



Çevresel Teknolojik İnovasyonların CO₂ Emisyonu Üzerindeki Etkisi: OECD Ülkeleri Örneği

The Impact of Environmental Technological Innovations on CO₂ Emissions: The Case of OECD Countries

Mehmet AKYOL¹ , Emrullah METE² 

ÖZ

Sera gazı emisyonlarının neden olduğu küresel ısınma ve iklim değişikliği tüm ülkeleri üretim faktörlerini yeniden gözden geçirmeye zorlamaktadır. Emisyon hacimlerini düşürücü teknolojilerin geliştirilmesi ülkeler için öncelikli hedeflerden biri olmuştur. Bu çalışmada çevresel teknolojik inovasyonların CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi OECD kurucu üyesi 18 ülke için araştırılmıştır. 2005-2018 yılları arası dönemin incelendiği çalışmada panel genelleştirilmiş momentler metodu (GMM) yönteminden yararlanılmıştır. Bağımlı değişken olarak CO₂ emisyonunun kullanıldığı çalışmada enerji tüketimi, ekonomik büyüme (GSYH) ve teknolojik inovasyon verileri bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. Teknolojik inovasyon göstergesi olarak iklim değişikliğini önleyici patent sayıları kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, iklim değişikliğini önlemeye yönelik patent başvurularında meydana gelen %1 düzeyinde artış CO₂ emisyonunu %0.02 oranında azaltmaktadır. Diğer yandan enerji tüketiminde meydana gelen %1 düzeyindeki artış CO₂ emisyonu üzerinde %0.56 oranında artışa neden olmaktadır. Son olarak GSYH büyüme hızında meydana gelen %1 düzeyindeki artış ise CO₂ emisyonu üzerinde %0.001 oranında artışa neden olmaktadır.

Anahtar kelimeler: Teknolojik inovasyon, CO₂ emisyonu, Çevresel patentler

JEL Sınıflaması: O11, O31, Q55

ABSTRACT

Global warming and climate change, caused by greenhouse gas emissions, have compelled all countries to reconsider their production factors. Developing technologies to reduce emission volumes has been one of the priority targets for countries. This study investigated the impact of environmental technological innovations on CO₂ emissions in 18 OECD members. The panel generalized method of moments (GMM) was employed in the study to produce estimates for the period between 2005 and 2018. Energy consumption, economic growth (GDP), and technological innovation data were used as independent variables in the study, CO₂ emissions were used as dependent variable, whereas the



DOI: 10.26650/ISTJECON2021-935480

¹Dr. Öğr. Üyesi, Gümüşhane Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İktisat Bölümü, Gümüşhane, Türkiye

²Dr. Öğr. Üyesi, Giresun Üniversitesi, Görele Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu Lojistik Yönetimi Bölümü, Giresun, Türkiye

ORCID: M.A. 0000-0002-1173-200X;
E.M.0000-0003-2240-9248

Sorumlu yazar/Corresponding author:

Emrullah METE,
Giresun Üniversitesi, Görele Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu Lojistik Yönetimi Bölümü, Görele Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Giresun, Türkiye
E-posta/E-mail: mtemrullah@gmail.com

Başvuru/Submitted: 10.05.2021

Revizyon Talebi/Revision Requested: 02.10.2021

Son Revizyon/Last Revision Received: 17.10.2021

Kabul/Accepted: 07.12.2021

Atıf/Citation: Akyol, M., & Mete, E. (2021).

Çevresel teknolojik inovasyonların CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi: OECD ülkeleri örneği. *İstanbul İktisat Dergisi - Istanbul Journal of Economics*, 71(2), 569-590.

<https://doi.org/10.26650/ISTJECON2021-935480>



number of patents preventing climate change was used as a technological innovation indicator. The analysis results showed that a 1% increase in patent applications for preventing climate change reduced CO₂ emissions by 0.02%. However, a 1% increase in energy consumption caused an increase of 0.56% in CO₂ emissions. Finally, the 1% increase in the

GDP growth rate caused an increase of 0.002% in CO₂ emissions.

Keywords: Technological innovation, CO₂ emission, Environmental patents

JEL Classification: O11, O31, Q55

EXTENDED ABSTRACT

Following the industrial revolution, the adoption of mechanization, the introduction of mass production, and the use of fossil fuels put serious pressure on the ecosystem, resulting in climate change and environmental pollution. This mode of production and economic growth, which has threatened the continuity of natural life since the first half of the 20th century, has begun to draw attention, necessitating the introduction of certain environmental principles. One of the key principles is the concept of sustainable development. Sustainable development refers to economic development based on the use of renewable resources, considering the environmental effects of economic activities. Achieving economic growth without causing environmental pollution will be possible only with technological development and innovation.

According to the endogenous economic growth theory, increase in research and development (R&D) activities can provide factor productivity and an increase in production with technological innovation; however, the contribution of technological innovation to environmental quality, especially greenhouse gas emissions, is uncertain. Thus, it is important to determine whether technological innovation protects the environment.

Technological innovation is considered as a key solution to environmental problems and a viable instrument for sustainable development. Technological innovation refers to the innovation of production or production technology, the development of new ideas, development and implementation of new patents and technologies, and modification in the existing production process. The relationship between economic growth and CO₂ emissions is based on the

Environmental Kuznets Curve in economic literature. The relationship between economic growth and pollution is presented as an inverse U-curve, and the increase in production and income creates an initial increasing pressure on the environment as countries continue their economic development. On reaching a certain income level, the environmental pressure created by economic growth is decreased.

Studies on the emission-reducing effect of technological innovation are important not only in the relation to countries but also for academic purposes. In this regard, this study used energy technology innovation to test the impact of technology on emissions; it evaluated the R&D scale and, finally, developed a patent. Unlike R&D expenditure, patent data were a measure of output. A patent is a right to the person making an invention granted by a governing authority; it may grant other people the right to use the invention for a certain period. Obtaining a patent is both an intensive procedure and a very expensive process. The intensive procedure and heavy cost serve as a guarantor for high quality inventions. A patent is usually granted after the development of the technology has begun, that is, it proves that success has been achieved.

This study examined the impact of environmental technological innovations on CO₂ emissions in 18 OECD founding countries. The study focused on the period between 2005 and 2018. CO₂ emissions were used as the dependent variable; energy consumption, economic growth (GDP), and technological innovation data were used as independent variables. The panel generalized method of moments (GMM) was used for the analysis and the number of patents to prevent climate change was used as a technological innovation indicator.

The patent data used in the study were scored according to the inventor countries. For example, where there was a joint patent application from two different countries, each country was given 0.5 points to prevent duplicate counting, and in case of applications from three countries, each country was given 0.33 points. Concerning patent applications, classifications were made based on the technology density. There were four classifications. Classifications of 1 and

above refer to all patent applications, including inventions with low value. In this study, patent applications of inventions with higher value were used, considering the classifications of 2 and above.

Analyzed results show that the increase in energy consumption and economic growth increase CO₂ emissions and an increase in the number of patents reduces CO₂ emissions. The evaluated results in terms of OECD countries were not surprising. In fact, patent applications for environmental innovations aimed at preventing climate change increased approximately six times in the last three decades across OECD countries. This increase indicates the importance given to policies for preventing environmental problems in OECD countries. Additionally, the acceleration of globalization, the increase in the world population, and the resulting increase in total demand increased the production and energy demand. Although efforts to reduce energy consumption based on fossil resources and interest in renewable energy have recently increased, the share of renewable energy consumption in total energy consumption has not yet reached the desired levels.

