

Araştırma Makalesi / Research Article

2005 DÜNYA SOSYAL GELİŞME ZİRVESİ SONRASI YEŞİL İNOVASYONUN CO₂ EMİSYONUNA ETKİSİ: SİSTEM GMM YÖNTEMİ

Hayriye ATİK¹ , Numan KIŞLACIK² , Kevser İNCE³ , Merve ÇELİK⁴ 
Fatih EKMEKÇİ⁵ , Hüseyin Mazharettin DEMİR⁶ 

ÖZET

Ekonomik büyüme ekonomik refahı arttıran en önemli faktörlerden biridir. Bu yüzden ülkeler için ekonomik büyüme oldukça önemli hale gelmektedir. Ancak özellikle sanayi üretimine bağlı olarak artan ekonomik büyüme, doğayı kirletmeye başlayarak iklim değişikliğine neden olmaktadır. İklim değişikliği ile mücadele kapsamında Birleşmiş Milletler öncülüğünde 2005 yılında Dünya Sosyal Gelişme Zirvesi gerçekleştirilmiştir. Bu zirvede sürdürülebilir kalkınma açısından karbon emisyonlarının azaltılması, yenilenebilir enerji kullanımı ve yeşil inovasyon yatırımlarının teşvik edilmesi üzerinde durulmuştur. Bu açıdan inovasyondan ziyade inovasyonun niteliği öne çıkmakta ve yeşil inovasyonun önemi artmaktadır. Çalışmanın amacı, 2005 yılında gerçekleşen Dünya Sosyal Gelişme Zirvesi sonrasında ortaya çıkan sürdürülebilir kalkınma hedeflerinden olan CO₂ emisyonunun azaltılmasına yönelik yeşil inovasyonun etkisini incelemektir. Çalışmada, 2005-2020 dönemi ele alınarak 32 ülke için yeşil inovasyonun CO₂ emisyonuna etkisi Sistem GMM yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre kişi başına düşen GSYİH arttıkça CO₂ emisyonu artmakta buna karşın yeşil inovasyon ve yenilenebilir enerji tüketimi arttıkça CO₂ emisyonu azalmaktadır. Analiz sonuçlarının gösterdiği üzere, yeşil inovasyonların çevre üzerindeki olumlu etkilerini arttırmak ve tahribatı minimum seviyelere indirmek için dünya ülkelerinin yeşil inovasyonları desteklemesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: CO₂ Emisyonu, Yeşil İnovasyon, Sistem GMM, Yenilenebilir Enerji, Çevresel Patentler

JEL Sınıflandırması: Q01, Q55, O31

¹ Prof. Dr., Erciyes Üniversitesi İİBF, Kayseri, Türkiye, atik@erciyes.edu.tr

² Arş. Gör., Erciyes Üniversitesi İİBF, Kayseri, Türkiye, numankislacik@erciyes.edu.tr

³ Doktora Öğr., Erciyes Üniversitesi İİBF, Kayseri, Türkiye, kevserince1@gmail.com

⁴ Arş. Gör., Kilis 7 Aralık Üniversitesi İİBF, Kilis, Türkiye, merve.celik@kilis.edu.tr

⁵ Doktora Öğr., Erciyes Üniversitesi İİBF, Kayseri, Türkiye, fthekmekci@yaani.com

⁶ Öğr. Gör., Bozok Üniversitesi Sağlık Meslek Yüksekokulu, Yozgat, Türkiye, huseyin.demir@bozok.edu.tr

Bu makaleye yapılacak atıf: Atik, H., Kışlacık, N., İnce, K., Çelik, M., Ekmekçi, F., Demir, H. M. (2026). 2005 Dünya sosyal gelişme zirvesi sonrası yeşil inovasyonun CO₂ emisyonuna etkisi: Sistem GMM yöntemi. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 22(1), 156-177. <https://doi.org/10.17130/ijmneb.1626328>

THE IMPACT OF GREEN INNOVATION ON CO₂ EMISSIONS AFTER THE 2005 WORLD SUMMIT ON SOCIAL DEVELOPMENT: THE SYSTEM GMM METHOD

ABSTRACT

Economic growth is one of the most important factors in increasing economic prosperity.. Therefore, it becomes very important for countries. However, economic growth, especially driven by industrial production, starts to pollute nature and causes climate change. In 2005, the United Nations led the World Summit on Social Development to address climate change. The summit focused on reducing carbon emissions, using renewable energy and promoting investments in green innovation. In literature, there isn't agreement on the relationship between technological development and CO₂ emissions. So, the quality of technological development becomes important. As a result, the importance of green innovation increases. The aim of this study is to examine the effect of green innovation on reducing CO₂ emissions, which is one of the sustainable development goals that emerged after the 2005 Social Development. This study analyzes the effect of green innovation on CO₂ emissions for 32 countries from 2005 to 2020 by using the System GMM method. The results show that, as GDP increases, CO₂ emissions also increase. However, as green innovation and renewable energy consumption increase, CO₂ emissions decrease. These findings suggest that countries should support green innovations to enhance their positive environmental effects and minimize ecological damage.

Keywords: CO₂ Emission, Green Innovation, System GMM, Renewable Energy, Environmental Patents

JEL Classification Codes: Q01, Q55, O31

EXTENDED SUMMARY

Introduction

The World Summit on Social Development, organized in 2005 under the leadership of the United Nations, aimed to address climate change. After the summit, countries pledged to cooperate in areas such as peace, security, sustainable development, and human rights. Also, this summit emphasized the reduction of carbon emissions, the use of renewable energy.

This study aims to examine the effect of green innovation on the reduction of CO₂ emissions. Also, the effect of growth and renewable energy on CO₂ emission is analyzed in the study and the importance of green innovation rather than technological innovation is tried to be emphasised. The GDP per capita variable is used to reach the relationship between growth and CO₂. Also, the renewable energy consumption variable included in the model. Finally, green innovation patent numbers were used to investigate the impact of green innovation development on CO₂. The study aims to contribute to the literature by drawing attention to the importance of green innovation rather than innovation by examining the impact of innovations on CO₂ emissions after the World Summit on Social Development in 2005.

Method

In the model, carbon emission per capita is used as the dependent variable, while GDP per capita, green innovation, and renewable energy production serve as independent variables.

The logarithms of all variables are taken. The study uses annual data from 2005 to 2020, covering a sample of 32 countries.

In finite samples, the lags of the series are characterized as weak instruments for first differences, which weakens the forecasting power of difference GMM models and leads to biased results. To overcome this problem, Arellano and Bover (1995) and Blundell and Bond (1998) developed the system GMM method. They developed the model by assuming that the first difference of the system GMM instrumental variables is uncorrelated with fixed effects. In the System GMM approach, the difference GMM allows the first difference lagged levels of the dependent variable to be used as instrumental variables, as well as the lagged differences of the dependent variable in the level equations to be used as instrumental variables.

Findings

The results show that a 1% increase in the GDP per capita will increase the CO₂ emissions per capita by approximately 0.09%. A 1% increase in the patents related to green technology variable will decrease CO₂ emissions per capita by approximately 0.30%. A 1% increase in the renewable energy consumption variable will decrease CO₂ emissions per capita by approximately 0.34%.

Arellano-Bond autocorrelation test show that AR(1) negative autocorrelation is found, while AR(2) autocorrelation isn't found. For the validity of test, the AR(1) autocorrelation result should be negative and significant, while the AR(2) autocorrelation result should be insignificant. Therefore, the autocorrelation results are consistent with the theory.

The significance of the coefficients of the model established for GMM analysis as a whole is analyzed by the Wald X2 test. According to Wald test, it is concluded that the explanatory power of the independent variables for the dependent variable is significant. The Wald test results and GMM analysis results are in same direction. Both analyses show that increases in GDP per capita affect CO₂ emission positively, while increases in renewable energy consumption and patents related to green technology affect CO₂ emission negatively.

Conclusion and Discussion

The analysis shows that, to increase the positive effects of green innovations on the environment and to minimize ecological damage, the countries of the world should embrace and support such innovations. Governments should support green technology and sustainable energy policies and increase R&D investments. Universities, research centers, technology centers, and the private sector should be encouraged in green innovation. These incentives should include financial incentives such as tax reductions and subsidies as well as renewable energy technologies and green patents. Each country needs to set national targets to increase the use of renewable energy and to develop action plans and strategies that can be implemented in a disciplined and detailed manner in line with these targets. In addition, the development of renewable energy infrastructure will make energy storage and energy distribution more effective and will contribute positively to the use of renewable energy. Carbon emissions are a global issue, and international cooperation is therefore critical for effectively reducing worldwide CO₂ emissions.

1. Giriş

İktisat literatüründe refahı arttıran önemli unsurlardan biri olarak büyüme görülmektedir. Sanayi devrimi, üretimi ve tüketimi arttırarak ekonomik büyümeye neden olmuştur. Ancak ekonomik büyüme özellikle Sanayi Devrimi ile hız kazandıktan sonra doğayı kirletmeye başlayarak iklim değişikliğine neden olmuştur. İklim değişikliği ile mücadele için Birleşmiş Milletler öncülüğünde 2005 yılında Dünya Sosyal Gelişme Zirvesi gerçekleştirilmiştir. Bu zirvede, sosyal politikaların geliştirilmesi ve sosyal eşitsizliklerin azaltılması amaçlanmıştır. Zirvenin sonunda ülkeler tarafından barış, güvenlik, sürdürülebilir kalkınma ve insan hakları alanlarında daha etkili iş birliği yapma ve bu alanlara yönelik kararları hayata geçirme taahhüdü verilmiştir. Aynı zamanda bu zirvede sürdürülebilir kalkınma açısından karbon emisyonlarının azaltılması, yenilenebilir enerji kullanımı ve yeşil inovasyon yatırımlarının teşvik edilmesi üzerinde durulmuştur.

