



The effect of price liberalization of energy carriers on environmental variables (emissions CO₂) and mineral products

Sanaz Shahbazi*

Hassan Heidari

Mehdi Nejati

Ph.D Candidate in Economics, Urmia University, Iran

Professor of Economics, Urmia University, Iran

Associate Professor of Economics, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran

Abstract

Concerns related to energy prices, environmental sustainability, and economic stability highlight the need to examine the effects of energy market liberalization, as fluctuations in oil and gas prices have profound impacts on economic and environmental variables. This study, based on a dynamic computable general equilibrium model and GTAP-E database, investigates the impact of energy price liberalization on environmental variables and mineral products across three country groups-Iran, its major trading partners, and the rest of the world-under two scenarios: (1) a 5% gas price shock and (2) a 5% oil price shock, projecting up to the year 2050. The simulation results show that for Iran, the first scenario leads to a gradual and sustained reduction in carbon dioxide emissions, reflecting a negative elasticity between greenhouse gas emissions and gas prices due to decreased fossil fuel consumption and a shift towards more efficient or alternative energy sources in mineral production. The second scenario causes a smaller but still significant reduction in carbon dioxide emissions. For Iran's trading partners, the first scenario results in a long-term emission decrease owing to higher production costs and adoption of cleaner technologies, while the second scenario produces quicker effects because of the mining sector's dependency on oil and accelerated investments in energy-saving measures. For other regions, scenario one shows an initial moderate reduction in carbon dioxide emissions followed by a temporary rebound, indicating delayed decarbonization; scenario two, however, leads to a sustained decline, underscoring the key role of oil in energy and mining sectors. The findings emphasize that energy price liberalization must be aligned with market realities and should promote improved consumption efficiency and innovation in clean technologies.

Keywords: Energy release, energy carriers, mineral products, carbon dioxide, dynamic calculable general balance.

* Corresponding Author: s.shahbazi@urmia.ac.ir

How to Cite:

تأثیر آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی بر متغیرهای زیست محیطی انتشار (CO₂) و محصولات معدنی

ساناز شهبازی* ID دانشجوی دکتری رشته اقتصاد، دانشگاه ارومیه، ایران

حسن حیدری ID استاد اقتصاد، دانشگاه ارومیه، ایران

مهدی نجاتی ID دانشیار اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران

چکیده

نگرانی‌های مرتبط با قیمت انرژی، پایداری زیست‌محیطی و ثبات اقتصادی، نیاز به بررسی اثرات آزادسازی بازار انرژی را نشان می‌دهد؛ زیرا تغییرات قیمت نفت و گاز تأثیر عمیقی بر متغیرهای اقتصادی و محیطی دارند. این مطالعه براساس مدل تعادل عمومی قابل محاسبه پویا و داده‌های پایگاه GTAP-E، تأثیر آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی بر متغیرهای زیست‌محیطی و محصولات معدنی را در سه گروه کشور ایران، مهم‌ترین شرکای تجاری و سایر نقاط جهان، طی دو سناریو (۱. شوک پنج درصدی قیمت گاز و ۲. شوک پنج درصدی قیمت نفت) تا افق زمانی ۲۰۵۰ بررسی می‌کند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که؛ برای کشور ایران سناریوی اول منجر به کاهش تدریجی و پایدار انتشار دی‌اکسید کربن می‌شود که نشان‌دهنده کشتش منفی بین انتشار گازهای گلخانه‌ای و قیمت گاز است که ناشی از کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و گرایش به انرژی‌های کارآمدتر یا جایگزین در تولید مواد معدنی است. سناریوی دوم کاهش کمتر اما قابل توجهی در انتشار دی‌کسید کربن ایجاد می‌کند. سناریوی اول شرکای تجاری، کاهش بلندمدت انتشار را به دلیل هزینه‌های تولید بالاتر و پذیرش فناوری‌های پاک‌تر به دنبال داشت. و سناریوی دوم، به دلیل وابستگی بخش معدن به نفت و سرمایه‌گذاری‌های تسریع شده صرفه‌جویی در انرژی، اثرات سریع‌تری دارد. برای سایر مناطق در سناریوی اول، کاهش اولیه متوسط انتشار دی‌اکسید کربن با بازگشت موقتی، که نشان‌دهنده کربن‌زدایی با تأخیر است. همچنین، سناریوی دوم باعث کاهش پایدار می‌شود که بیان‌گر نقش کلیدی نفت در انرژی و معدن است. یافته‌ها تأکید می‌کند که آزادسازی قیمت انرژی باید با واقعیت‌های بازار هماهنگ و موجب افزایش کارایی مصرف و نوآوری فناوری‌های پاک شود.

کلیدواژه‌ها: آزادسازی انرژی، حامل‌های انرژی، محصولات معدنی، کربن‌دی‌اکسید، تعادل عمومی قابل محاسبه پویا.

مقاله حاضر برگرفته از رساله دکتری رشته علوم اقتصادی دانشگاه ارومیه است.

* نویسنده مسئول: s.shahbazi@urmia.ac.ir

مقدمه

در دهه‌های اخیر، تغییرات اقلیمی به علت تشدید آثار منفی ناشی از آن و پیامدهای عمیق اقتصادی و اجتماعی برای مناطق مختلف، به یکی از اولویت‌های اصلی در سطح جهانی تبدیل شده است. به همین دلیل است که کشورهای جهان سیاست‌های خود را برای کاهش انتشار دی‌اکسید کربن^۱ هدف قرار داده‌اند تا رشد و توسعه اقتصادی پایدار را تضمین کنند (پونس و همکاران^۲، ۲۰۲۰). افزایش مصرف انرژی و تاثیر آن بر تغییرات اقلیمی، یکی از مهم‌ترین چالش‌های اقتصاد انرژی معاصر است. تقاضا برای انرژی، به‌ویژه سوخت‌های فسیلی، با شرایط آب و هوایی، فعالیت‌های صنعتی و رشد اقتصادی ملی ارتباط نزدیکی دارد (اونوفری و همکاران^۳، ۲۰۲۲). نگرانی جهانی در مورد تغییرات اقلیمی به دلیل افزایش مداوم انتشار گازهای گلخانه‌ای^۴ از اوایل قرن بیستم، که اغلب به احتراق سوخت‌های فسیلی و صنعتی شدن نسبت داده می‌شود، تشدید شده است (امهکا و همکاران^۵، ۲۰۲۲). دی-اکسید کربن، رایج‌ترین گاز گلخانه‌ای، تقریباً دو سوم از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای را تشکیل می‌دهد و به‌طور عمده از طریق مصرف انرژی و فرآیندهای صنعتی تولید می‌شود (آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده^۶، ۲۰۲۳). در حالی که اثر گلخانه‌ای برای حفظ تعادل دمای زمین ضروری است، افزایش قابل توجه مصرف انرژی در سطح جهانی باعث افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در جو نسبت به قرن گذشته شده است (یلیمانوف و همکاران^۷، ۲۰۱۵). همچنین، طبق گزارش سازمان ملل متحد^۸ (۲۰۲۳) انتشار گازهای

¹. Carbon dioxide (CO₂)

². Ponce et al.

³. Onofrei et al.

⁴. Green House Gas (GHG)

⁵. Amheka et al.

⁶. EAP

⁷. Yemelyanov et al.

⁸. United Nations

گلخانه‌ای در حال حاضر به افزایش ۱/۵ درجه سانتی‌گراد در میانگین دمای جهانی منجر شده است، پیش‌بینی‌ها هشدار می‌دهند که در صورت عدم انجام اقدامات موثر برای کاهش، تا سال ۲۱۰۰ تا دو درجه سانتی‌گراد نیز افزایش خواهد یافت. کشورهای در حال توسعه، که به شدت به سوخت‌های فسیلی برای رشد اقتصادی وابسته هستند، با خطرات زیست‌محیطی و اقتصادی بسیار حاد ناشی از این روندها مواجه هستند (جیانگ و همکاران^۱، ۲۰۲۰؛ کوسکایا^۲، ۲۰۲۲؛ کوسکایا و بیلگیلی^۳، ۲۰۲۰؛ ژائو و همکاران^۴، ۲۰۲۱). در دهه‌های اخیر، تخریب محیط زیست به عنوان یک چالش جهانی بحرانی ظهور کرده و باعث تدوین توافق‌نامه‌های بین‌المللی و افزایش حکومت‌مشارکتی بین ملت‌ها شده است. فعالیت‌های انسانی، رشد سریع اقتصادی و گسترش صنعتی، انتشار آلاینده‌ها، به ویژه دی‌اکسید کربن را به طور قابل توجهی افزایش داده است که منجر به اثرات نامطلوب بر سیستم‌های اکولوژیکی و سلامت عمومی می‌شود. تجمع این آلاینده‌ها می‌تواند باعث آسیب‌های بلندمدت و گاهی جبران‌ناپذیر شود (فدائی و آذری، ۱۴۰۰).

در این زمینه، مداخلات دولت - مانند تعدیل در قیمت‌گذاری انرژی - به ابزارهای سیاستی بحث‌برانگیز و حیاتی تبدیل شده‌اند. مطالعات متعددی تاثیر اقتصادی اصلاحات قیمت انرژی را بررسی کرده‌اند و بر پیامدهایی از جمله اشتغال (شریفی و همکاران، ۱۳۹۳)، تورم (صالحی و محبی، ۱۳۹۱؛ بادینلو و همکاران، ۱۳۹۳)، تولید بخشی (خداویدی و همکاران، ۱۳۹۵) و صادرات (کرامت‌فر^۵، ۲۰۱۴) تمرکز داشته‌اند. همچنین، در مطالعاتی همچون من و همکاران^۶ (۲۰۱۴) تمرکز محققان بر زغال سنگ بوده و آشنا و همکاران^۷ (۲۰۲۰) نیز اثرات کارایی انرژی در بخش برق در اقتصاد ایران را بررسی نموده‌اند با این حال، اکثر تحلیل‌های قبلی بر مدل‌های تعادل جزئی یا ورودی-خروجی، متمرکز بر بخش‌ها یا کشورهای واحد، و با استفاده از داده‌های تاریخی از دوره‌های قبل از اصلاحات عمده سیاستی، تکیه داشته‌اند. چنین رویکردهایی، همان‌طور که لوکاس^۸ تأکید کرده است، در

¹. Jiang et al.

². Kuskaya

³. Kuskaya & Bilgili

⁴. Zhao et al.

⁵. Keramatfar

⁶. Man et al.

⁷. Ashena et al.

⁸. Lucase

توانایی خود برای پیش‌بینی اثرات رژیم‌های سیاستی جدید محدود هستند، زیرا نتایج تجربی مبتنی بر داده‌های گذشته ممکن است در محیط‌های سیاستی تغییر یافته قابل اجرا نباشند (لوکاس، ۱۹۷۶؛ فروتن و همکاران، ۱۳۹۱).

اهمیت موضوعات مرتبط با انرژی در چشم‌انداز جهانی امروز، با تأکید فزاینده بر تقاضای انرژی در صنایع مختلف و نیاز مبرم به منابع پاک و پایدار، بسیار مهم است. علی‌رغم نگرانی جهانی در مورد پیامدهای اقتصادی و زیست‌محیطی افزایش قیمت انرژی، تحقیقات محدودی وجود دارد که به طور همزمان و پویا تأثیرات اقتصادی بخشی و پیامدهای زیست‌محیطی اصلاحات قیمت انرژی را در مناطق و بخش‌های مختلف ارزیابی کند. برخلاف مطالعات قبلی که محدود به مدل‌های تعادل ایستا یا جزئی بودند، این تحقیق از یک مدل تعادل عمومی قابل محاسبه پویا به ویژه GTAP-E استفاده می‌کند که یک نسخه توسعه یافته از مدل GTAP به نام پروژه تحلیل تجارت جهانی-انرژی^۱ GTAP-E مدل‌سازی شده است که تعمیمی از الگوی (هرتل^۲، ۱۹۹۷؛ هرتل و تسیگاس^۳، ۱۹۹۷) است. چارچوب GTAP-E توسعه‌یافته با انرژی - برای ثبت همزمان پیامدهای اقتصادی و زیست‌محیطی در تمام بخش‌ها و مناطق در پایگاه داده جهانی GTAP استفاده می‌کند. مدل GTAP-E امکان گنجاندن صریح انرژی به عنوان یک عامل تولید را فراهم می‌کند و ارزیابی‌های واقع‌بینانه‌تری از انتشار کربن و تعاملات بخشی را امکان‌پذیر می‌سازد (بورنیاکس و ترونک^۴، ۲۰۰۲). با در نظر گرفتن انرژی به عنوان یک عامل تولید صریح، این مدل پیوندهای ظریف بین تغییرات قیمت انرژی، فعالیت اقتصادی بخشی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را ثبت می‌کند و یک ارزیابی واقع‌بینانه و آینده‌نگر ارائه می‌دهد. این تحقیق از الگوریتم‌های پیشرفته حل معادله در GEMPACK بهره می‌برد و شبیه‌سازی‌های پویایی را که پیش‌تر در این زمینه کمتر مورد استفاده قرار می‌گرفتند، امکان‌پذیر می‌سازد. همچنین، با استفاده از پایگاه داده جامع^۵ GTAP، این مطالعه اثرات را در تمام بخش‌ها و مناطق تجزیه و تحلیل می‌کند و تعمیم‌پذیری و ارتباط سیاستی یافته‌ها را افزایش می‌دهد. این رویکرد، تجزیه و تحلیل جامع‌تر

^۱. Global Trade Analysis Project Energy

^۲. Hertel

^۳. Hertel & Tsigas

^۴. Burniaux & Truong

^۵. لینک مربوط به داده‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر

<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/v11/>

و آینده‌نگرانه‌تری از اصلاحات قیمت انرژی ارائه می‌دهد - که فراتر از محدوده، روش‌شناسی و ارتباط سیاستی اکثر تحقیقات قبلی است. این مطالعه در پی پاسخ به این سوال است که چگونه افزایش پنج درصدی قیمت گاز و نفت، هنگامی که در یک چارچوب تعادل عمومی پویا تجزیه و تحلیل می‌شود، بر عملکرد اقتصادی بخش‌های مختلف و انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی به ویژه انتشار دی-اکسید کربن در مناطق جهانی تاثیر می‌گذارد؟ جهت پاسخ به سوال اساسی پژوهش در بخش دوم تحقیقات نظری و تجربی پیشین، در بخش سوم مدل، داده‌ها و روش‌شناسی تشریح می‌گردد. بخش چهارم، یافته‌های آماری و تجربی تحقیق را ارائه کرده و نتایج را در پرتو تئوری و شواهد تجربی مرتبط مورد بحث قرار می‌دهد. در نهایت، بخش پنجم مقاله به ارائه نتیجه‌گیری‌های مطالعه و پیامدهای سیاستی بالقوه آن‌ها اختصاص دارد و به عنوان منبعی ارزشمند برای تصمیم‌گیری آگاهانه عمل می‌کند.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

امروزه انرژی یک محرک حیاتی اقتصاد جهانی است که تاثیرات قابل توجهی بر روابط بین‌الملل و تحولات اجتماعی گسترده دارد به طوری که روابط کشورها متأثر از آن می‌باشد و تحولات اجتماعی، اقتصادی، سیاسی و نظامی جهان را بدون در نظر گرفتن انرژی نمی‌توان به درستی تجزیه و تحلیل نمود. انتقال انرژی به سمت منابع تجدیدپذیر و پایدار یک روند جهانی عمده است، زیرا جهان به دنبال رسیدگی به چالش‌های زیست‌محیطی مرتبط با تولید و مصرف انرژی سنتی است. منابع معدنی که ورودی‌های ضروری برای انتقال انرژی هستند، در صورت عدم مدیریت صحیح می‌توانند از طرق مختلف از جمله آلودگی آب و هوا، خاک، آب‌های زیرزمینی و انتشار گازهای گلخانه‌ای باعث آلودگی محیط‌زیست شوند (رصدخانه پیچیدگی اقتصادی^۱، ۲۰۲۳). از نظر تاریخی، سیاست جهانی انرژی در پاسخ به فشارهای ژئوپلیتیکی و همچنین زیست‌محیطی تکامل یافته است. به عنوان مثال، بحران‌های نفتی دهه ۱۹۷۰ باعث شد دولت‌ها بر بهره‌وری انرژی به عنوان یک اولویت استراتژیک تمرکز کنند و به دنبال کاهش آسیب‌پذیری در برابر شوک‌های خارجی و بهبود تاب‌آوری اقتصادی باشند. با این حال، برای سال‌های متمادی، سیاست انرژی صرفاً بر رشد اقتصادی

^۱. Observatory of Economic Complexity (OEC)

متمرکز بود و توجه کمی به پیامدهای زیست محیطی تولید و استفاده از انرژی می شد (کودی و همکاران^۱، ۲۰۱۶).

