

## ENERJİ ALANINDA YAPILAN AR-GE HARCAMALARININ ENERJİ TÜKETİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: ALMANYA ÖRNEĞİ

Mustafa NAİMOĞLU<sup>1</sup>

Geliş: 21.04.2021 / Kabul: 24.05.2021

DOI: 10.29029/busbed.924348

### Öz

Almanya'nın 1990 yılına göre 2019 yılında GSYİH'sı %54, yenilenebilir enerji AR-GE harcamaları %99 ve yenilenebilir enerji kullanımı %84811 (hidro hariç) artış gösterirken, toplam enerji tüketimi %14 ve toplam enerji kayıpları %415 oranında azalış göstermiştir. Yani Almanya yenilenebilir enerji kullanımını geliriyle beraber yüksek oranda artırmanın yanında toplam enerji tüketimini ve toplam enerji kayıplarını ciddi oranda azaltmayı başarmıştır. Ayrıca aynı dönemde G7 ülkeleri ve Avrupa Birliği ülkeleri arasında ortak olarak yer alan Fransa ve İtalya ülkeleri sırasıyla %7 ve %0.71 oranında toplam enerji tüketimini artırırken, Almanya ise %14 gibi dikkate değer bir oranda toplam enerji tüketimini azaltmayı başarmıştır. Dolayısıyla bu çalışmanın diğer çalışmalardan farkı Almanya'nın ilgili dönemde daha az enerjiyle nasıl daha fazla gelir elde ettiği sorusunun ekonometrik yöntemlerle araştırılmasıdır. Bunu yaparken Almanya için 1990-2019 döneminde yıllık verilerle yenilenebilir enerji, yenilenemez enerji ve nükleer enerji alanlarında yapılan AR-GE harcamaları kullanılmıştır. Bu amaçla yapısal kırılmaların dikkate alındığı Perron (1989) ve Zivot ve Andrews (1992) testleri kullanılarak incelenen dönem boyunca değişkenlerin durağanlığı araştırılmıştır. Sonra uzun dönem ilişkisi Gregory ve Hansen (1996) eşbütünleşme testi ile sınanmış ve eşbütünleşme ilişkisine rastlanmıştır. Daha sonra uzun dönemli ilişki için Geliştirilmiş En Küçük Kareler Yöntemi (FMOLS) ve Kanonik Eşbütünleşik Regresyon (CCR) gibi yapısal değişimlerin kukla değişken olarak modele dâhil edildiği tahmincilerle test edilmiştir. Bulgular, Almanya için uzun dönemde toplam enerji kullanım miktarını en fazla azaltan enerji AR-GE harcaması türünün yenilenebilir enerji

<sup>1</sup> Dr. Arş. Gör., Bingöl Üniversitesi, İİBF, İktisat Bölümü, [mnaimoglu@bingol.edu.tr](mailto:mnaimoglu@bingol.edu.tr), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9684-159X>.

*için yapılan AR-GE harcamaları olduğunu, en fazla artıran enerji AR-GE harcamaları türünün ise nükleer enerji için yapılan AR-GE harcamaları olduğunu göstermiştir. Almanya'nın 1990 yılına göre 2019 yılında yenilenebilir enerji AR-GE harcamalarını %99 oranında arttırması ve nükleer enerji AR-GE harcamalarını ise %45,46 oranında azaltması elde edilen sonuçları desteklemektedir. Dolayısıyla Almanya için enerji alanında yapılan iyileştirmeler çok önemli fırsatlar sunmaktadır.*

**Anahtar Kelimeler:** *Enerji tüketimi, AR-GE harcamaları, Yenilenebilir Enerji, Yenilenemez enerji, Nükleer enerji, Almanya.*

### **THE IMPACT OF R&D EXPENDITURES IN THE ENERGY FIELD ON ENERGY CONSUMPTION: THE CASE OF GERMANY**

#### **Abstract**

*Compared to 1990, Germany's GDP increased by 54% in 2019; renewable energy R&D expenditures increased by 99% and renewable energy use increased by 84811% (excluding hydro), while total energy consumption decreased by 14% and total energy losses 415%. In other words, Germany increased its use of renewable energy with its high income and managed to reduce its total energy consumption and total energy losses significantly. In the same period, France and Italy, which are partners between the G7 countries and the European Union countries, increased their total energy consumption by 7% and 0.71%. In comparison, Germany achieved a remarkable reduction of 14%. Therefore, the difference of this study from other studies is that the question of how Germany earned more income with less energy in the relevant period is investigated by econometric methods. In doing so, R&D expenditures made in renewable energy, non-renewable energy and nuclear energy were used for Germany from 1990 to 2019. For this purpose, the stability of the variables was investigated during the period examined by using Perron (1989) and Zivot and Andrews (1992) tests in which structural breaks were taken into account. Later, the long-term relationship was tested with the Gregory and Hansen (1996) cointegration test, and a cointegration relationship was found. Then, it was tested with estimators that structural changes such as the Fully Modified Ordinary Least Squares (FMOLS) and Canonical Cointegrated Regression (CCR) were included in the model as dummy variables for the long-term relationship. The findings show that the energy R&D expenditure for Germany that decreases the total energy use amount the most in the long term is the R&D expenditure for renewable energy. In contrast, the energy R&D expenditure that increases the most is the R&D expenditure for*

*nuclear energy. Germany's increase in renewable energy R&D expenditures by 99% in 2019 compared to 1990 and decreased nuclear energy R&D expenditures by 45.46% supports the results obtained. Therefore, improvements in energy in Germany offer significant opportunities.*

**Keywords:** Energy consumption, R&D expenditure, Renewable Energy, Non-Renewable Energy, Nuclear Energy, Germany.

## 1. Giriş

Enerji insanlığın tarih boyunca artan bir ihtiyacı olmuştur. Enerji kaynaklarının kıt olması, yakın gelecekte bitecek olması ve çevresel kalitede yaşanan olumsuzluklardan dolayı ekonomiler, tüketicilere herhangi bir refah kaybı yaşatmadan üreticilere ise üretimin miktarında ve kalitesinde herhangi bir düşüş yaşatmadan enerji tüketim miktarının nasıl azaltılacağı ve nasıl tasarruf edilebileceği konusunu sürekli olarak gündemlerinde güncel tutmuşlardır (Özbek ve Naimoğlu, 2021: 314). Yani enerjinin nasıl daha verimli bir şekilde kullanılabilirliği sorusu enerji politika yapımcılarının sürekli gündemini meşgul etmiş ve etmeye devam edecektir. Çünkü ekonomiler için en önemli enerji kaynaklarından birisi enerjinin tasarruflu, verimli ve etkin kullanılmasıdır (Naimoğlu ve Akal, 2021a: 457). Ayrıca 2018 yılı için dünyanın enerji kaynakları arasında fosil yakıt (kömür, petrol ve doğalgaz) payının günümüz teknolojilerine rağmen %81.20 (petrol %32, kömür %27 ve doğalgaz %23) gibi yüksek bir orana sahip olması ve buna alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının ise sadece %4.54 (hidro %2.54, rüzgâr, güneş vd. %2.01) gibi bir paya sahip olmasıdır. Ayrıca bu denli yüksek fosil yakıtlara bağımlılığın etkilerine bakıldığında ise dünyada 1900'lerin başında 2 milyar ton olan CO<sub>2</sub> gaz salınımı gerçekleşirken 2018 yılına gelindiğinde yaklaşık %1600 artış yaşanarak 36.2 milyar tona yükselmiştir (Gürler vd., 2020:30). Ayrıca 1990 yılına göre 2019 yılında dünya sıcaklık değişimi %131.6 oranında artış göstermiştir (FAOSTAT, 2021). Artan sıcaklık değişimleri ise fosil yakıtlara alternatif olabilecek ve yenilenebilir enerji payı içerisinde %56 orana sahip olan hidro kaynağını tehdit etmesi dünyanın yaşanabilir bir dünyanın geleceğini çok ciddi bir şekilde tehdit ettiğinin en somut göstergelerindendir. Bu tehdide Dünya'ya her bir saniyede 2 çocuğun, her sekiz saatte ise 60.000 kişinin dünyaya gelmesi (Gürler, 2020:77) ve günümüz teknolojilerine rağmen petrol, kömür, gaz, biokütle, nükleer, yenilenebilir enerji girdilerinde yaşanan verimliliğin %11 (Gürler vd., 2020:16) gibi oldukça düşük bir orana sahip olması eklenince konunun aciliyeti ve önemi somut bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

