin ayak izi, bireyin ya da toplulukların tükettiği ürünlerin üretimi için doğa üzerindeki baskıya işaret etmektedir. Kişi başına tüketimin ayak izinin, küresel ölçekteki kişi başına biyolojik kapasiteyi aşması tüketim biçimlerinin küresel ölçeğe yansıtılması durumunda gezegenin sürekli limit aşımına uğrayacağını belirtmektedir. Üretimin ekolojik ayak izi ise bir ülke, alan ya da bölgeden kaynaklanan biyolojik kapasitenin kullanımı hakkında bilgi vermektedir. Belirtilen ölçeklerde üretimin ayak izinin o bölgedeki biyolojik kapasiteyi aşması, doğal kaynakların sürdürülemez olarak kullanılması anlamını taşımaktadır (Özman, 2022).

Ekolojik ayak izi muhasebelerinde hesaplama değerinin büyüklüğü, çevresel zararın da o oranda büyük olduğu anlamını taşımaktadır. Hesaplamalar sayesinde (Erden Özsoy ve Dinç, 2016: 41):

- a. İnsanların çevre üzerindeki baskılarının değerlendirilmesi,
- b. Dünyadaki tüketilen biyolojik olarak üretken alan miktarının belirlenmesi,
- c. Tüketim nedeniyle meydana gelen atıkların ortadan kaldırılması için gerekli olan su ve toprak alanlarının büyüklüğü,
- d. Ülke, kent, bölge, toplulukların ya da bireylerin ne kadar biyolojik olarak üretken alan kullandıklarının incelenmesi olanaklı olmaktadır.

Sürdürülebilir yaşam alanları için biyolojik kapasitenin ekolojik ayak izine eşit veya ekolojik ayak izinden büyük olması gerekmektedir. Ekolojik ayak izinin biyolojik kapasiteden büyük olması durumunda 'ekolojik açık' ortaya çıkmaktadır. 1970'li yıllardan sonraki süreçte ekolojik ayak izi, biyolojik kapasiteyi aşmaya başlamış ve aradaki fark giderek açılmaya devam etmiştir. Bu noktada sürdürülebilir yaşam alanlarının azaldığı ifade edilmektedir (Yurtkuran, 2020: 193). Şekil 1, 1961 - 2018 dönemindeki küresel ekolojik açığı göstermektedir. Şekil, küresel olarak ekolojik açığın artma eğiliminde olduğunu bilgisini vermektedir.

**Şekil 1: Küresel Ekolojik Açık: 1961 - 2018**



**Kaynak:** (Footprintnetwork, 2022)

Günümüzde dünya nüfusunun yaklaşık % 80'i ekolojik açıklarla karşı karşıya olan ülkelerde yaşamaktadır. Söz konusu durum, insanlığın küresel doğal kaynak stokunu (ekolojik rezerv) tükettiği anlamına gelmektedir (Wang ve diğerleri, 2022: 1).

## 2. Alan Yazın İncelemesi

Çevresel etki analizi kapsamında yapılan çalışmalarda, çevre kalitesinin göstergeleri olarak farklı parametrelerin kullanıldığı görülmektedir. Bu bağlamda Gani (2021) çevresel performans endeksini, Lin, Zhao ve Marinova (2009) sera gazı emisyonlarını, Branis ve Linhartova (2012) SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> parametrelerini çalışmalarında tercih etmektedir.

Gani (2021) çalışmasında, fosil yakıtlardan enerji üretiminin çevre kalitesi üzerindeki arz yönlü etkisini incelemektedir. Sonuçlar, çevre kalitesinin bozulmasına katkı sağlayan kömür ve petrolün yakılması yoluyla arz yönlü enerji üretimini desteklemektedir. Aynı zamanda EKC (Environmental Kuznets Curve) etkisini doğrulamanın dışında orman örtüsü, okullaşma, hukukun üstünlüğü ve uluslararası çevre anlaşmalarına taahhütlerin çevresel performansın diğer güçlü bağlantıları olduğu görülmektedir. Lin ve diğerleri (2009) tarafından yapılan çalışma, nüfusun çevresel etki üzerinde en büyük potansiyele sahip olduğunu; sonrasında ise kentleşme, sanayileşme, GSYH ve enerji yoğunluğunun takip ettiği sonuçlarını göstermektedir. Ancak büyüme oranlarındaki farklılık nedeniyle çevresel etki üzerinde GSYH'nin nüfustan (katkı oranı % 32) daha büyük etkiye sahip olduğu ve artışın % 38'ine katkıda bulunduğu belirtilmektedir. Branis ve Linhartova (2012) çalışmalarında veri değişkenliğinin % 44.7'sini açıklayan birincil faktörün SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, düşük eğitim seviyesi ve yüksek işsizlik olduğunu; kötü sosyoekonomik statüye sahip insanların çoğunlukla hava kirleticilerinin daha yüksek konsantrasyon seviyelerine sahip küçük şehirlerde ikamet ettiğini göstermektedir. Veri değişkenliğinin % 28.1'ini açıklayan ikincil faktörün ise NO<sub>2</sub>, yüksek maaş, yüksek eğitim seviyesi ve nüfus büyüklüğü olduğu; iyi sosyoekonomik statüye sahip büyük

şehirlerde yaşayan insanların daha yüksek düzeyde hava kirliliğine maruz kaldığı açıklanmaktadır. Ayrıca çevresel tehlikelerin kentsel nüfus arasında eşit olmayan bir şekilde dağılması nedeniyle, ülkede çevresel eşitsizlik belirtilerinin görüldüğü belirtilmektedir.

CO<sub>2</sub> emisyonlarının çıktı parametresi olarak kullanıldığı Adesina ve Mwamba (2019) & Aguir Bargaoui, Liouane ve Nouri (2014) & Bosah, Li ve Ampofo (2021) & Issaoui, Toumi ve Touili (2015) & Granados ve Spash (2019) & Huo, Li ve Cai (2020) & Ibrahim, Celebi ve Ozdeser (2017) & Liu ve Bae (2018) & Liu ve Xiao (2018) & Mahalik, Le ve Le (2022) & Matthew, Owolabi ve Osabohien (2020) & Wang ve Li (2021) & Wu, Wang ve Wang (2021) & Xu ve Lin (2015) & Yang ve Wang (2020) & Zagheni (2011) & Zhang ve Tan (2016) & Zhou ve Liu (2016) tarafından yapılan çalışmalar, güncel alan yazın seçkisinin örnekleridir.

Adesina ve Mwamba (2019) ekonomik özgürlüğün çevresel etkilerini ve bu etkilerin farklı gelir grupları arasında çeşitlilik gösterip göstermediğini incelemektedir. Ampirik kanıtlar, mali özgürlüğün emisyonlar üzerindeki etkisinin farklı gelir grubuna sahip ülkelerde değişmezken, iş özgürlüğü, yolsuzluk ve ticari özgürlük parametrelerinde değiştiğini; işsizlik oranının alt-orta ve üst-orta gelirli ülkelerde emisyonlar üzerinde önemli bir olumsuz etkisi olmadığını, ancak düşük gelirli ülkelerde emisyonları önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Aguir Bargaoui ve diğerleri (2014) çalışmalarında ekonomik büyüme, nüfus artışı, kentleşme düzeyi ve Kyoto protokolünün emisyon düzeyi üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu ve bu etkinin gelir düzeyine bağlı olduğu sonuçlarına ulaşmaktadır. Aynı zamanda kentleşmenin, yalnızca orta gelirli ülkelerde çevresel bozulmaya neden olduğu görülmektedir. Bosah ve diğerleri (2021) tarafından yapılan çalışmanın sonuçları, uzun ve kısa vadede kentleşmenin çevre kalitesi üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını ve GSYH'nin uzun vadede çevresel bozulmaya neden olduğunu doğrulamaktadır. Issaoui ve diğerleri (2015) çalışmalarının ampirik sonuçlarında kısa vadede emisyonlar ile enerji tüketimi ve GSYH arasında pozitif ve önemli derecede ilişki olduğunu; yaşam beklentisinin emisyonları olumsuz etkilediği görülmektedir. Granados ve Spash (2019) emisyonları azaltmaya yönelik politikaların etkinliğini değerlendirdikleri çalışmalarında, emisyonlardaki yıllık değişimlerin ekonominin büyüme koşullarıyla güçlü bir şekilde ilişkili olduğu; GSYH'nin emisyonları artırdığı, ekonomik büyüme ve emisyon ayırıştırma için kanıt olmadığı; kamu işsizlik oranındaki bir puanlık artışın, emisyonları % 1.06 oranında azalttığı sonuçlarını elde etmektedir.

Huo ve diğerleri (2020) miktar ve yapı boyutlarında kentleşmenin kentsel bina karbon emisyonları üzerindeki çoklu etkilerini sistematik olarak açıklamaya çalışmaktadır. Sonuçlar, kentsel nüfus ve kentsel binaların arsa oranının karbon emisyonlarına olumsuz katkıda bulunduğunu, hizmet sektörünün katma değerinin ise karbon emisyonlarını miktar boyutunda olumlu etkilediğini göstermektedir. Ayrıca yapı boyutunda, kentsel nüfusun karbon emisyonlarının artışı üzerinde olumlu bir etki yarattığını açıklamaktadır. Ibrahim ve diğerleri (2017) enerji ithalatı, CO<sub>2</sub> emisyonu ve finansal gelişme olmak üzere üç farklı model kullanmaktadır. Enerji ithalatı modelinde emisyonlar kontrol edildiğinde, kısa vadede ithal edilen enerji kaynaklı yaklaşık % 0.14'lük bir emisyon artışı olduğunu; emisyonların % 11'inin kısa vadede elektrik üretimi ve diğer ilgili faaliyetlerden kaynaklandığını tespit etmektedir. Finansal gelişme modelinde emisyonlar için uzun vadeli ilişkilerin kanıtı olmasına rağmen, elektrik tüketim modelinde kısa vadeli sapmadan uzun vadeli dengesine doğru düzeltme sürecinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Emisyon modelinde GSYH'nin emisyonları kısa vadede artırırken, uzun vadede istatistiksel olarak anlamlı ilişkiye rastlanılamamaktadır. Liu ve Bae (2018) çalışmalarında, enerji yoğunluğu, GSYH, sanayileşme ve kentleşmenin uzun vadeli parametre tahminlerinin emisyonları sırasıyla % 1.1, % 0.6, % 0.3 ve % 1.0 oranında artırdığının bilgisini sunmaktadır. Nedensellik sonuçları ise emisyonlar, GSYH ve sanayileşme arasında geri-bildirim etkisini belirtmektedir. Liu ve Xiao (2018) CO<sub>2</sub> emisyonlarının, emisyon zirvelerinin ve EKC hipotezinin itici faktörlerini araştırmak için sistem dinamiği modeli ile birleştirilmiş STIRPAT modelini kurmaktadır. Sonuçlar, STIRPAT modeline dayalı olarak emisyon zirvesinin doğrulandığını ve 2023 yılında ortaya çıkacağını, karbon emisyonlarının 2025

yılında zirve yapacağını, karbon emisyon zirvelerinde belirgin bir düşüş eğilimi olmadığını, EKC hipotezinin doğrulandığını, GSYH ve nüfusun emisyon miktarlarını artırdığını göstermektedir.

