

Kaynakların Etkin Kullanımında Dijital Dönüşümün Rolü

Hüseyin Şentürk¹ 

ÖZET

Amaç: Bu çalışma, 2008-2022 döneminde Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde kaynak verimliliğini artırmada dijitalleşme, araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) faaliyetleri ve çevresel vergilerin rolünü ampirik olarak incelemeyi amaçlamaktadır.

Yöntem: Çalışma, belirlenen dönemdeki verileri kullanarak Panel ARDL (AutoRegressive Distributed Lag) modeli ile ampirik analizler gerçekleştirmiştir. Bu yöntem, değişkenler arasındaki hem kısa hem de uzun dönemli dinamik ilişkileri tespit etmeye olanak tanımıştır.

Bulgular: Elde edilen bulgular, uzun dönemde dijitalleşmenin her iki boyutu (İnsan Sermayesi Endeksi ve Çevrimiçi Hizmetler Endeksi), Ar-Ge harcamaları ve çevresel vergilerin kaynak verimliliği üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Kısa dönemde ise, özellikle İnsan Sermayesi Endeksi ve Ar-Ge harcamalarının marjinal etkileri negatif veya anlamsız bulunmuş; çevresel vergilerin kısa dönemde kaynak verimliliğine negatif etkisi, geçiş süreçlerindeki başlangıç zorlukları ve adaptasyon maliyetleri ile açıklanmıştır.

Özgünlük: Bu çalışma, AB üye ülkelerindeki kaynak verimliliği literatürüne, dijitalleşmenin iki farklı boyutunu (insan sermayesi ve çevrimiçi hizmetler) ve çevresel vergileri eş zamanlı olarak Panel ARDL modeli ile ele alarak önemli bir katkı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kaynak Verimliliği, Dijitalleşme, Panel ARDL.

JEL Kodları: O13, C33, C40.

The Role of Digital Transformation in the Efficient Use of Resources

ABSTRACT

Purpose: This study aims to empirically examine the role of digitalization, research and development (R&D) activities and environmental taxes in improving resource efficiency in European Union (EU) states over the period 2008-2022.

Methodology: The study conducts empirical analyses with the Panel ARDL (AutoRegressive Distributed Lag) model using data from the specified period. This methodology allowed to identify both short-run and long-run dynamic relationships between variables.

Findings: The findings show that in the long run, both dimensions of digitalization (Human Capital Index and Online Services Index), R&D expenditures and environmental taxes have a positive and statistically significant effect on resource productivity. In the short-run, the marginal effects of the Human Capital Index and R&D expenditures were found to be negative or insignificant, while the negative effect of environmental taxes on resource productivity in the short-run was explained by the initial difficulties in transition processes and adaptation costs.

Originality: This study makes an important contribution to the literature on resource productivity in EU member states by simultaneously addressing two different dimensions of digitalization (human capital and online services) and environmental taxes with a Panel ARDL model.

Keywords: Resource Efficiency, Digitalization, Panel ARDL.

JEL Codes: O13, C33, C40.

¹ Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Hüseyin Şentürk, huseyinsenturk@tuik.gov.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1711925

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 02.06.2025 | Kabul / Accepted: 28.07.2025

Atıf/Cite: Şentürk, H. (2025). "Kaynakların Etkin Kullanımında Dijital Dönüşümün Rolü", *Verimlilik Dergisi*, 59(4), 757-768.

EXTENDED ABSTRACT

Resource efficiency is emerging as a key element in achieving sustainable development goals. Especially in regions such as the European Union (EU) that prioritize environmental sustainability, striking a balance between economic growth and the efficient use of natural resources is a critical policy area. Digitalization, research and development (R&D) activities, and environmental taxes are increasingly important tools for achieving this balance. Digital technologies hold the potential to optimize production and consumption processes, while R&D investments encourage the development of innovative, environmentally friendly solutions. Environmental taxes, on the other hand, aim to reduce environmental externalities through market-based mechanisms.

This study aims to examine the effects of digitization, R&D expenditures, and environmental taxes on resource efficiency in EU member countries using panel data from 2008 to 2022. Digitalization is examined in two dimensions: The Human Capital Index and the Online Services Index. The primary objective of the study is to reveal the long- and short-term effects of these factors on resource efficiency and to provide guiding findings for sustainable development policies.

The Panel ARDL (Autoregressive Distributed Lag) model was used in the empirical analysis. This method allows for the analysis of both short-term and long-term relationships and tests for cointegration between variables. The dependent variable was resource efficiency (the ratio of real GDP to natural resource consumption), while the independent variables were digitalization indicators, the share of R&D expenditures in GDP, and the ratio of environmental taxes to GDP. The error correction model (ECM) was also used to assess the system's speed of convergence to equilibrium.

Long-term analysis results show that both dimensions of digitalization, R&D expenditure and environmental taxes, have positive and statistically significant effects on resource efficiency. The Human Capital Index increases the capacity of individuals and institutions to optimize energy and material consumption through the effective use of digital tools. The Online Services Index improves resource use by increasing transparency and efficiency in public services. R&D expenditures support the development of environmentally friendly technologies and production processes, while environmental taxes encourage companies to adopt more sustainable behaviors in line with the "polluter pays" principle.

In the short term, however, the effects of some variables have been found to be limited or negative. In particular, digitalization and R&D expenditures can negatively affect resource efficiency in the short term due to learning curves, infrastructure costs, and delayed benefits. The short-term negative effect of environmental taxes can be explained by the difficulties companies face in adapting to new tax burdens.

Long-term findings are consistent with similar studies in the literature and confirm that digitization, innovation, and environmental taxation policies are effective tools for increasing resource efficiency. Short-term findings, on the other hand, indicate that transition processes need to be carefully managed. Digital infrastructure investments and R&D projects may initially incur additional costs; however, over time, the returns on these investments are quite high in terms of resource efficiency. The short-term negative effects of environmental taxes can be mitigated with transition support.

In conclusion, this study comprehensively analyzes the effects of digitalization, R&D, and environmental taxes on resource efficiency, offering strategic recommendations for sustainable development policies. Increasing investments in these areas will provide both economic and environmental benefits for policymakers.

1. GİRİŞ

Günümüzün küresel ekonomik ve çevresel sorunları, sınırlı doğal kaynakların sürdürülebilir şekilde yönetilmesi ile ilgili acil bir öncelik yaratmaktadır. Bu çerçevede, kaynak etkinliği kavramı, hem ekonomik gelişmenin sürdürülmesi hem de ekolojik dengenin sağlanması açısından kritik bir öneme sahiptir. Kaynak verimliliği, basitçe, birim ekonomik çıktı için harcanan kaynak miktarını azaltmayı veya başka bir şekilde ifade etmek gerekirse, doğadan elde edilen madde başına üretilen çıktı ile ölçülen ekonomik faaliyetlerin çevresel etkisini azaltma yeteneğini belirtir. Artan nüfus, yükselen tüketim alışkanlıkları ve sınırlı doğal kaynaklar ışığında, kaynak verimliliğini artırmak, sadece ekonomik rekabet için değil, aynı zamanda iklim değişikliği, biyoçeşitlilik kaybı ve kaynak kıtlığı gibi küresel çevre sorunlarıyla başa çıkmak için de zorunlu bir stratejidir. Bu karmaşık dinamik içinde, teknolojik gelişmelerin, yenilikçi yöntemlerin ve rasyonel politika araçlarının kaynak verimliliği üzerindeki etkilerini kapsamlı bir şekilde kavramak, sürdürülebilir bir gelecek oluşturma açısından önemli bir adımdır.

