

G7 Ülkelerinde Çevresel Etkiler: Ekonomik Büyüme, Enerji Dinamikleri ve Kentleşmenin Ekolojik Ayak İzi Üzerindeki Etkisinin Analizi

Aykut YAĞLIKARA¹

¹ Arş. Gör., Dr., Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, aykut.yaglikara@beun.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6728-2477

Öz: Bu araştırma, 1990 ile 2021 yılları arasında G7 ülkeleri içinde ekolojik ayak izi üzerinde etkili olan faktörleri, enerji tüketimi, kişi başına gelir, yenilenebilir enerji kullanımı ve kentleşme etkilerine odaklanarak incelemektedir. Çalışmanın analizi için yatay kesit bağımlılığı, eğitim homojenliği testleri sonuçları bağlamında ikinci nesil testlerden olan birim kök, eşbütünleşme, uzun dönem katsayı tahmincilerinden Geliştirilmiş Ortalama Grup (AMG) ve Ortak Korelasyonlu Etkiler Ortalama Grup (CCEMG) ve Dumitrescu Hurlin Panel Nedensellik yöntemleri kullanılmaktadır. Analiz sonuçlarına göre kişi başına gelirde ve yenilenemez enerji tüketiminin artışı ekolojik ayak izinin artmasında önemli bir rol oynadığını ortaya koyuyor. Bu durum da sanayileşme ve fosil yakıtlara bağımlılıkla birlikte çevresel bozulmanın artmasına neden olmaktadır. Diğer bir faktör olan yenilenebilir enerji kullanımının ise ekolojik ayak izini azaltmada bir etki göstermediği sonucuna ulaşılmaktadır. Kentleşme ile ekolojik ayak izi bağlantısı ise şehirleşme ile birlikte çevresel bozulmanın azalacağı yönünde etkiler göstermektedir. Ekolojik ayak izinin diğer değişkenlerle olan nedensellik ilişkisi ise şu şekilde gerçekleşmektedir. Ekolojik ayak izi ile yenilenebilir enerji tüketimi arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi ekolojik ayak izi ve kişi başına gelir, enerji tüketimi, kentleşme arasında tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ekolojik Ayak izi, Enerji Tüketimi, Kentleşme, Panel Veri

Jel Kodları: Q4, Q5, C33

Environmental Impacts in G7 Nations: Analyzing the Influence of Economic Growth, Energy Dynamics, and Urbanization on the Ecological Footprint

Abstract: This research examines the factors affecting the ecological footprint among G7 countries between 1990 and 2021, focusing on energy consumption, per capita income, renewable energy usage, and the effects of urbanization. For the analysis of the study, second-generation tests such as unit root, cointegration, long-term coefficient estimators like the Augmented Mean Group (AMG) and Common Correlated Effects Mean Group (CCEMG), and the Dumitrescu Hurlin Panel Causality methods are used in the context of cross-sectional dependence and slope homogeneity test results. According to the results of the analysis, the increase in per capita income and non-renewable energy consumption plays a significant role in the increase of the ecological footprint. This situation, along with industrialization and dependence on fossil fuels, is causing an increase in environmental degradation. Another factor, the use of renewable energy, is found to have no impact on reducing the ecological footprint. The connection between urbanization and ecological footprint shows that environmental degradation decreases with urbanization. The causal relationship of the ecological footprint with other variables occurs as follows. There is a bidirectional causal relationship between ecological footprint and renewable energy consumption, while there is a unidirectional causal relationship between ecological footprint and per capita income, energy consumption, and urbanization.

Keywords: Ecological Footprint, Energy Consumption, Urbanization, Panel Data

Jel Codes: Q4, Q5, C33

Atf: Yağlıkara, A. (2025). G7 Ülkelerinde Çevresel Etkiler: Ekonomik Büyüme, Enerji Dinamikleri ve Kentleşmenin Ekolojik Ayak İzi Üzerindeki Etkisinin Analizi, *Politik Ekonomik Kuram*, 9(2), 805-820.

<https://doi.org/10.30586/pek.1605174>

Geliş Tarihi: 21.12.2024

Kabul Tarihi: 24.03.2025



Telif Hakkı: © 2025. (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Giriş

Küresel ölçekte bir kalkınma modelinin sürdürülebilir olması için gelişmiş ülkelerin ekonomik kalkınma çabalarının ekolojik çevre ve onun öğelerini geri döndürülemez bir şekilde tehlikeye atmamalıdır. Ekolojik ayak izi kavramı ise bu noktada sürdürülebilirliğin ölçülebilmesi için insanların dünya ekosistemine yüklediği talep ile birleşik bir şekilde hareket ettiği kabul edilmektedir. Ekolojik ayak izi kavramı kültürel, ekonomik ve sosyal açıdan kaynaklanan çevresel problemlerin belirlenebilmesi için gerekli bir olgudur (Wackernagel ve Rees, 1996). Ekolojik ayak izi sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için insan popülasyonları tarafından üretilen atık ve kullanılan kaynak miktarını, ülkelerin tamamı tarafından üretilecek kaynak miktarı ile ilişkilendirmektedir. Bu sebeple Dünya kaynak kullanımının ve üretilen atığın büyük kısmının ortaya çıktığı ülkelerin başında gelen G7 ülke grubunu ele almak sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için önemlidir (Galli vd., 2012).

	Kanada	Fransa	Almanya	İtalya	Japonya	UK	ABD
1990	13,53	4,8	5,82	3,33	3,92	4,36	10,64
1991	12,94	4,91	5,13	3,33	3,83	4,34	10,05
1992	12,8	4,71	4,7	3,2	3,76	4,14	9,96
1993	12,82	4,57	4,77	3,23	3,74	4,06	9,8
1994	13,32	4,7	4,99	3,34	4,07	4,2	10,46
1995	13,45	4,74	5,06	3,49	4,08	4,19	10,21
1996	13,85	4,93	5,29	3,47	4,14	4,4	10,48
1997	13,41	4,73	5,02	3,41	3,98	4,11	10,48
1998	13,18	4,91	4,95	3,46	3,78	4,07	10,38
1999	14,2	4,98	5,05	3,7	4,06	4,22	10,7
2000	14,42	5,11	5,2	3,71	4,2	4,31	10,99
2001	13,61	4,99	5,43	3,78	4,22	4,4	10,89
2002	13,48	4,88	4,99	3,59	4,03	4,12	9,94
2003	13,43	4,64	5	3,63	4	4,14	9,98
2004	14,09	4,83	5,2	3,83	4,02	4,16	10,29
2005	14,16	4,75	5,16	3,84	4,06	4,16	10,21
2006	13,27	4,58	5,17	3,7	3,96	4,13	9,88
2007	12,98	4,48	5,21	3,67	4,16	4,06	9,98
2008	12,34	4,49	5,13	3,58	3,97	3,97	9,56
2009	11,05	4,35	4,68	3,12	3,66	3,52	8,78
2010	11,83	4,41	4,96	3,24	3,91	3,67	9,18
2011	12,02	4,22	4,8	3,14	4,05	3,42	8,88
2012	11,63	4,17	4,84	2,97	4,09	3,42	8,4
2013	12,15	4,11	4,89	2,75	4,13	3,34	8,63
2014	11,62	3,97	4,69	2,59	3,93	3,13	8,48
2015	11,52	3,99	4,58	2,63	3,77	3	8,19
2016	11,63	3,65	4,46	2,57	3,66	2,77	8,14
2017	11,57	3,97	4,46	2,58	3,72	2,78	8,05
2018	11,59	3,8	4,31	2,54	3,6	2,68	8,17
2019	11,06	3,81	4,15	2,56	3,49	2,63	7,87
2020	10,45	3,31	3,9	2,31	3,26	2,27	7,22
2021	10,45	3,76	4,13	2,58	3,39	2,48	7,66

Şekil 1. Ekolojik Ayak İzi G7 Ülkeleri (Isı Haritası)

Şekil 1, G7 ülkelerine ait ekolojik ayak izi ısı haritasını göstermektedir. Ekolojik ayak izi değerleri ele alınan dönem dahilinde azalma gösterdiği görülmektedir. Küreselleşme ve ülkelerin ekonomik bağlantılarının birbirleriyle artmasıyla birlikte ekonomik büyümenin ve ekonomik büyüme ihtiyacının daha yüksek olması, G7 ülkeleri gibi gelişmiş ülkelere de çevre üzerinde olan baskının artmasına neden olmaktadır. Sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik büyüme ve kalkınma ile entegre bir şekilde hareket etmesi gerekirken ortaya çıkan durum bunu pek yansıtmamaktadır. Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezi ise bu durumun açıklanmasında yardımcı olmaktadır. Bu hipoteze göre ülkeler gelişmelerinin ilk evrelerinde ekonomik büyümenin etkilerini çevre üzerinde daha fazla hissederken, ülkeler geliştikçe çevre üzerindeki baskının azalacağını öne

sürmektedir. Ülkelerin teknolojik, politik ve kurumsal açıdan gelişmeleri ekonomik büyümenin çevre üzerindeki etkisinin zamanla azalmasına neden olan faktörlerden bazılarıdır (Panayotou, 1993; Grossman ve Kruger, 1995). Ancak Çevresel Kuznets Eğrisi G7 ülkelerinin her birinde farklı teknolojik, politik ve kurumsal düzenlemeler uygulanmasından dolayı değişiklik göstermektedir (Stern, 2017).

