

Gönderilme Tarihi: 12 Haziran 2023; Revize Edilmiş Hali: 21 Temmuz 2023; Kabul Tarihi: 21 Temmuz 2023

## TÜRKİYE'DE YENİLENEBİLİR ENERJİ TÜKETİMİ, EKONOMİK BÜYÜME VE CO2 EMİSYONU ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ANALİZİ: ARDL SINIR TESTİ YAKLAŞIMI

İsmail KAVAZ<sup>1</sup> 

Burak KAYA<sup>2</sup> 

### ÖZ

Enerji günümüzde hemen hemen tüm alanlarda kullanılması nedeniyle vazgeçilemez bir kaynak olarak öne çıkmaktadır. Modern dünyadaki gelişmelere paralel olarak enerjiye olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Bu bağlamda ekonomik büyümenin en önemli dinamiklerinden birisi konumunda olan enerji kaynaklarına sahip olma durumu ülkeler arasındaki rekabeti ciddi biçimde etkilemektedir. Öte yandan, küresel enerji piyasalarında yaşanan ani fiyat hareketleri ve krizler ise ülkeleri alternatif kaynak arayışlarına yöneltmektedir.

Yenilenebilir enerji, son dönemde söz konusu alternatifler içerisinde dikkat çekmektedir. Fosil yakıtların hem çevreye zarar vermeleri hem de fiyatlarının görece yüksek olmasından dolayı yenilenebilir kaynaklar ile enerji üretme trendi artarak devam etmektedir. Bu çerçevede yenilenebilir enerji ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin incelenmesi hususu araştırmacıların bu alana yönelmeleri sonucunu doğurmaktadır. Bu noktadan hareketle, bu çalışmada yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyüme üzerindeki ve ekonomik büyümenin yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkileri ayrı ayrı incelenmekte ve modellenmektedir.

Çalışmada 1982-2021 dönemini kapsayan yıllık veriler kullanılarak bir zaman serisi analizi olan ARDL Sınır Testi yönteminden faydalanılmaktadır. İlk olarak yenilenebilir enerji tüketiminin bağımlı değişken olarak kullanıldığı bir model oluşturulmuştur. Bu modelden elde edilen sonuçlara göre GSYH'deki artış kısa ve uzun dönemde yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde pozitif etkiye sahip olarak bulunmuştur. GSYH parametresinin bağımlı değişken olarak belirlendiği ikinci modelde ise yenilenebilir enerji tüketimindeki artışın GSYH'yi yine kısa ve uzun dönem için artırdığı sonucuna varılmıştır. Çalışmanın ampirik bulgularına göre iki model arasındaki en önemli fark ise GSYH'de meydana gelen artışların yenilenebilir enerji üzerindeki etkisinin yenilenebilir enerji tüketimindeki artışın GSYH üzerindeki etkisinden daha fazla olması durumudur. Dolayısıyla, Türkiye için ilgili dönem verileri baz alındığında yenilenebilir enerjinin daha yaygınlaşması için ekonomik büyüme performansının artırılması çıkarımı yapılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Yenilenebilir Enerji, Ekonomik Büyüme, Karbon Salınımı, ARDL Sınır Testi, Türkiye

**Jel Kodları:** O44, Q42, R11

## AN ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN RENEWABLE ENERGY CONSUMPTION, ECONOMIC GROWTH AND CO2 EMISSIONS IN TURKEY: ARDL BOUNDS TEST APPROACH

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Fırat Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, e-posta: [i.kavaz@firat.edu.tr](mailto:i.kavaz@firat.edu.tr), ORCID: 0000-0002-3044-795X

<sup>2</sup> Fırat Üniversitesi, İktisat Bölümü Yüksek Lisans Öğrencisi, e-posta: [b.kaya2334@gmail.com](mailto:b.kaya2334@gmail.com), ORCID: 0009-0009-5005-887X

### ABSTRACT

Energy is used in almost all fields; thus, it stands out as an indispensable resource. In parallel with the developments in the modern world, the need for energy is increasing daily. In this context, having energy resources, one of the most important dynamics of economic growth seriously affects the competition between countries. On the other hand, sudden price movements and crises in global energy markets lead countries to seek alternative sources.

Renewable energy has been drawing attention among these alternatives recently. Since fossil fuels both harm the environment and their prices are relatively high, the trend of producing energy with renewable sources continues to increase. In this context, examining the relationship between renewable energy and economic growth results in researchers turning to this field. From this point of view, in this study, the effects of renewable energy consumption on economic growth and the effects of economic growth on renewable energy consumption are examined and modelled separately.

In the study, the ARDL Bounds Test method, which is a time series analysis, is used by using annual data covering the period of 1982-2021. First, a model was created in which renewable energy consumption is used as a dependent variable. According to the results obtained from this model, the increase in GDP has been found to have a positive effect on renewable energy consumption in the short and long term. In the second model, in which the GDP parameter was determined as the dependent variable, it was concluded that the increase in renewable energy consumption increased the GDP for the short and long term. According to the empirical findings of the study, the most significant difference between the two models is that the effect of increases in GDP on renewable energy is greater than the effect of increases in renewable energy consumption on GDP. Therefore, based on the relevant period data for Turkey, it is deduced that the economic growth performance should be increased for renewable energy to become more widespread.

**Keywords:** Renewable Energy, Economic Growth, Carbon Emission, ARDL Bounds Test, Türkiye

**Jel Codes:** O44, Q42, R11

### GİRİŞ

Enerji ısınma, aydınlatma, ulaşım gibi ihtiyaçların karşılanabilmesi ve modern teknoloji ürünlerini kullanabilmek için ihtiyaç duyulan vazgeçilemez bir kaynaktır. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte enerjiye olan talep artarak devam etmektedir. Enerjinin yüksek bir öneme sahip olmasının sebebi ülkelerin ekonomik açıdan enerjiye bağımlı olmalarıdır. Zira, enerji ekonomik büyüme performansı açısından oldukça önemli bir girdi olduğundan, enerji yoksunluğu ülkeleri olumsuz yönde etkileyebilmektedir. 1973 ve 1979 küresel petrol krizlerinde olduğu gibi üretimin azalması ve fiyatların hızlı artışı üreticiler, tüketiciler ve petrol endüstrisi üzerinde ciddi olumsuz sonuçlara sebebiyet vermiştir (Cheng, 2009). Söz konusu krizler, ülkelerin enerji güvenliği konusunda daha temkinli davranmasına sebep olmuştur. Dolayısıyla, ülke ekonomilerinin dış kaynaklı enerjiye yüksek oranda bağımlı olması ve enerji güvenliğinin tesis edilememesi büyük sorunlara yol açabileceğinden, alternatif enerji kaynak arayışları giderek gelişme eğilimindedir.

Son yıllarda özellikle fosil yakıtlara olan talebin artma eğilimine girdiği görülmektedir. 2021'de küresel ölçekte fosil kaynaklar kullanılarak üretilen enerji tüketimi %5,8 oranında artmıştır ve bu tüketim eğiliminin 10 yıllık ortalaması yılda %0,9 iken 2021 yılında bu oran son 10 yıllık ortalamanın 6,44 katına ulaşmıştır (British Petroleum, 2022). Bu durum artan karbon salınımları nedeniyle çevre kirliliğine de yol açmaktadır.

Covid-19 salgını enerji talebini azalttığı için 2020'de emisyonların bir önceki yıla kıyasla %5'ten fazla azaldığı görülürken, 2021'de emisyonlar, ekonomik teşvik ve aşların yaygınlaşmasıyla

paralel olarak %6'dan fazla artmış ve salgın öncesi seviyelerin üzerine çıkmıştır (IEA, 2023). 2022'de ise 2021 yılına oranla küresel karbon emisyonunda %0,9 seviyesinde bir artış gözlemlenmektedir.

Artan enerji talebi ile birlikte insanlar fosil kaynaklı yenilenemeyen enerji kaynaklarına yönlenseler dahi bu kaynaklarının tükenme durumu alternatif kaynak arayışlarını hızlandırmaktadır. Öyle ki, dünyada 114 yıl sonra kömür, 53 yıl sonra gaz ve 51 yıl sonra da petrol rezervlerinin tükeneceği belirtilmektedir (Karagöl ve Kavaz, 2017). Dolayısıyla, fosil yakıtlara ikame olabilecek alternatif kaynakların ekonomiye kazandırılması gündemi tüm dünyada ciddiyetle takip edilmektedir.

Bu bağlamda öne çıkan en önemli alternatif yenilenebilir enerji kaynakları olarak kabul edilmektedir. Yenilenebilir kaynaklar hem ülkelerin enerjide dışa bağımlılıklarını azaltmakta katkı sağlamak hem de çevre açısından daha temiz bir üretim sürecini desteklemektedirler. Dolayısıyla dünya genelinde temiz ve sürdürülebilir enerji üretimi için özellikle son dönemde önemli girişimler gerçekleştirilmektedir.

İklim değişikliği ve küresel ısınma ile ilgili artan endişelerle birlikte, son dönemde enerji tüketim kalıpları önemli ölçüde değişmiştir. Bu kalıpları organize etmek için ülkelerin politika yapıcılarının işbirliği yapmakta ve dünyanın geleceği için kararlar almaktadırlar. İlk ciddi girişim Kyoto Protokolü olmuş ve 11 Aralık 1997'de Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı'nda (UNFCCC) 150 ülke bu anlaşmaya taraf olmuştur. 2009 yılında Protokolü imzalayan ülke sayısı 37'si gelişmiş ülke olmak üzere toplam 187'ye yükselmiştir. Kyoto Protokolü'nden sonra, dünya çapında iklim eylem planlarını geliştirmeye yönelik başka girişimler de olmuştur. 2009 Kopenhag Zirvesi, 2010 Cancun Zirvesi ve 2011 Durban Zirvesi bu girişimlere örnek olarak gösterilebilir. Ancak bu toplantılar herhangi bir yasal yükümlülük doğurmadığı için başarısız zirveler olarak nitelendirilebilir. Kasım 2015'te Fransa'da 195 ülkenin katılımıyla Paris İklim Konferansı düzenlenmiş ve Kasım 2016'da Paris Anlaşması yürürlüğe girmiştir. Bu anlaşmanın temel amacı, küresel ortalama sıcaklıktaki artışı sanayi öncesi seviyelerin 2 santigrat derecenin altında tutmak ve sıcaklık artışını 1,5 santigrat derece ile sınırlamaktır (UNFCCC, 2015). Bu yükümlülükler, iklim değişikliğinin risklerini ve olumsuz etkilerini azaltmak için Konferansa katılan tüm ülkeler tarafından kabul edilmiştir.

Söz konusu anlaşmaların amacı, başta fosil yakıtların tüketimi olmak üzere küresel sera gazı emisyonlarının sınırlandırılması olarak nitelendirilmiştir. Bu bağlamda iklim değişikliği sorununun ağırlıklı olarak enerji tüketimi ile ilgili olduğu söylenebilir. Diğer bir ifadeyle, atmosferdeki CO2 emisyon düzeyi, iklim değişikliği ve küresel ısınma ile yakından bağlantılıdır.

Birincil ve ikincil fosil yakıt tüketimini ve sera gazı emisyonlarını azaltmayı tartışan bir çok politika bulunmaktadır. Elektrik üretim endüstrisinde yaygın olarak fosil yakıtlar kullanılmakta ve bu kullanım sonucunda sera gazı emisyonları doğaya zarar vermektedir. Bu nedenle özellikle elektrik üretiminde fosil yakıt tüketimini azaltmak için alternatif ve doğa dostu enerji kaynaklarının kullanımı teşvik edilmektedir. Son yıllarda dünya genelinde rüzgar, güneş, jeotermal ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artmaktadır. Örneğin, 2013 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam küresel elektrik üretimi içerisindeki payı %27,2 olarak hesaplanmışken bu oranın

2022'de %40,2'ye yükselmesi dikkat çekicidir. Diğer taraftan, küresel enerji üretimin ancak %20 kadarı yenilenebilir kaynaklar tarafından karşılanmaktadır (Birleşmiş Milletler, 2023).

