

# Rüzgar Enerjisinden Elektrik Üretimi ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki: Türkiye İçin Çeşitli Nedensellik Analizleri

## The Relationship Between Electricity Generation from Wind Power and Economic Growth: Various Causality Analyses for Türkiye

Asst. Prof. Dr. İlkay Güler  [0000-0003-1289-6652](https://orcid.org/0000-0003-1289-6652)

### Abstract

More than three-quarters of the energy used in Turkey is fossil-based and import-dependent. Therefore, Turkey's current account deficit is increasing in addition to environmental pollution. Renewable energy sources are a crucial factor for green economic growth. In addition to being an environmentally friendly, infinite energy source, wind energy has many advantages in terms of low operating costs, high efficiency, and energy security. Due to these advantages, it stands out among other renewable energy sources. While electricity generation from renewable energy in Türkiye is 42.4%, 12.4% of this rate is provided by wind energy. Türkiye was chosen as a sample country in the study because of its high wind energy potential. The relationship between electricity generation using wind energy and GDP per capita is investigated. Data for the 2011 Q1-2021 Q4 period were obtained from the Republic of Türkiye Ministry of Energy and Natural Resources and OECD data websites. Within this objective, various causality analyses involving Granger, Toda-Yamamoto, Hacker and Hatemi-J are performed, and all evidence achieved from the tests verifies the neutrality causality hypothesis between wind energy and economic growth. The essential policy recommendation to reduce energy import dependency, increase green employment, reduce CO2 emissions, tax advantages to reduce wind energy production costs, increasing wind energy projects, acceleration of studies for onshore and offshore wind farms and avoid paying carbon tax as of 2026 within the framework of CBAM implementation is to ensure green transformation by increasing renewable energy investments.

### 1 Giriş

Sanayi devriminden bugüne kadar fosil kaynaklı enerji tüketimi artış göstermiş bu nedenle CO<sub>2</sub> emisyonları dramatik şekilde artmıştır. Bir taraftan CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmak diğer taraftan fosil kaynakların sınırlı olması nedeniyle yenilenebilir enerji çözüm olarak ön plana çıkmıştır. Rüzgar enerjisi en yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Direkt olarak kullanılan bir enerji türü olmasının yanı sıra taşıma maliyetinin olmaması, çevreye dost bir enerji kaynağı olması, enerjide ithalata bağımlılığı azaltması, enerji arz güvenliğini sağlaması, hızla gelişen bir teknolojiye sahip olması, rüzgar enerjisi tribünlerinin kurulumunun kısa süre içerisinde gerçekleşmesi, yeni istihdam imkanları sağlaması ve sürdürülebilir kalkınma amaçlarına ulaşabilmek için büyük önem taşımaktadır. Günümüzde elektrik üretiminin yarısından fazlası hala fosil kaynaklarla üretilmektedir. Ancak rüzgâr enerjisi kurulum gücü her geçen gün artmakta böylece kademeli olarak rüzgâr enerjisi ile üretilen elektrik, fosil kaynaklarla üretilen elektriğin yerine geçmektedir. Tüm bu avantajların yanında diğer enerji türlerine göre az da olsa dezavantajları da bulunmaktadır. Söz konusu dezavantajları; rüzgâr enerjisinden, coğrafi farklılıklar nedeniyle her yerde eşit bir şekilde yararlanılamaması, rüzgar tribünlerinin ilk kurulumunun yüksek maliyetli olmasıdır (Sadorsky, 2021).

Literatürde, rüzgar enerjisi üretimi/tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiye odaklanan sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmaktadır. Rüzgar enerjisi üretiminden/tüketiminden ekonomik büyümeye doğru nedensellik ilişkisi olduğu sonucuna ulaşan çalışmalar; Armeanu vd., 2017; Doğan ve Doğan, 2020; Koç ve Apaydın, 2020 iken ekonomik büyümeden rüzgar enerjisine doğru nedensellik ilişkisi olduğunu belirleyen çalışmalar Baştürk, 2023; Birol ve Demirgil, 2022 tarafından yapılmıştır. Rüzgar enerjisi ve ekonomik büyümenin karşılıklı olarak birbirini etkilediğini kanıtlayan çalışmalar; Atay vd., 2017; Pao ve Fu, 2013; Yasmeen vd., 2023, tarafından yapılmıştır. Jaraite vd., (2017), ise çalışmasında rüzgar enerjisi ile ekonomik büyüme arasında ilişkiye rastlamamıştır.

Literatürde elde edilen sonuçlar farklılık gösterdiği için bu çalışmada, rüzgar enerjisiyle üretilen elektrik ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi Granger nedensellik analizi ile araştırmak ve güncel kanıtlar sunmak amaçlanmaktadır.

