

Rusya Ekonomisinde Çevresel Bozulmanın Belirleyicileri: ARDL Sınır Testi Yaklaşımı

Determinants of Environmental Degradation in the Russian Economy: The ARDL Bounds Test Approach

Selin DİNÇER * 

<https://izlik.org/JA46MG53FN>

<https://doi.org/10.25204/iktisad.1814836>

Öz

Makale Bilgileri

Makale Türü:

Araştırma
Makalesi

Geliş Tarihi:

31.10.2025

Kabul Tarihi:

20.01.2026

© 2026 İKTİSAD
Tüm hakları
saklıdır.



Bu çalışma, Rusya ekonomisinde ekonomik büyüme (GDP), enerji tüketimi (EC) ve ticari açıklığın (TO) çevresel etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada çevreyi temsilen karbon emisyonları (CO₂) değişkeni kullanılmıştır. 1992-2023 dönemini kapsayan analizde ARDL sınır testi ve Toda-Yamamoto nedensellik yöntemleri uygulanmıştır. ARDL sınır testi sonuçları, analizde yer alan değişkenler arasında uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisinin varlığını ortaya koymaktadır. Ayrıca elde edilen bulgular, enerji tüketiminin çevresel bozulma üzerinde uzun vadede pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğunu, ekonomik büyüme ve ticari açıklığın ise çevresel bozulma üzerinde negatif ve anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bulgulara göre, enerji tüketimi çevre kirliliğini artırırken, ekonomik büyüme ve ticari açıklık çevre kalitesini uzun vadede iyileştirmektedir. Bu sonuçlar, Rusya ekonomisinde enerji tüketiminin çevresel bozulmanın temel belirleyicilerinden biri olduğunu, buna karşın ekonomik büyüme ve ticari açıklığın çevre dostu politikaları desteklediğini ortaya koymaktadır. Toda-Yamamoto Nedensellik testi bulguları ise GDP ile CO₂, EC ile CO₂, TO ile CO₂ ve EC ile GDP değişkenleri arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda, gelecekte sürdürülebilir büyüme hedefleriyle uyumlu enerji ve ticaret politikalarının güçlendirilmesi, Rusya'nın çevresel performansını daha da iyileştirebilir.

Anahtar Kelimeler: Ekonomik büyüme, enerji, çevre, ARDL sınır testi, Toda Yamamoto nedensellik analizi.

Abstract

Article Info

Paper Type:

Research Paper

Received:

31.10.2025

Accepted:

20.01.2026

© 2026 JEBUPOR
All rights
reserved.



This study aims to examine the environmental impacts of economic growth (GDP), energy consumption (EC), and trade openness (TO) in the Russian economy. Carbon emissions (CO₂) are used as a proxy for the environment. ARDL bounds tests and Toda-Yamamoto causality methods were applied in the analysis covering the period 1992-2023. The ARDL bounds test results reveal the existence of a long-run cointegration relationship among the variables included in the analysis. Furthermore, the findings indicate that energy consumption has a positive and statistically significant long-run effect on environmental degradation, while economic growth and trade openness have a negative and significant effect on environmental degradation. According to the findings, energy consumption increases environmental pollution, while economic growth and trade openness improve environmental quality in the long run. These results suggest that energy consumption is one of the main determinants of environmental degradation in the Russian economy, while economic growth and openness support environmentally friendly policies. The Toda-Yamamoto Causality test findings indicate a bidirectional causal relationship between GDP and CO₂, EC and CO₂, TO and CO₂, and EC and GDP. Therefore, strengthening energy and trade policies aligned with sustainable growth targets in the future could further improve Russia's environmental performance.

Keywords: Economic growth, energy, environment, ARDL bounds test, Toda Yamamoto causality analysis.

Atf/ Cite (APA): Dinçer, S. (2026). Rusya ekonomisinde çevresel bozulmanın belirleyicileri: ARDL sınır testi yaklaşımı. *İktisadi İdari ve Siyasal Araştırmalar Dergisi*, (29), 157-174. <https://doi.org/10.25204/iktisad.1814836>

* Dr. Öğr. Üyesi, Kırıkkale Üniversitesi, Keskin Meslek Yüksekokulu, selindincer@kku.edu.tr

Extended Abstract

Introduction and Research Questions & Purpose:

Today, environmental degradation is recognized as one of the major challenges facing sustainable development goals at the global level. With the industrialization process, increasing production, energy demand, and foreign trade volume have made their impacts on the environment more visible. Fossil fuels used to meet global energy demand threaten ecosystems, reduce biodiversity, and lead to the depletion of natural resources. In this context, the effects of the relationships between economic growth, energy consumption, and trade openness on environmental degradation are becoming increasingly important. This study aims to empirically analyze the main determinants of environmental degradation in the Russian economy, covering the period 1992–2023. In this context, the research primarily aims to reveal the existence of a long-term relationship between the consumption of primary energy resources such as coal, oil, and natural gas and environmental degradation. Furthermore, the long-term effects of economic growth and trade openness on environmental degradation are evaluated. Russia is examined in this study because the country's economic growth, energy consumption, and foreign trade structure play a decisive role in environmental degradation. Its energy-export-based economic model, its high energy consumption and dependence on fossil fuels, and its renewable energy capacity, which have the potential to transform this situation, place Russia in a critical position in terms of environmental sustainability. In this respect, Russia offers a significant example of both structural diversity and global representation in assessing the environmental consequences of the interaction between growth, energy, and trade.

Literature Review:

A general review of the literature confirms the existence of significant long-term relationships among these variables in studies focusing on economic growth, energy consumption, and the environment. The direction of these relationships varies depending on the time period covered, the country or group of countries covered, and the econometric method employed. There is no consensus in the literature regarding the environmental impact of trade openness. Studies indicate that the environmental effects of trade are not one-sided and can have both positive and negative consequences. Therefore, analyzing the environmental effects of trade openness in large, energy-intensive economies like Russia is important to clarify ambiguities in the literature.

Methodology:

This study examines the determinants of environmental degradation in Russia over the period 1992-2023 using the ARDL bounds test and the Toda-Yamamoto causality method. CO₂ is used as the dependent variable in the study, while GDP, EC, and TO are used as independent variables in the model. Initially, ADF and PP unit root tests were applied to determine the stationarity levels of the series. Then, the ARDL bounds test was performed to determine the long-run relationship between the variables. Finally, the Toda-Yamamoto causality analysis was performed to examine the causal relationships.

Results and Conclusions:

The findings of the study reveal the existence of a long-run cointegration relationship among the variables included in the model. The findings indicate that energy consumption has a positive and statistically significant long-term effect on environmental degradation, while economic growth and trade openness have a negative and significant effect on environmental degradation. In other words, the results indicate that energy consumption is a key determinant of environmental degradation in the Russian economy, while economic growth and openness support environmentally friendly policies. The Toda-Yamamoto causality test results reveal bidirectional causality between GDP and CO₂, EC and CO₂, TO and CO₂, and EC and GDP, and unidirectional causality between GDP and TO, and EC and TO. In this context, thanks to sustainable growth policies and environmentally friendly trade strategies, the Russian economy can both increase production efficiency and keep carbon emissions relatively limited. Therefore, trade and economic growth, combined with appropriate policy guidance and environmental regulations, have the potential to support the improvement of environmental quality in Russia.

1. Giriş

Günümüzde çevresel bozulma, küresel düzeyde sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin önündeki önemli sorunlardan biri olarak kabul edilmektedir. Sanayileşme süreciyle birlikte artan üretim, enerji talebi ve dış ticaret hacmi çevre üzerindeki etkilerini daha görünür hale getirmiştir. Son yıllarda çevresel sorunlara olan ilginin artmasının temel nedeni yükselen kirlilik seviyeleri ve çevresel kalitenin bozulmasıyla ilişkili problemlerdir (Akadiri vd., 2019). Özellikle iklim değişikliği ve küresel ısınma, uluslararası toplumun karşı karşıya olduğu en ciddi çevre sorunları olarak ortaya çıkmaktadır. İnsanların iklim sistemi üzerindeki etkisi açık olmakla birlikte son dönemde insan kaynaklı sera gazı emisyonları, özellikle karbon emisyonları, tarihteki en yüksek seviyelerdedir (Zhu vd., 2016). Fosil yakıtların yakılmasıyla ortaya çıkan karbon emisyonları, küresel ısınmanın başlıca nedenlerinden biri olarak ön plana çıkmaktadır. Ayrıca karbon emisyonları çevre ile insan yaşamı için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır (Vidyarthi, 2013). Karbondioksit sera gazları arasında en büyük paya sahip olmakla birlikte atmosferdeki sera etkisini hızlandıran temel faktördür. Hızlanan karbon emisyonları ile küresel düzeyde çevre sorunlarına dair farkındalık da artmaktadır. Bu nedenle, karbon emisyonlarının azaltılması çevresel olarak sürdürülebilir bir dünya için önemli hedeflerden birini oluşturmaktadır (Rüstemoğlu ve Andrés, 2016).

Çevre sorunlarının artan kanıtları, dünya nüfusunun, tüketimin, sanayi faaliyetlerinin artışı nedeniyle insan faaliyetlerinin çevresel etkilerinin büyümesine sebep olmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerin, ekonomileri geliştikçe ve nüfusları arttıkça emisyon seviyelerinde gelecekteki artışları önlemek için de harekete geçmeleri gerekmektedir (Omer, 2008; Özgün ve Akın, 2024). Bu bağlamda, karbon emisyonlarını azaltmak ve çevre sorunları ile mücadele etmek için küresel enerji politikalarında köklü değişiklikler yapılması gerekmektedir. Zira sürdürülebilir çevrenin odak noktasında doğal kaynakların tükenmeden ve çevrenin bozulmadan gelecek nesillere aktarılabilmesi için ekosistem dengesinin korunması gerekliliği bulunmaktadır (Dinçer, 2025). Sera gazı emisyonları küresel bir çaba ile enerji verimliliğinin artırılmasına, yenilenebilir enerji gibi temiz ve modern enerji teknolojilerinin benimsenmesine ve fosil yakıt ve biyokütle enerji üretim süreçlerinde karbon yakalama ve depolamaya bağlı olarak azaltılabilir (Sarkodie ve Strezov, 2019).

