

ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

DOI: 10.52122/nisantasisbd.1809143

SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMADA EKOLOJİK AYAK İZİ VE YEŞİL YENİLİK ARASINDAKİ İLİŞKİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: EN İYİ 30 YEŞİL YENİLİKÇİ ÜLKEDEN AMPİRİK KANITLAR¹

Doç. Dr. Sevilay KONYASelçuk Üniversitesi, Finans Bankacılık ve
Sigortacılık Bölümü.

e-posta: sevilaykonya@selcuk.edu.tr



0000-0002-0483-4139

ÖZ

Yeşil yenilik kavramı, sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması, karbon ayak izinin azaltılması ve çevresel dengenin sağlanması açısından son derece önemli bir kavramdır. Bu bağlamda mevcut makalede 1993'den 2022 yılına kadar en iyi 30 yeşil yenilikçi ülkede sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasında ekolojik ayak izi ve yeşil yenilik arasındaki ilişkinin araştırılması amaçlanmıştır. Veri setine uygun tahminler elde etmek için bir dizi gelişmiş panel veri analizi yöntemleri ve momentler kantil regresyonu (MMQR) yöntemi kullanılmıştır. MMQR tahmincisi sonucunda tüm kantillerde ekolojik ayak izi üzerinde yenilebilir enerji tüketimi ve yeşil inovasyonun etkisinin negatif olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma, elde edilen bulgular ışığında sürdürülebilir kalkınma açısından önemli bulgular sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yeşil inovasyon, Sürdürülebilir kalkınma, ekolojik ayak izi, panel veri**ASSESSING THE RELATIONSHIP BETWEEN ECOLOGICAL FOOTPRINT AND GREEN INNOVATION IN SUSTAINABLE DEVELOPMENT: EMPIRICAL EVIDENCE FROM TOP 30 GREEN INNOVATION COUNTRIES****ABSTRACT**

The concept of green innovation is extremely important in terms of ensuring sustainable development, reducing carbon footprint and ensuring environmental balance. In this context, the current article aims to investigate the relationship between ecological footprint and green innovation in achieving sustainable development in the top 30 green innovative countries from 1993 to 2022. Several advanced panel data analysis methods and moments quantile regression (MMQR) methods were used to obtain estimates appropriate for the data set. As a result of the MMQR estimator, it was determined that the impact of renewable energy consumption and green innovation on the ecological footprint was negative in all quantiles. In light of the findings, this study presents important findings in terms of sustainable development.

Keywords: Green innovation, Sustainable development, ecological footprint, panel data**Geliş Tarihi/Received:** 23.10.2025**Kabul Tarihi/Accepted:** 27.12.2025**Yayın Tarihi/Printed Date:** 31.12.2025

Kaynak Gösterme: Konya, S. (2025). "Sürdürülebilir Kalkınmada Ekolojik Ayak İzi ve Yeşil Yenilik Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi: En İyi 30 Yeşil Yenilikçi Ülkeden Ampirik Kanıtlar". *İstanbul Nişantaşı Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 13(Özel Sayı) 49-63.

¹ IERFM 2025 Kongresinde sunulan bildirinin gözden geçirilmiş ve düzenlenmiş halidir.

GİRİŞ

Başarılı bir kalkınma planı ekonomik, sosyal ve çevresel faktörleri içine alan sürdürülebilirlik boyutlarını bir bütün olarak sunmaktadır. Son zamanlarda, kalkınma yapısı ve politikaları evrim geçirerek sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada yeşil ekonomi modeline atıfta bulunmaya başlamıştır (Luukkanen, vd., 2019). Sürdürülebilir kalkınma kavramı, toplumun sosyal, ekonomik ve çevresel faktörlere bütünsel bir yaklaşım ile benimsediği bir çerçeve sunmaktadır. Sürdürülebilir kalkınma amaçları çevresel olarak ekonomik büyümenin sağlanmasını gerektirmektedir (Sachs, 2015:3). 1980'lerden sonra ortaya çıkan değişim çevresel olarak neler yapılabileceğini gündeme taşımıştır. 1980'li yıllarda kentlere olan göçün artması, sanayileşme, nüfus artışı, teknolojik ilerlemeler ve tüketim kalıplarının değişmesi çevresel sorunların da artmasına neden olmuştur (Erden Özsoy ve Dinç, 2016:36).

Sürdürülebilirlik kavramı, bir yaşam biçimi olmak ile birlikte ekonomik, sosyal ve ekolojik ölçütleri içerisine alan bir bütündür. Ekolojik sürdürülebilirlik gelecek nesillerin hayatlarını garantiye alarak bugündeki ihtiyacın karşılanmasıdır. Ekolojik sürdürülebilirliğin ölçülmesinde ekolojik ayak izi kavramı kullanılmaktadır (Türkiye'nin Ekolojik Ayak İzi Raporu, 2012).

Teknolojik yenilik kavramı çevresel sorunların çözümü için bir araç olarak ifade edilmek ile birlikte sürdürülebilir kalkınma için uygulanabilir niteliktedir. Başka bir ifade ile teknolojik yenilik kavramı bu noktada yeni patentlerin geliştirilmesi ve uygulanması, yeni düşüncelerin geliştirilmesi ve üretim yöntemindeki gelişimler olarak tanımlanmaktadır (Akyol ve Mete, 2021). Dolayısıyla çevresel göstergeleri ele alırken teknolojik yaklaşım ile ele alınması ve etkisinin belirlenmesi önem taşımaktadır. Bu bakış açısından yola çıkılarak çalışmamızda çevresel göstergelerden ekolojik ayak izi ile teknoloji göstergesi olarak tanımladığımız yeşil yenilik arasındaki ilişkinin incelenmesi amaçlanmıştır. En iyi 30 yeşil yenilikçi örneklemine belirlenmesinde OECD'nin çevre ile ilgili teknolojiler göstergesi temel alınarak 2022 yılındaki değişim ile belirlenmiştir. Analizde kullanılan 30 ülke ve çevre ile ilgili teknolojiler (teknolojilerin yüzdesi) Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1: En İyi 30 Yeşil Yenilikçi Ülke (2022)

Ülke	%	Ülke	%
Çin (Halk Cumhuriyeti)	20,08	Avustralya	7,56
Danimarka	15,04	Birleşik Krallık	7,40
Norveç	13,04	Brezilya	7,36
Kore	12,31	Polonya	7,08
Çek Cumhuriyeti	11,74	Yeni Zelanda	6,86
İsveç	10,99	Rusya	6,80
Lüksemburg	10,82	ABD	6,52
Meksika	10,23	Almanya	6,08
İspanya	9,78	Slovak Cumhuriyeti	6,03
Japonya	9,18	İtalya	5,85
Şili	8,60	Hindistan	5,70
Kanada	8,42	Yunanistan	5,53
Avusturya	8,10	Hollanda	5,17
Finlandiya	7,98	Fransa	4,84
Belçika	7,84	İsrail	4,11

Kaynak: OECD

Bu çalışmada 1993-2022 döneminde 30 yeşil yenilikçi ülkede ekolojik ayak izi ile yeşil yenilik arasındaki ilişki araştırılmıştır. Bu kapsamda bu çalışma literatürdeki çalışmalardan 2022 yılı OECD veri tabanından elde edilen veriler ile en yeşil 30 yenilikçi ülkenin örneklem olarak seçilmesinden dolayı ayrılmaktadır.

Çalışmamız giriş bölümünü takip eden dört bölümden oluşmaktadır. İlk olarak literatür ilişkili olarak özetlenmiştir. İkinci olarak analizde kullanılan veri ve ekonometrik metodolojiden bahsedilmiştir. Üçüncü olarak ampirik bulgular başlığı altında analiz sonucunda elde edilen sonuçlar ifade edilmiştir. Çalışmanın nihai bölümü olan sonuç kısmında, elde edilen bulgular özetlenmiş ve politika önerileri sunulmuş, çalışmanın sınırlılıkları belirlenmiş ve gelecekteki çalışmalar için tavsiyelerde bulunulmuştur.

