

## Investigating the Role of Renewable and Non-Renewable Energy and Economic Growth on Carbon Emission in OECD Countries

Mohammadreza Arefian\*

Sajjad Faraji Dizaji\*\*, Sahar Ghasemi\*\*\*

### Abstract

Increased exploitation and consumption of fossil resources in the last century and competitive efforts for economic growth and development have led to excessive emissions of carbon dioxide, resulting in widespread environmental degradation and climate changes. Therefore, it is necessary to study the relationship between the level of economic activities and environmental indicators for optimal management and protection of the environment along with attention to economic progress. Achieving the goal of controlling global warming depends on a significant reduction in greenhouse gas emissions, which in turn is significantly related to energy consumption, especially fossil fuels. In this study, the effects of renewable energy and non-renewable energy consumption along with economic growth, trade openness, and financial development on Carbon dioxide emissions have been investigated using the panel method to show the interactions and interactive behavior of variables. This study was conducted using data available for the OECD countries and the period from 1990 to 2014. The results show that there is a positive and significant relationship between increased carbon dioxide emissions and the consumption of non-renewable energy. Economic growth, renewable energy consumption, trade openness, and

---

\* PhD Student in Economics, Faculty of Management and Economics, Tarbiat Modares University (Corresponding Author), m.arefian@modares.ac.ir

\*\* Assistant Professor of Economics, Faculty of Management and Economics, Tarbiat Modares University, s\_dizaji@modares.ac.ir

\*\*\* Master of Economics, Faculty of Management and Economics, Tarbiat Modares University, sahar\_ghasemi@modares.ac.ir

Date received: 23/02/2020, Date of acceptance: 30/06/2020

Copyright © 2010, IHCS (Institute for Humanities and Cultural Studies). This is an Open Access article. This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA..

financial development reduce carbon dioxide emissions and improve environmental conditions.

**Keywords:** Carbon Dioxide, Economic Growth, Renewable Energy, Non-Renewable Energy

**JEL Classification:** C33 , D62 , H2

## بررسی نقش انرژی تجدیدپذیر، انرژی تجدیدناپذیر و رشد اقتصادی بر انتشار کربن در کشورهای OECD

محمد رضا عارفیان\*

سجاد فرجی دیزجی\*\*، سحر قاسمی\*\*\*

### چکیده

افزایش بهره‌برداری و مصرف منابع فسیلی در صدهای اخیر و تلاش توأم با رقابت به‌منظور رشد و توسعه اقتصادی موجب انتشار بیش‌ازحد دی‌اکسید کربن و در نتیجه تخریب گسترده محیط‌زیست و تغییرات اقلیمی شده است. لذا بررسی رابطه میان سطح فعالیت‌های اقتصادی و شاخص‌های زیست‌محیطی جهت مدیریت بهینه و حفظ محیط‌زیست در کنار توجه به پیشرفت اقتصادی امری ضروری است. تحقق هدف کنترل گرمایش جهانی، به کاهش چشمگیر در میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای وابسته است که این انتشار نیز خود ارتباط قابل‌توجهی با مصرف انرژی به‌ویژه سوخت‌های فسیلی دارد. در این مطالعه اثرات مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و انرژی‌های تجدیدناپذیر به همراه رشد اقتصادی، آزادی تجارت و توسعه مالی بر انتشار دی‌اکسید کربن با بهره‌گیری از روش پنل‌ور به‌منظور نشان دادن اثرات متقابل و رفتار تعاملی متغیرها، مورد بررسی قرار گرفته است. این پژوهش با استفاده از داده‌های در دسترس برای کشورهای سازمان همکاری و توسعه اقتصادی و بازه زمانی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد رابطه مثبت و معناداری میان افزایش انتشار دی‌اکسید کربن و مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر وجود دارد. حال آنکه رشد اقتصادی، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر، آزادی تجارت و توسعه مالی موجب کاهش انتشار گاز دی‌اکسید کربن و بهبود شرایط زیست‌محیطی می‌شود.

\* دانشجوی دکتری اقتصاد، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس (نویسنده مسئول)،

m.arefian@modares.ac.ir

\*\* استادیار اقتصاد، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، s\_dizaji@modares.ac.ir

\*\*\* کارشناس ارشد اقتصاد، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، sahar\_ghasemi@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۰۴، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۱۰

**کلیدواژه‌ها:** دی‌اکسید کربن، رشد اقتصادی، انرژی تجدیدپذیر، انرژی تجدیدناپذیر

طبقه‌بندی JEL: H23 D62 C33

## ۱. مقدمه

با توجه به اهمیت روزافزون حفظ محیط‌زیست و عزم جهانی به منظور کنترل میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به خصوص دی‌اکسید کربن که مهم‌ترین عامل گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی تلقی می‌شود، نیاز به مطالعه عوامل مؤثر در انتشار این گاز مخرب و ارائه راهکار در این زمینه از اقدامات ضروری محسوب می‌شود. تحقق هدف کنترل گرمایش جهانی، به کاهش چشمگیر در میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای وابسته است که این انتشار نیز خود ارتباط قابل توجهی با مصرف انرژی به‌ویژه سوخت‌های فسیلی دارد. سوخت‌های فسیلی و روند بهره‌برداری و مصرف آن در صدهای اخیر زمینه‌ساز بروز چالش‌ها و نگرانی‌های جدی در حیطه مسائل مربوط به انرژی و محیط‌زیست شده است. چالش‌هایی در مورد امنیت عرضه این سوخت‌ها، پایان‌پذیری منابع آن و از همه مهم‌تر آلاینده‌های زیست‌محیطی و مسئله گرمایش زمین. از این رو ارائه راه‌حل و اتخاذ سیاست‌های بهینه در این زمینه امری لازم و ضروری به شمار می‌آید. توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر که تولید و تهیه آن‌ها آلاینده‌گی ناچیزی دارد و چون تجدیدپذیرند برای آن‌ها پایان نزدیکی وجود ندارد، می‌تواند مهم‌ترین گزینه در راستای حل و فصل این بحران باشد. انرژی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تولید و همچنین یکی از ضروری‌ترین محصولات نهایی، نقش ویژه‌ای در رشد و توسعه اقتصادی کشورها دارد. در نتیجه تأمین منابع انرژی پاک، تجدیدپذیر و اقتصادی، از ضرورت‌های نظام‌های اقتصادی جهان به‌شمار می‌آید.

امروزه انرژی‌های تجدیدپذیر، روزه‌روز سهم بیشتری در سیستم تأمین انرژی جهان به‌عهده می‌گیرند. انرژی‌های تجدیدپذیر، اساساً با طبیعت سازگار بوده و آلودگی ندارند و چون تجدیدپذیرند پایانی برای آن‌ها وجود ندارد. ویژگی‌های دیگر این منابع و همچنین پراکندگی و گستردگی آن‌ها در تمام جهان، انرژی‌های تجدیدپذیر را به‌ویژه برای کشورهای در حال توسعه از جاذبه بیشتری برخوردار کرده است. از مزایای کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توان به افزایش امنیت عرضه انرژی، کاهش میزان گرمایش جهانی، تحریک

رشد اقتصادی، ایجاد اشتغال، افزایش میزان درآمد سرانه، برقراری عدالت اجتماعی و حفاظت محیط زیست اشاره کرد (موسوی شفائی و همکاران، ۱۳۹۵، ص: ۲۱۵).

دستیابی به رشد و توسعه اقتصادی متضمن استفاده صحیح و کارا از منابع است. بر این اساس حفظ و صیانت از منابع تجدیدناپذیر و کاهش اثرات زیست محیطی فعالیت های اقتصادی از اهمیت خاصی برخوردار است.

روند رو به رشد مصرف انرژی، کاهش منابع سوخت های فسیلی و نیز گرم شدن بیش از اندازه کره زمین از علل عمده و مهم در گرایش کشورها به استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر (Renewable Energy Sources) به عنوان جایگزینی برای سوخت های فسیلی محسوب می شود. پروتکل کیوتو (Kyoto Protocol) در سال ۱۹۹۷، از جمله اقدامات ابتدایی در جهت جایگزینی انرژی های تجدیدپذیر به جای سوخت های فسیلی است. در واقع پروتکل کیوتو، فراگیرترین و جامع ترین توافقنامه درباره محیط زیست و توسعه پایدار تا به امروز شمرده می شود. این پیمان به منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه ای (Greenhouse Gases) که از عوامل اصلی گرم شدن زمین در دهه های اخیر تلقی می شوند، پی ریزی شده است. طبق این پروتکل کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه موظف شده بودند تا در یک دوره زمانی پنج ساله طی سال های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ میزان GHG را به ۵.۲ درصد کمتر از حد آن در سال ۱۹۹۰ کاهش دهند. انتشار CO<sub>2</sub> به عنوان مهم ترین گاز آلوده کننده، ۵۸/۸ درصد از مجموع انتشار گازهای گلخانه ای در جهان را شامل می شود. از آنجایی که عامل اصلی در تولید این گاز، استفاده از سوخت های فسیلی در بخش تولید انرژی است، بنابراین به نظر می رسد عمده ترین تلاش ها در جهت کاهش انتشار CO<sub>2</sub> کم کردن استفاده از سوخت های فسیلی در این بخش باشد. بدین منظور سعی در افزایش استفاده از انرژی های تجدیدپذیر از جمله انرژی بادی و خورشیدی ملاک کار بسیاری از دولت ها برای تولید سایر انرژی ها از جمله انرژی برق قرار گرفته است. بر اساس اطلاعات آماری منتشره در شرکت بی پی (British Petroleum) از کل انرژی جهان (۲۰۱۳) اگرچه مصرف انرژی های تجدیدپذیر در مقابل منابع انرژی تجدیدناپذیر (Non renewable Energy sources) سهم ناچیزی را به خود اختصاص داده است؛ اما پیوسته با گذشت زمان و انجام سرمایه گذاری ها و احداث زیرساخت های لازم میزان به کارگیری این نوع انرژی همواره روند رو به رشدی را از خود نشان می دهد. بر اساس این آمار در بین کشورهای آسیایی چین با ۱۳/۴ درصد، هند با ۶/۴ درصد و ژاپن با ۳/۴ درصد

به ترتیب رتبه‌های اول تا سوم را در تولید انرژی تجدیدپذیر به خود اختصاص داده‌اند (این نسبت‌ها بیانگر سهم انرژی تجدیدپذیر نسبت به کل انرژی تولیدی در داخل هر کشور است) (صادقی و همکاران، ۱۳۹۶، ص: ۱۷۲).