Yenilenebilir enerji, enerji verimliliğinin iyileştirilmesi için birçok fırsatlar sunmaktadır. Enerji bağımsızlığı ve enerji verimliliğine pozitif etkisi olan yenilenebilir enerji özellikle gelişmekte olan ülkeler özelinde tüm dünya için büyük bir öneme sahiptir (Ağır vd., 2020a:40). Yenilenebilir enerji payını arttırarak enerji verimliliğinin arttırılmasını sağlayan ülkeler ekonomik faaliyet seviyesini korurken ya da arttırırken, aynı zamanda genel sürdürülebilirliğin artmasını, enerji faturasının düşmesini, fosil yakıt bağımlılığının azalmasını, sera gazı ve sera gazı emisyonlarının azalması gibi birçok amacı gerçekleştirmeye yardımcı olmaktadır. Geleneksel enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında yenilenebilir enerji; jeotermal enerji (Fridleifsson, 2001), bio-malzeme enerjisi (Dias vd., 2009), güneş enerjisi (Kabalci, 2013), hidroelektrik enerji (Sipahutar vd., 2013) ve rüzgâr enerjisi (Cheng ve Zhu, 2014) olarak daha çekici görünmektedirler. Çünkü bu tür enerjiler hem yeşil, temiz, sürdürülebilir ve çevre dostu hem de kurulum maliyetleri dışında bir maliyeti olmayan enerjilerdir (Türkmen vd., 2018:130). Dolayısıyla yenilenebilir enerji alanında yapılacak yatırımlar, bu alanda yapılan teknolojik yenilikler ve enerji kaynakları arasında yenilenebilir enerji payının artması Dünya için çok önem arz etmektedir.

Almanya ise enerji konusunda Dünya'ya örnek olabilecek çok önemli adımlar atmıştır. Almanya'nın 1990 yılında enerji kaynakları arasında fosil yakıt payı yaklaşık %87 (kömür %37, petrol %35, doğalgaz %16) iken, yenilenebilir enerji payı %0.43 (hidro %0.43, rüzgâr, güneş vd. %0.005) ve nükleer payı ise %11 olmuştur. 2019 yılına gelindiğinde Almanya'nın enerji kaynakları arasında fosil yakıt payı yaklaşık %10 oranında azalarak %78 (petrol %34, doğalgaz %27, kömür %18) oranında, yenilenebilir enerjinin payı %1263(hidro dâhil) oranında artış göstererek %6 (hidro %0.57, rüzgâr, güneş vd. %5.9) ve nükleer enerjinin payı %43 azalış göstererek %6.5 oranında gerçekleşmiştir. Ayrıca Almanya 1990 yılına göre 2019 yılında enerji verimliliği alanında AR-GE harcamalarını %893 ve yenilenebilir enerji alanında AR-GE harcamalarını %99 oranında arttırırken, fosil yakıt AR-GE harcamalarını %82 ve nükleer enerji konusundaki AR-GE harcamalarını %46 oranında azaltmıştır (IEA, 2021). Dolayısıyla Almanya enerji kaynakları arasında fosil yakıt ve nükleer enerji kullanım ve Ar-Ge harcamalarını azaltırken yüksek artışlarla yerini yenilenebilir enerji kullanımına bırakmıştır.

## **2. Literatür**

Literatürde genel olarak enerji alanındaki teknolojik gelişmelerin, kullanılan enerji kaynağının verimli kullanılarak ya da yenilenebilir enerji gibi güvenli, sürdürülebilir ve çevre dostu alternatif enerji kullanımını arttırarak genel

enerji verimliliğinde ve çevre kalitesinde artma, enerji kullanımında ve CO2 emisyonlarında azalma şeklinde sonuçlanan çalışmalar bulunmaktadır. Ancak literatürde teknoloji değişkeni seçilirken bazı çalışmalarda farklı temsilciler kullanılmıştır. Griliches Griliches (1998), Zoltan vd. (2002) ve Sohag vd. (2015) çalışmalarında teknolojik gelişmenin göstergesi olarak patent ve patent verilerinin bazı özelliklerini kullanırken, Dai ve Bie (2006) ise ev sahibi ülkede sermaye artışına ve teknoloji teknoloji transferine sebep olan Doğrudan Yabancı Yatırımları'nın (DYY) bir ülkenin teknoloji ve yenilik düzeyinde önemli bir rol oynadığından, DYY kalitesinin teknoloji değişkeni olarak temsil edilebileceğini ifade etmiştir. Bu çalışmada ise Aflaki vd. (2014) ve Irandoust (2016) tarafından yapılan çalışmalarda olduğu gibi daha yüksek bir Ar-Ge yatırımlarının daha yüksek bir teknolojik yeniliğe neden olacağı düşünülerek teknoloji değişkenini temsil etmek için kullanılmıştır. Ayrıca yapılan AR-GE yatırımlarının toplam verimliliğin artırılmasında bir çark olarak görüldüğü ve daha yüksek AR-GE yatırımlarının daha yüksek üretkenliğe, daha verimli üretime ve daha etkin kaynak kullanımına neden olacağı değerlendirilmektedir. Dolayısıyla enerji alanında yapılan AR-GE harcamaları beraberinde enerji alanındaki teknolojik gelişmelere neden olacağından daha az enerjiyle daha fazla üretim yapılmasıyla sonuçlanacaktır (Ağır vd., 2020b: 72).

Lantz ve Feng (2006) Kanada için 1970–2000 döneminde teknolojik gelişimin CO2 üzerindeki etkisini Genelleştirilmiş En Küçük Kareler yöntemiyle araştırmışlardır. Bulgular Kanada'da enerji alanında yapılan yatırımların ve bu alandaki gelişmelerin, üretimin kalitesi ve miktarında bir düşüş yaşanmadan daha az enerji kullanılarak genel enerji tüketimini azaltıcı yönde etkilediğini ve bunun sonucunda CO2 üzerinde azaltıcı bir etkisi olduğunu göstermiştir.

