



Ar-Ge, Ekonomik Büyüme ve İklim Değişikliği Arasındaki İlişki*

The Relationship Between R&D, Economic Growth And Climate Change

Dr. Zeynep NARMAN¹

Öz

İklim değişikliğinin olumsuz sonuçlarının hızla artması, tüm ekonomik sektörlerde farklı etkilere neden olmaktadır. Uzmanlar, iklim değişikliklerini hızlandıran temel katalizörün sera gazı emisyonu olduğunu kanıtlamış ve bu durum çeşitli sosyal, ekonomik ve ekolojik sorunlara yol açmıştır. Bu tür sorunların Araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) yatırımları ve ülkelerin ekonomik gelişmişliği ile kontrol edilip edilemeyeceği konusundaki tartışma, dünya çapındaki araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Bu çalışmada Ar-Ge yatırımı ve ekonomik büyümenin çevre kalitesi üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. Ar-Ge ve ekonomik büyümenin sera gazı emisyonları üzerindeki etkisini tahmin etmede mevcut ekonometrik sorunları ele almak için panel veri yöntemleri kullanılmıştır. Ardından, 2000'den 2022'ye kadar olan dönemi kapsayan seçilmiş OECD ekonomilerden elde edilen verileri kullanılarak, Ar-Ge yatırımlarının, karbondioksit ve diğer kirleticiler de dahil olmak üzere bir dizi kirleticiyi azaltarak çevre kalitesi üzerinde önemli bir olumlu etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sonuçlar bir dizi hassasiyet testine karşı dayanıklıdır. Bulgular, iklim değişikliği ve çeşitli güncel çevresel girişimler için önemli politika sonuçlarına sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Ar-Ge, Çevre, Panel Veri Analizi

Makale Türü: Araştırma

Abstract

The negative consequences of climate change are rapidly increasing, and it affects different economic sectors in various ways. Experts have identified greenhouse gas emissions as the primary catalyst that accelerates climate change, leading to a range of social, economic and ecological problems. Researchers worldwide are debating whether economic development and Research and Development (R&D) investments can help control these issues. This study aims to investigate the impact of R&D investment and economic growth on environmental quality. Panel data methods were used to address existing econometric issues in estimating the effect of R&D and economic growth on greenhouse gas emissions. The study used data from selected OECD economies covering the period from 2000 to 2022. The findings indicate that R&D investments and carbon dioxide have a significant positive impact on environmental quality by reducing a range of pollutants, including pollutants and other pollutants.

The results are robust to a range of sensitivity tests, and the findings have important policy implications for climate change and various environmental initiatives.

Keywords: R&D, Environment, Panel Data Analysis

Paper Type: Research

Giriş

Son yıllarda insanlığın karşılaştığı en endişe verici sorunlardan biri, küresel ısınmaya ve çevresel dengesizliğe yol açan atmosferik gazların artan hacmi olmuştur. Dünya Meteoroloji

¹ Kocaeli Üniversitesi, zynpnarman92@gmail.com

Örgütü'nün (WMO) iklim değerlendirmelerine göre antropojenik faaliyetler, sanayi öncesi seviyelere (1850-1900) kıyasla yaklaşık 1°C küresel ısınmaya yol açmıştır (WMO, 2020,s.3). Ayrıca mevcut eğilimlerin devam etmesi durumunda küresel ısınmanın 2030 ile 2052 yılları arasında 1,5°C civarına ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bununla birlikte, küresel ısınmadaki uzun vadeli eğilimin bir yansıması olarak, küresel ortalama yüzey sıcaklığı, 2006'dan 2015'e kadar olan dönemde, sanayi öncesi döneme göre yaklaşık 0,87°C artmıştır. Son tahminler, karbondioksit, metan ve azot oksit emisyonları gibi sera gazı emisyonlarının, insan kaynaklı küresel ısınmada her on yılda yaklaşık 0,2°C artışa yol açtığını göstermektedir. Özellikle endişe verici olan, antropojenik davranışlardan kaynaklanan küresel ısınmanın yüzyıllarca hatta binyıllarca devam edeceği ve bunun ekosistemler ve insan toplumu üzerinde daha fazla olumsuz etkiye sahip olacağı gerçeğidir. Sera gazı emisyonları mevcut hızla artmaya devam ederse, daha sık ve daha uzun sıcak hava dalgaları, daha sık ve daha bol yağışlar, sıcaklık ve okyanus asitliğinde daha fazla artış ve dünya çapında ortalama deniz seviyesinin yükselmesi beklenmektedir(FAQ,2017,s.1).

Günümüzde, çevreci kuruluşların öne sürdüğü radikal ekolojik söylemler, çevrenin muhafaza edilmesi ve doğal kaynakların tahrip edilmesinin önlenmesi hedefini taşısa da, mevcut ekonomik koşullar altında bu ideallerin pratikte hayata geçirilmesi son derece güç bir süreci içermektedir. Elbette ki ekolojik açıdan doğal çevrenin korunması önemlidir; ancak, iktisadi unsurların tamamen göz ardı edilmesi, ekosistemdeki temel unsur olan insanın ihtiyaçlarının ihmal edilmesi anlamına gelir. Bu nedenle, çevre ile insan ihtiyaçları arasında bir denge kurularak adil bir sistemin inşa edilmesi hayati öneme sahiptir.