1. Giriş

Ekonomik büyümenin ülkeler açısından temel hedef olması doğal kaynakların tükenmesine, yaşam alanının ise bozulmasına neden olmaktadır. Sanayi devriminden sonra makineleşmeyle birlikte benimsenen seri üretim yöntemi ve fosil yakıt kullanımı ekosistem üzerinde ciddi baskı oluşturmuş, iklim değişikliği ve çevre kirliliğini beraberinde getirmiştir. 20. Yüzyılın ilk yarısından itibaren doğal yaşamın devamlılığı noktasında tehdit oluşturan bu üretim ve ekonomik büyüme tarzı dikkat çekmeye başlamıştır. Söz konusu tehdit birtakım düzenlemeleri gerekli kılmıştır. Bu düzenlemelerin başında sürdürülebilir kalkınma kavramı gelmektedir.

Global çapta çevre sorunlarının varlığının kabul edildiği ve çözüm arayışlarının olması gerektiği hususunda yapılan ilk toplantı 1972 yılında düzenlenen Stockholm Konferansı olmuştur. Devamında ise 1983 yılında Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (UNEP) kurulmuştur. Komisyon, 1987 yılında *Ortak Geleceğimiz* başlıklı bir rapor (Brundtland Raporu) yayınlamış ve bu raporla *sürdürülebilir kalkınma* kavramı ilk kez gündeme gelmiştir. Raporda, sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik kalkınma ile çevreyi korumanın bir arada yürütüldüğü bir model olduğu belirtilmiştir. Sürdürülebilir kalkınma, ekonomik faaliyetlerin çevresel etkilerini de dikkate alarak yenilenebilir kaynakların kullanılmasına dayanan ekonomik kalkınmadır (Gedik, 2020, s. 205). Sürdürülebilir kalkınma, çevrenin ve doğal kaynakların korunmasını dikkate alarak hem ekonomik kalkınmanın gerçekleşmesini hem de doğayı sonraki nesillere kullanılabilir halde miras bırakmayı öngörür. Çevre kirliliğine neden olmadan ekonomik büyümeyi gerçekleştirmek ancak teknolojik gelişme ve inovasyonla mümkün olacaktır. Schumpeter (1934), ekonomik kalkınmanın inovasyon tarafından yönlendirildiğini belirtmiştir. İçsel ekonomik büyüme modelinde Romer (1986), araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) faaliyetleri, beşerî sermaye ve teknik bilginin kullanılmasıyla teknolojik yeniliklerin yaratıldığını öne sürmüştür. İçsel ekonomik büyüme teorisine göre, ar-ge faaliyetlerindeki artış teknolojik yenilikle birlikte faktör verimliliğini ve üretim artışını sağlayabilir ancak teknolojik yeniliğin çevresel kaliteye, özellikle sera gazı emisyonlarına katkısı belirsizdir (Chen ve Lee, 2020, s. 1). Bu noktada teknolojik yeniliğin çevresel ya da çevreyi koruyucu özelliğinin olup

olmaması ön plana çıkmaktadır. Yüksek düzeyde çevreyi kirleten ve emisyonu neden olan enerji kaynaklarına dayalı ekonomik faaliyetlerden, çevresel etkiye sahip ve iklim değişikliğine karşı duran teknolojilere dayalı sürdürülebilir ekonomik faaliyetlere geçiş son yıllarda dünya ekonomileri için asıl hedef haline gelmiştir (Fernandez, Lopez ve Blanco, 2018, s. 3459).

Ekonomi literatüründeki ortak düşünce, inovasyon ve teknolojik iyileştirmenin çevresel kalite üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğudur, bu da sıklıkla teknolojik etki olarak anılmaktadır. Teknolojik yenilik, çevre sorunları ve sürdürülebilir kalkınma için anahtar bir çözüm olarak algılanmaktadır (Lin ve Zhu, 2019b, s. 1508; Zhang, Peng, Ma ve Shen, 2017, s. 18). Teknolojik yenilik, üretim veya üretim teknolojisinin yeniliğini, yeni fikirlerin geliştirilmesini, yeni patentlerin ve teknolojilerin geliştirilmesini ve uygulanmasını ve mevcut üretim sürecinin değiştirilmesini ifade eder.

Ekonomik büyüme ile CO₂ emisyonları arasındaki ilişki ekonomi literatüründe Çevresel Kuznets Eğrisi'ne dayandırılmaktadır. Ekonomik büyüme ile kirlilik arasındaki ilişki ters U eğrisi olarak tasvir edilir ve ülkeler ekonomik gelişimlerini sürdürürken üretim ve gelirdeki artış çevre üzerinde ilk etapta artan bir baskı oluşturur. Belirli bir gelir düzeyine ulaştığında ise ekonomik büyümenin yarattığı çevresel baskı azalır (Grossman ve Krueger, 1991, s. 36). Kirlilik seviyesindeki azalma, ancak Ar-Ge'ye büyük miktarda kaynak tahsis edildiğinde mümkün olan daha çevre dostu teknolojilerin geliştirilmesi ve benimsenmesi ile açıklanmaktadır (Bindi, 2019, s. 6). Ekonomik büyüme, teknolojik yenilik ve çevre arasındaki ilişki Ar-Ge harcamalarındaki düzey ile teknolojik gelişimde yakalanan düzeye de bağlıdır. Yani ancak yüksek miktardaki Ar-Ge harcamaları katma değeri daha yüksek olan emisyon azaltıcı teknolojileri ortaya çıkarabilmekte, yüksek miktardaki Ar-Ge harcamaları da ancak yüksek gelirli ülkeler tarafından yapılabilmektedir. İnovasyonun etkisi teknolojik değişimin yönüne bağlıdır, yani inovasyonun iki tür etkisi bulunmaktadır. Birinci tür etkide, yeni teknolojiler ekonomik büyümede ve kaynak kullanımında bir artışa yol açabilir ancak bu tür bir inovasyonda çevre üzerinde emisyonu azaltıcı etki beklenmez. İkincisi ise, teknolojik yenilik karbon emisyonlarının oranını düşürebilir ve böylece ekonomik büyümenin çevre

üzerindeki etkisi azalabilir yani inovasyonun çevre üzerinde olumlu etki yaratacağı beklenir (Popp, Newell ve Jaffe, 2010, s. 875). Bir ülkenin ekonomik kalkınma seviyesi, gerçekleştirilen inovasyon derecesinin önemli bir belirleyicisidir. Düşük gelir düzeyine sahip ülkelerin yalnızca üretimi artıran ve aynı zamanda çevreyi kirleten teknolojilere erişebilmekte, yüksek gelirli ekonomilerin ise ekonomik büyümenin çevresel baskısında bir azalmaya katkıda bulunan daha çevresel teknolojilere erişebilmektedir (Stokey, 1998, s. 24). Kısaca, Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinin geçerliliği, emisyonu azaltma teknolojilerindeki gelişmelerin derecesine dayanmaktadır.

