Research Paper

The Effect of Renewable Energy Consumption on Reducing Carbon Emissions (With Emphasis on Wind and Solar Energy)

Seyyed Mohammad Ghaem Zabihi*[1], Fatemeh Akbari[2], Narges Salehnia[3]

[1] Ph.D. Student in Economics, Faculty of Administrative and Economic Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, Email: smq.zabihi@mail.um.ac.ir
[2] Master's Student in Economics, Faculty of Administrative and Economic Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, Email: akbari.fa@mail.um.ac.ir
[3] Assistant Professor and Faculty Member of the Department of Economics, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Email: n.salehnia@um.ac.ir

10.22080/jeem.2023.4527

Received:
September 18, 2023
Accepted:
October 21, 2023
Available online:
November 22, 2023

Keywords:
Renewable Energy, Wind Energy, Solar Energy, Carbon Emissions, Quantile-on-Quantile Regression
JEL Classification:
Q42, Q48, Q54

Abstract

Renewable energies can reduce greenhouse gas (GHG) emissions. However, in previous studies, less attention has been paid to their role by emphasizing two wind and solar energy sources in applied research. Therefore, the current research seeks to investigate the role of per capita consumption of renewable energy, wind, and solar energy in reducing per capita carbon emissions (CO2) by using the very new approach of quantile-on-quantile regression (QQR) modeling in the annual period from 1990 to 2021 and for Group of 7 (G7) countries. The QQR econometric approach investigates how the per capita consumption quotients of renewable, wind, and solar energy asymmetry affect the per capita CO2 emission quantities by providing a sufficient framework to understand the overall dependence structure. The results show that using renewable energy, especially wind and solar energy, as an alternative to traditional energy sources (fossil energy) can significantly reduce carbon emissions. More precisely, it can be concluded that the per capita consumption of renewable energy and the per capita consumption of wind and solar energy has hurt the per capita carbon emissions in all G7 countries and all quantiles (0.05 to 0.95), although, in some quantiles, this negative relationship was weaker. In this way, the need to pay attention to the development policies of renewable and new energies and to provide solutions to have a more significant impact on reducing CO2 emissions in the environment is of great importance.

© 2023 UMZ. All rights reserved.

*Corresponding Author: Seyyed Mohammad Ghaem Zabihi
Address: Mashhad, Azadi Square, Ferdowsi University of Mashhad
Tel: 38804506-056
Email: smq.zabihi@mail.um.ac.ir

Extended Abstract

1. Introduction

Climate change has become a global issue that transcends borders (Kirikkaleli & Adebayo, 2021; Miao et al., 2019). The main driver of this phenomenon is widely attributed to the increase in the level of greenhouse gases (GHG), especially carbon dioxide (CO_2). CO_2 emissions are inevitably linked to energy consumption. Since energy is considered the essential support of the development of modern societies, from this point of view, with the development of the global economy and population growth, the demand for energy in human societies has increased significantly. The world economy has relied on fossil fuels, the primary source of greenhouse gas emissions, to meet sustainable energy needs. However, efforts have begun to replace conventional energy with renewable energy. However, global growth in renewable energy capacity is expected to be slow, with only a 50% increase predicted between 2019 and 2024 (International Energy Agency, 2019). However, under different scenarios, renewable energy sources have the potential to meet half of the world's energy needs by 2050 borders (Kirikkaleli & Adebayo, 2021). Wind and solar energy can transform the global electricity sector among the various low-carbon technology options. This requires increasing the global cumulative capacity of onshore wind farms by 2050 (to 5044 GW) and offshore wind capacity to nearly 1000 GW by 2050. Also, solar PV capacity is expected to grow almost six times over the next three decades (International Renewable Energy Agency, 2019).

2. Material and Method

The quantile regression (QQR) method, initially proposed by Sim and Zhou (2015), provides a new approach to analyzing bivariate equations. It is also helpful in investigating the complex relationship between the lower and upper quantiles of the data series. As a result, the QQR method provides a more accurate analysis (Yu et al., 2022). This research uses the QQR approach to investigate the comprehensive relationship between CO_2 emissions per capita and the use of renewable energies, wind and solar per capita. This model focuses on how an independent variable's quantiles affect different dependent variables' quantiles. As a result, the quantile-on-quantile (QQR) method provides a valuable tool for performing more robust analyses instead of traditional techniques such as OLS and ordinary quantile regression (Yu et al., 2022). To investigate the effect of per capita use of renewable energy, per capita use of wind and solar energy on per capita carbon emissions, the econometric model based on equation 1 has been specified based on the theoretical literature:

$$Co_{2t} = \beta_0 + \beta_1(PRE_t) + \beta_2(PCW_t) + \beta_3(PCS_t) + \varepsilon_t \quad (1)$$

In equation 1, CO_2 represents per capita carbon emissions, PRE represents per capita use of renewable energy, PCW represents per capita use of wind energy, PCS represents per capita use of solar energy, and ε is part of the model error. Before estimating the quantile-on-quantile model, pre-estimation (tests Descriptive test, mean value of variables, diagnostic test (disruption component autocorrelation test), correlation test, Johansen cointegration test, dependent variable normality test (per capita carbon emission)), and finally estimation of the quantile-on-quantile model have been

Zabihi, Seyyed Mohammad Ghaem. Akbari, Fatemeh and Salehnia, Narges (2023). The Effect of Renewable Energy Consumption on Reducing Carbon Emissions (With Emphasis on Wind and Solar Energy), *Journal of Energy Economics Modeling*, 1(1): 7-40.

done. It is worth mentioning that the analyses were carried out based on Eviews12 and Matlab2022 software.

3. Findings

The results obtained from quantitative regression (QQR) show that transitioning to renewable energy sources as an alternative to fossil fuels can significantly reduce greenhouse gas emissions. These findings appear valid and effective in different quantities for the G7 countries studied, including Germany, France, the United Kingdom, and the United States, and to some extent for Italy, Japan, and Canada in specific quantities. In addition, this research emphasizes empirical evidence supporting the advancement of renewable energy development to achieve sustainable development and foster a more environmentally sustainable future. This insight has far-reaching implications for policymakers and stakeholders pursuing greener, more sustainable energy practices.

4. Conclusions

To develop and promote renewable energy as a vital step toward achieving a more sustainable environment, this research highlights several key recommendations:

1. Effective government policies: Effective policies are necessary to promote the adoption of renewable energy, including incentives, targets to support the growth of renewable energy sources and carbon pricing.

2. Green technologies: It is necessary to encourage production units to adopt green technologies through regulatory incentives.

3. Gradual elimination of non-renewable energy subsidies: Moving away from subsidizing non-renewable energy sources and directing those sources towards renewable energy technologies is essential in promoting sustainability.

Overall, this research's recommendations are consistent with the broader global goal of transitioning to a more sustainable and environmentally friendly energy landscape to reduce environmental threats and ensure a cleaner future.

Funding

There is no funding support.

Authors' contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing. All authors approved the manuscript's content and agreed on all aspects of the work.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We appreciate all the scientific consultants in this paper.

علمی

اثر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر بر کاهش انتشار کربن (با تأکید بر انرژی‌های بادی و خورشیدی)

سیدمحمدقائم ذبیحی[1*]، فاطمه اکبری[2]، نرگس صالح‌نیا[3]

[1] دانشجوی دکتری علوم اقتصادی، دانشکدهٔ علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، ایمیل: smq.zabihi@mail.um.ac.ir
[2] انشجوی کارشناسی ارشد علوم اقتصادی، دانشکدهٔ علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، ایمیل: akbari.fa@mail.um.ac.ir
[3] استادیار و عضو هیأت علمی گروه اقتصاد، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. ایمیل: n.salehnia@um.ac.ir

10.22080/jeem.2023.4527

تاریخ دریافت:
۲۷ شهریور ۱۴۰۲
تاریخ پذیرش:
۲۹ مهر ۱۴۰۲
تاریخ انتشار:
۰۱ آذر ۱۴۰۲

چکیده

انرژی‌های تجدیدپذیر توانایی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG) را دارند؛ اما در مطالعات قبلی، کم‌تر به نقش آن‌ها با تأکید بر دو منبع انرژی بادی و خورشیدی در قالب یک پژوهش کاربردی توجه شده است. ازاین‌رو، پژوهش حاضر به دنبال بررسی نقش مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی‌های بادی و خورشیدی در کاهش انتشار سرانهٔ کربن (CO_2) با بهره‌گیری از رویکرد بسیار جدید و تازه مدل‌سازی رگرسیون کوانتایل بر کوانتایل (QQR) در بازهٔ زمانی سالانه ۱۹۹۰ الی ۲۰۲۱ و برای کشورهای گروه ۷ (G7) است. رویکرد اقتصادسنجی QQR به بررسی نحوهٔ تأثیرگذاری نامتقارن چندک‌های مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی‌های بادی و خورشیدی بر کمیت‌های انتشار سرانهٔ CO_2 با ارائهٔ یک چارچوب کافی برای درک ساختار وابستگی کلی می‌پردازد. نتایج حاصله مبین آن است که استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و به‌ویژه انرژی‌های بادی و خورشیدی به‌عنوان جایگزینی برای منابع انرژی‌های سنتی (انرژی‌های فسیلی)، می‌توانند منجر به کاهش قابل‌توجهی در انتشار کربن شوند. به‌صورت دقیق‌تر می‌توان به این مهم دست یافت که مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر و مصرف سرانهٔ انرژی‌های بادی و خورشیدی بر انتشار سرانهٔ کربن در تمامی کشورهای گروه هفت و در تمامی کوانتایل‌های (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) تأثیری منفی داشته است؛ اگرچه در برخی از کوانتایل‌ها این ارتباط منفی ضعیف‌تر بوده است. بدین ترتیب، لزوم توجه به سیاست‌های توسعهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر و نو و ارائهٔ راهکارهایی جهت تأثیرگذاری بیش‌تر بر کاهش انتشار CO_2 در محیط زیست از اهمیت بالایی برخوردار است.

کلیدواژه ها:
انرژی‌های تجدیدپذیر؛ انرژی بادی؛ انرژی خورشیدی؛ انتشار کربن؛ رگرسیون کوانتایل بر کوانتایل
طبقه‌بندی:
Q42, Q48, Q54

©کلیه حقوق اثر متعلق به دانشگاه مازندران است

* **نویسنده مسئول:** سیدمحمدقائم ذبیحی
آدرس: دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
تلفن: ۰۵۶-۳۸۸۰۴۵۰۶
ایمیل: smq.zabihi@mail.um.ac.ir

۱ مقدمه

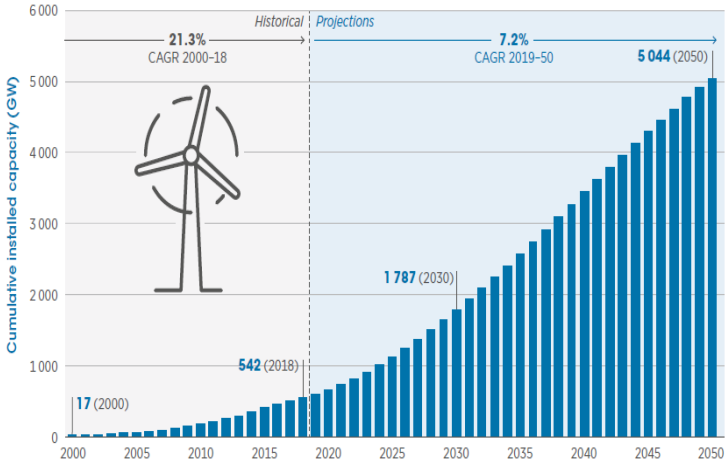
امروزه تغییرات آب‌وهوایی یک معضل جهانی بوده که از مرزهای ملی فراتر رفته است (میائو و همکاران[۱]، ۲۰۱۹؛ کریکالِلی و آدبایو[۲]، ۲۰۲۱). ازاین‌رو، باور مشترک عمومی بر این است که علت اصلی تغییرات اقلیمی افزایش گازهای گلخانه‌ای[۳] به‌ویژه دی‌اکسیدکربن[۴] است که اکنون در بالاترین سطح تاریخی خود قرار دارد (رئوف و همکاران[۵]، ۲۰۲۰؛ آددوین و همکاران[۶]، ۲۰۲۰). همچنین پس از دهۀ ۱۹۹۰، انتشار کربن کشورهای تازه صنعتی‌شده از کشورهای توسعه‌یافته پیشی گرفت (شان و همکاران[۷]، ۲۰۲۱). پیامدهای شدید این موضوع، تصویب توافق‌نامۀ پاریس را در سال ۲۰۱۵ ضروری کرد که کشورهای سراسر جهان را ملزم می‌کرد تا نسبت به چالش‌های ناشی از تغییرات آب‌وهوایی هوشیارتر باشند.

انتشار کربن به طور اجتناب‌ناپذیری با مصرف انرژی مرتبط است؛ چراکه انرژی به‌عنوان پشتوانۀ اساسی برای توسعۀ جوامع مدرن قلمداد می‌شود. از این منظر، با توسعۀ اقتصاد جهانی و رشد جمعیت، تقاضا برای انرژی در جوامع انسانی به میزان قابل‌توجهی افزایش یافته است (خو و همکاران[۸]، ۲۰۱۹). در همین راستا، اقتصاد جهانی به سوخت‌های فسیلی جهت برآورده‌کردن نیازهای انرژی پایدار متکی بوده که این مهم، منبع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای است (کوئنگکان و همکاران[۹]، ۲۰۱۸). اگرچه منابع انرژی تجدیدناپذیر (سوخت‌های فسیلی) نقش مهمی در تسهیل رشد اقتصادی بیش‌تر کشورها، به‌ویژه کشورهای درحال‌توسعه دارند (مرشد و همکاران[۱۰]، ۲۰۲۲)، بااین‌حال، مصرف بیش از حد این منابع تأمین انرژی به‌تدریج ظرفیت تحمل محیط‌زیست را که بشر به آن وابسته است، کاهش داده و به‌طورجدی مانع توسعۀ پایدار اقتصادی در اکثر کشورهای جهان شده است (ظفر و همکاران[۱۱]، ۲۰۱۹؛ آددوین و همکاران، ۲۰۲۰). پیش‌بینی می‌شود که محتوای کربن موجود در ترکیب منابع انرژی‌های تجدیدناپذیر عامل ۶۸ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای باشد، درحالی‌که زغال‌سنگ و سایر سوخت‌های فسیلی ۳۲ درصد باقی‌مانده را تشکیل می‌دهند (آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر[۱۲]، ۲۰۱۹). بدین ترتیب، کاهش سوخت‌های رایج و به‌تبع آثار منفی زیست‌محیطی آن‌ها، جست‌وجوی جهانی برای منابع انرژی جایگزین پایدار و سازگار با محیط‌زیست را ترویج می‌کند (ناتانیل[۱۳]، ۲۰۱۹؛ یورتکوران[۱۴]، ۲۰۲۱).