Özellikle 21. yüzyılda, ülkelerin gelişmesi ve kalkınması için enerji ihtiyacı artmıştır. Ancak bu enerji ihtiyacını karşılanırken çevresel sorunlara yol açmamak ve sürdürülebilirliği sağlamak, toplumların karşı karşıya olduğu en önemli meseleler arasında yer almaktadır (Mensah vd., 2018). En yaygın enerji üretimi kaynaklarından biri olan fosil yakıtların kullanımı sonucu karbon emisyonları hızla artmaktadır (Solarin vd., 2018). Karbon emisyonları, küresel emisyonların tahminen %75'ini oluşturmaktadır (Ganda, 2019). Ayrıca 1750 yılından bu yana insan kaynaklı karbon emisyonlarının yarısının son 40 yılda meydana geldiği vurgulanmaktadır (OECD, 2016). Karbon emisyonlarının artması ciddi çevresel sorunlara yol açmakta olup bu sorunun çözümünde yenilenebilir enerji kaynakları kilit rol oynamaktadır (Gross vd., 2003).

Teknolojik gelişme ile karbon emisyonları arasındaki karmaşık ilişki, insanlık tarihinin en önemli sınavlarından birini oluşturmaktadır. Sanayi Devrimi'nden bu yana teknolojik gelişmeler, insanlık tarihinin seyrini değiştiren pek çok yeniliğe öncülük etmiştir (Li vd., 2022). Ancak bu ilerlemenin çevresel maliyetleri, özellikle karbon emisyonlarının artışıyla birlikte daha görünür hale gelmiştir (Baskaran vd., 2024). Fosil yakıtlara dayalı enerji sistemleri, ulaşım ve sanayi üretimi, modern dünyanın vazgeçilmez unsurları haline gelirken, küresel iklim krizinin temelini oluşturmıştır (Liu vd., 2022). Bununla birlikte, teknolojik gelişim, yalnızca sorunun kaynağı değil, aynı zamanda çözümün anahtarı olarak da karşımıza çıkmaktadır (Dong vd., 2022). Teknolojinin karbon emisyonlarıyla mücadelesinde en kritik alanlardan biri, yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesidir (Dinda, 2018).

Teknolojik gelişim ile CO₂ emisyonu arasındaki ilişkiyi belirlemeye yönelik yapılan çalışmalarda farklı sonuçlara ulaşılmıştır. Teknolojik gelişim ile CO₂ emisyonu arasında negatif ilişkiyi saptayan çalışmaların (Yi ve Geetha (2017); Long vd., (2018); Khan vd. (2020)) yanında pozitif ilişkiyi ortaya koyan çalışmalar da vardır (Adebayo vd., (2022); Adebayo & Kirikkaleli (2021)). Teknolojik gelişim ile CO₂ emisyonu arasında pozitif ilişkiye ulaşan çalışmalarda bu ilişkinin nedenini teknolojik inovasyonların çevreye yararlı nitelikte olmadığı veya teknolojik inovasyonda çevre faktörünün görmezden gelindiğine vurgu yapılmıştır. Teknolojik gelişim ile CO₂ emisyonu arasındaki negatif ilişkinin gerekçeleri ise teknolojik gelişmelerin çevreci niteliği olmasına ve ülkelerde yeşil teknolojinin teşvik edilmesi ile ilişkilendirilmiştir. Bu çalışmalardan da yola çıkarak teknolojik gelişim ile CO₂ emisyonu arasındaki ilişkinin yönüne yönelik görüş birliği yoktur. Bu açıdan teknolojik gelişmeden ziyade bu gelişmenin çevresel nitelikte olup olmadığı öne çıkmaktadır. Böylece yeşil teknolojik gelişimin önemli

artmaktadır. Temiz enerji inovasyonu, 2015 yılında Paris'te gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı'nda (COP21) öne çıkarılmıştır. Bu konferansta ülkeler, çevresel bozulmayı önlemek adına yeşil araştırma ve yenilik projelerinde iş birliği yapacağını altını çizmiştir.

İklim değişikliği, ekonomilerin büyürken çevreye zarar vermeden büyümesini gerektirmektedir. Bu açıdan büyümeye yol açan teknolojik gelişim düşük CO₂ emisyonuna neden olmalıdır. Sürdürülebilir teknolojik gelişme ile düşük karbon emisyonlu büyümeyi sağlayan yeşil inovasyon hem çevre kirliliğini azaltmak adına hem de kalkınmayı sağlaması açısından önemli görülmektedir. Çevre sorunları içerisinde önemli paya sahip olan yüksek karbon emisyonlarını azaltmak için çalışmalar yapılmalıdır (Danish & Ulucak, 2021). Bu nedenle karbon emisyonlarını azaltmak ve yeşil ekonomilerin ortaya çıkmasını teşvik etmek için inovasyon ve teknolojinin iyileştirilmesi ile sürdürülebilir teknoloji hayati önem taşımaktadır. Böylelikle, inovasyon ve daha temiz enerjinin uygulanmasıyla, fosil yakıt bağımlılığının azaltılmasına bağlı olarak karbon emisyonlarının azalması sağlanabilmektedir (Balsalobre-Lorente vd., 2018).

Patent sayıları, inovasyon faaliyetlerinin çıktısını ölçmek için yaygın olarak kullanılmakta olup enerji teknolojisine yönelik patentler, enerji teknolojisi yenilik faaliyetlerinin performansını ve gelişimini doğrudan yansıtmaktadır (Wang vd., 2012). Enerji ve çevre sektörlerinde patent sayılarının artması, enerji teknolojisi inovasyon yeteneğinin gelişmesi anlamına gelmektedir (Liu & Sun, 2008).

Bu çalışmanın amacı, 2005 yılında gerçekleşen Dünya Sosyal Gelişme Zirvesi sonrasında ortaya çıkan sürdürülebilir kalkınma hedeflerinden olan CO₂ emisyonunun azaltılmasında yeşil inovasyonun etkisinin araştırılmasıdır. Ayrıca çalışmada büyümenin ve yenilenebilir enerjinin de CO₂ emisyonu üzerine etkisi incelenmektedir. Bu çalışmada, 2005-2020 dönemi ele alınarak farklı gelişmişlik seviyelerine sahip 32 ülke için Sistem GMM (System Generalized Method of Moments) yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada ek olarak teknolojik inovasyondan ziyade yeşil inovasyonun önemine dikkat çekilmeye çalışılmış ve bu doğrultuda yeşil inovasyon patent sayıları değişkeni modele eklenmiştir. Ayrıca çalışmada ekonomik büyüme ile CO₂ ilişkisine ulaşmak için kişi başına düşen GSYİH bağımsız değişken olarak modele dahil edilmiştir. Son olarak, önemi günden güne artan yenilenebilir enerjinin rolünü temsil etmek için yenilenebilir enerji tüketimi modele dahil edilmiştir.

Çalışmada 2005 yılında gerçekleştirilen Dünya Sosyal Gelişme Zirvesi'nde alınan kararlar sonrasında, inovasyonların CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi incelenerek, genel inovasyondan ziyade yeşil inovasyonun önemine dikkat çekilmesi ve bu yolla literatüre katkı sağlanması amaçlanmaktadır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde belirli bölge veya ülke grupları örneklem olarak kullanıldığı görülmektedir. Ancak CO₂ emisyonunun artması ülke veya bölge bazında değil dünya çapında bir sorun oluşturduğu için çalışmada tüm kıtalardan ülkeler analize dahil edilerek örnek alanı genişletilmiş ve böylece literatüre katkı sağlamaya çalışılmıştır. Son olarak analizde kullanılan Sistem GMM yöntemi analizlerde çok fazla kullanılmadığı için bu yöntem kullanılarak literatüre katkıda bulunmak amaçlanmıştır. Literatüre sağlanması hedeflenen bu katkının yanında sistem GMM yönteminin tercih edilmesinin bir diğer nedeni sağladığı esnekliklerdir. Yöntemin en büyük avantajlarından birisi, içsel değişkenlerden kaynaklı olarak ortaya çıkan yanlılığı dikkate alarak otokorelasyona karşı güçlü standart hatalar üretmesidir (Dörtok & Aksoy, 2018). Yöntemin sağladığı bir diğer avantaj ise

hem sabit varyans hem de değişen varyans koşulları altında kullanılmaya müsait bir yöntem olmasıdır (Hüsniüoğlu, 2017).

Çalışma dört bölümden oluşacak şekilde tasarlanmıştır. İlk bölümünde teorik altyapı ve literatüre yer verilmekte, ikinci bölümde analiz için kullanılan veri ve kullanılan yöntem yer almaktadır. Çalışmanın üçüncü bölümünde yeşil inovasyonun, büyümenin ve yenilenebilir enerjinin CO₂ üzerindeki etkisinin sistem GMM yöntemi ile analizine yer verilmektedir. Çalışma sonuç ve politika önerileri ile tamamlanmaktadır.

