

Araştırma Makalesi

Karbon Emisyonlarını Azaltmada Yenilenebilir Enerjinin Rolü: Çevresel Performans Endeksinde Başarılı Olan 10 Ülkeden Kanıtlar

The Role of Renewable Energy in Reducing Carbon Emissions: Evidence From 10 Countries Successful in The Environmental Performance Index

Fatih AKIN

Dr. Öğr. Üyesi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi

Refahiye Meslek Yüksekokulu

fatih.akin@erzincan.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0002-7741-4004>

Makale Geliş Tarihi	Makale Kabul Tarihi
03.01.2025	25.04.2025

Öz

Günümüzde artan çevresel kaygılar ve iklim değişikliği, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini daha da artırmıştır. Fosil yakıtların kullanımının çevresel etkileri göz önüne alındığında, yenilenebilir enerjiye geçiş, sürdürülebilir bir gelecek için kritik bir adım olarak görülmektedir. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji tüketiminin CO₂ emisyonları üzerindeki etkilerini anlamak, çevresel politikaların şekillendirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı, 1990-2021 dönemi için çevresel performans endeksinde başarılı olan on ülkenin (Estonya, Lüksemburg, Almanya, Finlandiya, Büyük Britanya, İsveç, Norveç, Avusturya, İsviçre ve Danimarka) yenilenebilir enerji tüketimi (REN) ile CO₂ emisyonu arasındaki ilişkiyi incelemektir. Çalışmada, Dinamik Ortak Korelasyon Etkiler (DCCE) ve Panel Vektör Hata Düzeltme Modeli (VECM) Nedensellik testi kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. DCCE analiz bulguları, hem genel panelde hem de bireysel ülkelerde yenilenebilir enerji tüketimindeki artışın, CO₂ emisyonlarını azaltmada önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, yapılan panel VECM nedensellik testi bulgusuna göre, yenilenebilir enerji tüketiminden CO₂ emisyonuna doğru uzun dönemde nedensellik tespit edilmiştir. Bu bulgular doğrultusunda, çevresel performans endeksinde başarılı olan on ülkenin, yenilenebilir enerji kaynaklarını etkin bir şekilde kullanarak CO₂ emisyonlarını azaltmada başarılı olduklarını ve bu sayede sürdürülebilir kalkınma hedeflerine katkıda bulunduklarını ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: CO₂ emisyonu, Yenilenebilir enerji tüketimi, Dinamik Ortak Korelasyon Etkiler, Panel VECM nedensellik, Çevresel performans endeksi

Jel Kodları: O11, Q01, Q56, C33, O13.

Abstract

Today, increasing environmental concerns and climate change have further increased the importance of renewable energy sources. Considering the environmental impacts of the use of fossil fuels, the transition to renewable energy is seen as a critical step towards a sustainable future. In this context, understanding the effects of renewable energy consumption (REN) on CO₂ emissions is of great importance for shaping environmental policies. The aim of this study is to examine the relationship between renewable energy consumption and CO₂ emissions in ten countries (Estonia, Luxembourg, Germany, Finland, United Kingdom, Sweden, Norway, Austria, Switzerland and Denmark) that are successful in the environmental performance index for the period 1990-2021. In the study, Dynamic Common Correlated Effects (DCCE) and Panel Vector Error Correction Model (VECM) Causality test are used. The DCCE analysis findings reveal that the increase in renewable energy consumption has a significant effect on reducing CO₂ emissions both in the overall panel and in individual countries. Moreover, according to the panel VECM causality test, there is a long-run causality from

Önerilen Atıf /Suggested Citation

Akın, F., 2025, Karbon Emisyonlarını Azaltmada Yenilenebilir Enerjinin Rolü: Çevresel Performans Endeksinde Başarılı Olan 10 Ülkeden Kanıtlar, *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 60(2), 1525-1542.

renewable energy consumption to CO₂ emissions. In line with these findings, ten countries that are successful in the environmental performance index are successful in reducing CO₂ emissions by using renewable energy resources effectively and thus contribute to sustainable development goals.

Keywords: CO₂ emissions, Renewable energy consumption, Dynamic common correlation effects, Panel VECM causality, Environmental performance index

Jel Codes: O11, Q01, Q56, C33, O13.

1.Giriş

Küresel ısınma ve iklim değişikliği, insanlık tarihinin en büyük çevresel sorunlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Fosil yakıtların aşırı tüketimi sonucu atmosferdeki sera gazı konsantrasyonlarındaki artış, bu olumsuz durumun başlıca nedenlerindendir. Karbondioksit (CO₂) gibi sera gazlarının atmosferdeki birikimi, dünya genelinde sıcaklıkların artmasına, buzulların erimesine, deniz seviyesinin yükselmesine ve aşırı hava olaylarının sıklığının artmasına yol açmaktadır. Bu durum, ekosistemleri tahrip etmekte, biyolojik çeşitliliği azaltmakta ve insan sağlığını tehdit etmektedir. Ayrıca, fosil yakıtların daha fazla tüketimi çevresel kaygıların yanı sıra fosil yakıt rezervlerinin tükenmesi, enerji fiyat şokları gibi farklı sorun alanlarını da beraberinde getirmektedir. Bu anlamda artan dünya nüfusu, bölgesel ve küresel savaşlar, ekonomik krizler arz-talep dengesini bozarak ülkelerin enerji politikalarını da olumsuz etkilemektedir. Çevre ve doğal kaynakların sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi için çevre dostu enerji kaynaklarına yönelmek sorunun çözümü açısından da kritik öneme sahiptir. Belirtilen bu sebepler küresel olarak geleneksel enerji kaynaklarından alternatif ve REN kaynaklarına doğru ilginin kaymasına sebep olmaktadır. Çevre dostu olmasının yanı sıra fosil yakıtlara ve enerjide dışa bağımlılığın azaltılması konusunda da REN cazip hale gelmektedir.

İklim değişikliğiyle mücadele etmek ve sürdürülebilir bir gelecek inşa etmek için acil önlemler alınması gerekmektedir. Bu bağlamda, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak ve REN kaynaklarına geçiş yapmak, en önemli çözüm yollarından biri olarak kabul edilmektedir. REN kaynakları olan güneş, rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal ve biyokütle, neredeyse tükenmez ve çevre dostu enerji üretim potansiyeli sunmaktadır. Bu kaynakların kullanımı, CO₂ emisyonlarını azaltarak hem iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir adım atılmasını hem de enerji güvenliğini artırmayı sağlamaktadır.

Birçok bilimsel çalışma, REN kullanımının CO₂'yi önemli ölçüde azaltabileceğini göstermektedir. Örneğin, (Smith ve Jones, 2023) tarafından yapılan bir çalışmada, rüzgâr ve güneş enerjisi gibi REN kaynaklarına yapılan yatırımların, fosil yakıt tüketimini azaltarak CO₂ emisyonlarında belirgin bir düşüşe neden olduğu belirtilmiştir. Benzer şekilde, (Lee ve Kim, 2022) tarafından yapılan bir başka çalışmada, REN'e geçişin, hava kirliliği seviyelerini düşürerek insan sağlığı üzerinde olumlu etkileri olduğu vurgulanmıştır. IPCC'nin (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) 2021 tarihli raporunda, REN kaynaklarına yapılan yatırımların, fosil yakıt tüketimini azaltarak CO₂ emisyonlarında önemli bir düşüşe neden olduğu belirtilmiştir (IPCC, 2021). Ayrıca, IEA (Uluslararası Enerji Ajansı)'nın 2022 yılı Dünya Enerji Görünümü raporunda, REN'in küresel enerji arzındaki payının hızla arttığı ve bu durumun CO₂ emisyonlarını azaltmada önemli bir rol oynadığı vurgulanmıştır (IEA, 2022). REN'e geçiş, Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SDG'ler) ile de doğrudan ilişkilidir. Özellikle temiz ve uygun fiyatlı enerjiye erişim (SDG 7), iklim eylemi (SDG 13) ve sürdürülebilir şehirler ve topluluklar (SDG 11) gibi hedeflerin gerçekleştirilmesinde önemli bir role sahiptir.

Bu çalışmada 1990-2021 döneminde, 2024 yılı Çevresel Performans Endeksi (EPI) puanı sıralamasında başarılı olan 10 ülkede REN ve CO₂ emisyonu arasındaki ilişkinin panel veri analizi ile incelenmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada ele alınan konu, dönem ve ülke grubu bakımından literatüre katkı sağlaması beklenmektedir. Çalışmada, öncelikle enerji ve çevre konularına dair teorik temeller ele alınacaktır. Ardından, bu alandaki önemli literatür incelenecektir. Son olarak, 2024 yılı EPI puanlarına göre en başarılı 10 ülkenin REN ile CO₂ emisyonları arasındaki ilişkiyi analiz etmek amacıyla yapılan DCCE ve panel VECM nedensellik analizlerinin bulguları sunulacaktır.

2. Teorik Çerçeve

21. yüzyılda dünyanın karşılaştığı en büyük sorun alanlarından birisi yenilenemeyen enerji kaynaklarının tedariki ve arz güvenliğidir. Böylece küresel sorun teşkil eden bu unsurlar enerji ihtiyacı yüksek olan ülkeler için önem teşkil etmektedir. Özellikle fosil yakıtlara yüksek bağımlı olan ülkelerin makro ekonomik dengesini bozmakta ve dış politikasını doğrudan etkilemektedir. Gelişmiş ülkelerin yüksek enerji talebi, küresel ve bölgesel çekişmelere sebep olduğu için dünya gündemini her dönem meşgul etmektedir. Bu açıdan düşünüldüğünde yeni kaynak arayışlarına alternatif olarak REN küresel dönüşümü beraberinde getirmiştir. Bu

dönüşümü başlatan Avrupa Birliği, ABD ve Çin gibi küresel aktörler REN alanlarına yatırımlar yapmaktadır. REN kaynakları, enerji potansiyeline sahip ülkelerin dışa bağımlılığını azaltma yeteneği ve fosil yakıtlar gibi çevresel zararlar yaratmaması nedeniyle, geleceğin sürdürülebilir çözümleri arasında önemli bir yer tutmaktadır. Bu bağlamda REN, olumsuz çevresel öngörülerini bertaraf edebilecek ve sürdürülebilir kalkınmayı destekleyebilecek bir yol olarak değerlendirilmektedir (Kazancı vd., 2024). REN'e ve ekonomik faaliyetlere daha fazla bağımlılık nedeniyle küresel emisyonlar her geçen gün artmakta ve ciddi boyutlara ulaşmaktadır. Kömür, petrol ve doğal gaz gibi karbon bazlı fosil yakıtların yakılması, küresel ısınmanın birincil nedeni olan CO₂ emisyonlarına yol açmaktadır. CO₂ emisyonu ise atmosferde birikerek uzun süre kalıcı hale gelmektedir. Ayrıca uzun süre kalıcı hale gelen CO₂ emisyonu dünya üzerinde kara ve okyanus yüzeylerinin aşırı ısınmasına neden olmaktadır (Nordhaus, 2013).

