

# HİTİT SOSYAL BİLİMLER DERGİSİ

Hitit Journal of Social Sciences

e-ISSN: 2757-7949

Cilt | Volume: 19 • Sayı | Number: 1

Nisan | April 2026

## Yenilenebilir Enerji Tüketimi, Teknolojik İnovasyon ve Sanayi Katma Değeri AB Ülkelerinde Ekonomik Büyüme Üzerindeki Dinamik Etkileşimler (1995-2021)

Renewable Energy Consumption, Technological Innovation and Industrial Value Added: Dynamic Interactions on Economic Growth in EU Countries (1995-2021)

**Mehmet UÇAR**

**Corresponding Author | Sorumlu Yazar**

Dr. Öğr. Üyesi | Asst. Prof.

Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Gülşehir Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu,

Finans, Bankacılık ve Sigortacılık Bölümü, Nevşehir, Türkiye

Nevşehir Hacı Bektaş Veli University, Gulsehir Social Sciences Vocational School,

Department of Finance, Banking and Insurance, Nevşehir, Türkiye

[mehmet.ucar@nevsehir.edu.tr](mailto:mehmet.ucar@nevsehir.edu.tr)

<https://orcid.org/0000-0001-6078-7536>

<https://ror.org/019jds967>

## Makale Bilgisi | Article Information

**Makale Türü | Article Type:** Araştırma Makalesi | Research Article

**Geliş Tarihi | Received:** 02.07.2025

**Kabul Tarihi | Accepted:** 07.01.2026

**Yayın Tarihi | Published:** 30.04.2026

## Atıf | Cite As

Uçar, M. (2026). Yenilenebilir enerji tüketimi, teknolojik inovasyon ve sanayi katma değeri: AB ülkelerinde ekonomik büyüme üzerindeki dinamik etkileşimler (1995-2021). *Hitit Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(1), 137-152. <https://doi.org/10.17218/hititsbd.1732954>

**Değerlendirme:** Bu makalenin ön incelemesi iki iç hakem (editörler-yayın kurulu üyeleri) içerik incelemesi ise iki dış hakem tarafından çift taraflı kör hakemlik modeliyle incelendi. Benzerlik taraması yapılarak (Turnitin) intihal içermediği teyit edildi.

**Etik Beyan:** Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan olunur.

**Etik Bildirim:** [husbededitor@hitit.edu.tr](mailto:husbededitor@hitit.edu.tr)

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/hititsbd>

**Çıkar Çatışması:** Çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

**Finansman:** Bu araştırmayı desteklemek için dış fon kullanılmamıştır.

**Telif Hakkı & Lisans:** Yazarlar dergide yayınlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmalarını CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.

**Review:** Single anonymized-Two Internal (Editorial board members) and Double anonymized - Two External Double-blind Peer Review. It was confirmed that it did not contain plagiarism by similarity scanning (Turnitin).

**Ethical Statement:** It is declared that scientific and ethical principles have been followed while conducting and writing this study and that all the sources used have been properly cited.

**Complaints:** [husbededitor@hitit.edu.tr](mailto:husbededitor@hitit.edu.tr)

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/hititsbd>

**Conflicts of Interest:** The author(s) has no conflict of interest to declare.

**Grant Support:** The author(s) acknowledge that they received no external funding to support this research.

**Copyright & License:** Authors publishing with the journal retain the copyright to their work licensed under the CC BY-NC 4.0.

## Renewable energy consumption, technological innovation and industrial value added: dynamic interactions on economic growth in EU countries (1995-2021)

### Abstract

The target of sustainable economic growth is gaining more and more importance in today's global economic-political agenda; energy supply security, environmental sustainability and productivity-based growth strategies have become priority policy areas within this framework. In this context, it has become necessary to analyze the dynamic relationships between renewable energy consumption, technological innovation and industrial value added which are considered among the main determinants of economic growth, with a holistic approach. Although the effects of each of these variables on economic growth have been addressed separately in different studies in the literature, the number of studies examining these three variables together within the same model framework is quite limited. The main objective of the study is to empirically analyze the effects of renewable energy consumption, technological innovation and industrial value added on economic growth using annual data for the period 1995–2021 in 22 European Union (EU) countries. In this respect, the study aims to contribute to filling the gap in the literature and to offer holistic suggestions for policy makers. In the study, firstly, descriptive analyses suitable for panel data structure were conducted, since cross-sectional dependency, autocorrelation and heteroscedasticity problems were detected in the model, Driscoll-Kraay method, which is an effective estimation tool against such structural problems, was used. Thanks to this method, which provides long-term and comparative analysis, solid econometric results were obtained in which structural changes and policy effects depending on time were considered. The empirical findings obtained reveal that the effects of the three basic variables considered in the study on economic growth proceed in different directions. Accordingly, it was observed that a 1% increase in technological innovation reduced economic growth by approximately 0.173%. This situation suggests that innovation may have a restrictive effect due to transformation processes and restructuring costs instead of supporting economic growth in the short term. On the other hand, it was concluded that a 1% increase in renewable energy consumption increased economic growth by 0.176%. This finding shows that the use of environmentally friendly energy sources contributes positively not only to environmental sustainability but also to economic performance. It has been determined that a 1% increase in industrial value added reduces economic growth by 0.392%. Therefore, it indicates that the increase in industrial activities may negatively affect growth by creating environmental and structural costs under certain conditions. While these results indicate that the use of renewable energy should be encouraged in terms of economic growth, they also indicate that the effects of technological innovation and industrial production on growth should be evaluated more carefully in a contextual manner. Thus, the study provides original and empirically based contributions that guide policy makers in achieving sustainable development goals.

**Keywords:** Renewable energy consumption, technological innovation, industrial value added, economic growth, Driscoll-Kraay method

### Yenilenebilir enerji tüketimi, teknolojik inovasyon ve sanayi katma değeri: AB ülkelerinde ekonomik büyüme üzerindeki dinamik etkileşimler (1995-2021)

#### Öz

Sürdürülebilir ekonomik büyüme hedefi, günümüz küresel ekonomi-politik gündeminde giderek daha fazla önem kazanmakta olup; enerji arz güvenliği, çevresel sürdürülebilirlik ve üretkenliğe dayalı büyüme stratejileri bu çerçevede öncelikli politika alanları hâline gelmiştir. Bu bağlamda, ekonomik büyümenin temel belirleyicileri arasında kabul edilen yenilenebilir enerji tüketimi, teknolojik inovasyon ve sanayi katma değeri arasındaki dinamik ilişkilerin bütüncül bir yaklaşımla analiz edilmesi gerekliliği doğmuştur. Literatürde bu değişkenlerden her birinin ekonomik büyüme üzerindeki etkileri farklı çalışmalarla ayrı ayrı ele alınmış olsa da söz konusu üç değişkenin aynı model çerçevesinde birlikte incelendiği çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Çalışmanın temel amacı, 22 Avrupa Birliği (AB) ülkesinde 1995–2021 dönemine ait yıllık veriler kullanılarak, yenilenebilir enerji tüketimi, teknolojik inovasyon ve sanayi katma değerinin ekonomik büyüme üzerindeki etkilerini ampirik olarak analiz etmektir. Bu yönüyle çalışma, literatürdeki eksikliği gidermeye katkı yapmayı ve politika yapıcılar için bütüncül öneriler sunmayı hedeflemektedir. Çalışmada öncelikle panel veri yapısına uygun tanımlayıcı analizler yapılmış, ardından modelde yatay kesit bağımlılığı, otokorelasyon ve değişen varyans sorunları tespit edildiğinden, bu tür yapısal sorunlara karşı etkili bir tahmin aracı olan Driscoll-Kraay

