



Ardahan Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/aruiibfdergisi>



Türkiye’de teknolojik inovasyon ve yenilenebilir enerji tüketiminin çevre kirliliği üzerine etkisi*

The effects of technological innovation and renewable energy consumption on environmental pollution in Turkey

Fazel Karim Qoyash^a, Miraç Eren^{b**}

^a Yüksek Lisans Öğrencisi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Samsun, Türkiye, fazelkarimqoyash87@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8238-9026

^b Doç. Dr., Ondokuz Mayıs Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Samsun, Türkiye, mirac.eren@omu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-5150-9144

MAKALE BİLGİSİ

Makale geçmişi:

Başvuru: 17 Haziran 2022

Kabul: 23 Haziran 2022

Anahtar kelimeler:

Çevre Kirliliği,

Teknolojik İnovasyon,

Yenilenebilir Enerji Tüketimi,

ARDL & Dinamik ARDL Simülasyon

Makale türü:

Araştırma makalesi

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 17 June 2022

Accepted: 23 June 2022

Keywords:

Environmental Pollution,

Technological Innovation,

Renewable Energy Consumption,

ARDL & Dynamic ARDL Simulation

Article type:

Research article

ÖZET

Yaşadığımız çağda çevre kirliliği tüm canlıların hayatının tehdit eden, küresel bir sorun olarak öne çıkmaktadır. Ekonomik ve sosyal faaliyetlerin beklenmedik boyutta artışı sera gazı salınımının arasında en yüksek payı olan CO₂ salınımını da hızla arttırmaktadır. Dolayısıyla çevre faktörü iklim değişikliği ve kirlilik gibi sorunlara maruz kalmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı raporlarına göre yeryüzünde CO₂ salınımı 1990-2019 döneminde %65 artarak kişi başına CO₂ emisyonu 3,9 tondan 4,38 tona çıkmışken Türkiye’de ise %184,58 artarak kişi başına düşen CO₂ salınımı 2,3 tondan 4,7 tona çıkmış ve bu konuda Türkiye dünya genelinde kişi başına düşen CO₂ salınımı seviyesini geçmiştir. Bu çalışmada, Türkiye’nin CO₂ emisyonunun sürekli artışı dikkate alınarak hem emisyonu etkileyen faktörlerin tespit edilmesi hem de son yıllarda çevre kirliliği mücadelesinde ekonomik araç olarak kullanılan teknolojik inovasyon ve yenilenebilir enerji tüketiminin çevresel etkisinin incelenmesi amacıyla 1990-2019 dönemine ait CO₂ salınımı, yenilenebilir enerji tüketimi, yenilenemez enerji tüketimi, teknolojik inovasyon, ekonomik büyüme, ticaret ve doğrudan yabancı yatırım değişkenlerinin yıllık verileri kullanılarak dinamik ARDL simülasyon yöntemiyle analiz edilmiş ve bu yöntemin avantajı olarak geliştirilen algoritmayla bağımsız değişkenlerde yaşanan bir şoka karşı bağımlı değişkenin tepkisi grafikler ile görselleştirilmiştir. Sonuç olarak, yenilenemez enerji tüketimi ve teknolojik inovasyon CO₂ emisyonunu pozitif, yenilenebilir enerji tüketimi ise negatif ancak istatistiksel olarak anlamsız etkilemiştir.

ABSTRACT

Environmental pollution is a global problem that threatens the life of all living beings. The unexpected increase in economic and social activities has also increased CO₂ emissions rapidly. Therefore, the environmental factor is exposed to problem of pollution. According to IEA’s reports, the CO₂ emission has totally increased %65 during 1990-2019 period across the world. While in Turkey it has increased %184,58. Thus, per capita CO₂ has increased from 2.3 tons to 4.7 tons and Turkey has surpassed the world’s per capita CO₂ emission level. This study, by aiming to investigate the environmental impact of technological innovation and renewable energy consumption, which has used as an economic tool to struggle against environmental pollution recently, CO₂ emission, technological innovation, renewable energy consumption, non-renewable energy consumption, economic growth, trade and foreign direct investment variables’s annual data have been analyzed by dynamic ARDL simulation. Then, by using the algorithm that developed as an advantage of dynamic ARDL model the effect of a shock in independent variables on dependent variable have been visualized by graphs. As result, technological innovation and non-renewable energy consumption had positive effect on CO₂ emission and renewable energy consumption had negative effect on CO₂ emission insignificantly.

* Çalışma, Fazel Karim Qoyash’ın 2022 yılındaki yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

** Sorumlu yazar / Corresponding author

E-posta / E-mail: miraceren44@gmail.com

Atf / Citation: Qoyash, F. K. ve Eren, M. (2022). Türkiye’de teknolojik inovasyon ve yenilenebilir enerji tüketiminin çevre kirliliği üzerine etkisi. *Ardahan Üniversitesi İİBF Dergisi*, 4(2), 110-118.

1. Giriş

Son 50 senedir çevre kirliliği ve iklim değişikliği küresel ve tüm canlıların hayatını tehdit eden bir sorun haline gelmiştir (Bayar ve Şaşmaz, 2016). Ekonomik ve sosyal faaliyetlerin beklenmedik boyutta artışı çevre faktörünü olumsuz etkilerken, çevre faktörü de ekonomik gelişmeleri olumsuz etkilemektedir (Şahin, 2018). Ekonomik faaliyetlerde enerji kaynakları birincil şekilde kullanıldığı zaman CO₂ (toplam sera gazı içinde %60 orana sahip), CH₄ gibi zararlı ve zehirli gazların açığa çıktığından çevre faktörü kirlilik, ısınma, ozon tabakasının delinmesi gibi sorunlara maruz kalmaktadır (Nihat ve Kılıç, 2014).

NASA'nın raporuna göre atmosferde sera gazlarının içinde en çevre kirleticisi olan CO₂ emisyonunu yıkıcı düzeye çıkmıştır. Dolayısıyla atmosferde bu denli CO₂ emisyonunun birikimi hava ısınma, çevre kirlilik gibi sorunların ortaya çıkmasında en önemli etkenlerden sayılmaktadır. İklim değişiminin hızlıca arttığını fark eden bilim adamları 2050 yılında yer yüzünde, çevresel sorunlardan dolayı, hayatın devam edilemeyeceği uyarısında bulunmuşlardır (Khan, 2021).

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) raporlarına göre CO₂ salınımı 1990-2019 yıllar arasında dünya genelinde yüzdesel olarak toplam %65 artmış ve kişi başına düşen CO₂ emisyonu da 3,9 tondan 4,38 tona çıkarken Türkiye'de ise yüzdesel olarak toplam %184,58 artmış ve kişi başına düşen CO₂ emisyonu ise 2,3 tondan 4,7 tona çıkmış ve bu konuda Türkiye dünya genelinde ortalama kişi başına düşen CO₂ salınımı seviyesini geçmiştir (IEA, 2021). Bu durum Türkiye'de çevresel sorunların ne kadar olduğunu/olacağını göstermektedir.

Son yıllarda çevresel problemlerin, özellikle CO₂ emisyonu problemini, ortadan kaldırmak amacıyla ulusal ve uluslararası ölçeğinde bazı düzenlemeler ve anlaşmalar yapılırken, aynı zamanda ekonomik araçlardan da yararlanılmaktadır. Sözü geçen ekonomik araçlardan bir tanesi yenilenebilir enerji tüketimi iken diğeri ise teknolojik inovasyondur (Nihat ve Kılıç, 2014; Yiğit, 2014). Bazı ülkeler bu ekonomik araçlar sayesinde (teknolojik gelişimini ve çevre yönelimli patent sayısını artırarak) CO₂ gibi zararlı gazların salınımının azaltma yönünde başarıya da ulaşmıştır (Nihat ve Kılıç, 2014; Danish ve Olucak, 2021).

