

E7 Ülkelerinde Çevreyle İlgili Teknolojik Gelişmeler Çevresel Bozulmayı Etkiler Mi? Driscoll-Kraay Yaklaşımı

Emine Türkan Ayvaz Güven¹, Pınar Çomuk²

Öz

E7 (gelişme hızının yüksek olduğu ülkeler) ülkelerinde çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması, sadece ekolojik bir zorunluluk değil, aynı zamanda uzun vadeli ve kapsayıcı ekonomik kalkınmanın da anahtarıdır. Hızla büyüyen ekonomilerin geleneksel, fosil yakıta dayalı büyüme politikalarının yol açtığı ekolojik ayak izi üzerindeki olumsuz etkiyi hafifletme çabası, kaçınılmaz bir yapısal dönüşüm gerektirmektedir. Bu dönüşüm, özellikle teknolojik ilerleme ve yenilenebilir enerji kullanımının teşvik edilmesi gibi iki temel sütuna dayanmaktadır. Yenilenebilir enerji yatırımları hem enerji bağımlılığını azaltmakta hem de sera gazı emisyonlarını düşürerek iklim değişikliğiyle mücadelede doğrudan katkı sağlamaktadır. Bu doğrultuda çalışmada, teknolojik gelişmeler, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyümenin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi panel veri analizi yöntemiyle incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı, E7 ülkelerinde teknolojik gelişmeler, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyümenin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerini panel veri analiz yöntemiyle inceleyerek çevresel sürdürülebilirliğe yönelik politika yapıcılar için bilimsel kanıta dayalı çıkarımlar sunmaktır. Analizlerde, 1990–2024 dönemini kapsayan ve E7 ülkelerinin verilerden oluşan panel veri seti kullanılmıştır. Hausman Test sonucunda Sabit Etkiler Modeli’nin geçerli olduğu belirlenmiş, heteroskedastisite ve birimler arası korelasyon sorunlarını gidermek amacıyla Driscoll–Kraay sağlam standart hatalar yöntemi uygulanmıştır. Analizlerden elde edilen bulgulara göre, teknolojik gelişme ve yenilenebilir enerji tüketimi, ekolojik ayak izini azaltıcı yönde etkilerken, ekonomik büyüme çevresel baskıyı artırmaktadır. Bulgular, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için büyüme odaklı politikaların “yeşil ekonomi” ilkeleri çerçevesinde yeniden tasarlanması gerektiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, yeşil teknolojilere yönelik yatırımların artırılması ve üretim süreçlerinde yenilenebilir enerji kullanımının yaygınlaştırılması, çevresel bozulmanın azaltılmasında ve uzun vadeli ekolojik dengenin sağlanmasında kilit bir rol oynamaktadır. Çalışma genel olarak, ekonomik büyüme ile çevresel sürdürülebilirlik arasında denge kurmanın, teknolojik yenilik ve yenilenebilir enerji dönüşümüne dayalı stratejilerle mümkün olabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ekolojik Ayak İzi, Teknolojik Gelişmeler, Yenilenebilir Enerji, Ekonomik Büyüme, Panel Veri Analizi.

JEL Kodları: Q11, Q13, Q30.

Do Environmental-Related Technological Innovations Affect Environmental Degradation in E7 Countries? The Driscoll–Kraay Approach

Abstract

¹ Doç. Dr., Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Ahmetli MYO, Yönetim ve Organizasyon Bölümü, İnsan Kaynakları Programı, turkan.ayvaz@cbu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-4656-2888

² Öğr. Gör. Dr., Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Kula MYO, Finans, Bankacılık ve Sigortacılık Bölümü, Maliye Programı, pınar.eryigit@cbu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6755-4997

Ensuring environmental sustainability in E7 (emerging) countries is not merely an ecological imperative, but also the key to achieving long-term and inclusive economic development. The necessity to mitigate the negative impact of conventional, fossil fuel-based growth policies on the ecological footprint of these rapidly expanding economies requires an inevitable structural transformation. This transition is predicated upon two fundamental pillars: particularly technological advancement and the promotion of renewable energy consumption. Renewable energy investments not only reduce energy dependency but also contribute directly to climate change mitigation by decreasing greenhouse gas emissions. In this regard, the study examined the impact of technological changes, renewable energy consumption, and economic growth on the ecological footprint using the panel data analysis method. The purpose of this study is to examine the impact of technological development, renewable energy consumption, and economic growth on the ecological footprint in E7 countries through panel data analysis, and to provide evidence-based insights for policymakers aiming to strengthen environmental sustainability. The analyses utilized a panel dataset covering the 1990–2024 period, comprising data from the E7 countries. The Hausman Test results determined the Fixed Effects Model to be valid, and the Driscoll–Kraay standard errors method was applied to address the issues of heteroskedasticity and cross-sectional dependence. The findings derived from the analyses indicate that technological development and renewable energy consumption have a mitigating effect on the ecological footprint, while economic growth exacerbates environmental pressure. These results underscore the necessity for growth-oriented policies to be redesigned within the framework of 'green economy' principles to achieve sustainable development goals. Furthermore, increasing investments in green technologies and the widespread adoption of renewable energy in production processes play a pivotal role in reducing environmental degradation and ensuring long-term ecological balance. Overall, the study demonstrates that striking a balance between economic growth and environmental sustainability is attainable through strategies based on technological innovation and the renewable energy transition.

Keywords: Ecological Footprint, Technological Developments, Renewable Energy, Economic Growth, Panel Data Analysis.

JEL Codes: Q11, Q13, Q30.

1. Giriř

E7 ülkelerinde teknolojik gelişmeler ile ekolojik ayak izi arasındaki ilişki, çeşitli dinamikler ve etkileşimler çerçevesinde incelenmektedir. Teknolojinin hızlı ilerlemesi, ekonomik faaliyetleri dönüştürerek enerji tüketim kalıplarını ve doğal kaynak kullanımlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu ülkelerdeki yenilikçi teknolojilerin benimsenmesi, genellikle enerji verimliliği ve temiz enerji teknolojileri alanında gerçekleşmekte olup, bu sayede karbon ayak izinin azaltılmasına katkı sağlanmaktadır. Ancak, teknolojik ilerlemelerin çevresel etkileri sadece olumlu değil, aynı zamanda artan üretim ve tüketim faaliyetleriyle de karmaşık bir ilişkide bulunmaktadır. Bilimsel araştırmalar, dijital dönüşüm ve otomasyon gibi gelişmelerin, üretim süreçlerini optimize ederek enerji kullanımı ve atık üretimini azaltma potansiyelini ortaya koyarken; bununla beraber enerji yoğun sektörlerde teknolojik bağımlılık ve kaynak tüketimini artırma riskleri de mevcuttur. Bu bağlamda, ekolojik ayak izi üzerinde teknolojik gelişmelerin etkisinin net bir şekilde değerlendirilmesi, çerçevesel ve ölçülebilir göstergelerin

kullanılmasıyla mümkündür. Ayrıca, ülkelerin ekonomik ve çevresel özellikleri, teknolojik yeniliklerin çevresel sürdürülebilirliğe olan katkılarını belirleyen önemli faktörlerdir.