Rusya'nın benzersiz tarihsel, kültürel, sosyal ve jeopolitik bağlamı, büyüme ve kalkınmasını büyük ölçüde etkilemektedir. Geniş bir yüzölçümüne ve zengin doğal kaynaklara sahip olması, Rusya'yı tipik bir kaynak tabanlı ekonomi ülkesi olarak ön plana çıkarmaktadır (Yang vd., 2017). Rusya, küresel enerji piyasasında stratejik bir aktör konumundadır. Rusya'nın enerji sektörü, ülke ihracatının küresel enerji sisteminde belirleyici bir rol oynaması nedeniyle yalnızca Rusya açısından değil, uluslararası düzeyde de stratejik önem taşımaktadır (Saunders, 2024). Bu enerji temelli büyüme modeli, ülke ekonomisine önemli gelir sağlarken, enerji tüketimi ile çevresel bozulma arasındaki ilişkinin Rusya açısından kritik bir öneme sahip olmasına neden olmaktadır. Yüksek enerji yoğunluğu, üretim süreçlerinde karbon salınımını artırarak çevresel baskıyı güçlendirmektedir.

Bu çalışma, 1992-2023 dönemi verileri kullanılarak Rusya ekonomisinde çevresel bozulmanın temel belirleyicilerini ampirik bir analizle incelemeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda araştırma, öncelikle kömür, petrol ve doğalgaz gibi birincil enerji kaynaklarının tüketimi ile çevresel bozulma arasında uzun vadeli bir ilişkinin varlığını ortaya koymayı amaçlamaktadır. Ayrıca, ekonomik büyüme ve ticari dışa açıklığın çevresel bozulma üzerindeki uzun dönemli etkileri değerlendirilmektedir. Rusya'nın bu çalışmada incelenmesinin nedeni, ülkenin ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve dış ticaret yapısının çevresel bozulma üzerinde belirleyici bir rol oynamasıdır. Enerji ihracatına dayalı ekonomik modeli, yüksek enerji tüketimi ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı ve bu durumu dönüştürme potansiyeline sahip yenilenebilir enerji kapasitesi Rusya'yı çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir konuma taşımaktadır. Bu yönüyle Rusya, büyüme, enerji ve ticaret etkileşiminin çevresel sonuçlarını değerlendirmek açısından hem yapısal çeşitliliğe hem de küresel ölçekte temsil gücüne sahip önemli bir örnek oluşturmaktadır.

2. Teorik Çerçeve: Ekonomik Büyüme, Enerji Tüketimi, Ticari Açıklık ve Çevre İlişkisi

Çevresel bozulma riski son yirmi yılda daha belirgin hale gelmiştir. Artan nüfus, tüketim ve sanayi faaliyetleri, insan faaliyetlerinin çevresel etkilerini artırmaktadır. Ayrıca ülkelerin ekonomik büyüme, kalkınma ve sanayileşme çabaları enerji tüketimini hızlandırmaktadır. Küresel enerji talebini karşılamak için kullanılan fosil yakıtlar ise ekosistemi tehdit ederek biyolojik çeşitliliği azaltmakta ve doğal kaynakların tükenmesine yol açmaktadır. Bu bağlamda, ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve ticari açıklık arasındaki ilişkilerin çevresel bozulma üzerindeki etkileri daha fazla önem kazanmaktadır.

Literatürde ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi açıklayan teorik bir model olan Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) bir ülkenin ekonomik büyüme ve kalkınmasının başlangıcında çevresel kalitenin giderek bozulduğunu, ancak büyüme ve kalkınmada belirli bir eşiğe ulaşıldığında çevre koşullarının iyileştiğini öne sürmektedir (Grossman ve Krueger, 1991). Yani, çevresel zarar önce gelirle birlikte artar, sonra stabilize olur ve nihayetinde azalır (Ang, 2007). ÇKE hipotezinin temelinde “önce büyü, sonra temizle” anlayışı yer almaktadır. Ülkeler kalkınmanın ilk aşamalarında sadece ekonomik büyümeye odaklanmakta, çevreye yönelik duyarlılık ise daha yüksek büyüme seviyelerinde ortaya çıkmaktadır (Tenaw ve Beyene, 2021). Sanayileşmenin ilk aşamalarında ülkeler için istihdam ve gelir artışları, çevreye kıyasla daha önemli görülmektedir. Ancak gelir seviyesi arttıkça toplum daha temiz bir çevreye daha fazla önem vermeye başlamaktadır (Koc ve Bulus, 2020). Dolayısıyla bir ekonominin büyüme ve kalkınma stratejilerinin şekillendirilmesinde, ulusal gelirin sürekli artışının çevreye verdiği etkiler önemli bir rol oynamaktadır.

Öte yandan ekonomik büyüme ile enerji tüketimi arasında önemli ilişkiler bulunmaktadır. Ekonomik büyüme ve enerji tüketimi ilişkisi literatürde Büyüme Hipotezi, Tasarruf (Koruma) Hipotezi, Geri Besleme Hipotezi ve Tarafsızlık Hipotezi olmak üzere dört temel hipotez çerçevesinde incelenmektedir (Usta ve Berber, 2017). Büyüme Hipotezine göre ekonomik büyüme için enerji tüketimi gerekmektedir ve enerji tüketimini azaltmaya yönelik politikalar, büyümeyi olumsuz etkileyebilmektedir. Tasarruf (Koruma) Hipotezine göre büyüme enerji tüketimini artırmaktadır. Bu durumda enerji arzındaki kesintiler büyümeyi çok fazla etkilememektedir. Geri Besleme Hipotezine göre enerji tüketimi ve ekonomik büyüme birbirini karşılıklı olarak etkilemektedir. Biri değiştiğinde diğeri de etkilenmektedir. Tarafsızlık Hipotezi ise enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasında belirgin bir ilişki bulunmadığını varsaymaktadır. Bu nedenle enerji politikaları büyümeyi doğrudan etkilememektedir (Tiba ve Omri, 2007). Ekonomik büyüme ile enerji tüketimi arasındaki bu ilişki, artan enerji talebinin çevre üzerindeki etkilerini de güçlendirmektedir.

Büyüme, enerji ve çevre arasındaki karşılıklı etkileşim değerlendirildiğinde ise daha fazla enerji tüketimi, verimlilik artışı yoluyla ekonomik büyümeyi desteklemektedir. Ancak, daha verimli enerji kullanımı, enerji tüketimini azaltabilir ve bu da daha yüksek bir ekonomik büyüme gerektirebilir. Yani, ekonomik performans, enerji verimliliğini artıran önemli bir faktör olabilir (Ang, 2007). Özellikle fosil yakıtlara dayalı enerji üretimi ve tüketimi sera gazı emisyonlarının en önemli kaynağı olarak çevresel bozulmaya, iklim değişikliğine ve hava kirliliğine yol açmaktadır. Enerji tüketimi, özellikle sanayi sektörlerinde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Herhangi bir ülkede mevcut üretim seviyesini ve yaşam standartlarını sürdürebilmek için sürekli enerji gerekmektedir. Enerji arzındaki herhangi bir kesinti, ekonomik büyümeyi doğrudan etkileyebileceğinden, üretim sürecindeki enerji tüketimi sürdürülebilir ekonomik kalkınmanın temel bir unsuru olarak kabul edilmektedir. Bu eksende enerji tüketiminin karbon emisyonlarına yol açarak, atmosferde sera gazlarının oluşumunun başlıca sebeplerinden biri olduğu bilinmektedir (Alam vd., 2016). Dolayısıyla enerji kaynakları, büyüyen bir ekonominin temel belirleyicilerindendir. Bununla birlikte dünyanın çoğu ülkesinde ekonomik büyüme, fosil enerji kaynaklarına bağımlı durumdadır (Korkmaz, 2022).

Ticari açıklık, bir ülkenin uluslararası ticarete ve dış yatırımlara ne ölçüde açık olduğunu göstermektedir. Ticaretin serbestleştirilmesinin çevre üzerindeki etkisi hem politika yapımcıların hem

de akademik araştırmacıların dikkatini önemli ölçüde çekmiştir. Literatürde uluslararası ticaretin çevre üzerindeki etkileri ölçek etkisi, teknik etki ve bileşim etkileri olmak üzere üç etki ile açıklanmıştır. Ölçek etkisi, ticaretin ekonomik büyümeyi hızlandırarak kirlilik emisyonlarını artırdığına öngörmektedir. Teknik etki, artan gelir ve çevre bilinci sayesinde daha sıkı çevre politikalarının benimsenmesiyle emisyonların azalabileceğini ifade etmektedir. Bileşim etkisi ise ticaret açıklığının üretim yapısında değişikliklere yol açarak bazı sektörlerin çevresel etkilerini farklılaştırdığını vurgulamaktadır. Bu bağlamda, Kirlilik Cenneti Hipotezi, kirlitici sanayilerin daha gevşek çevre düzenlemelerine sahip gelişmekte olan ülkelere taşındığını öne sürmektedir (Honma, 2015; Chaudhry ve Reetu, 2025). Dolayısıyla ticaretin çevre üzerindeki etkisi çift yönlü bir yapıya sahiptir. Bir taraftan enerji tüketimine dayalı ticaret çevresel yükü artırabilirken, diğer taraftan dış ticaretin küresel bilgi ve teknoloji transferini kolaylaştırması, temiz üretim tekniklerinin benimsenmesini destekleyerek çevresel iyileşmeyi teşvik edebilmektedir.