Teknolojik yeniliğin emisyonu azaltıcı etkisine yönelik çalışmalar ülkeler bazında olduğu kadar akademik kapsamda da önem arz etmektedir. Bu çerçevede, emisyon üzerindeki etki açısından teknolojik yenilik olarak ilk etapta enerji teknolojisi inovasyonu kullanılmış, daha sonra Ar-Ge ölçeği teknolojik yenilik olarak değerlendirilmiş ve nihayet patent geliştirme teknolojik yenilik olarak kabul görmüştür (Cheng, Ren, Dong, Dong ve Wang, 2021, s. 2).

Enerji ile ilgili bilim ve teknolojiyi geliştirmeyi amaçlayan bilgi yeniliğini, aynı zamanda yeni enerji ile ilgili teknolojilerin ticari alanda uygulanmasını teşvik etmeyi amaçlayarak ürün yeniliğini ifade eden enerji teknolojisi inovasyonu, küresel ısınma sonucu oluşan iklim değişikliğini önlemede önemli bir araçtır. Ar-Ge ölçeği ise Ar-Ge harcamaları ile ülke başına araştırma personeli sayısını ifade eder. Ar-ge harcamaları ve araştırma personeli sayısı, bir ülkenin yenilikçi kapasitesini, yani üretilen etkili yenilik miktarından ziyade yeni teknolojiler geliştirmek için mevcut kaynakları yansıtır (Johnstone, Hascic ve Popp, 2010, s. 138). Yani harcanan kaynak ile üretilen inovasyon arasında fark olabileceği ihtimali Ar-Ge ölçeğinin gösterge olarak kullanılmasını sakıncalı hale getirmektedir (Hascic ve Migotto, 2015, s. 14). Ar-Ge harcamalarının aksine, patent verileri bir çıktı ölçüsüdür (Albino, Ardito, Dangelico ve Petruzzelli, 2014, s. 837). Patent, bir buluşu gerçekleştirene kamu tarafından verilen bir haktır ve belirli bir süre kullanım hakkını diğer kişiler için saklı tutar. Ayrıca patent temini hem yoğun prosedür hem de oldukça yüksek maliyet içeren bir süreçtir. Yoğun prosedür ve ağır maliyet, yüksek kaliteli buluş için bir garantör görevi görmektedir. Patent temininin önemli

bir başka özelliği ise genellikle teknolojinin gelişmesi başladıktan sonra gerçekleşir, yani bir başarının elde edildiğinin kanıtını ortaya koyar. Bir patentin temin edilmesi, eski teknolojide anlamlı bir gelişmenin veya yenisinin yaratılmasının üstü kapalı bir kanıttır ve patent verilerinin esas olarak mevcut teknolojik yenilik düzeyinde gelişme sağlayan yenilikleri içerdiği kabul edilir (Bindi, 2019, s. 10).

Bu çalışmada, çevresel teknolojik yenilik ile CO₂ emisyonu arasındaki ilişki 2005-2018 döneminde OECD kurucu ülkeleri için araştırılmıştır. Panel GMM yaklaşımının kullanıldığı çalışmada, literatüre katkı sağlaması açısından teknolojik yenilik göstergesi olarak son dönemde dikkat çeken ve kullanılan patent verileri kullanılmıştır. Bu kapsamda çalışmanın amacı son dönemde dikkati çeken patentlerin emisyon azaltıcı etkisini ortaya koyarak literatüre katkı sağlamaktır. Çalışmanın giriş bölümünün ardından ikinci bölümde literatür taraması yapılmış, üçüncü bölümde veri seti ve yöntem tanıtılmış, dördüncü bölümde analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Son olarak ise sonuç ve değerlendirme kısmı ile çalışma tamamlanmıştır.

2. Literatür Taraması

Ekonomik büyüme performansının olumsuz sonuçlarının başında gelen çevre kirliliği ve emisyon artışı ülkelerin ve akademik dünyanın önemli konularından biri olmuştur. Özellikle 20. Yüzyılın ilk yarısından bu yana ekonomik büyümenin yanında çevrenin korunmasıyla ilgili çeşitli teknolojik gelişmeler yaşanmış ve bu gelişmelerin etkileri incelenmiştir. Enerji teknolojisi inovasyonu, ar-ge ölçeği ve patent sayılarının teknolojik inovasyonun göstergesi olarak kullanıldığı, ülkeler ve dönemler itibarıyla çevre kirliliği ve emisyonun gelişiminin incelendiği çalışmalar son on yılda dikkat çekmektedir. Literatürde patent sayılarının teknolojik yenilik olarak kullanıldığı çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Johnstone ve arkadaşları (2010) çevresel politikaların yenilenebilir enerji teknolojileri inovasyonu üzerine etkilerini yüksek gelir grubundaki 25 ülke için araştırmışlardır. Panel regresyon analizinin kullanıldığı çalışmada teknoloji inovasyon göstergesi olarak patent sayıları tercih edilmiştir. Analiz sonuçlarına

göre kamu politikasının yenilenebilir enerji alanında yeni teknolojilerin geliştirilmesinde çok önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca Ar-Ge'ye yönelik kamu harcamalarının jeotermal ve okyanus kaynaklarının yanı sıra tüm modellerde rüzgâr ve güneş enerjisi açısından inovasyon üzerinde olumlu ve anlamlı bir etkisi vardır.

Albino ve arkadaşları (2014) düşük karbonlu enerji teknolojilerinin gelişimini patent sayılarıyla incelediği çalışmada 1971-2010 döneminde resmileşmiş 131,661 patenti tüm ülkeler bazında değerlendirmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, enerji alanındaki inovatif faaliyetlerin petrol krizi dönemlerinde ve 1990'ların başında küresel ısınmanın farkındalığıyla en yüksek seviyeye ulaştığı, düşük karbonlu enerji için özel sektörün daha etkili olduğu, alternatif enerji üretimi konusunda patent sayısının oldukça yetersiz olduğu, düşük karbonlu enerji teknolojilerine ilişkin patentlerin yarısından fazlasının ABD'de olduğu sonuçları ortaya konulmuştur.

Bindi (2019) 1976-2012 döneminde 47 ülkeyi yeşil inovasyonun karbon emisyonu üzerindeki etkisi açısından incelemiştir. İklim değişikliğine yönelik patent sayılarının inovasyon göstergesi olarak kullanıldığı çalışmada panel regresyon analizi tercih edilmiştir. Analiz sonuçları, gelişmiş ülkelerde inovasyonun karbon emisyonunu azalttığı tespit edilmiştir.

Hashmi ve Alam (2019) teknolojik inovasyon ile karbon emisyonu arasındaki ilişki için OECD ülkelerini 1999-2014 döneminde incelemiştir. Panel regresyon analizi ve STIRPAT modelinin uygulandığı ve patent sayılarının teknolojik yenilik göstergesi olarak kullanıldığı çalışmada patent sayısındaki %1'lik bir artışın karbon emisyonunda %0,017'lik bir azalmaya neden olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Cheng ve arkadaşları (2021) OECD ülkelerinde teknolojik inovasyon gelişmelerinin CO₂ emisyonunu nasıl azalttığını araştırmıştır. Teknolojik inovasyon göstergesi olarak patent sayılarının kullanıldığı çalışmada 35 OECD üyesi ülke 1996-2015 dönemi için panel kuantil regresyon modeliyle incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre patent sayılarıyla ifade edilen teknolojik inovasyonun doğrudan

etkisinin CO₂ emisyonunu azalttığı şeklindedir. Ayrıca analizde gerçekleştirilen ve ılımlı etki olarak tabir edilen etkinin ise heterojenlik gösterdiği tespit edilmiştir.