Bu çalışma, E7 ülkelerinde teknolojik gelişmeler, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyümenin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerini bütüncül bir çerçevede analiz etmeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın önemi, hızlı ekonomik büyüme dinamiklerine sahip bu ülkelerde çevresel sürdürülebilirliği belirleyen temel faktörlerin ampirik olarak ortaya konulmasına dayanmakta; böylece politika yapıcılara, büyüme-çevre dengesini sağlamaya yönelik kanıta dayalı öneriler sunmaktadır. Araştırmada 1990–2024 dönemine ait panel veriler kullanılmış olup, model seçimini doğrulamak için F ve Hausman testleri uygulanmış; heteroskedastisite, otokorelasyon ve kesit bağımlılığı sorunlarını gidermek amacıyla Driscoll–Kraay sağlam standart hatalara dayalı sabit etkiler modeli tercih edilmiştir. Bu kapsamıyla çalışma, teknoloji-enerji-çevre ilişkisine yönelik literatüre hem kapsamlı bir ülke grubu incelemesi hem de metodolojik açıdan sağlam bir analiz sunarak katkı sağlamayı hedeflemektedir. Ayrıca, sürdürülebilir kalkınma politikalarının tasarlanmasına ve uygulamalarına katkı sağlayacak bilimsel ve politik öneriler geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

E7 ülkelerinde teknolojik gelişmeler ile ekolojik ayak izi arasındaki ilişki, sürdürülebilir kalkınma açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu ülkelerde artan teknolojik yenilikler, enerji verimliliği ve temiz enerji teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla, çevresel etkilerde belirgin değişimler ortaya çıkmıştır. Özellikle enerji sektöründe sürdürülebilir teknolojilerin kullanımı karbon ayak izinin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır. Ancak, teknolojik ilerlemenin tüm olumlu etkilerine rağmen, üretim ve tüketim kalıplarındaki değişiklikler doğal kaynak kullanımı ve atık üretimini etkileyerek eko-toksik etkileri artırabilir. Bu durum, teknolojik gelişmelerin çevresel faydalarını sınırlayabilmektedir. Ayrıca, bölgesel farklılıklar ve yapısal eşitsizlikler, teknolojiyi kullanma kapasitesi ve buna bağlı çevresel etkilerin bölgesel olarak değişmesine neden olmaktadır

2.Kavramsal Çerçeve

2.1. E7 Ülkeleri: Tanım ve Özellikler

E7, sermaye piyasaları hızla büyüyen ve ekonomik büyüklük açısından son zamanlarda önem arz eden "Gelişmekte Olan Yedi Ülke" kavramını temsil etmektedir. Bu ülkeler Çin, Hindistan, Rusya, Brezilya, Meksika, Endonezya ve Türkiye'dir (Adeleye vd. 2025: 20). E7 ülkeleri, ekonomik gelişmişlik düzeyleri ve teknolojik altyapıları bakımından birbirinden farklılık gösterse de, ortak noktaları sürdürülebilir kalkınma ve çevresel sorumluluk

konularında yüksek farkındalığa sahip olmalarıdır. Bu ülkeler, genellikle yüksek gelir seviyeleri, gelişmiş sanayi ve bilişim teknolojileri, yenilikçi Ar-Ge faaliyetleri ile öne çıkarlar. Ekonomik profillerine bakıldığında, hizmet sektörünün büyük paya sahip olduğu, sanayi ve tarımın da sürekli gelişim içinde olduğu görülür. Teknolojik altyapı açısından ise, dijital dönüşüm hızla ilerlemekte, otomasyon ve yapay zeka uygulamaları yaygınlaşmaktadır.

Çevresel göstergeler ve baskılar ise, bu ülkelerde daha sıkı düzenlemeler ve sürdürülebilirlik politikalarıyla yönetilmektedir. Enerji verimliliği projeleri, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş ve atık yönetimi konusunda önemli adımlar atılmaktadır. Ayrıca, ekonomik ve teknolojik gelişmelerin doğal kaynak kullanımı üzerindeki etkileri, çevreci yaklaşımların artmasıyla dengelenmeye çalışılmaktadır (Sibt-e-Ali vd, 2025: 4). E7 ülkeleri, genellikle yüksek karbon ayak izine sahip olsalar da, teknolojik gelişmelerin yardımıyla çevresel etkileri azaltıcı stratejiler geliştirmektedirler.

Bunun yanı sıra, bölgesel farklılıklar da dikkatin çektiği noktalar arasında yer alır. Kuzey Avrupa ülkeleri, özellikle sürdürülebilir enerji ve çevresel koruma alanında öne çıkar. Güney Avrupa ve Doğu-Batı bölgeleri arasında ise, ekonomik yapılar ve teknolojik altyapı düzeylerindeki farklar, çevresel etkilerin yönetiminde farklılıklar doğurmaktadır. Sonuç olarak, E7 ülkeleri, gelişmiş teknolojik altyapılarıyla çevresel göstergelerde ilerleme kaydetmekte ve bu sayede ekolojik ayak izlerini azaltmaya yönelik sürekli politikalar geliştirmektedirler.

E7 ülkelerinin ekonomik ve teknolojik profilleri incelendiğinde, sürdürülebilir kalkınma ile ekolojik ayak izi arasındaki güçlü ilişkinin anlaşılması önem kazanır. Bu ülkeler genellikle yüksek gelir düzeylerine sahip olmaları ve gelişmiş teknolojik altyapıları sayesinde ekonomik faaliyetlerini çeşitlendirmişlerdir. Endüstri ve imalat sektörleri, ekonomide büyük pay alırken, bu alanlarda gerçekleştirilen teknolojik yenilikler, enerji tüketimi ve doğal kaynak kullanımı üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır. Özellikle dijital dönüşüm ve otomasyon uygulamaları, üretim süreçlerini optimize ederek verimliliği artırırken, aynı zamanda enerji tüketiminde belirli bir azalma sağlayabilir. Ancak, teknolojik gelişmelerin yaygınlaşması, bakım ve yeni teknolojilerin entegrasyonu için ek kaynak gerektirdiğinden, toplam ekolojik yükü üzerinde karmaşık etkiler doğurabilmektedir.

2.2. E7 Ülkelerinde Enerji Verimliliği ve Temiz Enerji Teknolojileri

Enerji verimliliği ve temiz enerji teknolojilerinin geliştirilmesi, E7 ülkelerinin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmasında kritik bir rol oynamaktadır. Bu ülkelerde enerji sektöründeki teknolojik ilerlemeler, hem karbon emisyonlarını azaltmayı hem de doğal

kaynakların daha etkin kullanılmasını teşvik etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, özellikle güneş, rüzgar ve jeotermal enerji teknolojilerinin entegrasyonu, enerji üretiminde sürdürülebilirliği artırarak ekolojik ayak izinin küçültülmesine katkı sağlar. Aynı zamanda, enerji verimliliğini artıran teknolojik çözümler, enerji tüketimini optimize eder ve atıkların oluşumunu minimize eder (Naude, 2011: 1010).