2. Teorik Altyapı ve Literatür Taraması

Günümüzde, çevresel sürdürülebilirlik ile ekonomik büyüme arasında denge sağlamak, küresel politika yapımcılar ve araştırmacılar için büyük bir öncelik haline gelmiştir. Bu bağlamda, teknolojik gelişmeler ile karbon emisyonları arasındaki ilişki, çevre ekonomisi literatüründe önemli bir yer tutmaktadır. İnovasyon ve teknolojiye ilerlemeler, üretim süreçlerini daha verimli hale getirerek karbon emisyonlarını azaltmakta ve düşük karbonlu yeşil ekonominin gelişimini desteklemektedir (Ganda, 2019). Bu durum, yeşil inovasyon kavramının önemini artırmaktadır. Yeşil inovasyon, çevresel sürdürülebilirliği sağlamak ve çevre yönetimi performansını iyileştirmek için teknolojik gelişmelerin nasıl kullanılabileceğini gösteren önemli bir yaklaşımdır (Chen vd., 2006). Artan çevre sorunlarını kontrol altına alabilmek için teknolojik gelişme ve inovasyon kritik öneme sahiptir (Danish & Ulucak, 2021). Yeşil inovasyon, bu bağlamda, çevresel ve ekonomik hedeflerin dengelenmesini sağlayan etkili bir araçtır. Bu nedenle, yeşil inovasyonun kamu politikaları ve özel sektör girişimleriyle desteklenmesi, sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasında belirleyici bir rol oynaması beklenmektedir.

Literatürde, yeşil inovasyon ve yenilenebilir enerji kullanımının CO₂ emisyonları ve ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerini inceleyen birçok ampirik çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda yeşil inovasyon genellikle patent sayısı, Ar-Ge harcamaları, yeşil inovasyon fonları gibi göstergelerle temsil edilmektedir. Ayrıca bazı çalışmalar yeşil enerji teknolojilerine yapılan yatırımlar, çevre dostu ürün geliştirme ya da yeşil patentlerin toplam patentler içindeki oranı gibi ölçütleri de kullanmıştır. Bu çalışmalar, teknolojik gelişmelerin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini anlamak için çeşitli analiz yöntemleri kullanmaktadır. En yaygın olarak kullanılan yöntemler arasında ARDL, AMG, CCEMG ve panel veri analizi bulunmaktadır. Mevcut literatürün analizi, bu yöntemlerin sıkça tercih edildiğini ve yeşil inovasyon ile yenilenebilir enerji kullanımının genellikle karbon emisyonlarını azaltıcı etkisi olduğu yönünde bulgular sunduğunu göstermektedir. Ancak bazı çalışmalar, söz konusu etkinin bölgelere, sektörlere veya zaman periyotlarına göre farklılık gösterebileceğini ortaya koymuştur. Bu durum, politika yapım sürecinde daha bölgesel ve sektörel farklılıkları gözeterek stratejilere duyulan ihtiyacı göstermektedir. Literatürün detaylı özeti Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1: Literatür Değerlendirmesi

Yazar(lar)	Ülke/Bölge	Dönem	Yöntem	Temel Bulgular
Sarkodie & Owusu (2021)	IEA ülkeleri	1975–2014	Panel Veri Analizi	Yeşil inovasyon emisyon azaltımı sağlamaktadır.
Li vd. (2022)	Çin	1990–2019	NARDL	Enerji verimliliği ve yeşil inovasyon uzun vadede CO ₂ emisyonlarını azaltmaktadır.
Lin & Ma (2022)	Çin	2006–2017	PLFC Panel Model	Yeşil teknolojik inovasyonun CO ₂ emisyonuna etkisi kentlere göre değişmektedir.
Kuang vd. (2022)	Çin	1990–2018	AMG, CCEMG	Yeşil teknolojik inovasyon ve yenilenebilir enerji uzun vadede CO ₂ emisyonlarını azaltmaktadır.
Obobisa vd. (2022)	Afrika (25 ülke)	2000–2018	AMG, CCEMG	Yeşil inovasyon ve yenilenebilir enerji CO ₂ emisyonlarını düşürmektedir.
Khattak & Ahmad (2022)	OECD	1990–2018	Panel eşbütünleşme	Yeşil inovasyon, pozitif şoklarda CO ₂ emisyonunu azaltırken negatif şokların etkisi yoktur.
Meng vd. (2022)	G7	1994–2019	MMQR	Sermaye, çevre regülasyonları ve yeşil teknolojik inovasyon CO ₂ emisyonları üzerinde azaltıcı etki göstermektedir.
Dong vd. (2022)	Çin	2000–2019	QARDL modeli	Yeşil finans ve yeşil inovasyon, CO ₂ emisyonlarını azaltır. Ekonomik büyüme emisyonları artırır.
Lin & Ullah (2023)	Pakistan	1990–2020	ARDL	Yeşil inovasyon ve büyüme CO ₂ emisyonunu düşürmektedir.
Umar & Safi (2023)	OECD	1990–2020	MMQR	Yeşil finans ve inovasyon yüksek kuantil seviyelerinde CO ₂ emisyonunu düşürmektedir.
Tang vd. (2023)	Çin (şehir ve firma düzeyi)	2007–2019	Panel Sabit Etkiler Modeli	Finansal derinleşme yeşil inovasyonu teşvik ederek CO ₂ salımını azaltmaktadır.
Liu vd. (2023)	Asya ülkeleri	2007–2020	2SLS, GMM	Lojistik performansı ve yeşil inovasyon CO ₂ emisyonlarını negatif etkiler.
Li vd. (2023)	BRI ülkeleri (60 ülke)	2000–2020	CS-ARDL, PMG	Yeşil inovasyon ve yükseköğretim uzun vadede CO ₂ emisyonunu azaltıcı etkisi vardır.
Sahoo vd. (2023)	Gelişmekte olan ülkeler	2000–2018	Driscoll-Kraay, Bootstrap quantile regression	Yeşil inovasyon CO ₂ emisyonunu azaltmaktadır.

Tablo 1. devam

Kılınç & Kılınç (2024)	OECD ülkeleri	1995-2019	Ortalama Grup Tahmincisi	Yeşil inovasyonun enerji verimliliğine pozitif etkisi bulunmaktadır.
Liu & Kang (2024)	Çin	2000-2019	Mekansal Analiz	Yeşil inovasyon, mekansal yayılma etkisiyle CO ₂ emisyonunu azaltmaktadır
Sharif vd. (2024)	ABD	1990-2019	QARDL	Yeşil enerji ve inovasyon CO ₂ emisyonunu düşürerek sürdürülebilirliği artırmaktadır.
Jozwik vd. (2024)	ABD	1990-2019	ARDL ve Toda-Yamamoto Nedensellik Testleri	Yeşil teknolojik inovasyonun CO ₂ emisyonları üzerinde olumsuz etkisi bulunmaktadır.

NARDL: Doğrusal Olmayan Otoregresif Dağıtılmış Gecikme Modeli PLFC Panel Modeli: Birleştirilmiş Ortalama Grup Panel Modeli ARDL: Otoregresif Dağıtılmış Gecikme Modeli AMG: Artırılmış Ortalama Grup Modeli CCEMG: Ortak Korele Etkiler Ortalama Grup Modeli QARDL: Kantil Otoregresif Dağıtılmış Gecikme Modeli MMQR: Moment Eşleştirme Kantil Regresyonu 2SLS: İki Aşamalı En Küçük Kareler GMM: Genelleştirilmiş Moment Yöntemi CS-ARDL: Ortak Stokastik Trendler Otoregresif Dağıtılmış Gecikme Modeli PMG: Panel Ortalama Grup Modeli

Literatür incelendiğinde birçok çalışma, yeşil inovasyonun karbon emisyonlarını azaltmada ve enerji verimliliğini artırmada önemli bir araç olduğunu ortaya koymaktadır. Örneğin, Sarkodie & Owusu (2021) IEA ülkeleri üzerinde yaptıkları analizde, yeşil inovasyonun doğrudan emisyon azaltımına katkı sağladığını ortaya koymuştur. Benzer şekilde, Dong vd. (2022) QARDL modeli ile Çin’de yeşil finans ve yeşil inovasyonun emisyonları azalttığını göstermiştir. Lin & Ullah (2023) Pakistan örneğinde ARDL yöntemiyle bu ilişkinin pozitif olduğunu doğrularken, Tang vd. (2023) finansal derinleşmenin yeşil inovasyon aracılığıyla karbon salımlarını düşürdüğünü belirtmiştir.

Çalışmalar, farklı bölgeler ve ülkeler üzerinde yapılmıştır, bu da sonuçların çeşitliliğine katkıda bulunmaktadır. Çin üzerine yapılan çalışmalar, yeşil teknolojik inovasyonun emisyonları azaltmadaki rolünü çeşitli yöntemlerle doğrulamaktadır. Li vd. (2022) yeşil inovasyonun uzun vadede enerji verimliliği yoluyla CO₂ salımlarını düşürdüğünü gösterirken, Lin & Ma (2022) kent bazında farklı etkilerin varlığına işaret etmektedir. Kuang vd. (2022) ile Liu & Kang (2024) ise mekansal bağımlılık ve yenilenebilir enerji gibi faktörlerin bu ilişkide önemli olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca Meng vd. (2022) tarafından G7 ülkeleri için yapılan MMQR analizinde de yeşil teknolojik inovasyonun ve çevre regülasyonlarının CO₂ emisyonlarını önemli ölçüde azalttığı bulunmuştur.

