

Ar-Ge ve İnovasyonun Yenilenebilir Enerji Üretimi Üzerindeki Etkisi: Panel Veri Analizi

(Araştırma Makalesi)

The Effect of R&D and Innovation on Renewable Energy Production: Panel Data Analysis

Doi: 10.29023/alanyaakademik.867232

Efe Can KILINÇ

Dr. Öğr. Üyesi Kırıkkale Üniversitesi, İİBF, Ekonometri Bölümü

efecankilinc@kku.edu.tr

Orcid No: 0000-0002-3139-0684

Nazan ŞAHBAZ KILINÇ

Dr. Öğr. Üyesi Kırıkkale Üniversitesi, İİBF, İktisat Bölümü

nkilinc@kku.edu.tr

Orcid No: 0000-0003-1956-3965

Bu makaleye atıfta bulunmak için: Kılınç, E. C. & Şahbaz Kılınç, N. (2021). "Ar-Ge ve İnovasyonun Yenilenebilir Enerji Üretimi Üzerindeki Etkisi: Panel Veri Analizi". *Alanya Akademik Bakış*, 5(2), Sayfa No.1087-1105.

ÖZET

Anahtar kelimeler:

Ar-Ge Harcamaları,
Yenilenebilir Enerji,
Panel Veri Analizi

Makale Geliş Tarihi:

23.01.2021

Kabul Tarihi:

25.03.2021

Küresel iklim değişimi ve sera gazı salınımları gibi çevre üzerinde derin tahribata yol açan etkenlerin olumsuz etkilerinin azaltılabilmesi için güneş, rüzgâr, jeotermal, hidroelektrik, biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının üretiminin artırılması ve kullanım alanlarının yaygınlaştırılması gerekmektedir. Bu süreçte Ar-Ge faaliyetleri ile inovasyon çabaları; üretim ve sermaye maliyetlerini düşürerek, teknolojik bilgi gelişimini sağlayarak, verimliliği ve performansı artırarak yenilenebilir enerji üretimine önemli katkılar vermektedir. Bu çalışma, seçilmiş ülkelerde, 2003-2019 dönemi kapsamında enerji Ar-Ge harcamalarının ve inovasyonun yenilenebilir enerji üretimi üzerindeki etkilerine yönelik ampirik kanıtlar ortaya koymaktadır. Yenilenebilir enerji üretimi ile inovasyon ve enerji Ar-Ge harcamaları ilişkisini araştırırken bu çalışmada panel veri yöntemleri (Panel ARDL ve Emirmahmutoğlu ve Köse, 2011 nedensellik testi) kullanılmaktadır. Panel ARDL yönteminden elde edilen ampirik bulgular, uzun dönemde Ar-Ge ve demonstrasyon harcamaları ile inovasyonun göstergesi olan patent başvuru sayısında meydana gelecek %1'lik bir artışın yenilenebilir enerji üretimini sırasıyla %0.23 ve %0.42 oranlarında artıracakını göstermiştir. Emirmahmutoğlu ve Köse (2011) nedensellik testine göre, enerji Ar-Ge harcamalarından yenilenebilir enerji üretimine doğru nedenselliğin olduğu ülkeler; Avustralya, Fransa, Macaristan, Japonya, Güney Kore, Norveç, Portekiz, İspanya ve ABD iken, patent başvurularından yenilenebilir enerji üretimine doğru nedenselliğin olduğu ülkeler ise Avusturya, Finlandiya, Fransa, Almanya, İrlanda, Hollanda, Norveç, Slovakya, İsveç ve İsviçre'dir.

ABSTRACT**Keywords:**

Menu,
Meta Synthesis,
Restaurants,
Local Dishes

It is necessary to increase the production of renewable energy sources such as solar, wind, geothermal, hydroelectric, and biomass and to expand their usage areas in order to reduce the negative effects of factors that cause deep damage to the environment such as global climate change and greenhouse gas emissions. In this process, R&D activities and innovation efforts; it contributes significantly to renewable energy production by reducing production and capital costs, providing technological knowledge development, increasing efficiency and performance. This study provides empirical evidence for the effects of energy R&D expenditures and innovation on renewable energy generation in selected countries for the period 2003-2019. Panel data methods (Panel ARDL and Emirmahmutoğlu & Köse, 2011 causality test) are used in this study while investigating the relationship between renewable energy production and innovation and energy R&D expenditures. The empirical findings obtained from the Panel ARDL method have shown that a 1% increase in energy R&D and demonstration expenditures and the number of patent applications, which is an indicator of innovation, will increase renewable energy generation by 0.23% and 0.42%, respectively. According to Emirmahmutoğlu and Köse (2011) causality test, countries with causality from energy R&D expenditures to renewable energy generation; Australia, France, Hungary, Japan, South Korea, Norway, Portugal, Spain and the USA, while the countries with causality from patent applications to renewable energy generation are Austria, Finland, France, Germany, Ireland, Netherlands, Norway, Slovakia, Sweden and Switzerland.

1.GİRİŞ

Son yıllarda; küresel iklim değişiklikleri, enerji arzında yaşanan problemler, enerji girdilerinin maliyetlerinin artması, çevre ile ilgili hassasiyetlerin gündeme gelmesi, sera gazı salınımları nedeniyle hava kalitesinin bozulması ve en nihayetinde bunların bir toplamı olarak insanlığın çevre üzerindeki baskısının giderek yükselmesi, ülkeleri alternatif enerji kaynaklarını üretmeye ve kullanım alanlarını yaygınlaştırmaya teşvik etmiştir. Kömür ve petrol gibi fosil yakıtlar ile karşılaştırıldığında, yenilenebilir enerji kaynaklarının çevre dostu olmaları kendilerine verilen önemin artmasını da beraberinde getirmiştir. Bu gelişmelere paralel olarak 2050 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji arzının üçte ikisini oluşturacağını tahmin edilmektedir (IRENA, 2018: 23).

Bilindiği gibi, sera gazı emisyonları küresel ısınmanın ana aktörlerinden birisi olarak değerlendirilmektedir. Sera gazı emisyonlarının ve buna bağlı olarak küresel sıcaklık artışının azaltılabilmesi için 1992 yılında Birleşmiş Milletler öncülüğünde imzalanan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve bu sözleşme kapsamında sırasıyla 1997 ve 2015 yıllarında imzalanan Kyoto Protokolü ile Paris İklim Antlaşması gibi inisiyatifler devreye alınmıştır. Kyoto protokolüne imza atan ülkeler, 2008-2012 döneminde sera gazı emisyonlarını en azından %5, 2013-2020 döneminde ise ilave olarak %18 oranında azaltmayı taahhüt etmişlerdir. 195 ülkenin katılımcı olduğu Paris İklim Konferansında ise küresel sıcaklık artışının 2 derecenin altında tutulması planlanmıştır (Paramati, vd., 2020: 1). IRENA tarafından 2018 yılında yayınlanan bir raporda küresel sıcaklık artışının 2 derece ile sınırlandırılabilmesi için sera gazı emisyonlarının 2050 yılına kadar 470 milyar ton (Gt) daha

azaltılması gerektiği ifade edilmektedir. Raporda yer alan analizlerde, yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimi ile kullanımının yanı sıra enerji verimliliklerinin artması neticesinde enerji ile ilgili CO₂ emisyonlarında gerekli olan %90'dan fazla azalmanın sağlanabileceği ortaya koyulmuştur. Şüphesiz, sera gazı emisyonlarının azaltılmasının yollarından birisi de yenilenebilir enerji kaynaklarının üretiminin ve kullanımının artırılmasıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının üretiminin artırılarak daha yaygın hale gelmesinde ise enerji Ar-Ge harcamaları ile inovatif teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır. Enerji Ar-Ge harcamaları ile inovatif teknolojiler sayesinde; enerji verimliliğinin artırılması, üretim maliyetlerinin düşürülmesi, enerji güvenliğinin sağlanması, enerji ile ilgili hammadde gereksiniminin azaltılması ve en önemlisi de yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili teknolojik bilgi gelişiminin sağlanması mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada, enerji alanında yapılan Ar-Ge harcamaları ile bu alanda yürütülen inovasyon çabalarının yenilenebilir enerji üretimine olan etkileri analiz edilmektedir. Bu çerçevede çalışmada sırasıyla; yenilenebilir enerjinin Ar-Ge harcamaları ve inovasyon ile olan bağlantılarına, bu bağlantıyı konu edinen uygulamalı çalışmaların özetine ve bu bağlantıya yönelik ekonometrik analizlere yer verilmektedir.