Çalışmada örnek ülke olarak ele alınan Rusya ekonomisi, enerji kaynakları açısından büyük bir potansiyele sahip olmakla birlikte, dünya enerji güvenliğinde kritik bir rol oynamaktadır. Rusya'nın küresel enerji piyasası ve enerji politikaları içerisindeki önemi ise gün geçtikçe artmaktadır (Saunders, 2024). Aynı zamanda doğal kaynaklardan gelen gelirlerle desteklenen ekonomik yapısı küresel sistemde Rusya'yı ön plana çıkarmaktadır. Birçok Avrupa ülkesi ve eski Sovyet devletleri büyük ölçüde Rus doğalgazına bağımlı durumdadır. Rusya, Amerika Birleşik Devletleri'nin ardından dünyanın ikinci büyük doğal gaz üreticisidir ve dünyanın en büyük gaz rezervlerine sahiptir. Ayrıca Rusya dünyanın en büyük gaz ihracatçısıdır. Ülke 2021'de 762 milyar metreküp doğal gaz üreterek yaklaşık 210 milyar metreküpünü boru hattıyla ihraç etmiştir (International Energy Agency (IEA), 2025).

Dünyada küresel fosil yakıt tüketiminin genel durumu incelendiğinde, 2000 yılında 95,548 TWh olan fosil yakıt tüketimi 2023 yılında 140,231 TWh olarak kaydedilmiştir (Our World in Data, 2025). Ülkelerin enerji tüketim potansiyeli incelendiğinde ise Çin, Hindistan, ABD ve Rusya, enerji tüketimi ve emisyonları bakımından dünyanın önde gelen ülkelerindendir. Bu ülkeler, küresel karbon emisyonlarının %54'ünden sorumludur (Ahmed vd., 2023). Bu bağlamda Rusya, enerji sektöründeki dönüşüm politikaları ve düşük karbon stratejileriyle emisyonları azaltma yönünde çeşitli adımlar atmaktadır. Rusya, iklim değişikliğinin etkilerine karşı da savunmasız bir coğrafyada bulunması nedeniyle, 2050 yılına kadar net emisyonları azaltmayı hedefleyen etkili iklim politikaları geliştirmekte ve uygulamaktadır. Paris Anlaşması'na katılımıyla çevre koruma ve sürdürülebilir ekonomik büyümeyi destekleyen ülke dünyanın en büyük hidrokarbon üreticilerinden biri olmasına rağmen, karbon düzenlemeleri ve iklim projelerinde önemli ilerleme kaydetmiştir (Russia Renewable Energy Development Association (RREDA), 2025).

Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme çabaları, enerji verimliliğini artırmaya yönelik teknolojik dönüşümler ve sürdürülebilir üretim politikaları, Rusya'da çevre dostu büyüme dinamiklerinin güçlenmesine katkı sağlamaktadır. Rusya, geniş coğrafyası sayesinde hidroelektrik, rüzgâr, güneş, biyokütle ve jeotermal dahil olmak üzere zengin yenilenebilir enerji potansiyeline sahiptir. 2015 yılı sonu itibarıyla Rusya'nın toplam yenilenebilir enerji kurulu gücü 53,5 GW'a ulaşmıştır. Bu rakam, ülkenin toplam enerji kapasitesinin yaklaşık %20'sini oluşturmuştur (International Renewable Energy Agency (IRENA), 2017; Mitrova ve Melnikov, 2019: 77). Yenilenebilir enerji içinde büyük hidroelektrik santraller ve biyoenerji en önemli kaynaklar olup, kapasitenin büyük bölümü hidroelektrikten gelmektedir. Rusya'nın mevcut enerji stratejisine göre yenilenebilir enerji payının 2030 yılına kadar %4,9'a ulaşması beklenmektedir (IRENA, 2017). 2024 yılında ise Rusya'nın yenilenebilir enerji pazarı 13,75 milyar ABD doları olarak hesaplanmıştır. 2025–2033 döneminde pazarın yıllık ortalama %9,3 büyüyerek 2033'te 36,57 milyar ABD dolarına ulaşacağı tahmin edilmektedir (Imarcgroup, 2024). Bu veriler, Rusya'nın hem çevresel bozulmaya neden olan yüksek karbon yoğunluğuna sahip enerji yapısına hem de bu durumu dönüştürme potansiyeline sahip yenilenebilir enerji kapasitesine dikkat çekmektedir.

3. Literatür İncelemesi

Enerji, çevre ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki, sürdürülebilir kalkınma literatüründe önemli bir araştırma alanı olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca bu ilişki enerji literatürüyle bağlantılı olarak da akademik tartışmaların önemli bir konusunu oluşturmaktadır. Yapılan çalışmalar, ekonomik büyümenin artan enerji tüketimiyle birlikte çevresel bozulmayı da tetikleyebileceğini, ancak enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının bu olumsuz etkiyi azaltabileceğini göstermektedir. Literatür ülkelerde çevre, enerji tüketimi ile büyüme arasında önemli bir ilişki olduğunu ortaya koyarken bu ilişkinin yönünün ülke veya ülke gruplarına göre farklılaşacağını göstermektedir.

Örneğin, Ang (2007) 1960-2000 döneminde Fransa’da ekonomik büyümenin enerji tüketimi ve emisyonların artışı üzerinde uzun vadede nedensel bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır. Acaravci ve Öztürk (2010) 1960-2005 döneminde 19 Avrupa ülkesinde karbon emisyonları, enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi ARDL sınır testi yaklaşımını kullanarak incelemişlerdir. Yalnızca Danimarka, Almanya, Yunanistan, İzlanda, İtalya, Portekiz ve İsviçre’de karbon emisyonları, enerji tüketimi ve büyüme arasında uzun dönemli bir ilişki bulunduğunu tespit etmişlerdir. Öte yandan çalışmada Danimarka ve İtalya’da ÇKE hipotezinin geçerli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Hindistan’da enerji tüketimi, çevre ve ekonomik büyüme arasındaki nedensellik ve eşbütünleşme ilişkisi Vidyarthi (2013) tarafından 1971-2009 zaman aralığı dikkate alınarak incelenmiştir. Değişkenler arasında uzun dönemli denge ilişkisi bulunduğu, uzun vadede enerji tüketimi ve karbon emisyonlarından ekonomik büyümeye doğru tek yönlü bir nedensellik bulunduğu saptanmıştır.

Alam vd. (2016) tarafından 1970-2012 döneminde Hindistan, Endonezya, Çin ve Brezilya’da ekonomik büyüme ve enerji tüketimindeki artışın çevresel bozulmayı artırdığı tespit edilmiştir. Esso ve Keho (2016) çalışmalarında 1971-2010 döneminde 12 Sahra Altı Afrika ülkesi için enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve çevresel bozulma arasındaki uzun dönemli ilişkiyi incelemişlerdir. Sonuçlar enerji tüketimi ve ekonomik büyümenin çevresel kirlilik artışı ile ilişkilendirildiğini ortaya koymaktadır.

Vo vd. (2019) 1971-2014 döneminde beş ASEAN ülkesinde enerji tüketimi, büyüme ve çevre arasındaki bağlantıyı ele almışlardır. Filipinler ve Tayland’da değişkenler arasında uzun vadeli bir ilişki bulunmadığı, ancak Endonezya, Myanmar ve Malezya’da değişkenler arasında bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çalışma sonuçlarına göre ÇKE hipotezi, Myanmar’da gözlemlenmiş, ancak Endonezya ve Malezya’da gözlemlenmemiştir. Khan vd. (2020) Pakistan’da (1965-2015) enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve çevre arasındaki ilişkiyi panel ARDL yöntemini kullanarak incelemişlerdir. Enerji tüketimi ve büyümenin Pakistan’da çevresel bozulmayı artırdığı tespit edilmiştir. Raihan ve Tuspekova (2022a) 1990-2020 döneminde Türkiye’de, Raihan ve Tuspekova (2022b) 1990-2018 döneminde Peru’da, ekonomik büyüme ve yenilenebilir enerjinin çevresel etkilerini incelemişlerdir. Her iki çalışmada da ulaşılan bulgular ekonomik büyümenin çevresel bozulmayı artırdığı, yenilenebilir enerji kullanımının ise çevre üzerinde olumlu etkileri bulunduğu yönündedir.

Öte yandan literatürde ekonomik büyümenin çevre kalitesine katkı sağladığına yönelik bulgulara rastlamakta mümkündür. Örneğin, Zhu vd. (2016) 1981-2011 döneminde ASEAN-5 ülkelerinde büyüme ve enerji tüketiminin çevre üzerindeki etkisini inceleyerek, enerji tüketimi arttıkça karbon emisyonlarının arttığını, ekonomik büyümenin ise karbon emisyonlarını azalttığını tespit etmişlerdir. Zeraibi vd. (2024) tarafından 2004-2021 döneminde 31 Çin eyaletinde ekonomik büyümenin SO₂ emisyonlarını azaltabileceği ve Çin’in ters N şeklindeki ÇKE aracılığıyla olumlu bir çevresel etki gösterdiği tespit edilmiştir.

Enerji tüketiminin çevre üzerindeki etkilerine dair literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde çalışmalardan çıkan sonuçlar, enerji tüketiminin çevre kalitesini olumsuz etkilediğine yöneliktir

(Lean ve Smyht, 2010; Bloch vd. 2012; Tang ve Tan, 2015; Wang vd., 2016; Sarkodie ve Strezov, 2019). Dong vd. (2018) ise Çin’de enerji ve çevre arasındaki nedensellik ilişkisini 1993-2016 dönemi için incelemişlerdir. Bulgular kısa ve uzun vadede, nükleer enerji ve yenilenebilir enerjinin karbon emisyonlarını azaltmada önemli rol oynadığını, fosil yakıt tüketiminin ise karbon emisyonlarını artırdığını ortaya koymaktadır.