Mahalik ve diğerleri (2022) çalışmalarında, tüketime ve üretime dayalı emisyonların kaynakları ile ülkelerin ekonomik kalkınma düzeyleri için iki boyutta ayrıştırılmış analiz gerçekleştirmektedir. Sonuçlar, yükselen piyasa ekonomileri için yaşam beklentisi ile CO<sub>2</sub> emisyonları arasında negatif bir ilişki olduğuna dair kanıtları desteklemektedir. Buna karşılık, gelişmekte olan ülkelerde yaşam beklentisi ile emisyonlar arasındaki pozitif ilişkiye bağlı olarak emisyon ithal ettikleri açıklanmaktadır. Matthew ve diğerleri (2020) emisyonlardaki % 1'lik bir artışın tarımsal çıktıda % 3.81'lik azalmaya, yaşam beklentisinde ise % 0.12'lük bir artışa neden olduğu sonuçlarını doğrulamaktadır. Wang ve Li (2021) işsizlik oranı ile CO<sub>2</sub>, kentleşme ile CO<sub>2</sub> arasında bir eşik değerinin olmadığını, dolayısıyla işsizlik oranı ve kentleşmenin emisyonlar üzerindeki etkisinin doğrusal olduğunu belirtmektedir. Kentleşmenin, işsizlik oranı ile dengelenen CO<sub>2</sub>'deki artışa katkıda bulunduğunu; yaşlanma, yaşam beklentisi, nüfus yoğunluğu ve GSYH ile emisyonlar arasında eşik değerlerin varlığını; nüfus faktörlerinin karbon emisyonları üzerindeki etkisinin karmaşıklığını ve heterojenliğini göstermektedir. Wu ve diğerleri (2021) çalışmalarında hem tarihsel hem de ileriye dönük perspektiflerden CO<sub>2</sub> emisyonlarının gelecekteki eğilimini tahmin etmektedir. Sabit etki analizi sonuçları, fosil yakıtlardan yenilenebilir enerjiye geçişi, enerji ve fosil CO<sub>2</sub> yoğunluklarındaki değişikliklerin emisyonları azaltan başlıca faktörler olduğunu göstermektedir. Nedensellik sonuçlarında ise emisyonlar ile yenilenebilir enerji arasında çift yönlü, endüstriyel yapıdan, GSYH'den ve enerji yoğunluğundan emisyonlara doğru tek yönlü ilişki olduğu görülmektedir. Ayrıca GSYH ve nüfus değişkenlerinin emisyonları artırdığı tahmin sonuçlarında belirtilmektedir.

Xu ve Lin (2015) çalışmalarının bulgularında, sanayileşme ve CO<sub>2</sub> emisyonları arasında ters-U şeklinde bir ilişkinin varlığı; kentleşme ile emisyonlar arasında Çin'in doğu bölgesinde ters-U şeklinde, orta bölgesinde U şeklinde eğilim sergilediği, batı bölgesinde ise doğrusal olmayan önemsiz etkiye sahip olduğu görülmektedir. Yang ve Wang (2020) çalışmalarında nüfus yaşlanmasının karbon emisyonları üzerindeki etkisini incelemektedir. Sonuçlarda, nüfus yaşlanmasının karbon emisyonunu azaltmada eşik etkisi olduğu; nüfus yaşlanması ve ticari açıklık seviyelerinin, nüfus yaşlanması ile karbon emisyonu arasındaki ilişkiyi etkileyen iki temel faktör olduğu; nüfus yaşlanmasının seviyesi ne kadar yüksek olursa, nüfus yaşlanmasının karbon emisyonu üzerindeki dengeleyici etkisinin o oranda büyük olduğu; nüfus yaşlanması, ticarete açıklık derecesi yüksek düzeyde olduğunda karbon emisyonu üzerinde dengeleyici bir etkiye sahipken, ticarete açıklık eşik değerinin altında olduğunda dengeleyici etkinin ortadan kalktığı; GSYH ile emisyonlar arasında ters-U şeklinde ilişki görülmektedir. Zagheni (2011) nüfus yaş yapısındaki değişikliklerin CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki etkisine yönelik metodolojik bir katkı sağlamaktadır. Bulgularda, kadın ve erkeklerin 60 yaşına kadar emisyonları artırdığı, ardından azalttığı; GSYH'nin ise emisyon miktarlarını düşürdüğü, gelecek 40 yıl içerisinde ABD'nin nüfus yaş dağılımında beklenen değişikliklerin emisyonlar üzerinde küçük ama fark edilir olumlu etkiye sahip olacağı görülmektedir. Zhang ve Tan (2016) nüfus yaşlanmasının ulusal ve bölgesel karbon emisyonları üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmanın sonuçları, nüfus yaşlanması ve nüfus kalitesinin ulusal düzeyde karbon emisyonları ile pozitif olarak ilişkili olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda, nüfusun yaşam standardının karbon emisyonları üzerindeki etkisi, kent-kır farkı sergilemekte; bölgesel düzeyde, nüfus yaşlanmasının karbon emisyonları üzerindeki etkisi ise bölgesel farklılıklar barındırmaktadır. Zhou ve Liu (2016) çalışmalarında, Çin'in artan CO<sub>2</sub> emisyonlarının arkasındaki baskın itici gücün demografik değişimden ziyade gelir olduğu; Batı Çin hariç, kentleşmenin emisyonları artırdığı; yaş yapısındaki değişikliklerin özellikle Doğu Çin'de ulusal emisyonları artırdığı; azalan hane büyüklüğünün emisyonları azaltmadığı sonuçlarını elde etmektedir.

Ekolojik ayak izinin STIRPAT modeli çerçevesinde parametre olarak kullanıldığı ilk çalışmaların York, Rosa ve Dietz (2003a) & York, Rosa ve Dietz (2003b) tarafından yapılan çalışmalar olduğu

görülmektedir. York ve diğerleri (2003a) çalışmalarının sonuçlarında nüfus, ekonomik üretim, kentleşme ve coğrafi faktörler gibi temel maddi koşulların tümünün çevreyi etkilediğini, söz konusu parametrelerin çevresel etkideki uluslararası çeşitliliğin büyük çoğunluğunu açıkladığını ifade etmektedir. Politik özgürlük, sivil özgürlükler ve devlet çevreciliği gibi neo-liberal modernleşme teorisinden türetilen faktörlerin ise çevre üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı belirtilmektedir. York ve diğerleri (2003b) çalışmalarında IPAT, ImPACT ve STIRPAT modellerinin analitik faydasını, modeller arasındaki ilişkiyi, kavramsal temellerini ve farklı kullanımlarını tartışmaktadır. Sonuçlar, nüfusun CO<sub>2</sub> emisyonları ve enerji ayak izi üzerinde orantılı bir etkiye sahip olduğunu; GSYH'nin CO<sub>2</sub> emisyonlarını ve enerji ayak izini artırdığını; iklimin, her iki etki ölçüsünü de etkilediği; kentleşme ve sanayileşmenin çevre üzerinde yüksek etki derecelerine sahip olduğunu göstermektedir.

Başoğlu (2018) & Destek (2018) & Huang, Haseeb ve Usman (2022) & Jia, Deng ve Duan (2009) & Salman, Zha ve Wang (2022) & Şimşek ve Bursal (2019) & Topdağ, Acar ve Çelik (2020) & Udemba (2020) & Usman ve diğerleri (2022) & Wang ve diğerleri (2022) & Yurtkuran (2020) çalışmalarında çevre kalitesi parametresi olarak ekolojik ayak izine odaklanmaktadır.

Başoğlu (2018) GSYH, sanayi ve hizmetler sektörünün, enerji tüketiminin uzun ve kısa vadede ekolojik ayak izini artırdığı; her iki vadede de ekolojik ayak izi üzerinde belirleyici olan en önemli faktörlerin enerji tüketimi, hizmetler sektörü ve nüfus olduğu; beşerî sermayenin ise ekolojik ayak izini önemli ölçüde ve olumsuz etkilediği sonuçlarını elde etmektedir. Destek (2018) tarafından yapılan çalışmanın sonuçlarında, kısa ve uzun vadede EKC hipotezinin doğrulandığı; kentleşme düzeyi ve enerji artışlarının çevresel bozulmayı hızlandırdığı; ekonomik büyüme, kentleşme düzeyi ve enerji yoğunluğundan ekolojik ayak izine doğru nedensellik ilişkilerine rastlanmaktadır. Huang ve diğerleri (2022) E-7 ülkelerinde bilgi ve iletişim teknolojisi (BİT), ekonomik karmaşıklık ve beşerî sermayenin kirlilik seviyesini artırdığını, yenilenebilir enerjinin ise önemli ölçüde azalttığını ortaya koymaktadır. G-7 ülkelerinde ise BİT, yenilenebilir enerji, beşerî sermaye, ekonomik karmaşıklık, mobil aboneliği, sabit geniş bant aboneliği, sabit telefon aboneliği ve internetin çevresel kaliteyi önemli ölçüde iyileştirdiği görülmektedir. Ayrıca, BİT ve beşerî sermayesi arasındaki etkileşim, ekolojik ayak izi seviyesini önemli ölçüde azaltmakta; BİT, beşerî sermaye ve ekolojik ayak izi arasında çift yönlü nedensellik keşfedilmektedir. Jia ve diğerleri (2009) çalışmalarının sonuçlarında, STIRPAT ve PLS (Kısmi En Küçük Kareler) modellerine göre ekolojik ayak izinin ana itici güçleri olarak nüfus, GSYH, GSYH<sup>2</sup> ve kentsel nüfus olduğu görülmektedir. Her iki modelin karşılaştırılmasında, PLS yöntemi ile elde edilen sonuçların refah etkileri nedeniyle daha makul ve kabul edilebilir bulunduğu belirtilmektedir. Söz konusu iki yöntemle elde edilen sonuçlar, ekonomik gelişme ile ekolojik etki arasındaki klasik EKC hipotezinin geçerli olmadığını açıklamaktadır.