Bu çalışmada, Türkiye'nin teknolojik inovasyon ve yenilenebilir enerji tüketiminin çevre kirliliği üzerinde etkisinin analiz edilmesi temel hedef olarak belirlenirken, ekonomik büyüme, yenilenemez enerji tüketimi, doğrudan yabancı yatırım ve ticaret değişkenlerinin de çevre üzerinde (CO₂ emisyonu üzerine) olumlu ve olumsuz etkilerinin incelenmesi de yan hedef olarak belirlenmiştir. Bu amaçla yenilenebilir enerji tüketimi, yenilenemez enerji tüketimi ve teknolojik inovasyon değişkenleri temel değişkenler, ekonomik büyüme, doğrudan yabancı yatırım ve ticaret değişkenleri ise kontrol değişkenler olarak CO₂ salınımı üzerinde etkisi, son zamanlarda çevre, enerji ve sağlık ekonomisi alanlarında çok tercih edilen dinamik ARDL simülasyon yöntemiyle 1990-2019 yılları arasına ait yıllık verileri kullanılarak analiz edilmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde çevre kirliliği ile ilgili genel bilgileri kapsayan giriş kısmını yazdıktan sonra ikinci bölümünde çalışma ile ilgili literatür taraması yapılmıştır. Çalışmanın üçüncü bölümünde ise çalışmanın ekonometrik analizi yer almıştır. Dördüncü bölümünde ise ekonometrik analizden elde edilen bulgular değerlendirilmiş beşinci bölümünde ise sonuç ve kaynakçalara yer verilmiştir.

2. Literatür Taraması

Çevre kirliliği ile ilgili ulusal ve uluslararası ölçeğinde yapılan çalışmaların özeti Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1'de çevre kirliliği ile ilgili çalışmaların literatür taramasından da anlaşıldığı üzere CO₂ emisyonunu etkileyen diğer faktörlerin yansırı teknolojik inovasyon ve yenilenebilir enerji tüketimi de beklenen yönde anlamlı düzeyde etkisi olduğu tespit edilmektedir. Ama Türkiye'de çevre konusu ile ilgili çalışmalar yapılırken ekonomik büyüme ve enerji tüketimi değişkenlerine çok ağırlık verildiği görülmektedir. Enerji tüketiminin yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimine ayırmadan enerji tüketimi olarak analize tabi tutulması ve teknolojik inovasyon değişkeninin çevre kirliliği ile ilgili çalışmalarda dahil edilmemesi bu alanda bir araştırma boşluğu bırakmaktadır. Aynı zamanda Türkiye'de çalışmalarda değişkenlerin uzun dönem ve kısa dönem ilişkilerini tahmin etmek için genellikle ARDL modelinden yararlanılmıştır. Oysa son yıllarda enerji, çevre ve sağlık ekonomisi alanlarında dinamik ARDL simülasyon yöntemi çok tercih edilmiştir. Dolayısıyla bu çalışma hem enerji değişkeninin yenilenebilir enerji tüketimi ve yenilenemez enerji tüketimi olarak iki gruba ayırarak hem de teknolojik inovasyonu değişkeninin analize dahil ederek dinamik ARDL simülasyon yöntemiyle analiz ettiğinden hem bilimsel açıdan hem de yöntemsel açıdan literatüre katkı sağlamaktadır.

Tablo 1. Çevre kirliliği ile ilgili yapılan çalışmaların özeti

Yazar	Ülke	Dönem	Yöntem	Bulgular
Danish ve Ulucak (2021)	ABD ve Çin	1980-2016	Dinamik ARDL simülasyon yöntemi	Inovasyon ABD’de CO ₂ salınımını anlamlı düzeyde azaltırken Çin’de ise anlamlı düzeyde azaltmamıştır. Yenilenebilir enerji tüketimi hem ABD’de hem de Çin’de CO ₂ salınımını azaltmıştır. Gelir düzeyi her iki ülkede CO ₂ salınımı üzerinde etkisi kısa dönemden uzun döneme artmıştır.
Vural (2021)	Latin ABD ülkeleri	1991-2014	Panel eşbütünlüşme yöntemi	Teknolojik inovasyon yenilenebilir enerji üretimini artırmış ve yenilenebilir enerji üretimi CO ₂ salınımını negatif etkilemiştir.
Khan vd. (2021)	69 BRI ülkeleri	2000-2014	Sağlam standart hata regresyon ve dinamik GMM tahminci yöntemi	Teknolojik inovasyon ve ekonomik büyüme CO ₂ salınımını artırmıştır.
Abbasi vd. (2021)	Tailant	1980-2018	Navel dinamik ARDL simülasyon yöntemi	Yenilenebilir enerji tüketimi kısa dönemde CO ₂ salınımını negatif etkilemiştir. Ekonomik büyüme CO ₂ salınımını hem uzun dönemde hem de kısa dönemde artırmıştır.
Hassan vd. (2022)	Çin	1985-2018	Navel dinamik ARDL simülasyon yöntemi	Nükleer enerji ve teknolojik inovasyon CO ₂ salınımını azaltmıştır. Ekonomik büyüme ile kamu taşımacılık hizmetleri CO ₂ salınımını artırmıştır.
Cheng vd. (2021)	35 OECD ülkeleri	1996-2015	Panel kantil regresyon yöntemi	Teknolojik inovasyon CO ₂ salınımını hem doğrudan hem de dolaylı ekonomik büyüme ve yenilenebilir enerji vasitesiyle azaltmıştır.
Zheng vd. (2021)	Çin’in 30 ili	2008-2017	Panel kantil regresyon analizi	Yenilenebilir enerjinin gelişimi karbon emisyonunun yoğunluğunu azaltmış ve yenilenebilir enerjinin gelişimi karbon emisyonuna doğru etkiden ziyade dolaylı etkisi büyüktür olmuştur.
Chien vd. (2021)	Pakistan	1980-2018	Kantil ARDL modeli	Ekonomik büyüme ve kentleşme CO ₂ emisyonunu pozitif, teknolojik inovasyon ile yenilenebilir enerji CO ₂ emisyonunu negatif etkilemiştir.
Khan ve Öztürk (2021)	88 gelişmekte olan ülke	2000-2014	Çoklu doğrusal regresyon analizi ve EKC hipotezi	Finansal gelişme CO ₂ salınımını hem doğrudan hem de dolaylı şekilde negatif etkilemiştir.
Salehnia vd. (2020)	14 MENA ülkesi	2004-2016	Panel kantil regresyon analizi	Enerji tüketimi, nüfus ve ekonomik büyüme CO ₂ salınımını pozitif ve doğrudan yabancı yatırım, finansal gelişme negatif etkilemiştir.
Du vd. (2019)	71 ülke	1996-2012	Panel veri analizi ve eşik değer modeli	Yeşil inovasyon CO ₂ emisyonunu, eşik değer altında yer alan ülkelerde anlamlı etkilemez ve eşik değer üstünde kalan ülkelerde anlamlı düzeyde etkilemiştir. Kişi başına CO ₂ emisyonu ile kişi başına GSYİH arasında U şeklinde ilişki tespit edilmiştir.
Khan vd. (2019)	Pakistan	1971-2016	Dinamik ARDL simülasyon yöntemi	Enerji tüketimi, finansal gelişme, ticaret, doğrudan yabancı yatırımı CO ₂ salınımını pozitif ve ekonomik büyüme, inovasyon, kentleşme negatif etkilemiştir.
Hashmi ve Alem (2019)	OECD ülkeleri	1999-2014	Panel veri analizi ve GMM modeli	Çevre yönelimli inovasyon ve çevre vergisi CO ₂ emisyonunu negatif etkilemiştir.
Erdoğan vd. (2020)	G-20 ülkeleri	1991-2017	Panel eşbütünlüşme analizi	Sanayide inovasyonun gelişimi CO ₂ emisyonunu azaltırken, yapım sektöründe ise artırmıştır.
Chen ve Lei (2018)	30 ülke	1980-2014	Panel kantil regresyon analizi	Teknolojik inovasyon CO ₂ salınımı yüksek olan ülkeleri büyük ölçüde CO ₂ salınımı etkilemiştir.
Işık ve Kılıç (2014)	OECD ülkeleri	1990-2010	Dinamik panel veri analizi	Ar-Ge harcamaları CO ₂ emisyonunu negatif etkilemiştir.
Hepaktan ve Sertkaya (2016)	Türkiye	1980-2014	Eşbütünlüşme, nedensellik ve hata düzeltme modeli	Kişi başına düşen GSYİH’den CO ₂ emisyonuna pozitif tek yönlü ilişki tespit edilmiştir.
Büyükyılmaz ve Mert (2015)	Türkiye	1960-2010	MS-VAR modeli	CO ₂ emisyonu, yenilenebilir enerji tüketimi ve GSYİH aralarında doğrusal olmayan ve rejimlere göre değişen aynı zamanda değişkenler arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi olduğu gösterilmiştir.
Karaaslan vd. (2017)	OECD ülkeleri	1990-2012	Panel ARDL modeli	Yenilenebilir enerji tüketimi ve CO ₂ emisyonu arasında uzun dönemli bir ilişki var olduğu tespit edilmiştir.
Akın ve Aytun (2015)	Türkiye	1971-2010	Bootstrap nedensellik analizi	Yüksek öğretim düzeyinden CO ₂ emisyonu ve enerji tüketimine Doğrusal nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir.
Kurt vd. (2019)	Türkiye	1972-2014	ARDL sınır testi	Kişi başına düşen gayri safi yurtiçi hasla CO ₂ emisyonunu azaltır, doğrudan yabancı yatırım ve enerji tüketimi CO ₂ emisyonunu artırır sonucuna varılmıştır.
Uysal ve Yapraklı (2016)	Türkiye	1968-2011	Hatemi-J eşbütünlüşme yöntemi	Gelir düzeyindeki artış CO ₂ emisyonunu azaltır, enerji tüketimi CO ₂ emisyonunu artırır sonucuna ulaşılmıştır.
Keskingöz ve Karamelikli (2018)	Türkiye	1960-2011	ARDL yöntemi	Ticaret, ekonomik büyüme ve enerji tüketimi CO ₂ emisyonunu artırmıştır.

