

Araştırma Makalesi / Research Article

ÇEVRESEL BOZULMAYI NE BELİRLER? SEÇİLMİŞ ÜLKELER İÇİN İKTİSADİ BÜYÜME, DIŞ TİCARET, KENTLEŞME VE YENİLENEBİLİR ENERJİNİN MALZEME AYAK İZİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Gizem MUKİYEN AVCI¹ 

ÖZET

Bu çalışma; üretim ve tüketim süreçlerinde önemli ölçüde malzeme tüketimi gerçekleştiren on ülke için 1990-2022 döneminde, çevresel bozulmanın önemli bir göstergesi olan malzeme ayak izini belirleyen iktisadi faktörleri analiz etmektedir. İnceleme kapsamındaki ülkeler; uluslararası ticaretteki önemli rollerinden dolayı Almanya, ABD, Brezilya, Çin, Hindistan ve Japonya; çevreye duyarlı ve sürdürülebilir politikalara verdikleri önem nedeniyle Danimarka ve İsveç; doğal kaynaklara dayalı ekonomilere sahip olmaları dolayısıyla ise Avustralya ve Güney Afrika olarak seçilmiştir. Panel eş bütünleşme testi, kişi başına düşen gelir düzeyi, dış ticaret, kentleşme ve yenilenebilir enerji tüketimi ile malzeme ayak izi arasındaki uzun dönemli ilişkileri analiz etmektedir. Elde edilen bulgular, ekonomik büyümenin malzeme ayak izini anlamlı bir şekilde artırdığını, ticari açıklık ve yenilenebilir enerji tüketiminin ise bu izi azalttığını ortaya koymaktadır. Kentleşmenin ise malzeme ayak izi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunamamıştır. Ülkeye özgü analizler, söz konusu faktörlerin etkilerinin ülkeler arasında farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Genel anlamda gelirin malzeme ayak izini arttırıcı, dış ticaretin ise azaltıcı etkisi bulunmaktadır. Ülke bazındaki farklılıklar arasında, yenilenebilir enerji tüketimi çoğu ülkede malzeme ayak izini azaltmasına karşın, Brezilya ve Japonya'da bu izi arttırıcı etkide bulunduğu dikkat çekmektedir. Ayrıca kentleşmenin Avustralya ve İsveç'te malzeme ayak izini azaltıcı, Brezilya'da ise arttırıcı etkisi olduğu görülmektedir. Sonuçlar, çevresel bozulmayı azaltmak ve kaynak verimliliğini arttırmak için, her ülkenin ekonomik ve yapısal koşullarına uygun çevre politikaları geliştirmesinin ve ekonomik ve ticari politikaların çevresel sürdürülebilirlik ile uyumlu hale getirilmesinin önemini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çevresel Bozulma, İktisadi Büyüme, Dış Ticaret, Yenilenebilir Enerji Tüketimi, Malzeme Ayak İzi

JEL Sınıflandırması: F43, O44, Q56

WHAT DETERMINES ENVIRONMENTAL DEGRADATION? THE EFFECTS OF ECONOMIC GROWTH, FOREIGN TRADE, URBANIZATION, AND RENEWABLE ENERGY ON MATERIAL FOOTPRINT IN SELECTED COUNTRIES

ABSTRACT

This study analyzes the economic factors determining the material footprint, a significant indicator of environmental degradation, for ten countries that engage in substantial material consumption during production and consumption processes over the 1990-2022 period. The countries included in the study

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, İİBF, Zonguldak, Türkiye, gmavci@beun.edu.tr.

are selected based on their significant roles in international trade-Germany, the United States, Brazil, China, India, and Japan; due to their commitment to environmentally sensitive and sustainable policies. Denmark and Sweden; and their resource-based economies-Australia and South Africa. Using panel cointegration tests, the research analyzes the long-term relationships between material footprint and per capita income level, trade, urbanization, and renewable energy consumption. The findings reveal that economic growth significantly increases the material footprint, while trade openness and renewable energy consumption are found to reduce. In contrast, urbanization does not have a statistically significant effect on the material footprint. Country-specific analyses indicate that the effects of these factors differ among countries. Overall, income has an increasing effect on the material footprint, whereas trade has a mitigating impact. Among the observed country-level differences, it is noteworthy that renewable energy consumption generally reduces the material footprint but has an increasing effect in Brazil and Japan. Furthermore, urbanization is found to decrease the material footprint in Australia and Sweden but increase it in Brazil. The results highlights the importance of developing country-specific environmental policies coordinating to their unique economic and structural conditions, as well as ensuring that economic and trade policies are accordant with environmental sustainability to mitigate environmental degradation and enhance resource efficiency.

Keywords: Environmental Degradation, Economic Growth, Foreign Trade, Renewable Energy Consumption, Material Footprint.

JEL Classification Codes: F43, O44, Q56

EXTENDED SUMMARY

Research Questions & Purpose

In recent years, various policies have been implemented within the framework of the United Nations Sustainable Development Goals to combat global environmental issues and prevent environmental degradation. One of these goals is the reduction of material footprint under the Responsible Production and Consumption category. In order to reduce material footprint, it is crucial to examine the factors that determine it. In this context, the aim of the study is to analyze the economic factors that influence material footprint as an indicator of environmental degradation.

Literature Review

There is a substantial body of literature examining environmental degradation. These studies can be classified into three distinct categories based on the indicators used to address environmental degradation. The first group of studies considers CO₂ emissions as an indicator of environmental degradation, while the second group uses the ecological footprint for the same purpose. In recent years, however, there has been a shift toward the use of material footprint as a preferred variable, replacing CO₂ emissions and ecological footprint. Nevertheless, such studies remain limited in number, and the aim of this research is to contribute to the literature by exploring the factors that determine material footprint as an indicator of environmental degradation. To represent material use, studies have employed variables such as material intensity and domestic material consumption (Agnolucci et al., 2017; Alola et al., 2021; Kassouri et al., 2021; Telega & Telega, 2020). Moreover, recent studies have increasingly focused on the material footprint variable. Some of these studies examine the material Kuznets curve hypoth-

esis (Ansari et al., 2020; Mukiyen Avcı, 2023; Turgut & Sarıöz Gökten, 2022) and investigate the determinants of material footprint (Ansari et al., 2020; Dada & Al-Faryan, 2024; Koçak & Sarıöz Gökten, 2022; Pata & Karlilar, 2024; Razzaq et al., 2021; Sahoo et al., 2021; Turgut & Sarıöz Gökten, 2023; Zhang et al., 2023).

Methodology

This study analyzes the economic factors determining material footprint, an important indicator of environmental degradation, for ten countries that significantly consume materials in their production and consumption processes, covering the period from 1990 to 2022. The countries selected for the analysis are Germany, the USA, Brazil, China, India, and Japan due to their significant roles in foreign trade; Denmark and Sweden for their emphasis on environmentally sensitive and sustainable policies; and Australia and South Africa due to their natural resource-based economies. The panel cointegration test examines the long-term relationships between material footprint and factors such as per capita income, foreign trade, urbanization, and renewable energy consumption. In the analysis, cross-sectional dependence (LMadj), unit root test (CIPS), and homogeneity test were applied. Following the identification of cross-sectional dependence and heterogeneity of slope coefficients in the model, the Westerlund (2005) cointegration test was applied, and it was found that the variables are cointegrated. Finally, AMG coefficients were estimated for each country.

Results and Conclusions

The findings reveal that economic growth significantly increases the material footprint, while trade openness and renewable energy consumption reduce it. Urbanization, however, does not have a statistically significant effect on the material footprint. Country-specific analyses indicate that the effects of these factors vary across countries. In general, it has been observed that income growth has an increasing effect on the material footprint, while foreign trade has a decreasing effect. Notably, while renewable energy consumption reduces the material footprint in most countries, it has an increasing effect in Brazil and Japan. Additionally, urbanization reduces the material footprint in Australia and Sweden, while it increases it in Brazil. The results emphasize the importance of developing environmental policies tailored to each country's economic and structural conditions, alongside aligning economic and trade policies with environmental sustainability. Overall, this study suggests that countries must review their economic growth, trade, and energy policies, and develop comprehensive strategies towards sustainable development goals in order to reduce environmental degradation. To minimize the negative environmental impacts of increasing income levels, it is crucial to implement policies based on green technologies and resource efficiency in production and consumption processes. Making commercial activities more environmentally friendly and promoting renewable energy sources can, in the long term, support environmental sustainability by reducing material footprints. Considering the differences between countries, it is an important step for each country to develop policies suited to their unique conditions to contribute to solving the global environmental crisis.

1. Giriş

İnsanlığın varoluşundan bu yana, insan ile çevre arasında sürekli bir etkileşim söz konusudur. Ülkeler, vatandaşlarının yaşam standartlarını iyileştirmek için ekonomik büyümeyi sağlarken, aynı zamanda mevcut ve gelecek nesiller için sağlıklı bir yaşam ortamı sunmak amacıyla çevresel sürdürülebilirliği de gözetmektedir. Bu amaç doğrultusunda, sürdürülebilir büyüme ancak nüfus büyüklüğü ve ekonomik büyümenin ekosistemin değişen üretim potansiyeli ile uyumlu olması durumunda mümkün olacaktır (UN, 1987). Ancak dünya genelinde ekonomik büyüme ile çevresel sürdürülebilirlik arasında bir ikilem bulunmaktadır. Hızla artan dünya nüfusu, doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı artırmakta ve yaşam standartlarındaki artışı yavaşlatmaktadır. Çevre kaynakları kıt ve sınırlı iken, hızlı nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşme gibi faktörlerin etkisiyle başlangıçta göz ardı edilen çevresel sorunlar, zamanla günümüz dünyasında ciddi bir tehdit haline gelmiştir. Ekonomik büyümeyi sağlayan ürün ve teknolojilerin çoğu, hammadde ve enerji kullanımına dayalıdır ve artan fosil yakıt tüketimi çevre kirliliğini de artırmaktadır. Bu bağlamda, çevresel bozulma dünya genelinde yaşam için ciddi tehdit oluşturan bir sorun haline gelmiştir.