Rusya, dünyanın en büyük enerji üretici ve tüketicilerinden biri olması nedeniyle, enerji ve çevresel bozulma ilişkilerinin incelenmesi açısından öneme sahiptir. Ülkenin fosil yakıt üretimi, sanayi faaliyetleri ve ekonomik yapısı çevre üzerinde doğrudan etkiler yaratmaktadır. Rusya özelinde yapılan çalışmalar incelendiğinde Yang vd. (2017) 1998-2013 döneminde Rusya’da enerji tüketimi emisyonları, sanayi süreçlerinden kaynaklanan emisyonlar, hayvancılıkla ilgili emisyonlar ve kaçak emisyonlar açısından farklı emisyon kategorilerinin oranlarını incelemişlerdir. Araştırma bulgularına göre, Rusya’da enerji tüketimi emisyonlarının toplam emisyonların yaklaşık %65’i ile en büyük payı oluşturduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada kişi başına büyüme ile kişi başına sera gazı emisyonları arasında ÇKE hipotezini destekleyen ters U şeklindeki ilişki tespit edilmiştir. Pao vd. (2011) ise 1990-2007 döneminde Rusya’da kirletici emisyonlar, enerji ve büyüme arasındaki ilişkileri koentegre tekniği ve nedensellik analizi ile inceleyerek, uzun vadede emisyonların enerji kullanımına duyarlı, büyümeye ise duyarsız olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Rüstemoğlu ve Andrés (2016) Rusya’da enerji yoğunluğundaki iyileşmeler sayesinde karbon emisyonlarında önemli bir azalma sağlandığını tespit etmişlerdir. Korkmaz (2022) ise 1992-2018 döneminde Rusya’da petrol, kömür, doğalgaz tüketimi, kömür, petrol, doğalgaz kiralari ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Rusya’da tüm değişkenler arasında uzun vadeli bir ilişki olduğu, petrol kiralari’nin ekonomik büyümeyi olumlu yönde etkilediği, doğalgaz kiralari ve kömür kiralari’nin ise ekonomik büyümeyi olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir.

Ticari açıklığın çevre üzerindeki etkilerine ilişkin literatürde yer alan çalışmalar genel olarak ticaretin çevresel sonuçları konusunda kesin bir sonuca varılamadığını göstermektedir. Örneğin, Chang (2012) 1981-2008 döneminde Çin’de ticari açıklığın çevresel etkilerinin hem olumlu hem de olumsuz olabileceğini tespit etmiştir. Benzer şekilde, A’yun ve Khasanah (2022) 2010-2019 döneminde ASEAN ülkelerinde ihracatın çevre üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkisi olduğunu, ancak ithalatın çevre üzerinde kayda değer bir etkisinin bulunmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Pham ve Nguyen (2024) tarafından 2003-2017 döneminde 64 gelişmekte olan ülke için gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları, ticaretin çevre üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olmadığı yönündedir. Ekwebe ve Angelus (2025) ise 1996-2020 döneminde Sahra Altı Afrika ülkelerinde ticari açıklığın çevre kalitesini olumsuz yönde etkilediği sonucuna ulaşmışlardır.

Managi vd. (2009) 1971-1991 döneminde OECD ülkelerinde ticaretin çevre üzerinde olumlu etkileri olduğunu tespit etmişlerdir. Benzer şekilde Twerefou vd. (2019) 30 Afrika ülkesinde ticaretin genel etkilerinin çevresel kalite üzerinde faydalı etkileri olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Honma (2015) ise 1970-2008 döneminde 98 ülkede ticari açıklığın çevresel verimlilik üzerindeki etkisinin ülkelerin kişi başına düşen gelir düzeyine bağlı olarak değiştiğini, gelir düzeyi yüksek olan ülkelerde ticaretin çevresel faydasının daha belirgin olduğunu vurgulamıştır. Bu bağlamda, çalışmalar, ticaretin çevresel etkilerinin tek yönlü olmadığını, hem olumlu hem olumsuz sonuçlar doğurabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, Rusya gibi büyük ve enerji yoğun ekonomilerde ticari açıklığın çevresel etkilerini analiz etmek, literatürdeki belirsizlikleri gidermek açısından önem taşımaktadır.

Genel olarak literatür değerlendirildiğinde, ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve çevre konusuna odaklanan çalışmalarda söz konusu değişkenler arasında uzun vadeli önemli ilişkiler bulunduğu doğrulanmaktadır. Bu ilişkilerin yönü ise çalışmalarda ele alınan dönem, ele alınan ülke veya ülke grubu ile uygulanan ekonometrik yöntemle göre farklılık göstermektedir. Ticari açıklığın çevre üzerindeki etkilerine yönelik literatür değerlendirildiğinde fikir birliğine varılamadığı görülmektedir. Bu çalışmada ise Rusya ekonomisinde ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve ticari

açıklığın çevresel bozulmaya etkileri ARDL sınır testi ve Toda-Yamamoto nedensellik analizi ile incelenmektedir.

4. Yöntem

Bu çalışmada 1992-2023 döneminde Rusya’da çevresel bozulmanın belirleyicileri ARDL sınır testi ve Toda-Yamamoto nedensellik yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Alam vd. (2016) ve Khan vd. (2020) tarafından yapılan çalışmalardan faydalanılarak oluşturulan model Denklem (1)’de gösterilmiştir;

$$LnCO_2_t = a_0 + a_1LnGDP_t + a_2LnEC_t + a_3LnTO_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Denklem (1)’de yer alan modele göre, karbon emisyonları (CO₂) bağımlı değişken, ekonomik büyüme (GDP), enerji tüketimi (EC) ve ticari açıklık (TO) bağımsız değişkenler olarak modelde kullanılmıştır. Değişkenlerin doğal logaritmaları alınmıştır. Kullanılan değişkenlere ait veriler 1992-2023 dönemini kapsamaktadır. Tablo 1’de değişkenler ve veri kaynağı yer almaktadır.

Tablo 1. Granger Veri Seti ve Kaynağı

Değişkenler	Kısaltma	Veri Kaynağı
Karbon Emisyonları (Kişi başına metrik ton)	CO ₂	World Bank (https://databank.worldbank.org/)
Ekonomik Büyüme (Kişi başına, sabit fiyatlarla 2015 ABD doları)	GDP	World Bank (https://databank.worldbank.org/)
Ticari Dış Açıklık (GSYİH'nin yüzdesi)	TO	World Bank (https://databank.worldbank.org/)
Enerji Tüketimi (Kişi başına birincil enerji tüketimi /kWh)	EC	International Energy Agency (IEA) (https://www.iea.org/data-and-statistics)

Çalışmada öncelikle serilerin durağanlık düzeylerini belirlemek amacıyla ADF (Augmented Dickey-Fuller) ve PP (Phillips-Perron) birim kök testleri uygulanmıştır. Ardından değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkileri tespit etmek amacıyla ARDL sınır testi analizi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra nedensellik ilişkilerini incelemek üzere Toda-Yamamoto nedensellik analizi ile çalışma devam etmiştir.

Serilerin durağan olup olmadığının belirlenmesi, modelleme sürecinin temel adımlarından birini oluşturmaktadır. Serilerin durağan olup olmadığını belirlemek için belirli kritik değerlere dayanan çeşitli testler uygulanmaktadır. Çalışmada durağanlığın analizinde ADF ve PP testleri kullanılmıştır (Dickey ve Fuller, 1981; Phillips ve Perron, 1988). DF testinin geliştirilmiş biçimi olan ADF testi, modelde otokorelasyon bulunması durumunda gecikmeli fark terimlerini ekleyerek bu sorunu gidermektedir. Testin temel amacı, seride birim kök bulunup bulunmadığını sınamaktır. Sıfır hipotezi serinin birim kök içerdiğini yani durağan olmadığını, alternatif hipotez ise serinin durağan olduğunu ifade etmektedir (Gujarati ve Porter, 2009). ADF testinin denklemi aşağıda yer almaktadır;

$$\Delta y_t = \alpha + \beta t + \gamma y_{t-1} + \sum_{i=1}^p \delta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (2)$$

PP ve ADF birim kök testi esas olarak hata terimlerindeki seri korelasyon ve değişen varyans ile nasıl başa çıktıkları açısından farklılık göstermektedir. ADF testleri, test regresyonundaki hata terimlerinin ARMA yapısını yakalamak için parametrik bir otoregresyon kullanırken, PP testleri test regresyonundaki seri korelasyonu göz ardı edebilir. PP testinin farkı, ADF'deki gibi gecikme terimleri Δy_{t-i} eklenmeden, hata terimindeki otokorelasyonun non-parametrik yöntemlerle düzeltilmesidir (Zivot ve Wang, 2006). ADF testinin denklemi aşağıda yer almaktadır;

$$\Delta y_t = \alpha + \beta t + \gamma y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (3)$$

Pesaran vd. (2001) tarafından geliştirilen ARDL sınır testi yöntemi, bağımlı değişkenin gecikmeli değerlerini ve açıklayıcı değişkenlerin hem gecikmeli hem de mevcut değerlerini kullanmaktadır. Bu model, geleneksel eşbütünleşme testlerine göre birçok avantaja sahiptir. İlk olarak model, değişkenlerin entegrasyon derecesine bakılmaksızın kullanılabilir. Çalışmadaki değişkenler aynı entegrasyon derecesine sahip olmak zorunda değildir, I(0), I(1) veya her ikisinin karışımı olabilirler. İkinci olarak, model hem kısa vadeli hem de uzun vadeli dinamiklere sahiptir. Sadece endojen değişkenleri kullanan VAR modelinin aksine, ARDL, endojen ve egzojen değişkenlerin bir kombinasyonunu kullanabilir (Adnan vd., 2020).

ARDL eşbütünleşme yöntemi diğer yöntemlerden farklı olarak birim kökler için ön testler gerektirmez. ARDL eşbütünleşme yöntemi, farklı mertebeden entegre, I(0), I(1) veya her ikisinin kombinasyonu olan değişkenlerle uğraşırken tercih edilebilir. Ayrıca küçük bir örneklem boyutunda temel değişkenler arasında tek bir uzun dönemli ilişki olduğunda sağlamdır. Temel değişkenlerin uzun dönemli ilişkisi F-istatistiği (Wald testi) aracılığıyla tespit edilebilir. Bu yaklaşımın en büyük avantajı, birden fazla eşbütünleşen vektörün olduğu durumlarda eşbütünleşen vektörleri tanımlamasından kaynaklanmaktadır (Nkoro ve Uko, 2016).