به این علت که، احتراق مستقیم سوخت و انتشار غیرمستقیم گازهای گلخانه‌ای با کالاهای واسطه‌ای مرتبط هستند، برق در میان بخش‌های اصلی با بیش‌ترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای قرار دارد. افزایش استفاده از گاز طبیعی در سال‌های اخیر با افزایش انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف گاز همراه بوده است، همچنین، گاز نقش دوگانه مهمی در انتشار گازهای گلخانه‌ای ایفا می‌کند؛ ماده منبع اصلی سوخت برای تولید انرژی و منبع قابل توجهی از گازهای گلخانه‌ای قوی است. مدیریت انتشار آن برای کنترل گرمایش جهانی و گذار به سوی آینده‌ای پایدارتر در زمینه انرژی حیاتی است بنابراین، اطمینان از این که قیمت نفت و گاز منعکس‌کننده هزینه‌های واقعی بازار - از جمله اثرات جانبی زیست محیطی - باشد، برای آزادسازی موثر قیمت انرژی و ایجاد انگیزه برای بهره‌وری انرژی و جایگزین‌های کم کربن بسیار مهم هستند (آشنا و همکاران^۲، ۲۰۲۰). مفهوم آزادسازی قیمت انرژی از این اصل اقتصادی ناشی می‌شود که قیمت‌ها به عنوان شاخص‌های اساسی بر اقدامات مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان تاثیر می‌گذارند. هنگامی که دولت‌ها از طریق یارانه‌ها برای پایین نگه داشتن قیمت انرژی مداخله می‌کنند، سیگنال‌های قیمتی تحریف می‌شوند و اغلب منجر به مصرف بیش از حد انرژی و اتکا به سوخت‌های کربن‌زا می‌شوند. این امر به نوبه خود، تخریب محیط زیست را، در درجه اول از طریق افزایش انتشار دی‌اکسید کربن و آلودگی، تشدید می‌کند (کودی و همکاران، ۲۰۱۸). در سال ۲۰۲۲ انتشار جهانی دی-اکسید کربن وابسته به انرژی ۰/۹٪ یا ۳۲۱ میلیون تن رشد کرد و به بالاترین حد در مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای رسید، که از این مقدار ۶۰ میلیون تن را می‌توان به تقاضای سرمایش و گرمایش در آب‌وهوای شدید و ۵۵ میلیون تن دیگر را به نیروگاه‌های هسته‌ای نسبت داد. انتشارات ناشی از احتراق انرژی ۴۲۳ میلیون تن افزایش داشته، در حالی که انتشارات ناشی از فرآیندهای صنعتی ۱۰۲ میلیون تن کاهش یافته است (آژانس بین‌المللی انرژی^۳، ۲۰۲۳).

¹. Coady et al.

². Ashena et al.

³. International Energy Agency

تحقیقات تجربی به طور مداوم منابع انرژی - به ویژه انرژی‌های تجدیدپذیر - و عملکرد اقتصادی را به هم مرتبط می‌کنند و نقش حیاتی انرژی را در توسعه پایدار برجسته می‌کنند، اوگان‌دپ و همکاران^۱ (۲۰۱۶) تأکید می‌کنند که سیاست انرژی موثر در دستیابی به رشد اقتصادی پایدار و در عین حال کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی موثر است. علاوه بر این، رابطه بین مصرف انرژی، سیاست و تغییرات اقلیمی همچنان محور اصلی بحث‌های زیست‌محیطی است، همان‌طور که آدنیکینجو^۲ (۱۹۹۵) به تأثیر سیاست‌ها و منابع انرژی بر تغییرات اقلیمی تأکید دارد که آن را به عنوان چالشی زیست‌محیطی مهم برمی‌شمارد. بر این اساس، اهمیت جایگاه انرژی و سیاست‌های آن در ارتقای رشد اقتصادی و مقابله با چالش‌های اقلیمی، پیش‌زمینه‌ای برای بررسی‌های پژوهش حاضر فراهم می‌آورد. در ادامه، به مرور برخی از مطالعات داخلی و خارجی که به نحوی با موضوع این پژوهش مرتبط هستند، پرداخته خواهد شد تا زمینه علمی و تجربی تحقیق به طور کامل‌تر تبیین گردد.

باکتا و همکاران^۳ (۲۰۲۳) تأثیر بالقوه آزادسازی تجارت کالاهای زیست‌محیطی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای را با استفاده از پایگاه داده GTAP برای سال ۲۰۱۴ از طریق مدل تعادل عمومی بررسی کرده‌اند. آنان پیش‌بینی کردند که از طریق افزایش درآمد و تجارت، انتشار گازهای گلخانه‌ای به دلیل افزایش تقاضا برای انرژی افزایش می‌یابد و افزایش اندک تولید ناخالص داخلی در همه مناطق به دلیل کاهش تعرفه‌ها، اقدامات غیرتعرفه‌ای و افزایش بهره‌وری انرژی صورت می‌گیرد.

خان و همکاران^۴ (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای تأثیر فناوری، سوخت فسیلی، انرژی‌های تجدیدپذیر و مواد معدنی را بر کیفیت محیطی در رشد اقتصادی پایدار برای دوره ۱۹۹۵-۲۰۱۸ با استفاده از روش علیت گرنجر بررسی می‌کنند. نتایج آنان نشان داد که سوخت‌های فسیلی و پیچیدگی‌های تکنولوژیکی در بلندمدت کیفیت محیطی را کاهش می‌دهند، در حالی که مواد معدنی پیچیده کیفیت محیطی را بهبود می‌بخشند.

آلدویان و قاسیم^۵ (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای اثرات اقتصادی و زیست‌محیطی اصلاح قیمت انرژی برای ۲۷ کشور اتحادیه اروپا در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۷ را با استفاده از مدل

¹. Ogundee et al.

². Adenikinju

³. Bacchetta et al.

⁴. Khan et al.

⁵. Aldubyan & Gasim

سری‌های زمانی ساختاری هاروی بررسی نموده‌اند. نتایج آنان نشان می‌دهد که اصلاحات قیمت انرژی در سال ۲۰۱۸ در بنزین و برق خانگی به ترتیب دارای ۸/۸ و ۳/۸ میلیارد دلار آمریکا سود رفاهی بوده که این اصلاحات بیش‌ترین سهم را در کاهش مصرف بنزین و برق مسکونی در سال ۲۰۱۸ داشته است.

پونس و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از داده‌های ۲۷ کشور اتحادیه اروپا در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۷، با برآورد یک مدل اقتصادسنجی دوطرفه اثر آزادسازی بازار داخلی انرژی در اتحادیه اروپا در مورد انتشار دی‌اکسید کربن را بررسی نموده‌اند. نتایج آنان نشان داد که آزادسازی بازار انرژی داخلی به طور منفی با انتشار دی‌اکسید کربن مرتبط بوده و در کاهش انتشار CO₂، کاهش سرعت تغییرات آب‌وهوا نیز موثر بوده است.

الچ و همکاران^۱ (۲۰۱۸) در مقاله‌ای پیامدهای فناوری و شوک‌های انرژی بر متغیرهای کلیدی اقتصاد کلان از جمله تولید و مصرف را با استفاده از یک مدل تعادل عمومی تصادفی پویای و تکنیک‌های بیزی بررسی نموده‌اند. یافته‌های آنان نشان می‌دهد که شوک‌های وارد شده به بخش انرژی‌های تجدیدپذیر تاثیر بیش‌تری بر اقتصاد نیجریه در مقایسه با ضربه‌های وارده به بخش سوخت‌های فسیلی دارد.

دوگان و سکر^۲ (۲۰۱۶) اثرات انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر، درآمد واقعی و باز بودن تجارت را بر انتشار دی‌اکسید کربن برای اتحادیه اروپا طی دوره ۱۹۸۰-۲۰۱۲ بررسی کرده‌اند. نتایج آنان نشان داد که افزایش انرژی‌های تجدیدپذیر منجر به کاهش سطح انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود و به تخریب محیط‌زیست نیز کمک می‌کند.

چی و همکاران^۳ (۲۰۱۴) مصرف انرژی و انتشار کربن را تحت سناریوهای سیاست مالیات بر کربن و تاثیرات آن را بر رشد اقتصادی چین از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۳۰ با استفاده از یک مدل تعادل عمومی قابل محاسبه تجربه و تحلیل نموده‌اند. نتایج آنان نشان می‌دهد که در طول دوره شبیه‌سازی، اقتصاد چین نرخ رشد نسبتاً بالایی را حفظ می‌کند. همچنین، شدت مصرف انرژی و شدت انتشار کربن به ازای هر واحد تولید ناخالص داخلی^۴ (GDP) کاهش می‌یابد.

¹. Alege et al.

². Dogan and Seker

³. Chi et al.

⁴. Gross Domestic Product (GDP)

امیرنیا (۱۴۰۲) چگونگی تاثیر رشد اقتصادی، استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر و شهرنشینی را بر انتشار دی‌اکسید کربن برای ۱۳ کشور عضو اوپک در سال‌های ۲۰۱۹-۱۹۹۰ با روش پانل دیتا بررسی کرد. یافته‌های وی نشان می‌دهد که تولید ناخالص داخلی، رشد جمعیت شهری و مصرف سوخت به طور قابل توجهی در انتشار دی‌اکسید کربن نقش دارند. احمدی ارکمی (۱۴۰۱) میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را برای استان گیلان طی سناریوهای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، مطابق با قابلیت‌های منطقه براساس داده‌های سال ۱۳۸۹ در نرم افزار IPCC تا سال ۲۰۳۰ بررسی کرد. نتایج وی حاکی از آن است که براساس ظرفیت موجود منطقه برای تولید برق پاک و کاهش مصرف خانوارها، کاهش ۱۳ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۰۳۰ امکان‌پذیر است.

طایی سمیرمی و همکاران (۱۳۹۹) تاثیرات مختلف تغییر قیمت منابع انرژی بر معیارهای کلیدی اقتصادی و زیست‌محیطی در صنعت کشاورزی ایران را طی بازه زمانی ۱۳۹۴-۱۳۶۷ با مدل خودرگرسیون برداری با وقفه بررسی نموده‌اند. یافته‌های آنان حاکی از آن است که قطع یارانه برق در مقایسه با قطع یارانه گازوئیل تاثیر اقتصادی نامطلوبی دارد.

طاهری و همکاران (۱۳۹۵) تاثیر افزایش قیمت منابع انرژی بر هزینه‌های مرتبط با حذف آلاینده‌های هوا در ایران را با رویکرد تعادل عمومی محاسبه‌پذیر در بازه زمانی ۱۳۹۱-۱۳۸۵ مورد بررسی قرار داده‌اند. یافته‌های آنان نشان داد که در سناریوی اول، هزینه کنترل آلودگی ۱۲/۷۸٪ از تولید ناخالص داخلی بوده، سناریوی افزایش قیمت انرژی منجر به کاهش ۲۳٪ این هزینه شده و آن را به ۱۰٪ از تولید ناخالص داخلی رسانده است.

آماده و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای تاثیر تغییر یارانه منابع انرژی را بر محیط‌زیست و رفاه طی دو سناریوی بازتوزیع درآمدی از طریق ماتریس حسابداری اجتماعی سال ۱۳۸۷ با الگوی تعادل عمومی محاسبه‌پذیر در نرم افزار GAMS مورد بررسی قرار داده‌اند. یافته‌های آنها نشان داد که توزیع مجدد درآمد در بین خانوارها منجر به افزایش ۱۶٪ رفاه برای خانوارهای شهری و افزایش ۵۳٪ برای خانوارهای روستایی شده است. علاوه بر این، تعدیل قیمت منابع انرژی در کاهش انتشار آلاینده‌ها نیز موثر می‌باشد.

تحقیقات موجود، برای درک تاثیرات اصلاح قیمت انرژی بر محیط‌زیست، انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر، متغیرهای اقتصاد کلان، انتشار دی‌اکسید کربن و ... به صورت مجزا موثر هستند، ولی طبق بررسی‌های صورت گرفته مطالعه‌ای که به صورت جامع

دربرگیرنده آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی، متغیرهای زیست‌محیطی (انتشار CO_2) و محصولات معدنی باشد، ملاحظه نشده است. همچنین، مدلی که در این مطالعه استفاده شده است یک مدل پویا می‌باشد که عملاً در مطالعات انجام شده اثرات اصلاح قیمت انرژی روی متغیرهای زیست‌محیطی و به خصوص کالاهای معدنی با این مدل پویا بررسی نشده است. در زمینه بخش محصولات معدنی، استفاده از این مدل‌ها می‌تواند درک دقیق‌تری از روابط موجود ارائه دهد و ارزیابی دقیق پیامدهای تغییرات انتشار دی‌اکسید کربن از محصولات معدنی را از طریق تکنیک‌های مناسب مدل‌سازی، تسهیل کند. این مطالعه مختص محصولات معدنی می‌باشد، اگر چه مطالعاتی که قبلاً انجام شده ممکن است اثرات زیست‌محیطی را بررسی کرده باشند، اما بر روی محصولات معدنی تمرکز نشده است. در نهایت می‌توان بیان نمود نکته‌ای که خیلی مهم است اصلاح قیمت انرژی است، که کار ویژه‌ای بوده و نه تنها روی محصولات معدنی بررسی شده بلکه بر روی انتشار کربنی که در تولید محصولات معدنی هم ایجاد می‌شود بررسی شده است، زیرا بخش تولید محصولات معدنی یکی از مهم‌ترین بخش‌هایی است که آلاینده‌گی بالایی دارد. فقدان تحقیقات اختصاصی در مورد بخش محصولات معدنی درک افراد را از پویایی منحصر به فرد و چالش‌های این بخش در مورد انرژی و انتشار کربن دی‌اکسید محدود می‌کند. می‌توان بیان نمود که این مطالعه با تمرکز صریح بر صنعت محصولات معدنی، بینش‌های جدیدی در مورد چگونگی تاثیر آزادسازی قیمت انرژی بر تولید این بخش و اثرات زیست‌محیطی مرتبط ارائه می‌دهد. این یافته‌ها، راهنمایی‌های ارزشمندی برای سیاست‌گذاران محسوب می‌شوند که در تلاش برای متعادل‌سازی استراتژی‌های قیمت‌گذاری انرژی، تخصیص منابع و حفظ پایداری زیست‌محیطی، به‌ویژه در کاهش انتشار کربن در بخش‌های با سطح بالای انتشار گازهای گلخانه‌ای مانند محصولات معدنی هستند.

روش

در میان چارچوب‌های مدل‌سازی که در حوزه سیاست‌های انرژی و زیست‌محیطی موثر هستند، مدل پروژه تحلیل تجارت جهانی-انرژی^۱ (GTAP-E) قرار دارد که یک مدل تعادل

^۱. لینک مربوط به معادلات ریاضی مدل GTAP-E در پژوهش حاضر

عمومی قابل محاسبه چندعاملی، چندبخشی و چندمنطقه‌ای است که توسط بورنیاکس و تروننگ (۲۰۰۲) توسعه یافته است. نوآوری این مدل توانایی آن در توضیح صریح تاثیر مصرف انرژی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای، به ویژه انتشار کربن دی‌اکسید از احتراق سوخت‌های فسیلی است، این مدل شکل تعمیم یافته مدل تعادل عمومی GTAP است که توسط هرتل (۱۹۹۷) طراحی شده است، استفاده از الگوهای تعادل عمومی چندمنطقه‌ای به جای الگوهای تعادل عمومی یک منطقه‌ای دارای مزیت‌های متعددی است. از نقاط قوت این الگوها توانایی آن‌ها جهت کمک به فهم پیوند میان بخش‌ها، کشورها و عوامل تولید در مقیاس جهانی است (وو و همکاران^۱، ۲۰۱۹).

در حوزه انرژی و اقتصاد محیطی، مدل‌های مختلف تعادل عمومی قابل محاسبه (CGE) به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند (رائو و همکاران^۲، ۲۰۱۷؛ گارسیالئون و همکاران^۳، ۲۰۲۱) که چارچوبی سازگار برای تجزیه و تحلیل اثرات اقتصادی انرژی و سیاست زیست‌محیطی فراهم می‌کند. از دهه ۱۹۸۰ این مدل گسترش یافته و به عنوان یک رویکرد غالب برای تجزیه و تحلیل پیامدهای سیاست‌های انرژی و زیست‌محیطی تبدیل شده است (چی و همکاران، ۲۰۱۴). نقش فراگیر انرژی در اقتصاد و روش‌های متعددی که یارانه‌های انرژی می‌توانند تخصیص منابع را مختل کنند، ضرورت یک رویکرد تعادل عمومی را نشان می‌دهد (منظور و همکاران^۴، ۲۰۱۲). از دهه ۱۹۸۰ مدل CGE به‌طور گسترده تری به کار گرفته شد و به جریان اصلی تحلیل سیاست انرژی و محیط زیست تبدیل شده است (چی و همکاران، ۲۰۱۴). دلیل استفاده از یک مدل CGE پویا این است که یک مدل CGE پویا قادر به ثبت اثرات رشد اصلاحات سیاستی است. ناتوانی مدل CGE ایستا در محاسبه اثرات رشد، آن‌ها را برای تجزیه و تحلیل بلندمدت سیاست‌های اقتصادی ناکافی می‌کند. آن‌ها اثرات انباشت را حذف می‌کنند و اجازه مطالعه مسیر گذار اقتصادی را نمی‌دهند که در آن اثرات سیاست کوتاه‌مدت احتمالاً با اثرات بلندمدت متفاوت است. برای غلبه بر این محدودیت، در این پژوهش از یک مدل CGE پویا استفاده می‌گردد. مدل‌های پویا فرآیندهای انباشت

¹. Wu et al.

². Rao et al.

³. Garcia-Leon et al.

⁴. Manzoor et al.

یک اقتصاد را در برمی گیرند و قابلیت پیش بینی میان مدت / بلندمدت شبیه سازی ها را افزایش می دهند (ژانگ و همکاران^۱، ۲۰۲۰).

توابع تولید

توابع تولید برای هر بخش روش هایی را توصیف می کند که در آن سرمایه، نیروی کار، انرژی و نهاده های واسطه ای می توانند برای تولید خروجی استفاده شوند. همان طور که در شکل (۱) نشان داده شده است که لایه بالایی شامل ورودی های اولیه ترکیبی نیروی کار، سرمایه و انرژی و همچنین ورودی های میانی است. به پیروی از مدل بورنیاکس و همکاران^۲ (۱۹۹۲) و هوانگ و همکاران^۳ (۲۰۰۳)، لایه دوم تقاضای تولیدکننده برای ورودی نیروی کار و سرمایه و انرژی ترکیبی را تعیین می کند. در لایه سوم سرمایه و انرژی ترکیبی به سرمایه و انرژی تفکیک می شود. به این علت که برق عمدتاً با مصرف سوخت های فسیلی تولید می شود. کشش جایگزینی بین الکتریسیته و سوخت های فسیلی باید کمتر از سوخت- های فسیلی باشد (وو و شوان^۴، ۲۰۰۷) بنابراین انرژی به انرژی فسیلی و نیروی الکتریکی در لایه چهارم تقسیم می شود. انرژی حرارتی و انرژی پاک و انرژی فسیلی به زغال سنگ، نفت و انرژی گاز تجزیه می شود. لایه ششم در لایه زیرین انرژی نفتی را نفت خام و نفت و انرژی گاز را گاز طبیعی و گاز تشکیل می دهد.

