



BRICS-T ÜLKELERİNDE MALZEME AYAK İZİNİN BELİRLEYİCİLERİ ÜZERİNE PANEL VERİ ANALİZİNDEN KANITLAR

Refika Görkem YILMAZTÜRK¹, Rüya ATAKLI YAVUZ²

Öz

Küresel ölçekte artan kaynak kullanımı ve çevresel baskılar, ülkelerin malzeme ayak izini sürdürülebilir kalkınma için önemli bir gösterge haline getirmiştir. Bu bağlamda araştırma, BRICS-T ülkelerinde 1991-2020 dönemi boyunca malzeme ayak izini etkileyen temel belirleyicileri incelemektedir. Analizde kişi başına düşen gayrisafi yurtiçi hasıla (GSYİH), doğal kaynak rantı, istihdam, ticaret, kentsel nüfus ve yenilenebilir enerji değişkenleriyle malzeme ayak izi arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Ampirik bulgular, kişi başına düşen GSYİH'daki %1'lik artışın malzeme ayak izini %1,67 oranında arttırdığını göstermektedir. Doğal kaynak rantındaki %1'lik artış ise %0,19 artışa yol açarken, istihdam oranındaki %1'lik artış malzeme ayak izini %1,34, kentsel nüfustaki %1'lik artış ise %5,94 oranında azaltmaktadır. Kısa dönemde, GSYİH'nin malzeme ayak izi üzerindeki etkisi Rusya ve Türkiye'de pozitif ve anlamlıdır. Doğal kaynak rantının etkisi Rusya'da pozitif, Türkiye'de negatif ve anlamlıdır. Türkiye'de ticaretin etkisi negatif, istihdamın etkisi pozitif, kentleşmenin etkisi negatif ve anlamlıdır. Yenilenebilir enerjinin hiçbir ülkede anlamlı bir etkisi bulunmamıştır. Sonuç olarak malzeme ayak izini belirleyen ekonomik ve çevresel dinamikler ülkeler arasında farklılaşmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Malzeme Ayak İzi, BRICS-T, Panel Veri Analizi

JEL Sınıflandırması: C33, F64, F41

EVIDENCE FROM PANEL DATA ANALYSIS ON THE DETERMINANTS OF MATERIAL FOOTPRINT IN BRICS-T COUNTRIES

Abstract

The increasing use of resources and growing environmental pressures on a global scale have made the material footprint an important indicator of sustainable development. In this context, the study examines the main determinants of the material footprint in BRICS-T countries over the period 1991–2020. The analysis investigates the relationships between material footprint and variables such as gross domestic product (GDP) per capita, natural resource rents, employment, trade, urban population, and renewable energy. Findings based on empirical analysis indicate that a 1% increase in GDP per capita raises the material footprint by 1.67%. Natural resource rent has a positive impact with a 0.19% increase, while an increase in the employment rate decreases the material footprint by 1.34%. The urban population shows a significant positive effect with a 5.94% increase. Russia and Turkey have a positive and significant short-term relationship between GDP and material footprint. The effect of natural resource rent is positive in Russia and negative but significant in Turkey. Trade has a negative impact in Turkey, while employment has a positive effect. Urbanization has a negative and significant effect in Turkey. However, renewable energy does not show a significant impact. It can be concluded that the determinants of material footprint differ across countries, both economically and environmentally.

Keywords: Material Footprint, BRICS-T, Panel Data Analysis

JEL Classification: C33, F64, F41

¹ Doktora öğrencisi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, grkematalay@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1139-6568

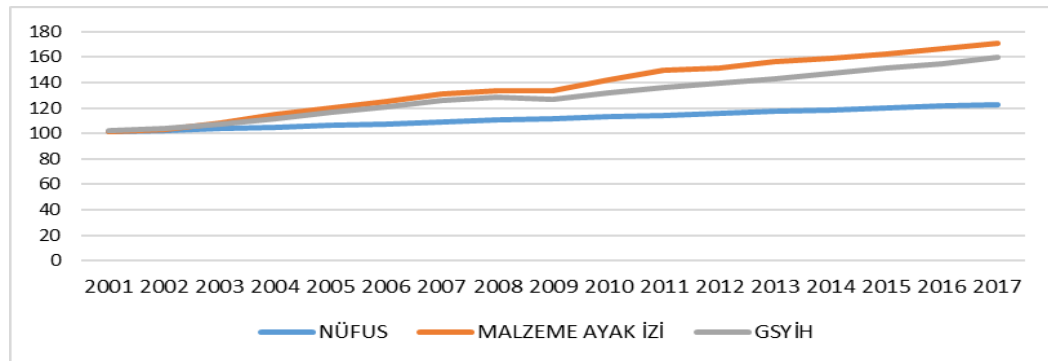
² Doç. Dr., Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, ruyatakli@comu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-3147-333X

1. Giriş

Geçtiğimiz yüzyılda yaşanan ekonomik ve sosyal ilerleme, gelecekteki kalkınma ve hayatta kalma şansımızı tehlikeye atan çevresel bozulma ile birlikte gelmiştir. Doğal kaynakların ekonomik faaliyetlerde kullanımı sürekli artarken, kaynak kullanım verimliliğinde küresel düzeyde anlamlı bir iyileşme sağlanamamıştır. Öte yandan, dünya genelinde atık üretimi artış eğilimini devam etmekte, ayrıca her yıl üretilen gıdanın yaklaşık üçte biri, ağırlıklı olarak gelişmiş ülkelerde kaybolmakta veya israf edilmektedir (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO] 2013; The United Nations Environment Programme [UNEP] 2021). Bu nedenle, kaynak verimliliğinin artırılması, israfın önlenmesi ve sürdürülebilirlik ilkelerinin tüm sektörlerde etkin biçimde uygulanması yönünde acil ve kapsamlı adımlar atılması zorunludur. Kaynak kullanımında verimliliğin artırılması, yenilenebilir ve geri dönüştürülebilir malzemelerin tercih edilmesi, döngüsel ekonomiye geçiş ve yeşil teknolojilerin teşvik edilmesi, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada kritik rol oynamaktadır. Malzeme ayak izi (MFP), bir ülkenin veya ekonominin doğal kaynak tüketimini ve bunun çevresel etkilerini ölçen ayrıca sürdürülebilir kalkınmanın çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarıyla doğrudan bağlantılı olan önemli bir sürdürülebilirlik göstergesidir. Malzeme ayak izi terimi, toplam hammadde kullanımını ifade ederek, insanların tüketim taleplerini karşılamak için çıkarılan malzeme miktarını temsil etmektedir. Bu ayak izi, ekonomik büyümenin ve insanların maddi ihtiyaçlarının çevre üzerindeki etkisini göstermektedir (United Nations Statistics Division [UNSTAT], 2021).

Malzeme ayak izi, bir malzemenin üretim, kullanım ve atılma süreçleri boyunca çevresel etkilerini ölçmektedir. Ayrıca, bir malzemenin çevresel sürdürülebilirlik performansını değerlendirmeye yönelik bir araç olarak kullanılmaktadır. Malzeme ayak izi, genellikle karbon ayak izi, su ayak izi ve diğer çeşitli çevresel göstergeleri içermektedir. Malzeme ayak izi, çevresel sürdürülebilirlik çabalarının bir parçası olarak kullanılır ve şirketler, kuruluşlar veya bireyler tarafından malzeme seçimi ve kullanımı konusunda bilinçli kararlar almak için bir araç olarak kullanılabilir. Bu kavram, genellikle bir yaşam döngüsü analizi (LCA) çerçevesinde ele alınmaktadır. Bu durum da bir malzemenin yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerini anlamak için geniş bir bakış açısı sağlamaktadır. Bir ekonominin malzeme ayak izi genellikle biyokütle, fosil yakıtlar, metal cevherleri ve metal olmayan cevherlerin toplam malzeme ayak izinden oluşmaktadır (Turgut ve Gökten, 2023: 20). Bu, bir ülkenin üretim ve tüketim süreçlerini içermekte ve yerel malzeme talebinin küresel malzeme çıkarımına nasıl katkıda bulunduğunu göstermektedir. Tüketim azaltılarak ya da üretimi veya sağlanması daha az malzeme gerektiren mal veya hizmetler seçilerek malzeme ayak izleri azaltılabilir (European Environment Agency [EEA], 2024). Yerli malzeme tüketimi (DMC) ve malzeme ayak izi, ekonominin hem üretimini hem de tüketimini kapsadığı için bir arada ele alınmaktadır (UNSTAT, 2021). Bu yaklaşım, sadece bir ülkenin kendi sınırları içindeki faaliyetleri değil, aynı zamanda küresel malzeme zincirindeki etkileşimleri de göz önüne alarak çevresel sürdürülebilirlik değerlendirmelerini daha kapsamlı hale getirmektedir.