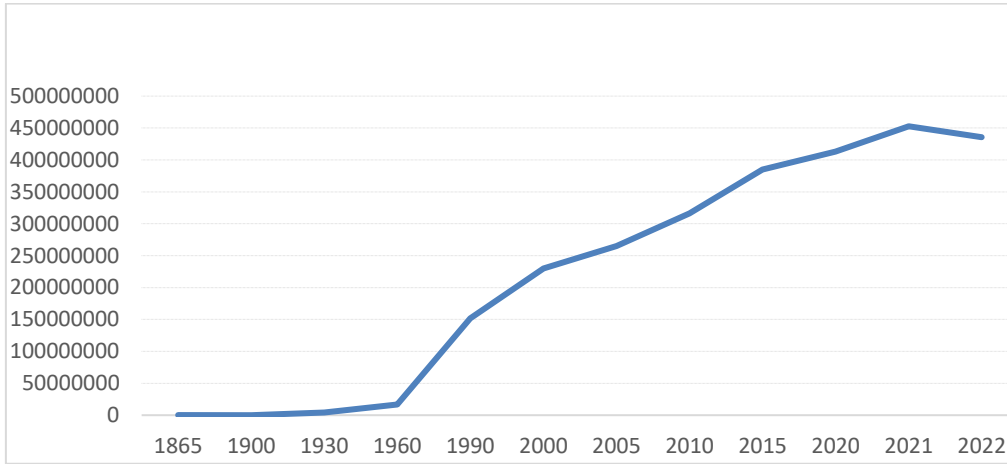
Örnek ülke olarak rüzgar enerjisi yönünde çok yüksek olan (RECAI, 2022; IRENA, 2023) Türkiye seçilmiştir. Çalışmada T.C. Enerji Bakanlığı tarafından yıllık olarak yayınlanan, rüzgar enerjisine dayalı elektrik kurulu güç değişimi verileri kullanılmıştır. Ekonomik büyüme verileri Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından çeyrek dönemde yayınlanmaktadır. Bu nedenle rüzgar enerjisine dayalı elektrik kurulu güç verileri, interpolasyon yöntemi ile çeyrek dönem olacak şekilde hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçların, ilerleyen dönemde, iklim değişikliğinin yıkıcı etkilerini azaltmak ve temiz bir çevreye ulaşmak için kanıta dayalı güncel bulgular ışığında politikalar belirlenmesinde yol gösterici olması hedeflenmektedir.

Çalışmanın yapısı şu şekilde düzenlenmiştir. İlk bölümde, Türkiye’de rüzgar enerjisinin önemi açıklanmaktadır. İkinci bölümde literatür hipotezler çerçevesinde sunulmaktadır. Üçüncü bölümde, kullanılan veriler ve metodoloji tanıtılmaktadır. Son bölümde analiz sonuçları tartışılarak genel bir değerlendirme yapılmakta ve politika önerileri sunulmaktadır.

## 2 Türkiye’de Elektrik Üretiminde Rüzgar Enerjisinin Önemi

18.yüzyıl ortalarında başlayan ilk sanayi devrimi ile buhar elde etmek için kömür kullanımı, 19. Yüzyılın sonlarına doğru ise ikinci sanayi devrimi ile beraber petrol ve elektrik kullanımı artmıştır. Sanayi de çığır açan bu devrimler fosil kaynaklı enerji tüketimini arttırırken beraberinde sera gazı emisyonlarını da dramatik şekilde arttırmıştır. Tüm Dünya’da olduğu gibi Türkiye’de de sera gazı emisyonlarının yaklaşık %70’ini oluşturan CO<sub>2</sub> emisyonları artış göstermiştir. Şekil 1’de Türkiye’de fosil kaynaklı yakıtların kullanımı sonucu ortaya çıkan CO<sub>2</sub> emisyonları gösterilmektedir.



**Şekil 1.** Fosil Yakıtlardan Kaynaklı CO<sub>2</sub> Emisyonu **Kaynak:** World in Ourdata,2024

Şekil 1’de görüldüğü gibi, Türkiye’de CO<sub>2</sub> emisyonu, 1865 yılından itibaren 2020 yılına kadar sürekli artış göstermiş, yenilenebilir enerji kaynakları yatırımlarının artması ile beraber 2021 yılı ile beraber azalma eğilimi görülmeye başlamıştır.

Küresel ısınmanın etkilerini azaltmak için küresel iklim politikaları çerçevesinde önemli adımlar atılmaktadır.

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ile atılan ilk adımın ardından Kyoto Protokolü imzalanmış ve ardından 2015 yılında Paris Anlaşması kabul edilmiştir. Türkiye 2021 yılının Ekim ayında Paris İklim Anlaşmasını onaylamıştır. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) kapsamında düzenlenen, Conference of the Parties (COP) ilk defa 1994 yılının mart ayında yapılmıştır. Ancak Paris’te düzenlenen COP21’de 2020 yılı sonrası için tüm Dünya’da sera gazı emisyon azaltımı taahhüdünde bulunulmuştur. Düzenlenen iklim zirvelerinde CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması konusunda pek çok hedefler konulmakla beraber 2022 yılında düzenlenen COP 27 zirvesinde, Türkiye, 2030 yılına kadar CO<sub>2</sub> emisyon artışından azaltma hedefini güncelleyerek, %41’e yükseltmiş, 2053 yılına kadar net sıfır karbon hedefi belirlemiştir. COP 28 zirvesinde ise bu hedefler korunmuştur (Republic of Türkiye Ministry of Foreign Affairs, 2024). Ayrıca fosil yakıt ifadesi ilk kez sonuç metninde kullanılmıştır. Önceki zirvelere kıyasla COP 28 zirvesinde şu maddeler eklenmiştir.

- 2030 yılına kadar enerji verimliliğinin iki katına çıkarılması,
- Yenilenebilir enerji kapasitesinin üç kat artırılması
- CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması için çalışmaların hızlandırılması
- Kömür üreten tesislerin kademeli olarak kaldırılması
- Yenilenebilir enerji kaynakları üreten tesislerin artırılması
- Öncelikle üretimlerinde yüksek oranda enerjiye bağımlı olan sektörlerde, yeşil hidrojen başta olmak üzere düşük karbonlu yenilenebilir enerji üretimine yönelik teknolojilerin hızlandırılması maddeleri eklenmiştir.