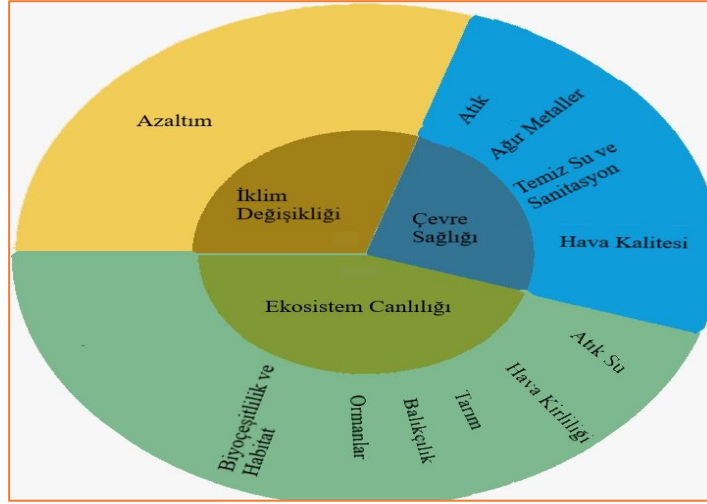
REN kaynakları, alternatif enerji kaynakları olarak da adlandırılır ve güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biyokütle enerjisi, jeotermal enerji gibi sürekli olarak enerji üretiminde kullanılabilen kaynakları içermektedir (Rathore ve Panwar, 2007). Yenilenebilir teknolojiler temiz enerji kaynakları olarak kabul edilir. Bu kaynakların optimum kullanımı çevresel etkileri en aza indirir, minimum ikincil atık üretir. Mevcut ve gelecekteki ekonomik ve sosyal toplumsal ihtiyaçlara göre daha sürdürülebilirdir. REN teknolojileri, sera gazı emisyonlarının azaltılması ve geleneksel enerji kaynaklarının yerine geçerek küresel ısınmanın azaltılması için mükemmel bir fırsat sunmaktadır (Panwar vd., 2011). Bu bağlamda, REN kaynakları, emisyonların azaltılması ve alternatif enerji sağlama açısından büyük önem taşır. Özellikle güneş, rüzgâr ve su kaynaklarından elde edilen REN, çevre kirliliğini minimize ederek ön plana çıkmaktadır.

İlerleyen teknoloji sayesinde maliyetlerin azalması ile uzun dönemli küresel REN politikalarının yeni dinamikler oluşturma potansiyeli açısından da REN ön plana çıkmaktadır. Dolayısıyla günümüzde REN stratejileri dünyada rekabet stratejileri ve iş birlikleri için yeni fırsatlar sunmaktadır. Özellikle son yıllarda REN kaynaklarındaki büyüme, sübvansiyonlar, vergi kredileri ve diğer teşvikler yoluyla devlet destekli programlar tarafından yönlendirilmiştir. Bu durum REN kaynaklarının maliyet rekabetçiliğini artırmıştır (Kazancı vd., 2024). Enerji ihtiyacının her geçen gün arttığı küresel sistemde enerji arzında yaşanan sorunlar ve enerji fiyatlarındaki artışlar enerjide dışa bağımlı ülkeleri etkileyerek endişelendirmeye başlamıştır. Bunun sonucunda yüksek enerji talebi olan ülkeler, REN konusunda çalışmalara ve yatırımlara başlamışlardır. Birçok ülkede REN kaynakları geleneksel enerji kaynakları ile büyük ölçüde rekabet edebilir duruma gelmeye başlamıştır (Bhattacharya vd., 2016).

Çevresel sürdürülebilirliğe yönelik CO₂ emisyonlarını azaltmak için geçmişten günümüze pek çok girişimler olmuştur. Örneğin, 1972 yılında 113 ülkenin katılımı ile gerçekleşen Birleşmiş Milletler Stockholm Çevre ve Kalkınma Konferansı, küresel olarak düzenlenen ilk çevre konferansı niteliğindedir. Konferansta ülkelerin büyüme ve sanayileşme faaliyetlerinin yanı sıra çevre tahribatı ve çevrenin korunmasının önemi konuları özellikle vurgulanmıştır. Söz konusu konferans, uluslararası düzeyde çevre konusunda duyulan endişelerin gündeme getirilmesi ve çevre hukukunun gelişimi açısından önem arz etmektedir (Organ ve Çiftçi, 2013). Benzer şekilde, 1992'de Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC), 1997'de Tokyo protokolü, 2009'da Kopenhag anlaşması, 2014'te Çin ve ABD anlaşması ve 2015'te önerilen Paris anlaşması gibi etkili küresel gelişmeler yaşanmıştır. Bu anlaşmalar, fosil yakıt yanması ve diğer yenilenemeyen enerji kullanımı, insan faaliyetleri gibi ilkel belirleyici emisyonların azaltılmasına dayanmaktadır (Namahoro vd., 2021). 2015'te imzalanan Paris Anlaşması'nda 130'dan fazla ülke 2050'ye kadar karbon emisyonunu en aza düşürmek için bir dizi mekanizmayı hayata geçirmeyi planlamışlardır. Ayrıca düşük karbonlu bir ekonomiye geçişi teşvik etmeyi amaçlayan çevresel düzenlemelerin geliştirilmesi ve etkili bir şekilde uygulanması konusunda hükümetlerin önemli bir rol oynayabileceği vurgulanmıştır (Zhu vd., 2023).

EPI (The Environmental Performance Index), bir ülkenin çevresel politikalarının ve uygulamalarının etkinliğini ölçen bir değerlendirme aracıdır. Yale Üniversitesi ve Columbia Üniversitesi tarafından geliştirilen bu endeks, ülkelerin çevre sağlığı ve ekosistem canlılığı konusundaki performanslarını değerlendirir. EPI 3 politika hedefi ile 11 konu kategorisinde 40 performans göstergesi kullanarak 180 ülkeyi sıralamaktadır. Bu göstergeler, iklim değişikliği, hava kalitesi, su ve sanitasyon, biyolojik çeşitlilik, ormanlar, balıkçılık, tarım, su kaynakları ve atık yönetimi gibi alanları kapsamaktadır. Endeks, ülkelerin çevresel sürdürülebilirlik düzeylerini 0-100 arasında bir puanla değerlendirir, 100 en iyi performansı temsil eder. EPI'nin amacı, ülkelerin çevresel performanslarını karşılaştırmak ve iyileştirme alanlarını belirlemektir. Bu sayede, politika yapıcılar ve hükümetler, çevresel hedeflerine ulaşmak için daha etkili stratejiler geliştirebilirler (Yaşar ve Akın, 2023; EPI, 2024). Şekil 1'de EPI'de kullanılan 3 politika ve 11 konu kategorisi verilmiştir.

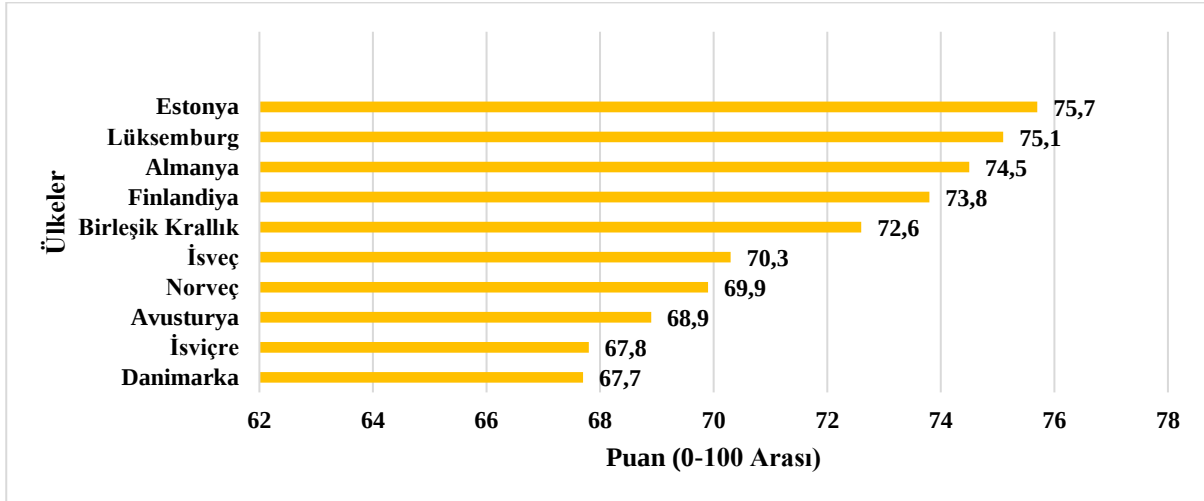
Şekil 1. EPI Çerçevesi



Kaynak: EPI, 2024.

Şakil 2’de 2024 yılı EPI puanlarına göre en iyi puana sahip olan 10 ülkeye ait veriler yer almaktadır. Şakil 2 incelendiğinde çevresel performans endeksi puanı 75.7 ile en iyi olan ülkenin Estonya olduğu görülmektedir. Estonya’yı 75.1 puan ile Lüksemburg ve 74.5 puan ile Almanya izlemektedir (EPI, 2024).

