



# GAZIANTEP UNIVERSITY JOURNAL OF SOCIAL SCIENCES

Journal homepage: <http://dergipark.org.tr/tr/pub/jss>



## Araştırma Makalesi • Research Article

# Temiz Enerjiye Sahip Ülkelerde Kamu Enerji Harcamalarının ve Enerji Vergilerinin Düşük Karbonlu Enerji Tüketimine Etkisi

*The Impact of Public Energy Expenditures and Energy Taxes on Low-Carbon Energy Consumption in Countries with Clean Energy*

Tunahan DEĞİRMENCI<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Sakarya Üniversitesi, Siyasal Bilgiler Fakültesi, Sakarya / TÜRKİYE  
ORCID: 0000-0002-8903-7883

### MAKALE BİLGİSİ

#### Makale Geçmişi:

Başvuru tarihi: 28 Haziran 2024

Kabul tarihi: 18 Eylül 2024

#### Anahtar Kelimeler:

Çevre vergisi,  
R&D harcaması,  
Yenilenebilir enerji,  
Nükleer enerji,  
DCCE.

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received: June 28, 2024

Accepted: September 18, 2024

#### Keywords:

Environmental tax,  
R&D spending,  
Renewable energy,  
Nuclear energy,  
DCCE.

### ÖZ

Küresel çevre sorunları son yıllarda artmış ve acil eylem gerektiren bir sorun hâline gelmiştir. Enerji sektörü, üretilen kirliliğin büyük kısmında sorumludur. Buna karşın düşük karbonlu enerji çözümleri yoluyla bu zorlukları hafifletmenin anahtarını elinde tutmaktadır. Yenilenebilir ve nükleer enerji gibi düşük karbon salınımına sahip enerji kaynaklarına geçişin önemi son yıllarda ivme kazandı. Enerji vergileri ve enerjiye ilişkin araştırma ve geliştirme harcamaları, düşük karbonlu enerji tüketiminin şekillendirilmesinde önemli bir rol oynayabilir. Hükümetler, karbon yoğun yakıtlara vergi uygulayarak ve temiz enerji teknolojilerine yatırımları teşvik ederek düşük karbonlu enerjinin benimsenmesini etkileyebilir. Ayrıca, araştırma ve geliştirmeye yönelik kamu harcamaları, enerji sektöründe yenilikçiliği ve teknolojik ilerlemeleri kolaylaştırmakta, böylece düşük karbonlu enerji çözümlerinin uygulanabilirliğini ve rekabet gücünü artırmaktadır. Bu noktadan hareketle bu çalışma, 1994'ten 2021'e kadar en yüksek temiz enerji kullanımına sahip 10 ülkede kamu enerji harcamalarının ve enerji vergilerinin düşük karbonlu enerjiye etkisini DCCE ve CCE uzun vadeli tahminleriyle araştırmaktadır. Sonuçlara göre Finlandiya'da enerji vergileri ve enerji harcamaları düşük karbonlu enerji tüketimini teşvik etmektedir. Norveç ve İsviçre'de devlet enerji harcamaları ve Avusturya'da enerji vergileri düşük karbonlu enerji tüketimini olumsuz etkilemektedir. Bu bulgular, hükümetlerin düşük karbonlu enerji teknolojilerine yatırımı etkili bir şekilde teşvik eden, küresel ölçekte sürdürülebilir ve çevre dostu enerji geçişlerini sağlayan kapsamlı politikalar uygulama ihtiyacının altını çiziyor. Gelecek nesillere daha yeşil bir gelecek sağlamak için hükümetlerin ve özel sektörlerin ortak çabaları çok önemlidir.

### ABSTRACT

Global environmental problems have increased in recent years and have become a problem requiring urgent action. The energy sector is responsible for most of the pollution produced. However, it holds the key to mitigating these challenges through low-carbon energy solutions. The importance of transitioning to energy sources with low carbon emissions, such as renewable and nuclear energy, has gained momentum in recent years. Energy taxes and energy-related research and development (R&D) spending can play an important role in shaping low-carbon energy consumption. Governments can influence the adoption of low-carbon energy by taxing carbon-intensive fuels and encouraging investments in clean energy technologies. Additionally, public spending on R&D facilitates innovation and technological advances in the energy sector, thereby increasing the viability and competitiveness of low-carbon energy solutions. From this point of view, this study investigates the impact of public energy expenditures and energy taxes on low-carbon energy in the 10 nations with the highest clean energy use from 1994 to 2021 with DCCE and CCE estimators. According to the results, energy taxes and energy expenditures encourage low-carbon energy consumption in Finland. Government energy expenditures in Norway and Switzerland and energy taxes in Austria negatively affect low-carbon energy consumption. These findings underscore the need for governments to implement comprehensive policies that effectively encourage investment in low-carbon energy technologies, enabling sustainable and environmentally friendly energy transitions on a global scale. Joint efforts of governments and private sectors are crucial to ensure a greener future for future generations.

\* Sorumlu yazar/Corresponding author.

e-posta: tunahandegirmenci@sakarya.edu.tr

## EXTENDED ABSTRACT

Today, factors such as increasing energy demands, environmental concerns, and reducing dependence on fossil fuels increase the importance of low-carbon energy sources, especially nuclear energy and renewable energies. Understanding the reasons for the proliferation of these two energy sources can help us identify important steps toward a sustainable energy future. The widespread use of fossil fuels causes the release of harmful gases into the atmosphere and accelerates climate change through the greenhouse gas effect (Demirbas, 2006, pp. 75). Nuclear energy and renewable energy sources minimize environmental impacts by significantly reducing carbon emissions, enabling clean energy production (Saidi and Omri, 2020, pp. 2). Additionally, green energy sources produce energy without consuming natural resources. Resources play a vital role in a sustainable energy future. These resources preserve natural diversity with minimal impact on ecosystems (Aydin and Degirmenci, 2023, pp. 2359). Another reason for the acceleration of the low-carbon energy transition is energy security and independence. Dependence on fossil fuels creates risks to energy security and increases the need for energy imports. Nuclear energy and renewable energies have the potential to ensure energy security and enable countries to achieve energy independence by increasing local energy production (Lee et al., 2016, pp. 979; Aslanturk, 2020, pp. 355). Another factor is technological advances and innovation thanks to government R&D spending. R&D and investments in the nuclear energy and renewable energy sectors stimulate technological innovations. This allows the development of more efficient and economically sustainable energy solutions (Apergis et al., 2023, pp. 125570; Aydin et al. 2023a, pp. 106).

The most important government policies that can ensure the low-carbon energy transition are implemented through taxes and expenditures. In an environment where there is ecological degradation and rising energy demand, governmental policies that promote low-carbon energy sources and prohibit highly polluting ones are given priority. On the one hand, the energy efficiency resulting from R&D expenditures on low-carbon energies steadily reduces the amount of energy required to produce one unit of global GDP (IEA, 2021). On the other hand, high taxes are imposed on polluting resources to discourage their use (Shahzad, 2020, pp. 24849). In this particular context, it can be argued that rising energy demand leads to public policies aimed at ensuring energy efficiency, which in turn boosts the usage of low-carbon energy.