Salman ve diğerleri (2022) ASEAN ülkelerinde yeniliklerin farklı rollerini göz önünde bulundurarak, kentleşmenin ekolojik ayak izi üzerindeki doğrusal olmayan etkisini analiz etmektedir. Sonuçlarda, kentleşme ve ekolojik ayak izinin kısa ve uzun vadede ters-U şeklinde bir eğri sergilemediği; kentleşmenin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisinin Endonezya ve Tayland'da nispeten daha yüksek olduğu kaydedilmektedir. Nüfus, GSYH ve yenilenemeyen enerji, ekolojik ayak izini önemli ölçüde artırırken, yenilenebilir enerji geri tepkime etkisi sağlamaktadır. Elde edilen sonuçlar OLS (Sıradan En Küçük Kareler) testleri ile doğrulanmakta; ayrıca kentleşme ve ekolojik ayak izleri arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. Şimşek ve Bursal (2019) çalışmalarında ekolojik kapasite ile biyolojik kapasite arasında çift yönlü nedenselliğin varlığına rastlamakta, uzun vadede her iki değişkenin beraber hareket ettiği sonucuna ulaşmaktadır. Topdağ ve diğerleri (2020) çalışmalarında refah ve mali gelişme endeksinin ekolojik ayak izini artırırken, nüfus ve hizmet sektörünün ekolojik ayak izini azalttığı sonuçlarını elde etmektedir. Udemba (2020) tarafından yapılan çalışmanın eşbütünleşme sonuçlarında ekolojik ayak izi, GSYH, tarım, DYY (doğrudan yabancı yatırımlar) ve enerji kullanımı arasında pozitif bir ilişkinin varlığını; nedensellik

sonuçlarında ise GSYH ve nüfustan ekolojik ayak izine, nüfustan GSYH'ye doğru tek yönlü aktarım olduğu görülmektedir.

Usman ve diğerleri (2022) çalışmalarında nükleer enerji ve insan sermayesinin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisini araştırmaktadır. Sonuçlar, nükleer enerji tüketiminin ve beşerî sermayenin ekolojik ayak izini azaltırken, elektrik tüketiminin ve ekonomik büyümenin ekolojik ayak izini teşvik edebilecek bir faktör olduğunu göstermektedir. Nüfus değişkeninin ekolojik ayak izi tüketimi üzerindeki etkisi ise olumsuz, ancak önemsizdir. Wang ve diğerleri (2022) ekonomik büyüme ile ekolojik ayak izi arasındaki ayrışmanın iyileşme eğilimi gösterdiği, sonunda zayıf bir ayrışmayı sürdürdüğü; yenilenebilir enerji tüketimi, nüfus yaşlanması, finansal gelişme ve ticari açıklığın ekolojik ayak izinin azalmasına katkıda bulunduğu ve nüfus yaşlanması etkisinin, finansal gelişme ve ticari açıklıktan daha önemli olduğu sonuçlarına ulaşmaktadır. Ayrıca ekonomik büyüme ve ekolojik ayak izi arasındaki ters U-şekilli bağlantının kanıtı, Ekolojik Kuznets Eğrisinin küresel olarak geçerliliğini göstermektedir. Yurtkuran (2020) yeni endüstrileşen ülkelerde ekolojik ayak izinin yakınsamasını incelediği çalışmada, Endonezya, Pakistan ve Filipinler ülkelerinde ekolojik ayak izinin durağan olduğu ve yakınsama gösterdiği; Türkiye, Bangladeş, Mısır, İran, Meksika, Nijerya, Güney Kore ve Vietnam ülkelerinde ise çevresel kirlilikte meydana gelen şokların etkilerinin kalıcı olduğu sonuçlarını elde etmektedir.

**Tablo 1:** Alan Yazın İncelemesini Oluşturan Çalışmaların Özeti

Yazar/lar	Dönem	Örneklem	Açıklanan değişken	Açıklayıcı değişken	Yöntem
Gani (2021)	2002-2016	232 ülke	Çevresel performans endeksi	Elektrik üretimi, GSYH, GSYH <sup>2</sup> , orman örtüsü, sanayi katma değeri, tarım katma değeri, ticaret, nüfus yoğunluğu, okullaşma oranı, hükümet etkinliği, hukukun üstünlüğü, uluslararası çevresel taahhütler	STIRPAT
Lin ve diğerleri (2009)	1978-2006	Çin	Sera gazı emisyonları	Nüfus, kentleşme, GSYH, sanayileşme, enerji yoğunluğu	STIRPAT, OLS
Branis ve Linhartova (2012)	2001	39 Çek şehri	SO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub>	Eğitim düzeyi, işsizlik oranı, nüfus, maaş	Temel bileşen analizi
Adesina ve Mwamba (2019)	1995-2013	24 Afrika ülkesi	CO <sub>2</sub>	Elektrik tüketimi, GSYH, ekonomik özgürlük endeksi, işsizlik oranı	Genelleştirilmiş momentler yöntemi
Aguir Bargaoui ve diğerleri (2014)	1980-2010	214 ülke	CO <sub>2</sub>	GSYH, nüfus, kentleşme, Kyoto Protokolü, enerji yoğunluğu	STIRPAT, dinamik panel veri analizi
Bosah ve diğerleri (2021)	1980-2017	15 ülke	CO <sub>2</sub>	Enerji tüketimi, GSYH, kentleşme	Eşbütünleşme
Issaoui ve diğerleri (2015)	1990-2010	MENA ülkeleri	CO <sub>2</sub>	GSYH, enerji tüketimi, yaşam beklentisi, kentleşme	Eşbütünleşme
Granados ve Spash (2019)	1990-2015	50 ABD eyaleti	CO <sub>2</sub>	GSYH, işsizlik oranı	OLS
Huo ve diğerleri (2020)	2000-2015	30 Çin eyaleti	CO <sub>2</sub>	Kentsel nüfus, hizmet sektörü katma değeri, kentsel bina taban alanı, kentsel nüfus, hizmet sektörü %si, kentsel binaların arsa oranı	STIRPAT, eşbütünleşme



Yazar/lar	Dönem	Örneklem	Açıklanan değişken	Açıklayıcı değişken	Yöntem
Ibrahim ve diğerleri (2017)	1960-2015	Türkiye	CO <sub>2</sub>	GSYH, enerji ithalatı, elektrik üretimi, finansal gelişme	STIRPAT, eşbütünleşme, nedensellik
Liu ve Bae (2018)	1970-2015	Çin	CO <sub>2</sub>	Enerji yoğunluğu, GSYH, sanayileşme, kentleşme, yenilenebilir enerji tüketimi	Eşbütünleşme, nedensellik
Liu ve Xiao (2018)	2000-2012	30 Çin eyaleti	CO <sub>2</sub>	Kömür, petrol, doğal gaz, hidroelektrik, nükleer enerji, rüzgâr enerjisi, GSYH, nüfus	STIRPAT, sistem dinamiği modeli
Mahalik ve diğerleri (2022)	1990-2017	68 ülke	CO <sub>2</sub>	Yaşam beklentisi, GSYH, nüfus, kentsel nüfus, sanayi katma değeri, finansal gelişme, ekonomik küreselleşme, tüketim ve üretime dayalı CO <sub>2</sub>	LS
Matthew ve diğerleri (2020)	2000-2018	Batı Afrika	CO <sub>2</sub>	Tarımsal çıktı, yaşam beklentisi, yağış miktarı, sivil özgürlükler	LS
Wang ve Li (2021)	1992-2016	154 ülke	CO <sub>2</sub>	Nüfus yaşlanması, kentsel nüfus, GSYH, nüfus yoğunluğu, işsizlik oranı, yaşam beklentisi	STIRPAT, panel eşik regresyonu
Wu ve diğerleri (2021)	1990-2016	18 ülke	CO <sub>2</sub>	Nüfus, GSYH, fosil enerji yoğunluğu, yenilenebilir enerji kullanımı, endüstri yapısı, fosil CO <sub>2</sub> yoğunluğu	STIRPAT, eşbütünleşme, nedensellik
Xu ve Lin (2015)	1990-2011	30 Çin eyaleti	CO <sub>2</sub>	GSYH, sanayileşme, kentleşme, ihracat/GSYH, enerji tüketim yapısı	Panel regresyon
Yang ve Wang (2020)	2000-2016	10 Çin eyaleti	CO <sub>2</sub>	Nüfus yaşlanması, enerji tüketim yapısı, GSYH, ticari açıklık, endüstri yapısı, teknolojik yenilik	IPAT, panel eşik modeli
Zagheni (2011)	2007-2050	ABD	CO <sub>2</sub>	Nüfus, nüfus yaş yapısı	IPAT, girdi-çıkıtı analizi
Zhang ve Tan (2016)	1997-2012	29 Çin eyaleti	CO <sub>2</sub>	GSYH, nüfus, enerji yoğunluğu, kentleşme, nüfus yoğunluğu, büyüme, yetişkin okuma yazma bilmeyen oranı, yükseköğrenim oranı, kentsel ve kırsal tüketim harcamaları, nüfus faktörleri endeksi, 14 yaş altı, 15-64 yaş aralığındaki ve 65 yaş üstü nüfus	STIRPAT, panel regresyon
Zhou ve Liu (2016)	1990-2012	30 Çin eyaleti	CO <sub>2</sub>	Nüfus, kentleşme, çalışma yaşındaki nüfus, hane büyüklüğü, GSYH, sanayi katma değeri, enerji yoğunluğu	STIRPAT, OLS, panel sabit ve rassal etki modelleri
York ve diğerleri (2003a)	1996	142 ülke	Ekolojik ayak izi	Nüfus, bağımlı olmayan nüfus, arazi alanı, özgürlük, GSYH, GSYH <sup>2</sup> , GSYH'nin %si, kapitalist ulus, kentsel nüfus, kentsel nüfus <sup>2</sup> , dünya sistemi konumu	STIRPAT, OLS
York ve diğerleri (2003b)	1999	138 ülke	Ekolojik ayak izi	Nüfus, bağımlı olmayan nüfus, GSYH, GSYH <sup>2</sup> , sanayi, kent %si, kent %si <sup>2</sup> , tropikal alan	STIRPAT, OLS
Başoğlu (2018)	1971-2014	Türkiye	Ekolojik ayak izi	GSYH, nüfus, sanayi ve hizmetler sektörü, enerji tüketimi, beşeri sermaye	STIRPAT, eşbütünleşme
Destek (2018)	1990-2014	Türkiye	Ekolojik ayak izi	GSYH, GSYH <sup>2</sup> , kentsel nüfus, enerji yoğunluğu	STIRPAT, eşbütünleşme, nedensellik

