

## The Effect of Price Liberalization of Energy Carriers on Environmental Variables (Emissions CO<sub>2</sub>) and Mineral Products

Sanaz Shahbazi \* 

Ph.D Candidate in Economics, Urmia University, Urmia, Iran

Hassan Heidari 

Professor of Economics, Urmia University, Urmia, Iran

Mehdi Nejati 

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

### Abstract

Concerns about 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

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

**How to Cite:** How to Cite: Shahbazi, S., Heidari, H., and Nejati, M. (2024). The Effect of Price Liberalization of Energy Carriers on Environmental Variables (Emissions CO<sub>2</sub>) and Mineral Products *Journal of Economic Research*, 95 (24), 103-162

Accepted: 13/9/2025

Revise: 13/7/2025

Received: 16/ 3/2025

ISSN: 1735-210x

eISSN: 2476-6453

results show that for Iran, the first scenario leads to a gradual and sustained reduction in carbon dioxide emissions, reflecting a negative relationship between CO<sub>2</sub> 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 results in a smaller but still significant reduction in carbon dioxide emissions. For Iran's trading partners, the first scenario results in a long-term emission reduction owing to higher production costs and adoption of cleaner technologies, while the second scenario leads to faster reductions due to the mining sector's dependency on oil and accelerated investments in energy-saving measures. For other regions, the first scenario 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.

### **Introduction**

Energy market liberalization, particularly through the removal of subsidies and the alignment of domestic energy prices with international levels, has been a subject of growing interest due to its potential implications for economic efficiency, fiscal sustainability, environmental outcomes, and energy security. Fluctuations in oil and gas prices significantly influence macroeconomic variables, industrial competitiveness, and greenhouse gas emissions, particularly in resource-dependent economies like Iran. This study adds to the existing literature by using a dynamic computable general equilibrium (DCGE) model based on the GTAP-E database, an extension of the standard GTAP framework that explicitly incorporates energy substitution, fossil fuel combustion, and CO<sub>2</sub> emissions (Burniaux and

Truong, 2002) to analyze the long-term effects of energy price liberalization on CO<sub>2</sub> emissions in mineral production sectors.

While prior research has utilized GTAP-E in static or limited dynamic contexts, the application of a fully dynamic version with intertemporal adjustments, solved using GEMPACK algorithms and drawing on comprehensive regional and sectoral data from the GTAP database, represents a methodological advancement. This approach enables detailed projections up to 2050 and captures sector-specific responses in mineral industries, which are particularly energy-intensive and play a key role in Iran's economy and trade. The central research question is: How does energy price liberalization modeled as exogenous shocks to natural gas and oil prices affect CO<sub>2</sub> emissions in mineral production across Iran, its major trading partners, and the rest of the world?

### **Methods and Material**

This study employs the Global Trade Analysis Project-Energy (GTAP-E) model, a multi-region, multi-sector, multi-agent computable general equilibrium (CGE) framework developed by Burniaux and Truong (2002). GTAP-E extends the standard GTAP model (Hertel, 1997) by explicitly incorporating energy substitution mechanisms and the linkage between energy consumption and greenhouse gas emissions, particularly CO<sub>2</sub> emissions from fossil fuel combustion. This allows for a detailed analysis of the environmental and economic impacts of energy price changes across sectors, regions, and agents. The multi-regional structure of GTAP-E provides significant advantages over single-region models by capturing inter-sectoral, inter-country, and inter-factor linkages on a global scale (Wu et al., 2019). Computable General Equilibrium (CGE) models have been widely applied in energy and environmental policy analysis since the 1980s, offering a consistent framework for evaluating the economic and environmental consequences of policy interventions

(Rao et al., 2017; Chi et al., 2014). Their comprehensive treatment of resource allocation distortions caused by energy subsidies further justifies their use in this context (Manzoor et al., 2021).

To capture long-run dynamics and cumulative effects of policy reforms, this study employs a dynamic version of the GTAP-E model (DCGE). Unlike static CGE models, which are limited in their ability to account for growth effects, capital accumulation, and transitional paths, dynamic CGE models incorporate intertemporal adjustments, enabling realistic projections of medium- to long-term impacts where short-run and long-run effects may differ substantially (Zhang et al., 2020). The model is calibrated using the GTAP-E database and solved with GEMPACK software, allowing for the simulation of exogenous energy price shocks and their propagation through the global economy up to 2050.

### Results and Discussion

Carbon intensity ( $\text{CO}_2$  emissions per unit output) measures sectoral carbon efficiency. Table 4 reports changes under two 5% price shock scenarios—gas (Scenario 1) and oil (Scenario 2)—for Iran, trading partners, and other regions. The moderate price shock corresponds to historical fluctuations, consistent with prior studies (Eskandaripour et al., 2023; Lebrand et al., 2023).

In Iran, Scenario 1 reduced intensity markedly in oil (-26.22%), industry (-42.6%), minerals (-11.09%), and services (-13.27%) via cost-induced efficiency, but increased electricity (+46.9%) due to substitution to dirtier fuels (Barro et al., 2025). Gas intensity fell (-8.37%). Scenario 2 raised intensity in oil (+26.39%), gas (+4.69%), industry (+10.74%), and electricity (+16.73%) from fuel switching, while lowering it in agriculture (-16.12%), minerals (-8.93%), and services (-8.63%).

Trading partners exhibited heterogeneous responses: Scenario 1 increased gas (+0.52%) and coal (+0.23%) most; Scenario 2 amplified

oil (+1.31%) and coal (+1.69%) rises, offset by non-energy sector declines. Other regions showed mostly reductions under Scenario 1 (except gas +0.65%, coal +0.29%), but energy sector increases under Scenario 2. Asymmetric patterns reflect fuel substitutability and sectoral vulnerabilities, implying uneven carbon pricing effects.

Table 5 shows fuel-specific CO<sub>2</sub> emissions. Iran's Scenario 1 raised oil/petroleum emissions but cut gas (-61.64%) and coal; Scenario 2 reversed oil trends. Trading partners shifted to coal/gas in Scenario 2; other regions reduced gas/petroleum more in Scenario 1 and oil in Scenario 2. Both scenarios trended downward overall.

Long-term mineral products CO<sub>2</sub> emissions (Table 6, 2023–2050) declined steadily in Iran under Scenario 1 (~ -26.7 to -34 units) via efficiency incentives (Mosavi et al., 2017; Attílio et al., 2024), and less sharply under Scenario 2 (~ -9.5 to -12 units) due to lower oil substitutability (Ebaid et al., 2022). Trading partners had sharper Scenario 2 reductions (-0.95 by 2050); other regions showed sustained deepening under Scenario 2 (-0.87), consistent with oil-driven decarbonization and EKC dynamics (Kuznets, 1955; Zhou et al., 2021).

Gas shocks yield rapid gas-sector efficiency but risk dirty substitution in electricity; oil shocks promote broader long-term decarbonization. Policies should address substitution risks and facilitate technological transitions.

## Conclusion

This study utilizes a dynamic computable general equilibrium (DCGE) model based on GTAP-E (version 10) data to simulate the effects of two energy price shocks—a 5% increase in natural gas prices and a 5% increase in oil prices—from 2023 to 2050. The results highlight distinct emission reduction pathways for Iran, its major trading partners, and the rest of the world, offering important insights for energy transition and climate mitigation policies.

In Iran, a natural gas price shock drives a gradual and sustained decline in greenhouse gas emissions, reflecting substitution toward cleaner energy sources and improved energy efficiency in mineral production. An oil price shock produces a milder but steady reduction, indicating lower substitutability in industrial sectors. These responses are consistent with the Environmental Kuznets Curve, where higher energy prices stimulate emission-reducing investments, with effects varying depending on sector-specific energy dependence and technological capacity. The reductions also stem from cleaner production technologies and a shift to low-carbon mineral products, consistent with Khan et al. (2022) and Antimiani et al. (2014).

Iran's trading partners show a slow but steady emission decline under the gas price shock due to initial inelastic demand and subsequent technological adjustments. Oil price shocks lead to faster and sharper reductions, driven by greater oil reliance in their mineral sectors and stronger incentives for energy-saving innovations—patterns similar to those in developed industrial economies.

In other world regions, natural gas price increases result in an initial decline, temporary rebound, and eventual sustained reduction, reflecting structural rigidities and transition dynamics. Oil price shocks, however, cause more consistent and substantial declines, emphasizing oil's pivotal role in global energy and industry.

Overall, energy price liberalization can effectively reduce greenhouse gas emissions, especially when supported by policies that promote technological innovation, energy efficiency, and cleaner alternatives in energy-intensive sectors. Region-specific policies are essential to balance environmental gains with economic impacts.

**Keywords:** energy liberalization, energy carriers, mineral products, carbon dioxide, dynamic computable general balance

**JEL Classification:** Q47, Q41, Q35, Q53, C68.

## تأثیر آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی بر متغیرهای زیست محیطی انتشار (CO<sub>2</sub>) و محصولات معدنی

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

حسن حیدری  استاد اقتصاد، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

مهدی نجاتی  دانشیار اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، 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 - 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 ایران، سناریوی اول منجر به کاهش تدریجی و پایدار انتشار دی‌اکسید کربن می‌شود که بیانگر کاهش منفی بین انتشار گازهای گلخانه‌ای و قیمت گاز است و ناشی از کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و گرایش به انرژی‌های کارآمدتر یا جایگزین در تولید مواد معدنی است. سناریوی دوم نیز در رابطه با ایران کاهش کمتر، اما قابل توجهی در انتشار دی‌اکسید کربن ایجاد می‌کند. در رابطه با شرکای تجاری در سناریوی اول، 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 برآورد شد 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، کربن دی‌اکسید، تعادل عمومی قابل محاسبه پویا.