Türkiye'de ise yenilenebilir enerji yatırımlarının son yıllarda giderek yaygınlaştığı görülmektedir. Coğrafi konum ve jeolojik yapısı bakımından tüm yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip olan Türkiye, bu alandaki ilerleme sürecinde her ne kadar geç kalmış olsa da güncel çalışmalar giderek artmaktadır. Örneğin, 2008 yılında yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilen elektrik toplam üretimin % 17,7'ünü oluştururken, söz konusu oran 2021'de 35,7'ye ve 2022'de ise %40 seviyelerine yükselmiştir (EPDK, 2022). Kurulu güç içerisinde yenilenebilir enerji oranı ise 2011 yılında %36,1 iken 2023'te %54 seviyesine gelmiştir (TEİAŞ, 2023). Bu bağlamda, Türkiye'de yenilenebilir üretim artarken elektrik fiyatlarının düştüğü veya yenilenebilir üretim azalırken fiyatların arttığı görülmektedir (Şahin ve diğ., 2021). Dolayısıyla, enerji kaynaklarında dış tedarikçilere bağımlı yapıda bulunan Türkiye'de söz konusu bağımlılığı azaltmak ve fiyat kontrolü sağlamak için yenilenebilir kaynaklar kullanılarak enerji üretme çalışmaları istikrarlı bir biçimde devam etmektedir.

Yukarıda bahsedilen gelişmeler paralelinde bu çalışmada toplam yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyüme ve ekonomik büyümenin toplam yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkileri ayrı ayrı incelenmektedir. Birden fazla ülke yerine Türkiye üzerine yapılan bu çalışmayı diğer çalışmalardan ayıran en önemli farklar arasında incelenen dönemin güncel ve kullanılan metodların farklı olması sayılabilir. Ayrıca literatürde de görülebileceği üzere yenilenebilir enerji kaynakları ve ekonomik büyüme ilişkileri üzerine Türkiye kapsamında yapılan araştırmalar az sayıdadır. Çalışmada kullanılan yöntemler genellikle literatürde en sık rastlanan yöntemler olmakla birlikte bu yöntemler bir arada kullanılarak karşılaştırma yapılması sağlanmıştır. Ayrıca ekonomik büyüme ile yenilenebilir enerji tüketimi ve yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiler ayrı ayrı değerlendirilerek çalışmaya arz ve talep boyutlu bir yaklaşım getirilmiştir. Bu çalışmada, gelişim ve kalkınma sürecinde olan Türkiye için yenilenebilir enerjinin ekonomik büyüme üzerindeki etkisi çift yönlü olarak incelenmekte ve yenilenebilir enerjinin ekonomik büyüme üzerindeki önemi analiz edilerek, politika yapımcıların bu konuda fikir edinebilmelerine katkıda bulunmak hedeflenmektedir.

Çalışmanın genel çerçevesi bağlamında ilk olarak kavramsal bir değerlendirme yapılarak ve ardından ilgili literatüre yer verilmektedir. Sonrasında metodoloji ve veri seti tanıtılarak ampirik bulgular sunulmaktadır. Çalışma sonuç ve değerlendirme kısmı ile tamamlanmaktadır.

## 1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölümünde kavramsal olarak enerji, enerji türleri, yenilenemeyen yenilenebilir enerji kaynakları başlıkları değerlendirilmektedir. Sonrasında ise ekonomik büyüme kavramı aktarılmaktadır.

Enerji terimi köken olarak iş anlamına gelen Yunanca "energeia" kelimesinden gelmektedir. Enerji, hareket halindeki bir cisim tarafından gerçekleştirilen iş üzerine etki eden kuvvetin ve bunun sonucunda meydana gelen yer değiştirmenin ürünü olarak tanımlanmaktadır (Goel, 2005). Öte yandan, enerji konusu ekonomi ekseninde düşünüldüğünde farklı tanıma ihtiyaç duyulmaktadır. Enerji ekonomik açıdan, maddenin yapısından kaynaklanan bir maliyet ve çabaya katlanarak, insanın yararına "iş yapma

kapasitesi” olarak tanımlanabilir (Malanima, 2015). 18. yüzyılın ortalarında buhar makinesinin icadı ile mevcut enerji sisteminin temelleri atılmış ve ardından sanayileşme süreciyle insan enerjisi sadece üretimde değil aynı zamanda soğutma, ısıtma, yemek pişirme, aydınlatma vb. ihtiyaçlar içinde kullanmaya başlamıştır. Yaşamın vazgeçilmez bir parçası haline gelen enerji, tarımın tek faaliyet olduğu ilk aşamalardan endüstriyel kalkınmanın amaç olduğu günümüze kadar ülkelerin gelişmeleri için önemli bir faktör olmuştur. Sanayileşen ülkeler açısından enerji ekonomik ilerlemenin önemli bir bileşeni olarak kabul edilmektedir. Geçmişten günümüze gelişen teknolojinin de etkisiyle enerji bir sektör haline gelip ülkeler arasındaki ekonomik ve siyasal ilişkilerin temel yapı taşlarından bir tanesi haline dönüşmüştür (Bulut, 2017).

Söz konusu enerji kaynakları birincil ve ikincil kaynaklar olarak tasnif edilmektedir. Enerji kaynakları herhangi bir şekilde değiştirilmemiş veya dönüşüme uğramamış ise birincil enerji kaynağı olarak tanımlanırken, birincil enerji kaynaklarının değişim veya dönüşüme uğraması ile elde edilen kaynaklara ise ikincil enerji kaynakları adı verilmektedir (Koç ve Kaya, 2015). Birincil enerji kaynakları da kendi içerisinde yenilenebilir ve yenilenemez kaynaklar olarak iki kısma ayrılmaktadır. Kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil yakıtların yanı sıra nükleer reaktörlerde kullanılan uranyum ve toryum gibi elementler yenilenemez enerji kaynakları sınıfına girmektedir. Diğer taraftan, rüzgar, güneş, jeotermal, hidro, biokütle ve dalga gibi kendini yenileyen, kaynağını doğadan veya doğa olaylarından alan ve çevre dostu enerji kaynakları ise yenilenebilir enerji kaynakları olarak adlandırılmaktadır.

Bu bağlamda dünya ve Türkiye karşılaştırması yapmak için karbon emisyonu miktarları ve yenilenebilir enerji kullanımı ile ilgili verilerin paylaşılması isabetli olacaktır. Tablo 1’de dünya ve Türkiye’ye ait karbon salınımı ve yenilenebilir enerji tüketimi verileri ayrı ayrı gösterilmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere, hem dünya hem de Türkiye’de CO2 salınım miktarları son 20 yıllık süre zarfında giderek artmıştır. Ayrıca, dünyada yenilenebilir enerji tüketim miktarlarında ciddi bir artış gözlemlenirken, Türkiye’deki kullanım miktarı ancak 2010’lu yılların ortalarında artma eğilimine girebilmiştir. Bu da Türkiye’nin yenilenebilir enerji kullanımına geç başladığını göstermektedir. Diğer taraftan yenilenebilir enerji kullanım miktarları arttıkça karbon salınım artış hızının hem dünya hem de Türkiye’de yavaşlaması dikkat çekmektedir. Dolayısıyla, bölgesel ve küresel karbon salınımının azaltılması için temiz enerji olan yenilenebilir kaynakların kullanım alanlarının yaygınlaştırılması gerekmektedir.

**Tablo-1:** CO2 Salınımı ve Yenilenebilir Enerji Tüketimi Karşılaştırması<sup>3</sup>

	Dünya		Türkiye	
	CO2	Yenilenebilir	CO2	Yenilenebilir
2000	23641,2	2,85	205,7	0,003
2001	23966,3	2,99	186,1	0,0035
2002	24511,9	3,41	196,9	0,003
2003	25723,5	3,73	208,9	0,0024
2004	27064,9	4,27	216,4	0,0023
2005	28141,4	4,83	224,8	0,0019
2006	29026,7	5,53	248,0	0,0037
2007	30059,4	6,52	272,8	0,01
2008	30329,2	7,78	276,3	0,01
2009	29684,4	8,93	275,3	0,02
2010	31028,8	10,54	276,3	0,04
2011	31904,6	12,14	298,8	0,06
2012	32241,1	13,82	314,4	0,08
2013	32710,9	15,81	303,3	0,11
2014	32820,2	17,63	335,1	0,12
2015	32837,4	19,95	340,6	0,17
2016	33020,6	22,09	359,0	0,24
2017	33426,4	25,36	397,1	0,29
2018	34148,5	28,53	390,8	0,38
2019	34095,8	31,74	386,7	0,43
2020	32078,5	34,80	373,9	0,50
2021	33884,1	39,91	403,3	0,61

**Kaynak:** British Petroleum, 2022

Bahse konu olan enerji kaynakları ve karbon salınım miktarlarının ilk kısımda belirtildiği gibi ekonomik büyüme kavramıyla yakından ilişki içerisinde olduğu söylenebilir. Ekonomik büyüme, bir ülkenin üretim potansiyelinde veya Gayri Safi Yurtiçi Hasıla'sında cari dönem içerisinde meydana gelen ve ölçülebilen artış olarak tanımlanmaktadır. Birçok makroekonomik göstergeden doğrudan veya dolaylı olarak etkilendiği için ekonomik büyüme hesaplanırken GSYH (Gayri Safi Yurtiçi Hasıla) miktarı kullanılır. GSYH ise bir ülkedeki tüm nihai mal ve hizmet üretiminin belirli bir zaman içerisindeki parasal değeri olarak ifade edilmektedir.

1973 ve 1979 petrol krizlerinin yaşandığı yıllarda Türkiye'de kişi başına düşen GSYH miktarının azaldığı görülmektedir (World Bank, 2023). Bu durumun temel nedenlerinden biri de Türkiye'nin özellikle fosil yakıtlarda yüksek oranlı dışa bağımlılığıdır. Söz konusu petrol krizlerinde olduğu gibi enerjide dışa bağımlılığının olumsuz etkileri Türkiye ekonomisini derinden etkilemektedir. Dolayısıyla, Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığını azaltmada en önemli alternatifi yenilenebilir enerji kaynakları olarak görülmektedir. Enerjide dışa bağımlılığın oluşturduğu sorunlar 1973-1979 petrol krizlerinde açıkça gözlemlendiğinden, enerjinin sürdürülebilir bir şekilde üretimi, enerjide dışa

<sup>3</sup> CO2 salınımı miktarı milyon ton ve yenilenebilir enerji tüketimi miktarı exajoule olarak verilmektedir.

bağımlılığın azaltılması ve istikrarlı, güvenilir, çevreye duyarlı ve yüksek oranda kendi ülke sınırları içerisinde enerji üretimi büyük önem arz etmektedir.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Yenilenebilir enerjinin bu denli popüler bir hale gelmesi ile birlikte literatürde ekonomik büyüme ile yenilenebilir enerji arasındaki ilişki üzerine yapılan çalışmaların sayısı son yıllarda büyük oranda artmıştır. Bu çalışmalarda yenilenebilir enerji ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki çeşitli ülkeler için farklı yıllar ve yöntemlere dayanan bir çeşitlilik göstermektedir. Söz konusu çalışmalardan seçili örnekler aşağıda sunulmaktadır.

Çınar ve Yılmaz (2015) geliştirmekte olan ülkelerde ekonomik büyüme ile yenilenebilir enerji tüketimi ilişkisini panel veri analizi yöntemi ile araştırmışlardır. Çalışmada arz ve talep yaklaşımları ayrı ayrı modellenerek değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular ekonomik büyüme ile yenilenebilir enerji tüketimi arasında pozitif yönlü bir ilişki olduğu ve sürdürülebilir bir ekonomik büyüme sağlanması için yenilenebilir enerji kaynaklarının son derece önemli olduğu sonucuna varmaktadır.

Bakırtaş ve Çetin (2016) 1992-2010 dönemi için G-20 ülkelerinde kişi başına düşen gelirden gerçekleşen artışın yenilenebilir enerji tüketimini ne derecede etkilediğini inceledikleri çalışmalarında panel eş-bütünleşme yöntemi kullanmışlardır. Sonuçlar G-20 ülkelerinde yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasında uzun dönemli bir ilişkinin ortaya koymaktadır. Kişi başına düşen reel GSYH'da meydana gelen %1 düzeyindeki artışın, kişi başına yenilenebilir enerji tüketimini POLS analizine göre %0.56, REM analizine göre %0.79 ve FGLS analizine göre %0.59'luk bir artırdığı tespit edilmiştir.

