

Çevre Vergileri, Yeşil İnovasyon ve Kentleşme CO₂ Emisyonlarını Azaltıyor mu? G7 Ülkelerinden Kanıtlar

Büşra Yılmaz¹

Özet

Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin artan tehditleri karşısında, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için etkin politika araçlarının geliştirilmesi, uluslararası arenada öncelikli konular arasında yer almaktadır. Özellikle dünya ekonomisinin önde gelen güçlerini bir araya getiren G7 ülkelerinin karbon emisyonlarını azaltma çabaları, küresel çevre politikalarının şekillenmesinde belirleyici rol oynamaktadır. Ekonomik büyümeyi çevresel bozulmadan ayırıştırma hedefinde çevre vergileri, yeşil teknoloji inovasyonları ve sürdürülebilir kentleşme stratejileri, karbondioksit (CO₂) emisyonlarını azaltmada en umut vadeden politika enstrümanları olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, çalışmanın temel amacı, 1990-2023 döneminde G7 ülkelerinde çevresel vergiler, yeşil inovasyon ve kentleşmenin kişi başına düşen CO₂ emisyonları üzerindeki etkilerini ampirik olarak incelemektir. Dengeli panel veri seti kullanılarak sabit etkiler tahmin yöntemiyle gerçekleştirilen analiz, söz konusu değişkenlerin çevresel baskıyı azaltma veya artırma üzerindeki etkilerini belirleyerek politika tasarımlarına kanıt temelli katkılar sunmayı hedeflemektedir. Çalışmanın bulguları, çevresel vergilerin CO₂ emisyonlarını istatistiksel olarak anlamlı biçimde azalttığını, benzer şekilde çevresel patent sayısı ile temsil edilen yeşil inovasyonun CO₂ emisyonlarını düşürdüğünü ve artan kentleşmenin de benzer şekilde emisyonları azaltıcı yönde etkide bulunduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, politika yapıcılar tarafından çevresel sürdürülebilirliğin güvence altına alınabilmesi için çevre vergilerinin etkin, kademeli ve hedef odaklı biçimde tasarlanıp uygulanması gerektiğini ortaya koymaktadır. Buna paralel olarak, yeşil inovasyonun hem mali politikalarla hem de kentleşme stratejileriyle uyumlu, bütüncül bir anlayışla teşvik edilmesinin CO₂ emisyonlarını azaltma açısından kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir.

1 Arş. Gör. Dr., Aksaray Üniversitesi, İİBF, Maliye Bölümü, busrayilmaz@aksaray.edu.tr , <https://orcid.org/0000-0001-8837-6587>

1. Giriş

İklim değişikliğinin yol açtığı ciddi endişeler ve artan karbondioksit (CO₂) emisyonları tehdidinde karşı, birçok ülke ve ekonomi, çevresel bozulmayı en aza indirmeye yönelik çeşitli ve kapsamlı stratejiler hayata geçirmektedir. Bu çabalar kapsamında, çevresel vergilerin uygulanması, yeşil inovasyonun teşvik edilmesi ve hızlı kentleşme süreçlerinin sürdürülebilir şekilde yönetilmesi, kişi başına düşen CO₂ emisyonlarının azaltılmasında önemli rol oynamaktadır. Dolayısıyla, bu faktörlerin birbirleriyle olan etkileşimlerini ve toplam emisyonlar üzerindeki etkilerini derinlemesine analiz etmek, etkili ve sürdürülebilir çevre politikalarının tasarlanmasında kritik bir öneme sahiptir.

Çevresel vergiler, sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda çevre kirliliğini azaltmayı ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmayı amaçlayan önemli maliye politikası araçları arasında yer almaktadır. Pigouvian vergiler olarak da bilinen çevre vergilerinin temel teorisi, karbon emisyonlarına doğrudan bir maliyet yükleyerek kirletici faaliyetlerin ekonomik cazibesini azaltmak, böylece firmalar ve hane halkları için daha temiz üretim ve tüketim alternatiflerine yönelmeyi rasyonel kılmaktır (Pigou, 1920). Ayrıca, elde edilen vergi gelirlerinin yenilenebilir enerji yatırımlarına, enerji verimliliği programlarına ve çevresel inovasyonlara yönlendirilmesi hem emisyon azaltımının etkinliğini artırmakta hem de sosyal kabulü güçlendirmektedir (OECD, 2010; Shahzad, 2020). Bu çerçevede, iyi tasarlanmış çevre vergileri, yenilikçiliği teşvik ederek sürdürülebilir kalkınma hedeflerine somut katkı sunmaktadır. Yeşil inovasyonun çevresel performansı iyileştirmedeki rolü de önemli bir konudur. Yeşil inovasyon, çevre koruma gerekliliklerini karşılamak amacıyla çevre yönetimi performansını artırmak için kullanılmaktadır (Chen vd., 2006; Ullah vd., 2023). Yeşil inovasyon (sürdürülebilir inovasyon/eko-inovasyon) enerji tasarrufu, kirlilik önleme, atık geri dönüşümü, yeşil ürün tasarımları ve kurumsal çevre yönetimi gibi çeşitli alanlarda, yeşil ürün ve süreçlerle ilişkili donanım veya yazılım tabanlı yeni çözümler geliştirilmesini içermektedir (Shahzad vd., 2022). Teknik ve organizasyonel düzeyde ortaya çıkan bu yenilikçi uygulamalar hem emisyonların azaltılmasını sağlamakta hem de çevre dostu ürün ve süreçlerin piyasaya daha hızlı entegre edilmesine imkân vermektedir. Dolayısıyla, çevresel amaçlı yeniliklerin yaygınlaşması, doğrudan ya da dolaylı yollarla emisyon salımlarında kalıcı ve etkin azalma sağlamaktadır.

Kentleşme ise, çevre üzerindeki çok boyutlu etkileriyle iklim değişikliği tartışmalarının merkezinde yer almaktadır. Yoğun nüfus artışı ve plansız kentsel büyüme, özellikle ulaşım ve lojistik sektörlerinde fosil yakıt tüketimini artırarak kentlerin toplam CO₂ emisyonlarındaki payını yükseltmektedir.

Nitekim ulaşım, küresel sera gazı emisyonlarının şu anda ikinci en büyük kaynağı konumundadır (Statista, 2025). Bu üç temel dinamik (çevresel vergiler, yeşil inovasyon ve kentleşme) hem birbirini etkileyen hem de sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda bütüncül politika setleri oluşturulmasına imkân tanıyan önemli araçlar ve süreçler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Son yıllarda gerçekleştirilen pek çok akademik çalışma, çevre vergilerinin ve yeşil inovasyonun hem kısa hem de uzun vadede CO₂ emisyonlarını anlamlı ölçüde azalttığını ortaya koymaktadır (Chien vd., 2021; Yunzhao, 2022; Xie & Jamaani, 2022; Shaik vd., 2025; Wei vd., 2025). Bu doğrultuda, çevresel vergiler ile yeşil inovasyonun birlikte uygulanmasının, karbon nötrlüğüne ulaşılması ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin sağlanmasında kritik rol oynadığı vurgulanmaktadır (Chien vd., 2021; Xie & Jamaani, 2022; Wei vd., 2025). Bazı araştırmalarda çevresel vergilerin etkisinin farklı modellerde olumlu ya da olumsuz olabileceği, fakat genel eğilimin emisyonların azaltılması yönünde olduğu ifade edilmiştir (Gao & Fan, 2023; Topuz vd., 2025; Liu, 2025). Öte yandan, kentleşmenin CO₂ emisyonları üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar genellikle bu etkinin olumsuz olduğunu ortaya koyarken (Nuță vd., 2021), etkinin kısa ve uzun vadede değişiklik gösterebileceği ve karmaşık bir yapıda olabileceği de vurgulanmaktadır (Özgün, 2024; Sikder vd., 2022; Fasanya ve Arek-Bawa, 2025; Liu, 2025; Mignamissi ve Djeufack, 2021; Qamruzzaman, 2025; Ma ve Ogata, 2024; Zhai ve Kong, 2024).

Sonuç olarak, çevresel vergiler, yeşil inovasyon ve kentleşme arasındaki ilişkinin karmaşık dinamiklerinin, kişi başına düşen CO₂ emisyonları üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğu açıktır. Bu etkenlerin bütüncül bir şekilde ele alınması, sürdürülebilir kalkınma politikalarının etkinliğinin artırılmasında ve ülkelerin çevresel hedeflerine ulaşmasında önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu bağlamda, ekonomik büyüklükleri, gelişmiş teknolojik altyapıları ve çevresel politika uygulama kapasiteleriyle ön plana çıkan G7 ülkeleri, söz konusu dinamiklerin hem ulusal hem de küresel düzeydeki etkilerinin anlaşılması açısından çarpıcı bir örnek oluşturmaktadır. G7 üyesi ülkeler, bir yandan sanayileşme sürecinin getirdiği yüksek seviyedeki CO₂ emisyonlarının sorumluluğunu taşıırken, diğer yandan yenilikçi çevre vergileri ve ileri düzeydeki yeşil inovasyon uygulamaları sayesinde sürdürülebilir kalkınmayı teşvik edebilecek güçlü bir potansiyele sahiptir. Bunlara ek olarak, G7'nin mevcut finansal kaynakları, güçlü kurumsal yapıları ve politika belirleme konusundaki deneyimi, çevresel hedeflere ulaşma ve yenilikçi çözüm geliştirme kapasitesini artırmaktadır. Bu nedenle, çevresel vergiler, yeşil inovasyon ve kentleşme arasındaki etkileşimin G7 ülkelerinde kişi başına

düşen CO₂ emisyonları üzerindeki etkisinin ayrıntılı şekilde analiz edilmesi, hem bu ülkeler açısından yenilikçi ve etkili politika önerilerinin geliştirilmesi hem de küresel düzeyde sürdürülebilirlik çalışmalarına yön verilmesi adına önem taşımaktadır. Bu çerçevede hazırlanan çalışma, G7 ülkelerinde yeşil inovasyonun, çevre vergilerinin ve kentleşme oranlarının CO₂ emisyonları üzerindeki rolünü araştırmayı hedeflemekte olup; çalışmanın yapısı gereği giriş bölümünü takiben ilgili literatür sunulmakta, ardından kullanılan veri seti ve yöntemler ayrıntılı şekilde açıklanmakta, daha sonra elde edilen ampirik bulgular rapor edilmekte ve nihayetinde politika önerileri ve genel sonuçlar değerlendirilmektedir.

