

Environmental Consequences of Imposing Economic Sanctions in Iran: Applying Dynamic Computable General Equilibrium Model

Behzad Sadeghvand*

Ph.D. Student in Economic Sciences, Department of Economic Sciences, Faculty of Economics and Management, University of Urmia, Urmia, Iran

Hassan Heidari

Professor, Department of Economic Sciences, Faculty of Economics and Management, University of Urmia, Urmia, Iran

Mehdi Nejati

Associate Professor, Department of Economic Sciences, Faculty of Management and Economics, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Abstract

Iran is simultaneously facing the issue of sanctions and their adverse effects on various economic sectors, as well as numerous environmental challenges. The main objective of this research is to examine the extent to which sanctions exacerbate environmental problems in Iran. For this purpose, the effects of sanctions on the increase in carbon dioxide emissions in Iran have been investigated under three scenarios of 60%, 65%, and 70% reductions in oil exports. The GTAP-E-Power model, a computable general equilibrium model, has been dynamically used for this analysis. The results indicate that the total carbon dioxide emissions in Iran increase with the imposition of oil sanctions, and the emissions rise further as the sanctions intensify. When examining carbon dioxide emissions by economic sector, it was found that the electricity production and distribution sector, low-tech manufacturing industries, base-load fossil fuel power generation, and petroleum production were the sectors that not only experienced the highest increase in carbon dioxide emissions but also saw an intensification of emissions as sanctions tightened. In contrast, renewable energy-based power generation and high-tech manufacturing industries either experienced a reduction in carbon dioxide production or a slight increase compared to other sectors under the three scenarios. Based on the results, policy recommendations include lifting sanctions as a macro political and economic priority, investing in petroleum production with access to modern technologies, focusing on the development of renewable resources for electricity generation, strengthening high-tech industries with access to advanced technologies, and concentrating on sectors resilient to sanctions.

Keywords: Economic sanctions, environmental consequences, computable general equilibrium model, Iran.

* Corresponding Author: b.sadeghvand@urmia.ac.ir

How to Cite: xxxxxxxx

پیامدهای محیط زیستی تحریم‌های اقتصادی ایران: کاربرد مدل تعادل عمومی قابل محاسبه‌ی پویا

بهزاد صادق‌وند * ID دانشجوی دکتری رشته علوم اقتصادی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

حسن حیدری ID استاد، گروه اقتصاد، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

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

چکیده

کشور ایران هم‌زمان با مسئله تحریم و اثر سوء آن در بخش‌های مختلف اقتصادی و نیز چالش‌های محیط‌زیستی متعدد مواجه است. بررسی میزان اثرگذاری تحریم‌ها بر تشدید معضلات محیط‌زیستی در ایران هدف اصلی این پژوهش بوده و برای این منظور در قالب سه سناریوی کاهش ۶۰، ۶۵ و ۷۰ درصدی صادرات نفت، اثرات تحریم بر افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن در ایران بررسی شده‌است. برای این منظور از الگوی GTAP-E-Power که یک الگوی تعادل عمومی قابل محاسبه است به‌صورت پویا استفاده شده‌است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که کل انتشار دی‌اکسیدکربن در ایران با اعمال تحریم‌های نفتی افزایش می‌یابد و با تشدید تحریم‌ها بر میزان انتشار آن افزوده می‌شود. در بررسی میزان انتشار دی‌اکسیدکربن به تفکیک بخش‌های اقتصادی مشخص شد بخش‌های تولید و توزیع برق، صنایع با فناوری پایین تولید، تولید برق با سوخت‌های فسیلی بارپایه و تولیدات نفتی به‌عنوان بخش‌هایی بوده‌اند که هم‌بیشترین افزایش را در انتشار دی‌اکسیدکربن داشته‌اند و هم بر شدت این انتشار با تشدید تحریم‌ها افزوده می‌شود؛ در مقابل بخش‌های تولید برق با صنایع تجدیدپذیر بارپایه و صنایع با فناوری بالای تولید بخش‌هایی بوده‌اند که در سه سناریو اعمال شده یا با کاهش در تولید دی‌اکسیدکربن یا با افزایش اندک نسبت به سایر بخش‌ها مواجه گردیده‌اند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده توصیه‌های سیاستی شامل رفع تحریم‌ها به‌عنوان اولویت کلان سیاسی و اقتصادی، سرمایه‌گذاری در حوزه تولید محصولات نفتی با دسترسی به فناوری‌های نوین، تمرکز بر توسعه منابع تجدیدپذیر در تولید برق، تقویت صنایع با فناوری بالا با امکان دسترسی به فناوری‌های پیشرفته و تمرکز بر بخش‌های تاب‌آور در برابر تحریم‌ها پیشنهاد می‌گردد.

کلیدواژه‌ها: تحریم‌های اقتصادی، پیامدهای محیط‌زیستی، مدل تعادل عمومی قابل محاسبه

پویا، ایران

طبقه‌بندی JEL: Q51، F51، D58

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

* نویسنده مسئول: b.sadeghvand@urmia.ac.ir

۱. مقدمه

تحریم، اقدامی برنامه‌ریزی شده از سوی یک یا چند دولت از طریق محدود کردن مناسبات و مبادلات اقتصادی برای اعمال فشار بر کشور هدف با اهداف مختلف سیاسی و اقتصادی است (فلاح‌پور و همکاران، ۱۴۰۱). ایران از جمله کشورهایی است که در تاریخ معاصر خود، به دلایلی مانند ملی‌شدن صنعت نفت، تسخیر سفارت آمریکا، مناقشات هسته‌ای، برنامه موشکی، مسائل حقوق بشری و... با تحریم‌هایی از سوی آمریکا و کشورهای همسو مواجه بوده است. مطالعات متعدد نشان می‌دهد که تحریم‌ها در ایران اثرات منفی بر بخش‌های مختلف اقتصادی داشته‌است. عزتی و همکاران (۱۴۰۱) تأثیر منفی تحریم‌ها بر تولید ناخالص داخلی و درآمد سرانه، فروغی و همکاران (۱۴۰۱) اثر نامناسب تحریم‌های بین‌المللی در میزان بهره‌برداری و بهره‌وری از میادین صنعت نفت، پروین و همکاران (۱۴۰۱) آثار رفاهی تحریم‌های اقتصادی، امیدی فتحکوهی و همکاران (۱۴۰۱) تأثیر منفی تحریم‌ها بر سرمایه‌گذاری، کلیشومی و نیستیکو^۱ (۲۰۲۲) تأثیر سوء تحریم‌ها بر افزایش بیکاری، کمالی دهکردی (۱۳۹۹) تأثیر تکانه تحریم بر افزایش قیمت مسکن، سید نورانی و همکاران (۱۳۹۸) اثر منفی و معنادار تحریم بر عملکرد نظام بانکی و پرت و علیزاده^۲ (۲۰۱۷) اثر تحریم‌ها بر صنعت گردشگری در ایران را طی پژوهش‌هایی مورد بررسی قرار داده‌اند. با این حال، اثرگذاری تحریم بر محیط‌زیست موضوعی است که کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. این مسئله زمانی اهمیت بیشتری می‌یابد که ایران با چالش‌های متعددی در حوزه محیط‌زیست از جمله بحران آب، آلودگی هوا در کلان‌شهرها، خشک‌شدن تالاب‌ها و دریاچه‌ها، فرسایش خاک، تخریب جنگل‌ها و مراتع، مصرف بی‌رویه انرژی و انتشار آلاینده‌ها روبه‌رو بوده و این معضلات محیط‌زیستی پیامدهایی مانند افزایش مهاجرت، تشدید حاشیه‌نشینی، رکود اقتصادی، بیکاری، و افزایش فقر را به همراه داشته‌اند (رنجبر و جمشیدی، ۱۳۹۵).

بنابراین، موضوع تحریم‌ها و چالش‌های محیط‌زیستی می‌تواند در صدر فهرست مشکلات ایران قرار گیرند. اما اینکه تحریم‌ها و تشدید آن تا چه اندازه می‌تواند اثر مخربی بر محیط‌زیست ایران داشته باشند، پرسشی است که این پژوهش به دنبال یافتن پاسخی برای آن است.

^۱ Kelishomi & Nistico (2022)

^۲ Pratt & Alizadeh (2017)

در این مطالعه، از الگوی پروژه تحلیل تجارت جهانی در قالب GTAP-E-Power که یکی از انواع مدل‌های تعادل عمومی قابل محاسبه است، به صورت پویا استفاده شده است. این الگو که یک مدل چندعاملی، چندبخشی و چندمنطقه‌ای است، ابزاری مناسب برای ارزیابی اثرات انتشار گازهای گلخانه‌ای بر اقتصاد و محیط‌زیست در بلندمدت به شمار می‌رود. این مطالعه طی سه سناریو (کاهش ۶۰، ۶۵، و ۷۰ درصدی صادرات نفت ایران) به بررسی اثر تحریم‌های اقتصادی بر تشدید انتشار گاز دی‌اکسید کربن پرداخته است.

۲. پیشینه پژوهش

۲-۱. تحریم‌های اقتصادی و انواع آن

تحریم‌های اقتصادی را می‌توان اقدامات برنامه‌ریزی شده توسط یک یا چند کشور برای اعمال فشار و محدود کردن روابط اقتصادی با کشور هدف برای مقاصد سیاسی تعریف نمود (پرت و علیزاده^۱، ۲۰۱۷)، تحریم‌ها به عنوان جایگزینی ارزان‌تر از مداخله نظامی در نظر گرفته شده (کمپفر و لوئنبگ^۲، ۲۰۰۷) و استفاده از آن به منظور پیگیری اهداف مختلف در طول سال‌ها روند افزایشی به خود گرفته است (غریب‌نواز و واشچیک^۳، ۲۰۱۵). از نظر ماهیت می‌توان تحریم‌ها را به دو دسته تحریم‌های تجاری^۴ و تحریم‌های مالی^۵ تقسیم نمود، تحریم‌های تجاری به دنبال هدف قراردادن ظرفیت‌های واردات و صادرات یک کشور هستند و معمولاً کالاها و خدمات مورد معامله را تحریم می‌کنند، اما تحریم‌های مالی با تحریم بانک‌ها، مؤسسات مالی و افراد، مانع از تراکنش‌های مالی بین‌المللی می‌شود (پرت و علیزاده، ۲۰۱۷)، همچنین تحریم‌ها را از نظر تعداد کشورهای تحریم‌کننده می‌توان به تحریم‌های یک‌جانبه (از طرف یک کشور علیه کشور هدف اعمال شود) و تحریم‌های چندجانبه (بیش از یک کشور در اعمال تحریم سهیم باشند) تقسیم نمود (عزتی و همکاران، ۱۴۰۱).

^۱ Pratt & Alizadeh (2017)

^۲ Kaempfer & Lowenberg (2007)

^۳ Gharibnavaz & waschik (2015)

^۴ Trade Sanctions

^۵ Financial Sanctions

۲-۲. تاریخچه‌ای از تحریم‌های اعمالی بر ایران

ایران از جمله کشورهایی بوده که در تاریخ معاصر خود همواره با مسئله تحریم‌ها مواجه بوده است، این تحریم‌ها از دوران نخست‌وزیری مرحوم مصدق و اقدام شاخص او در ملی کردن صنعت نفت آغاز گردید (عزتی، ۱۳۹۹). نخستین تحریم‌ها پس از انقلاب اسلامی در سال ۱۳۵۷ نیز به دلیل ماجرای تسخیر لانه جاسوسی رخ داد (علینی و خواجه سروری، ۱۴۰۱) و پس از آن عمده بهانه‌های تحریم ایران، حمایت از تروریسم، مناقشات مربوط به برنامه هسته‌ای (غریب‌نواز و واشچیک، ۲۰۱۵) برنامه موشکی و مسائل حقوق بشری بوده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد ایران هم مورد تحریم‌های تجاری و مالی و هم تحریم‌های یک‌جانبه و چندجانبه قرار گرفته است. در بررسی کشورهای تحریم‌کننده ایران ملاحظه می‌گردد ایالات متحده آمریکا از سابقه بیشتری برخوردار بوده (عیسی‌زاده همکاران، ۱۴۰۰) و رفته‌رفته توانسته اتحادیه اروپا را به ویژه در مورد مسائل هسته‌ای با خود علیه ایران همراه نماید و ایران را در معرض چندین قطعنامه شورای امنیت قرار دهد. علاوه بر آن کشورهای دیگر نظیر ژاپن، کانادا و استرالیا نیز تحریم‌های یک‌جانبه‌ای را علیه ایران به اجرا گذاشته‌اند (علینی و خواجه سروری، ۱۴۰۱). در بررسی تحریم‌های انجامی توسط اتحادیه اروپا و آمریکا ملاحظه می‌گردد صنعت نفت و محصولات پتروشیمی، کشتیرانی، بانک مرکزی و مراودات مالی، فلزات و مواد معدنی، قراردادهای تسلیحاتی، بخش خودروسازی، طلا و سنگ‌های قیمتی، سپاه پاسداران انقلاب اسلامی و شرکت‌های وابسته به آن و بسیاری دیگر از بخش‌ها، نهادها و افراد مرتبط با جمهوری اسلامی ایران مورد تحریم‌های شدید قرار گرفته‌اند.