ARDL analizinde eşbütünleşmenin varlığı doğrulanırsa, uzun ve kısa dönem modelleri tahmin edilebilir. Daha sonra uzun ve kısa dönem esneklikleri elde edilir. Eşbütünleşme, ARDL sınır testi yaklaşımının hipotez kurgusu aşağıdaki gibidir;

$$H_0: a_1 = a_2 = \dots a_n = 0$$

$$H_1: a_1 \neq a_2 = \dots a_n \neq 0$$

Test için F-istatistikleri kritik değerlerle karşılaştırılır. Değişkenler arasında teorik bağlantı olduğunda eş bütünleşme söz konusu olmaktadır. Eşbütünleşme kanıtı, değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki olduğunu ve aralarındaki bağlantının kısa ömürlü bir durum değil, daha kalıcı bir durum olduğunu göstermektedir (Menegaki, 2019). Eğer hesaplanan Wald veya F-istatistiği kritik değer sınırlarının dışında kalıyorsa, eşbütünleşme durumu bilinmeden kesin bir çıkarım yapılabilir. Ancak, Wald veya F-istatistiği bu sınırlar içinde kalıyorsa, çıkarım kesin olmayan bir hale gelmekte ve kesin çıkarımlar yapılabilmesi için eşbütünleşme sırasının bilinmesi gerekmektedir (Pesaran vd., 2001). F-testinin tahmin edilen sonuçları, hesaplanan F-testinin değeri, %1 ve %5 anlamlılık seviyelerinde üst sınır değerinden küçükse, seçilen çalışma değişkenleri arasında eşbütünleşme olduğunu göstermektedir (Chandio vd., 2020). Boş hipotez reddedilirse eşbütünleşme bulunmaktadır. F-testinin tahmin edilen sonucu, alt kritik sınır değerinin altındaysa değişkenler arasında eşbütünleşme bulunmamaktadır. Yani boş hipotez kabul edilir.

Denklem (1)'den hareketle çalışmada kullanılan ARDL modeli Denklem (4)'de şu şekilde gösterilmiştir;

$$\Delta \text{LnCO}_2_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_1 \Delta \text{LnCO}_2_{t-i} + \sum_{i=1}^l \beta_2 \Delta \text{LnGDP}_{t-i} + \sum_{i=1}^m \beta_3 \Delta \text{LnEC}_{t-i} + \sum_{i=1}^n \beta_4 \Delta \text{TO}_{t-i} + \beta_5 \Delta \text{LnCO}_2_{t-i} + \beta_6 \Delta \text{LnGDP}_{t-i} + \beta_7 \Delta \text{LnEC}_{t-i} + \beta_8 \Delta \text{LnTO}_{t-i} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

Denklem (4)'te β_0 eğim katsayısını, Δ serilerin birinci farkını, $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ ve β_4 değişkenler arasındaki kısa dönemli ilişkiyi, $\beta_5, \beta_6, \beta_7$ ve β_8 ise değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkiyi göstermektedir.

Eğer analiz sonucunda değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki tespit edilirse, modele hata düzeltme terimi (ECT_{t-1}) eklenmektedir. Hata teriminin eklendiği formül Denklem (5)'te yer almaktadır. Denklemde δ hata düzeltme teriminin katsayısını, ECT_{t-1} ise hata düzeltme terimini göstermektedir.

$$\Delta \text{LnCO}_2_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_1 \Delta \text{LnCO}_2_{t-i} + \sum_{i=1}^l \beta_2 \Delta \text{LnGDP}_{t-i} + \sum_{i=1}^m \beta_3 \Delta \text{LnEC}_{t-i} + \sum_{i=1}^n \beta_4 \Delta \text{TO}_{t-i} \delta \text{ECT}_{t-1} + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

Granger nedenselliği, temel seri verileri durağansa ve serinin entegre edilmesini gerektiriyorsa uygulanabilir. Aksi takdirde, sahte regresyon sonuçları verebilir ve F testi geçersiz hale gelebilir. Hata Düzeltme Modeli (ECM) (Engle ve Granger, 1987) ve Vektör Hata Düzeltme Modeli (VECM) (Johansen ve Juselius, 1990) modelleri bu sorunu çözse de, uygulamaları karmaşık ve çok adımlıdır. Toda ve Yamamoto (1995) ise bu sorunları önlemek için Değiştirilmiş Wald (MWALD) testi kullanarak, eşbütünleşme düzeyinin bilinmesine gerek kalmadan kısıtlanmamış VAR ($k + d_{max}$) modeli tahmin etmeyi önermektedir. Burada k , VAR modelinin gecikme derecesini, d_{max} ise sistemdeki serilerin maksimum entegrasyon derecesini ifade etmektedir (Hamdi, 2013; Adriana, 2014). Denklem (6) ve Denklem (7)'de testin denklemi verilmiştir;

$$Y_t = a_0 + \sum_{i=1}^k b_{1i} \cdot Y_{t-i} + \sum_{i=k+1}^{k+d_{max}} b_{2i} \cdot Y_{t-i} + \sum_{i=1}^k c_{1i} \cdot X_{t-i} + \sum_{i=k+1}^{k+d_{max}} c_{2i} \cdot X_{t-i} + e_{1t} \quad (6)$$

$$X_t = d_0 + \sum_{i=1}^k e_{1i} \cdot X_{t-i} + \sum_{i=k+1}^{k+d_{max}} e_{2i} \cdot X_{t-i} + \sum_{i=1}^k f_{1i} \cdot Y_{t-i} + \sum_{i=k+1}^{k+d_{max}} f_{2i} \cdot Y_{t-i} + e_{2t} \quad (7)$$

5. Bulgular

Ampirik değerlendirmeye geçmeden önce tanımlayıcı istatistik sonuçları Tablo 2'de gösterilmektedir. CO₂'nin ortalamasının 2,41, standart sapmasının 0,184, GDP'nin ortalamasının 8,91, standart sapmasının 0,286, EC'nin ortalamasının 10,90, standart sapmasının 0,073, TO'nun ortalamasının 3,97, standart sapmasının 0,145 olduğu görülmektedir. Jarque–Bera testi, serinin artıklarının normal dağıldığını göstermektedir.

Tablo 2. Tanımlayıcı İstatistikler

	LnCO ₂	LnGDP	LnEC	LnTO
Gözlem Sayısı	32	32	32	32
Ortalama	2,414	8,912	10,901	3,976
Ortanca	2,422	9,049	10,913	3,925
Standart Sapma	0,184	0,286	0,073	0,145
Çarpıklık	0,274	-0,477	-0,054	2,072
Basıklık	2,819	1,635	2,652	8,717
Jarque-Bera İstatistiği	0,44 (0,79)	3,70 (0,15)	0,17 (0,91)	66,5 (0,00)
Maksimum	2,580	9,251	11,07	4,705
Minimum	2,295	8,415	10,76	3,733

Serilerin tanımlayıcı istatistiklerinin ardından, ARDL yöntemindeki ilk adım olan birim kök analizi gerçekleştirilmiştir. Eşbütünleşme testi kullanılmadan önce, birim kök testinin yapılması gerekmektedir. Birim kök analizi her bir değişkenin bütünleşme derecesi hakkında bilgi vermektedir. ARDL modellerinin sınır testi varsayımını karşılamak için, her değişken I(0) veya I(1) olmalıdır (Menegaki, 2019). Tek bir zaman serisinin durağanlık özelliğini test etmek için genellikle PP veya ADF testinin kullanılmasını içermektedir (Nkoro ve Uko, 2016). Mevcut çalışmada ADF ve PP birim kök testleri kullanılmıştır. Durağanlık testinin tahmin edilen sonuçları Tablo 3'te gösterilmektedir. Sonuçlar TO değişkeninin seviye I(0)'da durağan olduğunu, GDP, EC ve CO₂ değişkenlerinin ise birinci fark I(1)'de durağan olduğunu ortaya koymaktadır. ADF ve PP birim kök testlerinin tahmin edilen sonuçları, ARDL yönteminin değişkenler arasındaki kısa ve uzun vadeli ilişkileri değerlendirmek için kullanılabileceğini göstermektedir.

Tablo 3. ADF ve PP Birim Kök Testi Sonuçları

Değişkenler	Düzy	
	ADF	PP
LnCO ₂	-2,305 (0,176)	-2,523 (0,119)
LnGDP	-0,008 (0,950)	-0,416 (0,894)
LnEC	-2,177 (0,217)	-2,156 (0,225)
LnTO	-5,281 (0,000)***	-4,753 (0,000)***
Değişkenler	Birinci Fark	
	ADF	PP
LnCO ₂	-2,967 (0,050)*	-4,429 (0,015)***
LnGDP	-3,460 (0,016)**	-3,338 (0,021)**
LnEC	-5,532 (0,000)***	-7,145 (0,000)***
LnTO	-	-

Not: *** p<0,01, ** p<0,05, * p<0,1.

Çalışmada ARDL analizinin gerçekleştirilebilmesi için uygun gecikme uzunluğu sonuçları Tablo 4'te özetlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, tüm kriterlerin en uygun değeri birinci gecikme için verdiği görülmektedir. LR test istatistiği, bir gecikme eklenmesinin modelin anlamlı biçimde iyileştirdiğini gösterirken, FPE değeri en düşük hata düzeyini yine birinci gecikmede sunmaktadır. Benzer şekilde, AIC, SC ve HQ bilgi kriterleri de en küçük değerlerine 1 gecikme uzunluğu düzeyinde ulaşmıştır.