COP 28 zirvesinde Türkiye’nin yer aldığı deklarasyonlar şu şekilde sıralanmaktadır;

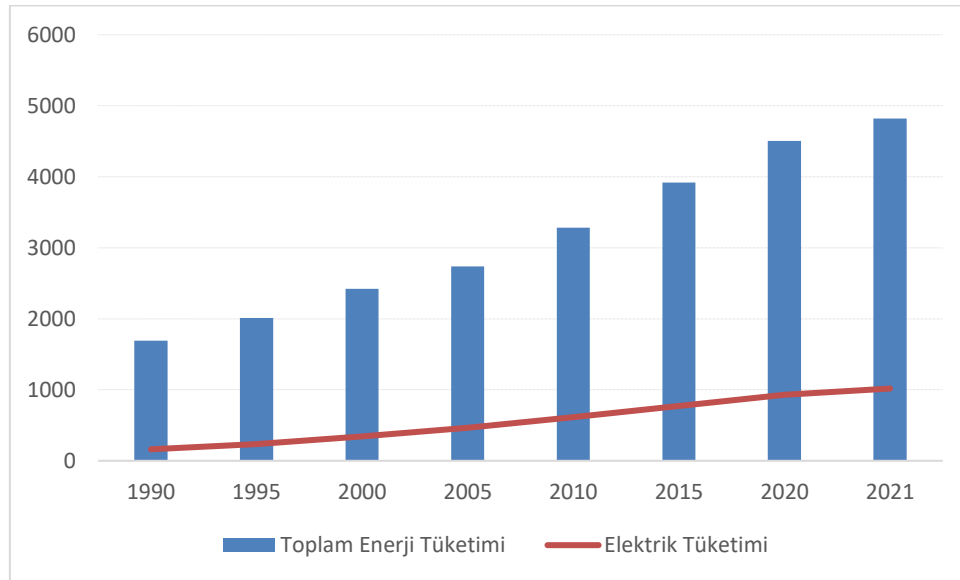
- İklim ve sağlık bildirisi,
- Sürdürülebilir tarım, dirençli gıda sistemleri ve iklim eylemi bildirisi,
- İklim eylemi için yüksek hedefli çok düzeyli ortaklıklar koalisyonudur (UNFCCC, 2024)

Yeşil ekonomiye ulaşmak için başka bir politika aracı ise karbon vergisi uygulamasıdır. Bu konuda öncü uygulamalar tarihsel olarak; 1990 yılında Finlandiya’da, 1991’de İsveç ve Norveç’te, 1992’de Danimarka ve Hollanda’da, 2012’de Avustralya’da, 2013’ten sonra ise, İngiltere, Kuzey İrlanda, İskoçya, Galler’de ilk olarak uygulanmıştır (Bali ve Yaylı, 2019; Güler, 2023; Sapmaz, 2023). Benzer bir uygulama karbon fiyatlandırmasıdır ve Avrupa ülkeleri “Emisyon Ticaret Sistemi” (ETS) uygulamaktadır. ETS, Avrupa Birliği ülkelerinin birbirleri ile olan ihracatındaki CO<sub>2</sub> emisyon oranına göre fiyatlandırma sistemine dayalıdır. Bu sistem 16 Mayıs 2023 tarihinden itibaren Avrupa Birliği ülkelerine ihracat yapan tüm ülkeleri kapsayacak şekilde genişletilerek “Karbon Düzenleme Mekanizması” (CBAM) uygulaması başladı. Türkiye açısından 1 Ekim 2023 ile 31 Aralık 2025 tarihleri arası, üç ayda bir emisyon raporlarının hazırlanacağı bir geçiş dönemi olarak belirlenmiştir. 1 Ocak 2026 tarihi itibarı ile öncelikli olarak demir-çelik, elektrik, alüminyum, gübre, amonyak ve hidrojen gibi karbondan arındırılması zor olan sektörlerin ürünlerinin Türkiye’den AB ülkelerine ihracatında uygulanacak olup, 2034 yılı itibarı ile tüm sektörlerin ihracatını kapsayacaktır (European Commission, 2023a; European Commission, 2023b).

Gerek CBAM uygulaması, gerek Paris Anlaşması ve beraberinde alınan COP 28 zirvesinin ortak amacı, karbondan arındırılmış; sürdürülebilir çevre, ekonomi ve topluma ulaşmaktır. Bu çerçevede temel çözüm yenilenebilir enerji dönüşümüdür. Türkiye yenilenebilir enerji açısından oldukça zengin bir ülkedir.

Dünya’da Çin’den sonra ikinci sırada enerji talebi en çok artan ülke Türkiye’dir. Artan enerji talebini karşılarken sürdürülebilir ekonomik büyümeyi sağlamak için rüzgar enerjisi büyük önem taşımaktadır.

Elektrik tüketimi, gerek konutlarda gerekse sanayide kritik öneme sahiptir. Türkiye’de toplam enerji tüketimi içindeki elektrik tüketiminin yıllar içindeki dağılımı Şekil 2’de gösterilmektedir.



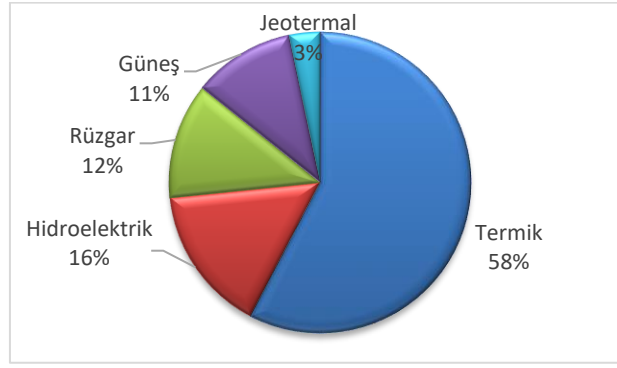
**Şekil 2. Türkiye’de Toplam Enerji ve Elektrik Tüketimi Kaynak: IEA,2023**

Şekil 2’de görüldüğü gibi, 1900-2021 yılları arasında toplam enerji tüketimi içerisinde elektrik tüketimi sürekli artış göstermiştir. Türkiye’de kömürle üretilen elektrik 2023 yılında 118 TWh seviyesinde gerçekleşerek, çok yüksek seviyeye ulaşmıştır. Böylece toplam elektrik üretimi içerisinde kömür kaynaklı elektrik üretiminin payı yaklaşık %36 seviyesine yükselmiştir. Kömürden üretilen elektriğin yaklaşık %60’ı ise ithalat yolu ile temin edilmektedir. Söz konusu kömürün %73’ü ise Rusya’dan ithal edilmektedir (EMBER, 2024).