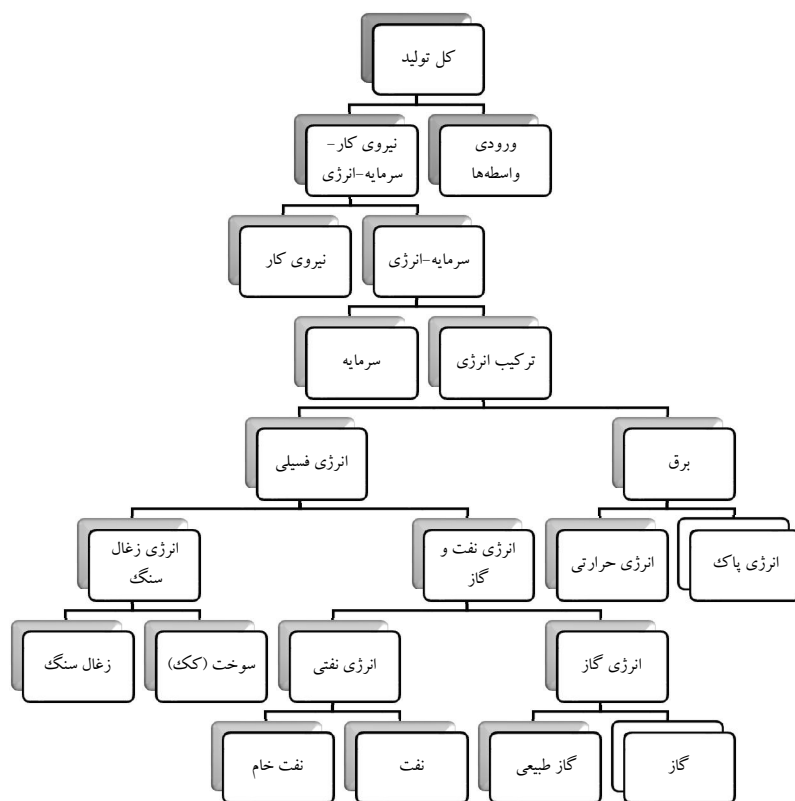
شکل ۱. ساختار تابع تولید

¹. Zhang et al.

². Burniaux et al.

³. Huang et al.

⁴. Wu and Xuan



منبع: بورنیاکس و همکاران (۱۹۹۲)، هوانگ و همکاران (۲۰۰۳) و چی و همکاران (۲۰۱۴)
 تابع کشش جانشینی ثابت^۱ (CES) در توابع ضرب اعمال می‌شود. ترکیب بهینه عوامل
 ورودی به صورت زیر است:

$$\min \sum_{i=1}^p P_i X_i \quad (1)$$

$$V = A \left[\sum_i B_i (\lambda_i X_i)^\rho \right]^{\frac{1}{\rho}} \quad (2)$$

^۱. Constant Elasticity of Substitution (CES)

در رابطه فوق X_i عامل ورودی؛ P_i قیمت؛ V خروجی است؛ B_i پارامتر سهم عامل i ؛ A پارامتر تبدیل کلی روی تمام عوامل ورودی؛ λ_i پارامتر تبدیل روی عامل i و ρ ضریبی که کشش جایگزینی است (چی و همکاران، ۲۰۱۴).

تقاضای خانوار و دولت

خانوارها و دولت‌ها می‌توانند برق و گاز تولید شده توسط فناوری‌های مختلف را تقاضا کنند. مدل GTAP-Power با استفاده از بخش‌های تفکیک شده برق و گاز در پایگاه داده GTAP-E-Power، سیاست‌های اقتصادی-زیست محیطی را شبیه‌سازی می‌کند و در عین حال فرآیندهای جایگزینی در این صنایع را نیز در نظر می‌گیرد. مخارج دولت در این مدل از هزینه‌های آن در بخش‌های انرژی و تمام کالاهای نهایی تولید شده توسط بخش خصوصی مشتق شده است. این رفتار هزینه‌ای از طریق یک تابع هزینه با ضرایب ثابت مدل‌سازی می‌شود، که نشان می‌دهد در سبد مصرفی دولت، هر کالا - شامل برق، گاز و سایر حامل‌های انرژی - سهم ثابتی از کل هزینه‌های مصرفی را تشکیل می‌دهد. ترجیحات مصرف‌کننده، شامل ترجیحات خانوارها و دولت‌ها، با استفاده از یک تابع هزینه با کشش جانشینی ثابت (CES) در سطوح سلسله مراتبی چندگانه مدل‌سازی می‌شوند. شرط تسویه بازار - برابری عرضه و تقاضا - با معادله زیر بیان می‌شود که نشان می‌دهد بخشی از تولید در داخل کشور مصرف و بقیه صادر می‌شود.

$$qo_{ir} = SHRDM_{ir} \times qds_{ir} + \sum_s^n (SHRDM_{irs} \times qxs_{irs}) + tradslack_{ir} \quad (3)$$

در رابطه qo_{ir} نرخ رشد تولید کالای i در منطقه r ، $SHRDM_{ir}$ سهم فروش داخلی کالای i در منطقه r ، qds_{ir} میزان تقاضای داخلی برای کالای i در منطقه r ، $SHRDM_{irs}$ سهم صادرات کالای i از منطقه r به s ، qxs_{irs} مقدار صادرات کالای i از منطقه r به s و $tradslack_{ir}$ متغیر کمکی مکمل که به عنوان یک متغیر برونزا با نرخ رشد صفر تعریف شده اما برای ایجاد عدم تعادل، به درونزا تبدیل می‌شود (حاجی‌پور اپورواری و همکاران، ۱۴۰۳).

توابع انتشار دی اکسید کربن

از آنجایی که احتراق انرژی فسیلی منبع اصلی انتشار دی اکسید کربن است و بیش از ۹۰ درصد از کل انتشار را تشکیل می دهد، این مقاله عمدتاً انتشار کربن تولید شده توسط احتراق زغال سنگ، نفت و گاز طبیعی در فرآیند تولید را تجزیه و تحلیل می کند. در مورد تنظیم حد مجاز کربن، سقف انتشار کربن در هر سال عمدتاً براساس شدت کربن سال قبل و ضریب کاهش شدت کربن سالانه است.

$$EM_i = \gamma_{coal} \cdot Coal_i + \gamma_{oil} \cdot Oil_i + \gamma_{gas} \cdot Gas_i \quad (4)$$

$$LM_{i,t} = \begin{cases} (1 - \omega) \frac{EM_{i,t} - 0}{Z_{i,t} - 0} Z_{i,t} & t = 1 \\ (1 - \omega) \frac{LM_{i,t-1}}{Z_{i,t-1}} Z_{i,t} & t = 2, 3, \dots, N \end{cases} \quad (5)$$

که در آن، M_i میزان انتشار دی اکسید کربن صنایع شرکت کننده؛ γ_{coal} ، γ_{oil} و γ_{gas} ضریب انتشار دی اکسید کربن زغال سنگ، نفت و گاز طبیعی است که از میانگین ارزش حرارتی، ضریب انتشار کربن، نرخ اکسیداسیون کربن و ضریب تبدیل کربن محاسبه می شود؛ $Coal_i$ ، Oil_i و Gas_i به ترتیب نشان دهنده مصرف منابع مختلف انرژی در بخش i ؛ LM_i حق انتشار کربن بخش i در دوره های فعلی و قبلی هستند؛ Z_i نیز به ترتیب خروجی صنعت در دوره فعلی و دوره قبلی هستند؛ ω ضریب کاهش انتشار کربن سالانه است (من و همکاران، ۲۰۱۴).

مدل سازی انتشار کربن

در چارچوب مدل GTAP-E، فرآیند انتشار کربن براساس داده های تفصیلی بخش های مختلف تولیدی، خانوارها و بخش دولتی در پایگاه داده GTAP به صورت جامع گنجانده شده است. این انتشار نتیجه مصرف انواع سوخت های فسیلی شامل زغال سنگ، نفت خام،

گاز طبیعی، محصولات پالایشی و برق می‌باشد. کل حجم کربن منتشر شده در هر منطقه r ناشی از تقاضای کالا i مشتمل بر موارد زیر است:

انتشار کربن مربوط به تقاضای نهاده‌های داخلی بنگاه‌ها: $CO2_{i,r}^{dom,in}$

انتشار کربن مرتبط با نهاده‌های وارداتی بنگاه‌ها: $CO2_{i,r}^{imp,in}$

انتشار ناشی از تقاضای خانوار در کالاهای داخلی: $CO2_{i,r}^{dom,h}$

انتشار حاصل از تقاضای خانوار برای کالاهای وارداتی: $CO2_{i,r}^{imp,h}$

انتشار کربن مربوط به تقاضای دولت در کالاهای داخلی و وارداتی: $CO2_{i,r}^{imp,g}$ و $CO2_{i,r}^{dom,g}$

با توجه به مطالب بیان شده، کل انتشار کربن منطقه r برحسب تقاضای کل کالاها به صورت معادله (6) بیان می‌شود:

$$CO2_r = \sum_{j=PROD_COMM} \left(CO2_{i,r}^{dom,in} + CO2_{i,r}^{imp,in} + CO2_{i,r}^{dom,h} + CO2_{i,r}^{imp,h} + CO2_{i,r}^{dom,g} + CO2_{i,r}^{imp,g} \right) \quad (6)$$

بیان این نکته ضروری است که فقط کالاهای انرژی‌زا نظیر زغال سنگ، نفت، گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی در محاسبات انتشار کربن دی‌اکسید دخیل هستند. مقدار کل انتشار کربن در منطقه r را می‌توان با جمع کردن انتشار گازهای گلخانه‌ای در تمام انواع سوخت‌های فسیلی مربوطه k طبق رابطه (7) نوشت:

$$CO2_r^{total} = \sum_{k \in \{coal, oil, gas, petroleum\}} CO2_{k,r} \quad (7)$$

در نتیجه، درصد تغییر انتشار کربن در منطقه r به صورت زیر محاسبه می شود:

$$gCO2_r = \sum_{k \in \{coal, oil, gas, petroleum\}} \left(\frac{CO2_r^t - CO2_r^{t-1}}{CO2_r^{t-1}} \right) \times 100 \quad (8)$$

در معادله فوق g بیانگر نرخ رشد انتشار گازهای گلخانه ای می باشد. نرخ رشد انتشار گازهای گلخانه ای برای هر کالا i و بخش j در منطقه r متناسب با نرخ رشد تقاضا برای آن کالا توسط شرکت ها، خانوارها یا دولت فرض شده و براساس رابطه (9) محاسبه می شود:

$$gCO2_{i,j,r} = gQ_{i,j,r} \quad (9)$$

از آنجایی که شدت کربن (انتشار به ازای هر واحد تولید ناخالص داخلی) در هر منطقه به صورت نسبت کل انتشار به تولید ناخالص داخلی تعریف می شود، نرخ رشد آن به صورت زیر بیان می شود:

$$gCI_r = gCO2_r - gGDP_r \quad (10)$$

در معادله فوق نرخ gCI_r رشد شدت کربن و $gGDP_r$ نرخ رشد تولید ناخالص داخلی در منطقه r است (بورنیاکس و ترونک، ۲۰۰۲؛ هرتل، ۱۹۹۷).

بخش پویای مدل

زمان به عنوان یک عامل متغیر در فرآیندهای اقتصادی مورد توجه قرار می گیرد و می تواند تغییرات چرخه ای و ساختاری را توضیح دهد. در اقتصاد، علاوه بر پاسخ به تغییرات محیطی مانند سیاست ها یا پیشرفت های فناوری، پویایی های درونی سیستم از طریق رابطه جریان و موجودی نیز به وجود می آید. وقتی پس انداز یا سرمایه گذاری خالص صفر نیست، گذر زمان به طور مستقیم به تغییر در سطح سرمایه یا دارایی ها منجر می شود. همچنین، با اتخاذ انتظارات

تعدیلی و بازنگری‌های تأخیری، متغیرهای هدف به آرامی به سمت نقاط تعادلی حرکت می‌کنند. این گونه تغییرات معمولاً منشأ خارجی ندارند، بلکه صرفاً با اثر گذشت زمان شکل می‌گیرند. در مدل‌سازی، شوک زمان معمولاً از طریق شبیه‌سازی وارد می‌شود و شوک به سایر متغیرهای بیرونی تغییرات شرایط محیطی را بازتاب می‌دهد. در این قسمت به اصلی‌ترین معادلات این بخش پرداخته می‌شود:

الف) تجمع دارایی‌های مالی

در این حوزه، دارایی‌های مالی خانوارها و شرکت‌ها دو مولفه اصلی هستند. بنگاه‌ها در منطقه سرمایه ثابت را مالک بوده و توسط آن دارایی‌شان تعیین می‌شود، با فرض عدم وجود بدهی یا دارایی‌های دیگر، می‌توان ارزش سرمایه شرکت‌ها را به صورت زیر نوشت:

$$W_{\text{firm}}(r, t) = P_K(r, t) \times QK(r, t) \quad (11)$$

ارزش سهام بنگاه‌های منطقه تابع ارزش و موجودی سرمایه است که در این صورت، نرخ تغییرات درصدی ارزش سهام شرکت‌ها عبارتند از:

$$wq_f(r, t) = \frac{d}{dt} \ln W_{\text{firm}} \quad (12)$$

دارایی خانوارها شامل سهم از سهام شرکت‌ها و دارایی تراست^۱ جهانی است که به صورت روابط زیر نوشته می‌شود:

$$W_{\text{hh-firm}}(r, t) = P_{\text{firm}}(r, t) \times \int_{t_0}^t q_{\text{hh-firm}}(r, \tau) d\tau \quad (13)$$

$$W_{\text{hh-trust}}(r, t) = P_{\text{trust}}(t) \times \int_{t_0}^t q_{\text{hh-trust}}(r, \tau) d\tau$$

^۱. تراست در اقتصاد و کسب‌وکار به معنای اتحاد یا همکاری چند شرکت است که کالایی مشابه تولید می‌کنند و بخش عمده‌ای از بازار را در اختیار دارند.

در معادله فوق $q_{hh-firm}$ و $q_{hh-trust}$ به ترتیب نشان دهنده سهام خریداری شده توسط خانوارها به صورت محلی و جهانی هستند. جمع کل ثروت خانوار نیز به صورت معادله (۱۳) نوشته می شود:

$$W_{hh}(r, t) = W_{hh-frim}(r, t) + W_{hh-trust}(r, t) \quad (۱۴)$$

که نرخ تغییرات آن از طریق مشتق گیری به شکل زیر می باشد:

$$wqh(r, t) = \frac{W_{hh-frim}(r, t)}{W_{hh}(r, t)} wqhf(r, t) + \frac{W_{hh-trust}(r, t)}{W_{hh}(r, t)} wqht(r, t) \quad (۱۵)$$

در نتیجه سرمایه گذاری خانوارها در سهام شرکتها و تراست مجموع پس انداز خانوار را به صورت معادله (۱۵) می سازد:

$$SAVE(r, t) = VQ_{hf}(r, t) + VQ_{ht}(r, t) \quad (۱۶)$$

ب) فرآیند تجمع سرمایه

بر پایه سیستم معادلات دینامیکی GDyn، می توان تغییرات سرمایه را به صورت تجمعی مدل سازی کرد. ابتدا تعریف موجودی سرمایه در یک منطقه r به شکل انتگرالی بیان می شود:

$$QK(r, t) = QK(r, t_0) + \int_{t_0}^t I_{net}(r, \tau) d\tau \quad (۱۷)$$

که $QK(r, t)$ موجودی سرمایه در زمان t ، $QK(r, t_0)$ سرمایه اولیه در زمان پایه t_0 و $I_{net}(r, \tau)$ سرمایه گذاری خالص منطقه در زمان τ است. مشتق این رابطه نسبت به زمان رابطه زیر را ارائه می دهد:

$$I_{\text{net}}(r, \tau) = \frac{dQK(r, t)}{dt} \quad (18)$$

در راستای بیان نرخ تغییر به درصد، رابطه فوق به صورت رابطه (۱۹) نوشته می شود:

$$qK(r, t) = 100 \times \frac{1}{QK(r, t)} \frac{dQK(r, t)}{dt} \quad (19)$$

ارزش پولی موجودی سرمایه برابر است با:

$$V_K(r, t) = P_K(r, t) \times QK(r, t) \quad (20)$$

که $P_K(r, t)$ قیمت کالاهای سرمایه‌ای در منطقه r و زمان t است. در نتیجه، نرخ تغییر در ارزش موجودی سرمایه به سرمایه‌گذاری خالص به صورت زیر مربوط می شود:

$$V_K(r, t) \times \frac{qk(r, t)}{100} = P_K(r, t) \times I_{\text{net}}(r, \tau) \quad (21)$$

در حالت شبیه‌سازی ایستا، زمانی که تغییر زمان صفر است، نرخ رشد سرمایه نیز صفر فرض می شود. با این وجود، عوامل منطقه‌ای و کلی تحت عنوان $SQK(r)$ و $SQW(t)$ جهت اعمال شوک به سرمایه در معادله وارد می شوند:

$$QK(r, t) = SQW(t).SQK(r). \left[QK(r, t_0) + \int_{t_0}^t I_{\text{net}}(r, \tau) d\tau \right] \quad (22)$$

و معادله مشتق شده (دیفرانسیل) به صورت زیر حاصل می شود:

$$\frac{dV_K(r, t)}{dt} = V_K(r, t)(S_{\text{world}}(t) + S_{\text{region}}(r, t) + P_K(r, t) \times I_{\text{net}}(r, \tau) \quad (23)$$