Tablo 4. Gecikme Uzunluğunun Belirlenmesine İlişkin Sonuçlar

Gecikme Uzunluğu	LogL	Lr	FPE	AIC	SC	HQ
0	180,1246	NA	9,35e-11	-11,7416	-11,5548	-11,6818
1	280,1368	166,6869*	3,50e-13*	-17,3424*	-16,4083	-17,0436*
2	291,5135	15,9273	5,07e-13	-17,0342	-15,3528	-16,4963

Not: * Gecikme uzunluğunu, LR Test İstatistiğini, FPE (Nihai Tahmin Hatasını), AIC (Akaike Bilgi Kriterini), SC (Schwarz Bilgi Kriterini) ve HQ (Hannan-Quinn Bilgi Kriterini) ifade etmektedir.

ARDL eşbütünleşme testi sonuçları Tablo 5'te gösterilmektedir. Bulgular, CO₂'nin bağımlı değişken olarak kullanıldığında GDP, EC ve TO değişkenleri arasında eşbütünleşme ilişkisi bulunduğunu ortaya koymaktadır. F-istatistiği (27,94) %1 anlamlılık düzeyinde üst sınırın (5,81) üzerindedir. Dolayısıyla değişkenler arasında uzun dönemde eşbütünleşme ilişkisi bulunmaktadır.

Tablo 5. ARDL Eşbütünleşme Testi Sonuçları

Model: $LnCO_{2t} = f(LnGDP_t, LnEC_t, LnTO_t)$		ARDL (1 1 0 0)
K		3
M		1
F-İstatistiği		27,944***
Önem Düzeyi	Alt Sınır I(0)	Üst Sınır I(1)
%10	2,618	3,532
%5	3,164	4,194
%1	4,428	5,816

Not: *** p<0,01, ** p<0,05, * p<0,1.

Tablo 6 ARDL modelinin tanısal testlerinin sonuçlarını rapor etmektedir. Breusch-Godfrey LM testinin tahmin edilen sonuçları, ARDL modelinde otokorelasyon problemi olmadığını, Jarque-Bera testi, modelin hata terimlerinin normal dağıldığını, Ramsey testi kullanılan modelin doğru fonksiyonel forma sahip olduğunu, Harvey testi ise modelde sabit varyans varsayımının bulunduğunu doğrulamaktadır.

Tablo 6. Tanısal Test Sonuçları

	Jarque-Bera testi	Breusch-Godfrey LM testi	Harvey testi	Ramsey testi	CUSUM	CUSUMSQ
F-İstatistiği	1,020	0,142	0,872	2,385		
Olasılık	0,600	0,867	0,513	0,135	İstikrarlı	İstikrarlı

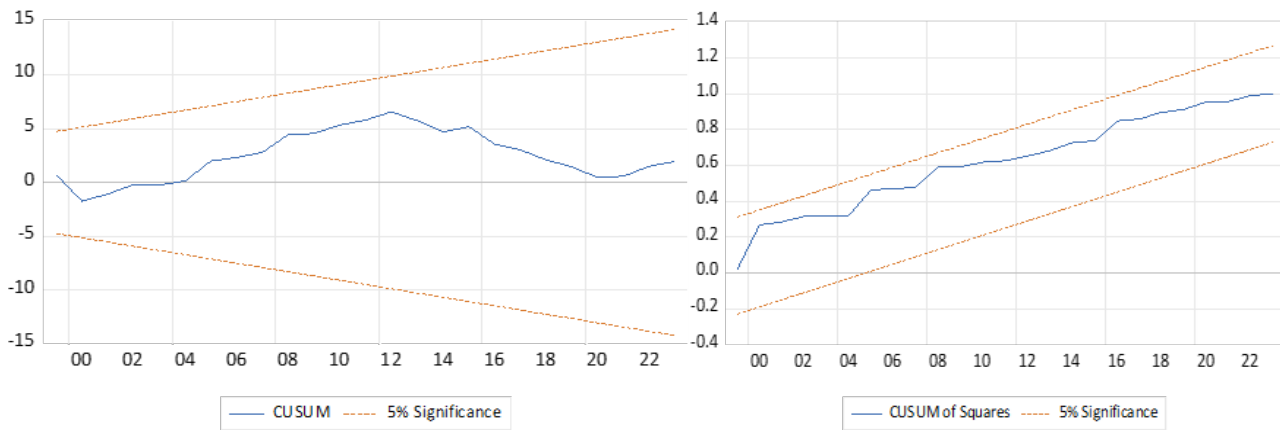
Kısa ve uzun dönem ARDL analizinin sonuçları Tablo 7’de sunulmaktadır. ARDL modelinin tahmin edilen sonuçları, GDP ve TO değişkenlerinin uzun vadede karbon emisyonları üzerinde negatif ve anlamlı bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Yani Rusya’da ekonomik büyümede %1’lik bir artış karbon emisyonlarını %0,070 azaltmaktadır. Ticari açıkta %1’lik bir artış karbon emisyonlarını %0,049 oranında azaltmaktadır. Öte yandan EC değişkeninin karbon emisyonları üzerinde uzun vadede pozitif ve anlamlı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Yani Rusya’da enerji tüketiminde %1’lik bir artış karbon emisyonlarını %1,11 artırmaktadır. Kısa dönemde ise ekonomik büyümenin karbon emisyonları üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamaktadır. Modelin hata düzeltme teriminin (ECT_{t-1}) katsayısının %1 önem düzeyinde istatistiki olarak anlamlı olduğu görülmektedir.

Tablo 7. ARDL Kısa ve Uzun Dönem Sonuçları

Uzun Dönem Katsayıları				
Değişkenler	LnGDP	LnEC	LnTO	C
Katsayı	-0,070	1,110	-0,049	-8,862
Standart Hata	0,019	0,067	0,026	0,599
t-istatistiği	-3,633	16,41	-1,871	-14,78
Olasılık	0,001***	0,000***	0,073**	0,000***
Kısa dönem Katsayıları				
Değişkenler	Δ LnGDP		ECT _{t-1}	
Katsayı	0,017		-0,618	
Standart Hata	0,049		0,080	
t-istatistiği	0,348		-12,73	
Olasılık	0,730		0,000***	

Not: *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$, * $p < 0,1$.

Şekil 1, ardışık artıkların kümülatif toplamı (CUSUM) ve ardışık artıkların karelerinin kümülatif toplamının (CUSUMS) grafiklerini göstermektedir. Bu grafikler, ARDL modelinin örnekleme dönemi boyunca istikrarlı olduğunu, tercih edilen modelin uygulanabilir olduğunu göstermektedir.



Şekil 1. CUSUM ve CUSUMSQ Grafikleri

Tablo 8’de sunulan Toda-Yamamoto nedensellik testi sonuçlarına göre, değişkenler arasında hem tek yönlü hem de çift yönlü nedensellik ilişkileri bulunmaktadır. GDP ile CO₂, EC ile CO₂, TO ile CO₂ ve EC ile GDP değişkenleri arasında çift yönlü nedensellik tespit edilmiştir. Bu durum, ekonomik büyüme, enerji tüketimi, ticaret açıklık ve karbon emisyonlarının karşılıklı olarak birbirini etkilediğini göstermektedir. Ayrıca EC ile GDP arasındaki çift yönlü nedensellik geri besleme hipotezinin geçerliliğini doğrulamaktadır. Yani ekonomik büyüme enerji tüketimini artırmakta, enerji tüketimindeki artış da büyümeyi desteklemektedir. Öte yandan, GDP → TO ve EC → TO yönlerinde tek yönlü nedensellik ilişkileri bulunmuştur. Bu bulgular, analiz kapsamında ele alınan Rusya ekonomisinde büyüme, enerji ve çevre arasındaki dinamik etkileşimin güçlü olduğunu ve sürdürülebilir kalkınma politikalarında bu karşılıklı etkileşimlerin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Tablo 8. Toda-Yamamoto Nedensellik Testi Sonuçları

H_0 Hipotezi	Gecikme Değeri ($d_{max} + k$) ^x	Wald İstatistiği	p değeri	Sonuç
GDP → CO ₂	3	13,24	0,001***	Çift Yönlü nedensellik
CO ₂ → GDP	3	17,51	0,000***	Çift Yönlü nedensellik
EC → CO ₂	3	13,41	0,001***	Çift Yönlü nedensellik
CO ₂ → EC	3	6,52	0,038**	Çift Yönlü nedensellik
TO → CO ₂	2	8,54	0,003***	Çift Yönlü nedensellik
CO ₂ → TO	2	45,52	0,000***	Çift Yönlü nedensellik
EC → GDP	3	14,75	0,001***	Çift Yönlü nedensellik
GDP → EC	3	16,69	0,000***	Çift Yönlü nedensellik
TO → GDP	3	5,28	0,071	Tek yönlü nedensellik
GDP → TO	3	25,48	0,000***	(GDP → TO)
TO → EC	3	2,36	0,308	Tek yönlü nedensellik
EC → TO	3	30,92	0,000***	(EC → TO)

Not: *** p<0,01, ** p<0,05, * p<0,1.

6. Sonuç ve Öneriler

Son yıllarda sanayileşme, ekonomik faaliyetler, nüfus ve tüketim artışı çevre üzerindeki etkilerini ciddi şekilde artırmıştır. Bu nedenle gelişmekte olan ülkelerin de emisyon artışlarını önlemek için çevre dostu politikalara yönelmesi ve küresel ölçekte enerji politikalarının dönüştürülmesi gerekmektedir. Dolayısıyla ekonomik faaliyetler ile çevre arasında güçlü etkileşimler bulunmaktadır. Örneğin enerji tüketimi büyümeyi desteklerken, enerji verimliliği bu tüketimi azaltarak sürdürülebilir

büyümeye katkı sağlayabilmektedir. Ancak fosil yakıtlara dayalı enerji kullanımı, sera gazı emisyonları aracılığıyla çevresel bozulmanın başlıca nedenlerinden birini oluşturmaktadır.