موضوع مهم در تاریخ تحریم‌های ایران به توافق هسته‌ای ایران با گروه ۵+۱ (ایالات متحده، روسیه، چین، انگلیس، فرانسه و آلمان) در سال ۲۰۱۵ برمی‌گردد. ایران در طی سال‌ها همواره بر حق خود مبنی بر استفاده صلح‌آمیز از انرژی هسته‌ای و در سوی مقابل قدرت‌های جهانی به رهبری آمریکا بر اطمینان‌یافتن از عدم امکان تولید و توسعه سلاح‌های هسته‌ای توسط ایران تأکید کرده‌اند که همین امر منجر به شکل‌گیری مذاکرات گسترده‌ای گردید که در نهایت توافق هسته‌ای موسوم برجام (برنامه جامع اقدام مشترک) میان ایران و گروه ۵+۱ در سال ۲۰۱۵ به وقوع پیوست که متعاقب آن ایالات متحده آمریکا متعهد شد به‌ازای پذیرش محدودیت‌های غنی‌سازی اورانیوم از سوی ایران، تحریم‌های

ثانویه^۱ و نفتی ایران را لغو کند که با اجرایی شدن توافق یاد شده، این تصمیم اجرایی شد. بر پایه آمارهای موجود، پس از رفع تحریم‌ها، رشد اقتصادی ایران مثبت و باعث گسترش تجارت خارجی و جذب سرمایه خارجی از سوی ایران در دوره پس‌اقدام گردید؛ اما با روی کار آمدن دونالد ترامپ، زمزمه‌هایی درباره خروج آمریکا از این توافق به گوش رسید که این موضوع در سال ۲۰۱۷ عملی شد و تحریم‌های ایران بازگشت (سید نورانی و همکاران، ۱۳۹۸) و مشکلات ایران در ارتباط با تحریم‌ها تداوم یافت.

۳-۲. اثرگذاری تحریم‌ها بر ایران از منظر مطالعات پیشین

۳-۲-۱: اثرگذاری تحریم‌ها بر بخش‌های مختلف اقتصادی ایران

بررسی اثرگذاری تحریم‌های اعمالی علیه ایران در پژوهش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است، امیدی فتحکوهی و همکاران (۱۴۰۱) با استفاده از سیستم معادلات هم‌زمان و برای سال‌های ۱۳۵۷ تا ۱۳۹۷ نشان دادند که تحریم‌ها بر سرمایه‌گذاری در کشور اثر منفی داشته است.

پژوهش پروین و همکاران (۱۴۰۱) نشان داد که تحریم‌های اقتصادی با افزایش قیمت اقلام اساسی، رفاه جامعه، به‌ویژه طبقات کم‌درآمد را کاهش داد. در شرایط کشش‌ناپذیری عرضه داخلی، امکان جایگزینی واردات محدود شد و اثرات هزینه‌ای تحریم‌ها بر اثرات درآمدی آن غالب گشت. این امر موجب افزایش فقر شد؛ به‌طوری‌که در سال ۱۳۹۸، با تغییرات نرخ ارز، حدود ۵۷۰ تا ۸۰۲ هزار خانوار به گروه فقیر پیوستند.

عیسی‌زاده و همکاران (۱۴۰۰) طی پژوهشی با استفاده از روش کنترل‌ترکیبی^۲ و برای سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ به این نتیجه رسیدند که تحریم‌ها اثر منفی بر تولید ناخالص داخلی و درآمد سرانه داشته است.

آلوش و همکاران^۳ (۲۰۱۹) بر اساس بررسی داده‌های کلان اقتصادی نشان دادند که تحریم‌ها باعث کاهش تولید ملی، افزایش تورم و بیکاری در ایران شده و به‌تبع آن سلامت عمومی جامعه هم از بعد روانی و هم با کاهش دسترسی به داروهای ضروری با خطر مواجه شده است.

^۱ تحریم‌های ثانویه (Secondary Sanctions) تحریم‌هایی هستند که به‌صورت فراسرزمینی، بر نهادها و اشخاص غیرآمریکایی اعمال شده و این نهادها و اشخاص را به دلیل انجام معامله با کشور هدف تحریم، مجازات می‌کنند.

^۲ Synthetic Control Method

^۳ Aloosh et al.

عزتی و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از سیستم معادلات هم‌زمان^۱ نشان دادند که تحریم‌های اقتصادی از کانال کاهش تولید صنعتی، سطح اشتغال در بخش صنعت را کاهش داده است.

نخلی و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از مدل تعادل عمومی پویای تصادفی^۲ و برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱ نشان دادند تحریم‌ها با کاهش میزان سرمایه‌گذاری خارجی و دولتی، سطح فناوری استخراج و صادرات نفت باعث کاهش تولید نفت در ایران شده است.

کمالی دهکردی (۱۳۹۹) طی مطالعه‌ای با استفاده از الگوی خودرگرسیون برداری ساختاری^۳ و برای سری زمانی ۹۷-۱۳۶۳ به این نتیجه رسید که تکانه تحریم باعث افزایش قیمت مسکن در کشور شده است.

سید نورانی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها و الگوریتم بوت استرپ^۴ برای سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ نشان دادند که تحریم اثر منفی و معنی‌دار بر عملکرد بانکی کشور داشته است.

پرت و عزیزاده^۵ (۲۰۱۷) با استفاده از مدل تعادل عمومی قابل محاسبه^۶ و برای سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵ نشان دادند که رفع تحریم‌ها علیه ایران در قالب تفاهم‌نامه برجام باعث توسعه صنعت گردشگری در ایران شده است.

سعادت مهر (۱۳۹۶) با روش الگوی خودرگرسیون برداری با وقفه توزیعی^۷ و برای سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۳ به این نتیجه رسید که تحریم‌ها تأثیر معنادار و منفی بر سرمایه‌گذاری خارجی در کشور داشته است.

۲-۳-۲: اثرگذاری تحریم‌ها بر محیط‌زیست ایران

یکی از حوزه‌های اساسی و بسیار مهم که از تحریم‌ها آسیب‌دیده و به دلایل گوناگون کمتر به آن پرداخته شده است محیط‌زیست می‌باشد (فو و همکاران^۸، ۲۰۲۰). اهمیت

^۱ System of Simultaneous Equations

^۲ Dynamic Stochastic General Equilibrium

^۳ Structural Vector Autoregressions

^۴ Boot Strap Algorithm

^۵ Pratt & Alizadeh.

^۶ Computable General Equilibrium

^۷ Autoregressive Distributed Lag

^۸ Fu et al.

موضوع زمانی آشکارتر می‌شود که ایران در خصوص مسائل محیط‌زیستی با معضلات عدیده‌ای دست‌به‌گریبان می‌باشد که از آن جمله می‌توان به بحران آب، پدیده ریزگردها، آلودگی هوا در کلان‌شهرها، خشک‌شدن تالاب‌ها و دریاچه‌ها، فرسایش خاک و بیابان‌زایی، تخریب جنگل‌ها و مراتع، خشکسالی‌های بلندمدت، مصرف بی‌رویه انرژی و انتشار آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای، فرونشست زمین، نابودی گونه‌های ارزشمند گیاهی و جانوری، افزایش تولید ضایعات و پسماندهای شهری و صنعتی، تغییر کاربری اراضی مستعد جنگلی و کشاورزی، افزایش آلودگی آب، هوا و خاک اشاره نمود که پیامدهایی مانند تضعیف قدرت ملی، افزایش مهاجرت، تشدید حاشیه‌نشینی، صدمات اقتصادی نظیر رکود، بیکاری و افزایش فقر، کاهش سلامت عمومی، تشدید شکاف‌های قومیتی، افزایش نزاع‌های داخلی و خارجی و تشدید نارضایتی عمومی را به دنبال داشته‌است (رنجبر و جمشیدی، ۱۳۹۵). از جمله مطالعاتی که در خصوص اثرگذاری تحریم‌ها بر شاخص‌های محیط زیستی انجام‌یافته می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

هوآنگ و لی^۱ (۲۰۲۲) با استفاده از مدل گرانث ساختاری^۲ برای سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۸ به بررسی اثر تحریم‌ها از جمله تحریم‌های نظامی، تجاری و مالی بر شاخص عملکرد محیط زیستی (EPI^۳) پرداختند. نتایج نشان داد که این تحریم‌ها اثر منفی و معنادار بر امتیاز EPI داشته‌اند. در پژوهش مشابه دیگری (فو و همکاران^۴، ۲۰۲۰) تأثیر تحریم‌های بین‌المللی را بر شاخص عملکرد محیط‌زیستی با استفاده از اثر ثابت تابلویی^۵ برای ۲۲ کشور تحریم شده طی دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ بررسی کردند و نشان دادند تحریم‌های اعمالی چه به‌صورت یک‌جانبه و چه چندجانبه (توسط آمریکا و اتحادیه اروپا) امتیاز این شاخص را کاهش داده است.

در داخل کشور صابرپور و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای با استفاده از روش توصیفی-تحلیلی و جمع‌آوری اطلاعات به‌صورت کتابخانه‌ای به این نتیجه رسیدند که اعمال تحریم‌ها در مورد ایران زمینه‌ساز پیامدهای منفی بر محیط‌زیستی نظیر کاهش درآمد ارزی دولت بر اثر محدودیت در فروش نفت، ایجاد محدودیت در انتقال دانش و فناوری،

¹ Hoang & Lee

² Structural Gravity

³ Environmental Performance Index

⁴ Fu et al.

⁵ Panel fixed effect

محدودیت در واردات بنزین، اخلال در روند آموزشی دانشجویان ایرانی در خارج از کشور و از خارج شدن مسئله محیط‌زیست از شمار اولویت‌های دولت و مردم شده است. فهمی فرد (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای با استفاده از مدل خودرگرسیون برداری ساختاری و توابع عکس‌العمل آنی^۱ به بررسی اثرات شوک‌های تحریم‌های اقتصادی بر شاخص‌های عملکرد محیط‌زیستی ایران پرداخته و نشان داد به ترتیب «شاخص سلامت محیط‌زیست»، «شاخص کلی عملکرد محیط‌زیستی» و «شاخص میزان زنده‌بودن اکوسیستم» از بیشترین اثرپذیری از شاخص‌های تحریم‌های اقتصادی برخوردار بوده‌اند. مصطفوی و همکاران (۱۳۹۴) طی مطالعه‌ای با استفاده از روش علیت سیائو^۲ رابطه علیت تحریم‌های اقتصادی با متغیرهای کلان اقتصادی و آلاینده‌های محیط‌زیستی را مورد آزمون قرار دادند. نتایج پژوهش حاکی بود که رابطه علی معنی‌داری از سوی تحریم‌های اقتصادی با متغیرهای کلان اقتصادی و با انتشار گازهای آلاینده دارند.

۴-۲. وضعیت محیط‌زیست ایران از منظر شاخص‌های بین‌المللی

الف. شاخص عملکرد محیط‌زیستی

شاخص عملکرد محیط‌زیستی^۳ که به اختصار EPI نامیده می‌شود نتیجه پروژه‌ای مشترک بین مرکز قانون و سیاست محیط زیستی ییل^۴ و مرکز شبکه جهانی اطلاعات علوم زمین^۵ در مؤسسه زمین‌شناسی دانشگاه کلمبیا است. انتشار این گزارش‌ها که از سال ۲۰۰۶ شروع گردیده هر دو سال یکبار صورت می‌گیرد. این شاخص ترکیبی از سه محور اصلی «سرزندگی محیط‌زیست»^۶، با ضریب ۰/۴۵؛ «سلامت محیط‌زیست»^۷ با ضریب ۰/۲۵ و «تغییرات آب‌وهوایی»^۸ با ضریب ۰/۳۰ است. در سال ۲۰۲۴، ایران در محور «سرزندگی محیط‌زیست» با امتیاز ۴۵/۹ در رتبه ۱۱۶، در محور «سلامت محیط‌زیست» با امتیاز ۴۱/۶ در رتبه ۹۸ و در «تغییرات آب‌وهوایی» با امتیاز ۳۵/۱ در جایگاه نامناسب ۱۳۲ در میان ۱۸۰ کشور مورد بررسی قرار گرفته است. سه محور گفته شده در یک تقسیم‌بندی جزئی‌تر

^۱ Impulse Response Function

^۲ Cause of Cio

^۳ Environmental Performance Index

^۴ Yale Center for Environmental Law & Policy

^۵ Center for International Earth Science Information Network

^۶ Ecosystem Vitality

^۷ Environmental Health

^۸ Climate Change Performance

شامل ۱۱ طبقه‌بندی موضوعی می‌گردند که کشور ایران در محور موضوعی «کشاورزی» با امتیاز ۳۷/۸ در رتبه ۱۵۹، «قرارگرفتن در معرض فلزات سنگین» با امتیاز ۲۶/۸ در رتبه ۱۵۶ و «کاهش تغییرات اقلیمی» با امتیاز ۳۵/۱ در جایگاه ۱۳۲ قرار گرفته و بدترین عملکرد را در مقایسه با ۱۸۰ کشور مورد بررسی داشته است. ایران همچنین در موضوع‌های «تنوع زیستی» با امتیاز ۴۲/۹ در رتبه ۱۱۴، «منابع آب» با امتیاز ۲۸/۷ در جایگاه ۱۰۸، «کیفیت هوا» با امتیاز ۳۶/۹ در رتبه ۱۰۲ و «آلودگی هوا» با امتیاز ۷۰/۷ در جایگاه ۹۷ قرار گرفته است. همچنین در موضوعات «مدیریت پسماند (زباله‌ها)»، «بهداشت ناایمن و آب آشامیدنی ناسالم» و «شیلات» با امتیازهای ۳۱.۷، ۶۵.۶ و ۶۳.۳ به ترتیب در رتبه‌های ۸۸، ۶۴ و ۶۳ قرار گرفته و بهترین عملکرد را در میان موضوعات طبقه‌بندی شده شاخص EPI در بین سایر کشورها داشته است.