Özşahin ve diğ. (2016) BRICS ülkeleri ve Türkiye'de yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi inceledikleri çalışmalarında, 2000-2013 dönemi için ilgili ülke verilerine yatay kesit bağımlılığı ve homojenlik testleri uygulamışlardır. Değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkisinin varlığı ARDL yöntemi ile araştırılmış ve incelenen ülkelerde yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasında uzun dönem pozitif bir ilişki olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Fotourehchi (2017) 1990-2012 dönemi için 42 adet geliştirmekte olan ülke üzerinde yenilenebilir/temiz enerji tüketimi ile iktisadi büyüme arasındaki ilişkiyi incelemektedir. Uzun dönem nedensellik ilişkisinin Canning ve Pedroni nedensellik testi ile analiz edildiği modelde yenilenebilir enerji tüketiminden reel GSYH'ye doğru uzun vadeli bir pozitif nedensellik olduğu ortaya konulmuştur. Dolayısıyla, yenilenebilir enerji ile ilgili politikaların ekonomik büyüme üzerinde doğrudan etkili olduğu çıkarımı yapılmaktadır. Ayrıca, çalışmada hükümetlerin enerji güvenliği ve çevresel sorunlar ile ilgili politikaları oluştururken kirli enerji ile mücadele etmek yerine temiz enerji sektörünün gelişimini teşvik etmesi gerektiği yönünde çıkarımlar yapılmaktadır.

Alper (2018) Türkiye'de 1990-2017 yılları arasında yenilenebilir enerjinin ekonomik büyüme ile olan ilişkisini Bayer-Hanck eş-bütünleşme testi ile incelemektedir. Yapılan analiz sonuçları uzun dönemde yenilenebilir enerji kullanımındaki %1'lik artışın ekonomik büyümeyi %0.19 oranda artırdığını ortaya koymaktadır. Yenilenebilir enerji ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin yönünü

belirlemek amacıyla yapılan Toda-Yamamoto nedensellik testine göre ekonomik büyümeden yenilenebilir enerji kullanmaya doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Dolayısıyla, ilgili çalışmada Türkiye açısından koruma hipotezinin geçerli olduğu belirtilmektedir.

Durğun ve Durğun (2018) Türkiye’de 1980-2015 dönemi için kişi başına düşen GSYH ile yenilenebilir enerji kaynakları sayesinde üretilen enerji tüketimi arasındaki nedensellik ilişkisini araştırmaktadırlar. Çalışmada ele alınan serilere ADF ve Zivot-Andrews birim kök testleri uygulanmıştır. Birinci farkta durağan hale geldikleri görülen değişkenler ARDL sınır testi ile modellenmişlerdir. Elde edilen bulgulara göre uzun dönemde eş-bütünleşik olduğu anlaşılan değişkenler Toda-Yamamoto nedensellik testi ile incelenmiş ve yenilenebilir enerji tüketiminden büyümeye doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, çalışmada yenilenebilir enerji tüketiminde gerçekleşecek artışın iktisadi büyümeyi artıracığı sonucuna ulaşılmaktadır.

Usupbeyli ve Uçak (2018) Türkiye’de toplam elektrik üretimi içerisindeki yenilenebilir enerji oranı ile reel GSYH arasındaki ilişkiyi 1970-2017 dönemi için ARDL Sınır testi yaklaşımı kullanarak incelemişlerdir. ARDL sınır testinden elde edilen sonuçlar, değişkenler arasında anlamlı bir uzun dönemli ilişki olduğu yönündedir. Türkiye’de toplam elektrik enerjisi üretimi içerisindeki yenilenebilir enerji kaynaklarının payında meydana gelen %10 kadar bir artışın kısa dönemde büyümeyi %1,7 oranda artırdığı vurgulanmaktadır. Sonuç olarak, Türkiye’nin enerji profilinde bulunan yenilenebilir kaynaklarının artırılması ülkenin ekonomik büyüme performansını olumlu yönde etkileyeceği belirtilmektedir.

Çetin ve Rahmani (2019) yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi 1970-2016 yıllarını için analiz etmişlerdir. Çalışmanın ampirik bulguları, yenilenebilir enerji ile ekonomik büyüme arasında uzun dönemde pozitif ve anlamlı bir ilişkinin varlığını ispatlamaktadır. ARDL sınır testi ve Toda-Yamamoto nedensellik testinin kullanıldığı araştırmada; yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasında pozitif bir ilişki olduğu ve değişkenler arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. Dolayısıyla, ilgili bulgular doğrultusunda Türkiye için geri besleme hipotezinin geçerli olduğu belirtilmektedir.

Anatürk ve Özata (2019) Türkiye’nin kısa ve uzun dönemli ekonomik büyümesi ile yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak üretilen elektrik enerjisinin tüketimi ve yenilenemeyen enerji kaynakları kullanılarak üretilen elektrik enerjisi tüketimi arasındaki ilişkiyi emek ve sermaye değişkenlerinin de dahil edildiği bir model kullanarak açıklamaktadırlar. 1990-2017 yılları arasındaki dönemi inceleyen çalışmada ARDL Sınır Testi Yaklaşımı, Toda-Yamamoto Nedensellik Analizi yöntemlerinden faydalanılmıştır. Bulgular, ekonomik büyüme ile yenilenebilir enerji tüketimi arasında doğru ve tek yönlü bir nedensellik ilişkisinin olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, Türkiye için incelenen dönemde Koruma Hipotezi geçerlidir sonucuna ulaşılmaktadır.

Ünüvar ve Keskinliç (2020) G20 üyesi ülkeler için 2000 ile 2016 arasındaki döneme ait verileri kullanarak yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi Kao ve Johansen Fisher panel eşbütünleşme testleri ile incelemişlerdir. Ayrıca söz konusu ilişkinin yönü ve



büyüklüğü FMOLS ve DOLS yöntemleriyle belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ilgili örneklem açısından yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasında pozitif ve doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir.

Demirgil ve Birol (2020) yenilenebilir enerji tüketiminin iktisadi büyüme üzerindeki etkilerini Türkiye'ye ait 1980 ve 2018 arasındaki verileri kullanarak analiz etmişlerdir. Bu amaçla ilk olarak birim kök testleri, sonrasında ARDL Sınır Testi ve son olarak ise Toda-Yamamoto Nedensellik Testi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yenilenebilir enerji tüketiminde meydana gelen artış yaklaşık olarak aynı derecede ekonomik büyümeyi artırmaktadır. Ayrıca yenilenebilir enerji tüketiminden ekonomik büyümeye doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir.

Güllü ve Kartal (2021) yenilenebilir enerji üretiminin büyüme ve istihdam ile olan ilişkisini incelemektedirler. Her bir yenilenebilir enerji kaynağındaki üretim miktarının (Jeotermal, Rüzgâr, Biyokütle, Hidrolik ve Güneş) diğer değişkenler üzerindeki etkilerini ölçmek amacıyla ARDL sınır testi, Toda-Yomamoto ve Granger nedensellik testleri ile varyans ayrıştırma ve etki-tepki analizleri kullanılmıştır. Elde edilen bulgular jeotermal enerji ile ekonomik büyüme arasında çift yönlü bir nedensellik, güneş, hidrolik ve yenilenebilir enerjinin toplamına bakıldığında bunlarla büyüme arasında ise doğru ve tek yönlü bir nedensellik olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan, rüzgâr ve biyokütle enerjisi ile ekonomik büyüme arasında ise nedensellik ilişkisi bulunamamıştır. Çalışmada ayrıca yenilenebilir enerji ile istihdam arasındaki ilişki JEDI modeli ile incelenmiş ve Türkiye'de en çok istihdam oluşturan yenilenebilir enerji kaynağının hidrolik enerjisi olduğu bu kaynağı sırasıyla rüzgâr, güneş, jeotermal ve biyokütle enerjisi alanlarının takip ettiği sonucuna ulaşılmıştır.

Çetintaş ve Aydın (2022) Yumuşak Geçişli Panel Regresyon modeli uyguladıkları çalışmalarında OECD ülkelerinde yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi 1995-2015 yılları arasındaki veri setini kullanarak araştırmışlardır. Sonuçlara göre toplam enerji tüketimi içerisinde yenilenebilir kaynakların payı eşik seviyesi olarak belirtilen %7,8'den düşük olduğu durumda ekonomik büyüme çevreyi olumsuz olarak etkilerken, söz konusu eşik değer üzerinde gerçekleşen veri çevreye olumlu katkı sunmaktadır. Dolayısıyla, enerji kaynaklarını kullanırken çevreye daha duyarlı olunması bakımından yenilenebilir enerjinin öncelenmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

Naimoğlu ve Özbek (2022) 1990-2019 yılları arasındaki dönemi kapsayan veri setini kullanarak yenilenebilir enerji ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi 20 OECD ülkesi için incelemişlerdir. Çalışmada durağanlık testleri, heterojen panel eşbütünlük testi ve hata düzeltme modeli kullanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre kısa ve uzun dönemde yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. Sonuç olarak ilgili ülkelerin sürdürülebilir ekonomik büyüme performansları açısından yenilenebilir enerji tüketimi eğilimin artırılması gerektiği vurgulanmaktadır.

Literatürdeki çalışmalar genel olarak incelendiğinde dünyada ve Türkiye'de yenilenemeyen enerji kaynakları ile enerji üretiminin büyük ölçekli olduğu dikkat çekmektedir. Öte yandan, gelişen teknoloji ve yapılan AR-GE çalışmaları ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım miktarları 2000'li

yılların başından itibaren anlaşılmaya başlanmıştır. Çalışmaların neredeyse tamamı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılarak fosil kaynaklı enerji üretiminin büyük ölçüde azaltılması gerektiğini vurgulamaktadır. Fosil kaynaklı enerji üretimi ile artan CO2 salınımı dünya için ciddi bir çevresel tehdit oluşturmaktadır. Araştırmaların birçoğunda yenilenebilir enerji kaynakları ile yapılan enerji üretiminde enerjinin sürdürülebilir olacağı, enerjide dışa bağımlılığın azaltılacağı, istikrarlı, güvenilir, çevreye duyarlı ve yüksek oranda kendi ülke sınırları içerisinde enerji üretimi yapılacağından ekonomik büyümeye pozitif etkisi olacağı görüşü savunulmaktadır. Diğer taraftan, literatürde yenilenebilir enerjinin toplam kurulu güç içerisindeki payının yetersiz olduğunu da belirtmektedir. Çalışmalarda ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmelerinin birçok avantajından bahsedilirken söz konusu kaynaklarının henüz tam anlamıyla kullanılmamasının sebepleri sırasıyla kurulum maliyetinin yüksek olması, ülkelerin coğrafi konumlarının yenilenebilir enerji üretimi açısından elverişsiz olması, kurulumun yapılması durumunda kaynaktan istenilen verimin alınamayacağının öngörülmesi, doğal kaynaklarının yetersizliği ve baraj kurulumu durumunda doğanın dengesini bozulacağı gibi sebepler yatmaktadır.

### 3. METODOLOJİ VE VERİ SETİ

Bu bölümde öncelikle çalışmada birim kök testleri olarak kullanılan Genişletilmiş Dickey-Fuller (Augmented Dickey Fuller-ADF) Birim Kök Testi ve Philips-Perron (PP) Birim Kök Testi tanıtılmaktadır. Sonrasında ise Gecikmesi Dağıtılmış Otoregresif (ARDL) Sınır Testi yaklaşımının metodolojisi sunulmaktadır. Analizde ARDL sınır testi modelinin kullanılmasının nedeni, çalışmada ele alınan verilere ait kısa ve uzun dönemli ilişkinin tespit edilebilmesidir. Çalışmada kullanılan yöntemlerin literatürde sıklıkla kullanılan yöntemler olduğu dikkat çekmektedir.

#### 3.1. Birim Kök Testi

Ekonometrik bir model oluşturulurken kullanılan zaman serilerinin ortalaması, varyansı ve kovaryansının zaman içinde sabit kalması ilgili serinin durağan olduğunu göstermektedir. Analizlerde kullanılan birçok yöntemde serilerin durağan olmaları öncül koşullar arasında sayılmaktadır. Ancak ekonometrik yöntemler kullanılarak yapılan araştırmalarda kullanılan birçok ekonomik veri durağan değildir. Dolayısıyla, bu serilerin durağan hale dönüştürülmesi durumu önem arz etmektedir. Bu aşamada serilerin durağan olup olmadığını belirlemek için birim kök testleri kullanılmaktadır. Buradan hareketle, çalışmada Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) testi ve Philips-Perron (PP) testi olarak bilinen iki ayrı birim kök testinden faydalanılmaktadır.

