

## Türkiye’de Yeşil İnovasyon ve Çevresel Kalite Arasındaki İlişkinin Analizi

### Analysis of the Relationship Between Green Innovation and Environmental Quality in Türkiye

Suzan ERGÜN<sup>1</sup>, Melike ATAY POLAT<sup>2</sup>

#### Öz

**Amaç:** Çevresel bozulma ve küresel ısınma gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için çözüm üretilmesi gereken en önemli sorunların başında gelmektedir. Bu nedenle politika yapıcılar ve araştırmacılar çevresel bozulmayı azaltacak şekilde büyümeyi gerçekleştirme arayışı içerisine girmişlerdir. Son yıllarda iklim değişikliği ve çevresel bozulmanın neden olduğu olumsuzlukların azaltılmasında çevresel inovasyon anlamlı bir rol oynamakta ve düşük CO<sub>2</sub> emisyonlarına ve sürdürülebilir kalkınmaya ulaşmanın bir yolu olarak görülmektedir. Bu araştırmanın amacı Türkiye’de 1995-2020 döneminde yeşil inovasyon, yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik büyüme, finansal gelişme ve çevre kirliliği (CO<sub>2</sub> emisyonu) arasındaki ilişkiyi analiz etmektir.

**Tasarım/Yöntem:** Araştırmada Johansen eşbütünleşme testi, FMOLS tahmincisi ve nedensellik testi uygulanmıştır.

**Bulgular:** Analizler sonucunda elde edilen bulgulara göre yeşil inovasyonun CO<sub>2</sub> emisyonu üzerinde negatif etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca, çevresel kalite ile yeşil inovasyon, yenilenebilir enerji ve finansal gelişme arasında tek yönlü kısa dönem nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir.

**Sınırlılıklar:** Çalışma yöntem açısından eşbütünleşme ve nedensellik analizleri ile sınırlıdır. Mekan açısından sınırı Türkiye’dir. 1995-2020 yılları arası verilerinin kullanılması zaman açısından sınırını ortaya koymaktadır.

**Özgünlük/Değer:** Yeşil inovasyon ve çevre kalitesi arasındaki ilişki sınırlı sayıda çalışılmasına rağmen, bu ilişkinin araştırılmasında yenilenebilir enerji tüketimi ve finansal gelişmenin de dahil edilmesi araştırmanın özgün değerini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Yeşil inovasyon, CO<sub>2</sub> emisyonu, FMOLS tahmincisi, Nedensellik testi

#### Abstract

**Purpose:** Environmental degradation and global warming are among the most important problems that need solutions for developed and developing countries. For this reason, policy makers and researchers have sought to achieve growth in a way that reduces environmental degradation. In recent years, environmental innovation has played a significant role in reducing the negativities caused by climate change and environmental degradation and is seen as a way to achieve low CO<sub>2</sub> emissions and sustainable development. The aim of this research is to analyze the nexus between green innovation, renewable energy consumption, economic growth, sinancial development and environmental pollution (CO<sub>2</sub> emissions) in Türkiye during the 1995-2020 period.

**Design/Methodology:** Johansen cointegration test, FMOLS estimator and causality test were applied in the research.

**Findings:** According to the findings obtained as a result of the analysis, it was seen that green innovation had a negative impact on CO<sub>2</sub> emissions. Additionally, a one-way short-term causality relationship was found between environmental quality and green innovation, renewable energy and financial development.

**Limitations:** In terms of method, the study is limited to cointegration and causality analysis. In terms of location, its border is Türkiye. Using data between 1995 and 2020 reveals its time limit.

**Originality/Value:** Although the nexus between green innovation and environmental quality has been studied in limited numbers, the inclusion of renewable energy consumption and financial development in the investigation of this nexus shows the unique value of the research.

**Keywords:** Green innovation, CO<sub>2</sub> emissions, FMOLS estimator, Causality testing

<sup>1</sup> Prof. Dr., İnönü Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, suzan.ergun@inonu.edu.tr  
ORCID: 0000-0002-8447-972X

<sup>2</sup> Prof. Dr., Mardin Artuklu Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, matay@artuklu.edu.tr  
ORCID: 0000-0001-9507-5942

## 1. GİRİŞ

Çevresel kaliteyi koruma sorumluluğu bireyler, kuruluşlar ve devlet kurumları da dahil olmak üzere tüm paydaşlara aittir. Bu önemli görevin getirdiği sorumlulukla birlikte son yıllarda sera gazı emisyonlarındaki artış küresel çapta politika yapıcılar arasında büyük bir huzursuzluğa yol açmıştır. Bu kapsamda imzalanan uluslararası anlaşmalar, hükümetlerin iklim değişikliğini azaltmaya ve küresel çevresel sürdürülebilirliği iyileştirmeye yönelik politikalar geliştirmesini ve çaba göstermesini gerektirmektedir. Bu bağlamda çevre kalitesini artıracak politikaların geliştirilebilmesi için çevre kirliliğini etkileyen temel faktörlerin belirlenmesi kritik öneme sahiptir (Musah & Yakubu, 2022; Zhang vd., 2022).

Bu çerçevede sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma terimleri günümüzde çok sık kullanılmaktadır. Sürdürülebilirlik ekonomik sürdürülebilirlik, çevresel sürdürülebilirlik ve sosyal sürdürülebilirlik şeklinde üç dengeli gerektirdiğinden ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlar arasında bir denge arayışını ifade etmektedir. Çevresel sürdürülebilirlik kapsamında 1987 Brundtland Raporu'nda sürdürülebilir kalkınma kavramı "gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden ödün vermeden, mevcut neslin ihtiyaçlarını karşılayan kalkınma" olarak tanımlanmış yani bugünün ihtiyaçlarının, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme kabiliyetinden ödün vermeden karşılanması olduğu ifade edilmiştir. Bu tanım çerçevesinde sürdürülebilir kalkınma, yaşam kalitesini ve doğal çevreyi iyileştiren, dolayısıyla gelecek nesillerin geçim kaynaklarını bozmadan gerçekleştirilen bir kalkınmayı ifade eder. Son dönemde hava kirliliği ve sera gazı emisyonlarındaki hızlı artış buzulların erimesi, sel, kuraklık ve deniz seviyesinin yükselmesi gibi bir dizi doğal afete neden olacak küresel ısınmaya yol açmanın yanı sıra insan sağlığı için de doğrudan risk oluşturmaktadır. Bu gelişmelerin çevresel sürdürülebilirlik, ekosistemlerin işleyişi ve toplumların refahı üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Yani iklim değişikliği ve çevresel bozulma, bugün dünyanın karşı karşıya olduğu ve insan toplumunun sürdürülebilir kalkınmasına ciddi bir tehdit oluşturan önemli sorunlardır. CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasıda önemli bir role sahiptir (Guinot, vd., 2022; Avcı vd., 2024; Chen vd., 2023).

Küresel ekonomik kalkınmanın mevcut gidişatının gezegenimiz üzerinde etkilerinin olduğu bir gerçektir. Ekolojik kuralışlaştırma, doğal kaynakların sınırsız kullanımı ve artan eşişsizlikler günümüz sorunlarının merkezinde yer almaktadır. Özellikle insan faaliyetlerinin çevresel etkisi hem toplumsal hem de küresel bir endişe haline gelmiştir. Yakın zamanda yayınlanan bir rapora göre, insan faaliyetleri sonucu ortaya çıkan antropojenik sera gazı emisyonları, küresel ısınmanın neredeyse %95'inden sorumludur. Bu çerçevede fosil yakıtlardan kaynaklanan karbondioksit emisyonları rekor seviyelere ulaşmış, küresel ortalama deniz seviyeleri yükselmiş, sıcak hava dalgaları, orman yangınları ve hava kirliliği artmıştır. İlim lehine uluslararası eylemin güçlendirilmemesi durumunda, ortalama küresel sıcaklıktaki artış 2 santigrat dereceye ulaşabilir ve bu da daha da fazla doğal afete (sel, kuraklık, tarımsal verimin bozulması, dağ buzullarının hızla erimesi ve su baskını) yol açabilir ve ekosistemler üzerinde geri dönüşü olmayan etkiler ortaya çıkarabilir. Bu durum, hükümetlerin çevreye verilen zararı azaltacak önlemler uygulamasına yönelik artan bir ihtiyaç doğurmuştur. Araştırma ve teknolojiadaki ilerlemeler nedeniyle önde gelen ekonomiler artık verimli enerji tüketimi ve üretimi, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş ve tehlikeli gaz emisyonlarının azaltılması konularına odaklanmaktadır. Ancak çevre sorunlarının çözümü sadece hükümet politikası meselesi değildir, kuruluşlara da bu sorunların azaltılmasında çok önemli bir görev düşmektedir (Mongo vd., 2021, Guinot vd., 2022; Wei & Lihua, 2023).