Literatürdeki araştırmalar incelendiğinde, yeşil inovasyonun doğrudan veya dolaylı olarak çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sunduğunu, özellikle CO₂ emisyonlarının azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması açısından önemli bir politika aracı olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, bazı çalışmalar kentler arası veya ülke grupları arasında etkinin farklılaştığını göstermekte ve bu durum politika yapımcılar açısından daha bölgeye özgü stratejilerin geliştirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

3. Veri ve Yöntem

3.1. Veri

Çalışmada yeşil inovasyonun kişi başına düşen karbon emisyonuna etkisi araştırılmaktadır. Oluşturulan modelde kişi başına düşen karbon emisyonu bağımlı değişken, kişi başına düşen GSYİH, yeşil inovasyon ve yenilenebilir enerji üretimi bağımsız değişkenler olarak kullanılmıştır. Ayrıca kullanılan değişkenlerin ölçüm hatalarını en aza indirmek, değişen varyans sabitleme, oransal ilişkiyi analiz etme gibi amaçlarla logaritması alınmıştır. Çalışmada 2005-2020 dönemi için yıllık veriler kullanılmıştır. 2005 yılında düzenlenen Dünya Sosyal Gelişme Zirvesi'nde sürdürülebilir kalkınma hedefleri belirlendiği için veriler, 2005 yılından başlamaktadır. Çalışmada örneklemini 32 ülke oluşturmaktadır ve bu ülkeler Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2: Çalışmada Kullanılan Ülkeler

ABD	Danimarka	İrlanda	Lüksemburg
Almanya	Estonya	İspanya	Macaristan
Avustralya	Finlandiya	İsveç	Norveç
Avusturya	Fransa	İtalya	Polonya
Belçika	Güney Kore	Japonya	Portekiz
Bulgaristan	Hırvatistan	Kanada	Romanya
Çekya	Hollanda	Letonya	Slovakya
Çin	İngiltere	Litvanya	Yunanistan

Analizde kullanılan ülkeler belirlenirken verilerin eksiksiz olmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca ülkeler belirlenirken gelişmişlik seviyesine göre bir ayrıma gidilmemesine rağmen her gelişmişlik düzeyine göre ülkeler dahil edilmeye çalışılmıştır. Ülkeler belirlenirken coğrafyalarına göre ayırım gözetilmemiştir. Çünkü CO₂ emisyonunun sonuçları ülkelerin gelişme düzeylerine, coğrafyalarına göre belirlenmemesidir. Daha açık bir ifadeyle CO₂ emisyonunun sonuçları bütün ülkeleri etkilediği için ülkeler arasında ayrıma gidilmemiştir. Ancak çalışmaya dahil edilecek ülkeler belirlenirken hem veri ulaşılabilirliği hem de her kıtadan örneklem oluşturacak şekilde seçilmeye çalışılmıştır. Afrika kıtasında yer alan ülkelerde veri kısıtı olduğu için çalışmada kullanılmamıştır. Kullanılan verilere ait tanımlayıcı bilgiler Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3: Verilerin Tanımlanması

Değişken	Kısaltma	Veri Türü	Veri Kaynağı
CO ₂ Emisyonu	LCO2	Fosil yakıtlardan ve endüstriden kaynaklanan kişi başına düşen (CO ₂) emisyonları	Our World in Data
GSYİH	LGDP	2015 Fiyatları ile Kişi Başına Düşen GSYİH	Dünya Bankası
Yeşil İnovasyon Patent Sayısı	LPAT	Yeşil Teknoloji ile İlgili Tüm Alınan Patent Sayıları	OECD
Yenilenebilir Enerji Tüketimi	LRE	Yenilenebilir Enerji Tüketiminin Toplam Enerji Tüketimi İçindeki Payı	Dünya Bankası

Kullanılan değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4: Değişkenlere İlişkin Tanımlayıcı İstatistikler

	LCO2	LGDP	LPAT	LRE
Ortalama	15.894	10.198	6.465	2.633
Medyan	15.906	10.409	6.985	2.692
Maksimum	18.154	11.629	10.194	4.115
Minimum	14.062	8.128	1.851	-0.139
Standart Hata	0.610	0.718	2.200	0.819
Çarpıklık	0.860	-0.361	-0.128	-0.601
Basıklık	6.040	2.344	1.888	3.405
Jarque-Bera	260.403	20.278	27.768	34.333
Olasılık	0.000	0.000	0.000	0.000
Toplam	8138.031	5221.453	3310.176	1348.178
Std. Hat. Toplam	190.484	263.959	2475.427	343.419
Gözlem Sayısı	512	512	512	512

Tablo 4 incelendiğinde yeşil inovasyon patent sayılarının standart sapmasının yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum da diğer değişkenlerle kıyaslandığında yeşil inovasyon patent sayılarının daha istikrarsız olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Jarque-Bera istatistikleri ise serilerin dağılımı ile ilgilidir. İstatistikler incelendiğinde olasılıkların 0.05'ten küçük olduğu görülmektedir. Böylece değişkenlere ait serilerin normal dağılım göstermediği görülmektedir. Basıklık değerinde kritik değer 3'tür. Eğer değişkenlerin basıklık değeri 3'ten büyükse seri sivri görünümündeyken küçük ise seri basıktır. Değişkenler incelendiğinde CO₂ emisyonu ve yenilenebilir enerji tüketimi sivri görünüme sahipken diğer kullanılan değişkenler basıktır. Çarpıklık değerinde kritik değer 0'dir. Eğer seri pozitif katsayıya sahipse serinin sağa, negatif kat-

sayıya sahipse sola çarpık olduğunu gösterir. Çarpıklık değerleri incelendiğinde CO₂ emisyonu serisinin sağa, diğer değişkenlerin ise sola çarpık olduğu görülmektedir.

3.2. Yöntem

Ekonometri biliminin gelişmesiyle yatay kesit ve zaman serisi analizlerinden farklı olarak panel veri analizi geliştirilmiştir. Panel veri analizi, birim ve zaman boyutunu içermesinin yanında serbestlik derecesinin artması ve çoklu bağlantı sorununu en aza indirmektedir. Panel veri analizinde parametreler gözlem sayısının diğer analize göre daha fazla olmasından dolayı daha güvenilirdir. Panel veri analizi aynı zamanda diğer analizlere göre zaman etkilerini, gözlenemeyen heterojenliği ve dışlanmış değişkenleri modele dahil etme imkânı sunması açısından daha geniş, açıklayıcı ve kapsamlı modeller oluşturulmasına imkân vermektedir. Ancak veri toplama açısından panel veri analizi yatay kesit ve zaman serisine göre dezavantajlıdır (Duch, 2008; Hsiao, 2006).

Panel veri analizinde kullanılan en genel yöntem Havuzlanmış En Küçük Kareler Yöntemi (HEKK)'dir. Ancak bu yöntemde hata terimi ile değişkenler arasındaki ilişkinin olması doğru tahminlerin yapılmasını engellemektedir (Wooldridge, 2002). Ayrıca diğer panel veri analizlerinde kullanılan Genelleştirilmiş en küçük kareler (GLS) ve en küçük kareler (OLS) yöntemleri değişkenler arasında bağımlılığın yarattığı içsellik problemini göz ardı etmektedir. Bu sorunlar nedeniyle panel veri analizi için statik ve dinamik modeller geliştirilmiştir. Statik modellerde bağımlı değişkeni açıklamada kullanılan değişkenlerin gecikmeli değerleri göz ardı edilmektedir (Roodman, 2009; Akbakay, 2023). Dinamik modellerde ise gecikmeli değerler modellerde yer alır. Bu analizin dinamik olarak nitelendirilmesi gecikmeli değerlerin modellerde yer almasıdır. Böylece dinamik model zaman serisi ve yatay kesit yöntemlerinin ortaya koyamadığı iktisadi dinamikleri ortaya koymaktadır (Bond, 2002; Ağazade vd., 2017). Dinamik modeller denklem 1'deki gibi tahmin edilmektedir (Akbakay, 2023; Çuhadar, 2020).

$$Y_{i,t} = \varphi Y_{i,t-1} + \beta X_i + \varepsilon_{i,t}$$
$$\varepsilon_{i,t} = \theta_i + \mu_{i,t} \quad (1)$$

Denklem 1'de i birimi, t zamanı ifade etmektedir. $Y_{i,t}$, bağımlı değişkeni, $Y_{i,t-1}$ bağımlı değişkenin bir gecikmeli değerini, X_i bağımsız değişkeni son olarak $\varepsilon_{i,t}$ hata terimini temsil etmektedir. Ayrıca θ_i , sabit etkileri temsil ederken μ_i şokları temsil eder. Dinamik panellerde $\varepsilon_{i,t}$ ile $Y_{i,t-1}$ arasında korelasyon olması durumunda içsellik sorunu ortaya çıkmaktadır.

Hata terimi ile bağımlı değişkenin gecikmeli değeri arasında korelasyon olması nedeniyle ortaya çıkan içsellik sorununu çözmek için GMM (Generalized method of moments) yöntemi öne çıkmaktadır. GMM yöntemi değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için gerekli olan araç değişkenlere yönelik basit varsayımlar önerdiği için genellikle tercih edilmektedir (Soto, 2009). GMM modelinin uygulanması için moment koşullarının parametrelerden daha az olması gerekmektedir. Eğer daha fazla ise denklem, sistemi fazla tanımakta ve denklem çözülememektedir (Muhammad & Khan, 2019). GMM modeli olarak Hansen 1982 yılında geliştirmiştir. Daha sonra Anderson ve Hsiao (1981 ve 1982) tarafından panel veri analizine uygun şekilde geliştirilmiştir (Ağazade vd., 2017). Anderson ve Hsiao modelinde araç değişkenle açıklayıcı değişkenler korelasyonlu olması gerekirken hata terimi ile araç değişkenin korelas-

yonlu olmaması gerekmektedir. Ancak bu yöntem bütün moment koşullarının sağlanamaması ve hata teriminin yapısının dikkate alınmaması nedeniyle tahminlerde sorun çıkmaktadır. Arellano & Bond (1991) ise Anderson & Hsiao modelinde sapmaya neden olan araç değişkenlerinin kullanılmaması ve tüm gecikmeli değişkenlerin araç değişkeni olarak kullanılmasını önererek GMM modelini geliştirmiştir (Küçük Karaman, 2023; Dökmen, 2012). Aynı zamanda Arellano & Bond (1991) modelinin panel veri modellerindeki içsellik sorununu çözdüğü kabul edilmektedir (Cheng & Bang, 2021). Böylece Arellano & Bond (1991), GMM yönteminin daha iyi ve daha tatmin edici sonuçlar ortaya koyacağını öne sürmektedir (Khan & Jalil, 2020). Ancak GMM yönteminin de bazı kısıtları vardır. GMM yöntemi zaman serisi boyunun yatay kesit boyutundan küçük olduğunda kullanılabilir. Diğer bir değişle yatay kesit boyutunun zaman boyutundan büyük olduğunda ($N > T$) GMM yöntemi tutarlı tahminler ortaya koymaktadır (Abd Rahman vd., 2022; Arı, 2024). Bu kısıtın yanında GMM modeli değişen varyans ve otokorelasyon olduğu, açıklayıcı değişkenlerin dışsal olmadığı ve doğrusal ilişkinin olduğu durumlarda uygulanabilir (Roodman, 2009). Arellano & Bond (1991) GMM modeli aynı zamanda Fark GMM olarak da bilinmektedir. Bunun nedeni bağımsız değişkenlerinin gecikmeli değerlerinin modele dahil edilmesinin yanında spesifik etki bileşenlerini gidermek amacıyla değişkenlerin birinci farklarını ele almasıdır (Küçük Karaman, 2023). Fark alınmış model, denklem 2’de gösterilmektedir.