اولین تحول در نگرش‌های مربوط به محیط‌زیست در اوایل دهه هفتاد میلادی رخ داد که در مورد کیفیت محیط‌زیست در برابر رشد اقتصادی بحث می‌کرد. در این دوره بسیاری از محققان عقیده داشتند رشد اقتصادی و حفظ کیفیت محیط‌زیست در تضاد با یکدیگر قرار دارند. سال‌ها بعد در این راستا و به منظور تکمیل نظریه‌های مرتبط با رشد و محیط‌زیست، فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس مطرح گردید. منحنی زیست‌محیطی کوزنتس (Environmental Kuznets Curve) فرضیه‌ای است که رابطه بین شاخص‌های محیط‌زیست و درآمد سرانه را بیان می‌نماید. مفهوم EKC در اوایل دهه ۱۹۹۰ توسط گروسمن و کروگر (Grossman and Kruger) (۱۹۹۱) مطرح گردید و توسط گزارش توسعه جهانی بانک جهانی سال ۱۹۹۲ معروف گردید. شکل این منحنی به شکل U معکوس می‌باشد و این فرضیه بیان می‌کند که در ابتدا بر اثر افزایش درآمد سرانه، میزان آلودگی افزایش می‌یابد ولی پس از رسیدن به سطح خاصی از درآمد سرانه، آلودگی کاهش می‌یابد.

یکی از انتقادهای اساسی وارد بر منحنی زیست‌محیطی کوزنتس، عدم توجه آن به الگوی تجاری به عنوان یکی از دلایل اصلی کاهش آلودگی است. حال آن‌که الگوی تجاری منتج از فرضیه پناهگاه آلاینده‌ها در کشورهای با سطح درآمد بالا و افزایش آلودگی در کشورهای با سطح درآمد پایین مطرح می‌شود. به طوری که بر اساس فرضیه پناهگاه آلاینده‌ها، تفاوت در شدت و اعمال سیاست‌های زیست‌محیطی بین کشورهای مختلف، منجر به ایجاد مزیت نسبی در تولید کالاهایی با شدت آلودگی بیشتر در کشورهای خواهی‌خواهد شد که سیاست‌های زیست‌محیطی ملایم‌تری در آن‌ها اعمال می‌شود، در حالی که کشورهایی با سیاست‌های زیست‌محیطی شدید در تولید کالاهای پاک تخصص پیدا می‌کنند و تولیداتی با شدت آلودگی بالا را از کشورهای دیگر وارد می‌نمایند (برقی اسکویی، ۱۳۸۷، ص: ۳).

لذا با توجه به مطالب عنوان‌شده، هدف این مطالعه عبارت است از بررسی عوامل مؤثر بر انتشار کربن به خصوص مصرف انرژی‌های مختلف و سنجش میزان سهم هر یک در آلاینده‌های زیست‌محیطی به منظور ارائه سیاست‌های بهینه در جهت حفظ محیط‌زیست توأم با توجه به رشد و توسعه اقتصادی.

این پژوهش با استفاده از روش توصیفی-تحلیلی برای کشورهای سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (Organisation for Economic Co-operation and Development) انجام شده و در نهایت نیز از ابزارهای کمی جهت آزمون فرضیه‌ها و ذکر نتایج استفاده می‌گردد. دلیل انتخاب این گروه از کشورها، توسعه مناسب و استفاده گسترده از انرژی‌های تجدیدپذیر در کنار مصرف سوخت‌های فسیلی می‌باشد که امکان بررسی هم‌زمان اثر این دو متغیر به‌همراه رشد اقتصادی بر روی انتشار کربن را فراهم می‌سازد.

نوآوری این پژوهش در بررسی رابطه انتشار دی‌اکسید کربن با رشد اقتصادی و مصرف انرژی و تفکیک منابع انرژی به منابع تجدیدپذیر و فسیلی است. حال آنکه در مطالعات گذشته منابع انرژی به تفکیک بررسی نشده و هیچ تمایزی بین منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در نظر گرفته نشده است. اضافه شدن متغیرهای آزادی تجارت و توسعه مالی که تأثیر قابل توجهی بر انتشار کربن دارند نیز از دیگر تمایزات این پژوهش با مطالعات پیشین می‌باشد. در این تحقیق از روش خودرگرسیون داده‌های پنلی Panel-Var استفاده شده است. استفاده از این روش ما را قادر خواهد نمود تا پویایی و اثرات هم‌زمان متغیرهای معرفی شده پژوهش را در نظر بگیریم و رفتار تعاملی و اثرات متقابل آن‌ها را مورد بررسی قرار دهیم که کمتر در مطالعات دیگر مورد تأکید قرار گرفته‌اند.

همچنین فرضیات مطرح شده در این پژوهش به شرح زیر می‌باشد:

۱. انرژی تجدیدپذیر تأثیر منفی بر انتشار دی‌اکسید کربن و انرژی تجدیدناپذیر تأثیر مثبت بر انتشار دی‌اکسید کربن دارد.
۲. رشد اقتصادی در مراحل توسعه‌یافتگی مطابق فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس باعث کاهش انتشار دی‌اکسید کربن می‌شود.
۳. آزادی تجارت موجب کاهش انتشار دی‌اکسید کربن می‌شود.
۴. توسعه مالی موجب کاهش انتشار دی‌اکسید کربن می‌شود.

در ادامه سایر بخش‌های مقاله به‌صورت زیر سازمان‌دهی می‌شوند: بخش دوم به بررسی ادبیات موضوع و پیشینه تحقیق می‌پردازد. بخش سوم با عنوان مدل و روش‌شناسی تحقیق شامل معرفی مدل انتخاب شده برای مطالعه و معرفی روش انجام تخمین‌ها و آزمون‌های مرتبط می‌باشد. در انتها و بخش چهارم با توجه به برآورد مدل و آزمون‌های آماری در مورد روابط بین متغیرها نتیجه‌گیری شده است.

## ۲. مروری بر ادبیات موضوع

### ۱.۲ مبانی نظری

اهمیت مسائل زیست‌محیطی در زندگی جهان امروز باعث شده اقتصاددانان حوزه‌های مختلف مسائل اقتصاد محیط‌زیست را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهند. این حوزه‌های جدید اقتصاد محیط‌زیست، از یک طرف به مسائل اقتصاد بخش عمومی مانند آلودگی صنعتی واحدهای تولیدی و از طرف دیگر به مسائل اقتصاد منابع طبیعی مانند فرسایش خاک و خسارت‌های وارد به جنگل‌ها مرتبط است. البته موضوع مسائل زیست‌محیطی به مباحث اقتصاد توسعه نیز بسط داده شده است. همچنین در فرضیه کوزنتس ارتباط بین رشد اقتصادی و کیفیت محیط‌زیست متغیر در نظر گرفته شده است. از نظر وی ارتباط کیفیت محیط‌زیست و رشد اقتصادی می‌تواند مثبت یا منفی باشد. این همان منحنی محیط‌زیستی کوزنتس (EKC) می‌باشد که وی آن را به شکل U معکوس تجسم نموده است. در همین ارتباط می‌توان مفهوم توسعه پایدار را در چنین الگویی از توسعه مطرح کرد؛ سیاست‌های اقتصادی از یک سو می‌بایست حرکت و انتقال منابع به بخش‌هایی که ضرر کمتری به منابع پایه‌ای و محیط‌زیستی دارند را مورد توجه قرار دهد و از سوی دیگر در جهت اعتلای تکنولوژی سازگار با محیط‌زیست و تشویق الگوی مناسب مصرف کوشش نماید (امین رشتی، صیامی عراقی، ۱۳۹۱، ص: ۳۸).

به منظور بررسی رابطه‌ی علیت میان انتشار و درآمد دو حالت وجود دارد، به طوری که انتشار تابعی از درآمد یا درآمد تابعی از انتشار باشد. می‌توان رابطه‌ی اول را به عنوان منحنی انگل برای انتشار (که معمولاً از نقطه نظر ترجیحات مصرف‌کننده به عنوان کالایی بد در نظر گرفته شده است) تفسیر نمود. تحت این تفسیر، فرضیه‌ی منحنی زیست‌محیطی کوزنتس (EKC) بدین معنی خواهد بود که با افزایش درآمد کشش درآمدی انتشار به صفر کاهش می‌یابد و بعد از سطح درآمد آستانه‌ای منفی می‌شود. به عبارت دیگر، وضعیت انتشار آلودگی با رشد درآمد به عنوان موردی از مصرف به تدریج از یک کالای ضروری به یک کالای پست تغییر می‌کند. فرضیه‌ی EKC یکی از پرکاربردترین مفاهیم برای تحلیل رابطه‌ی آلودگی و درآمد است که به شکل U معکوس می‌باشد و برای اولین بار در اوایل دهه‌ی نود میلادی در تحقیق گروسمن و کروگر (۱۹۹۱) در مورد آثار زیست‌محیطی تجارت آزاد آمریکای شمالی (North American Free Trade Agreement) مطرح شد.



رابطه‌ی دوم، انتشار را به‌عنوان علت و درآمد را به‌عنوان متغیر اثرپذیر در نظر می‌گیرد که می‌تواند بر یک رابطه‌ی تولید دلالت داشته باشد. بدین ترتیب انتشار آلودگی یک نهاده ضروری برای ایجاد درآمد است. مقایسه این تفسیر با فرضیه‌ی ECK دو ساختار تولیدی مجزا را پیشنهاد می‌کند. اولین ساختار با سطوح درآمدی پایین‌تر از درآمد آستانه منطبق است که در آن رشد درآمد به افزایش انتشار آلودگی نیاز دارد. ساختار دوم با سطوح درآمدی بالای درآمد آستانه منطبق است که با ویژگی کاهش انتشار همراه با رشد درآمد مشخص شده است (کوندو و دیندا، ۲۰۰۲، ص: ۳۵۳)

بحث بالا دیدگاهی ساده از رابطه‌ی انتشار آلودگی و درآمد از نظر مصرف یا از نظر ایجاد درآمد (تولید) است؛ اما انتشار آلودگی ممکن است به‌عنوان یک کالای عمومی رفاه مصرف‌کننده و به‌عنوان یک نهاده مجازی ایجاد درآمد را تحت تأثیر قرار دهد. به‌منظور بررسی رابطه‌ی درآمد و آلودگی، می‌توان یک اقتصاد تک کالایی را در نظر گرفت که در آن شاخص محیط‌زیست می‌تواند سطح مطلوبیت و تولید را تحت تأثیر قرار دهد. متغیرهای  $C(t)$ ،  $E(t)$ ،  $K(t)$  به مصرف، شاخص محیط‌زیست و میزان سرمایه در زمان  $t$  دلالت می‌کنند. با فرض این‌که  $\gamma$  نرخ آلودگی و  $\theta$  ( $0 < \theta < 1$ ) سهم سرمایه در تولید کالا باشد، سهم باقی‌مانده سرمایه  $(1-\theta)$  برای بهبود محیط‌زیست استفاده می‌شود. مسئله انتخاب می‌تواند به‌صورت زیر بیان گردد:

$$\text{Maximize : } W = \int_0^{\infty} e^{-\rho t} U(C(t), E(t)) dt$$

$$\text{S.t : } \dot{K}(t) = f(\theta K(t), E(t)) - C(t) \quad (1)$$

$$\dot{E}(t) = g[(1-\theta)K(t), E(t)] - \gamma f[\theta K(t), E(t)]$$

به‌طوری‌که  $\rho$  نرخ ترجیح زمانی و  $f(0)$  و  $g(0)$  تابع تولید و تابع بهبود محیط‌زیست می‌باشد. محدودیت اول با تشکیل سرمایه‌ی فیزیکی و محدودیت دوم با تغییر شاخص زیست‌محیطی به علت تولید و نیز بهبود محیط‌زیست مرتبط است. با فرض شرایط معمول برای تابع تولید و مطلوبیت، شرایط بهینه برای مسئله بالا به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$\alpha(t) \frac{\dot{C}(t)}{C(t)} + \beta(t) \frac{\dot{E}(t)}{E(t)} = \phi(t) \quad (2)$$

$$\alpha(t) = \frac{C(t)U_{CC}}{U_C}, \beta(t) = \frac{E(t)U_{CE}}{U_C}, \phi(t) = \left( -\frac{f_{K\theta K}}{g_{K\theta K} + \gamma f_{K\theta K}} + \rho \right)$$