The proliferation of low-carbon energy sources is critical in addressing contemporary energy needs while mitigating environmental concerns. Achieving this transition necessitates a comprehensive understanding of the pivotal role that financial mechanisms play in fostering the adoption of sustainable energy practices. In this context, two significant fiscal instruments—energy taxes and energy technology R&D investments—emerge as critical catalysts in promoting a low-carbon energy landscape (Zhang et al., 2021, pp. 473; Bashir et al., 2022, pp. 1262; Pata et al., 2023, pp. 2).

Energy taxation stands as a powerful policy tool aimed at internalizing externalities associated with carbon-intensive energy production. By imposing levies on carbon emissions, governments incentivize the adoption of cleaner energy alternatives. Secondly, substantial investments in research and development within the energy technology sector play a pivotal role in advancing innovative solutions. Governments and private entities allocating resources to R&D initiatives stimulate technological breakthroughs, making clean energy technologies more efficient and economically viable. In this study, the impact of energy taxes and energy technology expenditures on low-carbon energy for the period 1994-2021 in the top 10 nations with clean energy is examined. Existing studies generally focus on the relationship between environmental taxes and ecological sustainability, and R&D expenditures and ecological sustainability. Although there are few studies on the effects of these financial instruments only on renewable or nuclear energy, no study has been found that directly examines their effects on low-carbon energies. In addition, although there are studies on general environmental taxes and general R&D expenditures in the literature, the sub-branch of these financial instruments, energy taxes and energy technology expenditures, have been neglected. This study is expected to contribute to the literature on these aspects.

According to robust results that are the same for both estimators, energy taxes and government energy expenditures in Finland increase low-carbon energy consumption. In Norway and Switzerland, government energy expenditures reduce low-carbon energy consumption. Finally, in Austria, the energy tax negatively affects low-carbon energy consumption. Energy taxes can put pressure on demand by increasing prices in the markets. However, this demand reduction effect may be limited to consumers shifting to consume less energy and may not encourage a low-carbon energy transition. Similarly, in some cases, energy taxes may hinder the transition to low-carbon energy due to existing technological infrastructure and the availability of green energy sources. Finally, when taxes are directed at low-carbon energies rather than fully carbon-neutral energies, they may negatively affect the low-carbon energy transition by increasing the cost of these energies. Governments should consider implementing comprehensive policies that encourage investment in low-carbon energy technologies. This may include a combination of tax incentives, subsidies, and regulatory frameworks designed to promote the development and deployment of renewable energy infrastructure. In addition, it is essential to prioritize R&D efforts to increase the efficiency and affordability of low-carbon energy solutions. Governments should allocate resources to technological innovations and advances in energy storage and grid integration, providing a solid foundation for a sustainable energy future. As a result, by implementing forward-thinking policies and encouraging innovation, countries can not only reduce the negative impacts of climate change but also unlock opportunities for sustainable economic growth and development.

## Giriş

Günümüzde artan enerji talebi, çevresel kaygılar, fosil yakıtlara olan bağımlılığın azalması gibi faktörler, başta nükleer enerji ve yenilenebilir enerjiler olmak üzere düşük karbonlu enerji kaynaklarının önemini artırmaktadır. Bu iki enerji kaynağının yaygınlaşmasının nedenlerini anlamak sürdürülebilir bir enerji geleceğine yönelik önemli adımları belirlememize yardımcı olabilir. Fosil yakıtların yaygın kullanımı, zararlı gazların atmosfere salınmasına neden olmakta ve sera gazı etkisiyle iklim değişikliğini hızlandırmaktadır (Demirbas, 2006, s. 75). Düşük karbon salınımına sahip enerjiler, temiz enerji üretimi yoluyla karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir (Saidi ve Omri, 2020, s. 2). Ayrıca yenilenebilir enerji kaynakları, sürdürülebilir enerji geleceğinde hayati bir rol oynayan doğal kaynakları tüketmeden enerji üretir. Bu sayede yenilenebilir enerji kaynakları, ekosistemler üzerinde minimum etkiyle doğal çeşitliliği korur (Aydın ve Degirmenci, 2023, s. 2359). Düşük karbonlu enerjiye geçişin hızlanmasının bir diğer nedeni ise enerji güvenliği ve enerji bağımsızlığıdır. Fosil yakıtlara bağımlılık enerji güvenliği açısından risk oluşturmakta ve enerji ithalatına olan ihtiyacı artırmaktadır. Düşük karbon salınımına sahip enerjiler, enerji güvenliğini sağlama ve yerel enerji üretimini artırarak ülkelerin enerji bağımsızlığına kavuşmasını sağlama potansiyeline sahiptir (Lee vd., 2016, s. 979; Aslanturk, 2020, s. 355). Bir diğer faktör ise devletin Ar-Ge harcamaları sayesinde gerçekleşen teknolojik ilerlemeler ve inovasyondur. Nükleer enerji ve yenilenebilir enerji sektörlerindeki Ar-Ge ve yatırımlar teknolojik yenilikleri teşvik etmektedir. Bu teşvik, sürdürülebilir ve verimli enerji çözümlerinin ortaya çıkmasına imkân tanımaktadır (Apergis vd., 2023, s. 125570; Aydın vd. 2023a, s. 106). Son olarak, hükümetler düşük karbonlu enerji sektörünü bir istihdam fırsatı olarak gördükleri için genişletebilirler. Yenilenebilir enerji projeleri yeşil ekonomiyi desteklemekte ve birçok sektörde yeni iş fırsatları oluşturmaktadır (Lehr vd., 2008, s. 109; Majid, 2020, s. 2). Aynı zamanda bu projeler yeşil enerji teknolojilerine ve enerji verimliliğine odaklanan sektörlerdeki istihdamı da artırabilir. Bu faktörler nükleer enerji ve yenilenebilir enerjilerin küresel enerji portföyünde daha belirgin bir yer bulmasını sağlamaktadır.

Fosil yakıtlar bol ve uygun olduğundan birçok yerde enerji ihtiyacının karşılanmasında yaygın olarak başvurulan bir yoldur. Fakat fosil yakıtların ekoloji üzerinde olumsuz etkileri olduğundan, düşük karbon salınımına sahip enerji kaynaklarına geçişi sağlamak amacıyla acil önlemler alınmaktadır. Düşük karbonlu enerji geçişini sağlayabilecek en önemli kamu politikaları vergiler ve harcamalar yoluyla hayata geçirilmektedir. Ekolojik bozulmanın ve enerji talebinin arttığı bir ortamda, düşük karbonlu enerji kaynaklarını teşvik eden ve yüksek kirletici kaynakları yasaklayan hükümet politikalarına öncelik verilmektedir. Düşük karbonlu enerjilere yönelik Ar-Ge harcamalarından kaynaklanan enerji verimliliği, bir birim ekonomik büyüme için gereken enerjiyi azaltmaktadır (IEA, 2021). Diğer yandan, kirletici kaynakların kullanımını caydırmak için yüksek vergiler uygulanmaktadır (Shahzad, 2020, s. 24849). Buna göre enerji talebinin enerji verimliliğini sağlamaya yönelik kamu politikalarına yol açtığı, bunun da düşük karbonlu enerji kullanımını artırdığı ileri sürülebilir.