$$Y_{i,t} - Y_{i,t-1} = \delta(Y_{i,t-1} - Y_{i,t-2}) + \sigma\Delta X_{i,t} + \Delta\epsilon_{i,t} \quad (2)$$

Arellano & Bond (1991), eğer dinamik panel analizinde $Y_{i,t}$ değişkeninin gecikmesi ile $\epsilon_{i,t}$ hata terimi arasında zayıf ilişkinin olduğu durumlarda ilave araçların kullanılacağını öne sürmektedir (Baltagi, 2005).

Sonlu örneklemelerde, serilerin gecikmeleri birinci farklar için zayıf araçlar olarak nitelendirilmesi nedeniyle fark GMM modellerinin tahmin gücü zayıflamakta ve sapmalı sonuçlara neden olmaktadır (Bond vd., 2001). Bu sorunu ortadan kaldırmak için Arellano & Bover (1995) ile Blundell & Bond (1998) sistem GMM yöntemini geliştirmiştir. Sistem GMM’de araç değişkenlerin birinci farkının sabit etkilerle ilişkisiz olduğu varsayılmaktadır. Sistem GMM yaklaşımında, fark GMM kullanılan bağımlı değişkenin birinci fark gecikmeli düzeylerini araç değişken olarak kullanılmasında yanında yine bağımlı değişkenin düzey denklemlerde gecikmeli farklarının araç değişkeni olarak kullanılmasına fırsat tanımaktadır. Bu açıdan bakıldığında Sistem GMM, fark yaklaşımı ile seviye yaklaşımının birleştirilmesidir. Aynı zamanda Sistem GMM, fark GMM’e göre daha az sapmalı ve daha tutarlı sonuçlar vermektedir (Akbakay, 2023; Ateş & Şanlısoy, 2022).

GMM modellerinin güvenilirliğini test etmek için 3 test yapılmaktadır. Bunlardan ilki modelin anlamlılığını sıyan Wald Chi testidir. İkinci olarak modelde aşırı belirleme kısıtının olup olmadığını test etmek amacıyla Sargan testi uygulanmaktadır. Sargan testi diğer bir değişle modelde kullanılan değişkenlerin gereçli olup olmadığının sıyanmasıdır. Son olarak otokorelasyon testi için AR (1) ve AR (2) testleri yapılır (Ateş & Şanlısoy, 2022; Akyol & Mete, 2021; Lin & Zhu, 2019).

Çalışmada kullanılacak sistem GMM modeli, Omri & Hadj (2020) ile Ganda (2019) çalışmalarından yararlanılarak denklem 3'teki şekilde oluşturulmuştur.

$$LCO2PC_{i,t} = \alpha_t + \beta LCO2PC_{i,t-1} + \theta LGDP_{i,t} + \vartheta LPAT_{i,t} + \varphi LRE_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

Denklem 3'te logaritmik olarak $LCO2PC$ kişi başına düşen karbon emisyonunu, $\beta LCO2PC_{i,t-1}$ kişi başına düşen karbon emisyonun gecikmeli değerini, $LGDP$ kişi başına düşen GSYİH'ı, $LPAT$ yeşil inovasyonu, LRE yenilenebilir enerji üretimini temsil etmektedir. Ayrıca denklem 3'te bulunan α_t ve $\varepsilon_{i,t}$ değerleri sırasıyla sabiti ve hata terimini temsil etmektedir. Son olarak denklem 3'te β , θ , ϑ ve φ değerleri önünde oldukları değişkenlerin, bağımlı değişken olan kişi başına düşen karbon emisyonunu ne yönde ve ne kadar etkilediğini göstermektedir.

4. Uygulama Sonuçları

Ekonomik büyümenin, yenilenebilir enerji tüketimin ve yeşil inovasyonun CO_2 emisyonu üzerindeki etkisi, seçili ülke grubu için sistem GMM analiz yöntemiyle araştırılmıştır. Bağımlı değişkenin kişi başına düşen CO_2 emisyonu ve diğer değişkenlerin ise bağımsız değişken olarak yer aldığı modelin sistem GMM analiz sonuçları Tablo 5'te yer almaktadır.

Tablo 5: Sistem GMM Analiz Sonuçları

	Katsayılar	Standart Hata	t-İstatistik Değeri	Olasılık
lco2(-1)	0.697	0.014	48.548	0.000***
lgdp	0.086	0.045	1.884	0.060*
lpat	-0.296	0.024	-12.017	0.000***
lre	-0.340	0.026	-12.930	0.000***
Sargan Testi			31.049 (0.187)	
AR(1)			-3.139 (0.001) ***	
AR(2)			-1.573 (0.142)	

Not: *, **, *** sırasıyla 10%, 5% ve 1% anlamlılık düzeyini ifade etmektedir. İstatistiksel testlerin olasılık değerleri parantez içerisinde verilmiştir.

Sistem GMM analiz sonuçlarına göre CO_2 emisyonunun önceki dönem katsayısı %1'lik anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Sonuçlara göre CO_2 emisyonunda bir dönem önce yaşanan %1'lik artış cari CO_2 emisyonunu yaklaşık %0,7 oranında artıracaktır. Bu sonuçlara göre incelenen ülkelerde CO_2 emisyonunun kümülatif bir artış sergilediği söylenebilir. Geçmiş dönem CO_2 emisyonlarının cari dönem CO_2 emisyonlarını artırdığına dair literatürde birçok çalışma mevcuttur. Fatima vd. (2022), Khan vd. (2021), Liu vd. (2023), Suproń & Myszczyzn'in (2024) çalışmaları örnek olarak verilebilir.

Sistem GMM analiz sonuçlarına göre kişi başına düşen GSYİH değişkeninin katsayısı %10 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Kişi başına düşen GSYİH değişkeninde yaşanacak %1'lik artış kişi başına CO₂ emisyonu değişkenini yaklaşık %0,09 oranında arttıracaktır. Kısaca ekonomik büyümede meydana gelecek artışlar CO₂ emisyonunu artırmaktadır. Literatürde ekonomik büyüme ve CO₂ emisyonu arasında pozitif ilişkinin var olduğu sonucuna ulaşan birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalara Akalin & Erdogan (2021), Fatima vd. (2022), Karaaslan & Çamkaya (2022), Karedla vd. (2021), Patel & Mehta (2023), Raihan vd., (2024), Raza & Tang'ın (2024) çalışmaları örnek verilebilir.

Yeşil teknoloji ile ilgili alınan patent sayıları değişkeni %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Yeşil teknoloji ile ilgili alınan patent sayıları değişkeninde yaşanacak %1'lik artış kişi başına CO₂ emisyonu değişkeninde yaklaşık %0,30 azalma meydana getirecektir. Kısaca yeşil inovasyonda meydana gelecek artışlar CO₂ emisyonunda azalışa yol açacaktır. Yeşil inovasyon ve CO₂ emisyonu arasında bulunan negatif ilişki Sarkodie & Owusu (2021), Khattak & Ahmad (2022), Kuang vd. (2022), Li vd. (2022), Obobisa vd. (2022), Lin ve Ullah (2023), Umar & Safi (2023), Li vd. (2023), Sahoo vd. (2023), Sharif vd. (2024), Liu & Kang (2024), Jozwik vd. (2024), çalışmalarının sonuçlarıyla paralellik göstermektedir.

Yenilenebilir enerji tüketimi değişkeni %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Yenilenebilir enerji tüketimi değişkeninde yaşanacak %1'lik artış kişi başına CO₂ emisyonu değişkenini yaklaşık %0,34 azaltacaktır. Yenilenebilir enerji tüketimi ve CO₂ emisyonu arasında negatif yönlü bir ilişki vardır. Adebayo vd. (2022), Akalin & Erdogan (2021), Kuang vd. (2022), Meng vd. (2022), Alam & Hossain (2024), Çabaş (2024), Işık vd. (2024), Javed vd. (2023), Ozkan & arkadaşlarının (2024) çalışmalarında yenilenebilir enerji tüketimi artışlarının CO₂ emisyonunu azaltacağı sonucuna ulaşmışlardır.