yönteminden yararlanılmıştır. Uzun dönemli ve karşılaştırmalı analiz imkânı sunan bu yöntem sayesinde, zamana bağlı yapısal değişimlerin ve politika etkilerinin dikkate alındığı sağlam ekonometrik sonuçlara ulaşılmıştır. Elde edilen ampirik bulgular, çalışmada ele alınan üç temel değişkenin ekonomik büyüme üzerindeki etkilerinin farklı yönlerde seyrettiğini ortaya koymaktadır. Buna göre, teknolojik inovasyonda meydana gelen %1'lik bir artışın ekonomik büyümeyi yaklaşık %0.173 oranında azalttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, inovasyonun kısa vadede ekonomik büyümeyi desteklemek yerine dönüşüm süreçleri ve yeniden yapılanma maliyetleri nedeniyle sınırlayıcı bir etki yaratabileceğini düşündürmektedir. Diğer yandan, yenilenebilir enerji tüketiminde gerçekleşen %1'lik bir artışın ekonomik büyümeyi %0.176 oranında artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu bulgu, çevre dostu enerji kaynaklarının kullanımının yalnızca çevresel sürdürülebilirliğe değil, aynı zamanda ekonomik performansa da olumlu katkı sağladığını göstermektedir. Sanayi katma değerinde gözlenen %1'lik bir artışın ise ekonomik büyümeyi %0.392 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, sanayi faaliyetlerinin artışının belirli koşullar altında çevresel ve yapısal maliyetler doğurarak büyümeyi olumsuz etkileyebileceğine işaret etmektedir. Bu sonuçlar, yenilenebilir enerji kullanımının ekonomik büyüme açısından teşvik edilmesi gerektiğine işaret ederken, teknolojik inovasyonun ve sanayi üretiminin büyüme üzerindeki etkilerinin bağlamsal olarak daha dikkatli değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Böylece çalışma, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada politika yapıcılara yön gösterici nitelikte özgün ve ampirik temellere dayanan katkılar sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Yenilenebilir enerji tüketimi, teknolojik inovasyon, sanayi katma değeri, ekonomik büyüme, Driscoll-Kraay yöntemi

## Giriş

Enerji tüketimi ve ekonomik büyüme bağlantısı, birçok önemli politika çıkarımına işaret etmesi nedeniyle oldukça tartışılan bir konudur (Dogan ve diğerleri, 2020). Bu bağlamda, enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin niteliği, kullanılan enerji kaynağının türüne göre farklılık gösterebilmekte ve politika tercihlerini doğrudan etkilemektedir. Enerji talebi genel olarak iki temel kaynakla karşılanmaktadır: Yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları (Ülger ve diğerleri, 2024). Ancak çevresel sürdürülebilirlik ve kaynakların tükenebilirliği göz önüne alındığında, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelim giderek artmaktadır. Yenilenebilir enerjinin önemi ve büyümesi göz önüne alındığında, enerji ekonomisi ve sürdürülebilir enerji geleceği literatürüne katkıda bulunmak için yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki dinamik bağlantıları fark etmek hayati önem taşımaktadır (Rahman ve Velayutham, 2020). Enerji, ekonomik kalkınma için vazgeçilmez bir güç kaynağıdır (Wang ve diğerleri, 2022). Enerji tüketimi hemen hemen her ekonomik faaliyetin ve çoğu sosyal arayışın bir parçası durumundadır. Nitekim ekonomik kalkınmanın ve sosyal istikrarın birincil belirleyicisi enerji arzıdır (Abbasi ve diğerleri, 2021).

Özellikle 19. yüzyılın başında dünyada gerçekleşen sanayi devrimi, ortaya çıkan otomatik üretim operasyonlarının muazzam miktarda enerji gerektirmesi nedeniyle enerji talebini artırmıştır (Azam ve diğerleri, 2021). Bu gelişmeler doğrultusunda birçok ülke, ekonomilerinin endüstriyel yapılarını yenilenebilir enerjiler gibi sürdürülebilir enerji kaynaklarına kaydırmıştır (Khan ve diğerleri, 2020).

Enerji; iş, ticaret, ulaşım, tarım ve ekonomik kalkınma yaratmada önemli bir rol oynamaktadır. Aynı zamanda sürdürülebilir insan gelişimi ve yoksulluğun ortadan kaldırılması için de ana araç olarak kabul edilmektedir. Daha yüksek bir üretim seviyesi ise daha büyük enerji kaynakları gerektirir (Anwar ve diğerleri, 2021). Bu nedenle, enerji temelli ekonomilerin mevcut çağında hem zengin hem de fakir ülkelerin dikkati yenilenebilir enerji kaynakları konusuna yönelmiştir (Ellabban ve diğerleri, 2014).

Teknolojik inovasyon, günümüz bilgi temelli ekonomilerinde ekonomik büyümenin temel belirleyicilerinden biri haline gelmiştir. Bu emek ve sermayeyi kolaylaştırmada ve ekonomik

büyümei artırmada üretim için önemli girdi faktörlerinden biri olarak görülmektedir (Mohamed ve diğerleri, 2022). İnovasyon, sadece yeni ürün ve süreçlerin geliştirilmesi anlamına gelmemekte, aynı zamanda üretkenliğin artırılması, verimliliğin yükseltilmesi ve rekabet gücünün pekiştirilmesi gibi ekonomik performansın birçok yönünü doğrudan etkilemektedir. Nitekim inovasyon, tüm ekonomilerde giderek daha önemli hale gelmiş ve firmaların, endüstrilerin ve ülkelerin başarısını artıran stratejik bir unsur olarak öne çıkmıştır (Cuervo ve Menéndez, 2006).

Gelişmiş teknolojiler sayesinde ekonomiler, daha az enerji ve kaynak kullanarak aynı ya da daha yüksek düzeyde üretim gerçekleştirebilme kapasitesine ulaşmakta; bu da ekonomik verimliliği artırmaktadır (Ratner ve diğerleri, 2022). Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, teknolojik yenilikler üretkenliği artırmada ve ekonomik kalkınmayı desteklemede merkezi bir rol oynamaktadır (You ve diğerleri, 2019). Bu ülkelerde teknolojiye dayalı büyüme modelleri hem ekonomik büyümeyi hızlandırmakta hem de yapısal dönüşüm süreçlerine ivme kazandırmaktadır.

Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde<sup>1</sup> teknolojik yenilik faaliyetlerinin önemli bir göstergesi olan patent başvurularında yıllar içinde dalgalı bir seyir izlenmiştir. 1995 yılında toplam 97.388 olan patent başvurusu sayısı, 2010 yılında 101.085'e yükselmiş; ancak bu artış eğilimi 2021 yılında yerini azalmaya bırakmış ve başvuru sayısı 95.852 olarak gerçekleşmiştir. 2021 yılı verilerine göre en fazla patent başvurusu gerçekleştiren ülke 58.569 başvuru ile Almanya olmuştur. Almanya'yı 14.759 başvuru ile Fransa ve 3.488 başvuru ile Polonya takip etmektedir. Aynı yıl içerisinde en az patent başvurusu yapılan ülke ise yalnızca 26 başvuru ile Estonya'dır. Bu veriler, AB ülkeleri arasında teknolojik yenilik kapasitesinin ülkeler bazında önemli farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Teknolojik inovasyon, enerji sektöründe verimliliği artıran ve sürdürülebilir enerji geçişini hızlandıran en önemli dinamiklerden biri olarak öne çıkmaktadır. Yüksek düzeydeki teknolojik yenilik, bir ülkenin daha düşük enerji tüketimiyle daha yüksek düzeyde çıktı üretmesini mümkün kılmakta ve bu sayede enerji verimliliği ile ekonomik büyüme arasında denge kurmaktadır (Zameer ve diğerleri, 2020). Bu bağlamda, teknoloji temelli çözümler yalnızca üretim süreçlerinin iyileştirilmesiyle sınırlı kalmamakta; aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliğe doğrudan katkı sunmaktadır.