Düşük karbonlu enerji kaynaklarına geçiş, çevresel kaygıları azaltırken talebin karşılanmasını da sağlamaktadır. Bu geçişin sağlanması, finansal mekanizmaların sürdürülebilir enerji uygulamalarının benimsenmesini teşvik etmedeki önemli rolünün kapsamlı olarak anlaşılmasını gerektirir. Bu bağlamda, iki önemli mali araç (enerji vergileri ve enerji teknolojisi Ar-Ge harcamaları) düşük karbonlu bir enerji ortamını teşvik etmede kritik katalizörler olarak ortaya çıkmaktadır (Zhang vd., 2021; Bashir vd., 2022, s. 1262; Pata vd., 2023, s. 2)

Enerji vergilendirmesi, karbon yoğun enerji üretimiyle ilişkili dışsallıkları içselleştirmeyi amaçlayan güçlü politika aracı olarak görülmektedir. Hükümetler, karbon

emisyonlarına vergi uygulayarak daha temiz enerji alternatiflerinin benimsenmesini teşvik etmektedir. Bu tür mali önlemler yalnızca emisyonların azaltılmasına katkıda bulunmakla kalmamakta, aynı zamanda sürdürülebilir enerji altyapısına yeniden yatırılacak gelir akışları da sağlamaktadır (Bashir vd., 2022, s. 1263). İkincisi, enerji teknolojisi sektöründeki Ar-Ge'ye ilişkin önemli yatırımlar, yenilikçi çözümlerin üretilmesini sağlayabilir. Ar-Ge girişimlerine kaynak tahsis eden hükümetler ve özel kuruluşlar teknolojik atılımları teşvik ederek temiz enerji teknolojilerini daha verimli ve ekonomik açıdan uygulanabilir hâle getirmektedir (Aydın ve Degirmenci, 2023, s. 2360). Bu harcamalar, sürdürülebilir bir enerji paradigmasına geçişte etkili olan ölçeklenebilir, düşük karbonlu çözümlerin geliştirilmesini sağlamaktadır. Sonuç olarak, enerji vergileri ve teknoloji Ar-Ge harcamaları gibi mali araçların etkisinin kabul edilmesi, küresel enerji manzarasının düşük karbonlu bir geleceğe doğru yönlendirilmesi bakımından önemlidir.

Bu çalışmada temiz enerjiye sahip ilk 10 ülkede 1994-2021 dönemi için enerji vergileri ve kamusal enerji teknolojisi harcamalarının düşük karbonlu enerjiye etkisi incelenmektedir. Mevcut çalışmalar genel olarak çevre vergileri -ekolojik sürdürülebilirlik ve Ar-Ge harcamaları- ekolojik sürdürülebilirlik arasındaki ilişkiye odaklanmaktadır. Bu mali araçların sadece yenilenebilir veya nükleer enerji üzerindeki etkilerine ilişkin az sayıda çalışma bulunmasına rağmen doğrudan düşük karbonlu enerjiler üzerindeki etkilerini araştıran bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ayrıca literatürde genel çevre vergileri ve genel Ar-Ge harcamalarına ilişkin çalışmalar bulunmasına rağmen bu mali araçların alt kolu olan enerji vergileri ve enerji teknolojisi harcamaları ihmal edilmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada "Caydırıcı ve ödüllendirici kamusal araçlar temiz enerji geçişini sağlayabilir mi?" sorusuna cevap aranmaktadır. Çalışmanın ilerleyen bölümünde literatüre ilişkin özet yer almaktadır. Daha sonra veri, yöntem ve ampirik bulgular sunulmaktadır. Son bölümde ise ampirik bulgular ışığında politika önerilerine yer verilmektedir.

### Literatür Özeti

Günümüzde neredeyse tüm mal ve hizmetleri üretmek için enerjiye ihtiyaç vardır. Enerjinin kıt olması, enerji arzının enerji talebinden düşük olmasına neden olur. Gelişen ekonomiler, büyüme tahminlerinden daha hızlı gelişmektedir. Bu, enerji ihtiyacındaki artışa sebep olmaktadır. Talebin fosil yakıtlardan karşılanması ekolojik sorunlara sebep olmaktadır. Çevre sorunları nedeniyle enerji talebinin karşılanmasında düşük karbonlu enerjiler önem taşımaktadır. Düşük karbonlu enerjiyi yaygınlaştırmak amacıyla kirletici kaynaklara vergi getirilirken, temiz teknolojilere ise Ar-Ge yatırımları yapılmaktadır.

Önceki çalışmalar mali araçların çevre üzerindeki etkilerine odaklanmıştır. Toplam Ar-Ge ve enerji Ar-Ge'sinin ekolojik kalite üzerindeki etkisini araştıran birçok çalışma bulunmaktadır (Aydın vd., 2023b). Buna rağmen Ar-Ge harcamalarının düşük karbonlu enerjilere etkisini araştıran çalışmalar azınlıktadır. Düşük karbonlu enerjiler ile Ar-Ge yatırımları arasındaki ilişkiye ilişkin literatür Tablo 1'de gösterilmektedir.

**Tablo 1:** Ar-Ge ve Temiz Enerjiler

Yazar	Ülke	Yöntem	Bulgu
Gan ve Smith (2011)	OECD; 1994-2003	Panel veri	Ar-Ge harcamaları- etki yok
Kocsis ve Kiss (2015)	AB; 2004-2012	SVR	Ar-Ge harcamaları- olumlu etki
Ağpak ve Özçiçek (2018)	43 ülke; 1998-2014	Panel veri	Ar-Ge- olumlu etki
Wang vd. (2020)	G20 ülkeleri; 1990-2017	Panel veri	Ar-Ge- olumlu etki