Büyüme, enerji tüketimi ve ticaretin çevresel etkilerine yönelik teorik literatür incelendiğinde, ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasındaki ilişkinin ÇKE hipotezi çerçevesinde incelendiği görülmektedir. Bu hipoteze göre ekonomik büyümenin ilk aşamalarında çevresel bozulma artmakta, ancak belirli bir gelir seviyesinden sonra çevresel koşullar iyileşmektedir. Ekonomik büyüme ile enerji tüketimi arasındaki ilişki ise literatürde Büyüme Hipotezi, Tasarruf (Koruma) Hipotezi, Geri Besleme Hipotezi ve Tarafsızlık Hipotezi olmak üzere dört temel hipotezle açıklanmakta olup bu hipotezler, enerji tüketiminin büyümeyi nasıl etkilediği ya da etkileyip etkilemediği konusunda farklı yaklaşımlar sunmaktadır. Ticari açıklık, bir ülkenin uluslararası ticarete ve yatırımlara entegrasyon düzeyini gösterirken, çevre üzerindeki etkisi literatürde ölçek etkisi, teknik etki ve bileşim etkisiyle açıklanmaktadır. Bu çerçevede ticaret, bir yandan enerji tüketimi ve kirliliği artırabilirken diğer yandan teknoloji transferi ve temiz üretim yöntemleri aracılığıyla çevresel iyileşmeye katkı sağlayabilmektedir.

Bu çalışmada Rusya ekonomisinde çevresel bozulmanın belirleyicileri 1992-2023 dönemi ele alınarak, ARDL sınır testi ve Toda-Yamamoto nedensellik analizi yöntemleri ile ampirik olarak incelenmiştir. Çalışmada öncelikle ADF ve PP birim kök testleri uygulanmıştır. Birim kök testi sonuçları, TO değişkeninin düzey değerinde, GDP, EC ve CO₂ değişkenlerinin ise birinci farkta durağan hale geldiğini ortaya koymaktadır. ARDL sınır testi yöntemi, değişkenlerin aynı entegrasyon derecesine sahip olmasını gerektirmediği için I(0) ve I(1) düzeyindeki değişkenlerle analiz yapmaya uygun bir yöntemdir. Bu doğrultuda, çalışmada değişkenlerin farklı bütünleşme derecelerine sahip olması, kısa ve uzun dönem ilişkilerin analizinde ARDL sınır testinin uygun bir yöntem olduğunu göstermektedir. ARDL analizinde en uygun gecikme uzunluğu ise LR testi, FPE, AIC, SC ve HQ kriterlerinin tümünde en iyi sonuçları verdiği için birinci gecikme olarak belirlenmiştir.

Sonraki adımda gerçekleştirilen ARDL eşbütünleşme testi ile değişkenler arasında uzun dönemli eşbütünleşme ilişkisi olduğu tespit edilmiştir. Uzun vadeli ARDL modelinin tahmin edilen sonuçları, EC değişkeninin CO₂ üzerinde uzun vadede pozitif ve anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. GDP ve TO değişkenlerinin ise uzun vadede CO₂ üzerindeki etkisi negatif ve anlamlıdır. Son aşamada gerçekleştirilen Toda-Yamamoto nedensellik testi sonuçları, GDP ile CO₂, EC ile CO₂, TO ile CO₂ ve EC ile GDP değişkenleri arasında çift yönlü, GDP ile TO ve EC ile TO değişkenleri arasında tek yönlü nedensellik ilişkisi olduğunu ortaya koymaktadır. Sonuçlar değişkenler arasında karşılıklı etkileşimler olduğunu göstermektedir. Özellikle enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki çift yönlü ilişki geri besleme hipotezinin geçerliliğini doğrulamaktadır.

Çalışmanın sonuçları Rusya ekonomisinde enerji tüketiminin karbon emisyonlarının artmasında ve buna bağlı olarak çevresel bozulmada önemli bir etkisi bulunduğunu göstermektedir. Uzun dönemde enerji tüketiminin çevresel bozulma üzerindeki pozitif etkisine ilişkin ulaşılan bulguların, Alam vd. (2016) Hindistan, Endonezya, Çin ve Brezilya örneği, Zhu vd. (2016) ASEAN-5 ülkeleri örneği, Esso ve Keho (2016) Sahra Altı Afrika ülkeleri örneği, Dong vd (2018) Çin örneği, Khan vd. (2020) Pakistan örneği üzerinden gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen bulgular ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Bu noktada toplumsal yönetim şeklinde yeşil veya sürdürülebilir yaklaşımların benimsenmesi, çevre sorunlarına çözüm bulmada önemli bir strateji olarak görülmektedir. Küresel ısınmanın en büyük katkıcısı olan karbon emisyonlarını azaltma ve kontrol etmede, enerji üretimi için alternatif yaklaşımların kullanılması ve bu alternatiflerin bugün nasıl kullanıldığının ve gelecekte nasıl yeşil enerji kaynakları olarak kullanılabileceğinin araştırılması gerekmektedir.

Öte yandan Rusya ekonomisinde ticari açıklık ve ekonomik büyümenin çevresel bozulma üzerinde negatif etkilerinin bulunduğu tespit edilmiştir. Bu durum, son yıllarda Rusya'nın enerji verimliliğini artırmaya yönelik politikaları, çevre dostu teknolojileri ve yenilenebilir enerji yatırımlarının artmasıyla ilişkilendirilebilir. Çalışmada ekonomik büyümenin çevre üzerinde olumlu

etkilerine yönelik ulaşılan bulguların literatürde Zhu vd. (2016) tarafından ASEAN-5 ülkeleri örneğinde gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir. Ticaretin çevre üzerindeki olumlu etkisine yönelik bulguların ise, Menagi vd. (2009) tarafından OECD ülkeleri üzerine gerçekleştirilen çalışma bulguları ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, ticaretin çevre üzerindeki olumlu etkisini açıklayan teknik etki yaklaşımı, artan gelir ve çevre bilinciyle birlikte daha sıkı çevre politikalarının benimsenmesi sonucu emisyonların azalabileceğini öne sürmektedir. Elde edilen bulgular, Rusya örneğinde teknik etki yaklaşımıyla uyumlu sonuçlar ortaya koymaktadır.

Bu çerçevede, sürdürülebilir büyüme politikaları ve çevreye duyarlı ticaret stratejileri sayesinde, Rusya ekonomisi hem üretim verimliliğini artırmakta hem de karbon emisyonlarını görece sınırlı tutabilmektedir. Dolayısıyla, uygun politika yönlendirmeleri ve çevresel düzenlemelerle birlikte ticaret ve ekonomik büyümenin, Rusya'da çevre kalitesinin iyileştirilmesine destek olabilecek potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Bu kapsamda, gelecekteki araştırmaların Rusya'nın sürdürülebilir büyüme sürecinde yenilenebilir enerji yatırımlarının etkinliğini, karbon azaltım politikalarının sektörel etkilerini ve yeşil ticaret uygulamalarının uzun vadeli çevresel sonuçlarını incelemesi faydalı olacaktır. Ayrıca, benzer analizlerin farklı ülke grupları veya bölgesel karşılaştırmalar üzerinden yapılması, ticaret-enerji-büyüme-çevre ilişkisine yönelik daha kapsamlı bir bakış açısı sağlayabilir.

Kaynaklar

- A'yun, I. Q. ve Khasanah, U. (2022). The impact of economic growth and trade openness on environmental degradation: Evidence from a panel of ASEAN countries. *Jurnal Ekonomi & Studi Pembangunan*, 23(1), 81-92. <https://doi.org/10.18196/jesp.v23i1.13881>
- Acaravci, A. ve Öztürk, İ. (2010). On the relationship between energy consumption, CO₂ emissions and economic growth in Europe. *Energy*, 35(12), 5412-5420. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.07.009>
- Adnan, Z. Chowdhury, M. ve Mallik, G. (2020). Determinants of total factor productivity in Pakistan: A time series analysis using ARDL approach. *International Review of Applied Economics*, 34(6), 807-820. <https://doi.org/10.1080/02692171.2020.1792420>
- Adriana, D. (2014). Revisiting the relationship between unemployment rates and shadow economy. A Toda-Yamamoto approach for the case of Romania. *Procedia Economics and Finance*, 10, 227-236. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00297-4](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00297-4)
- Ahmed, M., Shuai, C. ve Ahmed, M. (2023). Analysis of energy consumption and greenhouse gas emissions trend in China, India, the USA, and Russia. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(3), 2683-2698. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04159-y>
- Akadiri, S. S., Bekun, F. V., Taheri, E. ve Akadiri, A. C. (2019). Carbon emissions, energy consumption and economic growth: A causality evidence. *International Journal of Energy Technology and Policy*, 15(2-3), 320-336. <https://doi.org/10.1504/IJETP.2019.098956>
- Alam, M., Murad, W., Noman, A. H. ve Öztürk, İ. (2016). Relationships among carbon emissions, economic growth, energy consumption and population growth: Testing environmental Kuznets curve hypothesis for Brazil, China, India and Indonesia. *Ecological Indicators*, 70, 466-479. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.06.043>
- Ang, J. (2007). CO₂ emissions, energy consumption, and output in France. *Energy Policy*, 35(10), 4772-4778. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.03.032>
- Bloch, H., Rafiq, S. ve Salim, R. (2012). Coal consumption, CO₂ emission and economic growth in China: Empirical evidence and policy responses. *Energy Economics*, 34(2), 518-528. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.07.014>
- Chandio, A. A., Jiang, Y., Rauf, A., Ahmad, F., Amin, W. ve Shehzad, K. (2020). Assessment of formal credit and climate change impact on agricultural production in Pakistan: A time series ARDL modeling approach. *Sustainability*, 12(13), 5241. <https://doi.org/10.3390/su12135241>