Teknolojik inovasyon, yenilenebilir enerji alanındaki ilerlemeyi teşvik etmiş ve ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarını daha etkin ve optimize biçimde kullanmalarını mümkün kılmıştır (Wang ve diğerleri, 2020). Özellikle enerji teknolojilerine yönelik araştırma ve geliştirme faaliyetlerindeki artış, yenilenebilir enerjinin hem daha verimli üretilmesine hem de daha sürdürülebilir şekilde tüketilmesine zemin hazırlamaktadır (Fischer ve Newell, 2008). Bu gelişmeler, enerji üretiminde çevre dostu yaklaşımların benimsenmesini desteklerken, enerji maliyetlerinin düşürülmesine ve enerji güvenliğinin artırılmasına da katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte, enerji kaynaklarının kullanımının zaman içinde hızlı ekonomik büyüme ve teknolojik yenilikler doğrultusunda artış gösterdiği gözlemlenmektedir (Abbasi ve diğerleri, 2021).

<sup>1</sup> 22 Avrupa Birliği ülkesi (Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Hırvatistan, Çekya, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, Macaristan, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Hollanda, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovakya, İspanya ve İsveç)

Bu çalışmanın temel motivasyonu, sürdürülebilir ekonomik büyümenin sağlanmasında yenilenebilir enerji tüketimi, teknolojik inovasyon ve sanayi üretiminin oynadığı rolleri bütüncül bir yaklaşımla analiz etme gerekliliği düşüncesidir. Enerji arz güvenliği, çevresel sürdürülebilirlik ve üretkenliğe dayalı büyüme hedefleri, günümüzde birçok ülkenin öncelikli politika gündemini oluşturmaktadır.

Bu bağlamda çalışmanın amacı, AB ülkelerinde 1995–2021 dönemi yıllık verileri kullanılarak yenilenebilir enerji tüketimi, teknolojik inovasyon ve sanayi üretiminin ekonomik büyüme üzerindeki etkilerini ampirik olarak incelemektir. AB ülke grubunun tercih edilmesinin temel nedeni, bu ülkelerin uzun süredir araştırma-geliştirme (Ar-Ge) yatırımlarına öncelik vermeleri ve sanayi üretimini ekonomik büyümeyle uyumlu hale getirme yönünde kolektif çabalar göstermeleridir. Ayrıca AB ülkeleri gerek teknolojik kapasite gerekse sürdürülebilir enerji yatırımları açısından heterojen bir yapıya sahip olmaları nedeniyle karşılaştırmalı analizler için uygun bir örneklem sunmaktadır.

Bu çalışmanın ampirik literatüre katkısı, söz konusu üç belirleyiciyi (yenilenebilir enerji, inovasyon ve sanayi üretimi) aynı model çerçevesinde inceleyerek ekonomik büyüme üzerindeki etkilerini birlikte değerlendirmesi ve uzun dönemli verilerle AB örneklemini üzerinden politika yapıcılar için anlamlı sonuçlar sunması olacaktır. Ayrıca 1995–2021 dönemini kapsayan uzun dönemli yıllık verilerle yapılan panel veri analizi, zamana bağlı yapısal değişimleri ve politika etkilerini gözleme imkânı sağlayarak daha sağlam çıkarımlar üretmektedir.

Çalışmanın devamında ilgili literatür kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Diğer bölümde ise araştırmanın modeli, veri setine ilişkin açıklamalar ve kullanılan ekonometrik yöntem ile elde edilen bulgulara yer verilmiştir. Son olarak, araştırma sonuçları özetlenmiş ve bulgular doğrultusunda genel değerlendirmeler sunulmuştur.

## 1. Literatür

Literatür bölümünde konunun kapsamlı bir biçimde anlaşılabilmesi ve çalışmanın odaklandığı araştırma boşluğunun daha net bir şekilde ortaya konulabilmesi amacıyla, mevcut akademik çalışmalar iki temel başlık altında incelenmiştir. Bu bağlamda, ilk olarak yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiye dair ampirik bulgular ele alınmış, ardından teknolojik inovasyon ile ekonomik büyüme ilişkisine yönelik literatürde yer alan çalışmalar değerlendirilmiştir. Bu ayırım, konunun çok boyutlu doğasını yansıtmakta ve ilgili değişkenlerin ekonomik büyüme üzerindeki etkilerini bütüncül bir yaklaşımla analiz etme imkânı sunmaktadır.

### 1.1. Yenilenebilir Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme İlişkisine Yönelik Bulgular

Literatürde, yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi inceleyen çok sayıda ampirik çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların büyük bir kısmı, yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyümeyi artırdığı yönünde bulgular ortaya koymakta ve bu konuda genel bir fikir birliği olduğu gözlemlenmektedir. Bununla birlikte, sınırlı sayıda çalışma ise yenilenebilir enerji kullanımının ekonomik büyüme üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceğini savunmakta ve bu ilişkinin bağlamsal ve ülke koşullarına göre farklılık gösterebileceğine işaret etmektedir.

Lin ve Moubarak (2014), Çin ekonomisi için 1977–2011 dönemini kapsayan çalışmalarında ARDL ve Johansen eşbütünlük testlerini kullanarak, büyüyen Çin ekonomisinin yenilenebilir

enerji sektörünün gelişimi açısından elverişli bir ortam sunduğunu ve bu gelişimin ekonomik büyümeyi desteklediğini göstermiştir. AB'ye yeni üye olan ülkeleri inceleyen Alper ve Oguz (2016), 1990–2009 dönemi için ARDL ve asimetrik nedensellik testlerinden faydalanarak, yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyüme üzerinde pozitif etkiler yarattığını tespit etmişlerdir. Benzer şekilde, Rafindadi ve Ozturk (2017), Almanya'da 1971–2013 çeyrek dönem verileriyle gerçekleştirdikleri analizde, yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyümeyi artırdığını ortaya koymuştur.

Koçak ve Şarkgüneşi (2017), 9 Karadeniz ve Balkan ülkesini kapsayan çalışmalarında Pedroni panel eşbütünlük yöntemlerini kullanarak, yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasında uzun dönemli bir pozitif ilişki olduğunu belirtmiştir. ABD örneğinde yapılan Gozgor (2018) çalışması ise, 1965–2016 dönemini kapsayan ARDL tahminlerine dayanarak, yenilenebilir enerji tüketiminin ve ekonomik karmaşıklığın ekonomik büyümeyi artırdığını göstermektedir. Gozgor ve diğerleri (2018) çalışması ise, 1990–2013 döneminde 29 OECD ülkesine ilişkin panel ARDL ve kantil regresyon tahminlerini kullanmış, yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyüme ile pozitif ilişkili olduğunu bulmuştur.

OECD ülkeleri örneğiyle çalışan Wang ve Wang (2020), 2005–2016 dönemi verileriyle panel eşik regresyon modellerini kullanarak, yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyümeye katkı sağladığını, ancak bu etkinin ülkeden ülkeye değiştiğini belirtmiştir. Güney Asya ülkeleri üzerine yapılan Rahman ve Velayutham (2020) çalışmasında ise 1990–2014 dönemi verileriyle panel eşbütünlük testleri kullanılmış ve yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyümeyi olumlu etkilediği sonucuna varılmıştır.

Küresel ölçekte yürütülen Shahbaz ve diğerleri (2020) çalışması, 38 ülkeyi kapsayan 1990–2018 dönemi verileriyle FMOLS, DOLS ve heterojen nedensellik analizleri uygulamış; yenilenebilir enerji tüketiminin ülkelerin %58'inde ekonomik büyüme üzerinde pozitif etkide bulunduğunu saptamıştır. Benzer biçimde, Saidi ve Omri (2020) tarafından 15 büyük yenilenebilir enerji tüketicisi ülke örneğinde yapılan çalışmada, FMOLS ve VECM tahminleri ile yenilenebilir enerji tüketiminin hem ekonomik büyümeyi teşvik ettiği hem de karbon emisyonlarını azalttığı ortaya konulmuştur.