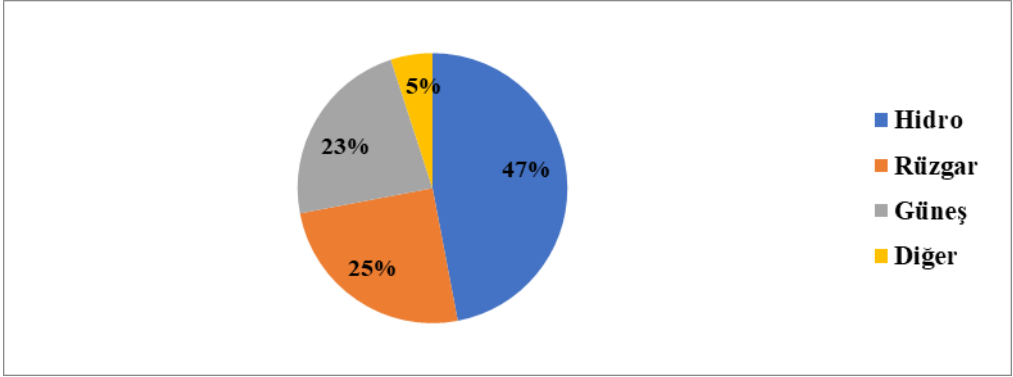
2. YENİLENEBİLİR ENERJİ, AR-GE HARCAMALARI VE İNOVASYON

Petrol fiyatlarındaki oynaklıklar, enerji kaynaklarının fiyatının sürekli artması, fosil yakıtların aşırı kullanımından kaynaklanan küresel iklim değişikliği ve sera gazı salınımlarının kontrol edilemeyen boyutlara ulaşması, bunlara tepki olarak toplumda çevre bilincinin artması, enerji sistemlerinin etkin bir şekilde yönetilmesi ihtiyacını gündeme getirmektedir. Bu noktada enerji sistemlerinin etkin bir şekilde yönetilebilmesi için; enerjide verimliliğin sağlanması, enerji tasarrufunun artırılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması olmak üzere 3 yönetime başvurulmaktadır (Emodi, vd., 2015: 889; Rexhäuser ve Löschel, 2015: 1).

Yenilenebilir enerji, sadece iklim değişimini önlemek değil aynı zamanda enerji güvenliğini geliştirmek, karbon salınımlarını ve yerel hava kirliliğini azaltmak, enerji bağımsızlığını artırmak ve istihdam sağlamak için politika yapımcılarının takip ettikleri ve destekledikleri bir enerji biçimi haline gelmiştir (Stadelmann ve Castro, 2014: 1; Marques ve Fuinhas, 2012: 109). Birleşmiş Milletler tarafından yayınlanan 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Rehberi'nde, sürdürülebilir kalkınma ile ilgili hedefler belirlenmiştir. Bu hedeflerden birisi de "yenilenebilir enerjinin küresel enerji karışımındaki payının artması ve küresel enerji verimliliğinin ikiye katlanması" şeklindedir (Hille, vd., 2020: 1). Bu hedeflere ulaşmayı sağlayacak şekilde son yıllarda yenilenebilir enerji üretiminin toplam enerji kaynakları üretimi, yenilenebilir enerji tüketiminin de nihai enerji tüketimi içerisindeki payı giderek artmaktadır. Nitekim; dünya genelinde birincil enerji içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı 1965 yılında %6.04 iken, 2019 yılında %11.41'e yükselmiştir. Türkiye'de bu oran, aynı dönemde %6.96'dan %18.47'ye çıkmıştır (BP, 2020). IEA (2021a)'ye göre, dünyada modern yenilenebilir enerji kaynaklarının nihai enerji tüketimi içerisindeki payı 1990 yılında %6.6 iken, 2017 yılında %10.5'e yükselmiştir. AB-27 grubunda ise 2019 yılında yenilenebilir enerji kaynakları tüketiminin toplam enerji tüketimi içerisindeki payı %19.7 olmuştur (EUROSTAT, 2021). 2018 yılı itibarıyla yenilenebilir enerjinin küresel elektrik üretimindeki payı ise %26'dır (IEA, 2021b).

Şekil 1'de dünya genelinde 2019 yılında kaynaklarına göre yenilenebilir enerji üretiminin payları gösterilmektedir. Yenilenebilir enerji üretimi içerisinde en yüksek paya sahip kaynak

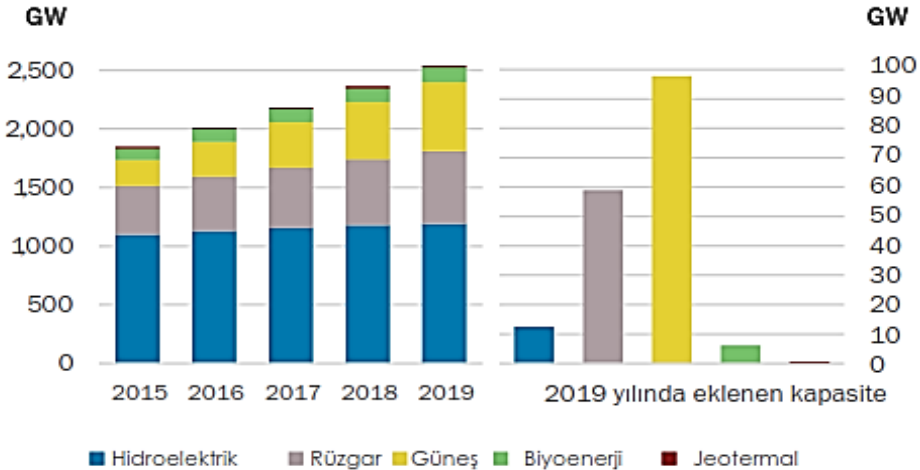
%47 ile hidroelektrik olurken, bu kaynağı %25 ile güneş ve %23 ile rüzgâr enerjisi takip etmektedir. Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının payı ise %5'tir.



Şekil 1: Kaynaklarına Göre Yenilenebilir Enerji Üretimi (2019)

Kaynak: IRENA, 2020.

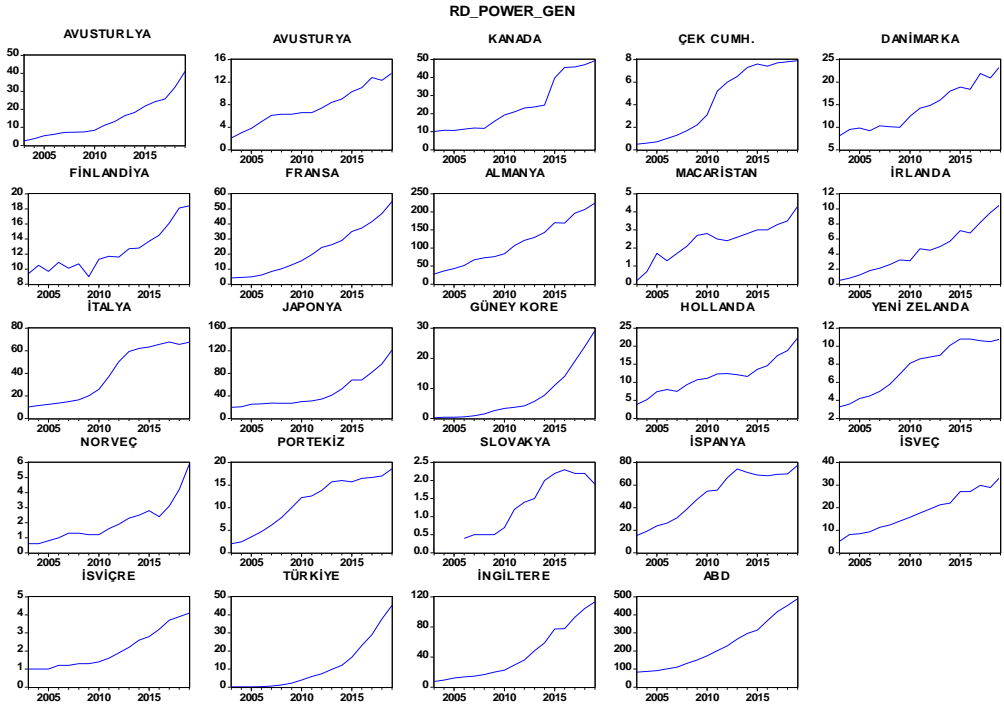
Dünya geneli için yenilenebilir enerji gücü kapasite artışının yer aldığı Şekil 2'den de görülebileceği gibi, 2015-2019 döneminde hidroelektriğin kapasitesi 1000 GW'nin üzerindedir. Bu dönemde hidroelektrik, biyoenerji ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının kapasitesi durağan bir trend izlerken, güneş ve rüzgârın kapasitesi sürekli artmıştır. Öyle ki 2015 yılında rüzgârdan elde edilen enerji gücü yaklaşık 500 GW iken, bu rakam 2019 yılında yaklaşık 750 GW'e ulaşmıştır. Benzer bir eğilim güneş enerjisinde de (ilgili dönemde neredeyse 3 katına çıktığı görülmektedir. 2019 yılında eklenen kapasitelere göre; güneş ve rüzgâr enerjisinin kapasiteleri sırasıyla yaklaşık olarak 95 GW ve 60 GW olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 2: Yenilenebilir Enerji Gücü Kapasite Artışı (Gigawatt)

Kaynak: IRENA, 2020.