Teknolojik inovasyonun farklı göstergelerle temsil edildiği çalışmalardan bazıları ise aşağıda özetlenmiştir.

Yii ve Geetha (2017) Malezya için teknolojik inovasyon ile CO₂ emisyonu arasındaki ilişkiyi 1971-2013 dönemi için incelemiştir. Hata düzeltme modeli sonuçları kısa dönemde teknolojik inovasyon ile CO₂ emisyonu arasında negatif ilişki söz konusu iken uzun dönemde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olmadığını göstermektedir. Nedensellik analizi sonuçlarına göre ise, kısa dönemde teknolojik inovasyon CO₂ emisyonunun nedeni iken uzun dönemde nedensellik ilişkisi tespit edilmemiştir.

Fernandez ve arkadaşları (2018) inovasyonun sera gazı emisyonuna etkisini 1990-2013 döneminde AB15, ABD ve Çin açısından incelemiştir. Ar-ge harcamaları ve enerji tüketiminin bağımsız değişken olarak kullanıldığı panel regresyon analizi sonuçlarına göre, araştırma ve geliştirme harcamalarının gelişmiş ülkeler için CO₂ emisyonlarının azaltılmasına olumlu katkı sağladığı, enerji tüketimiyle ilgili olarak ise bu değişkenin CO₂ emisyonlarının büyümesiyle bağlantılı olduğu ve enerji tüketimindeki artışların emisyonlarda bir artışa neden olduğu tespit edilmiştir.

Erdoğan, Yıldırım, Yıldırım ve Gedikli (2019) inovasyon ile karbon emisyonu arasındaki ilişkiyi 14 adet G20 ülkesi için 1971-2017 döneminde incelemiştir. Panel eş bütünleşme analizinin kullanıldığı çalışmada sanayi sektöründe artan inovasyonun karbon emisyonunu azalttığı tespit edilmiştir.

Yu ve Du (2019) Çin'in yeni ekonomik büyüme stratejisi kapsamında teknolojik yeniliğin karbondioksit emisyonu (CO₂) üzerindeki etkisini araştırmışlardır. 1997-2015 döneminde 30 kentin araştırmaya dahil edildiği çalışmada genişletilmiş STIRPAT modeli kullanılmıştır. Teknolojik yenilik göstergesi için bağımsız inovasyon adı altında ar-ge yatırımları, tanıtıcı inovasyon adı altında ise doğrudan yabancı yatırımlar tercih edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, ar-ge yatırımlarının yani

bağımsız inovasyonun hem düşük hemde yüksek hızlı büyüme oranlarında CO₂ emisyonunu artırdığı, tanıtıcı inovasyon yani doğrudan yabancı sermaye yatırımlarının ise CO₂ emisyonunu azalttığı tespit edilmiştir.

Lin ve Zhu (2019a) yenilenebilir enerji için teknolojik yeniliklerin belirleyicilerini Çin şehirlerindeki emisyonlar çerçevesinde incelemişlerdir. Panel regresyon, eş bütünleşme ve nedensellik analizlerinin kullanıldığı çalışmada CO₂ emisyonu ile inovasyon düzeyi arasında çift yönlü nedenselliğin olduğu, yoğun emisyonun yenilenebilir enerji teknolojilerinin gelişimini teşvik ettiği, kamu ve özel sektör ar-ge yatırımlarının inovasyon düzeyini artırmada etkili olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

Chen ve Lee (2020) teknolojik inovasyonun CO₂ emisyonu üzerindeki etkisini 96 ülke için 1996-2018 dönemi için araştırmıştır. Mekansal panel veri modelinin uygulandığı analiz sonuçlarına göre, CO₂ emisyonlarının ve ar-ge yoğunluğunun ülkeler arasında mekansal olarak ilişkili olduğu, gruplandırılmış verilere dayalı sonuçlar yüksek CO₂ emisyonu olan ülkeler hariç tutulduğunda, yüksek gelirli, yüksek teknoloji ülkelerdeki teknolojik yeniliğin, yalnızca kendi CO₂ emisyonlarını önemli ölçüde azaltmakla kalmayıp aynı zamanda çevrelerindeki benzer ülkelerdeki CO₂ emisyonlarını azaltmaya da yardımcı olduğu, orta ve düşük gelirli, düşük teknoloji ve düşük CO₂ emisyonlu ülkelerde teknolojik yeniliğin, kendi ülkelerinde ve komşu ülkelerde CO₂ emisyonlarını önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiştir.

Wang ve Zhu (2020) Çin'in 30 kentinde 2001-2017 dönemi için teknolojik inovasyonun CO₂ emisyonuna etkisini incelemiştir. Mekansal regresyon analizi sonuçlarına göre, yenilenebilir enerji teknolojisi inovasyonunun CO₂ azaltımını kolaylaştırdığı, fosil enerji teknolojisi inovasyonunun Çin'deki CO₂ emisyonlarını azaltma noktasında etkisiz olduğu ve enerji teknolojisi yeniliklerinin CO₂ emisyonları üzerindeki etkileri bölgelere göre farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Mongo, Belaid ve Ramdani (2021) çevresel inovasyonların CO₂ emisyonu üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla Avrupa Birliği üyesi 15 ülkeyi (AB15) incelemişlerdir. 1991-2014 döneminin ele alındığı çalışmada panel ARDL yöntemi tercih edilmiş ve analiz sonuçları çevresel inovasyonların uzun dönemde CO₂ emisyonunu azalttığını kısa dönemde ise artırdığını işaret etmektedir.

Dauda ve diğerleri (2021) inovasyon ile CO₂ emisyonu arasındaki ilişkiyi 1990-2016 döneminde 9 Afrika ülkesi için incelemiştir. Eş bütünleşme ve genelleştirilmiş momentler metodunun uygulandığı analiz sonuçlarına göre inovasyon ile CO₂ emisyonu arasındaki ters-U ilişkisi doğrulanmış, ayrıca yenilenebilir enerji kullanımının panel genelinde CO₂ emisyonunu azalttığı tespit edilmiştir.

Literatürde yer alan çalışmalar ışığında bu çalışma Dauda ark. (2021) ve Cheng ark. (2021) çalışmalarına benzerlik göstermektedir. Söz konusu çalışmalar ve literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak bu çalışma iklim değişikliğine yönelik patent sayılarını dikkate alması ve yararlanılan analiz yöntemi itibarıyla ön plana çıkmaktadır.

