

G-7 EKONOMİLERİNDE ÇEVRESEL TEKNOLOJİNİN BELİRLEYİCİLERİ: FİNANSALLAŞMA, POLİTİKA SIKILIĞI VE SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMANIN ROLÜ

DRIVERS OF ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY IN G-7 ECONOMIES: THE ROLE OF FINANCIALIZATION, POLICY STRINGENCY, AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Ferhat ÇITAK

Hitit Üniversitesi

İİBF, Finans ve Bankacılık Bölümü

ferhatcatak@hitit.edu.tr

ORCID: 0000-0003-4978-5251

ÖZ

Geliş Tarihi:

13.04.2025

Kabul Tarihi:

06.08.2025

Yayın Tarihi:

28.09.2025

Anahtar Kelimeler

Çevresel Teknoloji,
Finansallaşma,
Çevresel Politika
Sıklığı,
G-7 Ülkeleri,
Momentler Kantil
Regresyon Analizi

Keywords

Environmental
Technology,
Financialization,
Environmental Policy
Stringency,
G-7 Countries,
Method of Moments
Quantile Regression
(MMQR)

Giderek derinleşen çevresel krizler ve iklim değişikliği, çevresel teknolojilerin geliştirilmesini ve uygulanmasını sürdürülebilir kalkınmanın temel dinamiklerinden biri hâline getirmiştir. Ancak bu teknolojilerin yaygınlaştırılması yalnızca teknik gelişmelerle sınırlı olmayıp aynı zamanda ülkelerin ekonomik yapısı, finansal piyasaların olgunluğu, çevresel politika uygulamaları ve sürdürülebilir kalkınma yaklaşımları gibi çok sayıda faktör tarafından şekillendirilmektedir. Bu bağlamda, çalışma 1990–2020 dönemini kapsayan panel veri setiyle G7 ülkeleri (ABD, Almanya, Fransa, İngiltere, İtalya, Japonya ve Kanada) özelinde finansallaşma (finansal gelişme ve finansal kurumlar), çevresel politika sıklığı ve sürdürülebilir kalkınma göstergelerinin çevresel teknoloji üzerindeki etkilerini incelemektedir. Momentler Kantil Regresyon Analizi (MKRA) yöntemiyle yapılan analizde bu değişkenlerin çevresel teknoloji üzerindeki etkilerinin kantil düzeylerine göre farklılık gösterdiği bulunmuştur. Finansal gelişme değişkeni, özellikle düşük kantil düzeylerinde çevresel teknolojiye negatif yönde etki ederken finansal kurumların gelişmişliği alt kantillerde pozitif etkiler sergilemektedir. Çevresel politika sıklığı tüm kantillerde istatistiksel olarak anlamlı ve olumlu etkilere sahiptir. Buna karşılık, sürdürülebilir kalkınma göstergesi orta ve yüksek kantillerde çevresel teknolojiyi olumsuz etkilemektedir. Bulgular, politika yapıcılarının kantil düzeyli heterojenliği dikkate alarak daha hedefli ve etkili stratejiler geliştirmesi gerektiğine işaret etmektedir.

ABSTRACT

The escalating environmental crises and the intensifying impacts of climate change have rendered the development and implementation of environmental technologies a fundamental pillar of sustainable development. However, the diffusion of such technologies is not solely determined by technical advancements; it is also shaped by a multitude of factors, including countries' economic structures, the maturity of financial markets, the implementation of environmental policies, and approaches to sustainable development. In this context, the present study examines the effects of financialization (measured through financial development and financial institutions), environmental policy stringency, and sustainable development indicators on environmental technology in the G7 countries (the United States, Germany, France, the United Kingdom, Italy, Japan, and Canada) using a panel dataset covering the period from 1990 to 2020. Employing the Method of Moments Quantile Regression (MMQR) approach, the analysis reveals that the impacts of these variables on environmental technology vary significantly across quantiles. Financial development exerts a negative influence particularly at lower quantile levels, whereas the development of financial institutions demonstrates a positive impact within lower quantiles. Environmental policy stringency is found to have statistically significant and positive effects across all quantiles. In contrast, the sustainable development indicator negatively affects environmental technology at the middle and upper quantiles. The findings highlight the need for policymakers to account for quantile-based heterogeneity when formulating targeted and effective strategies.

DOI: <https://doi.org/10.30783/nevsosbilen.1675497>

Atıf/Cite as: Çıtak, F. (2025). G-7 ekonomilerinde çevresel teknolojinin belirleyicileri: Finansallaşma, politika sıklığı ve sürdürülebilir kalkınmanın rolü. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi*, 15(3), 1320-1339.

Giriş

İklim değişikliği ve çevresel bozulmaya yönelik çözüm üretme gerekliliğinin giderek artan aciliyeti, çevre teknolojilerinde inovasyonun hızlandırılmasını zorunlu kılmaktadır. Karbon emisyonlarının azaltılması, kaynak verimliliğinin artırılması ve küresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılması açısından bu teknolojiler, temel araçlar olarak değerlendirilmektedir. Geleneksel olarak teknolojik gelişmeler, araştırma ve geliştirme çerçevesinde ele alınsa da son dönemde genişleyen literatür, makroekonomik dinamikler ile politika odaklı faktörlerin çevresel çıktılar üzerindeki belirleyici rolüne dikkat çekmektedir. Bu bağlamda, finansallaşma süreci, çevresel düzenlemelerin sıklığı ve sürdürülebilirlik odaklı politika çerçevelerinin entegrasyonu ülkelerin yeşil teknolojilere yönelik yatırım ve uygulama stratejilerini giderek daha fazla şekillendirmektedir. Bununla birlikte, söz konusu etkilerin yönü ve şiddeti, teknolojik gelişimin ve benimsemenin farklı aşamalarına bağlı olarak önemli ölçüde farklılık gösterebilmektedir (Reyhan, 2017; Uygur, 2025).

Çevreci teknolojiler, iklim değişikliğiyle mücadele amacıyla geliştirilen ve ekonomik faaliyetlerin çevresel etkilerini azaltmaya yönelik yenilikçi uygulamalardır. Bu bağlamda, enerji tasarrufu sağlayan, atık ve kirliliği azaltan ve daha iyi çevresel yönetimi mümkün kılan yeni ürün ve süreçlerin geliştirilmesine katkı sunduğu için yeşil teknoloji inovasyonu, çevresel sorunların çözümünde kilit bir araç olarak değerlendirilmektedir (Rennings, 2000; Horbach, 2008). Ancak çevre teknolojilerinin yaygınlaştırılması, yalnızca teknik altyapının güçlendirilmesini değil, aynı zamanda etkili finansal araçların geliştirilmesini, düzenleyici çerçevelerin netleştirilmesini ve kurumsal destek mekanizmalarının bütüncül bir şekilde yapılandırılmasını da gerektirmektedir (Costantini ve Mazzanti, 2012; Yuan ve diğerleri, 2020; Fogarassy ve Finger, 2020; Çınar ve Yılmaz, 2021).

Bu doğrultuda, kamu-özel sektör iş birliklerinin artırılması, yeşil finansman modellerinin çeşitlendirilmesi ve çevre politikalarının uzun vadeli kalkınma hedefleriyle bütünleştirilmesi, sürdürülebilir teknolojik dönüşümün sağlanmasında kilit öneme sahiptir. Bu dönüşüm, yalnızca çevresel etkilerin azaltılmasına hizmet etmekle kalmayıp aynı zamanda yeşil istihdamın teşvik edilmesi, ekonomik dayanıklılığın güçlendirilmesi ve toplumsal refahın sürdürülebilir temeller üzerine inşa edilmesini de mümkün kılmaktadır.

Bu çalışma, çevre teknolojilerinin benimsenmesinde etkili olan makroekonomik ve politika temelli faktörlerin rolünü ortaya koymayı amaçlamaktadır. Özellikle finansallaşma düzeyi, düzenleyici politika sıklığı ve sürdürülebilirlik odaklı stratejik çerçevelerin, çevreci teknolojilerin yaygınlığı üzerindeki etkileri analiz edilerek ülkeler arasında gözlemlenen farklılıkların altında yatan dinamiklerin anlaşılması hedeflenmektedir. Böylece ekolojik gelişmenin sadece teknik kapasiteyle değil, aynı zamanda kurumsal ve ekonomik yapılarla nasıl şekillendiğine dair bütüncül bir perspektif sunulması amaçlanmaktadır.

Çalışmanın bundan sonraki bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir: İkinci bölümde, konuya ilişkin mevcut literatür kapsamlı bir şekilde incelenmektedir. Üçüncü bölümde, analizde kullanılan veri seti ile uygulanan ekonometrik yöntem ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Dördüncü bölümde ise ampirik analiz bulgularına yer verilmektedir. Sonuç bölümünde ise elde edilen bulgular genel çerçevede değerlendirilmekte ve çalışmanın politika yapımcılar ile literatüre sağlayabileceği katkılar tartışılmaktadır.

Literatür Taraması

Finansallaşma ve Çevresel Teknoloji İlişkisi

• Finansal Gelişme ve Çevresel Teknoloji

Finansal gelişme, ekonomik büyümeyi destekleyici temel bir unsur olarak görülmeyle birlikte çevresel teknolojik yenilik üzerindeki etkisi konusunda literatürde farklı görüşler bulunmaktadır (King ve Levine, 1993; Pradhan ve diğerleri, 2018). Finansal gelişmenin çevre teknolojilerinin yaygınlaştırılmasında oynadığı dolaylı ancak stratejik rol, son dönemde literatürde giderek daha fazla dikkat çekmektedir. Gelişmiş bir finansal sistem, kaynakların etkin tahsisi, risklerin azaltılması ve bilgi akışının hızlandırılması yoluyla çevreci yeniliklerin ortaya çıkmasına olanak sağlamaktadır. Özellikle sermaye yoğun ve yüksek belirsizlik içeren çevre teknolojilerinin geliştirilmesi ve ticarileştirilmesi süreçlerinde, bu üç unsur kritik öneme sahiptir. Finansal araçların çeşitliliği ve derinliği, firmaların Ar-Ge yatırımlarını artırmasına ve sürdürülebilir çözümlere yönelmesine zemin hazırlarken bilgiye dayalı yatırım kararları da çevre dostu teknolojilerin benimsenmesini hızlandırmaktadır. Bu bağlamda, finansal

gelişme yalnızca ekonomik büyümenin değil, aynı zamanda yeşil dönüşümün ve sürdürülebilir kalkınmanın da temel itici güçlerinden biri olarak değerlendirilmektedir (Koçak, 2017; Umar ve Safi, 2023; Başoğlu ve Kömürçüoğlu, 2024).