Şekil 3'te analiz kapsamına alınan seçilmiş ülkeler için 2003-2019 döneminde yenilenebilir enerji üretiminin gelişimleri yer almaktadır. Dikey eksenle Terawatt/saat (TWh) cinsinden yenilenebilir enerji üretimi, yatay eksenle zaman bulunmaktadır. Ele alınan ülkelerde bu dönemde yenilenebilir enerji üretimi bakımından ivmenin yukarı yönlü olduğu görülmektedir. 2019 yılı için bu ülkeler arasından yenilenebilir enerji gücü üretimi en yüksek olan ilk 3 ülke sırasıyla; ABD (489 TWh), Almanya (224 TWh) ve İngiltere (113.4 TWh) iken, en az olduğu ülkeler ise Slovakya (1.9 TWh), İsviçre (4.1 TWh) ve Macaristan (4.3 TWh)'dır. Şekilden ayrıca pozitif trendin en belirgin olarak görüldüğü ülkelerin Güney Kore ve Türkiye olduğu tespit edilebilmektedir. 2003 yılında her iki ülkenin yenilenebilir enerji üretimi 0.2 TWh iken, bu üretim düzeyi 2019 yılına kadar sürekli artış göstermiş ve nihai olarak Güney Kore'de 29.2 TWh'e, Türkiye'de 45.3 TWh'e yükselmiştir.



Şekil 3: Yenilenebilir Enerji Üretimi (Terawatt/saat)

Kaynak: BP (2020), Statistical Review of World Energy.

Uluslararası Enerji Ajansı'na göre yenilenebilir enerji teknolojisi 3 gruba ayrılmaktadır: Birinci grupta; hidroelektrik, biyokütle ve jeotermal enerji gibi olgunluğa erişen teknolojiler ikinci grupta; güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve biyo-enerjinin modern biçimleri gibi hızlı bir şekilde gelişmekte olan teknolojiler ve son grupta ise güneş enerjisi, okyanus enerjisi, iyileştirilmiş jeotermal ve entegre biyo-enerji sistemleri gibi halihazırda geliştirme safhasında olan teknolojiler yer almaktadır (Johnstone vd., 2010: 134).

Yenilenebilir enerjinin kullanımını ve dağıtımını kolaylaştırma ve ilerletme potansiyelini paylaşan teknolojiler ise şu şekilde sıralanabilir (Bamati ve Raoofi, 2020):

- Elektrikli araçlar ve ısı pompaları gibi nihai kullanım teknolojileri,

- Enerji depolama teknolojileri (örneğin; termal ve pompalı depolama ile ev, ticari veya şebeke ölçekli piller),
- Talep tarafı için enerji yönetimi teknolojileri (örneğin; binalardaki enerji yönetimi sistemleri),
- Enerji tedarik ve dağıtım yönetimi teknolojileri (örneğin, gelişmiş dağıtım ağı yönetimi).

Yenilenebilir enerji teknolojileri; hem erişilebilirliği hem de satın alınabilirliği geliştirmek suretiyle su güvenliğini arttırmakta, özellikle güneş, rüzgâr ve gelgit enerjisi enerji tüketimindeki su ihtiyacını düşürmekte ve gıda güvenliğine katkıda bulunacak şekilde uzak bölgelere enerji ve su erişimini iyileştirmektedir. Bu teknolojiler aynı zamanda; atık su arıtımında çözümler sunmakta, yeni ekonomik fırsatlar oluşturarak gıda sektörünü canlandırabilmekte ve kayıpları azaltma ve verimliliği artırma noktasında tedarik zinciri boyunca ortaya çıkması muhtemel enerji açığını kapatabilmektedir (UNECE, 2017: 6).

Yenilenebilir enerji teknolojilerindeki teknolojik inovasyonların hızlandırılması, yenilenebilir enerjinin üretim maliyetinin düşürülmesini sağlayarak petrol, kömür ve doğalgaz gibi geleneksel fosil yakıt kaynakları ile rekabeti mümkün hale getirebilmektedir. Enerji verimliliğini artıracak inovasyon faaliyetleri enerji geçişinin gerçekleşmesine zemin hazırlamaktadır. Yenilenebilir enerji alanındaki teknolojik inovasyonlar, toplam enerji yoğunluğunun azaltılmasında ve verimli, düşük karbonlu enerji sistemlerine en düşük maliyetli geçişte önemli rol üstlenmektedir. Yenilenebilir enerji teknolojisinde teknolojik inovasyon oranını etkileyen faktörlerden bazıları; elektrik talebi, nüfus büyüklüğü, CO₂ emisyonu, kişi başına düşen gelir şeklinde sıralanmaktadır (Emodi vd., 2015: 889; Rexhäuser ve Löschel, 2015: 1-2). Enerji sektöründeki çevresel kirliliğin azaltılması, yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımını, yenilenebilir enerji teknolojileri ise güneş ve rüzgar gibi enerji biçimlerinin maliyetini düşüren ve performansını artıran inovasyonları gerektirmektedir (Bayer, vd., 2013: 288).

Enerji üretim maliyetlerinin düşürülmesi, performansın geliştirilmesi ile mevcut ve yeni yenilenebilir enerji teknolojilerinin enerji sistemlerine entegrasyonu konusunda inovasyona ihtiyaç duyulmaktadır (IRENA, 2017: 4). Enerji inovasyon sistemi; insanlar, inovasyon süreci ve katalizörler olmak üzere 3 anahtar unsurdan oluşmaktadır. İnsan unsuru; sistemi çalıştırmakta, geri bildirim döngüleri oluşturmakta ve deneyimden öğrenilen dersleri uygulamaktadır. Ayrıca, yeni teknolojileri benimseme konusunda nihai kararı vermekte ve daha fazla sürdürülebilir enerji inovasyonunu destekleyebilecek tutum ve davranışları sergilemektedir. İnovasyon süreci; temel araştırma, uygulamalı araştırma, geliştirme, demonstrasyon, dağıtım ve ölçek büyütme işlevlerinden oluşmaktadır. Katalizörler, inovasyonun önündeki engellerin (bu engeller; düzenleyici riskler; finansmana erişim konusundaki zorluklar; altyapı ve pazar erişimini etkinleştirme eksikliği ve sosyal ve kültürel zorluklar) aşılmasını sağlamaktadır. Katalizörler; tüketici taleplerini etkileyen sosyal ve endüstriyel eğilimler, genel inovasyon için olumlu bir ortam, düzenleyici politikalar, kamu finansman programları ve çok paydaşlı işbirliği şeklinde sıralanmaktadır (World Economic Forum, 2018: 11-12).

İnovasyonların, yenilenebilir enerji teknolojilerini etkileyen faktörlerden birisi olan ve enerji piyasalarında etkin bir araç olarak görülen regülasyonlar ile sıkı bir ilişkisi vardır Rexhäuser ve Löschel, 2015: 2). Geleneksel çevre politikası yaklaşımı, katı regülasyonların üretim maliyetlerini artırmak suretiyle rekabetçiliğe zarar verdiğini söylemekte iken, Porter (1991)

bu duruma karşı çıkmakta ve aslında bir kazanç-kazanç durumu yaratan katı ve iyi kurgulanmış regülasyon uygulamalarıyla yenilenebilir enerji alanında hem ürün ile süreç inovasyonlarının hem de rekabetçiliğin artacağını belirtmektedir (Hille, vd., 2020: 2). Düzenleyici politikalar; inovasyon yapanların, yatırımcıların ve tüketicilerin yeni enerji ekonomisine katılmaları konusunda uygun bir ortam oluşturmaktadır. Bu politikalar hem öncelikli veya ekonomik, hem de teknolojiye özgü veya teknolojiden bağımsız olabilmektedir. Karbon vergisi ve emisyon üst sınırı ve ticareti (cap and trade) gibi teknolojiden bağımsız ve tarife garantisi ve vergi teşvikleri gibi teknolojiye özgü ekonomik politikalar, artımsal inovasyonu ve inovasyonun yayılımını (difüzyonunu) teşvik etmektedir (World Economic Forum, 2018: 13-14).

İnovasyonun arkasındaki en büyük itici güçlerden biri olan Ar-Ge, teknolojiye potansiyel gelişmeye yol açan bir faaliyettir. OECD Frascati El Kitabı (2002)'na göre Ar-Ge; insan, kültür ve toplum bilgisi dâhil olmak üzere bilgi stokunu artırmak ve bu bilgi birikiminin yeni uygulamalar tasarlamak için sistematik bir temelde üstlenilen yaratıcı çalışmalardan ibarettir (Bointder, 2019: 734). Ar-Ge'nin; temel araştırma, uygulamalı araştırma ve geliştirme ile demonstrasyon olmak üzere 3 aşaması vardır. Temel araştırma aşamasında, yeni teknolojilerin kârlı uygulamalarına yol açacak yeni bilgiler üretilirken, uygulama araştırma ve geliştirme aşamasında temel araştırma aşamasında üretilen yeni bilgiler kullanılır ve bu bilgiler toplumun değer verdiği ürün veya hizmetlere uygulanır. Demonstrasyon aşamasında ise yeni bir teknolojinin pratik ve ticari uygulamalara uygunluğu belirlenmeye çalışılmaktadır (Costello, 2016: 6-7). Bu aşamada yeni teknolojilerin kullanımı konusunda yerleşik ve yeni endüstriler arasında bir işbirliği tesis edilmektedir. Yerleşik endüstrinin sahip olduğu know-how düzeyi sayesinde yeni sürdürülebilir bir teknolojinin mevcut enerji altyapısına entegre edilmesi noktasındaki engeller kaldırılabilir (Elia, vd., 2020: 4).