Yazar/lar	Dönem	Örneklem	Açıklanan değişken	Açıklayıcı değişken	Yöntem
Huang ve diğerleri (2022)	1995-2018	E-7 & G-7 ülkeleri	Ekolojik ayak izi	BİT, yenilenebilir enerji, beşeri sermaye, finansal gelişme, ekonomik karmaşıklık endeksi, mobil, sabit geniş bant ve sabit telefon abonelikleri, internet kullanımı	Eşbütünleşme, nedensellik
Jia ve diğerleri (2009)	1983-2006	Çin'in Henan Eyaleti	Ekolojik ayak izi	Nüfus, GSYH, GSYH <sup>2</sup> , GSYH'nin %si, kentsel nüfus	STIRPAT, PLS
Salman ve diğerleri (2022)	1980-2017	Endonezya, Malezya, Filipinler, Tayland	Ekolojik ayak izi	Nüfus, GSYH, patent başvurusu, teknik işbirliği hibeleri, marka başvurusu, DYY, ticaret, kentsel nüfus, yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji	STIRPAT, eşbütünleşme
Şimşek ve Bursal (2019)	1961-2016	Türkiye	Ekolojik ayak izi	Biyolojik kapasite	Nedensellik
Topdağ ve diğerleri (2020)	2016	154 ülke	Ekolojik ayak izi	GSYH, nüfus, finansal gelişme, hizmetler sektörü	STIRPAT, kantil regresyon
Udemba (2020)	1981-2018	Nijerya	Ekolojik ayak izi	GSYH, enerji kullanımı, DYY, tarım sektörü, kentsel nüfus	Eşbütünleşme, nedensellik
Usman ve diğerleri (2022)	1980-2015	12 ülke	Ekolojik ayak izi	Nüfus, GSYH, nükleer enerji tüketimi, beşeri sermaye, elektrik tüketimi	STIRPAT, eşbütünleşme
Wang ve diğerleri (2022)	1990-2015	166 ülke	Ekolojik ayak izi	GSYH, yenilenebilir enerji tüketimi, nüfus yaşlanması, finansal gelişme, ticari açıklık	Eşbütünleşme
Yurtkuran (2020)	1971-2016	N11 ülkeleri	Ekolojik ayak izi		Fourier durağanlık

**Kaynak:** (Alan yazın çalışmalarına dayanarak yazar tarafından oluşturulmuştur)

### 3. Veri ve Metodoloji

#### 3.1. Veri

Bu çalışmanın amacı, 1997-2018 dönem aralığında kömür ihraç eden Kanada, ABD, Kolombiya, Rusya, Güney Afrika, Avustralya, Çin, Endonezya ve Moğolistan ülkelerinde ekolojik ayak izi, nüfus, refah ve teknoloji parametreleri arasındaki bağlantıları incelemektir. Çalışmada nüfus, refah ve teknoloji parametrelerinin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisini incelemek için STIRPAT (Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology) modeli tercih edilmektedir. Model, genellikle insan faaliyetleri ve çevre arasındaki ilişkiyi analiz etmek için Ehrlich ve Holdren (1971) tarafından önerilen IPAT (Impacts, Population, Affluence, and Technology) modelinden türetilmektedir. Dietz ve Rosa (1994) tarafından oluşturulan STIRPAT modelinin matematiksel formu Denklik (1) içerisinde yer almaktadır (Wang ve Li, 2021: 763-764):

$$I = aP_i^b A_i^c T_i^d \theta_i \quad (1)$$

Modelin logaritmik yapısı ise aşağıdaki gibidir:

$$\ln I_{it} = a + b(\ln P_{it}) + c(\ln A_{it}) + d(\ln T_{it}) + \theta_i \quad (2)$$

Denklik (2) içerisinde yer alan notasyonlardan a, sabit katsayıyı; b, c ve d, parametre katsayılarını;  $\theta$ , hata terimini; i ve t ise sırasıyla ülkeleri ve zaman aralığını açıklamaktadır. I, çevresel etkiyi; P, nüfusu; A, refahı; T ise teknolojiyi belirten simgelerdir. Bu çalışmada kullanılan ve Tablo (2) içerisinde aktarılan değişkenlerden ekolojik ayak izi, çevresel etkiyi; nüfus yaşlanması, nüfus yoğunluğu, işsizlik ve yaşam beklentisi, nüfusu; GSYH, refahı; kentleşme ise teknolojiyi temsil eden değişkenlerdir.

STIRPAT modeli doğrultusunda ampirik analizi oluşturan doğrusal tahmin modeli aşağıdaki gibi kurulmuştur:

$$\ln EF_{it} = \partial_0 + \partial_1 \ln PA_{it} + \partial_2 \ln PD_{it} + \partial_3 \ln LE_{it} + \partial_4 \ln UNE_{it} + \partial_5 \ln GDP_{it} + \partial_6 \ln UP_{it} + \mu_i + \gamma_t + \epsilon_{it} \quad (3)$$

Açıklanan değişken EF'nin kişi başına tüketimin ekolojik ayak izini temsil ettiği Denklik (3) içerisindeki  $\mu_i$ , ülkeye;  $\gamma_t$  ise zamana özgü etkilerdir ve  $\epsilon_{it}$ , hata terimleridir. Açıklayıcı değişkenlerden PA, 65 yaş ve üstü nüfusu (toplam nüfusun %'si); PD, nüfus yoğunluğunu (km<sup>2</sup> başına kişi sayısı); LE, doğumda yaşam beklentisini (toplam, yıl); UNE, işsizlik oranını (ILO tahminine göre toplam işgücünün %si); GDP, kişi başına GSYH'yi (sabit, 2015 ABD Doları); UP ise kentsel nüfusu (toplam nüfusun %'si) belirten değişkenlerdir. Model içerisindeki tüm değişkenler, logaritmik (ln) form yapısında çözümleme işlemlerine dâhil edilmiştir. Değişkenlere ilişkin özet istatistikler Tablo (2) içerisinde sunulmuştur.

**Tablo 2: Özet İstatistikler**

Veri	Minimum	Maksimum	Ortalama	Stn. Hata	Gözlem	Veri seçimi
lnEF	0.2596	2.3363	1.4474	0.6454	198	York ve diğerleri (2003a; 2003b) & Başoğlu (2018) & Destek (2018) & Huang ve diğerleri (2022) & Jia ve diğerleri (2009) & Salman ve diğerleri (2022) & Şimşek ve Bursal (2019) & Topdağ ve diğerleri (2020) & Udemba (2020) & Usman ve diğerleri (2022) & Wang ve diğerleri (2022) & Yurtkuran (2020)
lnPA	1.3058	2.8467	2.0891	0.5030	198	Wang ve Li (2021) & Yang ve Wang (2020) & Wang ve diğerleri (2022)
lnPD	0.4077	5.0028	2.8573	1.5606	198	York ve diğerleri (2003a; 2003b) & Başoğlu (2018) & Jia ve diğerleri (2009) & Salman ve diğerleri (2022) & Topdağ ve diğerleri (2020) & Usman ve diğerleri (2022)
lnLE	3.9786	4.4158	4.2713	0.1082	198	Issaoui ve diğerleri (2015) & Mahalik ve diğerleri (2022) & Matthew ve diğerleri (2020) & Wang ve Li (2021)
lnUNE	1.1724	3.5052	2.0109	0.5650	198	Branis ve Linhartova (2012) & Adesina ve Mwamba (2019) & Granados ve Spash (2019) & Wang ve Li (2021)
lnGDP	7.3244	10.999	9.1482	1.2209	198	York ve diğerleri (2003a; 2003b) & Başoğlu (2018) & Destek (2018) & Jia ve diğerleri (2009) & Salman ve diğerleri (2022) & Topdağ ve diğerleri (2020) & Udemba (2020) & Usman ve diğerleri (2022) & Wang ve diğerleri (2022)
lnUP	3.4929	4.4544	4.1980	0.2347	198	York ve diğerleri (2003a) & Destek (2018) & Jia ve diğerleri (2009) & Salman ve diğerleri (2022) & Udemba (2020)

Ekolojik ayak izi değişkenine ait veri seti, Küresel Ayak İzi Ağı; diğer değişkenlere ait veri setleri ise Dünya Bankası'nın dünya gelişme göstergeleri web sitelerinden elde edilmiştir. Analiz işlemleri Stata v.15.0 ve EViews v.10.0 paket programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### 3.2. Metodoloji

Panel veri analizlerinde güvenilir ve güçlü bulguları elde etmek için takip edilmesi gereken altı temel metodolojik izlek takip edilmektedir. Birinci izlekte, birimler arasındaki korelasyonu araştırmak için yatay-kesit bağımlılığı; sonrasında ise birim kök testleri yapılmaktadır. Üçüncü izlekte, parametrelerin homojenlik ya da heterojenlik durumları için homojenlik testi uygulanmakta; ardından değişkenler arasındaki eşbütünleşme ilişkisine bakılmaktadır. Beşinci izlek, değişkenler arasındaki uzun ve kısa vadeli ilişkilerin tahmin işlemleridir. Son izlekte ise değişkenler arasındaki ilişkinin yönü hakkında bilgi sunan nedensellik testi uygulanmaktadır.

