

Yenilenebilir enerji, ekonomik büyüme ve karbon emisyonu ilişkisi: Seçilmiş ülkeler için panel veri analizi

Renewable energy, economic growth and carbon emissions: Panel data analysis for selected countries

Gönderim Tarihi / Received: 25.09.2024

Çağatay TUNÇSİPER¹

Kabul Tarihi / Accepted: 03.06.2025

Doi: [10.31795/baunsobed.1555639](https://doi.org/10.31795/baunsobed.1555639)

ÖZ: Tüm dünyada üretim faaliyetleri yüksek ölçüde geleneksel enerji kaynaklarına bağlı olarak devam etmektedir. Geleneksel enerji kaynaklarının yoğun kullanımı atmosferde bulunan karbondioksit ve diğer sera gazlarının miktarını önemli ölçüde artırmaktadır. Bu durum, dünya ortalama sıcaklığının artmasına ve iklim değişimine neden olmaktadır. Enerji üretiminde geleneksel kaynakların yenilenebilir enerji ile ikamesi, karbon emisyonlarının azaltılması ve çevresel tahribatın önlenmesi açısından başta gelen eylemler arasındadır. Çalışmada yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyümenin karbon emisyonlarına olan etkisi, yenilenebilir enerji kurulu kapasitesi en yüksek 10 ülke (ABD, Almanya, Brezilya, Çin, Fransa Hindistan, İtalya, İspanya, Japonya, Kanada) için 2000-2020 dönemi kapsamında Prais-Winsten regresyon yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Ulaşılan sonuçlara göre, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyümenin karbon emisyonlarına olan etkisi istatistiksel olarak anlamlıdır. Yenilenebilir enerji tüketiminin karbon emisyonlarına etkisi ters yönlü, ekonomik büyümenin karbon emisyonlarına olan etkisi ise aynı yönlü bulunmuştur. Sonuçlar, sanayi süreçlerinin olumsuz çevresel etkilerini azaltmak için odaklanmış yenilenebilir enerji politikasının gerekliliğini vurgulamaktadır. Bu değişimi hızlandırmak için hükümetler ve işletmeler teşviklere, altyapı harcamalarına ve düzenleyici çerçevelere öncelik vermelidir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, Karbon emisyonu, Ekonomik büyüme, Çevresel sürdürülebilirlik

ABSTRACT: Production activities worldwide remain heavily dependent on traditional energy sources. The extensive use of conventional energy sources has led to a significant increase in atmospheric carbon dioxide and other greenhouse gases. This, in turn, contributes to climate change and the rise in the Earth's average temperature. Substitution of traditional sources of energy production with renewable energy is among the leading actions in terms of reducing carbon emissions and preventing environmental damage. The study examines the relationship between economic growth and renewable energy consumption, and carbon emissions for the ten countries with the biggest installed capacity of renewable energy (USA, Germany, Brazil, China, France, India, Italy, Spain, Japan, Canada) between 2000 and 2020 using the Prais-Winsten regression approach. According to the results, the effect of renewable energy consumption and economic growth on carbon emissions is statistically significant. The effect of renewable energy consumption on carbon emissions is found to be inverse, while the effect of economic growth on carbon emissions is the same. The results emphasise the necessity of a focused renewable energy policy to lessen industry processes' negative environmental effects. To accelerate this transition, governments and businesses should prioritise incentives, infrastructure investment, and the development of supportive regulatory frameworks.

Keywords: Renewable energy, Carbon emissions, Economic growth, Environmental sustainability

¹ Assoc. Prof. Dr., Ege University, Çeşme Faculty of Tourism, tuncsipercağatay@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0445-3686>

EXTENDED ABSTRACT

Conventional energy is important for the economic development and expansion of many nations, but as its use increases, carbon emissions from it are released into the atmosphere, endangering both human welfare and the environment (Adekoya et al., 2021). Based on several scientific studies and the adoption of the Kyoto Protocol, a consensus appears to exist (Saidi and Omri, 2020). The two biggest worldwide issues of the twenty-first century are climate change and global warming. It is critical to identify ways to lessen environmental harm and greenhouse gas emissions. One way to lessen the harm done to the environment is to employ renewable energy sources. Under the heading of "Accessible and Clean Energy," renewable energy is one of the Sustainable Development Goals (UN, 2023). As one of the 17 goals that all United Nations members generally endorse, it has been incorporated into the countries' most current action plans.

Renewable energy is sustainable and derived from natural resources. Compared to fossil fuels, it is cleaner and more environmentally beneficial. It is widely acknowledged that substituting renewable energy sources for conventional energy sources like coal, gas, and oil enables nations to meet their energy needs while lowering their carbon emissions (Khan et al., 2020). The use of renewable, clean energy instead of non-renewable energy sources is necessary to prevent greenhouse gas emissions from reaching dangerous levels. In the 2015 Paris Agreement, it was emphasised that greenhouse gas emissions should be reduced to prevent the global temperature from rising above 2 °C compared to the pre-industrial period. It is predicted that if global warming exceeds 2 °C, it may have devastating effects. Due to today's high energy consumption and carbon emissions, the use of clean energy is critical to prevent the negative effects of climate change (Danish and Ulucak, 2021). In the study, the data of the 10 countries with the highest installed capacity of renewable energy (USA, Germany, Brazil, China, France, India, Italy, Spain, Japan, Canada) between 2000 and 2020 were included in the analysis. The total capacity of the countries is 2828 gigawatts, which corresponds to approximately 73% of the world's total capacity (IRENA, 2024).

Environmental sustainability is among the Millennium Development Goals planned to be fulfilled by 192 member countries at the United Nations summit. The use of renewable energy is considered within the scope of environmental sustainability. The summit drew international attention to the importance of the issue, and a road map was drawn by setting targets. The sample range starts from 2000, when the summit was held, and extends until 2020 due to data limitations. After the series were stationary, the F test was applied separately to determine the unit and time effects in the model selection. According to the results, the null hypothesis that unit effects are equal to zero was rejected, but the null hypothesis that time effects are equal to zero could not be rejected. The classical model is not appropriate due to the presence of unit effects in the model. In the presence of unit effects, the Hausman test was applied to decide between fixed and random effect models. According to the Prais-Winsten estimator analysis results, the model is statistically significant, and the 'R²' is approximately 86%. Similar to the results of the random effects model, the estimated coefficients of the independent variables are also significant separately. The effect of renewable energy consumption on carbon emissions is negative, while the effect of gross domestic product on carbon emissions is the same. According to the estimation results, a 1 percent increase (decrease) in the share of renewable energy consumption in total energy consumption decreases (increases) per capita carbon emissions by approximately 0.29 per cent. A 1% unit change in gross domestic product causes a change of approximately 0.64% unit in per capita carbon emissions. The results seem to be in line with general expectations.