Grafik 1: Nüfus, Malzeme Ayak İzi ve GSYİH Büyüme Endeksi, 2000-2017 (Referans 2000=100)

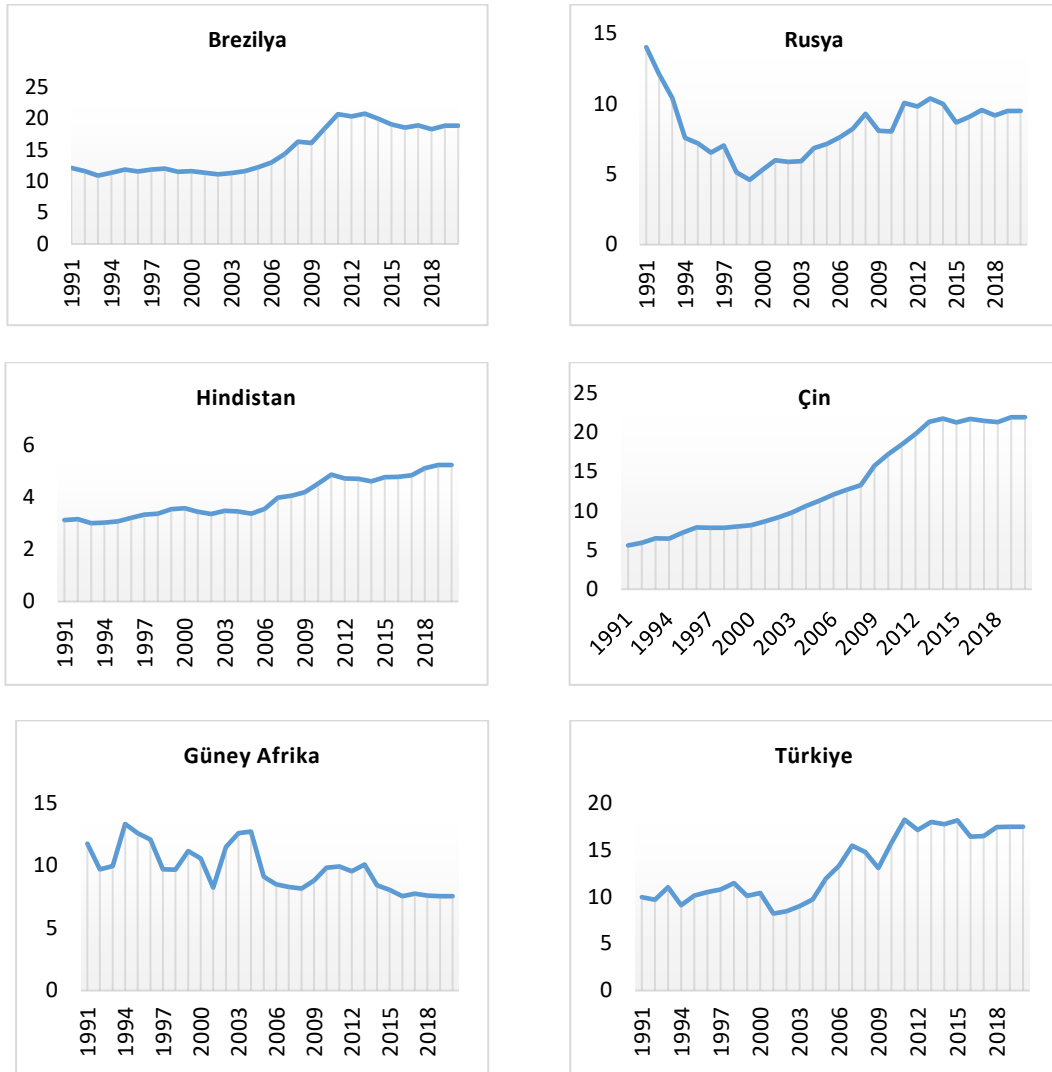


Kaynak: (UNSTATS, 2019).

Grafik 1'de küresel düzeyde nüfus, malzeme ayak izi ve gayri safi yurt içi hasıla (GSİYH) büyüme endeksinin 2000-2017 yılları arası artış trendi izlenebilmektedir. Grafikten de görülebileceği gibi küresel malzeme ayak izi hem nüfustan hem de ekonomik çıktıdan daha hızlı bir şekilde artmaktadır. Başka bir deyişle, küresel düzeyde, malzeme ayak izi büyümesinin ne nüfus artışından ne de GSİYH büyümesinden bağımsız olmadığı görülmektedir. Bu bağlamda malzeme ayak izindeki artış eğilimini tersine çevirmek için çaba göstermenin tüm ülkeler için elzem durumda olduğu ifade edilebilir.

Son yıllarda, küresel malzeme ayak izi önemli ölçüde artmıştır. 1990'da 43 milyar metrik ton iken, 2000'de 54 milyar metrik tona ve 2017'de 92 milyar metrik tona yükselmiştir. Bu 2000'den bu yana yüzde 70, 1990'dan bu yana ise yüzde 113'lük bir artış anlamına gelmektedir. Doğal kaynak çıkarma hızı da 2000'den bu yana hızlanmıştır. Eğer uyumlu bir politika benimsenmezse, 2060 yılına kadar malzeme ayak izinin 190 milyar metrik tona ulaşması tahmin edilmektedir (UNSTAT, 2019). Önemli olan bir nokta da malzeme ayak izinin nüfus artışı ve ekonomik büyüme kadar hızlı bir şekilde artmasıdır. Bu eğilimi tersine çevirmek için harekete geçilmesi gerekmektedir.

Grafik 2: BRICS-T Ülkelerinde Kişi Başı Malzeme



Kaynak: (UNDP, 2023).

BRICS-T ülkeleri (Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin, Güney Afrika ve Türkiye), küresel ekonomi ve üretimde önemli bir paya sahip olup, aynı zamanda yüksek doğal kaynak kullanımı ve çevresel etkilere sahiplerdir. Bu ülkelerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşabilmesi için malzeme ayak izlerini yönetmeleri kritik bir konudur. Grafik 2’de çalışma kapsamında oluşturulan panel veri setine dahil edilen BRICS-T ülkelerinde kişi başına düşen malzeme ayak izinin 1991-2020 yılları arasındaki seyri gösterilmiştir. Brezilya’da kişi başı malzeme ayak izi 1991-2020 yılları arasında artan bir trend göstermektedir. 1990’larda nispeten sabit kalan değerler, 2003 sonrası hızlı bir artış göstermiştir. 2011 yılı dolaylarında en yüksek seviyesine ulaştığı, sonrasında ise kısmi bir düşüşle belirli bir denge seviyesine yerleştiği gözlemlenmektedir. 2015 sonrası ise istikrarlı bir seyir izlenmektedir. Çin’in grafiği incelendiğinde keskin artış görülmektedir. 1990’ların ortalarından itibaren hızlanan bu artış, özellikle 2000 sonrası dönemde çok daha belirgindir. 2000’li yıllardan itibaren büyük altyapı projeleri ve sanayileşme ile kişi başı malzeme ayak izinin artmış olması muhtemeldir. Hindistan’ın grafiği incelendiğinde, trendin artan yönde ilerlediği fakat artışın Çin’e göre daha ılımlı olduğu görülmektedir. Rusya’da ise 1990’ların başındaki Sovyet sonrası ekonomik kriz nedeniyle düşüş, ardından toparlanma gözlemlendiği söylenebilir. Türkiye’de ise AB uyum süreci ve ekonomik büyümeyle birlikte artış, 2010 sonrası ekonomik dalgalanmalarla yavaşlama görülmektedir. Ayrıca Türkiye’de 2001 ve 2008 yıllarında muhtemel olarak yaşanan krizlerin etkisi ile kısa süreli düşüş görülmektedir. Güney Afrika’da kişi başı malzeme ayak izi 1991-2020 yılları arasında dalgalı bir seyir izlemektedir. 1990’ların başında ve 2004 civarında yüksek seviyelere ulaşmış, ardından düşüş eğilimine girmiştir.

Bu çalışmada BRICS-T ülkelerinde 1991-2020 dönemi verileriyle malzeme ayak izinin belirleyicileri, panel veri teknikleri kullanılarak, ampirik testler yardımıyla incelenmiştir. Bağımlı değişken olarak malzeme ayak izi; bağımsız değişkenler olarak yenilenebilir enerji, kentleşme, istihdam, doğal kaynak rantı, nüfus ve kişi başına düşen GSYİH kullanılmıştır. Çalışmanın giriş bölümünün ardından ikinci bölümde malzeme ayak izi ile ilgili bazı grafikler verilmiştir. Üçüncü bölümde ise ilgili alan yazın ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Dördüncü bölümde çalışmada ele alınan veri ile kullanılan yöntem hakkında bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde ampirik testlerin bulguları ve bunların yorumları ayrıntılandırılmıştır. Sonuç bölümünde çalışma tamamlanarak, bulgular güncel literatürle karşılaştırmalı olarak tartışılmış ve politika önerilerine yer verilmiştir.

2. Literatür Özeti

Alan yazında malzeme ayak izinin belirleyicileri genellikle ekonomik büyüme, enerji kullanımı, kentleşme, istihdam, doğal kaynak rantı ve nüfus gibi faktörlerle ilişkilendirilmiştir. Kassouri vd. (2020), Sahoo vd. (2021), Razzaq vd. (2021), Koçak ve Gökten (2022), Turgut ve Gökten (2023) gibi birçok çalışma, ekonomik büyümenin malzeme ayak izi üzerindeki etkisinin pozitif olduğunu göstermektedir. Özellikle sanayileşme sürecindeki ülkelerde kişi başına düşen GSYİH arttıkça doğal kaynak tüketimi de artmaktadır. Ancak, çevresel Kuznets eğrisi hipotezi doğrultusunda, belirli bir gelir seviyesinden sonra bu etkinin azalabileceği savunulmaktadır (Grossman ve Krueger, 1995; Pata & Karlilar 2024; Rahman vd. 2025). Ayrıca doğal kaynak rantı, özellikle enerji ve maden zengini ülkelerde malzeme ayak izini artıran bir faktördür. Kaynakların yoğun şekilde çıkarılması ve işlenmesi, çevresel bozulmayı tetiklemektedir (Sachs ve Warner, 2001).