نکته دیگر آنکه از سال ۲۰۰۶ که این گزارش به‌صورت دوسالانه منتشر شده است در هر دوره تغییراتی در ساختار، شاخص‌های عملکردی، ضرایب این شاخص‌ها و تعداد کشورهای مورد بررسی به وجود آمده و همین امر امکان بررسی جایگاه ایران در شاخص EPI از منظر شاخص‌های عملکردی و نیز مقایسه جایگاه ایران با سایر کشورها را تحت‌الشعاع قرار داده اما به‌منظور ارائه یک نگرش کلی رتبه و امتیاز ایران در این شاخص در جدول ۱ آورده شده است:

جدول ۱. امتیاز و رتبه ایران در شاخص عملکرد محیط‌زیستی

سال	تعداد کشورهای مورد بررسی	امتیاز ایران	رتبه ایران
۲۰۰۶	۱۳۳	۷۰	۵۳
۲۰۰۸	۱۴۹	۷۶/۹	۶۷
۲۰۱۰	۱۶۳	۷۸	۶۰
۲۰۱۲	۱۳۲	۷۳/۴۲	۱۱۴
۲۰۱۴	۱۷۸	۵۱/۰۸	۸۳
۲۰۱۶	۱۸۰	۶۶/۳۲	۱۰۵
۲۰۱۸	۱۸۰	۵۸/۱۶	۸۰
۲۰۲۰	۱۸۰	۴۸	۶۷
۲۰۲۲	۱۸۰	۳۴/۵۰	۱۳۳
۲۰۲۴	۱۸۰	۴۱/۶	۱۱۲

باتوجه به جدول فوق می توان گفت که در سال ۲۰۰۶ نسبت به سال ۲۰۲۴ امتیاز ایران از ۷۰ به ۴۱.۶ و رتبه کشور از ۵۳ (در بین ۱۳۳ کشور) به ۱۱۲ (در بین ۱۸۰ کشور) تنزل کرده است که نشان از بدتر شدن وضعیت ایران در شرایط محیط زیستی دارد، همچنین بررسی جایگاه و رتبه ایران در سال ۲۰۲۴ نسبت به سال ۲۰۱۶ که تعداد کشورهای بررسی کننده با ۱۸۰ کشور ثابت بوده است نیز نشان از کاهش رتبه و امتیاز این کشور دارد که بر موضوع تضعیف عملکرد ایران در حوزه محیط زیست صحنه می گذارد.

ب) شاخ رقابت پذیری پایدار

شاخص جهانی رقابت پذیری پایدار^۱، رقابت پذیری و پایداری کشورها را بر اساس ۱۹۰ شاخص کمی مشتق شده از سازمان های بین المللی (بانک جهانی، صندوق بین المللی پول، سازمان ملل و...) اندازه گیری می کند و برای اولین بار در سال ۲۰۱۲ منتشر گردیده است. رقابت پایدار توانایی تولید و حفظ ثروت فراگیر بدون کاهش توانایی نسل های آینده، برای حفظ یا افزایش سطح ثروت فعلی است. شاخص رقابت پذیری پایدار دارای ۶ رکن با (ضرب) اهمیت یکسان است که شامل کارایی حکمرانی^۲، سرمایه فکری و نوآوری^۳، سرمایه طبیعی^۴، سرمایه اجتماعی^۵، بهره وری منابع^۶ و پایداری اقتصاد^۷ می گردد. در جدول ۲ جایگاه ایران در این شاخص در سال ۲۰۲۲ در میان ۱۸۲ کشور دنیا ارائه شده است. لازم به ذکر است در هر محور نمره از صفر تا صد منظور می شود که نمره ۱۰۰ بهترین و صفر بدترین وضعیت را نشان می دهد.

جدول ۲. رتبه و امتیاز کشور در شاخص رقابت پذیری پایدار

شاخص / رکن	امتیاز	رتبه
شاخص رقابت پذیری پایدار	۳۷/۱	۱۵۱
کارایی حکمرانی	۴۱/۳	۱۱۹
سرمایه فکری و نوآوری	۵۴/۹	۲۲
سرمایه طبیعی	۳۲/۹	۱۴۵
سرمایه اجتماعی	۳۸/۴	۱۳۵

^۱ Global Sustainable Competitiveness Index

^۲ Governance Efficiency

^۳ Intellectual Capital and Innovation

^۴ Natural Capital

^۵ Social capital

^۶ Resource Efficiency and Intensity

^۷ Economic Sustainability

بهره‌وری منابع	۲۲/۸	۱۸۲ (رتبه آخر)
پایداری اقتصاد	۳۲	۱۷۳

بر مبنای اطلاعات ارائه شده ایران در شاخص «رقابت‌پذیری پایدار» با امتیاز ۳۷/۱ در جایگاه ۱۵۱ در میان سایر کشورها قرار گرفته است. در دو رکن «بهره‌وری منابع» و «سرمایه طبیعی» که به طور مستقیم با محیط‌زیست ارتباط دارند ایران در رکن «بهره‌وری منابع» با امتیاز ۲۲/۸ در جایگاه ۱۸۲ و آخر و در رکن «سرمایه طبیعی» با امتیاز ۳۲/۹ در جایگاه ۱۴۵ در بین سایر کشورهای دنیا جای گرفته است. در رکن‌های «پایداری اقتصاد» و «کارایی حکمرانی» نیز که عملکردشان تحت تأثیر تحریم قرار می‌گیرد رتبه‌های نامناسب ۱۷۳ و ۱۱۹ را در بین سایر کشورها کسب نموده است. لازم به ذکر است کشور ایران در دو رکن دیگر این شاخص یعنی «سرمایه اجتماعی» و «سرمایه فکری» با امتیازهای ۳۸/۴ و ۵۴/۹ در رتبه‌های ۱۳۵ و ۲۲ در بین سایر کشورها قرار گرفته‌اند.

۲-۵. بررسی مکانیزم اثرگذاری تحریم‌ها بر تخریب محیط‌زیست

موضوع مهمی که در این قسمت از پژوهش مورد بررسی قرار گرفته این است که تحریم‌ها چگونه باعث تشدید بحران‌های محیط‌زیستی می‌گردند و آیا این فرایند تأثیرگذاری در ایران هم به وقوع پیوسته است؟ سؤال مهمی که پاسخ به آن در پژوهش‌های پیشین گوناگون مورد بحث قرار گرفته که با بررسی آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱. از اولویت خارج شدن مسأله محیط‌زیست برای دولت‌ها به دلیل ایجاد و تشدید مشکلات اقتصادی ناشی از تحریم‌ها:

تحریم‌ها با ایجاد اختلال در روابط تجاری و مالی، کاهش رشد اقتصادی، ایجاد نوسانات ارزی، افزایش تورم، افزایش ریسک اقتصادی و به تبع آن کاهش سرمایه‌گذاری خارجی، کاهش اشتغال و کاهش سهم کشور از بازارهای جهانی باعث ایجاد بحران‌های اقتصادی و امنیتی در کشور مدنظر شده و در نتیجه توجه به آسیب‌های محیط‌زیستی از اولویت سیاست‌گذاری آن کشور خارج می‌گردد (چن و همکاران^۱، ۲۰۱۹). در تحقیقی که توسط خلیلی و همکاران (۲۰۱۸) در ایران انجام شد نیز به این نتیجه رسیدند که تحریم‌ها موجب کاهش اولویت محیط‌زیست در سیاست‌های دولتی ایران شده است.

^۱ Chen et al.

۲- کاهش کنترل‌های محیط‌زیستی توسط دولت‌های تحریم‌شده باهدف تشویق کسب‌وکارهای آسیب‌دیده از تحریم:

از آنجایی که تحریم‌ها باعث ایجاد مشکلات برای بنگاه‌های اقتصادی مانند عدم سرمایه‌گذاری‌های لازم و عدم امکان استفاده از فناوری‌های تولید پیشرفته می‌گردد، دولت‌های تحریم‌شده باهدف تشویق کسب‌وکارهای آسیب‌دیده از تحریم‌ها، کنترل‌های محیط‌زیستی؛ مانند انتشار آلاینده‌ها و تخلیه پسماندهای تولیدی را نادیده می‌گیرند (کولستاد و همکاران^۱، ۲۰۱۶). در ایران نیز صادقی و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند به دلیل تحریم‌ها، دولت ایران برای کاهش اثرات اقتصادی بحران‌ها، برخی از قوانین و کنترل‌های محیط‌زیستی را کاهش داده که این کاهش نظارت‌ها باعث افزایش آلودگی‌ها و تخریب محیط‌زیست در صنایع ایران شده است.

۳- از اولویت خارج شدن مسئله محیط‌زیست به دلیل کاهش رفاه و درآمد عمومی از سوی مردم:

با توجه به اینکه تحریم‌ها باعث کاهش درآمد و افزایش بیکاری در جامعه می‌گردند، توجه به محیط‌زیست از اولویت عمومی خارج می‌شود، به عنوان مثال درحالی که محصولات سبز عمدتاً قیمت بالایی دارند، اعمال تحریم‌ها می‌تواند منجر به کاهش مصرف سبز و به تبع آن تخریب بیشتر محیط‌زیست گردد. علی‌پور و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی با تمرکز بر رفتار مصرف‌کنندگان ایرانی در شرایط تحریم، نشان دادند که مردم بیشتر به مسائل اقتصادی و معیشتی توجه می‌کنند و ترجیح می‌دهند که از خرید محصولات سبز که قیمت بالاتری دارند خودداری کنند.

۴- محدود شدن دستیابی به فناوری‌های روز دنیا به دلیل تنگناهای ناشی از تحریم‌ها:

با محدود کردن دستیابی به فناوری‌های کارآمدتر، تحریم‌ها می‌توانند منابع طبیعی را تحت فشار قرار دهند و عملکرد محیط‌زیستی را تخریب کنند (خالد و همکاران^۲، ۲۰۲۴). از آنجایی که تحریم‌های اقتصادی مانع واردات کالاها و خدمات مبتنی بر فناوری‌های جدید می‌شود، استفاده از فناوری‌های بروز در مقابله با مسائل و معضلات محیط‌زیستی برای دولت‌ها دشوار می‌گردد (صابرپور و همکاران، ۱۴۰۰). در مورد ایران خالد و

¹ Kolstad et al.

² Khalid et al.

همکاران (۲۰۲۴) در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که تحریم‌ها موجب کاهش توانایی ایران در واردات فناوری‌های پیشرفته شده و این امر باعث افزایش فشار بر منابع طبیعی گردیده است. این تحقیق که با روش تحلیل مقایسه‌ای و بررسی موارد مشابه در کشورهای تحریم‌شده انجام شد، نشان داد که عدم دسترسی به فناوری‌های نوین در ایران موجب کاهش کارایی در مدیریت منابع طبیعی و حفاظت از محیط‌زیست شده است.

۵- کاهش بهره‌وری نیروی انسانی و عوامل فیزیکی به دلیل تحریم‌ها و ایجاد فشار مضاعف بر محیط‌زیست:

تحریم‌ها به طرق مختلف از جمله کاهش ارتباطات کارشناسان و نیروی کار خبره با دنیای بیرون و عدم دسترسی به آخرین فناوری‌ها باعث می‌گردد از بهره‌وری نیروی کار کاسته شود و از این طریق باعث کاهش کیفیت سرمایه انسانی و به تبع آن مشارکت کمتر آن‌ها در رشد اقتصادی می‌گردد. از سوی دیگر عدم دسترسی به آخرین تجهیزات تولید به‌خاطر تحریم‌ها از بهره‌وری عوامل فیزیکی تولید می‌کاهد (هوآنگ و لی^۱، ۲۰۲۲). محمودی و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه خود نشان دادند که به دلیل تحریم‌ها، صنایع ایران به فناوری‌های روز دنیا دسترسی کافی ندارند و این امر بهره‌وری کار و تجهیزات تولید را کاهش داده است. این تحقیق که به صورت پیمایشی انجام شده است، بر کاهش کیفیت تولید و افزایش آلودگی‌ها در صنعت ایران تأکید می‌کند.

۶- کاهش کمک‌های بین‌المللی به دلیل تحریم‌ها و تشدید مشکلات محیط زیستی در کشور تحریم شده:

تحریم‌ها با کاهش کمک‌های نظامی و مالی بین‌المللی معضلات محیط‌زیستی مانند کاهش امید به زندگی، افزایش مرگ‌ومیر نوزادان، کمبود غذا و آب آشامیدنی و عدم دسترسی به مراقبت‌های بهداشتی و دارویی را تشدید می‌کنند (گارفیلد^۲، ۲۰۰۲). حسینی و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که تحریم‌ها کاهش شدید کمک‌های بین‌المللی در پروژه‌های محیط‌زیستی را در ایران به دنبال داشته و به دلیل کاهش کمک‌ها، ایران برای مقابله با مشکلات محیط‌زیستی مانند کمبود آب و آلودگی‌های صنعتی با مشکلات جدی مواجه شده است.

¹ Le & Hoang

² Garfield

۷- تشدید اتکا به منابع طبیعی در کشورهای توسعه نیافته‌ی تحریم شده و تخریب بیشتر محیط زیست:

بررسی‌ها نشان می‌دهد آسیب‌های محیط‌زیستی ناشی از تحریم‌ها در کشورهای توسعه نیافته به دلیل عدم توسعه مناسب زیرساخت‌های تکنولوژیکی و اتکا به منابع تولیدی وابسته به منابع طبیعی بیشتر باشد (هوآنگ و لی^۱، ۲۰۲۲). در تحقیقی که توسط رضایی و همکاران (۲۰۲۰) انجام شد، نشان داده شد تحریم‌ها موجب کاهش سرمایه‌گذاری در بخش‌های اقتصادی شده و ایران را به استفاده بیشتر از منابع طبیعی برای جبران این کمبودها سوق داده است.