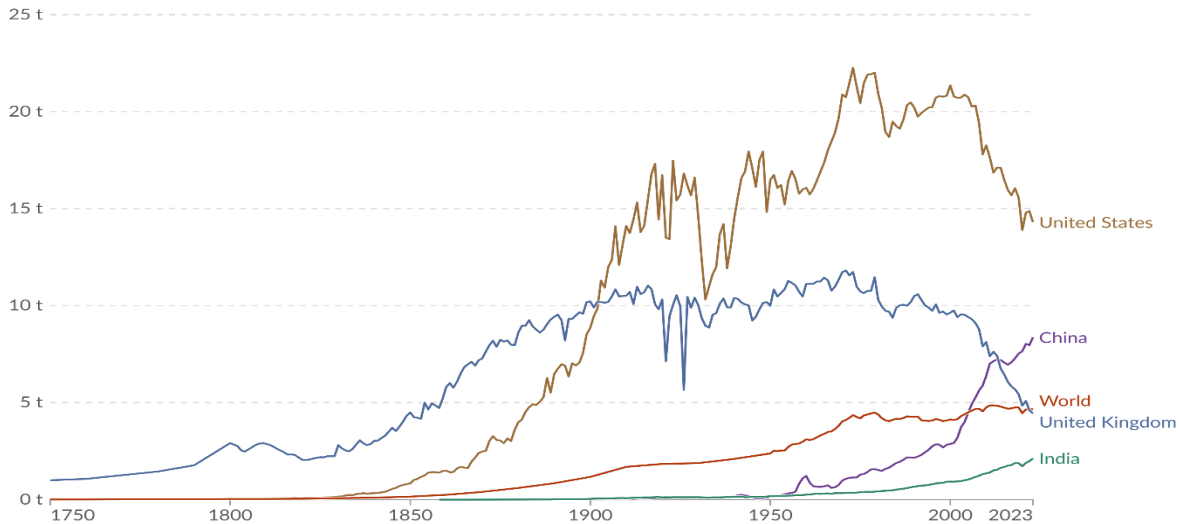
The goal of using our resources more fully and equitably to transfer them to future generations forms the foundation of the policies outlined in the framework of the European Green Deal and the Sustainable Development Goals. You can lessen environmental damage by acting with future generations in mind. In terms of environmental sustainability, the study's conclusions also demonstrated the significance of using renewable energy sources. The tension between environmental degradation and economic expansion may be resolved if the energy required for production is met by renewable energy sources. Carbon emissions will decrease in the context of environmental sustainability by boosting the installed capacity of renewable energy sources and promoting their use. Neglecting the environment in favour of economic expansion could have unavoidable effects. Policies for the transition to clean and renewable energy sources, as well as other environmental initiatives, should be given top priority within the framework of plans created under economic goals.

Giriş

Konvansiyonel enerjinin birçok ülkenin ekonomik büyümesi ve kalkınmasındaki tarihsel rolüne rağmen, artan kullanımının çevreyi ve insan refahını olumsuz yönde etkileyen seviyelerde karbon emisyonlarına önemli bir katkıda bulunduğu tespit edilmiştir (Adekoya vd., 2021). Kyoto Protokolü'nün onaylanmasıyla birlikte önemli bir bilimsel araştırma bütünü, bu konuda geniş bir fikir birliğini yansıtmaktadır (Saidi & Omri, 2020). Dünya Ekonomik Forumu'nun Küresel Riskler Raporu'nda (2023) vurgulandığı gibi, aşırı hava olayları ve ekosistem çöküşü de dahil olmak üzere iklimle ilgili riskler, sürdürülebilir enerji sistemlerine geçişin aciliyetinin altını çizen en kritik uzun vadeli küresel tehditler arasında yer almaktadır. Küresel ısınma ve iklim değişikliği, gıda güvenliği, kamu sağlığı ve jeopolitik istikrar üzerindeki zincirleme etkileri ile 21. yüzyılın en acil sorunlarından bazıları olarak karşımıza çıkmaktadır. Sonuç olarak, politika yapıcılar ekonomik ilerleme ile gezegensel sınırları uzlaştırmak için karbonsuzlaştırma stratejilerine öncelik vermelidir. Sera gazı emisyonlarını ve olumsuz çevresel dışsallıkları azaltacak çözümlerin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının benimsenmesi, çevresel bozulmanın hafifletilmesinde kilit bir çözüm olarak kabul edilmektedir. Yenilenebilir enerji, 'Erişilebilir ve Temiz Enerji' başlıklı Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi (SDG) kapsamında açıkça ele alınmaktadır (BM, 2023). Birleşmiş Milletler'e üye devletler tarafından evrensel olarak kabul edilen 17 hedeften biri olan bu hedef, çok sayıda ülkenin yakın vadeli eylem planlarına entegre edilmiştir.

Yenilenebilir enerji, doğal kaynaklardan elde edilmekte ve sürdürülebilir özelliktedir. Fosil yakıtlara kıyasla daha temiz ve nispi olarak çevre dostudur. Geleneksel enerji kaynakları olan kömür, gaz ve petrolün yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ikame edilmesi, ülkelerin enerji taleplerini karşılarken karbon emisyonlarını azaltmalarına da yardımcı bir unsur olduğu genel kabul görmektedir (Khan vd., 2020). Yenilenemez enerji kaynakları yerine yenilenebilir, temiz enerjinin kullanımı, sera gazı emisyonlarının tehlikeli seviyelere ulaşmaması için gereklidir. 2015 yılında kabul edilen Paris Antlaşması'nda, küresel sıcaklığın sanayi öncesi döneme göre 2 °C'nin üstüne çıkmaması için sera gazı emisyonlarının azaltılması gerekliliği vurgulanmıştır. Küresel ısınmanın 2 °C'lik seviyenin üstüne çıkması durumunda yıkıcı sonuçlar yaratabilecek etkilerinin olabileceği öngörülmektedir. Günümüzdeki yüksek enerji tüketimi ve karbon emisyonları nedeniyle temiz enerjinin kullanımı, iklim değişiminin olumsuz etkilerini önlemek için kritik öneme sahiptir (Danish ve Ulucak, 2021).

Şekil 1: Kişi başına CO₂ emisyonu*



Kaynak: OECD, 2024

*Fosil yakıtlar ve sanayiden kaynaklanan karbondioksit (CO₂) emisyonları. Arazi kullanım değişikliği dahil edilmemiştir.

Ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji ve karbon emisyonları arasındaki ilişki karmaşık ve çok yönlüdür. Yenilenebilir enerji, çevreye nispi olarak olumlu etkisiyle birlikte ekonomik büyümenin dinamiklerini de harekete geçirmektedir. Yenilenebilir enerji sektörü, yeni iş imkanları yaratma, enerji güvenliğini artırma ve teknolojik yeniliği teşvik etme potansiyellerini barındırmaktadır. Çalışmalar

yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyümeyi teşvik edebileceğini göstermiştir (Pao ve Fu, 2013; Bhattacharya vd., 2016; Özşahin vd., 2016; Alper, 2018; Ntanos vd., 2018). Ancak, Guliyev ve Tatoğlu (2023) yenilenebilir enerji tüketiminin her zaman ekonomik büyümeye yol açmadığını, yenilenebilir enerji kullanımında verimliliğinin önceliklendirilmesi gerektiğini ortaya koymuşlardır. Diğer yandan, yenilenebilir enerji projelerinin kurulum maliyetleri yüksek olabilir ve bu da kısa vadede ekonomik büyümeyi olumsuz etkileyebilir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının arz kesintisi gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır.