İstihdamın malzeme ayak izi üzerindeki etkisi karmaşıktır. Bazı çalışmalar, yüksek istihdam oranlarının daha sürdürülebilir üretim süreçlerini desteklediğini ve çevresel etkileri azalttığını belirtirken, bazıları istihdam artışının sanayi üretimini artırarak çevresel baskıyı yükseltebileceğini savunmaktadır. Örneğin Montalbano vd. (2018) yüksek istihdam oranlarının sürdürülebilir üretim süreçlerini destekleyerek çevresel etkileri azaltabileceğini ifade etmiştir. Aksine Borghesi ve Vercelli (2003) yeşil istihdamın çevresel ayak izini azaltabileceğini, ancak sanayiye dayalı istihdamın malzeme tüketimini artırabileceğini savunmuştur. Görg ve Hanley (2005) tarafından yapılan çalışmada ise istihdam artışının üretim süreçlerinde kaynak kullanımını artırarak çevresel baskıyı yoğunlaştırdığı ortaya konulmuştur. Toman ve Jemelkova (2003) tarafından yapılan çalışma da istihdam artışının sanayileşme ile birlikte enerji ve malzeme tüketimini artıracığına dikkat

çekmiştir. Albrizio vd. (2017) ise çevreci politikalar kapsamında yaratılan istihdamın daha sürdürülebilir üretim süreçlerine katkı sağladığını belirtmiştir. Bu çalışmalar, istihdamın çevresel etkisinin sektör, üretim yapısı ve çevresel politikalar gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Kentleşmenin etkisi ise çift yönlüdür. Yüksek kentleşme oranları, enerji ve malzeme tüketimini artırabilirken, aynı zamanda kaynak kullanımında verimlilik artışına ve çevreci teknolojilerin yayılmasına da katkı sağlayabilir (Bai vd., 2014).

Dietz ve Rosa (1997) nüfus artışının çevresel baskıyı artırdığını ve doğal kaynak talebini yükselttiğini ifade etmişlerdir. Ancak kişi başına düşen tüketim düzeyinin bu etkiyi şekillendirdiğini vurgulamışlardır. Ehrlich ve Holdren (1971) tarafından yapılan çalışma ise çevresel etkiyi nüfus (P), zenginlik (A) ve teknoloji (T) faktörlerine bağlamaktadır. Nüfus artışının doğrudan malzeme tüketimini artırdığına dikkat çekmektedir. Jorgenson ve Clark (2013) tarafından yapılan çalışma nüfus artışıyla çevresel ayak izi arasındaki pozitif ilişkiyi doğrulamaktadır. Ancak ekonomik yapı ve kaynak verimliliğinin bu ilişkiyi düzenleyebileceğini belirtmektedir. O'Neill vd. (2010)'nin yaptığı çalışma ise nüfus artışının etkisinin, özellikle kentleşme ve tüketim alışkanlıklarına bağlı olarak farklılaştığını ortaya koymaktadır.

York (2012) yaptığı çalışmada yenilenebilir enerji kullanımının fosil yakıtları tam olarak ikame edemediğini, bu yüzden çevresel etkilerde beklenen azalmayı her zaman sağlamadığını belirtmiştir. Haberl vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada yenilenebilir enerji sistemlerinin üretim süreçlerinde yoğun kaynak kullanımı gerektirdiği ve bu durumun malzeme ayak izini azaltmada sınırlayıcı olabileceği ifade edilmiştir. Sadorsky (2009) tarafından yapılan çalışmada yenilenebilir enerji kullanımının çevresel etkileri azaltılabileceği ancak bazı durumlarda bu ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmüştür. Murray ve King (2012) yaptıkları çalışmada yenilenebilir enerji teknolojilerinin üretim, taşımacılık ve kurulum aşamalarında önemli miktarda doğal kaynak tükettiği, dolayısıyla malzeme ayak izini düşürüldüğünden daha az azaltılabileceğini belirtmiştir.

Tablo 1. farklı ülke/ülke grupları ve yöntemlerle malzeme ayak izi ve çeşitli makroekonomik değişkenler arasındaki ilişkileri analiz eden diğer çalışmaların bir özetini sunmaktadır.

Tablo 1: Literatür Taraması

Yazar(lar)	Ülke	Dönem	Yöntem	Bulgu
Wiedman vd. (2015)	186 ülke	1990-2008	Çok bölgeli girdi-çıktı analizi	Gayri safi yurtiçi hasıladaki her %10'luk artışla birlikte, ortalama ulusal malzeme ayak izi %6 oranında artmaktadır. Zenginlik arttıkça, ülkeler uluslararası ticaret yoluyla malzeme çıkarımının yerli kısmını azaltma eğiliminde olurken, malzeme tüketiminin toplam kütlesi genellikle artmaktadır. AB topraklarında çıkarılan malzemelerin payı 1995'te %68'den 2011'de %35'e düşmüştür. 2011'de, AB'ye ihracat yapmak için Çin'de çıkarılan hammaddeler, AB'nin malzeme ayak izine AB'nin kendi içindeki malzeme çıkarma ile eşit oranda katkıda bulunmuştur. İthalat bağımlılığı, metal cevherleri malzeme grubu için en kritik öneme sahiptir.
Giljum vd. (2016)	AB ülkeleri	1995-2011	Çok bölgeli girdi-çıktı (MRIO) modellemesi	GSYİH büyüme oranının artması Batı Avrupa'da yerel malzeme tüketimi (DMC) ekonomik büyüme oranının artmasına neden olmaktadır, fakat Doğu Avrupa ekonomilerinde ve bir bütün olarak Avrupa'da etki önemsizdir
Agnoilucci vd (2017)	32 Avrupa ülkesi	2000-2014	Panel veri analizi	

Tablo 1 (Devamı): **Literatür Taraması**

Yazar(lar)	Ülke	Dönem	Yöntem	Bulgu
Şimşek ve Bursal (2019)	Türkiye	1961-2016	Bootstrap Rolling Window nedensellik testi	Ekolojik kapasiteden biyokapasiteye doğru çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur. İki değişken uzun dönem de birlikte hareket etmektedir.
Pothen ve Welsch (2019)	144 ülke	1990-2008	Panel veri analizi	Materyal kullanımının ekonomik faaliyetten ayrıldığına dair bir kanıt bulunamamıştır. Uzun dönem gelir esnekliğinin DMC için 0,562 ve MFP için 0,752 olduğu tahmin edilmiştir.
Ansari vd. (2020)	37 Asya ülkesi (5 grup panel)	1991-2017	Panel veri analizi	Enerji tüketimi tüm panellerde malzeme ayak izini artırmaktadır. Fakat küreselleşme doğu Asya ülkelerinde malzeme ayak izini azaltmaktadır. Batı, doğu ve güneydoğu Asya panelinde, kentleşme malzeme ayak izini artırırken; orta ve güney Asya panelinde malzeme ayak izini azaltmaktadır.
Kassouri vd. (2020)	12 gelişmekte olan ülke	1970-2017	Panel veri analizi (STIRPAT)	Ekonomik genişlemenin esas olarak genişlemenin tüketim yan etkisinden dolayı malzeme tüketiminde artış dönemlerini oluşturduğu, durgunluğun meydana gelmesi ise ekonomik maddi olmayan hale getirme ile ilişkili olduğu bulunmuştur.
Razzaq vd. (2021)	11 ülke (dünyada en çok malzeme tüketen)	1990-2017	Momentler Kantil Regresyonu Yöntemi	Ekonomik büyüme ile altyapı geliştirme malzeme ayak izini artırırken, yeşil inovasyon malzeme ayak izini azaltmaktadır.
Şimşek ve Bursal (2019)	Türkiye	1961-2016	Bootstrap Rolling Window nedensellik testi	Ekolojik kapasiteden biyokapasiteye doğru çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur. İki değişken uzun dönem de birlikte hareket etmektedir.
Sahoo vd. (2021)	BRICS ülkeleri	1990-2016	Panel veri analizi	Uzun dönemde ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji tüketimi ve kentleşmedeki artış malzeme ayak izini artırmaktadır. Fakat ticaret ve insan sermayesindeki artış maddi ayak izini azaltmaktadır. Ayrıca hem ticaret ve hem de kentleşme ile malzeme ayak izi arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi vardır.
Turgut ve Gökten (2022)	G-7 ülkeleri	1990-2016	Panel Durbin Hausman eşbütünleşme testi	Ekonomik büyüme ile malzeme ayak izi arasında ters U ilişkisi olduğunu savunan Malzeme Kuznets Eğrisi hipotezi geçerli değildir.
Koçak ve Gökten (2022)	G-20 ülkeleri	1992-2016	Panel veri analizi	Ekonomik büyüme, ekonomik büyümenin karesi, ticari dışa açıklık, enerji tüketimi ve ekonomik karmaşıklık malzeme ayak izini artırmaktadır.
Wang vd. (2022)	180 ülke	1995-2015	Mekansal Otokorelasyon	Küresel MF 1995-2015 yılları arasında %83 artarak yükselen bir eğilim göstermiş ve küresel kişi başına düşen MF çalışma dönemi boyunca artan bir eğilimle kümelenme sergilemiştir.