Ar-Ge faaliyetleri, hem enerji ve hammadde gereksinimini azaltıp sermaye maliyetlerini düşürmek hem de yenilenebilir enerji üretiminin verimliliğini artırmak suretiyle yenilenebilir enerji teknolojilerinin rekabet gücünü artırmaktadır. Bilgi sermayesinde bir artışı temsil eden Ar-Ge, teknolojik bilgi gelişimini ve yayılımını sağlayarak yenilenebilir enerji üretimini teşvik etmektedir (Paramati ve Hafeez, 2020: 2-3). Ar-Ge faaliyetleri, enerji bileşimindeki yenilenemeyen enerji kompozisyonunun azaltılması için alternatif enerji kaynaklarının keşfedilmesini sağlamakta ve bu yönüyle ülkelerin ekonomik olarak büyümelerine katkıda bulunmaktadır (Adedoyin, vd., 2020: 2).

Firmalar, yenilenebilir enerji üretim kapasitesini şekillendiren kilit faktörlerden birisi olan (Przychodzen ve Przychodzen, 2020: 7) Ar-Ge faaliyetlerine ve teknoloji-itiş politikalarına, enerji üretim maliyetlerini düşürme ve yenilenebilir enerji inovasyonlarının gelişimini hızlandırabilme konusunda yoğun bir şekilde başvurumaktadırlar (Ayari, vd., 2011: 2; Stadelmann; Castro, 2014: 2). Bu kapsamda firmalar tarafından Ar-Ge faaliyetlerine yatırım yapmanın bir sonucu olarak ortaya çıkan çevresel inovasyon, ekonomiyi daha çok yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru sevk etmektedir (Li, vd., 2020: 1).

Bir ülkenin Ar-Ge yeteneklerinin sınırlı düzeyde olması, yenilenebilir enerji geliştirme maliyetlerinin azaltılamamasına ve yenilenebilir enerji üretiminde arzu edilen ivmenin yakalanamamasına neden olmaktadır. Ayrıca, Ar-Ge faaliyetlerinin yeterince finanse edilememesi yenilenebilir enerji kaynaklarının diğer enerji kaynakları ile ticari olarak rekabet etmesini önlemekte ve özellikle geliştirme aşamasında risklerin fazla olması nedeniyle enerji

firmaları da yenilenebilir enerji projeleri için harcama yapmaktan kaçınılmaktadırlar (Przychodzen ve Przychodzen, 2020: 7).

Yenilenebilir enerji kullanımı görüldüğü kadar kolay değildir ve bu süreçte birtakım engeller (maliyetler ve satın alınabilirlik, finansman, elektrik sistemlerine entegrasyon, çevresel sürdürülebilirlik ve yenilenebilir enerji teknolojilerini sürdürebilecek yetenekler) ile karşılaşılabilir (UNCTAD, 2019: 5). Yenilenebilir enerji kaynakları için özellikle inovatif teknolojilerin kullanımı ve ticarileştirilmesi noktasında zorluklar ortaya çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili ayrıca teknik olmayan zorluklar da baş gösterebilmektedir. Bunlar; kapasite sınırlamaları, üretim, kurulum ve bakım konusunda eğitimli personelin az olması, nispeten düşük maliyetli kömür, nükleer ve doğal gazla çalışan elektrik santralleri ile fiyat ve performans açısından rekabet edebilme sıkıntısı ile maliyet sorunları ve regülasyonların öngörülemezliği şeklinde sıralanabilir (National Research Council, 2010: 242).

Gerek yenilenebilir enerji kullanımındaki bu engelleri minimize etmek, gerekse de enerji alanındaki inovasyonlar ve bu alanda yürütülen Ar-Ge faaliyetleri ile ilgili olarak ülke yönetimlerine önemli görevler düşmektedir. Nitekim hükümetlerin yürütmüş olduğu enerji politikaları, yenilenebilir enerji kaynakları üretiminin temel itici gücü konumundadır. Hükümetler, toplam enerji arzı içerisinde inovatif teknolojilerinin payını artırma konusunda yenilenebilir enerji üretimindeki Ar-Ge faaliyetlerini kolaylaştırarak desteklemesi gerekmektedir (Miremadi, vd., 2019: 451). Ayrıca yeni enerji teknolojileri, öğrenme avantajları sayesinde daha ucuz olan geleneksel enerji teknolojilerine göre rekabetçi olmadıkları için piyasaya girişlerde devlet desteğine ihtiyaç duymaktadırlar (Bointner, 2014: 735). Hükümetler enerji alanındaki inovasyonlarda kaynak tahsisi sürecinde yaşanan engeller, piyasa başarısızlıkları ve belirsizlikleri konusunda da inisiyatif almak durumundadır (Miremadi, vd., 2019: 451).

3. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Çalışmada; Ar-Ge harcamaları, inovasyon ve yenilenebilir enerji üretimi arasındaki ilişkiye yönelik literatür incelemeleri neticesinde, ilgili literatürün nispeten sınırlı olduğu gözlemlenmiştir. Literatürde yaygın olarak yenilenebilir enerji üretiminin belirleyicilerinin (Örneğin; CO₂ emisyonu, kişi başına düşen gelir, dış ticaret, doğalgaz ve petrol gibi ikame ürünlerin fiyatları, düzenleyici ve kurumsal faktörler) analiz edildiği gözlenmiştir. Dolayısıyla bu çalışmanın temel motivasyonu ilgili alana katkıda bulunabilmek amacıyla, spesifik olarak yenilenebilir enerji üretimi ile Ar-Ge ve inovasyon arasındaki ilişkinin analiz edilmesi olmuştur. Tablo 1’de bu ilişkiye yönelik literatürün kısa bir özeti yer almaktadır.

Tablo 1. Literatür Özeti

Yazar(lar)	Kapsam	Yöntem	Bulgular
Bamati ve Raooft (2020)	25 gelişmiş ve gelişmekte olan ülkede 1990-2015 döneminde yenilenebilir enerji üretiminin belirleyicilerinin (ekonomik, finansal, çevresel, teknolojik) analizi	Panel Genelleştirilmiş En Küçük Kareler (GEKK)	Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelere yenilenebilir enerji üretimini arttıran değişkenler; kişi başına düşen gelir ve petrol fiyatları iken, gelişmiş ülkelerde CO ₂ emisyonu bu üretimi negatif, gelişmekte olan ülkelere ise pozitif etkilemektedir.
Przychodzen	27 Post-Sosyalist geçiş	Panel En Küçük	Toplam elektrik üretimi içerisinde