Not: ARDL= gecikmesi dağıtılmış otoregresif model; VAR= vektör otoregresif model; MS-VAR= Markova rejim değişim vektör otoregresif model; GMM= Genelleştirilmiş momentler tahminini; EKC= Çevresel Küzent Eğrisi; BRI= Çin Kuşak ve Yol Girişimi; ABD= Amerika Birleşik Devletleri; OECD= Ekonomik Kalkınma ve İş birliği Örgütü; G-20= Yirmiler Grubu; MENA= Orta Doğu ve Kuzey Afrika Bölgesi.

3. Ekonometrik Analiz

3.1. Veriler ve Değişkenler

Çalışmada Türkiye'ye ait 1990-2019 yılları arası CO₂ emisyonu, teknolojik inovasyon, yenilenebilir enerji tüketimi, yenilenemez enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve doğrudan yabancı yatırım değişkenlerinin yıllık verileri Dünya Bankası ve Uluslararası Enerji Ajansı veri tabanlarından ele getirilerek kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan değişkenler Tablo 2'de açıklanmıştır.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan değişkenler

Değişken	Kısaltma	Açıklama	Kaynak
Karbondioksit	CO ₂	Kişi başına düşen CO ₂ salınımı (Metrik ton)	WDİ
Teknolojik inovasyon	Tİ	Patent Başvurusu (Sayı)	WDİ
Yenilenebilir enerji tüketimi	REC	Kişi başına düşen yenilenebilir enerji tüketimi (Petrol eşdeğer cinsinden kg)	IEA
Yenilenemez Enerji tüketimi	NEC	Kişi başına düşen yenilenemez enerji tüketimi (Petrol eşdeğer cinsinden kg)	IEA
Ekonomik büyüme	GDP	Kişi başına gayri safi yurt içi hasıla (2015\$)	WDİ
Ticaret	TR	% GDP	WDİ
Doğrudan yabancı yatırım	FDİ	Sermaye girişi(%GDP)	WDİ

Not: WDİ= Dünya Bankası Göstergeleri; IEA= Uluslararası Enerji Ajansı

Çevre kirliliği değişkeninin göstergesi olarak kullanılan CO₂ emisyonunun verisi, ekonomik büyüme değişkeninin göstergesi olarak kullanılan kişi başına düşen gayri safi yurt içi hasıla, teknolojik inovasyon değişkeninin göstergesi olarak kullanılan patent sayısı, ticaret değişkeninin göstergesi olarak kullanılan ticaretin gayrisafi yurt içi hasıladaki payı ve doğrudan yabancı yatırım değişkeninin göstergesi olarak kullanılan sermaye girişiminin gayrisafi yurt içi hasıladaki payı verileri Dünya Bankası veri tabanından alınırken, yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimi değişkenlerinin verileri ise Uluslararası Enerji Ajansı veri setinden alınmıştır. Çalışmanın ekonometrik analizi R programı ile yapılmıştır. Tablo 3'te değişkenlerin açıklayıcı istatistikleri raporlanmıştır.

Tablo 3. Açıklayıcı istatistikler

Değişken	Ortalama	Maksimum	Minimum	Gözlem
CO ₂	3,357442	4,667734	2,387904	30
Tİ	3146,067	8555,000	837,0000	30
REC	159,6484	190,4469	128,0690	30
NEC	827,2769	1147,257	566,5171	30
GDP	7941,691	12004,38	5303,010	30
TR	46,97936	62,61188	30,47601	30
FDİ	1,209240	3,623502	0,305399	30

Değişken	Std. Hata	Jarque-bera	Olasılık	Gözlem
CO ₂	0,684237	1,779047	0,410852	30
Tİ	2292,945	5,200646	0,074250	30
REC	18,14507	1,821841	0,402154	30
NEC	183,0411	2,224267	0,328857	30
GDP	2205,447	2,886139	0,236202	30
TR	8,257622	0,794097	0,672301	30
FDİ	0,886080	5,910255	0,052072	30

3.2. Araştırma Hipotezleri

Çevre kirliliği ile ilgili yapılan ulusal ve uluslararası çalışmaların literatür taraması yapıldıktan sonra bu çalışma ile ilgili alttaki hipotezler oluşturulmuştur.

H1: Türkiye'de teknolojik inovasyon CO₂ emisyonunu beklenen (negatif) yönde anlamlı düzeyde etkiler.

H2: Türkiye'de yenilenebilir enerji tüketimi CO₂ emisyonu üzerinde anlamlı düzeyde negatif etkisi vardır.

H3: Türkiye'de yenilenemez enerji tüketimi ile CO₂ emisyonu aralarında pozitif ve anlamlı bir ilişki vardır.

3.3. Model

Teknolojik inovasyon, yenilenebilir enerji tüketimi, yenilenemez enerji tüketimi, kişi başına gayrisafi yurt içi hasıla, ticaret ve doğrudan yabancı yatırım değişkenlerinin CO₂ salınımı üzerine kısa dönem ve uzun dönem etkisinin incelemek için denklem 1'de ekonometrik model kurulmuştur.

$$CO_{2t} = F(TI_t, REC_t, NEC_t, GDP_t, TR_t, FDI_t) \quad (1)$$

Burada, CO₂ karbondioksit salınımını, Tİ teknolojik inovasyonu, REC yenilenebilir enerji tüketimi, NEC yenilenemez enerji tüketimini, GDP kişi başına gayrisafi yurt içi hasılayı, TR ticareti, FDİ doğrudan yabancı yatırımı ve t ise ilgili dönemi ifade etmektedir.

Aşağıdaki denklem yukarıdaki ekonometrik modelin denklemini logaritmik hale çevrilip elde edilen denklemi ifade etmektedir.

$$\ln CO_{2t} = \beta_0 + \beta_1 * \ln TI_t + \beta_2 * \ln REC_t + \beta_3 * \ln NEC_t + \beta_4 * \ln GDP_t + \beta_5 * \ln TR_t + \beta_6 * \ln FDI_t + \epsilon_t \quad (2)$$

Burada β_0 sabit terimi, $\beta_{1,2,3,4,5,6}$ değişkenlerin katsayılarını, ti , rec , nec , gdp , tr , fdi sırasıyla teknolojik inovasyon, yenilenebilir enerji tüketimi, yenilenemez enerji tüketimi, kişi başına gayrisafi yurt içi hasıla, ticaret, doğrudan yabancı yatırım, \ln doğal logaritma ve ϵ_t ise hata terimi ifade etmektedir.