Dünya genelinde ülkeler, çevresel bozulmayı azaltmak ve “Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri”ne ulaşabilmek için çeşitli politikalar izlemektedir. Çevresel bozulmanın tüm dünya kaynaklarını etkilemesi, ülkelerin çevre politikalarının yalnızca ulusal düzeyde kalmayıp, küresel bir boyuta yayılmasını gerektirmektedir. Bu bağlamda, çevre ile insan ilişkisine yönelik ilk uluslararası girişim, 1972 yılında Stockholm’de düzenlenen “İnsan Çevresine Dair Konferans” ile başlamış ve bu konferans sonucunda Stockholm Bildirgesi yayınlanmıştır. Ardından, çevre konularında kurulan ilk uluslararası kurum olan “Birleşmiş Milletler Çevre Programı” faaliyete geçmiştir. Bu program, çevre ile ilgili hukuk düzenlemelerini merkezine alarak önemli çalışmalara imza atmaktadır. Stockholm Konferansı’nın ruhunu yeniden yakalamayı amaçlayan Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu, Brundtland Raporu olan “Ortak Geleceğimiz” adlı raporu yayımlamıştır. Bu raporun amacı, çok taraflılık ve uluslararası dayanışma yoluyla sürdürülebilir kalkınmayı sağlamaktır. 1992 yılında Brezilya’nın Rio de Janeiro şehrinde düzenlenen Rio Dünya Zirvesi’nde sürdürülebilir kalkınma konuları ele alınmıştır (UN, 2023).

1997 yılında kabul edilen Kyoto Protokolü, gelişmiş ve sanayileşmiş ülkelerde artan sera gazı salınımını azaltmayı hedeflemektedir. 2015 yılında imzalanan Paris İklim Antlaşması ve Avrupa Yeşil Mutabakatı, yalnızca gelişmiş ülkeleri değil, diğer ülkeleri de sera gazı salınımını azaltma yönünde harekete geçirmeyi amaçlamaktadır. 197 ülkenin ortak çabasıyla, küresel ortalama yüzey sıcaklığındaki artışın iki derece ile sınırlandırılması hedeflenmektedir.

OECD raporuna göre, 2050 yılına kadar dünya nüfusundaki artışın, ekonomik büyüme ile birlikte enerji ve doğal kaynaklara olan talebi daha da artırması beklenmektedir. Bu durum, çevre üzerinde daha fazla baskı oluşturacak ve çevresel bozulma açısından geri dönüşü olmayan sonuçlara yol açabilecektir. Olası senaryolar arasında, iklim değişikliğinin kalıcı hale gelmesi, biyolojik çeşitliliğin azalması, tatlı su kaynaklarının tükenmesi ve hava kirliliğinin erken ölüm nedenleri arasında önemli bir yer tutması bulunmaktadır. Ancak, çevresel bozulmayı azaltmaya yönelik iyi tasarlanmış politikaların uygulanması, ekonomik politikaların çevresel hedeflerle entegrasyonu ve yeşil büyümeye yönelik adımlar, bu olumsuz senaryoların tersine dönmesine yardımcı olabilir (OECD, 2012).

İktisat literatüründe çevresel bozulma üzerine geniş bir araştırma yelpazesi bulunmaktadır. Bu çalışmalar genellikle ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasındaki ilişki çerçevesinde ele alınmaktadır. İlk olarak, çevresel bozulmayı temsil eden başlıca gösterge olarak karbondioksit (CO₂) salınımı araştırmalara konu olmuştur. Ekonomik gelişmenin başlangıç aşamalarında büyüme ile birlikte çevre kirliliğinin artması beklenirken, ekonomik kalkınma belirli bir eşik düzeyine ulaştığında çevre kirliliğinin azalması öngörülmektedir (Ansari vd. 2022: 250). Ülkelerin büyüme oranlarını artırabilmeleri, daha fazla kaynak kullanımını gerektiren ekonomik faaliyetlere bağlıdır. Bu durum, ölçek ekonomisi çerçevesinde beklenenden daha yüksek CO₂ emisyonuna yol açarak çevre kirliliğinin artmasına sebep olacaktır. Ancak, ekonomik ilerleme aynı zamanda daha temiz ve gelişmiş teknolojilere geçişi de mümkün kılabilir. Teknolojinin gelişimi, çevre kirliliğine neden olan unsurların olumsuz etkilerini azaltarak çevre kalitesini artırabilir ve daha fazla kaynak kullanımını teşvik edebilir. Tüm bu etkiler, çevre kalitesinin iyileştirilmesi, yaşam standartlarının yükseltilmesi, çevre dostu ürünlere olan talebin artması ve toplumda çevre bilincinin gelişmesine katkıda bulunma potansiyeline sahiptir (Dinda, 2004).

Çevresel bozulmaya yönelik çalışmalarda çevre kirliliğini, çevresel bozulmayı ve/veya çevre kalitesini ölçmeye yönelik kullanılan temsili değişkenler zaman içerisinde farklılık göstermiştir. Başlangıçta, çevresel bozulmayı temsilen yaygın bir açıklayıcı değişken olarak kullanılan CO₂ emisyonunun çevre kirliliğini açıklamada yeterli olmaması ve ekosistem üzerindeki kapsamlı etkisini ölçmede yetersiz kalması, zamanla farklı göstergelerin kullanılması gerektiği göstermiştir. Bu bağlamda, CO₂ emisyonu yerini çevresel kaliteyi ölçmekte daha başarılı bir gösterge olarak kabul edilen ekolojik ayak izine bırakmıştır. Wackernagel & Rees (1996, 1998), insan faaliyetleri ile çevresel bozulma derecesini belirlemek için kapsamlı bir gösterge olarak ekolojik ayak izi kavramını geliştirmiştir. Ekolojik ayak izi, mevcut teknoloji ve kaynak yönetimi kullanılarak, bir bireyin, şehrin, ülkenin, bölgenin veya insanlığın tükettiği kaynakları üretmek ve ürettiği atıkların emilimi için gereken arazi ve su alanlarının büyüklüğünü ölçen bir muhasebe aracıdır (Galli vd. 2007).

Son yıllarda ise araştırmacıların çevresel kaliteyi ölçmek için CO₂ ve ekolojik ayak izi yerine malzeme ayak izine yöneldiği görülmektedir. Toplam malzeme ayak izi, biyoyakıt, fosil yakıtlar, metal cevherleri ve metal olmayan minerallerin toplamı olarak tanımlanmaktadır. Bir ekonomideki gerçek malzeme miktarını ifade eden yerel malzeme tüketimi ve nihai malzeme talebini karşılamak için tüm tedarik zincirinde gerekli olan miktarı ifade eden malzeme ayak izi ekonominin üretim ve tüketim yönünü kapsadıkları için birlikte ele alınmalıdır (UNSTAT, 2024). Özellikle küresel boyutta doğal kaynak kullanımı ve çevresel sürdürülebilirliğin göstergelerinden biri olan malzeme ayak izi kavramının geliştirilmesinde Wiedmann vd. (2015)'nin önemli katkıları bulunmaktadır. Wiedmann vd. (2015), gerçekleştirdikleri girdi-çıkıtlı analizi ile küresel çapta ülkelerin üretim ve tüketim bazlı malzeme kullanımlarını hesaplayarak, ithalat ve ihracatın çevresel ve sektörel etkilerini analiz etmeyi amaçlamıştır. Böylece üretim, dağıtım, tüketim, atık gibi süreçlerde kullanılan malzemelerin çevresel etkileri incelenebilmektedir. Ayrıca, çözüm önerileri ve politika uygulamaları açısından malzeme ayak izi, daha spesifik ve sektörel analizlerin yapılmasına olanak tanımaktadır.

Aynı zamanda malzeme ayak izi, hem iktisadın temel çıkış noktalarından biri olan kıt kaynakların verimli kullanımı hem de iktisadi gelişme sürecinde çevresel sürdürülebilirliğin

sağlanması açısından önemli bir kavramdır. Üretim-tüketim faaliyetlerinin çevresel dışsallıkları ve döngüsel ekonomi sürecinde malzemelerin yeniden kullanılarak çevresel etkilerin azaltılması konularındaki etkileri nedeni ile malzeme ayak izi, ekolojik ayak izine kıyasla daha kapsamlı bir analiz sunmaktadır ve bu nedenle son yıllarda iktisat literatüründe ilgili görmektedir.

Günümüzdeki çevre sorunları ve çevresel bozulmaya karşı önlemler almak amacıyla, 2030 yılına kadar küresel ölçekte uygulanması hedeflenen Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri arasında yer alan on ikinci madde, sorumlu üretim ve tüketimi teşvik ederek çevresel bozulmayı önlemeye yöneliktir. Bu maddede, çevresel bozulmanın önlenmesi veya azaltılması için malzeme ayak izinin ve malzeme kullanımının azaltılması önerilmektedir (SDG, 2023). Bu durum, iktisat literatüründe çevresel bozulmayı ele alan çalışmalarda malzeme ayak izi kavramının dikkate alınmasını zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışma, ekonomik büyüme, kentleşme, ticaret ve yenilenebilir enerji kullanımının malzeme ayak izi üzerindeki etkilerini analiz etmektedir. Küresel ölçekte çeşitli nedenlerle malzeme kullanımında önemli bir rol oynayan on seçilmiş ülkenin (ABD, Almanya, Avustralya, Brezilya, Çin, Danimarka, Güney Afrika, Hindistan, İsveç ve Japonya) 1990-2022 yılları arasında malzeme ayak izini etkileyen faktörlerin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, güncel ekonometri teknikleri kullanılarak da mevcut literatüre katkıda bulunulması hedeflenmektedir.

2. Ampirik Literatür

Bu bölümde, çevresel bozulmayı etkileyen faktörleri inceleyen araştırmalar ele alınmaktadır. Literatürdeki bu çalışmalar, çevresel bozulmayı temsil eden CO₂ emisyonu, ekolojik ayak izi ve son yıllarda ele alınan malzeme ayak izi bağlamında üç ana başlıkta incelenebilir.

2.1. Çevresel Bozulmayı Temsilen “CO₂ Emisyonu”

“CO₂ emisyonu”, çevresel bozulmanın önemli göstergelerinden biri olarak literatürde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu değişkenin bağımlı değişken olarak yer aldığı çalışmalara bakıldığında, genellikle ekonomik büyüme, enerji tüketimi (yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları), ticari açıklık ve dış ticaret gibi değişkenlerin CO₂ üzerindeki etkileri analiz edilmektedir.