نوآوری فناوری، تلاش‌ها را برای جایگزینی یک منبع انرژی جایگزین با منابع متعارف تحریک کرده است و راندمان دریافت انرژی را از منابع تجدیدپذیر افزایش داده است. بااین‌حال، انتظار می‌رود کل ظرفیت انرژی مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر جهان بین سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۴؛ ۵۰ درصد رشد کند (آژانس بین‌المللی انرژی[۱۵]، ۲۰۱۹) که می‌تواند منجر به کاهش اثرات تغییرات اقلیمی شود. همچنین تحت سناریوهای مختلف ارائه شده، منابع انرژی تجدیدپذیر می‌توانند نیمی از تقاضای انرژی جهان را تا سال ۲۰۵۰ تأمین کنند و درنتیجه از تخریب اکوسیستم توسط فعالیت‌های انسانی جلوگیری نمایند (آدبایو و کریکالِلی، ۲۰۲۱).

[1] Miao et al.
[2] Kirikkaleli and Adebayo
[3] Green House Gaes
[4] CO_2
[5] Rauf et al.
[6] Adedoyin et al.
[7] Shan et al.
[8] Xu et al.
[9] Koengkan et al.
[10] Murshed et al.
[11] Zafar et al.
[12] International Renewable Energy Agency, https://www.irena.org/publications/2019/Jul/Renewable-energy-statistics-2019.
[13] Nathaniel
[14] Yurtkuran
[15] International Energy Agency (IEA), https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019.

در این راستا، در میان تمام گزینه‌های فناوری کم‌کربن، انرژی‌های بادی و خورشیدی راه را برای دگرگونی بخش برق جهانی هدایت خواهند کرد. انرژی بادی واقع در ساحل[1] و فراساحلی[2] بیش از یک‌سوم (۳۵ درصد) کل برق مورد نیاز جهانی را تولید می‌کنند و تا سال ۲۰۵۰ به منبع تولید مهمی تبدیل خواهند شد. چنین دگرگونی تنها با افزایش ظرفیت منصوبهٔ انرژی بادی در طی سه دههٔ آینده امکان‌پذیر است. مطابق شکل ۱، این امر مستلزم افزایش ظرفیت تجمعی جهانی نیروگاه‌های بادی واقع در ساحل بیش از سه برابر تا سال ۲۰۳۰ (به ۱۷۸۷ گیگاوات) و ۹ برابر تا سال ۲۰۵۰ (به ۵۰۴۴ گیگاوات) در مقایسه با ظرفیت نصب‌شده در سال ۲۰۱۸ (۵۴۲ گیگاوات) است. همچنین برای نیروگاه‌های بادی فراساحلی، ظرفیت نصب‌شدهٔ تجمعی جهانی تا سال ۲۰۳۰ (به ۲۲۸ گیگاوات) و تا سال ۲۰۵۰ تقریباً ده برابر خواهد شد و مجموع این نیروگاه‌ها نزدیک به ۱۰۰۰ گیگاوات تا سال ۲۰۵۰ خواهد رسید (آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر، ۲۰۱۹).



شکل ۱. ظرفیت تجمعی جهانی نیروگاه‌های بادی واقع در ساحل (۲۰۵۰-۲۰۰۰)

مأخذ: آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر

در کنار انرژی بادی، انرژی خورشیدی یک گزینهٔ قابل دوام دیگر است؛ زیرا یک منبع انرژی پاک، تجدیدپذیر و به طور گسترده در دسترس است (هرِهر و کناوی[3]، ۲۰۲۰؛ ماگازینو و همکاران[4]، ۲۰۲۱). بااین‌حال، به دلیل تلاش‌های جهانی برای بهبود دسترسی پایدار به انرژی و امنیت عرضهٔ انرژی و همچنین برای مبارزه با تغییرات آب‌وهوایی، انرژی خورشیدی به‌سرعت در حال تغییرات فزاینده است (عثمان و همکاران[5]، ۲۰۲۰). استقرار سریع انرژی فتوولتائیک خورشیدی به‌تنهایی می‌تواند منجر به کاهش قابل‌توجه انتشار ۴/۹ گیگا تن دی‌اکسیدکربن در سال ۲۰۵۰ شود که نشان‌دهندهٔ ۲۱ درصد از کل پتانسیل کاهش انتشار در بخش انرژی است. تا سال ۲۰۵۰؛ خورشیدی فتوولتائیک دومین منبع تولید برق، پس از انرژی بادی خواهد بود و راه را برای دگرگونی بخش برق جهانی پیش می‌برد. شایان گفتن است، فتوولتائیک خورشیدی یک‌چهارم (۲۵ درصد) از کل نیاز برق جهان را تولید می‌کند و تا سال ۲۰۵۰ به یکی از منابع تولید مهم تبدیل می‌شود. چنین تغییر شکلی تنها با افزایش قابل‌توجه ظرفیت فتوولتائیک خورشیدی در سه دههٔ آینده امکان‌پذیر است. این امر مستلزم افزایش

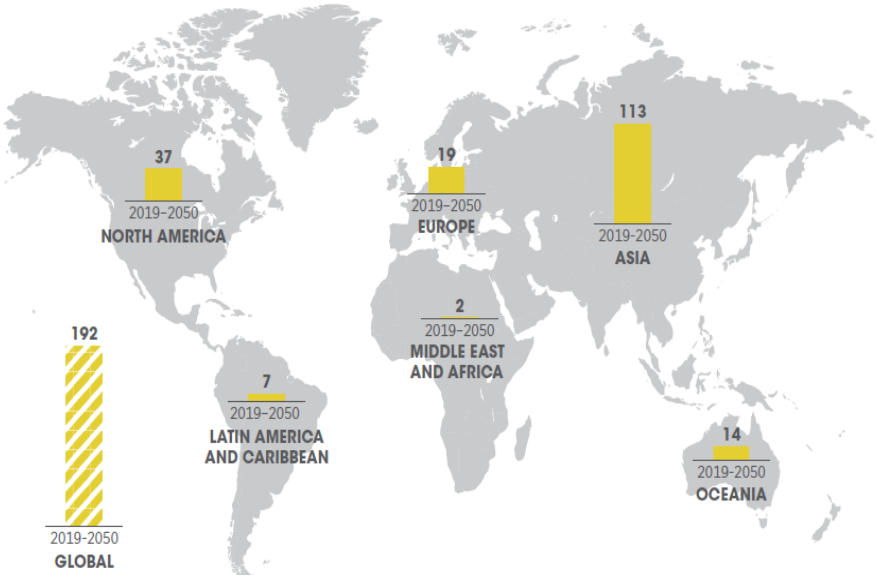
[1] Onshore
[2] Offshore
[3] Hereher and Kenawy
[4] Magazzino et al.
[5] Usman et al.

تقریباً شش برابری ظرفیت کل فتوولتائیک خورشیدی طی ده سال آینده است (از مجموع ۴۸۰ گیگاوات جهانی در سال ۲۰۱۸ به ۲۸۴۰ گیگاوات تا سال ۲۰۳۰ و به ۸۵۱۹ گیگاوات تا سال ۲۰۵۰؛ افزایش تقریباً هجده برابری نسبت به سال ۲۰۱۸) (آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر، ۲۰۱۹).

همچنین مطابق شکل ۲، در سطح منطقه‌ای انتظار می‌رود، منطقهٔ آسیا موج نصب‌های ظرفیت فتوولتائیک خورشیدی را به حرکت درآورد و جزء رهبران جهان در انرژی فتوولتائیک خورشیدی باشد. آسیا (بیش‌تر چین) از نظر کل ظرفیت نصب‌شده، با سهمی بیش از ۵۰ درصد تا سال ۲۰۵۰، به تسلط بر بازار انرژی فتوولتائیک خورشیدی ادامه خواهد داد (آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر، ۲۰۱۹). همچنین در ادامه، آمریکای شمالی، اروپا، اقیانوسیه، آمریکای لاتین، خاورمیانه و آفریقا در جایگاه‌های بعدی افزایش ظرفیت منصوبهٔ انرژی خورشیدی در افق ۲۰۵۰ خواهند بود. بدین ترتیب، پژوهش حاضر تمرکز خود را به بررسی آثار مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر، مصرف سرانهٔ انرژی بادی و مصرف سرانهٔ انرژی خورشیدی بر انتشار سرانهٔ کربن در کشورهای گروه ۷[1] گذاشته است. این کشورها به‌عنوان اقتصادهای بزرگ و تأثیرگذار در سطح جهانی شناخته می‌شوند. همچنین، آن‌ها در تعیین سیاست‌های انرژی و محیط‌زیست جهانی نیز نقش مهمی دارند. تجربیات و نتایج بررسی در این کشورها می‌تواند به‌عنوان الگویی برای سایر کشورها عمل کند و در توسعهٔ سیاست‌های سبز و کاهش انتشار سرانهٔ کربن در سطح جهانی مؤثر باشد. همچنین، کشورهای گروه ۷ دارای منابع و تکنولوژی مناسبی در زمینهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر هستند که می‌تواند به گسترش استفاده از این منابع در سطح جهانی کمک کند.

شایان گفتن است، اگرچه ایشیک و همکاران[2] (۲۰۲۳) به مطالعهٔ رابطهٔ بین مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و انتشار کربن در کشورهای بریکس و جی ۷ با استفاده از تکنیک‌های اقتصادسنجی پنل (ARDL)، برآوردگر میانگین گروه[3] (PMG) و اثرات همبسته مشترک[4] (CCE) پرداخته‌اند؛ یا سادورسکی[5] (۲۰۰۹) که به بررسی رابطهٔ بین انرژی‌های تجدیدپذیر و انتشار کربن در کشورهای جی ۷ با استفاده از مدل‌های (FMOLS) و (DOLS) پرداخته و یا همین‌طور وومیک و همکاران[6] (۲۰۲۳) که این ارتباط را با کمک تکنیک‌های رگرسیون کوانتایل و روش گشتاورهای تعمیم‌یافته[7] (GMM) بررسی کرده‌اند، اما ایدهٔ این پژوهش در راستای بررسی آثار مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر با تأکید بر مصرف سرانهٔ انرژی‌های بادی و خورشیدی از بداعت بسیار بالایی برخوردار است. همچنین این پژوهش با روش‌شناسی تازه‌ای تحت عنوان رگرسیون کوانتایل بر کوانتایل[8] به دنبال بررسی نتایج مربوطه خواهد بود. شایان گفتن است که تا زمان نگارش این پژوهش هیچ مطالعهٔ داخلی مبنی بر استفاده از این روش‌شناسی یافت نشده است. بدین ترتیب، پژوهش حاضر دارای نوآوری‌های محسوسی در زمینهٔ موضوعی، تکنیکی و جامعهٔ مورد مطالعه (دورهٔ زمانی) است. ازاین‌رو، نتایج حاصله می‌توانند بسیار نوآور و حائز اهمیت باشند.

[1] G7
[2] Işık et al.
[3] Pool means group (PMG)
[4] Common correlated effects (CCE) estimator
[5] Sadorsky
[6] Voumik et al.
[7] Generalized method of moments (GMM)
[8] Quantile-on-quantile regression (QQR)



شکل ۲. ظرفیت فتوولتائیک خورشیدی در جهان

مأخذ: آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر

بدین ترتیب، هدف پژوهش حاضر، ارائهٔ یک ارزیابی دقیق از ارتباط بین مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر با تأکید بر مصرف سرانهٔ انرژی‌های بادی و خورشیدی بر انتشار سرانهٔ کربن‌دی‌اکسید در کشورهای گروه ۷ است. ازاین‌رو، در بخش دوم ادبیات پژوهش مبانی نظری و پیشینهٔ تحقیق، در بخش سوم روش‌شناسی مورد استفاده، در بخش چهارم به تحلیل نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌سازی کوانتایل بر کوانتایل و در نهایت در بخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات ارائه خواهند گشت.

۲ ادبیات پژوهش

بی‌شک سطح آلودگی منتشرشده در اتمسفر از ابتدای عصر صنعتی‌شدن به میزان قابل‌توجهی افزایش یافته است. متعاقباً، در چند دههٔ اخیر، تغییرات اقلیمی به‌عنوان مشکل اصلی زیست‌محیطی پیشروی جهان شناخته شده که یک پدیدهٔ مهم ناشی از تعاملات پیچیده بین دو پارامتر متمایز انرژی و محیطزیست است. انرژی برای تولید اقتصادی و درنتیجه رشد اقتصادی و توسعهٔ جوامع بسیار ضروری است، اما منبع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز است. ضرورت کاهش انتشار کربن امروزه بیش از هر زمان دیگری حیاتی است. ازاین‌رو، انرژی‌های تجدیدپذیر یکی از مهم‌ترین پتانسیل‌های مقرون‌به‌صرفه برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط با بخش انرژی هستند. افزایش عرضهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر امکان جایگزینی منابع انرژی کم‌کربن را فراهم می‌کند؛ اما سوخت‌های فسیلی همچنان نقشی اساسی در سیستم انرژی جهان دارند. در حال حاضر، تقریباً ۸۱ درصد از کل انرژی اولیه در جهان از سوخت‌های فسیلی به دست می‌آید که در این بین، نفت ۳۱/۹ درصد، زغال‌سنگ ۲۷/۱ درصد و گاز طبیعی ۲۲/۱ درصد نقش دارند. در کمال ناباوری تنها ۱/۷ درصد از انرژی اولیهٔ جهان از منابع انرژی زمین گرمایی، باد، خورشید یا سایر منابع انرژی جایگزین به دست می‌آید (آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۱۹).

در این زمینه، چندین کشور به تأثیرات تغییرات اقلیمی توجه زیادی دارند و راه‌هایی را برای سازگاری با تأثیرات نامطلوب با توسعهٔ استراتژی‌هایی با هدف یافتن راه‌حل‌هایی برای این مشکل در نظر می‌گیرند. تشویق به سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر و فناوری‌های کم‌کربن یک چالش کلیدی برای دست‌یابی به اهداف کاهش آلاینده خواهد بود،

سرمایه‌گذاری اولیه در انرژی‌های تجدیدپذیر به مقدار اولیهٔ قابل توجهی نیاز دارد (مارکز و فوئیناس[1]، ۲۰۱۲؛ اوکال و اصلان[2]، ۲۰۱۳) و هزینهٔ مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر نسبتاً بالاتر از انرژی‌های تجدیدناپذیر است (آستاریز و ایگلسیاس[3]، ۲۰۱۵). بااین‌حال، در سال‌های اخیر پیشرفت‌هایی در فناوری‌های مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر وجود داشته است (روبین و همکاران[4]، ۲۰۱۵). علاوه بر این، هزینهٔ مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در طول سال‌های گذشته رو به کاهش بوده است (آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر، ۲۰۱۹) و فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر با افزایش سرمایه‌گذاری‌های تحقیق و توسعه (R&D) پیشرفت‌های قابل‌توجهی را تجربه نموده‌اند (شیلینگ و اسموندو[5]، ۲۰۰۹).

افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر دارای مزایای بالقوهٔ بسیاری از جمله کاهش گرمایش زمین، تنوع منابع انرژی و کاهش وابستگی به بازار انرژی سوخت‌های فسیلی است. علاوه بر این، پروژه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر امکان جایگزینی منابع انرژی فشردهٔ کربن را می‌دهند. صنعت انرژی‌های تجدیدپذیر نیروی کار بیش‌تری دارد؛ بنابراین، افزایش عرضهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر پتانسیل تحریک اشتغال را از طریق ایجاد شغل در فناوری‌های انرژی سبز دارد. در میان انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی بادی و انرژی خورشیدی باعث کم‌ترین میزان انتشار کربن می‌شوند. به‌عبارت‌دیگر، انرژی‌های بادی و خورشیدی باعث آلودگی محیطی نمی‌شوند (حداقل به میزان انرژی‌های فسیلی نیست) و منابع انرژی سازگار با محیط زیست، پاک و بسیار قابل اعتماد هستند. همهٔ این ویژگی‌ها، انرژی‌های بادی و خورشیدی را به یک منبع انرژی تبدیل می‌کنند که باید به‌جای سوخت‌های فسیلی استفاده شوند. انتخاب انرژی‌های بادی و خورشیدی که باعث حداقل انتشار کربن می‌شوند، مزایای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی همراه با افزایش بهره‌وری انرژی و همچنین کاهش گرمایش زمین را به همراه خواهد داشت. در ادامه به بررسی پیشینهٔ مطالعات تجربی بر اساس منطبق‌ترین مطالعات پرداخته شده است (جدول ۱).

[1] Marques and Fuinhas
[2] Ocal and Aslan
[3] Astariz and Iglesias
[4] Rubin et al.
[5] Schilling and Esmundo

جدول ۱. پیشینهٔ مطالعات تجربی

هدف	نویسندگان (سال)	یافته‌ها
بررسی تأثیر منابع مالی سبز و انرژی‌های تجدیدپذیر بر شدت کربن در ۱۰ اقتصاد آسیایی با کمک مدل تأخیر توزیع‌شده خودرگرسیون پانل۲	دو۱ (۲۰۲۳)	این مطالعه از مدل تأخیر توزیع‌شده خودرگرسیون پانل برای به‌دست‌آوردن تخمین‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت در چندین چندک استفاده کرده است. برآوردهای کوتاه‌مدت و بلندمدت مبین آن بوده که مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر تنها در بلندمدت در همهٔ چندک‌ها تأثیر منفی و معنی‌داری بر شدت کربن داشته است.
بررسی رابطهٔ بین مصرف انرژی تجدیدپذیر، مصرف انرژی غیرقابل‌تجدید، انتشار کربن و رشد اقتصادی در چین، هند، بنگلادش، ژاپن، کره جنوبی و سنگاپور با استفاده از تکنیک‌های برآورد پانل میانگین افزایش‌یافته گروه (AMG) در بازهٔ زمانی سالیانه ۱۹۷۵ تا ۲۰۲۰	ژانگ و همکاران۳ (۲۰۲۳)	مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر، مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر، نیروی کار شاغل و تشکیل سرمایه به طور قابل‌توجهی به رشد اقتصادی در بلندمدت کمک می‌کنند. همچنین مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر به طور قابل‌توجهی باعث افزایش انتشار کربن و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر به طور قابل‌توجهی باعث کاهش انتشار کربن در بلندمدت می‌شوند.
تحلیل رابطهٔ بین مصرف انرژی بادی، مصرف انرژی زغال‌سنگ، جهانی‌شدن، رشد اقتصادی و انتشار کربن در گروه کشورهای منتخب با استفاده از تکنیک‌های برآورد پانل میانگین افزایش‌یافته گروه (AMG) در بازهٔ زمانی سالیانهٔ ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹	گونی و اوستونداغ۴ (۲۰۲۲)	با توجه به برآورد ضرایب بلندمدت، مصرف انرژی بادی از نظر آماری تأثیر معنی‌دار و منفی بر انتشار کربن در بلندمدت دارد و از طرفی، متغیر جهانی‌شدن در بلندمدت تأثیر آماری معنادار و مثبتی بر انتشار کربن دارد.
تحلیل ارتباط بین مصرف انرژی خورشیدی و انتشار کربن در ده کشور مصرف‌کنندهٔ انرژی خورشیدی (استرالیا، آلمان، ژاپن، اسپانیا، ایتالیا، ایالات متحده آمریکا، کره جنوبی، بریتانیا، فرانسه و چین) با کمک روش کوانتایل	یو و همکاران۵ (۲۰۲۲)	یافته‌های تجربی نشان می‌دهد که مصرف انرژی خورشیدی، انتشار کربن را در کمیت‌های مختلف برای همهٔ کشورهای منتخب به جز فرانسه کاهش می‌دهد.

[1] Du
[2] QARDL
[3] Zhang et al.
[4] Güney and Üstündağ
[5] Yu et al.

بر کوانتایل در بازۀ زمانی سالیانه ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۸		
ارزیابی ارتباط بین انتشار کربن و انرژی‌های تجدیدپذیر، بازبودن تجارت و رشد اقتصادی در سوئد با کمک روش کوانتایل بر کوانتایل در بازۀ زمانی سالیانه ۱۹۶۵ تا ۲۰۱۹	آدبایو و همکاران (۲۰۲۲)	نتایج حاصل از مدل‌سازی نشان داد که در چندک‌های پایین و متوسط (۰/۱-۰/۶)، اثر بازبودن تجارت بر انتشار کربن منفی است. علاوه بر این، در چندک‌های پایین‌تر و بالاتر (۰/۱-۰/۹۰) ترکیب مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و انتشار کربن، تأثیر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر بر انتشار کربن منفی است.
بررسی روابط بلندمدت بین انرژی خورشیدی، جهانی‌شدن، مصرف انرژی زغال‌سنگ، رشد اقتصادی و انتشار کربن برای ۲۶ کشور با استفاده از مدل‌های اقتصادسنجی (OLS FMOLS و CCEMG) در بازۀ زمانی سالیانه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹	گونی و اینس[1] (۲۰۲۱)	بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، مصرف انرژی خورشیدی بر انتشار کربن تأثیر منفی می‌گذارد. به عبارتی، بین مصرف انرژی خورشیدی و انتشار کربن در بلندمدت رابطۀ علیت دوطرفه وجود دارد. همچنین جهانی‌شدن، تأثیر قابل‌توجهی بر انتشار کربن ندارد. بااین‌حال، مصرف انرژی زغال‌سنگ و رشد اقتصادی به نظر می‌رسد باعث افزایش انتشار کربن شود.
بررسی آثار مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و انرژی‌های تجدیدناپذیر به همراه رشد اقتصادی، آزادی تجارت و توسعۀ مالی بر انتشار کربن با بهره‌گیری از روش پنل (VAR) در کشورهای سازمان همکاری و توسعۀ اقتصادی[2] در بازۀ زمانی سالیانه ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴	عارفیان و همکاران (۲۰۱۹)	نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که رابطۀ مثبت و معناداری میان افزایش انتشار کربن و مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر وجود دارد. حال‌آنکه رشد اقتصادی، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر، آزادی تجارت و توسعۀ مالی موجب کاهش انتشار کربن و بهبود شرایط زیست‌محیطی می‌شوند.
بررسی تأثیر مصرف انرژی‌های بادی بر انتشار کربن در کشورهای منتخب از جمله ایران با استفاده از الگوی داده‌های پانلی طی دورۀ زمانی سالیانه ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۶	فلاحی و حسین‌زاده (۲۰۱۹)	نتایج حاصله مبین آن است که رابطۀ منفی و معنی‌دار میان مصرف انرژی بادی و انتشار کربن، رابطۀ مثبت و معنی‌دار بین تولید ناخالص داخلی و انتشار کربن و رابطۀ منفی و معنی‌دار بین مجذور تولید ناخالص داخلی و انتشار کربن وجود دارد.
بررسی تأثیر نوآوری‌های فنی، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و رشد اقتصادی بر انتشار کربن در کشورهای منتخب آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر	مسعودی و همکاران (۲۰۱۹)	نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که نوآوری‌های فنی و رشد اقتصادی تأثیر مثبتی بر انتشار کربن داشته؛ اما انرژی‌های تجدیدپذیر دارای اثری منفی بر انتشار کربن بوده است.

[1] Ince
[2] OECD

با استفاده از رویکرد ایستا و پویا برای دورهٔ زمانی سالیانه ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶		
بررسی تأثیر مصرف انرژی بادی بر رشد اقتصادی و انتشار کربن در ۱۴ کشور منتخب آسیایی مصرف‌کنندهٔ انرژی بادی با استفاده از آزمون علیت گرنجر پانلی برای دورهٔ زمانی سالیانه ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۳	غفاری و همکاران (۲۰۱۵)	در این مطالعه با استفاده از آزمون علیت گرنجر پانلی رابطهٔ کوتاه‌مدت میان متغیرها بررسی شده و با استفاده از مدل تصحیح خطا۱ وجود روابط بلندمدت بررسی گردیده است. نتایج مطالعه حاکی از آن است که انرژی بادی اثر مثبت طولانی‌مدت بر رشد اقتصادی دارد، درحالی‌که هیچ اثری بر انتشار کربن ندارد.
ارزیابی تأثیر برق تولیدی از انرژی‌های تجدیدپذیر در کاهش انتشار کربن در بین گروه کشورهای منتخب با بهره‌گیری از روش پانل دیتا۲ طی دورهٔ زمانی سالیانه ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۳	نیک‌اندیش و همکاران (۲۰۱۵)	نتایج حاصله نشان می‌دهد که توسعهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر در بخش تولید برق نقش قابل‌توجهی در کاهش انتشار کربن دارند.

مأخذ: یافته‌های پژوهش

بنابراین، با درنظرداشتن مطالعات تجربی و پیشینهٔ پژوهش مذکور، می‌توان به این نکته دست یافت که اگرچه تحقیقات پراکنده‌ای در مورد ارتباط بین مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و انتشار کربن انجام شده است، اما کم‌تر مطالعه‌ای به بررسی تأثیر هم-زمان مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر با تأکید بر انرژی‌های بادی و خورشیدی بر انتشار سرانهٔ کربن در کشورهای گروه ۷ با مدل‌سازی اقتصادسنجی رگرسیون پانل کوانتایل بر کوانتایل پرداخته‌اند. شایان گفتن است که اگرچه مطالعهٔ ژانگ و همکاران (۲۰۲۳) به این موضوع پرداخته که مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند با کاهش انتشار کربن مرتبط باشد؛ یا غفاری و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی رابطهٔ بین مصرف انرژی بادی و انتشار کربن پرداخته‌اند؛ یا همین‌طور گونی و اینس (۲۰۲۱) به بررسی رابطهٔ بین مصرف انرژی خورشیدی و انتشار کربن پرداخته‌اند؛ اما هیچ‌گاه این سه متغیر را در کنار هم با مدل‌سازی اقتصادسنجی پانل کوانتایل بر کوانتایل بررسی نکرده‌اند. بدین ترتیب، پژوهش حاضر با استفاده از سه مدل مجزا برای متغیرهای مهم مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر و مصرف سرانهٔ انرژی‌های بادی و خورشیدی بر انتشار سرانهٔ کربن به کمک مدل پانل کوانتایل بر کوانتایل دارای نوآوری مختص به خود است. در بخش بعدی به تصریح مدل و متغیرهای مورد استفاده در پژوهش حاضر پرداخته شده است.

۳ روش پژوهش

رویکرد رگرسیون کوانتایل بر کوانتایل یک رویکرد جدید برای تحلیل معادلات دومتغیره است. این رویکرد اولین‌بار توسط سیم و ژو[3] (۲۰۱۵) ارائه شد که ترکیبی از رگرسیون کمی معمولی[4] و تخمین ناپارامتریک[5] است و اطلاعات غنی‌تر و گسترده‌تری را در مقایسه با این روش‌های تخمین ارائه و کاستی‌های آن‌ها را نیز پوشش می‌دهد. رویکرد رگرسیون کوانتایل بر کوانتایل می‌تواند در یک محیط

[1] ECM
[2] Panel data method
[3] Sim and Zhou
[4] Quantile Regression (QR)
[5] Non-parametric estimation

نامتقارن عملکرد خوبی داشته باشد، شکست‌های ساختاری را در نظر می‌گیرد و یک رابطهٔ جامع بین چندک‌های پایین و بالای سری داده‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهد؛ بنابراین، رویکرد رگرسیون کوانتایل بر کوانتایل در مقایسه با سایر روش‌های مرسوم رگرسیونی، تصویر واقعی‌تری از تحلیل ارائه می‌کند (یو و همکاران، ۲۰۲۲).

رویکرد رگرسیون کمی معمولی به‌خودی‌خود شکلی توسعه‌یافته از مدل رگرسیون کلاسیک در نظر گرفته می‌شود؛ اما بسیار جامع‌تر است از این منظر که تأثیر یک متغیر مستقل را نه‌تنها بر مرکز متغیر وابسته بلکه در انتهای آن نیز مورد سنجش قرار می‌دهد. رویکرد رگرسیون کوانتایل معمولی قادر به یافتن وابستگی کامل بین متغیرها نیست، اگرچه ناهمگونی را در رابطه در نظر می‌گیرد، اما گاهی اوقات نقش عدم‌قطعیت را در تخمین ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته نادیده می‌گیرد. در نهایت، در این پژوهش از رویکرد کوانتایل بر کوانتایل برای بررسی رابطهٔ جامع بین انتشار سرانهٔ کربن و مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی بادی و خورشیدی استفاده شده است. این مدل اصلاحی بر روی رگرسیون کوانتایل مرسوم است که بر تأثیر چندک‌های یک متغیر مستقل بر چندک‌های مختلف متغیر وابسته تمرکز دارد؛ بنابراین، رویکرد کوانتایل بر کوانتایل، به‌جای تکنیک‌های سنتی[1] و رگرسیون کمی معمولی، می‌تواند به درک رابطهٔ اساسی و تجزیه‌وتحلیل‌های قوی‌تر کمک کند (یو و همکاران، ۲۰۲۲).