2. Literatür İncelemesi

Çok sayıda ampirik çalışma, CO₂ emisyonu seviyelerini etkileyen faktörleri kapsamlı bir şekilde incelemiştir. Bu çalışmalar, çeşitli sosyo-ekonomik, politik ve coğrafi değişkenlerin CO₂ konsantrasyonlarını şekillendirdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle çevresel vergilerin CO₂ emisyonlarını azaltmadaki etkinliğine ilişkin bulgular son yıllarda giderek güçlenmekte ve bu alandaki literatür, vergi politikalarının sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada stratejik bir araç olduğunu göstermektedir. Örneğin, Doğan vd. (2022), 1994-2014 döneminde G7 ülkeleri için yaptığı çalışmada çevresel vergilerin emisyonları anlamlı ölçüde azalttığını ortaya koymuştur. Hieu (2022), 1981-2020 döneminde ASEAN ülkelerinde çevre vergileri ile CO₂ emisyonları arasındaki ilişkiyi inceleyerek çevre vergilerinin CO₂ emisyonlarını azalttığını ortaya koymuştur. Yeboah vd. (2025), 2000-2020 döneminde Afrika'da çevresel vergilerin CO₂ emisyonları anlamlı biçimde azalttığı bulgusuna ulaşmıştır.

Yeşil inovasyon (eko-inovasyon) ise üretim süreçlerinde teknolojik yeniliklerin sağladığı çevresel iyileştirmelerin ölçülmesine odaklanan, stratejik ve ölçülebilir bir yaklaşımdır. Yeşil inovasyon ve çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmaların büyük bir kısmında, yeşil inovasyonun çevresel bozulmayı azalttığı bulgusuna erişilmiştir (Ma vd., 2023; Adebayo ve Ozkan, 2024). Örneğin Sharif vd. (2022), G7 ülkelerinde 1995-2019 dönemi için yeşil teknoloji inovasyonun CO₂ emisyonlarını önemli ölçüde azalttığını ortaya koymuştur. Ali vd. (2022), 1990-2014 döneminde BRICS ekonomilerinde yaptıkları çalışmada yeşil inovasyonun CO₂ emisyonlarını önemli ölçüde azalttığını ortaya koymuşlardır. Pakistan'da yapılan ve 1990-2020 dönemini kapsayan bir çalışmada Ali vd. (2025), teknolojik inovasyon ve yeşil inovasyonun CO₂ emisyonlarını anlamlı biçimde azalttığı bulgusunu ortaya koymuşlardır. Amin vd. (2025), BRICS ekonomilerinde 1995-2022 döneminde yaptıkları çalışmada, yeşil enerjinin ve yeşil inovasyonun

CO₂ emisyonlarını istatistiksel olarak anlamlı ve negatif yönde etkilemekte olduğunu ortaya koymuşlardır. Islam (2025), 1990-2020 döneminde Suudi Arabistan'da çevre teknolojilerini içeren yeşil inovasyonların CO₂ emisyonlarına etkisini incelemiştir. Çalışma bulguları, Suudi Arabistan'da toplam teknolojiler içinde çevresel patentlerin ölçeğinin düşük olması nedeniyle, çevre kirliliği üzerinde anlamlı bir etki yaratmadığını ortaya koymuştur.

Çevre vergileri ve CO₂ emisyonu arasındaki bağlantıda yeşil inovasyonların etkisini de içeren çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, Chien vd. (2021), 1970–2015 döneminde ABD'de uzun dönemde yeşil büyüme, eko-inovasyon ve çevre vergilerinin CO₂ emisyonlarını istatistiksel olarak anlamlı biçimde azalttığını ortaya koymuştur. Hsu vd. (2021), 1980-2018 döneminde Çin'de eko-inovasyon, yenilenebilir enerji ve çevre vergilerinin CO₂ emisyonu, PM_{2.5} sis kirliliği ve sera gazları üzerindeki etkilerini araştırmış ve uzun dönemde anlamlı biçimde azalttığını ortaya koymuştur. 1980-2018 döneminde N-11 ülkeleri için yapılan bir çalışmada Shao vd. (2021), yeşil teknoloji inovasyonunun CO₂ emisyonlarını önemli ölçüde azalttığını ortaya koymuştur. Yunzhao (2022), 1995-2018 döneminde E7 ülkelerinde eko-inovasyon, yenilenebilir enerji ve çevre vergilerinin CO₂ emisyonlarını azaltmadaki rolünü araştırmıştır. Araştırma, eko-inovasyonun CO₂ emisyonlarının azalmasına katkıda bulunduğunu ve bu değişkenler arasında iki yönlü bir ilişki olduğunu tespit etmiştir. Xie ve Jamaani (2022), 1990-2020 döneminde G7 ülkelerinde CO₂ emisyonlarını açıklamada yeşil inovasyon ve çevreyle ilgili vergilerin belirgin biçimde azaltıcı olduğu bulgusuna ulaşmışlardır. Aydın ve Bozatlı (2022), 1994-2019 döneminde en yüksek ulaşım vergisi gelirine sahip ilk 10 OECD ülkesinde ulaşım vergilerinin hava kirliliğini azaltmadaki etkisini incelemiş, bu vergilerin genel olarak hava kirliliğini azaltma konusunda etkisiz olduğu, hatta bazı ülkelerde (örneğin Brezilya) hava kirliliğini artırdığı bulgusuna ulaşmışlardır. Bozatlı ve Akça (2023), 1994-2018 döneminde OECD ülkelerini inceleyerek, çevre teknolojilerinin çevresel sürdürülebilirlik üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmadığını; buna karşılık çevre vergilerinin ekolojik ayak izini azalttığını tespit etmiştir. Gao ve Fan (2023), 2000-2020 döneminde 26 AB ülkesinde çevresel vergiler, eko-inovasyon ve yenilenebilir enerji tüketiminin CO₂ emisyonları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Sonuçlar, yenilenebilir enerji tüketiminin emisyonları belirgin biçimde azalttığını; eko-inovasyonun ise erken aşamalarda sınırlı/karma etkiler gösterse de belirli bir eşiğin ardından emisyonları düşürdüğünü ortaya koymuştur. Topuz vd. (2025), 1995-2020 döneminde 21 AB ülkesi için yeşil inovasyon ve çevresel vergilerin çevresel kalite üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bulgular, çevre vergilerinin ve

ekonomik büyümenin CO₂ emisyonlarını artırdığını yeşil inovasyonun ise negatif bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Wei vd. (2025), 2000-2021 döneminde EPI endeksine göre çevresel performansı en yüksek 25 ülkede yeşil finansman, yeşil inovasyon, yeşil büyüme ve çevresel vergilerin CO₂ emisyonlarını nasıl azalttığını incelemişlerdir. Bulgular, dört yeşil politika aracının tamamının emisyonları istatistiksel olarak anlamlı biçimde düşürdüğünü ortaya koymuştur. Shaik vd. (2025), ASEAN ülkelerinde 1990-2022 döneminde, eko-inovasyon ve çevresel vergilerin CO₂ emisyonlarını hem kısa hem uzun vadede düşürdüğünü ortaya koymuşlardır. Liu (2025), 1970–2022 döneminde Çin’de sürdürülebilir kentleşmenin uzun vadede emisyonları azaltırken; kısa vadede etkilerin zayıf/önemsiz olduğunu, çevre vergilerinin ise kısa vadede CO₂’yi artırırken, uzun vadede ise emisyonları azalttığı bulgusuna ulaşmıştır.