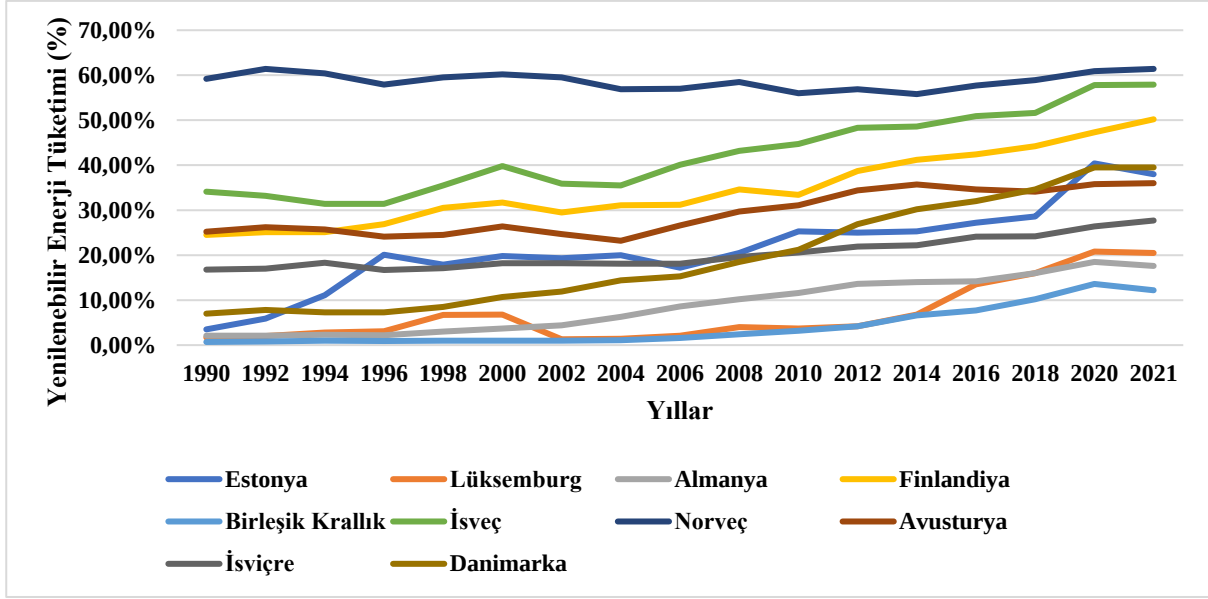
Şekil 2. EPI 2024 Puan Sıralaması (Başarılı 10 Ülke)



Kaynak: EPI, 2024.

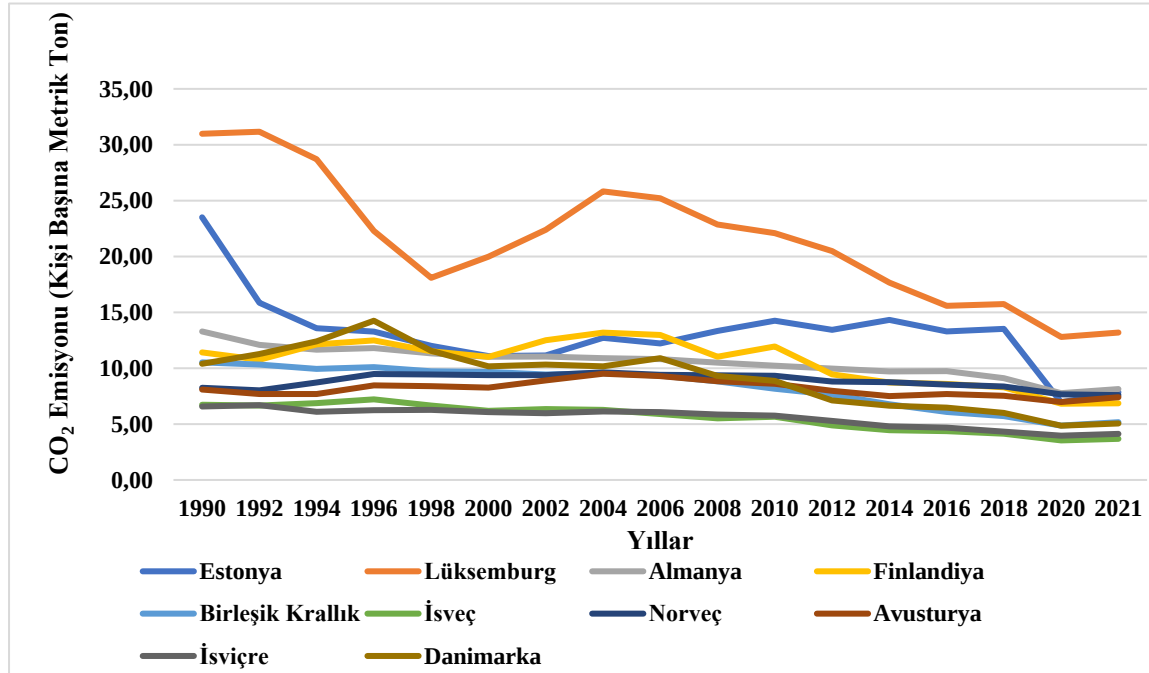
Şekil 3’de EPI’de Başarılı 10 Ülkenin REN Tüketimi (Toplam Enerji Tüketimindeki Payı, %) 1990-2021 dönemi verileri yer almaktadır. Şekil 3 incelendiğinde, bazı ülkelerin REN kullanımını artırmada daha başarılı olduğunu, bazılarının ise daha az başarılı olduğunu göstermektedir. İyi performans gösteren ülkelerden İsveç, 1990 yılında %34.1 olan REN kullanımı, 2021 yılında %57.9’a yükselmiş; Norveç, 1990 yılında %59.2 olan REN kullanımı, 2021 yılında %61.4’e yükselmiş; Finlandiya, 1990 yılında %24.5 olan REN kullanımı, 2021 yılında %50.2’ye yükselmiştir. Genel olarak, İsveç, Norveç ve Finlandiya gibi ülkeler REN kullanımını artırmada daha başarılı olmuşken, Estonya, Lüksemburg ve Birleşik Krallık gibi ülkeler daha az başarılı olmuştur. Bu, ülkelerin enerji politikaları ve REN kaynaklarına yaptıkları yatırımlarla ilgili olabilir.

Şekil 3. EPI’de Başarılı 10 Ülkenin REN Tüketimi (1990-2021)



Kaynak: Dünya Bankası, 2024.

Şekil 4’de EPI’de Başarılı 10 Ülkenin CO₂ emisyonu (Kişi başına düşen metrik ton) 1990-2021 dönemi verileri yer almaktadır. Şekil 4 incelendiğinde, bazı ülkelerin CO₂ emisyonlarını azaltmada daha başarılı olduğunu, bazılarının ise daha az başarılı olduğu görülmektedir. İyi performans gösteren ülkelerden Estonya, 1990 yılında 23.51 olan CO₂ emisyonları, 2021 yılında 7.84’e düşmüş; İsveç, 1990 yılında 6.73 olan CO₂ emisyonları, 2021 yılında 3.68’e düşmüş; Birleşik Krallık, 1990 yılında 10.52 olan CO₂ emisyonları, 2021 yılında 5.16’ya düşmüştür. Genel olarak, Estonya, İsveç ve Birleşik Krallık gibi ülkeler CO₂ emisyonlarını azaltmada daha başarılı olmuşken, Lüksemburg ve Norveç gibi ülkeler daha az başarılı olmuştur. Bu, ülkelerin çevre politikaları ve enerji kullanımındaki değişikliklerle ilgili olabilir.

Şekil 4. EPI’de Başarılı 10 Ülkenin CO₂ Emisyonu (1990-2021)

Kaynak: Dünya Bankası, 2024.

3. Literatür Çalışması

REN ve CO₂ emisyonları arasındaki ilişki, son yıllarda akademik literatürde geniş bir yer bulmuştur. Birçok çalışma, REN kaynaklarının kullanımının artmasının, CO₂ emisyonlarını azaltmada önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Örneğin, çeşitli ülkelerde yapılan ampirik analizler, REN ile CO₂ emisyonları arasında negatif

yönlü bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, REN politikalarının çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki olumlu etkilerini vurgulamakta ve bu alandaki araştırmaların önemini artırmaktadır.

Apergis vd. (2010), 1984-2007 dönemini kapsayan 19 ülke üzerinde gerçekleştirdikleri panel veri analizi ile REN ile CO₂ emisyonları arasında pozitif bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir. Sulaiman vd. (2013), 1980-2010 dönemini kapsayan Malezya verilerini kullanarak yaptıkları zaman serisi analizi sonucunda, REN üretiminin hem kısa hem de uzun vadede CO₂ emisyonlarını azaltmada etkili olduğunu ortaya koymuşlardır.

Shafiei ve Salim (2014), 1980-2011 dönemini kapsayan OECD ülkeleri verilerini kullanarak STIRPAT modeli ile yaptıkları analizde, REN'in CO₂ emisyonlarının azaltılmasında önemli bir rol oynadığını ortaya koymuşlardır. Bölük ve Mert (2015), 1960-2010 dönemini kapsayan Türkiye verilerini kullanarak gerçekleştirdikleri zaman serisi analizi ile elektrik üretiminde REN'in CO₂ emisyonlarının azaltılmasında önemli bir rol oynadığını ortaya koymuşlardır. Çoban ve Kılınç (2015) 1990-2012 dönemini Türkiye için zaman serisi yöntemi kullanarak, REN'in CO₂ emisyonunu negatif yönde etkilediği tespit edilmiştir.

Bilgili vd. (2016), 1977-2010 dönemini kapsayan 17 OECD ülkesine ait verileri kullanarak gerçekleştirdikleri panel veri analizi sonucunda, REN'in CO₂ emisyonlarını azalttığını ortaya koymuşlardır. Dogan ve Seker (2016), AB ülkeleri için 1980-2012 dönemini kapsayan panel veri analizi yöntemiyle, REN'in CO₂ emisyonlarını azaltarak çevresel sürdürülebilirliği artırdığını tespit etmişlerdir. Baek (2016) 1960-2010 dönemini ABD için zaman serisi yöntemi kullanarak, REN'in CO₂ emisyonlarını azalttığını tespit etmiştir.

Khoshnevis Yazdi ve Beygi (2017) 1980-2012 dönemini seçilmiş Afrika ülkeleri için panel veri yöntemi kullanarak, REN'in CO₂ emisyonlarını azalttığını tespit etmiştir. Bhattacharya vd. (2017), gelişmiş ve gelişmekte olan 85 ülkeyi kapsayan 1991-2012 dönemi verilerini kullanarak gerçekleştirdikleri panel veri analizi ile REN'in CO₂ emisyonlarını azalttığını ortaya koymuşlardır. Khoshnevis Yazdi ve Shakouri (2017) 1990-2016 dönemini MENA ülkeleri için panel veri yöntemi kullanarak REN'in, CO₂ emisyonlarını azalttığını tespit etmiştir. Zoundi (2017), 1980-2012 dönemini kapsayan 23 Sahra Altı Afrika ülkesine ait verileri kullanarak gerçekleştirdiği panel veri analizi ile REN'in CO₂ emisyonlarını azaltarak çevresel sürdürülebilirliği artırdığını ve iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir rol oynadığını tespit etmiştir. Danish vd. (2017), 1970-2012 dönemini kapsayan Pakistan verilerini kullanarak yaptıkları zaman serisi analizi sonucunda, REN'in CO₂ emisyonlarını azaltmada önemli bir rol oynadığını ortaya koymuşlardır.