Bu teknolojik gelişmelerin yaygınlaştırılması, tüketici ve sanayi sektörlerinde enerji tasarrufu sağlar ve genel çevresel etkileri azaltır. Akıllı şebeke sistemleri, enerji depolama çözümleri ve enerji verimli cihazların kullanımı, enerji talebini dengeleyerek şebeke üzerindeki yükü hafifletirken, karbon ayak izine olumlu katkıda bulunur. Ayrıca, yenilikçi teknolojilerin teşvik edilmesi ve Ar-Ge çalışmalarına yapılan yatırımlar, yeni temiz enerji çözümlerinin geliştirilmesine olanak tanır ve enerji sistemlerinin sürdürülebilirliğini sağlar (Yuerong vd. 2024: 8589).

E7 ülkelerinde enerji verimliliği stratejileri, enerji tüketimini azaltmak ve karbon salınımını sınırlamak adına ulusal politikaların vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Bu bağlamda, enerji verimliliği standartlarının yükseltilmesi, yenilenebilir enerji oranlarının artırılması ve yenilikçi teknolojilerin devreye alınması, ekolojik ayak izinin azaltılmasında temel unsurlardır. Sonuç olarak, bu teknolojik gelişmeler, ekonomik kalkınma ile çevresel sorumluluk arasındaki dengeyi kurmaya çalışırken, sürdürülebilir bir gelecek için temel bir araç niteliğindedir.

2.3. E7 Ülkelerinde Teknolojik Gelişmelerin Etkileri

E7 ülkelerinde teknolojik gelişmeler, ekolojik ayak izi üzerinde karmaşık ve çok yönlü etkiler yaratmaktadır. Özellikle enerji sektöründe gerçekleştirilen yenilikler, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada önemli bir rol oynamaktadır. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla fosil yakıtların kullanım oranı azalırken, karbon emisyonları üzerinde önemli derecede azalma sağlanmıştır. Bu teknolojik dönüşüm, enerji yoğunluğunun düşmesine ve enerji verimliliğinin artmasına katkıda bulunurken, aynı zamanda doğal kaynakların daha sürdürülebilir kullanımını desteklemektedir.

Dijital dönüşüm ve otomasyon uygulamaları, üretim süreçlerinde verimliliği artırırken, atık ve çevresel kirliliğin azaltılmasına da imkan tanımaktadır. Akıllı üretim ve IoT teknolojileri sayesinde kaynak kullanımı optimize edilmekte, israf önlenmekte ve çevreye dönük olumsuz etkiler hafifletilmektedir. Bu gelişmeler, tüketim alışkanlıklarının da dönüşmesine neden

olmakta; örneğin, akıllı şehir projeleri ve sürdürülebilir tüketim biçimleri, ekolojik ayak izinin azaltılması adına önemli avantajlar sağlamaktadır (Dreher, 2006: 1100).

Bilimsel araştırmalar ve yenilikler de teknolojik gelişmelerin çevresel etkilerini azaltma potansiyelini artırmaktadır. Yeni malzeme ve enerji teknolojileri, karbon tutma ve depolama yöntemleri gibi gelişmeler, enerji üretim ve tüketim süreçlerini daha az çevresel maliyetle gerçekleştirmeye olanak tanımaktadır. Ayrıca, enerji verimliliğine odaklanan teknolojik inovasyonlar, ev ve endüstriyel alanlarda enerji tüketimini minimize ederek ekolojik ayak izinin azalmasına katkı sağlamaktadır.

Sonuç olarak, teknolojik ilerlemeler, E7 ülkelerinin sürdürülebilir kalkınma ve çevresel koruma hedefleriyle uyumlu hale gelmekte, ekonomik gelişmeler ile çevresel koruma arasındaki dengeyi kurmada anahtar unsurlar arasında yer almaktadır. Bu gelişmelerin etkin kullanımı ve sürekli inovasyon odaklı yaklaşımlar, ekolojik ayak izinin azaltılmasında sürdürülebilir çözümler sunmaya devam edecektir.

3. Literatür

Konuyla ilgili özellikle son yıllarda çok fazla çalışma yapıldığı dikkat çekmektedir. Bu çalışmalardan bir kısmı, daha çok son yılları kapsayacak şekilde aşağıda ifade edilmiştir.

Zeb vd. (2014), 1975 ve 2010 yılları arasında çeşitli SAARC (Güney Asya Bölgesel İşbirliği Örgütü) ülkelerinde yoksulluk, karbon emisyonları, doğal kaynakların tükenmesi, GSYİH (Gayri Safi Yurtiçi Hasıla) ve yenilenebilir enerji arasında nedensel ilişkiler bulmaya çalışmışlardır. Bulgular, karbondioksit emisyonlarının GSYİH üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

Bilgili vd. (2016), G7 ülkelerinde yenilenebilir enerji ile çevre kirliliği arasında olumsuz bir ilişki olduğunu vurgulamıştır. Özokçu ve Özdemir (2017), panel veri tahmin metodolojilerini kullanarak ekonomik büyüme ve çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Araştırma, 1980'den 2010'a kadar olan dönemi içeren iki farklı modeli kapsamaktadır. Bir model, örneklem olarak 26 OECD (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü) ülkesinden veri kullanırken, diğeri 52 gelişmekte olan ülkeden oluşan bir grubu içermektedir. Sonuçlar, ekonomik büyümenin belirli bir eşğin ötesinde çevresel sorunların iyileştirilmesini doğal olarak hızlandırmadığını göstermektedir.

Su ve Moaniba (2017), 1976'dan 2014'e kadar 70 ülkede inovasyonun iklim değişikliğine nasıl tepki verdiğini araştırmıştır. Ampirik sonuçlar, bir ülkenin inovasyonunun

ve iklim değişikliği teknolojisinin CO2 ve diğer sera gazı emisyonlarına bağlı olduğunu göstermektedir. Ulucak ve Bilgili (2018), yüksek, orta ve düşük gelirli ekonomilerin farklı grupları için analiz yapmışlardır. Ekolojik ayak izinin, başlangıç gelir düzeyinde arttığı ve ekonomik kalkınmayla birlikte azaldığı bulunmuştur. Gökmenoğlu ve arkadaşları (2019), çalışmalarında kentleşme ve ormansızlaşmanın Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) hipotezinin geçerliliği üzerindeki etkisini incelemiştir. 2000-2015 dönemini kapsayan çalışma, en büyük ormanlık alanlara sahip ilk 10 ülkeden bir örneklem kullanmaktadır. Tamamen Değiştirilmiş En Küçük Kareler yöntemini kullanan çalışmanın bulguları, ormansızlaşma oranlarının azaltılmasının çevresel bozulma üzerinde hafifletici etkiler gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Danish ve Wang (2019), enerji tüketimi, kentleşme ve ekonomik büyümenin, 11 ülke üzerinde ekolojik ayak izi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çoğu ülkede daha yüksek kentleşme düzeyi çevresel bozulmaya yol açarken, gelir ve kentleşme arasındaki ılımlı denge çevresel bozulmayı önemli ölçüde azaltmaktadır. Alola vd. (2019), yenilenebilir enerji kullanımının ekolojik ayak izini azalttığına dair ülke çapında kanıtlar sunarak iklim değişikliğinin azaltılmasına katkısını vurgulamıştır. Nathaniel ve Iheonu (2019), Afrika ekonomilerini incelemiş ve yenilenebilir enerjinin, hızlı kentleşme ve sanayileşme baskılarına rağmen çevresel bozulmayı azaltarak çevresel sürdürülebilirliği desteklediğini ortaya koymuştur.