Elektrik üretimi yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlandığı takdirde ise CO<sub>2</sub> emisyonu azalmaktadır. Günümüzde elektrikli araçlar “çevreye dost” olarak kabul edilmektedir. Ancak burada önemli olan kullanılan elektriğin hangi enerji kaynağından sağlandığıdır. Eğer kömürden sağlanıyorsa CO<sub>2</sub> emisyonu artmaya devam edecektir.

Sürdürülebilir kalkınma amaçlarının gerçekleşmesi için yenilenebilir enerjinin öneminin her geçen gün daha fazla değer gördüğü bir ortamda elektriğin rüzgar enerjisi kullanılarak üretilmesi önem taşımaktadır. Şekil 3’de Türkiye’de elektrik üretiminin yapıldığı enerji kaynaklarının dağılımı gösterilmektedir.

Şekil 3’te görüldüğü gibi, Kasım 2023’de Türkiye’de üretilen elektriğin %42,4’ü yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak üretilmiştir. Bu kaynaklar içerisinde rüzgar enerjisinin payı yaklaşık %12,4 seviyesindedir (TSKB, 2023). Türkiye’de toplam elektrik üretim santrali sayısı 17866’dır. Bu santrallerin dağılımı; 760’ı hidroelektrik, 69’u kömür, 364’ü rüzgar, 63’ü jeotermal, 357’si doğalgaz, 15780’i güneş ve 473 tanesi ise diğer kaynaklardan oluşmaktadır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024a; T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024b; TÜREB, 2023).



**Şekil 3. Elektrik Üretimini Sağladığı Kaynaklar Kaynak: TSKB,2023**

### 3 Literatür

Yenilenebilir enerji üretimi/tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkileri inceleyen çalışmalar, literatürde geniş yer bulmuştur. Ancak rüzgar enerjisi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalar kısıtlıdır. Bu çalışmalar Apergis ve Payne 2010a, Apergis ve Payne 2010b'nin çalışmasında literatüre kazandırdığı; dört farklı nedensellik ilişkisi (büyüme, koruma, geri besleme ve tarafsızlık) çerçevesinde bu bölümde sunulmaktadır.

Yenilenebilir enerjiden ekonomik büyümeye doğru nedensellik ilişkisini ifade büyüme hipotezini doğrulayan çalışmalardan; Doğan ve Doğan (2020), gelişmekte olan 23 ülkenin 2004-2016 dönemine ait verilerini Driscoll ve Kraay Tahmincisi aracılığıyla incelerken, Doğan vd. (2022), rüzgar ve jeotermal enerjisi tüketen; Türkiye, ABD, Almanya, İtalya, İzlanda, Meksika, Portekiz, Yeni Zelanda, Japonya'nın 2016-2020 yıllarına ait aylık veriler kullanılmıştır. Verilere Dumitrescu-Hurlin nedensellik testi uygulanmıştır. Koç ve Apaydın (2020) ise 1991-2017 yılları arasında 15 tane G20 ülkesine ait rüzgar enerjisi ve ekonomik büyüme verilerini kullanarak panel veri analizi uygulamıştır. Sonuçta rüzgar enerjisi ile ekonomik büyüme arasında pozitif ilişki olduğunu belirlemişlerdir.

Ekonomik büyümeden yenilenebilir enerjiye doğru nedensellik ilişkisini ifade eden koruma hipotezini kanıtlayan çalışmalardan; Baştürk (2023), Avrupa Birliği ülkelerinin, 2002-2021 yılları arasındaki verilerine Pesaran CADF birim kök testi ve Westerlund panel bütünleşme testi uygularken, Birol ve Demirgil (2022) 15 Avrupa Birliği ülkesinin 1995-2021 dönemine ait verilerine panel nedensellik ve panel eşbütünleşme testleri uygulamıştır. Armeanu vd. (2017) ise, 2003-2014 yılları arasında Avrupa Birliği ülkelerinde, tüm yenilenebilir enerji türlerinin ayrı ayrı ekonomik büyüme üzerindeki etkisini Granger nedensellik analizi ile incelemiştir. Rüzgar enerjisi özelinde incelendiğinde ekonomik büyüme ile ilişkisinin büyüme hipotezini, tüm yenilenebilir enerji türlerinin toplam açısından incelendiğinde ise korumacı hipotezinin varlığı tespit etmiştir.

Yenilenebilir enerji ile ekonomik büyüme arasında çift yönlü nedensellik ilişkisini ifade eden geri besleme hipotezinin geçerliliğine ait bulgulara ulaşan çalışmalardan; Yasmeeen vd. (2023), 1992-2020 yılları arasında en büyük rüzgar tüketicisi olan 16 ülkede rüzgar enerjisi kapasitesindeki artışın ekonomik büyüme kaynaklı olup olmadığını STIRPAT modeli ile incelerken, Pao ve Fu (2013), Brezilya'nın 1980-2010 yıllarına ait verilerine Granger nedensellik testi uygulanmıştır. Atay vd. (2017) ise G7 ülkelerinde 2003-2012 yılları arasındaki rüzgar enerjisi tüketimi ve GSYH verilerine Levin, Lin ve Chu birim kök testi, Pedroni-Kao Eşbütünleşme ve FMOLS testlerini uygulamıştır.