Tablo 1: CO₂ Emisyonuna İlişkin Literatür Taraması

Yazar/lar	Analiz Dönemi	Örneklem	Bağımsız Değişkenler	Yöntem	Bulgu
Ozturk & Acaravci, 2010	1968-2005	Türkiye	GSYİH, Enerji Tüketimi, İşsizlik Oranı	ARDL, Granger Nedensellik	CO ₂ -GSYİH ve CO ₂ -işsizlik oranı arasında anlamlı ilişki yoktur.
Shahbaz vd., 2013	1975Q1-2011Q4	Endonezya	Ekonomik Büyüme, Enerji Tüketimi, Finansal Gelişme, Uluslararası Ticaret	ARDL, VECM, Granger Nedensellik	Ekonomik büyüme ve enerji tüketimi CO ₂ tüketimini arttırırken, finansal gelişme ve ticari açıklık azaltır. Enerji tüketimi-CO ₂ ve ekonomik büyüme-CO ₂ arasında çift yönlü, finansal gelişmeden CO ₂ tüketimine ise tek yönlü bir nedensellik ilişkisi vardır.

Tablo 1 devam

Wang vd., 2016	1990-2012	Çin	Ekonomik Büyüme, Enerji Tüketimi	Granger Nedensellik, VECM, Girdi Çıktı Analizi	Ekonomik büyüme ve enerji tüketimi arasında çift yönlü, enerji tüketiminden CO ₂ 'ye tek yönlü bir nedensellik ilişkisi vardır. Ekonomik büyüme ve CO ₂ arasında anlamlı bir ilişki yoktur.
Liu & Bae, 2018	1970-2015	Çin	Enerji Yoğunluğu, GSYİH, Sanayileşme, Kentleşme, Yenilenebilir Enerji Tüketimi	ARDL, VECM	Enerji yoğunluğu, GSYİH, sanayileşme ve kentleşme oranı çevresel bozulmayı artırır. Uzun vadede CO ₂ , GSYİH ve sanayileşme arasında karşılıklı iki yönlü nedensellik ilişkisi vardır.
Chen vd., 2019	1995-2012	Çin eyaletleri (30)	Ekonomik Büyüme, Yenilebilir Enerji Tüketimi, Yenilenemeyen Enerji Tüketimi	Panel Eş Bütünleşme, Panel Granger Nedensellik	Yenilenemeyen enerji tüketimi CO ₂ üzerindeki etkisi tüm bölgelerde pozitifdir. Yenilenebilir enerji tüketiminin CO ₂ üzerindeki pozitif etkisi doğu ve batı eyaletler üzerinde geçerli iken orta bölgede anlamlı değildir.
Rehman & Zeb, 2020	1972-2018	Pakistan	Ekonomik Büyüme, Nüfus, Enerji Tüketimi, Sanayileşme	ARDL	Nüfus, enerji tüketimi ve sanayileşme CO ₂ 'yi pozitif etkilerken, ekonomik büyüme negatif etkiler.
Adebayo vd., 2021	1971-2016	Tayland	Finansal Gelişme, Ekonomik Büyüme, Kentleşme, Brüt Sermaye Ol., Enerji Tüketimi	ARDL, FMOLS, DOLS, CCR	Ekonomik büyüme ve brüt sermaye oluşumu CO ₂ 'yi pozitif yönde etkiler. CO ₂ -enerji tüketimi ve finansal gelişme-CO ₂ arasında pozitif bir ilişki vardır. Kentleşmenin ise anlamlı etkisi bulunmamıştır.
Burki & Tahir, 2022	2001-2020	ASEAN ülkeleri	Enerji Tüketimi, Finansal Kalkınma, Ticari Açıklık, GSYİH	GLS, 2SLS Nedensellik	Enerji tüketimi, ticari açıklık ve finansal kalkınmanın çevresel bozulma üzerinde pozitif etkisi vardır. Çevresel bozulma ile ticari açıklık arasında iki yönlü, finansal gelişmeden çevresel bozulmaya yönelik tek yönlü nedensellik ilişkisi vardır.
Anwar vd., 2023	1996-2020	E-7 ülkeleri	Ekonomik Büyüme, Yenilenebilir Enerji Tüketimi, Teknolojik Yenilik, Kurumsal Kalite, Nüfus Artışı	FGLS, Panel Kantil Regresyon	Yenilenebilir enerji tüketimi, teknolojik yenilikler ve kurumsal kalite artışı çevresel bozulmayı azaltırken, ekonomik büyüme ve nüfus artışı çevresel bozulmayı artırır.
Umar vd., 2023	1981-2020	Pakistan	İhracat, Brüt Sermaye Ol., Enerji Tüketimi	ARDL	İhracattan CO ₂ 'ye azaltıcı etki vardır. Brüt sermaye oluşumunun anlamlı bir etkisi yoktur. Enerji tüketimi kısa ve uzun vadede CO ₂ 'yi artırır.

2.2. Çevresel Bozulmayı Temsilen “Ekolojik Ayak İzi”

Çevresel bozulma göstergelerinden bir diğeri “Ekolojik Ayak İzi” (Ecological Footprint-EF)’dir. Değişkene ilişkin literatür Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 2: Ekolojik Ayak İzine İlişkin Literatür Taraması

Yazar/lar	Analiz Dönemi	Örneklem	Bağımsız Değişkenler	Yöntem	Bulgu
Nathaniel vd., 2019	1965-2014	Güney Afrika	Enerji Tüketimi, Kentleşme, Finansal Gelişme, GSYİH	ARDL, FMOLS, DOLS, CCR	Kentleşme ve enerji kullanımı uzun vadede çevresel kaliteyi artırırken, finansal gelişme ve ekonomik büyüme kötüleştirir.
Doğan vd., 2019	1971-2013	MINT ülkeleri	GSYİH, Yenilenebilir Enerji Tüketimi, Fosil Yakıt Tük., İhracat, İthalat, Kentleşme, Finansal Gelişme	ARDL	İhracat, kentleşme ve fosil yakıt tüketiminin çevresel bozulma endeksi üzerinde anlamlı etkisi vardır.
Danish vd., 2020	1992-2016	BRICS ülkeleri	Reel Gelir, Yenilenebilir Enerji Tüketimi, Kentleşme, Doğal Kaynak Kirası	DOLS, FMOLS	Reel gelir artışı, doğal kaynak kirası, yenilenebilir enerji tüketimi ve kentleşme EF’yi azaltır.
Sharif vd., 2020	1965Q1-2017Q4	Türkiye	Yenilenebilir Elektrik Tük., Yenilenemeyen Elektrik Tük., GSYİH	Kantil ARDL, Granger Nedensellik	Uzun dönemde her çeyrekte yenilenebilir enerji EF’yi azaltır, ekonomik büyüme ve yenilenemeyen enerji EF’yi artırır.
Kongbuamai vd., 2020	1974-2016	Tayland	Ekonomik Büy., Enerji Tüketimi, Turizm, Ticari Açıklık, Nüfus Yoğunluğu	ARDL, VECM, Granger Nedensellik	Ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve ticari açıklık EF ile pozitif ilişkili iken, turizm ve nüfus yoğunluğu EF ile negatif ilişkilidir.
Chu, 2022	1990-2015	20 OECD ülkesi	Yeşil Teknoloji, Yenilenebilir Enerji Tüketimi, Ticari Açıklık, Enerji Yoğun., GSYİH	FGLS, ARDL, S-GMM	Yeşil teknolojiler uzun dönemde EF’yi etkileyerek, çevre kirliliğini azaltır. Ticari açıklık ve yenilenebilir enerji kullanımı çevresel dışsallıkları azaltır. Enerji yoğunluğu ve kişi başına düşen gelir artışı ise çevre kalitesini düşürür.

Tablo 2 devam

Ansari vd., 2022	1991- 2016	G20 ülkeleri	GSYİH, GSYİH ² , GSYİH ³ , Küreselleşme, Yenilenemeyen Enerji tüketimi, Kentleşme	Panel Eş Bütünleşme, FMOLS, DOLS	Çevresel bozulma- ekonomik büyüme ilişkisi N şeklindedir. G20 ülkelerinde küreselleşme, yenilenebilir enerji tüketimi ve kentleşme çevre kalitesini artırırken, yenilenemeyen enerji tüketimi çevre kalitesini azaltır.
Gupta vd., 2022	1990- 2016	Bangladeş	Ekonomik Büy., Enerji Tüketi- mi, Kentleşme, Teknolojik Yen., Doğal Kaynaklar, Nüfus Yoğunluğu	ARDL, Bayer- Hanck Eş Bütünleşme	Kentleşme, nüfus yoğunluğu ve enerji tüketimi EF'yi arttırır, teknolojik yenilik ve doğal kaynaklar ise azaltır
Ucan vd.,2023	1992- 2015	BRICS ülkeleri	Ekonomik Büyüme, Enerji Tüketimi, Kentleşme, Ticari Açıklık, Teknolojik Gelişme, DYY, Küreselleşme	CCEMG, CCEP	Brezilya'da: enerji tüketimi artışı, teknolojik gelişme ve küreselleşme EF'yi azaltırken, kentleşmedeki artış EF'yi arttırır. Hindistan'da kentleşmedeki artış, Çin'de ise enerji tüketimi artışı EF'yi azaltır. Rusya ve Güney Afrika'da anamlı etki bulunamamıştır.

2.3. Çevresel Bozulmayı Temsilen “Malzeme Ayak İzi”

Son yıllarda literatürde, çevresel bozulmayı ölçmek amacıyla geleneksel olarak kullanılan CO₂ emisyonu ve ekolojik ayak izi göstergeleri yerine malzeme tüketimi değişkenlerine yönelik ilginin arttığı gözlemlenmektedir. Bu bağlamda malzeme tüketimini temsilen malzeme yoğunluğu endeksinin yanı sıra kullanılan değişkenlerden biri yurt içi malzeme kullanımı (Agnolucci vd., 2017; Alola vd., 2021; Kassouri vd., 2021; Telega & Telega, 2020) diğeri ise malzeme ayak izi değişkenidir.

Çevresel bozulmayı temsilen yurt içi malzeme kullanımını ele alan Agnolucci vd. (2017) çalışmasında, GSYİH büyüme oranındaki artışın Batı Avrupa ülkelerinde yurt içi malzeme kullanımını arttırdığı sonucuna ulaşırken, Telega & Telega (2020) malzeme tüketimi ile kişi başı GSYİH arasında güçlü ilişki olduğu sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca çalışmada nihai enerji tüketimi ve inşaat sektörünün GSYİH içindeki payının da malzeme kullanımı üzerinde önemli bir etkisi olduğu vurgulanmıştır. Alola vd. (2021)'a göre kişi başı GSYİH düzeyindeki artış, kısa vadede çevre kalitesini olumsuz etkilerken, uzun vadede olumlu yönde etkilemektedir. Kassouri vd. (2021)'nin bulguları da ekonomik büyümenin, yurt içi malzeme tüketimini arttırdığı görüşünü desteklemektedir.