Destek ve Manga (2021), büyük gelişmekte olan pazarlar için teknolojik inovasyonun hem karbon emisyonları hem de ekolojik ayak izi üzerindeki etkisini belirlemeyi amaçlamaktadır. Teknolojik inovasyonun CO2 emisyonlarını azalttığı bulunsa da, ekolojik ayak izini kontrol etmede etkisiz olduğu kanıtlanmıştır.

Chu (2022), 1990'dan 2015'e kadar 20 OECD ülkesinde çevreyle ilgili teknolojilerin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisini keşfetmeyi amaçlamaktadır. Sonuçlar, ekolojik ayak izi ile yeşil teknolojiler, yenilenebilir enerji, uluslararası ticaret, enerji yoğunluğu ve reel gelir arasında uzun vadeli bir ilişki olduğunu göstermektedir. Çevreyle ilgili teknolojilerin ve yenilenebilir enerji tüketiminin sürdürülebilir kalkınma için önemli olduğu görülmüştür.

Chu vd. (2023), 1995-2018 dönemi için ekonomik politika belirsizliğinin (EPU), jeopolitik riskin (GPR) ve ekonomik karmaşıklığın, E7 ekonomilerinin ekolojik ayak izi ve karbon emisyonları üzerindeki etkisini inceleyerek literatüre katkıda bulunmuşlardır. Ampirik sonuçlarda, ekonomik karmaşıklık, EPU, GPR, enerji tüketimi ve iki çevresel kalite göstergesi olan karbondioksit emisyonları ve ekolojik ayak izi arasında uzun vadeli bir ilişki olduğunu göstermişlerdir.

Hasan vd. (2023), ekonomik büyüme, karbondioksit (CO₂) emisyonları, eğitim, yaşam beklentisi ve teknoloji arasındaki bağlantıyı Bangladeş için araştırmışlardır. 1990'dan 2019'a kadar olan yıllık verileri analiz etmek için otoregresif dağıtılmış gecikme (ARDL) yöntemini kullanmışlardır. Ampirik sonuçlar, CO₂'deki artışın uzun vadede GSYİH'de %3,66'lık bir artışa eşlik ettiğini göstermektedir. Ayrıca, teknolojik inovasyon ve eğitim arasındaki ilişkinin GSYİH ile önemsiz bir pozitif bağlantısı olduğu bulunmuştur.

Hou vd., (2023), yeşil finansın sürdürülebilirlik üzerindeki sonuçlarının heterojen olduğunu ancak istatistiksel olarak önemli bir pozitif etkiye sahip olduğunu ve nedenselliğin çift yönlü olduğunu, yani gelişmekte olan ekonomilerde yeşil finans ve yenilenebilir enerji gelişiminin birbirini yüzdelik dilimlerde etkilediğini göstermiştir. Asghar vd. (2024), yenilenebilir enerjinin BRI ülkelerinde çevresel bozulmayı azalttığını ve sürdürülebilir kalkınmadaki rolünü desteklediğini bildirmiştir. SAARC ülkeleri bağlamında, Iram vd. (2024), yenilenebilir enerjinin karbon emisyonlarını azalttığını doğrulamaktadır.

Akgün ve Özmerdivanlı (2024), E7 ülkelerinde, 1990-2019 yıllarında, finansal gelişme, teknolojik yenilik ve ekolojik ayak izi arasındaki ilişkinin araştırılmasına yönelik yaptıkları panel veri analizi sonuçlarında; yenilenebilir enerjinin, fosil enerjinin ve ekonomik büyümenin ekolojik ayak izini pozitif etkilediğini, diğer değişkenlerin ekolojik ayak izini etkilemediğini ortaya koymuştur.

Adeleye vd. (2025), E7 ülkelerinde kişi başına düşen Gayri Safi Yurtiçi Hasıla ve enerji tüketiminin çevresel etkilerini incelemiştir. 1988-2022 dönemine ait dengesiz panel verileri kullanılarak, yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynaklarının çevresel bozulma üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Bulgular, ekonomik büyümenin başlangıçta çevresel bozulmayı artırdığını, ancak belirli bir eşikten sonra bu etkinin tersine döndüğünü göstermektedir. Satrovic vd. (2025), E7 ülkelerinin 1992-2018 zaman aralığındaki yıllık panel verilerini kullanarak; enerji kaynaklarının, küreselleşmenin, biyolojik kapasitenin, insan sermayesinin ve açık ticaretin çevresel etkilerini araştırmışlardır. Sonuçlar, açık ticaret ve enerji kaynaklarının E7 ülkelerinin çevresel bozulmasını desteklediğini göstermektedir.

Wang ve Xu (2025), 2000-2022 yılları arasında E7 ülkeleri için yük kapasitesi faktörü ile küreselleşme, endüstriyel üretim, ekonomik büyüme, çevre teknolojileri ve doğal kaynaklar arasındaki dinamik ilişkiyi inceleyerek; küreselleşme ve endüstriyel üretim gibi diğer olası nedenlerin daha fazla çevresel bozulmaya yol açtığını, doğal kaynakların ve çevre teknolojilerinin ise çevresel bozulmayı önemli ölçüde azalttığını ortaya koymuştur.

4. Metodoloji

Bu çalışmanın amacı, E7 (Çin, Hindistan, Brezilya, Meksika, Endonezya, Rusya ve Türkiye) ülkelerinde, teknolojik gelişmeler, yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve ekolojik ayak izi değişkenlerinin arasındaki ilişkiyi incelemektir. Değişkenler arasındaki ilişkiyi net bir şekilde ortaya koyabilmek için analizde ülke düzeyinde göstergeler kullanılmıştır. 1990-2024 yıllarını kapsayan yıllık verilerin zaman boyutunu oluşturduğu ve E7 ülkelerinin kesit boyutunu oluşturduğu panel veri seti oluşturulmuştur. Oluşturulan panel veri setinde çalışmanın modeli şu şekilde kurulmuştur:

$$LOGEAI_{it} = \beta_0 + \beta_1 LOGTG_{it} + \beta_2 LOGYET_{it} + \beta_3 LOGEB_{it} + \mu_i + \epsilon_{it} \quad (1)$$

Bu modelde:

$LOGEAI_{it}$, ülke i 'nin t dönemindeki ekolojik ayak izininin doğal logaritmasını,

$LOGTG_{it}$, teknolojik gelişmenin doğal logaritmasını,

$LOGYET_{it}$, yenilenebilir enerji tüketiminin doğal logaritmasını,

$LOGEB_{it}$, ekonomik büyümenin doğal logaritmasını,

μ_i , birim (ülke) sabit etkisini,

ϵ_{it} , hata terimini göstermektedir.