3.4. Yöntem

Bu çalışma, Danish ve Ulucak 2021 yılında yaptıkları çalışmasına dayanarak değişkenler arasındaki kısa dönem ve uzun dönem ilişkileri dinamik ARDL simülasyon yöntemi kullanılarak tahmin edilmiştir. Katsayıların tahmin edildiğinden sonra dinamik ARDL yönteminin avantajı olarak geliştirilen algoritma ile bağımsız değişkenlerde gerçekleşen bir şokun bağımlı değişkendeki etkisi tahmin edilerek grafikler üzerinden incelenmiştir. Dinamik ARDL simülasyon modeli 2018 yılında Jardon ve Philips tarafından ARDL modelinde mevcut olan problemlerin ortadan kaldırılması için geliştirilmiştir (Jardon ve Philips, 2018).

Dinamik ARDL simülasyon yöntemini kullanabilmemiz için alttaki koşulları sağlanması gerekmektedir; birinci, bağımlı değişkenin birinci farkı alındığında durağan olması lazım yani bağımlı değişken I(1) olması gerekir. İkinci, bağımsız değişkenlerin entegre düzeyi I(1)'i geçmemesi

gerekir. Üçüncü ise bağımsız değişkenlerin mevsimsel birim kökü içermemesi gerekir. Dinamik ARDL simülasyon modeli denklem 2’de gösterilmektedir (Jardon ve Philips, 2018).

$$\Delta y_t = \alpha_0 + \beta_0(y)_{t-1} + \beta_1(x_1)_{t-1} + \dots + \beta_k(x_k)_{t-1} + \sum_{i=1}^p \gamma_i \Delta(y)_{t-1} + \sum_{j=0}^{q_1} \gamma_{1j} \Delta x_{1,t-j} + \dots + \sum_{j=0}^{q_k} \gamma_{kj} \Delta x_{k,t-j} + \varepsilon_t \quad (3)$$

Burada Δy bağımlı değişkendir, α_0 sabit katsayı, $t-1$ değişkenlerin bir gecikmesini, p ve q bağımlı ve bağımsız değişkenlerin sırasıyla gecikme sayısını, Δ fark operatörünü ve ε ise hata terimi göstermektedir.

Serilerin kısa dönem ve uzun dönem katsayılarını gösteren hata düzeltme modeli denklem 4’te modellenmiştir (Danish ve Ulucak, 2021).

$$\Delta \ln (co_2)_t = \alpha_0 + \beta_0 \ln (co_2)_{t-1} + \beta_1 \ln ti_t + \beta_2 \ln rec_t + \beta_3 \ln nec_t + \beta_4 \ln gdp_t + \beta_5 \ln tr_t + \beta_6 \ln fdi_t + \gamma_1 \ln (\Delta ti)_{t-1} + \gamma_2 \ln (\Delta rec)_{t-1} + \gamma_3 \ln (\Delta nec)_{t-1} + \gamma_4 \ln (\Delta gdp)_{t-1} + \gamma_5 \ln (\Delta tr)_{t-1} + \gamma_6 \ln (\Delta fdi)_{t-1} + \varepsilon_t \quad (4)$$

Burada, β_0 sabit terimi, $\beta_{1,2,3,4,5,6}$ uzun dönem katsayıları, $\gamma_{1,2,3,4,5,6}$ kısa dönem katsayıları, t zamanı, \ln doğal logaritma ve ε_t ise hata terimi ifade etmektedir.

4. Bulgular

4.1. Birim Kök Testi

Zaman seri analizinde sahte regresyon oluşumundan kaçınmak için serilerin durağan olması gerekir. Bu amaçla serilerin birim kök testi yapılmıştır. Zaman serilerinde birim kök testi yapılırken genellikle genişletilmiş Dickey-Fuller (Augmented Dickey Fuller-ADF) ve Phillips-Perron (PP) testleri tercih edildiğinden bu çalışmada da tercih edilmiştir. Tablo 4’te çalışmada kullanılan serilerin ADF ve PP birim kök sonuçları raporlanmıştır.

Tablo 4. Birim kök testi sonuçları

Değişkenler	Düzye		Birinci fark	
	ADF	PP	ADF	PP
$\ln CO_2$	2,8512(0,2457)	-9,7448(0,499)	-5,8972 (0,01)***	29,094(0,01)***
$\ln TI$	2,4448(0,4018)	-5,1548(0,801)	-4,0199 (0,021)**	21,431(0,018)**
$\ln REC$	1,2257(0,8702)	-16,431(0,086)	-7,1586 (0,01)***	33,745(0,01)***
$\ln NEC$	-1,646(0,7087)	16,727(0,080)*	-7,3105 (0,01)***	34,452(0,01)***
$\ln GDP$	1,3579(0,8194)	-6,8525(0,689)	-5,3383 (0,01)***	27,723(0,01)***
$\ln TR$	-3,6771 (0,043)**	-7,286(0,6613)	-	-24,18(0,01)***
$\ln FDI$	-1,6913 (0,691)	-9,0339(0,545)	-4,8204 (0,01)***	30,917(0,01)***

*, **, *** istatistik değerinin sırasıyla 10 %, 5% ve 1% anlamlı olduğunu, parantiz içindeki değerler ise olasılık değerleri göstermektedir.

Çalışmada kullanılan serilerin ADF ve PP birim kök testi sonuçları, serilerin ticaret değişkeni dışında, ki bu seri ADF testinde düzeyde %5

anamlılık seviyesinde durağan olmuştur, bütün değişkenler düzeyde birim kök içerdiği ve birinci fark alındığında durağan olduğu tespit edilmiştir.

4.2. Eşbütünleşme Testi

Eş bütünleşme analizi değişkenler aralarında uzun dönem bir ilişkinin olup olmadığını gösteren bir testtir (Türkoğlu, 2021). ARDL yaklaşımında serilerin eş bütünleşme testi F değerine dayanmaktadır. Eş bütünleşme testi sonucunda elde edilen F değeri Pesaran, Smith ve Shin tarafınca belirlenen kritik alt ve üst sınır değerleriyle karşılaştırılarak seriler arasında eş bütünleşme ilişkisi olup olmadığı kararlaştırılmaktadır. Eğer hesaplanan F değeri kritik üst sınır değerini geçiyorsa seriler arasında eş bütünleşme vardır sonucuna varılırken, kritik üst sınır ve alt sınır değerinin ortasında kalıyorsa seriler arasında eş bütünleşme olup olmadığı belirsiz ve kritik alt sınır değerinin altında kalıyorsa seriler arasında eş bütünleşme yoktur sonuca varılmaktadır (Türköz, 2015).

Tablo 5. ARDL (1,0,1,0,1,0,0) Eş bütünleşme Testi Sonucu

K	F İstatistiği	%10		%5		%1	
		I(0)	I(1)	I(0)	I(1)	I(0)	I(1)
6	25,696	2,12	3,23	2,45	3,61	3,15	4,43

Not: K, modelde bağımsız değişkenlerin sayısını, I(0) kritik alt sınır değerlerini ve I(1) ise kritik üst sınır değerlerini göstermektedir.

Tablo 5’te de görüldüğü üzere F istatistiği 25.696 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan F istatistiği tablodaki kritik değerlerle karşılaştırıldığında %1 anlam düzeyinin kritik üst sınır değerinden büyük olmuştur. Dolayısıyla seriler arasında %1 anlam düzeyinde eş bütünleşme olduğu tespit edilmiştir.

4.3. Dinamik ARDL Simülasyon Modelinin Sonucu

Seriler arasında eş bütünleşme ilişkisi olduğu tespit edildikten sonra bu ilişkiyi analiz etmek amacıyla değişkenler arasındaki uzun dönemli ve kısa dönemli katsayılar tahmin edilmiştir. Tahmin edilen sonuçlar Tablo 6’da raporlanmıştır.