به دلیل اینکه هدف اصلی این مطالعه، بررسی اثرات کاهش صادرات نفت بر میزان انتشار دی‌اکسید کربن در ایران می‌باشد، لذا در ادامه به بررسی کانال‌های اثر گذاری شوک ناشی از کاهش صادرات نفت بر انتشار دی‌اکسید کربن به لحاظ تئوریک پرداخته شده است.

۶-۲. بررسی تئوریک مسیرهای اثرگذاری کاهش صادرات نفت بر انتشار

دی‌اکسید کربن

کاهش صادرات نفت می‌تواند اثرات محیط‌زیستی و اقتصادی متعددی داشته باشد:

۱. کاهش انتشار دی‌اکسید کربن: اگر کاهش صادرات به کاهش تولید نفت منجر شود و انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از استخراج، فراوری و حمل و نقل نفت نیز کاهش یابد.
۲. تأثیر اقتصادی و انرژی بر بودن صنایع جایگزین: کشورهای صادرکننده برای جبران درآمد نفتی ازدست‌رفته، ممکن است صنایع آلاینده مانند پتروشیمی و فولاد را توسعه دهند که مصرف انرژی و آلودگی محیط‌زیستی بالایی دارند (براون و همکاران^۲، ۲۰۲۱).
۳. تأثیر بر انرژی‌های تجدیدپذیر: کاهش درآمدهای نفتی می‌تواند بودجه سرمایه‌گذاری در پروژه‌های انرژی پاک مانند خورشیدی و بادی را محدود کند (سازمان انرژی جهانی^۳، ۲۰۲۳).
۴. تغییر رفتار مصرف‌کنندگان: افزایش قیمت نفت ممکن است موجب استفاده از وسایل نقلیه قدیمی‌تر و کم‌بازده‌تر شود که آلاینده‌گی بیشتری دارند (گرین و لی^۴، ۲۰۲۰).
- ۵- از اولویت خارج شدن مسائل محیط زیستی

¹ Le & Hoang

² Brown et al.

³ International Energy Agency (IEA)

⁴ Green, P., & Lee,

با کاهش درآمدهای نفتی، دولت ممکن است ناچار شود تمرکز خود را از مسائل محیط زیستی برداشته و بر حل بحران‌های اقتصادی متمرکز شود. این وضعیت می‌تواند منجر به کاهش نظارت‌های محیط‌زیستی و افزایش آلودگی شود (آدوم^۱ و همکاران، ۲۰۱۸).

۶. جایگزینی با سوخت‌های آلاینده‌تر: قیمت بالاتر نفت ممکن است برخی کشورها را به استفاده از جایگزین‌هایی مانند زغال‌سنگ که آلاینده‌گی بیشتری دارد، سوق دهد (سازمان انرژی جهانی، ۲۰۲۳).

طبق مطالب عنوان شده، کاهش صادرات نفت می‌تواند به کاهش انتشار دی‌اکسید کربن به دلیل کاهش تولید نفت، فراوری و استخراج آن و افزایش انتشار دی‌اکسید کربن به دلیل توسعه صنایع آلاینده، کاهش منابع برای توسعه انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر، از اولویت خارج شدن مسائل محیط زیستی برای دولت و مردم و استفاده بیشتر از منابع آلاینده گردد. داده‌های ارائه‌شده توسط اوپک، شواهد آماری مستندی از اثرگذاری تحریم‌ها بر کاهش صادرات نفت ایران و به تبع آن تغییرات احتمالی در شاخص‌های محیط‌زیستی فراهم می‌آورد. کاهش چشمگیر صادرات نفت در فاصله ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۰ پیامدهای عمیقی بر اقتصاد و محیط‌زیست کشور داشته و شناسایی این پیامدها برای سیاست‌گذاری مناسب ضروری است. تحلیل دقیق این داده‌ها در قالب مدل‌های اقتصادی، مانند GTAP-E-Power، به سیاست‌گذاران کمک می‌کند تا استراتژی‌هایی کارآمد برای کاهش اثرات منفی این تحریم‌ها بر محیط‌زیست تدوین کنند.

۳- روش

۱-۳. الگوی پروژه تحلیل تجارت جهانی^۲

در این مطالعه برای بررسی نتایج کمی پژوهش از الگوی پروژه تحلیل تجارت جهانی^۳ در قالب GTAP-E-Power که از انواع الگوهای تعادل عمومی قابل محاسبه است، به صورت پویا استفاده شده است. GTAP یک شبکه جهانی از محققان و سیاست‌گذاران است که تجزیه و تحلیل کمی مسائل مربوط به سیاست بین‌المللی را انجام داده و هدف آن بهبود

^۱ Adom

^۲ منبع مورد استفاده سایت رسمی الگوی تجارت جهانی به نشانی <https://www.gtap.agecon.purdue.edu>

^۳ Global Trade Analysis Project

پس انداز با حداکثرسازی تابع مطلوبیت کاب-داگلاس^۱ توزیع می شود، خطوط سبز رنگ در شکل بیانگر این توزیع است به گونه ای که سهمی از درآمد منطقه ای که به خانوار-خصوصی اختصاص یافته با PRIVEXP، سهمی که برای پس انداز در نظر گرفته شده با SAVE و سهم اختصاص یافته به دولت با GOVEXP نشان داده شده است. پس انداز یک کالای واحد و به صورت سرمایه گذاری (NETINV) در اختیار تولیدکننده قرار می گیرد، درحالی که مخارج خصوصی خانوار و دولتی از توابع مطلوبیت (فرعی) برای تعیین مصرف هر محصول داخلی استفاده می کنند و تحت عنوان VDPA (ارزش کالاهای داخلی خریداری شده توسط خانوار-خصوصی به قیمت عوامل) و VDGA (ارزش کالاهای داخلی خریداری شده توسط دولت) به تولیدکننده متصل می گردند که در شکل ۳ با جریان خطوط سیاه مشخص شده است، همچنین ارزش کالاهای وارداتی خریداری شده توسط خانوار-خصوصی به قیمت عوامل (VIPI) و ارزش کالاهای وارداتی خریداری شده توسط دولت به قیمت عوامل (VIGI) که با خطوط آبی در شکل مشخص شده اند ارتباط مدل با جهان خارج از مدل را مشخص می کند. قسمت دیگر از ارتباط با مابقی جهان (خطوط آبی در مدل) به تولیدکننده مربوط است به گونه ای که تولیدکننده می تواند نهاده های واسطه خارجی (VIFA) را با نهاده های داخلی (VDFA) جایگزین کند، بنگاه ها همچنین می توانند محصولات تولیدی را صادر کنند که ارزش کالاهای صادراتی بنگاه با VXMD نشان داده شده است.

مدل GTAP-E-Power

در این مطالعه، از نسخه توسعه یافته GTAP با نام GTAP-E-Power استفاده شده است. این نسخه برای تحلیل مسائل مربوط به انرژی، برق، و اثرات محیط زیستی طراحی شده و به صورت پویا قادر به شبیه سازی تغییرات در طول زمان بوده و دارای ویژگی های خاص زیر است:

۱. تمرکز بر بخش انرژی و برق.
۲. تحلیل تعاملات اقتصادی با تأکید بر تغییرات انتشار آلاینده ها و مصرف انرژی.
۳. قابلیت ارزیابی سیاست های محیط زیستی و تغییرات فناوری در بخش های انرژی.

¹ Cobb-Douglas Utility Function

GTAP-E نسخه‌ای از مدل GTAP است که شامل سرمایه - انرژی^۱ و جایگزینی بین سوخت است و به طور گسترده برای تجزیه و تحلیل انرژی جهانی استفاده می‌شود. همچنین GTAP-Power یک تفکیک از پایگاه داده GTAP است که برق ("ely") را به انتقال و توزیع ("TnD") و همچنین ۱۱ فناوری تولید (شامل هسته‌ای، زغال سنگ، بار پایه گاز، بار پیک گاز، بار پایه نفت، بار پیک نفت، بار پایه هیدرولیکی، بار پیک آبی، بادی، خورشیدی، و فناوری‌های تولید برق) تقسیم می‌کند. در فرمت GTAP-E-Power یک کالای برق مجازی^۲ که ترکیبی از چندین کالا است، جایگزین بخش برق GTAP-E می‌شود. این کالاهای مجازی صرفاً تجمع کالاهای تولید شده واقعی در پایگاه داده (مانند هسته‌ای یا زغال سنگ) هستند.

مدل Dynamic GTAP

GDyn نتیجه تحقیقات مستمر باهدف گسترش چارچوب مدل سازی استاندارد GTAP برای ترکیب رفتار پویا است به گونه‌ای که شامل تمام ویژگی‌های خاص مدل استاندارد GTAP، مانند خواسته‌های پیچیده مصرف کننده و تحرک عوامل بین بخشی و همچنین ترکیب یک رفتار جدید از رفتار سرمایه گذاری و روابط حسابداری اضافی می‌گردد. از مدل GDyn می‌توان برای تعیین اینکه چگونه تغییرات حوزه‌های مختلف نظیر سیاست و جمعیت در طول زمان بر مسیر اقتصاد تأثیر می‌گذارد، استفاده کرد.

۲-۳. معادلات اساسی مدل‌های CGE

در این قسمت معادلات اساسی مدل های CGE در حالت های ایستا و پویا و نیز لحاظ کردن نیروی برق در مدل به طور خلاصه ارائه شده است.

۱. معادلات CGE در حالت ایستا

۱-۱. تابع تولید

در این مدل تابع تولید معمولاً به صورت تابع تولید کاب-داگلاس^۳ یا کشش جانشینی ثابت^۴ مدل سازی می‌شود:

^۱ Capital-Energy

^۲ Virtual Electricity Good

^۳ Cobb-Douglas production function

^۴ Constant elasticity of substitution (CES)

$$Q_i = A_i \cdot \left(\sum_j a_{ij} \cdot X_{ij}^\rho \right)^{\frac{1}{\rho}} \quad (1)$$

که در آن Q_i تولید بخش i ، A_i بهره‌وری تکنولوژیکی در بخش i ، x_{ij} مصرف نهاده j در تولید بخش i ، a_{ij} ضرایب تکنولوژیکی و ρ پارامتر تعیین‌کننده کشش جانشینی بین نهاده‌ها است.

۲-۱. تابع تقاضای نهایی

تقاضای نهایی شامل مصرف خصوصی، مصرف دولتی و سرمایه‌گذاری است که صورت زیر مدل‌سازی می‌شود:

$$U = \left(\sum_i b_i C_i^\theta \right)^{\frac{1}{\theta}} \quad (2)$$

که در آن U سطح مطلوبیت، C_i مصرف کالا یا خدمت i ، b_i ضرایب ترجیحی برای کالا یا خدمت و θ پارامتر تعیین‌کننده کشش جانشینی بین کالاها می‌باشد.

3-1. تعادل بازار کالاها

تعادل در بازار هر کالا مستلزم این است که عرضه برابر با تقاضا باشد:

$$Q_i = C_i + I_i + G_i + E_i - M_i \quad (3)$$

که در آن C_i مصرف خصوصی، I_i سرمایه‌گذاری، G_i مخارج دولتی، E_i صادرات و M_i واردات است.

۴-۱. تعادل بازار عوامل تولید:

$$\sum F_k = \sum L_l \quad (4)$$

که در آن F_k عرضه عامل تولید k و L_l تقاضای عامل تولید l است.

۵-۱. تعادل بودجه دولت

بودجه دولت باید تعادل داشته باشد، به این معنا که مجموع درآمدهای دولت برابر با مجموع مخارج آن باشد:

$$G = T + TR \quad (5)$$

که در آن G مخارج دولت و TR انتقالات خالص دولت است.

۶-۱. تراز تجاری

تراز تجاری نشان‌دهنده تفاوت بین ارزش صادرات و واردات است:

$$\sum_i P_i^E \cdot E_i = \sum_i P_i^M \cdot M_i \quad (6)$$

که در آن P_i^E قیمت صادراتی کالای i و P_i^M قیمت کالای i وارداتی است.

این معادلات اساسی ساختار مدل GTAP را تشکیل می‌دهند و برای تحلیل تعادل عمومی

در اقتصادهای باز به کار می‌روند (هرتل^۱، ۱۹۹۷).

۲. معادلات CGE در حالت پویا^۲

۲-۱. معادله سرمایه‌گذاری و انباشت سرمایه

در مدل‌های DCGE سرمایه‌گذاری و انباشت سرمایه به صورت پویا مدل‌سازی می‌شوند و

معادله انباشت سرمایه به صورت زیر است:

$$K_{i,t+1} = K_{i,t} + I_{i,t} - \delta K_{i,t} \quad (7)$$

که در آن $K_{i,t}$ موجودی سرمایه در بخش i در زمان t ، δ نرخ استهلاک سرمایه و $I_{i,t}$

سرمایه‌گذاری در بخش i در زمان t می‌باشد (پالتسف^۳ و همکاران، ۲۰۱۳).

۲-۲. معادله تولید و رشد اقتصادی

در این مدل، تولید در طول زمان از تابع تولیدی مشابه با تابع کاب داگلاس پیروی می‌کند.

معادله تولید به شکل زیر است:

$$Y_t = A_t \cdot K_t^\alpha \cdot L_t^\beta \quad (8)$$

که در آن Y_t تولید در زمان t ، K_t سرمایه در زمان t ، L_t نیروی کار در زمان t و α و β

ضرایب مربوط به سرمایه و نیروی کار هستند

۲-۳. معادله تقاضای مصرف خانوار (کهو و رول^۴، ۲۰۰۵)

$$C_t = \gamma \cdot Y_t \cdot (1 - \rho^t) \quad (9)$$

ρ^t)

¹ Hertel

² Dynamic CGE (DCGE)

³ Paltsev

⁴ Kehoe & Ruhl

که در آن C_t مصرف خانوار در زمان t ، Y_t درآمد خانوار در زمان t ، γ ضریب مصرف و ρ نرخ بهره روی است (هرتل^۱ و همکاران، ۲۰۰۷).