$f_k$  و  $U_C$ ،  $U_{CC}$ ،  $U_{CE}$  به ترتیب مشتق‌های جزئی مرتبه‌ی اول و دوم تابع  $U(0)$  می‌باشد و  $g_k$  و  $g(0)$  مشتق جزئی تابع  $f(0)$  و  $g(0)$  با توجه به  $K$  هستند. شرایط بالا بیان می‌کند که مسیر بهینه‌ی متغیرها باید به یکدیگر وابسته باشد و این به معنی یک رابطه‌ی علی دوسویه بین درآمد و انتشار است. زمانی که  $U_{CC} = 0$  و  $U_{CE} \neq 0$  باشد، مسیر بهینه‌ی درآمد  $(C(E))$  به انتشار مستقل خواهد بود و مسیر بهینه‌ی انتشار  $(E(C))$  به درآمد وابسته خواهد بود و علیت یک‌طرفه از درآمد به انتشار وجود خواهد داشت. در حالت دیگر وقتی  $U_{CC} \neq 0$  و  $U_{CE} = 0$  باشد، به‌عنوان علیت یک‌طرفه از انتشار به درآمد در نظر گرفته می‌شود.

برای بررسی رابطه‌ی تعادلی بلندمدت بین متغیرها بر اساس مسئله بهینه‌سازی بالا می‌توان یک راه‌حل ایستا را میان درآمد و انتشار کربن در نظر گرفت. با فرض این که کیفیت محیط‌زیست به سطحی پایدار دست یافته است (یعنی  $\dot{E} = \mu = 0$ ) نرخ تخریب محیط‌زیست به‌واسطه تولید باید برابر با نرخ بهبود آن باشد:

$$g((1-\theta)K, E) = Yf(\theta K, E) \rightarrow h_1(K, E) = 0 \quad (۳)$$

بدین ترتیب در  $\theta$  معین یک رابطه‌ی بین  $E$  و  $K$  می‌تواند مشخص شود. در شرایط ثابت فرض می‌شود که  $\dot{K} = \sigma$  یک مقدار ثابت باشد، در این صورت:

$$f(\theta K, E) - C = \sigma \rightarrow h_2(K, E, C) = 0 \quad (۴)$$

با ترکیب  $h_1$  و  $h_2$  رابطه‌ی تعادلی بلندمدت بین  $E$  و  $C$  به دست می‌آید:

$$h_3(E, C) = 0 \rightarrow E = h(C) \quad (۵)$$

در حقیقت نوع علیت در رابطه‌ی درآمد و آلودگی به برخی ویژگی‌های ساختاری اقتصاد مورد بررسی نیز بستگی دارد. از جمله این عوامل مهم می‌توان به مصرف انرژی و آزادی تجاری در اقتصاد مورد مطالعه اشاره کرد. چگونگی تولید و استفاده از حامل‌های انرژی در بخش‌های مختلف منجر به آلودگی در مقیاس محلی، منطقه‌ای و بین‌المللی می‌شود. همچنین تجارت از طریق مزیت نسبی دو کشور، سیاست زیست‌محیطی و آثار رفاهی بر مصرف‌کننده، بر محیط‌زیست اثر می‌گذارد. بر اساس روش کوپلند و تیلور (۲۰۰۴) برای تعیین نقش تجارت (T) بر محیط‌زیست، در معادله (۱) به جای مصرف، قیمت (p) و درآمد (I) را جانشین ساخته و تابع مطلوبیت غیرمستقیم (V) به دست می‌آید.

$$\text{Maximize } V=V(I,P,E) \quad (6)$$

به طوری که درآمد تابعی از تولید کل (Q) است:

$$C=\frac{I}{P}, I=\frac{Q}{N} \quad (7)$$

تجارت بر رفاه مصرف کننده دو اثر دارد؛ یکی اثر مرتبط با مقدار کالا و دیگری تغییر کیفیت محیط زیست. با افزایش تجارت قیمت داخلی کالای نمونه تغییر می کند. با افزایش واردات و افت قیمت داخلی کالا، آلودگی به علت اثر ساختار کاهش و به علت اثر مقیاس افزایش می یابد. اگر کالا صادر شود قیمت داخلی افزایش می یابد و همزمان آلودگی به علت افزایش تولید کالای آلاینده افزایش می یابد. آثار مذکور نیز می تواند از جنبه ی فرضیه تغییر مکان صنایع (فرضیه ی پناهگاه آلودگی) توضیح داده شود که به حرکت صنایع بسیار آلاینده از کشورهای دارای مقررات شدید به کشورهای دارای مقررات ضعیف منجر می شود. چگونگی روابط رشد اقتصادی، تجارت و محیط زیست با تفصیل کامل در برخی مطالعات بررسی شده است.

آلودگی ایجاد شده با تفاضل تابع بهبود محیط زیست از تابع تخریب آن (در اثر تولید کالاهای داخلی و مصرف انرژی و آثار مربوط به تجارت) به دست می آید. با در نظر گرفتن راه حل ایستا مطابق رابطه ی (۳)، تعمیم روابط با لحاظ نمودن تجارت (T) و انرژی (F) انجام می گیرد. همان طور که برتز و کلی (۲۰۰۸) بیان می کنند آلودگی نسبتی برونزا از تولید و همچنین مصرف به صورت نسبتی از تولید و قیمت (که هر دو نیز متأثر از تجارت هستند) می تواند بیان شود. با فرض این که K ثابت باشد و  $C=C(I(Q),P(T))$  باشد، داریم:

$$f(\theta K,E,F)-C(Q,T)=\sigma \quad (8)$$

$$\rightarrow h_2'(K,E,Q,F,T)=0 \rightarrow h_3'(E,Q,F,T)=0 \quad (9)$$

اثر مربوط به تجارت (T) به قیمت جهانی و ضریب تجارت وابسته است. به طور معمول حرکت این ضریب به سمت یک به عنوان افزایش آزادی تجاری فرض می شود.

## ۱.۱.۲ تجارت، منحنی زیست‌محیطی کوزنتس و فرضیه پناهگاه آلاینده‌گی

در طی دهه‌های اخیر، مسائل زیست‌محیطی از جنبه‌های مختلفی مورد توجه قرار گرفته است. آغاز موج توجه عمومی به مسائل زیست‌محیطی طی دهه ۱۹۶۰، به وقوع پیوست و تمرکز عمده این توجهات روی آلودگی‌های صنعتی، به واسطه رشد روزافزون اقتصادهای صنعتی بود. در اواخر دهه ۷۰ میلادی مسائل مربوط به تجارت و محیط‌زیست اوج گرفت و طرفداران محیط‌زیست در اعتراض به وضعیت اسفناک محیط‌زیست ناشی از توسعه روزافزون تجارت، مخالفت‌ها و نشست‌های گسترده‌ای در نقاط مختلف جهان ساماندهی کردند. به عقیده آن‌ها، در اثر آزادسازی تجاری، حجم فعالیت‌های اقتصادی (از جمله فعالیت‌های آلاینده) گسترش یافته و استفاده از منابع و انرژی به شکل نامناسبی افزایش می‌یابد. همچنین طرفداران محیط‌زیست و مخالفان آزادسازی تجارت، اذعان داشتند که گسترش تجارت آزاد و افزایش فشارهای رقابتی بین بنگاه‌های داخلی و رقبای خارجی، به ملایم شدن سیاست‌های زیست‌محیطی مناسب منتهی می‌شود و حتی تصویب و اجرای قوانین زیست‌محیطی ملی را در مواجهه با فرایند آزادسازی تجاری با تأخیر همراه می‌کند؛ اما برخی از طرفداران تجارت آزاد، نه تنها با این دیدگاه که آزادسازی تجاری سبب تخریب محیط‌زیست است، مخالف‌اند بلکه آزادسازی تجاری را موجب بهبود وضعیت محیط‌زیست معرفی می‌کنند. بر اساس استدلال آن‌ها، با توجه به واکنش کشورها به فشارهای رقابتی ناشی از گسترش تجارت آزاد و دسترسی به مزیت نسبی، استفاده از منابع، کارا شده است و بدین ترتیب اتلاف منابع و انرژی و آلاینده‌گی مربوط به آن‌ها کاهش می‌یابد. با وجود این، گروسمن و کروگر (۱۹۹۱) در مطالعه‌ای، آثار آزادسازی تجاری روی وضعیت محیط‌زیست را به سه اثر مقیاس، اثر ترکیب و اثر فناوری تفکیک کردند. در این مطالعه، اثر مقیاس، بیانگر تغییر در اندازه فعالیت‌های اقتصادی، اثر ترکیب، بیانگر تغییر در ترکیب یا سبد کالاهای تولیدی و اثر فناوری بیانگر تغییر در فناوری تولید، به خصوص تغییر به سمت فناوری پاک است؛ بنابراین، به دنبال آزادسازی تجاری، اثر مقیاس، به افزایش تخریب محیط‌زیست و اثر فناوری، به کاهش تخریب محیط‌زیست تمایل دارند. تأثیر اثر ترکیب نیز به نوع مزیت نسبی بستگی دارد. به طوری که با توجه به مزیت نسبی در یک کشور، اگر کشوری در کالاهای آلاینده مزیت داشته و در تولید آن کالاها تخصص پیدا کند، در آن صورت اثر ترکیب به واسطه تغییر ترکیب کالاهای تولیدی کشور به سمت کالاهای آلاینده، آثار منفی روی محیط‌زیست بر جای می‌گذارد و اگر

به واسطه وجود مزیت نسبی کشوری در کالاهای پاک، ترکیب کالاهای تولیدی آن کشور به سمت کالاهای پاک تغییر کند، در آن صورت اثر ترکیب آثار مثبتی روی محیط زیست برجای خواهد گذاشت. به طور کلی به دنبال آزادسازی تجاری، اگر اثر فناوری بر اثر مقیاس و اثر ترکیب (در حالت کشوری با مزیت نسبی در صنایع آلاینده) غالب شود و یا اگر اثر فناوری همراه با اثر ترکیب (در حالت کشوری با مزیت نسبی در صنایع پاک) بر اثر مقیاس غالب شود، در آن صورت آزادسازی تجاری منجر به نتایج زیست محیطی مثبت می شود.