Gelişmiş ülkelerdeki çevre kirliliğinin en önemli nedenlerinden biri enerji tüketiminin büyük bir kısmının yenilenemeyen enerji kaynaklarından karşılanmasıdır. G7 ülkeleri gibi gelişmiş ülkelerdeki fosil yakıt kullanımı sera gazı emisyonlarını artırarak ekolojik açıdan ortaya çıkan kirliliği arttırmaktadır (Al-Mulali ve Ozturk, 2015; Shahbaz vd., 2013). Bunun yanında bu ülkelerde fosil yakıt gibi yenilenemeyen enerji kaynakları yerine yenilenebilir enerji kaynakları kullanılması karbon emisyonu gibi sera gazlarının salınımını azaltarak çevresel bozulmanın önüne geçilecektir. Fakat bu kapsamda uygulanan inovasyon hareketlerinin ve uygulanan ulusal politikaların birbiriyle bağlı hareket etmesi gerekmektedir (Sadosky, 2009; Ulucak vd.; Bilgili, 2018; Khan vd., 2022).

Aynı zamanda kentleşme ile birlikte ülkelerin çoğunda olduğu gibi G7 ülkelerinde de artan kaynak talebine istinaden enerji tüketimi artmaktadır. Ayrıca kaynak kullanımının artmasından kaynaklı atık üretiminde de artış gerçekleşmektedir. Kentleşmenin oluşturabileceği olumsuz durumların önüne geçilebilmesi için bu ülkelerde uygulanan politikaların sürdürülebilirlik açısından ele alınması ve enerji verimliliğini artırıcı politikalar benimsenmesi gerekmektedir (Zhang ve Cheng, 2015; Seto vd., 2012). Ekolojik ayak izinin çevresel bozulmanın belirlenmesinde önemli bir faktör olmasından dolayı bu ülkelerde uygulanacak kentleşme politikalarının kişi başına düşen kaynak kullanımını azaltıcı etki yapması gerekmektedir (Bithas ve Christofakis, 2006; Bai, 2007).

STIRPAT modelinin G7 ülkelerinde uygulanması, kentleşmenin, ekonomik büyümenin ve enerji tüketiminin ekolojik ayak izlerini nasıl etkilediğini incelemek için önemli bir çerçeve sağlar. Özellikle artan altyapı kullanımı ve artan enerji talebi, kentleşmenin çevresel baskıları artırma potansiyeline sahiptir (Liddle ve Lung, 2010). Ek olarak, ekonomik büyümenin bir sonucu olarak tüketim eğilimleri ve üretim sistemindeki değişiklikler ekolojik ayak izini artırabilir (Wang vd., 2018). Bununla birlikte, çevresel Kuznets eğrisi hipotezi (EKC) uyarınca, belirli bir gelir seviyesinden sonra çevre koruma politikalarının uygulanması bu etkiyi azaltacaktır (Grossman ve Krueger, 1995).

Öte yandan, teknik değişkenin iki etkisi vardır. Sanayileşmenin çevresel bozulmayı artırdığı gösterilmiştir (Jorgenson ve Clark, 2012), ancak yeşil enerjiye yapılan yatırımlar ve karbon emisyonlarını azaltma önlemleri ekolojik ayak izini azaltma potansiyeline sahiptir (Wiedmann vd., 2015). Bu dinamiklerin nasıl ortaya çıktığını anlamak için, G7 üye ülkelerinde çevresel sürdürülebilirlik düzenlemelerinin ne kadar başarılı olduğunu bilmek gerekmektedir. Bu bağlamda, STIRPAT modelini kullanan ampirik değerlendirmeler, G7 ülkelerinde kentleşme ve enerji kullanımının ekolojik ayak izi üzerindeki etkisini ölçmek için güçlü bir yaklaşım sağlayacaktır. Nüfus, gelir seviyesi ve teknolojik unsurlar ile çevresel kısıtlamalar arasındaki nedensel bağlantıyı daha derinlemesine incelemek, özellikle uzun vadeli panel veri analizi kullanılarak mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada çevresel bozulma ile onu etkileyen kişi başı gelir, enerji tüketimi (yenilenemeyen ve yenilenebilen) ve kentleşme arasındaki ilişki G7 ülkeleri için 1990-2020 yıllarını kapsayan dönem için incelenmiştir. Çevresel bozulma ekolojik ayak izi değişkeni kullanılarak analiz kapsamında değerlendirilmiştir. G7 ülke örnekleminin seçilmesinde bu ülkelerin ekonomik, sosyal ve kültürel açıdan güçlü oldukları için analiz sonuçlarının da daha güvenli olabileceği için seçilmiştir. Bu ülkelerde uygulanan politikaların daha fazla sürdürülebilir kalkınmayı destekleyici ve kurumlarının da daha iyi çalışmasından dolayı etkilerin net bir şekilde görülmesi amaçlanmaktadır. Çalışma literatüre ele aldığı dönem, değişkenler ve yöntem ile katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Çalışmanın buradan sonraki kısmı şu şekilde planlanmaktadır: 2. Kısımda ekolojik ayak izi ve diğer değişkenlerin ilişkilerini gösteren literatür tarama kısmına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde çalışmaya ait veri ve yöntemden bahsedilmektedir. Dördüncü bölümde

uygulanen analizden elde edilen ampirik sonuçlar sunulmaktadır. Son kısımda ise çalışmanın sonucu ve politika önerilerine yer verilmektedir.

2. Literatür Tarama

Ekolojik ayak izi, üretilen doğal kaynak miktarına kıyasla kullanılan atık ve çevresel kaynak miktarını ölçer. İnsanların neden olduğu olumsuz etkileri ölçmek için önemli bir ölçüt olarak görülmektedir. Bu nedenle, bu makalenin amacı ekolojik ayak izi, kentleşme, enerji tüketimi, yenilenebilir enerji tüketimi ve gayri safi yurtiçi hasıla arasındaki bağlantıyı belirlemektir.

2.1. Ekonomik Büyüme ve Ekolojik Ayak İzi

Çevresel Kuznets Eğrisi'ne göre, çevre kirliliği ekonomik gelişim veya büyümenin başlangıç aşamalarında artar ancak gelir seviyeleri ve üretim teknolojisi arttıkça azalır (Grossman ve Krueger, 1995; Panayotou, 1993). Bu durum, literatürdeki çalışmalar tarafından büyük bir oranda desteklenmektedir. MENA ve BRICS ülkelerine özel olarak yapılan iki çalışmaya göre, bu bölgelerdeki ekonomik büyüme başlangıçta çevre kirliliğinde bir artışa neden olur; ancak zamanla, politika yapımcıların sürdürülebilirliği sağlamaya yönelik planları uygulandığı sürece, ekonomik büyümenin çevresel bozulmayı azaltma etkisi vardır (Charfeddine ve Mrabet, 2017; Ulucak ve Khan, 2020).

Wang vd. (2021) tarafından Asya ülkelerinde yapılan araştırma, ekolojik bozulmanın ekonomik büyümeyle bağlantılı olduğunu, ancak bu etkilerin yeşil düzenlemeler ve dijitalleşme ile hafifletildiğini bulmuştur. Majeed ve Mazhar'a (2021) göre, yeni teknolojiler kullanılarak artırılan verimlilik ve kaynak yönetimi ile birleşen ekonomik büyüme, çevredeki kirliliği azaltacaktır. Ancak, ekonomik büyüme ile çevre arasındaki bağlantıyı yönetmek de yüksek kaliteli kurumlar gerektirir. Dinda (2004) ve Stern (2017), yetersiz yönetim nedeniyle ekonomik genişlemenin belirli bir noktadan sonra çevresel bozulmayı durduramayacağını savunurken, Zarf vd. (2019) yasalar ve kamu bilincinin yeterli seviyeye ulaştığında büyümenin ekolojik yaşam üzerindeki etkisi daha olumlu olacağını ve bu şekilde sürdürülebilir gelişmenin mümkün olduğunu vurgulamaktadır. Koç ve Savaş (2024) Türkiye özelinde gerçekleştirdikleri çalışmaya göre ekonomik büyümenin artması ile birlikte çevresel bozulmanın arttığı fakat bir eşik değerden sonra azalmaya başladığını ifade etmektedir. Sahoo ve Sethi (2021) ekonomik büyüme ve çevresel bozulma arasındaki ilişki geliştirmekte olan ülkelerde uzun dönemli ilişkiyi ele alan panel veri analiz yöntemlerini kullanarak 1990-2016 yılları için incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre ekonomik büyümenin ekolojik ayak izini arttırdığı sonucuna varılmıştır. Aynı zamanda ekolojik ayak izi ve ekonomik büyüme arasında çift yönlü nedensellik olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

2.2. Enerji Tüketimi ve Ekolojik Ayak İzi

Fosil yakıtlar, kaynakların tükenmesi ve artan karbon emisyonları, ekolojik ayak izi üzerinde etkili olan başlıca faktörlerdir (Shahbaz vd., 2013). Yenilenemez enerji kullanımıyla çevresel kirliliğin arttığı, yenilenebilir enerji kullanımıyla ise çevresel bozulmanın azaldığı gösterilmiştir (Al-Mulali ve Ozturk, 2015). Ulucak ve Bilgili'ye (2018) göre, yenilenebilir enerjiye yatırım yapan ve teşvik eden ülkeler çevresel sürdürülebilirliği destekleyen önemli sonuçlar elde etmiştir; Khan vd. (2022) ise enerji politikalarını yenilenebilir enerjiye odaklayan G20 ülkelerinin ekolojik ayak izi üzerinde olumlu bir etki yarattığı sonucuna ulaşmaktadırlar.