Finansal gelişmenin çevresel teknolojik yenilik üzerindeki etkisi literatürde giderek daha fazla ilgi görmektedir. Finansal sistemlerin ekonomik büyümeyi desteklediği uzun süredir bilinmektedir (King ve Levine, 1993); ancak bu ilişkinin çevresel teknolojiye yansımaları daha yakın dönemde araştırılmaya başlanmıştır. King ve Levine (1993), finansal gelişme ile reel kişi başına gayrisafi yurt içi hasıla (GSYİH) ve sermaye birikimi arasında anlamlı ve pozitif bir ilişki bulunduğunu ortaya koymakta finansal sistemlerin kaynak tahsisini daha etkin hâle getirerek dolaylı yoldan yeniliği teşvik edebileceğini savunmaktadır. Fernandes (2005) ise finansal yeniliklerin zaman içerisinde çevreci teknolojilere geçiş sürecini hızlandırdığını ve bu dönüşümde risk paylaşımı mekanizmalarının belirleyici bir rol üstlendiğini ileri sürmektedir. Sunaga (2017), finansal sistemin yalnızca ekonomik büyüme açısından değil, aynı zamanda çevresel inovasyon açısından da önemli bir kaldıraç işlevi gördüğünü ve bu bağlamda sermaye birikimiyle eşgüdüm içinde çalıştığını belirtmektedir. Pan ve diğerleri (2019) finansal gelişmenin çevresel teknolojilere doğrudan katkı sağladığını; bu katkının işletme dinamikleri, servet etkisi ve teknolojik ilerlemeler aracılığıyla gerçekleştiğini ifade etmektedir. İlgili literatürde çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında finansal gelişmenin rolünü araştıran çalışmaların sayısı giderek artmaktadır. Tamazian ve Rao (2010), 1993–2004 dönemi geçiş ekonomilerine yönelik panel veri analizinde, finansal gelişmenin çevre teknolojilerini destekleyebileceğini, ancak bunun güçlü kurumsal yapılarla mümkün olabileceğini ortaya koymuş ve Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) hipotezine destek bulmuşlardır. Benzer şekilde, Shahbaz ve diğerleri (2016), 1975–2012 yılları arasında gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için yaptıkları çalışmada, finansal gelişmenin enerji verimliliğini artırma ve çevreci teknolojilerin yaygınlaştırılması süreçlerini destekleyici bir unsur olduğunu belirtmişlerdir. Çin ekonomisi üzerine odaklanan daha yeni çalışmalar finansal gelişmenin farklı boyutlarını derinlemesine ele almıştır. Lv ve diğerleri (2021), 2003–2017 döneminde veri zarflama analizi kullanarak yaptıkları çalışmada, finansal gelişmenin çevresel teknoloji inovasyonunu desteklediğini; ancak finansal ölçek ve verimlilik gibi faktörler aracılığıyla bu etkinin sınırlanabileceğini vurgulamışlardır. Xue ve Zhang (2022) ise, 2011–2019 dönemi verilerini içeren panel regresyon analizinde, dijital finansal kapsayıcılığın, özellikle çevreye zarar veren sektörlerde yeşil patent başvurularını artırarak çevreci inovasyonu teşvik ettiğini göstermiştir. Li ve diğerleri (2023) ise dijital finansın Ar-Ge yatırımlarını artırmak yoluyla yeşil teknolojiye geçiş sürecini hızlandırdığını ortaya koymuştur. Finansal gelişmenin etkileri yalnızca Çin gibi büyük ekonomilerle sınırlı kalmamaktadır. Farooq ve diğerleri (2024), 2001–2020 yılları arasında Körfez İşbirliği Konseyi'ne üye altı ülke için sabit etkiler, GMM ve FMOLS yöntemlerini kullanarak yaptıkları analizde, finansal sektörün gelişiminin sanayiye yönelik kredi olanaklarını artırarak ve modern teknolojilerin ithalatını kolaylaştırarak yeşil teknolojik ilerlemeyi teşvik ettiğini ifade etmişlerdir. Gelişmekte olan ülkeler bağlamında Matsepe ve Lingen (2022), Güney Afrika'da gerçekleştirdikleri nitel araştırmada, finansal yapıların teknoloji adaptasyonunda belirleyici olduğunu; ancak finansal kısıtların bu sürecin önündeki temel engellerden biri olduğunu vurgulamışlardır. Benzer şekilde, Yan ve diğerleri (2023), finansal hizmetlerin bireylerin refah düzeyini artırmak suretiyle çevresel teknoloji adaptasyonunu dolaylı olarak desteklediğini ileri sürmüşlerdir. Son olarak, Osman ve diğerleri (2024), Gana'da gerçekleştirdikleri alan araştırmasında, mobil para sistemlerinin özellikle kadın girişimciliğini destekleyerek finansal kapsayıcılığı artırdığını; ancak çevreci teknolojilere doğrudan katkısının sınırlı olduğunu ve bu etkinin daha çok dolaylı mekanizmalar aracılığıyla ortaya çıktığını ifade etmişlerdir.

Literatür incelendiğinde, finansal gelişmenin çevresel teknolojik yenilikler üzerindeki etkisinin doğrudan değil, daha çok dolaylı ve stratejik mekanizmalar aracılığıyla gerçekleştiği yönünde giderek güçlenen bir akademik uzlaşma mevcuttur. Finansal sistemlerin derinleşmesi, dijital finansal hizmetlerin yaygınlaşması ve yeşil finansman araçlarının-özellikle yeşil tahviller ve çevre odaklı kredi ürünlerinin-kullanımının artması, çevresel sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu teknolojik dönüşüm süreçlerini destekleyici unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Bu çerçevede, finansal hizmetlerin erişilebilirliği sadece çevreci Ar-Ge yatırımlarını teşvik etmekle kalmamakta, aynı zamanda bilgi asimetrisinin azaltılması, riskin paylaşılması ve uzun vadeli sermaye ihtiyaçlarının karşılanması yoluyla çevresel inovasyonun kurumsallaşmasına da katkı sunmaktadır. Ancak bu etkinin gücü ve yönü, ülkelerin kurumsal yapısı, finansal sistemin derinliği ve teknolojik kapasite gibi faktörlere bağlı olarak farklılık göstermektedir.

• Finansal Kurumlar ve Çevresel Teknoloji

Sürdürülebilirlik hedefleri ve çevresel tehditler, çevresel teknolojilerin gelişimini ve yaygınlaşmasını hızlandırmıştır. Bu dönüşümün merkezinde yer alan finansal kurumlar, yalnızca sermaye sağlamakla kalmayıp, çevresel inovasyon ekosistemini şekillendirme ve hızlandırma konusunda da stratejik roller üstlenmektedir. Özellikle çevresel teknolojileri benimseyen sektörlerin büyümesini destekleyen bir araç olarak öne çıkan finansal sistem, bu etkisini hem sermaye tahsisi hem de yatırım yönlendirme mekanizmaları aracılığıyla gerçekleştirmektedir (Liu ve diğerleri, 2017).

Finansal sistemler, çevreci teknolojilerin yaygınlaştırılmasında yatırım ve kredi kararları, risk yönetimi ve bilgi akışını kolaylaştırma işlevleri aracılığıyla önemli katkılar sunmaktadır (Sunaga, 2017; Feng ve diğerleri, 2022; 2022). Özellikle yeşil tahviller, sürdürülebilirlik bağlantılı krediler ve çevresel temalı yatırım fonları gibi hedeflenmiş finansal araçlar sayesinde sermaye çevre dostu teknolojilere yönlendirilebilmekte ve bu alandaki finansman boşlukları kapatılabilmektedir (Wang ve diğerleri, 2022). Avrupa Yatırım Bankası gibi kalkınma finansmanı kuruluşları, büyük ölçekli yenilenebilir enerji projelerine yaptıkları yatırımlarla bu sürecin önemli aktörleri hâline gelmiştir. Girişim sermayesi ve etki yatırım fonları da erken aşamadaki çevreci girişimlere yatırım yaparak yüksek çevresel fayda potansiyeline sahip ancak finansal belirsizlik içeren teknolojilerin ölçeklenmesini mümkün kılmaktadır (Farooq ve diğerleri, 2024). Bununla birlikte, finansal kurumların çevresel teknoloji yatırımlarını yalnızca doğrudan fonlama yoluyla değil; aynı zamanda politika savunuculuğu, stratejik ortaklıklar ve ESG (Çevresel, Sosyal, Yönetişim) kriterlerinin karar alma süreçlerine entegre edilmesi yoluyla da desteklediği görülmektedir (Pan ve diğerleri, 2019; Fakher ve Ahmed, 2023).

Ancak çevresel teknolojilerin finansmanı, özellikle yeni ve henüz ticarileşmemiş teknolojiler açısından çeşitli zorluklar barındırmaktadır. Karbon yakalama, yeşil hidrojen veya yeni nesil enerji depolama sistemleri gibi alanlardaki yüksek başlangıç maliyetleri, uzun geri ödeme süreleri ve belirsiz getiriler, geleneksel yatırımcıları ve kredi sağlayıcıları için caydırıcı unsurlar oluşturmaktadır (Başoğlu ve Kömürcüoğlu, 2024). Ayrıca, çevresel etkilerin ölçümüne ilişkin standardizasyon eksikliği ve sınır ötesi yatırımlardaki düzenleyici belirsizlikler, proje değerlendirme süreçlerini karmaşıklaştırmakta ve finansal kurumların çevresel inovasyonları sağlıklı biçimde değerlendirmesini zorlaştırmaktadır. Bu bağlamda, sürdürülebilirlik ölçütlerinin standartlaştırılması, düzenleyici çerçevelerin netleştirilmesi ve kurumsal kapasitenin güçlendirilmesi, çevreci teknolojilerin finansmanı açısından kritik öneme sahiptir. Sonuç olarak, finansal kurumlar yalnızca sürdürülebilir projelere sermaye sağlayan aktörler değil; aynı zamanda yeşil dönüşüm sürecini hızlandıran, yönlendiren ve destekleyen stratejik paydaşlar olarak konumlanmaktadır.

Çevresel Politika Sıkılığı ve Çevresel Teknoloji

Çevresel politika sıkılığı (Environmental policy stringency), bir ülkenin çevresel zararlarını azaltmak amacıyla uygulamaya koyduğu yasal düzenlemelerin ve politika önlemlerinin ne derece katı ve zorlayıcı olduğunu ifade eder. Bu sıkılık düzeyi; emisyon vergileri, çevreyi kirletenlere uygulanan cezai yaptırımlar, zorunlu çevre dostu teknolojik yatırımlar ve çevresel standartların kapsamı gibi çeşitli düzenleyici araçlar temelinde belirlenmektedir. Ayrıca bu politikaların uygulanabilirliği ve yaptırım gücü de değerlendirmeye dahil edilerek, sadece mevzuatın varlığı değil, aynı zamanda etkinliği de ölçülmektedir. OECD tarafından geliştirilen EPS endeksi, çevre politikalarının yenilikçilik üzerindeki etkilerini değerlendirmek için bir araç olarak kullanılmaktadır (Martínez-Zarzoso ve diğerleri, 2019). Çevresel politika sıkılığı, çevresel teknolojik yeniliklerin ortaya çıkışı ve yaygınlaşmasında giderek daha fazla ön plana çıkan stratejik bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Sıkı çevre politikaları, yalnızca çevresel zararın azaltılmasını hedefleyen bir düzenleme aracı olmanın ötesinde, firmaları yenilikçi ve sürdürülebilir çözümler arayışına yönlendirerek teknolojik dönüşümü teşvik eden güçlü bir katalizör işlevi görmektedir. Genellikle çevre vergileri, emisyon ticareti sistemleri, kirlilik izinleri ve performans dayalı teşvikler gibi düzenleyici ve piyasa temelli mekanizmalar aracılığıyla uygulanan bu politikalar, firmalar üzerinde hem finansal baskı hem de yönlendirici teşvikler oluşturarak çevresel etkileri azaltan yeni teknolojilerin geliştirilmesini veya mevcut teknolojilerin benimsenmesini desteklemektedir (Porter ve van der Linde, 1995; Costantini ve Mazzanti, 2012). Örneğin, sıkı emisyon limitleri ile karşı karşıya kalan işletmeler, yasal uyum sağlamak amacıyla gelişmiş filtrasyon sistemleri, enerji verimliliği teknolojileri veya yenilenebilir enerji altyapılarına yatırım yapma eğilimi göstermektedir. Bu politika-yenilik etkileşimi, yalnızca firmaların inovasyon

kapasitesini artırmakla kalmamakta, aynı zamanda işletme stratejilerinin çevresel sürdürülebilirlik hedefleriyle bütünleşmesini sağlayarak döngüsel bir etkileşim mekanizması oluşturmaktadır. Bu süreç, çevreci teknolojilerin pazar içerisindeki yerini güçlendirirken sürdürülebilir üretim uygulamalarının endüstriyel süreçlere entegrasyonunu da kolaylaştırmaktadır. Dolayısıyla, çevresel politika sıklığı, düşük karbonlu ekonomik yapılara geçişte sadece bir düzenleyici engel değil, aynı zamanda çevresel inovasyonu teşvik eden temel bir yapısal unsur olarak değerlendirilmelidir.