Son olarak birçok çalışma, kentleşmenin CO₂ emisyonlarını artırdığını, özellikle enerji tüketimi ve sanayileşme ile birlikte bu etkinin güçlendiğini ortaya koymaktadır. Bazı çalışmalarda ise bu etkinin karmaşık olduğu belirtilmiştir. Örneğin Nuğa vd. (2021), 1990-2015 döneminde gelişmekte olan Avrupa ekonomilerinde, kentleşmenin CO₂ emisyonlarını önemli ölçüde artırdığı bulgusuna ulaşmıştır. Mignamissi ve Djeufack (2021), 1980–2016 döneminde 48 Afrika ülkesinde kentleşmenin emisyonları genel olarak artırdığını; ancak etkinin kirlilik düzeyleri, doğal kaynak bağımlılığı ve kurum kalitesine göre belirgin biçimde heterojen olduğunu ortaya koymuştur. Sikder vd. (2022), 1995–2018 döneminde 23 gelişmekte ülkede uzun dönemde kentleşmenin emisyonları anlamlı ve pozitif etkilediği bulgusuna ulaşmıştır. Ma ve Ogata (2024), 1990–2020 döneminde 136 ülke ve bölge için yaptığı çalışmada küresel ölçekte kentleşme oranı ile CO₂ emisyonları arasında istatistiksel olarak anlamlı ve negatif bir ilişki ortaya koymuştur. Çalışmada, OECD dışı ülkelerde kentleşmenin emisyonları anlamlı biçimde düşürürken, OECD ülkelerinde etkinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı bulgusuna ulaşılmıştır. Özgün (2024), 1980-2021 döneminde Türkiye’de kentleşmenin CO₂ emisyonlarına etkisinin kısa dönemde negatif ve anlamlı olduğunu, uzun dönemde ise pozitif ve anlamsız olduğu bulgusunu ortaya koymuştur. Zhai ve Kong (2024), Jiangsu eyaletinde 2002–2021 döneminde 80 ilçe panel verisiyle yaptığı çalışmada, nüfus kentleşmesi ve ekonomik kentleşmenin CO₂’yi artırırken, bölgesel heterojenliklerin olduğunu ortaya koymuştur. Qamruzzaman (2025), 2000-2021 döneminde Çin’de yeşil inovasyonun, çevre vergilerinin ve kentleşmenin CO₂ emisyonları üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışma bulguları, yeşil yatırımların ve yeşil inovasyonların CO₂ emisyonlarını etkin biçimde azalttığını, benzer şekilde daha yüksek çevre vergilerinin CO₂ emisyonlarını azalttığını, kentleşmenin ise emisyonlar

üzerindeki etkisinin karmaşık olduğunu ve iller arasında farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Fasanya ve Arek-Bawa (2025), 1968-2020 döneminde Güney Afrika'da yaptıkları çalışmada, kentleşmenin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisinin yalnızca küresel belirsizlik endeksi ile analiz edildiğinde anlamlı ve negatif olduğunu belirtmişlerdir. Kısa vadede kentleşmenin, CO₂ emisyonları üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamıştır. Obwori vd. (2025), Romanya'da 1990-2021 dönemi için yaptıkları çalışmada, çevre vergilerinin CO₂ emisyonlarını anlamlı şekilde azalttığını, buna karşın kentleşmenin emisyonları artırdığını ortaya koymuşlardır.

Çalışmalar doğru tasarlanmış ve öngörülebilir bir çevre vergisi politikasının, çevre odaklı inovasyonların ve bunlarla entegre edilmiş kentleşme stratejilerinin, CO₂ emisyonlarını azaltarak sürdürülebilir kalkınmayı destekleyebileceğini göstermektedir. Bu çerçevede, kararlı düzenleyici çerçeveler, yenilikçi teknoloji geliştirme teşvikleri ve akıllı kentleşme uygulamaları arasında kurulan eşgüdüm hem kaynak verimliliğini artırmakta hem de düşük karbonlu büyüme patikalarını güçlendirmektedir. Böylece, çevresel maliyetlerin içselleştirilmesi ve yeşil altyapı yatırımlarının ölçeklenmesi, uzun vadeli refah ve iklim dirençliliği hedefleriyle tutarlı bir dönüşümü mümkün kılmaktadır. Bu bağlamda, araştırma üç temel soruya odaklanmaktadır: (1) Çevresel vergilendirme, CO₂ emisyonlarını azaltmada etkili bir araç mıdır? (2) Yeşil inovasyon kapasitesi, emisyonlar üzerinde anlamlı bir azalma etkisi yaratmakta mıdır? (3) Kentleşme oranındaki değişim, kişi başına düşen CO₂ emisyonlarını nasıl etkilemektedir? Bu sorular, literatürde sıklıkla ayrı ayrı ele alınmışken, bu çalışmada entegre biçimde değerlendirilerek daha kapsamlı bir politika perspektifi sunulmaktadır. Böylece, G7 ülkeleri özelinde sürdürülebilir kalkınma politikalarının tasarımı için bütüncül ve veri temelli bir çerçeve ortaya konmaktadır.

3. Veri ve Yöntem

Bu çalışma, G7 ülkelerinde (Amerika Birleşik Devletleri, Birleşik Krallık, Kanada, Fransa, Almanya, İtalya ve Japonya) kişi başına düşen CO₂ emisyonlarının belirleyicilerini sistematik olarak incelemekte ve özellikle çevresel vergilendirme, kentleşme ve yeşil inovasyonun etkisine odaklanmaktadır. Bu bağlamda çalışmanın temel değişkenleri, daha önceki literatürde CO₂ emisyonları üzerinde belirleyici faktörler olarak sıklıkla analiz edilmiştir (Doğan vd., 2022; Sharif vd., 2022; Gao ve Fan, 2023). Analizlerde, 1990-2023 dönemini kapsayan, her ülke için 34 yıllık gözlem içeren ve toplamda 238 panel biriminden oluşan dengeli bir panel veri seti kullanılmaktadır. Panel yapısının eksiksiz olması, sabit etkiler regresyonunun içsel tutarlılığını artırmakta ve çıkarımların güvenilirliğini pekiştirmektedir.

Çalışmanın bağımlı değişkeni, kişi başına düşen karbondioksit (CO₂) emisyonlarının doğal logaritmasıdır ve ilgili veriler, Dünya Bankası'nın *World Development Indicators (WDI)* veri tabanından alınmakta; metrik ton cinsinden ölçülen bu değerler, ülkelerin zaman içindeki emisyon yoğunluğunu temsil etmektedir.

Bağımsız değişkenler üç ana kategoriye ayrılmaktadır. İlk olarak, çevresel sürdürülebilirliği sağlamada önemli bir maliye politikası aracı olan çevresel vergilerin gayrisafi yurt içi hasıla (GSYH) içindeki payı kullanılmakta olup, bu veriler *OECD Environmental Tax Statistics* veri tabanından derlenmektedir. Söz konusu gösterge; enerji, ulaşım, kirlilik ve kaynak vergileri de dâhil olmak üzere tüm çevreyle ilişkili vergi kalemlerini kapsamaktadır. Bu değişken, çevresel vergi politikalarının emisyonlar üzerindeki etkisini test eden önceki ampirik çalışmalarda da yaygın biçimde kullanılmıştır (Chien vd., 2021; Xie ve Jamaani, 2022; Hieu, 2022). İkinci olarak, yapısal ve demografik unsurları yansıtmak üzere kentleşme oranı dikkate alınmakta; toplam nüfus içindeki şehirde yaşayanların oranını temsil eden bu gösterge, *World Bank Group (WBG)* tarafından yayımlanan “*urban population (% of total population)*” serisi temel alınarak elde edilmektedir. Kentleşme oranı, CO₂ emisyonlarıyla ilişkisi birçok çalışmada tartışmalı ve karmaşık bulunan yapısal bir göstergedir (Nuță vd., 2021; Ma ve Ogata, 2024; Zhai ve Kong, 2024). Üçüncü olarak, yeşil inovasyon göstergesi olarak çevresel patent verileri kullanılmakta; bu kapsamda, *OECD Patents by Technology Database* içindeki “*Environmental technology patent grants*” göstergesi, her yıl verilen çevresel teknoloji patentleri esas alınarak analizde yer almaktadır. Yeşil inovasyonun emisyonlar üzerindeki etkisine ilişkin pozitif bulgular çok sayıda ampirik çalışmada doğrulanmıştır (Sharif vd., 2022; Ali vd., 2022; Amin vd., 2025).

Tüm sürekli değişkenler, dağılımların normalize edilmesi, uç değerlerin etkisinin azaltılması ve regresyon katsayılarının esneklik olarak yorumlanabilmesi amacıyla doğal logaritmaya dönüştürülmektedir. Eksik gözlem içeren veri noktaları analiz dışında bırakılmakta olup, bu yöntemsel yaklaşım tahmin sonuçlarının hem istatistiksel geçerliliğini hem de yorumlanabilirliğini artırmaktadır.

Temel değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 1'de sunulmaktadır. CO₂ emisyonlarının logaritmik ortalamasının 2.24 olduğu ve ülkeler ile yıllar arasında orta düzeyde bir değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Çevresel vergi gelirlerinin ortalaması 0.59 olup, bu değişkenin daha geniş bir dağılıma sahip olduğu görülmektedir. Kentleşme oranlarının, gelişmiş ekonomilere özgü olarak, oldukça yüksek seviyelerde gerçekleştiği ve düşük

bir varyasyon sergilediği tespit edilmiştir. Çevresel patent sayılarının ise ülkeler arasında kayda değer farklılıklar gösterdiği saptanmıştır.