### 3.2.1. Breusch-Pagan LM Yatay-kesit Bağımlılığı Testi

Panel veri modellerinde, seriye belirli bir şok geldiğinde panelde yer alan tüm yatay-kesit birimlerinin söz konusu şoktan aynı derecede etkilenip etkilenmediğinin araştırılması metodolojide yapılması gereken ilk adımdır. Belirtilen durum, farklı tür ve yapıdaki yatay-kesit bağımlılığı testleri ile incelenmektedir (Ün, 2015: 77). Yatay-kesit bağımlılığı, panel veri analizlerinin tahmin işlemlerinde çok önemli bir problemidir. Aynı zamanda uygun birim kök, eşbütünleşme ve nedensellik sınamalarının tercih işlemlerinde gereklidir ve boyutsal bozulma gibi ciddi problemler yaratabilir (Huang ve diğerleri, 2022: 5).

Bu çalışmada  $T > N$  durumu için önerilen Breusch-Pagan testi kullanılmaktadır. Breusch ve Pagan (1980), sıfır çapraz denklem hata korelasyonlarını test etmek için LM (Lagrange çarpanı) test istatistiğini önermektedir. Denklik (4) içerisindeki gibi kurulan bir panel veri modelinde (Sarafidis, Yamagata ve Robertson, 2009: 150):

$$y_{it} = \alpha_i + \beta'x_{it} + \mu_{it} \quad (4)$$

$$i = 1, 2, \dots, N \quad t = 1, 2, \dots, T$$

$\mu_{it}$ , birimlerin yatay-kesit bağımlılığı sergileyebileceği durumdur. Hipotezler:

$$H_0: E(\mu_{it}\mu_{jt}) = 0 \quad \forall t \text{ tümü için } i \neq j \quad (5)$$

$$H_1: E(\mu_{it}\mu_{jt}) \neq 0 \quad \text{Bazı } t \text{ ve bazı } i \neq j \text{ için şeklinde kurulmaktadır.} \quad (6)$$

Denklik (5) ve (6) içerisindeki olası eşleşmelerin sayısı ( $\mu_{it}\mu_{jt}$ ),  $N$  ile artmaktadır.

LM test istatistiğinin yapısı aşağıdaki gibidir:

$$LM = T \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{\rho}_{ij}^2 \quad (7)$$

$\hat{\rho}_{ij}$ , artıkların ikili Pearson korelasyon katsayısının örnek tahminidir.

$$\hat{\rho}_{ij} = \hat{\rho}_{ji} = \frac{\sum_{t=1}^T e_{it}e_{jt}}{(\sum_{t=1}^T e_{it}^2)^{1/2} (\sum_{t=1}^T e_{jt}^2)^{1/2}} \quad (8)$$

$e_{it}$ , Denklik (4) içerisindeki  $\mu_{it}$ 'nin OLS tahmincisidir. LM,  $N$  sabitli  $T \rightarrow \infty$  olmak üzere,  $H_0$  hipotezi altında  $N(N-1)/2$  serbestlik dereceli ki-kare şeklinde asimptotik olarak dağılmaktadır.

### 3.2.2. CIPS ve CADF Birim Kök Testleri

Metodolojinin ikinci aşamasında, değişkenlerin birim kök içerip içermediklerinin ve durağanlık seviyelerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda çalışmada, birimler arasında korelasyon (yatay-kesit bağımlılığı) olması durumunda önerilen 2. nesil panel birim kök testlerinden CIPS (Yatay Kesit Genişletilmiş Im, Pesaran ve Shin) ve CADF (Yatay Kesit Genişletilmiş Dickey Fuller) birim kök testleri tercih edilmektedir.

CIPS testinin matematiksel ifadesi aşağıdaki şekilde formüle edilebilir (Huang ve diğerleri, 2022: 6):

$$\Delta AC_{i,t} = \delta_i + \delta_i X_{i,t-1} + \delta_i \overline{AC}_{t-1} + \sum_{j=0}^p \delta_i \Delta \overline{AC}_{t-j} + \sum_{j=0}^p \delta_{ij} \Delta AC_{i,t-j} + \mu_{it} \quad (9)$$

Denklik (9) içerisindeki  $\overline{AC}_{t-1}$  ve  $\overline{AC}_{t-j}$  tüm kesitlerin ortalamasını göstermektedir. CIPS test istatistikleri aşağıdaki gibi açıklanmaktadır:

$$\widehat{CIPS} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N CADF_i \quad (10)$$

CIPS, CADF'nin test istatistiklerine işaret etmektedir. CADF test istatistiklerinin tahmini:

$$\Delta y_{i,t} = \alpha_i + \beta_i y_{i,t-1} + \sum_{j=0}^s d_{i,j} \Delta \bar{y}_{t-j} + \sum_{j=1}^s \pi_{i,j} \Delta \bar{y}_{i,t-j} + \mu_{i,t} \text{ şeklindedir.} \quad (11)$$

$\Delta y$  ve  $y$ , sırasıyla, birinci fark işlemcisinin ve gecikmeli seviyelerin ortalamalarıdır.

### 3.2.3. Swamy-S Homojenlik Testi

Sabit ve eğim parametrelerinin birimlere göre homojen ya da heterojen olması, seçilecek olan eşbütünleşme ve nedensellik tahmin yöntemlerinin farklılaşmasına neden olmaktadır. Tesadüfi katsayılar modelini sınamak için, verinin panel yapısını dikkate almaya birimlere özgü OLS tahmincileri ile grup içi tahmincinin ağırlıklı ortalama matrisleri arasındaki farka bakılabilmektedir. Eğer aralarında istatistikî olarak anlamlı bir farklılık bulunmuyorsa, parametreler homojendir ve sınanacak hipotez  $H_0: \beta_i = \beta$  şeklinde kurulmaktadır. Swamy (1971) tarafından geliştirilen ve Hausman türü bir sınama olan Swamy-S test istatistiği (Yerdelen Tatoğlu, 2018: 246 - 247):

$$\hat{S} = X'_{k(N-1)} = \sum_{i=1}^N (\hat{\beta}_i - \bar{\beta}^*)' \hat{V}_i^{-1} (\hat{\beta}_i - \bar{\beta}^*) \quad (12)$$

Denklik içerisindeki  $\hat{\beta}_i$ , birimlere göre regresyonlardan ulaşılan OLS tahmincileri;  $\bar{\beta}^*$ , ağırlıklı grup içi tahminci;  $\hat{V}_i$  ise söz konusu iki tahmincinin varyansları arasındaki farktır. Test istatistiği,  $K(N - 1)$  serbestlik derecesine sahip  $X^2$  dağılımını göstermektedir.

### 3.2.4. Westerlund Eşbütünleşme Testi

Eşbütünleşme testleri, değişkenler arasında uzun vadeli bir ilişkinin olup olmadığını belirlemek için kullanılmaktadır. Bu amaçla, farklı özellikler sergileyen Kao (1999), Pedroni (2004) ve Westerlund (2007) gibi çeşitli panel eşbütünleşme testleri bulunmaktadır. Belirtilen testlerden Westerlund panel eşbütünleşme testi, birimler arasında yatay-kesit bağımlılığı durumunda tutarlı sonuçlar üretebilmektedir (Usman ve diğerleri, 2022: 5). Aynı zamanda panel istatistikleri (Pt, Pa) ve grup istatistikleri (Gt, Ga) olmak üzere dört farklı istatistiğe dayanan bu testler, oldukça esnektir ve hata düzeltme modelinin uzun ve kısa vadeli parametrelerinde heterojenliğe müsaade etmektedir (Yerdelen Tatoğlu, 2018: 203). Aşağıdaki Denklik (13) panel ve grup istatistiklerini açıklamaktadır (Usman ve diğerleri, 2022: 5):

$$\Delta x_{it} = \sigma'_i d_t + \delta_i (x_{it-1} - \beta'_i y_{it-1}) + \sum_{j=1}^{k_i} \delta_{ij} \Delta x_{it-j} + \sum_{j=-q_i}^{k_i} \gamma_{ij} \Delta y_{it-j} + \varepsilon_{it} \quad (13)$$

Denklik,  $i$ 'nin kesit birimlerini ve  $t$ 'nin zamanı temsil etmek için kullanıldığı bir modelde  $k_i$  ve  $q_i$ , deterministik kısmı göstermektedir.