Son yıllarda çevre politikası sıklığının çevreci inovasyon ve sürdürülebilir kalkınma üzerindeki etkilerini inceleyen çok sayıda ampirik ve teorik çalışma yapılmıştır. Bu bağlamda, Johnstone ve Haščič (2010), 1990–2005 döneminde OECD ülkeleri üzerinde gerçekleştirdikleri panel veri analizinde, çevre politikasının yalnızca sıklığının değil, aynı zamanda tasarımıdaki esnekliğin de önem taşıdığını ortaya koymuşlardır. Esnek yapıdaki çevre politikalarının, çevreci inovasyonun uluslararası düzeyde yayılımını kolaylaştırdığı vurgulanmıştır. Benzer şekilde, Lanoie ve diğerleri, (2011), yedi OECD ülkesine ait 2003–2008 dönemi verilerini tesis düzeyinde analiz ederek “zayıf Porter Hipotezi”ni doğrulamış ve çevre politikası sıklığının çevreci inovasyonu desteklediğini göstermiştir. Sibailly (2013) ise teorik bir çerçevede, oligopolistik piyasalarda geliştirdiği lisanslama modeline dayanarak sıkı çevre politikalarının temiz teknolojilerin yayılımını teşvik ettiğini; ancak bu etkinin piyasa yapısına bağlı olarak değişkenlik gösterebileceğini belirtmiştir. Çin’e odaklanan Kesidou ve Wu (2020), 11. Beş Yıllık Plan kapsamındaki politika sıkılaştırmalarının özellikle yeşil patent üretimini destekleyerek çevreci inovasyonda artış sağladığını ifade etmişlerdir. Choi ve Cho (2021), 2000–2015 yılları arasında OECD ülkelerini kapsayan çalışmalarında, pazar temelli sıkı politikaların bilgi edinme davranışlarını özellikle uluslararası düzlemde yönlendirdiğini, ancak uzun vadede yatırım risklerinin belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymuşlardır. Çin’e yönelik yapılan daha güncel çalışmalardan Chen ve Tanchangya (2022), 1998–2019 dönemine ilişkin ARDL modeli ile gerçekleştirdikleri analizde, çevre politikası sıklığının kısa vadede yeşil büyümeyi yavaşlatabileceğini, ancak çevre teknolojisiyle birlikte uzun vadede olumlu etkiler yaratabileceğini belirtmişlerdir. Aynı yıl gerçekleştirilen bir diğer çalışmada Chen ve arkadaşları (2022), asimetrik etki modellerini kullanarak hava kirliliği vergileri ve politika sıklığı ile birleştiğinde çevreci teknoloji yayılımının ve emisyon azaltımının daha etkili bir şekilde sağlandığını tespit etmişlerdir. Avrupa ülkelerine odaklanan Prokop ve arkadaşları (2023), 2008–2020 dönemini kapsayan panel veri analizlerinde, özellikle piyasa dışı araçlarla desteklenen sıkı çevre politikalarının yeşil inovasyonu artırdığını; bu etkinin aynı zamanda yaşam kalitesi ve uluslararası iş birliği ile ilişkili olduğunu öne sürmüşlerdir. Son olarak, Herzer (2025), 1990–2020 dönemine ait OECD ülkeleri verisiyle gerçekleştirdiği panel veri analizinde, piyasa temelli sıkı çevre politikalarının özel sektörün çevre Ar-Ge harcamalarını artırdığını, buna karşılık piyasa dışı politikaların anlamlı bir etkisinin bulunmadığını ortaya koymuştur.

Sürdürülebilir Kalkınma ve Çevresel Teknoloji

Sürdürülebilir kalkınma, günümüzde yalnızca çevresel koruma ve ekolojik duyarlılık temelinde ele alınan bir yaklaşım olmaktan çıkarak zamanla ekonomik kalkınma, sosyal adalet, kültürel çoğulculuk, iyi yönetim, teknolojik yenilikçilik ve kuşaklar arası sorumluluk gibi pek çok farklı temayı içerecek şekilde kapsamını genişletmiştir (Sachs, 2015; Meadowcroft, 2000). Bu bağlamda sürdürülebilir kalkınma; çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları dengeleyerek hem mevcut hem de gelecek kuşakların refahını güvence altına almayı amaçlayan bütüncül bir kalkınma yaklaşımıdır (Sneddon ve diğerleri, 2006). Bu hedeflerin gerçekleştirilmesinde çevresel teknolojiler (environmental technologies) merkezi bir rol oynamaktadır. Yenilenebilir enerji sistemleri, enerji verimli altyapılar, atık geri dönüşüm teknolojileri, su arıtma sistemleri, karbon yakalama ve depolama çözümleri gibi çevre dostu teknolojiler, doğal kaynakların korunmasına, sera gazı emisyonlarının azaltılmasına ve ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilirliğine doğrudan katkı sunmaktadır (OECD, 2012).

Birleşmiş Milletler’in Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SDG) çerçevesinde özellikle 7 (erişilebilir ve temiz enerji), 9 (sanayi, inovasyon ve altyapı), 11 (sürdürülebilir şehirler) ve 13 (iklim eylemi) numaralı hedefler, çevresel teknoloji kullanımının ve inovasyonunun yaygınlaştırılmasını temel politika önceliklerinden biri olarak tanımlamaktadır (UN, 2015). Bu bağlamda çevresel teknolojiler, sürdürülebilir kalkınmanın yalnızca çevresel boyutunu değil, aynı zamanda ekonomik büyümeyi destekleyen yeşil istihdam yaratımı, kaynak verimliliği artışı ve uzun vadeli rekabet gücünün sağlanması gibi unsurlar aracılığıyla ekonomik ve sosyal hedeflerle de bütünleştirilmesini mümkün kılmaktadır (Popp, 2019). Ancak çevresel teknolojilerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması yalnızca teknik değil; aynı zamanda kurumsal, ekonomik ve politik faktörlere de bağlıdır. Ar-

Ge yatırımları, çevresel politika sıklığı, finansal destek mekanizmaları, uluslararası iş birlikleri ve toplumsal farkındalık düzeyi, çevresel teknolojilerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine etkin katkı sunmasında belirleyici rol oynamaktadır. Bu nedenle, sürdürülebilir kalkınma ile çevresel teknoloji arasındaki ilişki hem inovasyon politikaları hem de kalkınma stratejileri bağlamında stratejik bir entegrasyon gerektiren, karşılıklı beslenen ve birlikte gelişen bir süreç olarak değerlendirilmelidir.

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları doğrultusunda çevreci teknolojilerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasına yönelik politikaların etkileri son yıllarda birçok ampirik ve teorik çalışmanın odağında yer almaktadır. Bu çerçevede, Gana'da yapılan bir saha çalışmasında Darko ve diğerleri (2018), sürdürülebilir konut inşası bağlamında 28 yeşil teknolojiyi tanımlamış ve özellikle enerji ve su verimliliği açısından SDG'lere olan katkının altını çizmiştir. Afrika kıtası özelinde gerçekleştirilen teorik çalışmalarda, Mantlana ve Maoela (2019), SDG 9 (sanayi, inovasyon ve altyapı) ile diğer çevresel hedefler arasındaki bağlantıları analiz etmiş ve yeşil teknolojilerin altyapı inovasyonlarıyla desteklenmesi gerektiğini vurgulamıştır. Yerel yönetim uygulamalarına odaklanan Nugraha ve Fauzia (2019), Endonezya'nın Semarang şehrinde SDG 11 (sürdürülebilir şehirler) kapsamında yeşil teknolojinin uygulanma düzeyini değerlendirmiştir. Çin özelinde yapılan çalışmalar arasında Liu ve Wang (2022), Green BIM yöntemiyle gerçekleştirdikleri analizde üniversite kampüslerinde karbon nötrlüğüne katkı sağlayan enerji verimli yapıların SDG'lere dolaylı olarak hizmet ettiğini ortaya koymuşlardır. Benzer biçimde, Chen ve Tanchangya (2022), çevre teknolojilerinin yeşil büyümeyi desteklediğini; ancak çevre politikası sıklığının kısa vadede olumsuz etkilere neden olabileceğini belirtmişlerdir. Teknolojik yeniliğin gelir eşitsizliği üzerindeki etkisini değerlendiren Adebayo (2022), BRICS-T ülkeleri için uyguladığı kuantil regresyon analizinde bu ilişkinin bağlama göre pozitif ya da negatif olabileceğini göstermiş ve SDG politikalarının dikkatli tasarlanmasının gerekliliğine dikkat çekmiştir. Gelişmekte olan ülkeler üzerinde yapılan panel analiz çalışmasında Barbier ve Burgess (2023), SDG ilerlemesinin zaman zaman doğal kaynakların tükenmesine neden olabileceğini, ancak kurumsal kalite ve iyi yönetişimin çevre teknolojilerine yatırım yapılmasını kolaylaştırdığını ortaya koymuştur. COVID-19'un etkileri üzerine yapılan gözlemsel analizde Yuan ve arkadaşları (2023), salgının küresel ölçekte SDG hedeflerine ulaşma sürecini yavaşlattığını, özellikle düşük gelirli ülkelerde çevre teknolojisi yatırımlarını olumsuz etkilediğini göstermiştir. Son olarak, Shi ve Huang (2024), 2010–2020 döneminde Çin üzerine gerçekleştirdikleri panel veri analizinde, finansal yatırımların kurumsal çevresel sürdürülebilirliği desteklemesine rağmen bazı durumlarda çevreci inovasyonu dışlayıcı ("crowding-out") etkilere yol açabileceğini tartışmışlardır. Bu çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde, yeşil teknolojilerin SDG'lerle olan çok boyutlu ilişkisi açıkça görülmekte; özellikle finansal erişim, yerel yönetim politikaları, altyapı inovasyonu ve düzenleyici çerçevelerin başarısı, çevre teknolojilerinin başarımında belirleyici unsurlar olarak öne çıkmaktadır.

Sonuç olarak, sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin gerçekleştirilmesinde çevresel teknolojiler, çevresel korumanın yanı sıra ekonomik büyüme ve sosyal refahın sürdürülebilirliği açısından da kritik bir rol oynamaktadır. Literatürdeki bulgular, bu teknolojilerin başarısının yalnızca teknik kapasiteye değil, aynı zamanda politika sıklığı, yönetim kalitesi ve finansal destek gibi yapısal faktörlere bağlı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, çevre teknolojileri ile sürdürülebilir kalkınma arasında karşılıklı beslenen stratejik bir ilişki bulunmaktadır. Bu ilişkinin güçlendirilmesi, sürdürülebilir ve dirençli bir gelecek inşa etmek açısından temel bir öncelik olmalıdır.