ASEAN ülkelerine odaklanan Hidayat ve diğerleri (2024), 2000–2021 dönemini içeren statik ve dinamik panel veri analizleriyle, yenilenebilir enerji tüketiminin bölge ülkelerinin ekonomik büyümesi üzerinde önemli ölçüde olumlu etkisi olduğunu göstermiştir. Öte yandan, Chen ve diğerleri (2020), 1995–2015 döneminde 103 ülkeye ilişkin yaptıkları çalışmada karmaşık bir ilişki ortaya koymuş; özellikle gelişmekte olan ülkelerde yenilenebilir enerji tüketiminin ancak belirli bir eşik seviyesini aşması durumunda ekonomik büyümeyi pozitif etkilediğini, gelişmiş ülkelerde ise etkinin anlamlı olmadığını belirtmiştir. Bu sonuçlar, yenilenebilir enerji-büyüme ilişkisinin ülke grupları ve kullanım düzeyine bağlı olarak farklılaştığını göstermektedir.

Bu literatürde yer alan genel eğilim, yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyüme üzerinde pozitif etkiler yarattığı yönündedir. Ancak bazı çalışmalar, bu ilişkinin koşullu, eşik değerlere bağlı veya ülke grubuna göre heterojen olduğunu göstermektedir. Örneğin, Maji ve diğerleri (2019), 15 Batı Afrika ülkesi için gerçekleştirdikleri analizde, yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyümeyi azalttığını tespit ederek, enerji altyapısı ve teknolojik gelişmişlik düzeyinin bu ilişkide belirleyici olabileceğine dikkat çekmiştir.

## 1.2. Teknolojik İnovasyon ve Ekonomik Büyüme İlişkisine Yönelik Bulgular

Teknolojik inovasyon ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki, literatürde geniş bir şekilde ele alınmış ve bu alanda çok sayıda ampirik çalışma yapılmıştır. Çalışmaların büyük bir kısmı, teknolojik inovasyonun üretim süreçlerini daha verimli hale getirdiğini ve dolayısıyla ekonomik büyümeyi desteklediğini göstermektedir. Bu bağlamda, teknolojik inovasyonun büyüme üzerinde pozitif etkiler yarattığı yönünde literatürde genel bir uzlaşma mevcuttur. Öte yandan, bazı araştırmalar ise teknolojik inovasyonun ekonomik büyüme üzerinde olumsuz sonuçlar doğurabildiğini ortaya koymaktadır.

Ulku (2004), 1981–1997 döneminde 20 OECD ülkesi ve 10 OECD dışı ülkeyi kapsayan çalışmada, araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) harcamalarının inovasyon yoluyla ekonomik büyüme üzerindeki etkisini incelemiş ve inovasyonun hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde büyümeyi olumlu yönde etkilediğini belirtmiştir. Benzer şekilde, Hasan ve Tucci (2010), 1980–2003 dönemine ait 58 ülkelik veri setiyle yürüttükleri çalışmada, yüksek kaliteli patentlere sahip firmaların bulunduğu ülkelerde ekonomik büyümenin daha yüksek seviyelerde gerçekleştiğini tespit etmiştir. Latin Amerika ülkeleri üzerine yapılan Aali Bujari ve Venegas Martínez (2016) çalışmada ise, 1996–2008 verileriyle GMM tahmin yöntemi kullanılarak, teknolojik yeniliklerin bölge ekonomileri üzerinde pozitif ve anlamlı etkiler yarattığı sonucuna ulaşılmıştır.

Işık ve Kılınç (2016), 1990–2011 dönemi verileriyle yaptıkları analizde, inovasyonun hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde ekonomik büyümeyi olumlu yönde etkilediğini ortaya koymuştur. Maradana ve diğerleri (2017) ise, 1989–2014 döneminde 19 Avrupa ülkesinde gerçekleştirdikleri panel analizde, kişi başına düşen GSYİH ile patent başvuruları arasında uzun dönemli bir eşbütünlük olduğunu ve inovasyonun büyüme için önemli bir unsur teşkil ettiğini ortaya koymuştur.

Yıldız (2018), Türkiye ve AB-15 ülkeleri için 1998–2013 dönemine ait verilerle oluşturduğu panel ARDL modeli ile Teknolojik İnovasyon Endeksi'nin (TİE) ekonomik büyüme üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif bir etkisi olduğunu göstermiştir. Çin üzerine yapılan Zeraibi ve diğerleri (2020) çalışması ise, 1980–2018 döneminde NARDL yöntemiyle inovasyon ve enerji tüketiminin ekonomik büyüme üzerindeki asimetric etkilerini analiz etmiş, ticari marka başvurularındaki %1'lik bir artışın ekonomik büyümeyi %8,2 oranında iyileştirdiğini bulmuştur.

Singapur örneğini inceleyen Meirun ve diğerleri (2021), yeşil teknoloji inovasyonunun çevresel sürdürülebilirlikle uyumlu şekilde ekonomik büyümeyi desteklediğini saptamış; 1990–2018 dönemi verileriyle elde ettikleri sonuçlar, teknolojik yeniliklerin çevresel maliyetleri azaltarak kalkınmaya katkıda bulunduğunu ortaya koymuştur. Benzer biçimde, Mohamed ve diğerleri (2022) tarafından gelişmekte olan ülkeler için yapılan analizde, 1990–2018 döneminde teknolojik yeniliğin hem kısa hem uzun vadede ekonomik büyümeyi artırdığı belirlenmiştir.

Bununla birlikte, literatürde teknolojik inovasyonun ekonomik büyüme üzerindeki etkisinin her zaman pozitif olmadığına dair bulgular da yer almaktadır. Örneğin, Bilas ve diğerleri (2016), 28 Avrupa ülkesini kapsayan 2003–2013 dönemi verileriyle gerçekleştirdikleri çalışmada, dinamik panel veri yöntemleri kullanarak inovasyon ile ekonomik büyüme arasında negatif bir ilişki tespit etmiştir. Bu tür çalışmalar, inovasyonun ekonomik büyümeye etkisinin

ülke bağlamına, inovasyonun niteliğine ve uygulanabilirliğine bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir.

Literatür incelendiğinde, yenilenebilir enerji tüketimi, teknolojik inovasyon ve sanayi üretiminin ekonomik büyüme üzerindeki etkilerinin genellikle birbirinden bağımsız olarak ele alındığı gözlemlenmektedir. Ancak bu değişkenlerin birlikte değerlendirilmesi, sürdürülebilir büyüme politikaları açısından bütüncül bir bakış açısı sunmak adına önem arz etmektedir. Bu çalışmanın literatüre katkısı, söz konusu üç belirleyiciyi aynı model çerçevesinde birleştirerek Avrupa Birliği ülkeleri örnekleminde uzun dönemli verilerle ampirik olarak analiz etmesidir. Böylece çalışma, mevcut literatürde gözlemlenen parçalı yaklaşımlar yerine, ekonomik büyüme dinamiklerini çok boyutlu bir yapıda ele alarak önemli bir boşluğu doldurmakta ve politika yapımcılar için daha kapsamlı değerlendirme imkânı sunmaktadır.

## 2. Veri ve Model Tanımlama, Yöntem ve Bulgular

### 2.1. Model ve Veri Açıklamaları

Bu çalışmada 22 AB ülkesinde yenilenebilir enerji tüketimi, teknolojik inovasyon ve sanayi üretiminin ekonomik büyüme üzerindeki etkileri araştırılmaktadır. Analize dahil edilen ülkeler şunlardır; Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Hırvatistan, Çekya, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, Macaristan, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Hollanda, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovakya, İspanya ve İsveç. Veri kısıtından dolayı analize dahil edilmeyen ülkeler ise Kıbrıs, İrlanda, İtalya, Malta ve Slovenya'dır. 1995-2021 yıllık verileri ile bu ilişkiler araştırılmıştır.