3. Veri Seti ve Yöntem

Bu çalışmada OECD kurucusu 18 ülkede (Türkiye, ABD, Avusturya, Kanada, Fransa, Hollanda, Almanya, İtalya, İngiltere, Belçika, Danimarka, İrlanda, Yunanistan, İsviçre, İsveç, İspanya, Norveç, Portekiz) çevresel teknolojik inovasyonların CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. 2005-2018 yılları arası dönemin analiz edildiği çalışmada kullanılan değişkenlere ilişkin bilgiler Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1: Veri Seti

Değişken kodu	Değişken adı	Açıklama	Kaynak
CO	Karbondiyoksit emisyonu	Milyon ton	IEA
İPNT	Çevresel inovasyon	İklim değişikliğine yönelik patent sayıları	OECD
ENT	Enerji tüketimi	10 milyon kCal	IEA
GSYH	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla	Yıllık % büyüme	WDI

Çevresel inovasyon göstergesi olarak iklim değişikliğini önlemeye yönelik patent verileri (İPNT) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan patent verileri mucit ülkelere göre puanlanmaktadır. Örneğin iki farklı ülkeden ortak patent başvurusu yapılması mükerrer sayımın engellenmesi adına her ülkeye 0.5 puan verilmesi sureti ile 3 ülkeden başvurulması durumunda ise her ülkeye 0.33 puan verilmesi sureti ile kayıt altına alınmaktadır. Patent başvuruları ile ilgili diğer bir nokta ise teknoloji yoğunluğuna göre patent başvurularının sınıflandırılmasıdır. 4 gruba

ayrılan sınıflandırmada 1 ve üstü sınıflandırma düşük değere sahip buluşların da dahil olduğu bütün patent başvurularını ifade etmektedir. Bu çalışmada 2 ve üstü sınıflandırma gözetilerek daha yüksek değere sahip buluşların patent başvuruları kullanılmıştır. Söz konusu veriler OECD internet sitesi istatistiksel veriler kısmından temin edilmiştir. Çevresel kirlilik göstergesi olarak CO₂ emisyonu kullanılmıştır. CO₂ emisyonu değişkenine dair verilere Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) internet sitesinden erişilmiş ve milyon ton cinsinden ifade edilmiştir. Analizde kullanılan diğer değişkenler ise enerji tüketimi (ENT) ve gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH) yıllık büyüme oranlarıdır. Enerji tüketimi verilerine de aynı şekilde Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) internet sitesinden ulaşılmıştır. Enerji tüketimi ton eşdeğer petrol cinsinden hesaplanarak analize dahil edilmiş ve bu hesap yöntemi ile enerji kaynakları tek birim ile ifade edilmektedir ve 10 milyon kCal karşılığı enerjiye denk gelmektedir. GSYH verisine ise Dünya Bankası internet sitesi istatistiksel veriler sayfasından ulaşılmıştır. Modelde kullanılan GSYH büyüme hızı değişkeni hariç diğer değişkenlerin doğal logaritmaları alınmıştır. Değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 2'de yer almaktadır.

Tablo 2: Tanımlayıcı İstatistikler

Değişken kodu	Gözlem sayısı	Ortalama	Standart sapma	Minimum	Maksimum
LCO	252	8.195375	0.5784007	7.504611	9.75612
LİPNT	252	2.40596	0.6669385	1.088136	3.931622
LENT	252	4.765922	0.536431	4.008629	6.202524
GSYH	252	1.692942	3.096375	-9.132494	25.16253

Tablo 2'de görüldüğü üzere her bir değişken 252 gözlemden oluşmaktadır. Ortalama değerler LCO, LİPNT, LENT ve GSYH değişkenleri için sırasıyla 8.1953, 2.4059, 4.7659 ve 1.6929'dur. Değişkenlerin standart sapmaları ise 0.536 ile 3.096 arasında değişmektedir.

Çalışmada panel veri analizinden yararlanılmıştır. Panel veriler yatay kesitsel verileri ve zaman serisi verilerini dikkate almak üzere iki boyuttan oluşmaktadır. Kesitsel veri seti, belirli bir zamanda belirli sayıda değişkene dair gözlemlerden oluşmakta iken zaman serisi veri seti ise bir dizi dönem boyunca bir değişken veya birkaç gözlem değişkeninden oluşmaktadır (Eom, Lee ve Xu, 2008, s.576). Panel

veri analizi yönteminde zaman ve birim boyutuna dair gözlem sayısının fazlalığı panel veri ile yapılan analizlerin güvenilirliğini arttırmaktadır. Bu çalışmada panel veri yöntemlerinden biri olan dinamik panel veri modellerinden yararlanılmıştır. Dinamik panel veri modelleri dağıtılmış gecikmeli ve otoregresif panel veri modelleri olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Bağımsız değişkenin gecikmeli değerlerinin modele bağımsız değişken olarak dahil edildiği modeller dağıtılmış gecikmeli modeller olarak adlandırılmaktadır. Diğer yandan bağımlı değişkenin gecikmeli değerlerinin modele bağımsız değişken olarak dahil edildiği modeller ise otoregresif panel veri modelleri olarak adlandırılmaktadır. Bu açıklamalar altında dinamik panel veri modelleri bağımlı ve bağımsız değişkenlerin gecikmeli değerlerinin içinde barındırıldığı modeller olarak tanımlanabilir. Çevresel inovasyonların çevre kirliliği üzerindeki etkisini inceleyen çalışmada genelleştirilmiş momentler yöntemi (GMM) olarak adlandırılan yöntemden yararlanılmıştır. Birim boyutu N'nin zaman boyutu T'den büyük olduğu durumda kullanımı uygun olan GMM yöntemi Arellano Bond tarafından geliştirilmiştir. Söz konusu yöntemde araç değişken matrisi yardımı ile birinci fark modeli dönüştürülmekte, dönüştürülen model genelleştirilmiş en küçük kareler yöntemiyle tahmin edilmektedir (Tatoğlu, 2013, s.65). Denklem 1'de dinamik panel veri modeli yer almaktadır.

$$Y_{it} = \delta Y_{i,t-1} + \beta' x_{it} + u_{it} \\ i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T \quad (1)$$

Denklem 1'de δ scalar terimi, x_{it} $1 \times K$ ve β , $K \times 1$, boyutlarındaki matrisleri ifade etmekte, u_{it} 'nin ise tek yönlü hata bileşen modelini izlediği varsayılmaktadır (Baltagi, 2005, s. 135). Bağımlı değişkenin bir gecikmeli değeri modelde bağımsız değişken olarak yer almaktadır.

$$u_{it} = \mu_i + v_{it} \quad (2)$$

Denklem 2'de $\mu_i \sim IID(0, \sigma_u^2)$ ve $v_{it} \sim IID(0, \sigma_v^2)$ kendi aralarında ve birbirlerinden bağımsız hata terimleridir. Denklem 1'de bağımlı değişkenin gecikmeli değeri ($Y_{i,t-1}$) ve hata terimi ($u_{i,t-1}$) arasında korelasyon söz konusudur. Buna ek olarak Y_{it} , μ_i 'nin bir fonksiyonu iken aynı şekilde de $Y_{i,t-1}$ 'nin de u_i bir