۳. معادلات مدل GTAP-E-Power

مدل GTAP-E-Power نسخه‌ای از GTAP-E است که به‌طور خاص برای مدل‌سازی بخش برق طراحی شده و در این مدل، تولید و مصرف برق به‌صورت پویا و براساس منابع مختلف انرژی مانند سوخت‌های فسیلی و انرژی‌های تجدیدپذیر شبیه‌سازی می‌شود.

۳-۱. معادله تولید برق:

در GTAP-E-Power تولید برق به‌صورت ترکیبی از منابع مختلف انرژی مدل می‌شود. معادله تولید برق به شکل زیر است:

$$P_{\{elec,t\}} = \sum \alpha_k \cdot Q_{\{k,t\}} \cdot Eff_k \quad (10)$$

که در آن $P_{\{elec,t\}}$ تولید برق در زمان t ، α_k سهم هر منبع انرژی در تولید برق، $Q_{\{k,t\}}$ مقدار منابع انرژی در زمان t و Eff_k راندمان تبدیل انرژی به برق از هر منبع است.

۳-۲. معادله بار پایه و پیک بار:

بار پایه و پیک بار مصرف برق در این مدل به‌طور جداگانه محاسبه می‌شود:

برای بار پایه:

$$B_{\{base,t\}} = \sum \beta_i \cdot D_{\{i,t\}} \cdot Util_i \quad (11)$$

و برای پیک بار:

$$B_{\{peak,t\}} = \sum \gamma_i \cdot D_{\{i,t\}} \cdot PeakEff_i \quad (12)$$

که در آن $B_{\{base,t\}}$ و $B_{\{peak,t\}}$ بار پایه و پیک بار در زمان t ، β_i و γ_i ضریب مصرف برق در بخش i و $D_{\{i,t\}}$ تولید یا تقاضای بخش i در زمان t می‌باشد (برنیو و ترونک^۲، ۲۰۰۲).

۳-۳. مدل و داده‌های مورد استفاده

برای بررسی اثرگذاری تحریم‌ها بر محیط‌زیست در ایران می‌توان مدل‌های مختلف اقتصادی را در نظر گرفت، در یک مدل از پیش تعیین شده^۱ متغیر تحریم به‌صورت شوک

¹ Hertel

² Burniaux & Truong

به طرق گوناگون می‌تواند وارد مدل شود که عمده‌ترین آن‌ها به صورتی است که یا از طریق اثرگذاری بر تجارت خارجی (کاهش صادرات نفت و گاز و یا کاهش واردات کالاهای با فناوری بالا و...) یا از طریق شوک بر بازارهای مالی (تحریم‌های بانکی و ارزی) و یا از طریق شوک بر سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی می‌تواند در مدل لحاظ گردد، در این پژوهش اثر شوک ناشی از تحریم‌های اقتصادی بر تجارت خارجی به صورت محدودیت در صادرات نفت خام بر میزان انتشار دی‌اکسیدکربن با استفاده از یک روش مدل تعادل عمومی قابل‌محاسبه در فرمت GTAP-E-Power به صورت پویا استفاده شده است، عمده دلایل این انتخاب این بوده که اولاً تاکنون در هیچ مطالعه‌ای از این روش برای سنجش اثرگذاری تحریم‌ها بر شاخص‌های محیط زیستی استفاده نشده است و از این حیث مقاله نوآوری دارد. ثانیاً در مطالعات و پژوهش‌های متعدد، هم برای بررسی اثرگذاری تحریم‌ها در حوزه‌های مختلف اقتصادی و هم در خصوص بررسی مسائل محیط زیستی استفاده از انواع مدل‌های تعادل عمومی قابل‌محاسبه پیشنهاد شده است، به عنوان مثال در پژوهش‌هایی مانند (پرت و علیزاده، ۲۰۱۷) و (غریب‌نواز و واشچیک، ۲۰۱۵) بر مزایای متعدد استفاده از روش CGE در بررسی شوک‌های ناشی از تحریم‌ها در بخش‌های مختلف اقتصادی تأکید شده است.

در خصوص دلیل انتخاب تغییرات انتشار گاز دی‌اکسیدکربن به عنوان شاخص محیط زیستی می‌توان گفت بررسی‌های به عمل آمده در خصوص روند تولید گازهای گلخانه‌ای بیانگر آن است که مدت‌زمان پایداری و باقی‌ماندن گاز دی‌اکسیدکربن در جو زمین به مراتب بیشتر از سایر گازهای گلخانه‌ای است که این موضوع باعث می‌شود تغییرات آب‌وهوایی و آلودگی ناشی از افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن از اهمیت بیشتری نسبت به سایر گازهای گلخانه‌ای برخوردار باشد. از این رو با توجه به اهمیت ویژه دی‌اکسیدکربن در آلودگی هوا و افزایش پدیده گرمایش جهانی و همچنین به دلیل همبستگی بالای میزان انتشار دی‌اکسیدکربن با سایر گازهای آلاینده و داشتن بیشترین فراوانی میان گازهای گلخانه‌ای این گاز می‌تواند به عنوان شاخص آلودگی هوا مورد استفاده قرار گیرد (جباری و همکاران، ۲۰۰۶).

در این پژوهش از نسخه ۱۰ پایگاه داده پروژه تحلیل تجارت جهانی (بروز شده در سال ۲۰۲۰) که شامل ماتریس حسابداری اجتماعی ۱۴۱ کشور یا همان منطقه و ۶۵ بخش است،

¹ Deterministic Model

استفاده شده است. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار GTAPAGG بر اساس اهداف پژوهش به بخش‌ها و مناطق خاص تجمیع می‌شوند. برای رفع هرگونه ابهام در خصوص مرجع داده‌های بکار رفته در این پژوهش، لازم به ذکر است که اطلاعات اقتصادی ایران در پروژه GTAP از منابع معتبر داخلی و بین‌المللی استخراج شده است. پایگاه داده GTAP برای به‌روزرسانی داده‌های اقتصادی کشورهای مختلف، از جمله ایران، به داده‌های منتشر شده از سوی مرکز آمار ایران، بانک مرکزی و سازمان برنامه‌بودجه استناد می‌کند. همچنین، در خصوص داده‌های انرژی، به‌ویژه انرژی‌های تجدیدپذیر، اطلاعات از منابع معتبر بین‌المللی همچون آرژانس بین‌المللی انرژی (IEA) و بانک جهانی استفاده شده است. برای تفکیک دقیق‌تر بخش‌های انرژی و تحلیل جزئیات، آمارهای داخلی منتشر شده از سوی سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا) و وزارت نیرو به کار گرفته می‌شوند. در نتیجه در پروژه GTAP، تمامی داده‌ها به‌دقت و با استفاده از منابع معتبر و به‌روز گردآوری شده است تا اطمینان حاصل شود که تحلیل‌ها به‌طور کامل و معتبر صورت پذیرفته است. در این مطالعه از نسخه ۱۰ پایگاه داده پروژه تحلیل تجارت جهانی (شامل ماتریس حسابداری اجتماعی ۱۴۱ کشور یا همان منطقه و ۶۵ بخش) استفاده شده است.

تقسیم‌بندی کشورها در این پژوهش شامل کشورهای تحریم‌کننده ایران، ایران و بقیه کشورهای جهان می‌باشد. دسته‌بندی کشورها به سه گروه (ایران، کشورهای تحریم‌کننده و سایر کشورها) در حالت GTAP-E-Power در حالت پویا، به دلیل ماهیت تعاملی اقتصاد جهانی و اثرات غیرمستقیم تحریم‌ها، ضروری است. این مدل‌ها بر مبنای تعاملات متقابل بین کشورها بنا شده‌اند و حذف این دسته‌بندی، منجر به نادیده گرفتن اثرات سرریز، تغییر در قیمت‌های جهانی انرژی، الگوهای تجارت و مصرف، و اثرات جانبی تجارت بر انتشار آلودگی می‌شود. در نتیجه، تحلیل دقیق و جامع اثرات تحریم‌های نفتی بر محیط‌زیست ایران، مستلزم در نظر گرفتن تعاملات اقتصادی بین کشورها و استفاده از ساختار چندمنطقه‌ای مدل CGE است.

تقسیم‌بندی بخش‌های اقتصادی نیز شامل کشاورزی (Agr)، معدن (Mine)، زغال‌سنگ (Coal)، نفت (Oil)، گاز (Gas)، فراورده‌های نفتی (Oil_ptc)، صنایع با فناوری پایین (Low)، صنایع با فناوری متوسط (Medium)، صنایع با فناوری بالا (High)، تولید و توزیع برق (TND)، تولید برق از سوخت فسیلی با بار پایه (FBL)، تولید برق از سوخت فسیلی با بار اوج (FPL)، تولید برق از منابع تجدیدپذیر با بار پایه (RBL)، خدمات (serv) می‌گردد.

زغال سنگ بخش اقتصادی است که استفاده از آن در مدل ممکن است با ابهام همراه باشد. در این راستا می توان گفت در ایران، دو نوع اصلی زغال سنگ شامل زغال سنگ حرارتی برای تولید برق و زغال سنگ کک شو در صنعت فولاد استخراج می شود. اگرچه سهم زغال سنگ در تولید برق ناچیز است، اما در صنایع انرژی بر مانند فولاد و سیمان همچنان استفاده می شود و بر اساس داده های مرکز آمار، تولید زغال سنگ از ۸۹۶ هزار تن در سال ۱۳۷۰ به ۳۹۳۲ هزار تن در سال ۱۳۹۷ رسیده و ۳۳۹ درصد رشد داشته است. همچنین، تحریم ها ممکن است وابستگی به زغال سنگ داخلی را افزایش دهند. در مطالعات پیشین که با موضوع انرژی در ایران انجام گرفته، از جمله خوش کلام خسروشاهی (۱۳۹۸) و آماده و همکاران (۱۳۹۳)، نیز از بخش زغال سنگ در مدل های تعادل عمومی پویا به کار رفته استفاده کرده اند.

در خصوص عدم تقسیم بندی صنایع نفت و گاز در دسته صنایع با فناوری بالا در پروژه تجارت جهانی باید گفت که صنایع معمولاً بر اساس معیارهایی مانند شدت تحقیق و توسعه، پیچیدگی فرآیندهای تولید و استفاده از فناوری های پیشرفته دسته بندی می شوند. سازمان همکاری و توسعه اقتصادی^۱ سه سطح صنایع با فناوری پایین، متوسط و بالا را معرفی کرده و معیار اصلی برای این دسته بندی، نسبت هزینه های تحقیق و توسعه به ارزش افزوده و تولید ناخالص داخلی است. صنایعی مانند داروسازی و الکترونیک در دسته فناوری بالا قرار دارند اما در صنایع نفت و گاز که نسبت هزینه های تحقیق و توسعه کمتر از ۲٪ نسبت به ارزش افزوده و تمرکز بیشتر بر استخراج منابع طبیعی و فرآیندهای مهندسی سنتی به جای نوآوری های تکنولوژیک است (هاتزیچرنولوگ، ۱۹۹۷؛ توردو و همکاران، ۲۰۱۱).

در باره علت اینکه چرا بخشی برای بار اوج با منابع تجدید پذیر در تقسیم بندی بخش های صورت نگرفته این است که تولید برق فسیلی به دلیل انعطاف پذیری بالا و سرعت پاسخ دهی، قادر به تأمین بار اوج شبکه است. در مقابل، انرژی های تجدید پذیر به دلیل وابستگی به شرایط محیطی، نوسانات تولیدی داشته و نمی توانند به طور مطمئن بار اوج را پوشش دهند، به همین دلیل، در مدل هایی که این دو منبع در کنار یکدیگر آورده می شوند، باید به صراحت محدودیت منابع تجدید پذیر در تأمین بار اوج مشخص شود. از

¹ Organisation for Economic Co-operation and Development

آنجا که تولید برق خورشیدی و بادی متغیر و وابسته به زمان است، تأمین پایدار برق در ساعات اوج مصرف با چالش مواجه خواهد شد (لوند^۱، ۲۰۰۷).

۴. بحث

۴-۱. سناریو سازی در خصوص میزان کاهش صادرات نفت به دلیل اعمال

تحریم‌ها بر ایران

در این بخش از مطالعه برای بررسی اثرگذاری تحریم‌ها بر محیط‌زیست ایران، طی سناریوهای مختلف به بررسی اثر کاهش میزان صادرات نفت ایران بر میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن طی تحریم‌های ناشی از خروج ایالات متحده از توافق‌نامه برجام پرداخته می‌شود. باتوجه‌به اینکه اطلاعات مربوط به میزان صادرات نفت کشور به دلایلی در سال‌های اخیر منتشر نشده است^۲، برای رسیدن به تقریبی از کاهش میزان صادرات نفت ایران به دو شاخص میزان صادرات روزانه نفت خام بر مبنای اطلاعات ارائه شده توسط اپک و میزان صادرات نفتی بر مبنای آمار بانک مرکزی استناد شده است. نمودار ۱ میزان صادرات نفت خام ایران را بر اساس گزارش‌های اوپک^۳ بوده و به‌خوبی تأثیرپذیری صادرات نفت ایران از مسئله تحریم‌ها را نشان می‌دهد^۴ که بر اساس آن میزان صادرات روزانه نفت ایران در سال ۲۰۱۹ با کاهش ۶۴/۸ درصدی نسبت به سال ۲۰۱۸ از ۱۸۴۹/۶ هزار بشکه در روز به ۶۵۱/۱ رسیده است و این کاهش در سال ۲۰۲۰ نیز تداوم‌یافته و با کاهش ۳۷/۹ درصدی نسبت به ۲۰۱۹ به ۴۰۴/۵ هزار بشکه در روز رسیده و میزان کاهش در سال ۲۰۲۰ به سال ۲۰۱۸ بیش از ۷۸ درصد بوده است.