طبقه‌بندی JEL: Q47, Q41, Q35, Q53, C68

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

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

## ۱. 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 و به همین دلیل است که کشورهای جهان سیاست‌های خود را برای کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن<sup>۱</sup> هدف قرار داده‌اند تا رشد و توسعه اقتصادی پایدار را تضمین کنند (Ponce, et al., 2020).

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 (Onofrei, et al., 2022). نگرانی جهانی در مورد تغییرات اقلیمی به دلیل افزایش مداوم انتشار گازهای گلخانه‌ای<sup>۲</sup> از اوایل قرن بیستم- که اغلب به احتراق سوخت‌های فسیلی و صنعتی شدن نسبت داده می‌شود- تشدید شده است (Amheka, et al., 2022).

دی‌اکسیدکربن، 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 (EAP<sup>۳</sup>, 2023). در حالی که اثر گلخانه‌ای برای حفظ تعادل دمای زمین ضروری است، افزایش قابل توجه مصرف انرژی در سطح جهانی باعث افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در جو نسبت به قرن گذشته شده است (Yemelyanov, et al., 2015). همچنین، طبق گزارش سازمان ملل متحد<sup>۴</sup> (۲۰۲۳) انتشار گازهای گلخانه‌ای در حال حاضر به افزایش ۱/۵ درجه سانتی‌گراد در میانگین دمای جهانی منجر شده است و پیش‌بینی‌ها هشدار می‌دهند که در صورت عدم انجام اقدامات موثر برای کاهش تا سال ۲۱۰۰ تا دو درجه سانتی‌گراد نیز افزایش خواهد یافت و کشورهای در حال توسعه- که به شدت به سوخت‌های فسیلی برای رشد اقتصادی وابسته هستند- با خطرات زیست‌محیطی و اقتصادی

1 Carbon dioxide (CO2)

2 Green House Gas (GHG)

3 Environment Action Programme (EAP)

4 United Nations

بسیار حاد ناشی از این روندها مواجه هستند (Jiang, et al., 2020؛ Kuskaya, 2022؛ Zhao, et al., 2021 and Kuskaya & Bilgili, 2020).

در دهه‌های اخیر، تخریب محیط زیست به عنوان یک چالش جهانی بحرانی ظهور کرده و باعث تدوین توافق‌نامه‌های بین‌المللی و افزایش حکومت مشارکتی 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 و بادینلو و همکاران، ۱۳۹۳)، تولید بخشی (خداویسی و همکاران، ۱۳۹۵) و صادرات (Keramatfar, 2014) تمرکز داشته‌اند. همچنین در مطالعاتی همچون من و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۴) تمرکز محققان بر زغال سنگ بوده و آشنا و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۲۰) نیز اثرات کارایی انرژی در بخش برق در اقتصاد ایران را بررسی کرده‌اند؛ 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<sup>۳</sup> تاکید کرده است در 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 (Lucase, 1976) و فروتن و همکاران، (۱۳۹۱).

1 Man et al.

2 Ashena et al.

3 Lucase, R. E.

اهمیت موضوعات مرتبط با انرژی در چشم‌انداز جهانی امروز با تاکید فزاینده بر تقاضای انرژی در صنایع مختلف و نیاز مبرم به منابع پاک و پایدار، بسیار مهم است. با وجود نگرانی جهانی در مورد پیامدهای اقتصادی و زیست‌محیطی افزایش قیمت انرژی، تحقیقات محدودی وجود دارد که به طور همزمان و پویا تاثیرات 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<sup>۱</sup> (GTAP-E) مدل‌سازی شده است که تعمیمی از الگوی (Hertel, 1997 and Hertel & Tsigas, 1997) است.

مدل GTAP-E، که نسخه انرژی-زیست‌محیطی گسترش یافته مدل GTAP است، امکان تحلیل و ثبت همزمان پیامدهای اقتصادی و زیست‌محیطی (مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای) را در تمام بخش‌های اقتصادی و مناطق جهان، بر پایه داده‌های بانک اطلاعاتی جهانی GTAP فراهم 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 (Burniaux & Truong, 2002). با در نظر گرفتن انرژی به عنوان یک عامل تولید صریح، این مدل پیوندهای ظریفی بین تغییرات قیمت انرژی، فعالیت اقتصادی بخشی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ثبت می‌کند و یک ارزیابی واقع‌بینانه و آینده‌نگر ارائه می‌دهد. این تحقیق از الگوریتم‌های پیشرفته حل معادله در GEMPACK<sup>۲</sup> 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 GTAP<sup>۳</sup>، این مطالعه اثرات را در تمام بخش‌ها و مناطق تجزیه و تحلیل می‌کند و تعمیم‌پذیری و ارتباط

1 Global Trade Analysis Project Energy

2 General Equilibrium Modelling PACKage

۳ لینک مربوط به داده‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر:

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

سیاستی یافته‌ها را افزایش می‌دهد. این رویکرد، تجزیه و تحلیل جامع‌تر 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 دی‌اکسید کربن در مناطق جهانی تاثیر می‌گذارد؟ به منظور پاسخ به سوال اساسی پژوهش در بخش دوم تحقیقات نظری و تجربی پیشین و در بخش سوم مدل، داده‌ها و روش‌شناسی تشریح می‌شود. بخش چهارم، یافته‌های آماری و تجربی پژوهش را ارائه کرده و نتایج را در پرتو تئوری و شواهد تجربی مرتبط مورد بحث قرار می‌دهد. در نهایت، بخش پنجم پژوهش به نتیجه‌گیری‌های مطالعه و پیامدهای سیاستی بالقوه آن‌ها اختصاص دارد و به عنوان منبعی ارزش‌مند برای تصمیم‌گیری آگاهانه عمل می‌کند.

## ۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

امروزه انرژی یک محرک حیاتی اقتصاد جهانی است که تاثیرات گسترده و قابل توجهی بر روابط بین‌الملل و تحولات اجتماعی دارد؛ به طوری که روابط کشورها متأثر از آن است و تحولات اجتماعی، اقتصادی، سیاسی و نظامی جهان را بدون در نظر گرفتن انرژی نمی‌توان به درستی تجزیه و تحلیل کرد. 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 (OECD, 2023).<sup>۱</sup> از نظر تاریخی، سیاست جهانی انرژی در پاسخ به فشارهای ژئوپلیتیکی و همچنین زیست‌محیطی تکامل یافته است. به عنوان مثال، بحران‌های

<sup>1</sup> Observatory of Economic Complexity (OEC)

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 فقط بر رشد اقتصادی متمرکز بود و توجه کمی به پیامدهای زیست‌محیطی تولید و استفاده از انرژی می‌شد (Coady, et al., 2016).

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؛ چراکه ماده اصلی سوخت برای تولید انرژی و منبع قابل توجهی از گازهای گلخانه‌ای قوی است و مدیریت انتشار آن برای کنترل گرمایش جهانی و گذار به سوی آینده‌ای پایدارتر در زمینه انرژی حیاتی است. بنابراین، اطمینان از اینکه قیمت نفت و گاز منعکس‌کننده هزینه‌های واقعی بازار -از جمله اثرات جانبی زیست‌محیطی- باشد برای آزادسازی موثر قیمت انرژی و ایجاد انگیزه برای بهره‌وری انرژی و جایگزین‌های کم کربن بسیار مهم هستند (Ashena, et al., 2020).

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 (Coady, et al., 2018).

در سال ۲۰۲۲ انتشار جهانی دی‌اکسید کربن وابسته به انرژی ۰/۹ درصد 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 آب و هوای شدید

و ۵۵ میلیون تن دیگر را به نیروگاه‌های هسته‌ای نسبت داد. انتشارات ناشی از احتراق انرژی ۴۲۳ میلیون تن افزایش داشته و این در حالی است که انتشارات ناشی از فرآیندهای صنعتی ۱۰۲ میلیون تن کاهش یافته است (IEA, 2023).

تحقیقات تجربی به طور مداوم منابع انرژی -به ویژه انرژی‌های تجدیدپذیر- و عملکرد اقتصادی را به هم مرتبط و نقش حیاتی انرژی را در توسعه پایدار برجسته می‌کنند، اوگاندید و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۶) تاکید 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<sup>۳</sup> (۱۹۹۵) به تاثیر سیاست‌ها و منابع انرژی بر تغییرات اقلیمی تاکید 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 شود.

باکتا و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۲۳) تاثیر 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<sup>۵</sup> (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای تاثیر فناوری، سوخت فسیلی، انرژی‌های تجدیدپذیر و مواد معدنی را بر کیفیت محیطی در رشد اقتصادی پایدار برای دوره ۱۹۹۵-

1 International Energy Agency (IEA)

2 Ogundee, A.A. et al.

3 Adenikinju, A. F.

4 Bacchetta, M. et al.

5 Khan, M. A. et al.

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.