Veri Seti ve Ekonometrik Yöntem

Çalışmanın bu bölümünde çalışmada kullanılan veri seti ve ekonometrik yöntemden bahsedilecektir.

Veri Seti

Bu çalışmada, G7 ülkeleri¹ için 1990–2020 dönemi verileri kullanılarak finansallaşma, çevresel politika sıklığı ve sürdürülebilir kalkınma değişkenlerinin çevresel teknoloji üzerindeki etkileri analiz edilmektedir. Çalışmada bağımlı değişken olarak çevresel teknoloji düzeyi (ÇT – tüm teknolojiler içindeki yüzdesel oran), bağımsız değişkenler olarak ise finansallaşma (FG – finansal gelişme endeksi ve FK – finansal kurumlar endeksi), çevresel politika sıklığı (ÇPS – çevresel politika sıklığı endeksi) ve sürdürülebilir kalkınma (SK – sürdürülebilir kalkınma

¹ Amerika Birleşik Devletleri, Almanya, Fransa, Birleşik Krallık, İtalya, Japonya ve Kanada

endeksi) kullanılmaktadır. Tablo 1 ve Tablo 2 sırasıyla, çalışmada kullanılan değişkenler ile bu değişkenlerin açıklamalarını ve değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikleri göstermektedir.

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Değişkenler ve Açıklamaları

Değişken	Açıklama	Birim	Kaynak
ÇT	Çevresel Teknoloji	Çevre Teknolojileri Üzerine Patentler	OECD
FG	Finansal Gelişme	Finansal Gelişim Endeksi	IMF
FK	Finansal Kurumlar	Finansal Kurumlar Endeksi	IMF
ÇPS	Çevresel Politika Sıklığı	Çevresel Politika Sıklığı Endeksi	OECD
SK	Sürdürülebilir Kalkınma	Sürdürülebilir Kalkınma Endeksi	SDI

Ekonometrik Yöntem

Çalışmanın amacı doğrultusunda oluşturulan ekonometrik modelin fonksiyonel formu Eşitlik (1)'de verilmiştir:

$$\text{ÇK}_{it} = f(\text{FG}_{it}, \text{FK}_{it}, \text{ÇPS}_{it}, \text{SK}_{it}) \quad (1)$$

(1) numaralı eşitlikte yer alan tüm değişkenler değişkenlerdeki keskinliği azaltmak ve otokorelasyon ile heteroskedastisite olasılığını en aza indirmek amacıyla doğal logaritmik forma dönüştürülmüştür (Hashemizadeh ve diğerleri, 2021). Bu kapsamda Eşitlik (1)'de verilen fonksiyonel formun devamı niteliğinde, çalışmada kullanılan ekonometrik model (2) numaralı eşitlikte detaylı olarak sunulmuştur.

$$\ln\text{ÇK}_{it} = \alpha_{1i} + \alpha_2 \ln\text{FG}_{it} + \alpha_3 \ln\text{FK}_{it} + \alpha_4 \ln\text{ÇPS}_{it} + \alpha_5 \ln\text{SK}_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

(2) numaralı eşitlikte eşitlikte $i=1,2,\dots,7$ rakamlarıyla tanımlanmış ülkeleri, $t=1990, 1991,\dots, 2020$ arasındaki zaman (yıl) periyodunu, ÇK çevresel teknolojiyi, FG finansal gelişmeyi, FK finansal kurumları, ÇPS çevresel politika sıklığını ve SK sürdürülebilir kalkınmayı, α_{1i} sabit terimleri, $\alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ ve α_5 eğim katsayılarını, ε_{it} hata terimini ifade etmektedir.

Bu çalışmada, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenin farklı çeyrek dilimlerinde gösterdiği etkileri etkin bir biçimde analiz edebilmek amacıyla momentler kantil regresyonu (MMQR) yöntemi tercih edilmiştir. MMQR yöntemi, nedensel ilişkileri tahmin etmek üzere Machado ve Santos Silva (2019) tarafından geliştirilmiş olup bağımlı değişkenin ampirik ve teorik koşullu momentleri arasındaki sapmayı ölçen bir kayıp fonksiyonunu minimize ederek regresyon modelinin parametrelerini tahmin etmektedir. Bu yöntemin temel avantajı, değişkenler arasındaki ilişkilerin dağılımın alt, orta ve üst çeyreklerinde nasıl değiştiğini ortaya koyabilmesidir. Böylece, klasik En Küçük Kareler (OLS) regresyonuna kıyasla daha ayrıntılı ve dağılımın tamamını kapsayan bir analiz olanağı sunmaktadır. MMQR, özellikle veri setinde heterojenlik, uç değerler veya normallikten sapma gibi durumların söz konusu olduğu araştırmalarda daha doğru ve güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır (Machado ve Santos Silva, 2019). Ayrıca, MMQR yöntemi, veri setindeki dağılımsal farklılıkları dikkate alarak değişkenler arası etkileşimleri dağılımın çeşitli noktalarında analiz etme imkânı sunar. Özellikle uç değerler veya çarpık dağılımlar içeren verilerde daha güvenilir sonuçlar üretmesi, MMQR yöntemini ekonomi ve finans araştırmaları açısından önemli kılmaktadır (Zhang ve diğerleri, 2024a).

MMQR yöntemi, regresyon kuantillerinin kesişmemesini sağlayarak tahminlerin tutarlılığını koruması açısından da oldukça pratiktir (Adebayo ve diğerleri, 2022). Konum-ölçek varyasyonu çerçevesinde, bağımlı değişkenin koşullu kantilleri $Q_y(\tau|X_{it})$ aşağıdaki şekilde tahmin edilmektedir:

$$Y_{it} = \alpha_i + X'_{it}\beta + (\delta_i + Z'_{it}\gamma) U_{it} \quad (3)$$

(2) nolu eşitlikte $P\{\delta_i + Z'_{it}\gamma > 0\} = 1$ ifadesi olasılık değerini, $(\alpha, \beta', \delta, \gamma')$ ' sembolleri tahmin edilecek parametreleri, $(\alpha_i, \delta_i), i = 1, \dots, n$ birey i'ye ait sabit etkileri ve Z ise, X kovaryant vektörünün belirli bileşenlerinden oluşan k -boyutlu bir vektörü içermekte ve bu bileşenler türevlenebilir dönüşümler olup her bir bileşen / aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

$$Z_l = Z_l(X), \quad l = 1, \dots, k \quad (4)$$

burada X_{it} , birbirinden bağımsız ve özdeş dağılıma sahip olup zamandan bağımsızdır. U_{it} ise bireyler (i) ve zaman (t) boyunca birbirinden bağımsız, benzer şekilde dağılmış ve X_{it} ile ortogonaldir. Ayrıca Machado ve Santos Silva (2019)'a Machado ve Santos Silva (2019)'a göre, katı dışsalılık varsayımını gerektirmeyen moment koşullarını sağlayacak şekilde standartlaştırılmıştır.

(2) numaralı eşitlik göz önünde bulundurulduğunda, bağımlı değişken Y 'nin koşullu kantili $Q_y(\tau|X_{it})$ aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$Q_y(\tau|X_{it}) = (\alpha_i + \delta_i q(\tau)) + X'_{it}\beta + Z'_{it}\gamma q(\tau) \quad (5)$$

(5) nolu eşitlikte X'_{it} çalışmada kullanılan bağımsız değişkenleri (FG, FK, ÇPS, SK), $Q_y(\tau|X_{it})$, bağımlı değişken Y_{it} (ÇK) için, açıklayıcı değişkenler X_{it} 'in konumuna koşullu olarak kantil dağılımını ve $\alpha_i(\tau)^2$ skaler katsayısı, birey i için τ kantiline ait sabit etkiyi ifade etmektedir.

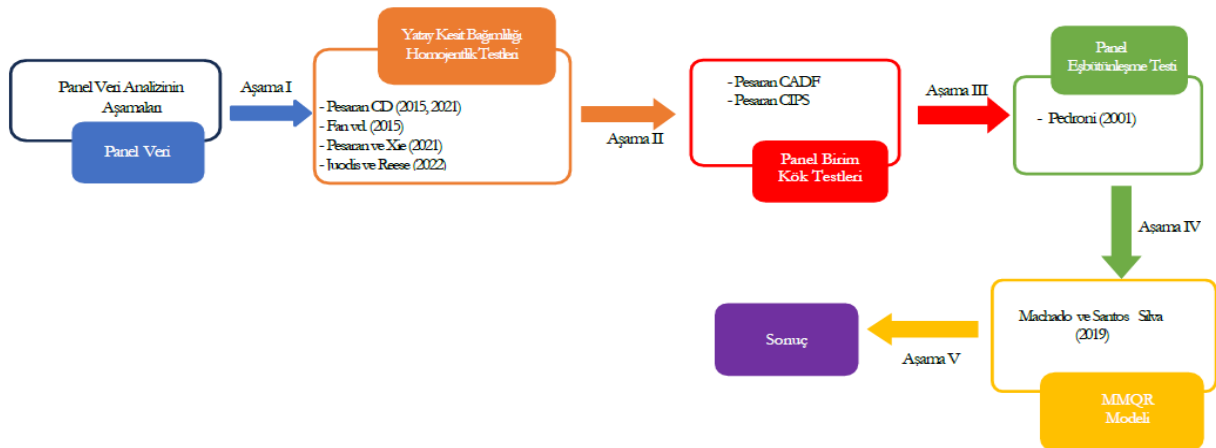
Klasik En Küçük Kareler (OLS) sabit etkilerin aksine bireysel etkiler burada sabit terimin kaymasını ifade etmemektedir. Bu parametreler zamana bağlı olmamakla birlikte bağımlı değişkenin koşullu dağılımının farklı kantillerinde heterojen etkiler gösterebilecek şekilde tanımlanmakta ve τ 'inci örneklem kantili aşağıdaki optimizasyon problemi çözülerek hesaplanmaktadır.

$$\text{Min}_q = \sum_i \sum_t \rho_\tau (R_{it} - (\delta_i - Z'_{it}\gamma)q) \quad (6)$$

(6) nolu eşitlikte $\rho_\tau(A) = (\tau - 1) AI\{A \leq 0\} + TAI\{A > 0\}$ kontrol fonksiyonunu ifade etmektedir.

Modelin Tahmin Süreci ve Bulgular

Şekil 1 çalışmada kullanılan tahmin sürecini göstermektedir.