Çevresel bozulmayı temsilen kullanılan bir diğer değişken malzeme ayak izidir. Bununla birlikte, ilgili değişken üzerine yapılmış çalışmalar literatürde sınırlı sayıdadır. Malzeme ayak izine ilişkin çalışmalar Malzeme Kuznet Eğrisi hipotezinin geçerliliği (Ansari vd. 2020; Mukiyen Avcı, 2023; Turgut & Sarıöz Gökten, 2022) ve malzeme ayak izini belirleyen faktörler çerçevesinde gruplandırılabilir. Bu bölümde, çalışmanın amacı doğrultusunda malzeme ayak izini etkileyen faktörleri inceleyen araştırmalara ilişkin literatür ele alınmaktadır. Bu kapsamda, Tablo 3'te malzeme ayak izine yönelik yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Tablo 3: Malzeme Ayak İzine İlişkin Literatür Taraması

Yazar/lar	Analiz Dönemi	Örneklem	Bağımsız Değişkenler	Yöntem	Bulgu
Ansari vd., 2020	1991-2017	37 Asya ülkesi	Ekonomik Büyüme, Enerji Tüketimi, Küreselleşme, Kentleşme	Panel Eş Bütünleşme, PMG, DOLS, GMM	MF ile değişkenler uzun dönemde eş bütünleşiktir. Orta Asya paneli dışındaki Asya ülkelerinde gelir düzeyi arttıkça MF artar, belirli bir gelir düzeyine ulaşıldıktan sonra MF düzeyi azalır. Enerji tüketimi arttıkça MF artar. Küreselleşmenin etkisi bölgeye göre farklılık gösterir ve Batı ve Orta Asya panelinde pozitif etkisi vardır. Kentleşmenin MF üzerindeki etkisi pozitifdir.
Sahoo vd., 2021	1990-2016	BRICS ülkeleri	GSYİH, Beşeri Sermaye, Doğal Kaynaklar, Dış Ticaret, Yenilenebilir Enerji, Kentleşme	Panel Eş Bütünleşme	Ekonomik büyüme, doğal kaynaklar, yenilenebilir enerji ve kentleşme MF'yi artırır ve çevre kalitesini azaltır. Dış ticaret ve beşeri sermaye ise MF'yi azaltır ve çevre kalitesini artırır.
Razzaq vd., 2021	1990-2017	11 ülke	Yeni Küresel Altyapı E., Çevresel Teknolojiler, Küreselleşme Endeksi, GSYİH, Nüfus	FMOLS, DOLS, FEOLS, MMQR, Panel Eşbütünleşme	Altyapı geliştirme, GSYİH, küreselleşme ve nüfusun tüketime dayalı MF'yi artırırken, yeşil inovasyon ise MF'yi azaltır.
Koçak & Sarıöz Gökten, 2022	1992-2016	G20 ülkeleri	GSYİH, GSYİH ² , Enerji Tüketimi, Kentleşme, Ticari Açıklık, Ekonomik Karmaşıklık Endeksi	Panel Eşbütünleşme	Kentleşme ve ekonomik karmaşıklık dışındaki tüm değişkenler MF'yi artırır.

Tablo 3 devam

Turgut & Sarıöz Gökten, 2023	1990-2016	5 ülke	Malzeme Tüketimi, Malzeme Verimliliği, Nüfus, Enerji Tüketimi, Ekonomik Büyüme, Ticari Açıklık, Küreselleşme	Panel ARDL MG	Malzeme tüketimi, ekonomik büyüme ve nüfus ile MF arasında pozitif ilişki vardır.
Zhang vd., 2023	1991-2022	BRICS ülkeleri	Ekonomi Politika b., Petrol Fiyatları, Ekonomik Büyüme, Çevresel Teknolojiler, Kentleşme	Panel ARDL, NARDL	Pozitif ve negatif ekonomi politikası belirsizlikleri MF'yi artırırken, petrol fiyat şokları azaltır. Teknolojik yenilikler başlangıçta MF'yi artırırken uzun vadede azaltır.
Regueiro-Ferreira & Alonso-Fernandez, 2023	1990-2018	7 Avrupa ülkesi	GSYİH, Yenilenebilir Enerji Tüketimi, Nüfus	VIF	GSYİH ile MF arasındaki ilişki ters N şeklindedir. Ayrıca yenilenebilir enerji fosil yakıtların malzeme tüketimini azalttığı görüşü desteklenmektedir.
Dada & Al-Faryan, 2024	1990-2019	Sudi Arabistan	Kişi Başı Gelir, Yenilenebilir Enerji, Doğal Kaynaklar, Ticaret, Kentleşme	ARDL, FMOLS, DOLS, CCR	Kişi başına düşen gelir, ticaret ve kentleşme MF'yi artırırken yenilenebilir enerji kullanımı azaltır.
Pata & Karlilar, 2024	1995-2018	24 OECD ülkesi	GSYİH, Enerji Güvenliği Riski, Çevre Pol. Sıkılık End., Yeşil İnovasyon	AMG, HPJ	AMG sonuçlarına göre; artan enerji güvenliği risk endeksi MF'yi azaltırken, yeşil inovasyon ve çevre politikası sıkılığının anlamlı etkisi bulunamamıştır. HPJ sonuçlarına göre ise; yeşil inovasyon ile enerji güvenliği ve MF arasında nedensellik ilişkisi olup azaltıcı yönde etkilidir.

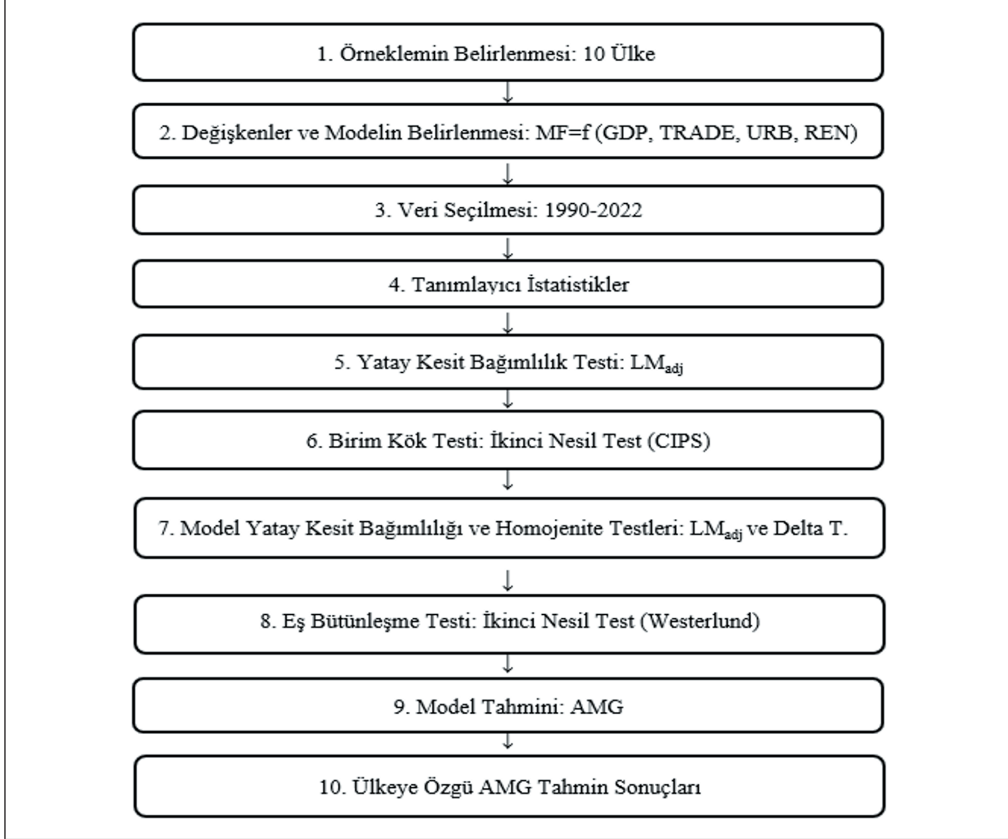
3. Model, Veri Seti ve Ekonometrik Metodoloji

Ülkelerin iktisadi büyüme süreçleri, artan nüfus, üretim ve tüketim talepleri ile birlikte malzeme kullanımının artışına yol açmakta, bu durum çevresel bozulmayı artırıcı etkilere neden olmaktadır. Bu bağlamda, çalışmanın amacı, çevresel bozulmanın bir göstergesi olarak malzeme ayak izini etkileyen iktisadi faktörleri tespit etmektir. Bu bölümde, gerçekleştirilecek olan analizlere ilişkin metodoloji açıklanacaktır.

3.1. Model ve Veri Seti

Bir ekonomide çevresel bozulmanın azaltılabilmesi için malzeme kullanımının azaltılması büyük önem taşımaktadır. Malzeme kullanımının azaltılması ise, bu kullanımın belirleyici ana faktörlerinin tespit edilmesini gerektirmektedir. Çalışmanın metodolojisine ilişkin temel aşamalar Şekil 1’de özetlenmiştir.

Şekil 1: Metodolojik Şema



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

İlk aşamada, daha zengin bir veri sağlaması amacıyla ABD, Almanya, Avustralya, Brezilya, Çin, Danimarka, Güney Afrika, Hindistan, İsveç ve Japonya olmak üzere toplamda 10 ülkenin örneklem olarak belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu ülkelerin seçilmesinde, üretim ve tüketim süreçlerinde önemli ölçüde malzeme tüketimine sahip olmalarının yanı sıra, uluslararası ticaretteki önemli rolleri (Almanya, ABD, Brezilya, Çin, Hindistan, Japonya), çevreye duyarlı ve sürdürülebilir politikalara önem vermeleri (Danimarka, İsveç) ve doğal kaynaklara dayalı ekonomilere sahip olmaları (Avustralya, Güney Afrika) etkili olmuştur. Bu ülkelerin gelişmişlik düzeyleri, coğrafi özellikleri ve uyguladıkları çevre politikalarının farklılıkları, malzeme ayak izi konusunda dengeli bir değerlendirme yapılmasına olanak tanıyacaktır.