Küresel düzlemde, özellikle Avrupa Birliği gibi gelişmiş ekonomilerde, kaynak eksikliği ve çevresel tehditler, sürdürülebilir üretim ve tüketim yöntemlerine geçişi zorunlu hale getirmektedir. Doğal kaynakların fazla kullanımı ve atık üretimi, yalnızca ekolojik dengenin bozulmasına neden olmakla kalmaz, aynı zamanda uzun vadede ekonomik istikrarı da tehdit eder. Bu sebeple, ulusal ve uluslararası seviyedeki politikalar, kaynak etkinliğini artırmaya yönelik yenilikleri ve yatırımları desteklemeyi amaçlamaktadır. Bu çerçevede, dijital teknolojilerin hızla yaygınlaşması, araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) faaliyetlerine artan yatırımlar ve çevresel vergiler gibi piyasa odaklı araçlar, bu dönüşümün temel unsurları olarak öne çıkmaktadır. Modern ekonomilerde kaynakların verimliliğini etkileyen unsurlar arasında teknolojik ilerlemeler, Ar-Ge yatırımları, dijital dönüşüm süreçleri ve çevresel politika araçları önemli bir yer tutmaktadır (Stahel, 2019: 62-63; Zhang ve diğerleri, 2021).

Son dönemde meydana gelen dijital devrim, dünya ekonomisini ve sosyal hayatı derinlemesine değiştirmiş, bununla birlikte kaynak verimliliği imkanını da büyük ölçüde yükseltmiştir. Dijitalleşme, Endüstri 4.0, nesnelerin interneti, yapay zekâ ve büyük veri analizi gibi teknolojiler, üretim süreçlerini daha akıllı, esnek ve optimize ederek madde ve enerji israfını azaltma imkânları sunmaktadır (Schwab, 2024: 29). Dijitalleşme, ekonomik süreçlerin iyileştirilmesi, kaynak yönetiminin takibi ve etkinliğin yükseltilmesi alanında çarpıcı değişimlere neden olmuştur (Lange ve diğerleri, 2020). E-devlet uygulamaları, dijital altyapı yatırımları ve insan kaynağının dijital yetkinliklerle güçlendirilmesi, hem kaynakların verimli kullanımını artırmakta hem de sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada önemli işlevler üstlenmektedir (Birleşmiş Milletler, 2022: 165-168).

Bu çalışmada dijitalleşmenin kaynak verimliliği üzerindeki etkisini analiz etmek amacıyla Birleşmiş Milletler E-Devlet Gelişim Endeksi (EGDI) kapsamındaki iki ana göstergeye odaklanılmıştır:

- İnsan Sermayesi Endeksi (ISE),
- Çevrimiçi Hizmetler Endeksi (CHE).

ISE, bir toplumun dijital aletleri kullanma ve bunlardan yararlanma becerisini, eğitim ve okuryazarlık seviyeleri aracılığıyla gösterirken, CHE, hükümetlerin dijital teknolojileri e-yönetim ve kamu katılımını artırma düzeyini analiz eder. Yüksek dijital okuryazarlık ve yeterlilik, kaynakların daha bilinçli ve etkili kullanılmasına yardımcı olurken; gelişmiş çevrimiçi hizmetler, kamu hizmetlerinde verimliliği ve şeffaflığı artırarak kaynak israfını engelleyebilir (Gil-Garcia ve diğerleri, 2018). Dijitalleşmenin bu yönleri, akıllı enerji yönetimi, döngüsel ekonomi uygulamaları ve optimize edilmiş tedarik zincirleri gibi yöntemler ile kaynak verimliliğini artırma kapasitesine sahiptir.

Araştırma ve geliştirme çalışmaları, ekonomik gelişimin ve çevresel etkinliğin artırılmasının önemli motorlarından biridir (Popp, 2002; Griliches, 2007: 363). Kaynak verimliliği açısından Ar-Ge, yeni maddelerin bulunması/kullanılması, enerji verimli teknolojilerin tasarlanması, atık yönetimi ve geri dönüşüm süreçlerinin geliştirilmesi gibi konularda devrim niteliğinde yenilikler teşvik eder. Bu çalışmada Ar-Ge'nin önemi, Ar-Ge harcamalarının gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH) içindeki oranı ile analiz edilmiştir. Ar-Ge yatırımları, daha az kaynakla daha fazla değer elde etmeyi sağlayan teknolojik ve süreç yeniliklerini mümkün kılar; bu da üretim süreçlerinin optimizasyonunu, ürün kullanım ömrünün uzatılmasını ve kaynak geri kazanımını artırmayı destekler (Jaffe ve diğerleri, 2005). Kamusal ve özel sektör araştırma-geliştirme işbirlikleri, çevre performansını iyileştiren yeşil teknolojilerin geliştirilmesi ve pazara sunulması için uygun bir zemin oluşturarak, doğal kaynaklar üzerindeki yükü azaltır ve ekonomik büyümeyi sürdürülebilir hale getirir (Johnstone ve Labonne, J, 2009).

Sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada politika yapımcıların başvurduğu önemli araçlardan biri çevresel vergilerdir. Bu vergiler, çevresel dışsallıkların maliyetlerini içselleştirerek "kirleten öder" ilkesini hayata geçirir ve işletmeler ile tüketicileri daha çevre dostu hareketler sergilemeye teşvik etmeyi hedefler (Goulder, 1995; Pigou, 2017: 193-196). Bu çalışmada, çevresel vergilerin kaynak kullanım verimliliği üzerindeki olası

etkisi, çevresel vergi gelirlerinin GSYH'ye oranı göstergesi ile incelenmiştir. Çevresel vergiler, enerji kullanımı, su tüketimi ya da atık üretimi gibi çevresel etkileri taşıyan işlemleri fiyatlandırarak, kaynakların daha etkin bir biçimde kullanılmasını destekler. Karbon ve enerji vergileri, enerji yoğun endüstrileri daha az enerji tüketen teknolojilere yönlendirirken, atık vergileri ise atık oluşumunu azaltma ve geri dönüşüm oranlarını artırma konusunda teşvik sağlar (OECD, 2011: 50, 237).

Bu çalışmada, Avrupa Birliği (AB) üye ülkelerine ait 2008-2022 dönemine ait panel veriler kullanılarak, dijitalleşmenin (İnsan Sermayesi Endeksi ve Çevrimiçi Hizmetler Endeksi), araştırma ve geliştirmenin (Ar-Ge harcamalarının GSYH'ye oranı) ve çevresel vergilerin (çevresel vergi gelirlerinin GSYH'ye oranı) kaynak verimliliği (doğadan çıkarılan madde başına üretilen çıktı) üzerindeki uzun ve kısa dönemli etkileri değişkenler arasındaki dinamik ilişkileri ve uzun dönemli nedensellik bağlarını tespit etmede kullanılabilecek Panel Otoregresif Dağıtılmış Gecikme (Panel ARDL) modeli ile incelenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde dijitalleşme, Ar-Ge ve çevresel vergilerin kaynak verimliliği üzerindeki etkilerine dair literatür tartışılmıştır. Üçüncü bölümde veri seti ve Panel ARDL yöntemi açıklanmış, dördüncü bölümde analiz bulguları sunulmuştur. Beşinci bölümde ise bu bulgular ışığında genel değerlendirmeler yapılmış ve politika önerileri geliştirilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Kaynak verimliliği, ekonomik büyüme ile çevresel sürdürülebilirlik arasındaki dengenin sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Kaynak verimliliği, ekonomik üretimin gerçekleştirilmesi için harcanan doğal kaynakların miktarını en aza indirme yeteneği olarak tanımlanmaktadır (Fischer-Kowalski ve diğerleri, 2011). Literatürde, kaynak verimliliğinin çoğunlukla yurtiçi madde kullanımı (DMC) başına ekonomik çıktı ya da doğal kaynak tüketim yoğunluğu gibi göstergelerle değerlendirildiği gözlemlenmektedir (Eurostat, 2001: 37). Bu kavram, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada temel bir rol üstlenmekte ve doğal kaynakların azalması ile çevresel tahribat gibi küresel sorunların çözümü için bir yol sunmaktadır. Fischer-Kowalski (2011), çalışmasında kaynakların verimli kullanılmasının artırılması sadece teknolojik gelişmelerle değil, aynı zamanda üretim ve tüketim alışkanlıklarındaki yapısal değişikliklerle de sağlanabildiğini ortaya koymuştur. Krausmann ve diğerleri (2009), global madde akışları üzerine gerçekleştirdikleri detaylı incelemede, kaynak verimliliğinin zaman içerisinde gelişimini araştırmışlardır. Çalışma, 1900-2005 yılları arasında dünya genelinde kaynak tüketiminin ekonomik büyümeye göre daha hızlı bir şekilde arttığını ve mutlak ayrışmanın yalnızca belirli dönemlerde yaşandığını göstermiştir. Bu sonuçlar, kaynak verimliliğinin artırılmasında sistematik yöntemlerin gerekliliğini ön plana çıkarmaktadır. Daly (1997), ekolojik ekonomi çerçevesinde kaynak verimliliğini değerlendirerek, "boş dünya" ekonomisinden "dolu dünya" ekonomisine geçişte kaynak etkinliğinin önemini belirtmiştir. Yazara göre, kaynakların daha verimli kullanılması, ekonomik refah ile çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi koparmak için gereken fakat tek başına yeterli olmayan bir gerekliliktir.