Tablo 6. Dinamik ARDL simülasyon modellerinin uzun ve kısa dönem tahminlerinin sonuçları

Parametreler	Uzun dönem katsayıları		Kısa dönem katsayıları	
	Katsayı (olasılık)	(p-değeri)	Parametreler	Katsayı (olasılık)
Sabit terimi	-6,704(0,0001)	***	ECT	-0,9536 (0,0001)
$\ln TI$	0,0309 (0,0342)	**	$\Delta \ln TI$	0,0153 (0,2659)
$\ln REC$	-0,0292 (0,7359)		$\Delta \ln REC$	-0,0669 (0,2212)
$\ln NEC$	1,1297 (0,0003)	***	$\Delta \ln NEC$	1,04409 (0,0000)
$\ln GDP$	0,0283 (0,7703)		$\Delta \ln GDP$	-0,1739 (0,1513)
$\ln TR$	0,0193(0,5436)		$\Delta \ln TR$	0,0374(0,2773)
$\ln FDI$	-0,0201 (0,0895)*		$\Delta \ln FDI$	-0,0131 (0,1503)
R kare				0,9664
F İstatistiği (olasılık)				28,8(0,0000)
Durbin Watson İstatistiği				2,0562(0,2312)
Gözlem sayısı				30

*, **, *** istatistik değerinin sırasıyla 10 %, 5% ve 1% anlamlı olduğunu göstermektedir.

Tablo 6’da dinamik ARDL simülasyon modellerinin sonucu raporlanmıştır. Raporlanan sonuçlara göre teknolojik inovasyon değişkeninin katsayısı pozitif ve uzun dönemde %5 güven aralığında anlamlı ve kısa dönemde anlamsız tahmin edilmiştir. Yenilenebilir enerji tüketimi değişkeninin katsayısı ise hem kısa dönem için hem de uzun dönem için negatif ancak istatistiksel olarak anlamsız çıkmıştır. Yenilenemez enerji tüketimi değişkeninin katsayısı pozitif ve istatistiksel olarak kısa dönemde hem de uzun dönemde %1 güven aralığında anlamlı çıkmıştır. Ekonomik büyüme değişkeninin katsayısı uzun dönemde pozitif ve kısa dönemde negatif ve istatistiksel olarak iki dönemde de anlamsız çıkmıştır. Ticaret değişkeninin katsayıları hem uzun dönemde hem kısa dönemde pozitif ve istatistiksel olarak anlamsızken doğrudan yabancı yatırım değişkeninin katsayıları ise hem kısa dönemde hem de uzun dönemde negatif ve istatistiksel olarak uzun dönemde %10 güven aralığında anlamlı çıkmıştır. Hata düzeltme modelinden elde edilen hata düzeltme terimi de tam beklenen işaret ile negatif ve anlamlı çıkmıştır. Tablo 7’de kurulan modelin tanımlayıcı istatistikleri raporlanmıştır.

Tablo 7. Tanımlayıcı istatistikler

Test	İstatistik	Olasılık Değer
Ramsey Reset Test	0,94122	-
Serisel Korelasyon testi	0,318	0,573
Değişen varyans testi	10,919	0,2813

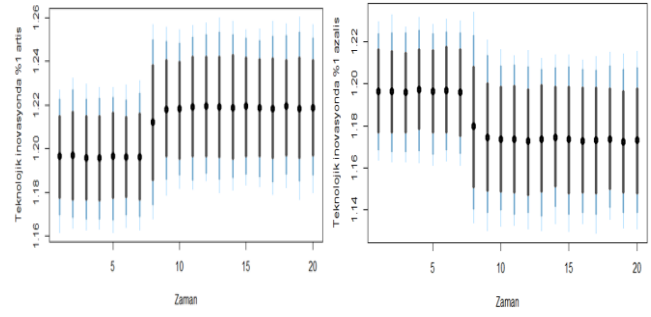
Tablo 7’de modellerin geçerliliği ve güvenilirliğini kontrol etmek için yapılan testlerin sonucu gösterilmiştir. Bu bağlamda modelin otokorelasyon sorunu testi için Breusch-Godfrey testi, değişen varyans sorunu için Breusch-Pagan testi ve model kurma hatası testi için RESET testi yapılmıştır. Testlere göre modelde otokorelasyon, değişen varyans ve model kurma hatası problemi olmadığı tespit edilmiştir.

4.4. Hipotez Testleri

Tablo 6’da raporlanan sonuçlara göre teknolojik inovasyon CO₂ emisyonunu beklenenin tam tersine pozitif etkilemiştir. Dolayısıyla araştırmanın “H1: Türkiye’de teknolojik inovasyon CO₂ emisyonunu beklenen (negatif) yönde anlamlı düzeyde etkiler” hipotezinin doğrulanmamıştır. Yine sonuçlara göre yenilenebilir enerji tüketimi ile CO₂ emisyonu aralarında negatif ancak istatistiksel olarak anlamsız ilişki olduğundan araştırmanın “H2: Türkiye’de yenilenebilir enerji tüketimi CO₂ emisyonu üzerinde anlamlı düzeyde negatif etkisi vardır” hipotezi doğrulanmamıştır. Araştırmanın “H3: Türkiye’de yenilenemez enerji tüketimi ile CO₂ emisyonu aralarında pozitif ve anlamlı bir ilişki vardır” hipotezi yenilenemez enerji tüketiminin CO₂ emisyonu üzerinde anlamlı düzeyde pozitif etkilediğinden doğrulanmıştır.

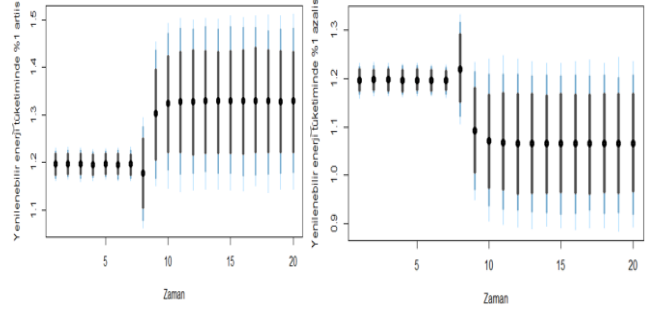
4.5. Simülasyon Grafikleri

Grafik 1-6 dinamik ARDL simülasyon yönteminin bağımsız değişkendeki yaşanan bir şokun bağımlı değişkende yansıtılma özelliğinden yararlanarak çizilmiştir. Bu grafikler bağımsız değişkendeki değişimin bağımlı değişken üzerinde etkisinin grafik üzerinde görmek için görselleştirilmiştir. Bu grafiklerde bağımsız değişkende pozitif ve negatif değişimi bağımlı değişken üzerinde etkisi incelenmiştir.



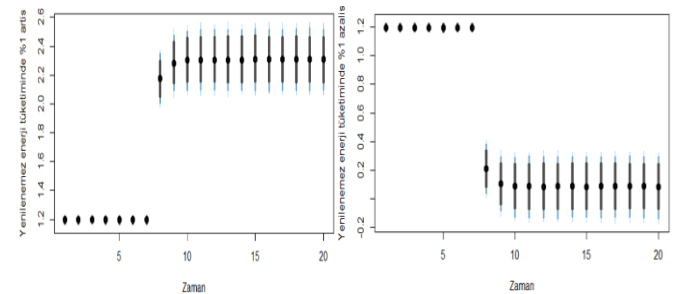
Grafik 1. Teknolojik inovasyonda pozitif ve negatif değişim

Grafik 1 Türkiye’de teknolojik inovasyonda \pm %1 değişimi ve bu değişimin CO₂ emisyonu üzerindeki etkisini göstermektedir. Birinci grafik inovasyonda %1’lik artış CO₂ emisyonunu hem kısa dönemde hem uzun dönemde artırdığı göstermektedir. Aynı zamanda grafikten uzun dönemin etkisi kısa dönemin etkisinden büyük olduğunu öğrenebiliriz. İkinci grafik ise teknolojik inovasyonda %1’lik azalışın CO₂ emisyonunu üzerindeki uzun dönem ve kısa dönem etkisini göstermektedir. Grafikten de anlaşılacağı üzere inovasyonda %1’lik azalış CO₂ emisyonunun hem kısa dönemde hem de uzun dönemde azaltmaktadır.