بدین ترتیب، مطابق رابطهٔ ۱، مدل پایه را می‌توان با مدل زیر از رگرسیون چندک ناپارامتریک تشکیل داد:

$$Co_{2t} = \beta^{\theta}(PRE_t) + \beta^{\theta}(PCW_t) + \beta^{\theta}(PCS_t) + {\mu_t}^{\theta} \quad (1)$$

در رابطهٔ ۱، CO_2 نشان‌دهندهٔ انتشار سرانه کربن[2] است. همچنین PRE مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر[3]، PCW مصرف سرانهٔ انرژی بادی[4] و PCSمصرف سرانهٔ انرژی خورشیدی[5] هستند. θ نشان‌دهندهٔ θ ام توزیع مشروط انتشار سرانهٔ کربن است. μ^{θ} عبارت خطای کوانتایلی است و کمیک شرطی θ آن صفر است. ازآنجایی‌که در مورد ارتباط بین PRE، PCW، PCS و CO_2 در فرآیند مدل‌سازی دانش قبلی وجود ندارد، بنابراین $\beta^{\theta}(.)$ یک تابع ناشناخته فرض می‌شود. بر اساس این، برای بررسی رابطهٔ ۱، از رگرسیون خطی برای مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر، بادی و خورشیدی به‌صورت زیر استفاده می‌شود (رابطهٔ ۲):

$$\beta^{\theta}(PRE_t) = \beta^{\theta}(PRE_{\tau}) + \beta'^{\theta}(PRE_{\tau})(PRE_t - PRE_{\tau})$$
$$\beta^{\theta}(PCW_t) = \beta^{\theta}(PCW_{\tau}) + \beta'^{\theta}(PCW_{\tau})(PCW_t - PCW_{\tau})$$
$$\beta^{\theta}(PCS_t) = \beta^{\theta}(PCS_{\tau}) + \beta'^{\theta}(PCS_{\tau})(PCS_t - PCS_{\tau}) \quad (2)$$

در رابطهٔ ۲، β'^{θ} مشتق جزئی β^{θ} (PRE)، β^{θ} (PCW) و β^{θ} (PCS) را باتوجه‌به PRE، PCW و PCS نشان می‌دهد که به‌عنوان اثر جزئی تعریف شده است. β^{θ} (PRE_{τ})، β^{θ} (PCW_{τ})، β^{θ} (PCS_{τ})، β'^{θ} (PRE_{τ}) و β'^{θ} (PCS_{τ}) در رابطهٔ ۲ توابعی از θ و τ هستند. بدین ترتیب، مطابق رابطهٔ ۳، شکل اصلاح شده رابطهٔ ۲ را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:

[1] OLS
[2] Carbon emissions per capita
[3] Per capita consumption of renewable energy
[4] Per capita consumption of wind energy
[5] Per capita consumption of solar energy

$$\beta^{\theta}(PRE_t) = \beta_0^{\theta}(\theta,\tau) + \beta_1^{\theta}(\theta,\tau)(PRE_t - PRE_{\tau})$$
$$\beta^{\theta}(PCW_t) = \beta_0^{\theta}(\theta,\tau) + \beta_1^{\theta}(\theta,\tau)(PCW_t - PCW_{\tau}) \quad (۳)$$
$$\beta^{\theta}(PCS_t) = \beta_0^{\theta}(\theta,\tau) + \beta_1^{\theta}(\theta,\tau)(PCS_t - PCS_{\tau})$$

حال با جایگزینی رابطهٔ ۳ در رابطهٔ ۱، رابطهٔ ۴ برای روش کوانتایل بر کوانتایل به‌صورت زیر به دست می‌آید:

$$Co_2 = \beta_0(\theta,\tau) + \beta_1(\theta,\tau)(PRE_t - PRE_{\tau})/ * + \varepsilon_t^{\theta}$$
$$Co_2 = \beta_0(\theta,\tau) + \beta_1(\theta,\tau)(PCW_t - PCW_{\tau})/ * + \varepsilon_t^{\theta} \quad (۴)$$
$$Co_2 = \beta_0(\theta,\tau) + \frac{\beta_1(\theta,\tau)(PCS_t - PCS_{\tau})}{* + \varepsilon_t^{\theta}}$$

رابطهٔ ۴، شکل عملکردی تکنیک QQ را نشان می‌دهد. قسمت (*) کوانتایل مشروط Q را نشان می‌دهد. β_0 و β_1 پارامترهایی هستند که به‌صورت مضاعف در θ و τ نمایه می‌شوند و ارتباط کمی بین PRE، PCW، PCS و CO_2 را تعریف می‌کنند. مقادیر β_0 و β_1 ممکن است بسته به مقادیر چندک متغیرهای وابسته و مستقل متفاوت باشند (یو و همکاران، ۲۰۲۲).

بدین ترتیب، به‌منظور بررسی نحوهٔ اثرگذاری مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر، مصرف سرانهٔ انرژی‌های بادی و خورشیدی بر انتشار سرانهٔ کربن مبتنی بر ادبیات نظری مدل اقتصادسنجی به قرار رابطهٔ ۵ تصریح شده است:

$$Co_{2t} = \beta_0 + \beta_1(PRE_t) + \beta_2(PCW_t) + \beta_3(PCS_t) + \varepsilon_t \quad (۵)$$

در رابطهٔ ۵، CO_2 معرف انتشار سرانهٔ کربن، PRE معرف مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر، PCWمعرف مصرف سرانهٔ انرژی بادی، PCS معرف مصرف سرانهٔ انرژی خورشیدی و ε جزء خطای مدل است. در جدول ۲ به تعریف متغیرهای مورد استفاده و نیز منبع هر کدام پرداخته شده است.

جدول ۲. متغیرهای مورد استفاده در مدل معرفی شده[۱]

[۱] در پژوهش حاضر متغیرهای در نظر گرفته شده به صورت سرانه وارد مدل‌سازی شده‌اند. این مهم به دلیل آن بوده است که شاخص‌های اقتصادی به صورت سرانه، به‌عنوان معیارهای مستقیم رفاه اقتصادی رفتار می‌کنند. همچنین در جریان مطالعهٔ حاضر از تمام متغیرهای مورد بررسی لگاریتم‌گیری شده است؛ چراکه لگاریتم‌گیری موجب کاهش چولگی مثبت داده‌ها شده، از سویی دیگر، اثر داده‌های پرت را کم کرده و همچنین به برقراری فروض کلاسیک کمک می‌کند.

متغیر	نام اختصاری	توضیح	نوع	انتظار از رابطه	منبع
انتشار سرانۀ کربن	LCO2	ترکیب کربن (مانند دی‌اکسیدکربن) اغلب از طریق فعالیت‌های انسانی مانند سوزاندن سوخت‌های فسیلی (از قبیل: نفت، زغال‌سنگ یا گاز و غیره) در جو منتشر می‌شود. بدین ترتیب، در پژوهش حاضر از متغیر مهم انتشار کربن‌دی‌اکسید استفاده شده است.	متغیر وابسته		پایگاه جهان ما درداده[1]
مصرف سرانۀ انرژی‌های تجدیدپذیر	LPRE	انرژی‌های تجدیدپذیر مجموع انرژی حاصل از انرژی آبی، بادی، خورشید، زمین گرمایی، موج و جزرومد و انرژی زیست‌توده است و سوخت‌های زیستی سنتی را شامل نمی‌شوند. سرانه مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر بر حسب کیلووات‌ساعت ارائه می‌گردد.	متغیر مستقل	+/-	پایگاه جهان ما درداده
مصرف سرانۀ انرژی بادی	LPCW	در طول تاریخ، انرژی باد توسط بادبان‌ها، آسیاب‌های بادی و پمپ‌های بادی استفاده می‌شد، اما امروزه بیش‌تر برای تولید برق استفاده می‌شود و به‌صورت سرانه کیلووات‌ساعت اندازه‌گیری می‌شود.	متغیر مستقل	+/-	پایگاه جهان ما درداده
مصرف سرانۀ انرژی خورشیدی	LPCS	انرژی خورشیدی، نور و گرمای تابشی از خورشید است که با استفاده از طیف وسیعی از فناوری‌ها مانند انرژی خورشیدی فتوولتائیک (PV) و غیره به‌صورت سرانه کیلووات‌ساعت محاسبه می‌شود.	متغیر مستقل	+/-	پایگاه جهان ما درداده

مأخذ: یافته‌های پژوهش

بر اساس جدول ۲ تشریح متغیرهای مورد استفاده در پژوهش حاضر به‌قرار ذیل است:

- مصرف سرانۀ انرژی‌های تجدیدپذیر: انرژی‌های تجدیدپذیر باعث کاهش انتشار کربن در کوتاه‌مدت و بلندمدت می‌شوند. مطالعات نشان می‌دهند که انرژی‌های تجدیدپذیر بالاتر یک استراتژی قابل‌دوام برای پرداختن به امنیت انرژی و کاهش انتشار کربن برای حفاظت از محیط زیست می‌باشند. بدین ترتیب، تأثیر رشد مصرف سرانۀ انرژی‌های تجدیدپذیر بر رشد انتشار سرانۀ کربن منفی و معنادار است (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۳؛ هائو[2]، ۲۰۲۲).

[1] انتشارات تحقیقاتی در مورد جهان ما درداده (ourworldindata.org)، به بسیاری از مشکلات جهانی در بهداشت، آموزش، خشونت، قدرت سیاسی، حقوق بشر، جنگ، فقر، نابرابری، انرژی، گرسنگی و تأثیرات زیست‌محیطی بشریت اختصاص دارد. بدین ترتیب، امروزه این پایگاه به یک مرجع معتبر و مهم در زمینۀ دریافت اطلاعات و داده‌های آماری تبدیل شده است.

[2] Hao

- مصرف سرانهٔ انرژی بادی: انرژی بادی یک گزینهٔ پایدار برای دست‌یابی به انرژی‌های تجدیدپذیر ارائه می‌دهد. مشخص شده است که در سال ۲۰۱۷، استفاده از منابع بادی از انتشار حداقل ۶۰۰ و تا ۱۱۰۰ میلیون تن کربن جلوگیری کرده است. همچنین، در صورت تداوم نرخ فعلی توسعهٔ انرژی بادی، از ۳۱۰۰ میلیون تن انتشار کربن تا سال ۲۰۳۰ اجتناب خواهد شد (یوسفی و همکاران، ۲۰۱۹). بدین ترتیب، با توجه به مطالعات صورت‌گرفته، مصرف سرانهٔ انرژی بادی از نظر آماری تأثیر معنی‌دار و منفی بر انتشار سرانهٔ کربن در بلندمدت دارد و این یافته‌ها اهمیت مصرف انرژی باد را در کاهش انتشار سرانهٔ کربن نشان می‌دهد (گونی و اوستونداغ، ۲۰۲۲).

- مصرف سرانهٔ انرژی خورشیدی: انتشار گازهای گلخانه‌ای از منابع تجدیدپذیر همچون انرژی خورشیدی به طور قابل‌توجهی کم‌تر از انتشار گازطبیعی و زغال‌سنگ است. انرژی خورشیدی سطح کربن را کاهش می‌دهد. در صورت افزایش انرژی خورشیدی با توجه به ضرایب بلندمدت، سطح کربن کشورها تحت تأثیر منفی قرار می‌گیرد؛ بنابراین، توصیه می‌شود کشورهایی که مایل به کاهش سطح کربن هستند، به انرژی خورشیدی که پتانسیل تولید انرژی گسترده‌ای به‌عنوان منبع انرژی دارد، توجه کنند (گونی و اینس، ۲۰۲۱).

۴ تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

به‌منظور بررسی نقش مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر، مصرف سرانهٔ انرژی بادی و خورشیدی بر انتشار سرانهٔ کربن در کشورهای منتخب گروه ۷ در بازهٔ زمانی سالانهٔ ۱۹۹۰ الی ۲۰۲۱، به بررسی آزمون توصیفی، بررسی مانایی متغیرها، آزمون تشخیصی (آزمون خودهمبستگی جزء اخلال)، آزمون همبستگی، آزمون هم انباشتگی جوهانسن[1]، آزمون نرمال بودن متغیر وابسته (انتشار سرانه کربن) و در انتها به تخمین مدل کوانتایل بر کوانتایل پرداخته شده است. شایان گفتن است که تحلیل‌های صورت‌گرفته در بستر نرم‌افزارهای Eviews12 و Matlab2022 انجام شده است. نتایج به‌دست‌آمده در ادامه و به تفکیک توضیح داده شده است.

۴،۱ نتایج آمار توصیفی و آزمون مانایی

بر اساس اطلاعات موجود در جدول ۳، با درنظرگرفتن تعداد کم کشورهای مورد مطالعه، تصمیم گرفته شده است که نمودارهای مربوط به هر یک از متغیرها در این گزارش قرار نگرفته و تنها به گزارش آمار توصیفی آن‌ها پرداخته شود.

[1] Johansen cointegration test

جدول ۳. توصیف متغیرهای پژوهش

نام متغیرها	کشور	میانگین	میانه	بیش‌ترین	کم‌ترین	انحراف استاندارد
CO2	فرانسه	۶/۲۳۱	۶/۶۷۲	۷/۳۸۵	۴/۳۴۲	۰/۸۶۴
	آلمان	۱۰/۵۷۳	۱۰/۷۴۱	۱۳/۲۵۴	۷/۶۷۲	۱/۲۴۵
	ایتالیا	۷/۳۱۳	۷/۷۳۰	۸/۶۶۸	۵/۰۸۰	۱/۰۹۳
	ژاپن	۹/۶۴۰	۹/۸۱۱	۱۰/۳۰۳	۸/۳۲۱	۰/۴۷۷
	کانادا	۱۶/۷۲۶	۱۶/۵۱۹	۱۸/۴۶۹	۱۴/۱۱۶	۱/۱۰۶
	انگلیس	۸/۴۳۹	۹/۳۸۹	۱۰/۶۲۴	۴/۸۶۵	۱/۷۷۳
	آمریکا	۱۸/۸۹۰	۲۰/۲۳۶	۲۱/۳۰۴	۱۴/۰۳۷	۲/۱۸۷
PRE	فرانسه	۳۸۹۸/۸۶۵	۳۷۵۸/۹۸۸	۵۵۸۰/۷۵۴	۲۷۹۵/۱۸۴	۷۵۱/۸۱۰
	آلمان	۳۵۸۱/۳۳۲	۲۷۷۸/۵۶۰	۸۷۳۰/۲۱۳	۶۵۱/۴۹۲	۲۷۵۹/۵۶۹
	ایتالیا	۳۴۸۰/۶۳۹	۲۷۰۱/۱۵۵	۵۷۶۶/۹۳۷	۱۸۱۱/۸۵۸	۱۳۴۸/۶۹۳
	ژاپن	۲۷۳۳/۹۸۴	۲۴۸۶/۵۳۲	۴۷۳۱/۸۳۲	۱۸۵۹/۲۵۷	۶۸۷/۷۲۱
	کانادا	۳۲۸۹۴/۶۸	۳۲۸۰۴/۶۴	۳۶۲۴۹/۳۶	۳۰۴۶۲/۴۸	۱۳۶۴/۲۱۶
	انگلیس	۱۷۵۶/۲۷۸	۹۰۰/۵۹۸	۵۸۷۷/۸۳۲	۲۷۲/۵۷۱	۱۷۹۲/۰۳۹
	آمریکا	۴۹۸۰/۸۱۳	۴۳۵۳/۲۳۱	۸۰۸۹/۱۲۰	۳۱۰۵/۶۵۳	۱۳۵۴/۰۱۸
PCW	فرانسه	۳۹۳/۸۰۹	۷۳/۷۱۹	۱۶۱۹/۰۲۱	۰/۰۱۴	۵۱۰/۹۱۳
	آلمان	۱۳۱۸/۲۸۹	۱۰۳۸/۶۱۰	۴۱۶۳/۴۷۴	۲/۶۴۵	۱۳۰۴/۰۴۷
	ایتالیا	۳۰۸/۳۷۴	۱۲۹/۹۷۷	۹۲۴/۳۶۹	۰/۰۹۹	۳۳۶/۱۸۶
	ژاپن	۵۶/۸۲۶	۴۵/۱۴۵	۱۷۳/۲۳۵	۰/۰۰۰	۵۷/۰۳۴
	کانادا	۶۹۵/۱۴۵	۱۷۷/۸۱۲	۲۴۷۹/۰۴۷	۰/۲۰۲	۹۲۱/۳۱۸
	انگلیس	۶۸۱/۶۷۲	۱۶۸/۱۵۹	۲۹۶۱/۳۵۰	۰/۴۶۳	۹۱۳/۰۹۵
	آمریکا	۷۷۰/۹۱۸	۲۱۴/۲۴۳	۲۹۶۶/۲۳۷	۳۲/۷۶۳	۹۲۴/۲۸۰
PCS	فرانسه	۱۲۰/۳۲۱	۰/۵۲۶	۶۱۸/۶۱۸	۰/۰۰۰	۱۸۹/۷۰۶
	آلمان	۴۵۳/۷۵۹	۶۲/۷۵۴	۱۵۵۹/۹۷۱	۰/۰۰۰	۵۹۱/۸۹۰
	ایتالیا	۳۳۸/۲۲۷	۱/۶۱۴	۱۱۰۵/۹۸۶	۰/۲۰۸	۴۷۵/۴۶۰
	ژاپن	۳۲۸/۵۷۰	۴۰/۴۵۹	۱۹۴۰/۳۴۶	۰/۰۲۳	۵۵۵/۲۴۷
	کانادا	۷۶/۰۱۴	۲/۱۰۴	۳۵۴/۳۲۸	۰/۰۰۰	۱۱۸/۶۵۴
	انگلیس	۱۰۹/۳۲۰	۰/۴۴۷	۵۰۵/۳۱۷	۰/۰۰۰	۱۹۰/۰۷۰
	آمریکا	۱۸۷/۷۵۳	۷/۵۲۴	۱۲۸۹/۵۷۹	۴/۴۱۹	۳۴۴/۹۱۵