Son yıllarda dijital teknolojilerin kaynak verimliliği üzerindeki etkisi araştırmacılar tarafından büyük ilgi görmektedir. Endüstri 4.0, nesnelerin interneti, yapay zeka ve büyük veri gibi dijital teknolojiler, üretim süreçlerinde iyileştirme, enerji tasarrufu ve atıkları azaltma olanakları sağlamaktadır (Ghobakhloo, 2020). Akıllı sensörler ve izleme sistemleri, enerji ve su harcamalarını anlık olarak gözlemleyerek verimsizlikleri belirleme ve düzeltme fırsatı sağlamaktadır (D'Adamo ve diğerleri, 2022). Dijitalleşme, tedarik zinciri yönetimini daha etkin ve şeffaf hale getirip, madde israfını ve nakliyeden kaynaklanan emisyonları azaltabilmektedir (Kamble ve diğerleri, 2019). Ayrıca, paylaşım ekonomileri ve dijital platformlar, atıl kaynakların daha verimli kullanılmasına katkıda bulunarak döngüsel ekonomi ilkelerini desteklemektedir (Frenken ve Schor, 2017). Hilty ve Aebischer (2015), bilgi ve iletişim teknolojilerinin çevresel etkilerini birincil, ikincil ve üçüncül etkiler şeklinde sınıflandırmışlardır. Birinci derece etkiler, bilgi ve iletişim teknolojilerinin çevresel maliyetlerini doğrudan, ikinci derece etkiler verimlilik artışlarını, üçüncü derece etkiler ise uzun vadeli yapısal değişimleri ifade eder. Yazarlar, ikinci derece etkilerin kaynak verimliliğini artırma potansiyelinin yüksek olduğunu ifade ederken, üçüncü derece etkilerin bu kazanımları zayıflatılabileceğini vurgulamışlardır. Lange ve diğerleri (2020), enerji tüketimi üzerindeki dijitalleşmenin etkilerini meta-analiz tekniğiyle araştırmışlardır. 57 çalışmayı içeren analiz, bilgi ve iletişim teknolojilerinin enerji tasarrufu sağlama kapasitesinin yüksek olduğunu ancak bu kapasitenin sınırlı kaldığını ortaya koymaktadır. Araştırma, dijital teknolojilerin kaynak verimliliğine etkisinin sektör ve coğrafi açıdan farklılıklar sergilediğini göstermiştir. Mondejar ve diğerleri (2021), dijital ekonominin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini OECD ülkeleri açısından incelemişlerdir. Panel veri analizi bulguları, dijital altyapı yatırımlarının kısa dönemli kaynak kullanımını artırdığını, fakat uzun dönemli verimlilik artışları sağladığını ortaya koymaktadır. Yazarlar, dijital dönüşümün kaynak etkinliğine olumlu etkilerinin sağlanabilmesi için uygun politika yapılarının şart olduğunu belirtmişlerdir. Araştırma ve geliştirme aktivitelerinin kaynak verimliliği üzerinde olumlu bir etkisi olduğu literatürde genel olarak kabul edilmektedir. İnovasyon, yeni üretim yöntemlerinin, enerji tasarruflu makinelerin ve çevreye duyarlı malzemelerin ilerlemesini sağlarken, birim çıktı başına harcanan kaynak miktarını düşürür (Aghion ve Howitt, 1992). Ampirik araştırmalar, Ar-Ge

yatırımlarının, hem enerji verimliliği (Johnstone ve diğerleri, 2012) hem de genel kaynak verimliliği (Griliches, 1990) üzerinde olumlu ve önemli bir etki yarattığını göstermektedir. Özellikle, çevresel performansını geliştiren Ar-Ge çalışmaları olan yeşil inovasyonlar, kaynak tüketimini optimize etme ve atık üretimini azaltma kapasitesine sahiptir (Herman, 2023). Ar-Ge yatırımları, uzun vadede sanayi süreçlerinin dönüşümünü sağlayarak, bir ülkenin çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasında önemli bir işlev üstlenir. Popp (2002), çevreye yönelik yeniliklerle ilgili öncü araştırmasında, Ar-Ge yatırımlarının ekolojik teknolojilerin geliştirilmesindeki önemli rolünü belirtmiştir. Yazar, patent bilgilerini kullanarak çevresel yasaların Ar-Ge desteklerini artırdığını ve bunun da kaynak verimli teknolojilerin gelişimine yardımcı olduğunu ortaya koymuştur. Aghion ve Howitt (2009), içsel büyüme teorisi kapsamında Ar-Ge'nin kaynak verimliliğine etkilerini modellemişlerdir. Yazarlar, teknolojik gelişimin kaynak kullanımını en verimli hale getirdiğini ve bu süreçte Ar-Ge yatırımlarının önemli bir rol üstlendiğini teorik olarak kanıtlamışlardır. Model sonuçları, Ar-Ge yoğunluğu fazla olan ekonomilerde kaynak verimliliğinin daha çabuk ilerleyeceğini tahmin etmektedir. Hao ve diğerleri (2021), G7 ülkelerinde yeşil büyüme ile Ar-Ge, yenilenebilir enerji ve beşeri sermaye arasındaki bağlantıları araştırmışlardır. Panel ARDL analizi bulguları, Ar-Ge harcamalarının kaynak verimliliği üzerinde uzun vadede olumlu bir etki yarattığını, ancak bu etkinin ülkelerin gelişmişlik aşamasına bağlı olarak değiştiğini ortaya koymaktadır. Araştırma, Ar-Ge'nin kaynak verimliliği üzerindeki etkisinde eşik değerlerin bulunduğunu göstermiştir.