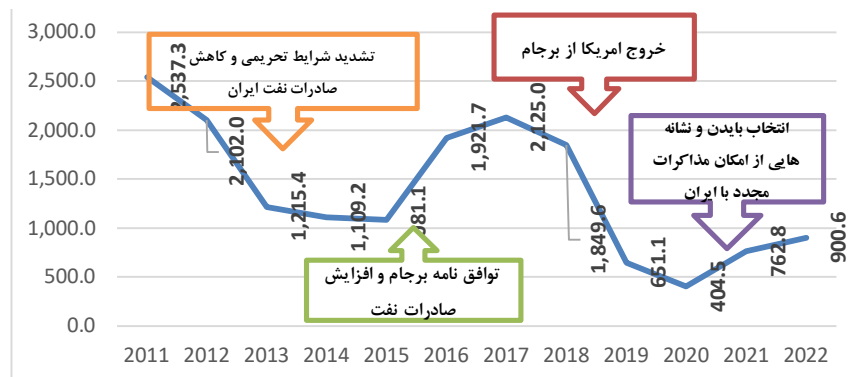
نمودار ۱. صادرات نفت خام ایران: میلیون بشه در روز

^۱ Lund

^۲ صادرات نفت خام در کشور آخرین آمار ارائه شده در سایت بانک مرکزی مربوط به سال ۱۳۹۶ بوده است که دارای تأخیر زمانی بسیاری است.

^۳ World Crude Oil Exports by Country

^۴ شرایط تحریمی ایران از سال ۲۰۱۱ با کاهش صادرات نفت آغاز شد، اما پس از توافق برجام در ۲۰۱۵، صادرات افزایش یافت. با خروج ایالات متحده از برجام در ۲۰۱۸، صادرات دوباره کاهش یافت، اما از سال ۲۰۲۰ و با انتخاب بایدن و تمایل به مذاکرات مجدد، صادرات نفت ایران با شیب ملایم رو به صعود بوده است.



طبق اطلاعات بانک مرکزی، صادرات نفت و گاز ایران در سال ۱۳۹۷ (۲۰۱۸) معادل ۵۴,۱۳۹ میلیون دلار بوده که در سال ۱۳۹۸ (۲۰۱۹) با کاهش ۵۸/۷ درصدی به ۲۲,۳۶۵ میلیون دلار رسید و در سال ۱۳۹۹ (۲۰۲۰) به ۱۷,۸۵۰ میلیون دلار کاهش یافت، که نشان‌دهنده کاهش ۶۷ درصدی نسبت به سال ۱۳۹۷ است. بر این اساس، برای تحلیل کاهش صادرات نفت ایران در سال ۲۰۱۹، سه سناریو کاهش ۶۰، ۶۵ و ۷۰ درصدی صادرات نفت (بر اساس میزان صادرات روزانه نفت خام و کاهش صادرات نفت و گاز) مورد استفاده قرار گرفته است.

۲-۴. بررسی اثر کاهش صادرات نفت طی سناریوهای اعمالی در ایران بر

میزان تغییرات انتشار دی‌اکسیدکربن

در جدول ۳ طی سه سناریو که به ترتیب بیانگر کاهش ۶۰، ۶۵ و ۷۰ درصدی در صادرات نفت خام ایران به دلیل تحریم‌ها در سال ۲۰۱۹ می باشد، میزان تغییرات انتشار دی‌اکسیدکربن برای ایران (Iran)، کشورهای تحریم‌کننده ایران (Sanction) و سایر کشورهای جهان (ROW) آورده شده است.

جدول ۳. درصد تغییرات انتشار دی‌اکسیدکربن

سناریو ۱: کاهش ۶۰ درصدی			سناریو ۲: کاهش ۶۵ درصدی			سناریو ۳: کاهش ۷۰ درصدی			درصد تغییرات انتشار دی‌اکسیدکربن
Iran	ROW	Sanction	Iran	ROW	Sanction	Iran	ROW	Sanction	
۰/۲۳۴	۰/۰۰۱	-۰/۰۲۴	۰/۲۴۶	۰/۰۰۱	-۰/۰۲۶	۰/۲۵۷	۰/۰۰۱	-۰/۰۲۸	۲۰۱۹

۰/۲۰۴	۰/۰۰۲	-۰/۰۲۹	۰/۱۹۹	۰/۰۰۲	-۰/۰۲۷	۰/۱۹۱	۰/۰۰۲	-۰/۰۲۵	۲۰۲۰
۰/۱۸۴	۰/۰۰۳	-۰/۰۳۱	۰/۱۸۱	۰/۰۰۳	-۰/۰۲۸	۰/۱۷۶	۰/۰۰۳	-۰/۰۲۶	۲۰۲۲
۰/۱۸۴	۰/۰۰۵	-۰/۰۳۲	۰/۱۸۲	۰/۰۰۴	-۰/۰۳	۰/۱۷۸	۰/۰۰۴	-۰/۰۲۷	۲۰۲۴
۰/۱۹۳	۰/۰۰۶	-۰/۰۳۳	۰/۱۹۲	۰/۰۰۵	-۰/۰۳۱	۰/۱۸۸	۰/۰۰۵	-۰/۰۲۸	۲۰۲۶
۰/۲۰۷	۰/۰۰۶	-۰/۰۳۴	۰/۲۰۵	۰/۰۰۶	-۰/۰۳۲	۰/۲	۰/۰۰۶	-۰/۰۲۹	۲۰۲۸
۰/۲۱۸	۰/۰۰۷	-۰/۰۳۵	۰/۲۱۵	۰/۰۰۷	-۰/۰۳۲	۰/۲۱	۰/۰۰۶	-۰/۰۳	۲۰۳۰
۰/۲۲۲	۰/۰۰۷	-۰/۰۳۵	۰/۲۱۹	۰/۰۰۷	-۰/۰۳۲	۰/۲۱۴	۰/۰۰۶	-۰/۰۳	۲۰۳۲
۰/۲۲۳	۰/۰۰۷	-۰/۰۳۵	۰/۲۲	۰/۰۰۷	-۰/۰۳۲	۰/۲۱۳	۰/۰۰۷	-۰/۰۳	۲۰۳۴
۰/۲۲۲	۰/۰۰۷	-۰/۰۳۵	۰/۲۱۸	۰/۰۰۷	-۰/۰۳۲	۰/۲۱۱	۰/۰۰۷	-۰/۰۲۹	۲۰۳۶
۰/۲۱۷	۰/۰۰۷	-۰/۰۳۴	۰/۲۱۲	۰/۰۰۷	-۰/۰۳۱	۰/۲۰۶	۰/۰۰۶	-۰/۰۲۹	۲۰۳۸
۰/۲۰۹	۰/۰۰۶	-۰/۰۳۳	۰/۲۰۵	۰/۰۰۶	-۰/۰۳	۰/۱۹۸	۰/۰۰۶	-۰/۰۲۸	۲۰۴۰
۰/۲	۰/۰۰۶	-۰/۰۳۲	۰/۱۹۶	۰/۰۰۵	-۰/۰۲۹	۰/۱۸۹	۰/۰۰۵	-۰/۰۲۷	۲۰۴۲
۰/۱۸۷	۰/۰۰۵	-۰/۰۳	۰/۱۸۲	۰/۰۰۴	-۰/۰۲۸	۰/۱۷۵	۰/۰۰۴	-۰/۰۲۵	۲۰۴۴
۰/۱۶۸	۰/۰۰۴	-۰/۰۲۸	۰/۱۶۴	۰/۰۰۴	-۰/۰۲۶	۰/۱۵۸	۰/۰۰۳	-۰/۰۲۳	۲۰۴۶
۰/۱۴۲	۰/۰۰۳	-۰/۰۲۶	۰/۱۴	۰/۰۰۳	-۰/۰۲۴	۰/۱۳۵	۰/۰۰۳	-۰/۰۲۱	۲۰۴۸
۰/۱۱۳	۰/۰۰۳	-۰/۰۲۴	۰/۱۱۲	۰/۰۰۳	-۰/۰۲۲	۰/۱۰۹	۰/۰۰۳	-۰/۰۲	۲۰۵۰
۰/۱۹۷	۰/۰۰۵	-۰/۰۳۱	۰/۱۹۳	۰/۰۰۵	-۰/۰۲۹	۰/۱۸۷	۰/۰۰۵	-۰/۰۲۷	میانگین

نتایج نشان می‌دهد که با تشدید تحریم‌ها، میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در ایران افزایش می‌یابد. در دوره زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۵۰، تحت سناریو ۱ (کاهش ۶۰ درصدی صادرات نفت)، متوسط افزایش دی‌اکسیدکربن ۰.۱۸۷ درصد، در سناریو ۲ (کاهش ۶۵ درصدی صادرات نفت) ۰.۱۹۳ درصد و در سناریو ۳ (کاهش ۷۰ درصدی صادرات نفت) ۰.۱۹۷ درصد بوده است.

کشورهای تحریم‌کننده ایران در سری زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۵۰ طی سناریوهای مختلف اعمالی با کاهش در متوسط سالانه انتشار دی‌اکسیدکربن مواجه گردیده‌اند به گونه‌ای که متوسط انتشار دی‌اکسیدکربن در این بازه زمانی طی سناریوهای سه‌گانه به ترتیب با کاهش ۰/۰۲۷، ۰/۰۲۹ و ۰/۰۳۱ درصدی مواجه گردیده است، باتوجه‌به اینکه عمده کشورهای تحریم‌کننده ایران کشورهای پیشرفته اقتصادی هستند، علت این کاهش می‌تواند با این موضوع در ارتباط باشد.

میزان متوسط افزایش انتشار سالانه دی‌اکسیدکربن در سایر نقاط جهان (به‌جز ایران و کشورهای تحریم‌کننده ایران) طی سه سناریو مختلف اعمالی در حدود ۰/۰۰۵ درصد ثابت

بوده که بسیار کمتر از افزایش انتشار دی اکسید کربن در ایران می باشد، به طوری که میزان متوسط افزایش انتشار دی اکسید کربن در ایران طی سناریو اول بیش از ۳۷، سناریو دوم بیش از ۳۸ و سناریو سوم بیش از ۳۹ برابر افزایش انتشار دی اکسید کربن در سایر نقاط جهان می باشد.

طی هر سه سناریو اعمالی بیشترین میزان افزایش انتشار دی اکسید کربن در ایران در سال ابتدایی اعمال شوک، یعنی سال ۲۰۱۹ و کمترین میزان افزایش انتشار آن در سال پایانی یعنی ۲۰۵۰ می باشد و این نتیجه نشان می دهد که اثرات اعمال تحریم بر انتشار دی اکسید کربن با گذشت زمان کاهش می یابد.

۳-۴. بررسی میزان افزایش انتشار دی اکسید کربن به تفکیک بخش های اقتصادی طی سناریوهای اعمالی

باتوجه به نتایج به دست آمده از مدل، در جداول ۴ تا ۶ میزان تغییرات انتشار دی اکسید کربن به تفکیک بخش های اقتصادی، طی سه سناریو برای سال ابتدایی (۲۰۱۹)، انتهای (۲۰۵۰) و متوسط دوره زمانی (۲۰۱۹-۲۰۵۰) برای ایران، کشورهای تحریم کننده ایران و سایر نقاط جهان آورده شده است.

جدول ۴. میزان تغییرات انتشار دی اکسید کربن به تفکیک بخش های اقتصادی طی سناریو ۱ (کاهش ۶۰

درصدی صادرات نفت ایران)

متوسط ۲۰۱۹ تا ۲۰۵۰			۲۰۵۰			۲۰۱۹			بخش های اقتصادی
Iran	ROW	Sanction	Iran	ROW	Sanction	Iran	ROW	Sanction	
۰/۱۶۹	۰/۰۰۴	-۰/۰۳۰	۰/۲۳۹	۰/۰۰۶	-۰/۰۲۶	۰/۲۵۹	۰	-۰/۰۲۷	1 agr
۰/۳۶۶	۰/۰۰۶	-۰/۰۳۵	۰/۲۶۳	۰/۰۰۷	-۰/۰۲۴	۰/۷۱۱	-۰/۰۰۳	-۰/۰۴۳	2 Mine
۰/۳۹۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۱۰۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۵۷۸	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	3 coal
۰/۱۲۹	-۰/۰۰۸	۰/۰۰۲	۰/۱۲۲	۰/۰۰۹	۰/۰۰۱	۰/۵۰۸	-۰/۰۱۲	۰/۰۰۴	4 oil
۰/۲۱۶	۰/۰۰۳	-۰/۰۱۶	۰/۳۳	۰	-۰/۰۰۶	۰/۷۲۶	-۰/۰۱۸	۰/۰۰۳	5 gas
۰/۶۴۱	۰/۰۰۸	-۰/۰۵۹	۰/۵	۰/۰۰۷	-۰/۰۳۸	۰/۶۸	۰/۰۰۶	-۰/۰۵۹	6 oil_pcts
۰/۵۲۸	۰/۰۰۲	-۰/۰۱۷	۰/۵۴۹	۰/۰۰۵	-۰/۰۱۹	۰/۸۲۱	-۰/۰۰۵	-۰/۰۰۸	7 Low
۰/۳۵۵	۰/۰۰۲	-۰/۰۱۸	۰/۱۷۱	۰/۰۰۱	-۰/۰۱۴	۰/۶۷۶	-۰/۰۰۴	-۰/۰۱۵	8 Medium
-۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	-۰/۰۱۴	-۰/۴۶۳	۰/۰۰۴	-۰/۰۱۶	۰/۱۹۵	-۰/۰۰۶	-۰/۰۰۶	9 High
۰/۶۱۷	۰/۰۰۱	۰/۰۱۳	۰/۵۸۲	۰	۰/۰۱۸	۰/۵۹۶	-۰/۰۰۳	۰/۰۱۳	10 TND