آلدوبیان و قاسیم<sup>۱</sup> (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 سری‌های زمانی ساختاری هاروی بررسی کرده‌اند. 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<sup>۲</sup> (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 را در مورد انتشار دی‌اکسیدکربن بررسی کرده‌اند. نتایج آنان نشان داد که آزادسازی بازار انرژی داخلی به طور منفی با انتشار دی‌اکسیدکربن مرتبط بوده و در کاهش انتشار CO<sub>2</sub>، کاهش سرعت تغییرات آب‌وهوا نیز موثر بوده است.

الچ و همکاران<sup>۳</sup> (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 پویا و تکنیک‌های بیزی بررسی کرده‌اند. 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<sup>۴</sup> (۲۰۱۶) اثرات انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر، در آمد واقعی و باز بودن تجارت را بر انتشار دی‌اکسیدکربن برای اتحادیه اروپا طی دوره ۲۰۱۲-۱۹۸۰

---

1 Aldubyan, M., & Gasim, A.

2 Ponce, P. et al.

3 Alege, P. et al.

4 Dogan, E. & Seker, F.

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<sup>۱</sup> (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 کرده‌اند. نتایج آنان نشان می‌دهد که در طول دوره شبیه‌سازی، اقتصاد چین نرخ رشد به نسبت بالایی را حفظ می‌کند. همچنین شدت مصرف انرژی و شدت انتشار کربن به ازای هر واحد تولید ناخالص داخلی (GDP)<sup>۲</sup> کاهش می‌یابد.

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 نرم‌افزار IPCC تا سال ۲۰۳۰ بررسی کرد. نتایج این پژوهش 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 کرده‌اند. یافته‌های آنان حاکی از آن است که قطع یارانه برق در مقایسه با قطع یارانه گازوئیل تاثیر اقتصادی نامطلوبی دارد.

---

1 Chi, Y. et al.

2 Gross Domestic Product (GDP)

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 ۱۳۸۵-۱۳۹۱ مورد بررسی قرار داده‌اند. یافته‌های آنان نشان داد که در سناریوی اول، هزینه کنترل آلودگی ۱۲/۷۸ درصد از تولید ناخالص داخلی بوده است. همچنین سناریوی افزایش قیمت انرژی منجر به کاهش ۲۳ درصدی این هزینه شده و آن را به ۱۰ درصد 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 نرم‌افزار GAMS مورد بررسی قرار داده‌اند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که توزیع مجدد درآمد در بین خانوارها منجر به افزایش ۱۶ درصدی رفاه برای خانوارهای شهری و افزایش ۵۳ درصدی برای خانوارهای روستایی شده است. علاوه بر این، تعدیل قیمت منابع انرژی در کاهش انتشار آلاینده‌ها نیز موثر است.

تحقیقات موجود برای درک تاثیرات اصلاح قیمت انرژی بر محیط‌زیست، انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر، متغیرهای اقتصاد کلان، انتشار دی‌اکسیدکربن و... به صورت مجزا موثر هستند و طبق بررسی‌های صورت گرفته مطالعه‌ای که به صورت جامع دربرگیرنده آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی، متغیرهای زیست‌محیطی (انتشار CO<sub>2</sub>) و محصولات معدنی باشد، ملاحظه نشده است. همچنین مدلی که در مطالعه حاضر استفاده شده، یک مدل پویا است که عملاً در مطالعات انجام شده اثرات اصلاح قیمت انرژی روی متغیرهای زیست محیطی و به خصوص کالاهای معدنی با این مدل پویا بررسی نشده است. در بخش محصولات معدنی، استفاده از این مدل‌ها می‌تواند درک دقیق‌تری از روابط موجود ارائه دهد و ارزیابی دقیق پیامدهای تغییرات انتشار دی‌اکسیدکربن از محصولات معدنی را از طریق تکنیک‌های مناسب مدل‌سازی، تسهیل کند. این مطالعه مختص محصولات معدنی است؛ مطالعاتی که قبلاً انجام شده ممکن است اثرات زیست محیطی را بررسی کرده باشند، اما روی محصولات معدنی تمرکز نشده‌اند. در نهایت نکته‌ای که

خیلی مهم است، اصلاح قیمت انرژی است که کار ویژه‌ای بوده و نه تنها روی محصولات معدنی بررسی شده است، بلکه 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 آلایندگی 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. از این رو، می‌توان بیان کرد 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.

### ۳. روش

در میان چارچوب‌های مدل‌سازی که در حوزه سیاست‌های انرژی و زیست‌محیطی موثر هستند، مدل پروژه تحلیل تجارت جهانی- انرژی<sup>۱</sup> (GTAP-E) قرار دارد که یک مدل تعادل عمومی قابل محاسبه چندعاملی، چندبخشی و چندمنطقه‌ای است که توسط بورنیاکس و تروننگ<sup>۲</sup> (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<sup>۳</sup> (۱۹۹۷) طراحی شده است و به دلیل استفاده از الگوهای تعادل عمومی چندمنطقه‌ای به جای الگوهای تعادل عمومی یک منطقه‌ای، دارای مزیت‌های

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

[https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res\\_display.asp?RecordID=4891](https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=4891)

2 Burniaux, J-M., & Truong, T. P.

3 Hertel, T. W.

متعددی است. از نقاط قوت این الگوها توانایی آن‌ها جهت کمک به فهم پیوند میان بخش‌ها، کشورها و عوامل تولید در مقیاس جهانی است (Wu, et al., 2019).

در حوزه انرژی و اقتصاد محیطی، مدل‌های مختلف تعادل عمومی قابل محاسبه (CGE)<sup>۱</sup> به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Rao, et al., 2017 and Rao, et al., 2017) که چارچوبی سازگار برای تجزیه و تحلیل اثرات اقتصادی انرژی و سیاست زیست محیطی فراهم می‌کند. از دهه ۱۹۸۰ این مدل گسترش یافته و به عنوان یک رویکرد غالب برای تجزیه و تحلیل پیامدهای سیاست‌های انرژی و زیست محیطی تبدیل شده است. 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 (Manzoor, et al., 2021). از دهه ۱۹۸۰ مدل CGE به طور گسترده‌تری به کار گرفته شد و به جریان اصلی تحلیل سیاست انرژی و محیط زیست تبدیل شده است (Chi, et al. 2014).

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 می‌شود. مدل‌های پویا، فرآیندهای انباشت یک اقتصاد را در برمی‌گیرند و قابلیت پیش‌بینی میان مدت/ بلندمدت شبیه‌سازی‌ها را افزایش می‌دهند (Zhang, et al., 2020).

### ۳-۱. توابع تولید

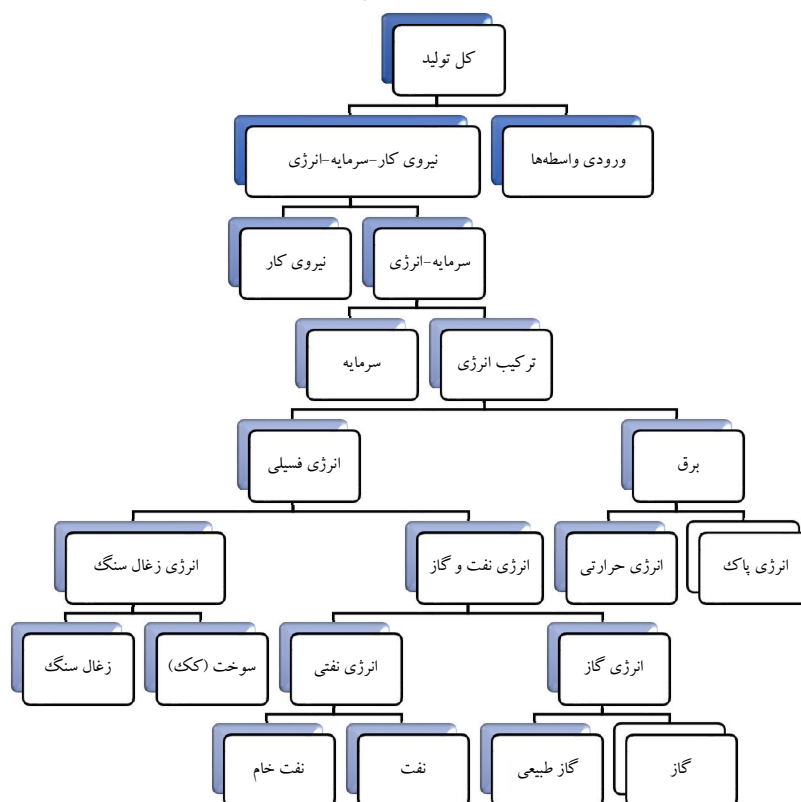
توابع تولید برای هر بخش روش‌هایی را توصیف می‌کند که در آن سرمایه، نیروی کار، انرژی و نهاده‌های واسطه‌ای می‌توانند برای تولید خروجی استفاده شوند. همان‌طور که در

---

<sup>1</sup> Computable General Equilibrium (CGE)

شکل (۱) نشان داده شده است، لایه بالایی شامل ورودی‌های اولیه ترکیبی نیروی کار، سرمایه و انرژی و همچنین ورودی‌های میانی است. به پیروی از مدل بورنیاکس و همکاران<sup>۱</sup> (۱۹۹۲) و هوانگ و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۳)، لایه دوم تقاضای تولیدکننده برای ورودی نیروی کار و سرمایه و انرژی ترکیبی را تعیین می‌کند.