Çevresel vergiler, piyasa temelli bir politika aracı olarak, çevresel dışsallıkların maliyetlerini içselleştirerek ekonomik aktörleri daha çevre dostu davranışlar sergilemeye teşvik etmeyi amaçlar (Pigou, 2017: 193-196). Pigoucu vergiler olarak adlandırılan bu araçlar, kirliliğin ve kaynak kullanımının maliyetini yükselterek, şirketleri ve tüketicileri daha etkin kaynak kullanmaya yönlendirir (Goulder, 1995). Literatürde, karbon vergileri, enerji vergileri, atık vergileri ve su vergileri gibi farklı çevresel vergi türlerinin, kaynak verimliliği ve çevresel performans üzerinde olumlu etkiler yarattığı ifade edilmektedir (Convery, 2009; Sterner ve Coria, 2013: 73-82). Çevresel vergilerin hayata geçirilmesi, şirketlerin maliyet yapılarını değiştirip, daha az kaynak kullanarak ve daha az kirli teknolojilere yatırım yapmalarını teşvik edebilir. Bu vergilerden elde edilen gelirler, yeşil yeniliklere veya kaynak etkinliğini artıracak projelere yönlendirilerek "çifte kazanç" etkisi sağlayabilir (Freire-Gonzalez ve Ho 2018: 1). Baumol ve Oates (1988:14-36), çevresel vergilerin piyasa başarısızlıklarını düzeltmedeki önemini ayrıntılı bir şekilde açıklayarak, en uygun vergi seviyelerinin tespitine yönelik teorik bir yapı sunmuşlardır. Yazarlar, çevresel vergilerin kaynak kullanımını içselleştirdiğini ve bu durumun piyasa mekanizmalarının kaynak verimliliğini yükselttiğini ileri sürmüşlerdir. Bosquet (2000), çevresel vergi reformlarının ekonomik etkilerini Avrupa ülkelerinde araştırmıştır. Araştırma, çevresel vergilerin kaynak kullanımını azalttığını ve çifte kazanç hipotezi çerçevesinde istihdama olumlu etkiler sağladığını ortaya koymaktadır. Yazar, çevresel vergilerin etkinliğinin vergi düzenlemesine ve tamamlayıcı politikaların varlığına bağlı olduğunu belirtmiştir. Lin ve Li (2022), çevre vergilerinin temiz enerji üretiminde Çin örneği üzerinden etkilerini araştırmışlardır. Sonuçlar, çevresel vergilerin yenilenebilir enerji yatırımlarını desteklediğini ve dolaylı yoldan kaynak verimliliğinin artmasına yardımcı olduğunu göstermektedir. Araştırma, çevresel vergilerin etkinliğinde gelir seviyesinin önemli bir aracı rol üstlendiğini göstermektedir.

3. VERİ ve YÖNTEM

3.1 Veri

Dijitalleşmenin kaynak verimliliği üzerinde etkisinin araştırılması amacıyla 2008-2022 dönemi için veri mevcudiyetine göre Avrupa Birliği'ne üye olan Avusturya, Belçika, Çekya, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, Macaristan, İrlanda, İtalya, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Hollanda, Polonya, Portekiz, Slovakya, Slovenya, İspanya ve İsveç ile Norveç, Türkiye ve Birleşik Krallık verileri kullanılmıştır. Veriler OECD ve Birleşmiş Milletler veri tabanlarından elde edilmiştir. Bu amaçla kaynak verimliliği göstergesi olarak kullanılan maddelerin birim ton başına Euro cinsinden gayrisafi yurtiçi hasıla verileri kullanılmıştır. Kullanılan madde miktarları kabaca doğadan çıkarılan maddelerin ağırlıkları ile ithal edilen maddelerin ağırlıklarından ihraç edilen maddelerin ağırlıklarının çıkarılması ile hesaplanmıştır. Doğadan çıkarılan maddeler ise

- Biyokütle
- Metal cevherleri
- Metal dışı mineraller
- Fosil enerji maddeleri

olmak üzere dört ana grupta toplanmıştır. Bu maddelere ilişkin ağırlıkların toplamının gayrisafi yurtiçi hasılaya bölünmesi ile kaynak verimliliği göstergesi (KAYNAK) hesaplanmıştır. Çalışmada dijitalleşmeye ilişkin iki gösterge kullanılmıştır.

- İnsan sermayesi endeksi (ISE, Birleşmiş Milletler tarafından 0 ile 1 aralığında oluşturulan e-devletin insani boyutlarını yansıtan bir endekstir. Bu endeks dijital devlet sistemlerinin insanları tarafından ne

ölçüde kullanılabildiğini göstermektedir. Bir başka söylemle insani sermaye endeksi bir ülkede yaşayan bireylerin e-devlet olanaklarına katılmaya ve bunlardan faydalanmaya hazır olup olmadıklarını belirtmektedir.

- Çevrimiçi hizmetler endeksi (CHE), ISE'ye benzer şekilde 0 ile 1 aralığında devletlerin kamu katılımını geliştirmek için teknolojiye ne ölçüde yararlandığını belirtmektedir.

Kaynak verimliliği üzerinde etkisi olduğu düşünülen araştırma ve geliştirme faaliyetlerine ilişkin araştırma geliştirme harcamalarının GSYH içindeki payı (ARAS_GELIS) yüzde olarak kullanılırken, çevresel politikaların bir aracı olarak çevresel vergilerin GSYH'ye oranı (VERGI) yine yüzde olarak kullanılmıştır. Burada çevresel vergi gelirleri, çevre ile ilişkili olan enerji vergileri, ulaştırma vergileri, kirlilik ve kaynak vergilerinin toplamı olarak alınmıştır. Kullanılan veriler ülkelere ve zamana göre ele alındığından panel yapıdadır, genel olarak kullanılan veri setine ilişkin özet istatistikler aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Tablo 1. Özet istatistikler

	KAYNAK	ISE	CHE	ARAS_GELIS	VERGI
Ortalama	2,67	0,91	0,73	1,80	2,54
Std. Sapma	1,10	0,06	0,17	0,83	0,68
Basıklık	-0,33	-0,10	-0,69	-0,87	0,25
Çarpıklık	0,69	-0,63	-0,43	0,50	0,67
Aralık	4,67	0,28	0,71	3,25	3,78
En Küçük	0,96	0,71	0,29	0,45	0,86
En Büyük	5,64	0,99	1,00	3,71	4,64

3.2 Yöntem

Panel veri analizinde, birimler arasındaki yatay kesit bağımlılığı önemli bir sorundur. Klasik panel veri modelleri (sabit etkiler, rastgele etkiler) genellikle hata terimlerinin birimler arasında bağımsız olduğunu varsayar. Ancak, küreselleşme, ortak şoklar veya gözlemlenmeyen ortak faktörler nedeniyle bu varsayım çoğu zaman ihlal edilir. Yatay kesit bağımlılığı mevcut olduğunda, standart tahmin ediciler tutarsız ve etkin olmayan hale gelebilir, bu da yanlış çıkarımlara yol açar.

Pesaran'ın CD testi (2004), panel veri modellerinde hata terimlerinin yatay kesit bağımlılığını değerlendirmek için tasarlanmıştır. Bu test, özellikle N büyük ve T nispeten küçük olduğunda iyi performans gösterir. Testin temel yaklaşımı, her bir birimin hata terimlerinin diğer birimlerin hata terimleriyle korelasyonlu olup olmadığını incelemektir.

Pesaran CD testi, hata terimlerinin belirli bir ortak faktör yapısına sahip olduğunu varsaymaz, ancak birimler arası zayıf veya güçlü korelasyonlara izin verir. Testin temel varsayımı, regresyon denklemlerinin doğru bir şekilde belirlenmiş olması ve regresyon artıklarının elde edilmesiyle ilgilidir.

H_0 : Panelde yatay kesit bağımsızlığı yoktur.

H_a : Panelde yatay kesit bağımlılığı vardır.