ج) ساختار دارایی ها و بدهی های اقتصادی بنگاه ها و خانوارها

سهام شرکت ها به دو بخش متعلق به خانوارهای محلی و تراست جهانی تقسیم می شود:

$$W_{\text{firm}}(r, t) = W_{\text{hh-firm}}(r, t) + W_{\text{trust-firm}}(r, t) \quad (24)$$

و نرخ رشد آن:

$$wq_f(r, t) = \frac{W_{\text{hh-firm}}(r, t)}{W_{\text{firm}}(r, t)} wq_{hf}(r, t) + \frac{W_{\text{trust-firm}}(r, t)}{W_{\text{firm}}(r, t)} wq_{tf}(r, t) \quad (25)$$

همچنین ثروت خانوارها بر حسب ترکیب دارایی شرکت ها و تراست ها تعریف می شود:

$$W_{\text{hh}}(r, t) = W_{\text{hh-firm}}(r, t) + W_{\text{hh-trust}}(r, t) \quad (26)$$

و نرخ رشد آن:

$$wq_h(r, t) = \frac{W_{\text{hh-firm}}(r, t)}{W_{\text{hh}}(r, t)} wq_{hf}(r, t) + \frac{W_{\text{hh-trust}}(r, t)}{W_{\text{hh}}(r, t)} wq_{ht}(r, t) \quad (27)$$

از آنجا که دارایی های خارجی ناخالص و خالص تفکیک می شوند، رابطه زیر برقرار است:

$$W_{hh-trust}(r, t) - W_{trust-firm}(r, t) = W_{hh}(r, t) - W_{frim}(r, t) \quad (28)$$

(د) تراست جهانی و توازن دارایی‌ها

سه اصل حسابداری درباره تراست جهانی عبارتند از:

- کل ارزش دارایی‌های متعلق به تراست برابر است با مجموع مالکیت خارجی شرکت‌ها:

$$W_{trust}(t) = \sum_r W_{trust-firm}(r, t) \quad (29)$$

- تغییرات درصدی ارزش تراست بیانگر جمع وزنی نرخ‌های رشد مالکیت‌های مناطق است:

$$wqt(t) = \sum_r \frac{W_{trust-firm}(r, t)}{W_{trust}(t)} wqtf(r, t) \quad (30)$$

- ارزش کل تراست برابر با مجموع کل دارایی‌های آن است، امری که از برابری سرمایه‌گذاری و پس‌انداز جهانی ناشی می‌شود:

$$\sum_r W_{frim}(r, t) = \sum_r W_{hh}(r, t) \quad (31)$$

برای حصول اطمینان از برقراری توازن، متغیر برون‌زا به نام WTRUSTSLACK به مدل افزوده می‌شود:

$$W_{trust}(t) = WTRUSTSLACK(t) \times W_{trust}^{model}(t) \quad (32)$$

با نرخ تغییر برابر:

$$wqt(t) = wqt(t) + wtrustslsck(t) \quad (33)$$

سهام هر منطقه در ارزش تراست جهانی با وزن‌دهی نرخ بازده سرمایه به صورت زیر بیان می‌شود:

$$pqtrust(t) = \sum_r WQT - FIRMSHR(r, t) \times pcgds(r, t) \quad (34)$$

در رابطه فوق $WQT - FIRMSHR(r, t)$ نشان‌دهنده سهم منطقه r در کل دارایی‌های تراست است (بلاغی اینالو و همکاران، ۱۴۰۱؛ ایانچوویچینا و همکاران^۱، ۲۰۱۲).

بستار الگو

بستار^۲ الگو، به نحوه تعریف متغیرهای درون‌زا و برون‌زا براساس چارچوب‌های نظری تعیین شده توسط توسعه‌دهندگان مدل مربوط می‌شود. در مدل‌های اقتصادی معمول، تعداد متغیرها اغلب از تعداد معادلات موجود بیش‌تر است. یک مدل زمانی قابل حل می‌شود که تعداد متغیرها با تعداد معادلات مطابقت داشته باشد. برای دستیابی به این تعادل، برخی از متغیرها به عنوان برون‌زا توسط کاربر تعیین می‌شوند، در حالی که متغیرهای باقی‌مانده درون‌زا هستند و مقادیر آنها از ساختار داخلی مدل ناشی می‌شود. نتایج شبیه‌سازی‌ها می‌تواند براساس نوع بستار مدل انتخاب‌شده متفاوت باشد (سن^۳، ۱۹۶۳). بستار اقتصاد کلان در مدل‌های تعادل عمومی شامل تراز خارجی^۴، تراز دولت^۵ و تراز پس‌انداز-سرمایه‌گذاری^۶ است (لافگرن و همکاران^۷، ۲۰۰۲). برای انجام تحلیل با استفاده از مدل پروژه تحلیل تجارت جهانی، ضروری است که بستار آن مشخص شود. در این مطالعه، به منظور حل الگو از بستار

¹. Ianchovichina et al.

². closure

³. Sen

⁴. External Balance

⁵. Government Balance

⁶. Savings-Investment Balance

⁷. Lofgren

نئوکلاسیکی استفاده شده است که تحت این بستر، قیمت‌ها انعطاف‌پذیر هستند، بازارها تحت رقابت کامل فعالیت می‌کنند، اشتغال کامل فرض می‌شود و عوامل تولید آزادانه در بین بخش‌ها جابجا می‌شوند. علاوه بر این، هزینه‌های سرمایه‌گذاری توسط پس‌انداز ثابت و نرخ‌های مالیاتی تعیین می‌شود. در چارچوب‌های تعادل عمومی، پس‌انداز و سرمایه‌گذاری از طریق یک شرط تعادل به هم مرتبط هستند که نقش آنها را در جریان دایره‌ای درآمد و هزینه که بر اقتصاد واقعی تاثیر می‌گذارد، منعکس می‌کند. سرمایه‌گذاری با هدایت وجوه به سمت کالاهای سرمایه‌ای خریداری شده از صنایع تولیدی، سمت تولید را هدایت می‌کند. برعکس، پس‌انداز بر سمت تقاضا تاثیر می‌گذارد، زیرا خانوارها و دولت بخش‌هایی از درآمد قابل تصرف خود را به پس‌انداز اختصاص می‌دهند و در نتیجه بر مصرف کالاهای خدمات آنها تاثیر می‌گذارند. در رابطه با تراز خارجی، یک مکانیسم نرخ ارز انعطاف‌پذیر با پس‌انداز خارجی ثابت، با ماهیت ایستا مدل مطابقت دارد. برای تراز دولتی، نرخ‌های مالیات و نرخ پس‌انداز دولتی ثابت هستند، در حالی که مصرف و مخارج دولت به صورت درون‌زا از طریق توابع تقاضا تعیین می‌شوند. برای تراز پس‌انداز-سرمایه‌گذاری، از بستر پس‌انداز محور استفاده شده است که در آن سرمایه‌گذاری واقعی با نرخ‌های پس‌انداز از پیش تعیین شده (ثابت) تعیین می‌شود که با مشخصات انتخاب شده پس‌انداز خارجی برون‌زا همسو است. در نهایت، بستر بازار کار با تعریف منحنی دستمزد تعیین می‌شود. قیمت عوامل تولید مجاز به تغییرپذیری هستند؛ فرض می‌شود منحنی دستمزد دارای کشش ثابت است، در حالی که تقاضای نیروی کار از تابع تولید مشتق می‌شود.

کالیبراسیون مدل

برای کالیبره کردن مدل از داده‌های SAM موجود در مجموعه پایگاه داده GTAP نسخه ۱۰ استفاده می‌شود که شامل داده‌های ۱۴۱ منطقه^۱، ۶۵ بخش و ۸ عامل تولید برای سال مرجع ۲۰۱۴ می‌باشد. در این پایگاه داده علاوه بر ماتریس اجتماعی برای کشورهای مختلف مقادیر انواع پارامترهای موجود در مدل GTAP-E پویا موجود است که این پارامترها شامل انواع کشش‌های جانشینی، کشش‌های تبدیل و سهم‌های مختلف در لایه‌های متفاوت تولید

^۱. اسامی تمام ۱۴۱ مناطق و کشورها در جدول (۱) پیوست مقاله ارائه شده است.

و مصرف می‌باشد. مقادیر کشش‌های جانشینی و تبدیل (تمام پارامترها) در این پایگاه از مطالعات مختلف انجام شده توسط متخصصین تعادل عمومی در دانشگاه پوردو^۱ و همچنین روش‌های اقتصادسنجی معتبر استخراج شده است که کالیبراسیون مطالعه حاضر نیز براساس همان پایگاه اصلی داده GTAP-E است. داده‌های مطالعه حاضر در قالب چهار بخش (۱. کشاورزی، ۲. نفت، گاز، زغال سنگ و مواد معدنی ۳. صنعت ۴. خدمات) و پنج عامل تولیدی (نیروی کار ماهر، نیروی کار غیر ماهر، منابع طبیعی، زمین و سرمایه) و سه منطقه (ایران، شرکای تجاری ایران و سایر کشورها) تجمیع شده است. تجمیع داده‌های مربوط به مناطق، عوامل اولیه تولید و بخش‌های مختلف اقتصادی براساس اهداف پژوهش در جدول (۱) گردآوری شده است.

جدول ۱. تجمیع داده‌ها براساس ماتریس حسابداری اجتماعی

بخش‌های اقتصادی	قبل از تجمیع در پایگاه داده GTAP10	بعد از تجمیع و بر اساس اهداف پژوهش
بخش‌های اقتصادی	۶۵ بخش و زیربخش	۱۷ بخش (نفت، گاز، برق، الکتریسیته، زغال سنگ، آهن و فلزات اساسی، صنعت، کشاورزی، محصولات معدنی، محصولات شیمیایی، محصولات غذایی، محصولات دارویی، محصولات خودروبی، پوشاک و چرم، ریخته گری و خدمات)
عوامل اولیه تولید	نیروی کار ماهر، نیروی کار غیر ماهر، منابع طبیعی، زمین و سرمایه	نیروی کار ماهر، نیروی کار غیر ماهر، منابع طبیعی، زمین و سرمایه
مناطق	۱۴۱ منطقه یا بخش	۱. ایران ۲. شرکای تجاری (آرژانتین، آفریقای جنوبی، اسپانیا، آذربایجان، آلمان، ارمنستان، ایتالیا، امارات متحده عربی، اندونزی، اوکراین، بریتانیا، برزیل، تایلند، تایوان، چین، ترکیه، روسیه، دانمارک، ژاپن، فرانسه، قزاقستان، عراق، سنگاپور، سری لانکا، شیلی، یونان، مالزی، کره، هند، هلند) ۳. سایر مناطق جهان

مجموعه داده‌های مورد استفاده در این تحلیل از یک ماتریس جامع حسابداری اجتماعی که در ابتدا شامل ۶۵ بخش و زیربخش اقتصادی متمایز بود، استخراج شده است. در راستای اهداف تحقیق، این بخش‌ها در ۱۷ گروه تلفیقی تجمیع شده‌اند تا قابلیت تحلیل را افزایش داده و در عین حال ارتباط بخشی را حفظ کنند. عوامل تولید قبل از تجمیع شامل نیروی کار

^۱. Purdue University

ماهر، نیروی کار غیرماهر، منابع طبیعی، زمین و سرمایه بودند. این عوامل نقش حیاتی در شکل‌دهی به بهره‌وری و کارایی بخش‌های تجمع‌شده دارند. پس از تجمع، این عوامل همچنان باقی مانده‌اند، زیرا نشان‌دهنده ورودی‌های ضروری هستند که خروجی اقتصادی را هدایت می‌کنند. انتقال از ۱۴۱ منطقه معجزا به سه منطقه اقتصادی اصلی بیانگر تمرکز استراتژیک بر بازارها و مشارکت‌های کلیدی است. این ساده‌سازی نه تنها یک انتخاب روش‌شناختی است، بلکه با پویایی تجارت جهانی نیز هم‌سواست. شرکای تجاری ذکر شده، بازیگران مهمی در بازارهای جهانی انرژی هستند و زمینه را برای تجزیه و تحلیل روابط تجاری، نیازهای انرژی و تأثیرات اقتصادی فراهم می‌کنند.

انرژی به عنوان رکن اساسی اقتصاد جهانی به عنوان یک عامل تعیین‌کننده اصلی امنیت ملی در جهان معاصر نشان‌دهنده یک عنصر اساسی در تقویت رشد و پیشرفت پایدار در هر کشوری است. منابع معتبر جهانی به طور مداوم نشان می‌دهد که نفت و گاز طبیعی به عنوان منابع اولیه انرژی برای اقتصاد جهانی در آینده قابل پیش‌بینی بوده و منابع اولیه انرژی در سطح جهان هستند و اکثریت مصرف انرژی در جهان را تشکیل می‌دهند، پیش‌بینی‌ها حاکی از افزایش مستمر تقاضا برای کالاهای کلیدی انرژی در طول زمان است. همچنین، تغییرات در قیمت این کالاهای می‌تواند به طور قابل توجهی بر تقاضای انرژی و الگوهای مصرف تأثیر بگذارد که به نوبه خود بر انتشار CO₂ تأثیر می‌گذارد. بنابراین، در پژوهش حاضر دو سناریوی شوک قیمتی گاز طبیعی و نفت به عنوان نماینده منابع انرژی غالب در سطح جهانی انتخاب شدند و تأثیر آن‌ها بر انتشار کربن دی‌اکسید عاملی حیاتی در ارزیابی معاوضه بین ملاحظات اقتصادی، انرژی و زیست‌محیطی برای توسعه پایدار است. از این‌رو با توجه به هدف اصلی مطالعه حاضر که بررسی تأثیر آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی و تأثیرات زیست‌محیطی انتشار (CO₂) بر روی محصولات معدنی می‌باشد، دو سناریو (۱. شوک قیمتی پنج درصدی به گاز طبیعی، ۲. شوک قیمتی پنج درصدی نفت) در بازه زمانی (از سال ۲۰۲۳ تا ۲۰۵۰) بررسی شده و نتایج این ارزیابی در قسمت بعدی بیان گردیده است.

یافته‌های آماری

منابع معدنی در تسهیل رشد صنعتی و اقتصادی در کشورهای مختلف بسیار مهم بوده و به عنوان منبع حیاتی مواد خام برای بخش‌های مختلف در یک کشور عمل می‌کند. گسترش

سریع تولید مواد معدنی از اواسط قرن بیستم تا حد زیادی ناشی از افزایش تقاضا برای سبک زندگی مدرن بوده است. این افزایش تولید نه تنها به توسعه اقتصادی کشورها کمک می‌کند، بلکه فرصت‌های شغلی قابل توجهی را هم به طور مستقیم و غیرمستقیم در مناطقی ایجاد کرده که در غیر این صورت ممکن است چشم انداز اقتصادی محدودی داشته باشند. برای نشان دادن اهمیت منابع معدنی در اقتصاد جهانی، جدول (۲) کشورهایی که دارای بیشترین منابع طبیعی در سال ۲۰۲۱ برحسب ارزش کل آنها به تریلیون دلار فهرست می‌کند که در پیوست مقاله ارائه شده است. با توجه به آمار جدول (۲) روسیه با طیف گسترده‌ای از منابع طبیعی از جمله زغال سنگ، نفت، گاز طبیعی، طلا، الوار، فلزات خاکی کمیاب، الماس، پلاتین، پالادیوم و مواد معدنی مختلف در صدر فهرست قرار دارد، ارزش کل منابع طبیعی آن ۷۵ تریلیون دلار برآورد شده است. ونزوئلا دارای الماس، طلا، گاز طبیعی، بوکسیت و سنگ آهن بوده و ارزش کل منابع طبیعی آن ۱۴/۳ تریلیون دلار برآورد شده و نسبت به سایر کشورها ارزش کم‌تری دارد.

توجه به این نکته مهم است که میزان انتشار CO_2 می‌تواند سال به سال براساس عواملی مانند رشد اقتصادی، مصرف انرژی، سیاست‌ها و چارچوب‌های نظارتی دولتی متفاوت باشد. تلاش‌های کاهش‌دهنده برای مهار انتشار کربن دی‌اکسید توجه زیادی را در حوزه دیپلماسی بین‌المللی به خود جلب کرده است که نمونه آن توافق‌نامه‌های مهمی مانند توافق پاریس است که برای کاهش تغییرات آب‌وهوایی انسانی و پیامدهای ناشی از آن طراحی شده است. در طول سه دهه گذشته، چندین کشور سهم قابل توجهی در انتشار جهانی CO_2 داشته‌اند، اسامی این کشورها در جدول (۳) در پیوست ذکر شده است. طبق جدول (۳) چین با افزایش قابل توجهی در انتشار گلخانه‌ای طی ۳۰ سال گذشته، یکی از تولیدکنندگان اصلی CO_2 بوده که انتشار گازهای گلخانه‌ای این کشور ناشی از رشد سریع اقتصادی، افزایش تقاضای برق و اتکای شدید به نیروی زغال‌سنگ می‌باشد. ایالات متحده به دلیل اتکا به نفت در بخش حمل‌ونقل و سوخت‌های فسیلی در بخش صنعتی، تولیدکننده قابل توجهی CO_2 باقی مانده، هند به عنوان سومین تولیدکننده ظاهر شده است. زغال سنگ ماخذ اولیه انرژی در هند است که حدود ۴۴٪ انرژی کشور را تامین می‌کند. هدف هند افزایش سهم بازار گاز طبیعی برای کاهش آلودگی هوا و انتقال به منابع انرژی پاک‌تر است. روسیه یکی دیگر از عوامل مهم انتشار CO_2 ، که به دلیل اتکای آن به گاز طبیعی و زغال‌سنگ برای تولید انرژی

و برق است. این کشور تامین کننده اصلی گاز طبیعی اروپا است، اگرچه رویدادهای ژئوپلیتیک اخیر منجر به تغییر در پویایی عرضه انرژی شده است. پس از حادثه هسته‌ای ۲۰۱۱ در فوکوشیما، ترکیب انرژی ژاپن تغییر کرد و نفت به بزرگ‌ترین منبع انرژی تبدیل شد. ژاپن سیاست‌های انرژی خود را برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و ترویج منابع انرژی پاک‌تر تطبیق داده است.