Enerji verimliliğini artıran politikaların uygulanması, hükümet düzenlemeleri ve teşvikleri ile yeşil teknolojiye yapılan yatırımların ekolojik ayak izi üzerinde olumlu bir etki yaratarak çevresel bozulmayı azaltacaktır (Garcia ve Rivas, 2022; Doğan ve Seker, 2016). Sadorsky'ye (2009) göre, yenilenebilir enerji kullanımı, yoksul ülkelerde sürdürülebilir kalkınmanın en önemli bileşenlerinden biridir. Ancak, Ahmed ve Jones'un (2021) araştırmasına göre, finansal teşvikler yeşil teknolojilerin kullanımını teşvik etmede önemli rol oynamaktadır. Onwe vd., (2023) G7 ülkelerinde momentler kantil regresyon (MMQR) yöntemi kullanarak yenilenemeyen enerji tüketiminin ekolojik ayak izini

arttırıcı etkisini 1994-2020 dönemi için göstermiştir. Aynı zamanda yenilenemeyen enerji tüketimi ile ekolojik ayak izi arasında tek yönlü nedensellik olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

2.3. Kentleşme ve Ekolojik Ayak İzi

Kentsel planlama ve yönetim seviyesi, ekolojik ayak izini belirler. Hızlı kentleşme, enerji ihtiyaçlarını, atık üretimini ve kaynak tüketimini artırabilir, bu da çevresel sorunları daha da kötüleştirecektir. (Seto vd., 2012; Zhang vd., 2015). Yeşil altyapı ve enerji verimli bina yönetmelikleri, bu etkileri hafifletebilecek sürdürülebilir kentsel önlemlere örnek olarak gösterilebilir (Bai, 2007; Bithas ve Christofakis, 2006). Gelişmekte olan ülkelerde, ekolojik ayak izindeki önemli bir artış, kentsel büyümenin kötü yönetimi ile ilişkilendirilmiştir (Sun, Li, & Zhou, 2021). Ancak, Tang ve Xu (2021) tarafından gösterildiği gibi, kentsel yoğunluğun çevre dostu teknolojilerin artmasını sağlayarak kişi başına düşen kaynak kullanımını azaltarak çevreye olumlu bir etki yaratabilir.

Pata ve Hizarci'ye (2022) göre, kentleşme ile ortaya çıkan problemler daha çok gelişmekte olan ülkeleri etkiler çünkü sürdürülebilir kalkınma stratejileri kentleşmeyi yeterince dikkate almamaktadır. Ayrıca, Keho (2023) ve Valderrama vd., (2024), kentleşmiş bölgelerdeki ekolojik etkiyi azaltmak için hükümetin çevreye duyarlı politikalar oluşturması ve stratejik yatırımlar yapması gerektiğini savunmaktadır. Ülger vd. (2024) çalışmasında kentleşme ve ekolojik ayak izi arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Kent nüfusunun artması enerji artışı dolayısıyla ekolojik ayak izi üzerinde etki yaratmaktadır. Aynı zamanda ekolojik ayak izi artışı da kentleşme politikalarını sürdürülebilir hale gelmesinde etkili olmaktadır. Rafique vd. (2022) 29 OECD ülkesinde 1996-2016 yıllarını kapsayan dönem için DOLS ve FMOLS yaklaşımlarını kullanarak kentleşme ile ekolojik ayak izi arasındaki ilişkiyi incelenmektedir. Elde edilen sonuçlar kentleşmenin uzun ve kısa dönemde ekolojik ayak izini arttırdığı yönünde sonuçlar ortaya koymaktadır.

2.4. Yenilenebilir Enerji Tüketimi ve Ekolojik Ayak İzi

Yenilenebilir enerji kaynakları, birçok çalışmanın gösterdiği gibi, ekolojik ayak izlerini gerçekten de minimize eder. Yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş, çevresel zararın uzun vadeli azaltılmasını teşvik etmenin kesin bir yoludur (Zhou vd., 2022). Alola vd. (2019), bulgularında yenilenebilir enerjinin bir ülkenin enerji karışımına dahil edilmesinin sera gazı emisyonlarını azaltmaya ve çevresel sürdürülebilirliği artırmaya yardımcı olduğunu belirtmişlerdir. Yenilenebilir enerjiye geçiş, çevresel bozulmayı ve ekolojik ayak izlerini azaltmanın en önemli yollarından biri olarak görülmektedir. Örneğin, Li vd. (2022), yenilenebilir enerji kullanımının ekolojik ayak izinin çok yönlü olmasına rağmen, aynı enerji türünün yaygın kullanımı dünya genelinde çevresel kalitenin iyileşmesine katkıda bulunduğunu, gelişmekte olan ülkelerde ekonomik büyüme ve kentleşme seviyelerinin farklı katkılar sağladığını bulmuşlardır. Kuzey Afrika'da enerji tüketimi ve CO2 emisyonlarını inceleyen bir çalışmanın sonuçlarına göre, yakılan karbon yoğun enerji kaynaklarına yüksek derecede bağımlılıktan dolayı önemli bir çevresel maliyet ortaya çıkmaktadır. Bu keşif, ekonominin düşük karbonlu bir duruma ulaşabilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş stratejileri geliştirilmesini zorunlu kıldı. Musah ve diğerlerine (2021) göre, enerji tüketiminin, ekonomik büyümenin ve kentleşmenin BRICS ülkeleri üzerindeki etkileri incelendi. Araştırmanın bulguları, yazarları yenilenebilir kaynaklardan enerji kullanımının çevresel bozulmayı muhtemelen yavaşlatabileceği sonucuna götürmektedir. Koçak (2024) ekolojik ayak izi ve yenilenebilir enerji arasındaki ilişkiyi incelediği çalışmasında Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile birlikte ekolojik ayak izi miktarında bir azalma meydana gelmektedir. Huang vd. (2022) çalışmalarında ekolojik ayak izi ve yenilenebilir enerji arasındaki ilişki G7 ve E7 ülke grupları için farklı farklı ele alınmıştır. Her iki ülke grubu için de yenilenebilir enerji tüketiminin çevresel kirlilik düzeyini azalttığı sonucuna varılmaktadır.

3. Veri ve Yöntem

3.1. Ekonomik Model

Özellikle modifiye edilmiş STIRPAT tekniğinin kullanımıyla, 1990'dan 2021'e kadar G7 ülkelerinde sözde ekolojik ayak izi veya EF'yi etkileyen faktörleri incelemek için çevre ekonomisine dayalı ampirik bir model sunacağız. Paradigma, ilk olarak 1997 yılında Dietz ve Rosa tarafından sunulan, etkileşimlerin stokastik karakterini dikkate alarak sosyoekonomik güçlerin çevre üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesini sağlar.

İşte modelin bir açıklaması:

$$EF_{it} = \beta_0 + \beta_1 GDP_{it} + \beta_2 ENERGY_{it} + \beta_3 REN_{it} + \beta_4 URB_{it} + \epsilon_{it}$$

Bu kavrama göre, EF_{it} , zaman t 'de ülke i için kişi başına düşen ekolojik ayak izi notasyonudur. Özellikle, GDP_{it} kelimesi, ekonomik genişleme oranını yansıtan kişi başına düşen gayri safi yurtiçi hasılayı ifade eder. Ayrıca, REN_{it} , toplam enerji tüketimindeki yenilenebilir enerji kullanım oranını gösterirken, $ENERGY_{it}$, yenilenemez kaynaklardan kişi başına düşen ana enerji kullanımını gösterir. Büyük şehrin nüfusu tarafından gösterilen kentselleşme derecesi URB_{it} notasyonu ile belirtilir. Her bağımsız değişkenin kesişim noktası ve marjinal etkileri sırasıyla β_0 , β_1 , β_2 , β_3 and β_4 harfleriyle gösterilmektedir. Son olarak, ϵ_{it} , stokastik şokları ve gözlemlenmeyen heterojenliği yakalayan hata faktörüdür.

3.2. Yatay Kesit Bağımlılığı Testi

Panel veri analizinde, kesitsel bağımlılık önemli bir sorun teşkil edebilir; yeterince ele alınmadığında, yanlış tahminlere ve hatalı çıkarımlara yol açabilir. Çok sayıda istatistiksel test, kesitsel bağımlılığı belirlemek ve ele almak için geliştirilmiştir; her biri, panel veri formatlarına uygun farklı özellikler ve uygulanabilirlik alanlarına sahiptir.