Son yıllarda yeşil büyüme politikalarıyla sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması amaçlanmaktadır. Yeşil büyüme, insan refahı için çevresel hizmetlerin ve doğal kaynakların sürekli kullanılabilirliğini sağlarken ekonomik kalkınmayı ve finansal büyümeyi teşvik eder. Yeşil finans ve teknoloji inovasyonu çevresel sürdürülebilirliği geliştirmek için temel stratejilerdir. Yeşil büyüme hedeflerine ulaşmak için ülkelerin karbon emisyon seviyelerini azaltmaya yönelik politikalar belirlemesi gerekir. Bu, enerji üretimi ve tedarik zincirindeki teknolojik yeniliklerle mümkündür. Teknoloji yeniliği, verimli enerji üretimi ve kullanımı sağlayacak, doğal kaynakları koruyacak ve CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltacaktır. Böylece ekonomik, ekolojik ve toplumsal hedeflere eşiş zamanlı ulaşılmasına olanak tanyacaktır (Yikun vd., 2023; Tiwari vd., 2023). Bu açıklamalar doğrutusunda

yeşil teknolojik yeniliğin çevre kirliliğine etkisinin tespit edilmesi konusunun incelenmesi önemlidir. Teknolojik yenilik ve çevre kalitesi arasındaki ilişkiyi araştıran çalışmaların çok sayıda olduğu görülmüş, buna karşılık çevre ile ilgili teknolojik yenilikler (yeşil inovasyon) ve çevre kalitesi arasındaki ilişkiyi araştıran çalışma sayısı sınırlı kalmıştır. Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de 1995-2020 döneminde yeşil inovasyon, yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik büyüme, finansal gelişme ve çevre kirliliği (CO<sub>2</sub> emisyonu) arasındaki ilişkiyi Johansen eşbütünleşme ve nedensellik testlerine başvurarak analiz etmektir. Çalışmanın hipotezi, “Türkiye’de yeşil inovasyon CO<sub>2</sub> emisyonunu azaltmaktadır” şeklinde kurulmuştur.

Bu çalışmanın literatüre katkısı şu şekildedir: (i) Teknolojik gelişmeler ve CO<sub>2</sub> emisyonu arasındaki ilişkiyi araştıran çalışmalar olmasına rağmen, yeşil inovasyonun CO<sub>2</sub> emisyonuna etkisinin yenilenebilir enerji tüketimi ve finansal gelişme bağlamında analiz edilmesi çoğunlukla dikkate alınmamıştır. Finansal gelişme endüstriyel yatırımları artırarak çevre kalitesini etkilerken, yenilenebilir enerji kaynakları ise daha çevre dostu teknolojilerin gelişmesine katkı sunarak çevre kalitesi üzerinde etkiye sahiptir. Bundan dolayı, CO<sub>2</sub> emisyonu- yeşil inovasyon ilişkisini araştırırken yenilenebilir enerji tüketimi ve finansal gelişmeyi de ilave etmenin önemli olduğu düşünülmektedir. (ii) Türkiye için yeşil inovasyonun çevre kirliliğine etkisinin incelenmesi önemlidir. Türkiye hızla büyüyen ekonomisi ile ekonomik faaliyetlerini yürütürken fosil enerji kaynaklarına bağımlıdır. Bu kaynakların karbon emisyonuna katkısı önemli düzeydedir. TÜİK (2023) tarafından hazırlanan 2023 Sera Gazı Emisyon Envanterine göre Türkiye’nin 2020 yılında 523,9 Mt CO<sub>2</sub> eşdeğer olan toplam sera gazı emisyonu yüzde 7,7 artış oranıyla 2021 yılında 564,4 Mt CO<sub>2</sub> eşdeğer düzeyine ulaşmıştır. Yine aynı rapora göre 2021 yılında sera gazları içinde en yüksek pay %80,2 ile CO<sub>2</sub> emisyonlarına aittir. (iii) Bu çalışmada eşbütünleşme ve nedensellik testleri uygulanarak yeşil inovasyon, yenilenebilir enerji, finansal gelişme ve çevre kirliliği ilişkisinde kısa ve uzun dönem bulgular tespit edilmektedir. Böylece, Türkiye ekonomisinin çevre kalitesinin gelişmesinde bu faktörlerin etkisinin belirlenmesi suretiyle çevre ile ilgilenelelere değerli bilgiler sunulmaktadır.

Literatürde Türkiye’de yeşil inovasyon-CO<sub>2</sub> emisyonu ilişkisi (Shan vd., 2021; Oğuztürk ve Özbay, 2022; Ozkan vd., 2023), yenilenebilir enerji tüketimi-CO<sub>2</sub> emisyonu ilişkisi (Bulut, 2017; İnançlı ve Torusdağ, 2021; Karaaslan ve Çamkaya, 2022) ve finansal gelişme-CO<sub>2</sub> emisyonu ilişkisi (Cetin vd., 2018; Doğanlar vd., 2021; Akca, 2021) ayrı ayrı incelenmiştir. Türkiye için yeşil inovasyon, yenilenebilir enerji tüketimi, finansal gelişme ve CO<sub>2</sub> arasındaki ilişkiyi araştıran başka bir çalışma tespit edilmemiştir. Dolayısıyla, bahsi geçen değişkenlerin birlikte ele alındığı bu çalışma ile literatürdeki bu boşluk doldurulabilir.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde bölümlendirilmiştir. Giriş bölümünün ardından teorik ve uygulamalı literatür taramasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde veri seti, model ve analiz buğuları tartışılmıştır. Dördüncü bölüm sonuç kısmına ayrılmıştır.

## 2. LİTERATÜR

### 2.1. Teorik Çerçeve: Yeşil İnovasyon ve Çevre İlişkisi

Yenilik, ekonomik büyümenin önemli bir bileşenidir. Akademisyenler ve politika yapıcılar teknolojik yeniliğin öneminin yanı sıra yerli üretimi açıklama, iş olanaklarını geliştirme ve sosyal refahı artırmadaki rolünün inanılmaz derecede ilgi çekici bir konu olduğunu ifade etmektedirler. Büyüme teorilerinden geriye doğru bakıldığında, emek ve sermayenin üretimin önemli girdi faktörleri olduğu açıktır, ancak zamanla araştırmacılar ekonomik büyümeyi ve kalkınmayı desteklemeye yardımcı olan diğer girdilere ihtiyaç duymaya başlamışlardır. İnovasyon, emek ve sermayeyi kolaylaştırmada ve ekonomik büyümeyi artırmada üretimin önemli girdi faktörlerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kapsamda özellikle teknolojik dönüşümler, yapay zeka ve dijital devrimle karakterize edilen dördüncü sanayi devriminin başlangıcından bu yana teknolojik yeniliklere verilen önem daha da artmıştır. Teorik katkılara dayanarak, uzun süredir inovasyonun ekonomik kalkınmanın arkasındaki itici güç olduğu kabul edilmektedir. Her ne kadar inovasyon ekonomik büyümeyi ve kalkınmayı iyileştirse de bunun genellikle çevresel bozulma pahasına olduğu, sanayileşmeyle birlikte küresel ısınmanın daha ciddi ve şiddetli hale geldiği noktasında da eleştirilmektedir (Xiao & Qamruzzaman, 2022; Ahmad vd., 2022).