### 3.2.5. PMG-ARDL Testi

ARDL tahmin yöntemleri, beyaz gürültü terimi ile ortalama farkı alınmış bağımsız değişkenler arasındaki korelasyonun ortaya çıkardığı yanlılık nedeniyle bireysel etkilere sahip panel veri modellerinde yanlılığı kontrol edemez. Bu nedenle, PMG (Havuzlanmış Ortalama Grup) tahmincisi ile ARDL (Otoregresif Dağıtılmış Gecikme) modelinin kombinasyonu, söz konusu sorun için bir çözüm sunmaktadır. PMG-ARDL yaklaşımının formülü (Bosah ve diğerleri, 2021: 61205-61206):

$$ly_{i,t} = \phi_i ECT_{i,t} + \sum_{j=0}^{q-1} \Delta lX_{i,t-j} \beta_{i,j} + \sum_{j=1}^{p-1} \delta_{i,j} \Delta ly_{i,t-j} + \varepsilon_{i,t} \quad (14)$$

$$ECT_{i,t} = y_{i,t-1} - X_{i,t} \theta \quad (15)$$

Formüllerdeki  $y$ , bağımlı değişkeni açıklamakta, yatay-kesit birimleri ( $i$ ) ve zaman ( $t$ ) boyunca eşit sayıda gecikmede  $q$  ve  $X$  ile gösterilmektedir.  $\phi$ , ayarlama katsayısını;  $\Delta$ , fark işlemcisini;  $\theta$ , yakınsamaya ulaşıldıktan sonra  $\beta$  ve  $\delta$  tahminlerini üreten uzun vadeli katsayıyı;  $\varepsilon$  ise hata terimini belirtmektedir.

### 3.2.6. Dumitrescu & Hurlin Nedensellik Testi

Metodolojik izlekteki son adım, değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisinin yönünü tespit etmektir. Dumitrescu ve Hurlin (2012) Granger nedensellik testini heterojen panellere uygulayarak,

kesitler arasında yatay-kesit bağımlılığına ve eğim heterojenliğine izin veren panel nedensellik testini geliştirmişlerdir. Test, dengeli ve dengesiz panel modellerine de uygulanabilir ve heterojen panellerde yatay kesitlerin, zaman periyodundan ( $N < T$ ) küçük olduğu durumlar için daha uygundur. Modelin aşağıdaki matematiksel yapısına bakıldığında (Huang ve diğerleri, 2022: 7):

$$Y_{it} = \alpha_i + \sum_{j=1}^J \pi_i^j Y_{i(t-j)} + \sum_{j=1}^J \delta_i^j X_{i(t-j)} + \varepsilon_{it} \quad (16)$$

$$W_{N,T}^{HNC} = N^{-1} \sum_{i=1}^N W_{i,T} \quad (17)$$

Hipotezler ise:

$$H_0: \delta_i = 0 \text{ için } \forall i$$

$$H_1: \left( \begin{array}{ll} \delta_i = 0 & \forall i = 1,2,3,4, \dots, N_1 \\ \delta_i \neq 0 & \forall i = N_1 + 1,2,3,4, \dots, N \end{array} \right) \text{ şeklinde açıklanmaktadır.}$$

#### 4. Bulgular

Çalışmanın ampirik analiz kısmında, öncelikle değişkenler arasındaki olası ilişkilerin derecesini ve yönünü incelemek için korelasyon analizi yapılmış, bulgular Tablo 3 içerisinde gösterilmiştir. Bulgulara göre, ekolojik ayak izi ile pozitif yönlü ve en yüksek korelasyon düzeyine sahip olan değişken GSYH (0.78); en düşük korelasyon düzeyine sahip değişken ise yaşam beklentisi (0.40) değişkenidir. Aynı zamanda nüfus yaşlanması (0.61) ve kentsel nüfus (0.70) değişkenleri de ekolojik ayak izi ile aynı yönde hareket etmektedir. Açıklayıcı değişkenlerden nüfus yoğunluğu (0.71) ve işsizlik oranı (0.17) ile ekolojik ayak izi arasındaki ilişkinin yönü ise negatif yönlüdür.

**Tablo 3:** Korelasyon Analizi Bulguları

Matris	lnEF	lnPA	lnPD	lnLE	lnUNE	lnGDP	lnUP
lnEF	1.0000						
lnPA	0.6180	1.0000					
lnPD	-0.7146	-0.2381	1.0000				
lnLE	0.4082	0.7080	-0.2014	1.0000			
lnUNE	-0.1756	-0.3323	0.0760	-0.5919	1.0000		
lnGDP	0.7822	0.8376	-0.3570	0.6870	-0.1533	1.0000	
lnUP	0.7005	0.5956	-0.6114	0.4915	0.1114	0.7450	1.0000

Tablo 4, yatay-kesit bağımlılığı bulgularını özetlemektedir. Tablo'deki bulgular, % 99 kritik değerde panel kesitsel bağımlılığın kanıtlarını desteklemektedir ( $p < 0.01$ ). Bu kapsamda, birimler arasında korelasyonun varlığı doğrulanmaktadır.

**Tablo 4:** Breusch-Pagan LM Yatay-kesit Bağımlılığı Bulguları

Değişken	lnEF	lnPA	lnPD	lnLE	lnUNE	lnGDP	lnUP
İstatistik değeri	269.1641	642.0254	678.1567	643.8218	187.4525	707.1064	713.8828
p-(olasılık) değeri	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Birim kök testlerinin türü, kesitsel bağımlılığın varlığı durumunda önerilen 2. nesil panel birim kök testleri doğrultusunda belirlenmiştir. Bu doğrultuda tercih edilen CIPS ve CADF birim kök sınaması bulguları Tablo 5 içerisine aktarılmıştır. Bulgular, ekolojik ayak izi, nüfus yaşlanması, nüfus yoğunluğu, yaşam beklentisi, işsizlik oranı ve kentsel nüfus değişkenlerinin birinci fark  $I(1)$  seviyelerinde; GSYH değişkeninin ise düzey  $I(0)$  seviyesinde durağan olduklarını ve birim kök içermediklerini göstermektedir.

**Tablo 5: CIPS ve CADF Birim Kök Sınama Bulguları**

Değişken	CIPS					CADF	
	Düzyey	Birinci fark	Kritik değer			Düzyey	Birinci fark
			%1	%5	%10		
lnEF	-0.268	-4.154*	-2.51	-2.25	2.12	-1.432 (0.845)	-2.861 (0.000)*
lnPA	-0.204	-2.503*	-2.44	-2.22	-2.10	-2.055 (0.181)	-2.334 (0.038)**
lnPD	-1.934	-3.422*	-2.44	-2.22	-2.10	-1.892 (0.342)	-3.036 (0.000)*
lnLE	-1.324	-2.710	-2.44	-2.22	-2.10	-2.041 (0.192)	-2.698 (0.002)*
lnUNE	-1.709	-2.945*	-2.51	-2.25	2.12	-2.065 (0.173)	-2.590 (0.005)*
lnGDP	-3.164*	-1.824	-2.51	-2.25	2.12	-2.397 (0.024)**	-2.373 (0.129)
lnUP	-1.773	-2.161***	-2.44	-2.22	-2.10	-2.092 (0.152)	-2.928 (0.000)*

Not: \*, \*\* ve \*\*\* notasyonları, sırasıyla, 0.01, 0.05 ve 0.10 anlam seviyelerine işaret etmektedir.

Tablo 6'dan elde edilen kanıtlar, eğitim homojenliğinin  $H_0$  hipotezinin 0.01 anlam düzeyinde reddedildiğini ve eğitim heterojenliğinin geçerli olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, parametrelerin homojen olmadığı ve birimden birime değiştiği sonucuna ulaşılmaktadır.

**Tablo 6: Swamy-S Homojenlik Sınama Bulguları**

Değişken	lnEF	lnPA	lnPD	lnLE	lnUNE	lnGDP	lnUP
$X^2(8)$	17080.23	20029.58	1.6e+05	1881.91	3596.73	13104.43	7990.65
$p > X^2$	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.0000*

Not: \* simgesi, 0.01 anlam seviyesini belirtmektedir.

Analizin bu aşamasında, eğitim heterojenliği ve kesitsel bağımlılık sorunlarını ortadan kaldıran Westerlund eşbütünleşme testi uygulamaktadır. Tablo 7 içerisinde özetlenen bulgulara göre, değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisinin olmadığını ifade eden  $H_0$  hipotezi reddedilerek, değişkenler arasında uzun vadeli eşbütünleşme ilişkisinin varlığı desteklenmektedir.

**Tablo 7: Westerlund Eşbütünleşme Sınama Bulguları**

İstatistik	Değer	Z-değeri	p-değeri	Robust p-değeri
Gt	-5.130*	-11.979	0.042	0.003
Ga	-12.897*	-5.999	0.009	0.001
Pt	-13.021*	-9.843	0.002	0.000
Pa	-12.836*	-12.237	0.021	0.001

Not: \* simgesi, 0.01 anlam seviyesini ifade etmektedir.

Analizde kullanılan değişkenlerden GSYH'nin  $I(0)$  seviyesinde, diğer değişkenlerin ise  $I(1)$  seviyelerinde durağanlaştığı dikkate alındığında panel PMG-ARDL tahmincisinin uygun bir metodoloji olduğu görülmektedir. Değişkenler arasındaki uzun ve kısa vadeli ilişkilerin tahminini sunan PMG-ARDL bulguları Tablo 8 içerisinde görülmektedir. Bulgular incelendiğinde, nüfus yaşlanması hariç diğer değişkenlerin uzun vadede istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Bu bağlamda PD, LE, UNE, GDP ve UP değişkenlerinde meydana gelen %1'lik bir artış oranı ekolojik ayak izini, sırasıyla, yaklaşık % 1.26, % 1.21, % 0.04, % 0.30 ve % 1.20 etkilemektedir. Ekolojik ayak izi üzerinde en yüksek etkiye sahip değişken nüfus yoğunluğu, en düşük etkiye sahip değişken ise işsizlik oranıdır. Bununla birlikte nüfus yoğunluğu ve işsizlik oranı ekolojik ayak izini azaltırken; yaşam beklentisi, GSYH ve kentsel nüfus ekolojik ayak izini artırmaktadır. Hata düzeltme parametresi  $ECT(-1)$ , negatif ve anlamlıdır. Bu doğrultuda bir dönemde oluşan dengesizliklerin yaklaşık 0.78'i bir sonraki dönemde düzelmektedir. Değişkenler arasındaki kısa vadeli ilişkide sadece işsizlik oranının istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. İşsizlik oranındaki % 1'lik bir artış, ekolojik ayak izini %0.13 azaltmaktadır. Belirtilen sonuç işsizlik oranının ekolojik ayak izi üzerindeki kısa vadeli etkisinin, uzun vadeli etkisinden daha yüksek olduğuna işaret etmektedir.