Breusch-Pagan LM testi, Breusch ve Pagan (1980) tarafından tanıtılan, $N < T$ olan panellerde kesitsel bağımlılığı tespit etmek için birincil yöntemdir. Analiz, farklı kesitler arasındaki kalıntıların karelerinin çiftler halinde toplam korelasyonlarını değerlendirir. Breusch-Pagan LM testinin sıfır hipotezi, kesitsel bağımlılığın yokluğunu öne sürer ve birimler arasındaki kalıntıların korelasyonsuz olduğunu belirtir. Bu testin sonuçları, kesitsel bağımlılığın önemli bir kanıtını göstermektedir. Bu değerlendirme için denklem aşağıdaki gibidir:

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

Burada $\hat{\rho}_{ij}$, birim i ve j arasındaki kalıntıların korelasyon katsayısıdır.

Breusch-Pagan'ın araştırmalarına dayanarak, Pesaran (2004), N 'nin T 'yi önemli ölçüde aştığı senaryoları ele almak için Pesaran Ölçeklenmiş LM testini tanıttı. Bu alternatif, standart LM istatistiğini bir ölçekleme faktörü uygulayarak değiştirir ve büyük paneller için uygun hale getirir. Sıfır hipotezi altında, birimler arasında kesitsel bağımlılık yoktur. Ölçeklenmiş LM test istatistiği şu şekilde ifade edilir:

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

Bu genişletme, çok sayıda kesitsel birime sahip veri setlerinde testin gücünü artırır.

Pesaran ve diğerleri (2008), özellikle sonlu örneklerde kesitsel bağımlılığı tespit etme doğruluğunu artıran Bias-Düzeltilmeli Ölçekli LM testini geliştirdiler. Bu test, bir yanlılık düzeltme terimi ekleyerek daha küçük paneller için doğruluğu artırır. Bu nedenle, denklem aşağıdaki şekilde türetilmiştir:

$$LM_{bc} = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N T \hat{\rho}_{ij}^2 - 1 - \frac{\hat{\mu}_T}{N} \quad (3)$$

burada $\hat{\mu}_T$, test istatistiğine daha büyük doğruluk veren bir yanlılık düzeltme faktörüdür.

Pesaran'ın CD testi, kesitsel birimlerden elde edilen tüm hata terimleri çiftleri arasındaki ortalama korelasyonu değerlendiren başka bir sıkça kullanılan yöntemdir. Bu test, kesitsel bağımlılığı tespit etmek için geniş panellerde son derece etkilidir ve

hesaplaması basit ama etkili bir tanısal araç sunar. Prosedür, birimler arasında kesitsel bağımlılık olmadığı varsayımı altında yürütülmektedir. İstatistiğini hesaplama yöntemi şu şekildedir:

$$CD = \sqrt{\frac{2}{N(N-1)}} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{\rho}_{ij} \quad (4)$$

Kesitsel bağımlılığın (CD) önemli istatistiklerinden biri, panel verileri içindeki kesitler arasında potansiyel bağımlılıkları göstermesidir.

3.3. İkinci Nesil Birim Kök Testi

Pesaran'a göre, CIPS testi, panel verilerindeki kesitsel bağımlılığı hesaba katmak için kesitsel ortalamaları kullanan IPS birim kök testinin bir genişlemesidir. Bu testin kaynağı olan Kesitsel Olarak Artırılmış Dickey-Fuller CADF-regresyonu şu şekildedir:

$$\Delta y_{it} = \alpha_i + \beta_i y_{i,t-1} + \gamma_{i0} \bar{y}_{t-1} + \sum_{j=0}^{p_i} \delta_{ij} \Delta y_{i,t-j} + \sum_{j=0}^{p_i} \lambda_{ij} \Delta \bar{y}_{t-j} + \epsilon_{it} \quad (5)$$

Bu bağlamda, y_{it} , kesit i için zaman serisinin t anındaki değerini temsil eder, α_i sabit terimi belirtir ve β_i birim kök için analiz edilen katsayıyı gösterir. Notasyon $\bar{y}_t$, ortak bağımlılıkları kapsayan kesitsel ortalamayı temsil eder. Pesaran (2007), potansiyel olarak bağımlı kesitleri karşılamak için ek notasyonlar tanıttı ve CIPS testinin panel veri setlerindeki korelasyonlu birimlere uygulanabilirliğini daha da genişletti. Her bir kesitsel birim için CADF istatistiklerinin bireysel hesaplanmasının ardından, toplam CIPS istatistiği aşağıda belirtildiği gibi hesaplanır:

$$CIPS = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N CADF_i \quad (6)$$

N , kesitlerin toplam sayısını belirtirken, $CADF_i$, Pesaran (2007) ve Im, Pesaran & Shin tarafından belirlenen bireysel birimler için $CADF$ istatistiğini ifade eder. (2003). Panel verilerinde birim kökler için CIPS testi aşağıdaki hipotezleri değerlendirir: (H_0) Tüm panel serileri birim kök sergiliyor, bu da durağan olmadıklarını gösteriyor. Her kesit birimi i , $\beta_i = 0$ olarak temsil edilir. Bu, en azından bazı serilerin durağanlık sergilediğini öne süren alternatif hipotez olarak bilinir. Bazı durumlarda, $\beta_i < 0$. CIPS test istatistiği, kesitsel bağımlılığı ele alan kesitsel ortalamaları içerir, böylece potansiyel olarak bağımlı panel verilerinde durağanlığı test etmek için daha sağlam bir yaklaşım sağlar (Pesaran, 2007).

3.4. Eğim Homojenlik Testi

Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından tanımlanan panel veri modelindeki eğim homojenliği testi, kesitsel birimler arasındaki eğim katsayılarının tutarlılığını değerlendirir. Test, aşağıdaki gibi tanımlanan Delta istatistiğini kullanarak eğim homojenliği için sıfır hipotezini, heterojenlik alternatif hipotezine karşı değerlendirir:

$$\Delta = \sqrt{N} \left(\frac{\hat{S} - (K + 1)}{\sqrt{2(K + 1)}} \right) \quad (7)$$

N , kesit sayısını; K , regresyon değişkeni sayısını; ve $\hat{S}$, bireysel birim regresyonlarından elde edilen herhangi bir test istatistiğini temsil etsin. Bu alternatif versiyon, Δ^* , küçük örneklem özellikleri açısından üstünlük gösterir. Önemli bir Delta istatistiği, eğimlerde heteroskedastisitenin varlığını gösterirken, önemsiz bir değer homojenliği işaret eder. Bu test, birimler arasındaki eğim katsayılarındaki varyasyonları etkili bir şekilde tespit ederek, panel veri modellerinde sağlam çıkarımlar yapılmasını sağlar.

3.5. Westerlund Eşbütünleşme

Westerlund koentegrasyon testleri, heterojenlik ve kesitsel bağımlılığı dikkate alan modüler bir yaklaşım kullanarak panel verilerindeki koentegrasyon bağlantılarını incelemek amacıyla tasarlanmıştır. Westerlund (2007) göre, bu testler Hata Düzeltme Modeli (ECM) çerçevesinde çalışır ve grup ve panel tabanlı test verilerinin bir

koleksiyonunu sağlar. ECM çerçevesi, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki uzun vadeli korelasyonların belirlenmesini kolaylaştırır. Eşbütünleşme testi aşağıdaki denklemle ifade edilir:

$$\Delta Y_{it} = \alpha_i + \phi_i(Y_{i,t-1} - \beta'X_{i,t-1}) + \sum_{j=1}^p \gamma_{ij}\Delta Y_{i,t-j} + \sum_{j=0}^q \delta_{ij}\Delta X_{i,t-j} + \epsilon_{it} \quad (8)$$

Hata düzeltme terimi ϕ_i ile, bireysel spesifik kesme noktası ise α_i ile gösterilir. Eşbütünleşme, uzun vadede gelişen bir denge dönüşü ile gösterilecektir, bu da önemli ölçüde negatif olan ϕ_i ile belirtilmiştir. G_τ , G_α , P_τ , P_α , Westerlund testlerinde kullanılan temel istatistiklerdir. Panel istatistikleri, P_τ ve P_α gibi, panelin tamamında eşbütünleşme kanıtını değerlendirirken, bireysel birim istatistikleri, G_τ ve G_α gibi, bireysel birimler için eşbütünleşme kanıtını değerlendirir. Eğer birim kök hipotezi reddedilirse, uzun vadeli bir ilişki mevcuttur.