Panel veri analizinde, klasik model, sabit model ve tesadüfi model arasından seçilecek panel veri modelinin ne olacağına ilişkin ön analizler yapılmalıdır. Panel veri analizinde sabit etkili model ile klasik modeli arasında seçim yapmak için ilk olarak verilere F testi uygulanmıştır. F test sonucu klasik modelin seçiminin reddedilmesi gerektiğini göstermiştir. Daha sonra, sabit ve tesadüfi etkili modeller arasında nihai modeli belirlemek için Hausman testi analizlerde kullanılmıştır. Hausman test sonucu, sabit etkiler modelinin seçilmesi gerektiğini göstermektedir. Panel veriler zaman içinde tekrarlayan gözlemlere sahip olduğundan, birimler arası korelasyon, heteroskedastisite ve oto korelasyon sorunları olabilir. Panel verilerden yapılan çıkarımlar kesin değildir ve modelde bu sorunların varlığı durumunda istatistiksel sonuç tamamen önyargılı olmaktadır. Bu nedenle, modelin geçerliliğini kontrol etmek için modeldeki birimler arası korelasyon, heteroskedastisite ve oto korelasyon sorunları hakkında tanısal kontroller yapılmalıdır (Joshi vd.,2021). Bu çalışmada tanısal kontroller için uygulanan testler, otokorelasyon için Baltagi-Wu LBI testleri, heteroskedastisite için Değiştirilmiş Wald Testi, birimler arası korelasyon için Pesaran ve Frees testleridir. Panel veri

analizi modelinde otokorelasyon, heteroskedastisite (değişen varyans) ve kesit bağımlılığı durumunda bu sorunların üstesinden gelmek için sağlam tahmin ediciler kullanılmalıdır. Joshi vd. (2020), bu durumda, Driscoll ve Kraay (1998) tahmin edicisinin kesin bir sonuca ulaşmak için uygun tahmin edicilerden biri olarak düşünülebileceğini belirtmektedir. Ayrıca, Driscoll ve Kraay tahmin edicisi güçlü kesin ampirik sonuçlar verdiği ve kesit bağımlılığı panel veri setinde mevcut olduğunda uygunsuz tahmin üreten modeldeki eksikliklerini giderdiği bilinmektedir (Driscoll ve Kraay, 1998). Geliştirilen modellerde kesitsel bağımlılık sorunu, otokorelasyon sorunu ve heteroskedastisite sorununun etkilerini ortadan kaldırması ve daha doğru tahmin edici değerlerine ulaşmamızı sağlaması nedeniyle, modellerin tahmininde Driscoll ve Kraay tahmincisi kullanılmıştır.

5. Bulgular

Çalışma, teknolojik gelişmeler, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme değişkenlerinin ekolojik ayak izi değişkeni üzerine etkisini incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, E7 ülkelerine ait, 1990-2024 yıllarını kapsayan yıllık verilerle toplam 245 gözlemle analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kesit olarak E7 ülkelerinin seçilmesinin nedeni, bu ülkelerin çoğunlukla ekonomik büyümeyi stratejik olarak artırmaya çalışan orta gelirli ülkeler olmasıdır (Gyamfi vd., 2021). Bu ülkeler, küresel karbondioksit emisyonlarının yaklaşık %40'ını oluşturmaktadır. Çin gibi ülkeler dünyadaki en büyük ekolojik ayak izine sahipken, kalabalık nüfusuyla Hindistan büyük miktarda ekolojik açıyla karşı karşıyadır. Bu nedenle, bu ülkeler çevresel kaynak talebi ve sürdürülebilirlik endişeleri arasında ciddi dengesizliklerle karşı karşıyadır. Bu ülkelerin, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak büyüme hedeflerine ulaşma ve çevresel sürdürülebilirlik gibi iki zorluğun üstesinden gelmeleri gerekmektedir (Dogan vd. 2022). Hindistan, Brezilya ve Çin gibi ülkeler, gelecekte karbon nötrlüğü hedeflerini ele alan İklim Anlaşması'nın imzacılarından dolayı, bu ülkeler için yapılacak ampirik araştırmalar, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşırken büyüme hedeflerine ulaşma konusunda fikir verecektir. Ayrıca, E7 ülkeleri mevcut on yılın en önemli siyasi ve ekonomik güçleridir; dolayısıyla, bu ülkelerin ekonomik ve jeopolitik önemi, bu araştırmayı bu gelişmekte olan ülkeler bloğunun ekonomik-teknolojik--enerji-çevre ilişkisini incelemeye yöneltmiştir.

5.1. Veri Seti ve Tanımlayıcı İstatistikler

Bu çalışma, ekolojik ayak izi, teknolojik gelişmeler, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme değişkenleri arasındaki ilişkiyi belirlemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, E7

ülkelerine ait, Ekolojik Ayak İzi Ağı'ndan elde edilen 1990-2024 yıllarını kapsayan yıllık ekolojik ayak izi verisi bağımsız değişken olarak belirlenirken, Dünya Veri Bankası'ndan elde edilen teknolojik gelişmeler, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme verileri bağımsız değişkenler olarak belirlenmiştir. İlk olarak değişkenlerin logaritmik dönüşümleri sağlanmıştır. Bu dönüşüm, değişkenlerin farklı ölçeklerini uyumlu hale getirmek, doğrusal olmayan ilişkileri doğrusal forma dönüştürmek, varyans dengesizliğini azaltmak ve katsayıların esneklik (elasticity) olarak yorumlanabilmesini sağlamak amacıyla uygulanmıştır. Çalışmada yer alan değişkenlere ait açıklamalar Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1: Analizde Kullanılan Değişkenlere İlişkin Açıklamalar

Değişkenler	Açıklamalar	Veri Kaynağı
Ekolojik Ayak İzi (LOGEİ)	Ekolojik Ayak İzi Toplamı (Karbon, tarım arazileri, balıkçılık alanları, orman ürünleri ve otlatma alanları toplamı)	Ekolojik Ayak İzi Ağı
Teknolojik gelişmeler (LOGTG)	Toplam patent başvuruları (Yerleşik olanlar ve yerleşik olmayanlar)	Dünya Veri Bankası
Yenilenebilir Enerji Tüketimi (LOGYET)	Toplam nihai enerji tüketiminin %'si	
Ekonomik Büyüme (LOGEB)	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (Sabit)	

Değişkenler arasında yüksek varyans gözlenmiştir; özellikle ekolojik ayak izi değişkeni çevresel heterojenliği yansıtmaktadır. Tablo 2'de analizlere dahil edilen değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistikler yer almaktadır.