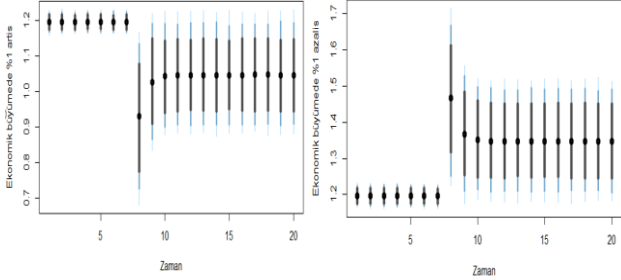
Grafik 2. Yenilenebilir enerji tüketiminde pozitif ve negatif değişim

Grafik 2 Türkiye’de yenilenebilir enerji tüketiminde \pm %1 değişimin CO₂ emisyonu üzerindeki etkisini yansıtmaktadır. Grafikten de anlaşıldığı üzere yenilenebilir enerji tüketiminde yaşanan %1’lik artış kısa zamanda CO₂ emisyonunu azaltırken uzun zamanda ise emisyonu artırmaktadır. Aynı şekilde yenilenebilir enerji tüketiminde yaşanan %1’lik azalış kısa zamanda CO₂ emisyonunu artırırken uzun zamanda ise emisyonu azaltmaktadır.



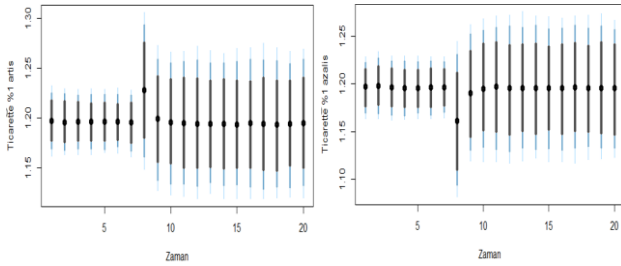
Grafik 3. Yenilenemez enerji tüketiminde pozitif ve negatif değişim

Grafik 3 Türkiye’de yenilenebilir enerji tüketiminin \pm %1 değişimi ve bu değişimin CO₂ emisyonu üzerindeki etkisini göstermektedir. Birinci grafik yenilenebilir enerji tüketiminde %1’lik artış CO₂ emisyonunu hem kısa dönemde hem uzun dönemde arttırdığı ifade etmektedir. İkinci grafik ise yenilenebilir enerji tüketiminin %1’lik azalışının CO₂ emisyonu üzerindeki uzun dönem ve kısa dönem etkisini göstermektedir. Grafikten de anlaşılacağı üzere yenilenebilir enerji tüketiminin %1’lik azalış CO₂ emisyonunun hem kısa dönemde hem de uzun dönemde azaltmaktadır.



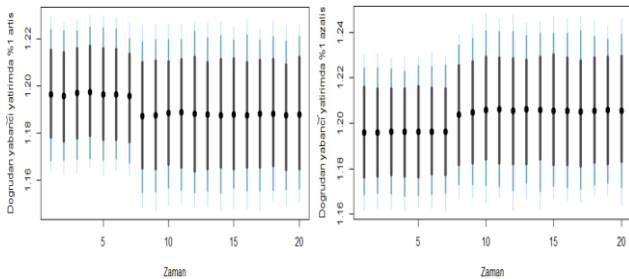
Grafik 4. Ekonomik büyümede pozitif ve negatif değişim

Grafik 4 Türkiye’de CO₂ emisyonunda ekonomik büyümede meydana gelen \pm %1 değişiminden kaynaklanan tepkiyi göstermektedir. Kısa dönemde CO₂ emisyonu ekonomik büyümenin %1’lik artışına karşı büyük negatif tepki gösterirken uzun dönemde ise tepkinin boyutu azalmaktadır. Yani ekonomik büyümede yaşanan %1 değişim CO₂ emisyonunu kısa dönemde uzun zamandan daha büyük etkilemektedir. Aynı şekilde kısa dönemde CO₂ emisyonu ekonomik büyümenin %1’lik azalışına karşı büyük negatif tepki gösterirken uzun dönemde ise tepkinin boyutu azalmaktadır.



Grafik 5. Ticarete pozitif ve negatif değişim

Grafik 5 Türkiye’de ticaretin \pm %1 değişimi ve bu değişimin CO₂ emisyonu üzerindeki etkisini göstermektedir. İlk grafik ticarete %1’lik bir artış CO₂ emisyonunu değişim yaşanan dönemde arttırırken uzun dönemde CO₂ emisyonu üzerinde etki yaratmadığını göstermektedir. Sonraki grafik ise ticarete %1’lik bir azalış değişim yaşanan dönemde CO₂ emisyonunu azaltırken uzun dönemde CO₂ emisyonu üzerinde etki yaratmadığını göstermektedir.



Grafik 6. Doğrudan yabancı yatırımda pozitif ve negatif değişim

Grafik 6 Türkiye’de doğrudan yabancı yatırımın \pm %1 değişimine karşı CO₂ emisyonundaki değişimi görselleştirmektedir. Grafikten de anlaşıldığı üzere doğrudan yabancı yatırımda yaşanan %1’lik artışa karşı CO₂ emisyonu negatif etki gösterirken bu etki zaman geçtikçe azalmaktadır. Aynı şekilde doğrudan yabancı yatırımda yaşanan %1’lik azalışa karşı CO₂ emisyonu pozitif etki gösterirken bu etki zaman geçtikçe azalmaktadır.

5. Bulguların Değerlendirilmesi

Tablo 6’da raporlanan sonuçlara göre Türkiye’de teknolojik inovasyonun CO₂ emisyonu üzerinde uzun dönemde pozitif anlamlı ve kısa dönemde ise pozitif anlamsız etkisi olduğu görülmektedir. Ceteris paribus koşulu altında, uzun dönemde teknolojik inovasyonda (patent sayısında) %1 bir artış CO₂ emisyonunda %0,0309 bir artışa neden olmaktadır. Bu sonuç, Khan vd. (2021), Erdoğan vd. (2020) tarafından yapılan çalışmaları desteklemektedir. Khan vd. çalışmanın sonunda teknolojik inovasyon CO₂ emisyonunu artırır sonucuna varırken Erdoğan vd. ise teknolojik inovasyon yapım sektöründe emisyonu artırır sonucuna ulaşmıştır. Ancak bu çalışma Danish ve Ulucak (2021), Hashmi ve Alem (2019), Du vd. (2019) tarafından ulaşılan sonuçlarla ters gelmektedir. Danish ve Ulucak ve diğerler tarafından yapılan çalışmaların sonucuna göre teknolojik inovasyon CO₂ emisyonunun azaltmıştır. Türkiye’de teknolojik inovasyonun CO₂ emisyonu üzerindeki pozitif etkisinin nedeni yapılan inovasyonların çevreci olmadığından ya da inovasyon faaliyetlerinde çevre faktörünü sürece dahil etmemesinden kaynaklanabilir. Çünkü Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde teknolojik inovasyon aktivitesinin karşısında araştırma-geliştirme bütçe yetersizliği, nitelikli iş gücü problemi ve inovasyon aktivitesinin sistematik biçimde yürütülmemesi gibi problemlerden dolayı çevre faktörü en azından tüketici kadar sürece dahil edilmemektedir (Yiğit, 2014). Dolayısıyla Türkiye’de teknolojik inovasyonun CO₂ emisyonu üzerinde azaltıcı etkisi olması için inovasyonların çevre odaklı (çevre yönelimli) olması gerekmektedir.

Yenilenebilir enerji tüketimi değişkeninin katsayısı incelendiğinde katsayının işareti hem kısa dönemde hem de uzun dönemde negatif yani yenilenebilir enerji tüketimi ile CO₂ emisyonu aralarında ters yönlü ilişki vardır ancak istatistiksel olarak anlamsızdır. Bu sonuç Danish ve Ulucak (2021), Vural (2021), Abbasi vd. (2021), Zheng vd. (2021) yaptıkları çalışmalarının sonuçlarıyla yön bakımından uyum sağlamaktadır. Türkiye’de yenilenebilir enerji tüketiminin CO₂ emisyonu üzerinde etkisinin anlamsız olduğunun sebebi bu ülkede enerji sisteminde yenilenebilir enerji tüketiminin payının az olmasıdır. Türkiye’de enerjiye olan talep gün geçtikçe artmaktadır ancak bu taleplerin %87’si birincil kaynaklardan temin edilirken sadece %13’ü temiz kaynaklardan karşılanmaktadır.