fonksiyonudur. Bu nedenle $Y_{i,t-1}$, ve u_i arasında da bir korelasyonun varlığından bahsetmek mümkündür (Baltagi, 2005, s. 135). Söz konusu korelasyon katı dışsallık varsayımının bozulmasına neden olmaktadır (Yerdelen Tatoğlu, 2013, s. 66). Dinamik panel veri modelleri en küçük kareler yöntemi ile çözümlenmektedir. Fakat gecikmeli değişkenler ile hata terimi arasındaki korelasyon ilişkisi model çözümlemesinde en küçük kareler yönteminin kullanımını engellemektedir. En küçük kareler yönteminde eğer modelin içsel değişkenlerinden biri modele bağımlı değişken olarak eklenir, diğer içsel değişkenlerin ise bağımsız değişken olarak kabul edildiği varsayılırsa bağımsız değişkenler ile denklemin kalıntıları arasındaki korelasyon, sonuçların tutarsız olmasına neden olmaktadır. Kalıntılar ile korelasyonlu olan bağımlı değişkenin yerine uygun bir araç değişken kullanılması önerilmektedir (Balestra ve Nerlove, 1966, s. 604). Söz konusu araç değişkenin belirlenmesinde araç değişkenin hata terimi ile korelasyonsuz olması gerekirken gecikmeli bağımlı değişken ile yüksek korelasyona sahip olması gerekmektedir. Araç değişken yöntemi sapmayı azaltmakta başarılı iken birim ve zaman etkilerini göz ardı ettiğinden parametre tahmincilerinin sapmalı olmasını tam manası ile engellememektedir. Balestra ve Nerlove (1966) tarafından geliştirilen araç değişkenler yönteminin uygulanması sonrasında içsellik probleminin giderilip giderilmediğinin belirlenmesi için Wu Hausman testinin yapılması uygun olmaktadır. Birim etkinin dikkate alındığı durum ise birinci farklar yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemde bağımsız değişkenler ile birim etki arasında korelasyon olmasına izin verilmektedir (Çağlayan Akay, 2018, s. 114). Birim etkinin dikkate alındığı birinci farklar yönteminden hareketle Denklem 1'de yer alan eşitlik yeniden yazıldığında;

$$Y_{it} = \delta Y_{i,t-1} + \beta' x_{it} + \mu_i + u_{it} \quad (3)$$

modele birim etkinin (u_i) dahil edildiği gözlenmektedir. İlk farklar denklemi ise;

$$Y_{it} - Y_{it-1} = \delta(Y_{i,t-1} - Y_{i,t-2}) + \beta'(x_{it} - x_{it-1}) + (\mu_i - \mu_{i-1}) + (u_{it} - u_{it-1}) \quad (4)$$

şeklinde yazılmaktadır. Birinci farkların Δ ile gösterildiği durumda

$$\Delta Y_{it} = Y_{it} - Y_{it-1} \quad (5)$$

$$\Delta x_{it} = x_{it} - x_{it-1} \quad (6)$$

$$\Delta Y_{it-1} = Y_{it-1} - Y_{it-2} \quad (7)$$

$$\Delta u_{it} = u_{it} - u_{it-1} \quad (8)$$

halini almakta ve yeni denklemde birim etkiyi ifade eden u_i denklemden düşmektedir. Model dinamik bir yapıya sahiptir ve bu yapı dolayısı ile birinci farklar denklemi içsellik sorunundan etkilenmektedir. Bunun nedeni hata terimi (Δu_{it}) ile gecikmeli bağımlı değişken ($\Delta Y_{i,t-1}$) arasındaki korelasyondur. Birinci farklar denklemi modelinin tahmini aşamasında korelasyonun varlığı, elde edilen sonuçların sapmalı olmasına neden olmaktadır (Çağlayan Akay, 2018, s. 115). Bu noktada Anderson ve Hsiao (1982) birinci farklar yöntemi ile ilişkili olarak araç değişkenler yönteminin kullanılmasını önermektedir. Bu yöntemde birinci farkı alınan dinamik panel veri modelinde gecikmeli bağımlı değişken ile hata terimi arasındaki korelasyon uygun araç değişkenler ile kontrol edilmelidir (Yerdelen Tatoğlu, 2013, s. 75). Bu bağlamda birinci farkları alınmış modele odaklanmıştır. Bu modelde Y_{it-2} veya $Y_{it-2} - Y_{it-3}$ değişkenleri $Y_{it-1} - Y_{it-2}$ değişkeni yerine araç değişken olarak kullanılmakta ve araç değişken metodu ile δ ve β^h 'nin tahminini sağlamaktadır (Anderson ve Hsiao, 1982, s. 78). Araç değişkenlerin geçerliliği yerine kullanıldıkları değişken ile korelasyonlu hata terimi ile korelasyonsuz olmalıdır. Birinci fark modelinin hata terimleri genelde negatif otokorelasyonludur. Otokorelasyon problemi ise kalıntıların farkının alınması neticesinde ortaya çıkmaktadır. Söz konusu olumsuzluğun varlığı durumunda genelleştirilmiş momentler yönteminin kullanılması uygun olmaktadır (Çağlayan Akay, 2018, s. 120).

Genelleştirilmiş momentler tahmincisinde (GMM) birinci fark dönüşümü daha önce de belirtildiği üzere birim etkiyi modelden düşürmektedir. Ayrıca bağımlı değişkenin bir gecikmeli değeri modelde kullanılan diğer bağımsız değişkenler ile birlikte modele bağımsız değişken olarak yeniden eklenmektedir (Yerdelen Tatoğlu, 2013, s. 81). Modelde aşırı tanımlama kısıtlamalarının geçerli olup olmadığı Sargan testi ile kontrol edilmektedir (Arellano ve Bond, 1991, s. 283). Sargan testi aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir (Baltagi, 2005, s. 141):

$$m = \Delta \hat{v} W \left(\sum_{i=1}^N W_i' \Delta (\hat{v})_i (\hat{v})_i' W_i \right)^{-1} W' \Delta \hat{u} \sim \chi_{p-K-1}^2 \quad (9)$$

Denklem 9'da p , W 'nin sütun sayısını, $\Delta \hat{v}$ ise iki aşamalı tahminden elde edilen kalıntıları ifade etmektedir. $W_i = \text{diag}(Y_{i1}, \dots, Y_{im})$, ($m = 1, \dots, T - 2$ eşitliği vardır. S test istatistiği p - K -1 serbestlik derecesinde χ^2 dağılmaktadır (Yerdelen Tatoğlu, 2013, s. 99). Birinci farklar modelinde birinci mertebeden otokorelasyon olması $E(v_{it}v_{i(t-1)})=0$ önemli değildir. GMM tahmincisinin etkin olması için ikinci mertebeden otokorelasyon olmaması ($E(v_{it}v_{it-2}) = 0$) gerekmektedir. Arellona ve Bond (1991) okorelasyonu test etmek için birinci farklar modelinden elde edilen kalıntıları kullanmaktadır. Arellano Bond'un geliştirdiği test istatistiği aşağıdaki şekilde gösterilebilir.

$$m_2 = \frac{\hat{v}_{-2}\hat{v}}{\hat{v}^2} \tilde{a}N(0,1) \quad (10)$$

Denklemdaki m_2 , $T \geq 5$ olduğu durumda tanımlanmaktadır. m_2 testinin asimptotik gücü, kullanılan tahmin edicilerin etkinliğine bağlı olarak değişmektedir. m_2 istatistiği, birinci fark kalıntılarında hareketle ikinci dereceden otokorelasyonu test etmektedir. Modelin hata terimi düzey değerlerinde otokorelasyonsuz ve aynı şekilde düzeyde rassal yürüyüş sürecini takip ediyorsa modelin geçerliliği kabul edilmektedir.