Son zamanlarda teknolojik inovasyon, küresel iklim değişikliğinin azaltılmasında en önemli rolü oynamıştır. Yeşil teknoloji yenilikleri çevresel sürdürülebilirliği sağlamakta ve ekonomik kalkınmayı tetiklemektedir. Böylece yeşil teknoloji yenilikleri, sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin nihai amacı olan ekonomik büyüme ile çevre kirliliği arasındaki ayrıştırmayı kolaylaştırmaktadır. Çevreyle ilgili geliştirilen teknolojik yeniliğin ardındaki temel fikir, enerji tüketimini azaltabilen, kirlletici emisyonları en aza indirebilen, çevre kalitesini artırabilen ve daha yeşil bir ekonominin büyümesini teşvik edebilen yeni ürünlerin ve mevcut ürünlerde, süreçlerde veya organizasyonel sistemlerde iyileştirmelerin tanımlanmasıdır. Bu kapsamda yapılan çalışmalar teknolojik yeniliğin, modern çağda kalite ve verimliliğin güncellenmesi ve artırılmasının yanı sıra endüstriyel dönüşümün de temel itici gücü olduğunu göstermiştir. Özellikle çevreyle ilgili teknoloji yeniliği, geleneksel teknolojik yenilikle kıyaslandığında çevre üzerinde daha anlamlı pozitif etkiye sahip daha güçlü bir teknolojiyi ifade eder. Ancak çevre kalitesini iyileştirecek yeşil teknoloji yenilikleri için insan sermayesi stokunun yüksek olması gerekir (Tiwari vd., 2023; Shabir vd., 2023).

Artan iklim değişikliği vakaları politika yapıcılarının çevresel bozulmanın tehlikelerini azaltırken büyümeyi teşvik eden yeşil bir ekonomiye yönelik politikalar belirlemelerini ve hayata geçirmelerini gerekli kılmıştır. Gelişmiş ülkeler, kirliliği önemli ölçüde azaltan ve çevre koşullarını iyileştiren ileri teknoloji sayesinde daha yüksek çevre kalitesine ulaşmayı başarmıştır. Bu kapsamda geliştirilen teknolojik yenilikler yeşil enerjiden faydalanarak ve fosil yakıt kullanımını azaltarak çevreye fayda sağlayacaktır. Bu teknolojiler verimliliğin artmasına yardımcı olacaktır. Yeşil teknoloji yeniliği sürdürülebilir ekonomik kalkınmaya yardımcı olduğundan çevre sorununa bir are olabilir. Bunun nedeni, olumsuz çevresel etkileri azaltabilecek yeni ürün, süreç ve yöntemlerin tasarlanmasının neden olduğu olumlu yayılmadır. İklim değişikliğini önlemek, yeşil ekonomik büyümeyi teşvik etmek ve CO<sub>2</sub> emisyonlarını önemli ölçüde azaltmak önemlidir. Girişimciler ve politika yapıcılar, inovasyona çevresel performansı iyileştirmenin ve sürdürülebilir hedeflere ulaşmanın anahtarı olarak giderek daha fazla önem atfetmektedirler (OECD, 2013; Wei & Lihua, 2023; Shabir vd., 2023; Sharif vd., 2023:99).

## 2.2. Uygulamalı Literatür: Yeşil İnovasyon ve Çevre İlişkisi

Mevcut literatür incelendiğinde çevresel bozulmaya neden olan ekonomik faktörlere yönelik çalışmaların çok fazla olduğu ve özellikle son yıllarda daha da arttığı görülmektedir. Özellikle çevresel sorunların ülkeler için neden olduğu yıkıcı etkiler bu artışın temel nedenlerinden birini oluşturmaktadır. Bu doğrultuda yeşil inovasyon kavramı da literatürde ayrı bir ilgi görmüş son yıllarda inovasyonun ve teknolojik gelişmelerin ekonomik kalkınma ve karbon emisyonları üzerindeki etkilerine yönelik çalışmalarda artmıştır.

Literatürde teknolojik yenilik ve çevre kirliliği arasındaki ilişkiyi araştıran çalışmalara rastlanmıştır. 2000'den 2014'e kadar seçilmiş OECD ekonomilerinde inovasyon ve teknoloji yatırımlarının karbon emisyonlarını nasıl etkilediğini araştırmak için inovasyon ve teknoloji yatırımlarının dört temsilcisi olarak yenilenebilir enerji tüketimi, araştırmacı sayısı, araştırma ve geliştirme harcamaları ve triadik patent sayısını kullanarak sistem bazlı Genelleştirilmiş Momentler Yöntemi (GMM) ile analizi gerçekleştiren Ganda (2019) yenilenebilir enerji tüketiminin ve araştırma ve geliştirme harcamalarının karbon emisyonları ile istatistiksel olarak anlamlı negatif bir ilişkiye sahip olduğunu, triadik patent sayısının karbon emisyonları ile pozitif ve anlamlı bir ilişkiye sahip olduğunu ancak araştırmacı sayısı ile karbon emisyonları arasında pozitif ancak anlamlı olmayan bir ilişki olduğunu göstermiştir. Çin'e ait 1980-2018 dönemi verilerini kullanarak yapılan bir diğer çalışmada Udemba vd. (2022) ekonomik büyüme, finansal kalkınma, yenilenebilir enerji ve teknolojik inovasyonun çevresel sürdürülebilirlik açısından etkilerini doğrusal olmayan ARDL eşbütünleşme (NARDL), dinamik en küçük kareler yöntemi (DOLS) ve Granger nedensellik testleri ile incelemişlerdir. Sonuçlar ekonomik faaliyetler yoluyla ekonomik büyümenin, her iki dönemde de (kısa vadede ve uzun vadede) Çin'deki karbon emisyonlarının eğilimini (artışını) belirlemede istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, ancak seçilen diğer araçların Çin'deki karbon emisyonlarını kontrol etme ve yumuşatma eğiliminde olduğunu ortaya koymuştur. G7 ekonomileri için yapılan bir başka çalışmada Yikun vd. (2023) 2000-2019 dönemi verilerini kullanarak teknolojik yenilik, yeşil büyüme ve hükümetin etkinliğinin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini kesitsel olarak genişletilmiş panel ARDL yöntemi (CS-ARDL) ile araştırmışlardır. Uzun vadeli bulgular, teknolojik yeniliklerin ve yeşil büyümenin çevresel sürdürülebilirliği teşvik ettiğini doğrularken hükümetin

etkinliğinin ise çevresel sürdürülebilirlik ile olumlu ancak anlamsız bir ilişki içinde olduğunu ortaya koymuştur. Dört Güney Asya ülkesi (Hindistan, Bangladeş, Sri Lanka ve Pakistan) için 1990-2020 verilerini kullanarak teknolojik inovasyon, ekonomik büyüme, turizm ve yenilenebilir enerji tüketiminin karbon emisyonları üzerindeki etkisini yatay kesit ARDL (CS-ARDL) yaklaşımı ile analiz eden Peng ve Zhu (2023) ekonomik büyümenin emisyon seviyesini önemli ölçüde artırdığını, eşik gelir seviyesine ulaşmanın ise çevresel bozulmayı önemli ölçüde azalttığını, yenilenebilir enerji tüketimi ve teknolojik inovasyonun kısa ve uzun vadede bölgelerdeki karbon emisyonlarını önemli ölçüde azalttığını ortaya koymuşlardır. APEC ülkelerine yönelik yapılan bir diğer çalışmada Shabir vd. (2023) 2004-2018 dönemi için teknolojik yeniliğin, kurumsal kalitenin, ticari açıklığın, enerji tüketiminin ve ekonomik büyümenin CO<sub>2</sub> salınımı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bulgular teknolojik yeniliklerin CO<sub>2</sub> emisyonlarını negatif bir şekilde etkilediğini ve teknolojik yenilik ile CO<sub>2</sub> emisyonu arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunduğunu ortaya koymuştur. 1970-2017 dönemi yıllık verilerini kullanarak Gana için sanayileşme ve teknolojinin çevre kalitesini nasıl etkilediğini tam değiştirilmiş en küçük kareler (FMOLS) tekniğiyle araştıran Musah ve Yakubu (2022) ekolojik ayak izi üzerinde sanayileşmenin olumsuz ve anlamlı bir etkiye sahip olduğunu teknolojinin ise olumlu ve anlamlı bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. 1980-2021 dönemi için düşük gelirli ülkelerde çevresel inovasyon, enerji verimliliği ve kurumsal kalite arasındaki ilişkiyi otoregresif dağıtılmış gecikme (ARDL), yatay kesit genişletilmiş ARDL (CS-ARDL) ve Dumitrescu-Hurlin modelleri ile inceleyen Qamruzzaman (2022) çevresel yeniliklerin düşük gelirli ekonomilerin uzun vadeli sürdürülebilirliğini artırdığını ortaya koymuşlardır.