Mevcut sistemdeki eksiklikleri düzeltmek, sıfırdan bir sistem inşa etmekten daha mantıklı bir yaklaşım olabilir. "Reformist Yaklaşım" olarak adlandırılan bu değişim perspektifi, neo-klasik görüşler etrafında şekillenmiş olup, serbest piyasa koşullarında belirli reform ve düzenlemelerin yapılmasını savunmaktadır. Bu kapsamda çevresel hedeflere ulaşmada önemli bir rol oynayan teknolojik gelişmeye büyük bir vurgu yapılır ve bu ilerlemeyi teşvik etmek amacıyla Ar-Ge faaliyetleri ön plana çıkar. Dolayısıyla, çevre koruma çabalarının ekonomik gerçekliklerle uyumlu bir şekilde yürütülmesi için, reformist bir perspektifin benimsenmesi kaçınılmazdır. Bu, çevresel sürdürülebilirlik ile ekonomik kalkınma arasında sağlıklı bir denge kurarak, hem doğal kaynakları korumayı hem de insan ihtiyaçlarına adil bir şekilde yanıt vermeyi hedefler.

Bu nedenle çevre ekonomisi bilim adamları, ekonomik kalkınma ile çevre politikası arasındaki bağlantıyı özenle araştırmış ve bu ilişkiyi ölçmenin en etkili yollarını aramışlardır. Çevresel göstergeler, belirli bir eşğin altındaki gelir düzeyindeki artışın çevresel dengeye zarar verdiğini, bu eşğin üzerindeki büyümenin ise çevre kalitesini iyileştirdiğini göstermiştir. Gelir ve çevre kirliliği arasındaki bu tür ters U-şekilli ilişki, Kuznets tarafından ortaya atılan ve gelir düzeyi ile çevre kirliliği arasındaki ters U-şekilli ilişkinin orijinal hipotezine dayanan çevresel Kuznets eğrisi (EKC) ile tanımlanmaktadır.

Ekonomik büyüme ile kirlilik arasındaki ilişkiyi incelerken dikkate alınması gereken önemli bir unsur Ar-Ge harcamalarıdır. Zira iklim değişikliğiyle mücadelede daha iddialı hedeflere bağlılık inkar edilemez bir şekilde Ar-Ge harcamalarının ve inovasyon çabalarının artırılmasını gerektirmektedir (Şahin ve Ayyıldız 2022,s.90; Blanford, 2009,s.9; Jaffe vd., 2011,s.1; Pop vd., 2010,s.1; European Commission, 2014,s.3).

Mevcut literatür incelendiğinde, önemli sayıda çalışmanın yalnızca karbondioksit emisyonlarına (CO₂) odaklandığı görülmektedir. Çalışmaların çoğu, Ar-Ge ve ekonomik büyümede ki artışın CO₂ emisyonlarını önemli ölçüde azalttığını ve bölgesel ve ulusal düzeylerde ampirik analizlere dayandığını ortaya koymaktadır (Fisher-Vanden vd., 2004,s.42; Garrone ve Grilli, 2010,s.54; Safi vd., 2021,s.43; Alam vd., 2021,s.6; Bai vd., 2020,s.1406; Ma vd., 2021,s.196; Li vd., 2021,s.45; ve Petrović and Lobanov, 2020,s.2). Bu çalışmada ise CO₂ ile birlikte Birleşmiş Milletler(BM) tarafından iklim değişikliği göstergesi olarak kabul edilen sera gazları (GHG) ve nitrojen oksit (NOX) gibi çevreye zararlı çeşitli çevresel emisyonlar inceleyerek çok yönlü bir değerlendirme yapılacaktır. Bu doğrultuda 3 model kurularak Ar-Ge

faaliyetlerinin ve ekonomik büyümenin iklim değişikliğinin göstergesi olarak kullanılan CO₂, GHG ve NOX salınımı üzerindeki etkisi panel veri analiz yöntemi ile araştırılacaktır.

1. Literatür

Çeşitli çevresel ve ekonomik değişkenler arasındaki ilişkinin incelenmesi bölgesel gelecekteki ekonomik kalkınma ve sosyal kalkınma ile ilgilidir. Dünya çapında geniş bir literatür, Ar-Ge, yenilenebilir enerji, ekonomik büyüme, yenilenemeyen enerji tüketimi ve CO₂ gibi çevresel-ekonomik değişkenleri incelemek için farklı yöntemler kullanmaktadır.

Goulder ve Schneider (2000) tarafından yapılan önceki çalışmada, teknolojik değişim ve bilgi birikimi türlerinin, karbon azaltma stratejilerinin tasarımında önemli bir rol oynadığını vurgulamaktadır. Ar-Ge yatırımları ile teknoloji geliştirilmesi, karbon azaltmalarını geleceğe kaydırma eğilimini haklı çıkarabilirken, yaparak öğrenme yoluyla edinilen bilgilerde bu etkinin daha belirsiz olduğunu ifade etmektedir. Yapılan kapsamlı analiz, bu alandaki literatüre önemli bir katkı sunmuş ve mevcut teorilere yeni bir perspektif kazandırmıştır.

Öte yandan Lindmark (2002), EKC hipotezini tarihi bir bağlamda inceleyerek, ekonomik büyüme ile çevresel etkiler arasındaki ilişkiyi daha kapsamlı bir şekilde ele almış ve teknolojik değişimlerin bu ilişkideki rolünü literatüre kazandırmıştır. Bu, çevresel politika ve sürdürülebilirlik üzerine yapılan araştırmalara önemli katkılar sunmaktadır.