Dinda (2011) ABD'de 1963-2007 için üretim teknolojisi ile çevre kirliliği arasındaki ilişkiyi Panel eşbütünleşme ile incelemiştir. Bulgular CO2 emisyonlarının azaltılması için üretimde inovasyon ve AR-GE harcamaları payının artırılmasının enerji verimliliğinde ve çevre kalitesinde artışa neden olacağını tespit etmişlerdir.

Cho vd. (2013) Avrupa Birliği (AB) ülkeleri için 1995-2006 döneminde yenilenebilir enerji tüketimi, petrol fiyatları, gelir ve yenilenebilir enerji AR-GE harcamaları arasındaki ilişkiyi Panel eşbütünleşme ile araştırmıştır. Bulgular petrol fiyatlarında yaşanan artışın enerji kullanımını ikame yoluyla yenilenebilir enerjiye kayacağını göstermiştir. Ayrıca gelirde yaşanan artışın enerji alanında

AR-GE harcamalarını artırdığı ve bu durumun AB ülkelerinde daha temiz ve sürdürülebilir enerji için yenilenebilir enerji kullanımını artırdığını göstermiştir.

Sahu ve Narayanan (2013) Hindistan'da 2000-2011 için imalat sanayisinde yer alan firmaların fosil yakıt kullanımının karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonları üzerindeki etkisini Panel EKK yöntemiyle araştırmıştır. Bulgular, fosil yakıt kullanımında yaşanan artışın CO<sub>2</sub> emisyonlarını arttırdığını, AR-GE faaliyetlerine daha fazla kaynak aktarılmasının çevre dostu enerji kaynağı kullanımını artıracığından CO<sub>2</sub> emisyonunun azaltılmasında önemli fırsatlar sunduğunu ortaya koymuştur.

Lee ve Min (2015) Japonya için 2001-2010 döneminde yenilenebilir enerji AR-GE harcamalarının çevre ve firmaların finansal performansı üzerindeki etkisini en küçük kare doğrusal öngörü yöntemiyle incelemiştir. Bulgular, yeşil enerji AR-GE harcamalarında meydana gelen artışın enerji verimsizliğine neden olan fosil yakıt yerine yenilenebilir enerji kullanımını artırdığı ve CO<sub>2</sub> emisyonlarını azalttığını elde etmiştir.

Balsalobre vd. (2015), 28 OECD ülkesi için 1994-2000 döneminde kamu enerji Ar-Ge harcamalarının enerji verimliliği ve sera gazı emisyonları üzerindeki etkisini Panel EKK yöntemiyle araştırmıştır. Bulgular, enerji Ar-Ge harcamalarının hem enerji yoğunluğu hem de sera gazı emisyonları üzerinde azaltıcı bir etkiye sebep olduğunu göstermiştir.

Álvarez-Herránz vd. (2017b), 28 OECD ülkesi için 1990-2014 döneminde enerji yeniliği ve sera gazı emisyonları arasındaki ilişkiyi İki Aşamalı En Küçük Kareler yöntemiyle araştırmıştır. Bulgulara göre, enerji konusunda yapılan her türlü inovasyonun fosil yakıtlara göre sera gazı emisyonlarını azaltıcı bir etkisi vardır.

Álvarez-Herránz vd. (2017a) 17 OECD ülkesi için 1990-2012 döneminde enerji inovasyonu ve hava kirliliği arasındaki ilişkiyi Panel Eşbütünleşme yöntemiyle araştırmışlardır. Bulgular enerji yeniliğine yapılan yatırımların hava kirliliğini azaltarak çevre kalitesine olumlu bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir.

Jin vd. (2017) Çin için enerji teknolojilerindeki gelişmelerin Çin üzerindeki etkilerini Panel eşbütünleşme ile araştırırken yapılan Ar-Ge harcamalarının ve teknolojik yeniliklerin Çin'de genel enerji kullanımını azaltarak ve enerjinin verimli kullanımını artırarak CO<sub>2</sub> emisyonunun azaltılmasında önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

Li vd. ( 2017 ) Çin’de bulunan 30 şehir için 1997–2014 döneminde yapılan teknolojik faaliyetlerin CO2 emisyonları üzerindeki etkisini Dinamik Mekânsal Regresyon yöntemiyle araştırmışlardır. Bulgular, Çin’ de enerji alanında yapılan teknolojik gelişmelerin etkisiyle aynı çıktıyı daha az enerji kullanılarak elde edilmesi sonucu genel CO2 emisyonları üzerinde azaltıcı bir etkiye sahip olduğunu elde etmişlerdir.

Zhou vd.(2017), Çin için 2004-2014 döneminde çevre kalitesinin bozulmasında önemli bir role sahip olan kükürt dioksit (SO2) emisyonları ile teknolojik yeniliği, Uzamsal Durbin Modeli yöntemiyle araştırmışlardır. Bulgular, teknolojik gelişmelerde yaşanan artışın kükürt dioksit (SO2) emisyonları üzerinde azaltıcı bir etkiye sahip olduğunu elde etmişlerdir.

Kahouli (2018) Akdeniz ülkeleri için 1990-2016 döneminde toplam Ar-Ge yatırımları ile CO2 emisyonları arasındaki ilişkiyi Görünürde İlişkisiz Regresyon, Üç Aşamalı En Küçük Kareler ve Genelleştirilmiş Moment Yöntemleri ile araştırmışlardır. Elde edilen bulgulara göre toplam Ar-Ge yatırımları ile CO2 emisyonları arasında negatif bir ilişkinin bulunduğu, dolayısıyla enerji konusunda yapılan Ar-Ge harcamalarının yaşanılabilir bir dünyanın inşası için çok önemli çözüm yollarından biri olduğu görülmüştür

Fernández vd. ( 2018 ) toplam Ar-Ge harcamalarının CO2 emisyonu üzerindeki etkisini 1994–2013 döneminde Avrupa Birliği (AB), ABD ve Çin ülkeleri için Sıradan En Küçük Kareler Yöntemiyle araştırmıştır. Ampirik bulgular toplam Ar-Ge harcamalarının AB ve ABD CO2 emisyonlarını azaltıcı, Çin’de ise arttırıcı bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Dolayısıyla elde edilen bulgular, CO2 emisyonlarının azaltılmasında teknolojik gelişmelerin ülkelerin gelişmişlik düzeyi ile ilişkili olduğunu göstermiştir.

Mensah vd. ( 2018 ) 28 OECD ülkesi için 1990–2014 döneminde enerji alanında yapılan yeniliklerin CO2 üzerindeki etkisini Tamamen Değiştirilmiş Doğrusal Regresyon (FMOLS) yöntemiyle araştırmışlardır. Bulgular, enerji alanında yapılan yeniliklerin daha az enerji kullanımına yani enerjinin verimli kullanımına yol açtığından CO2 üzerinde azaltıcı bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur.

Naimoğlu (2021) Almanya için 1990-2019 döneminde yenilenebilir enerji tüketimi ve enerji kayıplarının ekonomik büyüme üzerindeki etkisini Fourier ADL yöntemiyle araştırmıştır. Bulgular, kısa ve uzun dönem de Almanya için yenilenebilir enerji kullanımında yaşanan artışın ekonomik büyümeyi artırdığı

enerji kayıplarında yaşanan artışın ise ekonomik büyümeyi azalttığı sonucuna ulaşmıştır.