Ekolojik inovasyon-yeşil inovasyon ve çevre ilişkisine yönelik literatüre bakıldığında Ahmad vd. (2021) finansal küreselleşme, kentleşme, eko-inovasyon ve ekonomik büyümenin G7 ülkelerinin ekolojik ayak izleri üzerindeki etkilerini 1980'den 2016'ya kadar uzanan yıllık frekans verilerini kullanarak analiz etmeyi amaçlamışlardır. Bulgular, finansal küreselleşmenin ve eko-inovasyonun ekolojik ayak izlerini azalttığını, kentleşmenin ise ekolojik ayak izlerini artırarak çevresel bozulmayı teşvik ettiğini ayrıca ekonomik büyüme ile ekolojik ayak izi arasındaki ilişkinin ters U şeklinde olduğunu ortaya koymuştur. 1995-2018 dönemi verilerini kullanarak Türkiye için turizm ve ekolojik inovasyonun çevre üzerindeki etkisini Çevresel Kuznets Eğrisi çerçevesinde araştıran Sun vd. (2021) turizm ve ekolojik inovasyonun karbon emisyonları ve ekolojik ayak izi üzerinde negatif ve istatistiksel olarak anlamlı etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. G7 ülkeleri için yapılan çalışmada Ding vd. (2021) 1990-2018 dönemi verileriyle uluslararası ticaretin, çevresel inovasyonun, enerji üretkenliğinin ve yenilenebilir enerji tüketiminin CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Sonuçlar G7 ülkelerinde enerji verimliliği, ihracat, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekoyeniliğin CO<sub>2</sub> emisyonlarını azalttığını, ithalat ve GSYH'nın emisyonları artırdığını ve yenilenebilir enerji tüketimi, enerji verimliliği, eko-inovasyon, ihracat, ithalat ve GSYH'den CO<sub>2</sub> emisyonlarına doğru tek yönlü bir nedensellik olduğunu göstermiştir. Kısa ve uzun vadeli sonuçlarının farklılık arz ettiği çalışmalarında Mongo vd. (2021) on beş Avrupa ülkesine ait 1991–2014 dönemi verilerini kullanarak çevresel yeniliklerin, yenilenebilir enerji tüketiminin, kişi başına düşen GSYH'nın ve ekonomik açıklık derecesinin CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki etkisini ARDL yöntemiyle analiz etmişlerdir. Sonuçlar, uzun vadede çevresel yeniliklerin CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltma eğiliminde olduğunu, ancak kısa vadede gözlemlenen etkinin tam tersi olduğunu ve bir geri tepme etkisinin varlığını göstermiştir. G-7 ülkelerinde CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılmasında çevresel verginin, gayri safi yurt içi hasılanın, yeşil inovasyonun, yenilenebilir enerji tüketiminin ve enerji verimliliğinin rolünü 1990-2020 dönemi için moment kantil regresyon yöntemi (MMQR) ve Dumitrescu ve Hurlin panel nedensellik yöntemlerini kullanarak test eden Xie ve Jamaani (2022) G-7 ekonomilerinde yenilenebilir enerji, yeşil inovasyon ve çevre vergilerinin karbon emisyonlarını önemli ölçüde azalttığını, GSYH'nın CO<sub>2</sub> emisyonlarında artışa neden olduğunu ve tüm faktörler arasında çift yönlü bir nedensel ilişki olduğunu ortaya koymuşlardır. BRICS ülkeleri bağlamında, 1990-2014 dönemi verilerini kullanarak doğrudan yabancı yatırım, yeşil inovasyon ve CO<sub>2</sub> emisyonları arasındaki bağlantıyı Genişletilmiş Ortalama Grup (AMG) yöntemi ile araştıran Ali vd. (2022) yeşil inovasyonun BRICS ülkelerindeki CO<sub>2</sub> emisyonları üzerinde anlamlı bir ters etkiye sahip olduğunu, enerji kullanımının çevre kalitesini olumsuz etkilediğini, GSYH'nın CO<sub>2</sub> emisyonlarını artırdığını ve kentleşme ile ticari açıklık arasında anlamsız bir ilişki olduğunu göstermişlerdir. 2000-2021 dönemi için BRI ülkelerinde yeşil yatırımın, yerli yatırımın ve çevresel sürdürülebilirliğin teknolojik yenilik üzerindeki rolünü panel eşbütünleşme

testi, ARDL, CS-ARDL ve doğrusal olmayan ARDL testleri kullanarak inceleyen Xiao ve Qamruzzaman (2022) yeşil yatırımların karbon emisyonları üzerinde anlamlı pozitif bir etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Tiwari vd. (2023) ABD'de 1990-2021 yılları arasında yeşil inovasyon, teknolojik yenilik, bilgi ve iletişim teknolojileri, finansal derinlik, ekonomik büyüme, karbon emisyonları ve ekolojik ayak izi arasındaki bağlantıyı ARDL ve Granger nedensellik testi kullanarak araştırmışlardır. Bulgular, yeşil inovasyonun, teknolojik yeniliklerin, BİT ve finansal derinliğin hem kısa hem de uzun vadede ekolojik ayak izi ve karbon emisyonları üzerinde önemli olumsuz etkilere sahip olduğunu, ekonomik büyümenin uzun vadede karbon emisyonları ve ekolojik ayak izi üzerinde olumlu etkisi olduğunu ancak kısa vadede ekonomik büyümenin karbon emisyonunu azalttığını ve ekolojik ayak izini arttırdığını ortaya koymuştur. Lv vd. (2023) Çin'in 2000'den 2019'a kadar olan bölgesel verilerini kullanarak yeşil teknolojik yenilik, sürdürülebilir turizm, finansal gelişme, ekonomik büyüme ve ekolojik sürdürülebilirlik arasındaki bağlantıları kantil otoregresif gecikmesi dağıtılmış (QARDL) yaklaşımı ile incelemişlerdir. Çalışma sonuçları, yeşil teknoloji izolasyonunun uzun vadede Çin'deki ekolojik ayak izlerini azaltmaya yardımcı olduğunu, finansal gelişme ve ekonomik büyümenin ise çevresel bozulmaya neden olduğunu ortaya koymuştur. 2007'den 2019'a kadar Çin'deki otuz ilin panel verilerini kullanarak yeşil teknoloji izolasyonunun karbon yoğunluğu üzerindeki etkisini mekansal Durbin modeli (SDM) ile araştıran Chen vd. (2023) yeşil teknoloji yenilik düzeyinde ve karbon yoğunluğuunda önemli bir mekansal yığılma olduğunu ve yeşil teknolojik yeniliğin yerel bölgedeki karbon yoğunluğu üzerinde ters U şeklinde bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Altı ASEAN ülkesi (Vietnam, Malezya, Singapur, Filipinler, Endonezya ve Endonezya) için yenilenebilir enerji arzı, yeşil enerji yatırımı, çevre vergisi ve ekonomik büyümenin yeşil teknoloji yeniliği üzerindeki etkisini 1995-2018 dönemi için CS-ARDL yöntemiyle araştıran Sharif vd. (2023) yeşil enerji ve yeşil yatırımın yeşil teknoloji yeniliği üzerindeki etkilerinin olumlu, ancak uzun vadede daha güçlü olduğunu ayrıca ekonomik büyümenin ve çevre vergilerinin de yeşil teknolojik yenilik üzerinde olumlu etkiye sahip olduğunu fakat diğer faktörlerle kıyaslandığında çevre vergilerinin yeşil inovasyonu teşvik etmedeki rolünün nispeten zayıf olduğunu ortaya koymuşlardır. Brohi ve Suzuki (2023) beş Güney Asya ülkesi için (Pakistan, Hindistan, Bangladeş, Sri Lanka ve Nepal) 1995'ten 2018'e kadar olan panel verilerini kullanarak doğrudan yabancı yatırımın ve yeşil inovasyonun Güney Asya'daki çevre kalitesini nasıl etkilediğini Pedroni, Kao ve Westerlund panel eşbütünleşme testlerini ve uzun vadeli bir tahmin için FMOLS ve DOLS yöntemlerini kullanarak araştırmışlardır. Ampirik sonuçlar doğrudan yabancı yatırımların çevre kalitesini bozduğunu diğer yandan yeşil inovasyonun doğrudan yabancı yatırım ve ekolojik sürdürülebilirlik bağlantısını önemli ölçüde yumuşattığını ortaya koymuştur. Özkan vd. (2023) 1990-2018 dönemi için Türkiye'de yeşil teknoloji inovasyonu ve ekonomik genişleme, enerji kullanımı, ticari açıklık, kentleşme ile çevresel ayak izi arasındaki ilişkiyi yeni dinamik ARDL simülasyon tekniği ile incelemişlerdir. Elde ettikleri bulgular yeşil teknolojik yeniliklerdeki artışın hem kısa hem de uzun vadede ekolojik ayak izini azalttığını ortaya koymuştur.