Lantz ve Feng (2006), 1970-2000 yılları arasında Kanada'da fosil yakıtlardan kaynaklanan karbon emisyonlarının altında yatan makroekonomik faktörleri (GSYH, nüfus, teknolojik değişim) incelemiştir. Bulgulara göre, teknolojik ve nüfus değişiklikleri Kanada'da fosil yakıt kullanımından kaynaklanan emisyonları etkilemiştir. Fischer ve Newell (2008), çığır açan teknolojilere odaklanan Ar-Ge'nin uzun vadeli karbon emisyonlarını azaltmada daha etkili olabileceğini savunmaktadır.

Ang (2009), emisyonların ekonominin yabancı teknolojiyi içselleştirmeye yönelik özümseme kapasitesi olduğunu ve Çin'deki araştırma yoğunluğu ve teknoloji transferi ile olumsuz yönde ilişkili olduğunu bildirmiştir. Ayrıca bu çalışma, daha fazla enerji kullanımının, daha fazla ticari açıklığın ve daha yüksek gelirin daha fazla emisyonu neden olma eğiliminde olduğunu bulmuştur. Hang ve Yuan-sheng (2011) Çin'de nüfus, teknoloji, gelir, ekonomik ölçek ve emisyonlar arasındaki ilişkiyi analiz etmiştir. Analiz sonuçlarına göre nüfus geliri ve ekonomik ölçeğin emisyon üzerinde olumlu etkisi olduğu; teknolojinin emisyon üzerindeki etkisi daha karmaşıktır. Teknolojinin ilk aşamalarında emisyonu etkisi olumluyken, daha sonraki aşamada teknoloji aracılığıyla etkisi olumsuz olmuştur. Kim (2013), yenilenebilir enerjinin Ar-Ge verimliliği ile Emisyon Ticareti Planı arasındaki ilişkiyi OECD patentlerini ve Ar-Ge girdi verilerini kullanarak analiz etmiştir. Bu analizin sonuçlarına göre, Emisyon ticareti planı yenilenebilir enerjinin Ar-Ge verimliliğini artırmıştır.

Corradini, Costantini, Mancinelli ve Mazzanti (2014), 1995-2006 yılları arasındaki dönemde 15 Avrupa Birliği (AB) ülkesi ve 23 imalat sektörü için emisyonları azaltmaya yönelik inovasyon yatırımları yapmış ve emisyon azaltma teknolojilerinin enerji verimliliği ile yakından ilişkili olduğunu tespit etmiştir. Popp, Hascic ve Medhi (2011), 1991'den 2004'e kadar 26 OECD ülkesi için teknolojik değişimin yenilenebilir enerji kapasitesine yapılan yatırımlar üzerindeki etkisini ve teknolojik ilerlemelerin daha fazla yatırıma yol açtığını ancak etkisinin küçük olduğunu bulmuştur.

Weina, Gilli, Mazzanti ve Nicolli (2014), 1990-2010 zaman diliminde 95 İtalya ili için yeşil teknolojik değişim ile hem emisyonlar hem de emisyon verimliliği arasında bir ilişkinin olup olmadığını araştırmıştır. Bulgular, yeşil teknolojinin çevre korumayı teşvik etmede henüz önemli bir rol oynamadığını, ancak çevresel üretkenliği dikkate değer şekilde artırdığını göstermektedir.

Işık ve Kılınç (2014) ulaştırma sektöründe Ar-Ge harcamaları ile emisyonlar arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Bulgulara göre, seçilen ülkelerde Ar-Ge harcamaları emisyonlar üzerinde olumlu bir etkiye sahipken, bulgular enerji tüketimi, Ar-Ge harcamaları ve emisyon arasında uzun vadeli bir ilişki olduğunu göstermektedir.

Adedoyin ve Alola(2020), Ar-Ge harcamalarının çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkisini incelemiş ve RENG, ekonomik büyüme ve ekolojik ayak izi arasındaki uzun vadeli ve nedensel ilişkiyi araştırmıştır. Çalışma, uzun vadede Ar-Ge harcamaları ile ekolojik ayak izi arasında önemli bir negatif ilişki olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu, Ar-Ge harcamalarının panel ülkelerinin çevresel sürdürülebilirliğini önemli ölçüde etkilediği anlamına gelmektedir. Ek olarak çalışma, NRENG ve ekonomik büyümenin CO₂E alevlenmesini artırdığını, RENG'in ise ekolojik ayak izini azalttığını doğrulamaktadır.