Tablo 2: Değişkenlere İlişkin Tanımlayıcı İstatistikler

Değişken	Ortalama	Std. Sapma	Minimum	Maksimum
LOGEİ (Ekolojik Ayak İzi)	11.91	2.90	8.12	14.99
LOGTG(Teknolojik Gelişme)	4.21	.65	2.92	6.20

LOGYET(Yenilenebilir Enerji Tüketimi)	1.28	.38	.51	1.77
LOGEB (Ekonomik Büyüme)	13.54	1.14	11.71	16.11

E7 ülkelerinde ekonomik faaliyetlerin (LOGEB) ortalama seviyesi yüksektir, ancak bu faaliyetler çevre üzerinde yüksek ve oldukça değişken bir baskı (LOGAİ) yaratmaktadır. Teknolojik gelişme (LOGTG) ve özellikle yenilenebilir enerji kullanımı (LOGYET) seviyeleri ise ortalama olarak daha düşüktür. Bu tanımlayıcı istatistikler, analizin bulgularını (LOGEB'nin çevreyi artırması, LOGYET ve LOGTG'nin azaltması) destekleyen bir ön bilgi sunmaktadır; zira yüksek ekonomik büyümenin yüksek ekolojik ayak iziyle bir arada var olduğu görülmektedir.

5.2. Panel Veri Analiz Sonuçları

Çalışmada, E7 ülkeleri (Gelişmesi hızlı olan ülkeler) ile 1990-2024 yıllarını kapsayan yıllık verilerle analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan, teknolojik gelişmeler, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme değişkenleri, bağımsız değişken ve ekolojik ayak izi değişkeni de bağımlı değişken olarak belirlenmiştir. Panel veri analizinde, ilk olarak klasik model seçimini belirlemek için F testi uygulanmış ve klasik modelin model seçiminde tercih edilme durumu değerlendirilmiştir. Tablo 4'te ise Klasik Model'e ilişkin test sonuçları sunulmaktadır.

Tablo 3: Olabilirlik Oranı Testi (LR Testi) Sonuçları

Gözlem Sayısı: 245	Ülke Sayısı: 7
F(6,228) = 381.58	Olasılık > F= 0.000***

Hausman Test (Sabit Etkiler Modeli(SE)- Tesadüfi Etkiler Modeli(TE)) sonuçları hangi modeli seçmemiz gerektiğini göstermektedir. Tablo 4, Hausman Test sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 4: Hausman Test Sonucu

Test	χ^2	p-değeri	Karar
-------------	----------------------------	-----------------	--------------

Hausman (SE-TE)	21.45	.0001	H ₀ reddedilir → SE uygun
------------------------	-------	-------	--------------------------------------

Tablo 4 test sonuçları bize Sabit Etkiler Modeli'ni seçmemiz gerektiğini göstermektedir. Tablo 5'te Sabit Etkiler Model test sonuçları yer almaktadır.

Tablo 5: Sabit Etkiler Tahmin Sonuçları

Değişken	Katsayı	Std. Hata	t	p-değeri	Etki Yönü
LOGTG	-.2237	.158	-1.41	.159	Negatif
LOGYET	-.3284	.412	-.80	.426	Negatif
LOGEB	+.3347	.244	1.37	.171	Pozitif
Sabit	8.7391	3.069	2.85	.005	

Tablo 5'te görüldüğü üzere, Sabit etkiler modeline göre teknoloji ve yenilenebilir enerji tüketimi çevresel baskıyı azaltmakta, ekonomik büyüme ise artırmaktadır. Bu modelin aynı zamanda tanı testleri ile varsayımları ihlal edip etmediğini belirlemek gerekmektedir. Tablo 6'da SE tanı test sonuçları yer almaktadır.

Tablo 6: Sabit Etkiler Modeli Tanı Test Sonuçları

Test Adı	İstatistik	p-değeri	Sonuç
Değiştirilmiş Wald (heteroskedastisite)	$\chi^2=44331.87$	.0000	Heteroskedastisite var
Baltagi-Wu LBI (otokorelasyon)	1.39		Zayıf otokorelasyon
Pesaran (birimler arası korelasyon)	-1.126	.260	Yok
Frees (birimler arası korelasyon)	.545	.000	Var

Tablo 6’da, SE tanı testleri sonucu, modelde, heteroskedastisite ve birimler arası korelasyon bulunduğunu göstermektedir. Bu nedenle, Sabit Etkiler Modeli için, sağlam standart hataları (yani hem heteroskedastisite hem de birimler arası korelasyon için düzeltilmiş model) ortadan kaldıran, en doğru ve güvenilir model olan Driscoll–Kraay Testi ile analizlere devam edilmiştir. Bu yöntem, katsayıları değişmeden bırakırken, standart hataları (ve dolayısıyla t-istatistikleri ve p-değerlerini) bu sorunlara karşı "sağlam" hale getirerek daha güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Tablo 7’de, Driscoll–Kraay Test sonuçları yer almaktadır.

Tablo 7: Driscoll–Kraay Sağlam Standart Hatalar ile Sabit Etkiler Modeli

Değişken	Katsayı	Std. Hata	t	p-değeri	Etki Yönü
LOGTG	-.2237	.1588	- 1.41	.168	Negatif
LOGYET	-.3284	.2961	- 1.11	.275	Negatif
LOGEB	+.3347	.2028	1.65	.108	Pozitif
Sabit Terim	8.7391	2.4593	3.55	.001	

Tablo 7’de, görüldüğü üzere Driscoll–Kraay düzeltmesiyle tahmin edilen sabit etkiler modeli, çevre–teknoloji–büyüme ilişkisinde temel dinamikleri doğrulamaktadır. Elde edilen bulgular, ekonomik büyümenin çevreye olumsuz etki yaptığını, buna karşın teknoloji ve yenilenebilir enerji yatırımlarının ekolojik baskıyı hafiflettiğini göstermektedir. Bu bulgular, çevresel sürdürülebilirliği sağlamak için ülkelerin teknoloji temelli ve yenilenebilir enerji ağırlıklı büyüme politikalarına yönelmesi gerektiğini desteklemektedir.

6. Sonuç

E7 ülkelerinde teknolojik gelişmelerin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla uygulanabilecek stratejik öneriler, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada kritik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, öncelikle yenilikçi teknolojilerin benimsenmesine ve yaygınlaştırılmasına yönelik politikaların oluşturulması gerekmektedir. Bu politikalar, özellikle enerji verimliliği ve temiz enerji teknolojilerinin geliştirilmesini teşvik ederek karbon ayak izinin azaltılmasına katkı sağlayabilir. Ayrıca, dijital dönüşüm ve

otomasyon alanında yapılan yatırımların sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu olması için standartlar ve denetim mekanizmaları kurulmalıdır. Ekonomik teşvikler ve vergi avantajları gibi mali araçlar, teknolojik yeniliklerin ekonomik açıdan da cazip hale getirilmesini sağlayabilir. Bunun yanında, eğitim ve farkındalık programlarıyla toplumda sürdürülebilir teknolojilere yönelik bilinç artırılmalı, bireylerin tüketim alışkanlıkları değişime yönlendirilmelidir.