Saito (2010), dünyada nükleer enerji kullanan ülkeler için fosil yakıtların yakın gelecekte tükenerek olmasına alternatif olarak nükleer enerjiyi araştırmıştır. Bulgular, dünya için yılda 10 milyar tondan fazla petrol eşdeğeri enerji tüketilmekte ve %80'inden fazlası kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Bu yüzden nükleer enerji, enerji güvenliği ve küresel ısınma sorunlarını çözmek için önemli bir rol oynayabilmektedir. Ayrıca Nükleer enerji kullanımı, yalnızca elektrik üretiminde de değil, çelik yapımı, kimya endüstrisi gibi çeşitli endüstrilerde ve yüksek sıcaklıktaki gazla soğutulan reaktör (HTGR)'lerin geliştirilmesiyle hidrojen üretimi ile birlikte kesinlikle genişleyecektir. Yeni teknoloji ürünü olan HTGR reaktör çıkışında yaklaşık 1000 °C helyum gazı üretebilen yüksek sıcaklıkta gazla soğutulan bir reaktör üretildiğinden bahsetmektedir. Eğer bu kadar yüksek sıcaklıkta gaz elde edilebilirse, nükleer enerji kullanım alanları, yalnızca elektrik üretiminde değil, aynı zamanda hidrojen üretiminde, demir cevherinin deoksidize edilmesiyle doğrudan çelik üretimi, çeşitli kimya endüstrilerinde işlem ısısı vb. gibi yüksek enerji gerektiren alanlarda da kullanılabilceğini ifade etmiştir. Dolayısıyla bu alanda yapılacak olan teknolojik harcamalar fosil yakıttan daha az enerji kullanımına, daha az CO2 emisyonu salınımına ve daha yüksek enerji gerektiren alanlara uygun bir alternatif olacağını belirtmiştir.

### **3. Veri Seti, Ekonometrik Yöntem ve Bulgular**

Bu bölümde, Almanya için enerjinin verimli kullanılmasının önemli bir göstergesi olan enerji kullanımı (ET) ile yenilenebilir enerji AR-GE harcamaları (YEN), fosil yakıt AR-GE harcamaları (FOS) ve nükleer enerji AR-GE harcamaları (NKLR) arasındaki ilişki ekonometrik yöntemlerle test edilmektedir.

$$ET_t = f(YEN_t, FOS_t, NKLR_t)$$

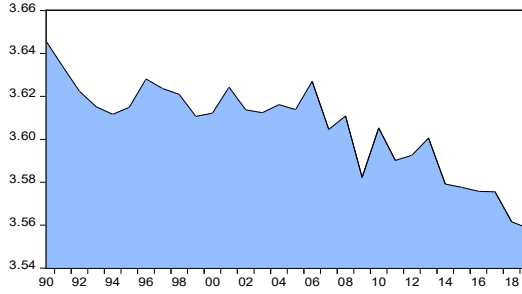
Şeklindeki denklem için araştırılacaktır.

#### **3.1. Veri Seti, Tanımlayıcı İstatistikler ve Çoklu Doğrusal Bağlantının Araştırılması**

Çalışmada kullanılan bağımlı değişken toplam enerji tüketiminin logaritmasıdır. Grafik 1, Almanya'nın 1990-2019 döneminde enerji tüketim eğilimini göstermektedir. Almanya'nın enerji tüketim grafiği genel olarak azalış eğilimi gösterse de hassas ve büyük dalgalanmalara sahip olması enerji tüketimini etkileyebilecek faktörlere karşı ne kadar çok duyarlı olduğunu göstermektedir.



**Grafik 1:** Enerji Tüketim Grafiği 1990-2018 (ktoe)



**Kaynak:** Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), [www.iea.org](http://www.iea.org)

Almanya'nın 1990-2019 dönemi için enerji kullanımını nasıl azalttığına sınındığı bu çalışmada, modelde yer alan değişkenlerin logaritmaları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan değişkenlerin açıklaması, kaynağı ve hangi dönemleri kapsadığı Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1:** Değişkenlerin Tanımı ve Kaynakları

Değişken	Tanım	Kaynak	Dönem
ET	Log (kişi başı petrol kilo eşdeğer yağ)	IEA	1990-2019
YEN	Log (ABD doları cinsinden teknoloji grubu başına yenilenebilir enerji için AR-GE bütçesi)	IEA	1990-2019
FOS	Log (ABD doları cinsinden teknoloji grubu başına yenilenemez(fosil) enerji için AR-GE bütçesi)	IEA	1990-2019
NKLR	Log (ABD doları cinsinden teknoloji grubu başına nükleer enerji için AR-GE bütçesi)	IEA	1990-2019

Çalışmada kullanılan değişkenler tanımlandıktan sonra bağımlı ve bağımsız değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikleri değerler hesaplanmış ve Tablo 2'de gösterilmiştir.

**Tablo 2:** Tanımlayıcı İstatistikler

	ET	YEN	FOS	NKLR
Ortalama	3.605	2.293	1.454	2.452
Medyan	3.612	2.242	1.567	2.468
Maksimum	3.646	2.613	2.170	2.739
Minimum	3.559	1.968	0.301	2.149
Std. Sap.	0.022	0.203	0.432	0.117
Çarpıklık	-0.553	0.273	-1.202	0.258
Basıklık	2.557	1.552	4.477	4.411
Gözlem	30	30	30	30

Değişkenler arasındaki doğrusal ilişkinin yönü ve derecesi hakkında bilgi edinmek için basit korelasyon katsayılar hesaplanmış ve Tablo 3'te gösterilmiştir.

**Tablo 3:** Spearman Korelasyon Katsayıları

	ET	YEN	FOS	NKLR
ET	1			
YEN	-0.740 0.000	1		
FOS	-0.257 0.170	0.528 0.003	1	
NKLR	0.023 0.904	0.461 0.010	0.554 0.002	1

**Not:** gözlem sayısı 30 olup korelasyon katsayılarının altındaki değerler olasılık değerleridir

Korelasyon katsayısı -1 ile 1 arasında değişmekte ve değişkenler arasındaki doğrusal ilişkinin derecesini göstermektedir. Ayrıca korelasyon katsayısının mutlak değer olarak 1'e yakın olması güçlü bir ilişkiyi gösterirken 0'a yakın olması ise zayıf bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçların güvenilirliği için bağımsız değişkenler arasında tam ilişki bulunmaması için çoklu doğrusal bağlantı varsayımı test edilmelidir. Değişkenler arasındaki korelasyon katsayılarının mutlak değer olarak 0.90 ve üzerinde olması çoklu doğrusal bağlantı probleminin varlığı konusunda şüphelendirmektedir (Tabachnick ve Fidell, 2001). Tablo 3 incelendiğinde yenilenebilir enerji AR-GE harcamaları (YEN) ve fosil yakıt AR-GE harcamaları (FOS) enerji tüketimi (ET) ile negatif bir ilişkiye sahip iken nükleer enerji AR-GE harcamaları (NKLR) ise enerji tüketimi (ET) ile pozitif bir ilişkiye sahiptir. Ancak yenilenebilir enerji AR-GE harcamaları (YEN) hariç diğer değişkenler istatistiksel olarak anlamsız çıkmıştır. Çalışmada kullanılan değişkenler arasında en yüksek korelasyon katsayısı mutlak değer olarak 0.74 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca çoklu doğrusal bağlantı probleminin bulunmadığını belirleyebilmek için bir diğer ölçüt ise Varyans Şişirme Faktör (VIF) değerlerinin 10 değerinden küçük olması gerektirir (Abbas, 2020:8).