ve Przychodzen (2019)	ülkesinde 1990-2014 dönemi kapsamında yenilenebilir enerji üretiminin belirleyicilerinin analizi	Kareler (EKK)	yenilenebilir enerji kaynaklarının payını artıran faktörler; ekonomik büyüme oranı, işsizlik, hükümet borcu, toplam CO2 emisyonu ve Kyoto protokolü iken, azaltan faktörler ise rekabet politikası skoru, toplam doğal kaynak kiralaları, kömür kiralaları ve kişi başına CO2 emisyonudur.
Geng ve Ji (2016)	6 gelişmiş ülke (ABD, Fransa, Almanya, İtalya, Kanada, Japonya) kapsamında 1980-2010 döneminde teknolojik inovasyonun yenilenebilir enerjinin gelişimi üzerindeki etkilerinin analizi	Panel Eşbütünleşme, Panel Nedensellik	Uzun dönemde teknolojik inovasyonun yenilenebilir enerji gelişimi üzerinde pozitif bir etkisi varken, kısa dönemde bir etkisi yoktur. Uzun dönemde yenilenebilir enerji gelişimi ile teknolojik inovasyon arasında iki yönlü bir ilişki vardır.
Aguirre ve Ibikunle (2014)	38 ülkede (OECD, Avrupa Birliği ve BRICS üyesi ülkeler) 1990-2010 döneminde yenilenebilir enerjinin toplam enerji arzına katkısının belirleyicilerinin analizi	Panel Sabit Etkiler (FE) Panel Düzeltilmiş Standart Hatalar (PCSE)	Yenilenebilir enerjinin toplam enerji arzına katkısını pozitif etkileyen faktörler; CO2 emisyonu, Kyoto protokolü, yenilenebilir enerjiye sürekli bağlılık, tahmini biyokütle miktarları, güneş potansiyeli iken negatif etkileyen faktörler; enerji kullanımı, kömür kaynaklarından elektrik üretimi, petrol, doğalgaz, nükleer enerji kaynaklarından elektrik üretimi ile rüzgar potansiyeli şeklindedir. Ar-Ge harcamaları ise istatistiksel olarak anlamsızdır.
Marques ve Fuinhas (2012)	23 Avrupa Birliği ülkesinde, 1990-2007 dönemi kapsamında, kamu politikalarının yenilenebilir enerjinin toplam enerji arzına katkısı üzerindeki etkilerinin analizi	Panel Sabit Etkiler (FE) Panel Rassal Etkiler (RE) Panel Düzeltilmiş Standart Hatalar (PCSE)	Yenilenebilir enerjinin toplam enerji arzına katkısını azaltan faktörler; kişi başına düşen CO2 emisyonu, enerjide ithal bağımlılık, elektrik üretiminde kömürün payı, elektrik üretiminde petrolün payı, elektrik üretiminde doğalgazın payı, elektrik üretiminde nükleer enerjinin payı iken, arttıran faktörler; teşvik ve sübvansiyonlar, kişi başına düşen enerji, politika süreçleri ve içinde Ar-Ge harcamalarının da olduğu yenilenebilir enerji politikaları ve önlemlerinin birikimli toplamı şeklindedir.
Gan ve Smith (2011)	26 OECD ülkesinde 1994-2003 dönemi kapsamında yenilenebilir enerji ve biyoenerjiyi etkileyen faktörlerin analizi	Panel EKK	Yenilenebilir enerji ve biyoenerji piyasası yayılma politikalarının ve ekonomik büyümenin kişi başına düşen yenilenebilir enerji ve biyoenerji arzı üzerinde pozitif etkisi var iken, yenilenebilir enerji ve

			biyoenerji araştırma ve inovasyon politikaları, enerji fiyatları, CO2 emisyonu, kamu Ar-Ge harcamaları ile piyasayı ve çevresel dışsallıkları hafifletmek için teşvikler sağlayan veya vergi getiren piyasa temelli enerji politikalarının yenilenebilir enerji ve biyoenerji arzı üzerinde bir etkisi yoktur.
--	--	--	--

4. VERİ, METODOLOJİ VE BULGULAR

Bu çalışmada seçilmiş ülkelerde¹, 2003-2019 dönemi kapsamında, enerji Ar-Ge harcamalarının ve inovasyonun yenilenebilir enerji üretimi üzerindeki etkileri panel veri yöntemleri kullanılarak test edilmektedir. Bu etkilerin test edilmesinde kullanılacak değişkenler Tablo 2’de sunulmaktadır. Buna göre bağımlı değişken, yenilenebilir enerji üretimi (LNYEN) iken, açıklayıcı değişkenler, yenilenebilir enerji kaynaklarına ilişkin Ar-Ge ve Demonstrasyon harcamaları (LNARGE) ve patent başvuruları (LNPATENT) şeklinde belirlenmiştir. LNYEN değişkenine ait veriler *British Petroleum (BP) şirketinin Dünya Enerji Piyasaları ile ilgili istatistiklerinden*, LNARGE değişkenine ait veriler Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)’nın istatistik veri tabanından ve LNPATENT değişkenine ait veriler ise Dünya Bankası’nın kalkınma göstergelerinin derlendiği veri tabanından temin edilmiştir. Değişkenlerin doğal logaritmaları kullanılmıştır.

Tablo 2. Veri Seti

Değişken	Değişkenin Tanımı
Yenilenebilir Enerji Üretimi (LNYEN)	Yenilenebilir enerji; rüzgar, jeotermal, güneş, biyokütle ve atık gibi yenilenebilir kaynakların brüt üretimi şeklinde hesaplanır. Bu hesaplamada sınır ötesi elektrik arzı hesaba katılmaz. Terawatt/saat cinsinden hesaplanmıştır. Değişkenin doğal logaritması kullanılmıştır.
Yenilenebilir Enerji Ar-Ge Harcamaları (LNARGE)	Enerji Ar-Ge ve Demonstrasyon Harcamaları, enerjinin tüm türlerinin; üretilmesi, ulaşımı, depolanması, dağıtılması ve rasyonel bir şekilde kullanılması noktasında yapılan araştırma ve geliştirme faaliyetlerini ve enerjiyi ortaya çıkarma için geliştirilen teknolojileri kapsamaktadır. Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynakları (güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, okyanus enerjisi, biyoyakıtlar, jeotermal enerji, hidroelektrik enerjisi ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları) üzerindeki Ar-Ge ve Demonstrasyon Harcamaları kullanılmıştır. 2019 yılı satın alma gücü paritesine göre milyon Euro cinsinden hesaplanmış ve doğal logaritması alınmıştır (IEA, 2020).
Patent Başvuruları (LNPATENT)	Patent ofisine yapılan patent başvurularının toplam sayısıdır. Değişkenin doğal logaritması kullanılmıştır.

Kaynak: 1. IEA, Online Data Services, RD&D Budgets, <https://www.iea.org/subscribe-to-data-services>

2. WIPO, IP, Statistics Data Center, <https://www3.wipo.int/ipstats/ipstableval>

3. BP (2020), Statistical Review of World Energy June 2020,

<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
25.12.2020.

¹ Bu ülkeler; Avustralya, Avusturya, Kanada, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Almanya, Macaristan, İrlanda, İtalya, Japonya, Güney Kore, Hollanda, Yeni Zelanda, Norveç, Portekiz, Slovakya, İspanya, İsveç, İsviçre, Türkiye, İngiltere, Amerika Birleşik Devletleri’dir.

Ar-Ge harcamaları ile inovasyonun yenilenebilir enerji üretimi ile ilişkisinin test edilmesinde Panel Gecikmesi Dağıtılmış Otoregresif Model (Panel Autoregressive Distributed Lag - ARDL) ile Emirmahmutoğlu ve Köse (2011) tarafından geliştirilen Panel Fisher nedensellik testi kullanılmaktadır.

Yatay kesit birimlerine ait tekrarlanan gözlemlerinden oluşan panel veri; birim düzeyindeki değişimlerin ölçülmesini sağlamakta, model parametrelerinin daha doğru yorumlanmasını ve daha gerçekçi davranışsal hipotezlerin kurulmasını mümkün kılmakta, dinamik ilişkileri ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca; dışlanmış değişkenlerin etkisini kontrol etmekte birimlere ait çıktılar için daha doğru öngörüler üretmekte, toplu veri analizi için mikro temeller oluşturmakta ve hesaplamaları ve istatistiksel yorumları kolaylaştırmaktadır (Hsiao, 2014: 4-10). Diğer taraftan panel verinin; tasarım ve veri toplama problemleri, ölçüm hataları, seçicilik sorunları, zaman boyutunun kısa olabilmesi ve yatay kesit bağımlılığı gibi birtakım kısıtları da bulunmaktadır (Baltağı, 2005: 7-9).

Panel ARDL modeli, aynı derecede durağan olmayan değişkenlerin [I(0) veya I(1)] analizinde kullanılmaktadır. Bu tekniğin kullanımı, kısa ve uzun dönem katsayılarının elde edilmesini ve değişkenlerin farklı gecikmelerinin modele dâhil edilmesini mümkün kılmaktadır (Alsaleh ve Abdul-Rahim, 2019: 4; Asteriou, vd., 2020: 276).

Belirli bir dönem ($t = 1, 2, \dots, T$) ve belirli bir sayıda birim ($i = 1, 2, \dots, N$) için ARDL (p,q) modeli (1) numaralı denklemde görüldüğü gibidir (Pesaran, vd., 1999: 623-624):

$$y_{it} = \sum_{j=1}^p \lambda_{ij} y_{i,t-j} + \sum_{j=0}^q \delta'_{ij} x_{i,t-j} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Bu eşitlikte $x_{i,t}$, açıklayıcı değişkenlerin $k \times 1$ vektörünü, μ_i sabit etkileri, bağımlı değişkenin gecikme katsayısı λ_{ij} skaler büyüklükleri ve δ'_{ij} ise $k \times 1$ katsayı vektörlerini temsil etmektedir. (1) numaralı denklem aynı zamanda şu şekilde ifade edilebilmektedir:

$$\Delta y_{it} = \phi_i (y_{i,t-1} - \beta'_{1i} x_{it}) + \sum_{j=1}^{p-1} \lambda^*_{ij} \Delta y_{i,t-j} + \sum_{j=0}^{q-1} \delta^*_{ij} \Delta x_{i,t-j} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

Bu denklemde ϕ_i parametresi,

$$\phi_i = - \left(1 - \sum_{j=1}^p \lambda_{ij} \right), \beta'_{1i} = \frac{\sum_{j=0}^q \delta_{ij}}{(1 - \sum_{k=1}^p \lambda_{ik})}, \lambda^*_{ij} = - \sum_{m=j+1}^p \lambda_{im}$$

$$j = 1, 2, \dots, p-1, \delta^*_{ij} = - \sum_{m=j+1}^q \delta_{im}, j = 1, 2, 3, \dots, q-1$$

ϕ_i parametresi hata düzeltme parametresidir. Bu parametre sıfıra eşit olduğunda uzun dönem ilişkisinin olmadığını göstermektedir. Değişkenleri uzun dönem dengesine yaklaşmasını sağlayabilmek için bu parametrenin negatif ve istatistiksel olarak anlamlı olması gerekmektedir (Mallick, vd., 2016: 189).