3.6. AMG ve CCEMG

Artırılmış Ortalama Grup tahmircisi ve Ortak Korelasyonlu Etkiler Ortalama Grup tahmircisi, panel verilerindeki heterojenlik ve kesitsel bağımlılığı ele almak için son derece etkili yöntemlerdir. AMG tahmircisi, Eberhardt ve Teal (2010) tarafından tanıtılan, iki aşamada çalışır: Başlangıçta, bağımlı değişkenin başlangıç farklılıklarını zaman değişkenlerine regresyon yaparak "ortak dinamik süreci" değerlendirir:

$$\Delta Y_{it} = \sum_{t=1}^T \lambda_t D_t + \epsilon_{it} \quad (9)$$

D_t zaman değişkenlerini belirtirken, λ_t gözlemlenmeyen ortak faktörleri yakalar. Daha sonra bu ortak faktör, değiştirilmiş bir modele eklenir:

$$\Delta Y_{it} = \alpha_i + \beta_i' X_{it} + \delta_1 \bar{Y}_t + \delta_2 \bar{X}_t + \epsilon_{it} \quad (10)$$

burada α_i birim-spesifik bir kesişim noktasıdır, β_i bağımsız değişkenler X_{it} üzerindeki katsayılar ve $\bar{Y}_t$ ve $\bar{X}_t$ kesitsel ortalamalardır (Eberhardt & Teal, 2010).

Pesaran (2006) tarafından önerilen CCEMG tahmircisi hem bağımlı hem de bağımsız değişkenlerin kesitsel ortalamalarını doğrudan modele entegre ederek kesitsel bağımlılığı azaltır.

$$y_{it} = \alpha_i + \beta_i' x_{it} + \delta_i \bar{X}_t + \gamma_i \bar{y}_t + \epsilon_{it} \quad (11)$$

Katsayılar δ_i ve γ_i , kesitsel ortalamaların $\bar{X}_t$ ve $\bar{y}_t$ etkilerini yakalar. Bu prosedür, gözlemlenemeyen ve birden fazla birimi aynı anda etkileyen ortak rahatsızlıkları etkili bir şekilde ortadan kaldırır. Tahmirciler, panel verilerindeki karmaşık etkileşim davranışlarını yakalamak için her ikisi de olağanüstü araçlardır. AMG dinamik ortak faktörlere odaklanırken, CCEMG kesitsel ortalamalara odaklanır.

3.7. Dumitrescu Hurlin Nedensellik Testi

Dumitrescu ve Hurlin (2012) tarafından formüle edilen DH Nedensellik Testi, çeşitli bağlamlarda Granger nedenselliğini belirlemek için tasarlanmış bir panel veri yaklaşımıdır ve nedensel ilişkinin ülkeler veya firmalar gibi kesitsel birimler arasında farklılık göstermesine izin verir. Bu analiz, bağımsız bir değişkenin (X) geçmiş değerlerinin, bağımlı bir değişkenin (Y) gelecekteki değerlerini ne ölçüde tahmin edebileceğini, birimler arasındaki ilişki farklılıklarını dikkate alarak değerlendirecektir. Kullanılan model aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$Y_{it} = \alpha_i + \sum_{k=1}^K \beta_{i,j} Y_{i,t-k} + \sum_{k=1}^K \gamma_{i,k} X_{i,t-k} + \epsilon_{it} \quad (12)$$

α_i 'nin birim-spesifik kesişimi, $\gamma_{i,k}$ 'nin X 'in Y üzerindeki etkisini yakalayan katsayılar olduğu ve K 'nın gecikme sayısı Dumitrescu & Hurlin, 2012'dir. Test, birimlerin bireysel Wald istatistiklerini şu şekilde birleştirir:

$$\bar{W} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N W_i \quad (13)$$

standart test istatistiği ile hesaplanır:

$$Z_{N,T} = \sqrt{N} \left(\frac{\bar{W} - K}{\sqrt{2K}} \right) \quad (14)$$

$Z_{N,T}$ istatistiğinin sıfırdan önemli ölçüde sapması, sıfır hipotezinin reddedildiğini gösterir ve en azından bazı birimlerde Granger nedenselliğinin varlığını öne sürer. Bu test, heterojenlik ve kesitsel bağımlılık gösterebilecek panellerde nedensel ilişkileri belirlemek için yaygın olarak kullanılmakta olup, çeşitli bağlamlarda dinamik etkileşimleri analiz etmek için güvenilir bir araçtır (Dumitrescu & Hurlin, 2012).

4. Ampirik Sonuçlar

Bu çalışma, 1990'dan 2021'e kadar G7 ülkelerinin ekolojik ayak izi üzerindeki ekonomik gelişim, yenilenemez ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve kentleşmenin etkisini incelemektedir.

Tablo 1. Veri Kaynakları ve Değişkenler

Değişkenler	Semboller	Birimler	Kaynaklar
Ekolojik Ayak İzi	EF	Toplam Ekolojik Ayak İzi kişi başına	Global Footprint Network
Gayri Safi Yurtiçi Hasıla	GDP	Kişi başına GSYİH (Sabit 2015 US\$)	World Bank
Enerji Tüketimi	ENERGY	Birincil Enerji: Kişi başına tüketim	Energy Institute
Yenilenebilir Enerji Tüketimi	REN	Yenilenebilir enerji tüketimi (% toplam enerji tüketimi)	Dünya Bankası
Kentleşme	URB	Büyük şehirlerdeki nüfus	Dünya Bankası

Aşağıdaki tabloda, ekolojik ayak izi üzerindeki etkileri analiz edilen önemli unsurlar sunulmaktadır. İlgili değişken, Global Footprint Network'tan elde edilen Ekolojik Ayak İzi (EF)'dir. GSYİH (GDP), sabit 2015 ABD doları cinsinden ifade edilen ve Dünya Bankası'ndan alınan verilerle, ekonomik büyümenin bir göstergesi olarak gösterilmektedir. Artan ekonomik faaliyetlerin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkisini gösterir. ENERGY, kişi başına düşen yenilenemez enerji kullanımının ölçüsüdür. Yenilenemez kaynaklardan, örneğin fosil yakıtlardan elde edilir ve Enerji Enstitüsü'nden temin edilir. Aksine, REN, Dünya Bankası veri tabanından elde edilmekle birlikte, toplam enerji tüketimi içindeki yenilenebilir enerji oranı olarak tanımlanabilir. Sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımını belirler ve bu da çevresel baskıları hafifletebilir. Kentleşme (URB), Dünya Bankası'ndan alınan büyük şehrin nüfusu ile açıklanmaktadır. Bu kapsamda ele alınan bu değişkenler ile araştırma, ekonomik ve enerji faktörleri, kentleşme ve çevresel göstergeler arasındaki etkileşimin incelenmesine olanak tanımaktadır.

Tablo 2. Tanımlayıcı İstatistikler ve Korelasyon Matrisi

	EF	ENERGY	GDP	REN	URB
Ortalama	1.663831	5.272660	10.52000	1.958184	15.96311
Std. Sapma	0.495879	0.412196	0.186309	0.864009	0.792030
Min.	0.819780	4.604667	10.22160	-0.510826	15.03469
Max.	2.668616	6.061389	11.04677	3.173878	17.43901
Korelasyon Matrisi					
EF	1.000000				
ENERGY	0.989489	1.000000			
GDP	0.443096	0.457625	1.000000		
REN	0.318899	0.332538	0.167855	1.000000	
URB	-0.015071	0.073875	0.189545	-0.202003	1.000000

Tablo 2, G7 analizi ile ilgili ana değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri ve korelasyon matrisine yer vermektedir. EF ile ENERGY arasındaki önemli pozitif korelasyon (0.989), yenilenemez enerji kullanımının çevresel bozulma üzerindeki önemli etkisini vurgulamaktadır. GSYİH, EF ile oldukça yüksek bir bağlantı gösterirken (0.443), REN değişkeni daha düşük bir bağlantıya sahiptir (0.319). URB değişkeni ise zayıf bir ilişki sergilemektedir (-0.015), bu da ekolojik ayak izi (EF) değişkeni üzerinde sınırlı bir anlık etkiye sahip olduğunu gösterir. Bu bulgular, enerji kullanımının G7 ülkelerinin ekolojik ayak izi üzerindeki önemli etkisini vurgulamaktadır.

Tablo 3. Yatay Kesit Bağımlılığı Testi Sonuçları

Değişken	Breusch-Pagan LM	Pesaran scaled LM	Bias-corrected scaled LM	Pesaran CD
EF	514.0095*** (0.000)	76.0730*** (0.000)	75.9601*** (0.000)	22.5879*** (0.000)
GDP	522.4982*** (0.000)	77.3828*** (0.000)	77.2699*** (0.000)	22.4559*** (0.000)
ENERGY	466.1078*** (0.000)	68.6816*** (0.000)	68.5687*** (0.000)	21.4116*** (0.000)
REN	410.0798*** (0.000)	60.0363*** (0.000)	59.9234*** (0.000)	19.4014*** (0.000)
URB	504.3270*** (0.000)	74.5789*** (0.000)	74.4660*** (0.000)	22.0453*** (0.000)

Not: ***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyindeki anlamlılığı açıklar.