### 3. AMPİRİK ANALİZ

Bu alışmada, Türkiye'de 1995-2020 dönemi için yeşil inovasyon ve çevre kalitesi arasındaki ilişki araştırılmıştır. Bu bölümde ilk olarak veri seti ve kaynağına yer verildikten sonra, model, analiz ve bulgular tartışılmıştır.

#### 3.1. Veri ve Kaynak

Analizde 1995-2020 yılından itibaren Dünya Bankası Kalkınma Göstergeleri (The World Bank Development Indicators, WDI) ([www.worldbank.org](http://www.worldbank.org)), IMF Data (International Monetary Fund) ve OECD.Stat (<https://stats.oecd.org/>) çevrimiçi veri tabanlarından elde edilmiştir. Bu dönemin belirlenmesi yeşil teknoloji inovasyonu verisinin 1995 yılında var olması ve ilgili verinin 2020 yılında son bulmasıdır. Türkiye'de enerji ve yeşil teknolojinin CO<sub>2</sub> emisyonu üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla beş değişken kullanılmıştır. Bu değişkenler; (a) CO<sub>2</sub> emisyonu (kişi başına metrik ton), (b) kişi başına GSYH (ABD doları), (c) toplam patentler içinde çevre teknolojileri ile ilgili patentler (yüzde), (d) yenilenebilir enerji tüketimi (toplam nihai enerji tüketiminin yüzdesi) ve (e) finansal gelişme (indeks)'dir. Değişkenlerin tümü logaritmaları alınarak modele dahil edilmiştir.

Tablo 1'de değişkenlerin açıklamalarına yer verilmiştir.

**Tablo 1:** Değişkenlerin Açıklamaları

| Değişkenler                   | Sembol          | Birim  | Kaynak | Beklenen İşaret |
|-------------------------------|-----------------|--|--------|-----------------|
| Çevresel Kirlilik             | CO <sub>2</sub> | Kişi başına metrik ton (Akca, 2021)  | WDI    | -               |
| Ekonomik Büyüklük             | GSYH            | Kişi başına GSYH (sabit ABD doları) (Doğanlar vd., 2021)                               | WDI    | Pozitif         |
| Yeşil İnovasyon               | YEI             | Toplam patentlerin içinde çevre teknolojileri patentleri (%) (Shan vd., 2021)          | OECD   | Negatif         |
| Yenilenebilir Enerji Tüketimi | YET             | Toplam nihai enerji tüketimi içinde yenilenebilir enerji tüketimi (%) (Amer vd., 2024) | WDI    | Negatif         |
| Finansal Gelişme              | FIN             | Finansal gelişme indeksi (Avcı vd., 2024)  | IMF    | Pozitif         |

### 3.2. Model

Analizlerde kullanılan model eşitlik (1)’de verilmiştir. Tüm değişkenlerin doğal logaritmalarının alınarak dahil edildiği modelin fonksiyonel formu şu şekildedir:

$$\ln CO_{2t} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln GDP_t + \alpha_2 \ln GI_t + \alpha_3 \ln REN_t + \alpha_4 \ln FIN_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

Bu denklemde CO<sub>2</sub> karbondioksit emisyonunu, GSYH ekonomik büyümeyi, YEI yeşil inovasyonu, YET yenilenebilir enerji tüketimini ve FIN finansal gelişmeyi, t yılları ve  $\varepsilon$  hata terimini göstermektedir. Ayrıca  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  ve  $\alpha_4$  sembolleri sırasıyla CO<sub>2</sub>, GSYH, YEI, YET ve FIN değişkenlerinin esneklik katsayılarıdır.

### 3.3. Analiz ve Bulgular

Bu çalışmada kurulan modelde yer alan değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla kullanılan analizlere ait sıralama şu şekildedir. İlk olarak, değişkenler için birim kök testi yapılmıştır. Bu amaç için ADF testi kullanılmıştır. İkinci olarak, değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişki test edilmiştir. Bu ilişkinin tespit edilmesinde Johansen eşbütünleşme testine başvurulmuştur. Üçüncü olarak, değişkenlere ait uzun dönem katsayı tahmini FMOLS tahmincisi ile yapılmıştır. Dördüncü olarak, nedensellik ilişkisi VAR modeline dayanan Granger nedensellik testi ile araştırılmıştır.

#### 3.3.1. Durağanlık Testi

Zaman serisi regresyonlarının ilk aşamasında serilerin birim kök süreci kontrol edilmelidir. Zaman serisi verilerinin durağan olup olmadığını tespit etmek amacıyla birim kök testlerinden yararlanılır. Bu çalışmada değişkenlerin durağanlığını kontrol etmek için Dickey & Fuller (1979) tarafından geliştirilen Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) testi kullanılmıştır. ADF testi (2) numaralı denklemle açıklanabilir (Dickey & Fuller (1979)):

$$\Delta Y_t = \theta + (\rho - 1)Y_{t-1} + \varphi T + \delta \Delta Y_{t-1} + \mu_t \quad (2)$$

$X_t$  değişken seriyi temsil ederken,  $\Delta$  birinci farkları temsil eder, Akaike bilgi kriteri (AIC) gecikmeli farkları seçmek için kullanılmıştır.  $\delta = 0$  ise,  $X_t$  birim kök içerir ve serinin birinci farkı alınarak birim kök sınaması yapılır. ADF testinin sıfır hipotezi “birim kök vardır, seri durağan dışıdır” iken, alternatif hipotezi “birim kök yoktur, seri durağandır” şeklinde yazılabilir. Tablo 2’de birim kök testi sonuçları gösterilmektedir.

**Tablo 2:** Birim Kök Testi

| Değişkenler       | ADF Testi |         |           |                     |
|-------------------|-----------|---------|-----------|---------------------|
|                   | Seviye    | p-değer | 1. fark   | p-değer             |
| lnCO <sub>2</sub> | -1.046464 | 0.7201  | -4.472873 | 0.0019 <sup>a</sup> |
| lnGSYH            | -1.769396 | 0.3861  | -4.309390 | 0.0027 <sup>a</sup> |
| lnYEI             | -1.757250 | 0.3893  | -7.109618 | 0.0000 <sup>a</sup> |
| lnYET             | -1.944536 | 0.3075  | -5.340092 | 0.0003 <sup>a</sup> |
| lnFIN             | -0.921134 | 0.7627  | -6.738057 | 0.0000 <sup>a</sup> |

Not: <sup>a</sup>, <sup>b</sup> ve <sup>c</sup> simgeleri sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık seviyelerinde serilerin durağan olduklarını ifade etmektedir. Tüm sonuçlar sabit terim içermektedir.

Tablo 2’ye göre bütün değişkenler düzeyde birim kök içermekte olup, birinci farklarında durağandır. Dolayısıyla, değişkenler %1 anlamlılık düzeyinde I(1)’dir.

### 3.3.2. Eşbütünleşme Testi

Değişkenler arasındaki ilişkinin belirlenmesinde eşbütünleşme testinin uygulanması önemlidir. Seriler arasında birden fazla eşbütünleşme ilişkisinin varlığı Johansen (1988), Johansen & Juselius (1990) ve Johansen (1996) çalışmalarıyla araştırılabilir. Serilerin aynı dereceden entegre (I(1)) olması durumunda Johansen eşbütünleşme analizi yapılabilir (Mert & Çağlar, 2019). Bu çalışmada seriler I(1)’de durağan oldukları için değişkenler arasındaki eşbütünleşme ilişkisini araştırmak amacıyla Johansen eşbütünleşme testi kullanılmıştır.

Johansen eşbütünleşme testine ilişkin denklem aşağıda verilmiştir (Hdom & Fuinhas, 2020):

$$\Delta Y_t = \gamma_1 \Delta Y_{t-1} + \dots + \gamma_{k-1} \Delta Y_{t-k+1} + \pi Y_{t-k} + \varepsilon \quad (3)$$

(3) numaralı denklemde  $\varepsilon$  hata terimini,  $\Delta X_t$  birinci farkında birim kök içermeyen değişkenler için ( $n \times 1$ ) adet değişken vektörünü ifade eder.