Şekil 1. Uygulanan Analiz Yöntemlerinin Özeti

² $\alpha_i(\tau) \equiv (\alpha_i + \delta_i q(\tau))$

Ön Analizler

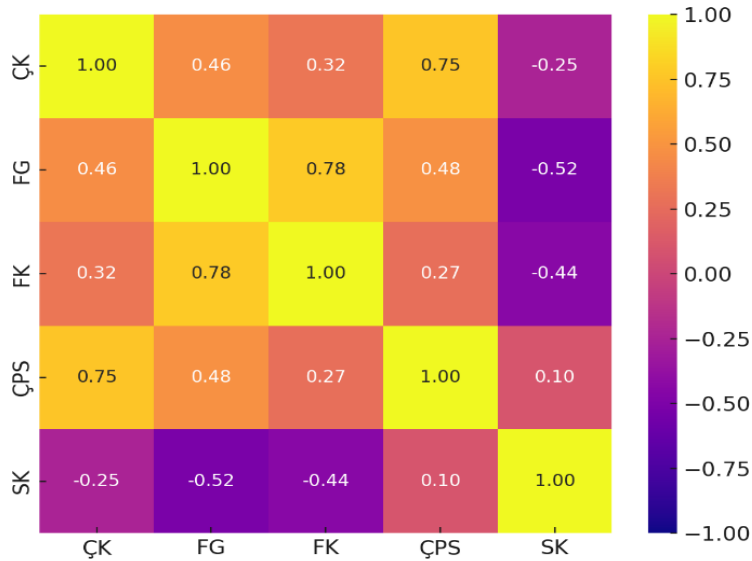
Tanımlayıcı istatistikler incelendiğinde (Tablo 2), ortalama değerlere göre çevresel teknoloji (ÇK) değişkeni 2.240 ile en yüksek ortalamaya sahip olup bunu sırasıyla 1.163 ve 0.747 ortalamalarıyla çevresel politika sıklığı (ÇPS) ve çevre vergileri (ÇV) değişkenleri izlemektedir. Standart sapma değerleri dikkate alındığında en yüksek varyansın ÇPS değişkeninde, en düşük varyansın ise finansal kurumlar (FK) değişkeninde olduğu görülmektedir. Jarque-Bera (JB) normalite testi sonuçları tüm değişkenlerin %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani normal dağılımdan sapma gösterdiklerini göstermektedir.

Tablo 2. Tanımlayıcı İstatistikler

Değişkenler	ÇK	FG	FK	ÇPS	SK
Ortalama	2.240	0.556	0.586	1.163	0.394
Maksimum	2.759	0.672	0.672	1.773	0.562
Minimum	1.635	0.300	0.425	0.405	0.157
Std. Sapma	0.295	0.079	0.055	0.328	0.125
JB	11.971***	40.542***	15.140***	13.231***	21.659***
Gözlem Sayısı	217	217	217	217	217

Korelasyon Analizi

Şekil 2 çalışmada incelenen değişkenler arasındaki korelasyon ilişkilerini ortaya koymaktadır. Buna göre, çevresel teknoloji (ÇK) ile çevresel politika sıklığı (ÇPS) arasında yüksek düzeyde pozitif bir ilişki gözlemlenmiştir; bu durum, düzenleyici çevre politikalarının çevresel teknolojilerin benimsenmesinde önemli bir belirleyici olduğunu göstermektedir. ÇK ile finansal gelişme (FG) arasındaki korelasyon orta düzeyde ve pozitifdir; bu bulgu, finansal sistemin gelişiminin çevreci teknolojilerin yaygınlaşmasını destekleyebileceğini göstermektedir. Finansal kurumlar (FK) ile ÇK arasındaki ilişki ise daha zayıf düzeyde olup kurumların bu alandaki etkisinin sınırlı ancak olumlu yönde olduğunu düşündürmektedir. Diğer yandan, sürdürülebilir kalkınma (SK) ile ÇK arasındaki negatif yönlü ilişki SK göstergelerinin çevresel teknolojilere doğrudan olumlu bir katkı sunmadığını ya da bu etkinin dolaylı mekanizmalarla gerçekleştiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 2. Korelasyon Tablosu

Yatay Kesit Bağımlılığı Testi ve Homojenlik Testi

Panel veri analizlerinde karşılaşılan temel sorunlardan biri yatay kesit bağımlılığı (YKB) sorunudur. Bu sorunun göz ardı edilmesi yanlış tahminler ve hatalı sonuçlar doğurabilir. Bu nedenle, kapsamlı analizlere geçmeden önce panel veri yapısında YKB olup olmadığının test edilmesi kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda çalışmada, YKB'yi değerlendirmek amacıyla dört farklı YKB testi (Fan et al. (2015), Pesaran (2015, 2021), Pesaran ve Xie (2021) ve Juodis ve Reese (2022)) uygulanmıştır. Söz konusu testlerin her biri için sıfır hipotezi (H_0), "yatay kesit bağımlılığı yoktur" şeklinde tanımlanmakta olup bu hipotezin reddedilmesi, panelde yer alan birimler arasında anlamlı düzeyde yatay kesit bağımlılığı bulunduğuna işaret etmektedir.

Öte yandan, panel veri analizinde hem ön testler hem de uzun dönem katsayı tahminlerine geçmeden önce, uzun dönem eğim katsayılarının homojen olup olmadığının test edilmesi de gerekmektedir. Bu amaçla, Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından Swamy (1970) testine dayanılarak geliştirilen delta (Δ) testi kullanılmaktadır. Söz konusu test, hem büyük hem de küçük örneklem için $\check{\Delta}$ ve $\check{\Delta}_{adj}$ olmak üzere iki farklı istatistik üzerinden sonuçlar sunmakta olup temel olarak aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$\check{\Delta} = \sqrt{N} \left(\frac{N^{-1}\check{S}-k}{\sqrt{2k}} \right) \quad (7)$$

$$\check{\Delta}_{adj} = \sqrt{N} \left(\frac{N^{-1}\check{S}-E(\check{Z}_{iT})}{\sqrt{Var(\check{Z}_{iT})}} \right) \quad (8)$$

Denklemlerde N kesit boyutunu, S Swamy test istatistiğini, k açıklayıcı değişken sayısını, $E(\cdot)$ beklenen değeri ve $Var(\cdot)$ ise varyansı temsil etmektedir. Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından geliştirilen testin sıfır hipotezi paneldeki tüm birimlerin regresyon katsayılarının homojen olduğu varsayımına dayanmaktadır. Bir diğer ifadeyle, panel veri seti üzerinden elde edilen ortalama katsayıların, en azından istatistiksel olarak anlamlı bir düzeyde, birimlere ait bilgileri de yansıtmaktadır. Tablo 3 panel veri setinde yer alan değişkenlerin hem yatay kesit bağımlılığına hem de katsayı homojenliğine ilişkin test sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 3. Yatay Kesit Bağımlılığı ve Delta Homojenlik Test Sonuçları

Değişken	Değişken Bazında Yatay Kesit Bağımlılığı Test Sonuçları				Pesaran ve Yamagata (2008) Homojenite Testi	
	CD	CDw	CDw+	CD*	$\check{\Delta}$ istatistik	$\check{\Delta}_{adj}$ istatistik
ÇK	23.53***	10.56***	118.37***	0.85		
FG	21.92***	10.18***	110.64***	-0.92	5.573***	6.333***
FK	6.29***	3.19***	66.58***	3.80***	(0.000)	(0.000)
ÇPS	23.53***	10.43***	118.25***	1.09		
SK	15.54***	6.25***	76.86***	1.39		

Not: ***, %1 istatistiksel anlamlılık seviyesini ifade etmektedir. **CD:** Pesaran (2015, 2021); **CDw:** Juodis, Reese (2021); **CDw+:** Fan ve diğerleri. (2015); **CD*:** Pesaran, Xie (2021)

Elde edilen bulgulara göre, çoğu durumda yatay kesit bağımlılığına ilişkin sıfır hipotezi reddedilmiştir. Bu durum bir ülkede meydana gelen bir şokun diğer ülkeler üzerinde anlamlı bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, hesaplanan $\check{\Delta}$ ve $\check{\Delta}_{adj}$ istatistiklerinin (p -değeri < 0.05) anlamlı çıkması homojenlik sıfır hipotezinin reddedilerek heterojenlik alternatif hipotezinin kabul edilmesi gerektiğini yani eğim katsayılarının homojen olmadığını göstermektedir. Özetle, bu sonuçlar yatay kesit bağımlılığı ve katsayı heterojenliğinin varlığı, ikinci nesil panel birim kök testlerinin uygulanmasını gerekli kılmaktadır.

Panel Birim Kök Testleri

Zaman serilerine ilişkin verilerin genellikle durağan olmaması nedeniyle panel veri modellerine geçilmeden önce değişkenlerin bütünleşme derecesinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, çalışmada paneldeki yatay kesit bağımlılığını (YKB) dikkate alarak daha güvenilir sonuçlar elde edebilmek amacıyla Pesaran (2007) tarafından geliştirilen ikinci nesil panel birim kök testleri, yani CADF (Cross-Sectionally Augmented Dickey-

Fuller) ve CIPS (Cross-Sectionally Augmented IPS) testleri uygulanmıştır. Söz konusu testler, panel veride hem çapraz kesitler arası bağımlılığı hem de artık terimlerdeki otokorelasyonu dikkate alarak daha güvenilir sonuçlar sunmakta ve geleneksel birim kök testlerine kıyasla daha esnek bir yapı sergilemektedir. CADF test istatistiği aşağıdaki biçimde ifade edilmektedir:

$$\Delta y_{it} = a_i + b_i y_{i,t-1} + c_i \bar{y}_{t-1} + \sum_{j=0}^s d_{ij} \Delta \bar{y}_{t-j} + \sum_{j=1}^s \vartheta_{ij} \Delta \bar{y}_{i,t-j} + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

eşitlikte \bar{y} çapraz kesitler için gecikmeli düzey değerlerinin yatay-kesit ortalamalarını ve $\Delta \bar{y}$ birinci farkların yatay kesit ortalamasını ifade etmektedir. Ayrıca, CIPS (Cross-sectionally Augmented IPS) test istatistiğinin hesaplanması şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$CIPS = N^{-1} \sum_{i=1}^n CADF_i \quad (10)$$

Önceki aşamada yatay kesit bağımlılığı (YKB) ve eğim heterojenliği tespit edildiğinden, değişkenlerin bütünleşme düzeylerini belirlemek amacıyla CADF ve CIPS testleri uygulanmış; elde edilen sonuçlar Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. CIPS ve CADF Panel Birim Kök Sonuçları

Değişkenler	CIPS test istatistiği		CADF test istatistiği	
	Düzyey	1.fark	Düzyey	1.fark
ÇK	-3.301***	-	-4.628***	-
FG	-2.069	-5.454***	-0.294	-6.065***
FK	-1.552	-4.832***	0.474	-4.762***
ÇPS	-2.832***	-	-2.528***	-
SK	-1.030	-4.648***	0.796	-4.248***

Not: ÇK, FG, FK, ÇV, ÇPS ve SK sırasıyla çevresel teknolojiyi, finansal gelişme indeksini, finansal kurumlar indeksini, çevre vergileri, çevresel politika sıklığı indeksini ve sürdürülebilir kalkınmayı göstermektedir. ***, %1 istatistiksel anlamlılık seviyesini ifade etmektedir.

Elde edilen bulgulara göre, çevresel teknoloji (ÇK), ve çevresel politika sıklığı indeksi (ÇPS) değişkenleri düzeyde istatistiksel olarak %1 anlamlılık seviyesinde durağan bulunmuştur. Buna karşılık, finansal gelişme (FG), finansal kurumlar (FK) ve sürdürülebilir kalkınma (SK) değişkenleri düzeyde durağan olmayıp birinci farkları alındığında durağan hâle gelmektedir.

Eşbütünleşme Testi

Birim kök test sonuçlarının ardından bir sonraki aşama Pedroni (2004) tarafından geliştirilen yöntem kullanılarak eşbütünleşme analizinin gerçekleştirilmesidir. Bu analiz kapsamında elde edilen bulgular Tablo 5'te sunulmuştur. Eşbütünleşme ilişkisinin varlığından söz edilebilmesi için test istatistiklerinden en az birinin istatistiksel olarak anlamlı olması yeterlidir. Elde edilen sonuçlar çalışmada ele alınan değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki bulunduğunu doğrulamaktadır.