**Tablo 1.** Değişken Açıklamaları

Değişken Adı ve Sembolü	Açıklama	Veri Kaynağı
Yenilenebilir Enerji Tüketimi (logYE)	Yenilenebilir enerji tüketimi (toplam nihai enerji tüketiminin %'si)	Dünya Kalkınma Göstergesi (WDI-World Development Indicator)
Teknolojik inovasyon (logT)	Patent başvuruları, yerleşikler +	WDI
Sanayi (logS)	Patent başvuruları, yerleşik olmayanlar Sanayi, katma değer (% GSYH)	WDI
Ekonomik Büyüme (logEB)	Kişi başına düşen GSYH (sabit 2015 ABD doları)	WDI

Çalışmada tahmin edilen model ve fonksiyon logaritmik olarak aşağıdaki gibidir:

$$\log EB_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 \log YE_{i,t} + \beta_2 \log T_{i,t} + \beta_3 \log S_{i,t} + u_{i,t} \quad (1)$$

Yenilenebilir enerji tüketimi logYE, teknolojik inovasyon logT, sanayi katma değeri logS ve ekonomik büyüme logEB değişkenleriyle temsil edilmektedir. Modelde kullanılan değişkenlerin doğal logaritmik dönüşümleri kullanılmıştır. Eşitlikte yer alan  $\beta$  sembolü değişkenlerin eğim katsayısını gösterir. Alt indekste yer alan  $i$  ve  $t$  sırası ile yatay kesiti ve zamanı temsilen kullanılmıştır.  $u$  ise hata terimini göstermektedir.

Bu çalışmada yenilenebilir enerji tüketimi, teknolojik inovasyon ve sanayi katma değeri değişkenlerinin tercih edilme nedeni, bu değişkenlerin, sürdürülebilir ekonomik büyümenin temel belirleyicileri arasında yer almasıdır. Yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik büyümeyi destekleme potansiyeline sahiptir. Teknolojik inovasyon, üretkenliği artırarak ve verimliliği geliştirerek büyümenin uzun vadeli itici gücünü oluşturmaktadır. Sanayi üretimi ise ekonomik faaliyetlerin yoğunlaştığı ve büyüme dinamiklerini doğrudan yansıtan temel bir reel sektörel

göstermektedir. Bu üç değişken birlikte değerlendirildiğinde ekonomik sürdürülebilirlik açısından dengeli bir büyüme modelinin analizine olanak tanımaktadır.

## 2.2. Yöntem ve Bulgular

Ampirik uygulamada ilk adım olarak özet istatistikler ve korelasyon ilişkisi değerlendirilmiştir. Tablo 2, bu ilişkileri özetlemektedir.

**Tablo 2.** Özet İstatistikler ve Korelasyon Matrisi

Özet İstatistikler					
Değişkenler	Gözlem	Ortalama	Stnd. Hata	Min.	Max.
LogEB	594	4,319	0,336	3,549	5,050
LogT	594	3,038	0,713	1,361	4,831
LogYE	594	1,135	0,362	0,041	1,762
LogS	594	1,373	0,100	1,018	1,604

  

Korelasyon Matrisi				
	LogEB	logT	LogYE	LogS
LogEB	1,000			
LogT	0,266	1,000		
LogYE	-0,082	-0,185	1,000	
LogS	-0,492	0,164	0,083	1,000

**Not:** İlgili bütün istatistikler Stata 15 paket programından elde edilmiştir.

Tablonun ilk kısmında 594 gözlem sayısının bulunduğu verilere göre, maksimum değer ekonomik büyüme değişkeninde iken minimum değer yenilenebilir enerji tüketimindedir. Tablonun ikinci kısmı ise değişkenler arasındaki korelasyon ilişkisini göstermektedir. Buna göre değişkenler arasında yüksek düzeyde bir korelasyona rastlanmamıştır. Ekonomik büyüme ile teknoloji arasında pozitif korelasyona rastlanırken yenilenebilir enerji tüketimi ve sanayi arasında negatif korelasyon gözlenmiştir.

Tablo 3, modele ait önemli tanısal test sonuçlarını göstermektedir. Değişen varyansın varlığını test etmek için değiştirilmiş Wald istatistiği kullanılmıştır. Bu test  $i=1$ ,  $N_g$  için  $\sigma^2(i)=\sigma$  hipotezini test etmektedir. Heteroskedastisitenin varlığında katsayılar ve dolayısıyla t-değerleri için standart hatalar tutarsız ve sapmalı tahminlere yol açabilmektedir (Yaqub ve diğerleri, 2015). Wooldridge (2002) tarafından geliştirilen test ise panel-veri modelinin kendine has hatalarında seri korelasyonu araştırmak için tercih edilmektedir. Drukker (2003), bu testin makul örneklem büyüklükleri için daha iyi boyut ve tutarlı özelliklerine sahip olduğunu gösteren simülasyon kanıtı yapmıştır. Lineer panel veri modellerinde gözlenen serisel korelasyon, standart hataları saptırdığından panel veri modelinde kendine has hata teriminde seri korelasyonun belirlenmesi çok önemlidir (Drukker, 2003).

Yatay kesit bağımlılığını test etmek için genellikle Breusch ve Pagan (1980) Lagrange Çarpanı (Lagrange multiplier/LM) ve Pesaran (2004) Yatay Kesit Bağımlılığı (Crosssectional dependence/CD) testleri kullanılmaktadır. Bu bağlamda  $T>N$  durumunda LM test istatistiği dikkate alınırken tam tersi durumda ise CD testi esas alınmaktadır. Bu çalışmada yatay kesitler arasındaki bağımlılığın varlığının tespit edilmesi için LM test istatistikleri dikkate alınmıştır. LM test istatistiği şöyledir;

$$LM = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N T_{ij} \hat{\rho}_{ij}^2 \rightarrow X^2 \frac{N(N-1)}{2} \quad (2)$$

N yatay kesiti, T zamanı ifade etmektedir.  $\hat{p}_{ij}^2$  ise ekonometrik modelin artıklarından elde edilen korelasyon katsayısını ifade etmektedir.

**Tablo 3.** Tanısal Test Sonuçları

Model	Seri Korelasyon Testi		Değişen Varyans Testi		Yatay Kesit Bağımlılığı Testi	
	Wooldridge Test		Modifiye Wald Test		Test	İstatistik P-değ.
Bağımlı Değ. (logEB)	<b>H<sub>0</sub>:</b> Seri Korelasyon Yoktur.		<b>H<sub>0</sub>:</b> $\sigma_i^2 = \text{for all } i \sigma^2$		<b>LM</b>	960,1 0,000
	<b>F(1,21)</b>	242,28	<b><math>\chi^2(22)</math></b>	5852,28	<b>LMadj</b>	86,64 0,000***
	<b>p-val&gt;F</b>	0,000***	<b>p-val&lt;<math>\chi^2</math></b>	0,000***	<b>LMCD</b>	18,93 0,000***

**Not:** \*\*\*, %1 önem düzeyindeki anlamlılığı ifade etmektedir.

Tabloda yer alan sonuçlara göre tahmin edilen model değişen varyans, otokorelasyon ve yatay kesit bağımlılığı sorunu içermektedir. Tablo 4, model yatay kesit bağımlılığı içerdiğinden ikinci nesil birim kök testi olan CADF test istatistiklerini göstermektedir.

**Tablo 4.** CADF Birim Kök Test Sonuçları

Değişkenler	Seviyede				Birinci Fark			
	Sabitli		Sabit+Trend		Sabitli		Sabit+Trend	
	Z[t-bar]	p-değeri	Z[t-bar]	p-değeri	Z[t-bar]	p-değeri	Z[t-bar]	p-değeri
logEB	-4,992	0,000***	-0,558	0,000***	-	-	-	-
logT	-2,147	0,016	-1,133	0,129	-	-	-	-
logYE	-1,745	0,040**	0,101	0,540	-	-	-	-
logS	-0,892	0,186	2,015	0,978	-8,204	0,000***	-7,162	0,000***

**Not:** \*, \*\* ve \*\*\* sırası ile %10, %5 ve %1 önem düzeyindeki anlamlılığı ifade etmektedir.

Tabloda görüldüğü üzere testin hem sabitli hem de sabit+trendli seçenekleri kullanılmıştır. Sonuçlara göre logS değişkeni dışındaki bütün değişkenlerin seviyede durağan hale geldiği gözlenirken logS değişkeninin I(1) düzeyinde durağan hale geldiği gözlenmiştir. Tablo 5 model seçimini göstermektedir.