Yenilenebilir enerji ile ekonomik büyüme birbirini etkilemediğini ifade eden tarafsızlık hipotezini doğrulayan sonuçlar elde eden, Jaraite vd. (2017) çalışmasında, 15 tane Avrupa Birliği ülkesini 1990-2013 dönemine ilişkin rüzgar ve güneş enerjisi verilerini panel- zaman serisi ile incelemiştir. Rüzgar ve güneş enerjisi kapasitesinin kısa vadede istihdamı/ekonomik büyümeyi teşvik ettiği ancak uzun vadede ekonomik büyümeyi teşvik etmediği hatta negatif büyüme ile ilişkili olduğunu belirlemiştir.

### 4 Veri, Analiz ve Analitik Sonuçlar

Bu çalışmada, 2011 Q1-2021 Q4 dönemini kapsayan Türkiye'de kişi başına düşen gayrisafi yurt içi hasıla ve rüzgar enerjisi ile üretilen elektrik kurulu gücüne ilişkin veri seti kullanılmıştır.

Değişkenlerin tanımlayıcı analizini gösteren tablodan da görülebileceği gibi, LOGGDP'nin ortalama, medyan ve maksimum değeri LOGWIND'den daha yüksektir. Bununla birlikte, her iki değişken de pozitif çarpıklık gösterirken, LOGWIND ve LOGGDP'nin çarpıklık değerleri sırasıyla negatif yani sol kuyruk özelliği ve pozitif yani sağ kuyruk özelliği göstermektedir. Ayrıca, iki değişken de normal dağılmamaktadır.

Tanımlayıcı analizin ardından, değişkenlerin stokastik özellikleri geleneksel ADF birim kök testleri kullanılarak araştırılmıştır. Geleneksel birim kök testlerinin lngdp üzerindeki istatistiği sıfır hipotezini reddetmektedir. Diğer bir deyişle, lngdp seviye değerlerinde birim kök içerirken, lngdp birinci farklarda durağan hale gelmektedir. Logwind değişkenine ilişkin ADF birim kök testi sonuçlarına göre ise, söz konusu değişken düzeyde durağan

değildir ve birinci farkları anormal özellikler taşımakta ve yapısal kırılmaların varlığına işaret etmektedir. Ayrıca, seri veri üretimindeki düzgün, bilinmeyen ve çoklu yapısal kırılmalar durağanlık analizinin sonucu üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir.

	LOGWIND	LOGGDP
Mean	7.161974	9.155734
Median	7.319076	9.086259
Maximum	7.944137	10.02743
Minimum	6.068426	8.462103
Std. Dev.	0.549470	0.468161
Skewness	-0.436052	0.348569
Kurtosis	2.007963	2.021593
Jarque-Bera	3.198621	2.646017
Probability	0.202036	0.266333
Sum	315.1269	402.8523
Sum Sq. Dev.	12.98246	9.424515
Observations	44	44

**Tablo 1. Değişkenlerin Tanımlayıcı Analizi**

Tablo 2’de görüldüğü gibi öncelikle ADF ve FADF birim kök testleri yapılmıştır.

	ADF Unit Root Test			
	Constant		Constant&Trend	
	Level	$\Delta$	Level	$\Delta$
lnGDP	3.029247	-2.655886*	-2.348771	-4.910152**
lnWind	-1.745575	-1.748586	-1.413583	-2.261345

**Tablo 2. ADF Birim Kök Testleri**

Enerji ve ekonomik büyümeye dayalı nedensellik hipotezi çeşitli nedensellik analizleri kullanılarak araştırılmaktadır. Bu kapsamda ekonometrik yaklaşımların başında Granger nedensellik analizi gelmektedir. Granger nedensellik analizi bazı varsayımlara sahiptir ve bunlardan biri analizde kullanılan serilerin durağan olması gerektiğidir. Durağanlık analizinin sonucuna göre, ekonomik büyüme ve rüzgârlar birinci farkta kullanılmaktadır. Ayrıca, Granger nedensellik analizi VAR modeline dayandığı için optimal gecikmenin belirlenmesi Granger nedensellik testleri için hayati önem taşımaktadır. Optimal gecikmeler ise LM-seri korelasyon, White Heteroskedasticity ve AR karakteristik polinom testlerinin ters köklerini içeren tanısal testler ışığında belirlenmelidir. Teşhis testlerinin sonucu Ek'te gösterilmiş ve optimal gecikme 2 olarak belirlenmiştir. Granger nedensellik testinin boş hipotezi değişkenler arasında nedensellik olmadığını göstermektedir ve Granger nedensellik testinin sonucu Tablo 3'ün ikinci sütununda ortaya konmuştur. Granger nedensellik testinin sonucuna bakıldığında, her iki modelde de sıfır hipotezinin kabul edilmesi gerektiği ve çalışmada ekonomik büyüme ile rüzgar arasında herhangi bir nedensellik ilişkisinin doğrulanmadığı belirtilmektedir. Elde edilen bu kanıt, ekonomik büyüme ve rüzgâr arasındaki ilişkiye nötrlük hipotezinin var olduğunu ima etmektedir.