İkinci aşamada, alandaki önde gelen çalışmalardan ve teorik çerçevelerden yola çıkarak malzeme ayak izini etkileyen değişkenler belirlenmiştir. Ansari vd. (2020) ve Sahoo vd. (2021) çalışmalarından hareketle, çalışmanın modeli aşağıdaki gibidir:

$$MF_{it} = \alpha_{0i} + \alpha_{1i}GDP_{it} + \alpha_{2i}TRADE_{it} + \alpha_{3i}URB_{it} + \alpha_{4i}REN_{it} + u_{it} \quad (1)$$

Denklem 1’de i yatay kesiti, t zamanı, α_0 sabit terimi, α_1 , α_2 , α_3 ve α_4 eğim parametrelerini ve u ise hata terimini ifade etmektedir.

Modelde bağımlı değişken olarak yer alan MF toplam malzeme ayak izini; GDP kişi başına düşen GSYİH düzeyini temsil etmektedir. Ayrıca, $TRADE$ dışa açıklığın bir göstergesi olarak dış ticaretin GSYİH içindeki payını, URB kentleşmenin bir göstergesi olarak kentsel nüfus artışını ve REN ise yenilenebilir enerji tüketimini temsil etmektedir. MF ve GDP değişkenleri logaritmik biçimde modele dahil edilmiştir. Modelde yer alan değişkenlere ilişkin detaylı açıklamalar Tablo 4’te sunulmaktadır.

Tablo 4: Değişkenlere İlişkin Açıklamalar

Değişkenler	Açıklama	Kaynak
LnMF	Malzeme Ayak İzi (Biyokütle, fosil yakıtlar, metal cevherleri ve metal olmayan minerallerin toplamı -metrik ton)	UN, SDG ¹
LnGDP	Gayrisafi Yurt İçi Hasıla (Kişi başı, 2015 sabit USD)	WDI
TRADE	Dış Ticaret (Mal ve hizmet ihracatı ve ithalat toplamının GSYİH içindeki payı)	WDI
URB	Kentsel Nüfus Artışı (Yıllık %)	WDI
REN	Yenilenebilir Enerji Tüketimi (Toplam nihai enerji tüketimi %)	WDI

Üçüncü aşamada, değişkenlere ilişkin verilerin mevcut olduğu zaman dilimi belirlenmiştir. Bu çalışmada, değişkenlere ait veriler 1990-2022 dönemini kapsamaktadır. Dördüncü aşamada, çalışmanın ampirik analiz bölümünde, değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistikler sunulacaktır. Beşinci aşamada ise ekonometrik analizin bir parçası olarak, değişkenler arasındaki yatay kesit bağımlılığı (CSD) kontrol edilmiştir. Yatay kesit bağımlılığının varlığının tespiti sonrasında, altıncı aşamada yatay kesit bağımlılığı sorununu göz önünde bulunduran CIPS ikinci nesil birim kök testi kullanılarak serilerin durağanlığı analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, tüm değişkenlerin fark durağan olduğunu ortaya koymuştur. Modelde yatay kesit bağımlılığı ve homojenite sorunlarını belirlemek için yedinci aşamada LM_{adj} ve Delta testleri uygulanmıştır. Bu testler, modelde yatay kesit bağımlılığı ve heterojenitenin varlığını göstermiştir. Bu sorunların tespiti ardından sekizinci aşamada, seriler arasındaki uzun vadeli ilişki Westerlund Durbin-Hausmann eşbütünleşme testi ile analiz edilmiştir ve test sonuçları, değişkenler arasında uzun vadeli bir ilişkinin varlığını ortaya koymuştur. Son olarak dokuzuncu ve onuncu aşamalarda sırasıyla, uzun vadeli ilişkinin büyüklüğü ve katsayıları, AMG analiz yöntemi ile model tahmini ve ülkelere özgü AMG tahmin sonuçları elde edilmiştir. Ampirik analiz bölümüne geçmeden önce, takip eden bölümde öncelikle kullanılan ekonometrik metodolojiye yer verilecek ve ardından analiz bulguları sunulacaktır.

1 Birleşmiş Milletler, Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri Göstergeleri Veri Tabanı (United Nations, Sustainable Development Goals Indicators Database).

3.2. Ekonometrik Metodoloji

3.2.1. Yatay Kesit Bağımlılığı Testi

Panel veri analizlerinde öncelikle yatay kesit bağımlılığı (CSD)'nin test edilmesi gerekmektedir. CSD; gözlemlenemeyen ortak faktörlerin, gizli farklılıkların, dışsallıkların ve ekonomik ve bölgesel bağlantıların varlığını ortaya koymaktadır. Aynı zamanda meydana gelen olası bir şokun paneli oluşturan kesitleri aynı seviyede etkilendiği ya da bir ülkede meydana gelen bir şokun diğer ülkeleri etkilemediği varsayımına dayanmaktadır (Breusch & Pagan, 1980; Pesaran, 2004). Panel veri analizinde yer alan birimler arasında CSD bulunması, analiz sonuçlarının sapmalı olmasına neden olmaktadır. Diğer yandan CSD'nin tespit edilmesi, uygulanacak birim kök testlerinin seçilmesinde de yardımcı olacaktır. Panelde CSD bulunması durumunda, CSD varlığını dikkate alan ikinci nesil birim kök testlerinin kullanılması gerekecektir. Bu bağlamda temel hipotez, "birimler arasında CSD yoktur" şeklindedir. Literatürde Breusch-Pagan (1980) LM testi ve Pesaran (2004) CD testleri ile CSD araştırılabilmektedir. Ancak LM ve CD testleri grup ortalaması 0 fakat bireysel ortalamasının 0'dan farklı olması durumunda sapmalı sonuçlar vermektedir. (Pesaran, Ullah, & Yamagata, 2008), bu sapmayı, test istatistiğine varyansı ve ortalamayı da ekleyerek düzeltmiştir. LM_{adj} test spesifikasyonu şu şekildedir:

$$LM_{adj} = \sqrt{\frac{2}{N(N-1)}} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{(T-k)\hat{p}_{ij}^2 - \mu_{\eta ij}}{v_{\eta ij}} \quad T \rightarrow \infty \text{ ve } N \rightarrow \infty \quad LM_{adj} \rightarrow_d N(0,1) \quad (2)$$

3.2.2. Panel Birim Kök Testleri

CSD'nin varlığı halinde değişkenlerin durağanlık sınaması ikinci nesil birim kök testleri ile araştırılmalıdır. Çalışmada Pesaran (2007) tarafından geliştirilen yatay kesitsel genişletilmiş Im, Pesaran & Shin (CIPS) testi kullanılmıştır. Bu test eğim katsayılarının heterojenliği ve CSD altında tutarlı sonuçlar vermektedir. CIPS testi ADF birim kök testi regresyonun gecikmeli yatay kesit ortalamaları ve bunun birinci farkları ile genişletilmesine dayalıdır (Baltagi, 2005: 249). CIPS testi CADF regresyonundan hareketle şu şekilde elde edilmektedir:

$$\Delta y_{it} = \alpha_i + \rho_i^* y_{i,t-1} + d_0 \bar{y}_{t-1} + \sum_{j=0}^p d_{j+1} \Delta \bar{y}_{t-j} + \sum_{k=1}^p c_k \Delta y_{i,t-k} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

Eşitlikte $\bar{y}_{t-j}$ kesit ortalamasının gecikmeli seviyesini, $\Delta \bar{y}_{t-j}$ ise her birim için kesit ortalamasının birinci farklarını ifade etmektedir. Dolayısıyla gecikmeli yatay kesit ortalamaları ve birinci farklarının varlığı ile birimler arası korelasyon dikkate alınmaktadır. Buradan hareketle CIPS değeri şu şekildedir:

$$CIPS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i(N, T) \quad (4)$$

3.2.3. Panel Eş Bütünleşme Testi

Çalışmada uzun dönemli ilişki, CSD'yi dikkate alan ve varyans oranına dayalı Westerlund (2005) eşbütünleşme testi ile araştırılmıştır. Westerlund (2005) sırasıyla homojenlik

ve heterojenlik varsayımları altında iki test istatistiği hesaplamaktadır. Eğim heterojenliğini dikkate alan grup ortalaması varyans oranı istatistiği şu şekilde tahmin edilmektedir:

$$VR_G = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{E}_{it}^2 \hat{R}_i^{-1} \quad (5)$$

Denklikte $\hat{E}_{it} \equiv \sum_{j=1}^J \hat{e}_{ij}$, $\hat{R}_i \equiv \sum_{t=1}^T \hat{e}_{it}^2$ ve $\hat{e}_{it}$ hata terimidir. Temel hipotez eşbütünleşme yoktur şeklindedir. Bu test küçük gözlemlerde dahi başarılı sonuçlar vermektedir (Ansari vd., 2022: 258).

3.2.4. Eş Bütünleşme Katsayılarının Hesaplanması

Son olarak, çalışmada panel eş bütünleşme katsayılarının hesaplanabilmesi için yatay kesit bağımlılığı dikkate alarak, her bir yatay kesit için heterojen eğim katsayılarının hesaplanmasına imkân tanıyan AMG (Augmented Mean Group- Arttırılmış Ortalama Grup) tahmincileri kullanılmıştır (Eberhardt & Bond, 2009).

AMG tahmincisi de iki aşamalı bir süreci içermektedir.

$$\text{İlk aşama: } \Delta y_{it} = b' \Delta x_{it} + \sum_{t=2}^T c_t \Delta D_t + e_{it} \quad \hat{c}_t \equiv \hat{\mu}_t^* \quad (6)$$

Denklemden yer alan c kukla katsayısını ifade etmektedir. D_t zaman kuklalarını, $\hat{\mu}_t^*$ kukla değişkenlerden elde edilen ve yatay kesit bağımlılığı dinamik bir süreç olarak modele dahil eden değişkeni göstermektedir. Denklem aşağıdaki gibi dönüştürülebilir.

$$\text{İkinci aşama: } y_{it} = \alpha_i + b_i' x_{it} + c_i t + d_i \hat{\mu}_t^* + e_{it} \quad (7)$$

İkinci aşamada, ilk aşamadan elde edilen kukla değişken katsayıları eklenerek model tahmin edilmektedir. AMG tahmincisi $\hat{b}_{AMG} = N^{-1} \sum_i \hat{b}_i$, birimlere özgü istatistiklerin ortalaması alınarak hesaplanan panel katsayılarını göstermektedir. Bu bağlamda AMG tahmincisi hem panel hem de ülkelere özgü tahmin sonuçları hesaplayabilmektedir.