Tablo 5. Pedroni Eşbütünleşme Testi

Tahmin Testi	İstatistik	p-değeri
Düzeltilme Yapılmış Phillips Perron t	1.056	0.104
Phillips-Perron t	-2.216***	0.000
Artırılmış Dickey-Fuller t	-3.479***	0.000

Momentler Kantil Regresyon Analizi

Tablo 6 momentler kantil regresyon sonuçlarını göstermektedir. Elde edilen bulgulara göre, çevresel teknolojilerin benimsenmesi finansal, kurumsal ve politika temelli değişkenlerin farklı düzeylerde etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Finansal gelişmenin çevresel teknoloji üzerindeki etkisi genel olarak negatif yönlü bulunmuş. Bu durum özellikle çevresel teknolojilerin düşük düzeyde olduğu alt kantillerde istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu

durum, finansal kaynakların çevreci yatırımlardan ziyade kısa vadeli ve daha yüksek getirili alanlara yönelmesiyle açıklanabilir. Öte yandan, finansal kısıtların düşük kantillerde pozitif etkisinin anlamlı olması bazı ülkelerde sınırlı kaynakların çevresel inovasyona yönlendirilmesinin mümkün olduğunu göstermektedir. Çevresel vergiler tüm kantillerde ve ortalama da negatif ve istatistiksel olarak anlamlı etkiler sergilemiştir. Bu bulgu, vergi politikalarının firmalar üzerinde baskı oluşturarak çevresel teknoloji yatırımlarını caydırıcı bir şekilde etkileyebileceğine işaret etmektedir. Buna karşılık, çevresel politika sıklığı tüm kantillerde pozitif ve yüksek düzeyde anlamlı etkiler göstermiştir. Bu durum düzenleyici çerçevenin netliğinin ve sıklığının çevresel teknoloji adaptasyonunda itici bir güç olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Sürdürülebilir kalkınma (SK) değişkeni ise tüm kantillerde negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etki göstermiştir. Bu dikkat çekici bulgu sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin uygulamada çevresel teknoloji yatırımlarına doğrudan katkı sağlamaktan ziyade ekonomik ve sosyal önceliklere odaklanabileceğini düşündürmektedir. Başka bir ifadeyle, sürdürülebilir kalkınma politikalarının bütüncül yapısı çevresel teknolojilerin özel olarak desteklenmesini sınırlandırabilir. Genel olarak, elde edilen bulgular, çevresel teknolojilerin yaygınlaştırılmasında en güçlü belirleyicinin çevresel politika sıklığı olduğunu ortaya koyarken finansal gelişme ve sürdürülebilir kalkınma gibi faktörlerin beklenen aksine sınırlayıcı etkiler yaratabileceğine işaret etmektedir.

Tablo 6. Momentler Kantil Regresyon Analizi Sonuçları

Değişkenler	Location	Scale	Q (0.05)	Q (0.25)	Q (0.50)	Q (0.75)	Q (0.95)
FG	-1.306*	0.352	-1.989**	-1.622**	-1.272*	-0.977	-0.592
FK	0.411	-0.991*	2.334***	1.300**	0.315	-0.513	-1.597
ÇPS	2.087***	-0.041	2.168***	2.125***	2.083***	2.048***	2.002**
SK	-0.730***	-0.262***	-0.220	-0.494***	-0.755***	-0.975***	-1.262***

Not: * p < .10, ** p < .05, *** p < .01.

Tartışma

Bu çalışmada elde edilen bulgular, çevresel teknolojilerin benimsenmesinde finansal, kurumsal ve politika temelli değişkenlerin heterojen etkiler yarattığını ortaya koymuştur. Özellikle çevresel politika sıklığı değişkeninin tüm kantiller boyunca pozitif yönlü ve yüksek düzeyde istatistiksel anlamlı etki göstermesi, literatürde sıklıkla dile getirilen düzenleyici baskının çevresel inovasyon üzerindeki teşvik edici rolüyle örtüşmektedir (Porter ve van der Linde, 1995; Costantini ve Mazzanti, 2012). Bu bulgu, çevresel düzenlemelerin netliği, öngörülebilirliği ve uygulama kararlılığının firmalar açısından stratejik yönelim belirleme süreçlerinde belirleyici olduğunu ve bu durumun çevresel teknoloji yatırımlarını olumlu yönde etkileyebileceğini göstermektedir. Diğer bir ifadeyle, politika yapıcılar tarafından oluşturulan güçlü ve tutarlı düzenleyici çerçeve, firmalar için piyasa sinyallerini berraklaştırmakta ve çevresel yenilikçiliğin risklerini azaltarak adaptasyon sürecini kolaylaştırmaktadır. Bu durum, çevresel teknoloji adaptasyonunun yalnızca ekonomik teşviklerle değil, aynı zamanda düzenleyici netlikle de yakından ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, çevresel politika sıklığı sadece doğrudan bir teşvik unsuru olarak değil, aynı zamanda ülkelerin rekabetçiliklerini ve piyasa konumlarını iyileştirmelerini sağlayan bir mekanizma olarak da işlev görmektedir (Toker ve Görener, 2020). Böylece, güçlü çevresel düzenlemeler, ülkeleri sürdürülebilir üretim süreçlerine yönelmesini teşvik ederek, uzun vadede rekabet avantajı elde etmelerine olanak tanımaktadır.

Öte yandan, finansal gelişmenin çevresel teknolojilerin benimsenmesi üzerindeki negatif etkisi, özellikle düşük kantillerde istatistiksel olarak anlamlı bulunması açısından dikkat çekicidir. Bu sonuç, bazı finansal sistemlerin kısa vadeli getiri hedeflerini önceliklendirmesi nedeniyle çevresel yatırımlara yönlendirilen kaynakların yetersiz kalabileceğine işaret etmektedir. Nitekim çevresel projelerin uzun vadeli yatırım getirileri sunması, geleneksel yatırımcı davranışlarıyla örtüşmemekte ve bu durum çevresel teknoloji alanında kaynak tahsisini sınırlandırabilmektedir (Eyraud ve diğerleri, 2013). Ayrıca, sürdürülebilir finansman mekanizmalarının

yeterince kurumsallaşmamış olması, çevreci yatırımların desteklenmesini daha da güçleştirmektedir. Bununla birlikte, bazı düşük kantil gruplarında finansal kısıtların çevresel teknoloji yatırımları üzerinde pozitif etkiler göstermesi, sınırlı kaynaklara sahip ülkelerde bu tür yatırımların stratejik öncelikler doğrultusunda yönlendirilebileceğini ortaya koymaktadır. Bu çift yönlü etki yapısı, ülkelerin kurumsal kapasitesi, çevresel bilinç düzeyi ve politika öncelikleri gibi bağlamsal faktörlerle yakından ilişkili olabilir. Ayrıca, finansal sistemlerin kurumsal yapısı ile uygulama araçlarının çeşitliliği, çevresel teknoloji yatırımlarına yönlendirilen kaynakların etkinliğini doğrudan etkilemektedir (Tursun, 2022). Bu nedenle, finansal piyasaların etkin biçimde regüle edilmesi ve sürdürülebilir finansman araçlarının çeşitlendirilerek kurumsal hale getirilmesi, çevresel teknolojilerin daha geniş ölçekte benimsenmesinde kritik bir rol oynamaktadır (Esen ve Yaman, 2020).

Çevresel vergilerin negatif etkisi ise literatürde tartışmalı bir konu olup, çalışmada elde edilen bulgular çevresel vergilerin söz konusu yatırımlar üzerinde genel olarak negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etki yarattığını göstermektedir. Bu durum, çevresel vergi politikalarının caydırıcı niteliğine işaret etmekte ve söz konusu vergilerin yapısal tasarımının, yatırım ortamı üzerindeki etkilerinin ve firmaların bu vergi yükünü taşıma kapasitelerinin daha kapsamlı biçimde analiz edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Özellikle çevresel vergi gelirlerinin, çevre dostu teknolojilerin geliştirilmesini teşvik edecek araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) faaliyetlerine yönlendirilmemesi, bu olumsuz etkinin başlıca nedenlerinden biri olarak değerlendirilebilir. Dolayısıyla, çevresel vergi sistemlerinin sadece cezalandırıcı bir mekanizma olarak değil, aynı zamanda yatırım ortamını destekleyici araçlarla birlikte kurgulanması, çevresel teknoloji adaptasyonunu teşvik etme potansiyelini artıracaktır. Bu bağlamda, vergi gelirlerinin etkin yönetimi ve özellikle çevresel vergi gelirlerinin inovasyonu destekleyici projelere aktarılması, çevresel sürdürülebilirliğe yönelik yatırımları teşvik ederek ekonomik büyüme ve çevresel koruma arasında bir denge sağlayabilir. Ek olarak, çevresel vergilerin sosyal ve ekonomik etkilerinin değerlendirilmesinde yerel halkın algısının ve sosyokültürel dinamiklerinin de dikkate alınması, politikaların kabul edilebilirliğini ve sürdürülebilirliğini artırabilir (Özyurt ve Gülmez, 2020). Bu bağlamda, çevresel vergi gelirlerinin spesifik olarak çevresel altyapı projelerine ve yeşil teknolojilerin yaygınlaştırılmasına tahsis edilmesi, bu vergilerin sadece bir mali yük olmaktan çıkarılıp, dönüşümcü bir araç haline gelmesini sağlayabilir.

Sürdürülebilir kalkınma değişkeninin çevresel teknolojilerin benimsenmesi üzerindeki negatif etkisi, çalışmanın dikkat çekici bulgularından biridir. Mevcut literatürde sürdürülebilir kalkınmanın çevresel teknolojilere dolaylı yoldan katkı sunduğu sıklıkla vurgulanmakla birlikte, bu çalışmanın sonuçları, sürdürülebilirlik politikalarının uygulama aşamasında ağırlıklı olarak ekonomik büyüme, toplumsal kapsayıcılık ve yoksullukla mücadele gibi sosyal hedeflere odaklandığını ve bu nedenle çevresel boyutun arka planda kalabileceğini düşündürmektedir. Diğer bir ifadeyle, sürdürülebilirlik stratejilerinin teknoloji temelli çevresel dönüşümü desteklemekten ziyade daha genel kalkınma hedeflerine yönelmesi, çevresel inovasyonların yaygınlaşmasını sınırlandırmaktadır. Bu bağlamda, çevresel teknolojilerin benimsenmesini artırmak amacıyla, sürdürülebilir kalkınma politikaları içerisinde daha odaklanmış, ölçülebilir ve uygulamaya geçirilebilir stratejik araçların geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Genel olarak, bu çalışmanın bulguları, çevresel teknoloji yatırımlarının teşvikinde yalnızca finansal kaynakların artırılmasının veya genel kalkınma politikalarının uygulanmasının tek başına yeterli olmadığını ortaya koymaktadır. Çevresel politika sıklığının tüm kantillerde güçlü ve pozitif etkiler göstermesi, düzenleyici araçların çevresel teknolojilerin benimsenmesinde kritik bir rol üstlendiğini açıkça göstermektedir. Bu doğrultuda, politika yapıcılarının çevresel teknoloji adaptasyonunu hızlandırmak amacıyla sektörel bazda hedeflenmiş programlar, etkili teşvik mekanizmaları ve uygulama gücü yüksek yasal düzenlemeler geliştirmesi büyük önem arz etmektedir. Ayrıca, sürdürülebilir kalkınma ve finansal gelişme politikalarının çevresel teknoloji hedefleriyle daha bütüncül ve tutarlı bir biçimde entegre edilmesi gerekmektedir. Böylece çevresel teknolojilerin yaygınlaştırılmasına yönelik çok boyutlu, koordineli ve uzun vadeli bir stratejik yaklaşımın benimsenmesi mümkün olacaktır.