Şekil 2: Varsayımsal Yenilenebilir Enerji Kurulu Kapasitesi (GW)

Country	Saved memory full ① 2000 (GW)	2020 (GW)
China	10	895
United States	40	292
Brazil	60	150
India	5	136
Germany	15	125
Canada	65	105
Japan	10	100
United Kingdom	5	70
France	10	60
Italy	8	55

Kaynak: Dünya Bankası, 2024

Ekonomik büyüme ile karbon emisyonları arasındaki ilişki ise ekonomik literatürde test edilen en önemli ilişkilerden biri olarak kabul edilir (Kais ve Sami, 2016). Bu ilişkiyi açıklayan Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) hipotezi, belirli bir gelir düzeyine ulaşılan kadar çevresel kalitenin kötüleştiğini ve ekonomik gelişme devam ettikçe iyileştiğini varsaymaktadır. Hipotez literatürde çok kez test edilmiş olup; bazı çalışmalar hipotezin geçerliliğini doğrulamaktadır (Lean ve Smyth, 2010; Zhang ve Zhao, 2014; Bölük ve Mert, 2015; Işık vd., 2021; Balsalobre-Lorente vd., 2022). Ekonomik büyüme ve karbon emisyonları ilişkisi, üretim sürecinde enerji kullanımının mecburi oluşu ve bu ihtiyacın yenilenemez kaynaklarla karşılanmasının karbondioksit salınımını artırmasına dayanmaktadır.

Çalışmada karbon emisyonları, yenilenebilir enerji ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki incelenmektedir. Devam eden bölümde literatürdeki çalışmalar yer almaktadır. Ardından analize dair veri seti ve yöntem açıklanmış olup bulgular ortaya konulmaktadır. Sonuç bölümünde ampirik bulgular ve literatürdeki çalışmalar gözden geçirilip yenilenebilir enerjinin sürdürülebilir bir gelecek için rolü tartışılmaktadır.

Literatür taraması

Küresel ısınma sorunu, çevresel tahribat ve iklimlerde yaşanan değişiklikler günümüzün önemli sorunları arasındadır. Bilgi ve iletişim imkanlarının artması ile daha çok insan tarafından görünür ve bilinir hale gelmişlerdir. Bu küresel sorunlar kısa vadede çözümlere ihtiyaç duyduğundan hem uluslararası eylem planlarında hem de ülke politikalarında yer almaktadır. Öte yandan farklı bilim dalları içerisinde birçok araştırmanın konusu olmaktadır.

Yenilenebilir enerji, karbon emisyonları ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkileri inceleyen literatür oldukça geniştir. Çevrenin sürdürülebilirliği bağlamında karbondioksit emisyonlarının azaltılmasında etkili faktörlerin belirlenmesi ve enerji dönüşümünün iktisadi etkileri çalışmaların odak noktasıdır. Bazı

çalışmalar yenilenebilir enerji ve karbon emisyonu; bazıları karbon emisyonu ve ekonomik büyüme ilişkisini; bazıları ise her üç olguyu bir arada ele almışlardır. Tablo 1’de yenilenebilir enerji, karbon emisyonları ve ekonomik büyüme ilişkisini birlikte inceleyen çalışmaların özeti yer almaktadır.

Tablo 1: Karbondioksit salınımının ekonomik etkilerine dair çalışmalar

Yazar(lar)	Veriler ve Değişkenler	Yöntem	Bulgular
Sadorsky (2009)	- G7 - 1980-2005, yıllık - Yenilenebilir enerji tüketimi - CO ₂ emisyonu - Kişi başı GSYH - Petrol fiyatları	-Panel Eşbütünleşme Analizi	- Sonuçlar, uzun vadede kişi başı GSYH ve kişi başı CO ₂ emisyonundaki artışların yenilenebilir enerji tüketimin itici gücü olduğunu ortaya koymuştur.
Apergis & Payne (2014)	- 11 Güney Amerika Ülkesi - 1980-2010, yıllık - Yenilenebilir enerji tüketimi - CO ₂ emisyonu - Kişi başı GSYH - Petrol fiyatları	-Panel Eşbütünleşme Analizi	- Uzun vadeli esneklik tahminlerinin kişi başı GSYH, kişi başı CO ₂ emisyonu ve reel petrol fiyatları açısından pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur.
Long vd. (2015)	- Çin - 1952-2012, yıllık - Yenilenebilir enerji tüketimi - Yenilenemez enerji tüketimi - CO ₂ emisyonu - GSYH	-Eşbütünleşme Analizi -Nedensellik Testi -Statik ve Dinamik Regresyon Analizi -Etki-tepki Fonksiyon Analizi	- Kömür tüketiminin karbon emisyonları ve ekonomik büyüme üzerinde etkiye sahip olduğu ortaya konulmuştur. GSYH, CO ₂ emisyonu, yenilenemez enerji tüketimi arasında anlamlı bir ilişki olduğu görülmüştür.
Lu (2017)	- 24 Asya Ülkesi - 1990-2012, yıllık - Yenilenebilir enerji tüketimi - CO ₂ emisyonu - Kişi başı GSYH	-Panel Eşbütünleşme Analizi -Panel Nedensellik Testi	-Sonuçlara göre, GSYH'den CO ₂ emisyonlarına doğru bir nedensellik ilişkisi bulunmuş; CO ₂ emisyonları ile yenilenebilir enerji ve GSYH ile yenilenebilir enerji arasında da iki yönlü nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir.
Şimşek & Yiğit (2017)	- BRICT ülkeleri - 1990-2015, yıllık - Yenilenebilir enerji tüketimi - CO ₂ emisyonu - Petrol fiyatları - Kentleşme - Kişi başı GSYH	-Panel VAR Analizi -Panel Nedensellik Testi	-Ulaşılan sonuçlara göre CO ₂ emisyonları ve yenilenebilir enerji ekonomik büyüme üzerinde etkilidir. Ek olarak, gayrisafi yurtiçi hasıladan diğer değişkenlere doğru nedensellik ilişkisi olduğu ortaya koyulmuştur.
Dertli (2018)	- Türkiye - 1990-2014, yıllık - Yenilenebilir enerji tüketimi - Kişi başı GSYH - Net enerji ithalatı - CO ₂ emisyonu	-Eşbütünleşme Analizi -Nedensellik Testi	-Değişkenler arasında uzun dönemde eşbütünleşme olduğu görülmüştür. Ek olarak, enerji ithalatından yenilenebilir enerjiye doğru tek yönlü nedensellik tespit edilmiştir.
Batmaz vd. (2019)	- Türkiye - 1985-2014, yıllık - Yenilenebilir enerji tüketimi - CO ₂ emisyonu - GSYH	-Eşbütünleşme Analizi -Nedensellik Testi	-Türkiye için büyüme ile CO ₂ emisyonları arasında uzun dönemli ve doğrusal olmayan bir ilişki olduğu ortaya koyulmuştur.
Yao vd. (2019)	- 6 jeo-ekonomik bölge ve 17 gelişmiş ve gelişmekte olan ülke	-Dinamik Panel Veri Analizi	- Panel eşbütünleşme testleri neticesinde değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki olduğu ortaya koyulmuştur.