Tablo 1. Tanımlayıcı İstatistikler

Değişken	Gözlem Sayısı	Ortalama	Stand. Sapma	Minimum	Maksimum
CO ₂ Emisyonu	168	2.242096	0.426041	1.374673	3.018955
Çevresel Vergi	198	0.594741	0.426725	-0.428575	1.270736
Kentleşme Oranı	189	4.367375	0.074468	4.200295	4.522256
Yeşil İnovasyon	224	8.383026	1.461918	5.662960	10.73112

Tablo 2’de sunulan değişkenler arası ikili korelasyonlar, değişkenler arasındaki istatistiksel ilişkilerin temel bulgularını ortaya koymaktadır. CO₂ emisyonları ile çevresel vergiler arasında yüksek düzeyde, negatif ve anlamlı bir ilişki saptanmıştır ($r = -0.826$, $p < 0.01$). Bu sonuç, çevresel vergilerin emisyonlar üzerindeki azaltıcı etkisini destekleyen mevcut literatürle uyumludur (Doğan vd., 2022; Wei vd., 2025; Gao ve Fan, 2023). Öte yandan, CO₂ emisyonları ile yeşil inovasyon (çevresel patent sayıları) arasında anlamlı ve pozitif bir ilişki belirlenmiştir ($r = 0.555$, $p < 0.01$); bu bulgu, daha yüksek emisyon düzeylerine sahip ya da sanayileşmiş ekonomilerin, çevresel inovasyon üretme eğiliminin daha fazla olduğunu düşündürmektedir. Benzer şekilde, sanayileşmiş ekonomilerde yüksek inovasyon düzeyi ile yüksek emisyon düzeyi arasındaki eşzamanlılık literatürde de rapor edilmiştir (Ali vd., 2025; Islam, 2025). Kentleşme oranı da CO₂ emisyonlarıyla pozitif ve anlamlı bir ilişki göstermiştir ($r = 0.243$, $p < 0.01$). Ayrıca, çevresel vergiler ile hem kentleşme hem de yeşil inovasyon arasında negatif yönlü ilişkiler bulunmuştur. Yeşil inovasyon ile kentleşme arasında ise güçlü ve pozitif bir ilişki tespit edilmiştir ($r = 0.692$, $p < 0.01$).

Tablo 2. İkili Korelasyon Matrisi

	CO ₂ Emisyonu	Çevresel Vergi	Kentleşme	Yeşil İnovasyon
CO ₂ Emisyonu	1.000			
Çevresel Vergi	-0.826*	1.000		
Kentleşme	0.243*	-0.553*	1.000	
Yeşil İnovasyon	0.555*	-0.786*	0.692*	1.000

Çoklu doğrusal bağlantı sorunu, Varyans Şişirme Faktörü (VIF) kullanılarak test edilmiş ve tüm bağımsız değişkenlerin VIF değerlerinin kritik eşiklerin altında olduğu saptanmıştır. Bu bulgu, regresyon sonuçlarının istikrarına ve yorumlanabilirliğine katkı sunmaktadır. Ayrıca, panelin dengeli yapısı, zaman kapsamının genişliği ve değişkenlerin sağlam dönüşümleri, sabit etkiler tahmini için güçlü bir analitik temel oluşturmaktadır.

Çalışmanın ampirik modeli, ülkeler arasındaki gözlemlenemeyen ve zamana bağlı olmayan farklılıkların kontrol altına alınabilmesi amacıyla, ülke düzeyinde sabit etkiler (Fixed Effects/FE) tahmincisi kullanılarak oluşturulmuştur. Modelin spesifikasyonu aşağıda sunulmaktadır:

$$\log(CO2_{it}) = \alpha_i + \beta_1 \log(\text{ÇevVergi}_{it}) + \beta_2 \log(\text{Kentleşme}_{it}) + \beta_3 \log(\text{Patent}_{it}) + \epsilon_{it}$$

Burada, α_i ülkeye özgü sabit ancak gözlemlenemeyen etkileri, ϵ_{it} ise hata terimini temsil etmektedir. Bu yaklaşım, modelin ülkeler içinde zamanla meydana gelen değişimleri kullanmasına olanak tanımakta; böylece, politika müdahaleleri ve yapısal dönüşümlerin etkilerinin sabit ülke özelliklerinden ayırtılmasını sağlamaktadır.

Sabit etkiler modelinin uygunluğunu değerlendirmek amacıyla, aynı model rastgele etkiler (Random Effects – RE) tahmincisi ile de tahmin edilmiş ve sonrasında Hausman testi uygulanmıştır. Hausman testi, sabit etkiler ve rastgele etkiler tahminleri arasında sistematik bir fark olmadığını öne süren sıfır hipotezini güçlü bir şekilde reddetmiştir. Bu bulgu, sabit etkiler tahmincisinin tutarlılığını ortaya koymakta ve analizlerde tercih edilmesi gereken yöntem olduğunu göstermektedir.

Ekonometrik bulguları desteklemek amacıyla, G7 ülkelerinde temel değişkenlerin zaman içindeki eğilimlerini gösteren çeşitli grafikler üretilmiştir. Ülkeye özgü çizgi grafikleri, logaritmik CO₂ emisyonlarının, çevresel vergilerin, kentleşme oranlarının ve yeşil inovasyon faaliyetlerinin zamansal evrimini ayrıntılı biçimde ortaya koymaktadır. Ayrıca, her bir ülke için CO₂ emisyonları ile açıklayıcı değişkenler arasındaki ikili ilişkileri gösteren ve doğrusal uyum çizgisi içeren saçılma (scatter) grafikleri sunulmuştur. Bu görseller hem ülkeler arası yapısal farklılıkları hem de ülkelerin kendi iç dinamiklerindeki zamansal değişimleri kapsamlı şekilde yansıtmaktadır. Sıkı panel veri yöntemlerine dayanan, sağlam istatistiksel testler ve grafiksel analizlerle desteklenen bu ampirik tasarım, gelişmiş ekonomilerde CO₂ emisyonlarının yapısal belirleyicilerini güvenilir ve bütüncül bir biçimde ortaya koymaktadır.

4. Ampirik Sonuçlar

Tahmin sonuçları Tablo 3'te sunulmaktadır. Modelin açıklayıcı gücünün yüksek olduğu görülmektedir; varyansın %54,2'si ülke içinde zamanla gözlemlenen değişkenler tarafından açıklanmıştır (Within R² = 0.5423). F-istatistiği anlamlı bulunmuştur (F(3, 142) = 56.08, $p < 0.01$), bu da modelin genel olarak istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.

Çevresel vergilerin katsayısı -0.185 olarak tahmin edilmiştir ($p=0.023$). Bu sonuç, çevresel vergi oranında %1'lik bir artışın, CO₂ emisyonlarını yaklaşık %0.185 oranında azalttığını göstermektedir. Bulgular, çevresel vergilendirmenin emisyon azaltımında etkili bir politika aracı olduğunu desteklemektedir. Bu bulgu, çevresel vergilerin emisyonlar üzerindeki azaltıcı etkisini vurgulayan literatürle uyumludur (Doğan vd., 2022; Hicü, 2022; Xie ve Jamaani, 2022).

Kentleşme oranı değişkeninin katsayısı -1.914 olarak elde edilmiş ve bu ilişki istatistiksel açıdan oldukça anlamlı bulunmuştur ($p<0.001$). Söz konusu güçlü negatif ilişki, daha yüksek kentleşme oranlarının CO₂ emisyonlarında azalma ile ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, G7 ülkelerinde kentleşmenin daha verimli altyapı ve enerji kullanımıyla birlikte ilerlediği şeklinde yorumlanabilir. Bu sonuç, OECD ülkeleri için kentleşmenin emisyon azaltıcı potansiyeline işaret eden Ma ve Ogata (2024) ve Qamruzzaman (2025) gibi çalışmalarla da örtüşmektedir.

Yeşil inovasyonda CO₂ emisyonları ile negatif ilişkili bulunmuştur. Katsayısı -0.291 olarak tahmin edilmiş ve bu ilişki yüksek derecede anlamlıdır ($p<0.001$). Bu durum, çevresel inovasyonun (özellikle patentli teknolojilerin) emisyonların azaltılmasında etkili olabileceğini göstermektedir. Bu durum, çevresel inovasyonun —özellikle patentli teknolojilerin— emisyonların azaltılmasında etkili olabileceğini göstermektedir (Sharif vd., 2022; Ali vd., 2022; Amin vd., 2025).

Modelin hata bileşenleri analizinde, panel yapısının büyük ölçüde ülkeye özgü sabit etkiler tarafından belirlendiği görülmüştür: rho değeri 0.987 olarak bulunmuş; bu da varyansın yaklaşık %98,7'sinin ülkeye özgü sabit etkilerden kaynaklandığına işaret etmektedir. Bu, sabit etkiler modelinin tercih edilmesini doğrular niteliktedir. Bu metodolojik tercih, çevresel politika etkilerinin ülkeler arası gözlemlenemeyen heterojenliklerden ayrıştırılmasına olanak sağlamaktadır (Chien vd., 2021; Hsu vd., 2021).

Tablo 3. Sabit Etkiler (FE) Regresyon Sonuçları

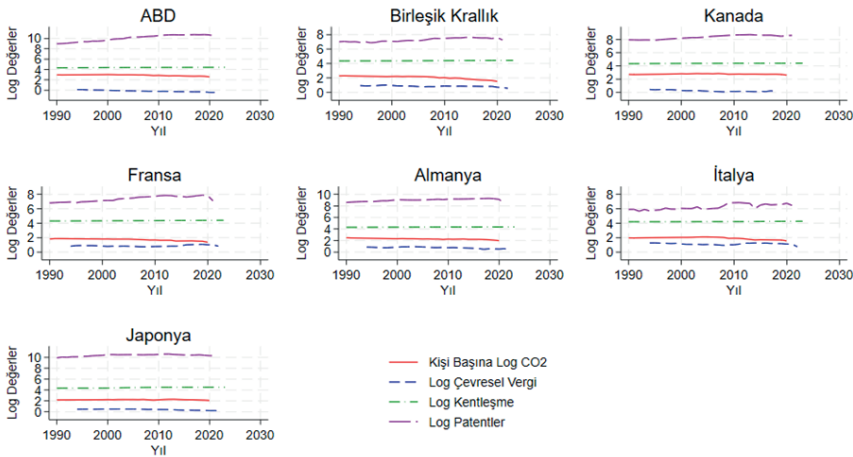
Değişken	Katsayı	Standart Hata	t-ist.	p-değeri
Çevresel Vergi	-0.1848	0.0804	-2.30	0.023
Kentleşme Oranı	-1.9136	0.3424	-5.59	0.000
Yeşil Inovasyon	-0.2909	0.0353	-8.25	0.000
Sabit Terim	13.1784	1.4148	9.31	0.000

Sonuç olarak, çevresel vergilendirme, kentleşme ve yeşil inovasyonun her birinin, kişi başına CO₂ emisyonlarında istatistiksel olarak anlamlı ve

azaltıcı etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular, özellikle gelişmiş ülkelerde çevresel politika araçlarının ve teknolojik yeniliklerin karbon azaltımında birbirini tamamlayan roller oynadığını ortaya koymaktadır (Wei vd., 2025; Gao ve Fan, 2023; Topuz vd., 2025). Elde edilen bulgular, G7 ülkelerinde sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılabilmesi için politika araçları ile teknolojik ilerlemenin bütünleşik biçimde değerlendirilmesinin gerekliliğine işaret etmektedir. Bu sonuçlar, Chien vd. (2021), Hsu vd. (2021) ve Wei vd. (2025) gibi çalışmalarda da vurgulanan, çevresel vergi ve inovasyon politikalarının entegre edilmesinin önemine paraleldir.