شکل ۱. ساختار تابع تولید



منبع: بورنیاکس و همکاران<sup>۳</sup> (۱۹۹۲)، هوانگ و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۳) و چی و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۴)

1 Burniaux, J. M. et al.

2 Huang, Y. N. et al.

3 Burniaux, J. M. et al.

4 Huang, Y. N. et al.

5 Chi, Y. et al.

در لایه سوم، سرمایه و انرژی ترکیبی به سرمایه و انرژی تفکیک می‌شود. به این علت که برق بیشتر با مصرف سوخت‌های فسیلی تولید می‌شود، کشش جایگزینی بین الکتریسیته و سوخت‌های فسیلی باید کمتر از سوخت‌های فسیلی باشد (Wu and Xuan, 2007)؛ بنابراین، انرژی به انرژی فسیلی و نیروی الکتریکی در لایه چهارم تقسیم می‌شود. انرژی حرارتی و انرژی پاک و انرژی فسیلی به زغال سنگ، نفت و انرژی گاز تجزیه می‌شود. لایه ششم در لایه زیرین انرژی نفتی را نفت خام و نفت و انرژی گاز را گاز طبیعی و گاز تشکیل می‌دهد.

تابع کشش جانشینی ثابت (CES)<sup>۱</sup> در توابع ضرب اعمال می‌شود. ترکیب بهینه عوامل ورودی به صورت رابطه‌های (۱) و (۲) است.

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

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

در رابطه‌های (۱) و (۲)،  $X_i$  عامل ورودی  $i$ ،  $P_i$  قیمت،  $V$  خروجی است،  $B_i$  پارامتر سهم عامل  $i$ ،  $A$  پارامتر تبدیل کلی روی تمام عوامل ورودی،  $\lambda_i$  پارامتر تبدیل روی عامل  $i$  و  $\rho$  ضریب کشش جایگزینی است (Chi et al. 2014).

### ۳-۲. 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 تفکیک‌شده برق و گاز در پایگاه داده GTAP-E-Power، سیاست‌های اقتصادی-زیست‌محیطی را شبیه‌سازی می‌کند و در عین حال فرآیندهای جایگزینی در این صنایع را نیز در نظر می‌گیرد. مخارج دولت در

<sup>1</sup> Constant Elasticity of Substitution (CES)

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 رابطه (۳) 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 (۳)،  $qo_{ir}$  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).

### ۳-۳. توابع انتشار دی‌اکسید کربن

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

$$EM_i = \gamma_{coal} \cdot Coal_i + \gamma_{oil} \cdot Oil_i + \gamma_{gas} \cdot Gas_i \quad (۴)$$

$$LM_{i,t} = \begin{cases} (1 - \omega) \frac{EM_{i,t} = 0}{Z_{i,t} = 0} Z_{i,t} & t = 1 \\ (1 - \omega) \frac{LM_{i,t-1}}{Z_{i,t-1}} Z_{i,t} & t = 2, 3, \dots, N \end{cases} \quad (۵)$$

در رابطه‌های (۴) و (۵)،  $M_i$  میزان انتشار دی‌اکسید کربن صنایع شرکت کننده؛  $\gamma_{coal}$ ،  $\gamma_{oil}$  و  $\gamma_{gas}$  به ترتیب ضریب انتشار دی‌اکسید کربن زغال‌سنگ، نفت و گاز طبیعی است که از میانگین ارزش حرارتی، ضریب انتشار کربن، نرخ اکسیداسیون کربن و ضریب تبدیل کربن محاسبه می‌شود.  $Coal_i$ ،  $Oil_i$  و  $Gas_i$  به ترتیب نشان‌دهنده مصرف منابع مختلف انرژی در بخش  $i$ ،  $LM_i$  حق انتشار کربن بخش  $i$  در دوره‌های فعلی و قبلی،  $Z_i$  نیز به ترتیب خروجی صنعت در دوره فعلی و دوره قبلی هستند و  $\omega$  ضریب کاهش انتشار کربن سالانه است (Man, Y. et al. 2014).

### ۳-۴. مدل‌سازی انتشار کربن

در چارچوب مدل GTAP-E، فرآیند انتشار کربن براساس داده‌های تفصیلی بخش‌های مختلف تولیدی، خانوارها و بخش دولتی در پایگاه داده GTAP به صورت جامع گنجانده شده است. این انتشار نتیجه مصرف انواع سوخت‌های فسیلی شامل زغال سنگ، نفت خام، گاز طبیعی، محصولات پالایشی و برق است. 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 رابطه (۶) 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 (۷) بیان کرد.

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

در نتیجه، درصد تغییر انتشار کربن در منطقه  $r$  از طریق رابطه (۸) محاسبه می‌شود.

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

در رابطه (۸)،  $g$  بیانگر نرخ رشد انتشار گازهای گلخانه‌ای است. نرخ رشد انتشار گازهای گلخانه‌ای برای هر کالا  $i$  و بخش  $j$  در منطقه  $r$  متناسب با نرخ رشد تقاضا برای آن کالا توسط شرکت‌ها، خانوارها یا دولت فرض شده و براساس رابطه (۹) محاسبه می‌شود.

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

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 می‌شود، نرخ رشد آن به صورت رابطه (۱۰) بیان می‌شود.

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

در رابطه (۱۰)،  $gCI_r$  نرخ رشد شدت کربن و  $gGDP_r$  نرخ رشد تولید ناخالص داخلی در منطقه  $r$  است (Burniaux & Truong, 2002).

### ۳-۵. بخش پویای مدل

زمان به عنوان یک عامل متغیر در فرآیندهای اقتصادی مورد توجه قرار می‌گیرد و می‌تواند تغییرات چرخه‌ای و ساختاری را توضیح دهد. در اقتصاد، علاوه بر پاسخ به تغییرات محیطی مانند سیاست‌ها یا پیشرفت‌های فناوری، پویایی‌های درونی سیستم از طریق رابطه جریان و موجودی نیز به وجود می‌آید. وقتی پس‌انداز یا سرمایه‌گذاری خالص صفر نیست، گذر زمان به طور مستقیم به تغییر در سطح سرمایه یا دارایی‌ها منجر می‌شود. همچنین با اتخاذ انتظارات تعدیلی و بازنگری‌های تاخیری، متغیرهای هدف به آرامی به سمت نقاط تعادلی حرکت می‌کنند. این گونه تغییرات معمولاً منشأ خارجی ندارند، بلکه تنها 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:

### ۳-۵-۱. 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 رابطه (۱۱) بیان کرد.

$$W_{\text{firm}}(r, t) = P_K(r, t) \times QK(r, t) \quad (۱۱)$$

ارزش سهام بنگاه‌های منطقه، تابع ارزش و موجودی سرمایه است که در این صورت، نرخ تغییرات درصدی ارزش سهام شرکت‌ها عبارتند از (رابطه (۱۲)):

$$wq_f(r, t) = \frac{d}{dt} \ln W_{\text{firm}} \quad (۱۲)$$

دارایی خانوارها شامل سهمی از سهام شرکت‌ها و دارایی تراست<sup>۱</sup> جهانی است که به صورت روابط (۱۳) بیان می‌شود.

$$W_{\text{hh-firm}}(r, t) = P_{\text{firm}}(r, t) \times \int_{t_0}^t q_{\text{hh-firm}}(r, \tau) d\tau \quad (۱۳)$$

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

در رابطه (۱۳)،  $q_{\text{hh-firm}}$  و  $q_{\text{hh-trust}}$  به ترتیب نشان‌دهنده سهام خریداری شده توسط خانوارها به صورت محلی و جهانی هستند. جمع کل ثروت خانوار نیز به صورت رابطه (۱۴) بیان می‌شود که نرخ تغییرات آن از طریق مشتق‌گیری به شکل رابطه (۱۵) خواهد بود.

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

---

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.

$$wqh(r, t) = \frac{W_{hh-frim}(r, t)}{W_{hh}(r, t)} wqhf(r, t) + \frac{W_{hh-trust}(r, t)}{W_{hh}(r, t)} wqht(r, t) \quad (15)$$

در نتیجه سرمایه گذاری خانوارها در سهام شرکت ها و تراست مجموع پس انداز خانوار را به صورت رابطه (۱۶) ایجاد می کند.

$$SAVE(r, t) = VQ_{hf}(r, t) + VQ_{ht}(r, t) \quad (16)$$

### ۳-۵-۲. 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 و در قالب رابطه (۱۷) بیان می شود.

$$QK(r, t) = QK(r, t_0) + \int_{t_0}^t I_{net}(r, \tau) d\tau \quad (17)$$

در رابطه (۱۷)،  $QK(r, t)$  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  $\tau$  است. مشتق این رابطه نسبت به زمان، رابطه (۱۸) را ارائه می دهد.

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

در راستای بیان نرخ تغییر به درصد، رابطه (۱۸) 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 رابطه (۲۰):

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

که در آن،  $P_K(r, t)$  قیمت کالاهای سرمایه‌ای در منطقه  $r$  و زمان  $t$  است. در نتیجه، نرخ تغییر در ارزش موجودی سرمایه به سرمایه‌گذاری خالص به صورت رابطه (۲۱) خواهد بود.

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

در حالت شبیه‌سازی ایستا، زمانی که تغییر زمان صفر است، نرخ رشد سرمایه نیز صفر فرض می‌شود. با این وجود، عوامل منطقه‌ای و کلی تحت عنوان  $SQK(r)$  و  $SQW(t)$  جهت اعمال شوک به سرمایه در معادله وارد شده و رابطه (۲۲) را ایجاد می‌کنند و معادله مشتق‌شده (دیفرانسیل) به صورت رابطه (۲۳) حاصل می‌شود.