Değişkenlere ait VIF değerleri hesaplanmış ve Tablo 4'te gösterilmiştir.

**Tablo 3:** Varyans Şişirme Faktör (VIF) Değerleri

	Varyans Katsayısı	Merkezi VIF Değeri
<b>YEN</b>	0.000181	1.469966
<b>FOS</b>	4.57E-05	1.670384
<b>NKLR</b>	0.000573	1.531202
<b>C</b>	0.002934	NA

Tablo 4 incelendiğinde açıklayıcı değişkenlere ait VIF değerleri 1.46 ile 1.67 arasında değişmektedir. Dolayısıyla değişkenler arasında çoklu doğrusal bağlantı probleminin olmadığı söylenebilir. Elde edilen bulgular korelasyon analiz sonuçlarıyla uyumludur.

### 3.2. Çalışmanın Analiz Yöntemi

Ekonomi politikalarında ortaya çıkan değişmeler, krizler, savaşlar vb. sebepler yapısal kırılmaların başlıca örnekleridir (Koçak ve Özbek, 2020: 27). Dolayısıyla iktisadi analizlerde kullanılacak değişkenler için birim kök süreç incelemesi yapılırken, adı geçen nedenlerden dolayı ortaya çıkabilecek yapısal kırılmaları dikkate alan tekniklerin kullanılması ilgili analizlerin geçerliliğini ve doğruluğunu güçlendirecektir (Ceylan ve Karaağaç, 2019:227; Özbek, 2020:160). Çalışmanın bu kısmında, yapısal kırılmalara izin veren Perron (1989) ile Zivot ve Andrews (1992) durağanlık testleri kullanılacaktır. Sonra uzun dönem ilişkisi için Gregory ve Hansen eşbütünleşme testi yapılacaktır. Daha sonra ise kısa-uzun dönemli ilişki için Geliştirilmiş En Küçük Kareler Yöntemi (FMOLS) ve Kanonik Eşbütünleşik Regresyon (CCR) gibi yapısal değişmelerin kukla değişken olarak modele dâhil edildiği tahminciler kullanılacaktır.

#### 3.2.1. Perron (1989) Birim Kök Testi

Perron (1989)'un literatüre kazandırdığı durağanlık testi için 1929 tarihinde meydana gelen *Büyük Buhran* ve 1973 yılında meydana gelen *Petrol Krizi* olaylarının yapısal değişime neden olacağını belirterek temel hipotez atında

$$y_t = \mu + \alpha y_{t-1} + \delta_1 D(TB)_t + e_t$$

(Model A)

$$y_t = \mu + \alpha y_{t-1} + \delta_2 DU_t + e_t$$

(Model B)

$$y_t = \mu + \alpha y_{t-1} + \delta_1 D(TB)_t + \delta_2 DU_t + e_t$$

(Model C)

Şeklindeki A, B ve C modellerini ele almıştır (Perron, 1989:1364). Burada A modeli düzeyde değişimli yapısal kırılmanın meydana geldiği birim kök

sürecini gösterirken, Model B eğim parametresinde, Model C ise hem düzeyde hem de eğimde meydana gelen yapısal kırılmanın yer aldığı süreci ifade etmektedir. Bunun yanında A Modeli için temel hipotez düzeyde meydana gelen şokla birim köklü olması iken Model B’de eğimde, Model C’de ise hem eğim hem de düzeyde meydana gelen bir yapısal kırılmadan dolayı durağan olmadığını ifade etmektedir. Burada  $D(TB)_t$  ve  $DU_t$  sırasıyla düzeyde ve eğimde sahip olunan şokların dikkate alındığı birer kukla değişkendir.

Değişkenlere ait yapısal kırılmalı Perron birim kök test sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir.

**Tablo 2:** Perron birim kök test sonuçları

Değişken	Model A			Model C		
	Test İstatistiği	Gecikme Uzunluğu	Kırılma Tarihi	Test İstatistiği	Gecikme Uzunluğu	Kırılma Tarihi
ET	-2.802	1	2014	-5.004	1	2009
YEN	-4.436	1	2008	-3.888	1	2008
FOS	-4.142	1	1995	-4.654	1	1998
NKLR	-4.462	1	2008	-3.764	1	1998

*Not: Perron (1989) ’dan elde edilen Model A için Kritik Değerler %1=-5.92, %5=-5.23, %10=-4.92, Model C için kritik değerler %1=-6.32, %5=-5.59, %10=-5.29 şeklindedir*

Tablo 3 incelendiğinde düzeyde meydana gelen değişimin yer aldığı Model A’nın yanında hem düzey hem de eğimde meydana gelen değişimin yer aldığı Model C için durağanlık test sonuçlarına yer verilmiştir. Her iki model için de tüm değişkenlerin istatistik değerleri mutlak değer itibariyle kritik değerlerden küçük olduğu için tüm seriler düzeyde birim köklüdür.

### 3.2.2. Zivot ve Andrews (1992) Birim Kök Testi

Perron (1989) durağanlık testinde yapısal kırılmaları dışsal olarak belirlerken, Zivot ve Andrews (1992) ise içsel olarak modele dâhil etmiştir. Zivot ve Andrews (1992) geliştirdikleri birim kök testinde yapısal kırılma tarihini içsel olarak belirleyip

$$y_t = \mu + \beta t + \alpha y_{t-1} + \theta_1 DT(\varphi) + \sum_{i=1}^k c_i \Delta y_{t-i} + e_t$$

(Model A)

$$y_t = \mu + \beta t + \alpha y_{t-1} + \theta_2 DU(\varphi) + \sum_{i=1}^k c_i \Delta y_{t-i} + e_t$$

(Model B)

$$\sum_{i=1}^k c_i \Delta y_{t-i} + e_t$$

(Model C)

Şeklindeki üç modeli incelemişlerdir (Zivot ve Andrews, 1992: 254). A Modeli sabitte, B Modeli trendde, C Modeli ise hem sabit de hem de trendde meydana gelen yapısal kırılmanın bulunduğu süreci ifade etmektedir. Ayrıca A Modeli için Ho hipotezi sabitte meydana gelen bir değişimle birim köklü olması iken, B Modeli de trendde, C Modeli ise sabit ve trendde meydana gelen bir şoktan dolayı durağan olmadığını ifade etmektedir. Burada  $DT$  ve  $DU$  sırasıyla sabit terim ve trendde yapısal kırılmanın dikkate alındığı birer kukla değişkendir.  $\Delta y_{t-i}$  ise hata terimlerinde meydana gelebilecek otokorelasyonu ortadan kaldırmak için oluşturulup modele eklenmiştir.

Değişkenlere ait yapısal kırılmalı Zivot ve Andrews (1992) birim kök test sonuçları Tablo 3'te gösterilmiştir.