Tablo 3, Breusch-Pagan LM testi, Pesaran'ın ölçeklendirilmiş LM testi, yanlışlı düzeltilmiş ölçeklendirilmiş LM testi ve Pesaran'ın CD testi dahil olmak üzere çeşitli istatistiksel testler kullanarak analizde kullanılan değişkenler için kesitsel bağımlılığı değerlendirir. Tüm incelenen değişkenler—EF, GDP, ENERGY, REN ve URB— %1 seviyesinde anlamlı test istatistikleri göstermektedir. Bu durum beş değişkenin panel verileri arasında kesitsel bağımlılığın önemli kanıtlarını göstermektedir ve tek bir kesitsel birim içindeki gözlemlerin birbirinden bağımsız olmadığını göstermektedir. Bu bağımlılık, ortak nedenlerin veya şokların birden fazla birimi aynı anda etkileyebileceğini ve gelecekteki model formülasyonları ve değerlendirmelerinde dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Tablo 4. Birim Kök Testi Sonuçları

Değişkenler	İkinci Nesil CIPS
	Düzy
EF	-0.831 (0.203)
GDP	-0.949 (0.171)
ENERGY	-1.549 (0.161)
REN	0.660 (0.255)
URB	3.624 (1.000)
	Fark
EF	-5.153*** (0.000)
GDP	-4.766*** (0.000)
ENERGY	-7.255*** (0.000)
REN	-6.103*** (0.001)
URB	-1.139** (0.027)

Not: ***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyindeki anlamlılığı açıklar.

Tablo 4, ikinci nesil birim kök testlerinden olan CIPS (Kesitsel Im, Pesaran ve Shin) testinin sonuçlarını sunmaktadır. CIPS testi, ilk olarak başlangıç farklılıklarının hesaplanmasından önce değişkenlerin kendi seviyelerinde gerçekleştirilmektedir. CIPS istatistik değerlerine göre bütün değişkenler için p-değerleri 0.1'in üzerindedir, bu da EF, GDP, URB, REN ve ENERGY değişkenlerinin kendi seviyelerinde birim kök içerdiğini (durağan olmayan) ve sıfır hipotezinin reddedilemediğini göstermektedir. İlk farkların hesaplanmasının ardından, EF, GDP, REN ve ENERGY değişkenleri CIPS istatistik değerlerine göre %1 anlamlılık düzeyinde durağan hale gelirken, URB %5 anlamlılık düzeyinde durağanlık göstermektedir. Bu durum, değişkenlerin birinci dereceden entegrasyona sahip olduğunu, yani bir fark alma işleminden sonra durağan hale geldiklerini gösterir.

Tablo 5. Eğim Homojenlik Testi Sonuçları

Bağımlı Değişken: EF	
İstatistikler	Test değeri (P-değer)
Delta tilde	10.785*** (0.000)
Delta tilde Adjusted	11.964*** (0.000)

Not: ***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyindeki anlamlılığı açıklar.

Tablo 5, bağımlı değişken EF ile ilgili eğim homojenliği analizi sonuçlarını göstermektedir. Test sonuçları, kesitsel birimlerde eğim katsayılarında önemli varyasyonların varlığını değerlendiren Delta tilde istatistiği ve Delta tilde Düzeltilmiş istatistiğini içermektedir. Test sonuçları 10.785 ve 11.964, %1 seviyesinde istatistiksel olarak anlamlıdır ve p-değerleri 0.000'dır. Bu, eğim homojenliği sıfır hipotezinin reddedilmesini sağlar ve açıklayıcı değişkenler ile EF arasındaki ilişkilerin birimler arasında değiştiğini öne sürer. Bu sonuçlara göre, serilerde eğim heterojenliğinin varlığını vurgular ve bu durumun, doğru model tahmini ve yorumlaması sağlamak için sonraki çalışmalara dahil edilmesi gerekir.

Tablo 6. Westerlund Panel Eşbütünleşme Testi Sonuçları

İstatistik	Model, EF = GDP, ENERGY, REN, URB				Robust P-değer
	Değer	Z-değer	P-değer		
G_{τ}	-3.042	-2.735	0.003		0.000***
G_{α}	-9.581	0.111	0.544		0.000***
P_{τ}	-6.266	-1.570	0.058		0.000***
Pa	-8.230	-0.766	0.222		0.000***

Not: ***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyindeki anlamlılığı açıklar.

Tablo 6'da sunulan bootstrap p-değerleri, tüm test istatistiklerinin (G_{τ} , G_{α} , P_{τ} , P_{α}) eşbütünleşme konusunda önemli kanıtlar sağladığını göstermektedir. Her bir p-değeri 0.000'dır. Bu sonuçlar kesitsel bağımlılık ve heterojenlik altında, GDP, ENERGY, REN ve URB değişkenleri arasında EF ile ilgili olarak bir uzun vadeli ilişkinin bulunduğunu göstermektedir. Bootstrap yöntemleri, verilerdeki kesitsel bağımlılık ve potansiyel heteroskedastisite ele alarak çıkarımın güvenilirliğini artırdıkları için bu bağlamda çok önemlidir. Güçlü p-değerlerinin üretilmesi, panel genelindeki eşbütünleşme sonuçlarının geçerliliğini artırır. Eşbütünleşme ilişkisi, tüm bootstrap testlerinde tutarlı bir şekilde anlamlı olmasıyla kanıtlandığı gibi sağlamlık ve güvenilirlik göstermektedir.

Tablo 7. AMG ve CCEMG Testi Sonuçları

Değişken	AMG			CCEMG		
	Katsayılar	t-istatistik	p-değer	Katsayılar	t-istatistik	p-değer
Bağ. Değişken: EF						
GDP	0.3883**	2.47	0.013	0.6588**	2.18	0.029
ENERGY	0.6359***	3.57	0.000	0.4535**	2.19	0.029
REN	-0.0424	-0.90	0.367	0.0040	0.06	0.954
URB	-0.7241***	-2.70	0.007	-1.0124*	-1.76	0.078
Wald Test		526.32			33.97	

Not: ***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyindeki anlamlılığı açıklar.

Tablo 7, Artırılmış Ortalama Grup (AMG) ve Ortak Korelasyonlu Etkiler Ortalama Grup (CCEMG) modellerinin tahmin sonuçlarını, EF bağımlı değişken olarak kullanarak göstermektedir. AMG modelinde, GSYİH ekolojik ayak izi ile pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı ve %5 anlamlılık seviyesinde pozitif bir korelasyon olduğunu göstermektedir. ENERGY değişkeninin korelasyonu pozitif ve istatistiksel olarak %1 anlamlılık düzeyinde anlamlılık göstermektedir. REN için katsayı anlamlı değildir, bu da ekolojik ayak izi üzerinde ölçülebilir bir etki olmadığını göstermektedir. URB ekolojik ayak izi ile istatistiksel olarak anlamlı ve negatif korelasyon sergilemektedir. CCEMG modelinden elde edilen sonuçlarda AMG testinden elde edilen sonuçları desteklemektedir. Wald testi sonuçları, her iki tahminci için de modelin önemli olduğunu göstermekte olup, AMG modelinin CCEMG'ye (33.97) kıyasla daha yüksek bir değere (526.32) sahip olduğunu, bu durumun ekolojik ayak izindeki değişimleri açıklamada değişkenlerin güçlü bir kolektif öneme sahip olduğunu önermektedir. Bulgular, kullanılan modele bağlı olarak ekonomik ve enerji değişkenlerinin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerinin farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu, panel veri analizinde eğim heterojenliği ve kesitsel bağımlılığı dikkate almanın önemini vurgular.

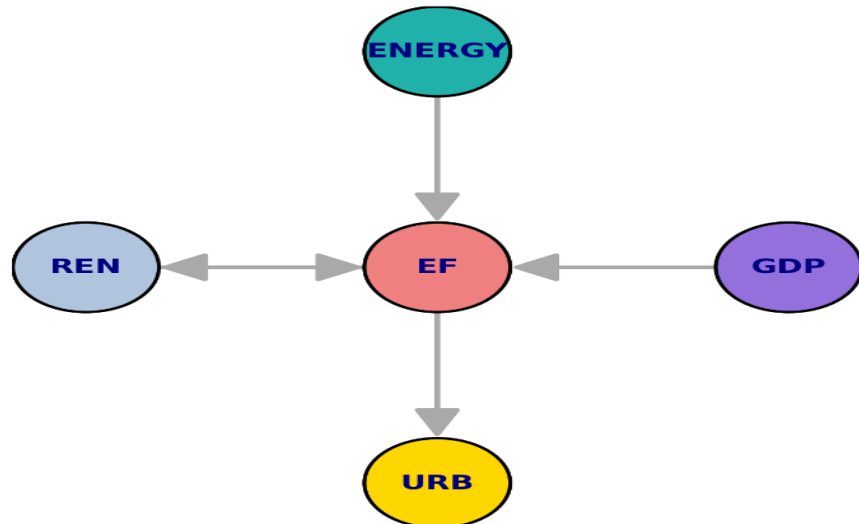
Tablo 8. Dumitrescu Hurlin Nedensellik Testi

Çift	Boş Hipotez: Nedensellik Yok	İstatistikler			Karar
		W-bar	Z-bar	Z-bar tilde	
1	EF ve GDP	5.9828	5.2687***	4.2485***	Reddedildi
2	GDP ve EF	1.4305	-0.7534	-0.8293	Kabul Edildi
3	EF ve ENERGY	2.9331	1.2344	0.8469	Kabul Edildi
4	ENERGY ve EF	2.3926	2.6053***	2.1549**	Reddedildi
5	EF ve REN	8.3141	8.3527***	6.8490***	Reddedildi
6	REN ve EF	6.9184	6.5064***	5.2922***	Reddedildi
7	EF ve URB	7.5294	7.3147***	5.9738***	Reddedildi
8	URB ve EF	6.0207	5.3189***	4.2909***	Reddedildi

Not: ***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyindeki anlamlılığı açıklar.