1. Literatür Araştırması

Yeşil yenilik ve çevresel göstergeler arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalar literatürde yaygın olarak tartışılmak ile birlikte çalışmamızın bu bölümünde bu ilişkiye odaklanmış çalışmalar özetlenmektedir. Yeşil yenilik ve çevresel göstergeler arasındaki ilişkiler incelenirken etkinin negatif olduğu, pozitif olduğu ve herhangi bir etkileşim olmadığı şeklinde üç farklı sonucun elde edildiği görülmektedir.

Literatürden elde edilen bulgularda bazı çalışmalarda yeşil yenilik göstergelerinin karbon emisyonları gibi çevresel değişkenleri azalttığı belirlenmiştir. Bu çalışmalardan ilki Fernandez vd. (2018)'in çalışmasıdır. Yazarlar, 1990-2013 döneminde 15 Avrupa Birliği ülkesi, Amerika Birleşik Devletleri ve Çin'de Ar-Ge harcamalarının karbon emisyonları üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Analizlerinin bulgusu olarak araştırma ve geliştirmeye yapılan harcamaların gelişmiş ülkeler için CO2 emisyonlarının azaltılmasında olumlu etkisi olduğunu ifade etmişlerdir. Mensah vd. (2018), 1990 ile 2014 yılları arasında 28 OECD ülkesinde inovasyonun CO2 salınımları üzerindeki etkilerini her bir ülke için ayrı ayrı araştırmayı hedeflemiştir. Çalışmalarına göre, inovasyon çoğu OECD ülkesinde CO2 emisyonlarını düşürmede önemli bir etken olarak öne çıkmaktadır. Dauda vd. (2019), 1990-2016 döneminde 18 gelişmekte olan ve gelişmiş ülke için inovasyonun ve ekonomik büyümenin CO2 emisyonları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda G6'da inovasyonun CO2 emisyonlarını azalttığını tespit etmişlerdir. Ganda (2019), 2000-2014 döneminde seçilmiş OECD ekonomilerinde teknoloji yatırımları ve inovasyonun karbon emisyonlarına etkisini sistem- GMM yöntemi ile araştırmıştır. Çalışmasının sonucunda yenilenebilir enerji tüketimi ve araştırma ve geliştirmeye harcamasının karbon emisyonlarını negatif ve anlamlı etkilediğini bulmuştur. Akyol ve Mete (2021) tarafından yapılan çalışmada, 18 OECD kurucu üye ülkesinde çevresel teknolojik inovasyonların CO2 salınımları üzerindeki etkisi incelenmiştir. 2005 yılından 2018 yılına kadar olan dönemi kullandıkları çalışmalarının sonucunda iklim değişikliğini önlemeye yönelik patent başvurularında arttıkça karbon emisyonlarının azaldığını tespit etmişlerdir. Hussain vd. (2022), çevresel teknolojilerin ve yenilenebilir enerji tüketiminin tüketime dayalı karbon emisyonları üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. 1990-2016 yılları arasında yedi gelişmekte olan ekonomiyi araştırdıkları çalışmalarının sonucunda yenilenebilir enerji tüketimi değişkeni çalışmaya dahil edildiğinde çevreyle ilgili teknolojilerin karbon emisyonlarını azalttığını bulmuşlardır. Koseoglu, Yucel ve Ulucak (2022), 1993-2016 dönemi için en iyi 20 yeşil inovasyon lideri ülke özelinde yeşil inovasyon ile ekolojik ayak izi arasındaki ilişkiyi araştırmayı amaçlamışlardır. Elde ettikleri sonuçlar, yenilenebilir enerji tüketimi ile çevreyle ilişkili teknolojilerin ekolojik ayak izi üzerinde istatistiksel olarak kayda değer bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Çevreyle ilgili teknolojilerin ekolojik ayak izini azaltacağını bulmuşlardır. Oğul (2022), Türkiye örneği üzerinden 1990-2018 döneminde çevreyle alakalı patentlerin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Oğul (2022) tarafından uygulanan ARDL sınır testi sonuçlarına göre, çevreyle ilgili patentlerdeki ve yenilenebilir enerji tüketimindeki artışın ekolojik ayak izini düşürdüğü, ekonomik büyümenin ise ekolojik ayak izini yükselttiği belirlenmiştir. Barak ve Koçoğlu (2023), 1995-2018 dönemi için 30 OECD ülkesinde enerji kullanımı, ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji tüketimi, çevresel Ar-Ge harcamalarının karbon emisyonları üzerindeki etkisini analiz etmiştir. Çevresel Ar-Ge harcamalarının ve yenilenebilir enerji tüketiminin CO2 emisyonlarını azalttığını belirlemişlerdir. Bashir vd. (2023), ilk 10 üretim ülkesi için 1995-2019 döneminde enerji geçişi, yenilenebilir enerji ve çevresel inovasyonun ekolojik ayak izini düşürücü bir etkiye sahip olduğunu saptamışlardır. Bozatlı ve Akca (2023), 1994-2018 dönemi için OECD ülkelerinde yenilenebilir enerji tüketiminin, çevre vergilerinin ve çevre teknolojisinin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisini incelemeyi amaçlamışlardır. AMG tahmincisi sonucunda, yenilenebilir enerji tüketiminin ve çevre vergilendirmesinin ekolojik ayak izini azalttığını belirlemişlerdir. Çevre teknolojisinin ekolojik ayak izi üzerinde etkisinin anlamlı olduğunu belirlemişlerdir. Javed vd. (2023), yeşil teknoloji inovasyonu, yenilenebilir enerji tüketimi ve çevre vergilerinin ekolojik ayak iziyle olan ilişkisini araştırmayı amaçlamışlardır. İtalya'da 1990-2019 dönemini araştırdıkları çalışmalarında dinamik ARDL yöntemi uygulamışlardır. Yenilenebilir enerji tüketimi, yeşil teknoloji inovasyonu ve çevre vergilerinin ekolojik ayak izini azalttığı sonucuna ulaşmışlardır. Liao vd. (2023), 1990-2019 dönemi için yenilenebilir enerji geçişinin, sanayileşmenin ve yeşil inovasyonun ekolojik sürdürülebilirlik üzerindeki etkisini seçili OECD ülkelerinde irdelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda yenilenebilir enerji geçişinin ve yeşil inovasyonların ekolojik ayak izini azalttığını tespit etmişlerdir. Çamkaya (2024), Türkiye'de 1974-2019 dönemi için çevresel teknoloji, ekonomik büyüme ve enerji tüketiminin yük kapasitesi faktörü üzerindeki etkisini analiz etmiştir. Çalışmanın sonucunda çevresel teknolojilerin çevresel kaliteyi olumsuz etkilediğini tespit etmişlerdir. Eryer (2024), 1990-2020 döneminde Türkiye'de çevre teknolojileri, yenilenebilir enerji tüketimi ve karbondioksit emisyonu arasındaki ilişkiyi analiz etmiştir. ARDL sınır testi ve FMOLS tekniklerini kullandıkları çalışmalarının sonucunda kısa ve uzun dönemde yenilenebilir enerji tüketimi ve çevre teknolojilerinde artış olduğunda karbondioksit emisyonlarını azalttığını, ekonomik büyümenin ise artışa neden olduğunu bulmuşlardır. Nketiah vd. (2024), Gana'da 1990-2022 dönemi için NARDL ve ARDL yöntemi ile yeşil teknoloji, araştırma-geliştirme harcamaları ve çevresel politikalar arasındaki ilişkiyi irdelemişlerdir. Çalışmasının sonucunda hem kısa hem uzun dönemde yeşil teknolojinin ekolojik ayak izini olumsuz etkilediğine ulaşmışlardır. Yağış (2024), Türkiye'de 1984-2021 dönemi için teknolojik yenilik ve ekonomik büyümenin çevre kalitesi üzerindeki etkisini irdelemiştir. Teknolojik yeniliklerin çevre kalitesini bozduğunu tespit etmiştir. Wen vd. (2025), BRICS ülkelerinde 2004-2020 dönemi için dijital ekonominin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Analizlerinin sonucunda uzun vadede dijital altyapı, dijital finans ve yeşil inovasyonun çevresel bozulma ile önemli bir negatif ilişki kaydettiğini bulmuşlardır. Her iki göstergenin çevresel sürdürülebilirliğe etkisinin olumlu olduğunu belirtmişlerdir.