Kılınç ve Kılınç (2021)	24 ülke; 2003-2019	Panel ARDL	Ar-Ge harcamaları-olumlu etki
Khezri vd. (2021)	31 ülke; 2000-2018	Panel veri	Ar-Ge harcamaları-farklı sonuç
Godil vd. (2021)	Hindistan; 1995-2018	QARDL	Ar-Ge harcamaları-olumsuz etki
Churchill vd. (2021)	OECD ülkeleri; 1980-2014	Panel veri	Ar-Ge-olumlu etki
Su vd. (2021)	OECD ülkeleri; 1990-2018	Panel veri	Enerji Ar-Ge harcamaları-olumlu etki
Naimoğlu ve Özbek (2022)	İngiltere; 1990-2018	ARDL	Enerji Ar-Ge harcamaları-olumlu etki
Qi vd. (2022)	Çin firmaları; 2008-2017	FEM	Ar-Ge harcamaları-olumlu etki
Li vd. (2023)	Çin; 2000-2020	ARDL	Ar-Ge harcamaları-olumlu etki
Değirmenci ve Aydın (2024)	Türkiye; 1993-2019	FADL	İlişki yoktur

Tablo 1'e göre, ilgili literatürün çoğu toplam Ar-Ge harcamalarının enerji kullanımına etkisini incelemiştir. Enerji Ar-Ge harcamalarının etkisine ilişkin çalışmalar sınırlıdır. Ayrıca bu çalışmalar düşük karbonlu enerjilerin toplamına yönelik değildir. Ar-Ge harcamalarının yalnızca yenilenebilir enerjiye veya yalnızca nükleer enerjiye etkisi araştırılmıştır.

Mali bir araç olarak vergiye ilişkin literatürün çoğu ekolojik kaliteye odaklanmaktadır (Niu vd., 2018; Esen vd., 2021; Degirmenci ve Aydın, 2023). Enerji vergileri çevre vergileri içerisinde önemli bir paya sahiptir. Günümüzde hava kirliliğinin neredeyse %80'i enerjiden kaynaklanmaktadır. Çalışmalar toplam yeşil vergilerin temiz enerjiler üzerindeki etkilerine odaklanmıştır. Enerji vergilerinin etkilerine ilişkin araştırmalar ihmal edilmiştir. Düşük karbonlu enerjiler ile çevre vergileri ilişkisini araştıran literatür Tablo 2'de gösterilmektedir.

**Tablo 2:** Düşük Karbonlu Enerji ve Çevre Vergileri

Yazar	Ülke	Yöntem	Bulgu
Shahzad vd. (2021)	29 OECD ülkesi; 1994-2018	Panel veri	Çevre vergileri- olumlu etki
Carfora vd. (2021)	26 AB ülkesi; 2007-2018	Panel veri	Çevre vergileri- olumsuz etki
Bashir vd. (2022)	29 OECD; 1996- 2018	Panel veri	Çevre vergileri- olumsuz etki
Peng vd. (2022)	G7 ülkeleri; 1994-2018	Panel veri	Çevre vergileri- olumlu etki
Fang vd. (2022)	15 ülke; 1998-2019	Panel veri	Çevre vergileri- olumlu etki
Aydın ve Bozatlı (2023)	10 OECD ülkesi; 1994- 2019	ARDL; NARDL	Çevre vergileri- olumlu etki
Degirmenci ve Yavuz (2024)	17 AB; 1995 ile 2019 arası	DCCE; AMG	Çevre vergileri- farklı sonuç

Kirliliğe neden olan emisyonlar üzerindeki artan çevre vergileri, kaynak verimliliğini ve ekonomik kalkınmayı teşvik edebilir. Enerji yoğun endüstrilerin ve ekonomik faaliyetlerin büyük kısmı kirlenici emisyonlardan sorumludur. Çevresel vergilerin artırılması enerji verimliliğini artırabilir veya kirlilik yayan enerji kaynaklarının kullanımını azaltabilir. Böylece Wang vd. (2019)'e göre, bu vergiler, belirli çevresel değişiklikleri yürürlüğe koymak ve ekolojik kaliteye ulaşmak için birincil kamu aracı olarak hizmet vermektedir. Ayrıca enerji vergileri, özellikle çok fazla enerji kullanan sektörlerde, olumsuz dışsallıkların içselleştirilmesine yardımcı olabilir. Bu vergiler teknolojik gelişmeleri teşvik ederek düşük karbonlu enerji sektörünün büyümesini kolaylaştırabilir (Niu vd., 2018).

Tablo 1 ve 2 de görüldüğü üzere mali araçlar olarak Ar-Ge harcamaları ve çevre vergilerinin yenilenebilir enerji tüketimine etkisi büyük oranda olumludur. İncelenen çalışmalar arasında ödül mekanizması bağlamında sadece Godil vd. (2021) Ar-Ge harcamalarının negatif etkisine ulaşmıştır. Öte yanda caydırıcılık bağlamında Carfora vd. (2021), Bashir vd. (2022) çevre vergilerinin olumsuz sonuçları olduğunu gösterirken Degirmenci ve Yavuz (2024) çevre vergilerinin farklı etkilerine ulaşmışlardır. Bu bağlamda zaten inceleme alanı kısıtlı olan bu konuda mevcut araştırmaların farklı sonuçlara ulaşması bu çalışmanın gerekliliğini ortaya koymaktadır. Öte yandan mali araçların düşük karbonlu enerjiler üzerindeki etkisine yönelik çalışmaya rastlanmamıştır. Ek olarak, çalışmalar toplam çevre vergileri ve toplam Ar-Ge harcamalarına odaklanmıştır. Çalışmaların bulguları tutarlı değildir. Sonuçların geçerliliği hem aynı hem de farklı örnekler için çevre vergileri ile düşük karbonlu enerji arasındaki bağlantıya ilişkin ek araştırmalarla sağlanabilir.

### Metodoloji

Bu çalışmada kullanılan verilere ilişkin açıklamalar Tablo 3'tedir. Kullanılan tüm verilerin logaritmik versiyonları kullanılmıştır. Bunun nedeni bazı yapısal sorunların aşılması ve verilerin değerlerinin aynı düzeyde eşitlenmesine çalışılmasıdır.

**Tablo 3:** Veri Açıklamaları

Değişken	Birim	Kaynak
Düşük karbonlu enerji (DKE)	Kişi başına düşük karbonlu enerji tüketimi (nükleer+yenilenebilir)	Our World in Data (2023)
Enerji Vergileri (EV)	vergi geliri, GSYH'nin yüzdesi	OECD (2021)
Enerji Ar-Ge harcamaları (EAG)	Bin birim GSYH başına Ar-Ge harcaması (kamu)	IEA (2024)

Bu çalışmanın motivasyonu, 1994'ten 2021'e kadar temiz enerjiye sahip ilk 10 ülkede enerji vergilerinin ve kamu enerji harcamalarının düşük karbonlu enerji tüketimi üzerindeki rolünü belirlemektir. Diğer göstergelere ilişkin veriler daha uzun veri dönemine sahip olsa da çevre vergilerine ilişkin veriler 1994 yılından başladığı için bu dönem aralığı seçilmiştir. Bu ilişkiyi açıklamak için aşağıdaki model oluşturulmuştur.

$$\ln DKE_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln EV_{it} + \beta_2 \ln EAG_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$\ln EV$  ve  $\ln EAG$ 'nin katsayıları sırasıyla  $\beta_1$  ve  $\beta_2$  ile temsil edilir.  $\varepsilon_{it}$  terimi hatayı belirtir. Çalışmanın teorik beklentisi tüm değişkenlerin  $\ln DKE$  üzerinde pozitif etkiye sahip olmasıdır. Model için hesaplanan VIF katsayıları Tablo 4'te rapor edilmiştir. Buna göre modelde çoklu bağlantı sorununun olmadığı anlaşılmış olup ileri analizlerin yapılabileceği anlaşılmıştır.