بر اساس مطالب فوق الذکر، از بین سه اثر مقیاس، ترکیب و اثر فناوری مطرح شده در مطالعه گروسمن و گروگر، اثر ترکیب بیش از دو اثر دیگر، مرتبط با منحنی زیست محیطی کوزنتس و فرضیه پناهگاه آلاینده است. از این رو، بخشی از مطالعات مرتبط با تعامل تجارت و محیط زیست در زمینه اثر ترکیب است که در مواردی با توجه به مطالعات مذکور، اثر ترکیب حاصل از تجارت آزاد، از طریق فرایند فرضیه پناهگاه آلاینده، وضعیت آلاینده و منحنی زیست محیطی کوزنتس را تحت تأثیر قرار می دهد. در این خصوص، استرم (۱۹۹۸)، معتقد است که طی سالهای اخیر، شماری از فعالیتهای مربوط به تولید کالاهای کارخانه‌ای، از کشورهای توسعه یافته به کشورهای در حال توسعه جابجا شده‌اند. بر اساس مطالعه وی، کشورهای پیشرفته در راستای فرایند رشد و توسعه اقتصادی، با روی آوردن به بخش خدمات بخش عمده‌ای از فعالیتهای اقتصادی خود را از فعالیتهای صنعتی به بخش خدمات منتقل کرده‌اند که این امر به عنوان یکی از علل اصلی رابطه درآمد ملی و آلودگی به صورت U معکوس، مطرح است. لذا بر این اساس در منحنی EKC برخلاف دیدگاه سنتی که رشد اقتصادی (پس از نیل اقتصاد به نقطه معینی از درآمد ملی همراه با حداکثر آلودگی) به عنوان عامل مستقیم در کاهش آلودگی مطرح است، رشد اقتصادی به طور مستقیم عامل کاهش آلودگی در کشورهای توسعه یافته محسوب نمی شود، بلکه به دنبال افزایش درآمد ملی، تقاضا برای استانداردهای زیست محیطی در این کشورها، از کاهش درآمدی بالایی برخوردار می شود که این امر جابجایی صنایع آلاینده از کشورهای توسعه یافته به کشورهای در حال توسعه را موجب می شود و بدین ترتیب منجر به کاهش آلودگی در کشورهای توسعه یافته و انتقال آلاینده‌ها به کشورهای در حال توسعه می شود (برقی اسکویی، ۱۳۸۷، ص: ۶).

## ۲.۲ پیشینه مطالعات تجربی

برقی اسکویی (۱۳۸۷)، در مطالعه‌ای به بررسی آثار آزادسازی تجارت بر انتشار گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن در منحنی زیست‌محیطی کوزنتس طی سال‌های ۲۰۰۲-۱۹۹۲ برای کشورهای با درآمد سرانه بالا، متوسط بالا، متوسط پایین و پایین پرداخته است. نتایج مطالعه نشان می‌دهد افزایش آزادسازی تجاری و درآمد سرانه در کشورهایی با درآمد سرانه بالا و متوسط بالا، به کاهش انتشار گاز دی‌اکسید کربن و در کشورهای با درآمد سرانه متوسط پایین به افزایش انتشار گاز دی‌اکسید کربن منجر می‌شود. صالح و همکاران (۱۳۸۷)، در مطالعه خود به بررسی رابطه علیت بین تولید ناخالص داخلی و حجم گازهای گلخانه‌ای ایران طی سال‌های ۱۳۷۸-۱۳۳۹ پرداخته‌اند. جهت بررسی رابطه علیت در این پژوهش از آزمون استاندارد علیت گرنجر و آزمون علیت همسائو استفاده شده است. نتایج به دست آمده وجود یک رابطه یک‌طرفه از حجم گاز دی‌اکسید کربن بر تولید ناخالص داخلی را نشان می‌دهد. همچنین نتایج حاکی از آن است که نرخ رشد حجم گاز دی‌اکسید کربن بیشتر از نرخ رشد تولید ناخالص داخلی بوده و منحنی زیست‌محیطی کوزنتس در ایران رد می‌شود. بهبودی و همکاران (۱۳۸۹)، با استفاده از داده‌های سری زمانی ۱۳۸۳-۱۳۴۶ به بررسی رابطه مصرف انرژی، رشد اقتصادی و انتشار سرانه دی‌اکسید کربن به عنوان معیاری برای آلودگی محیط‌زیست پرداخته‌اند. در این مطالعه از روش هم‌انباشتگی جوهانسون-جوسیلیوس و مدل تصحیح خطای برداری (Vector Error Correction Model) استفاده شده است. نتایج حاصل از مطالعه نشان‌دهنده وجود رابطه مثبت بین مصرف انرژی، رشد اقتصادی، آزادسازی تجاری و جمعیت شهرنشین با متغیر انتشار سرانه دی‌اکسید کربن می‌باشد. محمد باقری (۱۳۸۹)، در مطالعه‌ای با استفاده از روش (Autoregressive Distributed Lag) به بررسی رابطه کوتاه‌مدت و بلندمدت بین تولید ناخالص داخلی، مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن در ایران پرداخته است. نتایج نشان می‌دهد که انتشار دی‌اکسید کربن نسبت به تولید ناخالص داخلی بی‌کشش است، اما مقدار آن در بلندمدت بیشتر از کوتاه‌مدت است. همچنین، بر اساس نتایج به دست آمده، کشش دی‌اکسید کربن نسبت به مصرف انرژی در کوتاه‌مدت و بلندمدت مشابه و نزدیک به یک است. علاوه بر این، شکل U وارون منحنی زیست‌محیطی کوزنتس در شرایط ایران مورد تأیید نیست. فطرس و همکاران (۱۳۹۰)، به بررسی میزان تأثیر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر بر رشد اقتصادی کشورهای منتخب در حال توسعه (شامل ایران)

در دوره زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۹ با استفاده از آزمون‌های ریشه واحد پنلی، هم‌انباشتگی پنلی و حداقل مربعات پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که بین متغیرها در بلندمدت رابطه هم‌انباشتگی وجود دارد. همچنین طی دوره مورد بررسی ضریب میزان اثرگذاری بلندمدت مصرف انرژی تجدیدناپذیر بیشتر از ضریب میزان اثرگذاری بلندمدت مصرف انرژی تجدیدپذیر بر رشد اقتصادی کشورهای منتخب بود. صادقی و همکاران (۱۳۹۱)، با بهره‌گیری از آزمون علیت تودا و یاماموتو، رابطه علی بین انتشار دی‌اکسید کربن، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، سرانه مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلی را مورد بررسی قرار دادند. مطابق نتایج آن‌ها هیچ‌گونه رابطه علیتی بین انتشار کربن و تولید ناخالص داخلی تأیید نشد.

شی (Shi) (۲۰۰۳)، در مطالعه ۹۳ کشور توسعه‌یافته و در حال توسعه بین سال‌های ۱۹۹۶-۱۹۷۵ رابطه بین تغییرات جمعیت و انتشار دی‌اکسید کربن را بررسی نموده است. این مطالعه نشان داده است که علیرغم مطالعات قبلی که کشتش واحد را برای انتشار دی‌اکسید کربن به ازای تغییر جمعیت در نظر می‌گرفتند، در این مطالعه این کشتش برای اطلاعات دو دهه بزرگ‌تر از یک به دست آمده است همچنین اثر جمعیت بر انتشار دی‌اکسید کربن در کشورهای در حال توسعه در مقایسه با کشورهای توسعه‌یافته بیشتر می‌باشد. مارتینز و همکاران (Martinez et al) (۲۰۰۶)، در مطالعه‌ای به بررسی اثر رشد جمعیت بر انتشار CO<sub>2</sub> در کشورهای عضو اتحادیه اروپا بین سال‌های ۱۹۹۹-۱۹۷۵ پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد کشتش انتشار CO<sub>2</sub> نسبت به نرخ رشد جمعیت بزرگ‌تر از یک بوده است که برای کشورهای قدیمی این اتحادیه، اندازه این کشتش کمتر از یک می‌باشد. عالم و همکاران (Alam et al) (۲۰۰۷)، با استفاده از اطلاعات سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۷۱ کشور پاکستان به بررسی رابطه رشد اقتصادی با شدت انرژی، انتشار CO<sub>2</sub> رشد جمعیت و شهرنشینی پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که یک درصد افزایش در GDP منجر به ۰/۸۴ درصد افزایش در انتشار دی‌اکسید کربن و یک درصد افزایش در نرخ رشد شدت انرژی موجب افزایش ۰/۲۴ درصدی در نرخ انتشار CO<sub>2</sub> می‌شود. علاوه بر این، افزایش شهرنشینی و رشد جمعیت به‌طور معنی‌داری باعث افزایش انتشار آلودگی می‌شود این در حالی است که این دو عامل در بلندمدت رشد اقتصادی را کاهش می‌دهد. قوش (Ghosh) (۲۰۱۰)، در چارچوب یک الگوی چند متغیره شامل عرضه انرژی، سرمایه‌گذاری، اشتغال، انتشار کربن و رشد اقتصادی، رابطه علیت بین انتشار کربن و رشد اقتصادی را در

مورد کشور هند مورد بررسی قرارداد. مطابق نتایج وی، در کوتاه مدت رابطه علیت دوطرفه بین رشد اقتصادی و انتشار کربن برقرار بود اما در بلندمدت بین دو متغیر هیچ رابطه علیتی یافت نشد. آپرجیس و پاین (Apergis and Payne) (۲۰۱۱)، با استفاده از آزمون‌های هم‌انباشتگی پانلی و تصحیح خطای پانلی، رابطه بین مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر و رشد اقتصادی را در ۸۰ کشور مورد بررسی قراردادند. نتایج نشان داد رابطه تعادلی بین تولید ناخالص داخلی واقعی، مصرف انرژی تجدیدپذیر، مصرف انرژی تجدیدنپذیر، تشکیل سرمایه ثابت ناخالص واقعی و نیروی کار در بلندمدت وجود دارد. یلتا (Yalta) (۲۰۱۱)، رابطه علیت بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی در کشور ترکیه را با بهره‌گیری از روش بوت استرپ حداکثر آنتروپی مورد تحلیل قرارداد که مطابق نتایج وی، شواهدی مبنی بر وجود رابطه علی بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی یافت نشد. دوگان و سکر (Dogan and Seker) (۲۰۱۶)، در مطالعه‌ی خود با استفاده از منحنی زیست‌محیطی کوزنتس و تکنیک تخمین پنل ناهمگن با وابستگی مقطعی، به بررسی تأثیر تولید حقیقی، مصرف انرژی، تجارت و توسعه مالی بر انتشار دی‌اکسید کربن در کشورهای برتر در حوزه تولید انرژی تجدیدپذیر پرداختند. نتایج نشان داد که افزایش در مصرف انرژی تجدیدپذیر، آزادی تجارت و توسعه مالی باعث کاهش در انتشار کربن می‌شود. همچنین افزایش در مصرف انرژی تجدید ناپذیر سبب افزایش در انتشار کربن شده و فرضیه‌های EKC برای کشورهای مورد بررسی پذیرفته شد.

### ۳. مدل و روش‌شناسی تحقیق

روش مورد استفاده برای برآورد مدل تحقیق در این مطالعه روش خودرگرسیون برداری داده‌های پنل Panel-Var است. هنگامی که رفتار چند متغیر مورد بررسی قرار می‌گیرد، لازم است به ارتباط‌های متقابل این متغیرها در قالب یک الگوی سیستم معادلات هم‌زمان توجه شود. اگر معادله‌های این الگو شامل وقفه‌های متغیرها نیز باشد، در اصطلاح آن را الگوی سیستم معادلات هم‌زمان پویا می‌نامند.