Tablo 8, EF ve ek faktörleri içeren çeşitli değişken çiftleri için Dumitrescu-Hurlin nedensellik testinin sonuçlarını sunmaktadır. Bu yöntem, heterojenlik faktörlerini dikkate alarak panel veri bağlamında Granger nedenselliğini analiz etmektedir. EF ile GDP arasındaki ilişki, EF'den GSYİH'ye önemli bir nedensel etki olduğunu gösterir sıfır hipotezini reddetmektedir. Bu durumda GDP'den EF'ye bir etki olduğunu göstermektedir. Ayrıca, EF'den ENERGY'ye önemli bir nedensellik olmadığını, tablodaki değerlerden anlaşılmaktadır. Tersine, ENERGY'den EF'ye önemli bir nedensellik vardır, Z-bar değeri 2.6053 ve hem %1 hem de %5 seviyelerinde anlamlı p-değerleri ile birlikte, sıfır hipotezinin reddedilmesine yol açar. EF ve REN, her iki yönde de Z-bar değerleri kritik değerlerden yüksek olduğundan, her iki durumda nedensellik yokluğu hipotezinin reddedilmesine yol açarak önemli iki yönlü nedensellik sergilemektedir. EF ve URB, her iki yönde de Z-bar değerleriyle gösterildiği gibi, iki yönlü nedensellik sergilemektedir ve bu durum, sıfır hipotezinin reddedilmesine yol açmaktadır. Bulgular, bazı değişkenlerin EF ile tek yönlü nedensellik gösterdiği, diğerlerinin ise iki yönlü korelasyonlar sergilediği karmaşık nedensel ilişkileri ortaya koymaktadır.

Şekil 2'de ekolojik ayak izinin merkezde olduğu ve diğer değişkenlerle olan ilişkisini yansıtmaktadır. Ekolojik ayak izinin yenilenebilir enerji tüketimi ile çift yönlü bir nedensellik ilişkisi ortaya konmaktadır. Ekolojik ayak izinden kentleşme değişkenine doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisinin olduğu sonucuna ulaşılrken, enerji tüketimi ve kişi başına gelirden ekolojik ayak izine doğru tek yönlü bir nedensellik olduğu gösterilmektedir.

**Şekil 2.** Dumitrescu-Hurlin Nedensellik İlişkisi

5. Sonuç ve Politika Önerileri

Bu çalışma, 1990'dan 2021'e kadar G7 ülkeleri arasında bir panel çerçevesinde ekonomik büyüme ile hem yenilenebilir hem de yenilenemez enerji tüketimi, kentleşme ve ekolojik ayak izi arasındaki ilişkiyi analiz etmektedir. Panel veri analizinde kesitsel

bağımlılık ve eğim heterojenliğini ele alan ikinci nesil birim kök testleri, eşbütünleşme testi, katsayı tahminci testleri ve panel nedensellik testi uygulanması elde edilen sonuçların daha tutarlı olmasını sağlamıştır. İlk olarak dört farklı yatay kesit bağımlılığı testi ile serilerin kesit bağımlılığı sorunu taşıdıkları sonucuna ulaşılmıştır. Ardından eğim homojenliğinin sınanması için Pesaran ve Yamagata (2008) eğim homojenliği testi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre eğim heterojenitesi sorunu ile karşılaşılmaktadır. Bu noktadan itibaren kesit bağımlılığı ve heterojenlik kısıtları altında daha tutarlı sonuçlar veren ikinci nesil testlerin uygulanmasına geçilmiştir. Bu kapsamda durağanlığın sınanması için CIPS birim kök testi uygulanmıştır. Ve değişkenlerin birinci farklarında durağanlaştıkları sonucuna varılmıştır. Ardından açıklayıcı değişkenlerin bağımlı değişkenle uzun dönemde birlikte hareket edip etmediklerinin sınanması için ikinci nesil eşbütünleşme testlerinden olan Westerlund (2006) eşbütünleşme testi uygulanmıştır. Test sonucunda serilerin eşbütünleşik olduğu sonucuna varılmıştır. Ardından uzun dönem katsayıların tahmin edilmesi için AMG ve CCEMG testleri kullanılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen bulgulara göre, ekonomik büyümenin ve enerji tüketiminin ekolojik ayak izini önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Bu sonuç ise, ekonomik büyümenin ve fosil yakıt kullanımının çevre üzerindeki zararlı etkilerini vurgulayan önceki araştırmalarla Ehrlich ve Holdren (1971) ve York vd. (2003) uyumludur. Bu duruma ek olarak, yenilenebilir enerji kullanımı ekolojik ayak izinde istatistiksel olarak anlamlı sonuç göstermemektedir Kentleşme ise G7 ülkelerinde ekolojik ayak izini azalttığı sonucuna ulaşılmaktadır. En son uygulanan panel nedensellik testi Dumitrescu-Hurlin testidir. Elde edilen sonuçlara göre yenilenebilir enerji ve çevre arasında çift yönlü bir ilişki varken, diğer değişkenler ve çevre arasında tek yönlü bir ilişkinin sonucuna ulaşılmıştır.

Ekonomik büyüme ve enerji tüketiminin ekolojik ayak izini artırıcı etkisi çevresel olumsuz bir durumla karşı karşıya kalındığını göstermektedir. Bu iki kavram birbirini destekleyen, ekonomik büyümenin enerji tüketimini artırması enerji tüketiminin ise ekonomik büyümeyi artırıcı karşılıklı etkilerinden dolayı uygulanacak politikalar anlamında birlikte ele alınmaları daha efektif olacaktır. Bu noktada G7 ülkelerinde politika yapıcılarının sürdürülebilir kalkınma politikalarını yeşil ekonomik büyümeyi teşvik edecek şekilde yönlendirmeleri gerekmektedir. Ayrıca kentleşmenin ekolojik yaşam üzerinde olumlu etkisini gösterir bulgulara dayanarak, G7 ülkelerinin gelişmişlik seviyesinin yüksek olması yüksek kentleşme düzeylerini de beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda kentleşmenin bu ülkelerde artması belirli bir düzeyin üzerinde gerçekleştiği için olumlu etkileri görülmektedir. Bu ülke grubunda kentleşmenin teşvik edilmesi çevre için yararlı olacaktır. Çalışma genelinde elde edilen sonuçlara göre mevcut literatüre G7 ülkeleri kapsamında ekolojik ayak izini etkileyen kişi başına gelir, enerji tüketimi ve kentleşme faktörlerinden elde edilen bulguların olumlu katkı sağlaması beklenmektedir. Çalışmanın bazı aşamalarında değişken belirleme konusunda birtakım kısıtlarla karşılaşılmıştır. Sonraki araştırmalar için ise ekolojik ayak izinin farklı alt göstergelerinin kullanılması literatüre farklı bir bakış sunabilecektir. Ayrıca yeşil inovasyon kavramı bağlamında modele bu durumu açıklayıcı değişkenler ekleyerek literatürün daha da genişletilmesine olanak sağlanacaktır.

Kaynakça

- Ahmed, S., & Jones, P. (2021). Financial incentives and clean technology adoption: Their role in ecological footprint reduction. *Ecological Economics*, 180, 106890.
- Al-mulali, U., & Ozturk, I. (2015). The effect of energy consumption, urbanization, trade openness, industrial output, and the political stability on the environmental degradation in the MENA (Middle East and North African) region. *Energy*, 84, 382-389.
- Alola, A. A., Bekun, F. V., & Sarkodie, S. A. (2019). Dynamic impact of trade policy, economic growth, fertility rate, renewable and non-renewable energy consumption on ecological footprint in Europe. *Science of the Total Environment*, 685, 702-709.