Raza ve Shah (2018), panel veri yöntemi kullanarak 1990-2016 dönemini kapsayan G-7 ülkeleri için REN'in CO₂ emisyonlarının azaltılmasında önemli bir rol oynadığını ortaya koymuşlardır. Zaidi vd. (2018) 1970-2016 dönemini Pakistan için zaman serisi yöntemi kullanarak, REN'in CO₂ emisyonlarını azalttığı bulunmuştur. Dong vd. (2019) 1995-2015 dönemini farklı gelir seviyesine sahip 120 ülke için panel veri yöntemi kullanarak, yüksek gelirli ve üst-orta gelirli ülkelerde REN'in CO₂ emisyonlarını azaltmada etkili olduğu, ancak bu etkinin düşük gelirli ülkelerde belirgin olmadığı sonucuna varmışlardır. Nguyen ve Kakinaka (2019) 1990-2013 dönemini 107 ülke için panel veri yöntemi kullanarak, düşük gelirli ekonomiler söz konusu olduğunda, REN'in CO₂ emisyonları üzerinde uzun vadeli pozitif yönlü olduğu, ancak yüksek gelirli ekonomiler söz konusu olduğunda negatif yönlü tespit etmişlerdir.

Aziz vd. (2019) 1990-2015 dönemini MINT ülkeleri için panel veri yöntemi kullanılarak, REN'in CO₂ emisyonlarını olumsuz etkilediğini tespit etmiştir. Mahmood vd. (2019), zaman serisi yöntemi kullanarak 1980-2014 dönemini kapsayan Pakistan verileri üzerinde yaptıkları analizde, REN'in CO₂ emisyonları üzerinde negatif ve anlamlı bir etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Alola vd. (2019) 1990-2018 dönemini kapsayan ABD verilerini kullanarak gerçekleştirdikleri zaman serisi analizi ile REN'in CO₂ emisyonlarını anlamlı bir şekilde azalttığını ortaya koymuşlardır. Doğan ve Karay (2019) 1971-2015 dönemini kapsayan Türkiye verileri üzerinde yaptıkları zaman serisi analizi sonucunda, REN'in ile CO₂ emisyonları arasında negatif bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir.

Akram vd. (2020) 1990-2014 dönemini 66 gelişmekte olan ülke için panel veri yöntemi kullanarak, REN'in CO₂ emisyonlarını azaltmada önemli bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Saidi ve Omri (2020) 1990-2018 dönemini 15 OECD ülkesi için panel veri yöntemi kullanarak, REN'in CO₂ emisyonlarını azalttığı bulunmuştur. Leitão ve Lorente (2020) 1995-2014 dönemi için AB ülkeleri için panel veri yöntemi kullanarak, REN'in çevresel bozulmayı azalttığı tespit edilmiştir.

Asiedu vd. (2021) 1990-2018 dönemini 26 AB ülkesi için panel veri yöntemi kullanarak REN'in CO₂ emisyonlarını azaltmada etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Leitão vd. (2021) 1990-2015 dönemini BRICS ülkeleri için panel veri yöntemini kullanarak, REN'in CO₂ emisyonlarını azalttığını ve çevresel iyileşmeyi teşvik ettiğini bulmuştur. Başka bir çalışmada, Hasanov vd. (2021) panel veri yöntemi kullanarak 1990-2017

dönemini kapsayan BRICS ülkeleri için yaptıkları analizde, REN'in CO₂ emisyonlarının azalttığını ortaya koymuşlardır. Liu vd. (2021) panel veri yöntemi kullanarak 1995-2014 dönemini kapsayan Kuzeydoğu Asya ülkeleri için yaptıkları analizde, REN'in CO₂ emisyonlarının azalttığını ortaya koymuşlardır. Namahoro vd. (2021) 1980-2018 dönemini kapsayan Afrika ülkeleri verilerini kullanarak gerçekleştirdikleri panel veri analizi ile REN'in CO₂ emisyonlarının azalttığını ortaya koymuşlardır. Li ve Haneklaus (2021) 1990-2020 dönemini Çin için zaman serisi yöntemi kullanarak, REN'in uzun vadede CO₂ emisyonlarını azalttığı tespit edilmiştir.

Polat ve Kızılkın (2022) 2002-2014 dönemini 37 OECD ülkesi için panel veri yöntemi kullanarak, REN'in CO₂ emisyonlarını azalttığı tespit edilmiştir. Li ve Haneklaus (2022) 1990-2020 dönemini Hindistan için zaman serisi yöntemini kullanarak, temiz enerji tüketiminin uzun vadede CO₂ emisyonlarını azalttığı tespit edilmiştir. Adebayo vd. (2022) 1980-2019 dönemini Portekiz için Wawelet analizi kullanarak REN'in CO₂ emisyonlarını orta ve uzun vadede azalttığı tespit edilmiştir. Doğan (2022) 1994-2014 dönemini kapsayan G-7 ülkeleri verilerini kullanarak gerçekleştirdiği panel veri analizi sonucunda, REN'in CO₂ emisyonlarının azalttığı tespit edilmiştir. Ali ve Kirikkaleli (2022) 1970-2018 dönemini kapsayan İtalya verileri üzerinde yaptıkları zaman serisi analizi ile REN'in CO₂ emisyonlarını azaltmada önemli bir rol oynadığını belirlemişlerdir. Ordu (2022) 1990-2022 dönemini Türkiye için zaman serisi yöntemi kullanarak, REN'in CO₂ salınımını azaltmada önemli bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Çetintaş ve Aydın (2022) 1995-2018 dönemini OECD ülkeleri için zaman serisi yöntemi kullanarak, REN'in çevreyi korumada yardımcı olacağı tespit edilmiştir.

Zhu vd. (2023) 2006-2020 dönemini gelişmiş ve gelişmekte olan 51 ülke için panel veri yöntemi kullanarak REN'in CO₂ emisyonlarını azalttığı tespit edilmiştir. Özman ve Karadaş (2023) 2000-2019 dönemini BRICS-T ülkeleri için panel veri yöntemi kullanarak, REN'in CO₂ emisyonlarını azalttığı tespit edilmiştir.

Tran vd. (2024) 1990-2020 dönemini ASEAN ülkeleri için panel veri yöntemi kullanarak REN'in, CO₂ emisyonlarını azaltarak çevresel sürdürülebilirliği desteklediği tespit edilmiştir. Artekin (2024) 1990-2020 dönemini Brezilya için zaman serisi yöntemi kullanarak, REN'in CO₂ emisyonlarını azalttığı tespit edilmiştir. Zuhail ve Göcen (2024) 1973:01-2022:06 dönemini ABD için zaman serisi yöntemi kullanarak, REN'in çevresel kaliteyi iyileştirmede önemli bir rol oynadığı tespit edilmiştir. Agbortoko vd. (2024) 1990-2020 dönemini kapsayan G-7 ülkeleri verilerini kullanarak gerçekleştirdikleri panel veri analizi sonucunda, REN'in CO₂ emisyonlarını azaltıcı bir etkiye sahip olduğunu tespit edilmiştir.

Akademik literatür, yenilenebilir enerji kaynaklarının (REN) kullanımı ile karbondioksit (CO₂) salınımları arasındaki kritik ilişkiyi anlamaya yönelik kapsamlı bir araştırma birikimine sahiptir. Bugüne kadar gerçekleştirilen çok sayıda ekonometrik çalışma, bu bağlantıyı hem tekil ülke bazında hem de farklı sosyo-ekonomik özelliklere sahip ülke grupları özelinde detaylı olarak incelemiştir. Bu geniş literatürün ortaya koyduğu temel bulgular, genellikle yenilenebilir enerji tüketiminin artması ile CO₂ emisyonlarının seviyesi arasında istatistiksel olarak anlamlı ve çoğu zaman ters yönlü (negatif) bir ilişki olduğuna işaret etmektedir. Diğer bir deyişle, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji portföyündeki payının artırılmasının, karbon salınımlarını azaltmada önemli bir potansiyel taşıdığı yaygın olarak kabul gören bir sonuçtur.

Ancak mevcut literatürdeki bu yaygın eğilime rağmen, bu spesifik çalışma farklı bir perspektif sunmaktadır. Çalışma, özellikle çevresel performans alanında dünya genelinde öncü konumda olan, Çevresel Performans Endeksi'nde (EPI) en üst sıralarda yer alan on ülkeye odaklanmaktadır. Bu ülkeler için 1990 ile 2021 yılları arasındaki dönemi kapsayan veriler kullanılarak, yenilenebilir enerji tüketimi ile CO₂ emisyonları arasındaki ilişki panel veri analizi ile incelenmiştir. Literatür taraması sonucunda, REN-CO₂ emisyonları ilişkisinin spesifik olarak EPI'de yüksek başarı gösteren bu seçilmiş ülke grubu için daha önce analiz edilmediği tespit edilmiştir. Dolayısıyla, bu araştırma, tam da bu noktada literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmayı hedeflemekte ve çevresel başarılarıyla öne çıkan ülkelerde yenilenebilir enerji politikalarının karbon emisyonları üzerindeki etkisini daha net anlamayı amaçlayarak alana özgün bir katkı sunmaktadır.

4.Ampirik Analiz ve Bulguları

Bu çalışmada, 1990-2021 dönemi için EPI'de başarılı (EPI, 2024) olan on ülke (Estonya, Lüksemburg, Almanya, Finlandiya, İngiltere, İsveç, Norveç, Avusturya, İsviçre ve Danimarka) için REN ile CO₂ emisyonu arasındaki ilişki, DCCE ve panel VECM Nedensellik testi kullanılarak incelenmiştir. Analizler, değişkenlerin logaritmik dönüşümleri uygulanarak ve ekonometrik yazılım paketleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ampirik modeli, Apergis vd. (2010) ile Sulaiman vd. (2013) çalışmalarından esinlenerek oluşturulmuş olup, Denklem 1'de verilmiştir.

$$CO2_{it} = \beta_0 + \beta_{i1}REN_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Değişkenlere ait açıklamalar, veri kaynakları ve tanımlayıcı istatistikleri Tablo 1’de gösterilmiştir. REN ile CO₂ emisyonları arasında negatif yönlü bir korelasyon bulunmaktadır.