Bazı çalışmalarda ise yenilik kavramının çevresel göstergeler üzerindeki etkisinin pozitif olduğu görülmüştür. Burada ifade edeceğimiz ilk çalışma Dauda vd. (2019)'ye ait çalışmadır. G6, BRICS ve MENA ülkelerini araştırdıkları çalışmalarında G6 ülkelerine kıyasla BRICS ve MENA ülkelerinde farklı sonuçlar elde etmişlerdir. MENA ve BRICS ülkelerinde inovasyonun CO2 emisyonlarını arttırdığını tespit etmişlerdir. Alofaysan (2024), 2000-2020 döneminde yenilenebilir enerji ve yeşil inovasyonun karbon ayak izi üzerindeki etkisini sekiz MENA ülkesinde ele almıştır. Q-ARDL yöntemi kullandığı çalışmasının sonucunda yeşil inovasyon ve yenilenebilir enerjinin çevresel sürdürülebilirliği arttırdığı sonucuna varmıştır. Lin, Wang ve Zheng (2024), 2011-2019 dönemi için Çin'deki 274 şehirden yıllık veriler kullanılarak Westerlund ve Edgerton (2007) eşbütünleşme testi ve birleştirilmiş ortalama grup (PMG) tahmini ile dijital ekonomi,

yeşil inovasyon ve yeşil kalkınma arasındaki ilişkileri açıklığa kavuşturmayı amaçlamışlardır. Dijital ekonomi ile yeşil inovasyonun uzun vadede yeşil kalkınmayı olumlu yönde etkileyebileceğine dair bulgular elde etmişlerdir. Javed vd. (2024), yeşil büyümenin, enerji verimliliğinin, yeşil teknoloji inovasyonunun, ekonomik büyümenin, ticaret açıklığının ve insan sermayesinin yük kapasitesi faktörü düzeyi üzerindeki etkisini araştırmayı hedeflemiştir. 1990'dan 2019'a kadar olan yıllarda en iyi 10 üretim ülkesi için CS-ARDL tekniğini kullandıkları çalışmalarının sonucunda yeşil büyümenin, enerji verimliliğinin, yeşil teknoloji inovasyonunun ve insan sermayesinin yük kapasitesi faktörünü olumlu yönde etkilediğini bulmuşlardır. Cutcu vd. (2024), 2003-2018 döneminde 15 AB ülkesi için yeşil teknoloji inovasyonlarının belirleyicilerini incelemek için MMQR tekniğini kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda en yüksek yeşil teknoloji inovasyon ülkelerindeki ülkelerde ekolojik ayak izinin yeşil teknoloji inovasyonunun üzerindeki etkisi için olumlu olduğu sonucuna varmışlardır.

Bazı çalışmalar yeşil yenilik ve çevresel gösterge arasında ilişki olmadığını ifade etmişlerdir. Bu çalışmalar şu şekilde ifade edilebilir: Koçak ve Ulucak (2019) tarafından yapılan çalışmada, 2003 ile 2015 yılları arasındaki 19 yüksek gelirli OECD ülkesinde ayrıştırılmış enerji Ar-Ge harcamalarının CO2 emisyonları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yenilenebilir enerji Ar-Ge harcamaları ile CO2 emisyonları arasında önemli bir ilişkinin olmadığı çalışmalarıyla ortaya konmuştur. Kayacan ve Erkut (2023), Akdeniz Birliği üyesi ülkelerde ekolojik ayak izi ve teknolojik yenilik arasındaki ilişkiyi analiz etmişlerdir. 1992-2020 dönemini ele aldıkları çalışmalarında 11 Akdeniz Birliği üyesi ülkede teknolojik yeniliklerin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisini anlamsız olduğu sonucuna varmışlardır. Çetinkaya vd. (2024), çalışmalarında 1990'dan 2019'a kadar olan yıllık verileri panel FMOLS ve DOLS tahmin edicileri ve Momentler Kantil Regresyonu Yöntemi (MMQR) kullanarak BRICS ülkelerindeki çevre politikasının sıklığı ve yeşil inovasyonun CO2 emisyonları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda yeşil inovasyonun CO2 emisyonları üzerinde önemli bir etkisi olmadığını belirlemişlerdir.

Nedensellik yönünü ise Ramzan vd. (2023) incelemiştir. Yazarlar 1995-2020 döneminde üçer aylık verileri kullanarak Birleşik Krallık'ta yeşil inovasyonun ve finansal küreselleşmenin çevrenin sürdürülebilirliği ve enerji geçişi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Yeşil inovasyonun ve finansal küreselleşmenin çevre sürdürülebilirliği ve enerji geçişine doğru tek yönlü nedenselliğe sahip olduğunu bulmuşlardır.

Literatür incelendiğinde genel olarak çevresel teknolojilerin ve yenilenebilir enerji tüketiminin çevresel göstergeleri azalttığı görülmektedir. Son dönemlerde çevresel teknoloji ve çevresel göstergeler arasındaki ilişkilere ilginin arttığı izlenmektedir.

2. Veri ve Ekonometrik Metodoloji

Çalışmada, en iyi 30 yeşil yenilikçi2 ülkenin 1993-2022 dönemini kapsayan yıllık verileri kullanılmıştır. Çalışmamızın veri aralığının 1993 yılından 2022 yılına kadar olmasının temel nedeni, daha öncesi daha sonrası dönemdeki veri seti sınırlılığından kaynaklanmaktadır.

Ekolojik ayak izi ve yeşil yenilik arasındaki ilişkiyi araştırmak için aşağıdaki fonksiyon temel alınmıştır. Analizde kullanılan değişkenler logaritmik formda kullanılmış olup, modele kontrol değişkeni olarak kişi başına düşen yenilenebilir enerji tüketimi, kentleşme ve ekonomik büyüme eklenmiştir. Modelde çevre göstergesi olarak ekolojik ayak izi değişkeni bağımlı değişken olarak, çevreyle ilgili teknolojiler değişkeni olarak patentler bağımsız değişken olarak kullanılmaktadır.

$$EAI = f(EB, YET, KENT, YY)$$

$$LNEAI_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 LNEB_{i,t} + \beta_2 LNYET_{i,t} + \beta_3 LNKENT_{i,t} + \beta_4 LNNY_{i,t} + \varepsilon_{i,t}$$

Modelde i zamanı, t ise ülke örneklemini temsil etmektedir. ε ise modeldeki hata terimlerini açıklamaktadır. Analizde yer alan değişkenlerin tanımları ve açıklamaları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Verilerin Tanımları

Değişken	Sembol	Tanım	Kaynak
Ekolojik Ayak İzi	EAI	Küresel Hektar, Kişi Başı	Küresel Ayak İzi Ağı
Ekonomik Büyüme	EB	Kişi başına düşen GSYİH (sabit 2015 ABD\$)	
Kentleşme	KENT	Kentsel nüfus (% toplam nüfus)	Dünya Bankası
Yenilenebilir Enerji Tüketimi	YET	Kişi başına yenilenebilir enerji (kWh - eşdeğer)	Our World in Data
Yeşil Yenilik	YY	Patentler- Çevreyle ilgili teknolojilerin değişimi- Çevreyle ilgili teknolojiler-	OECD Çevre İstatistikleri

² Ülke örnekleminin belirlenmesinde OECD veri tabanı ve diğer verilerin kaynakları karşılaştırılarak verilere ulaşılabilirlik noktasında en yeşil 30 yenilikçi ülke belirlenmiştir.

teknolojilerin yüzdesi

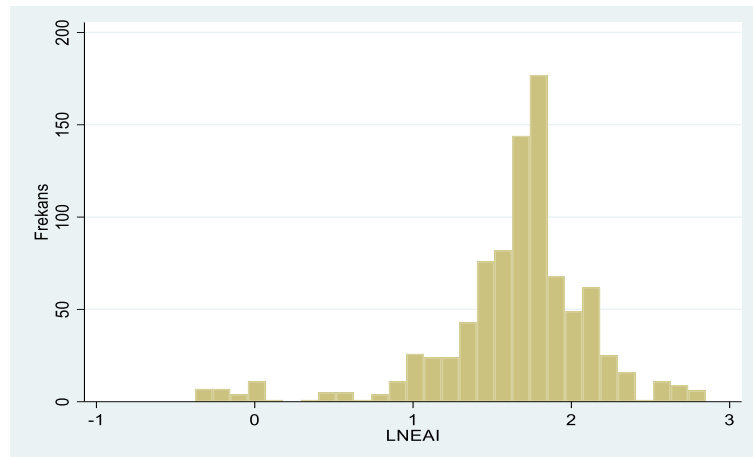
Değişkenlerin genel özelliklerinin görülebilmesi amacıyla değişkenlerin betimleyici istatistikleri ve korelasyon matrisi Tablo 3'te raporlanmıştır.