	- 1990-2014, yıllık -Yenilenebilir enerji tüketim oranı - CO₂ emisyonu - Kişi başı GSYH	-Panel Eşbütünleşme Analizi	
Okumuş (2020)	- Türkiye - 1968-2014, yıllık -Yenilenebilir enerji tüketimi -Yenilenemez enerji tüketimi - CO₂ emisyonu - Reel tarımsal katma değer - Kişi başı GSYH - Ticari açıklık oranı - Kentleşme oranı	-ARDL testi sınır	- Bulgular, yenilenemez enerji tüketiminin, tarımsal üretimin, kentleşmenin ve ticari açıklığın CO₂ emisyonunu artırdığını göstermektedir. Ayrıca, yenilenebilir enerji tüketiminin kısa dönemde CO₂ emisyonunu azalttığı tespit edilmiştir.
Özdemir & Koç (2020)	- Türkiye - 1960-2017, yıllık -Yenilenebilir enerji tüketimi - Enerji tüketimi - CO₂ emisyonu - Kişi başı GSYH - Ticari dışa açıklık	-ARDL testi sınır	- CO₂ emisyonları ile kişi başı GSYH arasında istatistiksel bir ilişki olduğu bulunmuştur. Uzun dönemde değişkenlerin tamamının anlamlı olduğu; yenilenebilir enerjinin ters yönlü, ticari dışa açıklığın ve enerji kullanımının ise aynı yönlü etkisinin olduğu görülmüştür.
Özpolat & Özsoy (2020)	- Türkiye - 1990-2015, yıllık -Yenilenebilir enerji tüketimi -Yenilenemez enerji tüketimi - CO₂ emisyonu - Kişi başı GSYH - Ticari dışa açıklık	-ARDL testi sınır	- Yenilenebilir enerji tüketimi ve CO₂ emisyonu arasında ters yönlü, yenilenemez enerji ile CO₂ emisyonu arasında aynı yönlü bir ilişki olduğu ortaya koyulmuştur.
Keyifli & Recepoğlu (2020)	- E7 ülkeleri - 2000-2016, yıllık - Sağlık harcamaları -Yenilenebilir enerji tüketimi - CO₂ emisyonu - Kişi başı GSYH	-Panel Nedensellik Testi	- Sağlık harcamaları ve CO₂ emisyonu ile yenilenebilir enerji tüketimi ve kişi başı GSYH arasında nedensellik ilişkisi olduğu ortaya koyulmuştur.
Murshed vd. (2022)	- G7 - 1995-2016, yıllık -Yenilenebilir enerji tüketimi - Nükleer enerji tüketimi - GSYH - CO₂ emisyonu - Karbon ayak izi -Ekonomik karmaşıklık endeksi	-Panel Eşbütünleşme Analizi	- Uzun vadede nükleer enerji tüketiminin karbon emisyonlarını ve karbon ayak izini azalttığı, yenilenebilir enerji tüketiminin ise çevreyi bozduğunu sonucuna varılmıştır. Ekonomik büyümenin de çevre için zararlı olduğu ortaya konulmuştur.
Kavaz & Kaya (2023)	- Türkiye - 1982-2021, yıllık -Yenilenebilir enerji tüketimi - CO₂ emisyonu - GSYH	-ARDL testi sınır	- GSYH'nin yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkisinin kısa ve uzun dönem için aynı yönlü olduğu; diğer modelde de yenilenebilir enerji tüketiminin GSYH üzerinde aynı yönlü etkisi olduğu ortaya koyulmuştur.

Yukarıdaki tablo, yenilenebilir enerji tüketimi, CO₂ emisyonları ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmaların karşılaştırmalı bir değerlendirmesini göstermektedir. Genel olarak, çalışmaların çoğu panel eş bütünleşme analizi ve ARDL sınır testi gibi yöntemler kullanarak değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkileri incelemiştir. Çoğu çalışma, kişi başına düşen GSYH'deki artışın CO₂ emisyonlarını artırdığını ve dolayısıyla yenilenebilir enerji tüketimini etkilediğini göstermektedir (Sadorsky, 2009; Apergis & Payne, 2014; Özdemir & Koç, 2020). Ayrıca, yenilenebilir enerji tüketiminin CO₂ emisyonları üzerinde azaltıcı bir etkisi vardır (Okumuş, 2020; Özpolat ve Özsoy, 2020),

ancak bazı çalışmalar bu etkinin sınırlı olduğunu veya beklentilerin aksine çevresel bozulmaya yol açtığını göstermiştir (Murshed vd., 2022).

Bununla beraber, G7, Güney Amerika ve Asya ülkeleri gibi farklı coğrafyalarda yapılan analizler, ekonomik yapı ve enerji politikalarının sonuçları şekillendirdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle Türkiye’de yapılan çalışmalar, yenilenebilir enerji ile karbon emisyonları arasında ters yönlü bir ilişki olduğunu desteklemektedir (Batmaz vd., 2019; Kavaz ve Kaya, 2023). Kentleşme, ticari açıklık ve enerji ithalatı gibi değişkenlerin de CO₂ emisyonları üzerinde önemli etkileri olduğu da ayrıca tespit edilmiştir (Şimşek ve Yiğit, 2017; Okumuş, 2020).

Literatürdeki bu çalışmalar, yenilenebilir enerjiye geçişin çevresel sürdürülebilirlik için kritik öneme sahip olduğunu, ancak ekonomik büyüme, enerji politikaları ve bölgesel dinamiklerin bu geçiş sürecini farklı şekillerde etkileyebileceğini göstermektedir. Politika yapıcılar, ülkelerin özel koşullarını dikkate alarak temiz enerji yatırımlarını teşvik edecek ve karbon nötrlüğü hedeflerini destekleyecek stratejiler geliştirmelidir.

Model, veri seti ve yöntem

Çalışmada yenilenebilir enerji kurulu kapasitesi en yüksek 10 ülkenin (ABD, Almanya, Brezilya, Çin, Fransa Hindistan, İtalya, İspanya, Japonya, Kanada) 2000 ve 2020 yılları arası verileri analize dahil edilmiştir. Ülkelerin toplam kapasitesi 2828 gigawatt kadar olup; dünya toplam kapasitesinin yaklaşık %73’üne denk gelmektedir (IRENA, 2024).

Çevresel sürdürülebilirlik, Birleşmiş Milletler zirvesinde 192 üye ülke tarafından yerine getirilmesi planlanan Binyıl Kalkınma Hedefleri arasında yer alır. Yenilenebilir enerji kullanımı çevresel sürdürülebilirlik kapsamında değerlendirilmektedir. Zirvede konunun önemine uluslararası kapsamda dikkat çekilmiş ve hedefler belirlenerek yol haritası çizilmiştir. Örneklem aralığı zirvenin yapıldığı 2000 yılından başlayarak veri kısıtı nedeniyle 2020 yılına kadar uzanmaktadır.