**Tablo 8: PMG-ARDL Sınama Bulguları**

Değişken	Katsayı	Standart Hata	t-istatistiği	p-değeri
Uzun vade				
lnPA	-0.127839	0.162783	-0.785333	0.4338
lnPD	-1.268320*	0.289243	-4.384967	0.0000
lnLE	1.216687***	0.654026	1.860302	0.0653
lnUNE	-0.043318***	0.022557	-1.920399	0.0572
lnGDP	0.300452*	0.058969	5.095099	0.0000
lnUP	1.105261*	0.253087	4.367121	0.0000
Kısa vade				
ECT(-1)	-0.785376*	0.060858	-12.90515	0.0000
$\Delta(\ln PA)$	-0.628460**	1.104621	-0.568937	0.5705
$\Delta(\ln PD)$	-1.890417	4.183346	-0.451891	0.6522
$\Delta(\ln LE)$	-1.088785	6.496173	-0.167604	0.8672
$\Delta(\ln UNE)$	-0.136246	0.056815	-2.398072	0.0180
$\Delta(\ln GDP)$	-0.149190	0.236263	-0.631456	0.5289
$\Delta(\ln UP)$	-9.761533	12.63866	-0.772355	0.4414
C	-5.583043*	0.676219	-8.256260	0.0000

Not: \*, \*\* ve \*\*\* simgeleri, sırasıyla, 0.01, 0.05 ve 0.10 anlam seviyelerini açıklamaktadır.

Yatay-kesit birimlerini gösteren ve kömür ihraç eden ülkelerin kısa vadeli tahmin bulguları, Tablo 9 içerisinde gösterilmektedir. Tablo incelendiğinde, model içerisinde yer alan tüm ülkelere ait hata düzeltme parametrelerinin negatif işaretli ve istatistikî olarak anlamlı olduğu görülmektedir.

**Tablo 9: Ülkelerin Kısa Vadeli Tahmin Bulguları**

Ülkeler	ECT(-1)	t-istatistiği	p-değeri
Kanada	-0.975614	-31.02941	0.0001*
ABD	-0.837703	-21.92112	0.0002*
Kolombiya	-1.101167	-25.56706	0.0001*
Rusya	-0.911646	-38.33643	0.0000*
Güney Afrika	-0.678820	-11.76965	0.0013*
Avustralya	-0.601311	-22.92382	0.0002*
Çin	-0.682221	-13.19372	0.0009*
Endonezya	-0.723296	-21.51789	0.0002*
Moğolistan	-0.556604	-22.73300	0.0002*

Not: \* simgesi, 0.01 anlam seviyesine işaret etmektedir.

Tablo 10 içerisindeki bulgular, Dumitrescu & Hurlin panel nedensellik sınavını açıklamaktadır. Tabloya göre, nüfus yoğunluğu, yaşam beklentisi, işsizlik oranı, GSYH ve kentsel nüfus değişkenleri ile ekolojik ayak izi arasında geri-bildirim etkisini yansıtan iki yönlü; ancak nüfus yaşlanması ile ekolojik ayak izi arasında tek yönlü nedensellik ilişkileri mevcuttur. Değişkenler arasındaki mevcut tek yönlü ilişkinin yönü ekolojik ayak izinden, nüfus yaşlanmasına doğrudur. Elde edilen bulgular, Tablo 8 içerisindeki PMG-ARDL tahmincisinin bulguları ile örtüşmektedir.



**Tablo 10:** Dumitrescu & Hurlin (2012) Nedensellik Sınama Bulguları

$H_0$ hipotezi	W-istatistiği	Z-istatistiği	p-değeri
$\ln ef \Leftrightarrow \ln pa$	13.3875	7.9570	0.0000*
$\ln pa \Leftrightarrow \ln ef$	6.1702	1.1102	0.2669
$\ln ef \Leftrightarrow \ln pd$	22.3453	16.4552	0.0000*
$\ln pd \Leftrightarrow \ln ef$	10.6995	5.4070	0.0000*
$\ln ef \Leftrightarrow \ln le$	15.8013	10.2471	0.0000*
$\ln le \Leftrightarrow \ln ef$	10.5851	5.2985	0.0000*
$\ln ef \Leftrightarrow \ln une$	3.6840	5.6935	0.0000*
$\ln une \Leftrightarrow \ln ef$	2.5232	3.2312	0.0012*
$\ln ef \Leftrightarrow \ln gdp$	16.2584	10.6807	0.0000*
$\ln gdp \Leftrightarrow \ln ef$	3.1760	4.6159	0.0000*
$\ln ef \Leftrightarrow \ln up$	11.1430	5.8278	0.0000*
$\ln up \Leftrightarrow \ln ef$	19.8078	14.0479	0.0000*

Not: \* simgesi, 0.01 anlam seviyesini belirtmektedir.

## 5. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada, 1997-2018 dönem aralığında kömür ihraç eden ülkelerde ekolojik ayak izi, nüfus, refah ve teknoloji parametreleri arasındaki bağlantılar incelenmiştir. STIRPAT modeli çerçevesinde kurulan ampirik analizde, değişkenler arasındaki olası ilişkiler için panel eşbütünleşme ve nedensellik metodolojileri takip edilmiştir. Alan yazın incelemesinde yer alan çalışmalar doğrultusunda ekolojik ayak izi, çevre kalitesi; nüfus yaşlanması, nüfus yoğunluğu, yaşam beklentisi ve işsizlik oranı, nüfus; GSYH, refah; kentsel nüfus ise teknoloji parametrelerini açıklamak için model içerisine dahil edilmiştir.

Korelasyon analizi bulguları, nüfus yaşlanması, yaşam beklentisi, GSYH ve kentsel nüfusun ekolojik ayak izi ile pozitif yönlü; nüfus yoğunluğu ve işsizlik oranının ise ekolojik ayak izi ile negatif yönlü korelasyona sahip olduğunu göstermiştir. Yatay-kesit bağımlılığı, homojenlik ve birim kök sınamalarından sonra Westerlund eşbütünleşme analizi ile değişkenler arasındaki uzun vadeli ilişkinin kanıtlarına ulaşılmıştır. PMG-ARDL tahminci bulguları, uzun vadede nüfus yoğunluğu, yaşam beklentisi, işsizlik oranı, GSYH ve kentsel nüfus değişkenlerinin; kısa vadede ise işsizlik oranı değişkeninin ekolojik ayak izi ile istatistiksel olarak anlamlı olduğuna işaret etmiştir. Bununla birlikte incelenen dönem içerisinde nüfus yoğunluğu ve işsizlik oranı, ekolojik ayak izini azaltırken; yaşam beklentisi, GSYH ve kentsel nüfus ise ekolojik ayak izini artırmıştır. Ayrıca işsizlik oranının ekolojik ayak izi üzerindeki kısa vadeli etkisinin, uzun vadeli etkisinden yüksek olduğu görülmüştür. Dumitrescu & Hurlin nedensellik bulguları ise ekolojik ayak izi ile nüfus yoğunluğu, yaşam beklentisi, işsizlik oranı, GSYH ve kentsel nüfus arasındaki iki yönlü aktarımı, ekolojik ayak izinden nüfus yaşlanmasına doğru ise tek yönlü aktarımı açıklamıştır.

Bulgulardan ulaşılan sonuçlar, kömür ihraç eden ülkelerin yaşam beklentisi, GSYH ve kentsel nüfus nedeniyle büyüyen ekolojik ayak izine; nüfus yoğunluğu ve işsizlik oranı nedeniyle küçülen ekolojik ayak izine işaret etmektedir. Elde edilen bu sonuçlar, alan yazın incelemesinde yer alan çalışmaların sonuçları ile genel anlamda uyumludur. Bu kapsamda, yaşam beklentisinin ekolojik ayak izini büyütmesi sonucu Matthew ve diğerleri (2020) tarafından yapılan çalışmanın sonuçları ile doğrulanmaktadır. Çevresel sürdürülebilirlik ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkide, bazı araştırmacılar ekonomik büyüme ve çevresel sürdürülebilirliğin uyumsuz olduğunu belirtirken bazı araştırmacılar ise ekonomik büyümeyi ve çevresel sürdürülebilirliği uyumlu hale getirebileceği için sürdürülebilir ekonomik büyümenin çevresel hedeflerle tutarlı olduğunu savunan yeşil büyüme teorisini desteklemektedir. Bu çalışmada ulaşılan GSYH'nin ekolojik ayak izini artırması sonucu, çevresel sürdürülebilirlik ile ekonomik büyüme arasındaki çelişkiye işaret etmektedir. GSYH'nin çevresel bozulmayı artırdığını açıklayan bu sonuç, Lin ve diğerleri (2009) & Aguir Bargaoui ve diğerleri (2014) & Bosah ve diğerleri (2021) & Issaoui ve diğerleri (2015) & Granados ve Spash

(2019) & Liu ve Bae (2018) & Liu ve Xiao (2018) & Wu ve diğerleri (2021) & Zhou ve Liu (2016) & Başoğlu (2018) & Jia ve diğerleri (2009) & Salman (2022) & Udemba (2020) tarafından yapılan çalışmaların sonuçları ile örtüşmektedir. Kentsel bölgelerde yaşayan nüfusun ekolojik ayak izine katkıda bulunduğu ile ilgili ulaşılan sonuç, kömür ihraç eden ülkelerde kentsel alanların ekonomik faaliyetlerin ve doğal kaynakların tüketiminin ağırlık merkezleri olduğu hipotezini geçerli kılmaktadır. Lin ve diğerleri (2009) & Bosah ve diğerleri (2021) & Liu ve Bae (2018) & Wang ve Li (2021) & Zhou ve Liu (2016) & Destek (2018) tarafından yapılan çalışmaların sonuçları, kentsel nüfusun çevre kalitesini azaltması sonucu ile benzerlikler içermektedir.