Şekil 1, G7 ülkelerinde analiz kapsamındaki temel değişkenlerin zamansal eğilimlerini ülke düzeyinde ortaya koymaktadır. Bu görsel, sabit etkiler modelinden elde edilen bulguların yapısal düzeyde değerlendirilmesine imkân tanımakta ve ülkeler arasındaki uzun dönemli örüntülerin karşılaştırılmasını mümkün kılmaktadır.

Şekil 1. G7 Ülkelerinde Temel Değişkenlerin Zaman Serileri (1990–2023)



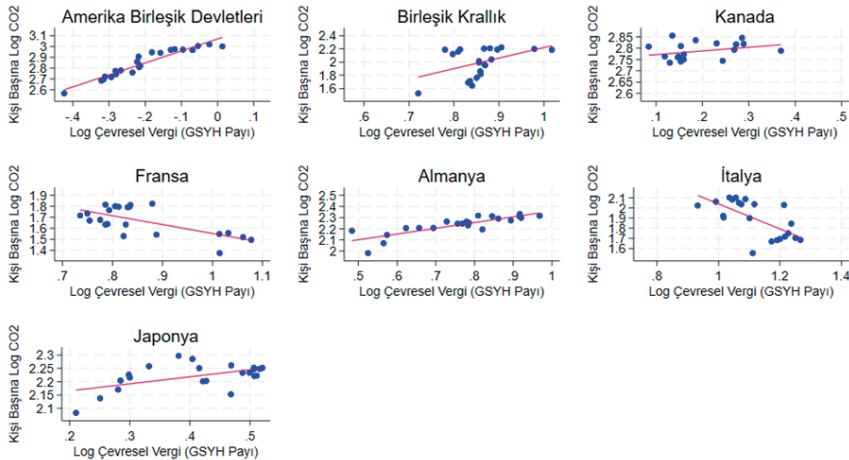
Birleşik Krallık ve Almanya’da CO₂ emisyonlarında istikrarlı bir azalma gözlenirken, Fransa’da azalma daha sınırlıdır. ABD ve Kanada’da emisyonlar yatay veya dalgalı, İtalya ve Japonya’da ise büyük ölçüde sabittir. Bu durum, gelişmiş ülkelerdeki sanayi dönüşümlerinin ve enerji verimliliği politikalarının CO₂ salımlarına farklı düzeylerde yansıdığını göstermektedir (Sharif et al., 2022; Xie ve Jamaani, 2022). Çevresel vergiler tüm ülkelerde genellikle durağan seyretmekte, uzun vadeli bir artış veya azalış göstermemektedir. Ancak Chien et al. (2021), çevre vergilerinin etkinliğinin yalnızca düzey değil, uygulama kapsamı ve yeniden yatırım mekanizmaları

ile birlikte değerlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Kentleşme oranı ise her ülkede istikrarlı biçimde artmakta; bu, sürdürülebilir altyapıların gelişimiyle ilişkilendirilebilir durumdadır. Kentleşmenin etkileri ülkeden ülkeye farklılık gösterebilir; bazı ülkelerde emisyonları azaltıcı yönde işlerken, diğerlerinde olumsuz etkiler yaratabilmektedir (Ma ve Ogata, 2024; Zhai ve Kong, 2024). Yeşil inovasyonda (çevresel patentler) ise Japonya, Almanya ve ABD öne çıkarken, diğer ülkelerde düşük ve durağan bir seyir izlenmektedir. Bu farklar, ülkelerin araştırma-geliştirme kapasiteleri ve çevre politikalarına verdikleri önceliklerle ilişkili olabilir (Ali et al., 2025; Amin et al., 2025).

Genel olarak, grafikler ülkeler arasında hem başlangıç seviyeleri hem de eğilimler bakımından belirgin farklılıklar olduğunu göstermekte; bu bulgu, çevre politikası etkinliğinin ülke bağlamında değerlendirilmesinin gerekliliğine işaret etmektedir. Bu gözlemle uyumlu olarak, Mignamissi ve Djeufack (2021) ile Qamruzzaman (2025) da ülkeler arası heterojenliklerin dikkate alınması gerektiğini ortaya belirtmiştir.

Şekil 2, G7 ülkelerinde kişi başına CO₂ emisyonları ile çevresel vergi oranları arasındaki logaritmik ilişkiyi ülke bazında göstermektedir. Her bir ülkeye ait saçılma grafikleri ve üzerine eklenen doğrusal uyum çizgileri, vergi oranları ile emisyonlar arasındaki ilişkinin yönünü ve gücünü görsel olarak ortaya koymaktadır. Bu analiz, sabit etkiler modelindeki genel negatif ilişkinin, ülke düzeyinde de geçerli olup olmadığını değerlendirmek açısından kritik öneme sahiptir (Chien et al., 2021; Xie ve Jamaani, 2022).

Şekil 2. G7 Ülkelerinde Kişi Başına CO₂ Emisyonu ile Çevresel Vergi Oranı Arasındaki İlişki



Fransa ve İtalya'da çevresel vergi oranları ile kişi başına CO₂ emisyonları arasında anlamlı ve negatif bir ilişki gözlenmektedir. Her iki ülkede de vergi oranlarının artmasıyla emisyonlarda istikrarlı bir azalma gerçekleşmiş olup, bu durum vergi politikalarının etkinliğini göstermektedir. Özellikle Fransa'da sabit ve orta seviyedeki vergilere rağmen emisyonlarda kayda değer bir düşüş yaşanması, vergi yapısının istikrarlı uygulanmasının çevresel etkilerini öne çıkarmaktadır (Obwori et al., 2025). İtalya'da ise yüksek vergi düzeylerinin emisyonlar üzerinde güçlü bir azaltıcı rol oynadığı görülmektedir.

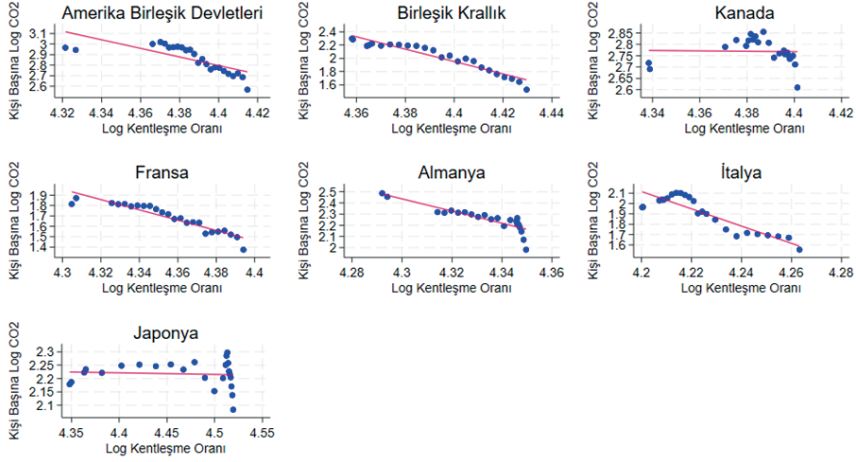
Almanya, Japonya ve Kanada'da ise çevresel vergiler ile CO₂ emisyonları arasındaki ilişki daha zayıf ve yatay eğilimlidir. Bu ülkelerde vergi seviyelerindeki değişimlerin emisyonlar üzerinde belirgin bir etkisi gözlemlenmemektedir. Almanya ve Japonya'da vergilerin görece sabit düzeylerde seyretmesi, Kanada'da ise düşük vergi oranlarının ve dar veri aralığının bu sonucu etkilediği değerlendirilmektedir. Enerji arzı çeşitliliği, endüstriyel yapı ve sektörel emisyon yoğunluğu gibi yapısal faktörler, vergilendirmenin etkinliğini sınırlayabilmektedir (Gao ve Fan, 2023).

Amerika Birleşik Devletleri ve Birleşik Krallık'ta gözlemlenen ilişki, diğer ülkelere kıyasla daha dikkat çekici biçimde pozitifdir, özellikle ABD'de çevresel vergi artışlarına rağmen emisyonlarda da yükselme söz konusudur. Ancak, ABD'deki çevresel vergilerin mutlak seviyesinin oldukça düşük olması ve uygulama kapsamındaki sınırlamalar, bu ilişkinin görünürde pozitif çıkmasına neden olabilir durumdadır (Islam, 2025). Birleşik Krallık'ta da benzer şekilde pozitif eğilimli bir ilişki gözlemlense de veri kümesinin dağılımı bu ilişkinin istatistiksel olarak ne ölçüde anlamlı olduğunu sorgulamaya açtır.