Kentleşme, sanayileşme endeksi veya enerji yoğunluğu gibi değişkenlerin ek bilgiler sağlayabileceği kabul edilmekle birlikte, bunların dahil edilmesinin 2000-2020 dönemi için örneklenen 10 ülkenin (ABD, Almanya, Brezilya, vb.) tamamında veri mevcudiyeti sorunları nedeniyle sınırlı olduğu; özellikle alternatif ölçütlerin genellikle tutarsız raporlamalara maruz kaldığı gelişmekte olan ülkeler için nispeten küçük örneklem büyüklüğü (10 ülke × 20 yıl) göz önüne alındığında modelin basitliğini koruma ve aşırı uyumdan kaçınma ihtiyacı; çeşitli metodolojik ve pratik kısıtlamalar nedeniyle çalışmanın modeli kasıtlı olarak birincil ekonomik gösterge olarak GSYH’ye odaklanmıştır. 2000-2020 dönemi için, özellikle de alternatif ölçümlerin genellikle tutarsız raporlamadan muzdarip olduğu gelişmekte olan ülkeler için; nispeten küçük örneklem büyüklüğü (10 ülke × 20 yıl = 200 gözlem) göz önüne alındığında model sürdürülebilirlik ve aşırı uyumdan kaçınma ihtiyacı; GSYH’yı emisyonları etkileyen ekonomik faaliyet aşamaları için en kapsamlı değişken olarak belirleyen Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) literatüründeki güçlü teorik emsal (Sinha ve Shahbaz, 2018) tarafından gösterildiği gibi. Log-doğrusal denklemi ($\ln pcce = \beta_0 + \beta_1 \ln rec + \beta_2 \ln gdp + u_{it}$), doğrudan esneklik yorumlamasını mümkün kılmak ve Dilanchiev ve diğerleri (2024) gibi kıyaslama çalışmalarıyla karşılaştırılabilirliği sağlamak için korunmuştur, ancak bu yaklaşım, kurumsal kalite, ticaret modelleri ve teknolojik faktörlerin de daha ayrıntılı veriler elde edildiğinde enerji-emisyon-büyüme ilişkisine özgü rastgele etkilere aracılık ettiği karmaşık gerçekliği zorunlu olarak basitleştirmiştir.

Çalışmada kurulan model Sinha ve Shahbaz (2018) ile Dilanchiev vd. (2024) çalışmalarına dayanmaktadır. Karbon emisyonlarının bağımlı, yenilenebilir enerji ve ekonomik büyümenin bağımsız değişkenler olarak yer aldığı modelin fonksiyonel biçimi aşağıdaki gibidir:

$$- pcce = f(rec, gdp)$$

Çevre kalitesinin gelire ve yenilenebilir enerji tüketimine olan esnekliğini tahmin etmek üzere değişkenlerin logaritması alınarak tam logaritmik model kurulmuştur.

$$- \ln pcce_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln rec_{it} + \beta_2 \ln gdp_{it} + u_{it}$$

$$(i: 1,2,\dots,n) (t: 1,2,\dots,t)$$

Modelin parametreleri (β) esneklikleri ifade etmektedir. Bağımlı değişken olarak metrik ton cinsinden kişi başı CO₂ emisyonu “pcce” kısaltması ile, bağımsız değişkenler de toplam enerji tüketiminde yenilenebilir enerji tüketiminin payı “rec” ve satın alma gücü paritesine göre düzenlenmiş reel milli gelir “gdp” kısaltması ile temsil edilmektedir. Tablo 2’de değişkenlerin tanımı ve ulaşılan kaynaklar gösterilmektedir.

Tablo 2: Değişkenlerin tanımı ve kaynağı

Değişkenin Kısaltması	Tanımı	Kaynağı
pcce	Kişi başı CO ₂ emisyonu (metrik ton)	Dünya Bankası Veritabanı (databank.worldbank.org)
rec	Toplam enerji tüketiminde yenilenebilir enerji tüketiminin payı	Dünya Bankası Veritabanı (databank.worldbank.org)
gdp	Kişi başı reel milli gelir (Sabit dolar kuru 2021)	Dünya Bankası Veritabanı (databank.worldbank.org)

Regresyonun analizinde sırasıyla yatay kesit bağımlılığı ve birim kök test edilmektedir. Yatay kesit bağımlılığı için iki farklı test uygulanmaktadır. Bunlardan ilki Breusch-Pagan (1980) LM testi, zaman aralığının yatay kesit sayısından büyük olduğu ($T > N$) durumlar için uygundur. Diğer Pesaran (2004) CD testi ise hem zaman boyutunun yatay kesit boyutunu aştığı hem de tersi durum için uygulanabilmektedir ($T > N$, $N > T$).

Yatay kesit bağımlılığı durumuna bağlı olarak birinci veya ikinci kuşak birim kök testlerine karar verilmektedir. İkinci kuşak testler, birinci kuşak birim kök testlerinin muhtelif dönüşümlerle yatay kesit bağımlılığını dikkate alacak şekilde düzeltilmiş versiyonları ve alternatif olarak geliştirilen testlerden oluşmaktadır (Yerdelen Tatoğlu, 2020b). Uygulanan birim kök testleri “Levin, Lin ve Chu (LLC)” (2002) birim kök testi ile Taylor ve Sarno (1998) tarafından geliştirilen “Çok Değişkenli Genişletilmiş Dickey Fuller Panel Birim Kök Testi (MADF)”dir. Ardından klasik, sabit ve tesadüfi etkiler modellerinden uygun olanı F testi ve Hausman testi ile belirlenmektedir. Tanılama testleri ile modeldeki problemler tespit edilerek, dirençli standart hatalar üreten tahmincilere başvurulmaktadır.

Analiz ve bulgular

Modelin tahmininde ilk olarak yatay kesit bağımlılığı test edilmiştir. Her değişken için önceki başlıkta değinilen iki testle birlikte dört farklı testin sonuçları Tablo 3’te görülmektedir. Tabloda istatistik değerleri ile birlikte parantez içinde olasılık değerleri yer almaktadır.

Tablo 3: Yatay kesit bağımlılığı testleri

	Breusch-Pagan LM testi	Pesaran scaled LM testi	Bias-corrected scaled LM testi	Pesaran CD testi
Inpcce	578.4637 (0.00001)*	56.23201 (0.00001)*	55.98201 (0.00001)*	3.891906 (0.0001)*
Inrec	518.8282 (0.00001)*	49.94588 (0.00001)*	49.69588 (0.00001)*	6.017573 (0.00001)*
Ingdp	583.7229 (0.00001)*	56.78638 (0.00001)*	56.53638 (0.00001)*	17.02409 (0.00001)*

(*), %1 anlamlılık düzeyini ifade etmektedir.

Tablo 3’te olasılık değerlerine bakıldığında bütün testlerde bütün değişkenler için yatay kesit bağımlılığının olmadığı yönündeki boş hipotez reddedilmektedir. Paneli oluşturan birimler arasında korelasyon olduğu anlaşılmıştır. Bu durumda ikinci kuşak birim kök testleri uygulanarak değişkenlerin durağanlıkları incelenmiştir.

Tablo 4: Değişkenlere ait birim kök test sonuçları

	Levin, Lin ve Chu		MADF	
	t-istatistiği	p-değeri	MADF-istatistiği	Kritik değer(%5)
Inpcce	-2.3123	0.0104**	48.630**	38.897
Inrec	-3.9284	0.00001*	62.403**	38.897
Ingdp	-2.5236	0.0058*	89.684**	38.897

(*), (**) işaretleri sırasıyla %1, %5 anlamlılık düzeylerini ifade etmektedir.

Yatay kesit bağımlılığını dikkate alacak şekilde düzeltilmiş Levin, Lin ve Chu durağanlık testinde her değişken için birim kökün varlığını belirten boş hipotez reddedilmektedir. Serilerin durağan olduğu

sonucuna ulaşılmıştır. İkinci olarak, ikinci kuşak “MADF” testi uygulanmıştır. Birim kökün olduğu yönündeki boş hipotezin reddedilmesi nedeniyle seriler durağandır.