Tablo 3: Betimleyici İstatistikler ve Korelasyon Matrisi

	LNEAI	LNEB	LNJET	LNKENT	LNYY
Ortalama	1.644508	10.06282	8.027296	4.313670	2.309837
Medyan	1.722299	10.39800	8.123660	4.379135	2.345327
Maksimum	2.849711	11.62998	15.28620	4.586527	3.368408
Minimum	-0.377385	6.333942	2.242729	3.265416	0.563582
Standart Sapma	0.495500	0.956644	1.583836	0.237577	0.371793
Çarpıklık	-1.465093	-1.408483	-0.391534	-2.456186	-0.320952
Basıklık	7.128169	5.275780	4.244277	9.597859	3.563209
Jarque-Bera	961.0413***	491.7928***	81.05335***	2537.367***	27.34674***
Olasılık	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000001
Gözlem Sayısı	900	900	900	900	900
VIF		2.54	1.34	2.24	1.11
	LNEAI	LNEB	LNJET	LNKENT	LNYY
LNEAI	1.000000				
LNEB	0.853521***	1.000000			
	0.0000				
LNJET	0.277538***	0.417817***	1.000000		
	0.0000	0.0000			
LNKENT	0.711937***	0.740860***	0.252633***	1.000000	
	0.0000	0.0000	0.0000		
LNYY	0.083021**	0.116295***	0.310193***	0.092463***	1.000000
	0.0127	0.0005	0.0000	0.0055	

Not: %1 ***, %5 ** ve %10 *.

Tablo 3 incelendiğinde, toplam gözlem sayısının 900 olduğu görülmektedir. Standart sapma ile ilgili olarak, en yüksek standart sapma yenilenebilir enerji tüketimine (LNJET), en düşük standart sapma kentleşme (LNKENT) değişkenine aittir. I) En düşük minimum değer ekolojik ayak izi (LNEAI) değişkenindedir. II) En yüksek maksimum değer 15.2862 ile yenilenebilir enerji tüketimi değişkenidir. Yenilenebilir enerji tüketimini ekonomik büyüme (LNEB) değişkeni izlemektedir. III) En yüksek ortalama değeri ekonomik büyüme değişkeni (LNEB) iken en düşük ortalama değeri ekolojik ayak izi değişkenidir. Ekolojik ayak izi ile modele dahil edilen tüm değişkenler arasında pozitif korelasyon olduğu görülmektedir ve istatistiki olarak anlamlıdır. Değişkenlerin normal dağılım gösterip göstermediğinin belirlenmesi amacıyla çarpıklık, basıklık ve Jarque Berra testleri raporlanmıştır. Çarpıklık testinde, tüm değişkenlerin çarpıklığının negatif çıktığı yani sola doğru çarpık olduğu izlenmektedir. Tüm değişkenlerin çarpıklık dereceleri 0'dan farklı; yani normal dağılım göstermemektedir. Basıklık testinde, değişkenlerin basıklık nedenlerinin 3'ten büyük olması nedeniyle normal dağılıma göre daha sivri bir dağılım gösterdiği ifade edilebilir. Bir diğer normal dağılım testi olan Jarque-Berra testi sonuçlarına göre ise analizde kullanılan tüm değişkenlerin % 1 anlamlılık düzeyinde normal dağılmadığı görülmektedir. Çoklu doğrusal bağlantının tespiti için varyans artış faktörü (VIF) sonuçları betimleyici istatistik ve korelasyon matrisi tablosuna eklenmiştir. VIF'in ortalama değeri 1.81 olarak belirlenmiştir. Tüm değişkenlerin 5'ten küçük VIF değerleri alması bağımsız değişkenlerde çoklu doğrusal bağlantı sorununun olmadığını ortaya koymaktadır.



Şekil 1: Ekolojik Ayak İzine Ait Histogram Grafiği

Şekil 1'den izleneceği üzere, ekolojik ayak izi serisinin de yüksek değişkenlik gösterdiği izlenmektedir. Bu hususlar göz önüne alındığında kantil regresyonunun daha etkin sonuçlar vereceği değerlendirilmektedir.

3. Ampirik Bulgular

Çalışmamızın ampirik analizini yaparken, ilk olarak değişkenlerin yatay kesit bağımlılık (CSD) içerip içermediğinin tespiti ile başlanmıştır. Tablo 4 yatay kesit bağımlılık testini açıklamaktadır.

Tablo 4: Değişkenler için CSD testi sonuçları

	CD	CDw	CDw+	CD*
LNEAI	37.68*** (0.000)	-2.91*** (0.004)	1244.08*** (0.000)	-0.33 (0.741)
LNEB	100.10*** (0.000)	-3.13*** (0.002)	2084.69*** (0.000)	0.97 (0.333)
LNKET	57.89*** (0.000)	-2.11** (0.035)	1611.30*** (0.000)	4.02*** (0.000)
LNKENT	58.90*** (0.000)	-0.12 (0.902)	2100.47*** (0.000)	-1.33 (0.183)
LNYY	58.26*** (0.000)	-2.30** (0.021)	1227.90*** (0.000)	-0.35 (0.728)

Notlar: Parantez içindeki sayılar olasılık değerlerini ifade etmektedir. %1 ***, %5 ** ve %10 *.

CD: Pesaran (2015, 2021),

CDw: Juodis, Reese (2021),

CDw+: Fan ve diğerlerinin (2015) tartılandırılmış CDw'si,

CD Pesaran, Xie (2021) 4 PC ile

CSD testlerinde temel hipotez zayıf yatay kesit bağımlılık vardır şeklinde kurulurken, alternatif hipotez güçlü yatay kesit bağımlılık vardır şeklinde kurulmaktadır. CD, CDw ve CDw+ testlerine göre LNEIA, LNEB, LNUKENT ve LNYY değişkenlerinde temel hipotez reddedilmiş değişkenlerin güçlü yatay kesit bağımlılık taşıdığı belirlenmiştir. LNYET değişkeni ise tüm CSD testlerinde güçlü yatay kesit bağımlılık taşımaktadır.

Ampirik uygulamamızın ikinci aşamasında değişkenlerin durağanlık araştırması için Pesaran (2007) Yatay Kesit Genişletilmiş Im, Pesaran ve Shin (CIPS) ve Yatay Kesit Genişletilmiş Dickey Fuller (CADF) birim kök testleri çalıştırılmıştır. CIPS ve CADF test istatistiklerine ait sonuçlar Tablo 5'ten izlenmektedir. Her iki test istatistiğine ait sonuçlar sabit ile sabit ve trend içerecek şekilde raporlanmıştır.

Tablo 5: CIPS ve CADF birim kök testi sonuçları

Değişken	CIPS		CADF			
	Sabit	Sabit ve Trend	Sabit	p-değeri	Sabit ve Trend	p-değeri
LNEAI	-1.837	-2.669**	-0.488	0.313	-2.113**	0.017
LNEB	-2.113*	-2.094	-2.031**	0.021	1.270	0.898
LNYET	-2.134*	-2.403	-2.147**	0.016	-0.551	0.291
LNKENT	-1.460	-1.971	1.623	0.948	1.999	0.977
LNYY	-2.861***	-3.142***	-6.208***	0.000	-4.900***	0.000
ΔLNEAI	-4.229***	-4.172***	-13.854***	0.000	-10.964***	0.000
ΔLNEB	-2.898***	-2.855***	-6.415***	0.000	-3.211***	0.001
ΔLNYET	-4.051***	-4.216***	-12.860***	0.000	-11.225***	0.000
ΔLNKENT	-2.006	-2.636*	-1.429*	0.076	-1.921**	0.027
ΔLNYY	-4.496***	-4.519***	-15.348***	0.000	-13.011***	0.000
Olasılık Değerleri	%10: -2.070 %5: -2.150 %1: -2.300	%10: -2.580 %5: -2.660 %1: -2.810				

Not: %1 ***, %5 ** ve %10 *. Δ birinci farkı ifade etmektedir.