Bu bulgular, çevresel vergi politikalarının ülkeler arasında hem düzey hem de etki açısından önemli derecede farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Sabit etkiler modeli altında bulunan negatif etkinin, her ülke için aynı biçimde geçerli olmadığı açıktır. Vergilendirmenin etkinliği yalnızca oran artışıyla değil, aynı zamanda vergi yapısı, uygulama kapsamı ve tamamlayıcı politikalarla birlikte şekillenmektedir (Topuz et al., 2025; Wei et al., 2025). Dolayısıyla, çevresel vergilerle emisyonlar arasındaki ilişkinin, ülkenin özgül koşulları çerçevesinde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Şekil 3, G7 ülkelerinde kişi başına düşen CO₂ emisyonları ile kentleşme oranı arasındaki ilişkiyi ülke temelinde analiz etmektedir. Bu grafikler, sabit etkiler modelinde tespit edilen kentleşme ile CO₂ emisyonları arasındaki negatif ve anlamlı ilişkinin, ülke düzeyinde benzer biçimde geçerli olup olmadığını değerlendirme açısından önemli bir araç sunmaktadır (Nuřa vd., 2021; Ma ve Ogata, 2024; Zhai ve Kong, 2024).

Şekil 3. G7 Ülkelerinde Kişi Başına CO₂ Emisyonu ile Kentleşme Oranı Arasındaki İlişki



Grafik bulguları, G7 ülkelerinde kentleşme oranı ile kişi başına CO₂ emisyonları arasında genel olarak negatif yönlü bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Bu eğilim, sabit etkiler regresyon sonuçlarıyla bütünleşmekte; özellikle Amerika Birleşik Devletleri ve Birleşik Krallık'ta negatif eğilim güçlü ve belirgindir (Özgün, 2024). Fransa, Almanya ve İtalya'da da kentleşme ile emisyonlar arasındaki ilişki negatif olmakla birlikte, veri noktalarının sıkışık ve değişim alanının kısıtlı olması, bu ülkelerin yüksek kentleşme düzeyine ulaşmış olmalarından kaynaklanmaktadır (Sikder vd., 2022). Bu sonuçlar, ileri düzeyde kentleşmiş ülkelerde altyapı yoğunluğu, geliştirilmiş toplu taşıma ve enerji verimli yapı stokunun CO₂ emisyonlarında azalmayı desteklediğine işaret etmektedir (Qamruzzaman, 2025).

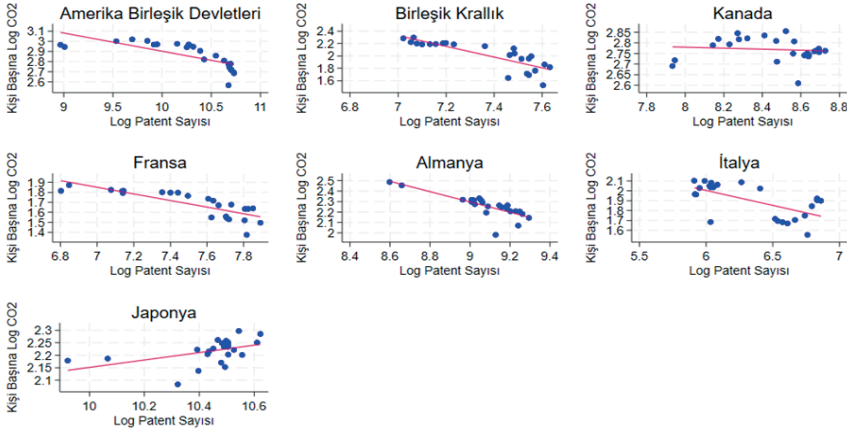
Japonya ve Kanada'da ise kentleşme ile emisyonlar arasında anlamlı bir ilişki gözlenmemiştir; eğilim çizgileri yataydır. Bu durum, Japonya'da kentleşme oranının zaten çok yüksek ve sabit olması; Kanada'da ise coğrafi dağılım ve düşük yoğunluklu şehirleşmenin etkili olmasıyla açıklanabilir durumdadır.

Sonuç olarak, Şekil 3'teki bulgular, kentleşmenin emisyonlar üzerindeki etkisinin ülke bağlamında farklılık gösterdiğini, ancak çoğu G7 ülkesinde daha yoğun ve planlı kentleşmenin kişi başına CO₂ emisyonlarını azaltıcı bir rol oynayabileceğini göstermektedir.

Şekil 4, G7 ülkelerinde yeşil inovasyon ile kişi başına CO₂ emisyonları arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Grafik, teknoloji temelli çevresel

inovasyonun emisyonlar üzerindeki etkisini karşılaştırmalı olarak değerlendirme olanağı sunmakta; böylece inovasyonun emisyon azaltımında oynadığı rolün ülkesel bağlama göre değişebileceğine işaret etmektedir.

Şekil 4. G7 Ülkelerinde Kişi Başına CO₂ Emisyonu ile Çevresel Patent Sayısı Arasındaki İlişki



Şekil 4'teki bulgular, G7 ülkelerinde çevresel patent sayısındaki artışın çoğunlukla kişi başına CO₂ emisyonlarında azalma ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Amerika Birleşik Devletleri, Almanya, Fransa, Birleşik Krallık ve İtalya'da eğilim çizgileri belirgin biçimde negatiftir; yani çevresel inovasyon kapasitesindeki artış, emisyonlarda düşüşle beraber ilerlemektedir. Bu bulgu, Sharif vd. (2022) ve Xie ve Jamaani (2022) gibi çalışmalarda yeşil teknolojik gelişmelerin G7 ülkelerinde CO₂ emisyonları üzerindeki azaltıcı etkisini vurgulayan ampirik sonuçlarla tutarlıdır. Özellikle ABD ve Almanya'da yüksek patent seviyelerine eşlik eden güçlü negatif eğilim, teknolojik kapasitenin büyük olduğu ekonomilerde inovasyonun çevre üzerindeki etkisinin daha net hissedilebildiğini ortaya koymaktadır. Fransa, İtalya ve Birleşik Krallık'ta ise patent yoğunluğu nispeten düşük olsa da benzer bir eğilim gözlenmektedir; bu da inovasyonun, kapasiteye bakılmaksızın emisyon azaltımında etkili olabileceğine işaret etmektedir.

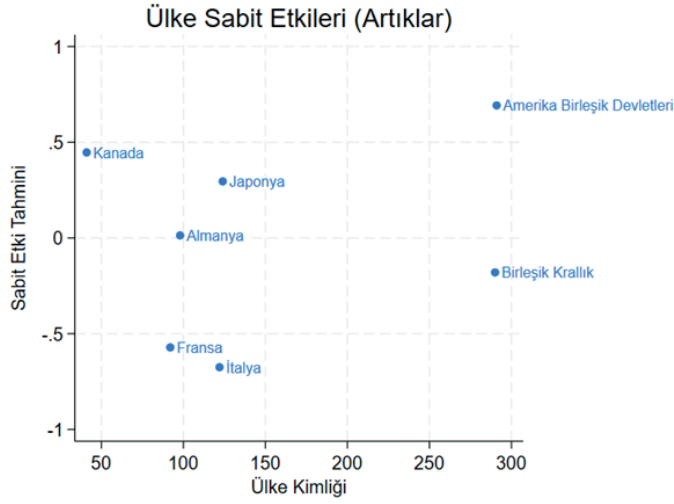
Kanada'da patent ve emisyonlar arasındaki ilişki belirgin değildir; veri noktalarının dar aralığı ve yatay eğilim, inovasyonun emisyonlar üzerindeki etkisinin sınırlı kaldığını göstermektedir. Bu durum, patentlerin uygulanma düzeyi ya da sektörel yoğunluk gibi faktörlerle açıklanabilir. Japonya ise öne çıkan bir istisna olarak, yüksek patent aktivitesine rağmen pozitifte yakın veya yatay bir eğilim sergilemektedir. Bu beklenmedik ilişki, birkaç

şekilde açıklanabilir: birincisi, yüksek patent sayılarının genellikle ileri düzey sanayileşme ve üretimle birlikte ortaya çıkmasıdır. Bu tür bir üretim yapısı, yüksek enerji talebi doğurarak CO₂ emisyonlarını artırabilir. İkincisi, patent faaliyetleri ile çevresel çıktılar arasında zamansal bir gecikme olabilir; yani patentlerin geliştirildiği yıllarda, henüz bu teknolojilerin uygulamaya geçmemiş olması mümkündür. Japonya örneği, teknolojik gelişmelerin otomatik olarak çevresel fayda doğurmadığını ve uygulama düzeyinin belirleyici olduğunu göstermektedir. Bu durum, İslam (2025) çalışmasında Japonya'nın benzeri bir biçimde incelenmesiyle tutarlıdır; ilgili çalışmada yeşil inovasyonu ölçmek için kullanılan çevre patentlerinin yüksek olmasına rağmen emisyonları düşürmede etkisiz kaldığı ifade edilmiştir.