Serilerin durağan olmasının ardından model seçiminde öncelikle birim ve zaman etkilerini tespit etmek amacıyla ayrı ayrı F testi uygulanmıştır. Sonuçlara göre, birim etkilerin sıfıra eşit olduğu boş hipotez reddedilmiş; ancak zaman etkisinin sıfıra eşit olduğu boş hipotez reddedilememiştir. Modelde birim etki bulunması nedeniyle klasik model uygun değildir. Birim etkilerin varlığı durumunda sabit ve tesadüfi etkili modeller arasında karar vermek adına Hausman testine başvurulmuştur.

Tablo 5: Hausman testi sonucu

Ki-kare test istatistiği	=	0.01
P>ki-kare	=	0.9942

Hausman testi sonucunda tesadüfi etkiler modelinin uygun olduğunu belirten boş hipotez reddedilememiştir. Bu durumda, tahmin için uygun model tesadüfi (rassal) etkiler modeli olmaktadır. Oluşturulan regresyon tesadüfi etkiler modeli için tahmin edilmiştir. Tablo 6’da tahmin sonuçları görülmektedir.

Tablo 6: Tesadüfi etkiler modeli tahmin sonuçları

Bağımlı değişken (lnpcce)	Katsayı	Standart hata	p-değeri
lnrec	-0.357011	0.016107	0.00001*
lngdp	0.5484365	0.0241892	0.00001*
Sabit terim	-2.902869	0.3051032	0.00001*
R ² = 0.7207 corr(u _i , X) = 0		Wald chi2(2) = 1263.44 Prob > chi2 = 0.00001	

(*), %1 anlamlılık düzeyini ifade etmektedir.

Kurulan model bütün olarak istatistiksel açıdan anlamlı olup; determinasyon katsayısı “R²” yaklaşık olarak %72’dir. Açıklayıcı değişkenlerin de bağımlı değişkene olan etkileri de ayrı ayrı anlamlı bulunmuştur. Modelin sonuçları, yenilenebilir enerji tüketimi (rec) ile karbon emisyonları (pcce) arasında ters yönlü; ekonomik büyüme (gdp) ile karbon emisyonları (pcce) arasında aynı yönlü bir ilişki olduğunu göstermektedir.

Tahmin sonucunda elde edilen parametrelerin güvenilirliğini tespit etmek amacıyla tanılama (diagnostics) testleri uygulamak gerekmektedir. Değişen varyans (heteroskedasite) ve otokorelasyon durumları incelenmiştir. Değişen varyans testi, gruplar arasındaki varyansların eşitliği için Levene’nin (1960) güçlü test istatistiğini ve Levene’nin formülündeki ortalamaı alternatif konum tahmincileriyle değiştiren Brown ve Forsythe (1974) tarafından önerilen iki istatistiğini göstermektedir.

Tablo 7: Değişen varyans test sonuçları

	df(9,200)	p-değeri
W0	1.3666977	0.20532461
W50	0.7573104	0.65599279
W10	1.1404798	0.33585454

Tablo 7’de değişen varyans test sonuçları yer almaktadır. Birimlerin varyanslarının eşit olduğunu ifade eden boş hipotez reddedilememektedir. Böylece, model değişen varyans (heteroskedasite) problemini barındırmamaktadır. Değişen varyans durumu incelendikten sonra, otokorelasyon testi uygulanmıştır.

Tablo 8: Otokorelasyon test sonuçları

Uygulanan Testler	Test İstatistiği
Bhargava vd. DW Testi	0.241444
Baltagi-Wu LBI Testi	0.49906708

Prais-Winsten yöntemi, Cochrane-Orcutt'a göre tercih edilmiştir çünkü otokorelasyonu düzeltirken ilk gözlemi korur ve tahminlerde daha fazla verimlilik sağlar- özellikle birinci dereceden otokorelasyonun varlığı doğrulandığında önemlidir (Bhargava DW = 0.241, Baltagi-Wu LBI = 0.499, her ikisi de kritik değerlerin altında). Prais-Winsten, tüm veri noktalarını koruyarak ve otokorelasyon kaynaklı etkisizlikler için düzeltilmiş standart hatalar üreterek (Yerdelen Tatoğlu, 2020a), sonuçlara da yansıdığı üzere daha güvenilir ve sağlam tahminler sağlamaktadır (Tablo 9).

Tablo 9: Prais Winsten dirençli tahminci sonuçları

Bağımlı değişken (Inpcce)	Katsayı	Panel-düzeltilmiş standart hata	p-değeri
lnrec	-0.2878353	0.0419928	0.00001*
lngdp	0.6350073	0.0441319	0.00001*
Sabit terim	-4.013562	0.5077211	0.00001*
$R^2 = 0.8578$		Wald chi2(2) = 465.56 Prob > chi2 = 0.00001*	

(*), %1 anlamlılık düzeyini ifade etmektedir.

Otokorelasyonu düzeltmek için Prais-Winsten (P-W) yöntemini kullanarak modeli tahmin ettikten sonra, otokorelasyon sorununun çözülüp çözülmediğini doğrulamak önemlidir. Aynı bir tabloda sunulmamasına rağmen, Durbin-Watson (DW) test istatistiği, kalan birinci dereceden otokorelasyonun olmadığını teyit etmek için yorum bölümünde rapor edilmelidir. Tablo 9'daki P-W tahminleri, $\sim 0.86 R^2$ ile %1 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar göstermekte ve güçlü bir model uyumuna işaret etmektedir. Katsayılar, yenilenebilir enerji tüketimindeki (lnrec) %1'lik bir artışın kişi başına karbon emisyonlarını (Inpcce) $\sim 0,29$ oranında azalttığını, GSYİH'deki (lngdp) %1'lik bir artışın ise teorik beklentilerle uyumlu olarak emisyonları $\sim 0,64$ oranında artırdığını ortaya koymaktadır. P-W yönteminin otokorelasyonla başa çıkmadaki sağlamlığı göz önüne alındığında (panel düzeltilmeli standart hataların verimliliğinden anlaşılmaktadır) ve tahmin sonrası DW testinin artık otokorelasyon olmadığını doğruladığı varsayıldığında (örneğin, 2'ye yakın bir DW istatistiği), sonuçlar çıkarım için güvenilir kabul edilebilir. Bu yaklaşım, düzeltilmiş tahminlerin otokorelasyon kaynaklı yanlılıktan arınmış olmasını sağlayarak analizden çıkarılan politika sonuçlarının geçerliliğini güçlendirmektedir.

Sonuç ve öneriler

Sanayi Devrimi sonrası dönem, toplam küresel emisyonların yaklaşık %76'sını oluşturan CO₂ emisyonları ile endişe verici bir sera gazı birikimine tanık olmuştur (Dünya Bankası, 2022). Bulgularımız, iklim eylemi başarısızlığını insanlığın karşı karşıya olduğu en ciddi uzun vadeli tehdit olarak tanımlayan Küresel Riskler Raporu 2023'teki korkunç uyarıları doğrulamaktadır. Sanayi öncesi dönemden bu yana 1,1°C'lik sıcaklık artışı, daha önce benzeri görülmemiş orman yangınlarından yıkıcı sellere kadar feci hava olaylarını tetiklemiş ve sadece 2022 yılında küresel ekonomiye 268 milyar dolara mal olmuştur (Aon, 2023). Bu çalışmanın GSYİH büyümesinin CO₂ emisyonlarını artırdığını ortaya koyması (%1 GSYİH büyümesi başına +%0,64), özellikle dünya kritik iklim devrilme noktalarına yaklaşırken geleneksel büyüme paradigmasını yeniden tanımlamaya duyulan acil ihtiyacın altını çizmektedir.