بسیاری از روابط اقتصادی به وسیله مدل‌های تک معادله‌ای قابل تبیین هستند. در این مدل‌ها، یک متغیر (وابسته) به عنوان تابعی خطی از یک یا چند متغیر دیگر (متغیرهای توضیحی) در نظر گرفته می‌شود. به این ترتیب، به طور ضمنی فرض بر این است که رابطه علی بین متغیرها یک طرفه می‌باشد یعنی متغیرهای توضیحی حکم علت و



متغیر وابسته حکم معلول را دارا می‌باشند. اگرچه بر اساس برخی مدل‌های اقتصادی متغیرهای سیاستی مانند عرضه پول و هزینه‌های دولت برون‌زا به حساب می‌آیند؛ اما باز این احتمال وجود دارد که مقدار این متغیرها به واسطه سایر متغیرهای درون سیستم تعیین شود. شیوه مدل‌سازی خود رگرسیون برداری با استفاده از روش‌شناسی بیزین توسعه داده شده است. اولین بار لیت‌رمن (Litterman) (۱۹۸۶) این روش‌شناسی را برای برآورد مدل خودرگرسیون برداری به کار گرفت که به مدل بردارهای خودرگرسیونی بیزین (Bayesian Vector Autoregression) معروف شد و از آن پس در طی کمتر از یک دهه در مسائل کاربردی متعددی در کشورهای جهان مورد استفاده قرار گرفت. در این روش از مدل‌سازی تصریح و تدوین مدل به عنوان نظریه حاکم تلقی نمی‌شود، بلکه به دست آوردن پیش‌بینی‌های بهتر، معیار اصلی کار است. مدل خودرگرسیون برداری، در واقع یک نوع ارتباط خطی بین متغیر وابسته و وقفه‌هایی از کلیه متغیرهای حاضر در سیستم معادلات است که تعداد وقفه‌ها را به صورت تجربی مدل‌ساز تعیین می‌کند. شکل کلی یک سیستم معادلات خودرگرسیون برداری با  $n$  متغیر وابسته ( $n$  معادله) به شکل زیر است:

$$Y_t = A(L)Y_t + C + \varepsilon_t \quad (10)$$

که در آن،  $L$  مبین عملگر وقفه (Lag Operator)،  $C$  ماتریس عرض از مبدأ معادلات و  $\varepsilon_t$  نیز عناصر اختلال تصادفی بوده که فرض می‌شود دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس ثابت  $\sigma^2$  هستند. همچنین، عناصر ماتریس  $A$  به صورت  $(A_{ij})$  تعریف می‌شوند:

$$A_{ij}(L) = \sum_{k=1}^k L^k a_{ijk} \quad (11)$$

که در آن،  $i$  معرف شماره معادله،  $j$  شماره متغیر حاضر در معادله و  $k$  تعداد وقفه مورد نظر برای سیستم است. در یک سیستم خودرگرسیون برداری (VAR) اگر متغیر وابسته تنها تابعی از وقفه‌های تمامی متغیرهای حاضر در سیستم باشد، به آن سیستم خودرگرسیون برداری غیر ساختاری می‌گویند. بر اساس نظر سیمز (Sims) (۱۹۸۰)، مسئله اساسی در این میان تعیین طول وقفه‌ها و تعیین متغیرهای مناسب جهت حضور در سیستم است. گاهی اوقات محدودیت درجه آزادی تعداد وقفه‌ها را تعیین می‌کند، اما در شرایطی که تعداد مشاهدات زیاد است، تعیین مقدار وقفه بهینه ضروری است. برای این منظور می‌توان از آزمون نسبت حداکثر درست‌نمایی (Maximum Likelihood) و معیار

اطلاعاتی آکائیک (Akaike Information Criterion) و شوارتز (Schwarz Information Criterion) استفاده کرد (گجراتی ۱۳۷۸، پسران و اسمیت (Pesaran and smith) ۱۹۹۵).

تصریح مدل خودرگرسیون برداری بسیار ساده بوده و با حداقل اتکا به نظریه تعیین می‌شود. در این مدل کافی است متغیرهای خاص در سیستم (بر اساس تحلیل روابط اقتصادی) تعیین شده و تعداد وقفه‌ها نیز مشخص شود. در مدل‌های خودرگرسیون برداری از آنجایی که همبستگی خطی بین متغیرهای سمت راست محتمل بوده و منجر به هم‌خطی شدید می‌شود، لذا، نمی‌توان از معیار تابع آزمون‌کننده  $t$  برای تک تک ضرایب جهت کوچک کردن مدل استفاده کرد. سیمز و دوان (Sims & Doan) (۱۹۸۴) نشان داده‌اند که نیازی به بررسی ایستایی متغیرهای حاضر در مدل خودرگرسیون برداری نیست، حتی اگر مانایی نیز وجود نداشته باشد، نباید با تفاضل‌گیری سری‌ها را ایستا کرد، چراکه اعتقاد بر این است با تفاضل‌گیری سری‌ها، بسیاری از اطلاعات موجود در سری‌ها که می‌تواند ایجاد همگرایی کرده و پیش‌بینی‌های خوبی را به دست دهد از بین می‌رود (گجراتی ۱۳۷۸، دیزجی ۲۰۱۸، دیزجی ۲۰۱۹).

مراحل انجام تخمین در این تحقیق به شرح زیر است:

۱. بررسی مانایی داده‌های تحقیق
۲. بررسی هم‌جمعی متغیرها
۳. تعیین وقفه بهینه مدل (شاخص‌های آماری آکائیک، شوارتز و حنان-کوین)
۴. تخمین اولیه مدل Panel-Var
۵. بررسی نمودارهای واکنش‌آنی
۶. بررسی آنالیز واریانس متغیرهای تحقیق

مدل پیشنهادشده شامل عوامل تعیین‌کننده انتشار دی‌اکسید کربن است که برگرفته از مطالعه دوگان و سکر (۲۰۱۶) می‌باشد. این مدل که مبتنی بر مدل پایه منحنی زیست‌محیطی کوزنتس (EKC) است، به منظور تفکیک اهمیت و سهم متفاوت منابع مختلف انرژی در انتشار کربن، دو متغیر انرژی تجدیدپذیر و انرژی تجدیدناپذیر را به صورت جداگانه درون خود گنجانده است. همچنین به منظور توضیح بیشتر اختلاف در سطوح انتشار کربن در کشورهای متفاوت، درجه باز بودن تجارت (Trade Openness) و توسعه مالی (Financial Development) نیز با توجه به مطالعات پیشین به مدل پایه افزوده شده است. بدین ترتیب آن‌ها در مطالعه‌ی خود به بررسی تأثیر متغیرهای رشد اقتصادی، مصرف انرژی تجدیدپذیر،

بررسی نقش انرژی تجدیدپذیر، انرژی تجدیدناپذیر و ... (محمدرضا عارفیان و دیگران) ۱۲۵

مصرف انرژی تجدیدناپذیر، آزادی تجارت و توسعه مالی را بر انتشار دی‌اکسید کربن برمبنای منحنی زیست‌محیطی کوزنتس پرداخته‌اند. در نهایت با توجه به مطالعات انجام‌شده و نیز با در نظر گرفتن قابلیت دسترسی به اطلاعات متغیرها، مدل زیر جهت پیشبرد اهداف تحقیق ارائه شده است:

$$CO_{2(it)} = \beta_0 + \beta_1 Y_{(it)} + \beta_2 RE_{(it)} + \beta_3 NRE_{(it)} + \beta_4 TO_{(it)} + \beta_5 FD_{(it)} + e_{(it)} \quad (12)$$

که در آن اندیس  $t$  نشان‌دهنده زمان و  $i$  نشان‌دهنده مقاطع می‌باشد و متغیرهای  $Y$ ،  $CO_2$ ،  $RE$ ،  $NRE$ ،  $TO$  و  $FD$  به ترتیب انتشار دی‌اکسید کربن، رشد اقتصادی، مصرف انرژی تجدیدپذیر (شامل همه انواع آن)، مصرف انرژی تجدیدناپذیر (سوخت‌های فسیلی)، آزادی تجارت و توسعه مالی می‌باشند که جهت انجام تخمین مدل از حالت لگاریتمی آن‌ها استفاده شده است. در جدول شماره (۱) نوع داده‌های مورد استفاده در تحقیق و منابع جمع‌آوری آن‌ها مشخص شده است.

جدول ۱. متغیرهای تحقیق و شاخص‌ها و منابع مورد استفاده برای آن‌ها

منبع	تعریف	متغیر
World bank	میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن (میلیون تن)	CO <sub>2</sub>
OECD	رشد تولید ناخالص داخلی	Y
World bank	میزان مصرف انرژی تجدید پذیر به‌عنوان درصدی از کل مصرف انرژی	RE
World bank	میزان مصرف سوخت‌های فسیلی به‌عنوان درصدی از کل مصرف انرژی	NRE
OECD	میزان تجارت به‌عنوان درصدی از تولید ناخالص داخلی	TO
IMF	توسعه بازارها و مؤسسات مالی	FD

منبع: نتایج تحقیق

### ۱.۳ آزمون مانایی متغیرهای تحقیق

پیش از برآورد مدل، لازم است مانایی تمام متغیرهای مورد استفاده در تخمین‌ها آزمون شود، زیرا نامانایی متغیرها چه در مورد سری زمانی و چه داده‌های پنلی باعث بروز مشکل رگرسیون کاذب می‌شود. در بررسی الگوهای سری زمانی فروضی مطرح می‌باشند که اصلی‌ترین فرض چنین الگوهایی ایستایی آن می‌باشد. پذیرفته شدن این فرض برای

یک الگو بدین معنا خواهد بود که ساختار الگو در طی زمان تغییر نمی‌کند و همچنین میانگین، واریانس، کواریانس و در نتیجه ضریب همبستگی آن در طول زمان ثابت باقی می‌ماند. می‌توان این گونه بیان کرد که متغیری را مانا می‌دانیم که اگر شوکی به آن وارد شود اثر این شوک موقتی بوده و در طی زمان از بین برود و این متغیر به مقدار تعادلی بلندمدتش بازگردد. به کارگیری روش‌های سستی در اقتصادسنجی مبتنی بر فرض مانا بودن متغیرها است؛ بنابراین برای جلوگیری از رخ دادن پدیده‌ی رگرسیون کاذب در هنگام برآورد الگو، ابتدا لازم است که مانایی متغیرها مورد بررسی و آزمون قرار گیرد؛ در اینجا از آزمون لوین، لین و چو (Levin, Lin and Chu) که کاربرد بیشتری در بررسی مانایی متغیرها در داده‌های ترکیبی دارد، استفاده می‌شود.

جدول ۲. نتایج آزمون مانایی متغیرها

متغیر	آماره آزمون	احتمال	مرتبۀ مانایی
CO2	-۵/۵۱	۰/۰۰۰	I(0)
Y	-۲/۶۷	۰/۰۰۳	I(0)
TO	-۳/۴۷	۰/۰۰۰	I(0)
FD	-۷/۹۳	۰/۰۰۰	I(0)
RE	-۱۱/۲۳	۰/۰۰۰	I(1)
NRE	-۱۰/۱۹	۰/۰۰۰	I(1)

منبع: نتایج تحقیق

نتایج آزمون مانایی متغیرها در جدول (۱) نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است متغیرهای انتشار دی‌اکسید کربن، رشد اقتصادی، آزادی تجارت و توسعه مالی در سطح مانا هستند و متغیرهای انرژی تجدیدپذیر و انرژی تجدیدناپذیر با یک‌بار تفاضل‌گیری مانا می‌باشند.