ARDL yöntemi kullanılarak tahmin edilecek model şu şekildedir:

$$\begin{aligned} \Delta LNYEN_{it} = & \alpha_i + \phi_i LNYEN_{i,t-1} + \beta'_{1i} LNARGE_{it} + \beta'_{1i} LNPATENT_{it} \\ & + \sum_{j=1}^{p-1} \lambda_{ij}^* \Delta LNYEN_{i,t-j} + \sum_{j=0}^{q-1} \delta_{1ij}^* \Delta LNARGE_{i,t-j} \\ & + \sum_{j=0}^{q-1} \delta_{2ij}^* \Delta LNPATENT_{i,t-j} + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (3)$$

Emirmahmutoğlu ve Köse (2011) tarafından geliştirilen Panel Fisher nedensellik testi, Toda-Yamamoto (1995) nedensellik testi mantığına dayanmaktadır. Bu test yatay kesit bağımlılığı olduğunda kullanılabilmekte, farklı derecelerden durağan olan değişkenlerin aynı anda analizini mümkün kılabilmekte ve eşbütünleşme ilişkisinin özelliği konusunda herhangi bir ön sinamaya gerek duymamaktadır (Yıldırım ve Şahin, 2018: 449).

Emirmahmutoğlu ve Köse (2011) nedensellik testinde, $k_i + dmax_i$ kullanılan düzey VAR modeli şu şekilde formüle edilebilir:

$$\begin{aligned} x_{i,t} = & \mu_i^x + \sum_{j=1}^{k_i+dmax_i} A_{11,ij} x_{i,t-j} + \sum_{j=1}^{k_i+dmax_i} A_{12,ij} y_{i,t-j} + u_{i,t}^x \quad (3) \\ y_{i,t} = & \mu_i^y + \sum_{j=1}^{k_i+dmax_i} A_{21,ij} x_{i,t-j} + \sum_{j=1}^{k_i+dmax_i} A_{22,ij} y_{i,t-j} + u_{i,t}^y \quad (4) \end{aligned}$$

Denklemlerde $dmax_i$, her bir yatay-kesit birimi için maksimum entegrasyon derecesini temsil etmektedir. Tahmin sonuçlarına göre k_i gecikme düzeyi için değiştirilmiş Wald testi yapılmaktadır (Emirmahmutoğlu ve Köse, 2011: 872).

Tablo 3'te değişkenlere ait temel tanımlayıcı istatistikler verilmiştir. Çarpıklık değerlerine göre LNYEN ve LNARGE değişkenleri negatif yönde sola, LNPATENT değişkeni ise pozitif yönde sağa çarpıktır. Basıklık değerleri açısından LNYEN ve LNPATENT'in basıklık değerleri 3'ten küçük olduğundan dağılımları normal dağılıma göre basık, LNARGE'nin basıklık değeri de 3'ten büyük olduğundan dağılımı normal dağılımına göre diktir. Çalışmada belirli yıllar için gözlem kaybı olduğundan (408 gözlem olması gerekirken ortak örneklem için 387 gözlem vardır) dengesiz panel veri modeli kullanılmaktadır.

Tablo 3. Tanımlayıcı İstatistikler

Değişken	LNYEN	LNARGE	LNPATENT
Ortalama	2.321420	3.837275	8.771331
Medyan	2.379546	4.034665	8.080237
Maksimum	6.193997	7.865906	13.33982
Minimum	-2.302585	-4.422849	4.532599
Std. Sapma	1.540231	1.658603	2.110796
Çarpıklık	-0.143520	-0.964836	0.455820
Basıklık	2.983674	5.491743	2.487110
Jarque-Bera	1.332859	160.1602	17.64305
Olasılık	0.513539	0.000000	0.000148
Toplam	898.3895	1485.025	3394.505
Gözlem	387	387	387

Birimler arasındaki korelasyon; Breusch-Pagan LM, Pesaran ölçeklendirilmiş LM, sapması düzeltilmiş ve ölçeklendirilmiş LM ve Pesaran CD (2004) testleri kullanılarak araştırılmıştır. Tablo 4'te yer alan bulgulara göre tüm değişkenler için yatay kesit bağımlılığının olmadığını gösteren sıfır hipotezi reddedilebilmektedir. Bu nedenle tüm değişkenler için yatay kesit birimleri arasında bağımlılık vardır.

Tablo 4. Yatay Kesit-Bağımlılık Testleri

Test/Değişken	LNyen	LNARGE	LNpatent
Breusch-Pagan LM	4017.566***	1653.983***	1722.560***
Pesaran scaled LM	159.2516***	58.65086***	61.56967***
Bias-corrected scaled LM	158.5016***	57.90086**	60.81967***
Pesaran CD	63.22454***	36.05856***	3.114801***

Not: ***: Katsayının %1 düzeyinde anlamlı olduğunu göstermektedir. H_0 hipotezi: Yatay kesit bağımlılığı (korelasyonu) yoktur.

Birimler arasında yatay kesit bağımlılığının olması sebebiyle, bu durumu dikkate alan ikinci nesil birim kök testlerinin kullanılması gerekmektedir. Bu kapsamda Pesaran (2007) tarafından geliştirilen yatay kesitsel olarak genişletilmiş Im-Pesaran-Shin (CIPS) testi kullanılmış ve elde edilen bulgular Tablo 5'te verilmiştir. CIPS testi sonuçlarına göre LNyen ve LNpatent değişkenleri hem sabitli hem de sabitli-trendli durumlarda birim kök içermektedir. Buna karşın LNARGE değişkeni sabitli ve sabitli-trendli durumlarda düzeyinde durağandır. Durağan olmayan serilerin birinci farkları alındığında durağan hale geldikleri görülmektedir.

Tablo 5. Pesaran CIPS (2007) Birim Kök Testi

Değişken	Gecikme	Sabitli		Sabitli ve Trendli	
		Zt-bar	Olasılık	Zt-bar	Olasılık
LNyen	0	-0.576	0.282	2.426	0.992
	1	-1.945	0.026	1.775	0.962
LNARGE	0	-4.718	0.000	-4.476	0.000
	1	-2.164	0.015	-2.516	0.006
LNpatent	0	-0.427	0.335	-0.978	0.164
	1	0.931	0.824	-1.146	0.126
Birinci Farklar					
Δ LNyen	0	-5.712	0.000	-3.603	0.000
	1	-5.500	0.000	-2.774	0.003
Δ LNpatent	0	-9.068	0.000	-6.607	0.000
	1	-5.381	0.000	-2.843	0.002

LNARGE değişkeninin I(0), LNyen ve LNpatent değişkenlerinin I(1) olması nedeniyle, Ar-Ge ve inovasyonun yenilenebilir enerji üretimi üzerindeki etkisinin test edilmesinde panel ARDL modeli tercih edilmiştir. Tablo 6'da yer alan ARDL (1,1,1) modeli bulgularına göre; LNARGE ve LNpatent değişkenlerinin uzun dönem katsayıları istatistiksel olarak %1 düzeyinde anlamlı iken, kısa dönem katsayıları istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Tablo 6. Panel ARDL (1,1,1) Modeli

Değişken	Katsayı	Standart Hata	t istatistiği	Olasılık
Uzun Dönem Eşitliği				
LNARGE	0.233887	0.019438	12.03235	0.0000

LNPATENT	0.422530	0.106570	3.964801	0.0001
Kısa Dönem Eşitliği				
COINTEQ01	-0.344723	0.047210	-7.301846	0.0000
D(LNARGE)	-0.016877	0.019663	-0.858351	0.3915
D(LNPATENT)	0.111719	0.120376	0.928088	0.3542
C	-1.071708	0.191178	-5.605811	0.0000
@TREND	0.043128	0.008630	4.997394	0.0000

Uzun dönem katsayılarına göre, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik olarak yapılan Ar-Ge ve demonstrasyon harcamalarında ve patent başvuru sayısında meydana gelecek %1'lik bir artış yenilenebilir enerji üretimini sırasıyla %0.23 ve %0.42 oranlarında artırmaktadır. Bununla birlikte, değişkenlerin durağan olmamasından kaynaklanan kısa dönem sapmalarının bir sonraki dönemde dengeye gelme hızını gösteren hata düzeltme parametresi istatistiksel olarak negatif (-0.34) ve anlamlıdır. Buna göre bir dönemde oluşan dengesizliklerin %34'ü bir sonraki dönemde düzelecek ve yaklaşık 2.5 dönem sonra uzun dönem dengesine yaklaşılacaktır.