Araştırmanın ampirik analizinde panel veri analizi kullanılmıştır. Bu doğrultuda artan küreselleşmenin etkisiyle daha da önem kazanan yatay kesit birimleri arasındaki ilişkiler yatay kesit bağımlılık testleri ile incelenmiştir. Panel veri modelleri için yapılması gereken diğer ön test olan eğim homojenliği incelenmiştir. Burada amaç Model 1'in eğim katsayılarının yapılarını belirlemektir. Bu iki ön test, bir sonraki aşamada kullanılacak yöntemin seçiminde kriter olarak kullanılır. Bu çalışmada yatay kesit bağımlılığını (CSD) değerlendirmek için Pesaran (2015) testi kullanılmıştır. Tablo 4'te bildirilen sonuçlar, tüm değişkenler için güçlü yatay kesit bağımlılığını göstermektedir. Öte yandan eğim homojenliği için Pesaran ve Yamagata'nın (2008) Delta testleri kullanılmıştır. Yine Tablo 4'te verilen sonuçlara göre homojenlik sıfır hipotezi reddedilerek heterojen eğimlerin varlığı kanıtlanmıştır.

Ampirik analizin son ön testi birim kök analizidir. Bu çalışma için Breitung ve Das'ın (2005) yatay kesit bağımlılığını dikkate alan birim kök testi tercih edilmiştir. Tablo 4'te

bildirilen sonuçlar, lnEAG dışındaki tüm değişkenlerin birinci farklarda durağan olduğunu, lnEAG'nin ise düzeyde durağan olduğunu göstermektedir.

**Tablo 4:** Ön Test Sonuçları

Değişken	Yatay Kesit Bağımlılığı			Birim Kök			VIF
	İstatistik	Olasılık Değeri	I(0)	Olasılık Değeri	I(1)	Olasılık Değeri	
lnDKE	18.980*	0.000	0.682	0.752	-1.291***	0.098	--
lnEV	-1.800***	0.071	0.974	0.835	-2.011**	0.022	1.03
lnEAG	31.060*	0.000	-2.045**	0.020	---	---	1.04
<i>Eğim Homojenliği</i>							
$\hat{\Delta}$	8.611*	0.000					
$\hat{\Delta}_{adj}$	9.301*	0.000					

**Not:** \* p<0.01, \*\* p<0.05, ve \*\*\* p<0.10

Ampirik analiz bu aşamasında Model 1'in uzun vadeli ilişkisi araştırılacaktır. Bu amaçla Westerlund'un (2008) panel eşbütünleşme testi kullanılmıştır. Westerlund (2008) eşbütünleşme testi için hem panel hem de grup istatistiklerini önermiştir.  $DH_g$  grup ve  $DH_p$  panel, test istatistikleri aşağıdaki şekildedir.

$$DH_g = \sum_{i=1}^n \hat{S}_i \left( \tilde{\phi}_i - \hat{\phi}_i \right)^2 \sum_{t=2}^T \hat{e}_{it-1}^2 \quad \text{ve} \quad DH_p = \hat{S}_n \left( \tilde{\phi} - \hat{\phi} \right)^2 \sum_{i=1}^n \sum_{t=2}^T \hat{e}_{it-1}^2 \quad (2)$$

Bu testin temel hipotezi eşbütünleşmenin olmadığını, alternatif hipotez ise eşbütünleşmenin var olduğunu göstermektedir. Tablo 5'te bildirilen sonuçlar DHG istatistiğine göre eşbütünleşmenin olduğunu göstermektedir. Bu, heterojen eğimlere sahip Model 1 için geçerli olan sonuçtur.

**Tablo 5:** Panel Eşbütünleşme Testi Sonuçları

İstatistik	Değer	Olasılık Değeri
DHG	5.388*	0.000
DHp	1.091	0.138

**Not:** \* p<0.01.

Son olarak Model 1 için uzun dönemli ilişkiler iki farklı tahminci tarafından incelenmiştir. Bu tahmin ediciler Chudik ve Pesaran (2015) tarafından önerilen Dinamik Ortak İlişkili Etkiler (DCCE) tahmincisi ve Pesaran (2006) tarafından önerilen Ortak İlişkili Etkiler (CCE) tahmincisidir. DCCE ve CCE uzun vadeli tahmincilerinin seçimi, çalışmamızın araştırma sorusuna en uygun sonuçları sağlayacak yöntemlerin kullanılması amacıyla yapılmıştır. Bu yöntemler, panel veri analizlerinde uzun vadeli ilişkileri incelemek için yaygın olarak kullanılan ve literatürde kabul gören tahmincilerdir. DCCE tahmincisi, yatay kesit bağımlılığı bulunan heterojen panel veri modelleri için dinamik etkileri dikkate alırken, CCE tahmincisi ise ortak ilişkilere dayalı olarak paneldeki uzun dönem ilişkileri daha ayrıntılı bir şekilde ortaya koymaktadır. Çalışmamızda, farklı ülkelere ait heterojen yapıların varlığı, bu yöntemlerin seçimini haklı kılmaktadır.

Tablo 6, DCCE tahmincisi sonuçlarını göstermektedir. Buna göre panelde anlamlı bir ilişki bulunmazken, ülke bazlı sonuçlarda anlamlı ilişkiler tespit edilmiştir. Buna göre lnEV İsveç, Finlandiya, Fransa, Danimarka ve İspanya için lnDKE'yi artırırken İsviçre için azaltmaktadır. Öte yandan lnEAG Norveç, Finlandiya, Fransa, Yeni Zelanda, Avusturya ve İspanya için lnDKE'yi artırırken, İsviçre için düşürmektedir.

**Tablo 6:** Uzun Vadeli Tahmin Sonuçları (DCCE)

Ülkeler	lnEV	lnEAG
Norveç	0.27255	-0.2772*
İsveç	0.50117*	0.06226
Kanada	0.24841	-0.0283
Finlandiya	0.43814*	0.0826*
Fransa	0.22023***	0.2624*
Yeni Zelanda	0.135518	0.2499*
İsviçre	-0.659***	-0.6130*
Avusturya	-0.4515*	0.25526*
Danimarka	0.90496*	-0.11523
İspanya	2.12044*	0.25476*
Panel	0.37308	0.01334

**Not:** \* p<0.01 ve \*\*\* p<0.10

Tablo 7'de CCE tahmincinin sonuçları gösterilmektedir. Buna göre Finlandiya ve Avusturya için lnEV açısından elde edilen sonuçlar, Norveç, Finlandiya ve İsviçre için ise lnEAG açısından elde edilen sonuçlar sağlam sonuçlardır.