##### 3.1.1. Genişletilmiş Dickey-Fuller (Augmented Dickey Fuller-ADF) Birim Kök Testi

ADF birim kök testi, serilerin durağanlığını belirlemek için yaygın olarak kullanılan yöntemler arasında sayılmaktadır. Testin arkasındaki sezgi, serinin durağan davranışa sahip olması durumunda, serinin gecikmeli değerlerinin seriyi tahmin etmede ilgili bilgilere sahip olması ve bunun sıfır hipotezi reddedileceği zaman ortaya çıkmasıdır (Dickey ve Fuller, 1979). Bu çerçevede, sıfır hipotezi, serilerin durağan olmayan davranışa sahip olduğu serilerde birim kök probleminin olduğunu ifade eder.

$H_0: S = 0$ , Seri durağan değildir.

$H_1: S \neq 0$ , Seri durağandır.

Genişletilmiş Dickey Fuller birim kök testi için kullanılan modeller ve test prosedürü aşağıdaki gibidir:

$$Y_t = pY_{t-1} + \sum_{i=1}^p B_i \Delta Y_{t-i} + u_t \rightarrow \Delta Y_t = SY_{t-1} + \sum_{i=1}^p B_i \Delta Y_{t-i} + u_t \quad (1)$$

$$Y_t = a_0 + pY_{t-1} + \sum_{i=1}^p B_i \Delta Y_{t-i} + u_t \quad \Delta Y_t = a_0 + SY_{t-1} + \sum_{i=1}^p B_i \Delta Y_{t-i} + u_t \quad (2)$$

$$Y_t = a_0 + a_1 t + pY_{t-1} + \sum_{i=1}^p B_i \Delta Y_{t-i} + u_t \quad \Delta Y_t = a_0 + a_2 t + SY_{t-1} + \sum_{i=1}^p B_i \Delta Y_{t-i} + u_t \quad (3)$$

Burada  $Y_t$  orijinal seri,  $a_0$  sabit,  $a_1$  bir zaman trendi katsayısıdır. Sabit içermeyen seriler için 1 numaralı, sabit içeren seriler için ise 2 numaralı ve sabit ve trend içeren seriler için 3 numaralı eşitlikler kullanılmaktadır. Sonrasında ise serilerin durağan olup olmadıklarını test etmek için yukarıda gösterilen hipotezler sınanmaktadır.

Dickey Fuller birim kök analizinde hipotezleri analiz etmek için Monte Carlo simülasyonlarından elde edilen  $\tau$  test istatistiklerini kullanılmaktadır. Hesaplanan  $\tau$  değeri, Dickey Fuller veya McKinnon Dickey Fuller kritik değerinden küçük ise sıfır hipotezi reddedilmekte ve serinin durağan olduğu sonucuna varılmaktadır.

### 3.1.2. Philips-Perron (PP) Birim Kök Testi

Philips-Perron testi, birim kökü belirlemek için yaygın olarak kullanılan diğer bir yöntem olarak bilinmektedir. ADF testine benzer şekilde sıfır hipotezi, zaman serilerinin birinci dereceden entegre olduğu, yani zaman serilerinin durağan olmadığı anlamına gelir. Phillips-Perron testinin boş ve alternatif hipotezleri aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$H_0$ : Seriler durağan değildir (Serilerde birim kök vardır).

$H_1$ : Seriler durağandır (Serilerde birim kök yoktur).

Philips Perron testinin Genişletilmiş Dickey Fuller testinden bir takım farklılıkları bulunmaktadır. Genişletilmiş Dickey Fuller testinde kullanılan ana yöntem parametrik bir test iken, Philips Perron testi parametrik olmayan bir yaklaşıma dayanmaktadır. Ayrıca, Philips Perron testlerinde gecikme uzunluğunu belirlemeye gerek yoktur ve test hata terimindeki ortak değişen varyans biçimlerine karşı sağlamdır. Bu durum Philips Perron testinin Genişletilmiş Dickey Fuller testinden daha güçlü olan yanındır (Phillips ve Perron, 1988).

### 3.2. Gecikmesi Dağıtılmış Otoregresif (Auto Regressive Distributed Lags-ARDL) Sınır Testi Modeli

Değişkenler arasındaki kısa ve uzun dönem ilişkilerini incelemek için bu çalışmada ARDL Sınır Testi modeli uygulanmaktadır. Model, Pesaran ve Shin (1999)'da ve Pesaran ve diğ. (2001) tarafından geliştirilmiştir. Diğer eş bütünleşme yöntemleri ile karşılaştırıldığında ARDL modelinin çeşitli farklı avantajları vardır. Bunlardan birincisi, modelde kullanılan değişkenlerin aynı derecede entegre olma zorunluluğunun bulunmamasıdır. Dolayısıyla, modele dahil edilecek değişkenlerin düzeyde I(0) durağan veya birinci farkta I(1) durağan olabilmesi durumu modele bir esneklik kazandırmaktadır. İkincisi, ARDL modelinin, küçük ve aynı zamanda sonlu olan örneklem büyüklükleri için nispeten daha

etkili olmasıdır. Ayrıca, ARDL modelinin uzun dönemde yansız tahminler vermesi önemli bir avantaj olarak değerlendirilmektedir. (Harris ve Sollis, 2003).

ARDL modeline ait denklem aşağıdaki gibidir:

$$\Delta \ln Y_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^m \beta_{1i} \Delta \ln Y_{t-i} + \sum_{j=0}^m \beta_{2j} \Delta \ln X_{t-j} + \beta_3 \ln Y_{t-1} + \beta_4 \ln X_{t-1} + \varepsilon_t \quad (4)$$

Burada  $\Delta$  fark parametresi,  $Y$  bağımlı değişken,  $\beta_0$  sabit terim,  $X$  ise bağımsız değişken olarak tanımlanmaktadır. ARDL modelinde bağımlı değişkenin gecikmeli değerlerinin de modele bağımsız değişken olarak dahil edilmesi analizin daha tutarlı sonuçlar verebilmesi açısından önemli bir unsur olarak kabul edilmektedir.

Temel olarak 3 aşamadan oluşan ARDL Sınır Testi yaklaşımında ilk olarak modelde kullanılan değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişki sınanmaktadır. Bu bağlamda, eş-bütünleşme ilişkisinin varlığı ispatlandıktan sonra ikinci ve üçüncü aşamalarda değişkenlere ait kısa ve uzun dönem esneklik hesaplamaları elde edilir (Narayan ve Smyth, 2006).

ARDL Sınır Testi uygulanırken kullanılan F testinin, gecikme uzunluğuna karşı duyarlı olduğu bilinmektedir. Bu sebeple eş-bütünleşme ilişkisinin varlığını sınamak amacıyla öncelikle Eşitlik 4'te kullanılan farkı alınmış değişkenlerin gecikme uzunluğunu gösteren  $m$  değerine karar vermek gerekmektedir. Bu amaçla Akaike (AIC) ve Schwarz (SIC) gibi bilgi kriterleri kullanılmaktadır (Pesaran ve diğ., 2001).

Gecikme uzunluğunun belirlenmesinin ardından ilgili değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki olup olmadığını gösteren temel hipotez ( $H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = 0$ ) Eşitlik 4'te yer alan bağımlı ve bağımsız değişkenlerin düzey ve gecikmeli değerlerinin anlamlılığının sınanmasıyla test edilmektedir.

ARDL Sınır Testi sürecinde hesaplanan F istatistiğini test etmek için tasarlanan kritik değerler Pesaran ve diğ. (2001) tarafından tablolaştırılmıştır. Narayan (2005) ise küçük örnekler için başvurulacak kritik değerleri hesaplamıştır. Bahse konu olan çalışmalarda kritik değerler için değişkenlerin  $I(0)$  veya  $I(1)$  olmaları durumlarına göre sınırlar belirlenmiştir. Burada hesaplanan F istatistiği söz konusu sınırların dışındaysa değişkenlerin uzun vadede eş-bütünleşik olup olmamaları hususunda bir ön bilgiye ulaşılmaktadır. Şöyle ki, tahmin edilen F istatistiği kritik değerlerin üst eşliğinden büyük ise sıfır hipotezi reddedilirken, modelde kullanılan değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi olduğu çıkarımı yapılmaktadır. Diğer taraftan, F istatistiği değerinin kritik değerlerin alt eşliğinden küçük olarak bulunması halinde, boş hipotezin reddedilemediği ve değişkenler arasında uzun vadeli bir eşbütünleşme ilişkisi bulunmadığı ileri sürülmektedir. Ayrıca, hesaplanan F istatistiğinin  $I(0)$  ve  $I(1)$  sınırlarının arasında kalması durumunda değişkenler arasındaki eşbütünleşme ilişkisi hakkında bir çıkarım yapılamamaktadır. Bu aşamada değişkenlerin durağanlık seviyeleri göz önünde bulundurularak uygun eşbütünleşme testlerine bakılması tavsiye edilmektedir (Pesaran ve diğ., 2001; Narayan, 2005).

Değişkenler arasındaki eşbütünleşme ilişkisinin doğrulanması durumunda, ARDL Sınır Testi yaklaşımının ikinci aşaması olan uzun dönem ilişkisi analiz edilebilmektedir. Bu çalışmada Eşitlik 5'te gösterilen uzun dönem ARDL modeli kullanılmaktadır.

$$LY = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_{1i} LY_{t-i} + \sum_{i=0}^l \beta_{2i} LGSYH_{t-i} + \sum_{i=0}^m \beta_{3i} LCO2_{t-i} + \epsilon_t \quad (5)$$

Üçüncü ve son aşamada ise değişkenler arasındaki kısa dönem ilişkisi hata düzeltme modeliyle elde edilmektedir.

$$\Delta LY = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_{1i} \Delta LY_{t-i} + \sum_{i=0}^l \beta_{2i} \Delta LGSYH_{t-i} + \sum_{i=0}^m \alpha_{3i} \Delta LCO2_{t-i} + HDT_{t-1} + \epsilon_t \quad (6)$$

Eşitlik 6'da *HDT* ile gösterilen değişken hata düzeltme terimi olarak ifade edilmektedir. Bu terim modelin uzun dönem dengesine ne kadar sürede ulaşacağına dair bir bilgi sunmaktadır. Hata düzeltme terimine ait katsayının 0 ile -1 arasında olması beklenmektedir (Alam ve Quazi, 2003).

### 3.3. Veri Seti

Bu çalışmada Türkiye'ye ait 1982 ile 2021 yılları arasındaki dönemi kapsayan yıllık veriler kullanılarak bir zaman serisi analizi yapılmaktadır. Çalışmada söz konusu zaman diliminin kullanılmasındaki ana neden oluşturulan modellerdeki ana değişken olan yenilenebilir enerjinin Türkiye'de kullanımının yaygınlaşması sürecinin 1980'li yılların ortalarından itibaren oluşudur. Dolayısıyla, veri setini oluştururken veriye ulaşma kısıtı başlangıç yılını 1982 şeklinde ayarlayarak aşılmıştır.

Çalışmada kullanılan değişkenlerden toplam yenilenebilir enerji tüketimi (Exajoule) ve CO2 salınımına (milyon ton) ait veriler (Exajoule) British Petroleum'dan alınmıştır (British Petroleum, 2022). ABD doları cinsinden reel GSYH (2015=100) verisi ise Dünya Bankası'nın Dünya Gelişmişlik Göstergeleri (World Development Indicators) veri tabanından elde edilmiştir (World Bank, 2023). Modellere dahil edilen tüm serilerin doğal logaritması kullanılmıştır.