Tablo 5'ten izleneceği üzere, CIPS ve CADF test istatistiklerine göre sabit içeren yaklaşımda ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji tüketimi ve yeşil yenilik değişkenleri düzey değerinde durağandır. Sabit ile sabit ve trend içeren yaklaşımda her iki test istatistiğine göre ekolojik ayak izi ve yeşil yenilik serilerinin düzey değerinde durağan olduğu

bulunmuştur. Sabit ve trend içeren CIPS istatistiğine göre kentleşme değişkeninin birinci farkı alındığında durağanlık sağlanmıştır. CADF istatistiğine göre hem sabit hem de sabit trend içeren yaklaşımda kentleşme değişkeninin birinci farkı alındığında durağan hale gelmiştir.

Durağanlık aşamasından sonraki aşama olan eşbütünleşme ilişkisinin olup olmadığı yani değişkenlerin birlikte hareket edip etmediğinin sınanmasıdır. Ancak uygun yöntemin seçilmesi için tanısallık testleri (CSD ve homojenlik) uygulanmış olup ulaşılan sonuçlar Tablo 6'da tablolandırılmıştır.

Tablo 6: Tanısal Test Sonuçları

CSD Testi Sonuçları				
	CD	CDw	CDw+	CD*
Kalıntılar	79.89*** (0.000)	-3.13*** (0.002)	1660.19*** (0.000)	-0.70 (0.485)
Homojenlik Testi Sonuçları³				
	İstatistik		P değeri	
$\tilde{\Delta}_{CSA}$	32.249***		0.000	
$\tilde{\Delta}_{CSA-adj}$	36.055***		0.000	

Not: 1- %1 ***, %5 ** ve %10 *.

2-CD: Pesaran (2015, 2021),

CDw: Juodis, Reese (2021),

CDw+: Fan ve diğerlerinin (2015) tartılandırılmış CDw'si,

CD Pesaran, Xie (2021) 4 PC ile

3- Homojenlik testi sonuçları Bersvendsen & Ditzgen(2020) xthst komutu ile elde edilmiştir.

Tablo 6 incelendiğinde ele alınan modelde CD* testi hariç tüm CSD testlerine göre temel hipotez reddedilmekte korelasyonun var olduğu anlaşılmaktadır. Çalışmamızda eğitim parametrelerinin homojenliğini test etmek için Bersvendsen & Ditzgen(2020) xthst komutu kullanılmıştır. Homojenlik testinde temel hipotez eğitim katsayıları homojendir şeklinde kurulmaktadır. Araştırma modelimizde temel hipotez reddedilmiş, eğitim katsayıları heterojendir şeklinde kurulan alternatif hipotez kabul edilmiştir.

Kantil regresyon yaklaşımı gözlemlenemeyen heterojenliği dikkate almasa da aykırı değerlere ve normal olmayan dağılımlara göre dirençli bir tahmincidir (Zhu vd. 2016). Bu nedenle değişkenlerin normal dağılım göstermemesi, ekolojik ayak izi değişkeninin yüksek değişkenlik göstermesi nedeniyle momentler kantil regresyon tahmini (MMQR) yöntemi kullanılmıştır. Machado ve Silva (2019) tarafından önerilen MMQR yaklaşımı farklı kantillerde bağımlı değişkenin koşullu ortalaması üzerindeki dışsal değişkenlerin etkisini incelemektedir (Cevik, 2022:8-9; Bozkurt ve Altınar, 2024: 1002). Bu testin tercih edilmesinin bir takım avantajları bulunmaktadır. MMQR "aykırı değerlere karşı dayanıklı" olma özelliği taşımak ile birlikte heterojenlik varsayımını tüm kantillerde incelemektedir. Koşullu heterojen kovaryans etkileri özelliğini göstermekte, çalışmaların içsel açıklayıcı yapıları sahip olduğu ve panel verilerinin kesin bireysel etkilerle ele alındığı durumlarda daha uygun bir teknik olarak ifade edilmektedir (Chien vd., 2023: 3830).

Yeşil yenilik, ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji tüketimi ve kentleşmenin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi, farklı dağılım dilimlerinde (0.10'dan 0.90'a kadar olan kantillerde) incelenmeye devam edilmiştir. Bu, Machado ve Silva (2019) tarafından yeni savunulan momentler kantil regresyon tahmini (MMQR) yöntemi uygulanarak yapılmış ve sonuçlar Tablo 7'de açıklanmıştır.

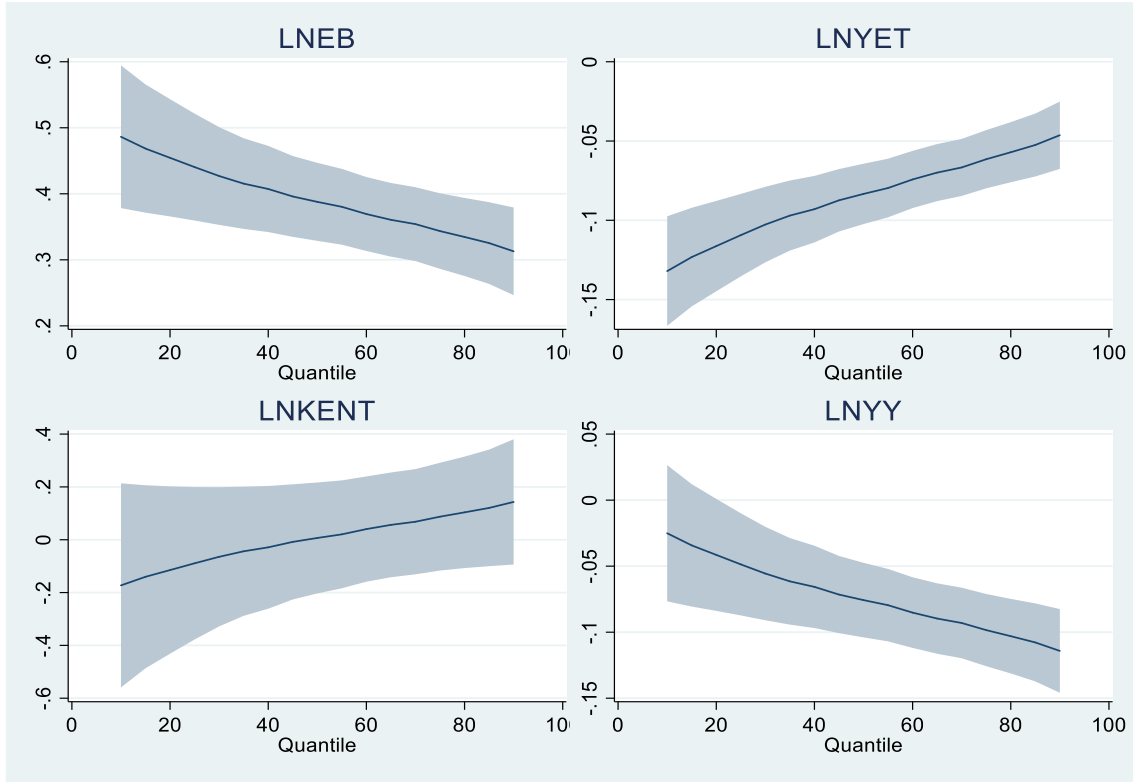
MMQR analizi sonuçları, ekonomik büyümenin ekolojik ayak izi üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ekonomik büyümenin katsayıları en düşükten (10) en yüksek (90) yüzdeliğe ilerledikçe azalmaktadır ve sonuçlar istatistiksel olarak anlamlıdır. Tablo 9 ekonomik büyümenin etkisinin ülkeler arasındaki ekolojik ayak izi miktarı arttıkça azaldığını ortaya koymaktadır. Ekonomik büyümenin etkisi 10. Yüzdelikte .4863867'dan 90. Yüzdelikte .3128779'e düşmektedir.