4. Analiz Sonuçları

Arellano Bond'un Genelleştirilmiş Momentler Yöntemi (GMM) yaklaşımına göre, çevresel inovasyonların karbondioksit emisyonu üzerindeki etkisini analiz eden model aşağıdaki şekilde kurulmaktadır:

$$LCO_{it} = \alpha_t + \beta_1 LCO_{(it-1)} + \beta_2 LIPNT_{it} + \beta_3 LENT_{it} + \beta_4 GSYH_{it} + u_{it} \quad (11)$$

Denklem 11'de u_{it} hata terimi bileşenlerini; L, ilgili değişkenin logaritmasının alındığını ifade etmektedir. Denklem 11'de kurulan modelden elde edilen sonuçlar Tablo 3'te yer almaktadır.

Tablo 3: Arellano Bond GMM Sonuçları

Bağımlı Değişken: LCO			
Bağımsız Değişkenler	Katsayı	Test istatistiği	P-Olasılık Değeri
LCO (1)	0.650*	47.81	0.000
LİPNT	-0.026*	-10.76	0.005
LENT	0.565*	14.94	0.000
GSYH	0.001*	8.79	0.000
Model için Gerekli Diğer Testler		Test istatistiği	P-Olasılık Değeri
Wald Testi (χ^2)		17498.48	0.000
Arellano-Bond Otokorelasyon Testi AR(1)		-3.519	0.000
Arellano-Bond Otokorelasyon Testi AR(2)		0.582	0.560
Sargan Testi		16.528	1.000
Dirençli Tahminciler ile Modelin Testi (Windmeijer Standart Hatalar ile)			
Bağımlı Değişken: LCO			
Bağımsız Değişkenler	Katsayı	Test istatistiği	P-Olasılık Değeri
LCO (1)	0.650*	10.47	0.000
LİPNT	-0.026*	-2.79	0.005
LENT	0.565*	5.14	0.000
GSYH	0.001*	3.49	0.000
Model için Gerekli Diğer Testler		Test istatistiği	P-Olasılık Değeri
Wald Testi (χ^2)		255.27	0.000
Arellano-Bond Otokorelasyon Testi AR(1)		-3.363	0.000
Arellano-Bond Otokorelasyon Testi AR(2)		0.577	0.563

Not: *, %1 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlılığı ifade etmektedir. Gecikme uzunluğu 1 olarak alınmıştır.

Tablonun ilk kısmında Arellano Bond tarafından geliştirilen GMM yöntemi sonuçları yer almaktadır. Modelde bağımlı değişkenin gecikmeli değeri modele bağımsız değişken olarak eklenmiştir. Gecikmeli bağımlı değişken karbondioksit emisyonunu açıklamakta anlamlıdır. Modelin genelinin anlamlılığının sınındığı Wald testi sonuçları da modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Modelde otokorelasyonun varlığı Arellano Bond'un otokorelasyon testi ile sınanmıştır. Birinci mertebeden otokorelasyonun varlığı dikkat çekmektedir. Fakat teoride de belirtildiği üzere ikinci mertebeden otokorelasyonun olmaması modelin güvenilirliğinin şartıdır. Bu anlamda modelde ikinci mertebeden otokorelasyon

olmadığı gözlenmektedir. Diğer yandan yine modelde aşırı tanımlama kısıtlamaları sargan testi ile test edilmektedir. Sargan testi sonucuna göre H_0 hipotezi reddedilememektedir. Modelde aşırı tanımlama kısıtlamaları geçerlidir. Yine modelin birinci kısmında GMM iki aşamalı standart hatalar sapmalı olduğundan dirençli standart hatalar önerilmektedir. Dirençli standart hatalarla çalıştırılan modelden elde edilen sonuçlar tablonun ikinci kısmında sunulmaktadır. Dikkat edileceği üzere olasılık değerleri ve katsayılar her iki kısımda d aynıdır. Windmeijer'in dirençli standart hatalarının kullanılması, standart hataların değerlerinde değişmeye neden olmaktadır.

Dirençli standart hatalar ile yeniden oluşturulan modelde yine birinci mertebeden otokorelasyon varken ikinci mertebeden otokorelasyona rastlanmamaktadır. Dirençli standart hatalarla çalıştırılan modelde Sargan hesaplanmamaktadır. Sonuçlara göre modele katılan her üç değişkenin karbondioksit emisyonu üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu bağlamda OECD kurucu ülkelerinde çevresel inovasyon göstergesi olarak kullanılan iklim değişikliğini önlemeye yönelik patent başvurularında meydana gelen %1 düzeyinde artış karbondioksit emisyonunu %0.02 oranında azaltmaktadır. Diğer yandan enerji tüketiminde meydana gelen %1 düzeyindeki artış karbondioksit emisyonu üzerinde %0.56 oranında artışa neden olmaktadır. Son olarak GSYH büyüme hızında meydana gelen %1 düzeyindeki artış ise karbondioksit emisyonu üzerinde %0.001 oranında artışa neden olmaktadır.

5. Sonuç ve Değerlendirme

Çevresel teknolojik inovasyonların CO_2 emisyonu üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmada OECD kurucusu 18 ülke 2005-2018 yılları arası dönemde ele alınmıştır. Panel genelleştirilmiş momentler yöntemi (GMM) olarak adlandırılan yöntemden yararlanılan analizde teknolojik inovasyon göstergesi olarak iklim değişikliğini önlemeye yönelik patent sayıları kullanılmıştır. Analiz sonuçları enerji tüketimi ve ekonomik büyümedeki artışın CO_2 emisyonunu artırdığını ve bu çalışmanın asıl amacını oluşturan teknolojik inovasyonların yani patent sayılarındaki artışın CO_2 emisyonunu azalttığını göstermektedir. Analiz sonuçlarının literatürde

patent sayılarını teknolojik inovasyon göstergesi olarak kullanıldığı Johnstone ve diğerleri (2010), Bindi (2019), Hashmi ve Alam (2019) ve Cheng ve diğerleri (2021) analiz sonuçlarıyla örtüştüğü görülmektedir.

Çalışmanın analiz sonuçları OECD ülkeleri açısından değerlendirildiğinde şaşırtıcı olmamaktadır. Nitekim OECD ülkeleri genelinde iklim değişikliğini önlemeye yönelik çevresel inovasyonlara dair patent başvuruları son 30 yıllık süre zarfında yaklaşık 6 kat artmıştır. Söz konusu artış OECD ülkelerinde çevresel olumsuzlukların önlenmesine dair politikalara verilen önemi gözler önüne sermektedir.