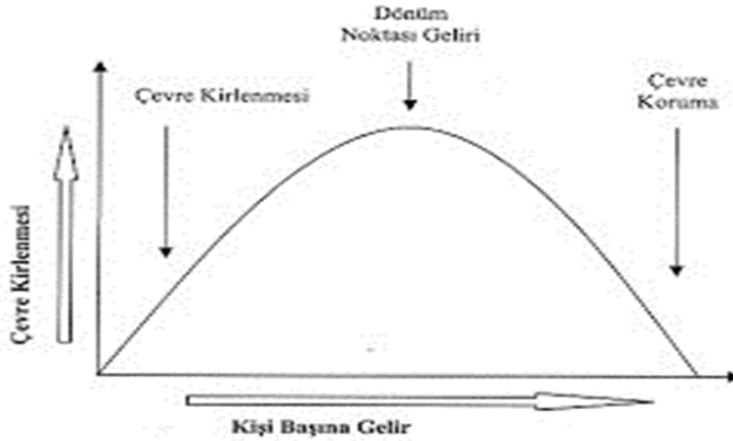
Benzer şekilde, Alam ve Apergis'in (2021) ampirik bulguları, Ar-Ge ile hem temiz enerji tüketimi hem de CO₂ emisyonları arasında önemli bir uzun vadeli denge bağlantısı olduğunu göstermiştir. Ayrıca, uzun vadeli esneklikler, Ar-Ge ve hisse senedi piyasasındaki büyümenin temiz enerji tüketimini olumlu yönde etkilediğini ancak CO₂ E üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Xu ve Khan (2023),1990-2020 yılları için G-7 ekonomilerinden alınan panel verileri kullanarak araştırma ve geliştirmenin (Ar-Ge) ve yenilenebilir enerji tüketiminin (RENG) CO₂ E üzerindeki etkisini araştırmıştır. Ayrıca, Ar-Ge CO₂E modellerinde ekonomik büyümenin ve yenilenemeyen enerji tüketiminin (NRENG) kontrol edici rolünü araştırmıştır. CS-ARDL paneli yaklaşımından elde edilen sonuçlar, Ar-Ge, RENG, ekonomik büyüme, NRENG ve CO₂E arasında uzun vadeli ve kısa vadeli bir ilişkiyi doğrulamaktadır.

2. Çevresel Kuznets Eğrisinin Teorik Temelleri ve Ampirik Kanıtları

Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) ilk kez Dünya Kalkınma Raporu'nda (1992) 31 ülkeye dağılmış 47 şehirde ortamdaki kükürt dioksit konsantrasyonları ile kişi başına düşen GSYH arasındaki ilişki olarak tanınmıştır. EKC, kişi başına gelir ile kükürt dioksit konsantrasyonunun, trendin döndüğü ve ters ilişkinin gözlemlenebildiği belirli bir nokta ile pozitif korelasyona sahip olduğu ters bir U şeklini takip etmektedir. EKC'nin adı, Kuznets (1955) tarafından önerilen gelir eşitsizliği ile ekonomik büyüme arasındaki benzer ilişkiden esinlenmiştir. EKC daha sonra yalnızca kükürt dioksit konsantrasyonlarına ve kentsel alanlara değil, aynı zamanda dünya çapındaki genel çevresel bozulmaya da uygulanmıştır. Bu genellemenin ampirik desteği azdır ve birçok kişi tarafından eleştirilmiştir (Stern, 2004,s.1421). Yine de kişi başına düşen gelir ile çevre sorunları arasında ters U şeklinde bir ilişki olduğu hipotezi varlığını sürdürmektedir. EKC'nin teorisi, kırsal alanlardaki tarımsal üretimden kentsel alanlardaki endüstriyel üretime geçişin etkilerine dayanmaktadır. Sanayi üretimi yoğunlaştıkça kirlilik artmaktadır. Zamanla ve artan gelir düzeyleriyle birlikte endüstriyel ağırlıklı üretim, daha yüksek teknoloji ve hizmet merkezli bir üretim lehine aşamalı olarak durdurulmaktadır. Bu gelişmenin kirlilik artışı önleyeceği ve sonuçta kirlilik seviyelerinin düşmesine neden olacağı düşünülmektedir. Yüksek teknoloji ve üretim etkin bir ekonominin etkilerinin, kirliliğin azalmasına, ayrıca tüketicilerde temiz bir iklime yönelik talebin artmasına ve çevrenin refahına yönelik siyasi çıkarların artmasına katkıda bulunacağı düşünülmektedir (Dinda, 2004,s.436).

Şekil 1: EKC



EKC'nin şeklinin ardındaki mekanizmalara daha derinlemesine bakmak için EKC hipotezinin farklı yönlerini tanımlamak gerekir. Ekonomiler büyüdükçe çevresel bozulmanın ilk artışına ölçek etkisi denir. Ekonomik büyüme, artan üretim nedeniyle artan kirlilik seviyeleri anlamına gelir. Artan çıktı, artan girdiyi gerektirir ve dolayısıyla daha fazla doğal kaynak kullanılır ve kirlilik seviyeleri artar. Ekonomik büyümeyle birlikte kirliliğin de artacağı düşünülmektedir. EKC'nin şekli ölçek etkisini dengeleyen başka mekanizmaların varlığına işaret etmektedir. Bu mekanizmalar bir araya geldiğinde ekonomiler büyüdükçe çevresel bozulmayı azaltıcı etki göstermektedir. Ölçek etkisini ortadan kaldırdığı ve sonuçta tamamen dengelediği düşünülen mekanizmalar; teknolojik etki, kompozisyon etkisi, uluslararası ticaretin etkileri, temiz çevreye olan talebin artması ve güçlenenler olarak tanımlanmaktadır. Teknolojik etki, teknolojik gelişmelerin ve daha etkin üretimin etkilerini açıklamaktadır. Yeni teknolojiye yönelik teşvikler genellikle firma düzeyindeki çevresel kaygılara dayanmaz, ancak daha etkili bir üretimin çevresel faydalarından hâlâ yararlanılabilir. Temel ekonomik teoremin bize söylediği gibi rekabetçi bir piyasa, firmalara ürün ve hizmetleri düşük fiyata satma yönünde baskı uygulamaktadır. Firmalar, karlarını en üst düzeye çıkarmak için hem mevcut etkin teknolojiye hem de kendi bünyesinde yeni teknoloji geliştirmeye yatırım yaparak üretimi daha ucuz hale getirmeye çalışmaktadır. Daha zengin ülkeler Ar-Ge yatırımlarını karşılayabilmektedir ve dolayısıyla teknolojik gelişme ekonomik gelişmeyle el ele gitmektedir (Komen vd., 1997,s.66). Nüfus, geliri arttıkça haneyle ilgili hizmetlerin tüketimini de artırmaktadır. Bunlar, kirlilik seviyelerini artırmadan GSYH'yi artıran eylemlerin örnekleridir. Başka bir deyişle, çıktının bileşimi değiştirilirse kirlilik seviyeleri ekonomik büyümeyle aynı oranda artmayabilir (Vukina vd., 1999,s.2). Daha zengin ülkeler Ar-Ge'ye daha fazla yatırım yaptığında, yüksek teknoloji ekipmanlar kullandığında ve daha merkezi hizmet odaklı bir ekonomide faaliyet gösterdiğinde, ticaretin ön koşullarında büyük farklılıklar ortaya çıkmaktadır.