Tablo 7: MMQR Sonuçları

Değişken	Yerel	Ölçek	Düşük Kantiller			Orta Kantiller			Yüksek Kantiller		
			10	20	30	40	50	60	70	80	90
LNEB	.3937018 (0.000)	-.0539977 (0.009)	.4863867 (0.000)	.4544962 (0.000)	.4269588 (0.000)	.4073274 (0.000)	.3878289 (0.000)	.3693845 (0.000)	.3540778 (0.000)	.3346098 (0.000)	.3128779 (0.000)
LNKET	-.0862509 (0.000)	.0266702 (0.000)	-.1320292 (0.000)	-.1162781 (0.000)	-.102677 (0.000)	-.0929807 (0.000)	-.0833502 (0.000)	-.0742402 (0.000)	-.0666801 (0.000)	-.0570645 (0.000)	-.0463308 (0.000)
LNKENT	-.0039093 (0.972)	.0983956 (0.181)	-.1728016 (0.381)	-.11469 (0.478)	-.0645108 (0.631)	-.0287381 (0.808)	.0067925 (0.949)	.0404023 (0.691)	.0682944 (0.502)	.1037695 (0.335)	.1433697 (0.236)
LNYY	-.0726685 (0.000)	-.0277282 (0.005)	-.025074 (0.341)	-.0414501 (0.055)	-.0555907 (0.002)	-.0656716 (0.000)	-.0756843 (0.000)	-.0851556 (0.000)	-.0930157 (0.000)	-.1030127 (0.000)	-.1141722 (0.000)
Sabit	-1.440168 (0.000)	.0486026 (0.849)	-1.523592 (0.026)	-1.494888 (0.008)	-1.470102 (0.002)	-1.452432 (0.000)	-1.434882 (0.000)	-1.41828 (0.000)	-1.404503 (0.000)	-1.38698 (0.000)	-1.367419 (0.001)

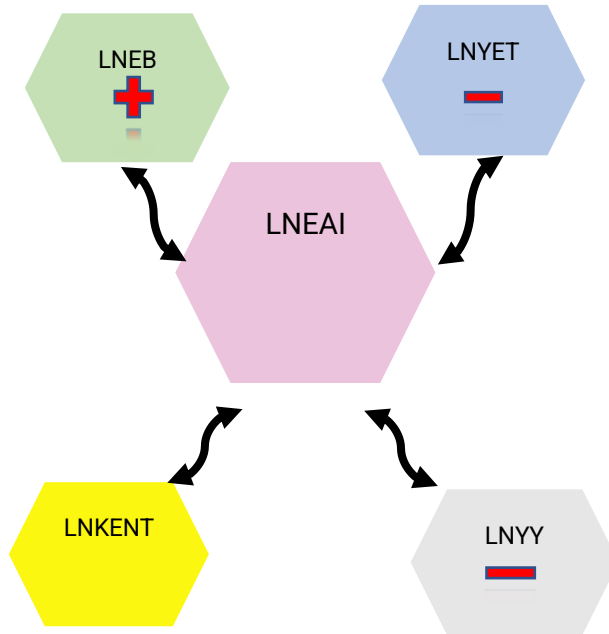
Tüm kantillerde (10. ila 90.) negatif bir ekolojik ayak izi yenilenebilir enerji tüketimi ilişkisi bulunmuştur ve sonuçlar istatistiksel olarak anlamlıdır. Ancak katsayıların değeri 10. ila 90. kantil arasında ilerledikçe azalmaya devam etmiştir. Katsayılar, -.1320292 (10. kantil) ile -.0929807 (40. kantil), sonra -.0666801 (70. kantil) ve sonra -.0463308 (90. kantil) arasında değişmektedir. Elde ettiğimiz sonuç ekolojik ayak izi seviyelerinin nispeten daha yüksek olduğu ekonomilerde yenilenebilir enerji kaynaklarının miktarında azalma ile sonuçlanacağını göstermektedir. Araştırmadan elde edilen diğer bir sonuç ise kentleşmenin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi tüm kantillerde negatif, ancak anlamsızdır.

Son olarak ise yeşil inovasyonun ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Yeşil yeniliğin ekolojik ayak izi üzerindeki azaltıcı etkisi, %20'den %90'a kadar olan yüzdelik dilimlerde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. 20 kantilde -.0414501 olan etki, 90 kantilde -.1141722 olarak görülmüştür. Yeşil yenilik arttıkça ekolojik ayak izinde azalma görülmektedir.



Şekil 2: MMQR'nin grafiksel açıklaması

Çalışmamızda teknoloji ile ilgili bağlantıda Akyol ve Mete (2021) ile yenilenebilir enerji tüketimi ve teknoloji ile bağlantısında ise Hussain vd. (2022), Oğul (2022), Barak ve Koçoğlu (2023), Bashir vd. (2023), Javed vd. (2023), Çamkaya (2024), Yağış (2024) ve Wen vd. (2025) ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. MMQR'den elde ettiğimiz sonuçların tamamı Koseoglu vd. (2022) ve Eryer (2024)'ün çalışmasının sonuçlarını desteklemektedir.



Şekil 3: MMQR Testi Sonuçları

Şekil 3 MMQR testi sonuçları özetlemektedir.

SONUÇ VE POLİTİKA ÖNERİLERİ

Bu makalede, yeşil yenilik, yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve kentleşmenin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerini 1993-2022 dönemini kapsayan en iyi 30 yeşil yenilikçi ülkede araştırılmıştır. Öncelikle CSD testleri, ikinci nesil panel birim kök testleri, panel eşbütünleşme testi, katsayı tahmincisi uygulanmıştır. CSD testlerinin sonucunda hem değişkenlerin hem de regresyon hatalarının korelasyonlu olduğuna ve eğim katsayılarının heterojen olduğu sonucuna varılmıştır. Değişkenlerin korelasyonlu olması nedeniyle ikinci nesil birim kök testleri uygulanmış ve değişkenlerin durağan olduğu belirlenmiştir. Analizde katsayı tahmini için MMQR yöntemi kullanılarak katsayılar ile ilgili tahmin yapılmıştır.

MMQR analizi sonuçları, ekonomik büyümenin örneklemin tüm kesimlerinde ekolojik ayak izini artırdığını ve bu etkinin istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir. Ortaya çıkan etki kantillerde azalmak ile birlikte önemliliği devam etmektedir. Benzer biçimde, MMQR analizi sonuçları, yenilenebilir enerji tüketiminin örneklemin tüm kesimlerinde ekolojik ayak izini azalttığını ve bu etkinin istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir. Ekolojik ayak izi, yenilenebilir enerji tüketimi yükseldikçe düşüş göstermektedir. MMQR analizine göre, kentleşmenin ekolojik ayak izi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmamaktadır. Yeşil yeniliğin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi %20 kantilden %90 kantile kadar negatif ve anlamlıdır. Yenilenebilir enerji tüketimi ve yeşil yeniliğin çevresel kirlilik üzerindeki bu etkileri düşünüldüğünde çevre dostu enerjilerin kullanılması ve yeşil inovasyon politikalarının izlenmesi çevresel kirliliğin azalmasında önemli rol üstlenmektedir. Politika yapıcılar çevresel teknolojilerin arttırılması için adımlar atmalıdır. Bu konuda çevresel teknolojileri uygulayan kurumlar ve firmalar için ar-ge teşvikleri sağlanmalı, vergi muafiyetleri ve indirimleri getirilmelidir.

Çalışmamızın bazı kısıtlılıkları bulunmaktadır. Çalışmamızın analiz kısmı en iyi 30 yeşil yenilikçi ülke ile sınırlıdır. Ele alınan veri dönemi de önemli bir kısıtlılık ortaya çıkarmaktadır. Ele alınan 30 ülkede her birinin izlediği çevresel politikalar farklılık göstermektedir. Ampirik uygulamaların bu ülkelerde tek ülkeli olarak yapılması ve farklı ülke gruplarına yönelmek literatüre yeni bulgular ekleyecek ve karşılaştırma olanağı doğacaktır.