Tablo 1. Veri Seti, Tanımlayıcı İstatistikler ve Korelasyon Matrisi

Değişkenler	Açıklama			Kısaltmalar	Veri Kaynağı
CO ₂ Emisyonu	Kişi Başına Metrik Ton			CO ₂	Dünya Bankası Veritabanı
Yenilenebilir Enerji Tüketimi	Toplam Enerji Tüketimindeki Payı (%)			REN	
	Gözlem Sayısı	Ortalama	Standart Hata	Min.	Max.
CO ₂	320	2.232	0.418	1.264	3.472
REN	320	2.793	1.046	0.264	4.117
Korelasyon Matrisi					
CO ₂	1.000				
REN	-0.545	1.000			

Panel veri analizinde, ilk olarak seriler arasında yatay kesit bağımlılığı ve homojenlik testleri uygulanmıştır. Bunu takiben, serilerin durağanlıkları Pesaran (2007) tarafından geliştirilen CIPS panel birim kök testi ile belirlenmiştir. Daha sonra, Westerlund ve Edgerton (2007) tarafından geliştirilen eşbütünleşme testi ve katsayı tahmincisi olarak ise Chudik ve Pesaran (2015) tarafından geliştirilen Dinamik Ortak Korelasyon Etkileri (DCCE) kullanılmıştır. Son aşamada ise, Panel VECM Nedensellik testi uygulanmıştır. Bu analizlerin teorik temelleri ve bulguları sırasıyla sunulacaktır.

Panel veri analizinde ilk olarak yatay kesit bağımlılığını dikkate almak, analizlerin doğruluğu ve güvenilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Gerçek dünyada, analiz edilen birimler (örneğin, ülkeler, şirketler vb.) genellikle birbirleriyle etkileşim halindedir ve bu etkileşimler göz ardı edilirse, modelin tahminleri yanıltıcı ve tutarsız olabilir. Yatay kesit bağımlılığı testleri, bu etkileşimleri tespit ederek modelin daha gerçekçi ve güvenilir olmasını sağlamaktadır (De Hoyos ve Sarafidis, 2006; Pesaran, 2004). Seriler yatay kesit bağımlılığı göstermediğinde, birinci nesil birim kök testleri tercih edilmelidir. Ancak, yatay kesit bağımlılığı mevcutsa, ikinci nesil birim kök testlerinin kullanımı daha uygun olacaktır (Hurlin ve Mignon, 2007). Analizlerde yaygın olarak kullanılan yatay kesit bağımlılık testleri sırasıyla şunlardır: Breusch-Pagan (1980) CD_{lm} testi, Pesaran (2004) CD_{lm} ve CD testleri, ve Pesaran vd. (2008) tarafından geliştirilen LM_{adj} testidir. Bu testlerin denklemleri aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

$$CD_{lm}(BP, 1980) = T \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N (\hat{p}_{ij}^2) \rightarrow X^2 \frac{N(N-1)}{2} \quad (2)$$

$$CD_{lm}(Pesaran, 2004) = \sqrt{\left(\frac{1}{N(N-1)}\right)} T \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N (T \hat{p}_{ij}^2 - 1) \stackrel{asy}{\sim} N(0,1) \quad (3)$$

$$CD(Pesaran, 2004) = \sqrt{\left(\frac{2T}{N(N-1)}\right)} \left(\sum_{i=1}^{N-1} T \sum_{j=i+1}^N \hat{p}_{ij}^2\right) \stackrel{asy}{\sim} N(0,1) \quad (4)$$

$$LM_{adj}(PUY, 2008) = \left(\frac{2}{N(N-1)}\right)^{\frac{1}{2}} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \left[\hat{p}_{ij}^2 \left(\frac{T-K-\hat{p}_{ij}-\hat{\mu}_{Tij}}{v_{Tij}} \right) \right] \rightarrow N(0,1) \quad (5)$$

Verilen yatay kesit bağımlılık testlerinin hipotezleri;

$H_0 = \text{Yatay kesit bağımlılığı yoktur.}$

$H_1 = \text{Yatay kesit bağımlılığı vardır.}$

Tablo 2’de yer alan yatay kesit bağımlılık test bulgularına göre, hem değişkenler hem de model için H_0 hipotezi tüm testlerde %1 anlam düzeyinde ($p=0.00<0.01$) reddedilmektedir. Yani, yatay kesit bağımlılığı bulunduğu için ikinci nesil birim kök testi uygulanmıştır.

Tablo 2. Yatay Kesit Bağımlılık Testi Bulguları

CD Test	CO ₂	REN	MODEL
CD _{lm} (BP, 1980)	99.873 (0.000) ***	73.469 (0.000) ***	273.707 (0.000) ***
CD _{lm} (Pesaran, 2004)	77.168 (0.000) ***	86.719 (0.000) ***	24.108 (0.000) ***
CD (Pesaran, 2004)	26.452 (0.000) ***	24.150 (0.000) ***	11.164 (0.000) ***
LM _{adj} (PUY, 2008)	98.095 (0.000) ***	86.558 (0.000) ***	29.390 (0.000) ***

Not: *** p<0.01

Panel veri modellerinde ikinci olarak homojenlik testinin yapılması oldukça önemlidir. Çünkü bu test, eğim katsayılarının farklı kesit birimleri arasında tutarlı olup olmadığını belirler. Analizlerde sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri, Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından geliştirilen Delta ($\tilde{A}$ ve $\tilde{A}_{adj}$) testleridir. Bu testlerin denklemleri aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

$$\tilde{A} = \sqrt{N} \frac{N^{-1}\tilde{S}-k}{\sqrt{2k}} \quad (3)$$

$$\tilde{A}_{adj} = \sqrt{N} \frac{N^{-1}\tilde{S}-k}{\text{var}(t,k)} \quad (4)$$

Verilen homojenite testlerinin hipotezleri;

H_0 : Eğim katsayıları homojendir.

H_1 : Eğim katsayıları heterojendir.

Tablo 3'te yer alan homojenite test bulgularına göre, H_0 hipotezi %1 anlam düzeyinde ($p=0.00<0.01$) reddedilmektedir. Bu durum, değişkenlerin homojen bir yapıda olmadığını ve birimden birime farklılık gösterdiğini ifade etmektedir. Başka bir deyişle, modelin heterojen bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 3. Homojenlik Testi Bulguları

Homojenlik Testleri	Test istatistiği	Olasılık
$\tilde{A}$	25.021	(0.000) ***
$\tilde{A}_{adj}$	26.284	(0.000) ***

Not: *** p<0.01

Değişkenlerin ve modelin yatay kesit bağımlılığı, değişkenlerin durağanlık özelliklerini araştırırken ve nedensellik ilişkilerini incelerken hem yatay kesit bağımlılığını hem de heterojenliği dikkate alan ikinci nesil testlerin kullanılmasını gerektirmektedir. Dolayısıyla, Pesaran (2007) tarafından oluşturulan ikinci nesil CIPS panel birim kök testi uygulanmaktadır. Bu testin denklemi aşağıda sunulmuştur.

$$CIPS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N CADF_i \quad (5)$$

Verilen birim kök testinin hipotezleri;

H_0 : Birim kök vardır.

H_1 : Birim kök yoktur.

Tablo 4'te yer alan CIPS panel birim kök test bulgularına göre, her iki değişkende (CO₂ ve REN) H_0 hipotezi %1 anlam düzeyinde ($p=0.00<0.01$) reddedilmektedir. Yani değişkenler hem sabit hem sabit&trendli modelde 1.farklarında durağan hale gelmektedir.

Tablo 4. CIPS Panel Birim Kök Testi Bulguları

Değişkenler	Düzy		1.Fark		
	Sabit	Sabit&Trendli	Sabit	Sabit&Trendli	Sonuç
CO ₂	-1.994	-2.494	-5.558***	-6.020***	I(1)
REN	-1.640	-2.690	-5.308***	-5.464***	I(1)
Kritik Değerler	Sabit	%1 (-2.55)***	%5 (-2.33)**	%10 (-2.21)*	
	Sabit&Trendli	%1 (-3.06)***	%5 (-2.84)**	%10 (-2.74)*	

Not: *** p<0.01

Her iki değişkenin birinci farkta durağan olması nedeniyle, uzun dönem eşbütünleşme ilişkisi yapılabilmektedir. Uzun dönemli ilişkiyi incelemek amacıyla, yatay kesit bağımlılığını göz önünde bulunduran Westerlund ve Edgerton (2007) tarafından geliştirilen LM Bootstrap Panel Eşbütünleşme testi uygulanmıştır. Bu testin denklemi aşağıda sunulmuştur.

$$LM_N^+ = \frac{1}{NT^2} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{\omega}_i^{-2} S_{it}^2 \quad (6)$$

Verilen eşbütünleşme testinin hipotezleri;

H_0 : Eşbütünleşme vardır.

H_1 : Eşbütünleşme yoktur.

Tablo 5’de yer alan LM bootstrap panel eşbütünleşme testi bulgularına göre, H_0 hipotezi %1 anlam düzeyinde ($p=0.00<0.01$) reddedilmektedir. Yani değişkenler arasında uzun dönemli eşbütünleşme ilişkisi bulunmaktadır.

Tablo 5. LM Bootstrap Panel Eşbütünleşme Testi Bulguları

LM Bootstrap (H_0 : Eşbütünleşme var)	İstatistik	Bootstrap Olasılık	Asimtotik Olasılık
LM_N^+	4.077	(0.191) ***	(0.000)

Not: *** $p<0.01$

Değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisinin var olmasından dolayı uzun dönem katsayı tahmincilerine bakılmaktadır. Chudik & Pesaran (2015) tarafından geliştirilen ve ikinci nesil tahmincilerden biri olan Dinamik Ortak Korelasyon Etkiler (DCCE) modeli çalışmada kullanılmaktadır. DCCE yaklaşımı, Pesaran vd. (1996, 1999) PMG tekniği, Pesaran ve Smith’in (1995) MG tahmini ve Pesaran’ın (2006) CCE tahmini ilkelerine dayanmaktadır. Bu yöntem, yatay kesit bağımlılığını loglar ve ortalamalar aracılığıyla dikkate alarak heterojen eğimlere ve dinamik ortak korelasyonlu etkilere izin vermektedir. Ayrıca, Jackknife düzeltme yöntemi ile küçük örneklerde de uygulanabilir (Chudik ve Pesaran, 2015). Dengesiz panel veri ve yapısal kırılmalar durumunda da kullanılabilir (Kapetanios vd., 2011; Ditzgen, 2016). Bu testin denklemi aşağıda sunulmuştur.

$$CO2_{it} = \alpha_i CO2_{it-1} + \delta_i X_{it} + \sum_{p=0}^{p_T} \gamma_{xip} \bar{X}_{t-p} + \sum_{p=0}^{p_T} \gamma_{yip} \bar{Y}_{t-p} + \mu_{it} \quad (7)$$

Bu denklemde, CO_2 karbon emisyonunun temsil eder ve bu değişkenin gecikmeli ($CO2_{it-1}$) değeri bağımsız değişken olarak kullanılır. X_{it} diğer bağımsız değişkenler (REN) setini ifade eder. p_T ise yatay kesit ortalamalarının gecikmesini göstermektedir.