CD testi, her bir birim çifti arasındaki hata terimi korelasyonlarının ortalamasına dayanır. Eğer birimler arasında yatay kesit bağımlılığı varsa, bu korelasyonların ortalaması sıfırdan anlamlı şekilde farklı olacaktır. Test için geliştirilen test istatistiği Eşitlik 1'de verilmiştir.

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

olarak ifade edilir. Burada $\tilde{\rho}_{ij}$ terimi i . ve j . birimlerin artık hata terimleri arasındaki örneklem korelasyon katsayısıdır.

Yatay kesit bağımlılık durumu aynı zamanda serilerin durağan olup olmadıklarının belirlenmesinde kullanılacak uygun testi belirlemek için gereklidir. Panel birim kök testlerini yatay kesit bağımsızlığını baz alan birinci jenerasyon testleri ile yatay kesit bağımlılığını temel alan ikinci jenerasyon testleri olarak ele almak mümkündür (Hurlin ve Mignon, 2007: 2-3).

Yatay kesit bağımlılığını dikkate alan Pesaran (2007) CIPS testi Im ve diğerleri (2003) testinin yatay kesit bağımlılığına dayanıklı hale getirilmiş bir uzantısıdır. Testin temel amacı, panel verilerindeki değişkenlerin birim kök içerip içermediğini, yani durağan olup olmadığını, birimler arası bağımlılık mevcutken belirlemektir. CIPS testi, her bir birimin genişletilmiş Dickey Fuller (1979) regresyonuna, panelin yatay kesit ortalamalarının ve bunların gecikmelerinin eklenmesiyle yatay kesit bağımlılığını dikkate alır. Burada tüm panel birimlerinde birim kök vardır boş hipotezine karşı panel birimlerin en az bir kısmında birim kök yoktur alternatif hipotezi test edilmektedir. Eşitlik 2'de belirtildiği üzere test için geliştirilen test istatistiği verilmiştir.

$$\Delta y_{it} = \alpha_i + \beta_i y_{i,t-1} + \gamma_i \bar{y}_{t-1} + \delta_i \Delta \bar{y}_t + \sum_{j=1}^{p_i} \phi_{ij} \Delta y_{i,t-j} + \sum_{j=0}^{p_i} \psi_{ij} \Delta \bar{y}_{t-j} + e_{it} \quad (2)$$

CADF regresyonunun tahmin edilmesi ile başlar. CIPS test istatistiği ise bu CADF t-istatistiklerinin ortalaması, $CIPS = N^{-1} \sum_{i=1}^N t_i(N, T)$, olarak hesaplanır.

Bu çalışmada, değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkileri incelemek amacıyla Pesaran ve diğerleri (1999) tarafından geliştirilen havuzlanmış ortalama grup (PMG) tahmin edicisi kullanılmıştır. PMG modeli, panel veri analizinde uzun dönemli ilişkilerin homojen, kısa dönemli dinamiklerin ise heterojen olduğunu varsayan bir hata düzeltme modelidir. Bu model, özellikle durağan olmayan panel verileriyle çalışırken, eşbütünlük ilişkilerini analiz etmek için kullanılır. PMG, uzun dönem katsayılarının tüm paneller için aynı olduğunu kısıtlar, ancak kısa dönem katsayıları ve hata düzeltme hızı parametrelerinin paneller arasında farklılık göstermesine izin verir. Bu, modelin hem heterojenliği hem de homojenliği aynı anda ele almasını sağlar.

PMG tahmin edicisi, gecikmesi dağıtılmış otoregresif (ARDL) modelinin bir hata düzeltme formunda tahmin edilmesiyle elde edilir. Genel bir ARDL ($p, q1, \dots, qk$) modeli Eşitlik 3'te gösterildiği şekilde ifade edilebilir.

$$Y_{it} = \sum_{j=1}^p \lambda_{ij} Y_{i,t-j} + \sum_{j=0}^{q-1} \delta'_{ij} X_{i,t-j} + \mu_i + \epsilon_{it} \quad (3)$$

Bu gösterimde μ_i , birimlerin sabit etkilerini belirtirken λ_{ij} ve δ_{ij} kısa dönem katsayılarını belirtmektedir. Belirtilen ARDL modeli, hata düzeltme modeline dönüştürülebilir. Hata düzeltme modeli, uzun ve kısa dönemli etkileri Eşitlik 4'te belirtildiği üzere daha açık bir şekilde ayrıştırılabilir.

$$\Delta Y_{it} = \phi_i (Y_{i,t-1} - \theta'_i X_{i,t-1}) + \sum_{j=1}^{p-1} \lambda^*_{ij} \Delta Y_{i,t-j} + \sum_{j=0}^{q-1} \delta^{*'}_{ij} \Delta X_{i,t-j} + \mu_i + \epsilon_{it} \quad (4)$$

Belirtilen hata düzeltme modelinde ϕ_i hata düzeltme katsayısını temsil etmektedir. Bu değer in istatistiksel olarak anlamlı bir biçimde negatif olması uzun dönem dengeye doğru bir yakınsama olduğunu göstermektedir. θ'_i terimi uzun dönem katsayı vektörünü gösterirken, λ^*_{ij} ifadesi kısa dönemli katsayıları ifade etmektedir.

PMG modelini tahmin etmek için en çok olabilirlik (ML) yöntemini kullanılır. Bu, modelin tüm parametrelerini (kısa dönem katsayıları, hata düzeltme katsayısı, uzun dönem katsayıları ve hata varyansları) olabilirlik fonksiyonunu maksimize ederek elde etmeye dayanır. Burada her bir birim için koşullu olabilirlik fonksiyonu oluşturur ve çarpılarak panelin toplam olabilirlik fonksiyonu elde edilir. Sonrası logaritmik dönüşüm yapılarak log-olabilirlik fonksiyonu elde edilir. Optimizasyon yöntemleri ile bu fonksiyonu en yüksek değere ulaştıran parametreler, tahmin edilen parametreler olarak nitelendirilir.

4. BULGULAR

Bu çalışmada dijitalleşme, araştırma ve geliştirme faaliyetleri ile çevresel vergilerin kaynak verimliliği üzerindeki etkisi Panel ARDL modeli ile analiz edilmiştir. Bu amaçla öncelikle çalışmada kullanılan serilerin durağanlık durumu araştırılmıştır. Serilerin durağanlık durumlarının araştırılmasında kullanılacak uygun teste karar verebilmek amacıyla Pesaran (2004) CD testi uygulanarak birinci veya ikinci nesil panel birim kök testlerinden hangisinin kullanılacağı tespit edilmiştir.

Pesaran (2004) CD test sonuçlarına göre test istatistiği yaklaşık 0 olasılık değeri ile 9.28 olarak hesaplanmıştır. Buna göre panelde yatay kesit bağımsızlığı yoktur boş hipotezi %99 güven düzeyinde reddedilerek panelde yatay kesit bağımlılığının olduğu sonucuna varılmıştır. Yatay kesit bağımlılık durumunda kullanılabilecek ikinci nesil panel birim kök testleri arasında Pesaran (2007) CIPS testi sabitli ve sabitli-trendli modeller için uygulanmıştır.

Tablo 2. Panel birim kök testi sonuçları

	<i>Sabitli Model Test İstatistiği</i>	<i>Sabitli-Trendli Model Test İstatistiği</i>
KAYNAK	-1,96	-2,61
D_KAYNAK	-2,70***	-2,33
İSE	-2,79***	-2,96**
CHE	-2,26**	-2,26
ARAS_GELIS	-1,23	-1,80
D_ARAS_GELIS	-1,97	-2,84**
VERGI	-1,62	-2,42
D_VERGI	-2,60***	-3,61***

Not: ***, %99 güven düzeyinde; **, %95 güven düzeyinde ve *, %90 güven düzeyinde anlamlıdır.