- Chang, N. (2012). The empirical relationship between openness and environmental pollution in China. *Journal of Environmental Planning and Management*, 55(6), 783-796. <https://doi.org/10.1080/09640568.2011.628087>
- Chaudhry, A. ve Reetu, R. (2025). A systematic review of trade and environment linkages. *Discover Environment*, 3(1), 1-17. <https://doi.org/10.1007/s44274-025-00368-7>
- Dickey, D. A. ve Fuller, W. A. (1981). Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. *Econometrica*, 49(4), 1057-1072. <https://doi.org/10.2307/1912517>
- Dinçer, S. (2025). Alternative renewable energy sources in the context of global energy crises and sustainable environment. *Kapanaltı Dergisi*, 7, 19-30. <https://doi.org/10.62080/kmfed.1642736>
- Dong, K., Sun, R., Jiang, H. ve Zeng, X. (2018). CO₂ emissions, economic growth, and the environmental Kuznets curve in China: What roles can nuclear energy and renewable energy play? *Journal of Cleaner Production*, 196, 51-63. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.271>
- Ekwebe, A. O. A. ve Angelus, E. F. (2025). Moderating effect of environmental quality on the relationship between trade openness and health expenditure in Sub-Saharan African countries. *Finance & Economics Review*, 7(1), 42-51. <https://doi.org/10.38157/fer.v7i1.669>
- Engle, R. F. ve Granger, C. W. J. (1987). Cointegration and error correction: Representation, estimation and testing. *Econometrica*, 55(2), 251-276. <https://doi.org/10.2307/1913236>
- Esso, L. J. ve Keho, Y. (2016). Energy consumption, economic growth and carbon emissions: Cointegration and causality evidence from selected African countries. *Energy*, 114, 492-497. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.010>
- Grossman, G. M. ve Krueger, A. B. (1991). Environmental impacts of a North American free trade agreement (NBER Working Paper No. 3914). National Bureau of Economic Research. <https://www.nber.org/papers/w3914>
- Gujarati, D. N. ve Porter, D. C. (2009). *Basic econometrics*. McGraw-Hill. https://cbpbu.ac.in/userfiles/file/2020/STUDY_MAT/ECO/1.pdf
- Hamdi, H. (2013). Testing export-led growth in Tunisia and Morocco: New evidence using the Toda and Yamamoto procedure. *Economics Bulletin*, 1(33), 677-686. <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/65072/>
- Honma, S. (2015). Does international trade improve environmental efficiency? An application of a super slacks-based measure of efficiency. *Journal of Economic Structures*, 4(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s40008-015-0023-6>
- Imarcgroup (2024, 15 Eylül). Russia renewable energy market size, share, trends and forecast by type, end user, and region, 2025-2033. <https://www.imarcgroup.com/russia-renewable-energy-market>
- International Energy Agency (2025, 10 Mart). Russia countries & regions. <https://www.iea.org/countries/russia>
- International Energy Agency (IEA). (2025, 2 Eylül). Data and statistics. <https://www.iea.org/data-and-statistics>
- International Renewable Energy Agency (2017, 15 Eylül). Russia can nearly quadruple share of renewable energy by 2030. <https://tinyurl.com/686avcxn>
- Johansen, S. ve Juselius, K. (1990). Maximum likelihood estimation and inference on cointegration with appucations to the demand for money. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 52(2), 169-210. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.1990.mp52002003.x>
- Khan, M. K., Khan, M. I. ve Rehan, M. (2020). The relationship between energy consumption, economic growth and carbon dioxide emissions in Pakistan. *Financial Innovation*, 6(1), 1-13. <https://doi.org/10.1186/s40854-019-0162-0>
- Koc, S. ve Bulus, G. C. (2020). Testing validity of the EKC hypothesis in South Korea: Role of renewable energy and trade openness. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 29043-29054. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09172-7>

- Korkmaz, Ö. (2022). Do oil, coal, and natural gas consumption and rents impact economic growth? An empirical analysis of the Russian Federation. *Resources Policy*, 77, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102739>
- Lean, H. H. ve Smyth, R. (2010). CO₂ emissions, electricity consumption and output in ASEAN. *Applied Energy*, 87(6), 1858-1864. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.02.003>
- Managi, S., Hibiki, A. ve Tsurumi, T. (2009). Does trade openness improve environmental quality? *Journal of Environmental Economics and Management*, 58(3), 346-363. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2009.04.008>
- Menegaki, A. N. (2019). The ARDL method in the energy-growth nexus field: Best implementation strategies. *Economies*, 7(4), 1-16. <https://doi.org/10.3390/economies7040105>
- Mitrova, T. ve Melnikov, Y. (2019). Energy transition in Russia. *Energy Transitions*, 3(1), 73-80. <https://doi.org/10.1007/s41825-019-00016-8>
- Nkoro, E. ve Uko, A. K. (2016). Autoregressive distributed lag (ARDL) cointegration technique: Application and interpretation. *Journal of Statistical and Econometric Methods*, 5(4), 63-91. https://www.scienpress.com/Upload/JSEM/Vol%205_4_3.pdf
- Omer, A. M. (2008). Energy, environment and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(9), 2265-2300. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.05.001>
- Our World in Data. (2025, Mart 10). Fossil fuels. <https://ourworldindata.org/search?topics=Fossil+Fuels&resultType=all>
- Özgün, F. ve Akın, F. (2024). İnternet kullanımının ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi: Türkiye örneği. *Dicle Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 36, 186-206. <https://doi.org/10.15182/diclesosbed.1416047>
- Pao, H. T., Yu, H. C. ve Yang, Y. H. (2011). Modeling the CO₂ emissions, energy use, and economic growth in Russia. *Energy*, 36(8), 5094-5100. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.06.004>
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), <http://doi.org/10.1002/jae.616>
- Pham, D. T. T. ve Nguyen, H. T. (2024). Effects of trade openness on environmental quality: Evidence from developing countries. *Journal of Applied Economics*, 27(1), 2339610. <http://doi.org/10.1080/15140326.2024.2339610>
- Phillips, P. C. ve Perron, P. (1988). Testing for a unit root in time series regression. *Biometrika*, 75(2), 335-346. <https://doi.org/10.1093/biomet/75.2.335>
- Raihan, A. ve Tuspekova, A. (2022a). Dynamic impacts of economic growth, renewable energy use, urbanization, industrialization, tourism, agriculture, and forests on carbon emissions in Turkey. *Carbon Research*, 1(20), 1-14. <http://doi.org/10.1007/s44246-022-00019-z>
- Raihan, A. ve Tuspekova, A. (2022b). The nexus between economic growth, renewable energy use, agricultural land expansion, and carbon emissions: New insights from Peru. *Energy Nexus*, 6, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100067>
- Russia Renewable Energy Development Association (2025, 15 Eylül). Russia's climate package 2023. <https://rreda.ru/en/reports/annual%E2%80%911520/>
- Rüstemoğlu, H. ve Rodríguez Andrés, A. (2016). Determinants of CO₂ emissions in Brazil and Russia between 1992 and 2011: A decomposition analysis. *Environmental Science & Policy*, 58, 95-106. <http://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.01.012>
- Sarkodie, S. A. ve Strezov, V. (2019). Effect of foreign direct investments, economic development and energy consumption on greenhouse gas emissions in developing countries. *Science of the Total Environment*, 646, 862-871. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.365>
- Saunders, P. J. (2024). Russia's global energy role: war, sanctions, and the energy transition, Energy Innovation Reform Project. <https://tinyurl.com/473x58wf>
- Tang, C. F. ve Tan, B. V. (2015). The impact of energy consumption, income and foreign direct investment on carbon dioxide emissions in Vietnam. *Energy*, 79, 447-454. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2014.11.033>

- Tenaw, D. ve Beyene, A. D. (2021). Environmental sustainability and economic development in Sub-Saharan Africa: A modified EKC hypothesis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143, 1-10. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110897>
- Tiba, S. ve Omri, A. (2007). Literature survey on the relationships between energy, environment and economic growth. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 1129-1146. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.113>
- Toda, H. Y. ve Yamamoto, T. (1995). Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes. *Journal of Econometrics*, 66(1-2), 225-250. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01616-8](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01616-8)
- Twerefou, D. K., Akpalu, W. ve Mensah, A. C. E. (2019). Trade-induced environmental quality: the role of factor endowment and environmental regulation in Africa. *Climate and Development*, 11(9), 786-798. <http://doi.org/10.1080/17565529.2018.1562868>
- Usta, C. ve Berber, M. (2017). Türkiye’de enerji tüketimi ekonomik büyüme ilişkisinin sektörel analizi. *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 13(1), 173-187. <https://izlik.org/JA77GC25DE>
- Vidyarthi, H. (2013). Energy consumption, carbon emissions and economic growth in India. *Technology and Sustainable Development*, 10(4), 278-287. <https://doi.org/10.1108/WJSTSD-07-2013-0024>
- Vo, A. T., Vo, D. H. ve Lee, Q. T. (2019). CO₂ emissions, energy consumption, and economic growth: New evidence in the ASEAN countries. *Journal of Risk and Financial Management*, 12(3), 1-20. <http://doi.org/10.3390/jrfm12030145>
- Wang, Y., Chen, L. ve Kubota, J. (2016). The relationship between urbanization, energy use and carbon emissions: Evidence from a panel of Association of Southeast Asian Nations (ASEAN) countries. *Journal of Cleaner Production*, 112, 1368-1374. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.041>
- World Bank. (2025, 2 Eylül). World development indicators. <https://databank.worldbank.org/>
- Yang, X., Lou, F., Sun, M., Wang, R. ve Wang, Y. (2017). Study of the relationship between greenhouse gas emissions and the economic growth of Russia based on the environmental Kuznets curve. *Applied Energy*, 193, 162-173. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.02.034>
- Zeraibi, A., Radulescu, M., Dembińska, I. ve Çoban, M. N. (2024). The impact of China’s booming tech sector on environmental sustainability: An analysis through comprehensive CS-ARDL approach. *Gondwana Research*, 134, 245-261. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2024.06.020>
- Zhu, H., Duan, L., Guo, Y. ve Yu, K. (2016). The effects of FDI, economic growth and energy consumption on carbon emissions in ASEAN-5: Evidence from panel quantile regression. *Economic Modelling*, 58, 237-248. <http://doi.org/10.1016/j.econmod.2016.05.003>
- Zivot, E. ve Wang, J. (2006). *Modelling financial time series with S-PLUS*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-32348-0>