Arellano-Bond Oto-Korelasyon testi sonucuna göre birinci dereceden (AR(1)) negatif otokorelasyonun varlığı bulunurken ikinci dereceden (AR(2)) otokorelasyonun varlığı bulunmamıştır. Birinci dereceden otokorelasyonun varlığına önem gösterilmemesine rağmen ikinci dereceden otokorelasyonun bulunmaması önemlidir (Arellano & Bond, 1991). AR(2) otokorelasyon sonucunun anlamsız olması yani ikinci dereceden otokorelasyonun bulunmaması modelin güvenilirliği için gereklidir (Akyol & Mete, 2021; Özcan & Arı, 2010; Topal & Hayaloğlu, 2017). Arellano & Bond (1991) katsayıların tutarlı ve yansız tahmin sonuçlarını vermek için sistem GMM analizinde içten gelen değişkenlerin modele t-2 ve önceki dönemlerine ait değerlerin katkısının varlığı düşünülerek kullanılmaktadır. Bu sebepten dolayı farklı hale getirilmiş eşitliğin otokorelasyonunun ikinci ve daha yüksek derecelerde olmaması gerekir. AR(1) otokorelasyon test sonucunun anlamlı ve negatif olması, AR(2) otokorelasyon test sonucunun ise anlamsız çıkması beklenmektedir (Özer & Özer, 2014; Roodman, 2009). Bu sebeple otokorelasyon sonuçlarının teori ile uyumludur. Sargan testi sonuçlarına göre tahminde aşırı tanımlama kısıtlar geçerlidir. Kısaca araç değişkenlerin geçerli olduğu söylenebilir.

Sistem GMM analizi için kurulan modelin bir bütün olarak katsayılarının anlamlılığı Wald X² testi ile analiz edilmektedir. C(2), kişi başına düşen GSYİH; C(3), yeşil teknoloji ile ilgili patentler; C(4), yenilenebilir enerji tüketimi değişkenini temsil etmektedir. Wald testinin Sıfır (H₀) hipotezi, anakütle katsayılarının test istatistiğinin olasılık değerine göre sıfır olduğunu içerir (Yamak & Akçoraoğlu, 2023). Wald testi sonuçlarına göre Sıfır hipotezi %1 anlamlılık düzeyinde reddedilebilir. Dolayısıyla bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama

gücünün anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Değişkenlerin Wald testi sonucu sistem GMM analiz sonuçları ile paralellik göstermektedir. Her iki analiz sonucuna göre kişi başına düşen GSYİH’de meydana gelecek artışlar CO₂ emisyonunu pozitif yönde etkilerken yenilenebilir enerji tüketimi ve yeşil teknoloji ile ilgili patentlerde meydana gelecek artışlar CO₂ emisyonunu negatif yönde etkilemektedir.

Tablo 6: Wald Testi Sonuçları

Test İstatistikleri	Değer	df	Olasılık
F-İstatistiği	144.415	3.412	0.000***
Chi-Square	144.415	3	0.000***

Sıfır Hipotezi: C(2)=0, C(3)=0, C(4)=0

Sıfır Hipotezi Özeti	Değer	Standart Hata
C(2)	0.086	0.045
C(3)	-0.296	0.024
C(4)	-0.340	0.026

Not: ***, 1% anlamlılık düzeyini ifade etmektedir.

5. Sonuç

Çağımızda hızla gelişen teknoloji, iletişim ve ulaşım gibi sektörler, uluslararası rekabetin artmasına neden olmuştur. Ülkeler, rekabet avantajı elde etmek için ekonomik kalkınmaya daha fazla önem vermekte ve hem ekonomik büyümeyi hem de refah düzeyini korumayı amaçlamaktadır. Bu amaçlar doğrultusunda doğal kaynaklar yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Ancak bu yoğun kullanım, çevreye büyük zararlar vermekte ve çeşitli sorunların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Çevre üzerindeki bu baskı; karbon emisyonu başta olmak üzere pek çok sera gazı salınımı, canlı türlerinin azalması, büyük buz kütlelerinin erimesi ve iklim değişikliği gibi ciddi sorunları beraberinde getirmiştir. Bu sorunlara ek olarak dünyadaki doğal kaynakların giderek azalması, ülkelerin çevre sorunlarına karşı farkındalığını artırma gerekliliğini göstermektedir. Bu farkındalık, mevcut teknolojinin çevre tahribatını durdurmak veya azaltmak için kullanılmasına işaret etmektedir. İşte bu noktada, yeşil inovasyon kavramı ortaya çıkmıştır. Yeşil inovasyon, üretim ve hizmet süreçlerinin çevre dostu bir teknolojiyle gerçekleştirilmesini ifade etmektedir. Gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakmak için yeşil inovasyon ve sürdürülebilir kalkınma kavramları oldukça önemli hale gelmiştir.

14-16 Eylül tarihlerinde New York’ta, Birleşmiş Milletler Genel Merkezi’nde gerçekleşen 2005 Dünya Zirvesi’nde yeşil inovasyon ve sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasına yönelik kararlılık öne çıkarılmış ve ekonomik kalkınma, sosyal kalkınma ve çevrenin korunması kavramlarının birbirine bağımlı olarak desteklenmesi gerektiği belirtilmiştir. 2005 Dünya Zirvesi aynı zamanda inovasyonu, temiz enerjiyi, enerji verimliliğini ve daha temiz teknolojilerin kullanımının yayılmasını teşvik etmeyi taahhüt etmiştir (2005 World Summit Outcome,

2005). Ayrıca, Dünya Sosyal Gelişme Zirvesi'nde sürdürülebilir kalkınma ve yeşil inovasyon kavramlarının sadece günümüzde değil, gelecekte de sistemli ve etkili bir şekilde kullanılması gerekliliğine dikkat çekilmiştir.

Bu çalışma, yeşil inovasyonun, çevre tahribatının en temel sebeplerinden biri olan karbon emisyonu üzerindeki etkisini incelemiştir. Karbon emisyonuna, ülkelerin ekonomik performanslarının, yeşil inovasyonların ve yenilenebilir enerji kaynaklarının etkisi farklı coğrafi bölgeler ve farklı ekonomik yapıları olan ülkelerde analiz edilerek küresel bazda geçerli sonuçlar elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, karbon emisyonu, ülkelerin ekonomik performansları, yeşil inovasyon ve yenilenebilir enerji arasındaki dinamik ilişkinin analizi için Sistem GMM (Genelleştirilmiş Momentler Metodu) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, özellikle bağımlı değişkenlerin gecikmeli değerlerinin yer alması ile bahsi geçen dinamik ilişkinin açıklanması konusunda etkili bir yöntemdir.

Bu makale farklı gelişmişlik seviyelerine sahip 32 ülkede 2005-2020 dönemini kapsayan 2005 Dünya Sosyal Gelişme Zirvesi sonrasında yeşil inovasyonun karbon emisyonu üzerindeki etkisini inceleyerek literatüre katkı sağlamayı amaçlamıştır. Araştırma, ülkelerin belirtilen yıllardaki veri kısıtından dolayı elde edilen mevcut verilerle gerçekleştirilmiştir. Çalışmada büyümenin ve yenilenebilir enerjinin CO₂ emisyonu üzerine etkisi incelenmektedir. Araştırmada ek olarak teknolojik inovasyondan ziyade yeşil inovasyonun önemine dikkat çekilmeye çalışılmıştır. Makalede büyüme ile CO₂ ilişkisine ulaşmak için kişi başına düşen GSYİH kullanılmıştır. Ayrıca CO₂ emisyonu ile mücadele için önemi günden güne artan yenilenebilir enerjinin rolünü vurgulamak için yenilenebilir enerji tüketimi kullanılmıştır. Son olarak yeşil inovasyon gelişiminin CO₂'ye etkisini araştırmak için yeşil inovasyon patent sayıları kullanılmıştır.

Ampirik analiz sonuçlarına göre GSYİH, cari dönem karbon emisyonunu pozitif etkilemektedir. Yeşil inovasyonu temsil eden patent değişkeni ise karbon emisyonu üzerinde negatif etkili ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu durum, teknolojik ilerlemenin ekonomik kalkınma üzerinde olumlu etkileri olduğunu belirten içsel büyüme modelleri ile uyumludur. Yeşil inovasyonu temsil eden patentler, enerji verimliliğini artırmakta ve daha az karbon emisyonuna neden olan üretim süreçlerini meydana getirmektedir. Böylece yeşil inovasyon, sürdürülebilir kalkınmanın temel destekleyicilerindendir. Benzer şekilde yenilenebilir enerji kullanımının karbon emisyonları üzerinde negatif ve anlamlı bir etkisi bulunmuştur. Fosil yakıtlar yerine tercih edilen yenilenebilir enerji kaynakları daha düşük karbon emisyonuna sahiptir. Dolayısıyla, yenilenebilir enerjinin karbon emisyonları üzerindeki azaltıcı etkisi sürdürülebilir kalkınma literatürü ile uyumluluk göstermektedir.

Analiz sonuçları, seçilen ülkelerde yeşil inovasyon ve yenilenebilir enerji kullanımının karbon emisyonlarını azaltmada önemli olduğunu göstermektedir. Sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için yeşil inovasyon ve yenilenebilir enerji politikalarının etkin bir şekilde uygulanmasının, çevresel maliyetleri azaltarak ekonomik büyümeyi sağlayacağı sonucuna varılmaktadır. Elde edilen bulgular, yeşil ekonomiye geçişin yeşil inovasyon, etkili yenilenebilir enerji politikaları ve uluslararası iş birliği ile mümkün olacağını göstermektedir.