Tablo 1 (Devamı): **Literatür Taraması**

Yazar(lar)	Ülke	Dönem	Yöntem	Bulgu
Mushafiq ve Prusak (2023)	AB-27 ülke	2000-2020	Panel ARDL	AB-27'nin tam örnekleminde, kaynak verimliliğindeki kısa ve uzun vadeli artışlar çevresel bozulmayı düşürmektedir.
Turgut ve Gökten (2023)	Çin, Amerika Birleşik Devletleri, Hindistan, Brezilya, Japonya (en çok malzeme tüketen ilk beş ülke)	1990-2016	Panel ARDL MG	Ekonomik büyüme, malzeme tüketimi ve nüfus ile malzeme ayak izi arasında pozitif bir ilişki vardır.
Dada ve Al-Faryan (2024).	Suudi Arabistan	1990-2019	En Küçük Kareler ve Kanonik Eşbütünleşme Regresyonu	Kişi başına düşen gelir, yenilenebilir enerji, doğal kaynaklar, ticaret ve kentleşmenin Suudi Arabistan'daki maddi ayak izinin belirleyicileri olduğu bulunmuştur.
Ganda (2024)	37 Sahra Altı Afrika ülkesi	1970-2019	FM-OLS, D-OLS, DSUR	Malzeme ayak izi ile yük kapasitesi faktörü arasında pozitif yönlü ilişki varken, ekonomik büyüme, doğrudan yabancı yatırımlar ile negatif yönlü ilişki bulunmuştur.
Pata & Karlilar (2024)	24 OECD ülkesi	1995–2018	Panel AMG	Malzeme ayak izi bağlamında Ters U ve ters N biçiminde Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE)'nin geçerlidir.

Genel olarak alan yazın, malzeme ayak izinin belirleyicilerinin ülkelere ve gelişmişlik düzeylerine göre farklılık gösterdiğini vurgulamaktadır. Ekonomik, sosyal ve çevresel faktörler arasındaki karmaşık etkileşimler, bu alandaki çalışmaları dinamik ve çok boyutlu hale getirmektedir. Bu çalışma yenilenebilir enerji, kentleşme, istihdam, doğal kaynak rantı, nüfus ve kişi başı GSYİH olmak üzere altı farklı değişken ile malzeme ayak izi arasındaki ilişkiyi analiz ederek alan yazına katkı yapmayı ve bulgular bağlamında politika yapıcılara öneriler sunmayı amaçlamaktadır.

3. Veri Seti ve Yöntem

Bu çalışmada BRICS-T ülkelerinde 1991-2020 dönemi verileri ile malzeme ayak izinin belirleyicilerinin ampirik olarak araştırılması amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda yenilenebilir enerji, kentleşme, istihdam, doğal kaynak rantı, nüfus ve KBGSYİH değişkenleri modele bağımsız değişken olarak alınırken; malzeme ayak izi bağımlı değişken olarak alınmıştır. Değişkenlerin doğal logaritmaları alınmıştır.

Ampirik testlere önce değişkenlere ait yatay kesit bağımlılığı testleri ile başlanmıştır. Çalışmada Breush-Pagan (1980) LM test, Pesaran- Yamagata (2008) LM_{adj} testi ve Pesaran (2004) CD testi yapılmıştır. Araştırmada kullanılan veri setinde T boyutu N boyutundan büyük olduğu için Breush Pagan (1980) LM testi dikkate alınmıştır. Ardından eğim katsayılarının homojenliğinin test edilmesi için Pesaran ve Yamagata (2008) Delta testi uygulanmıştır. Yatay kesit bağımlılığı sonuçları dikkate alınarak IPS (Im, Pesaran ve Shin) birim kök testi yapılmış ve Panel ARDL ile uzun dönem- kısa dönem ilişkiler ortaya koyulmuştur.

Çalışma kapsamında kurulan ampirik model şu şekildedir:

$$LNMF_{it} = \beta_0 + \beta_1 LNNGDP_{it} + \beta_2 LNREN_{it} + \beta_3 LNTR_{it} + \beta_4 LNURB_{it} + \beta_5 LNNR_{it} + \beta_6 LNEMP_{it} + u_{it}$$

Çalışmanın ekonometrik modelinde kullanılan değişkenlere ait açıklamalara Tablo 2'de yer verilmiştir.

Tablo 2: Analizde Kullanılan Değişken Açıklamaları

Değişken	Değişken Açıklaması	Kaynak
LNMF	Kişi başına düşen malzeme ayak izi (ton)	UNDP Database (2023)
LNGDP	Kişi başına düşen GSYİH (ABD doları)	World Bank Database (2023)
LNREN	Yenilenebilir enerji tüketimi (toplam nihai enerjinin yüzdesi)	World Bank Database (2023)
LNTR	Ticaret (GSYİH'nin yüzdesi)	World Bank Database (2023)
LNURB	Kentsel nüfus (toplam nüfusun yüzdesi)	World Bank Database (2023)
LNNR	Toplam doğal kaynak rantı (GSYİH'nin yüzdesi)	World Bank Database (2023)
LNEMP	İstihdamın nüfusa oranı, 15+, toplam (%) (modellenmiş ILO tahmini)	World Bank Database (2023)

Yenilenebilir enerji, kentleşme, istihdam ile malzeme ayak izi arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılan değişkenlere ait tanımsal istatistikler Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3: Değişkenlerin Tanımsal İstatistikleri

	LNMF	LNGDP	LNEMP	LNNR	LNREN	LNTR	LNURB
Ortalama	2.2352	8.8422	3.9727	-0.3120	2.4453	3.8726	4.1682
Maksimum	3.0892	11.5004	4.2471	3.0682	3.9512	5.1271	4.6052
Minimum	1.0986	6.2708	3.7173	-7.9711	-1.7148	2.7496	3.2495
Standart Hata	0.5225	1.1745	0.1364	3.1235	1.3218	0.5687	0.3896
Jarque-Bera	7.039412 (0.029608)	10.95179 (0.004186)	6.120345 (0.046880)	56.91149 (0.000000)	35.38504 (0.000000)	3.794921 (0.149949)	38.31956 (0.000000)
Gözlem Sayısı	180	180	180	180	180	180	180

Tablo 3'te değişkenlerin minimum ve maksimum değerleri arasında çok büyük fark olmadığı saptanmıştır. Bağımlı değişken LNMF için ortalama değer 2.24, bağımsız değişkenler için LNGDP 8.84, LNEMP 3.97, LNNR -0.31, LNREN 2.45, LNTR 3.87 ve LNURB 4.16 olduğu görülmektedir. Standart hataların çok yüksek olmadığı ve gözlem sayısının 180 olduğu görülmektedir. Serilerin normal dağılıma uygun olup olmadığını ifade eden Jarque-Bera olasılık değerleri 0.05'ten küçük olduğu için LNTR dışında diğer değişkenlerin normal dağılıma uygun olmadığı söylenebilmektedir.

Tablo 4'te 1991-2020 döneminde BRICS-T ülkelerinde malzeme ayak izi, GSYİH, yenilenebilir enerji tüketimi, ticaret, kentsel nüfus, toplam doğal kaynak rantı ve istihdam oranı arasındaki korelasyon ilişkisi yer almaktadır.

Tablo 4: Korelasyon Tablosu

	LNMF	LNGDP	LNEMP	LNNR	LNREN	LNTR	LNURB
LNMF	1						
LNGDP	0.7192	1					
LNEMP	0.2819	0.5569	1				
LNNR	-0.3051	-0.7186	-0.4472	1			
LNREN	-0.0405	-0.608	-0.3212	0.4465	1		
LNTR	0.1455	0.6813	0.2631	-0.6874	-0.7916	1	
LNURB	0.7651	0.9145	0.5104	-0.4633	-0.5373	0.4519	1

Korelasyon tablosu malzeme ayak izinin ekonomik büyüme, istihdam, ticaret ve kentleşme oranı ile pozitif ilişkiye sahip olduğunu; toplam doğal kaynak rantı ve yenilenebilir enerji tüketimi ile negatif ilişkiye sahip olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak toplam doğal kaynak rantı dışındaki açıklayıcı değişkenlerin hepsi bağımlı değişken olan malzeme ayak izi ile pozitif yönde ilişkiye sahip olduğu bulunmuştur.

İktisadi literatürde son zamanlarda ülkeler arası veriler ile panel veri analizi kullanımı giderek daha popüler hale gelmektedir. Ülkelerin küreselleşen ekonomide karşılaşılan şoklara aynı tepkiyi vermeleri söz konusu olmayacak, ülkelere özgü özelliklere bağlı olarak tepkiler değişiklik

gösterecektir. Bu nedenle, panel veri analizinde yatay kesit bağımlılığı olup olmadığının kontrol edilmesi oldukça önemli bir kıstas olmaktadır (Breusch ve Pagan, 1980). Uygulanacak birim kök testlerinin seçimini doğru yapabilmek için yatay kesit bağımlılığının varlığının belirlenmesi önemlidir. Yatay kesit bağımlılığının varlığını test etmek için farklı yaklaşımlar mevcut olmakla birlikte; yatay kesit boyutunun zaman boyutundan küçük olduğu ($N < T$) durumunda Breusch ve Pagan (1980) Lagrange çarpanı (LM) testi kullanılmaktadır. Test aşağıda gösterilen LM istatistiğine dayanmaktadır:

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

Testin temel hipotezi yatay kesit bağımlılığı olmadığını, alternatif hipotezi yatay kesit bağımlılığı olduğunu ifade etmektedir.