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

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

### ۳-۵-۳. ساختار دارایی‌ها و بدهی‌های اقتصادی بنگاه‌ها و خانوارها

سهام شرکت‌ها به دو بخش متعلق به خانوارهای محلی و تراست جهانی تقسیم شده و در قالب رابطه (۲۴) و نرخ رشد آن به صورت رابطه (۲۵) تعریف می‌شود.

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

$$wq_f(r, t) = \frac{W_{\text{hh-frim}}(r, t)}{W_{\text{frim}}(r, t)} wqhf(r, t) + \frac{W_{\text{trust-firm}}(r, t)}{W_{\text{frim}}(r, t)} wqtf(r, t) \quad (25)$$

همچنین ثروت خانوارها بر حسب ترکیب دارایی شرکت‌ها و تراست‌ها به صورت رابطه (۲۶) و نرخ رشد آن به صورت رابطه (۲۷) تعریف می‌شود.

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

$$wqh(r, t) = \frac{W_{\text{hh-frim}}(r, t)}{W_{\text{hh}}(r, t)} wqhf(r, t) + \frac{W_{\text{hh-trust}}(r, t)}{W_{\text{hh}}(r, t)} wqht(r, t) \quad (27)$$

از آنجا که دارایی‌های خارجی به ناخالص و خالص تفکیک می‌شوند، رابطه (۲۸) برقرار است.

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

### ۳-۵-۴. 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 (رابطه (۲۹)).

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

• تغییرات درصدی ارزش تراست بیانگر جمع وزنی نرخ‌های رشد مالکیت‌های مناطق است (رابطه (۳۰)).

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

• ارزش کل تراست برابر با مجموع کل دارایی‌های آن است؛ امری که از برابری سرمایه‌گذاری و پس‌انداز جهانی ناشی می‌شود (رابطه (۳۱)).

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

برای حصول اطمینان از برقراری توازن، متغیر برون‌زا به نام WTRUSTSLACK به مدل افزوده می‌شود و رابطه (۳۲) را می‌سازد.

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

با نرخ تغییر برابر رابطه (۳۳) را خواهیم داشت.

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

سهام هر منطقه در ارزش تراست جهانی با وزن‌دهی نرخ بازده سرمایه به صورت رابطه (۳۴) بیان می‌شود.

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

در رابطه (۳۴)،  $WQT - FIRMSHR(r, t)$  نشان‌دهنده سهم منطقه  $r$  در کل دارایی‌های تراست است (بلاغی اینالو و همکاران، ۱۴۰۱ و Ianchovichina et al., 2012).

#### ۴. بستر الگو

بستار<sup>۱</sup> الگو به نحوه تعریف متغیرهای درون‌زا و برون‌زا براساس چارچوب‌های نظری تعیین‌شده 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 بستر مدل انتخاب شده متفاوت باشد (Sen, 1963).

بستار اقتصاد کلان در مدل‌های تعادل عمومی شامل تراز خارجی<sup>۲</sup>، تراز دولت<sup>۳</sup> و تراز پس‌انداز - سرمایه‌گذاری<sup>۴</sup> است (Lofgren et al., 2002). برای انجام تحلیل با استفاده از مدل پروژه تحلیل تجارت جهانی، ضروری است که بستر آن مشخص شود. در این مطالعه، به منظور حل الگو از بستر 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 جابه‌جا 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

1 closure

2 External Balance

3 Government Balance

4 Savings-Investment Balance

سمت تقاضا تاثیر می‌گذارد، زیرا خانوارها و دولت بخش‌هایی از درآمد قابل تصرف خود را به پس‌انداز اختصاص می‌دهند و در نتیجه بر مصرف کالاها و 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 پس‌اندازمحور استفاده شده است که در آن سرمایه‌گذاری واقعی با نرخ‌های پس‌انداز از پیش تعیین شده (ثابت) تعیین می‌شود که با مشخصات انتخاب‌شده 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.

## ۵. کالیبراسیون مدل

برای کالیبره کردن مدل از داده‌های SAM موجود در مجموعه پایگاه داده GTAP نسخه ۱۰ استفاده می‌شود که شامل داده‌های ۱۴۱ منطقه<sup>۱</sup>، ۶۵ بخش و ۸ عامل تولید برای سال مرجع ۲۰۱۴ است. 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 و مصرف است. مقادیر کشش‌های جانشینی و تبدیل (تمام پارامترها) در این پایگاه از مطالعات مختلف انجام شده توسط متخصصین تعادل عمومی در دانشگاه پوردو<sup>۲</sup> و همچنین روش‌های اقتصادسنجی معتبر استخراج شده است که کالیبراسیون مطالعه حاضر

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

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 و ۴- خدمات) و پنج عامل تولیدی (نیروی کار ماهر، نیروی کار غیرماهر، منابع طبیعی، زمین و سرمایه) و سه منطقه (ایران، شرکای تجاری ایران و سایر کشورها) تجميع شده است. تجميع داده‌های مربوط به مناطق، عوامل اولیه توليد و بخش‌های مختلف اقتصادی براساس اهداف پژوهش در جدول (۱) گردآوری شده است.

جدول ۱. تجميع داده‌ها براساس ماتريس حسابداری اجتماعی

| قبل از تجميع در پایگاه<br>داده GTAP10 |                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| بعد از تجميع و بر اساس اهداف پژوهش    |                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| بخش‌های<br>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 خودرویی، پوشاک و چرم، ریخته‌گری و خدمات)                                                                                                                   |
| عوامل اولیه<br>توليد                  | نیروی کار ماهر، نیروی کار غیرماهر، منابع طبیعی، زمین و سرمایه | نیروی کار ماهر، نیروی کار غیرماهر، منابع طبیعی، زمین و سرمایه                                                                                                                                                                                                                                                    |
| مناطق                                 | ۱۴۱ منطقه یا بخش                                              | ۱. ایران<br>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، سریلانکا، شیلی، یونان، مالزی، کره، هند و هلند)<br>۳. سایر مناطق جهان |

منبع: یافته‌های پژوهش

مجموعه داده‌های مورد استفاده در این تحلیل از یک ماتريس 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 تجميع شده‌اند تا قابلیت تحلیل

را افزایش داده و در عین حال ارتباط بخشی را حفظ کنند. عوامل تولید قبل از تجمیع شامل نیروی کار ماهر، نیروی کار غیر ماهر، منابع طبیعی، زمین و سرمایه بودند. این عوامل نقش حیاتی در شکل‌دهی به بهره‌وری و کارایی بخش‌های تجمیع شده دارند. پس از تجمیع، این عوامل همچنان باقی مانده‌اند؛ زیرا نشان‌دهنده ورودی‌های ضروری هستند که خروجی اقتصادی را هدایت می‌کنند. انتقال از ۱۴۱ منطقه مجزا 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 هم‌سو است. 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 تعیین کننده 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 کالاها می‌تواند به طور قابل توجهی بر تقاضای انرژی و الگوهای مصرف تأثیر بگذارد که به نوبه خود بر انتشار  $CO_2$  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 این رو، با توجه به هدف اصلی مطالعه حاضر که بررسی تأثیر آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی و تأثیرات زیست محیطی انتشار ( $CO_2$ ) روی محصولات معدنی است، دو سناریو (۱- شوک قیمتی پنج درصدی به گاز طبیعی و ۲- شوک قیمتی پنج درصدی نفت) در بازه زمانی (از سال ۲۰۲۳ تا ۲۰۵۰) بررسی شده و نتایج این ارزیابی در قسمت بعدی بیان شده است.

## ۶. 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 هستند را برحسب ارزش کل آنها به تریلیون دلار فهرست می‌کند.

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 روسیه 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 آب و هوایی 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) ذکر شده است.

جدول ۲. کشورهای دارای بیشترین منابع طبیعی در سال ۲۰۲۱

| نام کشور         | منابع طبیعی                                                                                                                                                                     | ارزش کل تخمینی<br>(تریلیون دلار) |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| 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                               |
| ایالات<br>متحده  | نفت خام، گاز طبیعی، اورانیوم، بوکسیت، روی، اورانیوم، مس، نقره، نیکل و پتاس                                                                                                      | ۴۵                               |
| عربستان<br>سعودی | منابع نفتی، گاز طبیعی، طلا، فسفات و آلومینیوم                                                                                                                                   | ۳۴/۴                             |
| کانادا           | نفت، زغال سنگ، سنگ آهن، اورانیوم و پتاس                                                                                                                                         | ۳۳/۲                             |
| ایران            | نفت، گاز، زغال سنگ، کروم، مس، سنگ آهن، سرب، منگنز، روی و گوگرد                                                                                                                  | ۲۷/۳                             |
| چین              | زغال سنگ، بوکسیت، الماس، طلا، سرب، جیوه و سنگ فسفات و منیزیم                                                                                                                    | ۲۳                               |
| برزیل            | طلا، الماس، بوکسیت، آهن، قلع، پلاتین، نیوبیوم، تانتالیت، کائولن، گرافیت، تالک، ورمیکولیت و آلومینیوم                                                                            | ۲۱/۸                             |
| استرالیا         | زغال سنگ، گاز طبیعی، نفت، سنگ آهن، اورانیوم، نیکل، بوکسیت، روی، زیرکون، ایلمنیت و روتیل                                                                                         | ۱۹/۹                             |
| عراق             | گوگرد، فسفات و گاز طبیعی                                                                                                                                                        | ۱۵/۹                             |
| ونزوئلا          | الماس، طلا، گاز طبیعی، بوکسیت و سنگ آهن                                                                                                                                         | ۱۴/۳                             |

منبع: بانک جهانی، ۲۰۲۴

طبق جدول (۳)، چین با افزایش قابل توجهی در انتشار گلخانه‌ای طی ۳۰ سال گذشته، یکی از تولیدکنندگان اصلی CO<sub>2</sub> بوده که انتشار گازهای گلخانه‌ای این کشور ناشی از رشد سریع اقتصادی، افزایش تقاضای برق و اتکای شدید به نیروی زغال‌سنگ است. ایالات متحده آمریکا به دلیل اتکا به نفت در بخش حمل‌ونقل و سوخت‌های فسیلی در بخش صنعتی، تولیدکننده قابل توجهی CO<sub>2</sub> باقی مانده و هند به عنوان سومین تولیدکننده ظاهر شده است. زغال سنگ مآخذ اولیه انرژی در هند است که حدود ۴۴ درصد انرژی

کشور را تامین می کند. هدف هند افزایش سهم بازار گاز طبیعی برای کاهش آلودگی هوا و انتقال به منابع انرژی پاک تر است.