3.3. Ampirik Analiz Bulguları

Çalışmada ilk olarak tanımlayıcı istatistikler incelenmiştir. Tanımlayıcı istatistiklere ilişkin bu bulgular Tablo 5'te özetlenmektedir.

Tablo 5: Tanımlayıcı İstatistikler

Değişkenler	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
lnMF	21.142	1.555	18.318	24.274
lnGDP	27.994	1.315	25.916	30.675
TRADE	47.601	24.218	15.156	110.712
URB	1.496	1.092	1.602	4.602
REN	21.060	16.481	2.000	57.900

Tablo 5'e göre en yüksek ortalama değerin *TRADE* ve en düşük ortalama değerin ise *URB* değişkenine ait olduğu görülmektedir. Benzer bir şekilde en yüksek standart sapmaya sahip olan değişken *TRADE* iken, en düşük standart sapmaya sahip olan değişken *URB*'dir. Bu durum söz konusu ülkelerin ticaretinin diğer değişkenlerden daha fazla değişkenlik gösterdiğini ifade etmektedir.

Yatay kesit bağımlılık araştırmasına ilişkin bulgular Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6: Yatay Kesit Bağımlılık Testi

Değişkenler	LM _{adj} (PUY, 2008)	p-değeri
lnMF	13.80	0.000*
lnGDP	36.89	0.000*
TRADE	28.27	0.000*
URB	3.52	0.000*
REN	2.30	0.021**

Not: * ve ** sırasıyla %1 ve %5'de anlamlılığı göstermektedir.

Tablo 6'da "yatay kesit bağımlılık yoktur" şeklindeki temel hipotez tüm değişkenler için reddedilmektedir. Dolayısıyla tüm seriler için yatay kesit bağımlılık sorunu bulunmaktadır.

Yatay kesitsel bağıllığı dikkate alan CIPS birim kök test bulguları Tablo 7'deki gibidir.

Tablo 7: CIPS Bulguları

Değişkenler	CIPS	
	I(0)	I(1)
lnMF	-2.664	-4.904*
lnGDP	-2.636	-5.632*
TRADE	-1.964	-4.192*
URB	-2.156	-3.908*
REN	-2.173	-4.890*

Not: * %1'de anlamlılığı göstermektedir. CIPS kritik değeri; %1 için -3.06'dır.

Tablo 7'ye göre; paneldeki tüm serilerde düzeyde H_0 reddedilmiş olup, serilerin birim kök içerdiği anlaşılmaktadır. Farkları alındığında ise serilerin durağan hale geldiği görülmektedir. Buna göre tüm seriler $I(1)$ 'de durağandır. Eşbütünleşme tahmincisinin belirlenmesi bakımından modelde yatay kesit bağımlılığın ve eğim parametrelerinin homojenliğin tespit edilmesi gerekmektedir. Buna göre test bulguları Tablo 8'de verilmektedir.

Tablo 8: Model için Yatay Kesit Bağımlılık ve Homojenite Test Bulguları

Model: $MF_{it} = \alpha_{0i} + \alpha_{1i}GDP_{it} + \alpha_{2i}TRADE_{it} + \alpha_{3i}URB_{it} + \alpha_{4i}REN_{it} + u_{it}$		
	Test istatistiği	p-değeri
Yatay Kesit Bağımlılık Testi		
LM _{adj} (PUY, 2008)	11.920	0.000*
Homojenite Testleri		
$\tilde{\Delta}$	21.008	0.000*
$\tilde{\Delta}_{adj}$	23.307	0.000*

Not: * %1'de anlamlılığı göstermektedir.

Tablo 8'e göre modelde yatay kesit bağımlılığın bulunduğu ve eğim katsayılarının heterojen olduğu görülmektedir. Dolayısıyla eş bütünleşme analizi için yatay kesit bağımlılığı dikkate alan ve heterojen tahmine dayalı bir yöntem seçilmelidir. Değişkenler arasındaki uzun vadeli ilişkinin varlığı, söz konusu durumlara uygun olan Westerlund (2005)'in varyans oranına dayalı eş bütünleşme testi kullanılarak analiz edilmiştir. Analize ilişkin bulgular Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9: Eşbütünleşme Testi

	Test istatistiği	p-değeri
<i>Ho: Eşbütünleşme yoktur.</i>		
<i>H₁: Tüm panel eşbütünleşiktir.</i>		
Varyans oranı	-1.797	0.036**
<i>Ho: Eşbütünleşme yoktur.</i>		
<i>H₁: Bazı paneller eşbütünleşiktir.</i>		
Varyans oranı	-1.789	0.037**

Not: ** %5'de anlamlılığı göstermektedir.

Tablo 9'a göre, "eşbütünleşme yoktur" temel hipotezi hem tüm panel hem de modeldeki bazı paneller için %5 önem düzeyinde reddedilmektedir. Dolayısıyla değişkenlerin eşbütünleşik olduğu, diğer bir ifade ile MF , GDP , $TRADE$, URB ve REN 'in uzun vadede birlikte hareket ettiği sonucuna ulaşılmaktadır.

Eşbütünleşme ilişkisinin tespit edilmesinin ardından AMG tahmincileri (trendli model) kullanılarak GDP , $TRADE$, URB ve REN 'in MF üzerindeki uzun dönemli etkisi tespit edilebilmektedir.

Tablo 10: AMG Tahmin Sonuçları

Değişkenler	Katsayı	Std. Hata	z	p-değeri
lnGDP	0.896	1.183	4.91	0.000*
TRADE	-0.006	0.002	-3.34	0.001*
URB	0.014	0.026	0.53	0.597
REN	-0.011	0.006	-1.77	0.077***
Sabit	-3.607	5.190	-0.70	0.487

Not: *,** ve *** sırasıyla %1, %5 ve %10'da anlamlılığı göstermektedir.

Tablo 10'da verilen AMG tahmin sonuçlarına göre, ekonomik büyüme düzeyini ifade eden kişi başına gelir düzeyindeki artışın malzeme ayak izi üzerinde istatistiki olarak anlamlı ve pozitif bir etkisi bulunmaktadır. Ekonomik büyüme; üretim ve tüketim düzeyini ve dolayısıyla malzeme kullanımını arttıracaktır. Dolayısıyla gelir düzeyi yükselmesinin çevresel bozulmayı arttırıcı bir etkisi bulunmaktadır. Elde edilen bulgu Ansari vd. (2020), Turgut & Sarıöz Gökten (2023) ve Dada & Al-Faryan (2024)'ün çalışmaları ile tutarlıdır.

Dışa açıklığın bir göstergesi olarak modele dahil edilen ticaretin malzeme ayak izini azaltıcı bir etkisi bulunmaktadır. Küreselleşme yoluyla ülkelerin ticari faaliyetlerinin artması ve bu alanda daha fazla yatırım yapılması, çevresel sorunların dikkate alınmasına, çevresel teknolojilerin geliştirilmesine, Ar-Ge yatırımlarının yapılmasına ve böylece malzeme ayak izinde azalmaya yol açmaktadır. Elde edilen sonuç Dada & Al-Faryan (2024)'ün sonuçları ile gelişirken, Sahoo vd. (2021)'in bulgularını desteklemektedir. Ticaret artışı çevresel bozulmayı azaltmakta ve çevre kalitesini arttırmaktadır.

Kentleşme ile ilgili olarak literatürde hem çevresel bozulmayı arttırıcı hem de azaltıcı etkileri bulunabilmektedir. Kentleşmenin; yapılaşma, inşaat, yük taşımacılığı, ulaşım, sanayileşme ve altyapı çalışmalarında artışa neden olarak malzeme kullanımını arttırması ya da pozitif dışsallık, ölçek ekonomisi kaynakların daha verimli kullanılması ile malzeme kullanımını azaltması beklenebilmektedir (Weisz & Steinberger, 2010). Ancak analiz sonucunda ele alınan örneklem çerçevesinde kentleşmenin malzeme ayak izi üzerinde anlamlı bir etkisi bulunamamıştır.

Yenilenebilir enerji tüketiminin ise beklentilere uygun olarak malzeme ayak izini azaltıcı bir etkisi bulunmaktadır. Elde edilen bu bulgu, yenilenebilir enerji kullanımının çevresel bozulmayı azaltıcı etkisi ve ülkelerin yenilenebilir enerji tüketimini teşvik eden politikaların geliştirilmesi gerekliliği konusunda önemli bir bulgudur. Söz konusu bulgu Alola vd. (2021) ve Dada & Al-Faryan (2024) ile benzerlik gösterirken, Sahoo vd. (2021) ile çalışmaktadır.

Son olarak Tablo 11'de ülkelere özgü AMG katsayılarına ilişkin bulgular yer almaktadır.

Tablo 11: Her Bir Ülke için AMG Katsayıları

Ülkeler	Sabit	GDP	TRADE	URBAN	REN
Avusturalya	12.145 (9.725)	0.310 (0.358)	-0.000 (0.003)	-0.057** (0.027)	-0.0459* (0.011)
Brezilya	-8.646 (7.038)	1.055* (0.243)	-0.007 (0.005)	0.198** (0.097)	0.008*** (0.004)
Çin	4.472 (5.955)	0.675* (0.211)	-0.009* (0.001)	0.075 (0.062)	-0.020* (0.004)
Danimarka	-29.356* (9.113)	1.843* (0.349)	-0.002 (0.002)	0.072 (0.078)	-0.016* (0.005)
Almanya	10.725 (8.970)	0.378 (0.315)	-0.001 (0.001)	-0.017 (0.013)	0.007 (0.005)
Hindistan	19.471* (5.275)	0.117 (0.192)	-0.003* (0.000)	-0.072 (0.059)	-0.013* (0.004)
Japonya	-20.434** (11.012)	1.464* (0.381)	-0.008* (0.002)	-0.018 (0.013)	0.017*** (0.010)
Güney Afrika	6.723 (9.134)	0.508 (0.351)	-0.004*** (0.002)	-0.000 (0.017)	-0.020** (0.007)
İsveç	-13.659* (4.960)	1.241* (0.189)	-0.005* (0.001)	-0.048** (0.021)	0.003 (0.002)
ABD	-17.517** (7.275)	1.366* (0.242)	-0.019* (0.003)	0.005 (0.047)	-0.032*** (0.016)

Not: *, ** ve *** sırasıyla %1, %5 ve %10'da anlamlılığı, parantez içerisindeki değerler ise standart sapma değerlerini göstermektedir.