Pesaran (2004) tarafından geliştirilen CD testi N ve T büyükken kullanıldığında doğru sonuçlar veren testtir. Testin formülasyonu şöyledir (Pesaran, 2004: 5):

$$CD_{LM} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)}} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N (T \rho_{ij}^2 - 1) \quad (2)$$

Pesaran (2008) test istatistiğine ortalama ve varyansı ekleyerek LM testindeki eksikliği gidererek LM_{adj} testini geliştirmiştir. Formüle yeni eklenen ortalama ve varyans ile yeni formül şu şekilde düzenlenmiştir (Pesaran vd., 2008: 109):

$$LM_{adj} = \sqrt{\frac{2T}{N(N-1)}} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \rho_{ij} \frac{(T-k) \rho_{ij}^2 - \mu_{T_{ij}}}{\sqrt{v^2 T_{ij}}} \quad (3)$$

Eğim katsayılarının homojenlik/heterojenlik durumunu belirlemek için Pesaran ve Yamagata (2008)'nin geliştirdiği Delta Testi kullanılmıştır. Bu test, Swamy (1970) homojenlik testini temel olarak geliştirilmiş bir testtir. Eğim katsayılarının homojen olduğunu savunan sıfır hipotezine karşı eğim katsayıları heterojendir alternatif hipotezi test edilmektedir. Delta testinde hesaplanan delta ve düzeltilmiş delta hesaplamaları şöyledir (Pesaran ve Yamagata, 2008: 57):

$$\tilde{\Delta} = \sqrt{N} \cdot \left(\frac{N^{-1} \tilde{S} - k}{\sqrt{2k}} \right) \quad (4)$$

$$\tilde{\Delta}_{adj} = \sqrt{N} \cdot \left(\frac{N^{-1} \tilde{S} - E(z_{iT})}{\sqrt{Var(z_{iT})}} \right)$$

Im, Pesaran ve Shin (2003) testi T ve N sonsuza gittiği durumda asimptotik olarak geçerli olan ADF istatistiklerinin ortalamasıdır. IPS testinin modeli şöyledir (Yerdelen Tatoğlu, 2013: 212):

$$\Delta y_{it} = \rho_i y_{it} - 1 + \sum_{L=1}^{\rho_i} \phi_{iL} y_{it-L} + \mu_i \gamma + U_{it} \quad (6)$$

Bu modelden hareketle ADF istatistiklerinin ortalaması alınarak IPS t istatistiği hesaplanmaktadır.

$$\bar{t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_{\rho i} \quad (7)$$

Testin temel hipotezine göre, tüm birimler birim kök içermektedir. Alternatif hipoteze göre ise bazı birimler durağandır.

Çalışmada panel ARDL eş bütünleşme testi uygulanmıştır. Panel ARDL yönteminde diğer eşbütünleşme testlerinden farklı olarak tüm değişkenlerin aynı derecede durağan olması gerekmemektedir. Panel ARDL testi sadece bağımlı değişkenin gecikmeli değerlerini değil, bağımsız değişkenlerin de gecikmeli değerlerini içermektedir (Pesaran vd., 2001: 290). Pesaran, Shin ve Smith (1999) tarafından geliştirilen Havuzlanmış Ortalama Grup (Pooled Mean Group) tahmincisi kullanılarak değişkenler arasındaki kısa ve uzun dönem katsayı tahminleri yapılabilmektedir. PMG tahmincisi sabit terimlerin, eğim parametrelerinin ve hata terimlerinin yatay kesit birimleri arasında farklılık gösterilmesine izin veren güçlü bir heterojen panel veri yöntemidir.

Panel ARDL modelinde uzun dönem katsayılarının tahmini için kullanılan model şöyledir:

$$y_{it} = \mu_i + \sum_{j=1}^{\rho_i} \lambda_{ij} y_{i,t-j} + \sum_{j=0}^{q_i} \delta_{ij} X_{it-j} + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

Modelde Y_{it} bağımlı değişken, X_{it} bağımsız değişken ve ε_{it} hata terimidir.

4. Ampirik Bulgular

Bu bölümde önce yatay kesit bağımlılığı test edilmiştir. Yatay kesit bağımlılığı testi sonuçları Tablo 5'te yer almaktadır.

Tablo 5: Yatay Kesit Bağımlılığı Test Sonuçları

Test	İstatistik	Olasılık değeri
LM	16.88	0.3263
LM adj*	-0.1886	0.8504
LM CD*	-0.6769	0.4985

Test sonuçları incelendiğinde olasılık değerlerinin her üç test için de 0.05 kritik değerinden büyük olduğu görülmektedir. Bu durumda, temel hipotez "yatay kesit bağımlılığı yoktur" reddedilemez. Değişkenler arasında yatay kesit bağımlılığının olmadığı görülmektedir.

Eğim katsayılarının homojen/heterojen olduğunu belirlemek için Pesaran ve Yamagata (2008) Delta testi kullanılmıştır ve test sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6: Pesaran ve Yamagata (2008) Delta Testi Sonuçları

İstatistikler	Test değeri	Olasılık değeri
Delta_Tilde	11.077	0
Düzeltilmiş Delta_Tilde	12.935	0

Delta testi olasılık değerlerinin 0,05> 0,00 olduğu görülmektedir. Bu durumda H_0 : Eğim katsayıları homojendir reddedilir, eğim katsayıları heterojen dağılım göstermektedir.

Yatay kesit bağımlılığı sonuçları söz konusu değişkenler için BRICS-T ülkeleri arasında yatay kesit bağımlılığı olmadığını göstermiştir. Bu sebeple birinci nesil testlerden olan IPS (Im, Pesaran and Shin) testi ile devam edilmiştir.

IPS birim kök testi sonuçlarına Tablo 7'de yer verilmiştir. Birim kök testi sonuçlarında bağımlı değişken olan LNMF değişkeninin ve açıklayıcı değişkenlerden LNGDP, LNNR, LNREN, LNEMP ve LNURB değişkenlerinin düzeyde durağan olmadığı, birinci farkı alınarak durağan hale geldiği görülmektedir. Açıklayıcı değişkenlerden LNTR değişkeninin ise düzeyde durağan olduğu

bulunmuştur. Hausman test sonuçlarına göre olasılık değeri 0.05'ten büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilememiş ve PMG-ARDL tahmincisinin daha etkin olduğuna karar verilmiştir.

Tablo 7: Im, Pesaran ve Shin (IPS) Birim Kök Testi Sonuçları

Değişken	Düzey I (0)		Birinci Fark I (1)	
	İstatistik	Olasılık değeri	İstatistik	Olasılık değeri
LNMF	0.87813	0.8101	-5.49963	0
LNGDP	0.56744	0.7148	-1.80069	0.0359
LNNR	-1.1046	0.1347	-8.40031	0
LNTR	-2.11689	0.0171	-	-
LNREN	-0.30992	0.3783	-3.88385	0.0001
LNEMP	0.78833	0.7847	-1.86492	0.0311
LNURB	1.09763	0.8638	-5.4828	0

PMG-ARDL tahmin sonuçları ve Hausman testi sonuçları Tablo 8'de gösterilmiştir. PMG tahmin sonuçları incelendiğinde hata düzeltme terimi ECT, istatistiksel olarak anlamlı ve negatif işaretlidir. Bu, teorik açıdan beklenen bir sonuçtur. ECT'nin negatif işaretli ve istatistiki olarak anlamlı olması, malzeme ayak izi ile açıklayıcı değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişkinin olduğunu doğrulamaktadır. ECT teriminin katsayısı, t-1 dönemde ortaya çıkabilecek bir dengesizliğin %24'ünün t döneminde düzeleceğini, dengesizliğin tamamının ise 4,24 yıl içinde tamamen dengeye geleceğini ifade etmektedir.

Kısa dönem ilişkisi incelendiğinde, GDP değişkeninin pozitif ve istatistiki olarak anlamlı olduğu, LNTR değişkeninin ise negatif ve istatistiki olarak anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tahmin sonuçları LNGDP ve LNNR değişkenlerinin uzun dönemde pozitif ve istatistiki olarak anlamlı olduğuna işaret etmektedir. KBGSYİH 'da meydana gelen %1'lik bir artışın malzeme ayak izini 1,67 oranında arttırdığı görülmektedir. Toplam doğal kaynak rantında meydana gelen %1'lik artış malzeme ayak izini 0,19 oranında arttırmaktadır. LNEMP ve LNURB değişkenleri de negatif ve istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur. İstihdam oranında meydana gelen %1'lik artış malzeme ayak izini 1,34 oranında azaltmaktadır. Kentsel nüfusta meydana gelen %1'lik artış malzeme ayak izini 5,94 oranında azaltmaktadır.

Tablo 8: PMG-ARDL Tahmin Sonuçları

Kısa Dönem Tahmin Sonuçları				
Değişkenler	Katsayılar	Standart Hata	t-istatistik	Olasılık değeri
ECT(-1)	-0.2356564	0.092891	-2.54	0.011*
LNGDP	0.5827129	0.2581165	2.26	0.024*
LNNR	0.0291719	0.0233935	1.25	0.212
LNTR	-0.2024883	0.0814715	-2.49	0.013*
LNREN	0.0816807	0.0776238	1.05	0.293
LNEMP	-0.5239562	0.5952988	-0.88	0.379
LNURB	-9.974939	15.37421	-0.65	0.516
C (Sabit)	4.354184	1.833137	2.38	0.018*
Uzun Dönem Tahmin Sonuçları				
Değişkenler	Katsayılar	Standart Hata	t-istatistik	Olasılık değeri
LNGDP	1.668978	0.2196563	7.6	0.000**
LNNR	0.1909439	0.0239754	7.96	0.000**
LNTR	-0.0624004	0.0791196	-0.79	0.43
LNREN	-0.2661891	0.154832	-1.72	0.086
LNEMP	-1.335881	0.3521785	-3.79	0.000**
LNURB	-5.939066	1.025728	-5.79	0.000**
Hausman Test Sonuçları				
Chi2(6)	1.56			
Prob>chi2	0.9552			