Sonuç olarak, Şekil 4, çevresel inovasyonun emisyonları azaltıcı etkisinin ülkeler arasında farklılaştığını, ancak birçok gelişmiş ekonomide bu etkinin anlamlı biçimde gözlemlendiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, yalnızca patent sayısının değil, bunların işlevsel niteliği ve sektörlerle entegrasyonu gibi uygulama dinamiklerinin de önemini vurgulayan Ma vd. (2023) ve Amin vd. (2025) çalışmalarıyla paralellik taşımaktadır. Mevcut bulgular, sabit etkiler modeliyle uyumludur ve inovasyon politikalarının etkinliği açısından, patentlerin yalnızca sayısının değil, bunların sektörel uygulama ve yaygınlığının da belirleyici olduğunu göstermektedir.

Son olarak Şekil 5, her bir ülke için sabit etki tahminlerini göstermektedir. Bu değerler, her bir ülkenin modele dahil edilmeyen sabit, zaman içinde değişmeyen yapısal özelliklerinin (uzun dönemli üretim yapısı, enerji sistemi, coğrafi konum veya kurumsal kapasite gibi faktörlerin) kişi başına CO₂ emisyonları üzerindeki ortalama etkisini temsil etmektedir. Model bu sabit etkileri regresyon katsayılarından ayrı olarak tahmin ettiğinden, her ülkenin diğer değişkenlerden bağımsız olarak daha yüksek ya da daha düşük emisyon eğilimine sahip olup olmadığını ortaya koymaktadır. Bu yöntem, panel veri analizinin ülkeler arası heterojenliği kontrol etme kapasitesini güçlendirmektedir (Mignamissi ve Djeufack, 2021; Obwori vd., 2025).

Şekil 5. Ülke Düzeyinde Sabit Etkiler



Grafikte, yatay eksen panel veri setindeki ülke kimliklerini, dikey eksen ise sabit etki tahminlerini göstermektedir. Pozitif sabit etki değerleri, modelde kontrol edilen çevresel vergi, kentleşme ve yeşil patentler gibi değişkenlerin etkilerinden bağımsız olarak, ilgili ülkenin yapısal olarak daha yüksek CO₂ emisyon düzeylerine eğilimli olduğunu; negatif sabit etki değerleri ise görece daha düşük yapısal emisyon düzeylerine işaret etmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri'nin pozitif sabit etkisi dikkat çekmektedir. Bu bulgu, söz konusu ülkenin modelde açıklanan değişkenlerin ötesinde, yapısal olarak daha yüksek CO₂ emisyonlarına sahip olduğunu göstermektedir. Yüksek enerji tüketimi, karbon yoğun sanayi bileşimi ve fosil yakıtlara dayalı üretim yapısı bu sonucu açıklayabilecek temel etmenler arasındadır. Chien vd. (2021) ve Hsu vd. (2021), ABD'nin uzun dönemli yapısal emisyon yükünün yüksekliğini çevresel politika uygulama düzeylerinin sınırlılığı ve enerji tüketim profili ile ilişkilendirmiştir. Benzer biçimde Kanada ve Japonya da pozitif sabit etki değerleri sergilemektedir. Kanada'da orta düzeyde gözlenen sabit etki, geniş yüzölçümü, dağınık yerleşim düzeni ve iklim koşullarının enerji talebini artırıcı etkileriyle tutarlıdır. Japonya'da ise sanayi üretiminin yüksek yoğunluğu ve sınırlı doğal kaynaklara bağlı olarak dışa bağımlı enerji arzı, söz konusu yapısal emisyon yükünü destekleyen olası açıklamalardır. Özellikle Japonya'da, yeşil inovasyon kapasitesine rağmen CO₂ emisyonlarının yüksek kalması, çevreci teknolojilerin yaygınlaşmasında uygulama ve zaman gecikmesi sorunlarına işaret etmektedir (İslam, 2025).

Buna karşılık, Fransa, İtalya ve Birleşik Krallık negatif sabit etki tahminlerine sahiptir. Bu ülkeler, kontrol değişkenlerinin kapsamı dışında kalan faktörler açısından görece daha düşük yapısal emisyon düzeyleriyle öne çıkmaktadır. Sharif vd. (2022) ve Xie ve Jamaani (2022), bu ülkelerde çevresel düzenlemelerin kurumsal entegrasyonunun yüksek olduğunu ve çevresel maliyetlerin üretim süreçlerine daha etkili biçimde yansıtıldığını belirtmektedir. Almanya'nın sabit etkisinin sifıra yakın seyretmesi, modelce açıklanamayan yapısal faktörler bakımından ortalamaya yakın bir konuma işaret etmektedir. Bu durum, yüksek sanayi yoğunluğunun enerji verimliliği artışları ve yenilenebilir enerji kullanımıyla dengelenebildiğini düşündürmektedir.

Sonuç olarak, söz konusu grafik, modeldeki açıklayıcı değişkenlerin ötesinde, ülkeler arası zamandan bağımsız yapısal farklılıkların CO₂ emisyon düzeylerine etkisini görünür kılmakta ve sabit etkiler yaklaşımının analitik gücünü ortaya koymaktadır.

5. Sonuç

Bu çalışma, G7 ülkelerinde kişi başına düşen CO₂ emisyonlarının belirleyicilerini 1990–2023 dönemi dengeli panel veri seti ve sabit etkiler yaklaşımıyla incelemiş; çevresel vergilendirmenin, yeşil inovasyonun ve (G7 bağlamında) kentleşmenin emisyon azaltımında anlamlı rol oynadığını göstermiştir. Bulgular, çevreyle ilişkili vergi oranlarındaki artışların CO₂ emisyonlarını düşürdüğünü, çevresel patent kapasitesindeki artışın emisyon azaltımını desteklediğini ve planlı/kapsayıcı kentleşmenin emisyon yoğunluğunu azaltabildiğini ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, çevre vergileri ile yeşil inovasyonun emisyon azaltımına katkısını rapor eden geniş literatürle uyumludur (Chien vd., 2021; Doğan vd., 2022; Xie ve Jamaani, 2022; Wei vd., 2025; Shaikh vd., 2025). Öte yandan, etki büyüklüklerinin ülke ve dönem bağlamına göre farklılaşabileceğine, vergi tasarımı ve tamamlayıcı politikaların belirleyici olduğuna dair bulgular da mevcuttur (Gao ve Fan, 2023; Topuz vd., 2025; Li, 2025).

Yeşil inovasyonun (çevresel patentler) emisyonlar üzerindeki azaltıcı etkisi G7 örnekleminde belirgindir ve inovasyonun sahaya yayılımı ile ticarileşme hızının politika etkinliği açısından kritik olduğunu düşündürmektedir (Sharif vd., 2022; Ma vd., 2023; Chen vd., 2006; Shahzad vd., 2022). Kentleşme tarafında, G7'nin gelişmiş altyapı, toplu taşıma ve enerji verimli yapı stoğu gibi özellikleri ile uyumlu biçimde, daha yoğun ve planlı kentleşmenin kişi başına emisyonları azaltabildiği görülmektedir; ancak bu ilişkinin bağlamsal ve heterojen olduğu, farklı ülke ve dönemlerde yön ve büyüklüğün

değişebildiği literatürce vurgulanmaktadır (Nuță vd., 2021; Mignamissi ve Djefack, 2021; Sikder vd., 2022; Ma ve Ogata, 2024; Zhai ve Kong, 2024; Özgün, 2024; Li, 2025).

Ek olarak, grafiksel analizler ekonometrik bulgularla uyumlu olarak, G7 ülkelerinin çoğunda CO₂ emisyonlarında kademeli bir azalma eğilimi ile çevresel vergilerde ve inovasyon faaliyetlerinde artış olduğunu göstermiştir. Ayrıca ülkeye özgü sabit etkiler, modelde açıklanamayan ve zaman içinde değişmeyen yapısal farklılıkların da CO₂ emisyonları üzerinde belirleyici olabileceğini ortaya koymaktadır. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada'da enerji yoğun sektörlerin ve geniş coğrafyanın etkisiyle daha yüksek sabit etkiler gözlenirken; Fransa ve İtalya'da daha temiz enerji kaynakları ve farklı sanayi kompozisyonlarıyla görece düşük sabit emisyon seviyeleri tespit edilmiştir.

Genel olarak sonuçlarımız, çevre vergileri ve inovasyon desteklerinin, kentleşme stratejileriyle eşgüdümlü biçimde tasarlanmasının G7'de emisyon azaltımını hızlandıracağını ve politika tasarımında ülkelere özgü yapısal koşullar ile uzun vadeli bütüncül stratejilerin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Bu çerçevede, politika yapıcılarının çevre vergilerini ülke ve sektörlerin özgün koşullarına uygun, esnek ve kademeli biçimde tasarlaması; yeşil inovasyonun ticarileşmesini ve yaygınlaşmasını sağlamak amacıyla Ar-Ge teşviklerini artırması ve patent ile teknoloji transferini desteklemesi önem arz etmektedir. Ayrıca, kentleşme süreçlerinin toplu taşıma altyapısı, enerji verimliliği yüksek yapılar ve akıllı şehir uygulamaları ile entegre şekilde planlanması, emisyon yoğunluğunun azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Tüm bu politika alanlarının, ülkelerin kendi enerji yapısı, sanayi kompozisyonu ve kurumsal kapasiteleri gözetilerek, uzun vadeli ve bütüncül bir stratejiyle uygulanması gerekmektedir.

Son olarak bu çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle analiz yalnızca G7 ülkeleriyle sınırlı olduğundan elde edilen bulgular farklı yapısal özelliklere sahip ülkelere genellenemeyebilir durumdadır. İkinci olarak, kullanılan veri seti her yıl ve ülke için tam ve tutarlı bilgiler sunamayabilir; özellikle çevreyle ilgili patent verileri ve kentleşme oranlarının ölçümündeki farklılıklar sonuçları etkileyebilir. Ayrıca gelecek araştırmaların, farklı kirletici göstergeler (ör. PM2.5, NOx), sektörel ayrımlar ve yeşil finansman/yenilenebilir enerji payı gibi politika etkileşimlerini birlikte ele alması, bağlamsal heterojenliklerin daha ayrıntılı anlaşılmasına katkı sağlayacaktır.