3.Yöntem

Çalışma, seçili OECD ülkeleri için Ar-Ge ve ekonomik büyüme faaliyetlerinin iklim değişikliği üzerinde meydana getirdiği etkiyi belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda 2000-2022 dönemine ait veriler kullanılarak panel veri ekonometrik yöntemi kullanılmıştır. Veriler logaritmaları alınarak modele dahil edilmiştir. Ar-Ge ve ekonomik büyüme faaliyetlerinin iklim değişikliği üzerinde meydana getirdiği etkiyi belirlemek amacıyla Parks-Kmenta Tahmincisi kullanılmıştır.

Parks-Kmenta Tahmincisi, heteroskedastisite, otokorelasyon ve yatay kesit bağımlılığı değişkenlerinden en az birinin varlığında etkili tahminler sağlamaktadır. Parks (1967), tartışılan modelin hata terimlerinde varyansın yanı sıra korelasyon durumunda da doğrusal regresyon modelini tahmin etmek için bir algoritma geliştirmiştir.

Kmenta (1986) bu modelin mevcut bazı eksikliklerine dikkat çekerek yaygınlaşmasına öncülük etmiştir. Parks-Kmenta tarafından geliştirilen model, parametre tahminlerine dokunmadan dirençli standart hataların elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu sayede tahmin edilecek modelde varyans, otokorelasyon ve yatay kesit bağımlılığının varlığında bile etkili ve tutarlı sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Ancak böyle bir durumda tahmin edilecek model uygun bir regresyon yapısına sahip olabilir.

Genelleştirilmiş en küçük kareler (GEKK) yöntemi, hata terimlerine ilişkin varyans kovaryans matrisinin () bilindiği varsayımıyla tahminler elde etmektedir. Ancak tahminlerde bu matris bilinmediğinden Esnek Genelleştirilmiş En Küçük Kareler yöntemi tercih edilmektedir. (Kmenta, 1986,s.615). Parks Kmenta tahmincisi ise modele uygun bir regresyon yapısına sahip olabilmek için panel verilerde yatay kesit boyutu olarak ifade edilen N; Zaman boyutunun T'den küçük olması durumunda modelin uygun bir regresyon yapısına sahip olması mümkündür. Çünkü Parks Kmenta tahmincisi $N > T$ ise esnek değildir. Başka bir deyişle $T > N$ durumunda tahmincisi yardımıyla daha etkili ve tutarlı sonuçlara ulaşmak mümkündür (Tatoğlu, 2013, s.277). Bu bağlamda $T > N$ geçerli olduğundan daha doğru sonuçlara ulaşmak amacıyla Parks-Kmenta tahmincisi tercih edilmiştir.

Çalışmada yer alan bağımlı ve bağımsız değişkenler ve bu değişkenlerin tamamına ait bilgiler Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Değişkenler ve Kaynaklar

Değişken Türü	Açıklama	Kaynak
Bağımsız Değişken: GSYH	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla	OECD
Bağımsız Değişken: Ar-Ge	Araştırma ve Geliştirme Harcamaları	OECD
Bağımlı Değişken: CO ₂	Kişi başına Karbondioksit Emisyonları	OECD
Bağımlı Değişken: GHG	Kişi başına Sera Gazı Emisyonları	OECD
Bağımlı Değişken:NOX	Kişi başına nitro oksit emisyonları	OECD

Çalışmada yer alan değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri model tahmini öncesinde elde edilmiş olup, bu istatistikler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Tanımlayıcı İstatistikler

Değişkenler	Gözlem Sayısı	Ortalama	S.Sapma	Min.	Max.
Ar-Ge	322	1947.704	931.936	.465	5521
GSYH	322	2.44e+12	4.21e+12	1.00e+11	2.55e+13

GHG	322	2.26e+07	2.53e+07	23377	1.58e+08
CO ₂	322	2.49e+07	2.73e+07	52197	1.49e+08
NOX	322	2881171	6031112	.148849	2.62e+07

4. Bulgular

Panel veri analizlerine yönelik tahmin metodunun seçimine yönelik, önceden belirlenmiş ön testler ve ekonometrik varsayımların titizlikle gözden geçirilmesi gerekmektedir. Bu aşamada, hata terimlerinin normal dağılıma sahip olup olmadığı, birimler arası korelasyonun varlığı, ve hata terimlerinin varyansının sabitliği gibi kritik varsayımlar ele alınmalıdır.