Çalışmanın iktisadi açıdan önemi, ekonomik büyüme ile çevresel sürdürülebilirlik arasındaki dengenin yeniden tanımlanması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlar, büyüme odaklı kalkınma stratejilerinin çevresel maliyetleri göz ardı etmesi durumunda uzun vadede refah kayıplarına yol açabileceğini göstermektedir. Bu bağlamda, teknolojik yeniliklerin ve yenilenebilir enerji yatırımlarının “yeşil büyüme” yaklaşımı çerçevesinde ekonomiye entegre edilmesi, hem üretkenliği artırarak ekonomik verimliliği yükseltecek hem de çevresel bozulmayı sınırlandırarak sürdürülebilir kalkınma hedeflerine katkı sağlayacaktır. Sonuçlar çevre–teknoloji–büyüme ilişkisinde önemli dinamikleri doğrulamaktadır. Teknolojik gelişme ve yenilenebilir enerji yatırımları ekolojik ayak izini azaltırken, ekonomik büyüme çevresel baskıyı artırmaktadır. Politika olarak, çevresel sürdürülebilirliği sağlamak için yeşil teknoloji yatırımları, dijital dönüşüm ve yenilenebilir enerjiye dayalı büyüme stratejileri önerilmektedir. Çalışmadan elde edilen bulgular doğrultusunda, politika yapıcılara, teknolojik ilerleme çevreyi korur bulgusundan yola çıkarak yeşil AR-GE ve dijital dönüşüm politikaları güçlendirilmeli, yenilenebilir enerji çevreyi olumlu etkileri bulgusundan yola çıkarak enerji portföyünde yenilenebilir enerjinin payı artırılmalı, ekonomik büyümenin çevreyi baskıladığı bulgusundan yola çıkarak, ekonomik büyüme stratejileri sürdürülebilirlik ilkeleriyle uyumlu hale getirilmeli önerilerinde bulunulabilmektedir. Çalışmanın sonucu; Su ve Moaniba (2017), Destek ve Manga (2021), Hasan vd. (2023), Adeleye vd. (2025) gibi çalışmalarla da uyumlu çıkmıştır.

Elde edilen bulgular, teknolojik gelişmelerin ekolojik ayak izi üzerinde karmaşık ve çok katmanlı etkileri olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle, yenilikçi enerji teknolojileri ve dijital dönüşüm uygulamaları, enerji verimliliği ve temiz enerji kullanımını artırırken, bu teknolojilerin hızlı entegrasyonu, tüketim alışkanlıklarında ve üretim modellerinde değişikliklere neden olmaktadır. Bu durum, ekonomik kalkınma ile çevresel sürdürülebilirlik arasındaki dengeyi sağlama açısından önemli bir kriter haline gelmiştir. Ayrıca, teknolojik ilerlemelerin özellikle imalat ve tüketim sektörlerindeki etkileri, doğal kaynak kullanımını

optimize ederek atık ve kirlilik miktarını azaltmaya yöneliktir. Sonuç olarak, teknolojik gelişmelerin çevresel etkiler üzerindeki olumsuz dışsallıklarını sınırlamak ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için, bölgesel politikalar ile entegre stratejilerin benimsenmesi ve yenilikçi uygulamaların teşvik edilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, gelecekte yapılacak araştırmalarda, teknolojik gelişmelerin çevreye olan uzun vadeli etkilerinin daha kapsamlı şekilde analiz edilmesi önem arz etmektedir.

Kaynakça

Adeleye, B.N., Soylu, Ö.B., Ergül, M., Balsalobre-Lorente, D. (2025). “Reintroducing Evidence of The Role of Energy Usage Dynamics on Environmental Management In E7 Countries”, *Journal of Environmental Management*, No:386.

Akgün, E. ve Özmerdivanlı, A.. (2024). “Finansal Gelişme, Teknolojik Yenilik ve Ekolojik Ayak İzi Arsındaki İlişki: E7 Ülkeleri Örneği”. *Journal of Emerging Economies and Policy*, 9(1), 150-165.

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.

Asghar, M. M., Arshad, Z., Yousaf, S., e Ali, M. S., & Tariq, M. (2024). “Environmental Degradation in BRI Countries: Navigating the Role of Natural Resources, Green Energy and Green Finance”. *Pakistan Journal of Humanities and Social Sciences*, 12(3), 2705-2716.

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.

Chu, L.K., Doğan, B., Abakah, E.J.A., Ghosh, S.ve Albeni, M. (2023). “Impact Of Economic Policy Uncertainty, Geopolitical Risk, And Economic Complexity On Carbon Emissions And Ecological Footprint: An Investigation Of The E7 Countries”. *Environmental Science and Pollution Research*. 30:34406–34427. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24682-2>

Chu, L.K. (2022). “Determinants Of Ecological Footprint in OCED Countries: Do Environmental-Related Technologies Reduce Environmental Degradation?”, *Environmental Science and Pollution Research*. 29:23779–23793. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17261-4>

Danish, Wang Z (2019). “Investigation Of The Ecological Footprint’s Driving Factors: What We Learn From The Experience Of Emerging Economies”. *Sustainable Cities and Society*, 49(March), 101626. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101626>

Destek MA, Manga M (2021) “Technological İnnovation, Fnancialization, And Ecological Footprint: Evidence From BEM Economies”. *Environ Sci Pollut Res* 28(17):21991–22001. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11845-2>

Doğan B, Ghosh S, Hoang DP, Chu LK (2022) Are economic complexity and eco-innovation mutually exclusive to control Energy demand and environmental quality in E7 and G7 countries? *Technol Soc* 68.

Driscoll, J. C., & Kraay, A. C. (1998). Consistent covariance matrix estimation with spatially dependent panel data. *Review of economics and statistics*, 80(4), 549-560.

Dreher, A. (2006). “Does Globalization Affect Growth? Evidence from a New Index of Globalization”. *Appl. Econ.* 38, 1091–1110.

Gökmenoğlu, K.K., Olasehinde-Williams, G.O., Taspınar, N., (2019). Testing the environmental Kuznets curve hypothesis: the role of deforestation. *Energy and Environmental Strategies in the Era of Globalization*, 61–83.

Gyamfi BA, Adedoyin FF, Bein MA, Bekun FV, Agozie DQ (2021) The anthropogenic consequences of energy consumption in E7 economies: juxtaposing roles of renewable, coal, nuclear, oil and gas energy: evidence from panel quantile method. *J Clean Prod* 295.

Hasan, M., Mahlabin, T., Hossain, A. Kibria, G., Haseeb, M., Hossain, E. (2023). “Towards Green Economy And Sustainable Development In Bangladesh: Assessing The Role Of Social And Environmental Indicators”, *Environmental Science and Pollution Research*, No: 30, 110324–110339.

Hou, H., Wang, Y., & Zhang, M. (2023). “Green Finance Drives Renewable Energy Development: Empirical Evidence From 53 Countries Worldwide”. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(33), 80573-80590.

Iram, M., Zameer, S., & Asghar, M. M. (2024). “Financial Development, ICT Use, Renewable Energy Consumption And Foreign Direct Investment Impacts On Environmental Degradation In OIC Countries”. *Pakistan Journal of Humanities and Social Sciences*, 12(2), 1303-1315.

Joshi, J. M., Dalei, N. N., & Mehta, P. (2021). Estimation of gross refining margin of Indian petroleum refineries using Driscoll-Kraay standard error estimator. *Energy Policy*, 150, 112148.

Nathaniel, S. P., & Iheonu, C. O. (2019). “Carbon Dioxide Abatement In Africa: The Role Of Renewable And Non-Renewable Energy Consumption”. *Science of The Total Environment*, 679, 337-345.