İstatistiksel olarak anlamlı modelimiz ($R^2=0,72$) kritik bir gerilimi ortaya koymaktadır: yenilenebilir enerji tüketimi CO₂ emisyonlarını azaltırken (-%0,29 esneklik), ekonomik büyüme bunları artırmaktadır (+%0,64). Bu durum, Küresel Riskler Raporu 2023'ün, mevcut büyüme modellerinin atmosferik CO₂ konsantrasyonlarını 419 ppm'e (NOAA, 2023), yani sanayi öncesi seviyelerin %50 üzerine çıkarmaya

devam etmesi nedeniyle iklim eylemindeki başarısızlığın en önemli küresel risk olmaya devam ettiği uyarısıyla uyumludur. Prais-Winsten düzeltmeli tahminler metodolojik titizliği doğrulamaktadır, ancak sonuçlar daha derin bir krizin altını çizmektedir: yapısal reformlar olmadan, ilk 10 ülke örneğimiz arasında yenilenebilir enerjiyi benimseyen lider ülkeler bile büyümeyi emisyonlardan tamamen ayıramaz.

Ekonomik büyüme ile çevresel sürdürülebilirliği uzlaştırmak için üç kademeli bir politika yaklaşımı öneriyoruz: İlk olarak, 2005 yılından bu yana emisyonları %21 oranında azaltan AB'nin başarılı Emisyon Ticaret Sistemi temel alınarak, enerji yoğun sektörlerdeki emisyonların %100'ünü kapsayan karbon fiyatlandırma mekanizmalarının uygulanması. İkincisi, yıllık 7 trilyon dolarlık fosil yakıt sübvansiyonlarının (IMF, 2023) yenilenebilir altyapı ve şebeke modernizasyonuna yönlendirilmesi. Üçüncüsü, İspanya'nın Adil Geçiş Stratejisi ile kömür madenciliği bölgelerini başarılı bir şekilde dönüştürmesinin gösterdiği gibi, kömüre bağımlı bölgelerde GSYH'nin %1,5'ine eşdeğer “adil geçiş” fonlarının oluşturulması. Bu önlemler, çalışmamızın GSYH'nin emisyon esnekliğine ilişkin bulgusunu doğrudan ele alırken ekonomik istikrarı da koruyacaktır. Pozitif GSYH-emisyon ilişkisi (0.64 esneklik) geleneksel büyüme ölçütleriyle çelişmektedir. GSYH yerine Yeni Zelanda'nın Refah Bütçesi çerçevesinin benimsenmesi farklı bir sonuç yaratabilir: 1) Doğal sermaye muhasebesi, 2) Sosyal eşitsizlik endeksleri ve 3) Karbona göre ayarlanmış verimlilik ölçütleri. Küresel Riskler Raporu, bu tür reformların iklimden etkilenebilir nüfusları 2030 yılına kadar %38 oranında azaltabileceğini vurgulamaktadır. Çalışmamızdaki gelişmekte olan ekonomiler için, Güney Afrika'nın 300.000 temiz enerji istihdamı yaratırken 50 GW kömür kapasitesini değiştirmek için yaptığı 8,5 milyar dolarlık anlaşma gibi Adil Enerji Dönüşümü Ortaklıkları (JETP) modeli önerilebilir.

Küresel Riskler Raporu'nun “çoklu kriz” yönetimine yaptığı vurgu, bölgesel iklim risklerini tahmin etmek için 0.64 GSYH-emisyon parametresini kullanarak bulgularımızı BM Herkes İçin Erken Uyarılar girişimiyle entegre etmeyi önermektedir. Bu bulguların eyleme dönüştürülmesi sağlam yönetim yapıları gerektirmektedir. Birleşik Krallık'taki İklim Değişikliği Yasası örnek alınarak, beş yıllık bağlayıcı emisyon tavanlarına sahip ulusal Karbon Bütçesi Otoriteleri öneriyoruz. Küresel Riskler Raporu'nun “tüm toplumu kapsayan” yaklaşımlar için tavsiyesi, iklim ölçütlerinin tüm kurumsal raporlamalara ve merkez bankası politikalarına dahil edilmesini önermektedir. Yıllık ilerleme, Yeni Zelanda'nın çığır açan İklim Değişikliği Müdahale Yasası'nda olduğu gibi, hedeflerin kaçırılması halinde zorunlu düzeltici eylemlerle birlikte çalışmamızın temel ölçütlerine- özellikle yenilenebilir enerji esneklik katsayısına- göre değerlendirilmelidir. Bu araştırmanın teknik olarak mümkün ancak siyasi olarak zorlayıcı olduğunu gösterdiği ekonomik kalkınma ve emisyon azaltımı gibi ikili hedeflere ancak bu tür kapsamlı ve hesap verebilir çerçeveler aracılığıyla ulaşabiliriz.

Kaynakça

- Adekoya, O. B., Olabode, J. K., & Rafi, S. K. (2021). Renewable energy consumption, carbon emissions and human development: Empirical comparison of the trajectories of world regions. *Renewable Energy*, 179, 1836-1848.
- Alper, F. (2018). Yenilenebilir Enerji ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki: 1990-2017 Türkiye Örneği. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(2), 223-242. <https://doi.org/10.18074/ckuiibfd.466782>
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2015). Renewable Energy, Output, Carbon Dioxide Emissions, and Oil Prices: Evidence from South America. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 10(3), 281-287. <https://doi.org/10.1080/15567249.2013.853713>
- Balsalobre-Lorente, D., Ibáñez-Luzón, L., Usman, M., & Shahbaz, M. (2022). The environmental Kuznets curve, based on the economic complexity, and the pollution haven hypothesis in PIIGS countries. *Renewable Energy*, 185, 1441-1455. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.10.059>
- Batmaz, T., Bayraç, H. N., & Güllü, M. (2019). Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Büyüme ve Karbon Emisyonu İlişkisi. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 6(3), 645-658.
- Bhattacharya, M., Paramati, S. R., Ozturk, I., & Bhattacharya, S. (2016). The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from top 38 countries. *Applied Energy*, 162, 733-741. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.104>
- Bölük, G., & Mert, M. (2015). The renewable energy, growth and environmental Kuznets curve in Turkey: An ARDL approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 587-595. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.138>

- Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1980). The Lagrange Multiplier Test and its Applications to Model Specification in Econometrics. *The Review of Economic Studies*, 47(1), 239. <https://doi.org/10.2307/2297111>
- Brown, M. B., & Forsythe, A. B. (1974). Robust Tests for the Equality of Variances. *Journal of the American Statistical Association*, 69(346), 364-367.
- Danish, & Ulucak, R. (2021). Renewable energy, technological innovation and the environment: A novel dynamic auto-regressive distributive lag simulation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150, 111433. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111433>
- Dertli, G., & Yınaç, P. (2018). Yenilenebilir Enerji Tüketimi, Karbondioksit Emisyonu, Enerji İthalatı ve Ekonomik Büyüme: Türkiye Örneği. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 15(2), 593-605.
- Dilanchiev, A., Umair, M., & Haroon, M. (2024). How causality impacts the renewable energy, carbon emissions, and economic growth nexus in the South Caucasus Countries? *Environmental Science and Pollution Research*, 31(22), 33069-33085. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33430-7>
- Guliyev, H., & Yerdelen Tatoğlu, F. (2023). The relationship between renewable energy and economic growth in European countries: Evidence from panel data model with sharp and smooth changes. *Renewable Energy Focus*, 46, 185-196.
- IRENA. (2024). *Renewable capacity statistics 2024*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- Isik, C., Ongan, S., Ozdemir, D., Ahmad, M., Irfan, M., Alvarado, R., & Ongan, A. (2021). The increases and decreases of the environment Kuznets curve (EKC) for 8 OECD countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(22), 28535-28543. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12637-y>
- Kahia, M., Ben Jebli, M., & Belloumi, M. (2019). Analysis of the impact of renewable energy consumption and economic growth on carbon dioxide emissions in 12 MENA countries. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 21(4), 871-885. <https://doi.org/10.1007/s10098-019-01676-2>
- Kais, S., & Sami, H. (2016). An econometric study of the impact of economic growth and energy use on carbon emissions: Panel data evidence from fifty eight countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1101-1110. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.054>
- Kavaz, İ., & Kaya, B. (2023). Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Tüketimi, Ekonomik Büyüme ve CO2 Emisyonu Arasındaki İlişkinin Analizi: ARDL Sınır Testi Yaklaşımı. *İşletme Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 219-243. <https://doi.org/10.33416/baybem.1313504>
- Keyifli, N., & Recepoglu, M. (2020). Sağlık Harcamaları, CO2 Emisyonu, Yenilenebilir Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme: Bootstrap Panel Nedensellik Testinden Kanıtlar. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(20), 285-305.
- Khan, H., Weili, L., Khan, I., & Zhang, J. (2022). The nexus between natural resources, renewable energy consumption, economic growth, and carbon dioxide emission in BRI countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(13), 36692-36709. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24193-0>
- Khan, M. K., Khan, M. I., & Rehan, M. (2020). The relationship between energy consumption, economic growth and carbon dioxide emissions in Pakistan. *Financial Innovation*, 6(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s40854-019-0162-0>
- Lean, H. H., & 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>
- Levene, H. (1960). Robust tests for equality of variances. *Contributions to probability and statistics*, 278-292.
- Levin, A., Lin, C. F., & Chu, C. S. J. (2002). Unit root tests in panel data: Asymptotic and finite-sample properties. *Journal of Econometrics*.
- Long, X., Naminse, E. Y., Du, J., & Zhuang, J. (2015). Nonrenewable energy, renewable energy, carbon dioxide emissions and economic growth in China from 1952 to 2012. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 680-688. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.176>
- Lu, W. C. (2017). Renewable energy, carbon emissions, and economic growth in 24 Asian countries: Evidence from panel cointegration analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(33), 26006-26015. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0259-9>

- Murshed, M., Saboori, B., Madaleno, M., Wang, H., & Doğan, B. (2022). Exploring the nexuses between nuclear energy, renewable energy, and carbon dioxide emissions: The role of economic complexity in the G7 countries. *Renewable Energy*, 190, 664-674. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.03.121>
- Ntanos, S., Skordoulis, M., Kyriakopoulos, G., Arabatzis, G., Chalikias, M., Galatsidas, S., Batzios, A., & Katsarou, A. (2018). Renewable Energy and Economic Growth: Evidence from European Countries. *Sustainability*, 10(8), 2626. <https://doi.org/10.3390/su10082626>
- Okumuş, İ. (2019). Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Tüketimi, Tarım ve CO2 Emisyonu İlişkisi. *Uluslararası Ekonomi ve Yenilik Dergisi*, 6(1), 21-34. <https://doi.org/10.20979/ueyd.659092>
- Özdemir, B. K., & Koç, K. (2020). Türkiye’de Karbon Emisyonları, Yenilenebilir Enerji ve Ekonomik Büyüme. *Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 11(1), 66-86. <https://doi.org/10.18354/esam.665191>
- Özpolat, A., & Nakipoğlu Özsoy, F. (2021). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Çevresel Bozulmayı Azaltıyor Mu? Türkiye Örneği. *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi (AKAD)*, 13(24), 49-60. <https://doi.org/10.20990/kilisiibfakademik.794600>
- Özşahin, Ş., Mucuk, M., & Gerçeker, M. (2016). Yenilenebilir Enerji ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki: BRICS-T Ülkeleri Üzerine Panel ARDL Analizi. *Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 4(4), 111-130.
- Pao, H.-T., & Fu, H.-C. (2013). Renewable energy, non-renewable energy and economic growth in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 381-392. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.004>
- Pesaran, M. H. (2004). General diagnostic tests for cross section dependence in panels. *Cambridge Working Papers*, 1240(1).
- Sadorsky, P. (2009). Renewable energy consumption, CO2 emissions and oil prices in the G7 countries. *Energy Economics*, 31(3), 456-462. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2008.12.010>
- Saidi, K., & Omri, A. (2020). The impact of renewable energy on carbon emissions and economic growth in 15 major renewable energy-consuming countries. *Environmental Research*, 186, 109567. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109567>
- Sinha, A., & Shahbaz, M. (2018). Estimation of Environmental Kuznets Curve for CO2 emission: Role of renewable energy generation in India. *Renewable Energy*, 119, 703-711. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.12.058>
- Şimşek, T., & Yiğit, E. (2017). BRICT Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Tüketimi, Petrol Fiyatları, CO2 Emisyonu, Kentleşme ve Ekonomik Büyüme Üzerine Nedensellik Analizi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 12(3), 117-136. <https://doi.org/10.17153/oguiibf.335630>
- Taylor, M. P., & Sarno, L. (1998). The behavior of real exchange rates during the post-Bretton Woods period. *Journal of International Economics*, 46(2), 281-312. [https://doi.org/10.1016/S0022-1996\(97\)00054-8](https://doi.org/10.1016/S0022-1996(97)00054-8)
- United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2023). *The Sustainable Development Goals Report 2023: Special Edition*. United Nations. <https://doi.org/10.18356/9789210024914>
- Yao, S., Zhang, S., & Zhang, X. (2019). Renewable energy, carbon emission and economic growth: A revised environmental Kuznets Curve perspective. *Journal of Cleaner Production*, 235, 1338-1352. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.069>
- Yerdelen Tatoğlu, F. (2020a). *Panel Veri Ekonometrisi* (Genişletilmiş 5.Baskı). Beta Basım Yayın Dağıtım.
- Yerdelen Tatoğlu, F. (2020b). *Panel Zaman Serileri Analizi-Stata Uygulamalı* (3. Baskı).
- Zhang, C., & Zhao, W. (2014). Panel estimation for income inequality and CO2 emissions: A regional analysis in China. *Applied Energy*, 136, 382-392. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.048>

Etik kurul onayı

Bu çalışmada etik kurul onayı gerekmemektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Bu çalışmada herhangi bir potansiyel çıkar çatışması bulunmamaktadır.