Bununla birlikte küreselleşmenin hız kazanması, dünya nüfusunun artması ve buna bağlı olarak artan toplam talep üretimi ve enerji talebini arttırmaktadır. Her ne kadar son dönemlerde fosil kaynaklara bağlı enerji tüketiminin azaltılması çabaları ve yenilenebilir enerjiye olan ilgi artmış olsa da henüz günümüzde yenilenebilir enerji tüketiminin toplam enerji tüketimi içerisindeki payı istenilen düzeylere ulaşmamıştır. Bu bağlamda enerji tüketimi gelişmekte olan ülkelerde olduğu kadar gelişmiş ülkelerde de çevresel sorunlar üretmeye devam etmektedir. Teknolojik inovasyonların geliştirilmesiyle birlikte yenilenebilir enerji kullanımına dönüş daha hızlı olabilecektir. Bu durum hem çevresel negatif dışsallıkların azalmasını hem de fosil yakıt enerji talebine bağımlılık ve fiyat değişimleri karşısında oluşan kriz ortamlarının azalmasını beraberinde getirecektir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Yazar Katkıları: Çalışma Konsepti/Tasarım- M.A., E.M.; Veri Toplama- M.A., E.M.; Veri Analizi/Yorumlama- M.A., E.M.; Yazı Taslağı- M.A., E.M.; İçeriğin Eleştirel İncelemesi- M.A., E.M.; Son Onay ve Sorumluluk- M.A., E.M.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Finansal Destek: Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Conception/Design of Study- M.A., E.M.; Data Acquisition- M.A., E.M.; Data Analysis/Interpretation- M.A., E.M.; Drafting Manuscript- M.A., E.M.; Critical Revision of Manuscript- M.A., E.M.; Final Approval and Accountability- M.A., E.M.

Conflict of Interest: The authors have no conflict of interest to declare.

Grant Support: The authors declared that this study has received no financial support.

Kaynaklar/References

- Albino, V., Ardito, L., Dangelico, R.M. ve Petruzzelli, A.M. (2014). Understanding the development trends of low-carbon energy technologies: A patent analysis. *Applied Energy*, 135, 836-854.
- Anderson, T.W. ve Hsiao, C. (1982). Formulation and estimation of dynamic models using panel data. *Journal of Econometrics*, 18, 47-82.
- Arellano, M., ve Bond, S. (1991). Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. *The Review of Economic Studies*, 58(2), 277-297.
- Balestra, P. ve Nerlove, M. (1966). Pooling cross section and time series data in the estimation of dynamic model: The demand for natural gas. *Econometrica*, 34(3), 585-612.
- Baltagi, B. (2005). *Econometric Analysis of Panel Data*. New York, NY: John Wiley & Sons.
- Bindi, G. (2019). Technological innovation and the environment, an analysis based on patent counts (Master dissertation, Lund University, Sweeden). Retrieved from <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=8981996&fileId=8982016>
- Chen, Y. ve Lee, C.C. (2020). Does technological innovation reduce CO₂ emissions? Cross-country evidence. *Journal of Cleaner Production*, 263, 1-11.
- Cheng, C., Ren, X., Dong, K., Dong, X. & Wang, Z. (2021). How does technological innovation mitigate CO₂ emissions in OECD countries? Heterogeneous analysis using panel quantile regression. *Journal of Environmental Management*, 280, 1-11.
- Çağlayan Akay, E. (2018). Dinamik Panel Veri Modelleri, (Ed.) Selahattin Güriş, *Uygulamalı Panel Veri Ekonometrisi* (ss. 114-120). İstanbul: Der Yayınları.
- Dauda, L., Long, X., Mensah, C.N., Salman, M., Boamah, K.B., Ampon-Wireko, S. ve Dogbe, C.S.K. (2021). Innovation, trade openness and CO₂ emissions in selected countries in Africa. *Journal of Cleaner Production*, 281, 1-11.
- Eom, T.H., Lee, S.H. & Xu, H. (2008). Introduction to Panel Data Analysis: Concepts and Practices. In Miller, G.J. & Yang, K. (Eds.), *Handbook of Research Methods in Public Administration* (pp. 575-594). Middletown, Pennsylvania: CRC Press.
- Erdoğan, S., Yıldırım, S., Yıldırım, D.Ç. ve Gedikli, A. (2019). G20 Ülkelerinde İnovasyon ve CO₂ Emisyonu. S. Erdoğan ve diğerleri (Ed.), *Uluslararası Enerji Ekonomi ve Güvenlik Kongresi* (ss. 193-202). İstanbul: Basım Pazıl Reklam, Danışmanlık, Matbaa ve Organizasyon.
- Fernandez, Y.F., Lopez, M.A.F. ve Blanco, B.O. (2018). Innovation for sustainability: The impact of R&D spending on CO₂ emissions. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3459-3467.
- Gedik, Y. (2020). Sosyal, ekonomik ve çevresel boyutlarla sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma. *International Journal of Economics, Politics, Humanities & Social Sciences*, 3(3), 196-215.
- Grossman, G. ve Krueger, A. (1991). Environmental impacts of a North American free trade agreement. National Bureau of Economic Research No.3914. Erişim adresi: <https://www.nber.org/papers/w3914>
- Hashmi, R. ve Alam, K. (2019). Dynamic relationship among environmental regulation, innovation, CO₂ emissions, population, and economic growth in OECD countries: A panel investigation. *Journal of Cleaner Production*, 231, 1100-1109.

- Johnstone, N., Hascic, I. ve Popp, D. (2010). Renewable energy policies and technological innovation: Evidence based on patent counts. *Environmental and Resource Economics*, 45, 133-155.
- Lin, B. ve Zhu, J. (2019a). Determinants of renewable energy technological innovation in China under CO₂ emissions constraint. *Journal of Environmental Management*, 247, 662-671.
- Lin, B. ve Zhu, J. (2019b). The role of renewable energy technological innovation on climate change: Empirical evidence from China. *Science of the Total Environment*, 659, 1505-1512.
- Mongo, M., Belaid, F. ve Ramdani, B. (2021). The effects of environmental innovations on CO₂ emissions: Empirical evidence from Europe. *Environmental Science and Policy*, 118, 1-9.
- Hascic, I. ve Migotto, M. (2015). Measuring environmental innovation using patent data. OECD Environment Working Papers No.89. Retrieved from: https://www.oecd-ilibrary.org/environment/measuring-environmental-innovation-using-patent-data_5js009kf48xw-en
- Popp, D., Newell R.G. ve Jaffe, A.B. (2010). Energy, the environment and technological change. *Handbook of the Economics of Innovation*, 2, 873-937.
- Romer, P. (1986). Increasing returns and long-run growth. *Journal of Political Economy*, 94(5), 1002-1037.
- Schumpeter, J.A. (1934). *The Theory of Economic Development: an Inquiry in to Profits. Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle*, London: Harward University Press.
- Stokey, N.L. (1998). Are there limits to growth? *International Economic Review*, 39 (1), 1-31.
- Wang, Z. ve Zhu, Y. (2020). Do energy technology innovations contribute to CO₂ emissions abatement? A spatial perspective. *Science of the Total Environment*, 726, 1-14.
- Yerdelen Tatoğlu, F. (2013). *İleri Panel Veri Analizi: Stata Uygulamalı (2.bs.)*. İstanbul: Beta.
- Yii, K.J. ve Geetha, J. (2017). The nexus between technology innovation and CO₂ emissions in Malaysia: Evidence from Granger causality test. *Energy Procedia*, 105, 3118-3124.
- Yu, Y. ve Du, Y. (2019). Impact of technological innovation on CO₂ emissions and emissions trend prediction on 'new normal' economy in China. *Atmospheric Pollution Research*, 10(1), 152-161.
- Zhang, Y.J., Peng, Y.L., Ma, C.Q. ve Shen, B. (2017). Can environmental innovation facilitate carbon emissions reduction? Evidence from China. *Energy Policy*, 100, 18-28.