مأخذ: یافته‌های پژوهش

همچنین می‌توان به این مهم دست یافت که میانگین انتشار سرانهٔ کربن ۱۱/۱۱۶ در طول سال‌های مورد بررسی در این پژوهش بوده است که در بین کشورهای گروه ۷، میانگین کشورهای کانادا و آمریکا بالاتر از میانگین کل بوده است، همچنین میانگین کشورهای فرانسه، آلمان، ایتالیا، ژاپن و انگلیس کم‌تر از میانگین کل بوده است. میانگین مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای گروه ۷، ۳۴۰۵/۳۱۸ می‌باشد، میانگین کشورهای فرانسه، آلمان، ایتالیا، کانادا و آمریکا بالاتر از میانگین کل بوده است، همچنین میانگین کشورهای ژاپن و انگلیس کم‌تر از میانگین کل بوده است. همین‌طور

میانگین مصرف سرانهٔ انرژی بادی در این کشورها ۶۰۳/۵۷۶ بوده است که در بین کشورهای فوق، میانگین کشورهای آلمان، کانادا، انگلیس و آمریکا بالاتر از میانگین کل بوده و همچنین میانگین کشورهای فرانسه، ایتالیا و ژاپن کم‌تر از میانگین کل بوده است. همچنین میانگین مصرف سرانهٔ انرژی خورشیدی در کشورهای فوق ۲۳۰/۵۶۶ بوده است، میانگین کشورهای آلمان، ایتالیا و ژاپن بالاتر از میانگین کل بوده و همچنین میانگین کشورهای فرانسه، کانادا، انگلیس و آمریکا کم‌تر از میانگین کل بوده است.

همچنین یکی از آزمون‌های مهم در مدل‌سازی اقتصادسنجی بررسی مانایی (آزمون ریشه واحد) است. بدین ترتیب، در این بخش از آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم‌یافته[1] استفاده شده است. در جدول ۴ آزمون دیکی فولر برای متغیرهای مورد سنجش و کشورهای مورد مطالعه به تفکیک درج شده است و برای مانایی برخی متغیرها در بعضی کشورها بایستی تفاضل مرتبهٔ اول و دوم گرفته می‌شد که این عملیات اجرا شده و ارزش احتمال و مقدار آماره t درج گشته است.

جدول ۴. نتایج آزمون مانایی

نام متغیرها	کشور	مقدار آماره T	ارزش احتمال	درجهٔ مانایی
LCO2	فرانسه	- ۲/۶۱۸	۰/۰۱۰	I (0)
	آلمان	- ۲/۵۹۹	۰/۰۱۱	I (0)
	ایتالیا	- ۴/۸۷۹	۰/۰۰۰	I (1)
	ژاپن	- ۴/۴۴۸	۰/۰۰۱	I (1)
	کانادا	- ۵/۴۲۱	۰/۰۰۰	I (1)
	انگلیس	- ۲/۹۵۴	۰/۰۰۴	I (0)
	آمریکا	- ۵/۱۶۹	۰/۰۰۰	I (1)
LPRE	فرانسه	- ۷/۴۹۶	۰/۰۰۰	I (1)
	آلمان	- ۵/۶۴۱	۰/۰۰۰	I (1)
	ایتالیا	- ۶/۱۴۲	۰/۰۰۰	I (1)
	ژاپن	- ۸/۴۶۱	۰/۰۰۰	I (1)
	کانادا	- ۳/۸۷۱	۰/۰۲۵	I (0)
	انگلیس	- ۶/۳۵۰	۰/۰۰۰	I (1)
	آمریکا	- ۵/۵۷۰	۰/۰۰۰	I (1)
LPCW	فرانسه	- ۶/۱۳۳	۰/۰۰۰	I (2)
	آلمان	- ۷/۳۹۰	۰/۰۰۰	I (0)
	ایتالیا	- ۴/۶۵۲	۰/۰۰۶	I (1)
	ژاپن	- ۵/۵۰۰	۰/۰۰۰	I (2)
	کانادا	- ۵/۳۳۴	۰/۰۰۰	I (1)
	انگلیس	- ۳/۳۸۲	۰/۰۲۰	I (1)
	آمریکا	- ۳/۵۳۹	۰/۰۱۳	I (1)
LPCS	فرانسه	- ۲/۳۷۱	۰/۰۱۹	I (1)
	آلمان	- ۳/۲۸۲	۰/۰۲۴	I (1)

[1] Augmented Dicky Fuller (ADF)

	ایتالیا	- ۱/۹۹۲	۰/۰۴۵	I (1)
	ژاپن	- ۳/۳۵۴	۰/۰۲۲	I (1)
	کانادا	- ۶/۳۸۲	۰/۰۰۰	I (2)
	انگلیس	- ۲/۱۳۱	۰/۰۳۳	I (1)
	آمریکا	- ۷/۷۰۶	۰/۰۰۰	I (2)

مأخذ: یافته‌های پژوهش

۴،۲ نتایج برآورد آزمون‌های استنباطی

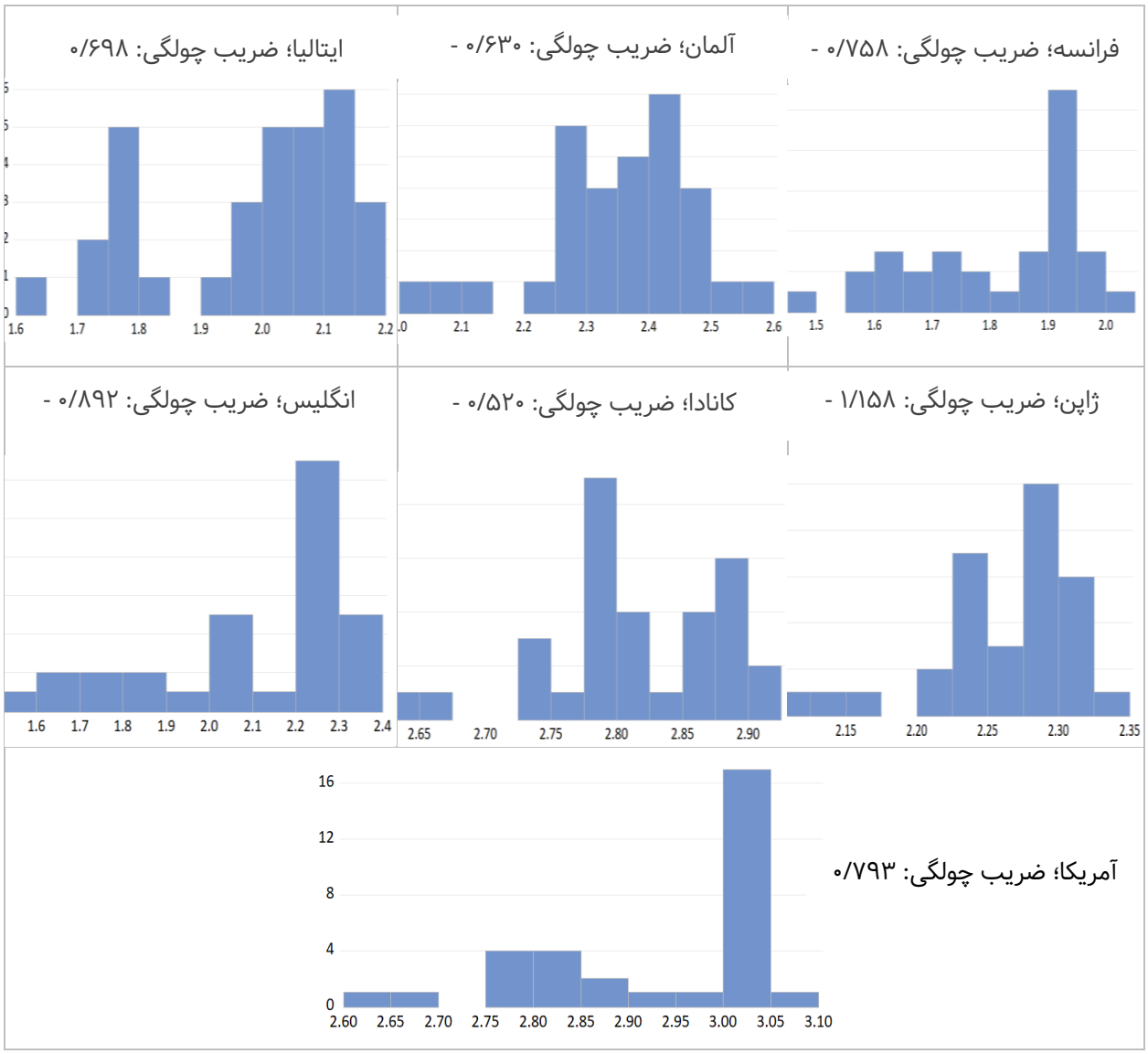
بر اساس اطلاعات مندرج در جدول ۵، نتایج آزمون تشخیصی (خودهمبستگی جزء اخلال) گزارش شده است. در تخمین (LCO_2, LPRE)، نتایج آزمون خودهمبستگی، نشان‌دهندۀ خودهمبستگی است؛ زیرا مقدار ارزش احتمال کوچک‌تر از مقدار بحرانی (۰/۰۵) می‌باشد و درنتیجه فرضیۀ صفر که نشان‌دهندۀ عدم خودهمبستگی است، رد می‌شود. در تخمین (LCO_2, LPCW)، نتایج آزمون خودهمبستگی، نشان‌دهندۀ خودهمبستگی است؛ زیرا مقدار ارزش احتمال کوچک‌تر از مقدار بحرانی (۰/۰۵) می‌باشد و درنتیجه فرضیۀ صفر که نشان‌دهندۀ عدم خودهمبستگی است، رد می‌شود. در تخمین (LCO_2, LPCS)، نتایج آزمون خودهمبستگی، نشان‌دهندۀ خودهمبستگی است برای همۀ کشورها به جز آمریکا؛ زیرا مقدار ارزش احتمال کوچک‌تر از مقدار بحرانی (۰/۰۵) می‌باشد و درنتیجه فرضیۀ صفر که نشان‌دهندۀ عدم خودهمبستگی است، رد می‌شود. همچنین بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در قالب جدول ۵، هر چقدر ضریب همبستگی به سمت صفر نزدیک می‌شود، همبستگی بین دو متغیر ضعیف‌تر می‌شود و هرچقدر به سمت یک (از نظر قدرمطلق) می‌رود، همبستگی بین دو متغیر شدیدتر می‌شود. نتایج حاصله نشان می‌دهد که در تخمین (LCO_2, LPRE)، این ضریب برای همۀ کشورها به جز ژاپن و کانادا به سمت یک نزدیک می‌شود و درنتیجه همبستگی بالا بین دو متغیر ذکرشده برقرار است. در تخمین (LCO_2, LPCW)، مقدار این ضریب برای کشورهای فرانسه، آلمان، انگلیس و آمریکا به یک نزدیک است؛ اما برای کشورهای ایتالیا، ژاپن و کانادا این ضریب به سمت صفر نزدیک‌تر است که نشان‌دهندۀ همبستگی ضعیف بین متغیرهای ذکرشده است. در تخمین (LCO_2, LPCS)، مقدار این ضریب برای همۀ کشورها به جز ژاپن و کانادا به سمت یک نزدیک‌تر است که نشان‌دهندۀ همبستگی بالا بین متغیرهای ذکرشده است. همچنین بر اساس نتایج آزمون هم انباشتگی جوهانسن؛ در تخمین (LCO_2, LPRE)، چون مقدار ارزش احتمال برای همۀ کشورها بیش‌تر از مقدار بحرانی (۰/۰۵) می‌باشد، پس فرضیۀ صفر (نبود ارتباط بلندمدت بین متغیرهای پژوهش) تأیید می‌شود و درنتیجه متغیرها رابطۀ بلندمدت ندارند. در تخمین (LCO_2, LPCW)، چون مقدار ارزش احتمال برای کشورهای آلمان، کانادا، انگلیس و آمریکا کم‌تر از مقدار بحرانی (۰/۰۵) است؛ بدین ترتیب، فرضیۀ صفر (نبود ارتباط بلندمدت بین متغیرهای پژوهش) رد می‌شود و متغیرهای فوق دارای ارتباط بلندمدت هستند. در تخمین (LCO_2, LPCS)، چون مقدار ارزش احتمال برای کشورهای فرانسه، انگلیس و آمریکا کم‌تر از مقدار بحرانی (۰/۰۵) است، درنتیجه فرضیۀ صفر (نبود ارتباط بلندمدت بین متغیرهای پژوهش) رد می‌شود و بنابراین، متغیرهای ذکرشده دارای ارتباط بلندمدت می‌باشند.