**Tablo 3:** Zivot ve Andrews birim kök test sonuçları

Değişken	Model A			Model C		
	Test İstatistiği	Gecikme Uzunluğu	Kırılma Tarihi	Test İstatistiği	Gecikme Uzunluğu	Kırılma Tarihi
ET	-2.991	1	2014	-4.612	1	2009
YEN	-4.005	1	2008	-3.301	1	2008
FOS	-4.143	1	1995	-4.656	1	1998
NKLR	-4.313	1	2008	-3.583	1	1999

**Not:** Zivot ve Andrews (1992)'den alınan kritik değerler A modeli için %1=-5.34, %5=-4.93, %10=-4.58, B modeli için ise %1=-5.57, %5=-5.08, %10=-4.82 şeklindedir.

Tablo 3 incelendiğinde sabitte olan değişimin yer aldığı A modelinin yanında sabit ve trendde meydana gelen değişimin içerildiği C modeli için hesaplanan birim kök test sonuçlarına yer verilmiştir. Her iki model sonuçlarına göre de tüm değişkenlerin istatistik değerleri mutlak değer itibariyle kritik değerlerden küçük olduğu için tüm seriler düzey değerlerinde durağan değildir.

### 3.2.3. Gregory-Hansen (1996) Eşbütünleşme Testi

Gregory ve Hansen literatüre kazandırdıkları bu testle yapısal kırılmaya izin vermiş ve bu kırılmayı içsel olarak belirlemişlerdir. Yapısal durağanlık testlerine benzer olarak Gregory-Hansen (1996) eşbütünleşme testinde de

$$y_{1t} = \mu_1 + \mu_2 \varphi_{tr} + a^T y_{2t} + \varepsilon_t$$

(Model A)

$$y_{1t} = \mu_1 + \mu_2 \varphi_{tr} + \beta t + a^T y_{2t} + \varepsilon_t$$

(Model B)

$$y_{1t} = \mu_1 + \mu_2 \varphi_{tr} + a_1^T y_{2t} + a_2^T y_{2t} \varphi_{tr} + \varepsilon_t$$

(Model C)

Şeklinde üç farklı model, modelde kullanılacak değişkenler arasındaki eşbütünleşme ilişkisini araştırmak için kullanılmıştır. Burada  $\mu_1$  ve  $\mu_2$  sabitte kırılma,  $a_1$  kırılma meydana gelmeden önceki eğim katsayısı,  $a_2$  ise kırılma meydana geldikten sonraki eğim katsayısında meydana gelen değişimdir (Gregory and Hansen, 1996:103). Gregory-Hansen (1996) eşbütünleşme testi için kullanılan Philips test istatistik denklemleri

$$Z_a^* = \inf_{\tau \in T} Z_a(\tau)$$

$$Z_t^* = \inf_{\tau \in T} Z_t(\tau)$$

$$ADF^* = \inf_{\tau \in T} ADF(\tau)$$

Şeklinde (Gregory and Hansen, 1996:106). Bu testler de elde edilen  $Z_a^*$ ,  $Z_t^*$  ve  $ADF^*$  test istatistikleri Gregory-Hansen (1996)'un kendi çalışmasında elde ettiği kritik değerler ile kıyaslanır. Daha sonra  $H_0$ : eşbütünleşme ilişkisi yoktur şeklindeki hipotez test edilir (Tıraşoğlu ve Yıldırım, 2012:115).

Modelde eşbütünleşme ilişkisi Gregory-Hansen (1996) eşbütünleşme testi ile sınanmış ve sonuçlar Tablo 4'te gösterilmiştir.

**Tablo 4:** Gregory-Hansen (1996) Eşbütünleşme Test Sonuçları

	Test İstatistiği	Lag	Kırılma Tarihi	Kritik Değerler
ADF	-7.405***	0	2009	1%=-6.51, %5=-6.00, %10=-5.75
Zt	-7.614***	-	2009	
Za	-38.720	-	2009	1%=-80.15, %5=-68.94, %10=-63.42

**Not:** \*(%10), \*\*(%5), \*\*\*(%1) düzeyinde anlamlılık seviyeleridir.

Tablo 4 incelendiğinde ADF ve Zt test istatistiklerinin %1 anlamlılık düzeyindeki kritik değerlerden büyük olduğunu ve Almanya'da enerji kullanımı (ET) ile yenilenebilir enerji konusunda yapılan AR-GE harcamaları (YEN), fosil yakıt konusunda yapılan AR-GE harcamaları ve nükleer enerji konusunda yapılan AR-GE harcamaları (NKLR) arasında uzun dönemli bir ilişkinin bulunduğunu göstermektedir.

### 3.2.4. Uzun Dönem Katsayı Tahmini

Almanya için enerji kullanımı ile AR-GE harcamaları arasında uzun dönemli bir ilişkinin bulunduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden uzun dönem katsayı tahmini yapılacaktır. Bunun için sahip olunabilecek şokların kukla değişken olarak modelde bulunduğu Philips ve Hansen (1990) tarafından literatüre kazandırılan Düzenlenmiş/Geliştirilmiş En Küçük Kareler Yöntemi (FMOLS) ile

Park (1992) tarafından literatüre kazandırılan Kanonik Eşbütünleşik Regresyon (CCR) tahmincileri kullanılarak uzun-kısa dönem katsayı tahmini yapılacaktır. FMOLS tahmincisi açıklayıcı değişkenler ile kalıntılar arasındaki ilişki ve içsellik sorunu nedeniyle meydana gelebilecek sapmaların giderilmesi için önemli bir tahmincidir (Nazlıoğlu, 2010:99). CCR tahmincisi ise uzun dönemde meydana gelebilecek korelasyondan kaynaklı içsellik problemini asimptotik olarak yok etmektedir (Mehmood vd. 2014:9).

Enerji kullanımı ve yenilenebilir enerji AR-GE harcamaları arasındaki ilişkiye yönelik uzun dönem katsayı tahmini için kullanılan FMOLS ve CCR tahmincilerinin sonuçları Tablo 5'te gösterilmiştir.

**Tablo 5:** FMOLS ve CCR Uzun Dönem Katsayı Tahmin Sonuçları

Bağımlı Değişken	FMOLS				CCR			
	YEN	FOS	NKLR	C	YEN	FOS	NKLR	C
ET	-	-	0.062**	3.521**	-	-	0.062**	3.525**
	0.023***	0.002*	*	*	0.025**	0.003*	*	*
	0.007	0.001	0.005	0.012	0.009	0.001	0.005	0.015

**Not:** \*(%10), \*\*(%5), \*\*\*(%1) düzeyinde anlamlılık seviyeleridir.

Tablo 5'te FMOLS ve CCR tahmincileri için katsayıların büyüklüğü ve işareti birbirine benzer sonuçlar göstermiştir. Almanya için yenilenebilir enerji konusunda yapılan AR-GE harcamaları (YEN) ile fosil yakıt konusunda yapılan AR-GE harcamaları enerji tüketimini azaltırken, nükleer enerji konusunda yapılan AR-GE harcamaları (NKLR) ise enerji tüketimini artırmaktadır. Katsayı olarak bakıldığında yenilenebilir enerji konusunda yapılan AR-GE harcamalarında (YEN) ve fosil yakıt konusunda yapılan AR-GE harcamalarında (FOS) meydana gelen %1' lik bir artış enerji tüketimini sırasıyla %0.023 ve %0.002 oranında azaltırken, nükleer enerji konusunda yapılan AR-GE harcamalarında (NKLR) meydana gelen %1' lik bir artış enerji tüketimini %0.062 oranında artırmaktadır. Dolayısıyla yenilenebilir enerji alanında yatırım ve teknolojik gelişmelerin artırılması enerjinin verimli kullanımını artırarak genel enerji tüketiminin kullanımını azaltmaktadır (Naimoğlu ve Akal, 2021b:3).