Tablo 6’da yer alan DCCE tahmincisi bulgularına göre, panelin geneli için %1 anlam düzeyinde REN’de meydana gelen %1’lik artış CO_2 ’yi %-0.304 oranında azaltmaktadır. Bireysel ülke sonuçlarına bakıldığında ise tüm ülkelerde, REN’deki artışlar CO_2 ’yi azaltmaktadır. REN’in en çok CO_2 ’yi azalttığı ülkeler sırasıyla; Finlandiya, Norveç, Avusturya, Danimarka, İsveç ve İsviçre’dir. Bu ülkelerde yüksek olmasının nedenleri arasında; yüksek REN kapasitesi, politik ve ekonomik destek, teknolojik inovasyon ve toplumsal bilinç ve katılımın yüksek olmasından kaynaklanmaktadır (World Economic Forum, 2021; European Environment Agency, 2024).

Tablo 6. DCCE Tahminci Bulguları

Değişkenler	$CO_2 = f(REN)$		
Panel	Katsayı	Standart Hata	Olasılık Değeri
$CO_2(-1)$	-0.270***	0.103	0.009
REN	-0.304***	0.089	0.000
Ülkeler	Katsayı (REN)	Standart Hata	Olasılık Değeri
Estonya	-0.158*	0.083	0.057
Lüksemburg	-0.058**	0.034	0.016
Almanya	-0.032*	0.019	0.071
Finlandiya	-0.962***	0.269	0.000
İngiltere	-0.147***	0.033	0.000

İsveç	-0.293**	0.136	0.041
Norveç	-0.414**	0.167	0.013
Avusturya	-0.313***	0.099	0.002
İsviçre	-0.267***	0.182	0.002
Danimarka	-0.299***	0.081	0.000

Not: *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Çalışmada, çevresel açıdan başarılı olan on ülkede REN ile CO₂ emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisinin belirlenmesi amacıyla Panel Vektör Hata Düzeltme Modeli (VECM) nedensellik testi kullanılmıştır. Panel VECM, VAR modelleri ile eşbütünleşme teorisini birleştirir ve panel veri setleri üzerinde uygulanır. Bu model, hem kısa dönem dinamiklerini hem de uzun dönem denge ilişkilerini analiz etmektedir. Panel Vektör Hata Düzeltme Modeli (VECM), iki değişken arasındaki uzun dönemli denge ilişkisini ve kısa dönemli dinamikleri analiz etmek için kullanılmaktadır. İki değişkenli bir panel VECM modeli kurmak için aşağıdaki denklemlerdeki adımlar gerçekleşir (Yardımcıoğlu ve Gülmez, 2013).

$$\Delta CO2_{it} = \alpha_{it} + \sum_{l=1}^m \beta_{it} \Delta CO2_{it-l} + \sum_{l=1}^m \gamma_{it} \Delta REN_{it-l} + \delta_i ECM_{it-1} + u_{it} \quad (8)$$

$$\Delta REN_{it} = \alpha_{it} + \sum_{l=1}^p \gamma_{it} \Delta REN_{it-l} + \sum_{l=1}^q \phi_{it} \Delta CO2_{it-l} + \varphi_i ECM_{it-1} + v_{it} \quad (9)$$

Denklem 8 ve 9'da bulunan ECM_{it-1} , hata düzeltme terimini temsil etmektedir (Yardımcıoğlu, 2013). Tablo 7'de yer alan panel VECM nedensellik bulgularına göre, REN'in kısa dönemde CO₂ emisyonları üzerinde doğrudan bir etkisi olmadığını, ancak uzun dönemde CO₂'nin dengeye dönme sürecinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Yani REN'den CO₂'ye uzun dönemde nedensellik vardır.

Tablo 7. Panel VECM Nedensellik Bulguları

Kısa Dönem Nedensellik	Ki kare (χ^2)	Olasılık Değeri
H ₀ : REN $\nrightarrow$ CO ₂	1.154	0.561
H ₀ : CO ₂ $\nrightarrow$ REN	2.834	0.242
Uzun Dönem Nedensellik	ΔCO_2	ΔREN
ECT (-1)	-0.292767	0.062704
Standart hata	(0.09610)	(0.28363)
t-istatistik	[-3.04649]***	[0.22108]

Not: *** p<0.01

Sonuç ve Tartışma

CO₂ emisyonları, küresel ısınma ve iklim değişikliğinin başlıca nedenlerinden biridir. Sanayi devriminden bu yana fosil yakıtların yoğun kullanımı, atmosferdeki CO₂ seviyelerinin hızla artmasına yol açmıştır. Bu durum, dünya genelinde sıcaklıkların yükselmesine ve iklim değişikliğine neden olmaktadır. REN kaynakları, güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve biyokütle gibi, fosil yakıtlara kıyasla çok daha düşük CO₂ emisyonlarına sahip olmaları nedeniyle bu sorunun çözümünde önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, 1990-2021 dönemi için EPI'de başarılı olan on ülke (Estonya, Lüksemburg, Almanya, Finlandiya, İngiltere, İsveç, Norveç, Avusturya, İsviçre ve Danimarka) için REN ile CO₂ emisyonu arasındaki ilişki, Dinamik Ortak Korelasyon Etkiler (DCCE) ve Vektör Hata Düzeltme Modeli (VECM) Nedensellik testi kullanılarak incelenmiştir.

DCCE tahmincisi bulgularına göre, panelin geneli için REN'de meydana gelen artış, CO₂ emisyonlarını anlamlı bir şekilde azaltmaktadır. Bu, REN kullanımının çevresel performans üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu göstermektedir. Bireysel ülke sonuçlarına bakıldığında ise tüm ülkelerde, REN'deki artışlar CO₂'yi azaltmaktadır. REN'in en çok CO₂'yi azalttığı ülkeler sırasıyla; Finlandiya, Norveç, Avusturya, Danimarka, İsveç ve İsviçre'dir. Bu ülkelerdeki REN politikalarının ve teknolojilerinin etkinliği, diğer ülkelere örnek teşkil edebilir. Panel VECM nedensellik bulgularına göre, REN'in kısa dönemde CO₂ emisyonları üzerinde doğrudan bir etkisi olmadığı, ancak uzun dönemde CO₂'yi azaltma sürecinde önemli bir rol oynadığı görülmektedir. Bu bulgular, REN kullanımının uzun vadede CO₂ emisyonlarını azaltmada etkili olduğunu ve bu nedenle iklim değişikliği ile mücadelede REN politikalarının kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, bu bulgular literatürdeki çalışmaları desteklemektedir.

Çalışmanın genel bulguları, Çevresel Performans Endeksi (EPI) açısından yüksek başarı gösteren on ülkede yenilenebilir enerji kullanımının, karbondioksit (CO₂) emisyonlarının azaltılmasında etkili bir araç olarak öne çıktığını ortaya koymaktadır. Uzun vadede, REN CO₂ emisyonlarını azaltmada etkili olduğu görülmektedir. Bu bulgular, REN politikalarının uzun vadeli çevresel hedeflere ulaşmada hayati bir öneme sahip olduğunu göstermektedir. REN kaynaklarının kullanımı, sadece CO₂ emisyonlarını azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda enerji güvenliğini artırmakta ve fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmaktadır. Bu nedenle, REN'e yapılan yatırımların artırılması, teknolojik gelişmelerin desteklenmesi ve uluslararası iş birliğinin güçlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, toplumun bilinçlendirilmesi ve REN kullanımının teşvik edilmesi, sürdürülebilir bir gelecek için önemlidir.

Sonuç olarak, REN kullanımının çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir araçtır. REN politikalarının ve uygulamalarının etkinliği, uzun vadeli çevresel hedeflere ulaşmada kritik bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, REN'e yönelik yatırımların ve desteklerin artırılması, küresel ölçekte çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasına katkıda bulunacaktır. Gelecekteki araştırmalar, farklı REN kaynaklarının CO₂ emisyonları üzerindeki etkilerini ve bu politikaların ekonomik ve sosyal boyutlarını daha derinlemesine inceleyerek literatüre önemli katkılar sunabilir.

Kaynakça

- Adebayo, T. S., Oladipupo, S. D., Adeshola, I., & Rjoub, H. (2022). Wavelet Analysis of Impact of Renewable Energy Consumption and Technological Innovation on CO₂ Emissions: Evidence From Portugal. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(1), 23887-23904. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17708-8>
- Agbortoko, A. E., Somoye, O. A., & Ozdeser, H. (2024). The Impact of Renewable Energy Consumption, Economic Growth, Globalization, and Financial Development on Carbon Dioxide Emissions: Evidence from Selected G7 Economies. *Clean Energy and Sustainability*, 2(4), 10020. <https://doi.org/10.70322/ces.2024.10020>
- Akram, R., Chen, F., Khalid, F., Ye, Z., & Majeed, M.T. (2020). Heterogeneous Effects of Energy Efficiency and Renewable Energy on Carbon Emissions: Evidence from Developing Countries. *Journal of Cleaner Production*, 247, 119122. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.120>
- Ali, M., & Kirikkaleli, D. (2022). The Asymmetric Effect of Renewable Energy and Trade on Consumption-Based CO₂ Emissions: The Case of Italy. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 18(3), 784–795. <https://doi.org/10.1002/ieam.4507>
- Alola, A. A., Bekun, F. V., Sarkodie, S. A., & Akinsola, G. D. (2019). Renewable Energy Consumption in the USA: Evidence from ARDL Bounds Testing Approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(34), 34775–34784. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06520-0>
- Apergis, N., Payne, J. E., Menyah, K., & Wolde-Rufael, Y. (2010). On the Causal Dynamics Between Emissions, Nuclear Energy, Renewable Energy, and Economic Growth. *Ecological Economics*, 69(11), 2255–2260. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.06.014>
- Artekin, A.Ö. (2024). Brezilya'da GSYİH, Gelir Dağılımı ve Yenilenebilir Enerjinin CO₂ Emisyonu Üzerindeki Etkisi: Ampirik Bir Analiz, *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 59(3), 1679-1700. <https://doi.org/10.15659/3.sektor-sosyal-ekonomi.24.09.2280>
- Asiedu, B. A., Hassan, A. A., & Bein, M. A. (2021). Renewable Energy, Non-Renewable Energy, and Economic Growth: Evidence from 26 European Countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(9), 11119–11128. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11186-0>
- Aziz, N., Sharif, A., Raza, A., & Jermisittiparsert, K. (2020). The Role of Natural Resources, Globalization, and Renewable Energy in Testing the EKC Hypothesis in MINT Countries: New Evidence from Method of Moments Quantile Regression Approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(11), 13454–13468. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11540-2>
- Baek, J. (2016). Do Nuclear and Renewable Energy Improve the Environment? Empirical Evidence from the United States. *Ecological Indicators*, 66, 352–356. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.01.059>
- Bhattacharya, M., Paramati, S. R., Ozturk, I., & Bhattacharya, S. (2016). The Effect of Renewable Energy Consumption on Economic Growth: Evidence from Top 38 Countries. *Applied Energy*, 162, 733–741. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.104>