جدول ۳. کشورهای دارای بیشترین میزان CO<sub>2</sub> طی ۳۰ سال اخیر

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

منبع: بانک جهانی، ۲۰۲۴

روسیه یکی دیگر از کشورهای مهم انتشار CO<sub>2</sub> بوده که به دلیل اتکای آن به گاز طبیعی و زغال سنگ 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 هسته ای ۲۰۱۱ در فوکوشیما، ترکیب انرژی ژاپن تغییر کرد و نفت به بزرگ ترین منبع انرژی تبدیل شد. ژاپن سیاست های انرژی خود را برای کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و ترویج منابع انرژی پاک تر تطبیق داده است.

## ۷. یافته‌های تجربی

شدت انتشار کربن که 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 (۴) 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<sup>۱</sup> (۲۰۲۳) و لیاند و همکاران<sup>۲</sup> (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 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 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.

1 Eskandaripour, Z., et al.

2. Lebrand, M., et al.

جدول ۴. شدت انتشار کربن

| بخش ها        | سناریوی اول |             |            | سناریوی دوم |             |            |
|---------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|
|               | ایران       | شرکای تجاری | سایر مناطق | ایران       | شرکای تجاری | سایر مناطق |
| کشاوزی        | -۰/۴۲       | ۰/۰۳        | -۰/۰۳      | -۱۶/۱۲      | -۰/۹۷       | -۰/۹۹      |
| نفت           | -۲۶/۲۲      | -۰/۰۲       | -۰/۲۲      | ۲۶/۳۹       | ۱/۳۱        | ۱/۶۵       |
| گاز           | -۸/۳۷       | ۰/۵۲        | ۰/۶۵       | ۴/۶۹        | ۰/۱۹        | ۰/۷        |
| زغال سنگ      | -۰/۲۲       | ۰/۲۳        | ۰/۲۹       | -۰/۸۴       | ۰/۸۴        | ۱/۶۹       |
| الکتریسیته    | ۴۶/۹        | ۰/۱۰        | -۰/۱۱      | ۱۶/۷۳       | ۰/۵۸        | ۰/۴۹       |
| محصولات معدنی | -۱۱/۰۹      | -۰/۱۱       | -۰/۲۴      | -۸/۹۳       | -۱/۲۲       | -۱/۵۳      |
| صنعت          | -۴۲/۶       | ۰/۰۳        | -۰/۴۹      | ۱۰/۷۴       | ۰/۴۳        | -۰/۱۳      |
| خدمات         | -۱۳/۲۷      | ۰/۱۲        | -۰/۲۶      | -۸/۶۳       | -۰/۳۸       | -۱/۵۵      |

منبع: 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 و در نتیجه شدت انتشار کربن را در آن بخش‌ها کاهش می‌دهد. همچنین افزایش شدید شدت انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش برق یک بده-بستان اقتصادی مهم را آشکار می‌کند؛ قیمت‌های بالاتر گاز، تولیدکنندگان برق را به جایگزینی گاز با سوخت‌های آلوده‌تر و کربن‌زاتر مانند زغال‌سنگ یا نفت ترغیب می‌کند و باعث افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در هر واحد برق می‌شود. این اثر جایگزینی با نظریه بازار<sup>۱</sup> در مورد جایگزینی ورودی و تغییر سوخت تحت شوک‌های قیمت نسبی هم‌سو است (Barro et al., 2025). شدت انتشار گازهای

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

گلخانه‌ای بخش گاز همانطور که انتظار می‌رفت کاهش می‌یابد، زیرا قیمت‌های بالاتر گاز، حجم استخراج و مصرف گاز را کاهش می‌دهد.

در سناریوی دوم (افزایش قیمت نفت)، کشور ایران 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 و 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.

سناریوی اول برای شرکای تجاری، 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.

در سناریوی دوم، واکنش‌های شدت انتشار در بین بخش‌ها به طور چشمگیری و نامنظم‌تری متفاوت است. بخش نفت بیشترین افزایش را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده

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 کم کربن تر 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 کرد 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.

برای سایر مناطق، 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 کربن‌محورتر همراه است. همچنین بخش کشاورزی، محصولات معدنی و خدمات کاهش شدیدی را نشان می‌دهند که ممکن است به دلیل فشارهای هزینه و رودی که فعالیت آنها را کاهش می‌دهد یا اتخاذ شیوه‌های کارآمدتر در انتشار گازهای گلخانه‌ای در پاسخ به قیمت‌های بالاتر نفت باشد. 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. این در حالی است 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، 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 و 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 کربن‌دی‌اکسید که به عنوان انتشار  $CO_2$  نیز شناخته می‌شود، بیشتر 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 کربن‌دی‌اکسید در بخش‌های مختلف بینش‌های قابل توجهی را در مورد اثرات زیست‌محیطی صنایع مختلف نشان می‌دهد. جدول (۵) میزان انتشار کربن‌دی‌اکسید را براساس نوع سوخت برای مناطق مختلف نشان می‌دهد.

جدول ۵. انتشار دی اکسیدکربن

| بخش ها           | سناریوی اول |             |            | سناریوی دوم |             |
|------------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|
|                  | ایران       | شرکای تجاری | سایر مناطق | ایران       | شرکای تجاری |
| زغال سنگ         | -۱/۸۴       | ۰/۲۵        | -۰/۰۹      | -۹/۲۹       | ۱/۳۳        |
| نفت              | ۱۳/۰۸       | ۰/۴۱        | -۰/۰۵      | -۰/۶۵       | ۰/۷۴        |
| گاز              | -۶۱/۶۴      | ۰/۰۲        | -۰/۶۳      | ۰/۹۲        | ۱/۳۳        |
| فرآورده های نفتی | ۰/۳۳        | ۰/۱۹        | -۰/۲۴      | -۳۱/۵۷      | -۰/۸۴       |

منبع: یافته های 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. این در حالی است 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 و 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 و 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 و گاز نیز افزایش قابل توجهی را نشان می دهد. فرآورده های نفتی انتشار منفی را نشان می دهند که بیان گر 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 می‌دهد که سناریوی اول کاهش بیشتری در انتشار زغال‌سنگ، گاز و فرآورده‌های 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 کربن‌دی‌اکسید نشان می‌دهند، اما سناریوی اول به طور بالقوه بر کاهش گاز و فرآورده‌های نفتی، سناریوی دوم بیشتر بر کاهش انتشار نفت تمرکز دارد. به طور کلی، هر دو سناریو نشان‌دهنده روند کلی کاهش انتشار کربن‌دی‌اکسید است؛ اگرچه کاهش‌های خاص در منابع مختلف انرژی متفاوت است.

کربن‌دی‌اکسید یک گاز گلخانه‌ای مهم در پویایی تغییرات آب و هوایی است. فعالیت‌های انسانی -به‌ویژه احتراق سوخت‌های فسیلی- افزایش قابل‌توجهی در غلظت  $\text{CO}_2$  اتمسفر ایجاد کرده‌اند و در نتیجه به عنوان محرک اصلی گرمایش جهانی عمل می‌کنند. روند انتشار کربن‌دی‌اکسید از محصولات معدنی در بازه زمانی مشخص شده ۲۰۲۳ تا ۲۰۵۰ در جدول (۶) مشخص شده است که بینش‌هایی را در مورد مسیر پیش‌بینی شده انتشار  $\text{CO}_2$  ارائه می‌دهد. این داده‌ها برای درک تأثیر فعالیت‌های انسانی بر جو و تغییرات آب و هوایی آینده بسیار مهم هستند.

در سناریوی اول برای کشور ایران، شوک قیمتی منجر به کاهش تدریجی و مداوم انتشار کربن‌دی‌اکسید 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 بیانگر 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 (Mosavi et al., 2017 and Attílio et al., 2024).

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

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

منبع: یافته‌های پژوهش

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 (Ebaid et al., 2022). اصل اقتصادی منحنی زیست‌محیطی کوزنتس (EKC)<sup>۱</sup> 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 کاهش دهد، اما مقیاس و زمان‌بندی این تأثیرات به شدت به وابستگی‌های بخشی و امکانات فناوری بستگی دارد (Kuznets, 1955).