Tablo 6’da tahmin edilen sonuçlara göre yenilenebilir enerji tüketiminin katsayıları hem uzun dönemde hem de kısa dönemde anlamlı ve pozitifdir. Yenilenebilir enerji tüketiminde meydana gelen %1 bir artış uzun dönemde CO₂ emisyonunu %1,1297 artmasına neden olacağı tahmin edilmiştir. Kısa dönemde ise yenilenebilir enerji tüketiminde gerçekleşen %1 bir artış CO₂ emisyonunda %1,044 bir artışa sebep olacağı tahmin edilmiştir. Bu sonuç literatürde olan Khan vd. (2019), Keskingöz ve Karamelikli, Salehnia vd. (2018), Şahin (2018) tarafından yapılan çalışmaları sonucunu desteklemektedir. Türkiye’de enerjiye olan ihtiyacının %85-90 oranının çevreye en çok karbon salan kömür, petrol, gaz gibi kaynaklardan karşılanmaktadır. Dolayısıyla yenilenebilir enerji tüketimi CO₂ emisyonunun çok etkilemektedir.

Tablo 6’da ekonomik büyüme ile CO₂ emisyonunun ilişkisi uzun dönemde pozitif kısa dönemde ise negatif istatistiksel olarak anlamsız

tahmin edilmiştir. Bu çalışmada tahmin edilen ekonomik büyüme ile CO₂ emisyonu aralarındaki pozitif ilişki literatürde mevcut olan Keskingöz ve Karamelikli, Khan vd. (2019), Hepaktan ve Sertkaya(2016) tarafından yapılan çalışmalar ile desteklenmektedir. Doğrudan yabancı yatırım değişkeni CO₂ emisyonunu uzun dönemde %10 anlamlılık seviyesinde negatif etkilerken ticaret ise hem kısa dönemde hem de uzun dönemde CO₂ emisyonunu pozitif ve istatistiksel olarak anlamsız etkilemiştir. Türkiye’de ticaret ile CO₂ emisyonu aralarındaki pozitif ilişki Khan tarafından 2019 yılında Pakistan için yaptığı çalışmanın sonucuyla desteklenmektedir.

Tablo 6’da hata düzeltme modelinden elde edilen hata düzeltme terimi (ECT) de gösterilmiştir. Hata düzeltme terimi kısa dönemdeki bir değişimin ne kadar zamanda uzun dönem dengesine yakınsayacağını ifade etmektedir. Ya da kısa dönemdeki bir dengesizliğin ne kadarını bir sonraki dönemde düzleneceğini gösteren bir terimdir. Tablo 6’dan da görüldüğü üzere hata düzeltme terimi -0,9108 olarak verilmiştir. Yani kısa dönemdeki bir dengesizliğin bir sonraki dönemde %91’i ortadan kaldırılarak uzun dönem dengesine yakınsayacaktır. Tablo 7’de bazı tanımlayıcı istatistikler de yer almıştır. Bu istatistiklere göre modelde korelasyon, değişen varyans ve model kurma hatası da olmadığı tespit edilmiştir.

6. Sonuç

Bu çalışma teknolojik inovasyon, yenilenemez enerji tüketimi, yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik büyüme, ticaret ve doğrudan yabancı yatırım değişkenlerinin çevre kirliliği üzerinde etkisinin inceleyen ampirik bir çalışmadır. Bu çalışmada Türkiye’de çevre kirliliği ile ilgili yapılan çalışmalarda teknolojik inovasyon faktörünün analize dahil edilmediğinden ortaya çıkan araştırma boşluğunu doldurmayı amaçladığından ve bu amaca ulaşmak için son yıllarda çevre alanlarında çok tercih edilen yöntemi kullandığından dolayı bilimsel niteliği taşımaktadır. Çalışmada 1990-2019 dönemine ait yıllık veriler dinamik ARDL simülasyon yöntemi ile analiz edilmiştir. Zaman serilerinde en önemli konu serilerin durağanlık durumudur. Serilerin durağanlık testi ADF ve PP testleri ile yapılmıştır. Durağanlık testinin sonucu serilerin I(0) ve I(1)’de durağan olduğunu ve hiç bir değişken I(1) düzeyini geçmediğini göstermiştir. Modelin güvenilirliği ve geçerliliği için serisel korelasyon ve değişen varyans testi yapılmıştır. Yapılan testlerin sonucuna göre modelde korelasyon ve değişen varyans problemi olmadığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak Türkiye’de yenilenemez enerji tüketimi CO₂ emisyonunu hem kısa dönemde hem de uzun dönemde pozitif anlamlı düzeyde etkilerken, teknolojik inovasyon ise uzun dönem de pozitif anlamlı ve kısa dönemde ise pozitif ancak istatistiksel olarak anlamsız etkilemiştir. Yenilenebilir enerji tüketiminin hem kısa dönemde hem de uzun dönemde çevre üzerinde etkisi olumlu olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı etki etmemiştir. Ekonomik büyüme ile CO₂ emisyonunun ilişkisi uzun dönemde pozitif kısa dönemde negatifken CO₂ emisyonunu anlamlı etkilememiştir. Doğrudan yabancı yatırım değişkeni CO₂ emisyonunu uzun dönemde pozitif anlamlı ve kısa dönemde ise pozitif anlamsız etkilerken ticaret değişkenin katsayıları hem uzun dönem için hem de kısa dönem için pozitif istatistiksel olarak anlamsız tahmin edilmiştir.

Çevre ile insanların faaliyetleri kaçınılmaz biçimde etkileşim içindedir. Dolayısıyla çevresel problemler sadece devletlerin çözebileceği bir problem değildir. Devlet, yöneticiler, üreticiler ve tüketiciler çevresel sorunlarla mücadelede birlikte hareket etmelidir. İnovasyonun çevresel sorunların çözümünde bir ekonomik araç olarak kullanılabilmesi için inovasyon faaliyetlerinin sürecine çevre faktörünü kesinlikle dahil edilmesi gerekmektedir. Türkiye devleti yeşil inovasyonun artmasına odaklanan özellikle temiz enerjiye erişimi sağlayan alanlarda araştırma geliştirme

bütçesini artırmalıdır. Karar vericiler Türkiye’de fosile dayalı enerji sisteminden temiz enerjiye dayalı enerji sistemine geçmesine gereken adımlara dikkat etmelidir. Doğrudan yabancı yatırımlar çevre yönelimli inovasyon alanlarına yönlendirilmelidir. Bilim adamları konferanslar ve sosyal medya ile çevrenin ne kadar önemli olduğunu ve halkın çevreci bilinçlerinin artırılmasına çalışmalıdır. Tüketiciler ürün satın alırken çevreci ürünlere tercih vermelidir.

Turizm sektörü, ülke ekonomileri açısından öncü olan sektörler arasındadır. Özellikle 1980’li yıllardan sonra etkisini daha çok gösteren küreselleşme sürecinin yanı sıra teknolojik gelişmeler turizm sektörünü dolaylı ya da doğrudan etkilemiştir. Turizm faaliyetlerinin artması ekonomik büyüme, ihracat ve istihdam artışını da beraberinde getirmektedir. Ekonomik unsurların yanında çevresel unsurlar üzerinde değişimler de yaratmaktadır. Çevre kalitesinin göstergelerinden biri olan CO₂ emisyonu ile yakından ilişkili bir sektördür. Bu çalışmada 1990-2018 dönemine ait yıllık turist sayısı ve CO₂ emisyonu arasındaki ilişki sınanmıştır. Turizm ve çevre arasında eşbütünlük ilişkisinin olduğuna dair bulgulara Johansen eşbütünlük testi yardımıyla ulaşılmıştır. Uzun dönem katsayı tahmincilerinden olan FMOLS, DOLS ve CCR yöntemlerine göre sırasıyla turizmin CO₂ emisyonunu %0.48, %0.45 ve %0.48 oranlarında etkilediği sonucu elde edilmiştir. Bu sonuca göre turizm çevre kalitesi üzerinde negatif bir etki meydana getirmektedir. Elde edilen bu sonuç Leon vd. (2014), Doğan vd. (2015), Tandoğan ve Genç (2016), Raza vd. (2017) ve Koçak vd. (2020) çalışmalarının sonuçları ile paralellik göstermektedir.