جدول ۵. نتایج آزمون خودهمبستگی جزء اخلال، همبستگی و هم انباشتگی جوهانسن

		آزمون خودهمبستگی		همبستگی	هم انباشتگی جوهانسن	
نوع تخمین	کشورها	آزمون بروش پاگان	ارزش احتمال	ضرایب	مقدار بحرانی	ارزش احتمال
LCO2, LPRE	فرانسه	۶/۴۹۸	*۰/۰۰۴	- ۰/۸۳۶	۱۵/۴۹۴	۰/۴۱۵
	آلمان	۱۵/۱۰۹	*۰/۰۰۰	- ۰/۹۰۴	۱۵/۴۹۴	۰/۸۵۳
	ایتالیا	۱۶/۱۱۵	*۰/۰۰۰	- ۰/۹۰۸	۱۵/۴۹۴	۰/۳۴۲
	ژاپن	۱۱/۹۱۷	*۰/۰۰۰	- ۰/۶۹۲	۱۵/۴۹۴	۰/۰۹۸
	کانادا	۲۴/۰۳۱	*۰/۰۰۰	۰/۵۰۴	۱۵/۴۹۴	۰/۱۳۳
	انگلیس	۳۷/۲۲۴	*۰/۰۰۰	- ۰/۹۶۰	۱۵/۴۹۴	۰/۰۵۴
	آمریکا	۳/۶۷۷	*۰/۰۳۸	- ۰/۹۳۴	۱۵/۴۹۴	۰/۰۹۰
LCO2, LPCW	فرانسه	۳۴/۶۷۳	*۰/۰۰۰	- ۰/۸۸۰	۱۵/۴۹۴	۰/۱۶۲
	آلمان	۳۴/۵۹۴	*۰/۰۰۰	- ۰/۸۵۹	۱۵/۴۹۴	*۰/۰۰۰
	ایتالیا	۸۹/۲۷۱	*۰/۰۰۰	- ۰/۶۰۹	۱۵/۴۹۴	۰/۵۲۱
	ژاپن	۲۸/۸۳۸	*۰/۰۰۰	- ۰/۲۵۶	۱۵/۴۹۴	۰/۴۵۷
	کانادا	۳۷/۸۴۲	*۰/۰۰۰	- ۰/۵۰۶	۱۵/۴۹۴	*۰/۰۳۵
	انگلیس	۴۸/۷۳۵	*۰/۰۰۰	- ۰/۸۹۰	۱۵/۴۹۴	*۰/۰۲۴
	آمریکا	۲۴/۵۴۳	*۰/۰۰۰	- ۰/۹۰۹	۱۵/۴۹۴	*۰/۰۰۵
LCO2, LPCS	فرانسه	۴/۳۲۲	*۰/۰۲۳	- ۰/۹۶۱	۱۵/۴۹۴	*۰/۰۰۲
	آلمان	۱۷/۲۵۷	*۰/۰۰۰	- ۰/۸۶۵	۱۵/۴۹۴	۰/۹۷۶
	ایتالیا	۱۹/۹۹۸	*۰/۰۰۰	- ۰/۹۱۷	۱۵/۴۹۴	۰/۴۵۹
	ژاپن	۲۳/۹۴۵	*۰/۰۰۰	- ۰/۴۱۸	۱۵/۴۹۴	۰/۲۸۰
	کانادا	۲۳/۳۱۷	*۰/۰۰۰	- ۰/۷۳۱	۱۵/۴۹۴	۰/۳۰۴
	انگلیس	۱۶/۴۰۶	*۰/۰۰۰	- ۰/۹۵۶	۱۵/۴۹۴	*۰/۰۱۵
	آمریکا	۲/۹۴۹	۰/۰۶۸	- ۰/۹۶۹	۱۵/۴۹۴	*۰/۰۴۷

مأخذ: یافته‌های پژوهش (علامت ستاره نشان‌دهنده معناداری در سطح (۰/۰۵) است).

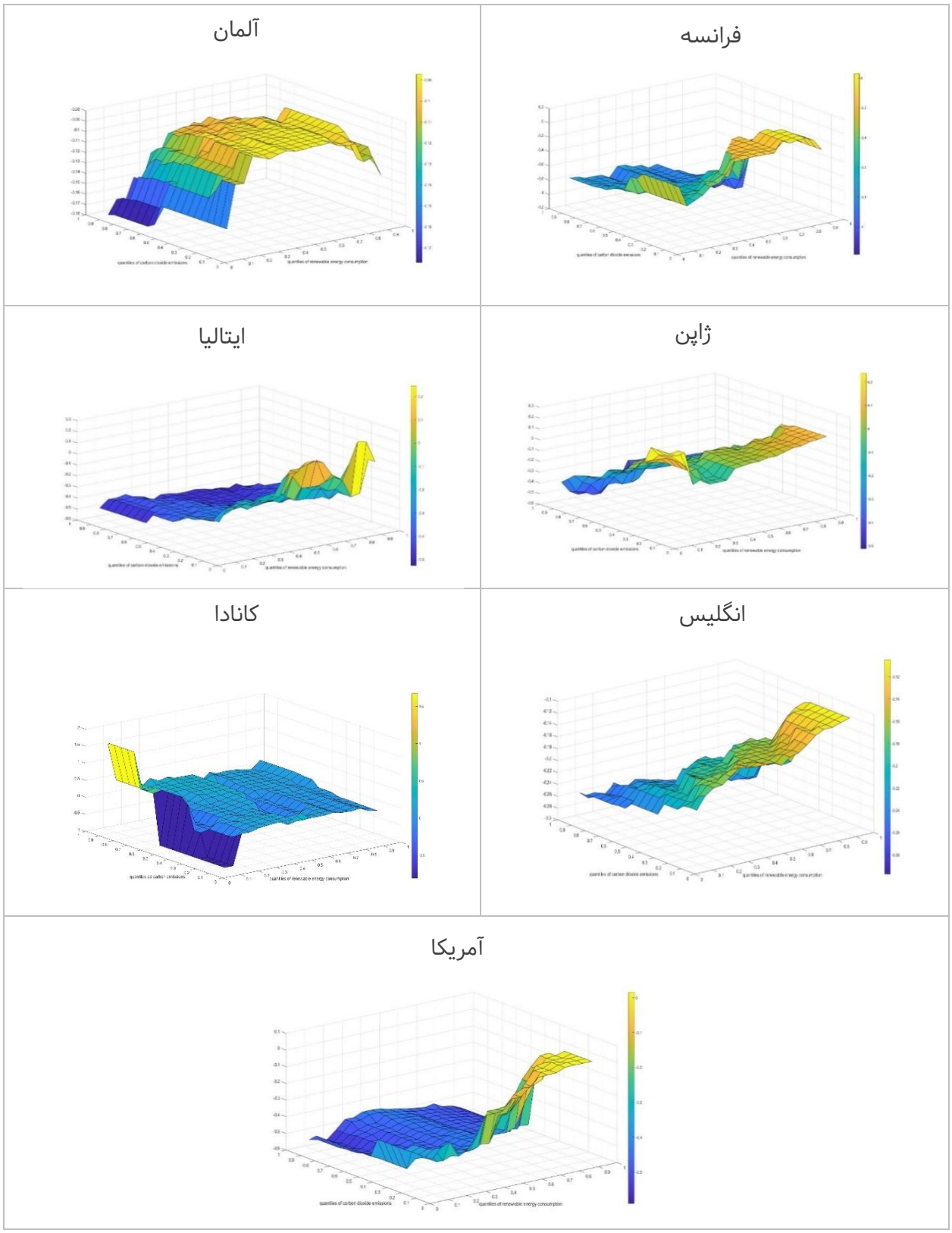
شایان گفتن است که در این پژوهش از آماره آزمون جارک - برا برای بررسی نرمال بودن متغیر وابسته (انتشار سرانه کربن) در کشورهای گروه هفت استفاده شده است. نتایج این نکته را نشان می‌دهد که متغیر انتشار سرانه کربن در کشورهای ذکرشده دارای توزیع نامتقارن است؛ بدین ترتیب، برای برآورد مدل می‌توان از تکنیک رگرسیون کوانتایل بر کوانتایل استفاده کرد؛ زیرا این روش زمانی‌که توزیع متغیر وابسته نرمال نبوده؛ می‌تواند نتایج قابل‌اطمینان‌تری ارائه دهد (شکل ۳).



شکل ۳. بررسی توزیع نرمال متغیر وابسته (انتشار سرانه کربن)

مأخذ: یافته‌های پژوهش

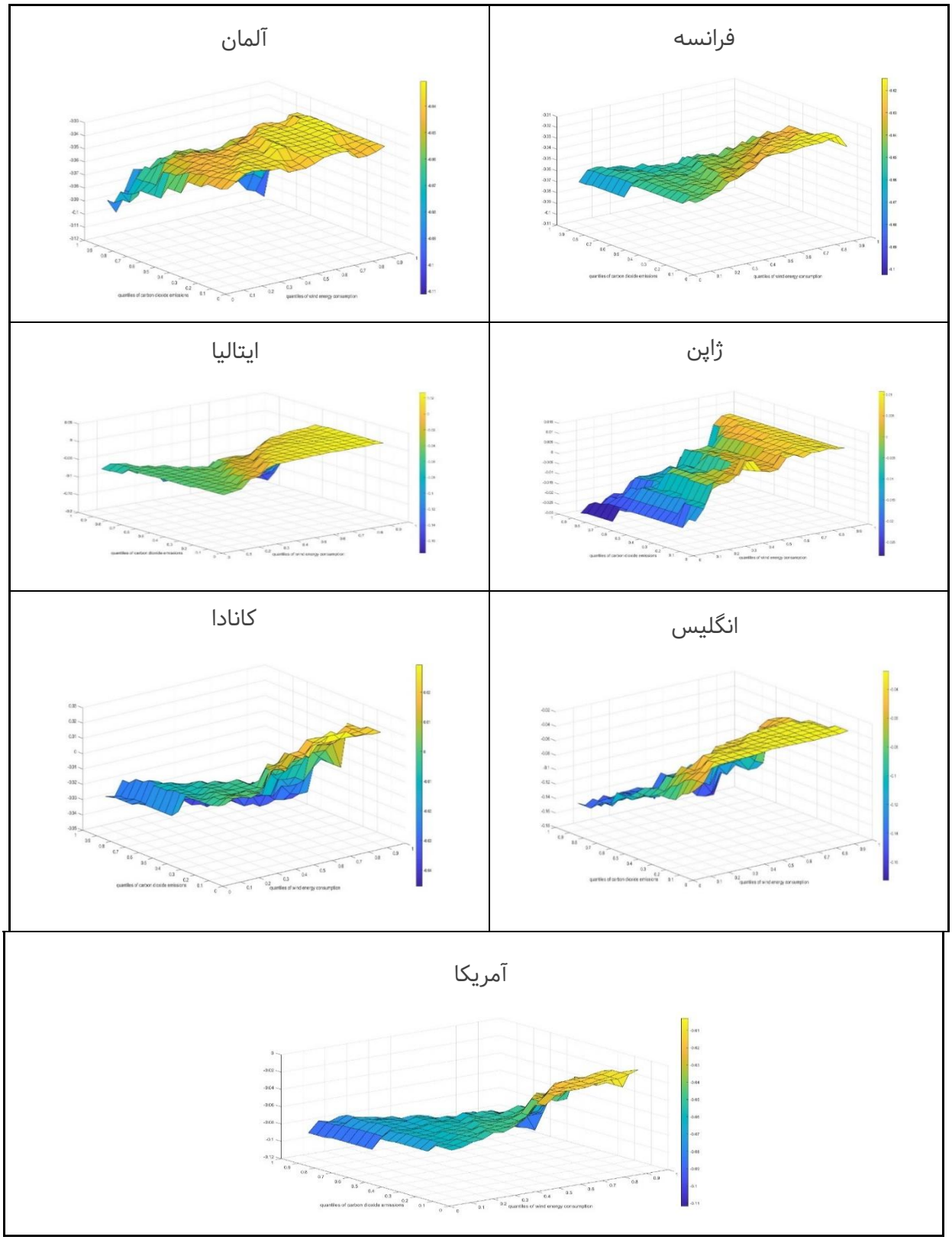
حال که نتایج آزمون‌های توصیفی و استنباطی (آزمون‌های پیش تخمین) به‌درستی تأیید و درج گشته است؛ در این بخش به تخمین مدل رگرسیون کوانتایل بر کوانتایل در سه مدل مجزا (**مدل اول**: انتشار سرانهٔ کربن و مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر)، (**مدل دوم**: انتشار سرانهٔ کربن و مصرف سرانهٔ انرژی بادی) و (**مدل سوم**: انتشار سرانهٔ کربن و مصرف سرانهٔ انرژی خورشیدی) پرداخته شده است. نتایج **مدل اول** در شکل ۴ ذکر گردیده است.



شکل ۴. نتایج مدل کوانتایل بر کوانتایل (انتشار سرانهٔ کربن و مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر)