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، تأثیر 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

1 Environmental Kuznets Curve (EKC)

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 کم کربن 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 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 CO<sub>2</sub> هستند.

نتایج سناریوی اول برای سایر مناطق منجر به تاثیر منفی نسبتاً کمی بر انتشار CO<sub>2</sub> 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 تاخیر، 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 ۸۷/۰- 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 CO<sub>2</sub> شود. این سناریو نشان‌دهنده وجود انگیزه اقتصادی قوی‌تری برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در پی افزایش قیمت نفت نسبت به گاز است، چراکه نفت معمولاً سهم بیشتری در فرآیندهای تولید مواد معدنی وابسته به انرژی در سطح جهانی دارد (Zhou et al., 2021).

## ۸. بحث و نتیجه‌گیری

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 و 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. طبق 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

کم مصرف کربن نسبت داده که این نتیجه هم راستا و هم سو با مطالعه خان و همکاران (۲۰۲۲) و آنتیمانی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۴) است.

برای شرکای تجاری ایران الگوهای متمایز مشابهی را نشان می دهند. تحت شوک قیمت گاز طبیعی، این کشورها کاهش آهسته، اما پیوسته‌ای در انتشار گازهای گلخانه‌ای نشان می دهند که نشان دهنده تقاضای اولیه غیرکشسان برای گاز و به دنبال آن تنظیمات بلندمدت تر شامل پذیرش فناوری و بهینه سازی فرآیند است. در مقابل، شوک های قیمت نفت، کاهش سریع تر و شدیدتر انتشار گازهای گلخانه‌ای را در میان این شرکا تسریع می کند که بیشتر به دلیل وابستگی بیشتر بخش های معدنی آنها به نهاده های نفتی است. این امر انگیزه های قوی تری را برای تغییر به سمت نوآوری های صرفه جویی در انرژی و سوخت های جایگزین ایجاد می کند که با یافته های اقتصادهای توسعه یافته 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 می شود که با کاهش اولیه، بازگشت موقت و در نهایت کاهش پایدار مشخص می شود. این الگو نشان دهنده انعطاف ناپذیری های ساختاری و فناوری همراه با پویایی های گذار نهایی است. در همین حال، شوک های قیمت نفت در این مناطق باعث کاهش پایدارتر و قابل توجه تر انتشار گازهای گلخانه‌ای می شود که نقش محوری نفت را در مصرف انرژی جهانی و فعالیت صنعتی برجسته می کند.

#### ۸-۱. پیشنهاد های کاربردی

پیشنهاد های عملی برگرفته از این مطالعه بر رویکردی چندوجهی برای دستیابی به کاهش قابل توجه انتشار دی اکسید کربن تا سال ۲۰۵۰ تاکید دارند. در درجه اول، نیاز مبرمی به اولویت بندی سرمایه گذاری مالی و حمایت سیاسی از طرح های تحقیق و توسعه متمرکز بر فناوری های تولید پاک تر وجود دارد، از جمله تقویت نوآوری و تسریع انتشار راه حل های پیشرفته فناوری که بهره وری انرژی را افزایش داده و شدت کربن فرآیندهای صنعتی را

1 Antimiani et al.

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<sup>۱</sup> (CCS) را در بخش‌های صنعتی و معدنی تشویق کنند. این فناوری‌ها پتانسیل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای با جذب دی‌اکسید کربن قبل از انتشار آن در جو را 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 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 اینکه 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، عنایت 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

---

1 Carbon Capture and Storage (CCS)

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 آموخته شده 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 پایدار، 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 تاکید 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.

### سپاسگزاری

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

## ORCID

Sanaz Shahbazi



<https://orcid.org/0009-0008-4060-3494>

Hassan Heidari



<http://orcid.org/0000-0002-1776-4520>

Mehdi Nejati



<http://orcid.org/0000-0003-4103-869x>

## منابع

- احمدی ارکمی، علی. (۱۴۰۱). برآورد انتشار گازهای گلخانه ای و بررسی سناریوهای کاهش انتشار سازگار با منطقه در افق ۲۰۳۰ میلادی (مطالعه موردی: استان گیلان، ایران)، سلامت و محیط زیست، فصلنامه انجمن علمی بهداشت محیط ایران، (۱)، ۱۵(۱)، ۱۲۱-۱۳۶.  
DOI: 10.22038/jreh.2022.19745
- امیرنیا، آرام. (۱۴۰۲). تاثیر رشد اقتصادی، مصرف انرژی های تجدیدپذیر و شهرنشینی بر انتشار دی اکسید کربن در کشورهای عضو اوپک، فصلنامه اقتصاد/انرژی ایران، (۴۸)، ۱۲(۴۸)، ۳۰-۱۱.  
DOI: 10.22054/JIEE.2023.72024.1975
- آماده، حمید، غفاری، علیرضا، فرج زاده، زکریا. (۱۳۹۳). تحلیل اثرات محیط زیستی و رفاهی اصلاح یارانه حامل های انرژی (کاربرد الگوی تعادل عمومی محاسبه پذیر)، فصلنامه اقتصاد انرژی ایران، (۱۳)، ۴(۱۳)، ۶۲-۳۳.
- بادینلو، مهدی، خطیب سمنانی، محمدعلی، دامن کشیده، مرجان. (۱۳۹۳). بررسی تاثیر آزادسازی قیمت حامل های انرژی بر روی نااطمینانی تورم در ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی. واحد تهران مرکزی. تهران.
- بلاغی اینالو، یاسر، نجاتی، مهدی، بهمنی، مجتبی، جلالی، سید عبدالمجید (۱۴۰۱). منافع اقتصادی ایران از گسترش روابط تجاری با اتحادیه اقتصادی اوراسیا: رویکرد GDyn. فصلنامه نظریه های کاربردی اقتصاد، (۸)، ۲(۸)، ۱۵۳-۱۳۱.  
DOI: 10.22034/ECOJ.2021.46524.2900
- حاجی پور اپورواری، مریم، نجاتی، مهدی، جلالی اسفندآبادی، عبدالمجید، بهمنی، مجتبی. (۱۴۰۳). بررسی اثر واردات کالاهای فناوری اطلاعات و ارتباطات بر تولید انرژی های تجدیدپذیر، فصلنامه تحقیقات مدل سازی اقتصادی، (۵۱)، ۱۴(۵۱)، ۶۸-۱۱۲.  
DOI: 20.1001.1.22286454.1402.14.51.3.8
- خداویسی، حسن، منتخب، هدایت، مام عزیزی، محمد. (۱۳۹۵). تاثیر آزادسازی قیمت حامل های انرژی بر صنعت قند کشور، فصلنامه تحقیقات اقتصاد کشاورزی، (۴)، ۸(۴)، ۱۸-۱.

شریفی، علیمراد، خوش اخلاق، رحمان، بهاء لو هوره، مرضیه، صادقی همدانی، علی. (۱۳۹۳). ارزیابی افزایش قیمت حامل‌های انرژی بر اشتغال: رویکرد تعادل عمومی محاسبه‌پذیر، فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی، (۴)، ۱۶، ۱۸۰-۱۵۳.

DOI: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.1.0

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

DOI: 10.22096/esp.2013.26166

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

DOI: 20.1001.1.17356768.1396.17.3.3.7

طایی سمیرمی، فاطمه، خلیلیان، صادق، وکیل‌پور، محمدحسن، نجفی علمدارلو، حامد. (۱۳۹۹). بررسی اثرات چندگانه تعدیل قیمت حامل‌های انرژی بر شاخص‌های عمده اقتصادی-زیست محیطی در بخش کشاورزی ایران، فصلنامه اقتصاد کشاورزی و توسعه، (۲)، ۲۹، ۲۴۸-۲۱۵.

DOI: 10.30490/aead.2021.337521.1176

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

DOI: https://doi.org/10.22054/joer.2021.59715.958

فروتن، جلال، هوشمند، محمود، همایونی‌فر، مسعود، 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، عبدالرسول، تکلیف، عاطفه، محمدی، تیمور، محمدیان، فرشته. (۱۳۹۸). تحلیل مقایسه‌ای استراتژی‌های کاهش شدت انرژی در ایران (رهیافت سیستم پویای قیمت انرژی- عرضه انرژی- رشد اقتصادی)، فصلنامه پژوهشنامه اقتصادی، (۷۳)، ۱۹، ۴۵-۱.