Toda-Yamamoto nedensellik analizi (Toda ve Yamamoto, 1995), ekonomik büyüme ve rüzgâr arasındaki nedensellik ilişkisini incelemek için yapılan ikinci geleneksel nedensellik testidir. Granger nedensellik analizinden farklı olarak Toda-Yamamoto nedensellik analizi, değişkenler durağan olmasa bile serilerin düzey değerlerinin kullanıldığı k+dmax gecikmeli genişletilmiş VAR altında işletilmektedir. Toda-Yamamoto nedensellik analizinde k, bilgi kriterleri ile belirlenen ve VAR modelinin tanısal testlerini destekleyen optimal gecikmeleri, dmax ise durağanlık analizi ile tespit edilen maksimum bütünleşme düzeyini ifade etmektedir. Bu bağlamda, k+dmax üç olarak hesaplanmış, gecikme(k+dmax) için VAR modeli tahmin edilmiş ve Toda-Yamamoto nedensellik analizinin sonucu Tablo 3'ün üçüncü sütununda tablolaştırılmıştır. Modellerin Wald istatistikleri, değişkenler arasında nedensellik bağlantısı olmadığını gösteren boş hipotezi reddedemekte ve ekonomik büyüme ile rüzgar arasında bir nedensellik bağlantısı olmadığı doğrulanmaktadır. Toda-Yamamoto her ne kadar bilgi kayıplarını sağlasa da, eğer ark etkisi ve hata terimlerinin normal olmayan dağılımı mevcutsa, Toda-Yamamoto nedensellik testlerinin gücü azalabilir. Bu bağlamda, Hacker ve Hatemi-J (2006), Efron (1979) tarafından tanımlanan bootstrap simülasyonunu gerçekleştirerek uygun tablo kritik değerlerine ulaşan yeni nedensellik testleri önermektedir. Hacker ve Hatemi-J (2006) nedensellik analizi, ARCH etkisinin ve normal olmayan dağılımın neden olduğu bilgi kayıplarını önlemektedir. Hatemi-J (2003) tarafından önerilen Hatemi-J bilgi kriteri (HJC) kullanılmakta ve test istatistikleri tablo kritik değerlerinden büyük olduğunda testin boş hipotezi reddedilmektedir (Tatoğlu, 2023). Hacker ve Hatemi-J (2006) nedensellik analizinin bulguları Tablo 3'ün dördüncü sütununda açıklanmaktadır.

Test sonuçlarına göre, test istatistikleri tablo kritik değerlerinden düşük olduğu için her iki model için de tarafsızlık hipotezi doğrulanmıştır.

	Granger	Toda-Yamamoto	Hatemi-J
$\ln wind = /> \ln gdp$	0.184126 (0.6679)	0.052363 (0.8190)	0.125
$\ln wind = /> \ln gdp$	1.118718 (0.2902)	0.095997 (0.7567)	0.375

**Tablo 3. Nedensellik Analizleri Sonuçları**

Granger, Toda-Yamamoto ve Hacker ve Hatemi-J (2006) nedensellik analizlerine ek olarak, ekonomik büyüme ve rüzgar enerjisi arasındaki nedensellik bağlantısı, düzgün, bilinmeyen ve çoklu yapısal kırılmaların dikkate alınmasına izin veren nedensellik testleri ile de araştırılmaktadır. Granger, Toda-Yamamoto ve Hacker ve Hatemi-J nedensellik analizleri farklı varsayımlara ve test prosedürlerine sahiptir. Aynı zamanda, üçü de veri üretiminde yapısal değişikliklerin mevcut olmadığını varsaymaktadır. Eğer serilerde yapısal değişiklikler meydana gelebilirse, nedensellik testlerinin boş hipotezi yanlı olarak reddedilir.

## 5 Genel Değerlendirme ve Sonuç

Türkiye, coğrafi konumu açısından rüzgar enerjisi potansiyeli yüksek bir ülke olup rüzgar enerjisi kurulu gücü açısından Dünya'da 12. sırada yer almaktadır. Rüzgar tribünlerinin ana aksamı olan; kanat, kule ve jeneratörlerin yerli olarak üretilmesi bir taraftan ithal bağımlılığını azaltıp ihracatı artırırken diğer taraftan istihdam edilen kişi sayısını arttırmaktadır.

Bu çalışmada, rüzgar kurulu gücünde artış yaşanan Türkiye'de, 2011 Q<sub>1</sub>-2021 Q<sub>4</sub> döneminde rüzgar enerjisi ile üretilen elektrik ile ekonomik büyüme ilişkisi (Granger, Toda-Yamamoto, Hacker ve Hatemi-J) analizleri kullanılarak araştırılmıştır. Analiz sonucuna göre, değişkenler arasında nedensellik ilişkisine rastlanmamıştır. Dolayısı ile tarafsızlık hipotezi olduğu kanıtlanmıştır. Elde edilen sonuç, rüzgar enerjisi üretim kapasitesindeki artış ve ekonomik büyüme arasında tarafsızlık hipotezine dair bulgulara ulaşan Jaraite vd. (2017)'nin çalışması ile paralellik göstermektedir. Ayrıca rüzgar enerjisi dahil olmak üzere tüm yenilenebilir enerji türlerinin tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi inceleyen; Menegaki (2011); 27 tane Avrupa ülkesinde, Ozcan ve Ozturk (2019), 16 tane gelişen ülkede; Doğan (2015), Türkiye'de; Aissa vd. (2014), 11 Afrika ülkesinde ve Okumus vd. (2021); Fransa, Japonya ve İngiltere için yaptıkları çalışmalarda tarafsızlık hipotezi olduğunu belirlemiştir. Bu durum, çalışmaların yapıldığı ülkelerde, rüzgar enerjisi kurulunun erken gelişim aşamasında olması ile açıklanabilir. Türkiye'de en güncel veriler incelendiğinde, rüzgar enerjisi kullanarak üretilen elektriğin payı yaklaşık %12,4 civarındadır. Bu nedenle ekonomik büyümeye yeterli katkıyı henüz gerçekleştirilmemektedir. Ancak Türkiye'de rüzgar enerjisi kurulu gücü artırılıp ithal fosil yakıttan elde edilen elektrik üretim payı azaldıkça cari açık azalacak ekonomik büyümeyi arttıracaktır. Şu an için ekonomik büyümeyi arttırmayan ama çevreyle dost olan rüzgar enerjisine geçiş, CO<sub>2</sub> emisyonunu azaltarak, CBAM uygulaması çerçevesinde ilerleyen zamanda ödenmesi gereken karbon vergisi azalacaktır.