Tablo 9’de ülkeler bazında kısa dönem katsayı tahminleri gösterilmiştir. Ülke katsayıları incelendiğinde Rusya, Hindistan ve Türkiye’nin hata katsayılarının anlamlı olduğu görülmektedir. Bu durum, söz konusu ülkelerde uzun dönem denge ilişkisine doğru bir düzeltme mekanizmasının etkin bir şekilde çalıştığını göstermektedir. ECT’nin negatif ve anlamlı olması, kısa dönem dalgalanmalarının ardından sistemin uzun dönem dengesine geri dönebilme kapasitesini ifade etmektedir. Bu katsayının mutlak değeri, dengesizlik durumunun ne kadar hızlı düzeltileceğine dair önemli bilgiler sunmaktadır. Buna göre, Rusya’da meydana gelebilecek bir dengesizliğin 4,35 yıl sonra tamamının dengeye geleceği; Hindistan’da meydana gelebilecek bir dengesizliğin 3,64 yıl sonra ve Türkiye’de meydana gelecek bir dengesizliğin ise 1,57 yıl sonra tamamının dengeye geleceği görülmektedir. Kısa dönemde GSYİH’nin malzeme ayak izi üzerindeki etkisinin Rusya ve Türkiye’de pozitif ve istatistiki olarak anlamlı olduğu görülmüştür. Doğal kaynak rantının malzeme ayak izi üzerindeki etkisinin Rusya’da pozitif ve anlamlı, Türkiye’de negatif ve anlamlı olduğu; ticaretin malzeme ayak izi üzerine etkisi Türkiye’de anlamlı ve negatif; istihdamın malzeme ayak izi üzerindeki etkisi Türkiye’de pozitif ve anlamlı; kentleşmenin malzeme ayak izi üzerindeki etkisinin Türkiye’de negatif ve anlamlı olduğu bulunmuştur.

Tablo 9: PMG Tahmincisinin Ülkeler İçin Katsayıları

	ECT	LNGDP	LNNR	LNTR	LNREN	LNEMP	LNURB	Sabit
Brezilya	-0.032 (0.596)	1.486 (0.000)	0.024 (0.431)	-0.061 (0.444)	-0.098 (0.717)	-0.805 (0.016)	-6.688 (0.082)	0.685 (0.585)
Rusya*	-0.23 (0.006)	1.023* (0.034)	0.134* (0.020)	0.087 (0.109)	0.439 (0.051)	-3.261* (0.007)	-29.503 (0.302)	4.196 (0.015)
Hindistan*	-0.275 (0.015)	-0.236 (0.442)	0.021 (0.629)	-0.122 (0.326)	-0.036 (0.927)	0.241 (0.519)	-6.025 (0.345)	4.54 (0.025)
Çin	-0.002 (0.924)	0.085 (0.223)	0.018 (0.426)	-0.363 (0.010)	0.022 (0.187)	-0.133 (0.742)	20.226 (0.728)	0.087 (0.859)
Güney	-0.237 (0.075)	0.383 (0.824)	0.019 (0.886)	-0.41 (0.392)	0.123 (0.843)	-0.137 (0.899)	34.035 (0.526)	3.96 (0.130)
Afrika	-0.637 (0.000)	0.757* (0.001)	-0.042* (0.046)	-0.345* (0.000)	0.041 (0.645)	0.951* (0.000)	-71.896* (0.000)	12.657 (0.000)

PMG tahmincisiinden elde edilen katsayılara göre, yenilenebilir enerji değişkeninin malzeme ayak izi değişkeni üzerinde etkisi hiçbir ülke için anlamlı bulunmamıştır.

5. Sonuç

Ekonomik ve demografik göstergelerin malzeme ayak izi üzerindeki etkileri incelendiğinde öncelikle kişi başına düşen gayrisafi yurt içi hasılda (GSYİH) meydana gelen %1’lik bir artışın, malzeme ayak izini %1,67 oranında artırdığı bulunmuştur. Bu bulgu, ekonomik büyümenin genellikle daha fazla hammadde tüketimiyle ilişkilendirilebileceğini göstermektedir. Ekonomik faaliyetlerin genişlemesi, sanayi üretimi, altyapı geliştirme ve tüketim harcamalarının artışıyla birlikte doğal kaynaklara olan talebi artırmakta, bu da malzeme ayak izine yansımaktadır. Ayrıca elde edilen diğer bulgulara göre, toplam doğal kaynak rantında meydana gelen %1’lik artış, malzeme ayak izini %0,19 oranında artırmaktadır. Bu durum, doğal kaynakların daha yoğun bir şekilde kullanılmasıyla birlikte malzeme tüketiminde artış yaşandığını ancak bu etkinin GSYİH artışına kıyasla daha sınırlı olduğunu göstermektedir. Doğal kaynakların rant odaklı kullanımı, kaynak verimliliği politikalarının eksikliği durumunda çevresel baskıları artırabilir. Buna karşılık, ampirik bulgular istihdam oranında meydana gelen %1’lik artışın, malzeme ayak izini %1,34 oranında azalttığını göstermektedir. Bu sonuç, istihdam artışının daha sürdürülebilir üretim ve tüketim modelleriyle ilişkilendirilebileceğini düşündürmektedir. Yüksek istihdam oranları, daha verimli üretim süreçleri ve çevre dostu teknolojilerin benimsenmesini teşvik ederek doğal kaynak tüketimini azaltabilir. Daha da dikkat çekici olan ise, kentsel nüfusta meydana gelen %1’lik artışın malzeme ayak izini %5,94 oranında azaltmasıdır. Bu önemli azalma, şehirleşmenin kaynak verimliliği üzerindeki olumlu etkilerini yansıtmaktadır. Kentsel alanlarda altyapının daha yoğun kullanılması, toplu taşıma sistemlerinin yaygınlığı, enerji verimliliği sağlayan teknolojilerin kullanımı

gibi faktörler, kişi başına düşen malzeme tüketimini azaltabilir. Bununla birlikte, bu etkinin uzun vadede sürdürülebilir olması, kent planlaması ve çevre politikalarının etkinliğine bağlıdır. Sonuç olarak, BRICS-T ülkelerinde, ele alınan dönemde, ekonomik büyüme ve doğal kaynak kullanımı malzeme ayak izini artırırken, istihdam artışı ve kentsel nüfus yoğunluğu malzeme ayak izini azaltıcı bir etkiye sahiptir. Bu çalışmanın ampirik bulguları, Sahoo ve diğerleri (2021), Koçak ve Gökten (2022), Turgut ve Gökten (2023) tarafından yapılan çalışmaların sonuçlarını desteklemektedir. Bu bulgular, sürdürülebilir kalkınma politikalarının tasarımı istihdam dostu ve şehirleşmeyi destekleyen stratejilere öncelik verilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

PMG tahmincisi ile elde edilen katsayılar incelendiğinde, Rusya, Hindistan ve Türkiye'ye ait hata düzeltme katsayılarının istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, söz konusu ülkelerde uzun dönem denge ilişkisine doğru bir düzeltme mekanizmasının etkin bir şekilde çalıştığını göstermektedir. Rusya için elde edilen hata düzeltme katsayısı, meydana gelebilecek bir ekonomik dengesizliğin yaklaşık 4,35 yıl içinde tamamen giderileceğini ortaya koymaktadır. Bu, Rusya ekonomisinin uzun dönem dengesine dönüş sürecinde görece yavaş bir uyum hızına sahip olduğunu göstermektedir. Hindistan'da ise hata düzeltme katsayısının analizi, oluşabilecek bir dengesizliğin yaklaşık 3,64 yıl içinde dengelenebileceğini göstermektedir. Hindistan ekonomisinde dengeye dönüş sürecinin Rusya'ya kıyasla daha hızlı olduğu, ancak hâlâ belirli bir zaman dilimine ihtiyaç duyduğu söylenebilir. Türkiye için hesaplanan hata düzeltme katsayısı ise, dengesizliklerin yaklaşık 1,57 yıl gibi daha kısa bir sürede tamamen dengelendiğini ortaya koymaktadır. Bu sonuç, Türkiye ekonomisinin şoklara karşı daha hızlı bir uyum sağlama kapasitesine sahip olduğunu ve dengeye dönüş sürecinde daha esnek bir yapıya işaret ettiğini göstermektedir. Bu farklılıklar, her bir ülkenin ekonomik yapısı, finansal piyasalarının esnekliği, makroekonomik politikalarının etkinliği ve kurumsal kapasiteleriyle ilişkilendirilebilir. Ayrıca, ekonomilerin krizlere verdiği tepki hızı, dışa açıklık düzeyi ve para-fiskal politikalarının koordinasyonu da hata düzeltme dinamiklerini önemli ölçüde etkileyen faktörler arasında yer almaktadır.

Ayrıca çalışma kapsamında elde edilen ülkelere özgü katsayılara göre, kısa dönemde Rusya ve Türkiye'de GSYİH ve malzeme ayak izi pozitif ve anlamlı bir korelasyona sahiptir. Türkiye ve Rusya'da GSYİH'nin malzeme ayak izi üzerindeki pozitif etkisi, ekonomik büyümenin kaynak tüketimini artırdığına işaret etmektedir. Bunun yanında Rusya'da doğal kaynak rantı ile malzeme ayak izi arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki bulunurken, Türkiye'de negatif ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Bu sonuçlar, Rusya'da doğal kaynak rantının, yoğun madencilik ve enerji üretimiyle malzeme ayak izini artırdığı, Türkiye'de ise ekonomik büyüme daha çok sanayi, hizmet ve teknoloji sektörlerine dayalı olduğu için doğal kaynak rantının malzeme kullanımını azalttığı biçiminde yorumlanabilir.