مأخذ: یافته‌های پژوهش

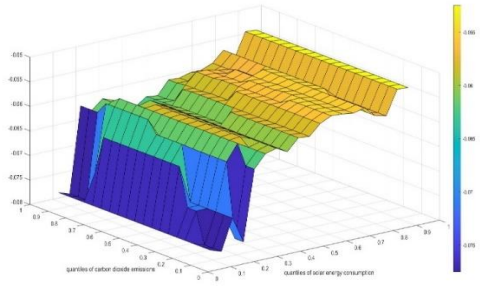
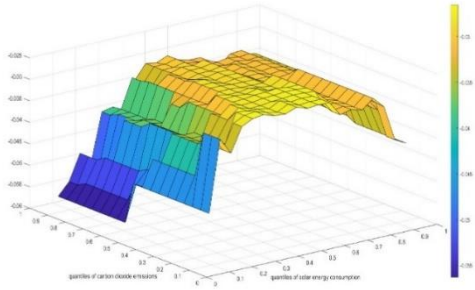
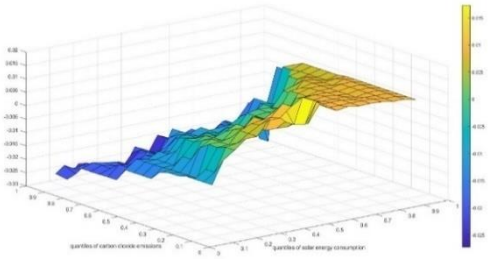
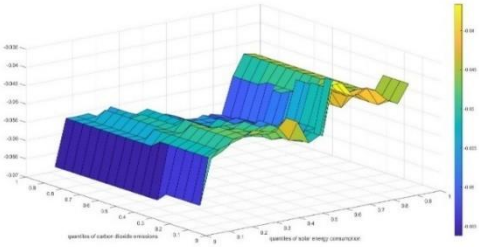
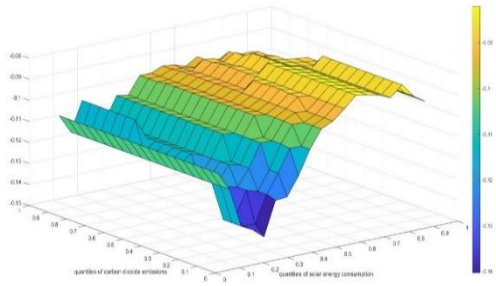
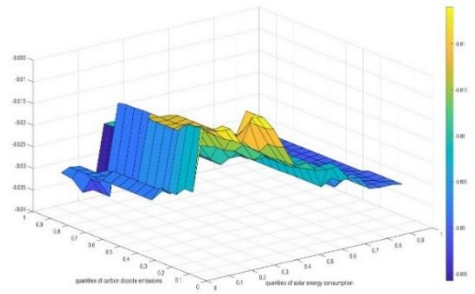
نتایج به‌دست‌آمده از شکل ۴ برای مدل اول را می‌توان برای کشورهای مورد بررسی این‌گونه تفسیر نمود: **فرانسه:** مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) تأثیر منفی و اساسی بر انتشار سرانهٔ کربن در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) داشته است؛ اما این ارتباط منفی در کوانتایل‌های متوسط رو به بالا (۰/۶۵ تا ۰/۹۵) مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر نسبت به کوانتایل‌های پایین تا متوسط قدری ضعیف‌تر بوده است. این نتایج مبین آن است که مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر به‌عنوان یک عامل اساسی و مؤثر در کاهش انتشار کربن در کشور مورد نظر نقش داشته است. **آلمان:** مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) تأثیر منفی و قابل توجهی بر انتشار سرانهٔ کربن در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) داشته است؛ اما این ارتباط منفی در کوانتایل‌های متوسط روبه‌بالا (۰/۵۵ تا ۰/۹۵) مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر نسبت به کوانتایل‌های پایین تا متوسط قدری ضعیف‌تر بوده است. این نتایج نشان می‌دهد که مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر به‌عنوان یک عامل مؤثر در کاهش انتشار کربن در کشور مورد نظر نقش داشته است. **ژاپن:** مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) تأثیر منفی و معناداری بر انتشار سرانهٔ کربن در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) داشته است؛ اما این ارتباط منفی در کوانتایل‌های متوسط روبه‌بالا (۰/۷۵ تا ۰/۹۵) مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر نسبت به کوانتایل‌های پایین تا متوسط قدری ضعیف‌تر بوده است. در کوانتایل (۰/۱۵ تا ۰/۶۵) مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر ارتباط منفی قوی بین دو متغیر وجود دارد. بدین ترتیب، مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند به کاهش انتشار کربن در این کشور کمک کند. **ایتالیا:** مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) تأثیر منفی و معناداری بر انتشار سرانهٔ کربن در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) داشته است؛ اما این ارتباط منفی در کوانتایل‌های متوسط روبه‌بالا (۰/۶ تا ۰/۹۵) مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر نسبت به کوانتایل‌های پایین تا متوسط قدری ضعیف‌تر بوده است. بدین ترتیب، مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر یک عامل مؤثر در کاهش انتشار کربن در کشور مورد نظر می‌باشد. **انگلیس:** مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) تأثیر منفی و قابل‌توجهی بر انتشار سرانهٔ کربن در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) داشته است؛ اما این ارتباط منفی در کوانتایل‌های متوسط روبه‌بالا (۰/۵ تا ۰/۹۵) مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر نسبت به کوانتایل‌های پایین تا متوسط قدری ضعیف‌تر بوده است. این نتایج نشان می‌دهد که مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر به‌عنوان یک عامل مؤثر در کاهش انتشار کربن در کشور مورد نظر نقش داشته است. **کانادا:** مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) تأثیر منفی و قابل‌توجهی بر انتشار سرانهٔ کربن در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) داشته است. بدین ترتیب، مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر به‌عنوان یک عامل مؤثر در کاهش انتشار کربن در کشور مورد نظر نقش داشته است. **آمریکا:** مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) تأثیر منفی و قابل‌توجهی بر انتشار سرانهٔ کربن در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) داشته است؛ اما این ارتباط منفی در کوانتایل‌های متوسط روبه‌بالا (۰/۶ تا ۰/۹۵) مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر نسبت به کوانتایل‌های پایین تا متوسط قدری ضعیف‌تر بوده است. بدین ترتیب، این نتایج به نقش انرژی‌های تجدیدپذیر در کاهش انتشار کربن اشاره می‌کنند. از سویی دیگر، نتایج حاصل از تخمین **مدل دوم** مطابق شکل ۵ به‌دست‌آمده است.

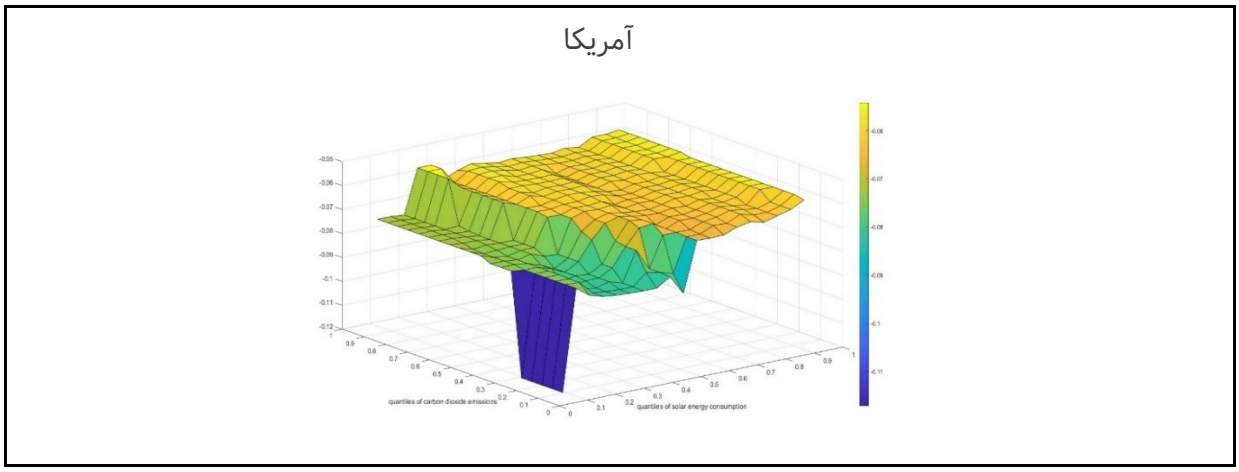


شکل ۵. نتایج مدل کوانتایل بر کوانتایل (انتشار سرانهٔ کربن و مصرف سرانهٔ انرژی بادی)

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتایج به‌دست‌آمده از شکل ۵ برای مدل دوم را می‌توان برای هر کشور مورد بررسی این‌گونه تفسیر نمود: **فرانسه:** مصرف سرانهٔ انرژی بادی در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) تأثیر منفی و اساسی بر انتشار سرانهٔ کربن در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) داشته است؛ اما این ارتباط منفی در کوانتایل‌های متوسط روبه‌بالا (۰/۵ تا ۰/۹۵) مصرف سرانهٔ انرژی بادی نسبت به کوانتایل‌های پایین تا متوسط قدری ضعیف‌تر بوده است. این نتایج نشان می‌دهد مصرف سرانهٔ انرژی بادی به‌عنوان یک عامل مؤثر در کاهش انتشار کربن در کشور مورد نظر نقش داشته است. **آلمان:** مصرف سرانهٔ انرژی بادی در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) تأثیر منفی و اساسی بر انتشار سرانهٔ کربن در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) داشته است؛ اما این ارتباط منفی در کوانتایل‌های متوسط روبه‌بالا (۰/۵ تا ۰/۹۵) مصرف سرانهٔ انرژی بادی نسبت به کوانتایل‌های پایین تا متوسط قدری ضعیف‌تر بوده است. نتایج این مهم را یادآور می‌شود که مصرف سرانهٔ انرژی بادی به‌عنوان یک عامل مؤثر در کاهش انتشار کربن در کشور مورد نظر نقش داشته است. **ژاپن:** مصرف سرانهٔ انرژی بادی در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) تأثیر منفی بر انتشار سرانهٔ کربن در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) داشته است؛ اما این ارتباط منفی در کوانتایل‌های متوسط روبه‌بالا (۰/۶ تا ۰/۹۵) مصرف سرانهٔ انرژی بادی نسبت به کوانتایل‌های پایین تا متوسط قدری ضعیف‌تر بوده است. بدین ترتیب، مصرف سرانهٔ انرژی بادی نقش مهمی در کاهش انتشار کربن دارد. **ایتالیا:** مصرف سرانهٔ انرژی بادی در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) تأثیر منفی و اساسی بر انتشار سرانهٔ کربن در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) داشته است؛ اما این ارتباط منفی در کوانتایل‌های متوسط روبه‌بالا (۰/۴ تا ۰/۹۵) مصرف سرانهٔ انرژی بادی نسبت به کوانتایل‌های پایین تا متوسط قدری ضعیف‌تر بوده است. بدین ترتیب، مصرف سرانهٔ انرژی بادی به‌عنوان یک عامل مؤثر در کاهش انتشار کربن در کشور مورد نظر نقش داشته است. **انگلیس:** مصرف سرانهٔ انرژی بادی در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) تأثیر منفی بر انتشار سرانهٔ کربن در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) داشته است؛ اما این ارتباط منفی در کوانتایل‌های متوسط روبه‌بالا (۰/۴ تا ۰/۹۵) مصرف سرانهٔ انرژی بادی نسبت به کوانتایل‌های پایین تا متوسط قدری ضعیف‌تر بوده است. نتایج این مهم را یادآور می‌شود که مصرف سرانهٔ انرژی بادی به‌عنوان یک عامل مؤثر در کاهش انتشار کربن در این کشور نقش دارد. **کانادا:** مصرف سرانهٔ انرژی بادی در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) تأثیر منفی و معناداری بر انتشار سرانهٔ کربن در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) داشته است؛ اما این ارتباط منفی در کوانتایل‌های متوسط روبه‌بالا (۰/۵۵ تا ۰/۹۵) مصرف سرانهٔ انرژی بادی نسبت به کوانتایل‌های پایین تا متوسط قدری ضعیف‌تر بوده است. نتایج این مهم را نشان می‌دهد که مصرف سرانهٔ انرژی بادی به‌عنوان یک عامل مؤثر در کاهش انتشار کربن در کشور مورد نظر نقش داشته است. **آمریکا:** مصرف سرانهٔ انرژی بادی در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) تأثیر منفی بر انتشار سرانهٔ کربن در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) داشته است؛ اما این ارتباط منفی در کوانتایل‌های متوسط روبه‌بالا (۰/۵ تا ۰/۹۵) مصرف سرانهٔ انرژی بادی نسبت به کوانتایل‌های پایین تا متوسط قدری ضعیف‌تر بوده است. بدین ترتیب، انرژی بادی می‌تواند به پایداری محیط زیست کمک کند. همچنین نتایج حاصل از برآورد **مدل سوم** در شکل ۶ نشان داده شده است.

فرانسه 	آلمان 
ژاپن 	ایتالیا 
انگلیس 	کانادا 



شکل ۶. نتایج مدل کوانتایل بر کوانتایل (انتشار سرانۀ کربن و مصرف سرانۀ انرژی خورشیدی)

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتایج به‌دست‌آمده از شکل ۶ برای مدل سوم را می‌توان برای هر کشور مورد بررسی این‌گونه تفسیر نمود: **فرانسه:** مصرف سرانۀ انرژی خورشیدی در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) تأثیر منفی بر انتشار سرانۀ کربن در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) داشته است؛ اما این ارتباط منفی در کوانتایل‌های متوسط روبه‌بالا (۰/۶۵ تا ۰/۹۵) مصرف سرانۀ انرژی خورشیدی نسبت به کوانتایل‌های پایین تا متوسط قدری ضعیف‌تر بوده است. نتایج این مهم را یادآور می‌شود که مصرف سرانۀ انرژی خورشیدی به‌عنوان یک عامل مؤثر در کاهش انتشار کربن در کشور مورد نظر نقش داشته است. **آلمان:** مصرف سرانۀ انرژی خورشیدی در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) تأثیر منفی و معناداری بر انتشار سرانۀ کربن در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) داشته است؛ اما این ارتباط منفی در کوانتایل‌های متوسط روبه‌بالا (۰/۴۵ تا ۰/۹۵) مصرف سرانۀ انرژی خورشیدی نسبت به کوانتایل‌های پایین تا متوسط قدری ضعیف‌تر بوده است. نتایج نشان می‌دهند که مصرف سرانۀ انرژی خورشیدی به‌عنوان یک عامل مؤثر در کاهش انتشار کربن در کشور مورد نظر نقش داشته است. **ژاپن:** مصرف سرانۀ انرژی خورشیدی در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) تأثیر منفی بر انتشار سرانۀ کربن در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) داشته است؛ اما این ارتباط منفی در کوانتایل‌های متوسط روبه‌بالا (۰/۶ تا ۰/۹۵) مصرف سرانۀ انرژی خورشیدی نسبت به کوانتایل‌های پایین تا متوسط قدری ضعیف‌تر بوده است. درنتیجه، مصرف سرانۀ انرژی خورشیدی به‌عنوان یک عامل مؤثر در کاهش انتشار کربن در کشور مورد نظر نقش داشته است. **ایتالیا:** مصرف سرانۀ انرژی خورشیدی در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) تأثیر منفی بر انتشار سرانۀ کربن در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) داشته است؛ اما این ارتباط منفی در کوانتایل‌های متوسط روبه‌بالا (۰/۶ تا ۰/۹۵) مصرف سرانۀ انرژی خورشیدی نسبت به کوانتایل‌های پایین تا متوسط قدری ضعیف‌تر بوده است. بدین ترتیب، مصرف سرانۀ انرژی خورشیدی به‌عنوان یک عامل مؤثر در کاهش انتشار کربن در کشور مورد نظر نقش داشته است. **انگلیس:** مصرف سرانۀ انرژی خورشیدی در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) تأثیر منفی و اساسی بر انتشار سرانۀ کربن در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) داشته است؛ اما این ارتباط منفی در کوانتایل‌های متوسط روبه‌بالا (۰/۵۵ تا ۰/۹۵) مصرف سرانۀ انرژی خورشیدی نسبت به کوانتایل‌های پایین تا متوسط قدری ضعیف‌تر بوده است. نتایج نشان‌دهندۀ ارتباط منفی بین مصرف سرانۀ انرژی خورشیدی و انتشار سرانۀ کربن در کشور مورد نظر است. **کانادا:** مصرف سرانۀ انرژی خورشیدی در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) تأثیر منفی بر انتشار سرانۀ کربن در تمام کوانتایل‌ها

(۰/۰۵ تا ۰/۹۵) داشته است؛ اما این ارتباط منفی در کوانتایل‌های متوسط روبه‌بالا (۰/۶۵ تا ۰/۹۵) مصرف سرانهٔ انرژی خورشیدی نسبت به کوانتایل‌های پایین تا متوسط قدری ضعیف‌تر بوده است. بدین ترتیب، مصرف سرانهٔ انرژی خورشیدی به‌عنوان یک عامل مؤثر در کاهش انتشار کربن است. **آمریکا:** مصرف سرانهٔ انرژی خورشیدی در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) تأثیر منفی و اساسی بر انتشار سرانهٔ کربن در تمام کوانتایل‌ها (۰/۰۵ تا ۰/۹۵) داشته است؛ اما این ارتباط منفی در کوانتایل‌های متوسط روبه‌بالا (۰/۷ تا ۰/۹۵) مصرف سرانهٔ انرژی خورشیدی نسبت به کوانتایل‌های پایین تا متوسط قدری ضعیف‌تر بوده است. نتایج توسعهٔ مصرف سرانهٔ انرژی خورشیدی به‌عنوان یک عامل مؤثر در کاهش انتشار سرانهٔ کربن در کشور مورد نظر را تشویق می‌کند.