Fosil yakıtlardan yenilenebilir enerji türlerine geçişi hızlandırmayı amaçlayan enerji politikaları, rüzgar enerjisi tüketimini ve rüzgar kapasitesini etkileyecektir. Bu nedenle uygulanacak politikalar büyük önem taşımaktadır. Çalışmadan elde edilen bulgularla tutarlı olarak şu politikalar önerilebilir:

- Doğrudan yabancı yatırımların rüzgar enerjisi kurulumuna yönlendirilmesi için Türkiye'nin rüzgar potansiyelinin tanıtılması
- Rüzgar enerjisinde ileri teknolojiye ulaşım imkanını artırarak, üretim maliyetlerini düşürecek vergi avantajları/kolaylıkları sağlanması
- Rüzgar enerjisi projelerinin artırılması/desteklenmesi
- Rüzgar enerjisi alanında AR-GE ve tasarım merkezlerinin artırılması
- Rüzgar enerjisi ekipmanı üretimi yapan KOBİ'lere sağlanan finansman desteğinin artırılması,
  - Karasal rüzgâr enerjisi kapasite tahsisinin artırılması
  - Deniz üstü rüzgar santrali için çalışmaların hızlanması
  - Rüzgar enerjisi üretiminde çalışacak nitelikli işgücünün yetiştirilmesi için eğitimler verilmesi



### Kaynakça

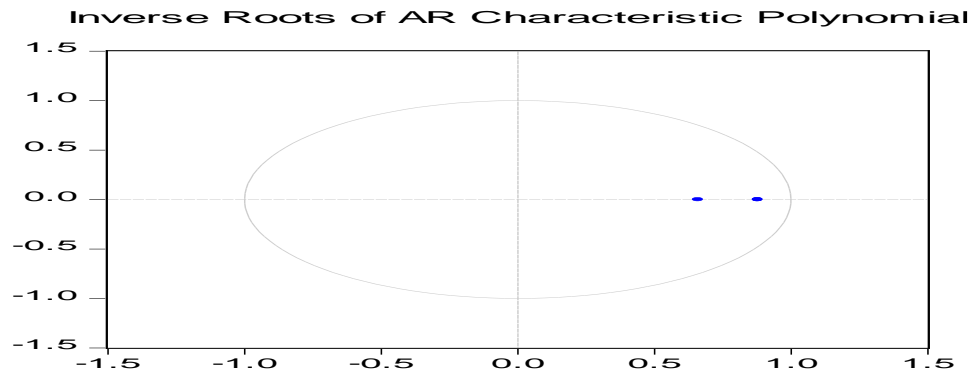
- Aissa vd., 2014. “Output, renewable energy consumption and trade in Africa”, *Energy Policy*, **66**, p. 11–18.
- Apergis and Payne, 2010a. “Renewable energy consumption and economic growth: Evidence from a panel of OECD countries,” *Energy Policy*, **38**, p. 656–660.
- Apergis & Payne, 2010b. “Renewable energy consumption and growth in eurasia”, *Energy Economics*, **32**, p. 392-397.
- Armeanu vd., 2017. “Does renewable energy drive sustainable economic growth? Multivariate panel data evidence for EU-28 countries”, *Energies*, **10**, p. 381.
- Atay vd., 2017. “G-7 Ülkelerinde rüzgâr enerjisi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin panel eşbütünleşme yaklaşımı ile analizi”, *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, **17**, p. 15-30.
- Bali ve Yaylı, 2019. “Karbon vergisinin Türkiye'de uygulanabilirliği”, *1. Third Sector Social Economic Review*, **54**, p. 302-319.
- Baştürk 2023. “Rüzgâr enerjisi ekonomik büyümeyi arttırır mı?”, *AB Özelinde Bir İnceleme Maliye Dergisi*, **185**, p. 23-40.
- Becker vd., 2006. “A stationarity test in the presence of an unknown number of smooth breaks”, *Journal of Time Series Analysis*, **27**, p. 381-409.
- Birol ve Demirgil, 2022. “Rüzgâr enerjisi üretimi ve ekonomik büyüme ilişkisi: AB-15 ülkeleri için bir panel veri analizi”, *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, **61**, p. 305-327.
- Christopoulos & León-Ledesma, 2010. “Smooth breaks and non-linear mean reversion: Post-Bretton Woods real exchange rates”, *Journal of International Money and Finance*, **29**, p. 1076-1093.
- Doğan vd., 2022. “The impact of wind and geothermal energy consumption on economic growth and financial development: evidence on selected countries”, *Geothermal Energy*, **10**, p. 19.
- Doğan & Doğan, 2020. “Does wind energy affect economic growth in developing countries?”, *Journal of Statistics and Applied Sciences*, **1**, p. 99– 106.
- Doğan, 2015. “The relationship between economic growth and electricity consumption from renewable and non-renewable sources: A study of Turkey”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **52**, p. 534-546.
- Efron, 1979. “Computers and the theory of statistics: thinking the unthinkable”, *SIAM Review*, **21**, p. 460-480.
- EMBER, 2024. Türkiye elektrik görünümü 2024, <https://ember-climate.org/tr/analizler/araştırma/turkiye-elektrik-gorunumu-2024/>
- Enders & Jones, 2016. “Grain prices, oil prices, and multiple smooth breaks in a VAR”, *Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics*, **20**, p. 399-419.
- European Commission, 2023a. Taxation and customs union, [https://taxation-customs.ec.europa.eu/news/commission-consults-cbam-reporting-obligations-its-transitional-phase-1-october-2023-06-13\\_en](https://taxation-customs.ec.europa.eu/news/commission-consults-cbam-reporting-obligations-its-transitional-phase-1-october-2023-06-13_en)
- European Commission, 2023b. Carbon border adjustment mechanism, [https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism\\_en#:~:text=The%20CBAM%20will%20enter%20into,%2C%20fertilisers%2C%20electricity%20and%20hydrogen](https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en#:~:text=The%20CBAM%20will%20enter%20into,%2C%20fertilisers%2C%20electricity%20and%20hydrogen)
- Güler, 2023. “Avrupa birliği ülkelerinde çevre vergisi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin belirlenmesi”, *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, **25**, p. 1058-1073.
- Hacker & Hatemi 2006. “Tests for causality between integrated variables using asymptotic and bootstrap distributions: theory and application”, *Applied Economics*, **38**, p. 1489-1500.
- Hatemi-j, 2003. “A new method to choose optimal lag order in stable and unstable VAR models”, *Applied Economics Letters*, **10**, p. 135-137.
- IEA, 2023. World Energy Balances (database).World Energy Balances Highlights (2023 edition) <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-balances#documentation>
- IRENA, 2023. Renewable Energy Statics 2023, [https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jul/IRENA\\_Renewable\\_energy\\_statistics\\_2023.pdf?rev=7b2f44c294b84cad9a27fc24949d2134](https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jul/IRENA_Renewable_energy_statistics_2023.pdf?rev=7b2f44c294b84cad9a27fc24949d2134)
- Jaraite vd., 2017. “Policy-induced expansion of solar and wind power capacity economic growth and employment in EU countries”, *The Energy Journal*, **38**, p. 197-222.