۰/۶۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۶۲۵	۰	۰/۰۰۴	۰/۵۴۵	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۶	11 FBL
۰/۰۱۵	-۰/۰۰۱	۰/۰۱۴	-۰/۱۲	-۰/۰۰۲	۰/۰۱۶	۰/۱۵۹	-۰/۰۰۵	۰/۰۱۵	12 RBL
۰/۴۸۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۴۱۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۴۹۱	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۶	13 FPL
۰/۲۶۲	۰/۰۰۶	-۰/۰۴۴	۰/۰۶۹	۰/۰۰۳	-۰/۰۲۶	۰/۲۷۱	۰/۰۰۵	۰/۰۴۴	14 serv

جدول ۵. میزان تغییرات انتشار دی‌اکسیدکربن به تفکیک بخش‌های اقتصادی طی سناریو ۲ (کاهش ۶۵ درصدی صادرات نفت ایران)

متوسط ۲۰۱۹ تا ۲۰۵۰			۲۰۵۰			۲۰۱۹			بخش‌های اقتصادی
Iran	ROW	Sanction	Iran	ROW	Sanction	Iran	ROW	Sanction	
۰/۱۷۸	۰/۰۰۵	-۰/۰۳۲	۰/۲۵۵	۰/۰۰۶	-۰/۰۲۸	۰/۲۷۶	۰	-۰/۰۰۳	1 agr
۰/۳۹۶	۰/۰۰۶	-۰/۰۳۸	۰/۲۸۵	۰/۰۰۷	-۰/۰۲۷	۰/۷۶۹	-۰/۰۰۳	-۰/۰۴۷	2 Mine
۰/۴۲۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۱۱۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۶۲۴	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	3 coal
۰/۱۴	-۰/۰۰۹	۰/۰۰۳	۰/۱۳	-۰/۰۱	۰/۰۰۲	۰/۵۵۵	-۰/۰۱۳	۰/۰۰۵	4 oil
۰/۲۴	۰/۰۰۳	-۰/۰۱۷	۰/۳۵۹	۰	-۰/۰۶۴	۰/۷۹۵	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	5 gas
۰/۶۸	۰/۰۰۹	-۰/۰۶۴	۰/۵۳۱	۰/۰۰۷	-۰/۰۴۲	۰/۷۲۵	۰/۰۰۶	-۰/۰۶۵	6 oil_pcts
۰/۵۶۷	۰/۰۰۲	-۰/۰۱۸	۰/۵۹	۰/۰۰۵	-۰/۰۰۲	۰/۸۹	-۰/۰۰۶	-۰/۰۰۹	7 Low
۰/۳۸۴	۰/۰۰۲	-۰/۰۱۹	۰/۱۸۷	۰/۰۰۱	-۰/۰۱۵	۰/۷۳۵	-۰/۰۰۴	-۰/۰۱۶	8 Medium
-۰/۰۱۱	۰/۰۰۳	-۰/۰۱۶	-۰/۴۹۴	۰/۰۰۴	-۰/۰۱۷	۰/۲۱	-۰/۰۰۶	-۰/۰۰۷	9 High
۰/۶۵۸	۰/۰۰۱	۰/۰۱۵	۰/۶۲۱	۰	۰/۰۱۹	۰/۶۳۹	-۰/۰۰۳	۰/۰۱۴	10 TND
۰/۶۴۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	۰/۶۶۸	۰	۰/۰۰۵	۰/۵۸۲	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	11 FBL
۰/۰۰۸	-۰/۰۰۱	۰/۰۱۶	-۰/۱۳۸	-۰/۰۰۲	۰/۰۱۸	۰/۱۷۲	-۰/۰۰۶	۰/۰۱۷	12 RBL
۰/۵۱۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۴۴۱	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۲	۰/۵۲۴	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	13 FPL
۰/۲۷۱	۰/۰۰۷	-۰/۰۴۸	۰/۰۶۹	۰/۰۰۳	-۰/۰۲۹	۰/۲۸۳	۰/۰۰۵	-۰/۰۴۸	14 serv

جدول ۶. میزان تغییرات انتشار دی‌اکسیدکربن به تفکیک بخش‌های اقتصادی طی سناریو ۳ (کاهش ۷۰ درصدی صادرات نفت ایران)

متوسط ۲۰۱۹ تا ۲۰۵۰			۲۰۵۰			۲۰۱۹			بخش‌های اقتصادی
Iran	ROW	Sanction	Iran	ROW	Sanction	Iran	ROW	Sanction	
۰/۱۸۷	۰/۰۰۵	-۰/۰۳۵	۰/۲۷	۰/۰۰۶	-۰/۰۳۱	۰/۲۹۲	۰	-۰/۰۳۲	1 agr

۰/۴۲۵	۰/۰۰۶	-۰/۰۴۲	۰/۳۰۸	۰/۰۰۷	-۰/۰۲۹	۰/۸۲۶	-۰/۰۰۴	-۰/۰۵۱	2 Mine
۰/۴۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۱۱۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۶۷	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	3 coal
۰/۱۵۱	-۰/۰۰۹	۰/۰۰۳	۰/۱۳۸	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۶۰۳	-۰/۰۱۴	۰/۰۰۵	4 oil
۰/۲۶۵	۰/۰۰۳	-۰/۰۱۸	۰/۳۸۸	۰/۰۰۱	-۰/۰۷۱	۰/۸۶۷	-۰/۰۲۲	۰/۰۰۳	5 gas
۰/۷۱۴	۰/۰۰۹	-۰/۰۰۷	۰/۵۵۸	۰/۰۰۸	-۰/۰۴۶	۰/۷۶۷	۰/۰۰۶	-۰/۰۰۷	6 oil_pts
۰/۶۰۵	۰/۰۰۲	-۰/۰۰۲	۰/۶۲۸	۰/۰۰۵	-۰/۰۲۲	۰/۹۵۹	-۰/۰۰۷	-۰/۰۰۹	7 Low
۰/۴۱۲	۰/۰۰۲	-۰/۰۲۱	۰/۲۰۴	۰/۰۰۱	-۰/۰۱۷	۰/۷۹۴	-۰/۰۰۴	-۰/۰۱۸	8 Medium
-۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	-۰/۰۱۷	-۰/۵۲۷	۰/۰۰۴	-۰/۰۰۲	۰/۲۲۵	-۰/۰۰۷	-۰/۰۰۷	9 High
۰/۶۹۲	۰/۰۰۱	۰/۰۱۶	۰/۶۵۶	۰	۰/۰۲۱	۰/۶۸۱	-۰/۰۰۳	۰/۰۱۵	10 TND
۰/۶۷۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	۰/۷۰۹	۰	۰/۰۰۵	۰/۶۱۸	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	11 FBL
-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	۰/۰۱۷	-۰/۱۵۸	-۰/۰۰۱	۰/۰۱۹	۰/۱۸۴	-۰/۰۰۶	۰/۰۱۸	12 RBL
۰/۵۴۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۴۶۳	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۲	۰/۵۵۷	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	13 FPL
۰/۲۷۷	۰/۰۰۷	-۰/۰۵۲	۰/۰۶۶	۰/۰۰۳	-۰/۰۳۲	۰/۲۹۳	۰/۰۰۶	-۰/۰۵۲	14 serv

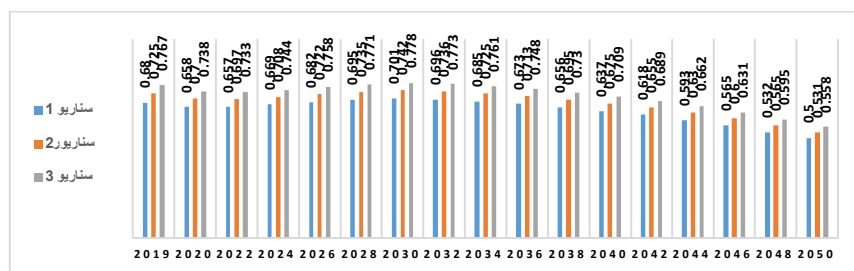
باتوجه به جداول فوق بخش های محصولات نفتی، تولید و توزیع برق، تولید برق با سوخت فسیلی با بار پایه، صنایع با فناوری پایین، تولید برق با سوخت های فسیلی بار اوج، زغال سنگ، معدن، صنایع با فناوری متوسط تولید، خدمات، گاز، کشاورزی و نفت بخش هایی بوده اند طی هر سه سناریو اعمال شده به ترتیب بیشترین افزایش را در تولید گازی دی اکسید کربن داشته اند و بخش های تولید برق با صنایع تجدیدپذیر بار پایه و صنایع با فناوری بالای تولید بخش هایی بوده اند که در سه سناریو اعمال شده یا با کاهش در تولید دی اکسید کربن یا با افزایش اندک نسبت به سایر بخش ها مواجه گردیده اند.

همچنین در بررسی میزان تغییر در انتشار دی اکسید کربن در سناریو سوم (کاهش ۷۰ درصدی صادرات نفت) به سناریو اول (کاهش ۶۰ درصدی صادرات نفت) نشان می دهد که بخش های تولید و توزیع برق، صنایع با فناوری پایین، تولید برق با سوخت های فسیلی بار پایه، تولیدات نفتی، معدن، صنایع با فناوری متوسط، تولید برق با سوخت فسیلی بار اوج، زغال سنگ، گاز، نفت، کشاورزی و خدمات به ترتیب شامل بیشترین افزایش در انتشار دی اکسید کربن با تشدید تحریم ها بوده اند و بخش های صنایع با فناوری بالا و تولید برق با منابع قابل تجدید بخش هایی بوده اند که علی رغم تشدید تحریم ها با کاهش در میزان انتشار دی اکسید کربن رو به رو گردیده اند.

۴-۴. بررسی میزان افزایش انتشار دی اکسید کربن در بخش نفت و گاز

در میان بخش‌های اقتصادی تولید محصولات نفتی بخشی بوده است که بیشترین افزایش در انتشار دی اکسید کربن را تحت تأثیر تحریم‌های اعمالی تحت سناریوهای اتخاذ شده داشته و همچنین میزان انتشار دی اکسید کربن در این بخش با تشدید تحریم‌ها افزایش یافته است. متوسط میزان افزایش سالانه انتشار دی اکسید کربن طی سه سناریو اعمالی در سری زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۵۰ در بخش محصولات نفتی به ترتیب ۰/۶۴۱، ۰/۶۸ و ۰/۷۱۴ درصد بوده است.

نمودار ۲. افزایش میزان انتشار دی اکسید در بخش محصولات نفتی طی سناریوهای سه گانه

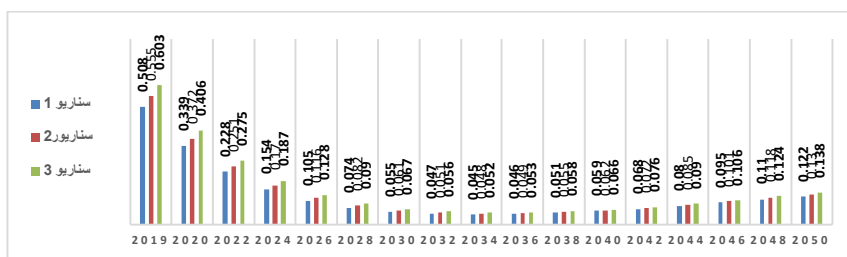


باتوجه به اینکه مطالعات انجام شده نشان می‌دهد میان مصرف سوخت‌های فسیلی و انتشار دی اکسید کربن رابطه‌ی مستقیم برقرار است به طوریکه با افزایش مصرف سوخت-های فسیلی، میزان انتشار دی اکسید کربن نیز افزایش می‌یابد (حافظی و ممی پور، ۱۴۰۲) لذا به نظر می‌رسد در ایران تحریم‌ها به طرق مختلف مانند کاهش سرمایه‌گذاری‌های جدید در حوزه تولید محصولات نفتی و نیز عدم دسترسی به تکنولوژی‌های بالای تولید باعث گردیده میزان انتشار دی اکسید کربن در این بخش در مقایسه با سایر بخش‌های اقتصادی از شدت بیشتری برخوردار باشد.

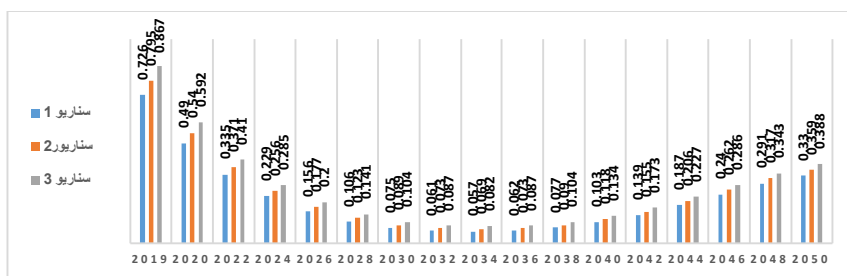
در خصوص میزان انتشار دی اکسید کربن در بخش‌های نفت و گاز می‌توان گفت با اعمال تحریم‌های اعمالی میزان انتشار دی اکسید کربن افزایش یافته اما این افزایش در بخش گاز بیشتر از نفت بوده است که می‌تواند به دلیل کاهش صادرات نفت و به تبع آن کاهش استخراج و فرآوری آن رخ داده باشد، همچنین متوسط میزان افزایش سالانه انتشار دی اکسید کربن طی سه سناریو اعمالی در بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۵۰ در بخش نفت به ترتیب ۰/۱۲۹، ۰/۱۴ و ۰/۱۵۱ درصد و در بخش گاز به ترتیب ۰/۲۱۶، ۰/۲۴ و ۰/۲۶۵

درصد بوده و میزان انتشار دی اکسید کربن در این بخش ها با تشدید تحریم ها افزایش یافته است.