KAYNAKÇA

- Akyol, M., ve Mete, E. (2021). Çevresel teknolojik inovasyonların CO2 emisyonu üzerindeki etkisi: OECD ülkeleri örneği. *İstanbul İktisat Dergisi - Istanbul Journal of Economics*, 71(2), 569-590. <https://doi.org/10.26650/ISTJECON2021-935480>
- Alofaysan, H. (2024). The effect of environmental smart technology and renewable energy on carbon footprint: a sustainability perspective from the MENA region. *Energies*, 17, 2624. <https://doi.org/10.3390/en17112624>
- Bozkurt, E. ve Altınar A. (2024). Üretken Kapasitenin Ekonomik Kalkınma Üzerindeki Etkisi: MMQR ve CCE Yöntemlerinden Kanıtlar. *Politik Ekonomik Kuram*, 8(4), 989-1008. <https://doi.org/10.30586/pek.1529850>
- Barak, D., ve Koçoğlu, M. (2023). Çevresel Ar-Ge harcamalarını hızlandırmak karbon emisyonlarını azaltır mı?: Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezi perspektifinde panel kantil regresyon kanıtları. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 25(45), 768-792.
- Bashir, M. F., Pan, Y., Shahbaz, M., ve Ghosh, S. (2023). How energy transition and environmental innovation ensure environmental sustainability? Contextual evidence from Top-10 manufacturing countries. *Renewable Energy*, 204, 697-709.
- Bersvendsen, T. ve Ditzen, J. (2020). xthst: testing for slope homogeneity in Stata. *The Stata Journal*, 21(1), s. 51-80.
- Bozatlı, O. ve Akca H. (2023). The effects of environmental taxes, renewable energy consumption and environmental technology on the ecological footprint: evidence from advanced panel data analysis. *J Environ Manag.*, 345, 118857.
- Chien, F., Chau, K. Y., Sadiq, M., Diep, G. L., Tran, T. K., ve Pham, T. H. A. (2023). What role renewable energy consumption, renewable electricity, energy use and import play in environmental quality?. *Energy Reports*, 10, 3826 - 3834. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.10.024>
- Çamkaya, S. (2024). Türkiye’de çevresel teknolojilerin çevresel kirlilik üzerindeki etkisi: fourier yaklaşımlarından ampirik kanıtlar. *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 59(4), 2024-2043.
- Çetinkaya, O.A., Çatik, A.N., Ballı, E. et al. (2024). Assessing the influence of green innovation and environmental policy stringency on CO₂ emissions in BRICS. *Environ Dev Sustain*, 27, 26739–26759. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-04802-3>
- Cevik, E., Kirci Altinkeski, B., Cevik, E. I. ve Dibooglu, S. (2022). Investor sentiments and stock markets during the COVID-19 pandemic. *Financial Innovation*, 8(1), 69.
- Cutcu, I., Cil, D., Karis, C. ve Kocak, S. (2024). Determining the green technology innovation accelerator and natural resources towards decarbonization for the EU countries: evidence from MMQR. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(12), 19002–19021.
- Dauda, L., Long, X., Mensah, C.N. et al. (2019). The effects of economic growth and innovation on CO₂ emissions in different regions”. *Environ Sci Pollut Res*, 26, 15028–15038. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04891-y>
- Dünya Bankası, <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>, Erişim Tarihi: 10.04.2025
- Erden Özsoy, C. ve Dinç, A. (2016). Sürdürülebilir kalkınma ve ekolojik ayak izi. *Finans Politik ve Ekonomik Yorumlar*, 53(619), 35-55.
- Eryer, A. (2024). Çevre Teknolojileri ve yenilenebilir enerji tüketiminin karbondioksit emisyonu ile ilişkisi: Türkiye örneği. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(2), 1-17.
- Fan, J., Liao, Y. ve Yao, J. (2015). Power enhancement in high-dimensional cross-sectional tests. *Econometrica*, 83(4), 1497–1541.
- Fernández, Y. F., López, M. F., ve Blanco, B. O. (2018). Innovation for sustainability: the impact of R&D spending on CO₂ emissions. *Journal of cleaner production*, 172, 3459–3467.
- 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.
- Hussain, M., Mir, G. M., Usman, M., Ye, C. ve Mansoor, S. (2022). Analysing the role of environment-related technologies and carbon emissions in emerging economies: A step towards sustainable development. *Environmental Technology*, 43(3), 367-375. doi:10.1080/09593330.2020.1788171
- Javed, A., Rapposelli, A., Khan, F. ve Javed, A. (2023). The impact of green technology innovation, environmental taxes, and renewable energy consumption on ecological footprint in Italy: Fresh evidence from novel dynamic ARDL simulations. *Technol. Forecast. Soc. Change*, 191, 122534.

- Javed, A., Subhani, B.H., Javed, A. et al. (2024). Accessing the efficacy of green growth, energy efficiency, and green innovation for environmental performance in top manufacturing nations in the framework of sustainable development. *Qual Quant*, 58, 5829–5863. <https://doi.org/10.1007/s11135-024-01918-6>
- Juodis, A. ve Reese, S. (2022). The incidental parameters problem in testing for remaining cross-section correlation. *Journal of Business & Economic Statistics*, 40(3), 1191–1203.
- Kayacan, M. ve Erkut, B. (2023). Ecological footprint–technological innovations nexus: new empirical evidence from panel data estimations. *Environ Sci Pollut Res*, 30, 94565–94575. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-29122-3>
- Koçak, E. ve Ulucak, Z.Ş. (2019). The effect of energy R&D expenditures on CO₂ emission reduction: estimation of the STIRPAT model for OECD countries. *Environ Sci Pollut Res*, 26, 14328–14338. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04712-2>
- Koseoglu, A., Yucel, A. G. ve Ulucak, R. (2022). Green innovation and ecological footprint relationship for a sustainable development: Evidence from top 20 green innovator countries. *Sustainable Development*, 30(5), 976-988. <https://doi.org/10.1002/sd.2294>
- Küresel Ayak İzi Ağı, <https://data.footprintnetwork.org/#/>, Erişim Tarihi: 10.04.2025
- Liao, J., Liu, X., Zhou, X. ve Tursunova, N. R. (2023). Analyzing the role of renewable energy transition and industrialization on ecological sustainability: can green innovation matter in OECD countries. *Renew. Energy*, 204, 141-151.
- Lin, Y., Wang, Q.-J. ve Zheng, M.-Q. (2024). Nexus among digital economy, green innovation, and green development: evidence from China. *Emerging Markets Finance and Trade*, 60(4), 704-723, DOI: 10.1080/1540496X.2023.2258260
- Luukkanen, J., Kaivo-oja, J., Vähäkari, N., O'Mahony, T., Korkeakoski, M., Panula-Ontto, J., Phonhalath, K., Nanthavong, K., Reincke, K., Vehmas, J. ve Hogarth, N. (2019). Green economic development in Lao PDR: A sustainability window analysis of green growth productivity and the efficiency gap. *Journal of Cleaner Production*, 211, 818–829. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.149>
- Machado, J. A. ve Silva, J. S. (2019). Quantiles via moments. *Journal of Econometrics*, 213(1), 145-173.
- Mensah, C.N., Long, X., Boamah, K.B. et al. (2018). The effect of innovation on CO₂ emissions of OCED countries from 1990 to 2014. *Environ Sci Pollut Res*, 25, 29678–29698. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2968-0>
- Nketiah, E., Song, H., Adjei, M., Obuobi, B. ve Adu-Gyamfi, G. (2024). Assessing the influence of research and development, environmental policies, and green technology on ecological footprint for achieving environmental sustainability. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 199, 114508.
- OECD, [https://data-explorer.oecd.org/vis?lc=en&tm=DF_PAT_IND&pg=0&snb=1&vw=tb&df\[ds\]=dsDisseminateFinalDMZ&df\[id\]=DSD_PAT_IND%40DF_PAT_IND&df\[ag\]=OECD.ENV.EPI&df\[vs\]=&pd=%2C&dq=.A..DEV..&to\[TIME_PERIOD\]=false](https://data-explorer.oecd.org/vis?lc=en&tm=DF_PAT_IND&pg=0&snb=1&vw=tb&df[ds]=dsDisseminateFinalDMZ&df[id]=DSD_PAT_IND%40DF_PAT_IND&df[ag]=OECD.ENV.EPI&df[vs]=&pd=%2C&dq=.A..DEV..&to[TIME_PERIOD]=false), Erişim Tarihi: 10.04.2025
- Oğul, B. (2022). Türkiye’de çevresel teknolojik inovasyonlar ekolojik ayak izini azaltıyor mu? ARDL sınır testi analizi. *İnönü Üniversitesi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi (İNİJOSS)*, 11(2), 409-427.
- Our World in Data, <https://ourworldindata.org/grapher/per-capita-renewables?tab=table>, Erişim Tarihi: 10.04.2025
- Pesaran, H. M. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22(2), 265–312.
- Pesaran, H. M. (2015). Testing weak cross-sectional dependence in large panels. *Econometric Review*, 34(6–10), 1089–1117.
- Pesaran, H. M. (2021). General diagnostic tests for cross-sectional dependence in panels. *Empirical Economics*, 60(1), 13–50.
- Pesaran, H. M., ve Xie, Y. (2021). A Bias-Corrected Cd Test for Error Cross- Sectional Dependence in Panel Data Models with Latent Factors. *CESifo Working Paper Series 9234*, CESifo.
- Ramzan, M., Razi, U., Quddoos, M. U., ve Adebayo, T. S. (2023). Do green innovation and financial globalization contribute to the ecological sustainability and energy transition in the United Kingdom? Policy insights from a bootstrap rolling window approach. *Sustainable Development*, 31(1), 393–414. <https://doi.org/10.1002/sd.2399>
- Sachs, J. D. (2015). *The age of sustainable development*. New York: Columbia University Press.