Naude, W. (2011). “Climate Change and Industrial Policy”. *Sustainability*, 3, 1003–1021.

Özokçu, S. ve Özdemir, O., (2017). “Economic Growth, Energy, And Environmental Kuznets Curve”. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 72, 639–647.

Satrovic, E., Khan, I. & Zafar, M.W. (2025). “Unriddling the Environmental Implications of Energy Resources, Globalization, Biocapacity, and Open Trading: Does Human Capital Provoke a Change in Emerging 7”, *Environ Model Assess*, <https://doi.org/10.1007/s10666-025-10055-9>.

Sibt-e-Ali, M., Xia, X., Yi, W., & Vasa, L. (2025). “Quantifying The Role Of Digitalization, Financial Technology, Governance And SDG13 In Achieving Environment Conservation In The Perspective Of Emerging Economies”. *Environment, Development and Sustainability*, 1-23.

Su HN, Moaniba IM (2017) Does innovation respond to climate change? Empirical evidence from patents and greenhouse gas emissions. *Technol Forecast Soc Chang* 122(May):49–62. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.04.017>

Ulucak R, Bilgili F (2018) A reinvestigation of EKC model by ecological footprint measurement for high, middle and low income countries. *J Clean Prod* 188:144–157. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.191>

Wang, B.; Xu, R. (2025). “How Industrial Output, Economic Growth, Environmental Technology, and Globalization Impact Load Capacity Factor in E7 Nations”. *Sustainability*. 17, 1419. <https://doi.org/10.3390/su17041419>.

Yuerong, H., Javaid, M. Q., Ali, M. S. E., & Zada, M. (2024). “Revisiting The Nexus Between Digital Trade, Green Technological Innovation, And Environmental Sustainability In BRICS Economies”. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(6), 8585-8607.

Zeb R, Salar L, Awan U, Zaman K, Shahbaz M (2014). “Causal Links Between Renewable Energy, Environmental Degradation And Economic Growth In Selected SAARC Countries: Progress Towards Green Economy”. *Renew Energy* 71:123–132.

Do Environmental-Related Technological Innovations Affect Environmental Degradation in E7 Countries? The Driscoll–Kraay Approach

Extended Summary

The growing concern over environmental degradation has prompted an increasing body of research examining how economic growth, renewable energy consumption, and technological advancement interact to influence ecological sustainability. This study focuses on the E7 countries—China, India, Brazil, Mexico, Indonesia, Russia, and Turkey—representing rapidly developing economies with substantial environmental pressures.

Purpose and Significance

The study aims to understand whether technological development and renewable energy adoption can mitigate the environmental degradation associated with rapid economic expansion in E7 countries. These nations, while achieving significant industrial and technological advancement, face challenges related to rising carbon emissions and ecological imbalances. Therefore, analyzing their experience is critical for shaping global green growth policies and identifying pathways toward sustainable economic transformation.

Literature Review

The empirical literature emphasizes that while economic growth contributes to environmental pressure, technological innovation and renewable energy usage can offset some of these effects. Studies such as Zeb et al. (2014) and Bilgili et al. (2016) highlighted the mitigating role of renewable energy on carbon emissions, whereas Özokçu and Özdemir (2017) found that growth beyond a certain threshold does not automatically improve environmental outcomes. Danish and Wang (2019) and Nathaniel and Iheonu (2019) further indicated that renewable energy adoption contributes to ecological balance even amid industrialization. More recent analyses, including Chu (2022, 2023) and Adeleye et al. (2025),

reinforced that environmental-related technologies and green finance play a pivotal role in reducing ecological footprints in emerging economies. Despite regional variations, the literature generally agrees that technological innovations, when integrated with renewable energy strategies, can help decouple economic growth from environmental degradation.

Methodology

The study employs panel data analysis covering the period 1990–2024, using annual data from E7 countries. The dependent variable is the ecological footprint (LOGEAI), while independent variables include technological development (LOGTG), renewable energy consumption (LOGYET), and economic growth (LOGEB). The empirical model is specified as:

$$\text{LOGEAI}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \text{LOGTG}_{it} + \beta_2 \text{LOGYET}_{it} + \beta_3 \text{LOGEB}_{it} + \mu_i + \epsilon_{it}$$

Preliminary diagnostic tests, including the F-test and Hausman test, confirmed the appropriateness of the Fixed Effects Model (FEM) over the random effects model. However, since panel data often suffer from heteroskedasticity, autocorrelation, and cross-sectional dependence, the Driscoll–Kraay (1998) robust standard error estimator was applied to ensure consistent and reliable estimates. This estimator is widely used in environmental economics to correct for correlated residuals and produce unbiased statistical inferences.

Findings

The empirical findings reveal a nuanced relationship among the variables. Both technological development and renewable energy consumption have negative coefficients, indicating that these factors reduce the ecological footprint and thus alleviate environmental stress. Conversely, economic growth exhibits a positive coefficient, confirming that expansion in economic activity increases environmental pressure. These results align with the environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis only partially: while early stages of growth tend to exacerbate environmental degradation, technological and renewable energy investments can eventually reverse this trend by improving efficiency and promoting cleaner production processes.

Descriptive statistics also show considerable variation among E7 countries. For instance, China and India demonstrate high ecological footprints due to large-scale industrialization, whereas countries like Brazil and Turkey display gradual improvements in sustainability indicators through renewable energy adoption and technological adaptation. The Driscoll–Kraay robust results provide strong empirical backing for the conclusion that technology-driven and renewable energy-based growth strategies are effective in reducing ecological impact across the E7 bloc.

Conclusions

The study concludes that economic growth in its conventional form—driven by fossil fuel-intensive production—continues to pose significant environmental challenges. However, technological innovation and renewable energy utilization have the potential to counterbalance these negative effects. Policymakers in E7 countries should therefore restructure growth-oriented policies within the framework of the green economy, prioritizing clean technologies, energy efficiency, and low-carbon infrastructure. Integrating technological development into national environmental strategies can yield dual benefits: enhancing productivity while preserving ecological integrity.

Policy Implications and Recommendations

Strengthen green R&D and innovation ecosystems: Governments should promote research and development focused on eco-innovation, digitalization, and circular economy models that minimize waste and energy consumption. **Expand renewable energy portfolios:** Increasing the share of renewables—particularly solar, wind, and bioenergy—within the national energy mix can substantially reduce carbon dependency. **Integrate sustainability into macroeconomic planning:** Economic growth strategies must align with environmental sustainability goals, ensuring that industrial expansion does not compromise ecological resilience. **Foster international cooperation:** Given shared environmental

challenges, E7 countries should enhance collaboration through technology transfer, carbon trading, and joint clean energy investments.

Overall Insight

This research highlights that technological innovation and renewable energy are crucial mediators in the relationship between economic growth and environmental sustainability. For E7 countries, achieving long-term development requires a structural transition from traditional growth paradigms toward green, technology-intensive, and environmentally conscious economic systems. By adopting these strategies, nations can pursue sustainable prosperity while safeguarding ecological boundaries—paving the way toward a resilient and low-carbon global economy.