Tablo 3. Ön testler

	Model 1(Bağımlı Değişken:GHG)		Model 2(Bağımlı Değişken: CO ₂)		Model 3(Bağımlı Değişken: NOX)	
Testler	Test İstatistiği	P değeri	Test İstatistiği	P değeri	Test İstatistiği	P değeri
F testi	3.13	0,00	1.91	0.02	129.57	0.00
Hausman Testi	8.80	0.00	2.29	0.13	0.38	0.54

Tablo 3'te sunulan ön test sonuçlarına göre, gerçekleştirilen F testi,tüm modeller için klasik veya sabit etkilerden hangisinin geçerli olduğu sorusuna dair olan hipotezi %1 anlam düzeyinde reddetmiştir. Bu gözlem, klasik modelin geçerliliğinin olmadığına işaret etmektedir. Hausman testi, sabit etkiler veya rassal etkiler modellerinden hangisinin seçileceğini belirlemek için kullanılmaktadır. Hausman testi sonucu model 1 için “0,00” p değeri ile sabit etkiler modelinin Model 2 ve Model 3 için sırasıyla 0,13, 0.54 p değeri ile rassal etkiler modelinin uygun olduğunu göstermiştir.

Bu aşamadan sonra sabit etkili ve rassal etkili modele ait temel varsayımların sınaması yapılacaktır.

Tablo 4. Değişen Varyans, Otokorelasyon ve Birimler Arası Korelasyon Testleri

	TESTLER	Test İstatistiği	Sonuç
Model 1	Değiştirilmiş Wald Testi	79151.36 (0,00=	Heteroskedasite vardır.
	Bhargava,Franzini ve Narendranathan D.W ve B.W	Durbin-Watson = 1.99 Baltagi-Wu LBI = 2.07	Otokorelasyon vardır.
	Friedman’ın Testi	70.502 (0.00)	Birimler Arası Korelasyon vardır.
Model 2	Levene,Brown ve Forsythe Testi	W0:15.59 (0.00) W50:4.73 (0.00) W10:12.47 (0.00)	Heteroskedasite vardır.
	Baltagi-Wu (1999) LBI ve Bhargava vd. (1982) Durbin-Watson testi	Durbin-Watson = 1.95 Baltagi-Wu LBI = 2.04	Otokorelasyon vardır.

	Friedman'ın Testi	Test istatistiği:0.348 alpha = 0.10 : 0.1124 alpha = 0.05 : 0.1470 alpha = 0.01 : 0.2129	Birimler Arası Korelasyon vardır.
Model 3	Levene,Brown ve Forsythe Testi	W0:15.59 (0.00) W50:4.73 (0.00) W10:12.47 (0.00)	Heteroskedasite vardır.
	Baltagi-Wu (1999) LBI ve Bhargava vd. (1982) Durbin-Watson testi	Durbin-Watson = 1.86 Baltagi-Wu LBI = 1.97	Otokorelasyon vardır.
	Friedman'ın Testi	Test istatistiği:2.07 alpha = 0.10 : 0.1124 alpha = 0.05 : 0.1470 alpha = 0.01 : 0.2129	Birimler Arası Korelasyon vardır.

Tablo 4'te gösterilen Değiştirilmiş Wald Testi ve Levene, Brown-Forsythe testi sonuçlarına göre, "birimlerin varyansı eşittir" şeklinde kurulan sıfır hipotezi tüm modeller için reddedilmiştir yani değişen varyans olduğuna karar verilmiştir. Yine Bhargava,Franzini ve Narendranathan D.W ve B.W ile Baltagi-Wu (1999) LBI ve Bhargava vd. (1982) Durbin-Watson testlerinin istatistikleri kritik değer olan 2'den küçük olduğu için tüm modeller için otokorelasyonun varlığı sonucu görülmektedir. Son olarak yapılan Friedman'ın Testi tüm modeller için birimler arası korelasyonun varlığı niteliğindedir.

Daha öncede belirtildiği gibi çalışmamızda T>N olduğundan ve heteroskedasite, değişen varyans ve birimler arası korelasyonun etkilerini azaltma amacıyla daha dirençli bir tahmincinin seçilmesi gerektiğinden, Parks-Kmenta tahmincisi tercih edilmiştir.

Tablo 5. Parks-Kmenta Tahmincisi

	Model 1			Model 2			Model 3		
Bağımsız Değişkenler	Katsayı	S.Hata	P	Katsayı	S.Hata	P	Katsayı	S.Hata	P
Ar-Ge	-0.04	0.020	0.04	-0.07	.0198	0.00	-.0904	.0134	0.00
GDP	-0.10	0.028	0.00	-0.01	.0390	0.00	-1.382	.0681	0.00
c	19.48	0.813	0.00	16.90	1.026	0.00	40.278	2.022	0.00
Wald chi2(4): 16.75 Prob>chi2: 0,000				Waldchi2(4):15.68 P>chi2:0,000			Wald chi2(4): 416.81 Prob>chi2: 0,000		