### ۲.۳ آزمون هم‌جمعی

به منظور بررسی روابط تعادلی بلندمدت بین چند متغیر از آزمون‌های هم‌جمعی استفاده می‌شود. در این تحقیق برای بررسی هم‌جمعی متغیرها از آزمون کائو

استفاده شده است. در این آزمون، فرضیه صفر مبتنی بر عدم وجود هم‌جمعی بین متغیرها است. نتایج حاصل از آزمون هم‌جمعی کائو در جدول (۳) نمایش داده شده است که مطابق با آن فرضیه صفر مبنی بر عدم وجود هم‌جمعی بین متغیرها را نمی‌توان پذیرفت و در نتیجه بین متغیرهای ذکر شده در مدل، رابطه بلندمدت معنی‌داری وجود دارد.

جدول ۳. نتایج آزمون هم‌جمعی

t-statistic	prob	نتیجه
-۲/۷۳۴	۰/۰۰۳	وجود بردار هم‌جمعی

منبع: نتایج تحقیق

### ۳.۳ تعیین طول وقفه بهینه

به منظور برآورد مدل، ابتدا تعداد وقفه‌های بهینه مدل مشخص می‌شود. در این مرحله لازم است مرتبه بهینه مدل خودرگرسیون برداری با استفاده از ملاک‌های تعیین وقفه، مشخص گردد. تعیین وقفه بهینه باید بر اساس تعداد متغیرهای مدل و حجم نمونه صورت گیرد. در جدول (۴)، وقفه بهینه بر اساس معیارهای مختلف انتخاب وقفه بهینه برای مدل انتخابی با استفاده از نرم‌افزار Stata نشان داده شده است. از آنجاکه اگر در برآوردی کمترین مقدار معیار شوارتز، آکائیک و حنان کوئین حاصل شود، مقدار بهینه وقفه را خواهیم داشت، لذا در این تحقیق، وقفه بهینه بر اساس معیار شوارتز، آکائیک و حنان کوئین انتخاب گردیده است.

جدول ۴. تعیین وقفه بهینه

Lag (وقفه)	آماره	احتمال	MBIC (شوارتز)	MAIC (آکائیک)	MQIC (حنان کوئین)
۱	*۱۲۶/۲۴	*۰/۱۱۰۷	*-۵۱۱/۸۲۳	*-۸۹/۷۵۰	*-۲۵۷/۴۳۵
۲	۶۷/۴۲	۰/۶۳۰۶	-۳۷۵/۹۵۴	-۷۶/۵۷۲	-۱۸۸/۳۶۲
۳	۳۶/۷۵	۰/۴۳۳۸	-۱۷۵/۹۳۸	-۳۵/۲۴۷	-۹۱/۱۴۲

منبع: نتایج تحقیق

همان‌طور که مشخص است وقفه اول در این بررسی وقفه بهینه بوده و مدل بر اساس این وقفه برآورد می‌گردد. در این مطالعه از برآوردگر GMM جهت تخمین مدل استفاده شده است. این رویکرد از یک‌سو نیاز به اطلاعات دقیق توزیع جملات اخلال نداشته و اساس آن بر این فرض استوار است که جملات اخلال در معادلات، با مجموعه متغیرهای ابزاری غیر همبسته است. از سوی دیگر به لحاظ احتمال وجود همبستگی با جمله خطا با متغیرهای توضیحی در مدل اثرات ثابت، از اعتبار بالاتری برخوردار است (بالتاجی، ۲۰۰۸). مزیت اصلی این روش این است که تمام متغیرهای رگرسیون که با اجزای اخلال همبستگی ندارند (از جمله مقادیر با وقفه متغیر وابسته و متغیرهای توضیحی) می‌توانند به‌طور بالقوه متغیر ابزاری باشند. با توجه به ماهیت رویکرد GMM در به‌کارگیری متغیرهای ابزاری با وقفه، از آزمون سارگان (Sargan test) جهت مناسب بودن ابزارها بهره گرفته شده است. این آزمون که برای بررسی اعتبار کل ابزارهای به‌کاررفته استفاده می‌شود، به آزمون سارگان معروف است. آزمون سارگان از محدودیت‌های از پیش تعیین شده است که اعتبار ابزارها را آزمون می‌کند و برای تعیین هر نوع همبستگی بین ابزارها و خطاها به‌کاربرده می‌شود. برای اینکه ابزارها معتبر باشند، باید بین ابزارها و جملات خطا همبستگی وجود نداشته باشد. فرضیه صفر برای این آزمون این است که ابزارها تا آنجا معتبر هستند که با خطاها در معادله تفاضلی مرتبه اول همبسته نباشند. عدم رد فرضیه صفر می‌تواند شواهدی را دال بر مناسب بودن ابزارها فراهم آورد. در این تخمین نیز مقدار آماره سارگان (۰/۵۰۸) با مقدار احتمال بالاتر از ۰/۵ دلیل کافی جهت رد فرض صفر را نداشته و ابزارهای به‌کاررفته در این مدل متناسب هستند.

### ۴.۳ برآورد مدل

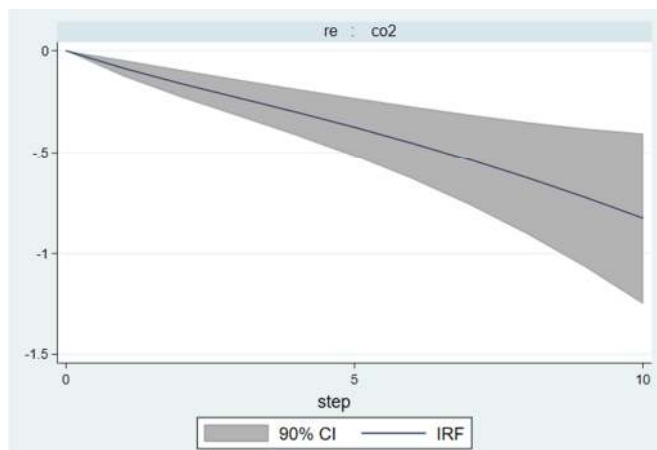
در این مطالعه مدل Panel-Var با شش معادله برای متغیرهای مصرف انرژی تجدیدپذیر، مالیات کربن، یارانه سوخت‌های فسیلی، تولید ناخالص داخلی، انتشار گاز دی‌اکسید کربن و مصرف نفت در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است مابقی متغیرهای موردبررسی به‌عنوان متغیر برونزا وارد مدل شده‌اند. ذکر این نکته لازم است که در این بررسی با توجه به حجم محاسبات و احتمال برآوردگرهای با تورش بالا تعداد معادله‌های مدل Panel-Var بر اساس فرضیه‌های پژوهش تبیین شده است. همچنین در این بررسی متغیرهای برونزا در

سطح و بدون وقفه وارد مدل شده‌اند. همان‌طور که در روش‌شناسی این مدل آمده است، معنی‌داری ضرایب متغیرها در مدل‌های Panel-Var با توجه به آماره محاسباتی قابل‌اتکا نبوده و از درجه اهمیت کمتر برخوردار است و ابزارهای بکار رفته در این مدل که شامل تابع واکنش‌آنی و تجزیه واریانس هستند از اهمیت بالاتری برخوردارند لذا در ادامه به بررسی تابع واکنش‌آنی و تجزیه واریانس پرداخته شده است.

### ۵.۳ توابع عکس‌العمل‌آنی

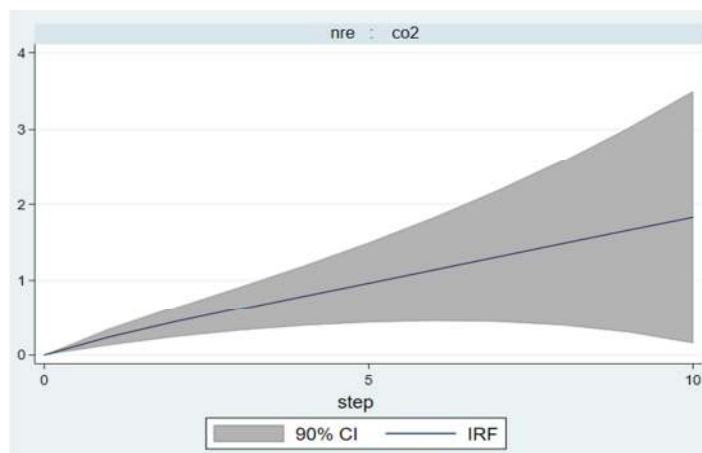
توابع عکس‌العمل‌آنی، رفتار پویای متغیرها را در طول زمان به هنگام شوک وارده به سایر متغیرها نشان می‌دهد. به عبارت دیگر این تابع عکس‌العمل‌آنی نشان‌دهنده پاسخ‌هایی است که متغیر درون‌زای سیستم به شوک‌های ناشی از خطاها می‌دهد. شوک‌های وارده در هر بار معادل جذر واریانس پسماندهای حاصل از هر رگرسیون بنا به ساختار پویایی سیستم باعث تغییر مقادیر آینده آن متغیر و سایر متغیرهای دیگر می‌شود.

نمودار (۱) نشان‌دهنده واکنش متغیر انتشار دی‌اکسید کربن به تکانه ناشی از متغیر انرژی تجدیدپذیر است. بررسی تابع واکنش‌آنی نشان‌دهنده تأثیر منفی شوک ایجادشده از انرژی تجدیدپذیر بر انتشار دی‌اکسید کربن در کشورهای موردبررسی است. به نحوی که افزایش در مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر تأثیر آنی و کاهشی را بر انتشار دی‌اکسید کربن داشته است. این شوک در طی دوره موردبررسی به صورت کاهنده اتفاق افتاده است. از آنجایی که انرژی‌های تجدیدپذیر آلاینده‌گی نداشته و برای تولید و عرضه آن از فناوری‌های پاک استفاده می‌شود توقع این است که با افزایش تولید و مصرف آن شاهد کاهش انتشار دی‌اکسید کربن باشیم. بدین ترتیب انرژی تجدیدپذیر تأثیر منفی و کاهنده بر انتشار دی‌اکسید کربن مطابق با فرضیه مطرح‌شده در این تحقیق داشته است؛ بنابراین افزایش عرضه و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر آثار زیست‌محیطی مثبتی ایجاد می‌کند.



نمودار ۱. تابع واکنش آنی انتشار دی اکسید کربن به شوک انرژی تجدیدپذیر منبع: نتایج تحقیق

نتایج بررسی تأثیر شوک ایجادشده از سوی انرژی‌های تجدیدناپذیر مطابق با فرضیه‌های این تحقیق در نمودار (۲) نشان داده شده است.