**Tablo 7:** Uzun Vadeli Tahmin Sonuçları (CCE)

Ülkeler	lnEV	lnEAG
Norveç	0.4073***	<b>-0.1093**</b>
İsveç	-0.1429	-0.1480*
Kanada	0.2361	-0.0035
Finlandiya	<b>0.3210**</b>	<b>0.0183**</b>
Fransa	-0.3661*	-0.0125
Yeni Zelanda	-0.0838	-0.0341
İsviçre	-0.0398	<b>-0.1881*</b>
Avusturya	<b>-0.2534**</b>	0.0311
Danimarka	0.4089	-0.3114*
İspanya	0.2702	0.0580
Panel	0.0790	-0.0572

**Not:** \* p<0.01, \*\* p<0.05, ve \*\*\* p<0.10

### Sonuç ve Politika Önerileri

Ekolojik bozulmaya önemli ölçüde katkıda bulunan faaliyetlerin tanınmasıyla birlikte, çevresel kaygılar giderek küresel tartışmaların odak noktası hâline gelmiştir. Bu faaliyetler arasında enerji sektörü, kirletici emisyonlara büyük katkı sağlayan bir sektördür. Toplumlar enerji üretimi için ağırlıklı olarak fosil yakıtlara güvenmeye devam ettikçe çevre üzerindeki olumsuz etkiler daha da belirgin hâle gelmiş ve alternatif, düşük karbonlu enerji kaynaklarına olan ihtiyaç ortaya çıkmıştır.

Düşük karbon salınımına sahip enerji kaynaklarına geçişin önemi son yıllarda ivme kazandı. Bu kaynaklar, sürdürülebilir bir enerji geleceği sağlarken karbon emisyonlarını azaltma ve çevresel zararı azaltma imkânı sunmaktadır. Ancak düşük karbonlu enerji teknolojilerinin benimsenmesi ve kullanılması, kamu politikalarını da içeren farklı faktörden etkilenmektedir. Enerji Ar-Ge harcamaları ve enerji vergileri, enerji tüketimi ve üretiminin manzarasının şekillendirilmesinde önemli rol oynamaktadır. Hükümetler, karbon yoğun yakıtlara vergi uygulayarak ve temiz enerji teknolojilerine yatırımları teşvik ederek düşük karbonlu alternatiflerin benimsenmesine yönelik tüketici davranışını ve endüstri uygulamalarını etkileyebilir. Ek olarak, kamu Ar-Ge harcamaları enerji endüstrisindeki yaratıcılığı ve teknik gelişmeleri teşvik ederek düşük karbonlu enerji çözümlerinin uygulanabilirliğini ve rekabet gücünü artırır.



Bu çalışmanın amacı, temiz enerji tüketimine sahip ilk 10 ülkede kamu enerji harcamalarının ve enerji vergilerinin düşük karbonlu enerjiye etkisini araştırmaktır. Her iki tahminci için de aynı olan sağlam sonuçlara göre, Finlandiya'da enerji vergileri ve kamu enerji harcamaları düşük karbonlu enerji tüketimini artırmaktadır. Norveç ve İsviçre'de kamu enerji harcamaları düşük karbonlu enerji tüketimini azaltmaktadır. Son olarak Avusturya'da enerji vergisi düşük karbonlu enerji tüketimini olumsuz etkilemektedir. Diğer ülkelerden farklı olarak Finlandiya, yeşil teknolojilerin benimsenmesini teşvik etmeyi amaçlayan çok sayıda politika uygulamıştır. Bu girişimler arasında yenilenebilir enerji santrallerinin kullanımını ve kurulumunu teşvik etmek için kota sistemi, prim garantisi ve vergi düzenlemeleri yer almaktadır. Ayrıca, RES Legal (2019) raporlarında da belirtildiği gibi temiz enerji projeleri devlet sübvansiyonlarından destek almaktadır. Finlandiya'nın kirlilik seviyelerine göre yapılandırılmış vergi çerçevesi, çeşitli sektörlerin emisyonlarını azaltmasını sağlamada önemlidir. Ayrıca bu yolla yeşil enerji teknolojilerinin ilerlemesine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Finlandiya'nın düşük karbonlu enerjiye yönelik vergi ve harcama politikalarının başarılı olduğu bu çalışmanın ampirik bulgularıyla desteklenmektedir.

Norveç ve İsviçre'de kamu enerji Ar-Ge harcamalarının düşük karbonlu enerjiye geçiş üzerindeki olumsuz etkileri bir dizi ilginç faktöre dayanmaktadır. Bu harcamalar arasında düşük karbonlu enerjinin yanı sıra fosil yakıtlara yönelik teknoloji Ar-Ge harcamaları da yer alıyor. Dolayısıyla bu harcamaların hangi teknolojilere yapıldığına bağlı olarak düşük karbonlu enerjiye geçiş olumlu ya da olumsuz etkilenebilmektedir. Fosil yakıtlara yapılan teknolojik harcamalar, bu yakıtların depolanması ve taşınmasındaki zorlukları ortadan kaldırmakta ve her enerji birimi için emisyon miktarını azaltmaktadır. Böyle bir durumda ülkeler düşük karbonlu enerji yerine günümüzde daha rekabetçi olan kirleticilere olan bağımlılığını sürdürebilir. Avusturya'da enerji vergilerinin olumsuz etkileri piyasa ve teknolojik etkiye bağlanabilir. Enerji vergileri piyasalarda fiyatları artırarak talep üzerinde baskı oluşturabilir. Ancak bu talep azaltma etkisi, tüketicilerin daha az enerji tüketmeye yönelmesiyle sınırlı olabilir ve düşük karbonlu enerji geçişini teşvik etmeyebilir. Benzer şekilde, bazı durumlarda enerji vergileri, mevcut teknolojik altyapı ve yeşil enerji kaynaklarının mevcudiyeti nedeniyle düşük karbonlu enerjiye geçişini engelleyebilir. Son olarak, vergiler tamamen karbon nötr enerjiler yerine düşük karbonlu enerjilere yöneltildiğinde, bu enerjilerin maliyetini artırarak düşük karbonlu enerjiye geçişini olumsuz etkileyebilir. Hükümetler, düşük karbonlu enerji teknolojilerine yatırımı teşvik eden kapsamlı politikalar uygulamayı düşünmelidir. Bu, yenilenebilir enerji altyapısının geliştirilmesini sağlamak için tasarlanmış vergi teşvikleri, sübvansiyonlar ve düzenleyici çerçevelerin bir kombinasyonunu içerebilir. Ayrıca düşük karbonlu enerji çözümlerinin verimliliğini ve ucuzluğunu sağlamak için Ar-Ge yatırımları gerekmektedir. Hükümetler, sürdürülebilir enerjiyi sağlamak amacıyla enerji depolama alanında ve şebeke entegrasyonundaki teknolojik yeniliklere ve ilerlemelere kaynak tahsis etmelidir. Sonuç olarak, ülkeler ileri görüşlü politikalar uygulayarak ve yenilikçiliği teşvik ederek yalnızca iklim değişikliğinin dışsallıklarını azaltmakla kalmayıp sürdürülebilir ekonomik kalkınma fırsatlarını da ortaya çıkarabilirler.