Tablo 5'te yer alan Parks-Kmenta tahmin sonuçlarına göre Model 1 için ele alınan Ar-Ge ve GSYH sera gazı emisyonlarını anlamlı ve negatif yönde etkilemektedir. Ar-Ge %1 arttığında sera gazı emisyonlarını % 0.04 oranında azaltmaktadır. GSYH %1 arttığında sera gazı emisyonları %0.10 azalmaktadır. Yine Model 2 için ele alınan Ar-Ge ve GSYH değişkenleri karbondioksit emisyonunu anlamlı ve negatif yönde etkilemektedir. Ar-Ge harcamaları %1 arttığında karbondioksit emisyonu %0,07 azalırken, GSYH %1 arttığında karbondioksit emisyonu %0,01 oranında azalmaktadır. Son olarak Model 3 için ele alınan Ar-Ge ve GSYH değişkenleri nitrojen oksit emisyonunu anlamlı ve negatif yönde etkilemektedir. Ar-Ge harcamaları %1 arttığında nitrojen oksit emisyonu %0.09 azalırken, GSYH %1 arttığında nitrojen oksit emisyonu % 1.38 oranında azalmaktadır.

Sonuç ve Öneriler

Bu makale, sera gazı emisyonlarından kaynaklanan iklim değişikliğiyle mücadelede politika yapımcılar için pratik politika çıkarımları olan bu önemli soruyu araştırmaktadır. Ar-Ge yatırımları ve ülkelerin ekonomik büyümesi çevresel bozulmayı azaltmada ne kadar etkilidir? Seçilmiş OECD ekonomilerden oluşan bir panelden elde edilen tarihsel verileri kullanarak, Ar-Ge yatırımlarının ve ekonomik büyümenin emisyonlar üzerindeki etkisini incelenmektedir. Bu kapsamda bağımsız değişkenlerin iklim değişikliği üzerindeki etkisini incelemek amacıyla CO₂ ile birlikte Birleşmiş Milletler(BM) tarafından iklim değişikliği göstergesi olarak kabul edilen sera gazları (GHG) ve nitrojen oksit (NOX) gibi çevreye zararlı çeşitli çevresel emisyonlar inceleyerek çok yönlü bir değerlendirme yapılmıştır. Bulgular, Ar-Ge faaliyetleri ve ekonomik büyümenin beklendiği gibi iklim değişikliğinin göstergesi konumunda olan zehirli atmosferik gazların salınımında azalışa yol açtığı yönündedir. Sonuç olarak, Ar-Ge yatırımlarının artırılması ve düşük karbonlu teknolojilere yönelik yenilikçi çözümler geliştirilmesi, sera gazı emisyonlarını azaltmak ve iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir yol haritası sunmaktadır.

Bu nedenle, bu çalışmanın bulgularının politika açısından anlamı, Ar-Ge yatırımlarına ayrılan GSYH payının artırılması yoluyla sera gazlarının azaltılması için önemli bir alan olduğudur. Özellikle elektrikli araçlar (EV'ler), batarya ve hidrojen depolama, akıllı şebekeler, karbon yakalama, kullanım ve depolama gibi düşük karbonlu teknolojilere yönelik Ar-Ge harcamalarının artırılması, dünyanın 2050 yılına kadar net sıfır emisyon yoluna girmesinde önemli bir rol oynayacaktır. Bu nedenle, politika yapımcılar ve hükümet yetkilileri, enerji verimliliği ve emisyon kontrol teknolojilerinde daha fazla yenilik getirmesi beklenen Ar-Ge faaliyetlerine yönelik finansmanı artırmak için daha etkili politikalar başlatmayı düşünmelidir. Ayrıca, birçok ulusun daha iyi bir hale gelmesine yardımcı olmak amacıyla teknolojik ilerlemeyi ve yenilenebilir enerji geçişini daha da kolaylaştırabilecek yeşil yenilik projelerini finanse etmek için kamu-özel sektör ortaklıkları da üstlenilebilir.

Bu çalışmanın potansiyel sınırlamalarından biri, 14 ülkeden oluşan bir paneli dikkate almasıdır. Gelecekte daha fazla araştırma, farklı ülkelerin, farklı ekonomik hacimleri nedeniyle küresel sera gazı emisyonlarına farklı katkılarda bulunduğu faktörüne odaklanmalıdır. Büyük ekonomilerin bölünmesini dikkate almalı ve ekonomik faaliyetlerin emisyon yoğunluğuna göre ayrıntılı bölgesel özellikleri de içeren, çok boyutlu ve çok uluslu, kapsamlı bir girdi-çıkı değerlendirme modeli oluşturulmalıdır.

Kaynakça

- Ang, J. B. (2009). CO2 emissions, research and technology transfer in China. *Ecological Economics*.
- Adedoyin F.F., Alola A.A., Bekun F.V.(2020).An assessment of environmental sustainability corridor: The role of economic expansion and research and development in EU countries. *Sci. Total Environ*,713,136726.
- Alam M.S., Apergis N., Paramati S.R., Fang J.(2021).The impacts of R&D investment and stock markets on clean-energy consumption and CO2 emissions in OECD economies. *Int. J. Financ. Econ*. 26,4979–4992.
- Blanford, G. J. (2009). R&D investment strategy for climate change. *Energy Economics*, 31, S27-S36.
- Corradini, M., Costantini, V., Mancinelli, S ve Mazzanti, M. (2014). Unveiling the dynamic relation between R&D and emission abatement. *Ecological Economics*.
- Calef, D.,ve Goble, R.(2007).The allure of technology: How France and California promoted electric and hybrid vehicles to reduce urban air pollution. *Policy Sci* , 40, 1–34.