Dünyadaki en hızlı büyüyen sektörler arasında olan turizm sektörünün iyileştirilmesi ile ekonomideki katkısının artırılması için çevresel maliyetler göz önünde bulundurularak çeşitli önlemler alınmalıdır. Özellikle iş birliği içinde ve planlamalar doğrultusunda çevreye verilen zararın en aza indirgenmesi için çalışmalar yapılmalıdır. İktisadi karar vericilerin düşük karbon emisyonu hedefi doğrultusunda eylemler gerçekleştirmesi gerekmektedir. Karbon emisyonunun artışını engellemek adına çevreye zarar vermeyen yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artırılmalı ve teşvik edilmelidir. Enerji verimliliğinin artırılmasında etkili olan yöntemlere başvurulmalıdır. Düşük karbon emisyonuna yönelik oluşturulan uluslararası platformların ortaya koyduğu reçetelerin uygulanması sağlanmalıdır. Küresel çapta alınan önlemlerin uygulanmaması durumunda o ülke ekonomisine ait yaptırımlar uygulanmalıdır.

Yazar Katkı Oranı Beyanı

Tüm süreç, yazarlar tarafından ortak olarak yürütülmüştür.

Çatışma Beyanı

Çalışmada yazarlar arasında çıkar çatışması yoktur.

Destek Beyanı

Bu çalışma için herhangi bir kurumdan destek alınmamıştır.

Kaynaklar

Abbasi, K. R., Adedoyin, F. F., Abbas, J., & Hussain, K. (2021). The impact of energy depletion and renewable energy on CO₂ emissions in Thailand: Fresh evidence from the novel dynamic ARDL simulation. *Renewable Energy*, 180, 1439-1450.

- Akbulut Bekar, S., & Terzi, H. (2018). The relationship between CO₂ emission and trade openness in Turkey. *Atatürk University Journal of Economics & Administrative Sciences*, 32(1), 83-98.
- Aytun, C., & Akın, C. S. (2015). Türkiye’de karbondioksit emisyonu, enerji tüketimi ve eğitim ilişkisi: bootstrap nedensellik analizi. *I. International Symposium on Eurasia Energy Issues*, İzmir.
- Bayar, Y., & Şaşmaz, M. Ü. (2016). Karbon vergisi, ekonomik büyüme ve CO₂ emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisi: Danimarka, Finlandiya, Hollanda, İsveç ve Norveç örneği. *International Journal of Applied Economic and Finance Studies*, 1(1), 32-41.
- Büyükyılmaz, A., & Mert, M. (2015). CO₂ emisyonu, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin MS-VAR yaklaşımı ile modellenmesi: Türkiye örneği. *Zeitschrift für die Welt der Türken/Journal of World of Turks*, 7(3), 103-117.
- Chen, W., & Lei, Y. (2018). The impacts of renewable energy and technological innovation on environment-energy-growth nexus: New evidence from a panel quantile regression. *Renewable Energy*, 123, 1-14.
- Cheng, C., Ren, X., Dong, K., Dong, X., & Wang, Z. (2021). How does technological innovation mitigate CO₂ emissions in OECD countries? Heterogeneous analysis using panel quantile regression. *Journal of Environmental Management*, 280, 111818.
- Chien, F., Ajaz, T., Andlib, Z., Chau, K. Y., Ahmad, P., & Sharif, A. (2021). The role of technology innovation, renewable energy and globalization in reducing environmental degradation in Pakistan: A step towards sustainable environment. *Renewable Energy*, 177, 308-317.
- Du, K., Li, P., & Yan, Z. (2019). Do green technology innovations contribute to carbon dioxide emission reduction? Empirical evidence from patent data. *Technological Forecasting and Social Change*, 146, 297-303.
- Erdoğan, S., Yıldırım, S., Yıldırım, D. Ç., & Gedikli, A. (2020). The effects of innovation on sectoral carbon emissions: evidence from G20 countries. *Journal of Environmental Management*, 267, 110637.
- Hashmi, R., & Alam, K. (2019). Dynamic relationship among environmental regulation, innovation, CO₂ emissions, population, and economic growth in OECD countries: A panel investigation. *Journal of Cleaner Production*, 231, 1100-1109.
- Hassan, S. T., Khan, D., Zhu, B., & Batool, B. (2022). Is public service transportation increase environmental contamination in China? The role of nuclear energy consumption and technological change. *Energy*, 238, 121890.
- Hepektan, E., & Sertkaya, Y. (2016). Türkiye’de elektrik tüketimi, kişi başına gsyih, co₂ emisyonu ve petrol tüketimi ilişkisi. *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(12), 163-182.
- İEA. (2021). *Uluslararası enerji ajansı*. <https://www.iea.org/countries/turkey> (Erişim Tarihi: 02.04.2022)
- Jordan, S., & Philips, A. Q. (2018). Cointegration testing and dynamic simulations of autoregressive distributed lag models. *The Stata Journal*, 18(4), 902-923.
- Karaaslan, A., Hayri, A. B. A. R., & Çamkaya, S. (2017). CO₂ salınımı üzerinde etkili olan faktörlerin araştırılması: OECD ülkeleri üzerine ekonometrik bir araştırma. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21(4), 1297-1310.
- Khan, A., Chenggang, Y., Hussain, J., & Kui, Z. (2021). Impact of technological innovation, financial development and foreign direct investment on renewable energy, non-renewable energy and the environment in belt & road initiative countries. *Renewable Energy*, 171, 479-491.
- Khan, M. K., Teng, J. Z., Khan, M. I., & Khan, M. O. (2019). Impact of globalization, economic factors and energy consumption on CO₂ emissions in Pakistan. *Science of the Total Environment*, 688, 424-436.
- Khan, M., & Ozturk, I. (2021). Examining the direct and indirect effects of financial development on CO₂ emissions for 88 developing countries. *Journal of Environmental Management*, 293, 112812.
- Nihat, I., & Kılıç, E. (2014). Ulaştırma sektöründe CO₂ emisyonu ve enerji arge harcamaları ilişkisi. *Sosyoekonomi*, 22(22), 321-346.
- Rüşen, S. E., & Mücahid, K. (2019). Enerji tüketim ve CO₂ salınım değerlerinin analizi; bir gıda fabrikası örneği. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(4), 1478-1488.
- Rüstemoğlu, H. (2021). Türkiye’de konut sektörü, ticari hizmetler ve kamu hizmetlerinin CO₂ emisyonlarının 1990-2017 dönemi için incelenmesi. *Akdeniz İİBF Dergisi*, 21(1), 56-67.
- Salehnia, N., Alavijeh, N. K., & Salehnia, N. (2020). Testing porter and pollution haven hypothesis via economic variables and CO₂ emissions: a cross-country review with panel quantile regression method. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(25), 31527-31542.
- Ulucak, R. (2021). Renewable energy, technological innovation and the environment: A novel dynamic auto-regressive distributive lag simulation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150, 111433.
- Ünzüle, K., Kiliç, C., & Özekicioğlu, H. (2019). Doğrudan yabancı yatırımların CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi: Türkiye için ARDL sınır testi yaklaşımı. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 22(1), 213-224.
- Uysal, D., & Yapraklı, H. (2016). Kişi başına düşen gelir, enerji tüketimi ve karbondioksit (CO₂) emisyonu arasındaki ilişkinin yapısal kırılmalar altında analizi: Türkiye örneği. *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 16(31), 186-202.
- Vural, G. (2021). Analyzing the impacts of economic growth, pollution, technological innovation and trade on renewable energy production in selected Latin American countries. *Renewable Energy*, 171, 210-216.
- WDI. (2021). *Dünya Bankası*. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators> (Erişim: 02.06.2022)
- Yiğit, S. (2014). İnovasyonun çevreci yüzü ve Türkiye. *Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(1), 251-265.
- Zheng, H., Song, M., & Shen, Z. (2021). The evolution of renewable energy and its impact on carbon reduction in China. *Energy*, 237, 121639.