Analiz sonuçlarının gösterdiği üzere, yeşil inovasyonların çevre üzerindeki olumlu etkilerini artırmak ve tahribatı minimum seviyelere indirmek için dünya ülkelerinin bu tür inovasyonlara sahip çıkması ve desteklemesi gerekmektedir. Hükümetler ve politika yapıcılar, yeşil teknoloji ve sürdürülebilir enerji politikalarını desteklemeli ve bu konuda Ar-Ge yatırımlarını

artırılmalıdır. Üniversiteler, araştırma merkezleri, teknoloji merkezleri ve özel sektör, yeşil inovasyon konusunda teşvik edilmelidir. Bu teşvikler, vergi indirimleri, sübvansiyonlar gibi mali teşviklerin yanı sıra yenilenebilir enerji teknolojileri ve yeşil patentleri de kapsamalıdır. Her ülkenin yenilenebilir enerji kullanımını artırmak için ulusal hedefler belirlemesi ve bu hedefler doğrultusunda disiplinli ve detaylı bir şekilde uygulanabilecek eylem planları ve stratejiler geliştirmesi önemlidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaşması için projeler desteklenmelidir. Ayrıca, yenilenebilir enerji altyapısının geliştirilmesi enerji depolama ve enerji dağıtımını daha etkili hale getirecek ve yenilenebilir enerjinin kullanımına olumlu katkı sağlayacaktır. Çevre bilincinin sağlanması amacıyla eğitim sistemlerine sürdürülebilir kalkınma ve çevre koruma konuları entegre edilerek, daha bilinçli bireylerin karar alması sağlanmalıdır. Karbon emisyonu, küresel bir çözüme ulaştırılması gereken bir konudur. Bu sebeple, uluslararası iş birliği küresel karbon emisyonunu azaltma konusunda kritik öneme sahiptir.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

1. yazar %30, 2. yazar %20, 3. yazar %20, 4. yazar %15, 5. yazar %10, 6. yazar %5 oranında katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışmada herhangi bir potansiyel çıkar çatışması söz konusu değildir.

Kaynakça

- Abd Rahman, N. H., Ismail, S., Abd Samad, K., Handayani, B. D., Rahman, Y. A. & Sakitri, W. (2022). The effects of regulatory performance on the debt-growth relationship: Cases of upper-middle-income economies. *Economies*, 10(10), 235, 1-14. <https://doi.org/10.3390/economies10100235>
- Adebayo, T. S. & Kirikkaleli, D. (2021). Impact of renewable energy consumption, globalization, and technological innovation on environmental degradation in Japan: Application of wavelet tools. *Environment, Development and Sustainability*, 23(11), 16057-16082. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01322-2>
- Ağazade, S., Karakaya, A., & Perçin, S. (2017). Türk imalat sanayinde risk ve performans arasındaki ilişki. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 32(1), 29-56. <https://doi.org/10.24988/deuiibf.2017321538>
- Akbakay, Z. (2023). Küreselleşme, enflasyon ve para politikasının etkinliği. *Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 13(3), 2551-2578. <https://doi.org/10.48146/odusobiad.1170277>
- Akyol, M. & Mete, E. (2021). Çevresel teknolojik inovasyonların CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi: OECD ülkeleri örneği. *İstanbul İktisat Dergisi*, 71(2), 569-590. <https://doi.org/10.26650/ISTJECON2021-935480>
- Alam, M. B. & Hossain, M. S. (2024). Çin'in ekonomik büyümesi, yenilenebilir enerji kullanımı ve CO₂ emisyonlarına ilişkin araştırma ve geliştirme arasındaki bağlantıları araştırmak: Bir ARDL sınır testi yaklaşımı. *Technological Forecasting and Social Change*, 201, 123220. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123220>
- Anderson, T. W. & Hsiao, C. (1981). Estimation of dynamic models with error components. *Journal of the American Statistical Association*, 76(375), 598- 606.
- Anderson, T. W. & Hsiao, C. (1982). Formulation and estimation of dynamic models using panel data. *Journal of Econometrics*, 18, 47-82.

- Arellano, M. & 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. <https://doi.org/10.2307/2297968>
- Arellano, M. & Bover, O. (1995). Another look at the instrumental variables estimation of error components models'. *Journal of Econometrics*, 68(1), 29-51. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01642-D](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01642-D)
- Arı, A. (2024). Gelişmekte olan ülkeler için dış borçların belirleyicileri: işçi dövizleri etkisi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 67, 55-60. <https://doi.org/10.18070/erciyesuibd.1291328>
- Ateş, E. & Şanlısoy, S. (2022). Küresel değer zincirinin belirleyenleri. *Optimum Ekonomi ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 9(2), 137-152.
- Balsalobre-Lorente, D., Shahbaz, M., Roubaud, D. & Farhani, S. (2018). How economic growth, renewable electricity and natural resources contribute to CO₂ emissions?. *Energy Policy*, 113, 356-367. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.10.050>
- Baltagi, B. H. (2005). *Econometric analysis of panel data*. (3. Baskı). England: John Wiley & Sons, Ltd.
- Baskaran, D., Saravanan, P., Nagarajan, L. & Byun, H. (2024). An overview of technologies for capturing, storing, and utilizing carbon dioxide: Technology readiness, large-scale demonstration, and cost, *Chemical Engineering Journal*, 491, 1-27, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.151998>.
- Blundell, R. & Bond, S. (1998). Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. *Journal of Econometrics*, 87, 115-143. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(98\)00009-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(98)00009-8)Get rights and content
- Bond, S. (2002). *Dynamic panel data models: A guide to micro data methods and practice*. CEMMAP Working Paper, No: Cwp0209, 1-36.
- Bond, S., Hoeffler A. & Temple, J. (2001). GMM estimation of empirical growth models. *Economics Papers 2001-W21*, Economics Group, Nuffield College, University of Oxford.
- Chen, Y. S., Lai, S. B. & Wen, C. T. (2006). The Influence of Green Innovation Performance on Corporate Advantage in Taiwan. *Journal of Business Ethics*, 67(4), 331-339.
- Cheng, N. ve Bang, Y. (2021). A comment on the practice of the Arellano-Bond/Blundell-Bond Generalized Method of Moments estimator in IS research. *Communications of the Association for Information Systems*, 48(38), 423-442. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.04838>
- Çuhadar, P. (2020). Gelişmekte olan ülkelerde politik ekonomi, iklim değişikliği ve tarım ilişkisinin dinamik panel veri analizi. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 26(1), 41-50. <https://doi.org/10.24181/tarekoder.697179>
- Dinda, S. (2018). Production technology and carbon emission: Long-run relation with short-run dynamics. *Journal of Applied Economics*, 21(1), 106-121. <https://doi.org/10.1080/15140326.2018.1526871>.
- Dong, F., Zhu, J., Li, Y., Chen, Y., Gao, Y., Hu, M., Qin, C. Ve Sun, J. (2022). How green technology innovation affects carbon emission efficiency: Evidence from developed countries proposing carbon neutrality targets. *Environ Sci Pollut Res*, 29, 35780-35799. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18581-9>.
- Dong, R., Wang, S., & Baloch, M. A. (2024). Do green finance and green innovation foster environmental sustainability in China? Evidence from a quantile autoregressive-distributed lag model. *Environment, Development and Sustainability*, 26(10), 25995-26017. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03715-x>
- Dökmen, G. (2012). Yolsuzlukların vergi gelirleri üzerindeki etkisi: Dinamik panel veri analizi. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 13(1), 41-51.

- Dörtok, A. & Aksoy, A. (2018). Türkiye buğday sektörünün eşanlı model yöntemiyle tahmini. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(4), 580-586.
- Duch, R. (2008). Longitudinal/panel data analysis: Lecture 3 and 4, Retrieved from: http://www.raymond.duch@nu_eld.ox.ac.uk/raymondduch.com/class/paneldata, Erişim Tarihi: 21.01.2025
- Fatima, N., Zheng, Y., & Guohua, N. (2022). Globalization, institutional quality, economic growth and CO₂ emission in OECD countries: An analysis with GMM and quantile regression. *Frontiers in Environmental Science*, 10(2), 967050. <https://doi.org/10.3389/FENVS.2022.967050/ENDNOTE>
- Fei, J., Wang, Y., Yang, Y., Chen, S., & Zhi, Q. (2016). Towards eco-city: The role of green innovation. *Energy Procedia*, 104, 165-170.
- Ganda F. (2019). The impact of innovation and technology investments on carbon emissions in selected organisation for economic Co-operation and development countries. *Journal Of Clean Production*, 217, 469–483. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.235>
- Gross, R., Leach, M., & Bauen, A. (2003). Progress in renewable energy. *Environment International*, 29(1), 105-122. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00130-7](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00130-7)
- Hansen, L. P. (1982). Large sample properties of generalized method of moments estimators. *Econometrica*, 50(4), 1029–1054. <https://doi.org/10.2307/1912775>
- Hsiao, C. (2006). Panel data analysis – advantages and challenge. *IEPR Working Paper*, 06.49
- Hüsnüoğlu, N. (2017). Dijital bölünmeyi etkileyen faktörler üzerine bir uygulama: Panel veri GMM analizleri. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 18(2), 19-34.
- Işık, C., Bulut, U., Ongan, S., Islam, H. & Irfan, M. (2024). Ekonomik büyümenin, yenilenebilir enerjinin, internet kullanımının ve mineral kiralalarının CO₂ emisyonlarını nasıl etkilediğinin incelenmesi: 27 OECD ülkesi için bir panel kantil regresyon analizi. *Resources Policy*, 92, 105025. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.105025>
- Józwik, B., Topcu, B. A., & Doğan, M. (2024). The impact of nuclear energy consumption, green technological innovation, and trade openness on the sustainable environment in the USA. *Energies*, 17(15), Article 15. <https://doi.org/10.3390/en17153810>
- Karaaslan, A. & Çamkaya, S. (2022). CO₂ emisyonları, ekonomik büyüme, sağlık harcamaları ve yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimi arasındaki ilişki: Türkiye’den ampirik kanıtlar. *Renewable Energy*, 190, 457-466. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.03.139>
- Karedla, Y., Mishra, R. & Patel, N. (2021). The impact of economic growth, trade openness and manufacturing on CO₂ emissions in India: An autoregressive distributive lag (ARDL) bounds test approach. *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*, 26(52), 376-389. <https://doi.org/10.1108/JEFAS-05-2021-0057>
- Khan, M. & Jalil, A. (2020). Determinants of interest margin in Pakistan: A panel data analysis. *Economics*, 8(25), 1-13. [doi:10.3390/economics8020025](https://doi.org/10.3390/economics8020025)
- Khan, S., Khan, M. K., & Muhammad, B. (2021). Impact of financial development and energy consumption on environmental degradation in 184 countries using a dynamic panel model. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(8), 9542–9557. <https://doi.org/10.1007/S11356-020-11239-4>
- Khan, Z., Ali, M., Kirikkaleli, D., Wahab, S. & Jiao, Z. (2020). The impact of technological innovation and public-private partnership investment on sustainable environment in China: Consumption-based carbon emissions analysis. *Sustainable Development*, John Wiley & Sons, Ltd., 28(5), 1317-1330, September.
- Khattak, S. I., & Ahmad, M. (2022). The cyclical impact of innovation in green and sustainable technologies on carbon dioxide emissions in OECD economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(22), 33809-33825. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18577-5>