یافته‌های تجربی

شدت انتشار کربن به مقدار کربن دی‌اکسید منتشر شده در هر واحد فعالیت یا خروجی اشاره دارد، معیاری است که برای ارزیابی سطح کارایی کربن یک کشور، نهاد یا فعالیت استفاده می‌شود و بینشی در مورد تاثیر زیست‌محیطی فعالیت‌های مختلف ارائه می‌دهد. جدول زیر داده‌های مربوط به شدت انتشار کربن را برای سه دسته شامل ایران، اصلی‌ترین شرکای تجاری و سایر مناطق تحت دو سناریوی انتخاب‌شده نمایش می‌دهد. سناریوهای مربوط به افزایش پنج درصدی قیمت گاز و نفت به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که نشان‌دهنده یک شوک متوسط اما معنادار به قیمت حامل‌های انرژی باشند. تغییر قیمت پنج درصدی به اندازه کافی قابل توجه است تا واکنش‌پذیری عوامل اقتصادی، صنایع و متغیرهای زیست‌محیطی را در نظر بگیرد و در عین حال در محدوده واقع‌بینانه‌ای از نوسانات بالقوه بازار باقی بماند. چنین شوکی، تغییرات سیاستی محتمل، تعدیل بازار یا اختلالات عرضه خارجی را بدون ایجاد تحریف‌های شدید یا غیرممکن شبیه‌سازی می‌کند. این سطح شوک در مطالعات تعادل عمومی کاربردی از جمله اسکندری‌پور و همکاران^۱ (۲۰۲۳) و لبراند و همکاران^۲ (۲۰۲۳) مشابه بوده و با اقتصاد انرژی سازگار است، این مقدار را به عنوان معیاری برای تحلیل کشش‌های قیمتی، واکنش‌های رفتاری و تاثیرات زیست‌محیطی ناشی از آن در نظر می‌گیرند که این امر باعث می‌شود نتایج با ادبیات موجود قابل مقایسه‌تر باشند. همچنین، استفاده از یک شوک متوسط، تفسیر واضح‌تری از پاسخ‌های اقتصادی و زیست‌محیطی مدل‌سازی شده را امکان‌پذیر می‌کند. شوک‌های بزرگ ممکن است اثرات غیرخطی یا شکست‌های

^۱. Eskandaripour et al.

^۲. Lebrand et al.

ساختاری در مدل‌ها ایجاد کنند. قیمت انرژی، به ویژه گاز و نفت، از نظر تاریخی به دلیل نوسانات بازار، رویدادهای ژئوپلیتیکی و تغییرات نظارتی، نوساناتی در حدود این مقدار را به طور منظم تجربه کرده‌اند. بنابراین، شوک انتخاب شده، سناریوهای محتمل دنیای واقعی را منعکس می‌کند که سیاست‌گذاران و ذینفعان ممکن است واقع‌بینانه با آن مواجه شوند.

جدول ۴. شدت انتشار کربن

بخش‌ها	سناریوی اول			سناریوی دوم	
	ایران	شرکای تجاری	سایر مناطق	ایران	شرکای تجاری
کشاوزی	-۰/۴۲	۰/۰۳	-۰/۰۳	-۱۶/۱۲	-۰/۹۷
نفت	-۲۶/۲۲	-۰/۰۲	-۰/۲۲	۲۶/۳۹	۱/۳۱
گاز	-۸/۳۷	۰/۵۲	۰/۶۵	۴/۶۹	۰/۱۹
زغال سنگ	-۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۲۹	-۰/۸۴	۰/۸۴
الکتریسیته	۴۶/۹	۰/۱۰	-۰/۱۱	۱۶/۷۳	۰/۵۸
محصولات معدنی	-۱۱/۰۹	-۰/۱۱	-۰/۲۴	-۸/۹۳	-۱/۲۲
صنعت	-۴۲/۶	۰/۰۳	-۰/۴۹	۱۰/۷۴	۰/۴۳
خدمات	-۱۳/۲۷	۰/۱۲	-۰/۲۶	-۸/۶۳	-۰/۳۸

ماخذ: یافته‌های پژوهش

طبق نتایج جدول (۴) در سناریوی اول برای کشور ایران، تغییرات منفی شدید شدت انتشار در بخش‌های نفت، صنعت، محصولات معدنی و خدمات بیان‌گر یک مکانیسم اقتصادی است که در آن افزایش قیمت گاز، هزینه‌های تولید را برای بخش‌هایی که به شدت به گاز طبیعی به عنوان سوخت اولیه متکی هستند، به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. این افزایش هزینه تولید و مصرف انرژی را کاهش می‌دهد، در نتیجه شدت انتشار کربن را در آن بخش‌ها کاهش می‌دهد. همچنین، افزایش شدید شدت انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش برق یک بده‌بستان اقتصادی مهم را آشکار می‌کند، قیمت‌های بالاتر گاز، تولیدکنندگان برق را به جایگزینی گاز با سوخت‌های آلوده‌تر و کربن‌زاتر مانند زغال سنگ یا نفت ترغیب می‌کند و باعث افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در هر واحد برق می‌شود.

این اثر جایگزینی با نظریه بازار^۱ در مورد جایگزینی ورودی و تغییر سوخت تحت شوک‌های قیمت نسبی هم‌سو است (باروس و همکاران^۲، ۲۰۲۵). شدت انتشار گازهای گلخانه‌ای بخش گاز همانطور که انتظار می‌رفت کاهش می‌یابد، زیرا قیمت‌های بالاتر گاز، حجم استخراج و مصرف گاز را کاهش می‌دهد. در سناریوی دوم کشور ایران، افزایش قیمت نفت، هزینه‌های استخراج و فرآوری را افزایش می‌دهد و ممکن است به دلیل استفاده کم‌تر از روش‌های استخراج انرژی بر یا پیچیده‌تر در پاسخ به مشوق‌های قیمتی، شدت انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای هر خروجی را افزایش می‌دهد. همچنین، تغییرات مثبت شدت انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش‌های گاز، صنعت و برق نشان‌دهنده افزایش فعالیت یا تغییر سوخت به سمت این انواع انرژی به عنوان جایگزینی برای نفت گران‌تر است که با نظریه کشش قیمتی متقاطع در تقاضای انرژی سازگار است. علاوه بر این، کاهش شدت انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش‌های کشاورزی، محصولات معدنی، خدمات و زغال‌سنگ ممکن است بیان‌گر کاهش تقاضا یا مقیاس تولید در این بخش‌های وابسته‌تر به نفت به دلیل محیط پرهزینه‌تر باشد، در نتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای هر خروجی در آنها کاهش می‌یابد. که نشان‌گر واکنش‌های اقتصادی کلاسیک است که در آن افزایش هزینه‌های ورودی باعث انقباض خروجی و اثرات جایگزینی می‌شود، اما همچنین نشان‌دهنده مواجهه ناهموار بخشی با ریسک ناشی از تغییرات قیمت نفت در اقتصاد است.

برای شرکای تجاری در سناریوی اول، الگوی ناهمگنی را در بین بخش‌ها نشان می‌دهد. بخش گاز بیش‌ترین افزایش در شدت انتشار را تجربه می‌کند و پس از آن بخش‌های زغال سنگ، خدمات و برق قرار دارند که نشان‌دهنده انتشار بیشتر، احتمالاً به دلیل جایگزینی به سمت منابع انرژی با کربن بیشتر یا افزایش هزینه‌های تولید انرژی است. در مقابل، بخش‌هایی مانند نفت و محصولات معدنی کاهش جزئی در شدت انتشار نشان می‌دهند که نشان‌دهنده کاهش بالقوه در تولید یا افزایش بهره‌وری ناشی از قیمت‌های بالاتر گاز است. بخش‌های کشاورزی و صنعت تغییرات مثبت حاشیه‌ای را نشان می‌دهند که بیان‌گر حساسیت یا تغییرات انتشار محدود مربوط به شوک قیمت است. سناریوی دوم، واکنش‌های شدت انتشار در بین

^۱ نظریه بازار به مفهوم اقتصادی جایگزینی نهاده‌ها اشاره دارد، که اصلی است مبنی بر اینکه یک نهاده تولید (مانند گاز یا نفت) می‌تواند بدون کاهش سطح خروجی در فرآیند تولید، با نهاده دیگری جایگزین شود.

^۲ Barros et al.

بخش‌ها به طور چشمگیری و نامنظم‌تری متفاوت است. بخش نفت بیشترین افزایش را نشان می‌دهد که نشان دهنده همبستگی مستقیم بین قیمت نفت و شدت انتشار است که احتمالاً به دلیل تشدید فعالیت‌های استخراج یا پالایش است. بخش‌های زغال‌سنگ، برق و صنعت نیز افزایش قابل توجهی را نشان می‌دهند که بیان‌گر وابستگی بیشتر به سوخت‌های فسیلی و افزایش انتشار گازهای صنعتی است. در مقابل، بخش‌های کشاورزی، محصولات معدنی و خدمات کاهش قابل توجهی در شدت انتشار گازهای گلخانه‌ای را تجربه می‌کنند که ممکن است نشان‌دهنده انقباض در تولید یا مصرف انرژی در پاسخ به قیمت‌های بالاتر نفت باشد که فعالیت اقتصادی را کاهش می‌دهد یا جایگزینی به سمت کالاهای کم‌کربن‌تر را به دنبال دارد. از نظر اقتصادی، این الگوها اثرات جایگزینی و درآمدی کلاسیک را نشان می‌دهند؛ شوک قیمت گاز در درجه اول باعث تغییر در بخش انرژی و بخش‌های مرتبط با مصرف گاز می‌شوند و شدت انتشار گازهای گلخانه‌ای را در جایی که جایگزین‌ها کربن‌محور هستند، افزایش می‌دهد. شوک قیمت نفت باعث تعدیل‌های اقتصادی گسترده‌تری می‌شوند، به طوری که افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش‌های استخراج و انرژی‌های سنگین با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش‌های حساس‌تر یا با کاهش بیش‌تر به تولید جبران می‌شود. این رفتار نشان‌دهنده نقش محوری نفت در هزینه‌های تولید و الگوهای مصرف در صنایع است که منجر به بده بستان‌های پیچیده بخشی بین تولید، ترکیب نهاده‌ها و انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود.

برای سایر مناطق می‌توان بیان نمود که در سناریوی اول، بخش‌هایی که به شدت به سوخت‌های جایگزین وابسته هستند یا مصرف مستقیم گاز کم‌تری دارند، مانند کشاورزی، نفت، برق، محصولات معدنی، صنعت و خدمات، تغییرات منفی یا حداقلی را نشان می‌دهند که نشان‌دهنده کاهش شدت انتشار احتمالاً به دلیل اثرات جایگزینی یا کاهش تولید است. برعکس، بخش گاز افزایش قابل توجهی را نشان می‌دهد، در حالی که انتشار زغال سنگ نیز به طور متوسط افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده تغییر سوخت از گاز به منابع کربن‌محورتر مانند زغال سنگ در شرایط قیمت‌های بالاتر گاز است. سناریوی دوم افزایش‌های مثبت‌تر و قابل توجه‌تری را در بخش‌های کلیدی انرژی مانند نفت، گاز، زغال سنگ و برق ایجاد می‌کند که نشان می‌دهد افزایش قیمت نفت، شدت انتشار را افزایش می‌دهد، که به احتمال زیاد با افزایش هزینه‌ها و کاهش بهره‌وری انرژی یا تغییر تقاضا به سمت سوخت‌های

کربن محورتر همراه است. همچنین، بخش کشاورزی، محصولات معدنی و خدمات کاهش شدیدی را نشان می‌دهند، که ممکن است به دلیل فشارهای هزینه ورودی که فعالیت آنها را کاهش می‌دهد یا اتخاذ شیوه‌های کارآمدتر در انتشار گازهای گلخانه‌ای در پاسخ به قیمت‌های بالاتر نفت می‌باشد. بخش صنعت تغییر منفی جزئی را نشان می‌دهد. از نظر اقتصادی، این نتایج نشان می‌دهد که شوک‌های قیمت انرژی باعث ایجاد اثرات تخصیص مجدد در داخل و بین بخش‌ها می‌شود، به طوری که بخش‌های حساس‌تر به قیمت، تولید را کاهش می‌دهند یا برای افزایش بهره‌وری نوآوری می‌کنند، در حالی که بخش‌های کم‌تر انعطاف‌پذیر یا وابسته به سوخت، به دلیل تعدیل‌های پرهزینه تولید یا جایگزینی سوخت، شدت انتشار گازهای گلخانه‌ای را افزایش می‌دهند. واکنش‌های نامتقارن بین شوک‌های قیمت گاز و نفت همچنین تفاوت‌ها در جایگزینی سوخت و وابستگی‌های بخشی را برجسته می‌کند. سیاست‌گذاران باید بدانند که اثرات قیمت‌گذاری کربن یا مالیات سوخت بسیار وابسته به بخش است. بخش‌های وابسته به سوخت‌های جایگزین ممکن است تا حدی از طریق تغییر، افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهند، برخی دیگر ممکن است با شدت انتشار گازهای گلخانه‌ای بالاتر یا تولید قراردادی مواجه شوند که پیامدهای گسترده‌تری برای رشد اقتصادی و استراتژی انرژی دارد.

انتشار کربن دی‌اکسید که به عنوان انتشار CO_2 نیز شناخته می‌شود، عمدتاً از سوزاندن سوخت‌های فسیلی تولید می‌شود. CO_2 یک گاز گلخانه‌ای است که نقش مهمی در اثر گلخانه‌ای، چرخه کربن، فتوسنتز و چرخه کربن اقیانوسی ایفا می‌کند، که به گرم شدن سطح زمین کمک می‌کند. تجزیه و تحلیل انتشار کربن دی‌اکسید در بخش‌های مختلف بینش‌های قابل توجهی را در مورد اثرات زیست‌محیطی صنایع مختلف نشان می‌دهد. جدول (۵) میزان انتشار کربن دی‌اکسید را براساس نوع سوخت برای مناطق مختلف نشان می‌دهد.

جدول ۵. انتشار دی اکسید کربن

بخش‌ها	سناریوی اول			سناریوی دوم		
	ایران	شرکای تجاری	سایر مناطق	ایران	شرکای تجاری	سایر مناطق
زغال سنگ	-۱/۸۴	۰/۲۵	-۰/۰۹	-۹/۲۹	۱/۳۳	-۰/۰۲
نفت	۱۳/۰۸	۰/۴۱	-۰/۰۵	-۰/۶۵	۰/۷۴	-۲/۱۵
گاز	-۶۱/۶۴	۰/۰۲	-۰/۶۳	۰/۹۲	۱/۳۳	۰/۴۲

فرآورده های نفتی	۰/۳۳	۰/۱۹	-۰/۲۴	-۳۱/۵۷	-۰/۸۴	-۲/۴۲
------------------	------	------	-------	--------	-------	-------

ماخذ: یافته‌های پژوهش

مقادیر جدول (۵) مقدار کربن دی اکسید منتشر شده به ازای واحد انرژی تولید شده از هر منبع است که مقادیر منفی نشان دهنده کاهش انتشار کربن دی اکسید است، در حالی که مقادیر مثبت نشان دهنده افزایش است. با توجه به نتایج جدول (۵) در ایران، سناریوی اول افزایش انتشار نفت و فرآورده های نفتی را پیش بینی می کند در حالی که سناریوی دوم در این بخش ها کاهش می یابد. در هر دو سناریو انتشار زغال سنگ کاهش می یابد برای گاز طبیعی، سناریوی اول کاهشی، سناریوی دوم افزایش کمتری را پیش بینی می کند. تفاوت های بین این دو سناریو، عدم قطعیت در پیش بینی روند انتشار گازهای گلخانه ای آتی در ایران را برجسته می کند، عواملی مانند سیاست های انرژی، رشد اقتصادی و تغییرات تکنولوژیکی می توانند به طور قابل توجهی بر مسیر انتشار تاثیر بگذارند.

برای شرکای تجاری در سناریوی اول، نفت بیشترین میزان انتشار و پس از آن زغال-سنگ، گاز و فرآورده های نفتی حداقل انتشار را دارند. در سناریوی دوم، تغییر قابل توجهی وجود دارد، انتشار زغال سنگ به طور قابل توجهی افزایش و به بالاترین میزان می رسد، انتشار نفت کاهش، گاز نیز افزایش قابل توجهی را نشان می دهد، فرآورده های نفتی انتشار منفی را نشان می دهند که بیانگر کاهش بالقوه در انتشار کربن است. این مقایسه نشان دهنده تغییر به سمت انتشار زغال سنگ و گاز در سناریوی دوم، با کاهش انتشار نفت و ارزش منفی منحصر به فرد برای فرآورده های نفتی است.

نتایج برای سایر مناطق نیز نشان می دهد که سناریوی اول کاهش بیشتری در انتشار زغال سنگ، گاز و فرآورده های نفتی نسبت به سناریوی دوم دارد. سناریوی دوم کاهش بسیار بیشتری در انتشار نفت در مقایسه با سناریوی اول دارد. هر دو سناریو مسیرهای متفاوتی را برای کاهش انتشار کربن دی اکسید نشان می دهند، اما سناریوی اول به طور بالقوه بر کاهش گاز و فرآورده های نفتی، سناریوی دوم بیش تر بر کاهش انتشار نفت تمرکز دارد. به طور کلی، هر دو سناریو نشان دهنده روند کلی کاهش انتشار کربن دی اکسید است، اگرچه کاهش های خاص در منابع مختلف انرژی متفاوت است.