Türkiye için elde edilen sonuçlara göre ticaretin malzeme ayak izi üzerindeki etkisi negatif ve anlamlı çıkmıştır. Ticaretin Türkiye'de malzeme ayak izi üzerindeki negatif etkisi, dış ticaretin çevresel etkileri azaltıcı bir rol oynayabileceğini düşündürmektedir. İstihdam ile malzeme ayak izi arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki varken, kentleşme ile negatif ve anlamlı bir ilişki vardır. İstihdamın pozitif etkisi, üretim süreçlerindeki iş gücü artışının daha fazla malzeme tüketimi gerektirdiğini göstermektedir. Kentleşmenin negatif etkisi ise kentleşme süreçlerinin malzeme kullanımını optimize edebileceği veya hizmet sektörünün büyümesiyle kaynak tüketiminin azaldığı yönünde yorumlanmıştır. Yenilenebilir enerji, bir ülkenin malzeme ayak izini önemli ölçüde etkilememektedir. Yenilenebilir enerjinin malzeme ayak izi üzerindeki etkisinin hiçbir ülkede anlamlı bulunmaması, bu enerji türünün mevcut ekonomik yapı içinde malzeme tüketimini belirgin şekilde etkilemediğini göstermektedir. Bu bulgular, ekonomik ve çevresel dinamiklerin ülkeler arasında nasıl farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Çalışmanın ampirik sonuçları, sürdürülebilir kalkınma politikalarının şekillendirilmesinde birtakım ipuçları sunmaktadır. Dolayısıyla elde edilen bulgular doğrultusunda çeşitli politika önerilerinin geliştirilmesi mümkündür. Öncelikle sürdürülebilir ekonomik büyüme politikaları bağlamında kaynak verimliliğinin artırılması, eko-verimlilik teşviklerinin uygulanması ve dijitalleşme ve endüstri

4.0 konularına odaklanılması önerilmektedir. Bu tür yaklaşımlar genellikle çevresel politika yapıcılar, işletmeler ve diğer paydaşlar için önemli birer araç olabilir, çünkü sadece yerel değil, aynı zamanda küresel çapta çevresel etkileşimleri de değerlendirmelerine yardımcı olabilirler.

Özellikle Türkiye ve Rusya'da GSYİH artışı malzeme ayak izini artırdığı için, döngüsel ekonomi uygulamaları teşvik edilerek üretimde atık azaltılması sağlanmalıdır. Şirketlerin üretim süreçlerinde malzeme kullanımını azaltmalarını sağlamak için finansal teşvikler (vergi indirimleri, yeşil kredi destekleri vs.) sunulmalıdır. Akıllı üretim teknolojileri ve otomasyon ile kaynak tüketiminin azaltılması teşvik edilmelidir. Türkiye'de doğal kaynak rantının malzeme ayak izi üzerindeki negatif etkisi, kaynak yönetiminde daha etkin politikaların benimsendiğini göstermektedir. Ancak sürdürülebilir madencilik ve çevresel düzenlemeler güçlendirilerek bu avantaj artırılabilir. Rusya'da doğal kaynak rantının malzeme ayak izini artırdığı göz önüne alındığında, hammaddeden nihai ürüne kadar olan süreçlerde kaynak verimliliğini artıran politikalar uygulanmalıdır. Türkiye'de ticaretin malzeme ayak izini azalttığı düşünüldüğünde, çevre dostu ürünlerin ihracatı desteklenmeli ve ithalat politikalarında sürdürülebilir üretim sertifikaları teşvik edilmelidir. Ticaretin çevresel etkilerini daha da azaltmak için karbon ayak izi düşük lojistik sistemleri teşvik edilmelidir. Türkiye'de istihdamın malzeme ayak izini artırdığı göz önüne alındığında, iş gücünün çevre dostu sektörlerle yönlendirilmesi sağlanmalıdır. Örneğin, geri dönüşüm, yenilenebilir enerji ve sürdürülebilir tarım sektörlerinde istihdam artırılabilir. Çalışanlara sürdürülebilir üretim teknikleri konusunda eğitimler verilerek işgücüne yeşil beceri kazandırılması yoluyla iş süreçlerinde malzeme verimliliği sağlanabilir. Türkiye'de kentleşmenin malzeme ayak izini azalttığı düşünüldüğünde, sürdürülebilir şehir planlaması ve yeşil altyapı yatırımları artırılarak akıllı şehir uygulamaları teşvik edilmelidir. Şehirlerde kentsel döngüsel ekonomi perspektifi ile atık yönetimi ve geri dönüşüm uygulamaları yaygınlaştırılmalıdır. Yenilenebilir enerjinin malzeme ayak izi üzerinde anlamlı bir etkisinin olmaması, bu sektörün malzeme kullanımındaki etkinliğin artırılması gerektiğini göstermektedir. Bu yüzden, yenilenebilir enerji üretim süreçlerinde kullanılan malzemelerin sürdürülebilirliği artırılmalıdır. Yeşil enerji Ar-Ge yatırımları yoluyla daha az kaynak tüketen yenilenebilir enerji teknolojileri geliştirilmelidir. Bu politika önerileri hem ekonomik büyümeyi hem de çevresel sürdürülebilirliği dengeli bir şekilde desteklemeye yardımcı olabilir. Farklı ülke ya da ülke gruplarına odaklanacak ve farklı ampirik yöntemler ile desteklenecek olan gelecek çalışmalarda, malzeme ayak izinin diğer muhtemel belirleyicilerine odaklanılması, bu konuda daha geniş sonuçlar elde edilmesi adına literatüre katkı sağlayacaktır.

Kaynakça

- Agnolucci, P., Flachenecker, F., ve Söderberg, M. (2017). The Causal Impact of Economic Growth on Material Use in Europe. *Journal of Environmental Economics and Policy*, 6(4), 415–432. <https://doi.org/10.1080/21606544.2017.1325780>.
- Albrizio, S., Kozluk, T., ve Zipperer, V. (2017). Environmental Policies and Productivity Growth: Evidence Across Industries and Firms. *Journal of Environmental Economics and Management*, 81, 209-226. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2016.06.002>.
- Ansari, M. A., Haider, S., ve Khan, N. A. (2020). Environmental Kuznets Curve Revisited: An Analysis Using Ecological and Material Footprint. *Ecological Indicators*, 115, 106416. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106416>.
- Bai, X., Shi, P., ve Liu, Y. (2014). Society: Realizing China's Urban Dream. *Nature*, 509(7499), 158-160. <https://www.nature.com/articles/509158a> (15.02.2025).
- Borghesi, S., ve Vercelli, A. (2003). Sustainable Globalisation. *Ecological Economics*, 44(1), 77-89. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00222-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00222-7).
- Dada, J. T., ve 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.

- Dereli, D. (2020). *Finansal Gelişmenin Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisi: BRICS-T Ülkeleri için Panel Veri Analizi*. Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi.
- Dietz, T., ve Rosa, E. A. (1997). Effects of Population and Affluence on CO2 Emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94(1), 175-179. <https://doi.org/10.1073/pnas.94.1.175>.
- Ehrlich, P. R., ve Holdren, J. P. (1971). Impact of Population Growth: Complacency Concerning This Component of Man's Predicament is Unjustified and Counterproductive. *Science*, 171(3977), 1212-1217. <https://doi.org/10.1126/science.171.3977.1212>.
- European Environment Agency. (2024). *Europe's Material Footprint*. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/europes-material-footprint> (Erişim Tarihi: 13.12.2024).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2013). *The Food Wastage Footprint Summary Report*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/1694038d-98f7-40f6-be4b-98782544b9f9/content> (Erişim Tarihi: 10.12.2025).
- Ganda, Fortune (2024). Analysing the impacts of FDI, material footprint and ICT on the load capacity factor in sub-saharan African countries. *Environmental Economics and Management*, 12, 1-17. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1419307>
- Giljum, S., Wieland, H., Lutter, S., Bruckner, M., Wood, R., Tukker, A., ve Stadler, K. (2016). Identifying Priority Areas for European Resource Policies: A MRIO-Based Material Footprint Assessment. *Journal of Economic Structures*, 5, 1-24. <https://doi.org/10.1186/s40008-016-0048-5>.
- Görg, H., ve Hanley, A. (2005). Labour Demand Effects of International Outsourcing: Evidence From Plant-Level Data. *International Review of Economics & Finance*, 14(3), 365-376. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2004.12.007>.
- Grossman, G. M., ve Krueger, A. B. (1995). Economic Growth and the Environment. *The quarterly journal of economics*, 110(2), 353-377. <https://doi.org/10.2307/2118443>.
- Haberl, H., Erb, K. H., Krausmann, F., Running, S., Searchinger, T. D., ve Kolby Smith, W. (2013). Bioenergy: How Much Can We Expect for 2050?. *Environmental Research Letters*, 8(3), s.1-5. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/031004>
- Herwartz, H. (2006). Testing for Random Effects in Panel Data under Cross Sectional Error Correlation—A Bootstrap Approach to the Breusch Pagan Test. *Computational Statistics & Data Analysis*, 50 (12), 3567-3591. <https://doi.org/10.1016/j.csda.2005.08.003>.
- Jorgenson, A. K., ve Clark, B. (2013). The Relationship between National-Level Carbon Dioxide Emissions and Population Size: An Assessment of Regional and Temporal Variation, 1960-2005. *PloS one*, 8(2), e57107, 1-8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057107>.
- Kassouri, Y., Alola, A.A., ve Savaş, S.Ö. (2020). The Dynamics of Material Consumption in Phases of the Economic Cycle for Selected Emerging Countries. *Resources Policy*, 70, 101918, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101918>.
- Koçak, E., ve Sarıöz Gökten, Y. (2022). Kapitalizmde İktisadi Küçülme Mümkün mü? Malzeme Ayak İzi ve CO₂ için Panel Veri Analizi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(2), 20-36. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/oskaiibfd/issue/74482/1190326> (Erişim Tarihi: 11.02.2025).
- Montalbano, P., Nenci, S., ve Pietrobelli, C. (2018). Opening and Linking Up: Firms, GVCs, and Productivity in Latin America. *Small Business Economics*, 50(4), 917-935. <https://doi.org/10.1007/s11187-017-9902-6>.