DOI: https://doi.org/10.22054/joer.2019.10762

## 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., & Gasim, A. (2021). Energy price reform in Saudi Arabia: Modeling the economic and environmental impacts and understanding the demand response. *Energy Policy*, 148, 111941.
- Alege, P., Oye, Q. E., & Adu, O. (2019). Renewable energy, shocks and the growth agenda: a dynamic stochastic general equilibrium approach. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(1), 160-167.
- Amheka, A., Nguyen, H. T., Yu, K. D., Noach, R. M., Andiappan, V., Dacanay, V. J., & Aviso, K. (2022). Towards a low carbon ASEAN: an environmentally extended MRIO optimization model. *Carbon Balance and Management*, 17(1), 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.
- Atílio, L. A., Faria, J. R., & Silva, E. C. (2024). Countervailing impacts of fossil fuel production and exports of electrical goods on energy transitions and climate change. *Journal of Cleaner Production*, 464, 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. Tehran. [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.
- Barros, L., Klein, T., Kümmel, S., & Noviello, I. (2025). Market definition under the EC Market Definition Notice: substitutability versus homogeneous conditions of competition. *Journal of Antitrust Enforcement*, jnaf013.
- Balaghi Inalo, Y., Nejati, M., Bahmani, M., and Jalaei, A. (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].
- Baz, K., Xu, D., Ali, H., Khan, U., Cheng, J., Abbas, K., & Ali, I. (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*, 373, 133703.
- 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, 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*, 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, *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.
- Environmental Protection Agency (EAP), (2023).
- Eskandaripoura, Z., Esfandiaria, M., Dahmardeha, N., and 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), 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), 53-89. 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. Mashhad. [In Persian].
- García-León, D., Casanueva, A., Standardi, G., Burgstall, A., Flouris, A. D., & Nybo, L. (2021). Current and projected regional economic impacts of heatwaves in Europe. *Nature communications*, 12(1), 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].
- Grillasca, E. A. F. (2025). Economic Complexity. *Center for a New Economy*, 2, 16.
- 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.
- 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].
- Harslett, P. (2013). The GTAP Data Base Construction Procedure.
- Hertel, T. W. (1997). *Global Trade Analysis: Modeling and Applications*. Cambridge. MA, Cambridge University Press.

- Hertel, T. W., and Tsigas, M. E. (1997). Structure of GTAP. In: Hertel T. W. (ed.) global trade analysis: modeling and applications. Cambridge university press, Cambridge.
- Hertel, Thomas W., Alla A. Golub, Andrew D. Jones, Michael O'Hare, Richard J. Plevin, and Daniel M. Kammen. "Center for Global Trade Analysis." [https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/IO/table\\_display.asp?IO\\_ID=434](https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/IO/table_display.asp?IO_ID=434).
- 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.
- 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>.
- Khadavisi, 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].
- 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. No. 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 Critiaue in the Philips Curve and labor Market*. Carnegie Rochester chester Conference Series on Public Policy. North. Holland. Amesterdam. Vol. 1, 19-46.
- Lei, Y. (2025). World Energy Investment Report 2025 of International Energy Agency Launched in Beijing. *China Oil & Gas*, 32(4).
- Man, Y., Yang, S., Xiang, D., Li, X., & Qian, Y. (2014). Environmental impact and techno-economic analysis of the coal gasification process with/without CO2 capture. *Journal of cleaner production*, 71, 59-66.
- 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.* 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. F., & Cigu, E. (2022). The relationship between economic growth and CO2 emissions in EU countries: A cointegration analysis. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 934885..
- Ponce, P., Oliveira, C., Álvarez, V., & del Río-Rama, M. D. L. C. (2020). The liberalization of the internal energy market in the European Union: evidence of its influence on reducing environmental pollution. *Energies*, 13(22), 6116.
- 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(4), 153-180 [In Persian].
- Sen, A. K. (1963). Neo-Classical and Neo-Keynsian Theories of Distribution, The Economic Record. *The Economic Society of Australia*, 39(85), 53-64.
- 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*, 29(2), 215-248 [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].
- 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, C., Wenbin, Z., & 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, 131416.
- Yemelyanov, O., Symak, A., Petrushka, T., Lesyk, R., & Lesyk, L. (2018). Evaluation of the adaptability of the Ukrainian economy to changes in prices for energy carriers and to energy market risks. *Energies*, 11(12), 3529.
- 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.
- Zhang, H., Wang, Y., Zhu, X., & Guo, Y. (2020). The impact of energy trade patterns on CO2 emissions: An emergy and network analysis. *Energy Economics*, 92, 104948.

## پیوست

جدول ۳. اسامی ۱۴۱ کشور و مناطق جهان

| نام                      | نماد | نام               | نماد | نام               | نماد |
|--------------------------|------|-------------------|------|-------------------|------|
| استرالیا                 | AUS  | آمریکای مرکزی     | XCA  | ارمنستان          | ARM  |
| نیوزیلند                 | NZL  | جمهوری دومینیکن   | DOM  | آذربایجان         | AZE  |
| کره جنوبی سایر اقیانوسیه | XOC  | جامائیکا          | JAM  | جورجیا            | GEO  |
| چین                      | CHN  | پورتوریکو         | PRI  | بحرین             | BHR  |
| هنگ کنگ                  | HKG  | ترینیداد و توباگو | TTO  | ایران             | IRN  |
| ژاپن                     | JPN  | کارائیب           | XCB  | اسرائیل           | ISR  |
| کره جنوبی                | KOR  | اتریش             | AUT  | جordan            | JOR  |
| مغولستان                 | MNG  | بلژیک             | BEL  | کویت              | KWT  |
| تایوان                   | TWN  | بلغارستان         | BGR  | عمان              | OMN  |
| سایر شرق آسیا            | XEA  | کرواسی            | HRV  | قطر               | QAT  |
| برونئی دارالسلام         | BRN  | قبرس              | CYP  | عربستان سعودی     | SAU  |
| کامبوج                   | KHM  | جمهوری چک         | CZE  | ترکیه             | TUR  |
| اندونزی                  | IDN  | دانمارک           | DNK  | امارات متحده عربی | ARE  |
| لائوس                    | LAO  | استونی            | EST  | آسیای غربی        | XWS  |
| مالزی                    | MYS  | فنلاند            | FIN  | مصر               | EGY  |
| فلیپین                   | PHL  | فرانسه            | FRA  | مراکش             | MAR  |
| سنگاپور                  | SGP  | آلمان             | DEU  | تونس              | TUN  |
| تایلند                   | THA  | یونان             | GRC  | شمال آفریقا       | XNF  |
| ویتنام                   | VNM  | مجارستان          | HUN  | بنین              | BEN  |
| آسیای جنوب شرقی          | XSE  | ایرلند            | IRL  | بورکینافاسو       | BFA  |
| بنگلادش                  | BGD  | ایتالیا           | ITA  | کامرون            | CMR  |
| هند                      | IND  | لتونی             | LVA  | ساحل عاج          | CIV  |
| نپال                     | NPL  | لیتوانی           | LTU  | غنا               | GHA  |
| پاکستان                  | PAK  | لوکزامبورگ        | LUX  | گینه              | GIN  |
| سرلانکا                  | LKA  | مالت              | MLT  | نیجریه            | NGA  |
| آسیای جنوب شرقی          | XSA  | هلند              | NLD  | سنگال             | SEN  |
| کانادا                   | CAN  | لهستان            | POL  | توگو              | TGO  |

## ادامه جدول ۳.

| نام                 | نماد | نام                       | نماد | نام                      | نماد |
|---------------------|------|---------------------------|------|--------------------------|------|
| ایالات متحده آمریکا | USA  | پرتغال                    | PRT  | آفریقای غربی             | XWF  |
| مکزیک               | MEX  | رومانی                    | ROU  | آفریقای مرکزی            | XCF  |
| آفریقای جنوبی       | XNA  | اسلوواکی                  | SVK  | آفریقای مرکزی جنوبی      | XAC  |
| آرژانتین            | ARG  | اسلونی                    | SVN  | اتیوپی                   | ETH  |
| بولیوی              | BOL  | اسپانیا                   | ESP  | کنیا                     | KEN  |
| برزیل               | BRA  | سوئد                      | SWE  | ماداگاسکار               | MDG  |
| شیلی                | CHL  | بریتانیا                  | GBR  | مالاوی                   | MWI  |
| کلمبیا              | COL  | سوئیس                     | CHE  | موریس                    | MUS  |
| اکوادور             | ECU  | نروژ                      | NOR  | موزامبیک                 | MOZ  |
| پاراگوئه            | PRY  | انجمن تجارت آزاد اروپا    | XEF  | رواندا                   | RWA  |
| پرو                 | PER  | آلبانی                    | ALB  | تانزانیا                 | TZA  |
| اروگوئه             | URY  | بلاروس                    | BLR  | اوگاندا                  | UGA  |
| ونزوئلا             | VEN  | روسیه                     | RUS  | زامبیا                   | ZMB  |
| آمریکای جنوبی       | XSM  | اوکراین                   | UKR  | زیمبابوه                 | ZWE  |
| کاستاریکا           | CRI  | کشورهای اروپای شرقی       | XEE  | آفریقای شرقی             | XEC  |
| گوآتمالا            | GTM  | کشورهای عضو اتحادیه اروپا | XER  | بوتسوانا                 | BWA  |
| هندوراس             | HND  | قزاقستان                  | KAZ  | نامیبیا                  | NAM  |
| نیکاراگوئه          | NIC  | قرقیزستان                 | KGZ  | آفریقای جنوبی            | ZAF  |
| پاناما              | PAN  | تاجیکستان                 | TJK  | بقیه کشورهای جنوب آفریقا | XSC  |
| السالوادور          | SLV  | اتحاد جماهیر شوروی سابق   | XSU  | بقیه جهان                | XTW  |

منبع: پایگاه داده GTAP

**استناد به این مقاله:** شهبازی، ساناز، حیدری، حسن، نجاتی، مهدی. (۱۴۰۳). تاثیر آزادسازی قیمت حامل های انرژی بر متغیرهای زیست محیطی انتشار (CO2) و محصولات معدنی، فصلنامه پژوهشنامه اقتصادی، ۹۵ (۲۴)، ۱۰۳-۱۶۲.



Journal of Economic Research is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License