Johansen eşbütünleşme testinin sıfır hipotezi “seriler arasında eşbütünleşme ilişkisi yoktur” iken, alternatif hipotezi ise “seriler arasında eşbütünleşme ilişkisi vardır” şeklinde yazılabilir. Eşbütünleşme ilişkisinin sayısının belirlenmesinde İz istatistiği ve Maksimum Özdeğer istatistiği şeklinde iki istatistikten yararlanılır. Bu istatistiklere dayanarak %5 anlamlılık düzeyinde sıfır hipotezi reddedilirse, değişkenler arasında uzun dönemli ilişkinin varlığı kabul edilir.

Analizin ikinci aşaması eşbütünleşme analiziyle ilgilidir. Eşbütünleşme testi ve sonrasında nedenselliğin yönünün tespit edilmesinde ilk olarak gecikme uzunluğu tespit edilmelidir. Uygun gecikme uzunluğunun belirlenmesi amacıyla çeşitli bilgi kriterlerinden yararlanılabilir. Tablo 3’e göre uygun gecikme uzunluğu iki olarak belirlenmiştir.

**Tablo 3.** Bilgi Kriteri

| Gecikme | LogL     | LR        | FPE       | AIC        | SC         | HQ         |
|---------|----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| 0       | 71.49351 | NA        | 2.70e-09  | -5.541125  | -5.295698  | -5.476013  |
| 1       | 139.0728 | 101.3690* | 8.20e-11  | -9.089404  | -7.616836* | -8.698731  |
| 2       | 169.6597 | 33.13577  | 7.05e-11* | -9.554976* | -6.855269  | -8.838743* |

Uygun gecikme sayısının belirlenmesinin ardından Johansen eşbütünleşme testi uygulanmıştır. Tablo 4 bu testin sonuçlarını içermektedir.

**Tablo 4.** Johansen Eşbütünleşme Testi

| Değişkenler: lnCO2, lnGSYH, lnYEI, lnYET, lnFIN |                |                 |          |                              |                 |          |                      |
|---|----------------|-----------------|----------|------------------------------|-----------------|----------|----------------------|
| Eşbütünleşme Sayısı                             | İz İstatistiği | %5 Kritik Değer | p- değer | Maksimum Özdeğer İstatistiği | %5 Kritik Değer | p- değer | Sonuçlar             |
| Yok <sup>a</sup>                                | 95.70003       | 69.81889        | 0.0001   | 40.22257                     | 33.87687        | 0.0077   | H <sub>0</sub> red   |
| En fazla 1 <sup>a</sup>                         | 55.47746       | 47.85613        | 0.0082   | 27.65927                     | 27.58434        | 0.0489   | H <sub>0</sub> red   |
| En fazla 2 <sup>a</sup>                         | 27.81819       | 29.79707        | 0.0832   | 17.14285                     | 21.13162        | 0.1654   | H <sub>0</sub> kabul |
| En fazla 3 <sup>a</sup>                         | 10.67534       | 15.49471        | 0.2323   | 8.883429                     | 14.26460        | 0.2960   | H <sub>0</sub> kabul |
| En fazla 4 <sup>a</sup>                         | 1.791909       | 3.841466        | 0.1807   | 1.791909                     | 3.841466        | 0.1807   | H <sub>0</sub> kabul |

Not: <sup>a</sup>İz ve Maksimum Özdeğer istatistiğine göre %5 düzeyinde sıfır hipotezinin reddedildiğini gösterir.

Tablo 4’e göre hem iz istatistiği hem de maksimum özdeğer istatistiği bilgileri değişkenler arasında uzun dönem ilişkisinin olduğunu göstermektedir. İz istatistiklerine göre seriler arasında iki



adet eşbütünleşme ilişkisinin olduğu görülmektedir. Maksimum özdeğer istatistiği bulguları iz istatistiği ile benzerlik göstermekte olup, buradan da iki adet eşbütünleşme ilişkisi olduğu anlaşılmaktadır.

### 3.3.3. Uzun Dönem Katsayılarının Tahmini

Philips & Hansen (1990) tarafından geliştirilen FMOLS tahmincisi, eşbütünleşme denklemlerinin seri korelasyon sorununu çözen parametrik olmayan bir yöntemdir. FMOLS tahmincisini kullanmanın temel avantajlarından biri örneklem büyüklüğü ve seri korelasyon nedeniyle içsellik sorununa neden olan parametrenin kernel tahmincilerini kullanarak içsellik sorununu arındırmasıdır (Hdom & Fuinhas, 2020). Bu çalışmada FMOLS ile elde edilen tahminler Tablo 5’te verilmiştir.

**Tablo 5.** Uzun Dönem Tahminler

| FMOLS                     |                      |                      |          |
|---------------------------|----------------------|----------------------|----------|
| Bağımlı Değişken          | Bağımsız Değişkenler | Katsayı              | p-değeri |
| lnCO <sub>2</sub>         | lnGSYH               | 0.0230               | 0.5004   |
|                           | lnYEI                | -0.0325 <sup>b</sup> | 0.0367   |
|                           | lnYET                | -0.1288              | 0.1669   |
|                           | lnFIN                | 0.0721               | 0.5857   |
| <b>Diagnostik Testler</b> |                      |                      |          |

Not: <sup>a</sup>, <sup>b</sup> ve <sup>c</sup> simgeleri sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık seviyelerinde anlamlılığı ifade etmektedir.

Tablo 5’teki bulgular yeşil inovasyon ile çevresel kirlilik arasında negatif ve anlamlı bir ilişkinin olduğunu ortaya koymuştur. Diğer bir ifadeyle, yeşil inovasyondaki %1’lik artış çevresel kirliliği %0.0325 azaltmaktadır. Dolayısıyla, çevresel kirliliğin azaltılmasında yeşil inovasyonun fayda sağladığı görülmekte olup temiz üretim bakımından yeşil teknolojilerin üretim sürecine dahil edilmesi elzemdir. Böylece, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasına yardımcı olunabilir. Bu bulgu, Mongo vd. (2021), Shan vd., (2021), Ali vd. (2022), Özkan vd. (2023) çalışmalarıyla uyumlu sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Diğer taraftan, ekonomik büyüme ve finansal gelişmenin katsayısı pozitif iken yenilenebilir enerji tüketiminin katsayısı negatif çıkmış ancak anlamlı olmadığı için yorumlanmamıştır.

### 3.3.4. Nedensellik Testi

İki seri arasında bir nedensellik ilişkisinin olabilmesi için bir zaman serisinin taşıdığı bilgi miktarının bir bölümünün başka bir zaman serisinin geçmiş değerlerinden elde edilmesi gerekmektedir. Eşbütünleşme denklemlerinden elde edilen hata düzeltme mekanizması ile kısa ve uzun dönem nedensellik ilişkisi belirlenebilmektedir. Vektör Otoregresif Modeller (VAR) ile değişkenlerin içsel ve dışsal olarak ayrımına ihtiyaç duyulmamakta ve uygun VAR modeline karar verildikten sonra (istikrar koşulu, sabit varyans, normallik ve serisel korelasyonun olmaması) Granger nedensellik uygulamasına geçilebilir (Mert & Çağlar, 2019).

Tablo 6, Granger nedensellik sonuçlarını göstermektedir.