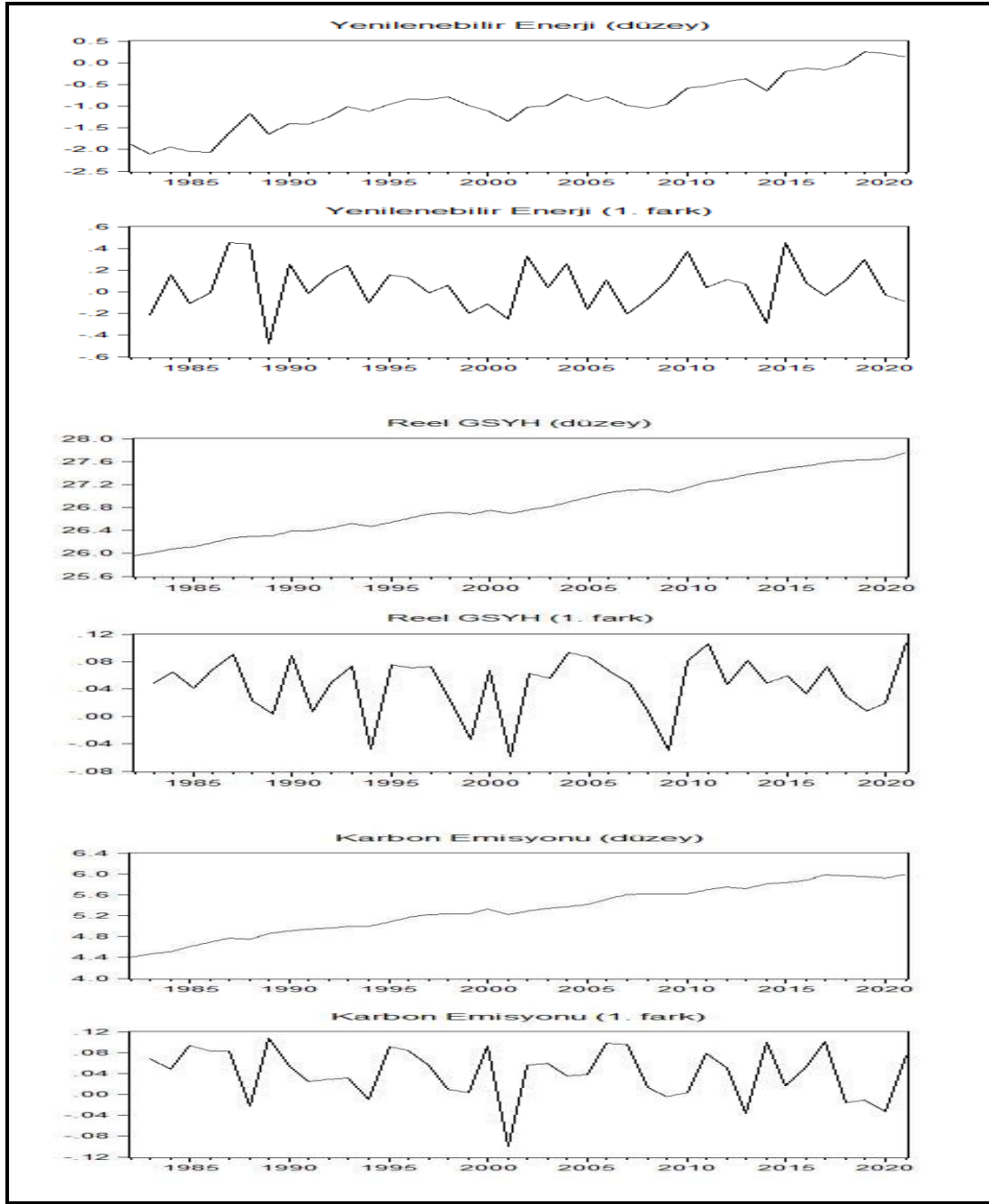
## 4. AMPİRİK BULGULAR

Bu bölümde ilk olarak birim kök testlerine ait sonuçları verilmektedir. Bu doğrultuda seriler Augmented Dickey Fuller (ADF) ve Phillips-Perron (PP) birim kök testleri ile analiz edilmektedir. Ardından ARDL Sınır testi yöntemi ile elde edilen esneklik hesaplamaları sunulmaktadır. Bu sayede yenilenebilir enerji, GSYH ve karbon emisyonu arasındaki ilişki incelenmektedir.

### 4.1. Birim Kök Testlerine Ait Sonuçlar

Birim kök testleri bir regresyona ait değişkenlerin durağan olup olmadıklarını incelemek için kullanılan ekonometrik bir yöntemdir. Bu çalışmada kullanılan tüm değişkenlerin durağanlık durumlarını test etmek adına ADF ve PP birim kök testleri kullanılmaktadır. Söz konusu testler aracılığıyla değişkenlerin öncelikle seviye, ardından da birinci farkları analiz edilmektedir. Birim kök testlerine geçmeden önce fikir vermeleri bakımından değişkenlere ait düzey ve birinci fark grafiklerinin incelenmeleri yerinde olacaktır. Şekil 1'de görülebileceği üzere tüm değişkenlerin düzey durumunda doğrusal, birinci farklarında ise durağan yani sabit ortalama ve varyans özelliğine sahip oldukları düşünülmektedir. Dolayısıyla, ilk kanı olarak serilerin I(1) yani birinci dereceden bütünsel oldukları

söylenbilir. Ancak, söz konusu durumu ispatlamak ve serilerin durağanlığını incelemek için mutlaka birim kök testlerinin sonuçlarına bakılması gerekmektedir.



Şekil 1: Değişkenlere Ait Grafikler (Düzey ve Birinci Farklar)

Serilerin durağanlığını test etmek zaman serisi analizlerinde son derece kritik ve zorunlu bir durumdur. Dolayısıyla, değişkenler çeşitli yöntemler kullanılarak modellenmeden önce birim kök testleri ile kontrol edilmelidir. Bu çalışmada iki farklı ekonometrik model kullanılmaktadır. Bunlardan ilki yenilenebilir enerji tüketiminin bağımlı değişken, GSYH ve karbon emisyonu serilerinin ise bağımsız değişkenler olduğu modeldir. İkinci modelde ise GSYH bağımlı değişken olarak alınmış, yenilenebilir enerji tüketimi ve karbon emisyonu bağımsız değişkenler olarak belirlenmiştir. Söz konusu ekonometrik modeller aşağıda gösterilmektedir.

$$Yen = f(GSYH, CO2) \quad Yen_t = \alpha_0 + \alpha_1 GSYH_t + \alpha_2 CO2_t + \varepsilon_t \quad (7)$$

$$GSYH = f(Yen, CO2) \quad GSYH_t = \beta_0 + \beta_1 Yen_t + \beta_2 CO2_t + \mu_t \quad (8)$$

Ekonometrik modellerde bulunan Yen, GSYH ve CO2 sırasıyla yenilenebilir enerji tüketimi, Gayrisafi Yurtiçi Hasıla ve karbon emisyonu parametrelerini temsil etmektedir. Modellerde kullanılan tüm değişkenler ilgili birim kök testleri kullanılarak analiz edilmiştir. Durağanlık ile ilgili sonuçlar Tablo 2'de gösterilmektedir.

**Tablo-2:** Değişkenlere ait Birim Kök Testi Sonuçları

	Değişkenler	Düzye Değerleri		1. Fark Değerleri	
		ADF	PP	ADF	PP
<b>Test İstatistikleri (Sabit Terimli)</b>	<i>Yen</i>	-0,93	-0,52	-7,88*	-9,09*
	<i>GSYH</i>	-0,02	0,15	-6,12*	-6,76*
	<i>CO2</i>	-1,66	-2,69	-7,00*	-7,17*
<b>Kritik Değerler (Sabit Terimli)</b>	<b>5%</b>	<b>-2.94</b>			
<b>Test İstatistikleri (Sabit Terimli &amp; Trendli)</b>	<i>Yen</i>	-3,07	-3,04	-7,75*	-8,90*
	<i>GSYH</i>	-2,61	-2,61	-6,86*	-6,65*
	<i>CO2</i>	-3,24	-3,02	-7,25*	-8,23*
<b>Kritik Değerler (Sabit Terimli &amp; Trendli)</b>	<b>5%</b>	<b>-3.53</b>			

*Notlar:* 1. (\*) MacKinnon (1991) kritik değerlerine göre ADF ve PP birim kök testlerine ait istatistiklerin %5 düzeyinde anlamlı olduğu ifade edilmektedir.

2. ADF ve PP testlerindeki uygun gecikme uzunluğu ve bant genişliği sırasıyla Schwarz Bilgi Kriteri ve Newey-West Bant Genişliği yaklaşımlarına göre belirlenmiştir.

3. Yen, GSYH ve CO2 sırasıyla yenilenebilir enerji tüketimi, reel Gayri Safi Yurtiçi Hasıla ve Karbon Emisyonu verilerinin doğal logaritmasıdır.

Birim kök testlerinde öncelikle maksimum ve optimum gecikme uzunluklarının belirlenmesi gerekmektedir. Literatür incelendiğinde bu çalışmada olduğu gibi yıllık serilerin kullanıldığı analizlerde maksimum gecikme uzunluğu 4, 8 ve 12 olarak belirlenebilmektedir (Kadılar, 2000). Çalışmada ADF birim kök testine ait maksimum gecikme uzunluğunu tespit etmek için Schwarz Bilgi Kriteri kullanılmış ve söz konusu gecikme uzunluğu 9 olarak belirlenmiştir. PP birim kök testi için ise bahse konu olan gecikme uzunlukları Newey-West Seçim Kriteri baz alınarak tayin edilmiştir.

Tablo 2'de verilen istatistiklere göre %5 anlamlılık düzeyinde sabit terimli ve sabit terimli-trendli modeller için tüm değişkenlerin birinci farkları alındığında durağan hale geldikleri görülmektedir. Dolayısıyla, bahse konu olan modellerde değişkenlerin birinci dereceden bütünlük I[1] oldukları ifade edilmektedir.

#### 4.2. ARDL Sınır Testi Sonuçları

ARDL Sınır Testi yönteminde seriler arasındaki eşbütünlük ilişkisini tespit edebilmek için öncelikle maksimum ve optimum gecikme uzunluklarını belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan veri seti uzunluğu baz alınarak maksimum gecikme uzunluğu 4 olarak saptanmıştır. Bu aşamada, uygun gecikme uzunluğu problemini barındırmayan sorunu olmayan en küçük Akaike Bilgi Kriteri istatistiklerine göre seçilmektedir.

**Tablo-3:** Yenilenebilir Enerji Tüketiminin Bağımlı Değişken Olması Durumunda Gecikme Uzunluklarının Saptanması

Model	AIC	Otokorelasyon (LM)
(1,0,0)	-0,38	0,30[0,58]
(1,1,1)*	-0,61	0,16[0,84]
(2,2,2)	-0,51	0,75[0,48]
(3,3,3)	-0,33	2,33[0,10]
(4,4,4)	-0,37	1,11[0,38]

**Notlar:** 1. Akaike Bilgi Kriterinin kısaltması AIC olarak verilmektedir.  
2. (\*) otokorelasyon sorunu bulunmayan en küçük AIC istatistiğini ifade etmektedir.  
3. Kareli parantezler içerisinde otokorelasyon testlerine ait p istatistikleri gösterilmektedir.  
4. Breusch-Godfrey testi maksimum 2. dereceden (AR(2)) serisel korelasyon için yapılmıştır.

Tablo 3'te yenilenebilir enerji tüketiminin bağımlı değişken olduğu durum için uygun gecikme uzunluğunun (1,1,1) olarak belirlendiği görülmektedir. Buradan hareketle, uygun gecikme uzunluğuna göre düzenlenen ekonometrik model aşağıda verilmektedir.

$$\Delta Yen_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^4 \beta_{1i} \Delta Yen_{t-i} + \sum_{i=0}^4 \beta_{2i} \Delta GSYH_{t-i} + \sum_{i=0}^4 \beta_{3i} \Delta CO2_{t-i} + \beta_4 Yen_{t-1} + \beta_5 GSYH_{t-1} + \beta_6 CO2_{t-1} + \varepsilon_t \quad (9)$$

Modeldeki  $\Delta$  ifadesi değişkenlerin birinci farkını göstermek için kullanılmaktadır. Söz konusu ekonometrik modelin tanısal testlerden geçtiği gösteren sonuçlar Tablo 4'te sunulmaktadır.

**Tablo-4:** Yenilenebilir Enerjinin Bağımlı Değişken Olması Durumunda Tanısal Test İstatistikleri

ARDL (1,1,1)	
R <sup>2</sup>	0.93
Düzletilmiş R <sup>2</sup>	0.92
Otokorelasyon (LM) Testi	0.16 [0.84]
Değişen Varyans (White) Testi	1.80 [0.11]
Normallik (Jarque-Bera) Testi	0.63 [0.72]
F-istatistiği	5.53

**Not:** Testlere ait p değerleri köşeli parantezlerde verilmektedir.

ARDL modelinin uygulanması sürecinde bir başka kritik analiz ise sınır testidir. Burada model oluştururken bulunan F istatistiğinin Tablo 5'te verilen Pesaran ve diğ. (2001) ile Narayan (2005) tarafından oluşturulmuş sınır istatistikleri ile karşılaştırması yapılmaktadır. Bu çalışmada bulunan F istatistiği (5.53) %5 ve %10 anlamlılık düzeylerinde her iki kritik değerden de yüksek olduğundan dolayı, değişkenler arasında anlamlı bir eşbütünlük ilişkisinin olduğu ve bu değişkenlerin uzun vadede beraber hareket ettikleri söylenebilir.