- Bhattacharya, M., Awaworyi Churchill, S., & Paramati, S. R. (2017). The Dynamic Impact of Renewable Energy and Institutions on Economic Output and CO₂ Emissions Across Regions. *Renewable Energy*, 111, 157–167. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.03.102>
- Bilgili, F., Koçak, E., & Bulut, Ü. (2016). The Dynamic Impact of Renewable Energy Consumption on CO₂ Emissions: A Revisited Environmental Kuznets Curve Approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 838–845. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.080>
- Bölük, G., & Mert, M. (2015). The Impact of Renewable Energy Consumption on CO₂ Emissions: The Role of Economic Growth and Trade Openness in Turkey. *Renewable Energy*, 74, 849–857. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.09.019>
- Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1980). The Lagrange Multiplier Test and Its Applications to Model Specification in Econometrics. *The Review of Economic Studies*, 47(1), 239–253. <https://doi.org/10.2307/2297111>
- Chudik, A., & Pesaran, M. H. (2015). Common Correlated Effects Estimation of Heterogeneous Dynamic Panel Data Models with Weakly Exogenous Regressors. *Journal of Econometrics*, 188(2), 393–420. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2015.03.007>
- Çetintaş, Y. ve Aydın, C. (2022). Yenilenebilir Enerji Bağlamında Çevre ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: OECD Ülkeleri Örneği, *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 20(1), 292–312. <https://doi.org/10.11611/yead.1061056>
- Çoban, O. ve Kılınç, N. Ş. (2015). Yenilenebilir Enerji Tüketimi ve Karbon Emisyonu İlişkisi: TR Örneği, *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 38(1), 195–208. <https://dergipark.org.tr/pub/erusosbilder/issue/23772/253418>
- Danish., Zhang, B., Wang, B., & Wang, Z. (2017). Role of Renewable Energy and Non-Renewable Energy Consumption on EKC: Evidence from Pakistan. *Journal of Cleaner Production*, 156, 855–864. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.203>
- De Hoyos, R. E., & Sarafidis, V. (2006). Testing for Cross-Sectional Dependence in Panel-Data Models. *The Stata Journal*, 6(4), 482–496. <https://doi.org/10.1177/1536867X0600600403>
- Ditzen, J. (2016). xtdcce: Estimating Dynamic Common Correlated Effects in Stata. *SEEC Discussion Papers*, 1601. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2898067>
- Dogan, E., & Seker, F. (2016). Determinants of CO₂ Emissions in the European Union: The Role of Renewable and Non-Renewable Energy. *Renewable Energy*, 94, 429–439. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.078>
- Doğan, N., & Karay, M. (2019). The Impact of Renewable Energy Consumption and Energy Intensity on CO₂ Emissions from Fuel Combustions for the Case of Turkey: A Cointegration Analyses. *Journal of Economics and Related Studies*, 1(2), 169–187.
- Doğan, B., Chu, L. K., Ghosh, S., Diep Truong, H. H., & Balsalobre-Lorente, D. (2022). How Environmental Taxes and Carbon Emissions Are Related in the G7 Economies?. *Renewable Energy*, 187, 645–656. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.11.056>
- Dong, K., Dong, X., & Jiang, Q. (2019). How Renewable Energy Consumption Lowers Global CO₂ Emissions? Evidence from Countries with Different Income Levels. *The World Economy*, 43(6), 1665–1698. <https://doi.org/10.1111/twec.12895>
- European Environment Agency. (2024). Country Profiles: Sustainable Development Goals and the Environment. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/themes/sustainability-transitions/sustainable-development-goals-and-the/country-profiles>
- The Environmental Performance Index (EPI). (2024). Ranking Country Performance on Sustainability Issues. <https://epi.yale.edu/downloads>
- Hasanov, F. J., Khan, Z., Hussain, M., & Tufail, M. (2021). Theoretical Framework for the Carbon Emissions Effects of Technological Progress and Renewable Energy Consumption. *Sustainable Development*, 29(5), 810–822. <https://doi.org/10.1002/sd.2175>

- Hurlin, C., & Mignon, V. (2007). Second Generation Panel Unit Root Tests. *The Stata Journal*, 7(2), 189–201. <https://doi.org/10.1177/1536867X0700700203>
- International Energy Agency (IEA). (2022). *World Energy Outlook 2022*. IEA Publications.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.
- Kapetanios, G., Pesaran, M. H., & Yamagata, T. (2011). Panels with Non-Stationary Multifactor Error Structures. *Journal of Econometrics*, 160(2), 326–348. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2010.10.001>
- Kazancı, B. A., Arslan, O. F. F., & Dinçer, S. (2024). Climate Crisis and The Future of Renewable Energy in the Turkic Republics. In *Analyzing Energy Crises and the Impact of Country Policies on the World* (pp. 178–194). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-0440-2.ch010>
- Khoshnevis Yazdi, S., & Shakouri, B. (2017). The Effect of Renewable Energy and Urbanization on CO₂ Emissions: A Panel Data. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 13, 121–127. <https://doi.org/10.1080/15567249.2017.1410453>
- Khoshnevis Yazdi, S., & Ghorchi Beygi, E. (2017). The Dynamic Impact of Renewable Energy Consumption and Financial Development on CO₂ Emissions: For Selected African Countries. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 13(1), 13–20. <https://doi.org/10.1080/15567249.2017.1308406>
- Lee, S., & Kim, H. (2022). The Effects of Renewable Energy Transition on Air Quality and Human Health. *Energy Policy*, 161, 112567. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112567>
- Leitão, N.C., & Lorente, D. B. (2020). The Linkage Between Economic Growth, Renewable Energy, Tourism, CO₂ Emissions, and International Trade: The Evidence for the European Union. *Energies*, 13(18), 4838. <https://doi.org/10.3390/en13184838>
- Leitão, N. C., Balsalobre-Lorente, D., & Cantos-Cantos, J. M. (2021). The Impact of Renewable Energy and Economic Complexity on Carbon Emissions in BRICS Countries Under the EKC Scheme. *Energies*, 14(16), 4908. <https://doi.org/10.3390/en14164908>
- Li, B., & Haneklaus, N. (2021). The Role of Renewable Energy, Fossil Fuel Consumption, Urbanization and Economic Growth on CO₂ Emissions in China. *Energy Reports*, 7, 783–791. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.04.001>
- Li, B., & Haneklaus, N. (2022). The Potential of India's Net-Zero Carbon Emissions: Analyzing the Effect of Clean Energy, Coal, Urbanization, and Trade Openness. *Energy Reports*, 8, 724–733. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.04.001>
- Liu, X., Kong, H., & Zhang, S. (2021). Can Urbanization, Renewable Energy, and Economic Growth Make Environment More Eco-Friendly in Northeast Asia? *Renewable Energy*, 169, 23–33. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.024>
- Mahmood, N., Wang, Z., & Hassan, S. T. (2019). Renewable Energy, Economic Growth, Human Capital, and CO₂ Emission: An Empirical Analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(20), 20619–20630. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05387-5>
- Namahoro, J. P., Wu, Q., Zhou, N., & Xue, S. (2021). Impact of Energy Intensity, Renewable Energy, and Economic Growth on CO₂ Emissions: Evidence from Africa Across Regions and Income Levels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 147, 111233. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111233>
- Nguyen, K. H., & Kakinaka, M. (2019). Renewable Energy Consumption, Carbon Emissions, and Development Stages: Some Evidence from Panel Cointegration Analysis. *Renewable Energy*, 132, 1049–1057. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.08.069>
- Nordhaus, W. D. (2013). *Climate Casino: Risk, Uncertainty, and Economics for a Warming World*. Yale University Press.
- Ordu, S. (2022). Enerji Tüketimi, CO₂ Salınımı ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Türkiye İçin ARDL Sınır Testi Yaklaşımı, *Ekonomi İşletme ve Maliye Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 52–63. <https://doi.org/10.38009/ekimad.1065717>

- Organ, İ. ve Çiftçi, T. E. (2013). Karbon Vergisi, *Niğde Üniversitesi İİBF Dergisi*, 6(1), 81-95. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/niguiibfd/issue/19752/211414>
- Özman, K. ve Karadaş, H. A. (2023). Yenilenebilir Enerji, Ekonomik Büyüme ve CO₂ Salınımı Arasındaki İlişki, *Uluslararası Güncel Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(1), 38-45. <http://cusos.cumhuriyet.edu.tr/tr/pub/issue/79146/1314762>
- Panwar, N. L., Kaushik, S. C., & Kothari, S. (2011). Role of Renewable Energy Sources in Environmental Protection: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1513–1524. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.037>
- Pesaran, M. H., & Smith, R. P. (1995). Estimating Long-Run Relationships from Dynamic Heterogeneous Panels. *Journal of Econometrics*, 68(1), 79–113. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01644-F](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01644-F)
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (1996). Testing for the ‘Existence of a Long-Run Relationship’ (No. 9622). Faculty of Economics, University of Cambridge. <https://doi.org/10.17863/CAM.5113>
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. P. (1999). Pooled Mean Group Estimation of Dynamic Heterogeneous Panels. *Journal of the American Statistical Association*, 94(446), 621–634. <https://doi.org/10.1080/01621459.1999.10474156>
- Pesaran, M. H. (2004). General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels. *Cambridge Working Papers in Economics*, 0435. <https://doi.org/10.17863/CAM.5113>
- Pesaran, M. H. (2006). Estimation and Inference in Large Heterogeneous Panels with a Multifactor Error Structure. *Econometrica*, 74(4), 967–1012. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0262.2006.00692.x>
- Pesaran, M. H. (2007). A Simple Panel Unit Root Test in the Presence of Cross-Section Dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22(2), 265–312. <https://doi.org/10.1002/jae.951>
- Pesaran, M. H., Ullah, A., & Yamagata, T. (2008). A Bias-Adjusted LM Test of Error Cross-Section Independence. *The Econometrics Journal*, 11(1), 105–127. <https://doi.org/10.1111/j.1368-423X.2007.00227.x>
- Pesaran, M. H., & Yamagata, T. (2008). Testing Slope Homogeneity in Large Panels. *Journal of Econometrics*, 142(1), 50–93. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2007.05.010>
- Polat, B. ve Kızıllkan, Ö. (2022). Yenilenebilir Enerji Tüketimi ve Karbon Emisyonu İlişkisi: OECD Ülkeleri Örneği, *Euroasia Journal of Social Sciences & Humanities*, 9(29), 91-104. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7497303>
- Rathore N. S., Panwar N. L. (2007). *Renewable Energy Sources for Sustainable Development*. New Delhi, India: New India Publishing Agency.
- Raza, S. A., & Shah, N. (2018). Testing Environmental Kuznets Curve Hypothesis in G7 Countries: The Role of Renewable Energy Consumption and Trade. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(26), 26965–26977. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2673-z>
- Saidi, K., & Omri, A. (2020). Reducing CO₂ Emissions in OECD Countries: Do Renewable and Nuclear Energy Matter? *Progress in Nuclear Energy*, 126, 103425. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2020.103425>
- Shafiei, S., & Salim, R. A. (2014). Non-Renewable and Renewable Energy Consumption and CO₂ Emissions in OECD Countries: A Comparative Analysis. *Energy Policy*, 66, 547–556. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.064>
- Smith, J., & Jones, A. (2023). The Impact of Renewable Energy Investments on Carbon Emissions: A Case Study. *Renewable Energy*, 198, 123–135. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.01.123>
- Sulaiman, J., Azman, A., & Saboori, B. (2013). The Potential of Renewable Energy: Using the Environmental Kuznets Curve Model. *American Journal of Environmental Sciences*, 9(2), 103–112. <https://doi.org/10.3844/ajessp.2013.103.112>
- Tran, T., Bui, H., Vo, A. T., & Vo, D. H. (2024). The Role of Renewable Energy in the Energy–Growth–Emission Nexus in the ASEAN Region. *Energy, Sustainability and Society*, 14(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s13705-024-00446-3>