**Tablo 6.** Nedensellik Testi

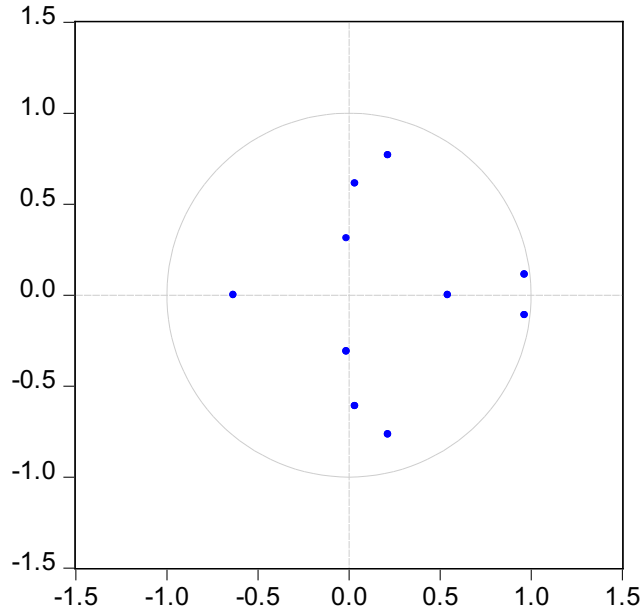
| Bağımlı Değişkenler | Bağımsız Değişkenler |               |                             |                            |                               |
|---------------------|----------------------|---------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------------|
|                     | lnCO <sub>2</sub>    | lnGSYH        | lnYEI                       | lnYET                      | lnFIN                         |
| lnCO <sub>2</sub>   |                      | 1.856 (0.395) | 12.237 <sup>a</sup> (0.002) | 9.423 <sup>a</sup> (0.009) | 6.952 <sup>b</sup><br>(0.030) |
| lnGSYH              | 4.319 (0.115)        |               | 0.234 (0.890)               | 0.874 (0.646)              | 2.987 (0.224)                 |
| lnYEI               | 0.249 (0.883)        | 0.301 (0.860) |                             | 0.289 (0.866)              | 1.945 (0.378)                 |
| lnYET               | 3.455 (0.178)        | 2.945 (0.229) | 5.634 <sup>c</sup> (0.060)  |                            | 1.169 (0.557)                 |
| lnFIN               | 1.377 (0.502)        | 3.419 (0.181) | 11.455 <sup>a</sup> (0.003) | 0.346 (0.841)              |                               |

| Diagnostik Testler |                  |          |
|--------------------|------------------|----------|
|                    | Test istatistiği | p-değeri |
| Normallik          | 6.830            | 0.7413   |
| Değişen Varyans    | 307.889          | 0.3645   |
| Otokorelasyon      | 1.220            | 0.3434   |

**Not:** p-değeri parantez içindedir. <sup>a</sup>, <sup>b</sup> ve <sup>c</sup> sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık duzeylerinde nedensellik ilişkisinin olduğunu gösterir.

Tablo 6'daki Granger nedensellik sonuçlarına göre, yeşil inovasyondan çevresel kirliliğe doğru bir nedenselliğin olmadığını söyleyen sıfır hipotezi reddedilmektedir. Sonuç olarak yeşil inovasyon çevresel kirliliğin kısa dönem nedenidir. Bununla birlikte, yenilenebilir enerjiden ve finansal gelişmeden çevresel kirliliğe doğru bir nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. Buna karşılık, ekonomik büyümeden çevresel kirliliğe doğru bir nedenselliğin olmadığını söyleyen sıfır hipotezi kabul edilmektedir. Tüm bu sonuçlar gözden geçirildiğinde, Türkiye'de çevresel kalite göstergesi ile yeşil inovasyon, yenilenebilir enerji ve finansal gelişme arasında tek yönlü kısa dönem nedenselliğin çalıştığı söylenebilir. Ayrıca nedensellik bulguları, yeşil inovasyondan yenilenebilir enerji tüketime doğru tek yönlü ve yeşil inovasyondan finansal gelişmeye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisini doğrulamıştır. Son olarak, bağımlı değişkenin ekonomik büyüme ve yeşil inovasyon olduğu modellerde ise nedensellik bulgusu elde edilememiştir.

**şekil 1.** AR Karakteristik Polinomunun Ters Kök Birim emberi  
Inverse Roots of AR Characteristic Polynomial



Ayrıca, diagnostik test bulguları da VAR modelinin kurulumunda bir hatanın olmadığını belirlemek amacıyla Tablo 6'ya eklenmiştir. VAR (2) modeli uygun bir model olarak tüm koşulları (Jarque-Bera normallik testine göre hata teriminin normal dağıldığı, White değişen varyans testine göre modelde sabit varyans olduğu ve LM testine göre modelde otokorelasyonun bulunmadığı) 0.01 yanılma düzeyinde sağlamıştır. Son olarak şekil 1'de karakteristik köklerin tamamının çember içerisinde yer aldığı görülmekte olup, VAR (2) modelinde durağanlık koşulunun da sağlandığı söylenebilir.

#### 4. SONUÇ

Son yıllarda özellikle iklim değişikliğinden kaynaklanan küresel kayguların daha da artması politika yapıcıların ve araştırmacıların bu konuya daha fazla önem vermesine neden olmuştur. Gelenen noktada ülkeler çevresel bozulmayı önlemeye ve CO<sub>2</sub> emisyonunu azaltmaya daha fazla

odaklanmışlardır. Ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasında ters U şeklinde bir ilişki olduğunu, belli bir eşik düzeye kadar ekonomik büyümenin çevre kalitesini azaltacağını ancak eşik düzey aşıldıktan sonra artan gelir ve teknolojik büyüme ile çevresel bozulmanın azalacağını ileri süren Çevresel Kuznets Eğrisi Grossman ve Krueger tarafından geliştirildikten sonra ekonomik büyümeyle birlikte çevresel sorunların çözüleceğine inanıldı. Ancak çevresel kaliteyi korumayan ve iyileştirmeyen bir kalkınma sürecinin sürdürülemeyeceği muhakkaktır. Bu nedenle dikkatler çevre sorunlarına kaydırıldı. Bu kapsamda artan çevresel endişeler, çevre sorununu çözmek ve sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için yeşil teknoloji yeniliklerine olan ilgiyi artırdı. Özellikle, inovasyona çevresel performansı iyileştirmenin ve sürdürülebilir hedeflere ulaşmanın anahtarı olarak giderek daha fazla bakılmaya başlandı.

Bu çalışmada Türkiye’de 1995-2020 döneminde yeşil inovasyon, yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik büyüme, finansal gelişme ve çevresel kirlilik (CO<sub>2</sub> emisyonu) arasındaki ilişki Johansen eşbütünleşme ve nedensellik testlerine başvurularak araştırılmıştır. ADF birim kök testi sonuçları tüm değişkenlerin birinci farkında durağan olduklarını göstermiştir. Ardından, Johansen eşbütünleşme testi ile değişkenler arasında uzun dönemli ilişki yakalanmış ve FMOLS tahmincisi ile de yeşil inovasyonun çevre kalitesine katkı sunduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Son olarak VAR modeline dayanan Granger nedensellik bulguları da Türkiye’de yeşil inovasyondan, yenilenebilir enerjiden ve finansal gelişmeden CO<sub>2</sub> emisyonuna doğru tek yönlü kısa dönem nedenselliğinin olduğunu göstermiştir.

Ekonomik büyüme artırılırken çevresel zararlar azaltılabilir. Yeşil inovasyon daha az çevresel zararlar ekonomik kalkınmayı sağlamada önemli bir faktördür. Çevresel yeniliklerin geliştirilmesi için ekonomi yöneticilerinin bunu sağlayacak politikaları hayata geçirmesi gerekmektedir. Hükümetlerin yeşil inovasyon odaklı bir kalkınma modeli geliştirmesi sürdürülebilir kalkınma açısından da etkili olacaktır. Bu amaçla yeşil inovasyonu destekleyecek mali teşvikler, sübvansiyonlar gibi politikaların hayata geçirilmesi gereklidir. Bununla birlikte üretim faaliyetinin neden olduğu çevresel bozulmaları en aza indirebilmek için firmaların daha çevre dostu teknolojileri benimsemeleri ve kullanmaları teşvik edilmelidir. Son olarak, hükümetin yeşil teknolojilerin geliştirilmesine yönelik Ar-Ge faaliyetlerine daha fazla destek aktarmasının ve buna yönelik girişimleri desteklemesinin çevresel kalitenin iyileştirilmesinde faydalı olacağı düşünülmektedir.