کربن دی اکسید یک گاز گلخانه‌ای مهم در پویایی تغییرات آب و هوایی است. فعالیت‌های انسانی، به ویژه احتراق سوخت‌های فسیلی، افزایش قابل توجهی در غلظت CO_2 اتمسفر ایجاد کرده‌اند و در نتیجه به عنوان محرک اصلی گرمایش جهانی عمل می‌کنند. روند انتشار کربن دی اکسید از محصولات معدنی در بازه زمانی مشخص شده ۲۰۲۳ تا ۲۰۵۰ در جدول زیر مشخص شده است که بینش‌هایی را در مورد مسیر پیش‌بینی شده انتشار CO_2 در ارائه می‌دهد، این داده‌ها برای درک تاثیر فعالیت‌های انسانی بر جو و تغییرات آب و هوایی آینده بسیار مهم می‌باشند.

جدول ۶. انتشار کربن دی اکسید حاصل از تولید محصولات معدنی

سناریوی دوم			سناریوی اول			سال
سایر مناطق	شرکای تجاری	ایران	سایر مناطق	شرکای تجاری	ایران	
-۰/۱۲	-۰/۱۴	-۹/۵	-۰/۰۷	-۰/۰۲	-۲۶/۷	۲۰۲۳
-۰/۱۳	-۰/۱۵	-۱۰/۸۶	-۰/۰۷	-۰/۰۳	-۲۷/۷۲	۲۰۲۴
-۰/۱۴	-۰/۱۷	-۱۲/۱۱	-۰/۰۸	-۰/۰۴	-۲۸/۳۱	۲۰۲۵
-۰/۱۵	-۰/۱۹	-۱۳/۲۵	-۰/۰۸	-۰/۰۴	-۲۸/۶۷	۲۰۲۶
-۰/۱۶	-۰/۲۱	-۱۴/۲۸	-۰/۰۹	-۰/۰۵	-۲۸/۹	۲۰۲۷
-۰/۱۷	-۰/۲۳	-۱۵/۱۹	-۰/۰۹	-۰/۰۵	-۲۹/۰۷	۲۰۲۸
-۰/۱۸	-۰/۲۴	-۱۶	-۰/۰۹	-۰/۰۶	-۲۹/۲۲	۲۰۲۹
-۰/۱۹	-۰/۲۶	-۱۶/۷۱	-۰/۱	-۰/۰۶	-۲۹/۳۶	۲۰۳۰
-۰/۲	-۰/۲۸	-۱۶/۵	-۰/۱	-۰/۰۷	-۲۹/۵	۲۰۳۱
-۰/۲۲	-۰/۲۹	-۱۶/۲۶	-۰/۱	-۰/۰۷	-۲۹/۶۵	۲۰۳۲
-۰/۲۳	-۰/۳	-۱۶	-۰/۱	-۰/۰۷	-۲۹/۸۳	۲۰۳۳
-۰/۲۴	-۰/۳۱	-۱۵/۷۲	-۰/۱۱	-۰/۰۷	-۳۰/۰۳	۲۰۳۴
-۰/۲۵	-۰/۳۲	-۱۵/۴۳	-۰/۱۱	-۰/۰۷	-۳۰/۲۵	۲۰۳۵
-۰/۲۵	-۰/۳۲	-۱۵/۱۲	-۰/۱۱	-۰/۰۷	-۳۰/۵۱	۲۰۳۶
-۰/۲۶	-۰/۳۱	-۱۴/۷۸	-۰/۱۱	-۰/۰۷	-۳۰/۸	۲۰۳۷
-۰/۲۶	-۰/۳	-۱۴/۴	-۰/۱۱	-۰/۰۶	-۳۱/۱۵	۲۰۳۸
-۰/۲۶	-۰/۲۷	-۱۳/۹۷	-۰/۱۲	-۰/۰۵	-۳۱/۵۵	۲۰۳۹
-۰/۲۶	-۰/۲۲	-۱۳/۵۲	-۰/۱۲	-۰/۰۴	-۳۲	۲۰۴۰
-۰/۲۵	-۰/۱۴	-۱۳/۰۶	-۰/۱۲	-۰/۰۲	-۳۲/۴۸	۲۰۴۱
-۰/۲۶	-۰/۰۴	-۱۲/۶	-۰/۱۳	-۰/۰۱	-۳۳	۲۰۴۲
-۰/۲۸	-۰/۰۹	-۱۲/۲	-۰/۱۴	-۰/۰۴	-۳۳/۵۱	۲۰۴۳

۲۰۴۴	-۳۳/۹۷	-۰/۰۸	-۰/۱۶	-۱۱/۹۱	-۰/۲۵	-۰/۳۲
۲۰۴۵	-۳۴/۲۷	-۰/۱۲	-۰/۱۹	-۱۱/۷۷	-۰/۴۲	-۰/۴۱
۲۰۴۶	-۳۴/۳۸	-۰/۱۵	-۰/۲۳	-۱۱/۷۳	-۰/۵۷	-۰/۵۳
۲۰۴۷	-۳۴/۳۴	-۰/۱۸	-۰/۲۶	-۱۱/۷۴	-۰/۷۱	-۰/۶۶
۲۰۴۸	-۳۴/۱۸	-۰/۲	-۰/۲۹	-۱۱/۷۷	-۰/۸۱	-۰/۷۸
۲۰۴۹	-۳۳/۹۶	-۰/۲۲	-۰/۳	-۱۲	-۰/۸۸	-۰/۸۶
۲۰۵۰	-۳۳/۷۱	-۰/۲۳	-۰/۳	-۱۲/۷۶	-۰/۹۵	-۰/۸۷

ماخذ: یافته‌های پژوهش

در سناریوی اول برای کشور ایران، شوک قیمتی منجر به کاهش تدریجی و مداوم انتشار کربن دی‌اکسید در طول دوره می‌شود. با شروع از ۲۶/۷- واحد در سال ۲۰۲۳، انتشار گازهای گلخانه‌ای به طور پیوسته کاهش می‌یابد و تا سال ۲۰۴۶ به حدود ۳۴/۳۸- می‌رسد، با نوسان جزئی اما به طور کلی در حدود آن سطح تا سال ۲۰۵۰ پایدار است. که نشان‌دهنده کاهش منفی انتشار گازهای گلخانه‌ای نسبت به افزایش قیمت گاز و بیان گر کاهش بالقوه مصرف سوخت‌های فسیلی یا تغییر به سمت استفاده از انرژی کارآمدتر یا جایگزین در تولید مواد معدنی است. با نظریه اقتصادی مبنی بر اینکه افزایش هزینه‌های ورودی (در اینجا، گاز) تقاضای سوخت‌های فسیلی را کاهش می‌دهد و صنایع را به سمت اتخاذ فناوری‌ها یا منابع انرژی کارآمدتر سوق می‌دهد، سازگار است (موسوی و همکاران^۱، ۲۰۱۷؛ آتیلیو و همکاران^۲، ۲۰۲۴). سناریوی دوم منجر به کاهش کم‌تر اما همچنان قابل مشاهده در انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. با شروع از ۹/۵- در سال ۲۰۲۳، انتشار گازهای گلخانه‌ای به طور پیوسته کاهش می‌یابد تا زمانی که در حدود ۱۱/۷- تا ۱۲/۷- تا سال ۲۰۵۰ تثبیت شود. این مقدار کم‌تر، نشان‌دهنده شدت کم‌تر استفاده از نفت در ورودی‌های انرژی محصولات معدنی یا انعطاف‌پذیری کم‌تر در جایگزینی نفت با منابع پاک‌تر در مقایسه با گاز طبیعی است (عبید و همکاران^۳، ۲۰۲۲). اصل اقتصادی منحنی زیست‌محیطی کوزنتس^۴ (EKC) بیان می‌کند که افزایش قیمت نفت می‌تواند با افزایش هزینه‌های تولید و ایجاد انگیزه برای سرمایه‌گذاری‌های صرفه‌جویی در انرژی، مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را

¹. Mosavi et al.

². Attilio et al.

³. Ebaid et al.

⁴. Environmental Kuznets Curve (EKC)

کاهش دهد، اما مقیاس و زمان‌بندی این تاثیرات به شدت به وابستگی‌های بخشی و امکانات فناوری بستگی دارد؛ کوزنتس^۱، (۱۹۵۵).

در رابطه با شرکای تجاری سناریوی اول انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش تدریجی اما مداومی را نشان می‌دهد که با حدود ۰/۰۲- در سال ۲۰۲۳ شروع می‌شود و تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۰/۲۳- می‌رسد. این مسیر نزولی مداوم نشان می‌دهد که افزایش قیمت گاز ممکن است هزینه‌های تولید را افزایش دهد و جایگزینی به سمت نهاده‌های کم‌کربن‌تر یا افزایش بهره‌وری در تولید محصولات معدنی را تشویق کند. کاهش‌های کوچک اولیه بیان‌گر تقاضای اولیه غیرکشسان برای نهاده‌های گاز است، اما با ادامه شوک قیمتی، شرکت‌ها فرآیندهای تولید خود را تنظیم می‌کنند و در فناوری‌های پاک‌تر یا منابع انرژی جایگزین سرمایه‌گذاری می‌کنند که منجر به کاهش بیشتر انتشار گازهای گلخانه‌ای در درازمدت می‌شود. بازگشت اندک در شدت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در اواخر دهه ۲۰۳۰ قبل از کاهش‌های قابل توجه‌تر پس از سال ۲۰۴۳ می‌تواند منعکس‌کننده چرخه‌های پذیرش فناوری یا تغییرات ناشی از سیاست در ساختار مصرف انرژی باشد. سناریوی دوم، تاثیر قابل توجه‌تر و سریع‌تری بر انتشار گازهای گلخانه‌ای نشان می‌دهد. کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال ۲۰۲۳ با ضریب ۰/۱۴- اعلام شده است و تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۰/۹۵- می‌رسد. واکنش آنی شدیدتر به شوک قیمت نفت را می‌توان به وابستگی بیشتر بخش معدنی به نفت یا نهاده‌های انرژی مرتبط با نفت نسبت داد. با افزایش قیمت نفت، شرکت‌ها هزینه‌های عملیاتی بسیار بالاتری را متحمل می‌شوند که به نوبه خود تغییر به سمت فناوری‌های صرفه‌جویی در مصرف انرژی، جایگزین‌های سوخت فسیلی یا نوآوری‌های فرآیندی را تسریع می‌کند. اوج کاهش‌ها بین سال‌های ۲۰۴۵ تا ۲۰۵۰ نشان‌دهنده اثر تجمعی قیمت‌های بالای پایدار نفت است که احتمالاً با سیاست‌های زیست‌محیطی بین‌المللی یا پیشرفت‌های تکنولوژیکی در تکنیک‌های تولید کم‌کربن تشدید می‌شود. نوسانات جزئی در سال‌های ۲۰۴۲ و ۲۰۴۳ ممکن است مربوط به تعدیل‌های اقتصادی یا سیاسی کوتاه‌مدت موثر بر وابستگی به نفت باشد. این واکنش انعطاف‌پذیرتر با این واقعیت هم‌سو است که نفت اغلب بخش قابل توجهی از ترکیب انرژی در عملیات معدن را تشکیل می‌دهد و قیمت‌های بالاتر نفت هزینه‌های ورودی را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد. کاهش شدید نشان

^۱. Kuznets

می‌دهد که شرکت‌ها در پاسخ به افزایش مداوم قیمت نفت، پذیرش منابع انرژی جایگزین، پذیرش فناوری‌های جذب/استفاده از کربن و بهینه‌سازی فرآیند را تسریع می‌کنند. این سناریوها نمونه‌ای از رابطه علی کلاسیک بین قیمت انرژی، هزینه‌های تولید و انتشار CO₂ هستند.

نتایج سناریوی اول برای سایر مناطق منجر به تاثیر منفی نسبتاً کمی بر انتشار CO₂ در ابتدا می‌شود، با کاهش حدود ۰/۰۷- تا ۰/۱- از سال ۲۰۲۳ تا ۲۰۳۱. پس از این دوره، انتشار کمی افزایش می‌یابد و در سال ۲۰۴۵ به حدود ۰/۱۹- می‌رسد، اما سپس تا سال ۲۰۵۰ به ۰/۳- واحد کاهش می‌یابد. این الگو نشان می‌دهد در حالی که شوک‌های قیمت گاز در ابتدا به کاهش انتشار از طریق نهاده‌های انرژی کمک می‌کنند، تعدیلات ساختاری بلندمدت یا تغییرات در ترکیب انرژی ممکن است قبل از وقوع کاهش قوی‌تر، باعث بازگشت موقت انتشار شود. از نظر اقتصادی، این به معنای یک اثر کربن‌زدایی با تأخیر اما نهایی است که به احتمال زیاد ناشی از جایگزینی تولید گاز فشرده یا افزایش بهره‌وری ناشی از هزینه‌های بالاتر سوخت است. در مقابل، سناریوی دوم، تاثیر منفی مداوم و رو به افزایشی را بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در کل دوره نشان می‌دهد. با شروع کاهش ۰/۱۲- در سال ۲۰۲۳، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به طور مداوم عمیق‌تر می‌شود تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۰/۸۷- می‌رسد. این مسیر کاهش انتشار، بیان‌گر یک واکنش پایدارتر و شدیدتر است که منعکس‌کننده نقش محوری نفت در مصرف انرژی و تولید صنعتی است. قیمت بالاتر نفت ممکن است از طریق کاهش تقاضا، تغییر سوخت به جایگزین‌های کم کربن‌تر یا هر دو، باعث کاهش پایدار انتشار CO₂ می‌شود. این سناریو نشان‌دهنده وجود انگیزه اقتصادی قوی‌تری برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در پی افزایش قیمت نفت نسبت به گاز است، چرا که نفت معمولاً سهم بیشتری در فرآیندهای تولید مواد معدنی وابسته به انرژی در سطح جهانی دارد (ژو و همکاران^۱، ۲۰۲۱).

بحث و نتیجه‌گیری

^۱. Zhou et al.

در این مطالعه با استفاده از مدل تعادل عمومی قابل محاسبه پویا داده‌های مورد نیاز برای شبیه‌سازی سناریوهای (۱). شوک قیمتی پنج درصدی به گاز طبیعی ۲. شوک قیمتی پنج درصدی نفت) در بازه زمانی (از سال ۲۰۲۳ تا ۲۰۵۰) از نسخه دهم GTAP-E حاصل شده است. براساس نتایج به دست آمده، تحلیل دو سناریوی شوک قیمتی، مسیرهای متمایزی را برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در ایران و شرکای تجاری آن و همچنین سایر مناطق نشان می‌دهد که پیامدهای سیاستی مهمی برای گذار انرژی و کاهش تغییرات اقلیمی دارد. پیش‌بینی‌ها برای کشور ایران، افزایش قیمت گاز طبیعی منجر به کاهش تدریجی و پایدار انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود که نشان‌دهنده توانایی کشور در تنظیم فرآیندهای تولید با جایگزینی گاز طبیعی با جایگزین‌های انرژی پاک‌تر و بهبود بهره‌وری انرژی در تولید مواد معدنی است. و افزایش قیمت نفت باعث کاهش ملایم‌تر اما مداوم انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود که نشان‌دهنده انعطاف‌پذیری نسبتاً کمتر در جایگزینی نفت با منابع پاک‌تر در بخش‌های صنعتی ایران است. این پاسخ با مفهوم منحنی زیست‌محیطی کوزنتس هم‌سو است، جایی که افزایش قیمت انرژی، سرمایه‌گذاری‌های کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را تشویق می‌کند، اما مقیاس این اثرات تحت تاثیر وابستگی به انرژی خاص هر بخش و قابلیت‌های فناوری قرار دارد. همچنین، می‌توان این کاهش را به پیشرفت در فناوری‌های تولید پاک‌تر و تغییر به سمت محصولات معدنی کم‌مصرف کرین نسبت داده، که این نتیجه هم‌راستا و هم‌سو با مطالعه خان و همکاران (۲۰۲۲) و آنتیمانی و همکاران^۱ (۲۰۱۴) است. برای شرکای تجاری ایران الگوهای متمایز مشابهی را نشان می‌دهند. تحت شوک قیمت گاز طبیعی، این کشورها کاهش آهسته اما پیوسته‌ای در انتشار گازهای گلخانه‌ای نشان می‌دهند که نشان‌دهنده تقاضای اولیه غیرکشسان برای گاز و به دنبال آن تنظیمات بلندمدت‌تر شامل پذیرش فناوری و بهینه‌سازی فرآیند است. در مقابل، شوک‌های قیمت نفت، کاهش سریع‌تر و شدیدتر انتشار گازهای گلخانه‌ای را در میان این شرکا تسریع می‌کند، که عمدتاً به دلیل وابستگی بیشتر بخش‌های معدنی آنها به نهاده‌های نفتی است. این امر انگیزه‌های قوی‌تری را برای تغییر به سمت نوآوری‌های صرفه‌جویی در انرژی و سوخت‌های جایگزین ایجاد می‌کند، که با یافته‌های اقتصادهای توسعه‌یافته صنعتی در پاسخ به نوسانات قیمت نفت سازگار است. برای سایر مناطق جهان، افزایش قیمت گاز طبیعی منجر به یک مسیر پیچیده انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود که با کاهش اولیه، بازگشت موقت و

^۱. Antimiani et al.

در نهایت کاهش پایدار مشخص می‌شود. این الگو نشان‌دهنده انعطاف‌ناپذیری‌های ساختاری و فناوری همراه با پویایی‌های گذار نهایی است. در همین حال، شوک‌های قیمت نفت در این مناطق باعث کاهش پایداری و قابل توجه‌تر انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود که نقش محوری نفت را در مصرف انرژی جهانی و فعالیت صنعتی برجسته می‌کند. طبق مطالعه یو و وانگ^۱ (۲۰۱۷)، نیز اقدامات سیاستی متنوع می‌تواند منجر به مسیرهای انتشار گازهای گلخانه‌ای متنوع در مناطق مختلف در پاسخ به تغییرات اقتصادی شود.