**Tablo 5.** Model Seçimi

Modeller	F-Testi		Hausman Testi		Belirlenen Model
	İstatistik	p-değeri	İstatistik	p-değeri	
Bağımlı Değişken (logEB)	431,30	0,000	28,61	0,000	Sabit Etkiler Modeli

F testi temelde regresyon analizinde bir modelin anlamlılığını test etmede kullanılmakta ve sabit etkiler (fixed effects) modelinin anlamlı olup olmadığını araştırmaktadır. Hausman test sonuçlarına göre sabit etkiler modeli olduğuna karar verilmiştir.

Çalışmada tahmin edilen model yatay kesit bağımlılığı, değişen varyans ve seri korelasyon içerdiğinden bu problemlerin varlığında etkin sonuçlar veren D-K tahmincisi kullanılmıştır. Driscoll ve Kraay (1998), yaptıkları tahminlerle yatay kesit bağımlılığı, otokorelasyon ve değişen varyans sorununun var olduğu koşullarda daha tutarlı standart hatalar gözlemlediklerini göstermiştir (Driscoll ve Kraay, 1998). Driscoll-Kraay standart hataları genellikle sabit etkiler (fixed effects) tahmincisinin üzerine uygulanır. Yani bireysel sabit etkiler kontrol altına alınmış olmalıdır. Bu tahminci, moment koşullarının kesit ortalamaları sıralanmasına yaklaşık bir Newey-West tipi bir düzeltme uygulamaktadır. Ayrıca D-K tahmincisinde bulunan standart hata tahminlerinin bu şekilde ayarlanmış olması N kesit

boyutundan bağımsız olarak ( $N \rightarrow \infty$  için) tutarlı sonuçlara ulaşılmasını sağlamaktadır. Panelde  $T > N$  (Zaman boyutu, yatay kesit boyutundan büyük) olmalıdır. Bu nedenle kısa zaman serilerinde (örneğin  $T$  çok küçükse) güvenilir değildir. Bu yönü ile Driscoll ve Kraay'ın yaklaşımı, Parks-Kmenta ve PCSE yaklaşımı gibi  $T$ 'nin büyük olduğu durumlarda gözlenen tutarlı kovaryans matrisi tahmincilerinde bulunan eksiklikleri tamamlamaktadır (Hoechle, 2007). Burada tahmin edilen doğrusal regresyon modeli ise şu şekildedir;

$$y_{it} = x'_{it}\theta + \varepsilon_{it}, \quad i = 1, \dots, N, \quad t = 1, \dots, T \quad (3)$$

Tablo 6, sabit etkiler D-K tahmincisinin istatistik sonuçlarını göstermektedir.

**Tablo 6.** Sabit Etkiler ve D-K Sonuçları

Değişkenler	Sabit Etkiler Modeli			Driscoll-Kraay Sonuçları		
	Katsayı	Std. Hata	p-değ.	Katsayı	D-K Std. Hata	P-değ.
LogT	-0,173	0,011	0,000	-0,173	0,022	0,000***
LogYE	0,176	0,016	0,000	0,176	0,009	0,000***
LogS	-0,392	0,073	0,000	-0,392	0,190	0,049**
Sabit	5,186	0,120	0,000	5,186	0,313	0,000***
Modele Ait İstatistikler	F (istatistik): 190,41 F prob: 0,000*** R <sup>2</sup> : 0,50			F (istatistik): 126,06 F prob: 0,000*** R <sup>2</sup> : 0,50		

**Not:** \*\* ve \*\*\* sırası ile %5 ve %1 önem düzeyindeki anlamlılığı ifade etmektedir.

Tabloda yer alan istatistiklere bakıldığında özellikle katsayılarda her iki yönetime ait bulgular paralellik göstermektedir. Olasılık değerleri de benzerlik göstermektedir. D-K tahmincisinin model istatistikleri modelin anlamlı (F prob) olduğunu göstermektedir. Ayrıca R<sup>2</sup>: 0.50 istatistiği ise modelde bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama gücünü ifade etmektedir. Bu bağlamda bağımsız değişkenlerin tamamı istatistiki olarak anlamlıdır. Teknoloji değişkeninde meydana gelen %1'lik artış ekonomik büyümeyi %0.173 oranında azaltmaktadır. Elde edilen bu sonuç, Bilas ve diğerleri (2016) çalışmasının bulgularıyla örtüşmektedir. Yenilenebilir enerji tüketiminde oluşan %1 oranındaki artış bağımlı değişkeni %0.176 oranında artırmaktadır. Elde edilen bu sonuç, literatürde yer alan birçok çalışmanın bulgularıyla paralellik göstermektedir (Alper ve Oguz, 2016; Gozgor, 2018; Gozgor ve diğerleri, 2018; Hidayat ve diğerleri, 2024; Koçak ve Şarküneşi, 2017; Lin ve Moubarak, 2014; Rahman ve Velayutham, 2020; Saidi ve Omri, 2020; Shahbaz ve diğerleri, 2020; Wang ve Wang, 2020). Son olarak sanayi üretiminde oluşan %1'lik artışın ekonomik büyümeyi %0.392 oranında azalttığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu bulgu, 1980–2019 dönemine ait verilerle Zambiya ekonomisinde sanayi katma değerinin uzun vadede ekonomik büyüme üzerinde negatif etkide bulunduğunu ortaya koyan Phiri (2021) çalışmasının sonuçlarıyla benzerdir. Ancak bu sonuç, 1981–2015 dönemi verileriyle Bangladeş ekonomisinde sanayi katma değerinin ekonomik büyüme üzerinde pozitif etkide bulunduğunu tespit eden Ali ve diğerleri (2016) çalışmasının bulgularıyla örtüşmemektedir.

### Sonuç

Yenilenebilir enerji, sürdürülebilir kalkınma politikaları açısından kritik bir öneme sahiptir. Ayrıca yenilenebilir enerji politikalarını geliştirmek adına teknolojik gelişmeye önem verilmesi ekonomilerin birincil hedeflerinden olmalıdır. Bu şekilde ekonomiler, büyümelerini istikrarlı hale getirerek aynı zamanda sürdürülebilir kalkınmayı da destekleyeceklerdir. Sanayi üretimi ise ekonomik büyümenin olmazsa olmazıdır. Sanayi sektörünün gelişimini sağlayacak verimini artıracak politikalar büyüme süreçlerinde önemli bir yerdedir. Bu kapsamda çalışma,

AB ülkelerinde yenilenebilir enerji tüketimi, teknolojik inovasyon, sanayi üretiminin ekonomik büyüme üzerindeki etkilerini araştırmaktadır. 1995-2021 yıllık verileri analizde kullanılmıştır. Tahmin edilen model yatay kesit bağımlılığı, otokorelasyon ve değişen varyans içerdiğinden bu koşulların varlığından etkin bir tahminci olarak kullanılan Driscoll-Kraay modeli kullanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, yenilenebilir enerji büyüme pozitif yönde etkilerken, teknolojik gelişme ve sanayi üretimi negatif etkilemektedir.