Pesaran (2007) CIPS test sonuçlarına göre KAYNAK, ARAS_GELIS ve VERGI değişkenlerinin düzeyde durağan olmadıkları söylenebilir. Bu nedenle bu değişkenlerin birinci farkları alınarak (sırasıyla

D_KAYNAK, D_ARAS_GELIS ve D_VERGI) seriler testler yinelenmiş ve bu serilerin birinci seviye entegre oldukları görülmüştür. Diğer taraftan ISE ve CHE değişkenlerinin düzeyde durağan oldukları, I(0), görülmüştür. Modelin bağımlı değişkeni olan KAYNAK değişkeninin I(1), açıklayıcı değişkenlerin ise I(0) ve I(1) olmalarından kaynaklı Panel ARDL modelinin kullanımının uygun olduğu görülerek havuzlanmış ortalama grup modeli tahmin edilmiştir.

Tablo 3. Panel ARDL model sonuçları

<i>D_KAYNAK</i>	<i>Katsayı</i>	<i>p-değeri</i>
<i>Uzun Dönem</i>		
ISE	1,77	0,00
CHE	2,13	0,00
ARAS_GELIS	0,68	0,00
VERGI	0,25	0,00
<i>Kısa Dönem</i>		
Hata düzeltme	-1,64	0,02
ISE	-4,40	0,19
CHE	-2,99	0,01
D_ARAS_GELIS	-0,99	0,08
D_VERGI	-0,79	0,05
Sabit	1,83	0,58

Tabloya göre, incelenen tüm değişkenlerin uzun dönemde kaynak verimliliği üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif bir etkisi olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, dijitalleşme, araştırma ve geliştirme ile çevresel vergilerin Avrupa Birliği ülkelerinde kaynak verimliliğini uzun vadede artırdığını göstermektedir.

İnsan Sermayesi Endeksi katsayısı 2,13 ve yaklaşık 0 olasılık değeri ile oldukça anlamlıdır. Bu, uzun dönemde insan sermayesi endeksindeki 1 birimlik artışın, kaynak verimliliğini yaklaşık 2,13 birim artırdığını göstermektedir. Bu bulgu, eğitim ve dijital okuryazarlık seviyesinin artmasının, bireylerin ve kurumların dijital teknolojileri daha etkin kullanarak kaynakları daha verimli yönetmelerine olanak tanıdığı şeklinde yorumlanabilir. Yüksek insan sermayesi, inovasyonun ve adaptasyonun önünü açarak kaynakların daha akılcı kullanımına yol açmaktadır. Çevrimiçi Hizmetler Endeksi katsayısı 1,77 yaklaşık 0 olasılık değeri ile yine yüksek derecede anlamlıdır. Bu durum, hükümetlerin dijitalleşme ve çevrimiçi hizmetler sunma çabalarının kaynak verimliliğini uzun vadede önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Çevrimiçi hizmetlerin yaygınlaşması, bürokratik süreçleri azaltarak, veri tabanlı karar almayı kolaylaştırarak ve kaynak tahsisinde şeffaflığı artırarak genel verimliliğe katkı sağlamaktadır. Araştırma ve geliştirme harcamaları katsayısı 0.68 ve yaklaşık 0 olasılık değeri ile anlamlıdır. Bu sonuç, GSYH içindeki Ar-Ge harcamalarının payındaki %1'lik bir artışın, uzun dönemde kaynak verimliliğini %0.68 oranında artırdığını göstermektedir. Bu bulgu, Ar-Ge'nin yeni, daha verimli üretim tekniklerinin ve çevre dostu teknolojilerin geliştirilmesine olanak sağlayarak kaynakların daha etkin kullanılmasına yol açtığı literatürdeki beklentilerle uyumludur. Çevresel vergi gelirleri katsayısı 0.25 ve yaklaşık 0 olasılık değeri ile anlamlı bulunmuştur. Bu, çevresel vergi gelirlerinin GSYH'ye oranındaki %1'lik bir artışın, uzun dönemde kaynak verimliliğini %0.25 oranında artırdığına işaret etmektedir. Bu sonuç, çevresel vergilerin kirleten öder prensibi doğrultusunda, firmaları ve tüketicileri kaynakları daha verimli kullanmaya ve daha az çevresel etki yaratmaya teşvik ettiği argümanını desteklemektedir.

Kısa dönem dinamikleri ve hata düzeltme terimi, değişkenler arasındaki kısa vadeli ayarlamaları ve uzun dönem dengesine ne kadar hızlı yaklaşıldığını göstermektedir. Hata düzeltme terimi istatistiksel olarak anlamlı ve negatif bir işarete sahiptir. Bu, uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisinin varlığını doğrulamaktadır. Katsayının değeri, kısa dönemdeki herhangi bir dengesizliğin, her dönemde yaklaşık %164 oranında düzeltilerek uzun dönem dengesine doğru yaklaşıldığını göstermektedir. Bu yüksek düzeltme hızı, modeldeki değişkenlerin uzun dönem dengesine oldukça hızlı bir şekilde geri döndüğüne işaret etmektedir.

Kısa dönemde İnsan Sermayesi Endeksi anlamlı ve negatiftir. Bu, kısa dönemde insan sermayesi endeksindeki artışın kaynak verimliliğini düşürücü bir etki yaratabileceğini göstermektedir. Bu durum, dijitalleşmenin ilk aşamalarında ortaya çıkan öğrenme eğrileri, altyapı yatırımlarının kısa vadeli maliyetleri veya teknoloji adaptasyon süreçlerinde yaşanan geçici verimsizlikler ile açıklanabilir. Kısa dönemde Çevrimiçi Hizmetler Endeksi istatistiksel olarak anlamsızdır. Bu, kısa dönemde çevrimiçi hizmetler endeksinin kaynak verimliliği üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Uzun dönemdeki pozitif etki göz önüne alındığında, çevrimiçi hizmetlerin faydalarının kısa vadede tam olarak hissedilmediği veya belirli bir gecikmeyle ortaya çıktığı düşünülebilir. Kısa dönemde araştırma ve geliştirme etkisi anlamlı ve negatiftir. Bu sonuç, Ar-Ge harcamalarındaki kısa dönemli artışların kaynak verimliliğinde geçici bir düşüşe yol açabileceğini ima edebilir. Ar-Ge yatırımlarının getirilerinin genellikle uzun vadede ortaya çıktığı ve kısa dönemde maliyet, deneme-yanılma süreçleri veya başlangıçtaki

verimsizlikler nedeniyle negatif bir etki yaratabileceği düşünülebilir. Kısa dönemde çevresel vergi etkisi anlamlı ve negatiftir. Bu, çevresel vergi gelirlerindeki kısa dönemli artışların kaynak verimliliğini geçici olarak düşürücü bir etki yaratabileceğini göstermektedir. Bu durum, firmaların vergi yüküne uyum sağlama sürecinde yaşanan başlangıç maliyetleri veya üretim süreçlerinde hızlı adaptasyon zorluklarından kaynaklanabilir. Ancak uzun dönemde bu vergilerin pozitif etkisi ön plana çıkmaktadır.

Elde edilen bulgular, dijitalleşme, Ar-Ge ve çevresel vergilerin kaynak verimliliği üzerindeki etkilerinin uzun ve kısa dönemde farklılık gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Uzun dönemde, tüm bu faktörlerin kaynak verimliliğini anlamlı ve pozitif yönde etkilemesi, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada bu alanlara yapılacak yatırımların ve politikaların önemini vurgulamaktadır. Özellikle insan sermayesinin ve e-devlet hizmetlerinin kaynak verimliliğine doğrudan ve güçlü katkıları, dijital dönüşümün sadece ekonomik büyümeyi değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği de desteklediğini göstermektedir. Ar-Ge ve çevresel vergilerin de pozitif etkileri, inovasyon ve piyasa tabanlı araçların çevresel performansı artırmadaki rolünü pekiştirmektedir.