Buna göre gelir düzeyindeki artış Brezilya, Çin, Danimarka, Japonya, İsveç ve ABD'de malzeme ayak izini arttırmaktadır. Ticaret düzeyindeki artış Çin, Hindistan, Japonya, İsveç, ABD'de %1 anlamlılık düzeyinde, Güney Afrika'da ise %10 anlamlılık düzeyinde malzeme ayak izi kullanımını azaltmaktadır. Kentleşmenin Avusturalya, Brezilya ve İsveç'te malzeme kullanımını azaltıcı etkisi bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji kullanımının ise Avusturalya, Çin, Danimarka, Hindistan, Güney Afrika ve ABD'de malzeme ayak izini azaltıcı, Brezilya ve Japonya'da ise arttırıcı etkisi bulunmaktadır. Değişkenlerin ülkeler bazındaki etkilerini inceleyebilmek adına değişkenlerin etkilerinin yönü Tablo 12'de özetlenmiştir.

Tablo 12: MF Belirleyicilerinin Etki Yönü

Ülkeler	Gelir	Dış Ticaret	Kentleşme	Yenilenebilir Enerji Kullanımı
Avustralya			-	-
Brezilya	+		+	+
Çin	+	-		-
Danimarka	+			-
Almanya				
Hindistan		-		-
Japonya	+	-		+
Güney Afrika		-		-
İsveç	+	-	-	
ABD	+	-		-

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 12'ye göre, gelir düzeyindeki artışın istatistiksel olarak anlamlı olduğu ülkelerde, bu artışın malzeme ayak izini artırıcı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Beklendiği üzere, gelir düzeyindeki artış, mal ve hizmetlerin üretim ve tüketiminde bir artışa yol açarak malzeme ayak izini yükseltmektedir.

Benzer şekilde, dış ticaretin istatistiksel olarak anlamlı olduğu ülkelerde, dış ticaretin malzeme ayak izini azaltıcı bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Dışa açıklığın bir göstergesi olarak dış ticaret, ülkelerin karşılaştırmalı üstünlüklere sahip oldukları alanlarda uzmanlaşmalarına ve kaynakları daha verimli kullanan üretim yöntemlerini benimsemelerine olanak tanır. Bu durum, malzeme kullanımının azalmasına ve dolayısıyla malzeme ayak izinin düşmesine yol açmaktadır.

Kentleşmenin malzeme ayak izi üzerindeki etkisi ise ülkelere göre değişiklik göstermektedir. Örneğin, Avustralya ve İsveç'te kentleşme, malzeme ayak izini azaltıcı bir etki yaparken, Brezilya'da malzeme ayak izini artırıcı bir etkiye sahiptir. Bu farklılık, ülkelerin uyguladığı kentleşme politikaları, altyapı ihtiyaçları ve malzeme kullanım gereksinimlerinden kaynaklanmaktadır. Brezilya, gelişmekte olan bir ülke olarak, yüksek kentleşme oranına, hızlı ve plansız bir şehirleşmeye ve yoğun altyapı projelerine sahiptir; bu da malzeme kullanımını artırabilir. Buna karşılık, Avustralya ve İsveç gibi gelişmiş ülkelerde, kentleşme daha planlı ve altyapı geliştirme ihtiyacı daha azdır. Bu ülkelerde sürdürülebilir malzeme kullanımı, yeşil bina teknolojilerinin benimsenmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve geri dönüş-türülmüş malzemelerin tercih edilmesi malzeme ayak izinin azaltılmasında etkili olmaktadır.

Yenilenebilir enerji kullanımının etkisi, Avustralya, Çin, Danimarka, Hindistan, Güney Afrika ve ABD'de beklediği gibi malzeme ayak izini azaltıcı yöndedir. Ancak Brezilya ve Japonya'da bu değişkenin, malzeme ayak izini artırıcı bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Brezilya'da yenilenebilir enerji tesislerinin inşasının zaman alması ve yüksek miktarda malzeme kullanımını gerektirmesi, kısa vadede malzeme ayak izinin artmasına neden olabilir. Japonya'ya özgü koşullarda ise ülkenin coğrafi kısıtlamaları, dağlık yapısı ve yoğun nüfusu, yenilenebilir enerji tesisleri için uygun alanların sınırlı olmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, deniz üstü rüzgâr türbinleri ve yüzen güneş panelleri gibi yenilikçi enerji çözümleri malzeme kullanımını artırıcı faktörler arasında sayılabilir. Ayrıca, Japonya'nın deprem kuşağında yer alması, yenilenebilir enerji altyapısının deprem riskine karşı dayanıklı olması için daha yoğun malzeme kullanımını gerektirmektedir. Bu nedenlerle, Japonya'da yenilenebilir enerji projeleri yüksek malzeme tüketimine yol açabilir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, küresel ölçekte çevresel bozulmanın önlenmesi için son yıllarda önem kazanan malzeme ayak izi kavramını etkileyen faktörler, 1990-2022 yılları arasında ABD, Almanya, Avustralya, Brezilya, Çin, Danimarka, Güney Afrika, Hindistan, İsveç ve Japonya olmak üzere on farklı ülke için panel eş bütünleşme testi ile incelenmiştir. Elde edilen bulgular, ekonomik büyümenin, ticaretin ve yenilenebilir enerji tüketiminin malzeme ayak izi üzerindeki etkilerini ortaya koyarken, bu faktörlerin çevresel sürdürülebilirlik açısından nasıl bir rol oynadığını da kapsamlı bir şekilde analiz etmektedir.

Çalışmanın temel bulguları, ekonomik büyümenin kişi başına gelir düzeyinde artışa neden olmasıyla birlikte malzeme kullanımını ve dolayısıyla çevresel bozulmayı artırdığına

işaret etmektedir. Özellikle Brezilya, Çin, Danimarka, Japonya, İsveç ve ABD’de ekonomik büyümenin malzeme ayak izini artırıcı etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bu bulgular, çevresel bozulmayı azaltmak için ekonomik faaliyetlerin daha sürdürülebilir ve kaynak verimliliğine dayalı bir yapıya dönüştürülmesi gerektiğine dikkat çekmektedir. Söz konusu bulgular Ansari vd. (2020), Turgut & Sarıöz Gökten (2023) ve Dada & Al-Faryan (2024)’ün çalışmaları ile tutarlıdır.

Ticaretin malzeme ayak izini azaltıcı etkisi, küreselleşme yoluyla ülkelerin üretim süreçlerini daha verimli hale getirmesi ve çevresel teknolojilere yapılan yatırımların artması ile ilişkilendirilmiştir. Ticaret faaliyetlerinin çevreye duyarlı bir şekilde yönlendirilmesi, ülkelerin malzeme ayak izini düşürmelerine katkı sağlayabilir. Bu bulgu Koçak & Sarıöz Gökten (2022) ve Dada & Al-Faryan (2024)’ün bulguları ile çelişirken, Sahoo vd. (2021)’in bulgularını destekler niteliktedir. Özellikle Çin, Hindistan, Japonya, İsveç ve ABD gibi ülkelerde ticaretin çevresel etkileri azaltıcı rolü, çevresel sürdürülebilirlik için uluslararası ticaret politikalarının önemini vurgulamaktadır.

Kentleşmenin malzeme ayak izi üzerindeki etkisi örneklem genelinde anlamlı bulunmamakla birlikte, ülkeler arasında farklılık göstermektedir. Örneğin, Brezilya’da kentleşmenin malzeme kullanımını artırdığı (Ansari vd., 2020; Sahoo vd. 2021; Dada & Al-Faryan, 2024), Avustralya ve İsveç’te ise azaltıcı yönde etkiler yarattığı gözlemlenmiştir. Bu farklılıklar, kentleşme süreçlerinin ülkelerin gelişmişlik düzeyine, altyapı projelerine ve sürdürülebilir şehir planlamalarına bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir. Gelişmiş ülkelerde sürdürülebilir kentleşme uygulamaları, yeşil bina teknolojileri ve geri dönüşüm projeleri malzeme ayak izini azaltabilirken, gelişmekte olan ülkelerdeki düzensiz ve hızlı kentleşme malzeme kullanımını artırabilir.

Yenilenebilir enerji tüketiminin malzeme ayak izini azaltıcı etkisi, çalışmanın önemli bir bulgusudur. Elde edilen bulgu Alola vd. (2021), Regueiro-Ferreira & Alonso-Fernandez (2023) ve Dada & Al-Faryan (2024) ile benzerlik göstermektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımların çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik olduğu ve çevre dostu enerji politikalarının teşvik edilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Ancak, Brezilya ve Japonya’da yenilenebilir enerji altyapısının kısa vadede malzeme kullanımını artırdığı görülmüştür. Brezilya ve Japonya için elde edilen bulgular ise Sahoo vd. (2021)’in bulgularını desteklemektedir. Bu durum, yenilenebilir enerji tesislerinin inşasında kullanılan malzemelerin miktarına ve coğrafi koşullara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Örneğin, Japonya’da deprem riskine karşı enerji altyapısında daha dayanıklı malzemelerin kullanılması gereği bu artışı açıklayabilir.

Sonuç olarak, bu çalışma, çevresel bozulmanın azaltılması için ülkelerin ekonomik büyüme, ticaret ve enerji politikalarını gözden geçirmesi ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine yönelik kapsamlı stratejiler geliştirmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Gelir düzeyinin artışının çevre üzerindeki olumsuz etkilerini minimize etmek için, üretim ve tüketim süreçlerinde yeşil teknolojilere ve kaynak verimliliğine dayalı politikaların uygulanması büyük önem taşımaktadır. Ticari faaliyetlerin çevre dostu hale getirilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılması, uzun vadede malzeme ayak izini azaltarak çevresel sürdürülebilirliği destekleyebilir. Ülkeler arası farklılıkların dikkate alınarak, her ülkenin kendi özgün koşullarına uygun politikalar geliştirmesi, küresel çevre krizinin çözümüne yönelik önemli bir adım olacaktır.