Bu çalışmanın bulguları, kamu enerji harcamaları ve enerji vergilerinin düşük karbonlu enerji tüketimine etkileri hakkında önemli sonuçlar sunmaktadır. Ancak, bazı kısıtlamalar mevcuttur. İlk olarak, çalışmanın odaklandığı ülkelerin enerji politikaları ve ekonomik yapıları birbirinden farklıdır, bu da genel sonuçların her ülke için aynı şekilde geçerli olmayabileceğini göstermektedir. Ayrıca, fosil yakıtlara yönelik Ar-Ge harcamalarının da göz önünde bulundurulması, düşük karbonlu enerjiye geçiş üzerindeki etkilerin tam olarak anlaşılmasını zorlaştırmaktadır. Gelecek çalışmalar, bu faktörlerin ayrıntılı etkilerini daha kapsamlı veri ve modelleme teknikleri ile inceleyebilir ve ülkeler arasındaki politik ve teknolojik farklılıkları

daha derinlemesine ele alabilir. Ayrıca, özel sektörün enerji dönüşümündeki rolü ve yenilenebilir enerjiye yönelik özel teşviklerin incelenmesi, çalışmanın kapsamını genişletebilir ve enerji politikalarının etkinliğine dair daha güçlü öneriler sunulmasına olanak sağlayabilir.

### Kaynakça

- Ağpak, F., Özçiçek, Ö. (2018). Yenilenebilir enerji kullanımında toplumsal bilgi stokunun rolü. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 20(2), 7-25. Doi: iibfdkastamonu.325113.
- Apergis, N., Degirmenci, T., Aydin, M. (2023). Renewable and non-renewable energy consumption, energy technology investment, green technological innovation, and environmental sustainability in the United States: Testing the EKC and LCC hypotheses with novel Fourier estimation. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(60), 125570-125584. Doi: 10.1007/s11356-023-30901-1.
- Aslanturk, O. (2020). The role of renewable energy in ensuring energy security of supply and reducing energy-related import. *International Journal of Energy Economics and Policy*. Doi:10.32479/ijeep.8414.
- Aydin, M., Bozatli, O. (2023). The effects of green innovation, environmental taxes, and financial development on renewable energy consumption in OECD countries. *Energy*, 128105. Doi: 10.1016/j.energy.2023.128105.
- Aydin, M., Degirmenci, T. (2023). The impact of clean energy consumption, green innovation, and technological diffusion on environmental sustainability: New evidence from load capacity curve hypothesis for 10 European Union countries. *Sustainable Development*. Doi: 10.1002/sd.2794.
- Aydin, M., Degirmenci, T., Gurdal, T., Yavuz, H. (2023a). The role of green innovation in achieving environmental sustainability in European Union countries: Testing the environmental Kuznets curve hypothesis. *Gondwana Research*, 118, 105-116. Doi: 10.1016/j.gr.2023.01.013.
- Aydin, M., Degirmenci, T., Yavuz, H. (2023b). The influence of multifactor productivity, research and development expenditure, renewable energy consumption on ecological footprint in G7 Countries: Testing the Environmental Kuznets Curve Hypothesis. *Environmental Modeling & Assessment*, 1-16. Doi: 10.1007/s10666-023-09879-0.
- Bashir, M. F., Ma, B., Bashir, M. A., Radulescu, M., Shahzad, U. (2022). Investigating the role of environmental taxes and regulations for renewable energy consumption: Evidence from developed economies. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 35(1), 1262-1284. Doi: 10.1080/1331677X.2021.1962383.
- Breitung, J., S. Das. 2005. Panel unit root tests under cross-sectional dependence. *Statistica Neerlandica*. 59: 414–433. Doi: 10.1111/j.1467-9574.2005.00299.x.
- Carfora, A., Pansini, R. V., Scandurra, G. (2021). The role of environmental taxes and public policies in supporting RES investments in EU countries: Barriers and mimicking effects. *Energy Policy*, 149, 112044. Doi: 10.1016/j.enpol.2020.112044.
- Chudik, A., M. H. Pesaran. 2015. Common correlated effects estimation of heterogeneous dynamic panel data models with weakly exogenous regressors. *Journal of Econometrics* 188(2): 393-420. Doi: 10.1016/j.jeconom.2015.03.007.
- Churchill, S. A., Inekwe, J., Ivanovski, K. (2021). R&D expenditure and energy consumption in OECD nations. *Energy Economics*, 100, 105376. Doi: 10.1016/j.eneco.2021.105376.
- Degirmenci, T., Aydin, M. (2023). The effects of environmental taxes on environmental pollution and unemployment: A panel co-integration analysis on the validity of double dividend hypothesis for selected African countries. *International Journal of Finance & Economics*, 28(3), 2231-2238. Doi: 10.1002/ijfe.2505.