- Murray, J., ve King, D. (2012). Oil's Tipping Point Has Passed. *Nature*, 481(7382), 433-435. <https://www.nature.com/articles/481433a> (Erişim Tarihi: 10.01.2025).
- Mushafiq, M., Prusak, B. (2023). Resource productivity and environmental degradation in EU-27 countries: context of material footprint. *Environ Sci Pollut Res* 30, 58536–58552. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26631-z>
- O'Neill, B. C., Dalton, M., Fuchs, R., Jiang, L., Pachauri, S., ve Zigova, K. (2010). Global Demographic Trends and Future Carbon Emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(41), 17521-17526. <https://doi.org/10.1073/pnas.1004581107>.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140469>.
- Pesaran, H. (2004). General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels. *CESifo Working Papers*, 69.
- Pesaran, H., ve Yamagata, T. (2008). Testing Slope Homogeneity in Large Panels. *Journal of Econometrics*, 142, 50-93. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2007.05.010>
- Pesaran, M. H., Shin, Y., ve Smith, R. P. (1999). Pooled Mean Group Estimation of Dynamic Heterogeneous Panels. *Journal of the American Statistical Association*, 94(446), 621–634. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01621459.1999.10474156> (Erişim Tarihi: 10.01.2025).
- Pesaran, M. H., Ullah, A., ve Yamagata, T. (2008). A Bias-Adjusted LM Test of Error Cross-Section Independence. *The Econometrics Journal*, 11(1), 105–127. <https://doi.org/10.1111/j.1368-423X.2007.00227.x>.
- Pesaran, M.H., Shin, Y., ve Smith, R.J. (2001). Bounds Testing Approaches to the Analysis of Level Relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16, 289-326. <https://doi.org/10.1002/jae.616>.
- Pothen, F., ve Welsch, H. (2019). Economic Development and Material Use Evidence from International Panel Data. *World Development*, 115, 107-119. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.06.008>.
- Rahman, M. M., Kilic, C., Akcan, A. T., & Kazak, H. (2025). Factors Affecting the Material Footprint in G7 Countries: Panel Cointegration Approach With Fourier Function. *Environmental Quality Management*, 34(3), e70067. <https://doi.org/10.1002/tqem.70067>.
- Razzaq, A., Ajaz, T., Li, J.C., Irfan, M., ve 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, 102302, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102302>.
- Sachs, J. D., ve Warner, A. M. (2001). The Curse of Natural Resources. *European economic review*, 45(4-6), 827-838. [https://doi.org/10.1016/S0014-2921\(01\)00125-8](https://doi.org/10.1016/S0014-2921(01)00125-8).
- Sadorsky, P. (2009). Renewable Energy Consumption and Income in Emerging Economies. *Energy policy*, 37(10), 4021-4028. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.05.003>.
- Sahoo, M., Saini, S., ve Villanthenkodath, M. A. (2021). Determinants of Material Footprint in BRICS Countries: An Empirical Analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(28), 37689-37704. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-13309-7> (Erişim Tarihi: 10.01.2025).

- Şimşek, T., ve Bursal, M. (2019). Türkiye’de Ekolojik Ayak İzi ve Biyokapasite Arasındaki İlişki: Bootstrap Rolling Window Nedensellik Testi. *IBAD Sosyal Bilimler Dergisi*, 452-465. <https://doi.org/10.21733/ibad.613865>.
- The United Nations Environment Programme (UNEP). (2021). Food Waste Index Report 2021. <https://www.unep.org/resources/report/unep-food-waste-index-report-2021> (Erişim Tarihi: 08.12.2024).
- Toman, M. A., ve Jemelkova, B. (2003). Energy and Economic Development: An Assessment of the State of Knowledge. *The Energy Journal*, 24(4), 93-112. <https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol24-No4-5>.
- Turgut, E., ve Gökten, Y. S. (2022). Malzeme Kuznets Eğrisi Malzeme Ayak İzi için Geçerli mi? G-7 Ülkeleri Örneği. *Fiscaoeconomia*, 6(2), 823-841. <https://doi.org/10.25295/fsecon.1081602>.
- Turgut, E., ve Gökten, Y. S. (2023). Çevre Kirliliğinin Bir Göstergesi Olarak Malzeme Ayak İzi için Panel Veri Analizi, *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. 32(1), 20-29. <https://doi.org/10.35379/cusosbil.1102966>.
- UNDP (2023). Datacenter. <https://hdr.undp.org/data-center/specific-country-data#/countries> (Erişim Tarihi: 10.11. 2023).
- UNSTATS. (2019). *SDGS Report*. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/goal-12/> (Erişim Tarihi: 31.01.2024).
- Wang, H., Wei, Y., Wu, Y. vd. (2022). Spatiotemporal dynamics and influencing factors of the global material footprint. *Environ Sci Pollut Res* 29, 18213–18224. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16923-7>
- Wiedmann, T. O., Schandl, H., Lenzen, M., Moran, D., Suh, S., West, J., ve Kanemoto, K. (2015). The Material Footprint of Nations. *Proceedings of the national academy of sciences*, 112(20), 6271-6276. <https://doi.org/10.1073/pnas.1220362110>.
- World Bank. (2023). *Database*. <https://data.worldbank.org/> (Erişim Tarihi: 10.11. 2023).
- York, R. (2012). Do Alternative Energy Sources Displace Fossil Fuels?. *Nature Climate Change*, 2(6), s. 441-443. <https://www.nature.com/articles/nclimate1451> (Erişim Tarihi: 05.02.2025).

EVIDENCE FROM PANEL DATA ANALYSIS ON THE DETERMINANTS OF MATERIAL FOOTPRINT IN BRICS-T COUNTRIES

Extended Abstract

Aim: The present study has been designed to examine the determinants of material footprint in BRICS-T countries for the period 1991-2020, with the aid of empirical tests using panel data techniques. It is acknowledged that economic and social progress in the last century has been accompanied by environmental degradation, as well as an increase in the use of natural resources for economic activities. The term material footprint refers to the total use of raw materials, representing the amount of material extracted to meet human consumption demands. The material footprint concept is a tool that measures the environmental impacts of a material throughout its production, use, and end-of-life management. The primary objective of this study is to make a significant contribution to the existing literature by analysing the determinants of material footprint and to provide actionable recommendations to policymakers in the context of the findings.

Method(s): In this study, various panel data tests were applied to the model established to investigate the relationship between variables. Renewable energy, urbanisation, employment, natural resource rent, population and gross domestic product per capita are considered as independent variables, while material footprint is included in the model as the dependent variable. The natural logarithms of the variables were taken. The model established within the scope of the study is as follows:

$$\text{LNMF}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \text{LNNGDP}_{it} + \beta_2 \text{LNREN}_{it} + \beta_3 \text{LNTR}_{it} + \beta_4 \text{LNURB}_{it} + \beta_5 \text{LNNR}_{it} + \beta_6 \text{LNEMP}_{it} + u_{it}$$

In panel data analyses, it is important to determine the horizontal cross-section dependence in order to choose the unit root test correctly. For this reason, horizontal cross-section dependence was tested first. Then, it was determined whether the slope coefficients were homogeneous or heterogeneous. Since there is no horizontal cross-section dependence between the variables, the analyses continued with the IPS (Im, Pesaran and Shin) test, one of the first generation unit root tests. According to the results of the unit root test, since the series have different degrees of stationarity, the PMG-ARDL estimator was selected.

The model used for estimating the long-run coefficients in the panel ARDL model is as follows:

$$y_{it} = \mu_i + \sum_{j=1}^{p_i} \lambda_{ij} y_{i,t-j} + \sum_{j=0}^{q_i} \delta_{ij} X_{i,t-j} + \varepsilon_{it}$$

In the model, y_{it} represents the dependent variable, X_{it} represents the independent variable and ε_{it} represents the error term.

Findings: According to the results obtained from the overall panel, a 1% increase in GDP per capita increases the material footprint by 1.67%. A 1% increase in natural resource rent leads to a 0.19% increase, while a 1% increase in the employment rate decreases the material footprint by 1.34% and a 1% increase in the urban population by 5.94%. On a country basis, the error correction coefficients of Russia, India and Turkey were found to be significant and the correction mechanism for the long-run equilibrium relationship was found to be effective in these countries. In the short run, the effect of GDP on material footprint is positive and significant in Russia and Turkey. The effect of natural resource rent is positive in Russia, negative and significant in Turkey. In Turkey, the effect of trade is negative, the effect of employment is positive, and the effect of urbanisation is negative and significant. Renewable energy has no significant effect in any country. The findings show that economic and environmental dynamics differ across countries.

Conclusion: The empirical results of the study provide important clues in shaping sustainable development policies. Therefore, it is possible to develop various policy recommendations in line with the findings. First of all, in the context of sustainable economic growth policies, it is suggested to focus on increasing resource efficiency, implementing eco-efficiency incentives and focusing on digitalisation and industry 4.0. Such approaches can often be an important tool for environmental policy makers, businesses and other stakeholders, as they can help them assess not only local but also global environmental interactions.