**Tablo-5:** Yenilenebilir Enerjinin Bağımlı Değişken Olması Durumunda Sınır Testi İstatistikleri

N=39, k=2	Pesaran		Narayan	
	I(0)	I(1)	I(0)	I(1)
<b>Anlamlılık Seviyesi</b>				
<b>1%</b>	5.15	6.36	4.77	5.85
<b>5%</b>	3.79	4.85	3.43	4.26
<b>10%</b>	3.17	4.14	2.83	3.58

**Notlar:** 1. Gözlem ve bağımsız değişken sayıları sırasıyla N ve k ile ifade edilmektedir.  
2. Alt ve üst sınırlar sırasıyla I(0) ve I(1) ile gösterilmektedir.  
3. Kritik değerler Pesaran ve diğ. (2001) ile Narayan (2005) çalışmalarından elde edilmiştir.  
4. %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerine ait kritik değerler kısıtsız sabit terim ve kısıtlı trende göre düzenlenmiştir.

Değişkenlerin uzun vadede eşbütünlük olduğu belirlendikten sonra söz konusu ilişkinin büyüklüğü hesaplanmaktadır. Bu çalışmada kullanılan model için maksimum 1 gecikme uzunluğu



kriteri altında uygun model ARDL (1,1,1) olarak ifade edilmektedir. Tablo 6'da uzun dönem katsayılarına ilişkin sonuçlar ve tanısal istatistikler gösterilmektedir.

**Tablo-6:** Yenilenebilir Enerjinin Bağımlı Değişken Olması Durumunda ARDL Sınır Testi Modeline

Ait Uzun Vade Bulguları ve Katsayılar

<b>Bağımlı değişken: Yen</b>		
<b>Bağımsız değişken</b>	<b>Katsayı</b>	<b>p değeri</b>
<i>Yen (-1)</i>	0.58	0.00
<i>GSYH</i>	0.60	0.01
<i>GSYH (-1)</i>	0.38	0.01
<i>CO2</i>	-0.88	0.00
<i>CO2 (-1)</i>	0.48	0.00
<i>C</i>	-2.63	0.00
<b>Uzun Dönem Katsayıları</b>		
<i>GSYH</i>	0.78*	0.00
<i>CO2</i>	-0.18	0.01
<i>C</i>	3.96*	0.00
<b>Tanısal İstatistikler</b>		
R <sup>2</sup> : 0.99	DW: 1.60	
Düzeltilmiş R <sup>2</sup> : 0.99	F istatistiği: 1210.1 (0.00)	
Otokorelasyon (LM): 2.40 (0.11)	$\chi^2_{White}$ : 0.88 (0.62)	
$\chi^2_{Norm}$ : 0.22 (0.89)	$\chi^2_{Ramsey}$ : 0.27 (0.75)	

**Notlar:** 1. Yen, GSYH ve CO2 sırasıyla yenilenebilir enerji tüketimi, reel Gayri Safi Yurtiçi Hasıla ve Karbon Emisyonu verilerinin düzey değerlerinin doğal logaritmasını ifade etmektedir.

2. (\*) %1 anlamlılık düzeyini belirtmektedir.

3.  $\chi^2_{Ramsey}$ ,  $\chi^2_{White}$ ,  $\chi^2_{Norm}$  ve Otokorelasyon (LM), , sırasıyla, Ramsey RESET Testi, White Değişen Varyans Testi, Jarque-Bera Normallik Testi ve Breusch-Godfrey Serisel Korelasyon Testini ifade etmektedir.

4. Tanısal istatistiklere ait p (olasılık) değerleri parantez içinde gösterilmektedir.

Hesaplanan uzun dönem katsayıları anlamlı olarak bulunmuştur. Çalışmada incelenen dönem için GSYH'de %1'lik artış yenilenebilir enerji tüketimini %0.78 artırırken, karbon emisyonunda meydana gelen %1 seviyesindeki artış yenilenebilir enerji tüketimini %0.18 oranında azaltmaktadır.

Değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkinin yönü ve derecesi belirlendikten sonra, bu ilişki kullanılarak kısa dönem modeli hesaplanmaktadır. Kısa döneme ait bilgiler Tablo 7'de gösterilmektedir.

**Tablo-7:** Yenilenebilir Enerjinin Bağımlı Değişken Olması Durumunda ARDL Sınır Testi Modeline

Ait Kısa Vade Bulguları ve Katsayılar

<b>Bağımlı Değişken: <math>\Delta Yen</math></b>		
<b>Bağımsız değişken</b>	<b>Katsayı</b>	<b>p değeri</b>
<b>C</b>	0.02*	0.00
<b><math>\Delta GSYH</math></b>	3.19*	0.00
<b><math>\Delta CO2</math></b>	-2.46*	0.00
<b><math>HDT(-1)</math></b>	-0.33*	0.04
<b>Tanısal İstatistikler</b>		
Regresyonun standart sapması: 0.09	ARCH (1): F=0.52 [0.47]	
Otokorelasyon (LM): 1.37 (0.26)	$\chi^2_{White}$ : 1.52 (0.40)	
$\chi^2_{Norm}$ : 0.41 (0.81)	$\chi^2_{Ramsey}$ : 1.06 (0.29)	

**Notlar:** 1.  $\Delta Yen$ ,  $\Delta GSYH$  ve  $\Delta CO2$  sırasıyla yenilenebilir enerji tüketimi, reel Gayri Safi Yurtiçi Hasıla ve Karbon Emisyonu verilerine ait birinci farkların doğal logaritmasını ifade etmektedir.

2. HDT hata düzeltme teriminin kısaltmasıdır.

3. (\*) %1 anlamlılık düzeyini belirtmektedir.

4.  $\chi^2_{Ramsey}$ ,  $\chi^2_{White}$ ,  $\chi^2_{Norm}$  ve Otokorelasyon (LM), , sırasıyla, Ramsey RESET Testi, White Değişen Varyans Testi, Jarque-Bera Normallik Testi ve Breusch-Godfrey Serisel Korelasyon Testini ifade etmektedir.

5. Tanısal istatistiklere ait p (olasılık) değerleri parantez içinde gösterilmektedir.

Kısa dönem sonuçlarına göre GSYH’de görülen %1’lik artış yenilenebilir enerji tüketimini %3.19 oranında artırırken, karbon emisyonunda gözlemlenen %1’lik artış yenilenebilir enerji tüketimini % 2.46 azaltmaktadır. Hata düzeltme terimi (HDT) ise ekonometrik teori paralelinde negatif ve anlamlı bulunmuştur. Buna göre uzun dönemde meydana gelebilecek bir sapmanın %33’ünün bir dönem sonra düzeltilebileceğini ve modelin yaklaşık 3 yıl içerisinde dengeye gelebileceği söylenebilir.

Çalışmada ele alınan ikinci modelde ise bağımlı değişken olarak GSYH değişkeni belirlenmiştir. Söz konusu modelin gecikme uzunluklarının belirlenmesine ait istatistikler Tablo 8’de sunulmaktadır.

**Tablo-8:** GSYH’nin Bağımlı Değişken Olması Durumunda Gecikme Uzunluklarının Saptanması

<b>Gecikme</b>	<b>AIC</b>	<b>Otokorelasyon (LM)</b>
(1,0,0)	-3,53	1,29[0,28]
(1,1,1)*	-4,01	0,37[0,69]
(2,2,2)	-3,88	0,21[0,80]
(3,3,3)	-3,80	1,50[0,24]
(4,4,4)	-3,76	2,12[0,13]

**Notlar:** 1. Akaike Bilgi Kriterinin kısaltması AIC olarak verilmektedir.

2. (\*) otokorelasyon sorunu bulunmayan en küçük AIC istatistiğini ifade etmektedir.

3. Kareli parantezler içerisinde otokorelasyon testlerine ait p istatistikleri gösterilmektedir.

4. Breusch-Godfrey testi maksimum 2. dereceden (AR(2)) serisel korelasyon için yapılmıştır.

Uygun gecikme uzunluğu çerçevesinde kurulan model aşağıda gösterilmektedir.

$$\Delta GSYH_{t-i} = \beta_0 + \sum_{i=1}^4 \beta_{1i} \Delta GSYH_{t-i} + \sum_{i=0}^4 \beta_{2i} \Delta Yen_{t-i} + \sum_{i=0}^4 \beta_{3i} \Delta CO2_{t-i} + \beta_4 GSYH_{t-i} + \beta_5 Yen_{t-1} + \beta_6 CO2_{t-1} + \varepsilon_t \quad (10)$$

Tablo 9’da yukarıdaki denkleme ait tanısal test istatistikleri verilmektedir. Uygun gecikme uzunluğu baz alınarak oluşturulan modelin tanısal testlerden geçtiği; otokorelasyon, değişen varyans ve normallik koşullarını sağladığı görülmektedir.

**Tablo-9:** GSYH'nin Bağımlı Değişken Olması Durumunda Tanısal Test İstatistikleri

<b>ARDL (1,1,1)</b>	
R <sup>2</sup>	0.99
Düzeltilmiş R <sup>2</sup>	0.99
Otokorelasyon (LM) Testi	0.37 [0.69]
Değişen Varyans (White) Testi	1.12 [0.39]
Normallik (Jarque-Bera) Testi	0.64 [0.72]
F-istatistiği	6.88

*Not: Testlere ait p değerleri köşeli parantezlerde verilmektedir.*

Bulunan F istatistiğine (6.88) göre yapılan sınır testi sonuçları %1, %5 ve %10 anlamlılık seviyelerinde değişkenler arasında eşbütünlük ilişkisi olduğunu göstermektedir. Tablo 10'da verilen alt ve üst sınır aralıklarına göre söz konusu değişkenlerin uzun dönemde birlikte hareket ettikleri görüşü desteklemektedir.

**Tablo-10:** GSYH'nin Bağımlı Değişken Olması Durumunda Sınır Testi İstatistikleri

N=39, k=3	<b>Pesaran</b>		<b>Narayan</b>	
	<i>I</i> (0)	<i>I</i> (1)	<i>I</i> (0)	<i>I</i> (1)
<b>Anlamlılık Seviyesi</b>				
<b>1%</b>	5.15	6.36	4.77	5.85
<b>5%</b>	3.79	4.85	3.43	4.26
<b>10%</b>	3.17	4.14	2.83	3.58

*Notlar: 1 Gözlem ve bağımsız değişken sayıları sırasıyla N ve k ile ifade edilmektedir.*

*2. Alt ve üst sınırlar sırasıyla I(0) ve I(1) ile gösterilmektedir.*

*3. Kritik değerler Pesaran ve diğ. (2001) ile Narayan (2005) çalışmalarından elde edilmiştir.*

*4. %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerine ait kritik değerler kısıtsız sabit terim ve kısıtlı trende göre düzenlenmiştir.*

Eşbütünlük ilişkisinin belirlenmesinin ardından değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkinin yönü ve şiddeti hesaplanabilir. GSYH parametresinin bağımlı değişken olarak atandığı modelde uygun gecikme uzunluğu ARDL (1,1,1) olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda, uzun döneme ait katsayılar ve tanısal test istatistikleri Tablo 11'de gösterilmektedir.