Model de kısa dönem katsayı tahmini için FMOLS ve CCR tahmin sonuçları Tablo 6'da gösterilmiştir.

**Tablo 6:** FMOLS ve CCR Kısa Dönem Katsayı Tahmin Sonuçları

Bağımlı Değişken	FMOLS				CCR			
	ECT <sub>t-1</sub>	ΔYEN	ΔFOS	ΔNKLR	ECT <sub>t-1</sub>	ΔYEN	ΔFOS	ΔNKLR
ΔET	-0.830***	-0.021	-0.003	0.016	-0.820**	-0.033	-0.002	0.023
	0.275	0.017	0.006	0.018	0.338	0.027	0.007	0.031

*Not: \*(%10), \*\*(%5), \*\*\*(%1) düzeyinde anlamlılık seviyeleridir.*

Hatalar arasındaki uzun dönem ilişkiyi ifade eden hata düzeltme katsayısı (ECT) teorik beklentiye uygun olarak bulunmuş, negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Dolayısıyla bu durum enerji kullanımı ile AR-Ge yatırımları arasında uzun dönemli bir ilişki olduğunu doğrulamaktadır. Hata düzeltme terimi (ECT) düzeltme oranını belirtir ve değişkenlerin uzun dönemde dengeye ne kadar hızlı döndüğünü gösterir. Böylece ECT teriminin katsayısı FMOLS (-0.830) ve CCR (-0.820) modellerine göre, t-1 dönemindeki bir varyantın sırasıyla yaklaşık % 0.83 ve %0.82'nin t döneminde (bir dönem veya yıl içerisinde) düzeltileceğini gösterir.

## **Sonuç**

Almanya'nın 1990 yılına göre 2019 yılında toplam enerji tüketimi %14, fosil yakıt konusunda yapılan AR-GE harcamaları (FOS) %82, nükleer enerji konusunda yapılan AR-GE harcamaları (NKLR) %45, fosil yakıt tüketimi %23 ve nükleer enerji kullanımı %51 oranında azalış göstermiştir. Ayrıca nüfusu %5, GSYİH'sı %53, yenilenebilir enerji konusundaki yapılan AR-GE harcamaları (YEN) %99 ve yenilenebilir enerji kullanımı %1068 oranında artmıştır (IEA, 2021). Dolayısıyla Almanya ilgili dönemde fosil yakıt kullanımını yavaş yavaş azaltırken, bu alandaki AR-GE harcamalarını ise ciddi oranda azaltmıştır. Nükleer kullanımını fosil yakıtı göre daha hızlı terk eden Almanya bu alandaki AR-GE harcamalarını ise fosil yakıtı göre biraz daha yavaş terk etmiştir. Ancak yenilenebilir enerji konusundaki AR-GE harcamalarını artırırken, yenilenebilir enerji kullanımını ise yüksek derecede arttırmıştır. Dolayısıyla çevre dostu yenilenebilir enerji tüm dünya genelinde ve Almanya özelinde çok önemli fırsatlar sunarken, fosil yakıt ve nükleer kullanımı çevre kalitesinin bozulmasına, enerjinin verimsiz kullanılmasına ve insan sağlığının olumsuz etkilemesinin yanında birçok olumsuzluğu beraberinde getirmektedir.

Fosil yakıtın yakın gelecekte tükenerek olması ve dünyanın hala yüksek oranda fosil yakıtlara bağımlı olması yaşanılabilir bir dünyanın geleceğini çok hızlı bir şekilde tehdit etmektedir. Nükleer enerji kullanımı fosil yakıtlara nazaran



daha az sera gazı salınımı gerçekleştirirse de yaşanılabilir bir dünya için en tehlikeli kirlilik nükleer kirliliktir. Nükleer santrallerde veya nükleer maddelerin taşınması sırasında meydana gelebilecek sızıntı ve kazalar da ortaya çıkan radyoaktif atıklar geri dönüşü olmayan yıkıcı sonuçlara neden olabilir. Bu yüzden yaşanılabilir bir dünya için ihtiyaç duyulan enerjinin yenilenebilir enerji olduğu ve kullanılan enerjinin ise daha verimli bir şekilde kullanılması çok önem arz etmektedir.

### **Kaynaklar**

ABBAS, S. K., & LAN, H. (2020), *Commodity Price Pass-Through and Inflation Regimes*, Energy Economics, 92 (2020),1-11.

AFLAKİ, S., BASHER, S. A., & MASİNİ, A. (2014), *Does economic growth matter? Technology-push, demand-pull and endogenous drivers of innovation in the renewable energy industry*, HEC Paris Research Paper No. MOSI-2015-1070.

AĞIR, H., ÖZBEK, S., & TÜRKMEN, S. (2020a), *Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belirleyicileri: Ampirik Bir Tahmin*, Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 6(4), 39-48.

AĞIR, H., ÖZBEK, S., & TÜRKMEN, S. (2020b), *Finansal kuznets eğrisi yaklaşımı çerçevesinde finansallaşma ve gelir eşitsizliği ilişkisi: E7 ülkeleri üzerine ekonometrik bir tahmin*. Bilgi Ekonomisi ve Yönetimi Dergisi, 15(2), 71-84.

ÁLVAREZ-HERRÁNZ, A., BALSALOBRE-LORENTE, D., SHAHBAZ, M., & CANTOS, J. M. (2017a), *Energy innovation and renewable energy consumption in the correction of air pollution levels*, Energy Policy 105:386–397.

ÁLVAREZ-HERRÁNZ, A., BALSALOBRE, D., CANTOS, J. M., & SHAHBAZ, M. (2017b), *Energy innovations-GHG emissions nexus: fresh empirical evidence from OECD countries*, Energy Policy 101:90–100.

BALSALOBRE, D., ÁLVAREZ, A., & CANTOS, J. M. (2015), *Public budgets for energy RD&D and the effects on energy intensity and pollution levels*, Environmental Science and Pollution Research, 22(7), 4881-4892.

CEYLAN, R., & KARAAĞAÇ, G. E. (2019), *Türkiye’de Sürekli Gelir Hipotezinin Test Edilmesi: Doğrusal Olmayan Birim Kök Testlerinden Kanıtlar*, Ufuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 8(15), 219-237.

CHENG, M., ZHU, Y. (2014), *The State of The Art of Wind Energy Conversion Systems and Technologies: A Review*, Energy Conversion and Management, 88 (2014), 332-347.

CHO, C.H., YANG, L. J., CHU, Y. P. & YANG, H. Y. (2013), *Renewable energy and renewable R&D in EU countries: A cointegration analysis*, Asian Journal of Natural & Applied Sciences, 2:1, 10-16.

DAI, Q., & BIE, Z. (2006), *FDI, Accumulation of Human Capital and Economic Growth*, Econ. Res. J., 4, 15–27

DIAS, M. O., ENSINAS, A. V., NEBRA, S. A., MACIEL FILHO, R., ROSSELL, C. E., MACIEL, M. R. W. (2009), *Production of Bioethanol and Other Bio-Based Materials From Sugarcane Bagasse: Integration to Conventional Bioethanol Production Process*, Chemical Engineering Research and Design, 87 (9), 1206-1216.