Emirmahmutoglu ve Köse (2011) nedensellik testi bulguları Tablo 7'de verilmiştir. Buna göre yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik Ar-Ge harcamalarından (LNARGE) yenilenebilir enerji gücü üretimine doğru (LNYEN) nedenselliğin olduğu ülkeler; Avusturya, Fransa, Macaristan, Japonya, Güney Kore, Norveç, Portekiz, İspanya ve ABD iken, patent başvurularından (LNPATENT) yenilenebilir enerji gücü üretimine doğru nedenselliğin olduğu ülkeler ise Avusturya, Finlandiya, Fransa, Almanya, İrlanda, Hollanda, Norveç, Slovakya, İsveç ve İsviçre'dir. Diğer yandan LNYEN'den LNARGE'ye doğru nedenselliğin olduğu ülkeler; Çek Cumhuriyeti, İrlanda, İtalya, Yeni Zelanda, İspanya ve Türkiye iken, LNPATENT'den LNARGE'ye doğru nedenselliğin olduğu ülkeler ise Kanada, Çek Cumhuriyeti, Almanya, Macaristan, Yeni Zelanda, Portekiz, İspanya, İsveç ve ABD'dir.

Tablo 7. Emirmahmutoglu ve Köse (2011) Nedensellik Testi Bulguları

Ülke	LNARGE, LNYEN'in Granger nedeni değildir.			LNYEN, LNARGE'nin Granger nedeni değildir.			LNPATENT, LNYEN'in Granger nedeni değildir.			LNYEN, LNPATENT'in Granger nedeni değildir.		
	k	Wald	Olas.	k	Wald	Olas.	k	Wald	Olas.	k	Wald	Olas.
i												
Avusturya	1	8.365	0.004	1	3.207	0.073	1	0.231	0.631	1	1.633	0.201
Avusturya	1	1.656	0.198	1	0.419	0.517	1	3.878	0.049	1	0.488	0.485
Kanada	1	2.678	0.102	1	0.272	0.602	1	2.032	0.154	1	6.744	0.009
Çek Cumhr.	2	2.304	0.316	2	11.12	0.004	2	1.71	0.425	2	7.704	0.021
Danimarka	1	0.259	0.611	1	1.234	0.267	2	1.467	0.48	2	2.639	0.267
Finlandiya	1	1.51	0.219	1	2.077	0.15	1	7.165	0.007	1	0.675	0.411
Fransa	1	6.235	0.013	1	2.077	0.149	1	5.804	0.016	1	2.073	0.15
Almanya	2	1.67	0.434	2	4.216	0.121	2	10.26	0.006	2	26.984	0.000
Macaristan	1	8.088	0.004	1	0.552	0.457	2	4.714	0.095	2	15.381	0.000
İrlanda	2	0.912	0.634	2	26.46	0.000	2	15.23	0.000	2	0.763	0.683
İtalya	1	0.304	0.582	1	4.581	0.032	1	1.148	0.284	1	1.147	0.284
Japonya	1	21.45	0.000	1	2.16	0.142	2	4.804	0.091	2	2.091	0.352
G. Kore	2	28.45	0.000	2	3.317	0.19	2	1.628	0.443	2	5.554	0.062
Hollanda	2	2.752	0.253	2	0.305	0.859	1	4.121	0.042	1	1.688	0.194
Y. Zelanda	1	2.789	0.095	1	14.42	0.000	1	1.304	0.254	1	8.16	0.004
Norveç	1	10.68	0.001	1	2.381	0.123	1	28.24	0.000	1	1.043	0.307
Portekiz	2	17.51	0.000	2	0.038	0.981	2	1.331	0.514	2	32.588	0.000
Slovakya	2	0.445	0.801	2	1.241	0.538	2	12.85	0.002	2	1.466	0.481

İspanya	2	8.982	0.011	2	7.524	0.023	2	3.425	0.18	2	41.933	0.000
İsveç	2	2.921	0.232	2	0.881	0.644	2	19.96	0.000	2	17.489	0.000
İsviçre	2	0.423	0.809	2	3.234	0.198	2	24.13	0.000	2	4.589	0.101
Türkiye	2	4.208	0.122	2	8.79	0.012	2	1.009	0.604	2	0.967	0.617
İngiltere	1	0.006	0.939	1	1.839	0.175	2	3.138	0.208	2	4.101	0.129
ABD	1	4.156	0.041	1	1.985	0.159	1	3.239	0.072	1	10.917	0.001

Not: Maksimum gecikme uzunluğu ve eşbütünlüşme derecesi 2 olarak alınmıştır. k: gecikme sayısıdır.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Sanayi Devrimi'nden günümüze kadar insanlığın çevre üzerindeki olumsuz etkisi giderek artmıştır. Bu etkiye sebep olan unsurlardan bir tanesi de sera gazı emisyonlarıdır. Sera gazı emisyonlarının artması beraberinde; hava kirliliği, ozon tabakasının incelmeye ve küresel ısınma gibi tehditleri getirmiştir. Enerji kaynakları içerisinde fosil yakıt kökenli olan; petrol ve kömür gibi kaynaklardan açığa çıkan sera gazı salınımlarının azaltılabilmesinin en önemli yollarından birisi de yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretmektir. Başta güneş ve rüzgar olmak üzere yenilenebilir enerji kaynakları hem tükenmedikleri hem de sera gazı üretmemeleri sebebiyle politika yapımcılarının odak noktası haline gelmiştir. Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarına artan ilgiden yola çıkılarak, seçilmiş ülkeler özelinde, enerji Ar-Ge ve demonstrasyon harcamalarının ve inovasyonun göstergesi olan patent başvuru sayısının yenilenebilir enerji üretimi üzerindeki etkileri panel veri yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Birimler arasında yatay kesit bağımlılığı tespit edildiğinden bu durumu dikkate alan Pesaran CIPS (2007) birim kök testi ile serilerin durağanlık durumlarını incelenmiştir. Birim kök testi sonuçlarına göre enerji Ar-Ge ve demonstrasyon harcamalarının düzeyinde, patent başvuru sayıları ile yenilenebilir enerji üretimi değişkenlerinin birinci farklarında durağan oldukları gözlenmiş, bunun için Panel ARDL yönteminin kullanılması uygun bulunmuştur. Panel ARDL sonuçlarına göre ise uzun dönemde enerji Ar-Ge ve demonstrasyon harcamaları ve patent başvuru sayısındaki artış yenilenebilir enerji üretimini artırmaktadır. Kısa dönemde ise ilgili değişkenler arasında bir ilişki tespit edilememiştir. Uzun dönemde gerek Ar-Ge gerekse de inovasyon faaliyetlerindeki artışın yenilenebilir enerji üretimini artırması iktisadi beklentiler ile uyumludur. Kısa dönemde bu değişkenlerin yenilenebilir enerji ile ilişkisiz olması Popp (2006)'da ifade edildiği gibi, Ar-Ge ve inovasyon çabalarının bilgi üretme anlamındaki etkilerinin hemen ortaya çıkmaması ile ilgilidir. Diğer taraftan değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisi Emirmahmutoğlu ve Köse (2011) tarafından geliştirilen nedensellik testi ile araştırılmıştır. Nedensellik testi bulgularına göre; Avusturalya, Fransa, Macaristan, Japonya, Güney Kore, Norveç, Portekiz, İspanya ve ABD'de Ar-Ge harcamalarından yenilenebilir enerji üretimine, Avusturya, Finlandiya, Fransa, Almanya, İrlanda, Hollanda, Norveç, Slovakya, İsveç ve İsviçre'de ise patent başvuru sayısından yenilenebilir enerji üretimine doğru nedensellik sözkonusudur. Analiz bulguları, yenilenebilir enerji üretiminin artırılması konusunda enerji alanında yürütülecek Ar-Ge faaliyetlerinin ve inovasyon çabalarının önemini ortaya koymuştur. Küresel ısınmanın kısmen de olsa kontrol altına alınabilmesi, zehirli gaz emisyonlarının azaltılabilmesi ve ülkelerin enerjiye bağımlılıklarının düşürülebilmesi için yenilenebilir enerji kaynakları üretiminin artırılması ve bu bağlamda Ar-Ge harcamaları ve inovasyon faaliyetleri ile ilgili somut adımların atılması gerekmektedir. Bu kapsamda; uluslararası Ar-Ge işbirliği desteklenmeli, enerji ile ilgili inovasyon stratejileri geliştirmek için üniversite-sanayi işbirlikleri teşvik edilmeli, yeni enerji teknolojilerinin geliştirilebilmesi için uygun finansal ortam oluşturulmalı ve yenilenebilir arzı ve talebi ile dağıtımını hedefleyen bir sistem yaklaşımının geliştirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- ADEDOYIN, F. F., BEKUN, F. V., & ALOLA, A. A. (2020). "Growth Impact of Transition from non-Renewable to Renewable Energy in the EU: the Role of Research And Development Expenditure". *Renewable Energy*, 159: 1139-1145.
- AGUIRRE, M., & IBIKUNLE, G. (2014). "Determinants of Renewable Energy Growth: A Global Sample Analysis". *Energy Policy*, 69: 374-384.
- ALSALEH, M., & ABDUL-RAHIM, A. S. (2019). "Financial Development and Bioenergy Consumption in the EU28 Region: Evidence from Panel Auto-Regressive Distributed Lag Bound Approach". *Resources*, 8(1): 44.
- ASTERIOU, D., PILBEAM, K., & PRATIWI, C. E. (2020). "Public Debt and Economic Growth: Panel Data Evidence for Asian Countries". *Journal of Economics and Finance*: 1-18.
- BALTAGI, B., (2005). "Econometrics of Panel Data", John Wiley & Sons Ltd.
- AYARI, N., BLAZSEK, S., & MENDI, P. (2011). "Renewable Energy Innovations in Europe: A Dynamic Panel Data Approach". *Applied Economics*, 44(24): 3135-3147.
- BAMATI, N., & RAOOFI, A. (2020). "Development Level and the Impact of Technological Factor on Renewable Energy Production". *Renewable Energy*, 151: 946-955.
- BAYER, P., DOLAN, L., & URPELAINEN, J. (2013). "Global Patterns of Renewable Energy Innovation, 1990–2009". *Energy for Sustainable Development*, 17(3): 288-295.
- BOINTNER, R. (2014). "Innovation in the Energy Sector: Lessons Learnt from R&D Expenditures and Patents in Selected IEA Countries". *Energy Policy*, 73: 733-747.
- BP (2020), "Statistical Review of World Energy June 2020", <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>, 25.12.2020.
- COSTELLO, K. (2016). "A Primer on R&D in the Energy Utility Sector". *Energy and Environment National Regulatory Research Institute, Report No. 16-05*.
- EMİRMAHMUTOĞLU, F., & KÖSE, N. (2011). "Testing for Granger Causality In Heterogeneous Mixed Panels", *Economic Modelling*, 28: 870-876.
- ELIA, A., KAMIDELIVAND, M., ROGAN, F., & GALLACHÓIR, B. Ó. (2020). "Impacts of Innovation on Renewable Energy Technology Cost Reductions". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 110488.
- EMODI, N. V., SHAGDARSUREN, G., & TIKY, A. Y. (2015). "Influencing Factors Promoting Technological Innovation in Renewable Energy". *International Journal of Energy Economics and Policy*, 5(3).
- EUROSTAT (2021), *Renewable Energy Statistics- Statistics Explained* (europa.eu), 10.01.2021.