Kaynakça

- Adebayo, T.S. & Ozkan, O. (2024). Investigating the influence of socioeconomic conditions, renewable energy and eco-innovation on environmental degradation in the United States: A wavelet quantilebased analysis. *Journal of Cleaner Production*, 434, 140321. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140321>
- Ali, N., Phoungthong, K., Techato, K., Ali, W., Abbas, S., Dhanraj, J. A., & Khan, A. (2022). FDI, green innovation and environmental quality nexus: new insights from BRICS economies. *Sustainability*, 14(4), 2181. <https://doi.org/10.3390/su14042181>
- Ali, S., Ullah, S., & Kartal, M. T. (2025). Long-Run Effects of Technological Innovation, Green Innovation, and Green Energy on CO2 Emissions in Pakistan: An Augmented ARDL Approach. *Sustainable Futures*, 10, 101300. <https://doi.org/10.1016/j.sfr.2025.101300>
- Amin, N., Shabbir, M. S., Pan, Y., & Asif, M. (2025). Beyond Growth: The Triple Green Strategy (Green Energy, Green Innovation, and Green Finance) for Sustainable Emissions Reduction in BRICS Countries. *Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1002/sd.3411>
- Aydin, M., & Bozatlı, O. (2022). Do transport taxes reduce air pollution in the top 10 countries with the highest transport tax revenues? A country-specific panel data analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(36), 54181-54192.
- Bozatlı, O., & Akca, H. (2023). The effects of environmental taxes, renewable energy consumption and environmental technology on the ecological footprint: Evidence from advanced panel data analysis. *Journal of Environmental Management*, 345, 118857.
- Chen, YS., Lai, SB. & Wen, CT. (2006). The Influence of Green Innovation Performance on Corporate Advantage in Taiwan. *J Bus Ethics* 67, 331–339 <https://doi.org/10.1007/s10551-006-9025-5>
- Chien, F., Ananzeh, M., Mirza, F., Bakar, A., Vu, H., & Ngo, T. (2021). The effects of green growth, environmental-related tax, and eco-innovation towards carbon neutrality target in the US economy.. *Journal of environmental management*, 299, 113633. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113633>.
- Doğan, B., Chu, L. K., Ghosh, S., Truong, H. H. D., & Balsalobre-Lorente, D. (2022). How environmental taxes and carbon emissions are related in the G7 economies?. *Renewable Energy*, 187, 645-656. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.077>
- Fasanya, I. O., & Arek-Bawa, O. (2025). Connection between urbanization and CO2 emissions in South Africa: does global uncertainty matter?. *Internationa-*

- tional Journal of Energy Sector Management*, 19(2), 412-428. <https://doi.org/10.1108/IJESM-03-2024-0020>
- Gao, X., & Fan, M. (2023). Environmental taxes, eco-innovation, and environmental sustainability in EU member countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 101637-101652. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-29361-4>
- Hieu, V. M. (2022). Influence of green investment, environmental tax and sustainable environment: Evidence from ASEAN countries. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 12(3), 227-235.
- Hsu, C., Zhang, Y., Ch, P., Aqdas, R., Chupradit, S., & Nawaz, A. (2021). A step towards sustainable environment in China: The role of eco-innovation renewable energy and environmental taxes.. *Journal of environmental management*, 299, 113609. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113609>
- Islam, M. S. (2025). Linking green innovation to environmental quality in Saudi Arabia: an application of the NARDL approach. *Environment, Development & Sustainability*, 27(8). 10.1007/s10668-024-04751-x
- Liu, Y. (2025). Whether fintech, natural resources, green finance and environmental tax affect CO₂ emissions in China? A step towards green initiatives. *Energy*, 320, 135181.
- Ma, B., Sharif, A., Bashir, M. & Bashir, M. F. (2023). The dynamic influence of energy consumption, fiscal policy and green innovation on environmental degradation in BRICST economies. *Energy Policy*, 183, 113823. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113823>
- Ma, B., & Ogata, S. (2024). Impact of Urbanization on Carbon Dioxide Emissions—Evidence from 136 Countries and Regions. *Sustainability*, 16(18), 7878. <https://doi.org/10.3390/su16187878>
- Mignamissi, D., & Djeufack, A. (2021). Urbanization and CO₂ emissions intensity in Africa. *Journal of Environmental Planning and Management*, 65(9), 1660–1684. <https://doi.org/10.1080/09640568.2021.1943329>
- Nuță, F., Nuta, A., Zamfir, C., Petrea, S., Munteanu, D., & Cristea, D. (2021). National Carbon Accounting—Analyzing the Impact of Urbanization and Energy-Related Factors upon CO₂ Emissions in Central–Eastern European Countries by Using Machine Learning Algorithms and Panel Data Analysis. *Energies*, 14, 2775. <https://doi.org/10.3390/EN14102775>.
- Obwori Alwago, W., David, D., Sgardea, F. M., & Marais, S. L. (2025). The effect of environmental tax on CO₂ emissions in Romania: an ARDL-linked cointegration approach. *The Journal of Risk Finance*, 26(3), 367-392. <https://doi.org/10.1108/JRF-07-2024-0188>
- OECD (2010). Organisation for Economic Co-operation and Development, & Ash, M. *Taxation, innovation and the environment*. OECD.

- Özgün, F. (2024). Küreselleşme Ve Kentleşmenin Çevreye Etkisi: Türkiye Üzerine Bir Uygulama. *Dokuz Eylül Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 25(2), 130-152. <https://doi.org/10.24889/ifede.1501231>
- Pigou, A. (2017). *The economics of welfare*. Routledge.
- Qamruzzaman, M. (2025). Green finance, environmental taxation, and green innovation: Unraveling their influence on the growth- quality nexus in China—a provincial perspective. *Environmental Research Communications*, 7(1), 015009. doi:<https://doi.org/10.1088/2515-7620/adalad>
- Sharif, A., Saqib, N., Dong, K., & Khan, S. A. R. (2022). Nexus between green technology innovation, green financing, and CO2 emissions in the G7 countries: the moderating role of social globalisation. *Sustainable Development*, 30(6), 1934-1946. <https://doi.org/10.1002/sd.2360>
- Shao, X., Zhong, Y., Liu, W., & Li, R. Y. M. (2021). Modeling the effect of green technology innovation and renewable energy on carbon neutrality in N-11 countries? Evidence from advance panel estimations. *Journal of Environmental Management*, 296, 113189. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113189>
- Shahzad U. (2020). Environmental taxes, energy consumption, and environmental quality: Theoretical survey with policy implications. *Environmental science and pollution research international*, 27(20), 24848–24862. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08349-4>
- Shahzad, M., Qu, Y., Rehman, S. U., & Zafar, A. U. (2022). Adoption of green innovation technology to accelerate sustainable development among manufacturing industry. *Journal of Innovation & Knowledge*, 7(4), 100231.
- Shaikh, S. S., Amin, N., Shabbir, M. S., & Song, H. (2025). Going green in ASEAN: assessing the role of eco-innovation, green energy, industrialization, and environmental taxes in achieving carbon neutrality. *Sustainable Development*, 33(3), 3596-3614. <https://doi.org/10.1002/sd.3305>
- Sikder, M., Wang, C., Yao, X., Huai, X., Wu, L., KwameYeboah, F., ... & Dou, X. (2022). The integrated impact of GDP growth, industrialization, energy use, and urbanization on CO2 emissions in developing countries: evidence from the panel ARDL approach. *Science of the Total Environment*, 837, 155795.
- Topuz, H., Kazak, H., Rahman, M., Kılıç, C., Akcan, A., & Özekicioğlu, H. (2025). Is export diversification detrimental to environmental quality? An examination of the roles of green innovation and environmental taxation. *Environmental Research Communications*, 7. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/adac36>
- Ullah, S., Khan, F. U., & Ahmad, N. (2022). Promoting sustainability through green innovation adoption: a case of manufacturing industry. *Environ-*

mental science and pollution research international, 29(14), 21119–21139. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17322-8>

- Wei, Z., Iqbal, A., Jahangir, S., Ali, M., & Hussain, M. (2025). Financing the green transition: how green finance, green innovation, green growth, and environmental taxes can drive carbon neutrality. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05933-3>
- Xie, P., & Jamaani, F. (2022). Does Green Innovation, Energy Productivity and Environmental Taxes Limit Carbon Emissions in Developed economies: Implications for Sustainable development. *Structural Change and Economic Dynamics*. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2022.09.002>
- Yeboah, K. E., Feng, B., Jamatutu, S. A., Nyarko, F. E., & Charles, A. G. (2025). Impact of green financing on energy efficiency and CO₂ emissions in Africa: The role of environmental tax and FDI. *Journal of Cleaner Production*, 521, 146258. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.146258>
- Yunzhao, L. (2022). Modelling the role of eco innovation, renewable energy, and environmental taxes in carbon emissions reduction in E-7 economies: Evidence from advance panel estimations. *Renewable Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.03.119>
- Zhai, J., & Kong, F. (2024). The Impact of Multi-Dimensional Urbanization on CO₂ Emissions: Empirical Evidence from Jiangsu, China, at the County Level. *Sustainability*, 16(7), 3005. <https://doi.org/10.3390/su16073005>