DINDA, S. (2011), *Carbon emission and production technology: Evidence from the US*, MPRA, 31935.

FERNÁNDEZ, FY., LÓPEZ, FMA., BLANCO, OB. (2018), *Innovation for sustainability: the impact of R&D spending on CO<sub>2</sub> emissions*, J Clean Prod 172:3459–3467.

FRIDLEIFSSON, I. B. (2001), *Geothermal Energy for The Benefit of The People*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 5 (3), 299-312.

GREGORY, A. W., & HANSEN, B. E. (1996), *Residual-Based Tests for Cointegration in Models With Regime Shifts*, Journal of Econometrics, Vol. 70, pp. 99-126.

GRILICHES, Z. (1998), *Patent statistics as economic indicators: a survey. In R&D and productivity: the econometric evidence*, University of Chicago Press, 287-343.

GÜRLER, A. Z., BUDAK, D. B., AYYILDIZ, B. & KAPLAN, U. E. (2020), *Enerji Ekonomisi*, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.

IEA(INTERNATIONAL ENERGY AGENCY), (2015), *Energy efficiency market report, Paris: International Energy Agency, issues*, Energy policy, 24(5), 377-390.

IRANDOUST, M. (2016), *The renewable energy-growth nexus with carbon emissions and technological innovation: Evidence from the Nordic countries*, Ecological Indicators, 69, 118-125.

JIN, L., DUAN, K., SHI, C., & JU, X. (2017), *The impact of technological progress in the energy sector on carbon emissions: an empirical analysis from China*, Int J Environ Res Public Health 14:1–14.

KABALCİ, E. (2013), *Design and Analysis of A Hybrid Renewable Energy Plant with Solar and Wind Power*, Energy Conversion and Management, 72 (2013), 51-59.

KAHOULI, B. (2018), *The causality link between energy electricity consumption, CO<sub>2</sub> emissions, R&D stocks and economic growth in Mediterranean countries (MCs)*, Energy 145:388–399.

KOÇAK, İ., & ÖZBEK, S. (2020), *Satın alma gücü paritesinin geçerliliği: durağanlık ve birim kök testlerinden yeni kanıtlar*. Uluslararası Ticaret ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 4(1), 22-31.

LANTZ, V., & FENG, Q. (2006), *Assessing income, population, and technology impacts on CO<sub>2</sub> emissions in Canada: where's the EKC?*, Ecol Econ 57:229–238.

LEE, K. H., & MIN, B. (2015), *Green R&D for eco-innovation and its impact on carbon emissions and firm performance*, Journal of Cleaner Production, 108, 534-542.

LI, W., WANG, W., WANG, Y., & QİN, Y. (2017), *Industrial structure, technological progress and CO<sub>2</sub> emissions in China: analysis based on the STIRPAT framework*, Nat Hazards 88:1545–1564.

MEHMOOD, B., FELICEO, A., & SHAHİD, A. (2014), *What Causes What? Aviation Demand and Economic Growth in Romania: Cointegration Estimation and Causality Analysis*, Romanian Economic and Business Review, s.9, pp. 21-34.

MENSAH, CN., LONG, X., BOAMAH, KB., BEDIAKO, IA., DAUDA, L., & SALMAN, M. (2018), *The effect of innovation on CO<sub>2</sub> emissions of OCED countries from 1990 to 2014*, Environ Sci Pollut Res 25:29678–29698.

NAİMOĞLU, M. (2021), *Fourier Yaklaşımıyla Yenilenebilir Enerji Tüketimi ve Enerji Kayıplarının Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisi: Almanya Örneği*, Journal of Economics and Research, 2(1), 59-68.

NAİMOĞLU, M. & AKAL, M. (2021a), *Yükselen Ekonomilerde Enerji Etkinliğini Talep Yanlı Etkileyen Faktörler*, Sosyoekonomi, 29(49), 455-481.

NAİMOĞLU, M. & AKAL, M. (2021b), *Enerji Verimliliği Üzerine Arz Ve Talep Yönlü Genel Bir Bakış*. Verimlilik Dergisi, (3), 3-20.

NAZLIOĞLU, Ş. (2010), *Makro İktisat Politikalarının Tarım Sektörü Üzerindeki Etkileri: Gelişmiş Ve Gelişmekte Olan Ülkeler İçin Bir Karşılaştırma*, Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Kayseri.

ÖZBEK, S. (2020), *Türkiye’de Reel Döviz Kuru Durağan Mı? Geleneksel ve Yapısal Kırılmalı Durağanlık Testlerinden Kanıtlar*, Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 7(7), 155-164.

ÖZBEK, S., & NAİMOĞLU, M. (2021), *Enerji verimliliğinin dinamikleri: var analizi ile Türkiye üzerine ampirik bir tahmin*. 19 Mayıs Sosyal Bilimler Dergisi, 2(2), 314-326.

PARK, J.Y. (1992), *Canonical Cointegrating Regressions*, *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, S.60(1), ss.119-143.

PERRON, P. (1989), *The Great Crash, the Oil Price Shock, and the Unit Root Hypothesis*, *Econometrica*, vol. 57, no. 6, pp.1361-1401.

PHİLLİPS, P., & HANSEN, B. (1990), *Statistical Inference in Instrumental Variables Regression with I(1) Processes*, *Review of Economic Studies*, 57, 99-125.

SAHU, S. K., & NARAYANAN, K. (2013), *Carbon dioxide emissions from Indian manufacturing industries: Role of energy and technology intensity*, *Madras School of Economics*, 82.

SAİTO, S., (2010), *Role of nuclear energy to a future society of shortage of energy resources and global warming*, *Journal of Nuclear Materials*, 398(1-3), 1-9.

SİPAHUTAR, R., BERNAS, S. M., & İMANUDDİN, M. S. (2013), *Renewable Energy and Hydropower Utilization Tendency Worldwide*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 17 (2013), 213-215.

SOHAG, K., BEGUM, R. A., ABDULLAH, S. M. S., & JAAFAR, M. (2015), *Dynamics of energy use, technological innovation, economic growth and trade openness in Malaysia*, *Energy*, 90, 1497-1507.

TİRAŞOĞLU, M., & BURCU, Y. (2012), *Yapısal Kırılma Durumunda Sağlık Harcamaları ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Türkiye Üzerine Bir Uygulama*, *Electronic Journal of Vocational Colleges*, S. 2, s.111-117.

TÜRKMEN, S., ÖZBEK, S., & KARAKUŞ, M. (2018), *Türkiye’de Elektrik Tüketimi ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki: Ampirik Bir Analiz*, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 8(2), 129-142.

ZHOU, Z., YE, X., & GE, X. (2017), *The impacts of technical progress on sulfur dioxide Kuznets curve in China: a spatial panel data approach*. *Sustain*, 9.

ZIVOT, E., & ANDREWS, D. (1992), *Further Evidence On The Great Crash, The OilPrice Shock, and The Unit Root Hypothesis*, *Journal of Business & Economic Statistics*, vol. 10, no. 3, pp.251-270.

ZOLTAN J. A., ANSELİN, L., & VARGA, A. (2002), *Patents and innovation counts as measures of regional production of new knowledge*, *Research policy*, 31(7), 1069-1085.