- Türkiye'nin Ekolojik Ayak İzi Raporu (2012),
http://awsassets.wwftr.panda.org/downloads/turkiyenin_ekolojik_ayak_izi_raporu.pdf, ISBN: 978-605-61279-9-1, Erişim Tarihi: 05.05.2025
- Wen, J., Mahmood, H., Khalid, S. ve Zakaria, M. (2025). Nexus between digital economy and environmental sustainability in BRICS: does green innovation matter?. *Business Strategy and the Environment*, 2025(0), 1–15.
<https://doi.org/10.1002/bse.4243>
- Yağış, O. (2024). Türkiye’de teknolojik yenilikler ve ekonomik büyümenin çevre kalitesi üzerindeki etkileri: ARDL sınır testi. *Abant Sosyal Bilimler Dergisi*, 24(1), 103-117. doi: 10.11616/asbi.1391389
- Zhu, H., Duan, L., Guo, Y., ve Yu, K. (2016). The effects of FDI, economic growth and energy consumption on carbon emissions in ASEAN-5: Evidence from panel quantile regression. *Economic Modelling*, 58, 237-248.

EXTENDED ABSTRACT

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

ASSESSING THE RELATIONSHIP BETWEEN ECOLOGICAL FOOTPRINT AND GREEN INNOVATION IN SUSTAINABLE
DEVELOPMENT: EMPIRICAL EVIDENCE FROM TOP 30 GREEN INNOVATION COUNTRIES

This research sought to empirically ascertain the nexus between the ecological footprint, a key metric of environmental pressure, and green innovation, conceptualized herein as a measure of technological advancement. The interplay between the ecological footprint and green innovation was analyzed utilizing a balanced panel dataset spanning 30 selected green innovative nations from 1993 to 2022. This study differs from previous studies in the literature because it uses data obtained from the 2022 OECD database and selects the 30 most innovative green countries as its sample.

The existing literature extensively features research investigating the nexus between green innovation and various environmental indicators. When the literature is examined, it is generally seen that environmental technologies and renewable energy consumption reduce environmental indicators. The empirical results of this investigation regarding the role of technology are in line with those reported by Akyol and Mete (2021). Similarly, the results related to the nexus between renewable energy consumption and technology are consistent with the empirical evidence provided by Hussain et al. (2022), Oğul (2022), Barak and Koçoğlu (2023), Bashir et al. (2023), Javed et al. (2023), Çamkaya (2024), Yağış (2024), and Wen et al. (2025). Moreover, all outcomes derived from the MMQR estimation corroborate the findings of Koseoglu et al. (2022) and Eryer (2024).

The analysis employs annual panel data collected from the top 30 countries in terms of green innovation performance, spanning the years 1993 through 2022. The primary reason for selecting the period from 1993 to 2022 as the data range in this study is the limitation of data availability outside this timeframe. The selection of the top 30 green-innovative countries was based on the OECD's indicator for environment-related technologies, using changes observed in the year 2022 as the reference point. To investigate the nexus between ecological footprint and green innovation, the following functional form was adopted. All series used in the analysis were transformed into their logarithmic forms. In addition, per capita renewable energy consumption, urbanization, and economic growth were included in the model as control variables. The empirical analysis in this study begins by testing whether the variables exhibit cross-sectional dependence (CSD). In accordance with the CD, CDw, and CDw+ tests, the null hypothesis of cross-sectional independence was rejected for the series LNEAI, LNEB, LNKENT, and LNY, indicating strong cross-sectional dependence. Furthermore, the LNREC variable exhibited strong cross-sectional dependence across all CSD tests. In the second stage of the empirical analysis, Pesaran (2007) ran Cross-Sectional Extended Im, Pesaran and Shin (CIPS) and Cross-Sectional Extended Dickey Fuller (CADF) unit root tests. According to CIPS and CADF test statistics, in the approach containing a constant, economic growth, renewable energy consumption, and green innovation variables are stationary at the level value. In both the constant and constant and trend approaches, ecological footprint and green innovation series were found to be stationary at the level value according to both test statistics. According to the CIPS statistic containing a constant and trend, stationarity was achieved when the first difference of the urbanization variable was taken. According to the CADF statistic, in both the constant and constant trend approaches, the urbanization variable became stationary when the first difference was taken. In the specified model, the null hypothesis of cross-sectional independence is rejected by all CSD tests except for the CD* test, indicating the presence of cross-sectional correlation. In our research model, the null hypothesis was rejected, and the alternative hypothesis suggesting heterogeneity in slope coefficients was accepted. The MMQR analysis results consistently demonstrate that economic growth exercises an accelerating (or upward) influence on the ecological footprint. A negative and statistically significant relationship is consistently identified between renewable energy consumption and the ecological footprint across the entire distribution (i.e., from the 10th to the 90th quantiles). Finally, the impact of green innovation on the ecological footprint was evaluated. The mitigating effect of green innovation on the ecological footprint proved to be statistically significant across the majority of the distribution, specifically ranging from the 20th to the 90th percentiles.

Given the demonstrated impact of renewable energy consumption and green innovation on environmental contamination, the adoption of eco-friendly energy sources and the implementation of green innovation policies are fundamental strategies for mitigating environmental degradation. Policymakers should take measures to promote the advancement of environmental technologies. In this regard, research and development incentives, as well as tax exemptions and reductions, should be provided to institutions and firms that implement environmental technologies. There are certain limitations to our study. The analysis part of our study is limited to the top 30 green innovative countries. The data period considered also reveals an important limitation. The environmental policies followed by each of the 30 countries discussed vary. Conducting empirical applications in these countries on a single-country basis and focusing on different country groups will add new findings to the literature and provide comparison opportunities.

KATKI ORANI BEYANI VE ÇIKAR ÇATIŞMASI BİLDİRİMİ

Sorumlu Yazar <i>Responsible/Corresponding Author</i>	SEVİLAY KONYA			
Makalenin Başlığı <i>Title of Manuscript</i>	SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMADA EKOLOJİK AYAK İZİ VE YEŞİL YENİLİK ARASINDAKİ İLİŞKİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: EN İYİ 30 YEŞİL YENİLİKÇİ ÜLKEDEN AMPİRİK KANITLAR			
Tarih <i>Date</i>	23.10.2025			
Makalenin türü (Araştırma makalesi, Derleme vb.) Manuscript Type (Research Article, Review etc.)	Araştırma Makalesi			
Yazarların Listesi / List of Authors				
<i>Sıra No</i>	Adı-Soyadı <i>Name - Surname</i>	Katkı Oranı <i>Author Contributions</i>	Çıkar Çatışması <i>Conflicts of Interest</i>	Destek ve Teşekkür (Varsa) <i>Support and Acknowledgment</i>
1	Sevilay KONYA	%100	Çıkar Çatışması Bulunmamaktadır.	Bu çalışma TÜBİTAK 2224-B Yurtiçi Bilimsel Etkinliklere Katılımı Destekleme Programı kapsamında 1919B022503711 başvuru numarası ile maddi olarak desteklenmiştir.