- GAN, J., & SMITH, C. T. (2011). "Drivers for Renewable Energy: A Comparison among OECD Countries". *Biomass and Bioenergy*, 35(11): 4497-4503.
- GENG, J. B., & JI, Q. (2016). "Technological Innovation and Renewable Energy Development: Evidence Based on Patent Counts". *International Journal of Global Environmental Issues*, 15(3): 217-234.
- HILLE, E., ALTHAMMER, W., & DIEDERICH, H. (2020). "Environmental Regulation and Innovation in Renewable Energy Technologies: Does the Policy Instrument Matter?". *Technological Forecasting and Social Change*, 153, 119921.
<http://sciencebusiness.net/sites/default/files/archive/Assets/011c9c77-d95d-40ed-9b7d-33804294b306.pdf> , 18.01.2021.
- HSIAO, C., (2014). "Analysis of Panel Data", Cambridge University Press.
- IEA, Statistics, Online Data Services, RD&D Budgets, <https://www.iea.org/subscribe-to-data-services> , 25.12.2020.
- IEA (2018), 20 Renewable Energy Policy Recommendations, <https://webstore.iea.org/download/direct/2327> , 10.01.2021.
- IEA (2020), Energy Technology Rd&D Budgets October 2020 Edition Database Documentation, http://wds.iea.org/wds/pdf/RDD_Documentation.pdf 16.01.2021.
- IEA (2021a), Data & Statistics, <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TPESbySource> 10.01.2021.
- IEA (2021b), Renewables-Fuels & Technologies, <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/renewables> , 10.01.2021.
- IRENA (2017), Renewable Energy Innovation: Accelerating Research for a Low-Carbon Future, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Nov/IRENA_Accelerating_research_2017.pdf?la=en&hash=2A53295A57DD87A0A451E68A2CE7EA020729871F, 12.01.2021.
- IRENA (2018), Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_Report_GET_2018.pdf 21.01.2021.
- IRENA (2020), Renewable Capacity Highlights, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Mar/IRENA_RE_Capacity_Highlights_2020.pdf?la=en&hash=B6BDF8C3306D271327729B9F9C9AF5F1274FE30B , 17.01.2021.
- JOHNSTONE, N., HAŠČIČ, I., & POPP, D. (2010). "Renewable Energy Policies and Technological Innovation: Evidence Based on Patent Counts". *Environmental and resource economics*, 45(1): 133-155.

- KAR, M., NAZLIOGLU, S., AGIR, H. (2011). "Financial Development and Economic Growth Nexus in the MENA Countries: Bootstrap Panel Granger Causality Analysis". *Economic Modelling* 28(1-2): 685-693.
- LI, J., ZHANG, X., ALI, S., & KHAN, Z. (2020). "Eco-Innovation and Energy Productivity: New Determinants of Renewable Energy Consumption". *Journal of Environmental Management*, 271, 111028.
- MARQUES, A. C., & FUINHAS, J. A. (2012). "Are Public Policies Towards Renewables Successful? Evidence from European countries". *Renewable Energy*, 44: 109-118.
- MALLICK, L., MALLESH, U., & BEHERA, J. (2016). "Does Tourism Affect Economic Growth in Indian States? Evidence from Panel ARDL Model". *Theoretical & Applied Economics*, 23(1).
- MENYAH, K., NAZLIOGLU, S., WOLDE-RUFAEL, Y. (2014). "Financial Development, Trade Openness and Economic Growth in African Countries: New Insights from a Panel Causality Approach". *Economic Modelling* 37: 386-394.
- MIREMADI, I., SABOOHI, Y., & ARASTI, M. (2019). "The Influence of Public R&D and Knowledge Spillovers on the Development of Renewable Energy Sources: The Case of the Nordic Countries". *Technological Forecasting and Social Change*, 146: 450-463.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2010). "Electricity from Renewable Resources: Status, Prospects, and Impediments". Washington, DC: The National Academies Press.
- OECD (2002), "Frascati Manual 2002, Proposed Standard Practice for Surveys on Research and Experimental Development".
- PARAMATI, S. R., ALAM, M. S., HAMMOUDEH, S., & HAFEEZ, K. (2020). "Long-run Relationship between R&D Investment and Environmental Sustainability: Evidence from the European Union Member Countries". *International Journal of Finance & Economics*.
- PESARAN, M. H., SHIN, Y. & SMITH, R. (1999). "Pooled Mean Group Estimation of Dynamic Heterogeneous Panels", *Journal of the American Statistical Association*, 94: 621-34.
- PESARAN, M. H., (2004). "General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels", CESifo Working Paper Series 1229, CESifo Group Munich.
- 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.
- POPP, D. (2006). "Innovation in Climate Policy Models: Implementing Lessons from the Economics of R&D". *Energy Economics*, 28(2006): 596-609.
- PRZYCHODZEN, W., & PRZYCHODZEN, J. (2020). "Determinants of Renewable Energy Production in Transition Economies: A panel data approach". *Energy*, 191, 116583.

- REXHÄUSER, S., & LÖSCHEL, A. (2015). "Invention in Energy Technologies: Comparing Energy Efficiency and Renewable Energy Inventions at the Firm Level". *Energy Policy*, 83: 206-217.
- STADELMANN, M., & CASTRO, P. (2014). "Climate Policy innovation in the South-Domestic and International determinants of Renewable Energy Policies in Developing and Emerging Countries". *Global Environmental Change*, 29: 413-423.
- UNCTAD (2019), "The Role of Science, Technology and Innovation in Promoting Renewable Energy by 2030" http://www3.weforum.org/docs/Accelerating_sustainable_energy_innovation_2018.pdf, 17.01.2021.
- UNECE (2017). "Deployment of Renewable Energy: The Water-Energy-Food-Ecosystem Nexus Approach to Support the Sustainable Development Goals", Singapore.
- WIPO, IP, Statistics Data Center, <https://www3.wipo.int/ipstats/ipstableval>, 25.12.2020.
- WORLD ECONOMIC FORUM (2018), "Accelerating Sustainable Energy Innovation", http://www3.weforum.org/docs/Accelerating_sustainable_energy_innovation_2018.pdf 17.01.2021.
- YILDIRIM, B. I., & ŞAHİN, D. (2018). "Geçiş Ekonomilerinde Turizme ve Enerjiye Dayalı Büyüme Hipotezinin Analizi: Panel Nedensellik Testi". *Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 16: 437-457.