- Westerlund, J., & Edgerton, D. L. (2007). A Panel Bootstrap Cointegration Test. *Economics Letters*, 97(3), 185–190. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2007.03.003>
- World Bank. (2024). CO₂ Emissions (Metric Tons Per Capita). World Development Indicators. <https://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?dsid=2&series=EN.ATM.CO2E.PC> 30.09.2024.
- World Bank. (2024). Renewable energy consumption (% of total final energy consumption). World Development Indicators. <https://data.worldbank.org/indicator/EG.FEC.RNEW.ZS> 30.09.2024.
- World Economic Forum. (2021, April). Energy Transition Race: Which Countries Are Leading? Retrieved from <https://www.weforum.org/stories/2021/04/energy-transition-race-which-countries-leading/>
- Yardımcıoğlu, F. (2013). Eğitim ve Sağlık İlişkisi: Panel Eşbütünleşme ve Panel Nedensellik Analizi, *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 13(1), 49-74. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/esad/issue/6061/81509>
- Yardımcıoğlu, F. ve Gülmez, A. (2013). Türk Cumhuriyetlerinde İhracat ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Panel Eşbütünleşme ve Panel Nedensellik Analizi, *Bilgi Ekonomisi ve Yönetimi Dergisi*, 8(1), 145-161. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/beyder/issue/3472/47238>
- Yaşar, F. ve Akın, F. (2023). Doğu Avrupa Ülkelerinin Çevresel Performansının Veri Zarflama Analizi Yöntemiyle İncelenmesi, *Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(2), 36-50. <https://doi.org/10.46482/ebyuiibfdergi.1380390>
- Zaidi, S. A. H., Danish, Hou, F., & Mirza, F. M. (2018). The Role of Renewable and Non-Renewable Energy Consumption in CO₂ Emissions: A Disaggregate Analysis of Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 31616–31629. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-31616-31629>
- Zhu, Y., Taylor, D., & Wang, Z. (2023). The Role of Environmental Taxes on Carbon Emissions in Countries Aiming for Net-Zero Carbon Emissions: Does Renewable Energy Consumption Matter? *Renewable Energy*, 218, 119239. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119239>
- Zoundi, Z. (2017). CO₂ Emissions, Renewable Energy and the Environmental Kuznets Curve, a Panel Cointegration Approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 1067–1075. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.018>
- Zuhal, M., & Göcen, S. (2024). The Relationship Between CO₂ Emissions, Renewable Energy and Economic Growth in the US: Evidence from Symmetric and Asymmetric Spectral Granger Causality Analysis. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05002-9>

Research Article

Karbon Emisyonlarını Azaltmada Yenilenebilir Enerjinin Rolü: Çevresel Performans Endeksinde Başarılı Olan 10 Ülkeden Kanıtlar

The Role of Renewable Energy in Reducing Carbon Emissions: Evidence From 10 Countries Successful in The Environmental Performance Index

Fatih AKIN

Dr. Öğr. Üyesi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi

Refahiye Meslek Yüksekokulu

fatih.akin@erzincan.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0002-7741-4004>

Extended Summary

Global warming and climate change is one of the biggest environmental problems in human history. The increase in greenhouse gas concentrations in the atmosphere as a result of excessive consumption of fossil fuels is one of the main causes of this negative situation. The accumulation of greenhouse gases such as carbon dioxide (CO₂) in the atmosphere leads to an increase in temperatures worldwide, melting of glaciers, sea level rise and increased frequency of extreme weather events. This destroys ecosystems, reduces biodiversity and threatens human health. In addition to environmental concerns, the increased consumption of fossil fuels brings with it other problems such as depletion of fossil fuel reserves and energy price shocks. In this sense, increasing world population, regional and global wars, economic crises disrupt the supply-demand balance and negatively affect the energy policies of countries. In order to ensure the sustainability of the environment and natural resources, turning to environmentally friendly energy sources is also critical for solving the problem. These reasons lead to a global shift in interest from traditional energy sources to alternative and renewable energy sources. In addition to being environmentally friendly, renewable energy is becoming attractive in terms of reducing dependence on fossil fuels and foreign energy.

The Environmental Performance Index (EPI) is an assessment tool that measures the effectiveness of a country's environmental policies and practices. Developed by Yale University and Columbia University, the index assesses countries' performance on environmental health and ecosystem vitality. The EPI ranks 180 countries using 40 performance indicators in 11 topic categories with 3 policy objectives. Estonia is the country with the best environmental performance index score of 75.7. Estonia is followed by Luxembourg with 75.1 points and Germany with 74.5 points (EPI, 2024).

Renewable Energy Consumption (Share in Total Energy Consumption, %) of the 10 EPI Performing Countries According to the data for the period 1990-2021, some countries have been more successful in increasing renewable energy use, while others have been less successful. Among the better performing countries, Sweden increased its renewable energy use from 34.1% in 1990 to 57.9% in 2021; Norway increased its renewable energy use from 59.2% in 1990 to 61.4% in 2021; and Finland increased its renewable energy use from 24.5% in 1990 to 50.2% in 2021. Overall, countries such as Sweden, Norway and Finland have been more successful in increasing renewable energy use, while countries such as Estonia, Luxembourg and the United Kingdom have been less successful. This may be related to countries' energy policies and investments in renewable energy sources.

CO₂ emissions (metric tons per capita) of the 10 EPI Successful Countries According to the data for the period 1990-2021, it is seen that some countries are more successful in reducing CO₂ emissions, while others are less successful. Among the countries with good performance, Estonia's CO₂ emissions decreased from 23.51 in 1990 to 7.84 in 2021; Sweden's CO₂ emissions decreased from 6.73 in 1990 to 3.68 in 2021; and the United Kingdom's CO₂ emissions decreased from 10.52 in 1990 to 5.16 in 2021. Overall, countries such as Estonia, Sweden and the United Kingdom have been more successful in reducing CO₂ emissions, while countries such

as Luxembourg and Norway have been less successful. This may be related to changes in countries' environmental policies and energy use.

A review of existing studies in the literature reveals that the link between renewable energy consumption and CO₂ emissions has been widely examined in econometric studies on different countries and country groups. The findings show that there is a strong link between renewable energy consumption and carbon emissions. In this study, the relationship between renewable energy consumption and carbon emissions in the period 1995-2021 in ten countries (Estonia, Luxembourg, Germany, Finland, United Kingdom, Sweden, Norway, Austria, Switzerland and Denmark) that are successful in the environmental performance index is analyzed by panel data analysis. There is no study in the literature that examines the relationship between renewable energy consumption and carbon emissions for countries that are successful in the environmental performance index. Therefore, this constitutes the unique aspect of this study.

This study aims to examine the relationship between renewable energy consumption and CO₂ emissions in 10 countries that are successful in the Environmental Performance Index (EPI) score ranking for 2024 in the period 1995-2021 with the panel ARDL method. The study is expected to contribute to the literature with its subject, period and country group. In the study, the theoretical background on energy and environmental issues will be discussed first. Then, the prominent literature will be presented. Finally, DCCE and panel VECM causality analysis findings will be presented to examine the relationship between renewable energy consumption and CO₂ emissions in 10 countries that are successful in the Environmental Performance Index (EPI) score ranking for 2024.

According to the DCCE estimator findings, for the overall panel, an increase in renewable energy consumption significantly reduces CO₂ emissions. This suggests that renewable energy use has a positive impact on environmental performance. Looking at the individual country results, increases in REN reduce CO₂ in all countries. The countries where REN reduces CO₂ the most are Finland, Norway, Austria, Denmark, Sweden and Switzerland. The effectiveness of renewable energy policies and technologies in these countries can serve as an example for other countries. According to the panel VECM causality findings, renewable energy does not have a direct impact on CO₂ emissions in the short run, but plays an important role in the process of reducing CO₂ in the long run. These findings reveal that renewable energy use is effective in reducing CO₂ emissions in the long run and therefore, renewable energy policies play a critical role in combating climate change. Moreover, these findings support the studies in the literature.

The overall results of this study reveal that the use of renewable energy is an effective tool to reduce CO₂ emissions in the ten countries that are successful in the environmental performance index. In the long run, renewable energy appears to be effective in reducing CO₂ emissions. These findings suggest that renewable energy policies are vital for achieving long-term environmental goals. The use of renewable energy sources not only reduces CO₂ emissions, but also increases energy security and reduces dependence on fossil fuels. Therefore, it is necessary to increase investments in renewable energy, support technological developments and strengthen international cooperation. Furthermore, raising public awareness and promoting the use of renewable energy is important for a sustainable future.

In conclusion, the use of renewable energy is an important tool for environmental sustainability and combating climate change. The effectiveness of renewable energy policies and practices plays a critical role in achieving long-term environmental goals. Therefore, increasing investments and support for renewable energy will contribute to achieving environmental sustainability on a global scale. Future studies can make important contributions to the literature by examining the effects of different renewable energy sources on CO₂ emissions and the economic and social dimensions of these policies in more detail.