- Bai, X. (2007). Integrating global environmental concerns into urban management: The scale and readiness arguments. *Journal of Industrial Ecology*, 11(2), 15-29.
- Bilgili, F., Koçak, E., & Bulut, Ü. (2016). The dynamic impact of renewable energy consumption on CO2 emissions: A revisited Environmental Kuznets Curve approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 838-845.
- Bithas, K., & Christofakis, M. (2006). Environmental management in urban areas: Challenges and perspectives for sustainable development. *Environment, Development and Sustainability*, 8(3), 417-435.
- 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.
- Charfeddine, L., & Mrabet, Z. (2017). The impact of economic development and social-political factors on ecological footprint: A panel data analysis for 15 MENA countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 138-154.
- Chen, H., Tackie, E. A., Ahakwa, I., Musah, M., Salakpi, A., Alfred, M., & Atingabili, S. (2022). Does energy consumption, economic growth, urbanization, and population growth influence carbon emissions in the BRICS? Evidence from panel models robust to cross-sectional dependence and slope heterogeneity. *Environmental Science and Pollution Research International*, 29(25), 37598-37616.
- Dietz, T., & Rosa, E. A. (1997). Effects of population and affluence on CO2 emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 94(1), 175-9.
- Dogan, E., & Seker, F. (2016). The influence of real output, renewable and non-renewable energy, trade and financial development on carbon emissions in the top renewable energy countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1074-1085.
- Dumitrescu, E. I., & Hurlin, C. (2012). Testing for Granger non-causality in heterogeneous panels. *Economic Modelling*, 29(4), 1450-1460.
- Dworatzek, P., Miller, E., Lo, K., Howarth, E., & Kazubowski-Houston, S. (2024). National Ecological Footprint and Biocapacity Accounts, 2024 Edition. (Version 1.0). [Data set and metadata]. Produced for Footprint Data Foundation by York University Ecological Footprint Initiative in partnership with Global Footprint Network.
- Eberhardt, M. & Teal, F. (2010). *Productivity Analysis in Global Manufacturing Production*. University of Oxford, Department of Economics.
- Ehrlich, P. R., & Holdren, J. P. (1971). Impact of Population Growth. *Science*, 171(3977), 1212-1217.
- Energy Institute. (2023). Primary energy consumption per capita. Available from: <http://www.energyinstitute.org/data>.
- Galli, A., Wackernagel, M., Iha, K., & Lazarus, E. (2014). Ecological Footprint: Implications for biodiversity. *Biological Conservation*, 173, 121-132.
- Garcia, M., & Rivas, D. (2002). Energy efficiency policies and their environmental impacts: A European perspective. *Energy Policy*, 150, 112448.
- Global Footprint Network. (2023). Country Trends and Data for G7.
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic Growth and the Environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353-377.
- Huang, Y., Haseeb, M., Usman, M. & Ozturk, I. (2022). Dynamic association between ICT, renewable energy, economic complexity and ecological footprint: Is there any difference between E-7 (developing) and G-7 (developed) countries?. *Technology in Society*, 68, 101853.
- Im, K. S., Pesaran, M. H., & Shin, Y. (2003). Testing for unit roots in heterogeneous panels. *Journal of Econometrics*, 115(1), 53-74.
- IPCC. (2014). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jorgenson, A. K. (2012). The sociology of ecologically unequal exchange and carbon dioxide emissions, 1960-2005. *Social Science Research*, 41(2), 242-252.
- Khan, Z., Malik, M. Y., & Latif, K. (2022). Renewable energy and its role in mitigating ecological degradation in G20 countries. *Renewables and Sustainable Energy Reviews*, 154, 111792.
- Koç, S. & Savaş, Y. (2024). Ekonomik büyüme, ticari açıklık ve ekolojik ayak izi arasındaki ilişkinin incelenmesi: Türkiye'den kanıtlar, *Politik Ekonomik Kuram*, 8(4), 1063-1073.
- Koçak, E. (2024). Yenilenebilir enerjinin ekolojik ayak izi üzerine etkisi: Türkiye örneği, *Politik Ekonomik Kuram*, 8(1), 256-265.

- Li, R. & Wang, X., & Wang, Q. (2022). Does renewable energy reduce ecological footprint at the expense of economic growth? An empirical analysis of 120 countries. *Journal of Cleaner Production*, 346, 131207.
- Liddle, B., & Lung, S. (2010). Age-structure, urbanization, and climate change in developed countries: Revisiting STIRPAT for disaggregated population and consumption-related environmental impacts. *Population and Environment*, 31(5), 317-343.
- Majeed, M. T., & Mazhar, M. (2021). Digital economy and environmental sustainability: The role of innovation and growth. *Sustainable Development*, 29(3), 473-485.
- Musah, M., Owusu-Akomeah, M., Boateng, F., Iddris, F., Mensah, I. A., Antwi, S. K., & Agyemang, J. K. (2022). Long-run equilibrium relationship between energy consumption and CO2 emissions: a dynamic heterogeneous analysis on North Africa. *Environmental Science and Pollution Research International*, 29(7), 10416–10433.
- OECD (2022). Environmental Policies in G7 Countries: Toward Sustainability.
- Onwe, J.C., Bandyopadhyay, A., Hamid, I., Rej, S., & Hossain, E. (2023). Environment sustainability through energy transition and globalization in G7 countries: What role does environmental tax play?, *Renewable Energy*, 218, 119302.
- Panayotou T., (1993). Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development. World Employment Programme Research. Working Paper WP238.
- Pata, U. K., & Hizarci, A. (2022). Urbanization, energy consumption, and ecological footprint nexus: evidence from panel data analysis. *Journal of Environmental Economics and Policy Studies*, 20(4), 123-145.
- Pesaran, M. H. (2004). General Diagnostic Tests for Cross-Sectional Dependence in Panels. CESifo Working Paper Series No. 1229.
- Pesaran, M. H. (2006). Estimation and Inference in Large Heterogeneous Panels with a Multifactor Error Structure. *Econometrica*, 74(4), 967-1012.
- 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., & Yamagata, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels. *Journal of Econometrics*, 142(1), 50-93.
- Pesaran, M.H., Ullah, A., and Yamagata, T. (2008). A Bias-Adjusted LM Test of Error Cross-Section Independence. *The Econometrics Journal*, 11(1), 105-127.
- Rafique, M.Z., Fareed, Z., Ferraz, D., Ikram, M. & Huang, S. (2022). Exploring the heterogenous impacts of environmental taxes on environmental footprints: An empirical assessment from developed economies, *Energy*, 238(A), 121753.
- Sadorsky, P. (2009). Renewable energy consumption and income in emerging economies. *Energy Policy*, 37(10), 4021–4028.
- Sahoo, M., & Sethi, N. (2021). The intermittent effects of renewable energy on ecological footprint: evidence from developing countries. *Environmental Science and Pollution Research International*, 28(40), 56401–56417.
- Seto, K. C., Guneralp, B., & Hutyra, L. R. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(40), 16083–16088.
- 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.
- Shi, X. & Matsui, T., & Machimura, T., & Gan, X., & Hu, A. (2020). Toward Sustainable Development: Decoupling the High Ecological Footprint from Human Society Development: A Case Study of Hong Kong. *Sustainability*, 12, 4177.
- Stern, D. I. (2004). The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve. *World Development*, 32(8), 1419–1439.
- Stiglitz, J. E. (2019). Addressing climate change through price and non-price interventions. *European Economic Review*.
- Sun, Y., Li, Q., & Zhou, H. (2021). Urbanization and environmental degradation: Lessons from developing countries. *Urban Studies*, 58(5), 910-929.
- Tang, Z. & Xu, W. (2021). Urban density and ecological footprint: An assessment of eco-friendly practices. *Environmental Research*, 200, 111369.
- Ulucak, R., & Bilgili, F. (2018). A reinvestigation of EKC model by considering trade openness, financial development, and renewable energy: A global panel data analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(2), 20204-20219.
- Ülger M., Uçar M., Atamer M. A., & Apaydın Ş. (2024). Kentleşme, yenilenebilir enerji ve inovasyon ile ekonomik büyüme ve ekolojik ayak izi arasındaki nedensellik ilişkileri: çok yüksek insani gelişme düzeyindeki ülkeler örneği. *Politik Ekonomik Kuram*, 8(2), 449-462.
- Valderrama, C., Diaz, L., & Ceron, A. (2024). Trends of the ecological footprint and urban development: A systematic and bibliometric review. *Ecological Frontiers*, 44, 865-873.

- Wackernagel, M., & Rees, W. E. (1996). Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth, New Society Publishers.
- Wang, S., Li, Q., Fang, C., & Zhou, C. (2018). The relationship between economic growth, energy consumption, and CO2 emissions: Empirical evidence from China. *Science of the Total Environment*, 639, 293-302.
- Wang, Y., Chen, X., & Liu, Q. (2021). Economic growth, digitalization, and ecological sustainability in Asia: A panel data analysis. *Journal of Environmental Management*, 285, 112084.
- Westerlund, J. (2007). Testing for Error Correction in Panel Data. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 69(6), 709-748.
- Wiedmann, T., & Barrett, J. 2010. A Review of the Ecological Footprint Indicator, Perceptions and Methods. *Sustainability*, 2(6), 1645-1693.
- WDI. (2024). World Development Indicators. Databank.
- York, R., Rosa, E. A., & Dietz, T. (2003). STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts. *Ecological Economics*, 46(3), 351-365.
- Zhang, Z., & Cheng, Z. (2015). Does urbanization reduce ecological footprints? Evidence from Chinese cities. *Sustainability*, 7(5), 5324-5338.
- Zhou, R., Abbasi, K. R., Salem, S., Almulhim, A. I., & Alvarado, R. (2022). Do natural resources, economic growth, human capital and urbanization impinge upon the ecological footprint? A modified dynamic ARDL and KRLS approach. *Resources Policy*, 78, 102782.

Çıkar Çatışması: Yoktur.

Finansal Destek: Yoktur.

Etik Onay: Yoktur.

Yazar Katkısı: Aykut YAĞLIKARA (%100)

Conflict of Interest: None.

Funding: None.

Ethical Approval: None.

Author Contributions: Aykut YAĞLIKARA (100%)