Sonuç ve Politika Önerileri

Bu çalışma G-7 ülkeleri özelinde çevresel teknolojilerin benimsenmesini etkileyen temel makroekonomik ve politika temelli belirleyicileri analiz etmiş ve elde edilen bulgular çevresel politika sıklığının çevresel teknolojilerin yaygınlaştırılmasında en güçlü ve tutarlı unsur olduğunu açıkça ortaya koymuştur. Panel momentler kantil regresyon analizine göre, politika sıklığı tüm kantillerde pozitif ve yüksek derecede anlamlı etkiler üretmiş; bu

durum, düzenleyici çerçevenin netliği, öngörülebilirliği ve uygulama kararlılığının firmaların çevreci teknoloji tercihlerini yönlendirmede belirleyici olduğunu göstermektedir. Buna karşın, finansallaşma düzeyi özellikle düşük çevresel teknoloji düzeylerinde negatif etkiler sergileyerek finansal sermayenin kısa vadeli ve yüksek getirili sektörlerle yöneldiğini ve çevreci yatırımların geri planda kaldığını göstermektedir. Ayrıca, sürdürülebilir kalkınma göstergesinin tüm kantillerde negatif ve anlamlı bir ilişki göstermesi bu kavramın geniş ve çok boyutlu yapısının çevresel teknolojiye yönelik doğrudan politika odağını zayıflatabileceğine işaret etmektedir.

Bu bağlamda, politika yapıcılar açısından bazı temel çıkarımlar ön plana çıkmaktadır. Öncelikle, çevresel teknolojiye geçişin yalnızca ekonomik kapasiteye değil, aynı zamanda güçlü, hedef odaklı ve istikrarlı çevre politikalarına bağlı olduğu unutulmamalıdır. Bu doğrultuda önerilen politika setleri arasında; çevre teknolojilerine özel vergi teşvikleri, karbon fiyatlandırma mekanizmalarının etkinleştirilmesi, yeşil Ar-Ge fonlarının artırılması ve çevre odaklı regülasyonların daha sıkı ve bağlayıcı hâle getirilmesi yer almalıdır. Ayrıca, finansal piyasaların çevresel hedeflerle uyumlu hale getirilmesi için yeşil finansman araçlarının geliştirilmesi ve sürdürülebilirlik odaklı yatırım kriterlerinin standartlaştırılması da önem taşımaktadır.

Gelecek çalışmalara yönelik olarak bu alandaki literatürün derinleştirilmesi için birkaç öneride bulunulabilir. İlk olarak, farklı gelir düzeyindeki ülke gruplarında aynı modelin test edilmesi çevresel teknoloji yatırımlarında gelişmiş ve gelişmekte olan ekonomilerin dinamiklerinin karşılaştırılmasına olanak sağlayabilir. İkinci olarak, politika sıklığı ve finansallaşma gibi değişkenlerin alt bileşenleri (örneğin piyasa temelli ve piyasa dışı politika araçları; kısa vadeli portföy yatırımları vs. yeşil tahviller) detaylandırılarak daha mikro düzeyde analizler yapılabilir. Üçüncü olarak, sektörel düzeyde farklılıkların araştırılması çevresel teknoloji adaptasyonunun hangi sektörlerde daha duyarlı olduğu konusunda önemli iç görüler sağlayabilir. Son olarak, çevresel teknolojilerin sosyal kabulü iş gücü etkileri ve dijital dönüşümle olan etkileşimi gibi alanlar da çok disiplinli araştırmalarla incelenmeye açıktır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazar bu makalenin araştırma, yazarlık ve/veya yayın süreci ile ilgili herhangi bir potansiyel çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Mali Destek

Yazar bu makalenin araştırılması, yazılması ve/veya yayınlanması için herhangi bir mali destek almamıştır.

Yayın Etiği Beyanı

Çalışmada etik dışı bir husus bulunmadığını, araştırma ve yayın etiğine özenle uyulduğunu beyan ederim.

Yazar Katkı Oranı

Çalışma tek yazarlı olup, yazarın katkı oranı %100'dür.

Etik Kurul İzni

“G-7 ekonomilerinde çevresel teknolojinin belirleyicileri: finansallaşma, politika sıklığı ve sürdürülebilir kalkınmanın rolü” adlı çalışma kapsamında herhangi bir anket, mülakat, odak grup çalışması, gözlem, deney, ya da başka görüşme teknikleri kullanarak katılımcılardan veri toplamadığımı, insan ve hayvanlar üzerinde deney, vb. yapmadığımı, kişisel verilerin korunması kanununu ihlal etmediğimi, sorumlu yazar olarak bu belgenin doldurulması noktasında diğer yazarları haberdar ettiğimi bildirir; Bu çalışmanın etik kurul izni gerektirmeyen çalışmalardan olduğunu sorumlu yazar olarak beyan ederim.

Kaynakça

Adebayo, T. S. (2022). Exploring the heterogeneous impact of technological innovation on income inequality: formulating the sdg policies for the brics-t economies. *Energy & Environment*, 35(4), 1773-1792. <https://doi.org/10.1177/0958305x221145926>

Adebayo, T. S., Rjoub, H., Akadiri, S. S., Oladipupo, S. D., Sharif, A., & Adeshola, I. (2022). The role of economic complexity in the environmental Kuznets curve of MINT economies: evidence from method

- of moments quantile regression. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(16), 24248-24260. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17524-0>
- Barbier, E. B. and Burgess, J. C. (2023). Natural capital, institutional quality and sdg progress in emerging market and developing economies. *Sustainability*, 15(4), 3055. <https://doi.org/10.3390/su15043055>
- Başoğlu, A., & Kömürçüoğlu, Ö. F. (2024). Finansal teknolojilerdeki gelişmelerin ekonomik kompleksiteye yansımaları. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 20(4), 1230-1249. <https://doi.org/10.17130/ijmeb.1521890>
- Chen, L., & Tanchangya, P. (2022). Analyzing the role of environmental technologies and environmental policy stringency on green growth in China. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(37), 55630-55638. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19673-2>
- Chen, M., Sohail, S., & Majeed, M. T. (2022). Revealing the effectiveness of environmental policy stringency and environmental law on environmental performance: does asymmetry matter?. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 91190–91200. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21992-3>
- Choi, G., & Cho, S. H. (2021). Effect of market versus nonmarket environmental policy stringency on knowledge sourcing behavior for green technology: evidence from OECD countries. *Review of International Business and Strategy*, 32(1), 72-93. <https://doi.org/10.1108/ribs-09-2020-0113>
- Costantini, V., & Mazzanti, M. (2012). On the green and innovative side of trade competitiveness? The impact of environmental policies and innovation on EU exports. *Research Policy*, 41(1), 132–153. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2011.08.004>
- Çınar, S., & Yilmazer, M. (2021). Determinants of green technologies in developing countries. *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi*, 9(2), 155-167.
- Darko, A., Chan, A. P., & Owusu, E. K. (2018). What are the green technologies for sustainable housing development? an empirical study in Ghana. *Business Strategy & Development*, 1(2), 140-153. <https://doi.org/10.1002/bsd2.18>
- Esen, M. F., & Yaman, T. T. (2020). Teknoloji alanında faaliyet gösteren şirketlerin finansal form okunabilirliğinin metin madenciliği teknikleriyle ölçülmesi. *Acta Infologica*, 4(2), 77-97. <https://doi.org/10.26650/acin.815945>
- Fogarassy, C., & Finger, D. (2020). Theoretical and practical approaches of circular economy for business models and technological solutions. *Resources*, 9(6), 76. <https://doi.org/10.3390/resources9060076>
- Fakher, H. A., & Ahmed, Z. (2023). Does financial development moderate the link between technological innovation and environmental indicators? An advanced panel analysis. *Financial Innovation*, 9(1), 112. <https://doi.org/10.1186/s40854-023-00513-2>
- Farooq, U., Tabash, M. I., & Ahmed, A. (2024). Financial development and green technological innovation: a case of GCC countries. *International Journal of Innovation Science*. <https://doi.org/10.1108/IJIS-09-2023-0206>
- Feng, S., Zhang, R., & Li, G. (2022). Environmental decentralization, digital finance and green technology innovation. *Structural Change and Economic Dynamics*, 61, 70-83. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2022.02.008>
- Fernandes, A. (2005). Knowledge, technology adoption and financial innovation. Erişim adresi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.954743>
- Hashemizadeh, A., Bui, Q., & Kongbuamai, N. (2021). Unpacking the role of public debt in renewable energy consumption: new insights from the emerging countries. *Energy*, 224, 120187. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120187>
- Herzer, D. (2025). Environmental policy and environmental R&D in the private sector: new evidence on the “Narrow” Porter Hypothesis. *Energy Research Letters*, 6(1). <https://doi.org/10.46557/001c.94372>
- Horbach, J. (2008). Determinants of environmental innovation—new evidence from German panel data sources. *Research Policy*, 37(1), 163–173. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.08.006>

- Johnstone, N., & Haščič, I. (2010). Environmental policy design and the fragmentation of international markets for innovation. *Reforming Rules and Regulations*, 79-104. <https://doi.org/10.7551/mitpress/8832.003.0006>
- Kesidou, E., & Wu, L. (2020). Stringency of environmental regulation and eco-innovation: evidence from the eleventh five-year plan and green patents. *Economics Letters*, 190, 109090. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2020.109090>
- King, R. G., & Levine, R. (1993). Finance and growth: Schumpeter might be right. *The quarterly journal of economics*, 108(3), 717-737.
- Koçak, E. (2017). Finansal gelişme çevresel kaliteyi etkiler mi? yükselen piyasa ekonomileri için ampirik kanıtlar. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 13(3), 535-552. <https://doi.org/10.17130/ijmeb.2017331326>
- Lanoie, P., Laurent-Lucchetti, J., Johnstone, N., & Ambec, S. (2011). Environmental policy, innovation and performance: new insights on the porter hypothesis. *Journal of Economics & Management Strategy*, 20(3), 803-842. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9134.2011.00301.x>
- Li, J., Zhang, G., Ned, J. P., & Sui, L. (2023). How does digital finance affect green technology innovation in the polluting industry? Based on the serial two-mediator model of financing constraints and research and development (R&D) investments. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(29), 74141-74152. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27593-y>
- Liu, J. Y., Xia, Y., Fan, Y., Lin, S. M., & Wu, J. (2017). Assessment of a green credit policy aimed at energy-intensive industries in China based on a financial CGE model. *Journal of Cleaner Production*, 163, 293-302. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.111>
- Liu, J., Wang, W. & Zhang, Y. (2023). The promotion of green technology innovation by the growth of digital finance in China: an analysis from the viewpoint of investment and financing. *Advances in Economics, Management and Political Sciences*, 39, 177-182. <https://doi.org/10.54254/2754-1169/39/20231962>
- Lv, C., Shao, C., & Lee, C. C. (2021). Green technology innovation and financial development: do environmental regulation and innovation output matter?. *Energy Economics*, 98, 105237. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105237>
- Mantlana, K. B., & Maoela, M. A. (2019). Mapping the interlinkages between sustainable development goal 9 and other sustainable development goals: a preliminary exploration. *Business Strategy & Development*, 3(3), 344-355. <https://doi.org/10.1002/bsd2.100>
- Martínez-Zarzoso, I., Bengochea-Morancho, A., & Morales-Lage, R. (2019). Does environmental policy stringency foster innovation and productivity in OECD countries?. *Energy Policy*, 134, 110982. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110982>
- Matsepe, N. T., & Van der Lingen, E. (2022). Determinants of emerging technologies adoption in the South African financial sector. *South African Journal of Business Management*, 53(1), 2493. https://hdl.handle.net/10520/ejc-busman_v53_i1_a2493
- Meadowcroft, J. (2000). Sustainable development: a new (ish) idea for a new century?. *Political studies*, 48(2), 370-387. <https://doi.org/10.1111/1467-9248.00265>
- Nugraha, S. B. and Fauzia, H. (2019). The green city index as indicators for realizing sustainable cities and communities in semarang. Proceedings of the Proceedings of the 1st International Conference on Environment and Sustainability Issues, ICESI 2019, 18-19. <https://doi.org/10.4108/eai.18-7-2019.2290377>
- Osman, R., Shiraz , H., Abdulai , H., & Iddi , F. Y. (2024). Impact of mobile money technology on sheabutter marketing in Tolon District, Ghana. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology*, 42(1), 91–99. <https://doi.org/10.9734/ajaees/2024/v42i12351>
- Özyurt, P. M., & Gülmez, M. (2020). Turizm gelişiminin yerel halkın bireysel ve toplumsal yaşam kalitesine etkileri. *Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi*, 31(1), 52-62. <https://doi.org/10.17123/atad.713571>