- Kılınç, N. Ş. & Kılınç, E. C. (2024). Yeşil inovasyonun enerji verimliliğine etkisi üzerine bir panel veri analizi. *Uluslararası Ekonomi ve Yenilik Dergisi*, 10 (1), 1-22.
- Kuang, H., Akmal, Z., & Li, F. (2022). Measuring the effects of green technology innovations and renewable energy investment for reducing carbon emissions in China. *Renewable Energy*, 197, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.06.091>
- Küçük Karaman, S. (2023). İthalat bağımlılık oranının hesaplanması ve Türkiye’de sektörel ithalat bağımlılık oranını etkileyen faktörlerin panel veri analizi. *İktisadi İdari ve Siyasal Araştırmalar Dergisi*, 8(21), 686-711. <https://doi.org/10.25204/iktisad.1225874>
- Li, B., Chang, J., Guo, J., Zhou, C., Ren, X., & Liu, J. (2023). Do green innovation, I.C.T., and economic complexity matter for sustainable development of B.R.I. economies: Moderating role of higher education. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(20), 57833-57849. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26405-7>
- Li, Y., Zhang, C., Li, S. & Usman, A. (2022). Energy efficiency and green innovation and its asymmetric impact on CO₂ emission in China: a new perspective. *Environ Sci Pollut Res* 29, 47810–47817 <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19161-7>.
- Li, Y., Zhang, C., Li, S., & Usman, A. (2022). Energy efficiency and green innovation and its asymmetric impact on CO₂ emission in China: A new perspective. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(31), 47810-47817. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19161-7>
- Lin, B., & Ma, R. (2022). Green technology innovations, urban innovation environment and CO₂ emission reduction in China: Fresh evidence from a partially linear functional-coefficient panel model. *Technological Forecasting and Social Change*, 176, 121434. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121434>
- Lin, B., & Ullah, S. (2023). Towards the goal of going green: Do green growth and innovation matter for environmental sustainability in Pakistan. *Energy*, 285, 129263. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.129263>
- Liu, F. & Sun, Y. T. (2008). Effect of innovation, industrial change on energy consumption. *China Population, Resources and Environment*, 18(3), 108-113.
- Liu, J., & Kang, S. J. (2024). The Impact of Green Innovation on CO₂ Emissions in China: Evidence from Spatial Regression Model. *International Economic Journal*, 38(3), 446-470. <https://doi.org/10.1080/10168737.2024.2378460>
- Liu, L., Wu, H., Hafeez, M., Albaity, M. S. A., & Ullah, S. (2023). Carbon neutrality through supply chain performance: Does green innovation matter in Asia? *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 36(3), 2149588. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2022.2149588>
- Liu, Z., Sun, T., Yu, Y., Ke, P., Deng, Z., Lu, C., Huo, D. & Ding, X. (2022). Near-Real-Time Carbon Emission Accounting Technology Toward Carbon Neutrality, *Engineering*, 14, 44-51, <https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.12.019>.
- Long, X., Luo, Y., Wu, C. & Zhang, J. (2018). The influencing factors of CO₂ emission intensity of Chinese agriculture from 1997 to 2014. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 13093–13101
- Meng, X., Li, T., Ahmad, M., Qiao, G., & Bai, Y. (2022). Capital formation, green innovation, renewable energy consumption and environmental quality: Do environmental regulations matter? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(20), Article 20. <https://doi.org/10.3390/ijerph192013562>
- Muhammad, B. & Khan, S. (2019). Effect of bilateral FDI, energy consumption, CO₂ emission and capital on economic growth of Asia countries. *Energy Reports*, 5, 1305-1315.

- Obobisa, E. S., Chen, H., & Mensah, I. A. (2022). The impact of green technological innovation and institutional quality on CO₂ emissions in African countries. *Technological Forecasting and Social Change*, 180, 121670. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121670>
- OECD (2016). *OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2016*, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/sti_in_outlook-2016-en Erişim Tarihi: 24.05.2024
- Özcan, B. & Arı, A. (2010). Doğrudan yabancı yatırımların belirleyicileri üzerine bir analiz: OECD örneği. *Istanbul University Econometrics and Statistics e-Journal*, 12, 65-88. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ieucois/issue/8979/112027>
- Özer, A. & Özer, N. (2014). Kaynak temelli yaklaşım ve paydaş yaklaşımı açısından entelektüel sermayenin BIST'deki çokuluslu işletmelerin finansal performansına etkisi. *BDDK Bankacılık ve Finansal Piyasalar Dergisi*, 8(2), 119-149.
- Patel, N. & Mehta, D. (2023). The asymmetry effect of industrialization, financial development and globalization on CO₂ emissions in India. *International Journal of Thermofluids*, 20, 100397. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2023.100397>
- Raihan, A., Hasan, M. A., Voumik, L. C., Pattak, D. C., Akter, S. & Ridwan, M. (2024). Vietnam'da sürdürülebilirlik: Ekonomik büyüme, enerji, inovasyon, tarım ve ormanların CO₂ emisyonları üzerindeki etkisinin incelenmesi. *World Development Sustainability*, 4, 100164. <https://doi.org/10.1016/j.wds.2024.100164>
- Raza, M. Y. & Tang, S. (2024). Pakistan'da nükleer enerji, ekonomik büyüme ve CO₂ emisyonları: Genişletilmiş STRIPAT modelinden elde edilen kanıtlar. *Nuclear Engineering and Technology*, 56(7), 2480-2488. <https://doi.org/10.1016/j.net.2024.02.006>
- Roodman, D. (2009). How to do xtabond2: an introduction to difference and system GMM in Stata. *The Stata Journal*, 9(1), 86-136. <https://doi.org/10.1177/1536867X0900900106>
- Sahoo, M., Sethi, N., & Angel Esquivias Padilla, M. (2023). Unpacking the dynamics of information and communication technology, control of corruption and sustainability in green development in developing economies: New evidence. *Renewable Energy*, 216, 119088. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119088>
- Sarkodie, S. A., & Owusu, P. A. (2021). Escalation effect of fossil-based CO₂ emissions improves green energy innovation. *Science of The Total Environment*, 785, 147257. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147257>
- Sharif, A., Mehmood, U., & Tiwari, S. (2024). A step towards sustainable development: Role of green energy and environmental innovation. *Environment, Development and Sustainability*, 26(4), 9603-9624. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03111-5>
- Solarin, S. A., Al-mulali, U. & Ozturk, I. (2018). Determinants of pollution and the role of the military sector: Evidence from a maximum likelihood approach with two structural breaks in the USA. *Environ Sci Pollut Res*. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3060-5>
- Soto, M. (2009). System GMM estimation with a small sample. *Barcelona Economics Working Paper Series Working Paper*, No. 395
- Suproń, B., & Myszczyzyn, J. (2024). Exploring the dynamic relationships between agricultural production and environmental pollution: Evidence from a Gmm-sys model in the three seas initiative (3SI). *Sustainability* 2024, Vol. 16, Page 3748, 16(9), 3748. <https://doi.org/10.3390/SU16093748>
- Tang, K., Chen, Q., Tan, W., & Wu Feng, Y. J. (2022). The impact of financial deepening on carbon reductions in China: Evidence from city- and enterprise-level data. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(18), 11355. <https://doi.org/10.3390/ijerph191811355>

- Topal, M. H. & Hayaloğlu, P. (2017). Farklı gelişmişlik düzeylerinde kurumsal kalitenin çevre performansı üzerindeki etkisi: Ampirik bir analiz. *Sosyoekonomi*, 25, 189-212. <https://doi.org/10.17233/sosyoekonomi.273969>
- Umar, M., & Safi, A. (2023). Do green finance and innovation matter for environmental protection? A case of OECD economies. *Energy Economics*, 119, 106560. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106560>
- Wang, Z., Yang, Z., Zhang, Y. & Yin, J. (2012). Energy technology patents – CO₂ emissions nexus: An empirical analysis from China. *Energy Polich*, 42, 248–260. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.11.082>
- Wooldridge, J. M. (2002). Two-way fixed effects, the two-way mundlak regression, and difference-in-differences estimators. ERN: Estimation (Topic).
- Yii, K. J. & Geetha, C. (2017). The nexus between technology innovation and CO₂ emissions in Malaysia: Evidence from granger causality test. *Energy Procedia*, 105, 3118–3124.
- 2005 World Summit Outcome, (2005). Resolution adopted by the General Assembly on 16 September 2005, United Nations, A/RES/60/1.