**Tablo-11:** GSYH'nin Bağımlı Değişken Olması Durumunda ARDL Sınır Testi Modeline Ait Uzun Vade Bulguları ve Katsayılar

<b>Bağımlı Değişken: GSYH</b>		
<b>Bağımsız değişken</b>	<b>Katsayı</b>	<b>p değeri</b>
<i>GSYH</i> (-1)	0.94	0.00
<i>Yen</i>	0.10	0.00
<i>Yen</i> (-1)	-0.07	0.08
<i>CO2</i>	0.60	0.00
<i>CO2</i> (-1)	-0.57	0.01
<i>C</i>	1.23	0.07
<b>Uzun Dönem Katsayıları</b>		
<i>Yen</i>	0.52	0.04
<i>CO2</i>	0.70*	0.00
<i>C</i>	23.91*	0.00
<b>Tanısal İstatistikler</b>		
R <sup>2</sup> : 0.99	DW: 2.00	
Düzeltilmiş R <sup>2</sup> : 0.99	F istatistiği: 1876.9 (0.00)	
Otokorelasyon (LM): 0.37 (0.69)	$\chi^2_{White}$ : 1.12 (0.39)	
$\chi^2_{Norm}$ : 0.64 (0.72)	$\chi^2_{Ramsey}$ : 2.07 (0.16)	

- Notlar:** 1. *Yen*, *GSYH* ve *CO2* sırasıyla yenilenebilir enerji tüketimi, reel Gayri Safi Yurtiçi Hasıla ve Karbon Emisyonu verilerinin düzey değerlerinin doğal logaritmasını ifade etmektedir.
2. (\*) %1 anlamlılık düzeyini belirtmektedir.
3.  $\chi^2_{Ramsey}$ ,  $\chi^2_{White}$ ,  $\chi^2_{Norm}$  ve Otokorelasyon (LM), , sırasıyla, Ramsey RESET Testi, White Değişen Varyans Testi, Jarque-Bera Normallik Testi ve Breusch-Godfrey Serisel Korelasyon Testini ifade etmektedir.
4. Tanısal istatistiklere ait *p* (olasılık) değerleri parantez içinde gösterilmektedir.

Elde edilen sonuçlara göre yenilenebilir enerji tüketimi ve karbon emisyonunda görülen %1 seviyesindeki artış GSYH'yi sırasıyla %0.52 ve %0.70 oranında artırmaktadır. Bu bulgulardan faydalanılarak oluşturulan kısa dönem modeline ait sonuçlar Tablo 12'de verilmektedir.

**Tablo-12:** GSYH'nin Bağımlı Değişken Olması Durumunda ARDL Sınır Testi Modeline Ait Kısa Vade Bulguları ve Katsayılar

<b>Bağımlı Değişken: <math>\Delta GSYH</math></b>		
<b>Bağımsız değişken</b>	<b>Katsayı</b>	<b>p değeri</b>
<i>C</i>	2,20*	0.00
$\Delta Yen$	0.10*	0.00
$\Delta CO2$	0.56*	0.00
<b>HDT (-1)</b>	-0.25*	0.02
<b>Tanısal İstatistikler</b>		
Regresyonun standart sapması: 0.030	ARCH (1): F=0.91 [0.34]	
Otokorelasyon (LM): 1.67 (0.20)	$\chi^2_{White}$ : 0.78 (0.63)	
$\chi^2_{Norm}$ : 2.27 (0.32)	$\chi^2_{Ramsey}$ : 0.01 (0.90)	

- Notlar:** 1.  $\Delta Yen$ ,  $\Delta GSYH$  ve  $\Delta CO2$  sırasıyla yenilenebilir enerji tüketimi, reel Gayri Safi Yurtiçi Hasıla ve Karbon Emisyonu verilerine ait birinci farkların doğal logaritmasını ifade etmektedir.
2. HDT hata düzeltme teriminin kısaltmasıdır.
3. (\*) %1 anlamlılık düzeyini belirtmektedir.
4.  $\chi^2_{Ramsey}$ ,  $\chi^2_{White}$ ,  $\chi^2_{Norm}$  ve Otokorelasyon (LM), , sırasıyla, Ramsey RESET Testi, White Değişen Varyans Testi, Jarque-Bera Normallik Testi ve Breusch-Godfrey Serisel Korelasyon Testini ifade etmektedir.
5. Tanısal istatistiklere ait *p* (olasılık) değerleri parantez içinde gösterilmektedir.

GSYH'nin bağımlı değişken olarak belirlendiği modelin kısa dönem sonuçları incelendiğinde yenilenebilir enerji tüketiminde oluşan %1'lik artışın GSYH'yi %0.10 oranında artırdığı görülmektedir. Aynı şekilde karbon emisyonlarının %1 seviyesinde artması sonucunda GSYH'nin %0.56 artması beklenmektedir. Ayrıca, modeldeki hata düzeltme terimi (HDT) negatif ve istatistiksel olarak anlamlı olarak bulunurken söz konusu terimin katsayısı -0.25 olarak tahmin edilmiştir. Bu katsayı modelde oluşan herhangi bir dengesizliğin dörtte birinin yıllık olarak düzeltildiğini ve modelin 4 yılda dengeye ulaşabileceğini göstermektedir.

Son olarak, çalışmada kullanılan parametrelerin tutarlı olup olmadıklarını analiz etmek için CUSUM ve CUSUMQ yapısal kırılma testleri yapılmıştır. Çalışmada iki ayrı model kullanıldığından dolayı söz konusu testler her bir model için ayrı ayrı yapılmaktadır. Yenilenebilir enerji tüketiminin bağımlı değişken olarak belirlendiği modelde kısa ve uzun dönem için ayrı ayrı yapılan testlere göre %5 anlamlılık düzeyinde modellerde yapısal kırılmanın olmadığı ve parametrelerin istikrarlı olduğu sonucuna ulaşılmaktadır (EK-1). GSYH parametresinin bağımlı değişken olduğu modelde ise yine %5 anlamlılık seviyesinde parametrelerin kararlı olduğu ve yapısal kırılmanın olmadığı tespit edilmiştir (EK-2).

## 5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Günümüz modern dünyasında yaşamın hemen hemen her alanında enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple enerji son derece önemli bir unsurdur. Artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte enerjiye olan talep her geçen gün artmaktadır. Bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda, ülkeler enerji alanında kendi kendilerine yetebilecek bir durumda olmadıklarında söz konusu kaynakları dış tedarikçilerden temin etme yoluna başvurmaktalardır. Dolayısıyla, enerjide dışa bağımlılık durumu enerji kaynakları veya enerji üretimi yetersiz olan ülkeler için ciddi tehlike arz eden bir husus olarak öne çıkmaktadır.

Dünya genelinde fosil enerji kaynaklarının tükenme eğilimi ülkelerin alternatif enerji kaynağı arayışlarını ve ihtiyaçlarını giderek artırmaktadır. Fosil yakıtların tükenmesi ve alternatif kaynaklarla ikame edilememesi durumu küresel ölçekli ekonomik krizlere yol açabilir ve telafisi zor sonuçlar doğurabilir. Bu manada yenilenebilir enerji kaynakları ciddi bir alternatif olma özelliği taşımaktadır. Birçok ülke yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı için yatırımların yanı sıra teşvikler de sağlayarak yenilenebilir enerji kaynaklarında görülen değişim ve dönüşüm sürecine hızlıca adapte olmayı hedeflemektedir.

Türkiye ise özellikle son dönemde yenilenebilir enerji yatırımlarına önem vermekte ve bu alanda hızlı bir ilerleme göstermektedir. Türkiye bulunduğu coğrafi konumu nedeniyle, yenilenebilir enerji kaynaklarına ulaşmada birçok ülkeye göre avantajlı durumdadır. Bu bağlamda, rüzgâr, güneş, biyokütle, jeotermal, hidro ve dalga enerjisi bakımından doğal bir zenginliğe sahiptir. Diğer taraftan, ülkenin enerji anlamında en önemli problemlerinin başında özellikle fosil yakıtlarda yüksek oranlı dışa bağımlılık gelmektedir. Enerjide %70 oranında dış tedarikçilere bağlı durumda olan Türkiye’de söz konusu durumun bütçe dengesi üzerindeki baskısı da oldukça yüksektir. Zira Türkiye’deki toplam ithalatın büyük bir kısmını enerji harcamaları oluşturmaktadır. Dolayısıyla, ülkenin bu durumdan kurtulabilmesi için yenilenebilir enerji alanındaki gelişmeler son derece önemlidir. Bu manada, yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırım, teşvik ve politikaları gözden geçirerek değişim ve dönüşümü hızlandırmalıdır.

Yukarıda bahsi geçen amaçlar doğrultusunda, bu çalışmada 1982-2021 dönemini kapsayan yıllık veri seti kullanılarak ARDL Sınır Testi yaklaşımıyla yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki çift yönlü şekilde kısa ve uzun dönem için incelenmektedir. Bu çerçevede yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyümenin bağımlı değişken oldukları durumlar ayrı ayrı değerlendirilmektedir.

Yenilenebilir enerji tüketiminin bağımlı değişken olduğu durumda GSYH’de meydana gelen %1 oranındaki artış yenilenebilir enerji tüketiminin kısa ve uzun vadede sırasıyla %3,19 ve %0,78 seviyesinde artırmaktadır sonucuna ulaşılmıştır. Bu modelde bağımsız değişken olarak kullanılan karbon emisyonu (CO<sub>2</sub>) miktarında görülen %1 düzeyindeki artış ise yenilenebilir enerji tüketimini kısa dönemde %2,46 oranında azaltırken bu oran uzun dönemde %0,18 olarak gerçekleşmiştir.

Ekonomik büyümenin bağımlı değişken olduğu durumda ise kısa dönemde yenilenebilir enerji tüketimi ve karbon emisyonlarında gözlemlenen %1’lik artışların, GSYH’yi sırasıyla %0,10 ve %0,56

oranlarında artırdığı sonucuna ulaşılmaktadır. Uzun dönem bulguları incelendiğinde, yenilenebilir enerji tüketimindeki %1 oranındaki artışın GSYH'yi %0,52 artırırken, CO2 seviyesindeki %1'lik artışın ise GSYH'yi %0,70 seviyesinde artırdığı dikkat çekmektedir.

Çalışmada elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, GSYH'de gözlemlenen artış oranlarının yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkisinin, yenilenebilir enerji kullanımındaki artışın GSYH üzerindeki etkisinden daha fazla olduğu gözlemlenmektedir. Buradan hareketle, Türkiye'de yenilenebilir enerji tüketiminin özellikle uzun vadede artırılması için ekonomik büyüme performansının giderek iyileştirilmesi gerektiği çıkarımı yapılmaktadır. Diğer taraftan, çalışmada kullanılan modeller kapsamında karbon emisyonlarında görülen artışın yenilenebilir enerji tüketimini azalttığı, ancak GSYH'yi artırdığı dikkat çekmektedir. Dolayısıyla, Türkiye açısından bir yandan ekonomik büyümeyi desteklemek, diğer yandan ise bunu yaparken karbon emisyonlarındaki artışı kontrol altında tutmak son derece önemlidir. Başka bir ifadeyle, kirliliği ekonomik büyüme yerine sürdürülebilir ve çevreci politikalarla desteklenen temiz büyüme kavramı üzerine yoğunlaşılmasında fayda vardır.

## KAYNAKÇA

- Alam, I., ve Quazi, R. (2003). Determinants of capital flight: An econometric case study of Bangladesh. *International Review of Applied Economics*, 17(1), 85-103.
- Alper, F. Ö. (2018). Yenilenebilir enerji ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki: 1990-2017 Türkiye örneği. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(2), 223-242.
- Anatürk, Ş., ve Özata, E. (2019). Türkiye'de yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynaklarından elektrik tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin ekonometrik analizi. *The Journal of International Social Research*, 68(12), 1018-1030.
- Bakırtaş, İ., ve Çetin, M. (2016). Yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki: G-20 ülkeleri. *Sosyoekonomi*, 24(28), 131-146.
- Birleşmiş Milletler, (2023). İklim eylemi (Climate Action), Erişim tarihi: 18 Mayıs 2023, Erişim adresi: <https://www.un.org/en/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>.
- British Petroleum. (2022). BP statistical review of world energy 2022 71. Edition. Erişim adresi: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>, Erişim tarihi: 15.03.2023.
- Bulut, R. (2017). Türkiye ekonomisinde enerji sektörünün önemi. *Ekonomi ve Kültür Dergisi*, 49, 62-65.
- Cheng, Y. (2009). The 1979 oil shock and the "Flying Geese Model" in East Asia. In Viewpoints (Ed.), The 1979 "Oil Shock:" Legacy, Lessons and Lasting Reverberations: Legacy, lessons and lasting reverberations (pp. 57-59). [8] The Middle East Institute.
- Çetin, M. ve Rahmani, A. (2020). Türkiye ekonomisinde yapısal kırılmalar, yenilenebilir enerji ve ekonomik büyüme (1970-2016). Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 7 (3), 589-610.
- Çetintaş, Y., ve Aydın, C. (2022). Yenilenebilir enerji bağlamında çevre ve ekonomik büyüme ilişkisi: OECD ülkeleri örneği. *Journal Of Management And Economics Research*, 20(1), 292-312.
- Çınar, S., ve Yılmaz, M. (2015). Yenilenebilir enerji kaynaklarının belirleyicileri ve ekonomik büyüme ilişkisi: gelişmekte olan ülkeler örneği. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 30(1), 55-78.
- Demirgil, B., ve Birol, Y. E. (2020). Yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisi: Türkiye için bir Toda-Yamamoto nedensellik analizi. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21(1), 68-83.