- Pan, X., Uddin, M. K., Han, C., & Pan, X. (2019). Dynamics of financial development, trade openness, technological innovation and energy intensity: evidence from Bangladesh. *Energy*, 171, 456-464. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.200>
- Porter, M. E., & van der Linde, C. (1995). Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 97-118. <https://doi.org/10.1257/jep.9.4.97>
- Popp, D., & Newell, R. (2012). Where does energy R&D come from? Examining crowding out from energy R&D. *Energy economics*, 34(4), 980-991. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.07.001>
- Pradhan, R. P., Arvin, M. B., & Bahmani, S. (2018). Are innovation and financial development causative factors in economic growth? Evidence from a panel granger causality test. *Technological Forecasting and Social Change*, 132, 130-142. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.01.024>
- Prokop, V., Gerstlberger, W., Vrabcová, P., Zapletal, D., & Sein, Y. Y. (2023). Does being stricter mean doing better? different effects of environmental policy stringency on quality of life, green innovation, and international cooperation. *Heliyon*, 9(5), e16388. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16388>
- Rennings, K. (2000). Redefining innovation—eco-innovation research and the contribution from ecological economics. *Ecological Economics*, 32(2), 319-332. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00112-3](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00112-3)
- Reyhan, A. S. (2017). Küresel iklim değişikliği bağlamında çevresel bilgi yönetimi: çevresel göstergeler seti. *Kesit Akademi Dergisi*, (12), 150-173. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1520355>
- Sachs, J. D. (2015). The age of sustainable development. Columbia University Press.
- Shahbaz, M., Shahzad, S. J. H., Ahmad, N., & Alam, S. (2016). Financial development and environmental quality: the way forward. *Energy policy*, 98, 353-364. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.09.002>
- Shi, P., & Huang, Q. (2024). The impact of financial investment on corporate environmental sustainability: reservoir effect or crowding-out effect?. *Business Strategy and the Environment*, 33(6), 6084-6105. <https://doi.org/10.1002/bse.3798>
- Sibailly, I. (2013). On licensing and diffusion of clean technologies in oligopoly. Erişim adresi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.2361385>
- Sneddon, C., Howarth, R. B., & Norgaard, R. B. (2006). Sustainable development in a post-Brundtland world. *Ecological economics*, 57(2), 253-268. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.04.013>
- Sunaga, M. (2017). Endogenous growth cycles with financial intermediaries and entrepreneurial innovation. *Journal of Macroeconomics*, 53, 191-206. <https://doi.org/10.1016/j.jmacro.2017.07.001>
- Tamazian, A., & Rao, B. B. (2010). Do economic, financial and institutional developments matter for environmental degradation? Evidence from transitional economies. *Energy economics*, 32(1), 137-145. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2009.04.004>
- Toker, K., & Görener, A. (2020). İnovasyon ile Küresel Rekabetçilik Düzeyi Arasındaki İlişkide Ekonomik Serbestliğin Düzenleyici Rolü. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 12(3), 2996-3007.
- Tursun, A. (2022). Alternatif Konut Finansman Sistemi Olarak Tasarrufa Dayalı Faizsiz Finans Sistemleri: Gölge Bankacılık ve Özün Önceliği Kavramları Çerçevesinde Sistemin Değerlendirilmesi. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 40(1), 164-183. <https://doi.org/10.17065/hunüibf.893793>
- Uygur, K. (2025). Yeşil inovasyon, ticaret açıklığı ve çevresel bozulma: G-7 ülkeleri üzerine bir inceleme. *Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi*, 10(1), 252-268. <https://doi.org/10.30784/epfad.1575919>
- Wang, Y., Fahad, S., Wei, L., Luo, B., & Luo, J. (2022). Assessing the role of financial development and financial inclusion to enhance environmental sustainability: do financial inclusion and eco-innovation promote sustainable development?. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 1056478. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1056478>
- Xue, L., & Zhang, X. (2022). Can digital financial inclusion promote green innovation in heavily polluting companies?. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(12), 7323. <https://doi.org/10.3390/ijerph19127323>

- Yan, L., Tao, T., & Ullah, S. (2023). Internet financial services, environmental technology, and happiness: Implications for sustainable development. *Plos one*, 18(11), e0287673. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287673>
- Yuan, H., Feng, Y., Lee, C. C., & Cen, Y. (2020). How does manufacturing agglomeration affect green economic efficiency?. *Energy Economics*, 92, 104944. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104944>
- Yuan, H., Wang, X., Gao, L., Wang, T., Liu, B., Fang, D., & Gao, Y. (2023). Progress towards the Sustainable Development Goals has been slowed by indirect effects of the COVID-19 pandemic. *Communications Earth & Environment*, 4(1), 184. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00846-x>

EXTENDED SUMMARY

Increasing environmental crises and the intensifying effects of climate change have made the development and implementation of environmental technologies a fundamental pillar of sustainable development. While traditional research emphasizes technological capacity and innovation ecosystems, this study explores the broader macroeconomic and policy-oriented determinants that influence the adoption of green technologies. Specifically, it investigates the roles of financialization, environmental policy stringency, and sustainable development in shaping environmental technology outcomes in the G7 countries (United States, United Kingdom, Germany, France, Italy, Japan, and Canada) from 1990 to 2020. By employing the Method of Moments Quantile Regression (MMQR), the study captures the heterogeneous effects of these variables across the distribution of environmental technology adoption.

The motivation behind this research stems from the recognition that environmental innovation is not only a function of technological capabilities, but also a consequence of financial dynamics and regulatory frameworks. Financial development and institutions can serve as enablers of clean technology through improved capital allocation, risk mitigation, and innovation financing. At the same time, stringent environmental regulations are seen as catalysts that push firms toward cleaner production methods. Sustainable development policies, although broader in scope, are presumed to offer synergies with environmental objectives.

The dataset consists of annual panel data for the G7 countries from 1990 to 2020. The dependent variable is the share of environmental patents in total technological patents, representing the diffusion of environmental technology. Explanatory variables include: (i) financial development (measured by a financial development index), (ii) financial institutions (represented by a separate index), (iii) environmental policy stringency (using the OECD EPS index), and (iv) a composite sustainable development index. All variables are converted into their natural logarithmic forms to minimize skewness and address issues related to autocorrelation and heteroskedasticity.

The MMQR approach, developed by Machado and Santos Silva (2019), is used to analyze how these determinants affect environmental technology across different quantiles of its distribution. This method allows for a more nuanced understanding of the conditional relationships between variables, particularly when the underlying data exhibit heterogeneity and non-normality. Moreover, the MMQR is robust to outliers and provides reliable estimates even in the presence of skewed distributions—making it especially suitable for policy-relevant research in environmental economics.

Descriptive statistics and correlation analyses reveal a generally strong positive association between environmental policy stringency and environmental technology. In contrast, the relationship between financial development and environmental innovation appears weaker and less consistent. Panel unit root tests (CIPS and CADF) indicate that most variables become stationary after first differencing. Pedroni's cointegration tests further confirm the presence of long-run relationships among the variables under study.

The results of the MMQR analysis reveal significant heterogeneity across quantiles. Financial development exerts a negative and statistically significant effect on environmental technology, particularly in the lower quantiles (e.g., 5th and 25th). This suggests that in economies with low levels of green innovation, financial systems may prioritize short-term, high-return investments over risky and capital-intensive environmental technologies. Interestingly, the financial institutions variable shows positive effects only in the lower quantiles, indicating that stronger institutional mechanisms may support environmental innovation in countries where such technologies are still emerging. The most consistent determinant is environmental policy stringency, which displays a positive and significant effect across all quantiles. This affirms the Porter Hypothesis, which posits that well-designed environmental regulations can stimulate innovation by encouraging firms to improve efficiency and invest in cleaner technologies. Regulatory certainty and enforcement mechanisms play a critical role in shaping firms' investment behavior. Surprisingly, sustainable development has a negative and significant effect at the middle and upper quantiles. This counterintuitive result suggests that sustainable development policies may, in practice, dilute focus from environmental technology if they prioritize other dimensions such as economic equity or social welfare. The multidimensional nature of sustainable development may unintentionally shift attention away from environmental technology investments unless explicitly aligned.

The study's findings carry several policy implications. First, policymakers should recognize the uneven impacts of financial and institutional factors across different levels of environmental technology adoption. Tailored policies that strengthen green financial instruments, such as green bonds and ESG-aligned credit, could redirect capital flows toward sustainable technologies, especially in countries at the lower end of the technology spectrum. Second, regulatory frameworks must be stringent yet flexible to maintain innovation incentives while ensuring compliance. Market-based instruments like carbon pricing and performance-linked subsidies can provide a predictable environment for green investment. Third, sustainable development strategies must be realigned to explicitly support environmental technology. This could involve earmarking sustainable development funds for R&D in clean technology, embedding environmental performance metrics in national SDG strategies, and fostering intersectoral coordination among environmental, economic, and social policymakers.

Future research directions include applying the same MMQR framework to non-G7 economies or income-based country groups to uncover context-specific dynamics. Additionally, disaggregating financialization into short-term speculative versus long-term green investments, and policy stringency into market-based versus command-and-control tools, could yield deeper insights. Sectoral analyses (e.g., transportation, manufacturing, energy) may further help identify where policy interventions are most effective. Finally, integrating qualitative data on institutional quality, public acceptance of green technology, and digital transformation could enrich understanding of the broader innovation ecosystem.

In conclusion, this study demonstrates that while financial and sustainability considerations are essential, regulatory policy stringency remains the most robust driver of environmental technological progress. Designing cohesive strategies that align finance, regulation, and sustainability will be key to accelerating the green transition in advanced economies.