- Koç & Apaydın, 2020. “İktisadi büyüme ve rüzgar enerjisi: Seçilmiş G-20 ülkeleri için bir analiz”, *Fiscaoeconomia*, **4**, p. 595–612.
- Menegaki, 2011. “Growth and Renewable Energy in Europe: A Random Effect Model with Evidence for Neutrality Hypothesis”, *Energy Economics*, **33**, p. 257-263.
- Nazlıoğlu vd., 2016. “Oil prices and real estate investment trusts (REITs): Gradual-shift causality and volatility transmission analysis”, *Energy Economics*, **60**, p. 168-175.
- Okumus vd., 2021. “Renewable, non-renewable energy consumption and economic growth nexus in G7: fresh evidence from CS-ARDL”, *Environmental Science and Pollution Research*, **28**, p. 56595-56605.
- Ozcan & Ozturk, 2019. “Renewable energy consumption-economic growth nexus in emerging countries: A bootstrap panel causality test”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **104**, p. 30-37.
- 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.
- RECAI, 2022. RECAI 58 report, [https://www.ey.com/en\\_tr/recai](https://www.ey.com/en_tr/recai)
- Republic of Türkiye Ministry of Foreign Affairs, 2024. Paris agreement, <https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa#:~:text=Dışişleri%20Bakanlığı&text=2020%20sonrası%20iklim%20değişikliği%20rejiminin.gazı%20emisyon%20azaltımı%20taahhüdünde%20>
- Sadorsky, 2021. “Wind energy for sustainable development: Driving factors and future outlook”, *Journal of Cleaner Production*, **289**, p. 125779.
- Sapmaz, 2023. “Karbon vergisinin Türkiye’de uygulanabilirliği”, *Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, **8**, p. 1-10.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024a. Elektrik, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024b. Rüzgar, <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-ruzgar>
- Tatoğlu, 2023. **Ekonometri Stata Uygulamalı**. Beta Yayınevi, İstanbul.
- Toda & Yamamoto, 1995. “Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes”, *Journal of Econometrics*, **66**, p. 225-250.
- TSKB, 2023. TSKB ekonomik araştırmalar, aylık enerji bülteni (Kasım 2023), <https://www.tskb.com.tr/arastirma-raporlari/ekonomik-arastirmalar/enerji-bulteni>
- TUREB, 2023. Türkiye rüzgar enerjisi istatistik raporu - Temmuz 2023, <https://tureb.com.tr/haber/turkiye-ruzgar-enerjisi-istatistik-raporu-temmuz-2023/298>
- UNFCCC, 2024. About COP 28, <https://unfccc.int/process-and-meetings/conferences/un-climate-change-conference-united-arab-emirates-nov/dec-2023/about-cop-28>
- Yasmeen vd., 2023. “The role of wind energy towards sustainable development in top-16 wind energy consumer countries: Evidence from STIRPAT model”, *Gondwana Research*, **121**, p. 56-71.
- World in Our Data, 2024. CO<sub>2</sub> Emissions From Fossil Fuels, <https://ourworldindata.org/grapher/co2-fossil-plus-land-use>



**Ekler**

VAR Lag Order Selection Criteria						
Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	208.1276	NA	1.15e-07	-10.30638	-10.22193	-10.27585
1	251.0485	79.40363*	1.64e-08*	-12.25242*	-11.99909*	-12.16083*
2	251.8916	1.475586	1.92e-08	-12.09458	-11.67236	-11.94192
3	253.6134	2.840912	2.16e-08	-11.98067	-11.38956	-11.76694



VAR Residual Serial Correlation LM Tests						
Lag	LRE* stat	df	Prob.	Rao F-stat	df	Prob.
1	1.526655	4	0.8219	0.380399	(4, 72.0)	0.8219
2	0.328690	4	0.9879	0.081230	(4, 72.0)	0.9879

VAR Residual Heteroskedasticity Tests (Levels and Squares) Joint test:

Chi-sq	df	Prob.
12.29446	12	0.4223