Katkı Oranı Beyanı

Makale tek yazarlı olup, tüm çalışma yazar tarafından yapılmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışmada herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Adebayo, T. S., Akinsola, G. D., Odugbesan, J. A., & Olanrewaju, V. O. (2021). Determinants of environmental degradation in Thailand: Empirical evidence from ARDL and wavelet coherence approaches. *Pollution*, 7(1), 181-196.
- Agnolucci, P., Flachenecker, F., & Söderberg, M. (2017). The causal impact of economic growth on material use in Europe. *Journal of Environmental Economics and Policy*, 6(4), 415-432.
- Alola, A. A., Akadiri, S. S., & Usman, O. (2021). Domestic material consumption and greenhouse gas emissions in the EU-28 countries: Implications for environmental sustainability targets. *Sustainable Development*, 29, 388-397.
- Ansari, M. A., Haider, S., & Khan, N. A. (2020). Environmental Kuznets curve revisited: An analysis using ecological and material footprint. *Ecological Indicators*, 115(106416), 1-14.
- Ansari, M. A., Haider, S., Kumar, P., Kumar, S., & Akram, V. (2022). Main determinants for ecological footprint: An econometric perspective from G20 countries. *Energy, Ecology and Environment*, 7(3), 250-267.
- Anwar, A., Chaudhary, A. R., & Malik, S. (2023). Modeling the macroeconomic determinants of environmental degradation in E-7 countries: The role of technological innovation and institutional quality. *Journal of Public Affairs*, 23(1), 2834.
- Baltagi, B. H. (2005). *Econometric Analysis of Panel Data*. England: John Wiley&Sons Ltd. West Sussex.
- Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1980). The lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics. *The Review of Economic Studies*, 47(1), 239-253.
- Burki, U., & Tahir, M. (2022). Determinants of environmental degradation: Evidenced-based insights from ASEAN economies. *Journal of Environmental Management*, 306(114506), 1-10.
- Chen, Y., Zhao, J., Lai, Z., Wang, Z., & Xia, H. (2019). Exploring the effects of economic growth, and renewable and non-renewable energy consumption on China's CO₂ emissions: Evidence from a regional panel analysis. *Renewable energy*, 140, 341-353.
- Chu, L. K. (2022). Determinants of ecological footprint in OCED countries: Do environmental-related technologies reduce environmental degradation?. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(16), 23779-23793.
- Dada J. T., & Al-Faryan, M. A. S. (2024). Linking per capita income, renewable energy, natural resources, trade, and Urbanisation to material footprint: Insights from Saudi Arabia. *Energy Nexus*, 13(100269), 1-9.
- Danish, Ulucak, R., & Khan, S. U. D. (2020). Determinants of the ecological footprint: Role of renewable energy, natural resources, and urbanization. *Sustainable Cities and Society*, 54(101996), 1-10.
- Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets curve hypothesis: A survey. *Ecological Economics*, 49, 431-455.
- Dogan, E., Taspinar, N., & Gokmenoglu, K. K. (2019). Determinants of ecological footprint in MINT countries. *Energy&Environment*, 1-22.

- Eberhardt, M., & Bond, S. (2009). Cross-section dependence in nonstationary panel models: A novel estimator. *Munich Personal RePEc Archive*, 17692, 1-26.
- Galli, A., Kitzes, J., Wermer, P., Wackernagel, M., Niccolucci, V., & Tiezzi E. (2007). An exploration of the mathematics behind the ecological footprint. İçinde C. A Brebbia (Ed.), *Ecodynamics: The prigogine legacy* (ss. 249-256). Wit Press: Billerica, USA.
- Gupta, M., Saini, S., & Sahoo, M. (2022). Determinants of ecological footprint and PM_{2.5}: Role of urbanization, natural resources and technological innovation. *Environmental Challenges*, 100467, 1-12.
- Kassouri, Y., Alola, A. A., & Savas, S. (2021). The dynamics of material consumption in phases of the economic cycle for selected emerging countries. *Resources Policy*, 70(101918), 1-9.
- Koçak, E., & Sarıöz Gökten, Y. (2022). Kapitalizmde iktisadi küçülme mümkün mü? Malzeme ayak izi ve CO₂ için panel veri analizi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(2), 20-36.
- Kongbuamai, N., Zafar, M. W., Zaidi, S. A. H., & Liu, Y. (2020). Determinants of the ecological footprint in Thailand: The influences of tourism, trade openness, and population density. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 40171-40186.
- Liu, X., & Bae, J. (2018). Urbanization and industrialization impact of CO₂ emissions in China. *Journal of Cleaner Production*, 172, 178-186.
- Mukiyen Avcı, G. (2023). Malzeme Kuznets eğrisi hipotezi geçerli mi? CIVETS ülkelerinden ampirik kanıtlar, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 52, 336-351.
- Nathaniel, S., Nwodo, O., Adediran, A., Sharma, G., Shah, M., & Adeleye, N. (2019). Ecological footprint, urbanization, and energy consumption in South Africa: Including the excluded. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 27168-27179.
- OECD (2012). *OECD Environmental Outlook to 2050. The Consequences of Inaction*. https://www.oecd.org/en/publications/oecd-environmental-outlook-to-2050_9789264122246-en.html. sayfasından erişilmiştir. Erişim Tarihi: 16.09.2024.
- Ozturk, I., & Acaravci, A. (2010). CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 3220-3225.
- Pata, U. K., & Karlilar, S. (2024). The integrated influence of energy security risk and green innovation on the material footprint: An EKC analysis based on fossil material flows, *Journal of Cleaner Production*, 435(140469), 1-10.
- Pesaran, H. A. (2003). Simple panel unit root test in the presence of cross section dependence. *University of Cambridge, Faculty of Economics (DAE). Cambridge Working Papers*.
- Pesaran, M. H. (2004). *General diagnostic tests for cross section dependence in panels*. <https://ssrn.com/abstract=572504>. sayfasından erişilmiştir. Erişim Tarihi: 22.02.2023.
- Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22(2):265-312.
- Pesaran, M. H., Ullah, A., & Yamagata, T. (2008). A bias-adjusted LM test of error cross-section independence. *The Econometrics Journal*, 11(1), 105-127.
- Razzaq, A., Ajaz, T., Li J. C., Irfan, M., & Suksatan, W. (2021). Investigating the asymmetric linkages between infrastructure development, green innovation, and consumption-based material footprint: Novel empirical estimations from highly resource-consuming economies, *Resources Policy*, 74(102320), 1-18.
- Rehman, H., & Zeb, S. (2020). Determinants of environmental degradation in economy of Pakistan. *Empirical Economic Review*, 3(1), 83-105.

- Regueiro-Ferreira, R. M., & Alonso-Fernandez, P. (2023). Interaction between renewable energy consumption and dematerialization: Insights based on the material footprint and the Environmental Kuznets Curve, *Energy*, 266 (126477), 1-12.
- Sahoo, M., Saini, S., & Villanthenkodath, M. A. (2021). Determinants of material footprint in BRICS countries: An empirical analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 37689-37704.
- SDG (2023). *Sustainable Development Goals*. <https://sdgs.un.org/goals>. sayfasından erişilmiştir. Erişim Tarihi: 02.05. 2024.
- Shahbaz, M., Hye, Q. M. A., Tiwari, A. K., & Leitão, N. C. (2013). Economic growth, energy consumption, financial development, international trade and CO₂ emissions in Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 109-121.
- Sharif, A., Baris-Tuzemen, O., Uzuner, G., Ozturk, I., & Sinha, A. (2020). Revisiting the role of renewable and non-renewable energy consumption on Turkey's ecological footprint: Evidence from Quantile ARDL approach. *Sustainable Cities and Society*, 57, 102138, 1-12.
- Telega, I., & Telega, A. (2020). Driving factors of material consumption in European countries - spatial panel data analysis, *Journal of Environmental Economics and Policy*, 9(3), 269-280.
- Turgut, E., & Sarıöz Gökten, Y. (2022). Malzeme Kuznets eğrisi malzeme ayak izi için geçerli mi? G-7 ülkeleri örneği, *Fiscaeconomia*, 6(2), 823-841.
- Turgut, E., & Sarıöz Gökten, Y. (2023). Çevre kirliliğinin bir göstergesi olarak malzeme ayak izi için panel veri analizi, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 32(1), 20-29.
- Ucan, O., Ozturk, I., & Turgut, E. (2023). Determinants of ecological footprint in BRICS countries: A panel data analysis. *Environment, Development and Sustainability*, 1-14.
- Umar, M., Raza, M. Y., & Xu, Y. (2023). Determinants of CO₂ emissions and economic progress: A case from a developing economy. *Heliyon*, 9(1), 1-12.
- UN (1987). *United Nations: Report of the World Commission on Environment and Development, Our Common Future*. [our_common_futurebrundtlandreport1987.pdf](#). sayfasından erişilmiştir. Erişim Tarihi: 20.10.2023.
- UN (2023). *United Nations: Conferences Environment and Sustainable Development*. <https://www.un.org/en/conferences/environment/stockholm1972>. sayfasından erişilmiştir. Erişim Tarihi: 10.09.2023.
- UNSTAT (2024). *SDG Indicator Metadata*. <https://unstats.un.org/sdgs/metadata/files/Metadata-08-04-01.pdf>. sayfasından erişilmiştir. Erişim Tarihi: 12.12.2024.
- Wackernagel, M., & Rees, W. (1996). *Our ecological footprint*. Gabriola Island, BC: New Society Publishers.
- Wackernagel, M., & Rees, W. (1998). *Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth*. New Society Publishers.
- Wang, S., Li, Q., Fang, C., & Zhou, C. (2016). The relationship between economic growth, energy consumption, and CO₂ emissions: Empirical evidence from China. *Science of the Total Environment*, 542, 360-371.
- Weisz, H., & Steinberger, J. K. (2010). Reducing energy and material flows in cities. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 2(3), 185-192.
- Westerlund, J. (2005). New simple test for panel cointegration. *Econometric Review*,. 24(3), 297-316.
- Wiedmann, T. O., Schandl, H., Lenzen, M., Moran, D., Suh, S., & West, J. (2015). The Material footprint of nations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(20), 6271-6276.
- Zhang, Y., Huang, Y., & Wang, X. (2023). Impact of economic policy uncertainty, oil prices, and technological innovations on natural resources footprint in BRICS economies. *Resources Policy*, 86(104082), 1-12.