Kısa dönemde ise özellikle dijitalleşmenin bazı boyutları ve Ar-Ge harcamaları için gözlemlenen negatif veya anlamsız etkiler, teknolojik adaptasyon süreçlerinin ve yenilikçi yatırımların başlangıç maliyetleri veya gecikmeli faydaları ile açıklanabilir. Bu durum, politika yapıcılarının bu süreçleri destekleyici ve geçiş dönemindeki zorlukları hafifletici tedbirler almasının önemine işaret etmektedir. Örneğin, dijitalleşme ve Ar-Ge yatırımları için teşvikler veya adaptasyon süreçlerine yönelik eğitim programları, kısa dönemdeki olumsuz etkileri minimize edebilir ve uzun dönemdeki pozitif faydaların daha hızlı ortaya çıkmasına yardımcı olabilir. Çevresel vergilerin kısa dönemdeki negatif etkisi de, firmalara ve sektörlerle uyum sağlamaları için yeterli zaman ve destek sağlanması gerektiğini düşündürmektedir.

Genel olarak, bu ampirik bulgular, Avrupa Birliği ülkelerinin kaynak verimliliğini artırma hedefinde, dijitalleşmeyi hızlandırma, Ar-Ge'ye daha fazla yatırım yapma ve çevresel vergi uygulamalarını sürdürülebilir bir şekilde genişletme yönündeki çabalarının uzun vadede olumlu sonuçlar doğuracağını göstermektedir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışma, Avrupa Birliği (AB) üye ülkelerinde kaynak verimliliğini artırmada dijitalleşme, araştırma ve geliştirme faaliyetleri ve çevresel vergilerin rolünü, 2008-2022 dönemi verilerini kullanarak Panel ARDL modeli ile ampirik olarak incelemiştir. Elde edilen bulgular, bu faktörlerin kaynak verimliliği üzerinde hem uzun hem de kısa dönemde önemli ve genellikle beklenen yönlerde etkiler yarattığını ortaya koymuştur. Çalışma, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada bu kritik alanlara yapılacak yatırımların ve politikaların önemini vurgulamaktadır.

Ampirik analiz sonuçları, uzun dönemde dijitalleşmenin her iki boyutu (İnsan Sermayesi Endeksi ve Çevrimiçi Hizmetler Endeksi), Ar-Ge harcamaları ve çevresel vergilerin kaynak verimliliği üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Bu bulgu, çalışmanın temel hipotezlerini desteklemekte ve literatürdeki benzer sonuçlarla örtüşmektedir (Jaffe ve diğerleri, 2005; Schwab, 2024).

Dijitalleşme, özellikle İnsan Sermayesi Endeksi (ile ölçülen dijital okuryazarlık ve yetkinliğin, kaynak verimliliğini güçlü bir şekilde artırdığı bulunmuştur. Bu, bireylerin ve kurumların dijital araçları etkin kullanarak enerji ve malzeme tüketimini optimize etme, atıkları azaltma ve döngüsel ekonomi prensiplerini uygulama kapasitelerini geliştirdiğini doğrulamaktadır (Gil-Garcia ve diğerleri, 2018). Çevrimiçi Hizmetler Endeksi ile temsil edilen e-devlet hizmetlerinin yaygınlığı da uzun dönemde kaynak verimliliğine önemli katkı sağlamıştır. Bu durum, kamu hizmetlerinde artan şeffaflık, verimlilik ve bürokratik süreçlerin azaltılmasının genel kaynak kullanımını optimize ettiğini göstermektedir.

Araştırma ve geliştirme harcamalarının GSYH içindeki payının artması, uzun dönemde kaynak verimliliğini pozitif yönde etkilemiştir. Bu sonuç, Ar-Ge'nin yeni, daha çevre dostu teknolojilerin, enerji verimli üretim süreçlerinin ve kaynak geri kazanım tekniklerinin geliştirilmesi yoluyla kaynakların daha etkin kullanılmasına yol açtığı yönündeki beklentilerle uyumludur (Popp; 2002; Jaffe ve diğerleri, 2005; Griliches, 2007). Özellikle yeşil inovasyonlara yapılan yatırımlar, daha az kaynak yoğun ürünlerin ve hizmetlerin ortaya çıkışını tetikleyerek çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir (Ren ve diğerleri, 2020).

Çevresel vergilerin GSYH'ye oranının uzun dönemde kaynak verimliliğini artırması, bu piyasa tabanlı aracın "kirleten öder" prensibi doğrultusunda firmaları ve tüketicileri daha çevre dostu davranışlara yönlendirmede etkili olduğunu kanıtlamaktadır (Goulder, 1995; Pigou, 2017). Vergiler aracılığıyla çevresel dışsallıkların maliyetlerinin içselleştirilmesi, üretim süreçlerinde kaynak verimliliğini artırıcı inovasyonları teşvik etmekte ve kaynak yoğun faaliyetlerden uzaklaşmayı sağlamaktadır (OECD, 2011).

Kısa dönem dinamikleri incelendiğinde, bazı değişkenler için farklı paternler gözlemlenmiştir. Hata düzeltme teriminin negatif ve anlamlı olması, değişkenler arasında uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisinin varlığını teyit etmekte ve sistemin dengeden sapmalar durumunda hızla uzun dönem dengesine geri döndüğünü göstermektedir. Ancak, kısa dönemde özellikle İnsan Sermayesi Endeksi ve Ar-Ge harcamalarının marjinal anlamda negatif veya anlamsız etkileri dikkat çekicidir. Bu durum, dijital dönüşüm ve inovasyon süreçlerinin başlangıç maliyetlerini, öğrenme eğrilerini veya faydaların belirli bir gecikmeyle ortaya çıkmasını yansıtabilir. Örneğin, yeni dijital altyapıların kurulumu veya Ar-Ge projelerinin ilk aşamaları, kısa vadede ek kaynak tüketimi veya verimsizliklere yol açabilir. Benzer şekilde, çevresel vergilerin kısa dönemde kaynak verimliliğine negatif etkisi, firmaların yeni vergi yüklerine uyum sağlama sürecinde yaşanan başlangıç zorlukları veya adaptasyon maliyetleri ile açıklanabilir. Bu bulgular, politika yapıcılarının geçiş süreçlerinde oluşabilecek zorlukları hafifletici tedbirler almasının önemine işaret etmektedir.

Fon Desteği / Funding

Bu çalışmada herhangi bir resmi, ticari ya da kâr amacı gütmeyen organizasyondan fon desteği alınmamıştır.

Any specific grant has not been received from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Etik Standartlara Uygunluk / Compliance with Ethical Standards

Yazar tarafından, çalışmada kullanılan araç ve yöntemlerin Etik Kurul izni gerektirmediği beyan edilmiştir.

It was declared by the author that the tools and methods used in the study do not require the permission of the Ethics Committee.

Etik Beyanı / Ethical Statement

Yazar tarafından bu çalışmada bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan edilmiştir.

It was declared by the author that scientific and ethical principles have been followed in this study and all the sources used have been properly cited.



Yazarlar, Verimlilik Dergisi'nde yayımlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmaları CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.

The authors own the copyright of their works published in Journal of Productivity and their works are published under the CC BY-NC 4.0 license.