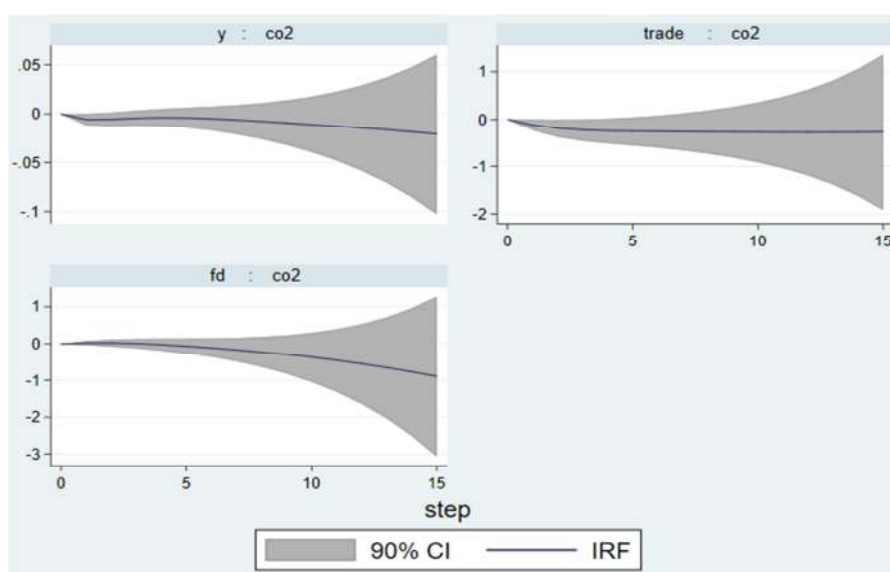
نمودار ۲. تابع واکنش آنی انتشار کربن به شوک‌های انرژی تجدیدناپذیر منبع: نتایج تحقیق

همان‌طور که در این نمودار مشخص است، افزایش مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر و شوک ایجادشده از آن موجب افزایش آنی انتشار دی اکسید کربن شده است. همان‌طور که مشخص است، تأثیر انرژی تجدیدناپذیر در بلندمدت و با افزایش دوره موردبررسی بر انتشار دی اکسید کربن تأثیر فزاینده‌ای را داشته است که به علت پایه کربن بودن



سوخت‌های فسیلی امری قابل انتظار می‌باشد. یعنی مصرف بیشتر این سوخت‌ها به معنای انتشار بیشتر دی‌اکسید کربن است. بر این اساس مطابق با فرضیه مطرح شده در این تحقیق مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر موجب افزایش انتشار دی‌اکسید کربن می‌گردد و آثار زیست‌محیطی نامطلوبی دارد.

در نهایت اثرات شوک ایجادشده از رشد اقتصادی، آزادی تجارت و توسعه مالی بر تولید انتشار دی‌اکسید کربن در نمودار (۳) ارائه شده است.



نمودار ۳. تابع واکنش آبی انتشار کربن به شوک رشد اقتصادی، آزادی تجارت و توسعه مالی  
منبع: نتایج تحقیق

همان‌طور که در این نمودارها مشخص است، اثرات هر یک از متغیرهای رشد اقتصادی، آزادی تجارت و توسعه مالی بر انتشار کربن تقریباً تا دوره ۱۰ معنی‌دار و قابل بررسی است. بر این اساس اثر نهایی رشد اقتصادی بر انتشار دی‌اکسید کربن منفی می‌باشد به این دلیل که کشورهای مورد بررسی درآمد آستانه را پشت سر گذاشته و افزایش در درآمد حقیقی به بهبود شرایط زیست‌محیطی و توجه بیشتر مردم و دولت‌ها به حفظ محیط‌زیست و استفاده از تکنولوژی‌های پاک و یا انرژی‌های تجدیدپذیر منجر گردیده است. به‌علاوه با افزایش رشد اقتصادی و توسعه بیشتر این کشورها و وضع قوانین مطلوب در زمینه حمایت از محیط‌زیست (مانند مالیات کربن و سیاست قیمت‌گذاری تعرفه‌ای و...) عمده

صنایع آلوده از این کشورها به کشورهای کمتر توسعه یافته با قوانین زیست محیطی ضعیف منتقل شده (فرضیه پناهگاه آلاینده‌گی) که این عامل نیز تأثیر به سزایی در انتشار کمتر دی‌اکسید کربن با افزایش رشد اقتصادی دارد. همچنین در این نمودار رابطه‌ی منفی میان آزادی تجارت و توسعه مالی نیز نشان داده شده است. از آنجایی که آزادی تجارت و توسعه مالی بسترساز انتقال راحت‌تر تکنولوژی پاک و فناوری‌های پیشرفته به درون این کشورها بوده، با افزایش تجارت و توسعه مالی انتشار دی‌اکسید کربن کاهش یافته است. از طرف دیگر در نتیجه تجارت آزاد و رقابت در این زمینه و تکیه بر مزیت‌های نسبی، استفاده از منابع، کارا شده و بدین ترتیب اتلاف منابع و انرژی و آلاینده‌گی مربوط به آن‌ها کاهش یافته است. بنابراین همان‌طور که در مبانی نظری توضیح داده شد در این کشورها یا اثر فناوری بر اثر مقیاس و اثر ترکیب (در حالت کشوری با مزیت نسبی در صنایع آلاینده) غالب شده است و یا اثر فناوری همراه با اثر ترکیب (در حالت کشوری با مزیت نسبی در صنایع پاک) بر اثر مقیاس غالب بوده است که در نتیجه آزادسازی تجاری منجر به نتایج زیست محیطی مثبت شده است. توسعه مالی نیز با بهبود شرایط بنگاه‌ها و تسریع جریان مالی در این کشورها در کنار آزادی تجارت به انتقال فناوری پاک و بهبود محیط زیست کمک کرده است.

### ۶.۳ تجزیه واریانس

همان‌گونه که در قسمت قبل بیان شد توابع عکس‌العمل آبی اثر شوک یک متغیر درون‌زا را بر دیگر متغیرها بررسی می‌کنند و تجزیه واریانس تغییرات در یک متغیر درون‌زا نسبت به شوک‌های متغیرهای درون‌زای دیگر تفکیک می‌کند. در این روش سهم شوک‌های وارده به متغیرهای مختلف الگو در واریانس خطای پیش‌بینی یک متغیر در کوتاه‌مدت و بلندمدت پیش‌بینی می‌شود. با تجزیه واریانس خطای پیش‌بینی، سهم نوسانات هر متغیر در واکنش به شوک وارد شده به متغیرهای الگو تقسیم می‌شود. به این ترتیب قادر خواهیم بود سهم هر متغیر را بر روی تغییرات متغیرهای دیگر در طول زمان اندازه‌گیری کنیم. در واقع با بررسی تجزیه واریانس سهم هر شوک در پیش‌بینی یک متغیر مشخص و معلوم می‌شود. تجزیه‌های واریانس به گونه‌ای تعریف شده‌اند که در دوره اول (کوتاه‌مدت) معمولاً نوسانات هر متغیر توسط تکانه‌های مربوط به خود آن متغیر توضیح داده می‌شود، اما در افق‌های

بررسی نقش انرژی تجدیدپذیر، انرژی تجدیدناپذیر و ... (محمدرضا عارفیان و دیگران) ۱۳۳

زمانی دورتر، سهم سایر متغیرها در پیش‌بینی رفتار یک متغیر با توجه به اهمیت آن‌ها افزایش می‌یابد.

جدول ۵. تجزیه واریانس انتشار دی‌اکسید کربن

دوره	انتشار کربن	رشد اقتصادی	انرژی تجدیدپذیر	انرژی تجدیدناپذیر	آزادی تجارت	توسعه مالی
۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰
۲	۰/۹۶۲۹	۰/۰۰۱۱	۰/۰۱۳۴	۰/۰۰۹۴	۰/۰۱۲۲	۰/۰۰۰۷
۳	۰/۹۰۱۲	۰/۰۰۰۸	۰/۰۴۰۹	۰/۰۲۶۷	۰/۰۲۹۰	۰/۰۰۱۰
۴	۰/۸۳۰۰	۰/۰۰۰۶	۰/۰۷۸۴	۰/۰۴۷۷	۰/۰۴۲۳	۰/۰۰۰۸
۵	۰/۷۵۵۲	۰/۰۰۰۵	۰/۱۲۲۹	۰/۰۷۰۰	۰/۰۵۰۴	۰/۰۰۰۷
۶	۰/۶۷۹۲	۰/۰۰۰۴	۰/۱۷۲۲	۰/۰۹۲۳	۰/۰۵۴۱	۰/۰۰۱۶
۷	۰/۶۰۳۳	۰/۰۰۰۳	۰/۲۲۴۲	۰/۱۱۳۲	۰/۰۵۴۸	۰/۰۰۴۰
۸	۰/۵۲۹۱	۰/۰۰۰۴	۰/۲۷۶۷	۰/۱۳۲۰	۰/۰۵۳۷	۰/۰۰۷۹
۹	۰/۴۵۸۵	۰/۰۰۰۶	۰/۳۲۷۹	۰/۱۴۷۹	۰/۰۵۱۴	۰/۰۱۳۴
۱۰	۰/۳۹۲۸	۰/۰۰۱۰	۰/۳۷۶۵	۰/۱۶۰۷	۰/۰۴۸۴	۰/۰۲۰۳

#### منبع: نتایج تحقیق

نتایج تجزیه واریانس برای مدل انتشار دی‌اکسید کربن نشان می‌دهد که در صورت تغییر یک متغیر به اندازه انحراف معیار آن، متغیرهای دیگر چه سهمی در تغییر این متغیر دارند. همان‌طور که مشخص است در دوره‌های ابتدایی بیشترین سهم در تغییر متغیر انتشار دی‌اکسید کربن توسط خود متغیر صورت گرفته است و پس از آن با گذشت زمان سهم سایر متغیرها نیز افزایش یافته است. در این بررسی می‌توان گفت با توجه به نقش انرژی‌های تجدیدپذیر در کاهش آلودگی زیست‌محیطی و انرژی تجدیدناپذیر در ایجاد آلودگی زیست‌محیطی و توجه ویژه دولت‌ها و افکار عمومی و مقوله توسعه پایدار بر این موضوع، بیشترین سهم در ایجاد تغییرات در انتشار دی‌اکسید کربن مربوط به این دو متغیر می‌باشد. به این صورت که با گذشت زمان سهم متغیرهای انرژی تجدیدپذیر و انرژی تجدیدناپذیر در تغییرات مربوط به انتشار دی‌اکسید کربن به شکل قابل‌توجهی

افزایش می‌یابد که این سهم در دوره‌ی دهم برای انرژی تجدیدپذیر ۳۷ درصد و برای انرژی تجدیدناپذیر ۱۶ درصد شده است.

#### ۴. نتیجه‌گیری

در این تحقیق تلاش شد تا با استفاده از روش خودرگرسیون برداری اثرات انرژی تجدیدپذیر و انرژی تجدیدناپذیر به همراه متغیرهای رشد اقتصادی، آزادی تجارت و توسعه مالی بر انتشار دی‌اکسید کربن مورد بررسی قرارگیری. با توجه به نتایج موجود در این مطالعه و همچنین یافته‌های علمی حاصل از مطالعات پیشین، رابطه‌ی معنادار و مؤثری میان متغیرهای انتشار دی‌اکسید کربن، رشد اقتصادی، انرژی تجدیدپذیر، انرژی تجدیدناپذیر، آزادی تجارت و توسعه مالی شناسایی شده است.