- Carrión-Flores, C.E., ve Innes, R.(2010) Environmental innovation and environmental performance. *J. Environ. Econ. Manag*, 59, 27–42.
- Irandoost, M.(2016). The renewable energy-growth nexus with carbon emissions and technological innovation: Evidence from the Nordic countries. *Ecol. Indic.*, 69, 118–125.
- European Commission (2014). COM(2014) 15 final. A policy framework energy in the period from 2020 to 2030. *European Commission*.
- Fisher-Vanden, K., Jefferson, G. H., Liu, H., ve Tao, Q. (2004). What is driving China's decline in energy intensity? *Resource and Energy Economics*, 26(1), 77–97
- Fischer, C., ve Newell, R. G. (2008). Environmental and Technology Policies for Climate Mitigation. *Journal of environmental economics and management*.
- Garrone, P. ve Grilli L. (2010). Is there a relationship between public expenditures in energy R&D and carbon emissions per GDP? An empirical investigation. *Energy Policy*, 38:5600-13.
- Goulder, L. H., ve Mathai, K. (2000). Optimal CO₂ Abatement in the Presence of Induced. *Journal of Environmental Economics and Management*.
- Hang, G., ve Yuan-sheng, J. (2011). The Relationship between CO₂ Emissions, Economic Scale, Technology, Income and Population in China. *Procedia Environmental Sciences*.
- IEA(2020a), Energy Technology RD&D Budgets 2020, Paris, www.iea.org/reports/energytechnology-rdd-budgets-2020
- IEA (2020b). World Energy Investment 2020, Paris. <https://www.iea.org/reports/worldenergy-investment-2020/rd-and-technology-innovation>
- IEA. (2021). Renewable Energy Market Update 2021, IEA, Paris
- Jaffe, A. B. (2011). Analysis of public research, industrial R&D, and commercial innovation: Measurement issues underlying the science of science policy. In *The Science of Science Policy: A Handbook*, 193–207, Brandeis University
- Kmenta, J. (1986). *Elements of Econometrics*, New York: The MacMillan Company
- Lantz, V., ve Feng, Q. (2006). Assessing income, population, and technology impacts on CO₂ emissions in Canada: Where's the EKC? *Ecological Economics*.
- Li, L., McMurray, A., Li, X., Gao, Y., ve Xue, J. (2021). The diminishing marginal effect of R&D input and carbon emission mitigation. *Journal of Cleaner Production*, 282, 124423.
- Lindmark, M. (2002). An EKC-pattern in historical perspective: carbon dioxide emissions, technology, fuel prices and growth in Sweden 1870–1997. *Ecological Economics*.
- Ma, Q., Murshed, M., ve Khan, Z. (2021). The nexuses between energy investments, technological innovations, emission taxes, and carbon emissions in China. *Energy Policy*, 155, 112345.
- Parks, R. (1967). Efficient Estimation of a System of Regression Equations When Disturbances Are Both Serially and Contemporaneously Correlated. *Journal of the American Statistical Association*, 62: 500–509.
- Petrović, P ve Lobanov, M. M. (2020). The impact of R&D expenditures on CO₂ emissions: evidence from sixteen OECD countries. *Journal of Cleaner Production*, 248, 119187.
- Popp, D., Hascic, I., ve Medhi, N. (2011). Technology and the diffusion of renewable energy. *Energy Economics*.

- Safi, A., Chen, Y., Wahab, S., Zheng ve L., Rjoub, H. (2021). Does environmental taxes achieve the carbon neutrality target of G7 economies? Evaluating the importance of environmental R&D. *Journal of Environmental Management*, 293, 112908.
- Şahin, G., ve Ayyıldız, F.V. (2022). An Investigation of Climate Change Within the Framework of a Schumpeterian Economic Growth Model, *Business and Policy Solutions to Climate Change. Palgrave Studies in Sustainable Business In Association with Future Earth*. Palgrave Macmillan, Cham.
- Tatoğlu, F. Yerdelen (2013). Panel Veri Ekonometrisi (2. Baskı). İstanbul: Beta Yayınevi.
- These Frequently Asked Questions have been extracted from the chapters of the underlying report and are compiled here. When referencing specific FAQs, please reference the corresponding chapter in the report from where the FAQ originated.
- Xu,Q., ve Khan,S.(2023). How Do R&D and Renewable Energy Consumption Lead to Carbon Neutrality? Evidence from G-7 Economies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*,20(5)
- Zeng, S., ve Zhou, Y.(2021).Foreign Direct Investment’s Impact on China’s Economic Growth, Technological Innovation and Pollution. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, 18, 2839.
- Weina, D., Gilli, M., Mazzanti, M., ve Nicolli, F. (2014). Green inventions and greenhouse gas emission dynamics:A close examination of provincial Italian data. *SEEDS Working Paper Series*.
- WMO. (2020). 2020 on track to be one of three warmest years on record. <https://public.wmo.int/en/media/pressrelease/2020-track-be-one-of-three-warmest-years-record> (accessed date: September 14, 2022).

ETİK ve BİLİMSEL İLKELER SORUMLULUK BEYANI

Bu çalışmanın tüm hazırlanma süreçlerinde etik kurallara ve bilimsel atıf gösterme ilkelerine riayet edildiğini yazar(lar) beyan eder. Aksi bir durumun tespiti halinde Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi’nin hiçbir sorumluluğu olmayıp, tüm sorumluluk makale yazarlarına aittir.