KAYNAKÇA

- Aghion, P. ve Howitt, P. (1992). "A Model of Growth through Creative Destruction", *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 60(2), 323-351. <http://dx.doi.org/10.2307/2951599>
- Aghion, P. ve Howitt, P.W. (2009). "The Economics of Growth", MIT Press Cambridge, MA.
- Baumol, W.J. ve Oates, W.E. (1988). "The theory of Environmental Policy", Cambridge University Press. <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781139173513>
- Birleşmiş Milletler. (2022). "UN E-Government Survey 2022: The Future of Digital Government", United Nations Department of Economic and Social Affairs.
- Bosquet, B. (2000). "Environmental Tax Reform: Does It Work? A Survey of the Empirical Evidence", *Ecological Economics*, 34(1), 19-32. [http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8009\(00\)00173-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8009(00)00173-7)
- Convery, F.J. (2009). "Origins and Development of the EU ETS", *Environmental and Resource Economics*, 43, 391-412. <https://doi.org/10.1007/s10640-009-9275-7>
- D'Adamo, I., Gastaldi, M. ve Morone, P. (2022). "Economic Sustainable Development Goals: Assessments and Perspectives in Europe", *Journal of Cleaner Production*, 354, 131730. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131730>
- Daly, H.E. (1997). "Beyond Growth: The Economics of Sustainable Development", Beacon Press.
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American statistical association*, 74(366a), 427-431. <http://dx.doi.org/10.2307/2286348>
- Eurostat. (2001). "Economy-wide Material Flow Accounts and Derived Indicators: A Methodological Guide", Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Fischer-Kowalski, M. (2011). "Analyzing Sustainability Transitions as A Shift between Socio-Metabolic Regimes", *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 1(1), 152-159. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2011.04.004>
- Fischer-Kowalski, M., Swilling, M., Weisz, H. ve Williams, E. (2011). "Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth", United Nations Environment Programme (UNEP).
- Freire-González, J. ve Ho, M.S. (2018). "Environmental Fiscal Reform and the Double Dividend: Evidence from A Dynamic General Equilibrium Model", *Sustainability*, 10(2), 501. <http://dx.doi.org/10.3390/su10020501>
- Frenken, K. ve Schor, J.B. (2017). "Putting the Sharing Economy into Perspective", *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 23, 3-10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eist.2017.01.003>
- Ghobakhloo, M. (2020). "Industry 4.0, Digitization, and Opportunities for Sustainability", *Journal of Cleaner Production*, 256, 120427. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869>
- Gil-Garcia, J.R., Dawes, S.S. ve Pardo, T.A. (2018). "Digital Government and Public Management Research: Finding the Crossroads", *Public Management Review*, 20(5), 633-646. <http://dx.doi.org/10.1080/14719037.2017.1327181>
- Goulder, L.H. (1995). "Environmental Taxation and the Double Dividend: A Reader's Guide", *International Tax and Public Finance*, 2, 157-183. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00877495>
- Griliches, Z. (1990). "The Search for R&D Spillovers", *The Scandinavian Journal of Economics*, 92(1), 29-45. <http://dx.doi.org/10.2307/3440244>
- Griliches, Z. (2007). "R&D and Productivity: The Econometric Evidence", University of Chicago Press. <http://dx.doi.org/10.7208/chicago/9780226308906.001.0001>
- Hao, L.N., Umar, M., Khan, Z. ve Ali, W. (2021). "Green Growth and Low Carbon Emission in G7 Countries: How Critical the Network of Environmental Taxes, Renewable Energy and Human Capital Is?", *Science of the Total Environment*, 752, 141853. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141853>
- Herman, K.S. (2023). "Green Growth and Innovation in the Global South: A Systematic Literature Review", *Innovation and Development*, 13(1), 43-69. <http://dx.doi.org/10.1080/2157930X.2021.1909821>
- Hilty, L.M. ve Aebischer, B. (2015). "ICT for Sustainability: An Emerging Research Field", *ICT Innovations for Sustainability*, 3-36. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-09228-7_1
- Hurlin, C. ve Mignon, V. (2004). "Second Generation Panel Unit Root Tests", Thema Cnrs, University of Paris X, memo.
- Im, K.S., Pesaran, M.H. ve Shin, Y. (2003). "Testing for Unit Roots in Heterogeneous Panels", *Journal of Econometrics*, 115(1), 53-74. [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4076\(03\)00092-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4076(03)00092-7)
- Jaffe, A.B., Newell, R.G. ve Stavins, R.N. (2005). "A Tale of Two Market Failures: Technology and Environmental Policy", *Ecological Economics*, 54(2-3), 164-174. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.12.027>
- Johnstone, N. ve Labonne, J. (2009). "Why Do Manufacturing Facilities Introduce Environmental Management Systems? Improving and/or Signaling Performance", *Ecological Economics*, 68(3), 719-730. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.003>

- Johnstone, N., Hascic, I., Poirier, J., Hemar, M. ve Michel, C. (2012). "Environmental Policy Stringency and Technological Innovation: Evidence from Survey Data and Patent Counts", *Applied Economics*, 44(17), 2157-2170. <http://dx.doi.org/10.1080/00036846.2011.560110>
- Kamble, S.S., Gunasekaran, A. ve Gawankar, S.A. (2019). "Sustainable Industry 4.0 Framework: A Systematic Literature Review Identifying the Current Trends and Future Perspectives", *Process Safety and Environmental Protection*, 122, 41-55. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2018.05.009>
- Krausmann, F., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Erb, K.H., Haberl, H. ve Fischer-Kowalski, M. (2009). "Growth in Global Materials Use, GDP and Population during the 20th Century", *Ecological Economics*, 68(10), 2696-2705. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.05.007>
- Lange, S., Pohl, J. ve Santarius, T. (2020). "Digitalization and Energy Consumption. Does ICT Reduce Energy Demand?", *Ecological Economics*, 176, 106760. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106760>
- Lin, B. ve Li, M. (2022). "Understanding the Investment of Renewable Energy Firms in the Face of Economic Policy Uncertainty—Micro-Evidence from Listed Companies in China", *China Economic Review*, 75, 101845. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chieco.2022.101845>
- Mondejar, M.E., Avtar, R., Diaz, H.L.B., Dubey, R.K., Esteban, J., Gómez-Morales, A. ve Garcia-Segura, S. (2021). "Digitalization to Achieve Sustainable Development Goals: Steps towards A Smart Green Planet", *Science of The Total Environment*, 794, 148539. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148539>
- OECD. (2011). "Environmental Taxes: A Guide for Policy Makers", OECD Publishing.
- Pesaran, M.H. (2004). "General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels", *Cambridge Working Papers. Economics*, 1240(1), 1. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.572504>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1002/jae.951>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1080/01621459.1999.10474156>
- Pigou, A. (2017). "The Economics of Welfare", Routledge. <http://dx.doi.org/10.4324/9781351304368>
- Popp, D. (2002). "Induced Innovation and Energy Prices", *American Economic Review*, 92(1), 160-180. <http://dx.doi.org/10.1257/000282802760015658>
- Schwab, K. (2024). "The Fourth Industrial Revolution: What It Means, How to Respond. *Handbook of Research on Strategic Leadership in the Fourth Industrial Revolution*", (Editörler: Z. Simsek, C. Heavey, B.C. Fox), Edward Elgar Publishing.
- Stahel, W.R. (2019). "The Circular Economy: A User's Guide", Routledge. <http://dx.doi.org/10.4324/9780429259203>
- Sterner, T. ve Coria, J. (2013). "Policy Instruments for Environmental and Natural Resource Management", Routledge. <http://dx.doi.org/10.4324/9781936331833>
- Zhang, D., Mohsin, M., Rasheed, A.K., Chang, Y. ve Taghizadeh-Hesary, F. (2021). "Public Spending and Green Economic Growth in BRI Region: Mediating Role of Green Finance", *Energy Policy*, 153, 112256. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112256>