- Değirmenci, T., Yavuz, H. (2024). Environmental taxes, R&D expenditures and renewable energy consumption in EU countries: Are fiscal instruments effective in the expansion of clean energy?. *Energy*, 299, 131466. Doi: 10.1016/j.energy.2024.131466.
- Değirmenci, T., Aydın, M. (2024). Türkiye’de Çevresel İnovasyon ve Ar-ge Harcamalarının Düşük Karbonlu Enerji Tüketimine Etkisi. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 25(2), 239-250. Doi: 10.37880/cumuiibf.1382019.
- Demirbas, A. (2006). Hazardous emissions, global climate change and environmental precautions. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 1(1), 75-84. Doi: 10.1080/009083190881472.
- Esen, Ö., Yıldırım, D. Ç., Yıldırım, S. (2021). Pollute less or tax more? Asymmetries in the EU environmental taxes–Ecological balance nexus. *Environmental Impact Assessment Review*, 91, 106662. Doi: 10.1016/j.eiar.2021.106662.
- Fang, G., Yang, K., Tian, L., Ma, Y. (2022). Can environmental tax promote renewable energy consumption?—An empirical study from the typical countries along the Belt and Road. *Energy*, 260, 125193. Doi: 10.1016/j.energy.2022.125193.
- Gan, J., Smith, C. T. (2011). Drivers for renewable energy: A comparison among OECD countries. *Biomass and Bioenergy*, 35(11), 4497-4503.
- Godil, D. I., Sharif, A., Ali, M. I., Ozturk, I., Usman, R. (2021). The role of financial development, R&D expenditure, globalization and institutional quality in energy consumption in India: New evidence from the QARDL approach. *Journal of Environmental Management*, 285, 112208. Doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112208.
- IEA. (2024), Energy Technology RD&D Budgets Data Explorer, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-technology-rdd-budgets-data-explorer>. Erişim tarihi: 05.07.2024
- Khezri, M., Heshmati, A., Khodaei, M. (2021). The role of R&D in the effectiveness of renewable energy determinants: a spatial econometric analysis. *Energy Economics*, 99, 105287. Doi: 10.1016/j.eneco.2021.105287.
- Kılınç, E. C., Kılınç, N. Ş. (2021). Ar-Ge ve inovasyonun yenilenebilir enerji üretimi üzerindeki etkisi: Panel veri analizi. *Alanya Akademik Bakış*, 5(2), 1087-1105. Doi: 10.29023/alanyaakademik.867232.
- Kocsis, I., Kiss, J. T. (2015). Renewable energy consumption, R&D and GDP in European Union countries. *Environmental Engineering and Management Journal*, 13(11), 2825-2830.
- Lee, S., Yoon, B., Shin, J. (2016). Effects of nuclear energy on sustainable development and energy security: Sodium-cooled fast reactor case. *Sustainability*, 8(10), 979. Doi: 10.3390/su8100979.
- Lehr, U., Nitsch, J., Kratzat, M., Lutz, C., Edler, D. (2008). Renewable energy and employment in Germany. *Energy Policy*, 36(1), 108-117. Doi: 10.1016/j.enpol.2007.09.004.
- Li, W., Cao, N., Xiang, Z. (2023). Drivers of renewable energy transition: The role of ICT, human development, financialization, and R&D investment in China. *Renewable Energy*, 206, 441-450. Doi: 10.1016/j.renene.2023.02.027.
- Majid, M. (2020). Renewable energy for sustainable development in India: current status, future prospects, challenges, employment, and investment opportunities. *Energy, Sustainability and Society*, 10(1), 1-36. Doi: 10.1186/s13705-019-0232-1.
- Naimoğlu, M., Özbek, S. (2022). İngiltere’de enerji Ar-Ge harcamaları ile enerji tüketimi ilişkisi: Yapısal kırılmalı eşbütünleşme analizi. *İsletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi*, 10(1), 35-45.

- 
- Niu, T., Yao, X., Shao, S., Li, D., Wang, W. (2018). Environmental tax shocks and carbon emissions: An estimated DSGE model. *Structural Change and Economic Dynamics*, 47, 9-17. Doi: 10.1016/j.strueco.2018.06.005.
- Niu, T., Yao, X., Shao, S., Li, D., Wang, W. (2018). Environmental tax shocks and carbon emissions: An estimated DSGE model. *Structural Change and Economic Dynamics*, 47, 9-17. Doi: 10.1016/j.strueco.2018.06.005.
- OECD. (2021). Environmental tax. <https://www.oecd.org/en/data/indicators/environmental-tax.html>. Erişim tarihi: 05.07.2024
- Our World in Data. (2023). Low-carbon energy consumption per capita. <https://ourworldindata.org/grapher/per-capita-low-carbon-energy>. Erişim tarihi: 05.07.2024
- Pata, U. K., Caglar, A. E., Kartal, M. T., Depren, S. K. (2023). Evaluation of the role of clean energy technologies, human capital, urbanization, and income on the environmental quality in the United States. *Journal of Cleaner Production*, 402, 136802. Doi: 10.1016/j.jclepro.2023.136802.
- Peng, G., Meng, F., Ahmed, Z., Oláh, J., Harsányi, E. (2022). A path towards green revolution: How do environmental technologies, political risk, and environmental taxes influence green energy consumption?. *Frontiers in Environmental Science*, 751. Doi: 10.3389/fenvs.2022.927333.
- Pesaran, M. (2006). Estimation and inference in large heterogeneous panels with a multifactor error structure. *Econometrica*, 74(4): 967-1012. Doi: 10.1111/j.1468-0262.2006.00692.x.
- Pesaran, M. H. (2015). Testing weak cross-sectional dependence in large panels. *Econometric reviews*, 34(6-10), 1089-1117. Doi: 10.1080/07474938.2014.956623.
- Pesaran, M. H., Yamagata, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels. *Journal of Econometrics*, 142(1), 50-93. Doi: 10.1016/j.jeconom.2007.05.010.
- Qi, X., Guo, Y., Guo, P., Yao, X., Liu, X. (2022). Do subsidies and R&D investment boost energy transition performance? Evidence from Chinese renewable energy firms. *Energy Policy*, 164, 112909. Doi: 10.1016/j.enpol.2022.112909.
- RES Legal (2019). Legal Sources on Renewable Energy. <http://www.res-legal.eu/home/>. Accessed on 22.02.2024
- Saidi, K., Omri, A. (2020). Reducing CO2 emissions in OECD countries: do renewable and nuclear energy matter?. *Progress in Nuclear Energy*, 126, 103425. Doi: 10.1016/j.pnucene.2020.103425.
- Shahzad, U. (2020). Environmental taxes, energy consumption, and environmental quality: Theoretical survey with policy implications. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(20), 24848-24862. Doi: 10.1007/s11356-020-08349-4.
- Shahzad, U., Radulescu, M., Rahim, S., Isik, C., Yousaf, Z., Ionescu, S. A. (2021). Do environment-related policy instruments and technologies facilitate renewable energy generation? Exploring the contextual evidence from developed economies. *Energies*, 14(3), 690. Doi: 10.3390/en14030690.
- Su, C. W., Umar, M., Khan, Z. (2021). Does fiscal decentralization and eco-innovation promote renewable energy consumption? Analyzing the role of political risk. *Science of The Total Environment*, 751, 142220. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142220.
- Wang, J., Wang, K., Shi, X., Wei, Y. M. (2019). Spatial heterogeneity and driving forces of environmental productivity growth in China: would it help to switch pollutant discharge fees to environmental taxes?. *Journal of Cleaner Production*, 223, 36-44. Doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.045.
-

- 
- Wang, Q., Li, S., Pisarenko, Z. (2020). Heterogeneous effects of energy efficiency, oil price, environmental pressure, R&D investment, and policy on renewable energy--evidence from the G20 countries. *Energy*, 209, 118322. Doi: 10.1016/j.energy.2020.118322.
- Westerlund, J. (2008). Panel cointegration tests of the Fisher effect. *Journal of Applied Econometrics*, 23(2), 193-233. Doi: 10.1002/jae.967.
- Zhang, X., Geng, Y., Tong, Y. W., Kua, H. W., Dong, H., Pan, H. (2021). Trends and driving forces of low-carbon energy technology innovation in China's industrial sectors from 1998 to 2017: from a regional perspective. *Frontiers in Energy*, 15(2), 473-486. Doi: 10.1007/s11708-021-0738-z.
-