در بخش مدل و روش‌شناسی پس از ارائه و معرفی مدل، به منظور جلوگیری از برآورد یک رگرسیون کاذب آزمون ریشه واحد انجام گردید. در این تحقیق به منظور بررسی دینامیک و پویای روابط بین متغیرها و رفتار تعاملی آن‌ها و همچنین ارائه یک الگوی عمومی برای کلیه کشورهای مورد بررسی از مدل خودرگرسیون برداری داده‌های پنل به صورت برآوردگر GMM استفاده شد که نتایج نشان‌دهنده این واقعیت بود که مصرف انرژی تجدیدپذیر به صورت محسوسی موجب کاهش انتشار دی‌اکسید کربن می‌گردد. همچنین در این بررسی مصرف انرژی تجدیدناپذیر موجب افزایش انتشار دی‌اکسید کربن گردید. بر اساس نتایج حاصل شده از برآورد مدل می‌توان بیان کرد:

انرژی‌های تجدیدپذیر اثر منفی و انرژی‌های تجدیدناپذیر اثر مثبت بر انتشار دی‌اکسید کربن دارند. با توجه به نمودارهای واکنش آنی شماره (۱) و (۲) که به ترتیب کاهش و افزایش انتشار دی‌اکسید کربن را در مقابل شوک وارده به انرژی تجدیدپذیر و انرژی تجدیدناپذیر نشان می‌دهد، این واقعیت به خوبی قابل ملاحظه است که جایگزینی بین سوخت‌های فسیلی و انرژی‌های تجدیدپذیر با توجه به تکنولوژی مناسب و آلایندگی کم آن‌ها، تأثیر قابل توجهی در بهبود کیفیت محیط‌زیست و کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی دارد.

همچنین مطابق نمودار شماره (۳) همراه با توسعه و افزایش رشد اقتصادی به مرور افزایش تولید حقیقی سبب کاهش انتشار دی‌اکسید کربن می‌شود. نتایج موجود در تحقیق حاضر به خوبی نشان می‌دهد که با توجه به ساختار اقتصادی کشورهای مورد مطالعه و

رویکرد مناسب آن‌ها در توجه به کیفیت محیط‌زیست به‌عنوان یکی از عوامل اصلی در زمینه توسعه پایدار، به دنبال رشد و پیشرفت اقتصادی با اعمال قوانین مناسب زیست‌محیطی و پیشرفت تکنولوژی از انتشار کربن به شکل قابل توجهی کاسته شده است. در همین راستا و با توجه خاص به آزادی تجارت و توسعه مالی که خود اهمیت ویژه‌ای در انتقال تکنولوژی‌های پاک و پیشرفت فنی دارد، ملاحظه می‌شود که بهبود در شرایط این دو متغیر موجب کاهش انتشار دی‌اکسید کربن و ارتقا کیفیت زیست‌محیطی می‌شود. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده ضرورت سیاست‌گذاری بهینه در جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و حمایت از تولید و مصرف انرژی‌های پاک نمایان می‌شود که در این زمینه پیشنهادهایی ارائه می‌گردد.

قیمت‌گذاری و مالیات بر انتشار کربن می‌تواند یکی از مهم‌ترین سیاست‌ها در حل معضلات زیست‌محیطی به شمار آید. این سیاست از یکسو با کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی باعث منطقی شدن روند انتشار آلاینده‌ها از طرف واحدهای صنعتی شده و از سویی منابع درآمدی مناسبی برای دولت به‌منظور سرمایه‌گذاری در انرژی‌های نو فراهم می‌آورد. تلاش و برنامه‌ریزی در جهت کاهش و تعدیل یارانه‌ها از جمله یارانه سوخت‌های فسیلی که اثرات مخربی هم بر محیط‌زیست و هم در بودجه و مخارج دولت دارد، امری ضروری است. همچنین سوق دادن این یارانه‌ها از بخش مصرفی به بخش‌های تولیدی به‌منظور کمک به تولید و اشتغال و تخصیص بهینه منابع در بنگاه‌های تولیدی نیز می‌تواند مؤثر باشد. آگاه‌سازی جامعه از فواید و اثرات مثبت استفاده از انرژی تجدیدپذیر و طرح‌های مرتبط با آن، زمینه‌ساز بهره‌مندی جامعه از منافع انرژی‌های تجدیدپذیر می‌شود. با توجه به ابزارهای دولت در بخش انرژی، ایجاد قوانین و ضوابط در بخش‌های اداری و اعطای مشوق‌ها در جهت سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر مانند خرید تضمینی برق تولیدی از محل منابع انرژی تجدیدپذیر (Feed-in Tariff) و همچنین اعمال جریمه‌هایی (از جمله مالیات‌ها) در مصرف سوخت‌های فسیلی، یک راهکار مؤثر در زمینه توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر است. همچنین حمایت و سرمایه‌گذاری دولت در طرح‌های تحقیق و توسعه در زمینه فناوری‌های تولید و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و تلاش برای بهره‌برداری مناسب و مدیریت منابع فسیلی در کنار انجام اقداماتی در جهت جایگزینی این منابع با انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند در بهبود شرایط زیست‌محیطی مؤثر باشد. همان‌طور که در کنفرانس پاریس مطرح شده، کشورهای توسعه‌یافته باید تلاش

خود را در جهت حمایت مالی از کشورهای توسعه نیافته و در حال توسعه برای گسترش تکنولوژی پاک و انرژی های تجدید پذیر انجام دهند لذا انتقال فناوری پاک و کمتر آلاینده از کشورهای توسعه یافته به کشورهای در حال توسعه که خود نیازمند سیاست های حمایتی از تجارت آزاد و همچنین توجه به توسعه مالی بنگاه ها است نیز راه حلی برای جایگزینی انرژی های تجدید پذیر با سوخت های فسیلی و محدود ساختن انتشار دی اکسید کربن می باشد.

### کتابنامه

- امین رشتی، ناریس. و صیامی عراقی، ابراهیم. (۱۳۹۱). تأثیر مالیات سبز بر بیکاری (مطالعه موردی کشورهای عضو سازمان همکاری های اقتصادی). فصلنامه اقتصاد کاربردی، ۳(۸): ۳۷-۵۶.
- برقی اسکویی، محمدمهدی. (۱۳۸۷). آثار آزادسازی تجاری بر انتشار گازهای گلخانه ای در منحنی زیست محیطی کوزنتس. مجله تحقیقات اقتصادی، ۴۳(۸۲): ۲۱-۱.
- بهبودی، داوود. فلاحی، فیروز. و برقی گلعدانی، اسماعیل. (۱۳۸۹). عوامل اقتصادی و اجتماعی مؤثر بر سرانه انتشار دی اکسید کربن در ایران. تحقیقات اقتصادی، ۴۵(۹۰): ۱۷-۱.
- صادقی، سید کمال. متفکر آزاد، محمدعلی. پورعبادالهان، محسن. و شهباز زاده، اتابک. (۱۳۹۱). بررسی رابطه علی بین انتشار دی اکسید کربن، سرمایه گذاری مستقیم خارجی، سرانه مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلی در ایران (رهیافت آزمون علیت تودا-یاماموتو). فصلنامه اقتصاد محیط زیست و انرژی، ۱(۴): ۱۱۶-۱۰۱.
- صادقی، سید کمال. سجودی، سکینه. و احمدزاده دلجوان، فهیمه. (۱۳۹۶). تأثیر انرژی های تجدید پذیر بر رشد اقتصادی و کیفیت محیط زیست در ایران. فصلنامه پژوهش های سیاست گذاری و برنامه ریزی انرژی، ۳(۶): ۲۰۲-۱۷۱.
- صالح، ایرج. شعبانی، زهره سادات. باریکانی، سید حامد. و یزدان، سعید. (۱۳۸۸). بررسی رابطه علیت بین تولید ناخالص داخلی و حجم گازهای گلخانه ای در ایران (مطالعه موردی گاز دی اکسید کربن). اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۱۷(۶۶): ۴۱-۱۹.
- فطرس، محمدحسن. آقازاده، اکبر. و جبرائیلی، سودا. (۱۳۹۰). تأثیر رشد اقتصادی بر مصرف انرژی تجدید پذیر مقایسه تطبیقی کشورهای منتخب عضو سازمان توسعه و همکاری های اقتصادی و غیر عضو. فصلنامه پژوهش ها و سیاست های اقتصادی، ۱۹(۶۰): ۹۸-۸۱.
- گجراتی، دامودار. (۱۳۷۸). مبانی اقتصادسنجی، ترجمه دکتر حمید ابریشمی. انتشارات دانشگاه تهران: تهران.

بررسی نقش انرژی تجدیدپذیر، انرژی تجدیدناپذیر و ... (محمدرضا عارفیان و دیگران) ۱۳۷

محمد باقری، اعظم. (۱۳۸۹). بررسی روابط کوتاه‌مدت و بلندمدت بین تولید ناخالص داخلی، مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن در ایران. مطالعات اقتصاد انرژی، ۷(۲۷): ۱۰۱-۱۲۹.

Alam, S., Fatima, A., & Butt, M. S. (2007). Sustainable development in Pakistan in the context of energy consumption demand and environmental degradation. *Journal of Asian Economics*, 18(5), 825-837.

Apergis, N., & Payne, J. E. (2011). Renewable and non-renewable electricity consumption-growth nexus: evidence from emerging market economies. *Applied Energy*, 88(12), 5226-5230.

Baltagi, B. (2008). *Econometric analysis of panel data*. John Wiley & Sons.

Coondoo, D., & Dinda, S. (2002). Causality between income and emission: a country group-specific econometric analysis. *Ecological Economics*, 40(3), 351-367.

Dizaji, S. F. (2019). *The potential impact of oil sanctions on military spending and democracy in the Middle East* (No. 644).

Dizaji, S. F., Farzanegan, M. R., & Naghavi, A. (2016). Political institutions and government spending behavior: theory and evidence from Iran. *International Tax and Public Finance*, 23(3), 522-549.

Dogan, E., & Seker, F. (2016). The influence of real output, renewable and non-renewable energy, trade and financial development on carbon emissions in the top renewable energy countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1074-1085.

Ghosh, S. (2010). Examining carbon emissions economic growth nexus for India: a multivariate cointegration approach. *Energy policy*, 38(6), 3008-3014.

Martínez-Zarzoso, I., & Bengochea-Morancho, A. (2004). Pooled mean group estimation of an environmental Kuznets curve for CO<sub>2</sub>. *Economics letters*, 82(1), 121-126.

Pesaran, M. H., & Smith, R. (1995). Estimating long-run relationships from dynamic heterogeneous panels. *Journal of econometrics*, 68(1), 79-113.

Shi, A. (2003). The impact of population pressure on global carbon dioxide emissions, 1975-1996: evidence from pooled cross-country data. *Ecological economics*, 44(1), 29-42.

Yalta, A. Y. (2013). Revisiting the FDI-led growth hypothesis: The case of China. *Economic Modelling*, 31, 335-343.