Yenilenebilir enerjinin büyüme üzerindeki etkisi beklenen şekildedir. Bu bulgu literatürdeki çalışmaların geneli ile benzerlik göstermektedir. Bu yönü ile AB ülkelerindeki bu değişkenin olumlu etkisi literatürü desteklemektedir (Rafindadi ve Ozturk (2017), Rahman ve Velayutham (2020) ve Hidayat ve diğerleri (2024)). Literatürde yer alan çalışmalarla birlikte yenilenebilir enerjinin büyümeye pozitif katkısı ortaya konmuştur. AB ülkeleri uzun bir süredir yeşil dönüşüm politikalarına yatırım yapmakta (ör. Avrupa Yeşil Mutabakatı ve döngüsel ekonomi politikaları) ve bu konularda öncülük etmektedir. Yenilenebilir enerji projeleri (rüzgar, güneş, biyokütle) hem yeni istihdam alanları yaratmakta hem de enerji bağımlılığını ve riskleri azaltarak istikrarlı büyüme politikalarını desteklemektedir. AB destek programları (Horizon Europe, NextGenEU) doğrudan bu alana yatırım sağlayarak yenilenebilir enerjinin etkisini genişletmektedir (research-and-innovation.ec.europa.eu, ese-hormones.org, next-generation-eu.europa.eu). Bu bulgular ve AB'nin uyguladığı programlar doğrultusunda yeşil yatırım teşviklerinin devam etmesi bu olumlu etkilerinin devamlılığını sağlayacaktır. Ayrıca yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımların pozitif etkisi tüm ülkelerde sürdürülerek yeşil dönüşüm gerçekleştirilmelidir. Özellikle de şebeke altyapısı ve enerji depolama teknolojileri desteklenmelidir.

Bir diğer bağımsız değişken olan teknolojik gelişme büyüme üzerindeki etkisine yönelik bulgu beklenmeyen yönde çıkmıştır. Ulaşılan bu sonuç istenmeyen bir sonuçtur çünkü ülkeler ekonomik büyümeyi geliştirmek adına teknolojik süreçlere yatırım yapmaktadır. Bu sonuç ayrıca literatürle büyük ölçüde farklılaşmaktadır. Aynı şekilde Bilas ve diğerleri (2016) Avrupa ülkeleri üzerine yapmış olduğu çalışmada bezer bir sonuca ulaşmıştır. Dolayısıyla bu sonuçların olası nedenleri vardır. Bu durum kısa vadede inovasyonun verimlilik artışı yerine iş kaybına neden olabilmesinden kaynaklanabilir. Yüksek AR-GE harcamaları büyüme için hemen geri dönüş sağlamaz, beklenen etki gecikmeli gerçekleşebilir. AB'nin inovasyon yatırımları bazen dışa bağımlı (teknoloji lisansı, patent ödemeleri) olabilir, bu da döviz çıkışı yaratır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, daha fazla inovasyon değil, etkili ve yerli inovasyonun kullanılması olabilir. Bu şekilde teknolojik gelişmenin olumsuz etkisi tersine döndürülebilir. AR-GE teşvikleri sadece harcamaya değil, çıktı kalitesine (patent, ihracat) bağlanmalıdır. Böylece beklenen etkinin pozitif olması uzun dönemde söz konusu olabilecektir.

Bir diğer beklenmeyen ve ilginç bir sonuç, sanayi üretiminin negatif etkisi ile ilgilidir. Elde edilen bu bulgu literatürle benzerlik göstermemektedir. Yapılan çalışmalar genel olarak sanayi üretiminin etkisini pozitif olarak gözlerken çok az bir kısmı anlamsız olarak gözlemlemiştir. AB sanayi yapısı, olgunlaşmış ve durağan bir yapıdadır (ör. Almanya dışındaki ülkelerde sanayi katma değeri sınırlı artıyor). 2008 krizi sonrası sanayinin yeniden yapılandırılmaması, yüksek enerji fiyatları, çevresel regülasyonlar ve iş gücü maliyetleri gibi faktörler sanayiye baskılıyor olabilir. Sanayi, özellikle enerji-yoğun ve karbon-ağır sektörlerde büyümeye katkıdan çok maliyet yaratıyor olabilir. Bu noktada geleneksel sanayiler yerine çevreci ve dijital sanayi

kümeleri (smart manufacturing, green clusters) oluşturulmalıdır. Ayrıca KOBİ'ler dijital ve yeşil dönüşüme entegre edilmelidir.

Ülkeye göre sonuçlar değerlendirildiğinde ise; Kuzey ve Batı Avrupa (Almanya, Danimarka, Hollanda, İsveç, Finlandiya) ülkeleri hali hazırda zaten yüksek teknoloji ve yeşil enerji adaptasyonuna sahipler. Yüksek inovasyon harcamalarının etkinliği sorgulanmalıdır (daha fazla değil, daha iyi inovasyon). Sanayi yatırımları çevreci teknolojilere kaydırılmalı; karbon fiyatlandırması ile büyüme üzerindeki yük azaltılabilecek ve pozitif etkisi gerçekleşebilecektir. Doğu Avrupa (Polonya, Romanya, Macaristan, Bulgaristan) ülkelerinin, sanayi büyümesi genellikle düşük verimlilikli, çevresel etkisi yüksek üretime dayalıdır. Dolayısıyla enerji dönüşümü yatırımları bu ülkelerde büyümeyi daha hızlı destekliyor olabilir (ithalata bağımlılığı azaltıyor). Teknolojik yatırımların geri dönüşü düşük olabilir; insan sermayesi altyapısı ve dijital okuryazarlık yatırımları artırılmalıdır. Güney Avrupa (Yunanistan, İspanya, Portekiz) ülkelerinde ise yenilenebilir enerji potansiyeli yüksektir (güneş, rüzgâr). Bu durum ise büyüme etkisini güçlendirmektedir.

Çalışmada elde edilen bulgular, büyümenin sadece üretim ve yatırım miktarıyla değil, yapısal niteliğiyle belirlendiğine işaret etmektedir. Yenilenebilir enerji gibi çevresel ve stratejik yatırımlar, büyüme üzerinde daha istikrarlı ve sürdürülebilir etkiler yaratmaktadır. Sanayi ve inovasyon politikalarının ise kalite, yönelim ve uyum kabiliyeti açısından yeniden tasarlanması gerektiği kendini göstermektedir.

Bu çalışmanın temel sınırlılıklarından biri, veri erişilebilirliği nedeniyle Avrupa Birliği üyesi 27 ülkenin tamamı yerine yalnızca 22 ülkenin analiz kapsamına dâhil edilebilmesidir. Ayrıca, modelde yalnızca yenilenebilir enerji tüketimi, teknolojik inovasyon ve sanayi katma değeri gibi üç temel belirleyiciye odaklanılmış olup, diğer potansiyel etkileyici faktörler (örneğin, finansal gelişme, dış ticaret hacmi, beşeri sermaye gibi) dışarıda bırakılmıştır. Bununla birlikte, çalışmada kullanılan yıllık veri seti dönemsel dalgalanmaların etkilerini sınırlı ölçüde yansıtabilmektedir. Gelecek araştırmalar, veri kapsamı genişletilerek daha fazla ülke ve değişkeni içerecek şekilde farklı bölgesel gruplarda veya alt sektör düzeylerinde karşılaştırmalı analizler gerçekleştirebilir.