پیشنهادهای کاربردی

پیشنهادهای عملی برگرفته از این مطالعه، بر رویکردی چندوجهی برای دستیابی به کاهش قابل توجه انتشار دی‌اکسید کربن تا سال ۲۰۵۰ تأکید دارند. در درجه اول، نیاز مبرمی به اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری مالی و حمایت سیاسی از طرح‌های تحقیق و توسعه متمرکز بر فناوری‌های تولید پاک‌تر وجود دارد، از جمله؛ تقویت نوآوری و تسریع انتشار راه‌حل‌های پیشرفته فناوری که بهره‌وری انرژی را افزایش داده و شدت کربن فرآیندهای صنعتی را کاهش می‌دهند. هم‌زمان، ترویج پذیرش گسترده محصولات معدنی کم کربن، که نشان داده شده است به طور قابل توجهی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای نقش دارند، همان‌طور که در سناریوی اول این مطالعه نشان داده شده است، حیاتی است. به موازات آن، اجرای مقررات سخت‌گیرانه و جامع زیست‌محیطی برای رسیدگی به چالش‌های ناشی از رشد اقتصادی که ممکن است باعث افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای شود، همان‌طور که در سناریوی دوم نشان داده شده است، ضروری است. سیاست‌گذاران همچنین باید استقرار و مقیاس‌بندی فناوری‌های جذب و ذخیره‌سازی کربن^۲ (CCS) را در بخش‌های صنعتی و معدنی تشویق کنند. این فناوری‌ها پتانسیل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را با جذب دی‌اکسید کربن قبل از انتشار آن در جو دارند و در نتیجه تلاش‌ها برای گذار به روش‌های تولید کم کربن را تکمیل می‌کنند. علاوه بر این، تفاوت قابل توجه در روند انتشار بین شرکای تجاری، ضرورت همکاری فعال منطقه‌ای را برجسته می‌کند. تلاش‌های مشترک که شامل

^۱. Yu and Wang

^۲. Carbon Capture and Storage (CCS)

به اشتراک گذاشتن منابع، فناوری‌ها و بهترین شیوه‌ها می‌شود، می‌تواند به کاهش افزایش سریع انتشار گازهای گلخانه‌ای در مناطقی که شاهد توسعه اقتصادی هستند، کمک کند. چنین سیاست‌های پیش‌گیرانه‌ای در همسو کردن مسیرهای انتشار گازهای گلخانه‌ای کشورهای مختلف و اطمینان از این که رشد به قیمت پایداری محیط‌زیست تمام نمی‌شود، بسیار مهم هستند. سرمایه‌گذاری‌های هدفمند در توسعه و عملیاتی کردن فناوری‌های حذف کربن، به ویژه آنهایی که از قابلیت‌های محصولات معدنی برای جذب دی‌اکسید کربن استفاده می‌کنند، توجه قابل توجهی را می‌طلبد. محصولات معدنی، به ویژه، دارای قابلیت‌های منحصر به فردی برای ذخیره دی‌اکسید کربن هستند، بنابراین مسیری امیدوارکننده برای افزایش انتشار منفی گازهای گلخانه‌ای ارائه می‌دهند. با بهره‌گیری از این ظرفیت‌ها، صنایع نه تنها می‌توانند ردپای کربن خود را کاهش دهند، بلکه به مزایای زیست‌محیطی گسترده‌تری، از جمله کاهش تغییرات اقلیمی، نیز کمک می‌کنند. در نهایت، تقویت همکاری‌های بین‌المللی، تسهیل تبادل و تقویت اشتراک‌گذاری دانش، بهترین شیوه‌ها و راه‌حل‌های نوآورانه سیاستی برای افزایش اقدامات جهانی در مورد آب و هوا ضروری است. با تسهیل تبادل بهترین شیوه‌ها و درس‌های آموخته‌شده از استراتژی‌های موفق کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، کشورها می‌توانند راه‌حل‌های موثر متناسب با شرایط منحصر به فرد خود را تکرار کنند و از طریق همکاری پایداری، کشورها می‌توانند استراتژی‌های موثر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را تکرار کنند، چارچوب‌های حاکمیت زیست‌محیطی خود را همسو کنند و به طور جمعی نتایج آب و هوایی را در مقیاس جهانی بهبود بخشند. به طور کلی، این توصیه‌ها بر اهمیت حیاتی پذیرش پیشرفت‌های فناوری، ایجاد چارچوب‌های نظارتی جامع و ترویج همکاری بین‌المللی برای تاثیرگذاری بر مسیرهای انتشار گازهای گلخانه‌ای تأکید می‌کنند. همچنین، پتانسیل محصولات معدنی را در کاهش اثرات اقلیمی، نه تنها برای ایران، بلکه برای کل جامعه جهانی برجسته می‌کنند. اتخاذ این استراتژی‌ها، مسیر روشن‌تری را برای دستیابی به پایداری بلندمدت و تاب‌آوری زیست‌محیطی فراهم می‌کند.

تعارض منافع

تعارض منافع وجود ندارد.

سیاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند، مراتب تشکر صمیمانه خود را از همکاری سردبیر، اعضای هیئت تحریریه و داوران محترم به عمل آورند.

منابع

- احمدی ارکمی، علی. (۱۴۰۱). برآورد انتشار گازهای گلخانه‌ای و بررسی سناریوهای کاهش انتشار سازگار با منطقه در افق ۲۰۳۰ میلادی (مطالعه موردی: استان گیلان، ایران)، سلامت و محیط زیست، انجمن علمی بهداشت محیط ایران، (۱)، ۱۵، ۱۲۱-۱۳۶.
- امیرنیا، آرام. (۱۴۰۲). تاثیر رشد اقتصادی، مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر و شهرنشینی بر انتشار دی اکسید کربن در کشورهای عضو اوپک، اقتصاد انرژی ایران، (۴۸)، ۱۲، ۱۱-۳۰.
- آماده، حمید؛ غفاری، علیرضا و فرج زاده، زکریا. (۱۳۹۳). تحلیل اثرات محیط زیستی و رفاهی اصلاح یارانه حامل‌های انرژی (کاربرد الگوی تعادل عمومی محاسبه‌پذیر)، اقتصاد انرژی ایران، (۱۳)، ۴، ۳۳-۶۲.
- بادینلو، مهدی؛ خطیب سمنانی، محمدعلی و دامن کشیده، مرجان. (۱۳۹۳). بررسی تاثیر آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی بر روی ناطمینانی تورم در ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی.
- بلاغی اینالو، یاسر؛ نجاتی، مهدی؛ بهمنی، مجتبی؛ جلایی، سید عبدالمجید (۱۴۰۱). منافع اقتصادی ایران از گسترش روابط تجاری با اتحادیه اقتصادی اوراسیا: رویکرد GDyn. فصلنامه نظریه‌های کاربردی اقتصاد، (۸)، ۲، ۱۵۳-۱۳۱.
- حاجی‌پور اپورواری، مریم؛ نجاتی، مهدی؛ جلائی اسفندآبادی، عبدالمجید و بهمنی، مجتبی. (۱۴۰۳). بررسی اثر واردات کالاهای فناوری اطلاعات و ارتباطات بر تولید انرژی‌های تجدیدپذیر، تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی، (۵۱)، ۱۴، ۶۸-۱۱۲.
- خداوینی، حسن؛ منتخب، هدایت و مام عزیزی، محمد. (۱۳۹۵). تاثیر آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی بر صنعت قند کشور، تحقیقات اقتصاد کشاورزی، (۴)، ۸، ۱-۱۸.

استناد به این مقاله: نام خانوادگی نویسنده اول، نام. (سال). عنوان مقاله. عنوان نشریه (ایتالیک)، سال (شماره)، ص آغاز-ص پایان.



Name of Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

شریفی، علیمراد؛ خوش اخلاق، رحمان؛ بهاء لو هوره، مرضیه و صادقی همدانی، علی. (۱۳۹۳). ارزیابی افزایش قیمت حامل‌های انرژی بر اشتغال: رویکرد تعادل عمومی محاسبه پذیر، *فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی*، ۱۶، ۱۸۸-۱۵۹.

صلاحی، جواد و محبی، سام. (۱۳۹۱). بررسی آثار تورمی افزایش قیمت حامل‌های انرژی، *دوفصلنامه علمی مطالعات و سیاست‌های اقتصادی*، (۹۳) ۲۲، ۱۳۱-۱۵۲.

طاهری، احسان؛ صادقی، حسین و عصارى آرانی، عباس. (۱۳۹۵). تاثیر افزایش قیمت حامل‌های انرژی بر هزینه تخریب آلاینده‌های هوا در ایران (رویکرد تعادل عمومی محاسبه‌پذیر (CGE)، پژوهش‌های اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)، (۳) ۱۷، ۱۳۱-۱۵۷.

طایی سمیرمی، فاطمه؛ خلیلیان، صادق؛ وکیل‌پور، محمدحسن و نجفی علمدارلو، حامد. (۱۳۹۹). بررسی اثرات چندگانه تعدیل قیمت حامل‌های انرژی بر شاخص‌های عمده اقتصادی-زیست محیطی در بخش کشاورزی ایران، *اقتصاد کشاورزی و توسعه*، (۱۱۴) ۲۹.

فدائی، مهدی و آذری، سما. (۱۳۹۹). نقش عدم تقارن انتشار و آسیب‌پذیری آلودگی بر سیاست‌های کاهش آلودگی: مطالعه سیاست‌های مالیات و استاندارد زیست محیطی، *پژوهنامه اقتصادی*، (۷۹) ۲۰، ۵۴-۸۹.

فروتین، جلال؛ هوشمند، محمود؛ همایونی‌فر، مسعود و سلیمی‌فر، مصطفی. (۱۳۹۱). بررسی اثرات آزادسازی قیمت برق بر مصرف برق بخش صنعت ایران با استفاده از الگوی تعادل عمومی قابل محاسبه (CGE)، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد*، دانشگاه فردوسی مشهد.

قاسمی، عبالرسول؛ تکلیف، عاطفه؛ محمدی، تیمور و محمدیان، فرشته. (۱۳۹۸). تحلیل مقایسه‌ای استراتژی-های کاهش شدت انرژی در ایران (رهیافت سیستم پویای قیمت انرژی -عرضه انرژی - رشد اقتصادی)، *فصلنامه پژوهشنامه اقتصادی*، (۷۳) ۱۹، ۴۵-۱.

References

- Adenikinju, A.F. (1995), *Energy-pricing policy and the environment in an oil-exporting, developing country*. OPEC Energy Review, 19, 307-332.
- Ahmadi Arkami, A. (2022). *Estimation of greenhouse gas emissions and investigation of emission reduction scenarios compatible with the region in the horizon of 2030 AD (Case study: Gilan province, Iran)*, Health and Environment, Iranian Environmental Health Scientific Association, (1) 15, 121-136 [In Persian].
- Aldubyan, M. and Gasim., A. (2021). *Energy price reform in Saudi Arabia: Modeling the economic and environmental impacts and understanding the demand response*, Energy Policy 148 (2021) 111941.
- Alege, Ph., Oye, Q. E., and Adu, O. (2018). *Renewable Energy, Shocks and the Growth Agenda: A Dynamic Stochastic General Equilibrium Approach*, International Journal of Energy Economics and Policy, ISSN: 2146-4553.

- Amheka, A., Nguyen, H. T., Yu, K. D., Noach, R. M., Andiappan, V., Dacanay, V. J. and Aviso, K. (2022). *Towards a low carbon ASEAN: an environmentally extended MRIO optimization model*, Carbon Balance and Management (2022) 17:13.
- Amadeh, H., Ghaffari, A. and Farajzadeh, Z. (2013). *Analysis of the environmental and welfare effects of reforming the subsidy of energy carriers (using the calculable general equilibrium model)*, Iran Energy Economy, (13) 4, 33-62 [In Persian].
- Amirnia, A. (2023). *The impact of economic growth, non-renewable energy consumption and urbanization on carbon dioxide emissions in OPEC member countries*, Iran Energy Economy, (48) 12, 11-30 [In Persian].
- Antimiani, A., Costantini, V., Markandya, A., Martini, C., Palma, A., and Tommasino, M.C. (2014). *A dynamic CGE modelling approach for analyzing trade-offs in climate change policy options: the case of Green Climate Fund*, Working Paper Series, 16/2014.
- Ashenaa, M., Sadeghib, H., and Shahpari, G. (2020). *The effects of Energy Efficiency Improvements in the Electricity Sector on the Iranian economy: A Computable General Equilibrium Approach*, Iranian Journal of Economic Studies, 9(1) 2020, 7-33.
- Attilio, L. A., Faria, J. R., Emilson C.D. Silva, E. (2024). *Countervailing impacts of fossil fuel production and exports of electrical goods on energy transitions and climate change*, Journal of Cleaner Production 464 (2024) 142797.
- Badinlo, M., Khatib Semnani, M. A. and Daman Kasha, M. (2013). *Investigating the effect of freeing the price of energy carriers on inflation uncertainty in Iran*, Master's thesis, Islamic Azad University, Central Tehran branch [In Persian].
- Bacchetta, M., Bekkers, E., Solleder, J. M., and Tresa, E. (2023). *The Potential Impact of Environmental Goods Trade Liberalization on Trade and Emissions*, World Trade Organization Economic Research and Statistics Division, Staff Working Paper ERSD-2023-05 03 August 2023.
- Barros, L., Klein, T., Kummel, S., Noviello, I. (2025). *Market definition under the EC Market Definition Notice: substitutability versus homogeneous conditions of competition*, Journal of Antitrust Enforcement, 2025, 00, 1–16. <https://doi.org/10.1093/jaenfo/jnaf013>.
- Balaghi Inalo, Yaser; Nejati, Mehdi; Bahmani, Mojtaba; Jalaei, Seyed Abdolmajid (2012). *Iran's economic benefits from expanding trade relations with the Eurasian Economic Union: GDyn's approach*. Quarterly Journal of Applied Economic Theories, (8)2, 131-153 [In Persian].
- Burniaux, J.-M., and Truong, T. P. (2002). *GTAP-E: an energy-environmental version of the GTAP model*. GTAP technical paper 16.
- Burniaux, J.-M., Martin, J.P., Nicoletti, G., and Martins, J.O. (1992). *GREEN a Multi-Sector, Multi-Region General Equilibrium Model for Quantifying the Costs of Curbing CO2 Emissions: A Technical Manual*,

OECD Economics Department Working Papers; IDEAS: Paris, France, 1992; No. 116.

- Chi, Y., Guo, Zh., Zheng, Y. and Zhang, X. (2014). *Scenarios Analysis of the Energies' Consumption and Carbon Emissions in China Based on a Dynamic CGE Model*, Sustainability 2014, 6, 487-512; doi:10.3390/su6020487.
- Coady, D., Parry, I., Sears, L., and Shang, B. (2016). *How Large Are Global Fossil Fuel Subsidies*, World Development, 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved. <http://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.10.004>.
- Dogan, E., and Seker, F. (2016). *Determinants of CO2 emissions in the European union: The role of renewable and non-renewable energy*, Renewable Energy, 94, 429-439.
- Ebaid, A., Lean, H. H., and Al-Mulali, U. (2022). *Do Oil Price Shocks Matter for Environmental Degradation? Evidence of the Environmental Kuznets Curve in GCC Countries*, Frontiers in Environmental Science, doi: 10.3389/fenvs.2022.860942.
- Eskandaripoura, Z., Esfandiaria, M., Dahmardeha, N., Mohammad Hassan Fotros, M. H. (2023). *Investigating the Effect of Oil Price and Stock Market Shocks on Profitability of Banking System: Application of RDCGE Model*, Iranian Journal of Economic Studies, 12(1) 2023, 89-104.
- Fadaee, M., and Azari, S. (2021). *The Role of Emission and Pollution Vulnerability Asymmetries in Pollution Reduction Policies: Study of Tax and Environmental Standard Policies*, Journal of Economic Research, 79(20), 53, joer.atu.ac.ir, DOI: 10.22054/joer.2021.59715.958 [In Persian].
- Forotan, J., Houshmand, M., Homayonifar, M., and Salimifar, M. (2011). *Investigating the effects of electricity price liberalization on electricity consumption in Iran's industrial sector using the Computable General Equilibrium (CGE) model*, Master's Thesis, Ferdowsi University of Mashhad [In Persian].
- Garcia-Leon, D., Casanueva, A., Standardi, G., Burgstall, A., Flouris, A.D., Nybo, L. (2021). *Current and projected regional economic impacts of heatwaves in Europe*. Nat. Commun. 12, 5807.
- Ghasemi, A.R.; Taklif, A.; Mohammadi, T. and Mohammadian, F. (2019). *Comparative analysis of energy intensity reduction strategies in Iran (dynamic energy price-energy supply-economic growth approach)*, Quarterly Journal of Economic Research, (73)19, 1-45 [In Persian].
- Ianchovichina, E., World Bank, Washington, DC., Terrie L., Walmsley, Purdue University, Indiana. (2012). *GDyn Book: Dynamic Modeling and Applications in Global Economic Analysis* by Elena Ianchovichina and Terrie Walmsley (eds), Cambridge University Press, 2012.
- Hajipour Apoorvari, M.; Nejati, M.; Jalaei Esfandabadi, A. M. and Bahmani, M. (2023). *Studying the effect of importing information and communication technology goods on renewable energy production*, Economic Modeling Research, (51)14, 68-112 [In Persian].