۵ بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به دنبال بررسی جامعی از نقش مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر، به‌ویژه انرژی‌های بادی و خورشیدی، در کاهش انتشار سرانهٔ کربن است. ازاین‌رو، با استفاده از رهیافت اقتصادسنجی تازه و جدید رگرسیون کوانتایل بر کوانتایل، رابطهٔ آماری بین متغیرهای مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر و مصرف سرانهٔ انرژی‌های بادی و خورشیدی بر انتشار سرانهٔ کربن بررسی شده است. نتایج حاصله نشان‌دهندهٔ آن است که استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌عنوان جایگزینی برای منابع انرژی سنتی (فسیلی و هیدروکربوری)، توانایی کاهش قابل‌توجهی در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارند. نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌سازی جدید کوانتایل بر کوانتایل برای جامعهٔ مورد مطالعه کشورهای گروه ۷، در کشورهای آلمان، فرانسه، انگلیس و آمریکا در تمام چندک‌ها و برای کشورهای ایتالیا، ژاپن و کانادا در برخی از چندک‌های ابتدایی و میانی صادق و مؤثر بوده است. به‌صورت دقیق‌تر می‌توان به این مهم دست‌یافت که مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر و مصرف سرانهٔ انرژی‌های بادی و خورشیدی بر انتشار سرانهٔ کربن در تمامی کشورهای گروه هفت تأثیری منفی داشته است. بدین ترتیب، لزوم توجه به انرژی‌های تجدیدپذیر و نیز انرژی‌های بادی و خورشیدی به‌عنوان رهبران آیندهٔ بازار انرژی‌های نو در کشورهای مورد بررسی از اهمیت بالایی برخوردار بوده است. همچنین نتایج به‌دست‌آمده در قالب تجربه‌نگاری، بهبود وضعیت توسعهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر و لزوم دست‌یابی به توسعهٔ پایدار و محیطزیست پایدار را تبیین می‌نماید.

بدین ترتیب، پژوهش حاضر نشان می‌دهد که انتقال به سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر به‌عنوان جایگزینی برای سوخت‌های فسیلی، همچنان یک راهکار مؤثر برای کاهش انتشار سرانهٔ کربن و محافظت از محیط زیست است. همچنین بررسی رابطهٔ بین مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی‌های بادی و خورشیدی و انتشار سرانهٔ کربن در کشورهای درحال‌توسعه (مانند ایران) به دلایلی همچون مسائل زیست‌محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، تأثیرات اقتصادی و اجتماعی ناشی از مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر، امنیت انرژی، ایجاد اشتغال به‌ویژه در بخش تولید پانل‌های بادی و خورشیدی و تعهدات بین‌المللی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از اهمیت منحصربه‌فردی برخوردار است. به عبارتی، بررسی تأثیر مصرف سرانهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر (به‌ویژه انرژی‌های بادی و خورشیدی) بر انتشار سرانهٔ کربن برای دست‌یابی به توسعهٔ پایدار، حفاظت از محیطزیست و کاهش آثار منفی تغییرات اقلیمی ضروری و مهم هستند. نتایج تحلیل رگرسیون کوانتایل بر کوانتایل نشان می‌دهد که تأثیر متغیرهای مختلف، مانند تکنولوژی، سیاست‌های حکومتی و شرایط اقتصادی کشورهای مورد مطالعه، بر میزان کاهش انتشار سرانهٔ کربن توسط انرژی‌های تجدیدپذیر، قابل‌توجه است؛ بنابراین، توسعه و ارتقای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در سطح جهانی و اعمال سیاست‌های مؤثر در این زمینه، تدوین و اجرای سیاست‌های

انرژی پایدار، توسعهٔ زیرساخت‌های مورد نیاز برای تولید انرژی‌های تجدیدپذیر، ارتقای تحقیقات و توسعه در زمینهٔ فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، آگاهی‌بخشی دربارهٔ مزایای بهره‌مندی از انرژی‌های تجدیدپذیر و تشویق به تولید داخلی تجهیزات و تکنولوژی‌های مرتبط با انرژی‌های تجدیدپذیر امری ضروری است. همچنین تحقیقات در این زمینه باعث می‌شود تا در آینده، جوامع جهانی بتوانند با استفاده از انرژی‌های نو و قابل‌تجدید، به محیط‌زیست پایدارتری دست یابند و در مقابل تغییرات اقلیمی و تهدیدات محیط‌زیست مقاوم‌تر باشند. همچنین دولت‌ها باید سیاست‌های کاهش انتشار کربن و حفظ انرژی را توسعه داده و به اجرا بگذارند و نیز اقدامات مربوطه را برای تشویق واحدهای تولیدی به اجرای فناوری‌های سبز ضمیمه کنند. یارانه‌های انرژی‌های تجدیدناپذیر باید به‌تدریج حذف شده و به فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر منتقل شوند تا استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر به‌ویژه انرژی‌های بادی و خورشیدی را تشویق نمایند. شایان گفتن است که نتایج این پژوهش در راستای مطالعات ژانگ و همکاران (۲۰۲۳)، هائو (۲۰۲۲)، گونی و اوستونداغ (۲۰۲۲) و گونی و اینس (۲۰۲۱)، می‌باشد.

تأمین مالی
نویسندگان اعلام کردند که هیچ حمایت مالی برای این پژوهش وجود ندارد.

تضاد منافع
نویسندگان اعلام کردند که هیچ‌گونه تضاد منافع برای این پژوهش وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان
نویسندگان در مفهوم‌سازی و نگارش مقاله مشارکت داشتند. همهٔ نویسندگان محتوای مقاله را تأیید کردند و در مورد تمام جنبه‌های کار توافق داشتند.

تشکر و قدردانی
نویسندگان از تمامی مشاوران علمی در این مقاله تشکر می‌کنند.

منابع

Adebayo, T., Rjoub, H., Akinsola, G., & Oladipupo, S. (2022). The asymmetric effects of renewable energy consumption and trade openness on carbon emissions in Sweden: new evidence from quantile-on-quantile regression approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 29.

https://doi.org/10.1007/s11356-021-15706-4.

Adedoyin, F. F., Bekun, F. V., & Alola, A. A. (2020). Growth impact of transition from non-renewable to renewable energy in the EU: the role of research and development expenditure. *Renewable Energy*, 159, 1139-1145.

https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.06.015.

Arefian, Mohammad Reza and Farji Dizji, Sajjad and Ghasemi, Sahar, 2019, Investigating the role of renewable energy, non-renewable energy and economic growth on carbon emissions in OECD countries, https://civilica.com/doc/1226228 (in Persian).

Astariz, S., & Iglesias, G. (2015). The economics of wave energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 397-408.

https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.061.

Du, G. (2023). Nexus between green finance, renewable energy, and carbon intensity in selected Asian countries. *Journal of Cleaner Production*, 405, 136822.

https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136822.

Fallahi, Mohammad Ali and Hosseinzadeh, Faezeh, 2019, The effect of wind energy consumption on CO2 emissions in Iran and other selected countries, *National Conference on Construction, Environment and Energy Consumption Management*, Ahvaz, https://civilica.com/doc/1040843 (in Persian).

Ghaffari, Hadi, Moulai, Mohammad Ali, and Mohammad, Sosan. (2015). The impact of wind energy consumption on economic growth and CO2 emissions. *Energy Planning and Policy Studies*, 2(3), 229-253. SID.

https://sid.ir/paper/266325/fa (in Persian).

Güney, T., & Ince, D. (2021). Solar Energy and CO2 Emissions: CCEMG Estimations for 26 Countries. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-688369/v1.

Güney, T., & Üstündağ, E. (2022). Wind energy and CO2 emissions: AMG estimations for selected countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 29.

https://doi.org/10.1007/s11356-021-17382-w.

Hao, Y. (2022). The relationship between renewable energy consumption, carbon emissions, output, and export in industrial and agricultural sectors: evidence from China. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(42), 63081-63098., https://doi.org/10.1007/s11356-022-20141-0.

Hereher, M., & El Kenawy, A. M. (2020). Exploring the potential of solar, tidal, and wind energy resources in Oman using an integrated climatic-socioeconomic approach. *Renewable Energy*, 161, 662-675. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.144.

Işık, C., Simionescu, M., Ongan, S. et al. Renewable energy, economic freedom and economic policy uncertainty: New evidence from a dynamic panel threshold analysis for the G-7 and BRIC countries. *Stoch Environ Res Risk Assess* 37, 3367–3382 (2023). https://doi.org/10.1007/s00477-023-02452-x.

Kirikkaleli, D., & Adebayo, T. S. (2021). Do public-private partnerships in energy and renewable energy consumption matter for consumption-based carbon dioxide emissions in India? *Environmental Science and Pollution Research*, 28(23), 30139-30152. https://doi.org/10.1007/s11356-021-12692-5.

Koengkan, M., Losekann, L. D., Fuinhas, J. A., & Marques, A. C. (2018). The effect of hydroelectricity consumption on environmental degradation–The case of South America region. *TAS Journal*, 2(2), 45-67., https://doi.org/10.32640/tasj.2018.2.46.

Magazzino, C., Mele, M., & Schneider, N. (2021). A machine learning approach on the relationship among solar and wind energy production, coal consumption, GDP, and CO2 emissions. *Renewable Energy*, 167, 99-115. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.050.

Marques, A. C., & Fuinhas, J. A. (2012). Is renewable energy effective in promoting growth? *Energy policy*, 46, 434-442. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.04.006.

Masoudi, Nasim, Dehmarde Qala Nou, Nazar, and Esfandiari, Marzieh. (2019). Investigating the impact of renewable energy and technical innovations and economic growth on carbon dioxide emissions. *Economic Growth and Development Research*, 10(40), 35-54. SID. https://sid.ir/paper/952808/fa (in Persian).

Miao, R., Ma, J., Liu, Y., Liu, Y., Yang, Z., & Guo, M. (2019). Variability of

aboveground litter inputs alters soil carbon and nitrogen in a coniferous–broadleaf mixed forest of Central China. *Forests*, 10(2), 188., https://doi.org/10.3390/f10020188.

Murshed, M., Elheddad, M., Ahmed, R. et al. Foreign Direct Investments, Renewable Electricity Output, and Ecological Footprints: Do Financial Globalization Facilitate Renewable Energy Transition and Environmental Welfare in Bangladesh?. *Asia-Pac Financ Markets* 29, 33–78 (2022). https://doi.org/10.1007/s10690-021-09335-7.

Nathaniel, S. P., & Iheonu, C. O. (2019). Carbon dioxide abatement in Africa: the role of renewable and non-renewable energy consumption. *Science of the Total Environment*, 679, 337-345, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.011.

Nik Andish, S., Nasrollahi, Z., & Ansari Samani, H. (2015). Electricity production from renewable energies and carbon dioxide emissions of Iran and a group of selected countries of the *10th Congress of Progress Pioneers*, Tehran.

https://civilica.com/doc/650638 (in Persian).

Ocal, O., & Aslan, A. (2013). Renewable energy consumption–economic growth nexus in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 494-499. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.036.

Rauf, A., Liu, X., Amin, W., Rehman, O. U., Li, J., Ahmad, F., & Victor Bekun, F. (2020). Does sustainable growth, energy consumption and environment challenges matter for Belt and Road Initiative feat? A novel empirical investigation. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121344.

https://doi.org/ 10.1016/j.jclepro.2020.121344.

Rubin, E. S., Azevedo, I. M., Jaramillo, P., & Yeh, S. (2015). A review of learning rates for electricity supply technologies. *Energy policy*, 86, 198-218. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.06.011.

Sadorsky, P. (2009). Renewable Energy Consumption, CO2 Emissions and Oil Prices in the G7 Countries. *Energy Economics*, 31, 456-462.

https://doi.org/10.1016/j.eneco.2008.12.010.

Schilling, M. A., & Esmundo, M. (2009). Technology S-curves in renewable energy alternatives: Analysis and implications for industry and government. *Energy policy*, 37(5), 1767-1781. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.01.004.

Shan, S., Ahmad, M., Tan, Z., Adebayo, T. S., Li, R. Y. M., & Kirikkaleli, D. (2021). The role of energy prices and non-linear fiscal decentralization in

limiting carbon emissions: tracking environmental sustainability. *Energy*, 234, 121243, https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121243.

Sim, N., & Zhou, H. (2015). Oil prices, US stock return, and the dependence between their quantiles. *Journal of Banking & Finance*, 55, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2015.01.013.

Usman, O., Akadiri, S., & Adeshola, I. (2020). Role of renewable energy and globalization on ecological footprint in the USA: implications for environmental sustainability. *Environmental Science and Pollution Research*. https://doi.org/10.1007/s11356-020-09170-9.

Voumik, L. C., Islam, M. A., Ray, S., Mohamed Yusop, N. Y., & Ridzuan, A. R. (2023). CO2 Emissions from Renewable and Non-Renewable Electricity Generation Sources in the G7 Countries: *Static and Dynamic Panel Assessment. Energies*, 16(3).

Xu, B., Zhong, R., & Liu, Y. (2019). Comparison of CO2 emissions reduction efficiency of household fuel consumption in China. *Sustainability*, 11(4), 979. https://doi.org/10.3390/su11040979.

Yousefi, H., Abbaspour, A., & Seraj, H. (2019). Worldwide development of wind energy and co2 emission reduction. *Environmental Energy and Economic Research*, 3(1), 1-9. https://doi.org/10.22097/eeer.2019.164295.1064 (in Persian).

Yu, J., Tang, Y. M., Chau, K. Y., Nazar, R., Ali, S., & Iqbal, W. (2022). Role of solar-based renewable energy in mitigating CO2 emissions: evidence from quantile-on-quantile estimation. *Renewable Energy*, 182, 216-226. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.10.002.

Yurtkuran, Suleyman, 2021. "The effect of agriculture, renewable energy production, and globalization on CO2 emissions in Turkey: A bootstrap ARDL approach," *Renewable Energy, Elsevier*, vol. 171(C), pages 1236-1245.

Zafar, M. W., Shahbaz, M., Hou, F., & Sinha, A. (2019). From nonrenewable to renewable energy and its impact on economic growth: the role of research & development expenditures in Asia-Pacific Economic Cooperation countries. *Journal of cleaner production*, 212, 1166-1178. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.081.

Zhang, T., Yin, J., Li, Z., Jin, Y., Ali, A., & Jiang, B. (2023). A dynamic relationship between renewable energy consumption, non-renewable energy consumption, economic growth and CO2 emissions: Evidence from Asian emerging economies [Original Research]. *Frontiers*

in Environmental Science, 10. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1092196.