---

**Etik Beyan:** Bu çalışmada “Etik Kurul” izini alınmasını gerektiren bir yöntem kullanılmamıştır.

**Ethics Statement:** In this study, no method requiring the permission of the “Ethics Committee” was used.

---

## KAYNAKÇA

- Ahmad, M., Jiang, P., Murshed, M., Shehzad, K., Akram, R., Cui, L., & Khan, Z. (2021). Modelling the dynamic linkages between eco-innovation, urbanization, economic growth and ecological footprints for G7 countries: Does financial globalization matter?. *Sustainable Cities and Society*, 70, 102881.
- Ahmad, N., Youjin, L., & Hdia, M. (2022). The role of innovation and tourism in sustainability: Why is environment-friendly tourism necessary for entrepreneurship?. *Journal of Cleaner Production*, 379, 134799.
- Akca, H. (2021). Environmental Kuznets Curve and financial development in Turkey: evidence from augmented ARDL approach. *Environmental Science and Pollution Reserach*, 28, 69149–69159.
- 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.
- Amer, E. A. A. A., Meyad, E. M. A., Meyad, A. M., Mohsin & A. K. M. (2024). Impacts of renewable and disaggregated non-renewable energy consumption on CO<sub>2</sub> emissions in GCC countries: A STIRPAT model analysis. *Heliyon*, 10, e30154.

- Avcı, P., Sarıgöl, S. S., Karataşer, B., etin, M., & Aslan, A. (2024). Analysis of the relationship between tourism, green technological innovation and environmental quality in the top 15 most visited countries: Evidence from method of moments quantile regression. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 1-19.
- Brohi, A. A., & Suzuki, Y. (2023). Does green innovation moderate between FDI and environmental sustainability? Empirical evidence from South Asia. *Plos one*, 18(11), e0288532.
- Bulut, U. (2017). The impacts of non-renewable and renewable energy on CO<sub>2</sub> emissions in Turkey. *Environmental Science and Pollution Reserach*, 24, 15416-15426.
- Cetin, M., Ecevit, E. & Yucel, A.G. (2018). The impact of economic growth, energy consumption, trade openness, and financial development on carbon emissions: empirical evidence from Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 36589–36603.
- Chen, H., Yi, J., Chen, A., Peng, D., & Yang, J. (2023). Green technology innovation and CO<sub>2</sub> emission in China: Evidence from a spatial-temporal analysis and a nonlinear spatial Durbin model. *Energy Policy*, 172, 113338.
- Dickey, D. & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the estimates for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366), 427-431.
- Ding, Q., Khattak, S. I., & Ahmad, M. (2021). Towards sustainable production and consumption: Assessing the impact of energy productivity and eco-innovation on consumption-based carbon dioxide emissions (CO<sub>2</sub>) in G-7 nations. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 254-268.
- Doğanlar, M., Mike, F., Kızılkaya, O. & Karlılar, S. (2021). Testing the long-run effects of economic growth, financial development and energy consumption on CO<sub>2</sub> emissions in Turkey: new evidence from RALS cointegration test. *Environmental Science and Pollution Reserach*, 28, 32554–32563.
- Ganda, F. (2019). The impact of innovation and technology investments on carbon emissions in selected organisation for economic co-operation and development countries. *Journal of cleaner production*, 217, 469-483.
- Guinot, J., Barghouti, Z., & Chiva, R. (2022). Understanding green innovation: A conceptual framework. *Sustainability*, 14(10), 5787.
- Hdom, H. A. D. & Fuinhas, J. A. (2020). Energy production and trade openness: Assessing economic growth, CO<sub>2</sub> emissions and the applicability of the cointegration analysis. *Energy Strategy Reviews*, 30, 100488.
- İnançlı, S. & Torusdağ, M., (2021). Analysis of the relationship between innovation, CO<sub>2</sub> emission and renewable energy in Turkey. *Journal of Life Economics* 8(4), 513-521.
- Johansen, S. & Juselius, K. (1990). Maximum likelihood estimation and inference on cointegration-with application to the demand for money. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 52, 169-210.
- Karaaslan, A., amkaya, S. (2022). The relationship between CO<sub>2</sub> emissions, economic growth, health expenditure, and renewable and non-renewable energy consumption: Empirical evidence from Turkey. *Renewable Energy*, 190, 457-466.
- Lv, J., Wang, N., Ju, H., & Cui, X. (2023). Influence of green technology, tourism, and inclusive financial development on ecological sustainability: Exploring the path toward green revolution. *Economic Research-Ekonomska Istrağivanja*, 36(1), 2116349.
- Mert, M. & ağlar, A. E. (2019). *Eviews ve Gauss uygulamalı zaman serileri analizi* (Birinci Baskı). Detay Yayıncılık.
- Mongo, M., Belaïd, F., & Ramdani, B. (2021). The effects of environmental innovations on CO<sub>2</sub> emissions: Empirical evidence from Europe. *Environmental Science & Policy*, 118, 1-9.

- Musah, A., & Yakubu, I. N. (2022). Exploring industrialization and environmental sustainability dynamics in Ghana: A fully modified least squares approach. *Technological Sustainability*, 2(2), 142-155.
- OECD (2013). *Green Innovation in Tourism Services*. OECD Tourism Papers, 2013/01, OECD Publishing, Paris.
- Oğuztürk, B. S. & Özbay, F. (2022). The relationship between green innovation, CO2 emissions, gross domestic product, and renewable energy supply: A paneş data analysis for BRICS countries and Turkey. *İstanbul Business Research*, 551(1), 237-256.
- Ozkan, O., Khan, N., & Ahmed, M. (2023). Impact of green technological innovations on environmental quality for Turkey: Evidence from the novel dynamic ARDL simulation model. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 72207-72223.
- Peng, Y., & Zhu, D. (2023). Assessing technological innovation and sustainable environment: Tourism perspective of advanced panel methods. *Economic Research-Ekonomiska Istraživanja*, 36(3), 2194946.
- Philips, P.C. & Hansen, B.E. (1990). Statistical inference in instrumental variables regression with I(1) processes. *The Review of Economic Studies*, 57(1), 99-125.
- Qamruzzaman, M. (2022). Nexus between environmental innovation, energy efficiency and environmental sustainability in the lower-income economy. *GSC Advanced Research and Reviews*, 12(1), 68-83.
- Razzaq, A., Fatima, T., & Murshed, M. (2023). Asymmetric effects of tourism development and green innovation on economic growth and carbon emissions in top 10 GDP countries. *Journal of Environmental Planning and Management*, 66(3), 471-500.
- Shabir, M., Hussain, I., Işık, Ö., Razzaq, K., & Mehroush, I. (2023). The role of innovation in environmental-related technologies and institutional quality to drive environmental sustainability. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1174827.
- Shan, S., Genç, S. Y., Kamran, H. W., Dinca, G. (2021). Role of green technology innovation and renewable energy in carbon neutrality: A sustainable investigation from Turkey. *Journal of Environmental Management*, 294, 113004.
- Sharif, A., Kocak, S., Khan, H. H. A., Uzuner, G., & Tiwari, S. (2023). Demystifying the links between green technology innovation, economic growth, and environmental tax in ASEAN-6 countries: The dynamic role of green energy and green investment. *Gondwana Research*, 115, 98-106.
- Sun, Y., Duru, O. A., Razzaq, A., & Dinca, M. S. (2021). The asymmetric effect eco-innovation and tourism towards carbon neutrality target in Turkey. *Journal of Environmental Management*, 299, 113653.
- Tiwari, S., Sharif, A., & Sofuoğlu, E. (2023). The role of financial depth and green technology innovation towards carbon neutrality in the USA. SSRN, <https://ssrn.com/abstract=4575457>.
- TÜİK (2023). Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2021. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2021-49672&dil=1>.
- Udemba, E. N., Emir, F., Khan, N. U., & Hussain, S. (2022). Policy inference from technological innovation, renewable energy, and financial development for sustainable development goals (SDGs): Insight from asymmetric and bootstrap Granger causality approaches. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(39), 59104-59117.
- Wei, Z., & Lihua, H. (2023). Effects of tourism and eco-innovation on environmental quality in selected ASEAN countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(15), 42889-42903.

- Xiao, Z., & Qamruzzaman, M. (2022). Nexus between green investment and technological innovation in BRI nations: What is the role of environmental sustainability and domestic investment?. *Frontiers in Environmental Science, 10*, 993264.
- 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, 63*, 66-78.
- Yikun, Z., Leong, L. W., Abu-Rumman, A., Shraah, A. A., & Hishan, S. S. (2023). Green growth, governance, and green technology innovation. How effective towards SDGs in G7 countries?. *Economic research-Ekonomska istraživanja, 36*(2).
- Zhang, Q., Chen, J., Guan, W., Wang, Y., & Ahmed, M. (2022). Asymmetric impacts of technology innovation and environmental quality on tourism development in emerging economies. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja, 35*(1), 5114-5130.