- Hertel, T. W. (1997). *Global Trade Analysis: Modeling and Applications*, Cambridge, MA, Cambridge University Press.
- Hertel, T. W., & Tsigas, M. E. (1997). *Structure of GTAP*. In: Hertel T. W. (ed.) *global trade analysis: modeling and applications*. Cambridge university press, Cambridge, 9-71.
- https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/IO/table_display.asp?IO_ID=434.
- <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/v10/index.aspx>.
- <https://www.un.org/en/2023>.
- <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/v11/>
- https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=3169
- https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=4891
- Huang, Y.N.; Zhang, W.; Wang, X.J. (2003). *An econometric estimation and selection on the production function in an environmental CGE model*. ACTA Sci. Circumst. 2003, 23, 350–354.
- International Energy Agency, (2024).
- Jiang, M., Kim, E., & Woo, Y. (2020). *The relationship between economic growth and air pollution A regional comparison between China and South Korea*, International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(8), 2761. <https://doi.org/10.3390/ijerph17082761>.
- Khan, M. A., Zhang, Y., & Khan, A. (2022). *Impact of energy price shocks on carbon emissions and economic growth: evidence from the BRICS*. Energy Economics, 93, 105028.
- Keramatfar, M. (2014). *The Effect of Energy Carriers Prices on Manufactured Export in Iran, Using Panel Data Model*, <https://www.researchgate.net/publication/268803636>.
- Khadavi, H., Chosen, H., and Mam Azizi, M. (2015). *The effect of freeing the price of energy carriers on the country's sugar industry*, Agricultural Economics Research, (4) 8, 1-18 [In Persian].
- Khan, B., Xu, D., Hashmat, A., Khan, U., Cheng, J., Abbas, Kh., and Imad, A. (2022). *Nexus of minerals-technology complexity and fossil fuels with carbon dioxide emission: Emerging Asian economies based on product complexity index*, Journal of Cleaner Production, Volume 373, 1 November 2022, 133703.
- Kuskaya, S. (2022). *Residential solar energy consumption and greenhouse gas emissions: Evidence from Morlet wavelet transforms*. Renewable Energy, 192, 793–804. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.04.107>.
- Kuskaya, S., & Bilgili, F. (2020). *The wind energy-greenhouse gas nexus: The wavelet-partial wavelet coherence model approach*, Journal of Cleaner Production, 245, 118872. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118872>.
- Kuznets, S. (1955). *Economic Growth and Income Inequality*. Am. Econ. Rev. 45, 1–28.

- Ianchovichina, E., World Bank, Washington, DC, Terrie L. Walmsley, T. L., Purdue University, Indiana. (2012). *Dynamic Modeling and Applications for Global Economic Analysis*, Publisher: Cambridge University Press.
- Lebrand, M., Vasishtha, G., and Yilmazkuday, H. (2023). *Energy Price Shocks and Current Account Balances: Evidence from Emerging Market and Developing Economies*, Policy Research Working Paper, 10623.
- Lofgren, H., Lee Harris, R., Robinson, Sh., Thomas, T., & El-Said, M. (2002). *A Standard Computable General Equilibrium (CGE) model in GAMS*, International Food Policy Research Institute, Title. HD1415.L64 2002, 338.10151-dc21 2002152627.
- Lucase, R. E. (1976). *Econometric policy Evaluation: A Critique in the Philips Curve and labor Market*. Vol.1. of Carnegie Rochester Conference Series on Public Policy, North, Holland, Amsterdam, pp19-46.
- Man, Y., Yany, S., Xiang, D., Li, X., and Qian, Y. (2014). *Environmental impact and techno-economic analysis of the coal gasification process with/without CO₂ capture*, Journal of Cleaner Production 71 (2014) 59e66.
- Manzoor, D, Shahmoradi, A, and Haqiqi, I (2012). *An Analysis of Energy Price Reform: A CGE Approach*. OPEC Energy Review 36(1), 35–54.
- Mosavi, S. H., Alipour, A., & Shahvari, N. (2017). *Liberalizing Energy Price and Abatement Cost of Emissions: Evidence from Iranian Agro-Environment*, J. Agr. Sci. Tech. (2017) Vol. 19: 511-523.
- Ogundipe, A.A., Akinyemi, O., Ogundipe, O.M. (2016). *Electricity consumption and economic development in Nigeria*. International Journal of Energy Economics and Policy, 6(1), 134-143.
- Onofrei, M., Vatamanu, A. V., and Cigu, E. (2022). *The Relationship Between Economic Growth and CO₂ Emissions in EU Countries: A Cointegration Analysis*, ORIGINAL RESEARCH published: 13 July 2022.
- Observatory of Economic Complexity (OEC), (2024).
- Ponce, P., Oliveira, C., Alvarez, V., and Rio-Rama, M. C. (2020). *The Liberalization of the Internal Energy Market in the European Union: Evidence of Its Influence on Reducing Environmental Pollution*, Energies 2020, 13, 6116; doi:10.3390/en13226116.
- Rao, N.D., van Ruijven, B.J., Riahi, K., Bosetti, V. (2017). *Improving poverty and inequality modelling in climate research*. Nat. Clim. Chang. 7, 857–862. <https://doi.org/10.1038/s41558-017-0004-x>.
- Salahi, J. and Mohebi, S. (2012). *Studying the inflationary effects of increasing energy carrier prices*, Bi-Quarterly Journal of Economic Studies and Policies, (93)22, 131-152 [In persian].
- Sharifi, A. M.; Khoshakhlaq, R; Baha-Lo-Horeh, M. and Sadeghi Hamedani, A. (2014). *Evaluating the increase in energy carrier prices on employment: A computable general equilibrium approach*, Quarterly Journal of Economic Modeling Research, 16, 159-188 [In persian].

- Sen, A. K. (1963). *Neo-Classical and Neo-Keynsian Theories of Distribution*, *The Economic Record*, The Economic Society of Australia, vol. 39(85), pages 53-64, March.
- Taei Samirmi, F., Khalilian, S., Vakilpour, M. H. and Najafi Alamdarlou, H. (2019). *Investigating the multiple effects of adjusting the price of energy carriers on major economic-environmental indicators in Iran's agricultural sector*, *Agricultural Economics and Development*, (114) 29 [In persian].
- Taheri, E., Sadeghi, H., and Asari Arani, A. (2015). *The effect of increasing the price of energy carriers on the cost of destroying air pollutants in Iran (calculable general equilibrium (CGE) approach)*, *economic research (sustainable growth and development)*, (3) 17, 131-157 [In persian].
- United States Environmental Protection Agency (EAP), (2023).
- Wu, Y. H., Liu, C. H., Hung, M. L., Liu, T. Y., & Masui, T. (2019). *Sectoral energy efficiency improvements in Taiwan: Evaluations using a hybrid of top-down and bottom-up models*. *Energy Policy*, 132, 1241-1255.
- Wu, Y.J.; Xuan, X.W. (2007). *The Economic Theory of Environmental Tax and Its Application in China*; *Economic Science Press*: Beijing, China.
- Xin-gang, Z., Shuran, H., Hui, W., Haowei, Ch., Wenbin, Zh., Lu Wenjie, L. (2024). *Energy, economic, and environmental impacts of electricity market-oriented reform and the carbon emissions trading: A recursive dynamic CGE model in China*, *Energy* 298 (2024) 131416.
- Yemelyanov, O., Symak, A., Petrushka, T., Lesyk, R. and Lesyk, L. (2015). *Evaluation of the Adaptability of the Ukrainian Economy to Changes in Prices for Energy Carriers and to Energy Market Risks*, *Energies* 2018, 11, 3529; doi:10.3390/en1123529.
- Yu, J., & Wang, Z. (2017). *The effect of energy pricing policies on CO2 emissions: A computable general equilibrium (CGE) model analysis*. *Sustainability*, 9(4), 607.
- Zhao, Z., Lao, X., Gu, H., Yu, H., & Lei, P. (2021). *How does air pollution affect urban settlement of the floating population in China? New evidence from a push-pull migration analysis*. *BMC Public Health*, 21(1), 1696. <https://doi.org/10.1186/s12889-021-11711-x>.
- Zhang, H., Wang, Y., Xuehong Zhu, X., and Yaoqi Guoa, Y. (2020). *The impact of energy trade patterns on CO2 emissions: An emergy and network analysis*, *Energy Economics* 92 (2020) 10494.

پیوست

جدول ۳. اسامی ۱۴۱ کشور و مناطق جهان

ردیف	نام	نماد	ردیف	نام	نماد	ردیف	نام	نماد
۱	استرالیا	AUS	۴۸	آمریکای مرکزی	XCA	۹۵	ارمنستان	ARM
۲	نیوزیلند	NZL	۴۹	جمهوری دومینیکن	DOM	۹۶	آذربایجان	AZE
۳	کره جنوبی سایر اقیانوسیه	XOC	۵۰	جامائیکا	JAM	۹۷	جورجیا	GEO
۴	چین	CHN	۵۱	پورتوریکو	PRI	۹۸	بحرین	BHR
۵	هنگ کنگ	HKG	۵۲	ترینیداد و توباگو	TTO	۹۹	ایران	IRN
۶	ژاپن	JPN	۵۳	کارائیب	XCB	۱۰۰	اسرائیل	ISR
۷	کره جنوبی	KOR	۵۴	اتریش	AUT	۱۰۱	جordan	JOR
۸	مغولستان	MNG	۵۵	بلژیک	BEL	۱۰۲	کویت	KWT
۹	تایوان	TWN	۵۶	بلغارستان	BGR	۱۰۳	عمان	OMN
۱۰	سایر شرق آسیا	XEA	۵۷	کرواسی	HRV	۱۰۴	قطر	QAT
۱۱	برونئی دارالسلام	BRN	۵۸	قبرس	CYP	۱۰۵	عربستان سعودی	SAU
۱۲	کامبوج	KHM	۵۹	جمهوری چک	CZE	۱۰۶	ترکیه	TUR
۱۳	اندونزی	IDN	۶۰	دانمارک	DNK	۱۰۷	امارات متحده عربی	ARE
۱۴	لائوس	LAO	۶۱	استونی	EST	۱۰۸	آسیای غربی	XWS
۱۵	مالزی	MYS	۶۲	فنلاند	FIN	۱۰۹	مصر	EGY
۱۶	فلیپین	PHL	۶۳	فرانسه	FRA	۱۱۰	مراکش	MAR
۱۷	سنگاپور	SGP	۶۴	آلمان	DEU	۱۱۱	تونس	TUN
۱۸	تایلند	THA	۶۵	یونان	GRC	۱۱۲	شمال آفریقا	XNF
۱۹	ویتنام	VNM	۶۶	مجارستان	HUN	۱۱۳	بنین	BEN

BFA	بورکیناف اسو	۱۱۴	IRL	ایرلند	۶۷	XSE	آسیای جنوب شرقی	۲۰
CMR	کامرون	۱۱۵	ITA	ایتالیا	۶۸	BGD	بنگلادش	۲۱
CIV	ساحل عاج	۱۱۶	LVA	لتونی	۶۹	IND	هند	۲۲
GHA	غنا	۱۱۷	LTU	لیتوانی	۷۰	NPL	نپال	۲۳
GIN	گینه	۱۱۸	LUX	لوکزامبور گ	۷۱	PAK	پاکستان	۲۴
NGA	نیجریه	۱۱۹	MLT	مالت	۷۲	LKA	سریلانکا	۲۵
SEN	سنگال	۱۲۰	NLD	هلند	۷۳	XSA	آسیای جنوب شرقی	۲۶
TGO	توگو	۱۲۱	POL	لهستان	۷۴	CAN	کانادا	۲۷
XWF	آفریقای غربی	۱۲۲	PRT	پرتغال	۷۵	USA	ایالات متحده آمریکا	۲۸
XCF	آفریقای مرکزی	۱۲۳	ROU	رومانی	۷۶	MEX	مکزیک	۲۹
XAC	آفریقای مرکزی جنوبی	۱۲۴	SVK	اسلواکی	۷۷	XNA	آفریقای جنوبی	۳۰
ETH	اتیوپی	۱۲۵	SVN	اسلوونی	۷۸	ARG	آرژانتین	۳۱
KEN	کنیا	۱۲۶	ESP	اسپانیا	۷۹	BOL	بولیوی	۳۲
MDG	ماداگاسکار	۱۲۷	SWE	سوئد	۸۰	BRA	برزیل	۳۳
MWI	مالاوی	۱۲۸	GBR	بریتانیا	۸۱	CHL	شیلی	۳۴
MUS	موریس	۱۲۹	CHE	سوئیس	۸۲	COL	کلمبیا	۳۵
MOZ	موزامبیک	۱۳۰	NOR	نروژ	۸۳	ECU	اکوادور	۳۶
RWA	رواندا	۱۳۱	XEF	انجمن تجارت آزاد اروپا	۸۴	PRY	پاراگوئه	۳۷
TZA	تانزانیا	۱۳۲	ALB	آلبانی	۸۵	PER	پرو	۳۸
UGA	اوگاندا	۱۳۳	BLR	بلاروس	۸۶	URY	اروگوئه	۳۹

ZMB	زامبیا	۱۳۴	RUS	روسیه	۸۷	VEN	ونزوئلا	۴۰
ZWE	زیمبابوه	۱۳۵	UKR	اوکراین	۸۸	XSM	آمریکای جنوبی	۴۱
XEC	آفریقای شرقی	۱۳۶	XEE	کشورهای اروپای شرقی	۸۹	CRI	کاستاریکا	۴۲
BWA	بوتسوانا	۱۳۷	XER	کشورهای عضو اتحادیه اروپا	۹۰	GTM	گواتمالا	۴۳
NAM	نامیبیا	۱۳۸	KAZ	قزاقستان	۹۱	HND	هندوراس	۴۴
ZAF	آفریقای جنوبی	۱۳۹	KGZ	قرقیزستان	۹۲	NIC	نیکاراگوئه	۴۵
XSC	اتحادیه گمرکی آفریقای جنوبی	۱۴۰	KGZ	تاجیکستان	۹۳	PAN	پاناما	۴۶
XTW	بقیه جهان	۱۴۱	XSU	اتحاد جماهیر شوروی سابق	۹۴	SLV	السالوادور	۴۷

ماخذ: پایگاه داده GTAP

جدول ۲. کشورهای دارای بیشترین منابع طبیعی در سال ۲۰۲۱

ردیف	نام کشور	منابع طبیعی	ارزش کل تخمینی (تریلیون دلار)
۱	روسیه	زغال سنگ، نفت، گاز طبیعی، طلا، الوار و فلزات خاکی، الماس، طلا، پلاتین، پالادیوم، زغال سنگ، گاز طبیعی و نفت و همچنین سنگ آهن، منگنز، کروم، نیکل، تیتانیوم، مس، قلع، سرب و تنگستن	۷۵
۲	ایالات متحده	نفت خام، گاز طبیعی، اورانیوم، بوکسیت، روی، اورانیوم، مس، نقره، نیکل و پتاس	۴۵
۳	عربستان سعودی	منابع نفتی، گاز طبیعی، طلا، فسفات و آلومینیوم	۳۴/۴
۴	کانادا	نفت، زغال سنگ، سنگ آهن، اورانیوم و پتاس	۳۳/۲

۵	ایران	نفت، گاز، زغال سنگ، کروم، مس، سنگ آهن، سرب، منگنز، روی و گوگرد	۲۷/۳
۶	چین	زغال سنگ، بوکسیت، الماس، طلا، سرب، جیوه و سنگ فسفات و منیزیم	۲۳
۷	برزیل	طلا، الماس، بوکسیت، آهن، قلع، پلاتین، نیوبوم، تانتالیت، کانولن، گرافیت، تالک، ورمیکولیت و آلومینیوم	۲۱/۸
۸	استرالیا	زغال سنگ، گاز طبیعی، نفت، سنگ آهن، اورانیوم، نیکل، بوکسیت، روی، زیرکون، ایلمنیت و روتیل	۱۹/۹
۹	عراق	گوگرد، فسفات و گاز طبیعی	۱۵/۹
۱۰	ونزوئلا	الماس، طلا، گاز طبیعی، بوکسیت و سنگ آهن	۱۴/۳

ماخذ: بانک جهانی، ۲۰۲۴

جدول ۳. کشورهای دارای بیشترین میزان CO₂ طی ۳۰ سال اخیر

ردی ف	کشور	۱۹۹۰	۲۰۰۰	۲۰۰۵	۲۰۱۵	۲۰۲۰	۲۰۲۲	سهم جهانی
۱	چین	۴۰۷۳/۵	۵۴۲۴/۵	۸۴۳۱/۹	۱۳۴۷۹/۸	۱۴۸۷۹/۵	۱۵۶۸۴/۶	۲۹/۱
۲	آمریکا	۶۱۶۳/۷	۷۱۸۸/۱	۷۱۰۱/۸	۶۲۸۸/۵	۵۶۱۵/۵	۶۰۱۷/۴	۱۱/۱
۳	هند	۱۴۳۶/۵	۱۹۱۹/۳	۲۲۰۳/۱	۳۳۸۹/۸	۳۵۹۱/۱	۳۹۴۳/۲	۷/۳۳
۴	روسیه	۳۰۵۳/۱	۲۱۳۴/۳	۲۲۲۱/۷	۲۲۹۴/۷	۲۴۳۲/۵	۲۵۷۹/۸	۴/۸۰
۵	برزیل	۶۹۵/۶	۹۳۴/۷	۱۰۶۷/۴	۱۳۰۷/۹	۱۲۷۷/۶	۱۳۱۰/۵	۲/۴۴
۶	اندونزی	۴۲۷/۶	۶۰۲/۲	۶۹۴/۳	۹۶۱/۴	۱۱۰۴/۷	۱۲۴۰/۸	۲/۳۱
۷	ژاپن	۱۳۲۱/۸	۱۳۹۱/۸	۱۴۰۲/۶	۱۳۳۵/۵	۱۱۶۱/۷	۱۱۸۲/۷	۲۰/۲
۸	ایران	۳۳۲/۷	۵۲۵/۵	۶۸۳/۵	۸۵۷/۰	۹۰۱/۵	۹۵۱/۹	۱/۷۷
۹	مکزیک	۴۶۶/۴	۶۳۴/۱	۷۰۷/۹	۷۹۰/۳	۷۳۹/۳	۸۱۹/۸	۱/۵۲
۱۰	عربستان سعودی	۲۳۸/۳۹	۳۵۵/۰۲	۴۶۶/۴۹	۷۷۱/۹۰	۷۵۵/۳۷	۸۱۰/۵۱	۱/۵۱

ماخذ: بانک جهانی، ۲۰۲۴