Nüfus dinamiklerindeki artışların, çoğunlukla doğal ekosistemi bozarak çevresel bozulmaya neden olduğu ve çevre kalitesini belirleyen önemli bir faktör olduğu varsayılmaktadır. Bununla birlikte nüfus dinamikleri gıda, su ve toprak talebinin artan bir sonucu olarak biyolojik kapasite üzerinde baskılar yaratmaktadır. Bu çalışmada nüfus yoğunluğuna yönelik ulaşılan sonuç, Salman (2022) tarafından yapılan çalışmanın sonuçları tarafından desteklense de söz konusu açıklanan hipotezleri desteklememektedir. Bunun olası bir nedeni, dünya nüfusunun yaklaşık %50'sinin kentsel bölgelerde yaşadığı göz önüne alındığında, örneklem kümesindeki ülkelerin kırsal nüfus yoğunluklarının yüksek olduğu şeklinde açıklanabilir. Diğer bir şekilde Wang ve Li (2021) tarafından yapılan çalışmada ifade edildiği gibi nüfus dinamiklerinin çevresel bozulma üzerindeki etkilerinin karmaşıklığı ve heterojenliği ile belirtilebilir. İşsizlik oranının çevre kalitesine etkisi konusunda ulaşılan sonuç, Adesina ve Mwamba (2019) & Granados ve Spash (2019) tarafından yapılan çalışmaların sonuçları ile benzer yönler içermektedir. İşsizlik oranının ekolojik ayak izini küçültmesi, örneklem kümesindeki ülkelerin durgunluk koşullarında olduğunu düşündürmektedir.

### Kaynakça

- Adesina, K. S. ve Mwamba, J. W. M. (2019). Does economic freedom matter for CO<sub>2</sub> emissions? Lessons from Africa. *The Journal of Developing Areas*, 53(3), 155-167.
- Aguir Bargaoui, S., Liouane, N. ve Nouri, F. Z. (2014). Environmental impact determinants: An empirical analysis based on the STIRPAT model. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 109, 449-458.
- Apaydın, Ş. (2020). Küreselleşmenin ekolojik ayak izi üzerindeki etkileri: Türkiye örneği. *Ekonomi, Politika & Finans Araştırmaları Dergisi*, 5(1): 23-42.
- Başoğlu, A. (2018). STIRPAT modeli kapsamında Türkiye'de ekolojik ayak izinin belirleyicileri. H. F. Erdem ve A. Başoğlu (Ed.), *İktisat Seçme Yazılar* içinde (133-155). Trabzon: Celepler Matbaacılık.
- Bosah, C. P., Li, S., Ampofo, G. K. M. ve Liu, K. (2021). Dynamic nexus between energy consumption, economic growth, and urbanization with carbon emission: evidence from panel PMG-ARDL estimation. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 61201-61212.
- Branis, M. ve Linhartova, M. (2012). Association between unemployment, income, education level, population size and air pollution in Czech cities: Evidence for environmental inequality? A pilot national scale analysis. *Health & Place*, 18, 1110-1114.
- Breusch, T. S. ve Pagan, A. R. (1980). The Lagrange Multiplier test and its application to model specifications in econometrics. *Review of Economic Studies*, 47, 239-253.
- Destek, M. A. (2018). Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinin Türkiye için incelenmesi: STIRPAT modelinden bulgular. *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 19(2), 268-283.
- Erden Özsoy, C. ve Dinç, A. (2016). Sürdürülebilir kalkınma ve ekolojik ayak izi. *Finans Politik & Ekonomik Yorumlar*, 53(619), 35-55.

- Footprintnetwork, (2022). Erişim adresi: <https://data.footprintnetwork.org/#/countryTrends?cn=5001&type=earth>
- Gani, A. (2021). Fossil fuel energy and environmental performance in an extended STIRPAT model. *Journal of Cleaner Production*, 297, 1-11.
- Granados, J. A. T. ve Spash, C. L. (2019). Policies to reduce CO<sub>2</sub> emissions: Fallacies and evidence from the United States and California. *Environmental Science & Policy*, 94, 262-266.
- Huang, Y., Haseeb, M., Usman, M. ve Ozturk, I. (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, 1-16.
- Huo, T., Li, X., Cai, W., Zuo, J., Jian, F. ve Wei, H. (2020). Exploring the impact of urbanization on urban building carbon emissions in China: Evidence from a provincial panel data model. *Sustainable Cities and Society*, 56, 1-11.
- Ibrahim, S. S., Celebi, A., Ozdeser, H. ve Sancar, N. (2017). Modelling the impact of energy consumption and environmental sanity in Turkey: A STIRPAT framework. *Procedia Computer Science*, 120, 229-236.
- Issaoui, F., Toumi, H. ve Touili, W. (2015). Effects of CO<sub>2</sub> emissions on economic growth, urbanization and welfare: Application to MENA countries. MPRA Paper No. 65683, 1-25.
- Jia, J., Deng, H., Duan, J. ve Zhao, J. (2009). Analysis of the major drivers of the ecological footprint using the STIRPAT model and the PLS method - A case study in Henan Province, China. *Ecological Economics*, 68, 2818-2824.
- Li, X., Xiao, L., Tian, C., Zhu, B. ve Chevallier, J. (2022). Impacts of the ecological footprint on sustainable development: Evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, 352, 1-11.
- Lin, S., Zhao, D. ve Marinova, D. (2009). Analysis of the environmental impact of China based on STIRPAT model. *Environmental Impact Assessment Review*, 29, 341-347.
- Liu, D. ve Xiao, B. (2018). Can China achieve its carbon emission peaking? A scenario analysis based on STIRPAT and system Dynamics model. *Ecological Indicators*, 93, 647-657.
- Liu, X. ve Bae, J. (2018). Urbanization and industrialization impact of CO<sub>2</sub> emissions in China. *Journal of Cleaner Production*, 172, 178-186.
- Mahalik, M. K., Le, T.-H., Le, H.-C. ve Mallick, H. (2022). How do sources of carbon dioxide emissions affect life expectancy? Insights from 68 developing and emerging economies. *World Development Sustainability*, 1, 1-10.
- Matthew, O. A., Owolabi, O. A., Osabohien, R., Urhie, E., Ogunbiyi, T., Olawande, T. I. ve Daramola, P. J. (2020). Carbon emissions, agricultural output and life expectancy in West Africa. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(3), 489-496.
- Mızık, E. T. ve Yiğit Avdan, Z. (2020). Sürdürülebilirliğin temel taşı: Ekolojik ayak izi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 6(2): 451-467.
- Özman, K. O. (2022). Ekolojik ayak izi nedir? Erişim adresi: <https://www.dogadergisi.com/ekolojik-ayak-izi-nedir/>
- Salman, M., Zha, D. ve Wang, G. (2022). Interplay between urbanization and ecological footprints: Differential roles of indigenous and foreign innovations in ASEAN-4. *Environmental Science and Policy*, 127, 161-180.

- Sarafidis, V., Yamagata, T. ve Robertson, D. (2009). A test of cross section dependence for a linear dynamic panel model with regressors. *Journal of Econometrics*, 148, 149-161.
- Şimşek, T. ve Bursal, M. (2019). Türkiye’de ekolojik ayak izi ve biyokapasite arasındaki ilişki: Bootstrap rolling window nedensellik testi. *IBAD Sosyal Bilimler Dergisi*, 452-465.
- Topdağ, D., Acar, T. ve Çelik, İ. E. (2020). Estimation of the global-scale ecological footprint within the framework of STIRPAT models: The quantile regression approach. *İstanbul İktisat Dergisi*, 70(2), 339-358.
- Tosunoğlu, B. T. (2014). Sürdürülebilir küresel refah göstergesi olarak ekolojik ayak izi. *Hak İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*, 3(5), 154-171.
- Udemba, E. N. (2020). A sustainable study of economic growth and development amidst ecological footprint: New insight from Nigerian perspective. *Science of the Total Environment*, 732, 1-10.
- Usman, A., Ozturk, I., Naqvi, S. M. M. A., Ullah, S. ve 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, 1-10.
- Wang, Q. ve Li, L. (2021). The effects of population aging, life expectancy, unemployment rate, population density, per capita GDP, urbanization on per capita carbon emissions. *Sustainable Production and Consumption*, 28, 760-774.
- Wang, Q., Zhang, F., Li, R. ve Li L. (2022). The impact of renewable energy on decoupling economic growth from ecological footprint - An empirical analysis of 166 countries. *Journal of Cleaner Production*, 354, 1-16.
- Wu, R., Wang, J., Wang, S. ve Feng, K. (2021). The drivers of declining CO<sub>2</sub> emissions trends in developed nations using an extended STIRPAT model: A historical and prospective analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149, 1-11.
- Xu, B. ve Lin, B. (2015). How industrialization and urbanization process impacts on CO<sub>2</sub> emissions in China: Evidence from nonparametric additive regression models. *Energy Economics*, 48, 188-202.
- Yang, T. ve Wang, Q. (2020). The nonlinear effect of population aging on carbon emission- Empirical analysis of ten selected provinces in China. *Science of the Total Environment*, 740, 1-12.
- York, R., Rosa E. A. ve Dietz, T. (2003a). Footprints on the earth: The environmental consequences of modernity. *American Sociological Review*, 68(2), 279-300.
- York, R., Rosa, E. A. ve Dietz, T. (2003b). STIRPAT, IPAT and ImPACT: Analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts. *Ecological Economics*, 46(3), 351-365.
- Yurtkuran, S. (2020). N11 Ülkelerinde ekolojik ayak izi yakınsaması: Fourier durağanlık testinden yeni kanıtlar. *Uluslararası Ekonomi ve Yenilik Dergisi*, 6(2), 191-210.
- Zagheni, E. (2011). The leverage of demographic dynamics on carbon dioxide emissions: Does age structure matter? *Demography*, 48(1), 371-399.
- Zhang, C. ve Tan, Z. (2016). The relationships between population factors and China’s carbon emissions: Does population aging matter? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, 1018-1025.

Zhou, Y. ve Liu, Y. (2016). Does population have a larger impact on carbon dioxide emissions than income? Evidence from a cross-regional panel analysis in China. *Applied Energy*, 180, 800-809.