## Kaynakça

- Aali Bujari, A., & Venegas Martínez, F. (2016). Technological innovation and economic growth in Latin America. *Revista mexicana de economía y finanzas*, 11(2), 77-89.
- Abbasi, K. R., Shahbaz, M., Jiao, Z., & Tufail, M. (2021). How energy consumption, industrial growth, urbanization, and CO2 emissions affect economic growth in Pakistan? A novel dynamic ARDL simulations approach. *Energy*, 221, 119793. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.119793>
- Ali, S., Alam, K. J., & Islam, M. S. (2016). Effects of trade openness and industrial value added on economic growth in Bangladesh. *International Journal of Sustainable Development Research*, 2(2), 6-11. <https://doi.org/10.11648/j.ijedr.20160203.11>
- Alper, A., & Oguz, O. (2016). The role of renewable energy consumption in economic growth: Evidence from asymmetric causality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 953-959. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.123>
- Anwar, A., Siddique, M., Dogan, E., & Sharif, A. (2021). The moderating role of renewable and non-renewable energy in environment-income nexus for ASEAN countries: Evidence from Method of Moments Quantile Regression. *Renewable Energy*, 164, 956-967. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.128>
- Azam, A., Rafiq, M., Shafique, M., Zhang, H., & Yuan, J. (2021). Analyzing the effect of natural gas, nuclear energy and renewable energy on GDP and carbon emissions: A multi-variate panel data analysis. *Energy*, 219, 119592. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119592>
- Bilas, V., Bosnjak, M., & Cizmic, T. (2016). Relationship between research and development and economic growth in the EU countries. *Economic and social development: Book of proceedings*, 223.
- Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1980). The Lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics. *The Review of Economic Studies*, 47(1), 239-253.
- Chen, C., Pinar, M., & Stengos, T. (2020). Renewable energy consumption and economic growth nexus: Evidence from a threshold model. *Energy Policy*, 139, 111295. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111295>
- Cuervo, M. R. V., & Menéndez, A. J. L. (2006). A multivariate framework for the analysis of the digital divide: Evidence for the European Union-15. *Information & Management*, 43(6), 756-766. <https://doi.org/10.1016/j.im.2006.05.001>
- Dogan, E., Altinoz, B., Madaleno, M., & Taskin, D. (2020). The impact of renewable energy consumption to economic growth: a replication and extension of. *Energy Economics*, 90, 104866. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104866>
- Driscoll, J. C., & Kraay, A. (1998). Spatial correlations in panel data. World Bank Publications.
- Drukker, D. M. (2003). Testing for serial correlation in linear panel-data models. *The stata journal*, 3(2), 168-177.
- Ellabban, O., Abu-Rub, H., & Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 748-764. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.113>
- Fischer, C., & Newell, R. G. (2008). Environmental and technology policies for climate mitigation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 55(2), 142-162. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2007.11.001>
- Gozgor, G. (2018). A new approach to the renewable energy-growth nexus: evidence from the USA. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(17), 16590-16600. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1858-9>
- Gozgor, G., Lau, C. K. M., & Lu, Z. (2018). Energy consumption and economic growth: New evidence from the OECD countries. *Energy*, 153, 27-34. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.158>
- Hasan, I., & Tucci, C. L. (2010). The innovation-economic growth nexus: Global evidence. *Research Policy*, 39(10), 1264-1276. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2010.07.005>
- Hidayat, M., Rangkuty, D. M., & Ferine, K. F. (2024). The influence of natural resources, energy consumption, and renewable energy on economic growth in ASEAN region countries. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 14(3), 332-338. <https://doi.org/10.32479/ijeep.15917>

- Hoechle, D. (2007). Robust standard errors for panel regressions with cross-sectional dependence. *The stata Journal*, 7(3), 281-312.
- Işık, N., & Kılınç, E. C. (2016). İnovasyon-temelli ekonomi: seçilmiş ülkeler üzerine bir uygulama. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 16(1), 13-27. Erişim adresi: <https://izlik.org/JA22WF38ZE>
- Khan, Z., Ali, S., Umar, M., Kirikkaleli, D., & Jiao, Z. (2020). Consumption-based carbon emissions and international trade in G7 countries: the role of environmental innovation and renewable energy. *Science of the Total Environment*, 730, 138945. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138945>
- Koçak, E., & Şarkgüneşi, A. (2017). The renewable energy and economic growth nexus in Black Sea and Balkan countries. *Energy policy*, 100, 51-57. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.10.007>
- Lin, B., & Moubarak, M. (2014). Renewable energy consumption–economic growth nexus for China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 111-117. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.128>
- Maji, I. K., Sulaiman, C., & Abdul-Rahim, A. (2019). Renewable energy consumption and economic growth nexus: A fresh evidence from West Africa. *Energy Reports*, 5, 384-392. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.03.005>
- Maradana, R. P., Pradhan, R. P., Dash, S., Gaurav, K., Jayakumar, M., & Chatterjee, D. (2017). Does innovation promote economic growth? Evidence from European countries. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 6, 1-23. <https://doi.org/10.1186/s13731-016-0061-9>
- Meirun, T., Mihardjo, L. W., Haseeb, M., Khan, S. A. R., & Jermisittiparsert, K. (2021). The dynamics effect of green technology innovation on economic growth and CO<sub>2</sub> emission in Singapore: New evidence from bootstrap ARDL approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 4184-4194. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10760-w>
- Mohamed, M. M. A., Liu, P., & Nie, G. (2022). Causality between technological innovation and economic growth: Evidence from the economies of developing countries. *Sustainability*, 14(6), 3586. <https://doi.org/10.3390/su14063586>
- Pesaran, M. H. (2004). General diagnostic tests for cross section dependence in panels. Cambridge Working Papers. Economics, 1240(1), 1.
- Phiri, C. (2021). Trade openness and economic growth: The Zambian case Bursa Uludag University.
- Rafindadi, A.A., & Ozturk, I. (2017). Impacts of renewable energy consumption on the German economic growth: Evidence from combined cointegration test. *Renewable and sustainable energy reviews*, 75, 1130-1141. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.093>
- Rahman, M. M., & Velayutham, E. (2020). Renewable and non-renewable energy consumption-economic growth nexus: new evidence from South Asia. *Renewable energy*, 147, 399-408. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.007>
- Ratner, S., Salnikov, A.A., Berezin, A., Sergi, B.S., & Sohag, K. (2022). Customer engagement in innovative smart grid deployment projects: evidence from Russia. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(4), 5902-5911. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16095-4>
- Saidi, K., & Omri, A. (2020). The impact of renewable energy on carbon emissions and economic growth in 15 major renewable energy-consuming countries. *Environmental research*, 186, 109567. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109567>
- Shahbaz, M., Raghutla, C., Chittedi, K. R., Jiao, Z., & Vo, X. V. (2020). The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from the renewable energy country attractive index. *Energy*, 207, 118162. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118162>
- Ulku, H. (2004). R&D, innovation, and economic growth: An empirical analysis.
- Ülger, M., Uçar, M., Atamer, M. A., & Apaydın, Ş. (2024). Kentleşme, yenilenebilir enerji ve inovasyon ile ekonomik büyüme ve ekolojik ayak izi arasındaki nedensellik ilişkileri: çok yüksek insani gelişme düzeyindeki ülkeler örneği. *Politik Ekonomik Kuram*, 8(2), 449-462. <https://doi.org/10.30586/pek.1485357>
- Wang, Q., Dong, Z., Li, R., & Wang, L. (2022). Renewable energy and economic growth: New insight from country risks. *Energy*, 238, 122018. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122018>

- Wang, Q., & Wang, L. (2020). Renewable energy consumption and economic growth in OECD countries: A nonlinear panel data analysis. *Energy*, 207, 118200. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118200>
- Wang, R., Mirza, N., Vasbieva, D. G., Abbas, Q., & Xiong, D. (2020). The nexus of carbon emissions, financial development, renewable energy consumption, and technological innovation: what should be the priorities in light of COP 21 Agreements? *Journal of environmental Management*, 271, 111027. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111027>
- Wooldridge, J. M. (2002). *Econometric analysis of cross section and panel data*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press
- Yaqub, M. S., Mehmood, B., Zohaib, M., Muhammad, S., & Bukhari, H. (2015). Is Eva a better performance measure than accounting measures? evidence from Pakistani listed companies. *Science International (Lahore)*, 27(2), 1425-1432.
- Yıldız, G. (2018). Teknolojik inovasyonun ekonomik büyüme üzerindeki etkisi: Türkiye-AB (15) ülkeleri örneği. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 41-58. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.380899>
- You, K., Dal Bianco, S., Lin, Z., & Amankwah-Amoah, J. (2019). Bridging technology divide to improve business environment: Insights from African nations. *Journal of Business Research*, 97, 268-280. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.01.015>
- Zameer, H., Yasmeen, H., Zafar, M. W., Waheed, A., & Sinha, A. (2020). Analyzing the association between innovation, economic growth, and environment: divulging the importance of FDI and trade openness in India. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 29539-29553. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09112-5>
- Zeraibi, A., Balsalobre-Lorente, D., & Shehzad, K. (2020). Examining the asymmetric nexus between energy consumption, technological innovation, and economic growth; does energy consumption and technology boost economic development? *Sustainability*, 12(21), 8867. <https://doi.org/10.3390/su12218867>