- Dickey, D. A., ve Fuller W. A. (1979). Distributions of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association*, 74, 427-431.
- Durğun, B., ve Durğun, F. (2018). Yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasında nedensellik ilişkisi: Türkiye örneği. *International Review of Economics and Management*, 6(1), 1-27.
- EPDK, (2022). Enerji Piyasaları Düzenleme Kurumu- Elektrik Piyasası 2021 Yılı Piyasa Gelişim Raporu, Erişim tarihi: 19 Mayıs 2023, Erişim adresi: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-24/elektrikvillik-sektor-raporu>.
- Fotourehchi, Z. (2017). Clean energy consumption and economic growth: a case study for developing countries. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 7(2), 61-64.
- Goel, M. (2005). Energy Sources and Global Warming. New Delhi: Allied Publishers.
- Güllü, M., & Kartal, Z. (2021). Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının istihdam etkisi. *Sakarya İktisat Dergisi*, 10(1), 36-65.
- Harris, R., ve Sollis, R. (2003). *Applied time series modelling and forecasting*. Wiley.
- IEA-International Energy agency, (2023). CO2 Emissions in 2022, Erişim tarihi: 15 Mayıs 2023, Erişim adresi: <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022>.
- IRENA, (2023). International Renewable Energy Agency-Renewable Capacity Statistics 2023. Erişim tarihi: 20 Mayıs 2023, Erişim adresi: <https://www.irena.org/Publications/2023/Mar/Renewable-capacity-statistics-2023>.
- Kadılar, C. (2000). *Uygulamalı çok değişkenli zaman serileri analizi*, Bizim Büro Basımevi, Ankara.
- Karagöl, E. T., ve Kavaz, İ. (2017). Dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji. 197. İstanbul: SETA Yayınları.
- Koç, E., Kaya, K. (2015). Enerji kaynakları–yenilenebilir enerji durumu. *Mühendis ve Makine*, 56 (668), 36-47.
- MacKinnon, J. J. (1991). Critical values for cointegration tests in long-run economic relationships, In. R. F. Engle and C. W. Granger (Eds), *Readings in Cointegration*, Oxford University Press, Oxford, 267-76.
- Malanima, P. (2015). Energy in history. the basic environmental history, 1-29.
- Narayan, P. K. (2005). The saving and investment nexus for China: evidence from cointegration Tests. *Applied Economics*, 37(17), 1979-1990
- Narayan, P. K. ve R. Smyth (2006). What determines migration flows from low-income to high-income countries? An empirical investigation of Fiji-U.S. migration 1972-2001, *Contemporary Economic Policy*, 24 (2), 332-342.
- Naimoğlu, M. (2022). The relationship between renewable energy consumption and economic growth in OECD countries. *International Journal Of Contemporary Economics and Administrative Sciences*, 12(1), 018-033.
- Özşahin, Ş., Mucuk, M., ve Gerçekler, M. (2016). Yenilenebilir enerji ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki: BRICS-T ülkeleri üzerine panel ARDL analizi. *Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 4(4), 111-130.
- Pesaran, M.H. & Shin, Y. (1999). *An autoregressive distributed lag modelling approach to co-integration analysis*. S. Strom (Ed.) *Econometrics and Economic Theory in the 20th Century: the Ragnar Frisch Centennial Symposium*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationship. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289-326
- Phillips, P. C., ve Perron, P. (1988). Testing for a unit root in time series regression. *Biometrika*, 75(2), 335-346.
- Şahin, G., Taksim, M. A., ve Yitgin, B. (2021). Effects of the European green deal on Turkey’s electricity market. *İşletme Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 40-58.
- TEİAŞ, (2023). Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi, Türkiye’de Elektrik Üretim-İletim İstatistikleri, Erişim tarihi: 19 Mayıs 2023, Erişim adresi: <https://www.teias.gov.tr/>.
- UNFCCC, (2015). Paris Anlaşması [Paris Agreement], Erişim tarihi:18 Mayıs 2023,Erişim adresi: <https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement>.
- Usupbeyli, A., & Uçak, S. (2018). Türkiye’de yenilenebilir enerji-büyüme ilişkisi. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 16(4), 223-238.

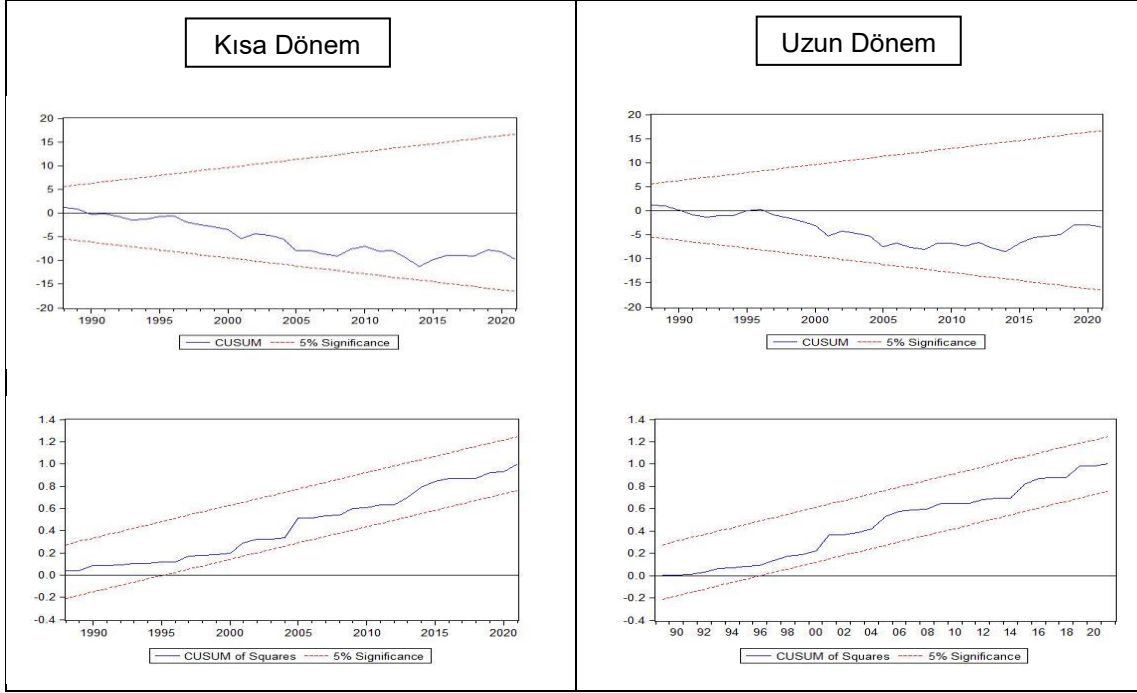
Ünüvar, İ., ve Keskinliç, S. (2020). Yenilenebilir enerji ve ekonomik büyüme ilişkisi: G20 ülkeleri örneği (2000-2016).

*Uluslararası Yönetim İktisat Ve İşletme Dergisi*, 16(2), 251-266.

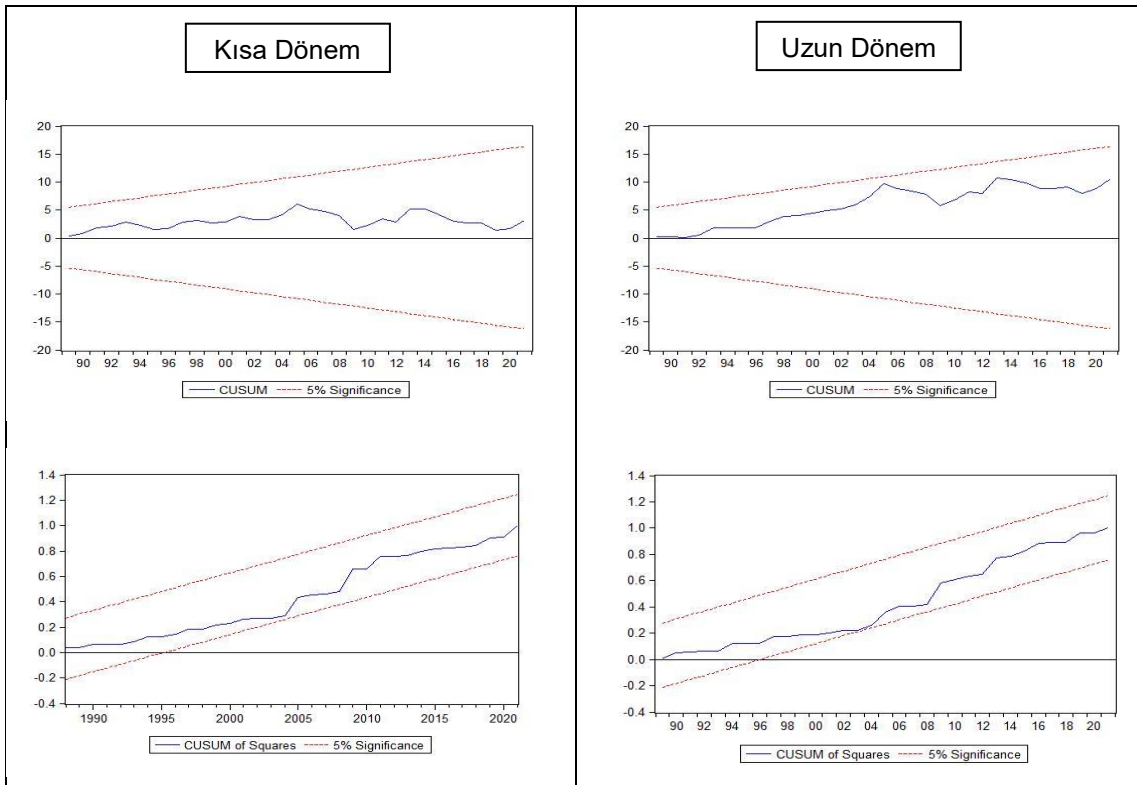
World Bank. (2023). World Development Indicators. Erişim adresi: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>, Erişim tarihi: 15 Mart 2023.

## EKLER

### EK-1: Yenilenebilir Enerjinin Bağımlı Değişken Olduğu Modeller için CUSUM ve CUSUMQ Test Sonuçları



### EK-2: GSYH'nin Bağımlı Değişken Olduğu Modeller için CUSUM ve CUSUMQ Test Sonuçları





KATKI ORANI / CONTRIBUTION RATE	AÇIKLAMA / EXPLANATION	KATKIDA BULUNANLAR / CONTRIBUTORS*
Fikir veya Kavram / Idea or Notion	Araştırma hipotezini veya fikrini oluşturmak / Form the research hypothesis or idea	1. İsmail KAVAZ 2. Burak KAYA
Tasarım / Design	Yöntemi, ölçeği ve deseni tasarlamak / Designing method, scale and pattern	1. İsmail KAVAZ 2. Burak KAYA
Veri Toplama ve İşleme / Data Collecting and Processing	Verileri toplamak, düzenlenmek ve raporlamak / Collecting, organizing and reporting data	1. İsmail KAVAZ 2. Burak KAYA
Tartışma ve Yorum / Discussion and Interpretation	Bulguların değerlendirilmesinde ve sonuçlandırılmasında sorumluluk almak / Taking responsibility in evaluating and finalizing the findings	1. İsmail KAVAZ 2. Burak KAYA
Literatür Taraması / Literature Review	Çalışma için gerekli literatürü taramak / Review the literature required for the study	1. İsmail KAVAZ 2. Burak KAYA

\*Katkı oranlarının tümü eşit olması durumunda oranlar belirtilmeyecektir/ If the contribution rates are all equal, the rates will not be specified

**Hakem Değerlendirmesi:** Dış bağımsız.

**Çıkar Çatışması:** Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir.

**Finansal Destek:** Yazar bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

**Teşekkür:** -

**Peer-review:** Externally peer-reviewed.

**Conflict of Interest:** The author has no conflict of interest to declare.

**Grant Support:** The author declared that this study has received no financial support.

**Acknowledgement:** -