نمودار ۳. افزایش میزان انتشار دی اکسید کربن در بخش نفت طی سناریوهای سه گانه



نمودار ۴. افزایش میزان انتشار دی اکسید کربن در بخش گاز طی سناریوهای سه گانه

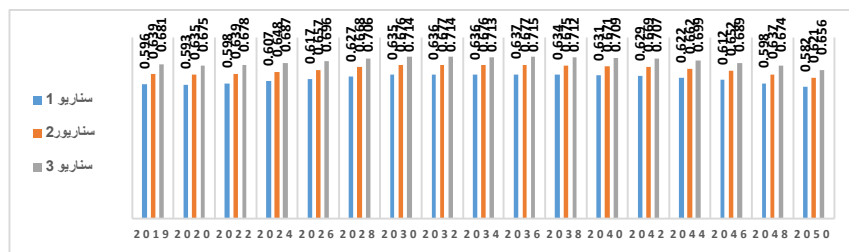


۵-۴. بررسی میزان انتشار دی اکسید کربن در بخش تولید و توزیع برق

بخش تولید و توزیع نیروی برق، پس از تولید محصولات نفتی دارای بیشترین افزایش در انتشار دی اکسید کربن طی سه سناریو بوده و متوسط میزان افزایش سالانه انتشار دی اکسید کربن طی سناریوهای اعمالی در سری زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۵۰ به ترتیب ۰/۶۱۷، ۰/۶۵۸ و ۰/۶۹۶ درصد بوده است.

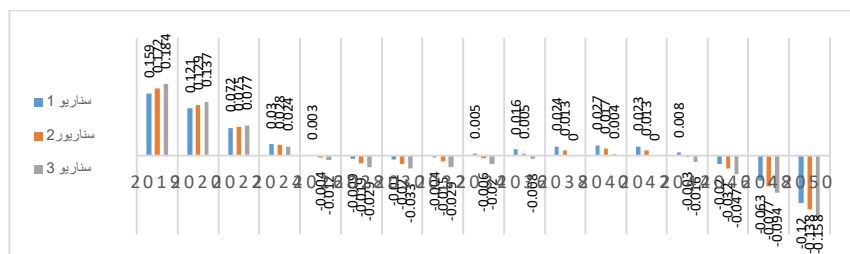
نمودار ۵. افزایش میزان انتشار دی اکسید کربن در بخش تولید و توزیع نیروی برق طی سناریوهای

سه گانه

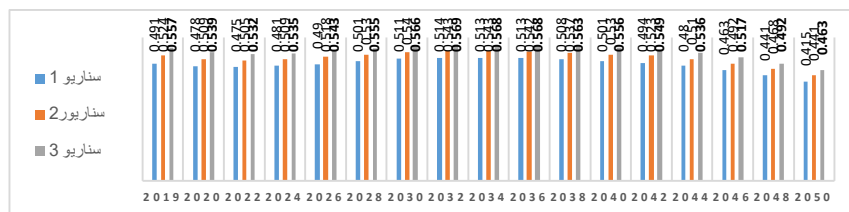


بررسی میزان انتشار تولید برق در دو حالت استفاده از سوخت‌های فسیلی و استفاده از منابع تجدیدپذیر نتایج متفاوت و جالبی به همراه داشته به گونه‌ای که با تشدید تحریم‌ها در حالت تولید برق با سوخت‌های فسیلی بر میزان انتشار دی‌اکسیدکربن افزوده شده اما در حالت سوخت‌های تجدیدپذیر یا از میزان دی‌اکسیدکربن منتشر شده کاسته شده یا با افزایش اندک روبه‌رو شده است، به گونه‌ای که طی سه سناریو و در بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۵۰ متوسط انتشار سالانه دی‌اکسیدکربن در بخش تولید برق از سوخت فسیلی با بار پایه به ترتیب ۰/۶۰۲، ۰/۶۴۱ و ۰/۶۷۷ درصد و با بار اوج به ترتیب ۰/۴۸۶، ۰/۵۱۶ و ۰/۵۴۲ درصد بوده است، اما در بخش تولید برق با استفاده از سوخت‌های تجدیدپذیر در حالت بار پایه طی سناریو اول و دوم با افزایش‌های اندک ۰/۰۱۵ و ۰/۰۸ درصدی و در حالت سناریو سوم با کاهش ۰/۰۰۱ درصدی رو به رو شده است.

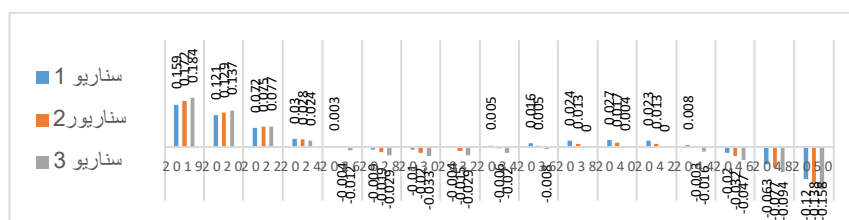
نمودار ۶. تغییرات میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در بخش تولید برق از سوخت فسیلی با بار پایه طی سناریوهای سه‌گانه



نمودار ۷. افزایش میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در بخش تولید برق از سوخت فسیلی با بار اوج طی سناریوهای سه‌گانه



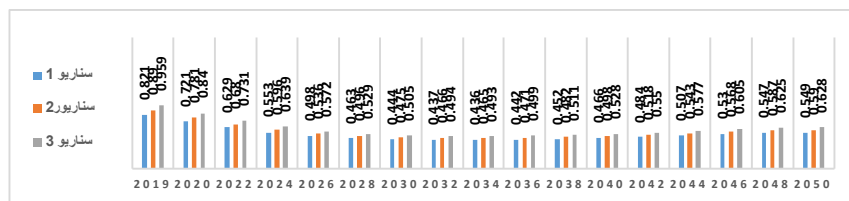
نمودار ۸. تغییرات میزان انتشار دی اکسید کربن در بخش تولید برق از منابع تجدیدپذیر با بار پایه طی سناریوهای سه گانه



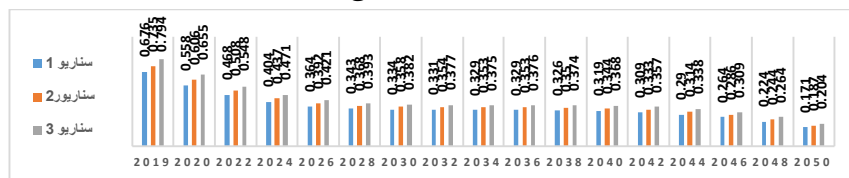
۶-۴. بررسی میزان انتشار دی اکسید کربن در بخش صنعت

بررسی انتشار دی اکسید کربن در صنایع با فناوری های بالا، متوسط و پایین نشان می دهد که متوسط افزایش انتشار دی اکسید کربن در صنایع با فناوری پایین بیشتر از صنایع با فناوری متوسط و در صنایع با فناوری متوسط بیشتر از صنایع با فناوری بالا است. به عبارت دیگر، با حرکت از صنایع با فناوری پایین به سمت صنایع با فناوری متوسط و بالا، میزان افزایش انتشار دی اکسید کربن کاهش می یابد؛ متوسط میزان افزایش سالانه انتشار دی اکسید کربن طی سه سناریو اعمالی در سری زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۵۰ در بخش صنایع با فناوری پایین به ترتیب ۰/۵۲۷، ۰/۵۶۷ و ۰/۶۰۷ درصد و در صنایع با فناوری متوسط به ترتیب ۰/۳۵۵، ۰/۳۸۴ و ۰/۴۸۲ درصد و در صنایع با فناوری بالا به ترتیب ۰/۰۰۵، ۰/۰۱۱ و ۰/۰۲ درصد بوده است. نکته دیگر آنکه میزان انتشار دی اکسید کربن در صنایع با فناوری پایین و متوسط با تشدید تحریم ها افزایش می یابد؛ اما این موضوع در مورد صنایع با فناوری بالا صدق نمی کند و میزان و تشدید انتشار دی اکسید کربن در این بخش چندان تحت تأثیر تحریم ها قرار نگرفته است.

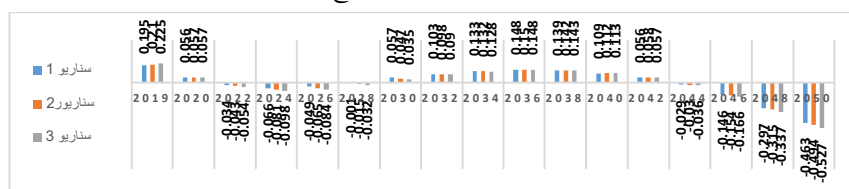
نمودار ۹. افزایش میزان انتشار دی اکسید کربن در بخش صنایع با فناوری پایین طی سناریوهای سه گانه



نمودار ۱۰. افزایش میزان انتشار دی اکسید کربن در بخش صنایع با فناوری متوسط سناریوهای سه گانه



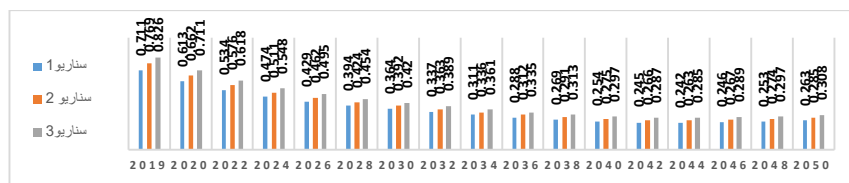
نمودار ۱۱. افزایش میزان انتشار دی اکسید کربن در بخش صنایع با فناوری بالا طی سناریوهای سه گانه



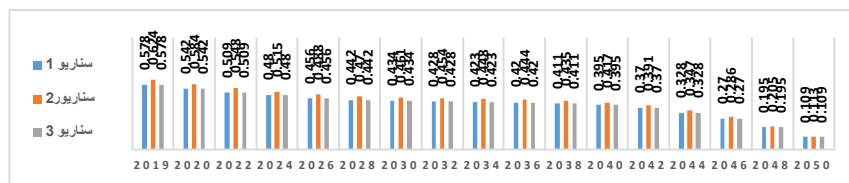
۷-۴. بررسی میزان انتشار دی اکسید کربن در بخش معدن و زغال سنگ

بررسی های میزان انتشار دی اکسید کربن در بخش زغال سنگ و معدن نشان می دهد متوسط افزایش انتشار سالانه دی اکسید کربن در بخش زغال سنگ به ترتیب ۰/۳۹۹، ۰/۴۲۵ و ۰/۴۵ و در بخش معدن به ترتیب ۰/۳۶۶، ۰/۳۹۶ و ۰/۴۲۵ درصد بوده که نشان می دهد در این بخش ها با تشدید تحریم ها با تشدید در افزایش دی اکسید کربن منشره مواجه شده اند، همچنین طی در هر سه سناریو اعمالی میزان افزایش انتشار دی اکسید کربن در بخش زغال سنگ بیشتر از معدن بوده است.

نمودار ۱۲. افزایش میزان انتشار دی اکسید کربن در بخش معدن طی سناریوهای سه گانه



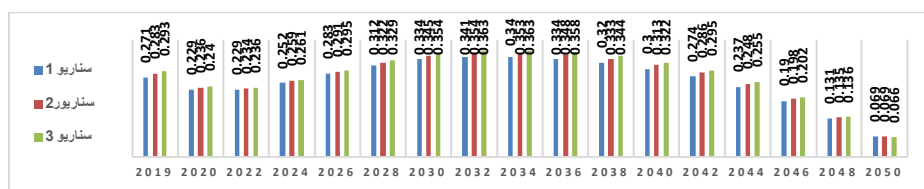
نمودار ۱۳. افزایش میزان انتشار دی اکسید کربن در بخش زغال سنگ طی سناریوهای سه گانه اعمالی



۸-۴. بررسی میزان انتشار دی اکسید کربن در بخش خدمات

مطابق نتایج به دست آمده برای بخش خدمات مشاهده می گردد که این بخش طی این سه سناریو به ترتیب با ۰/۲۶۲، ۰/۲۷۱ و ۰/۲۷۷ درصد افزایش در انتشار دی اکسید کربن مواجه گردیده است و می توان گفت با تشدید تحریم ها بر میزان افزایش انتشار دی اکسید کربن در این بخش افزوده شده است.

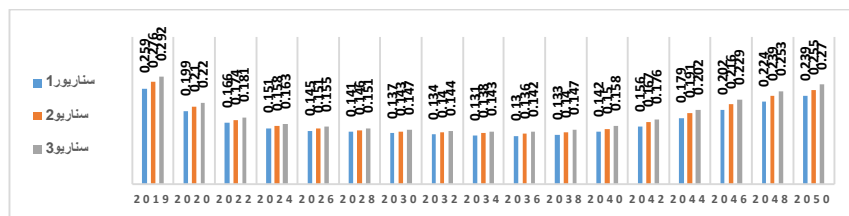
نمودار ۱۴. افزایش میزان انتشار دی اکسید کربن در بخش خدمات طی سناریوهای سه گانه



۹-۴. بررسی میزان انتشار دی اکسید کربن در بخش کشاورزی

مطابق نتایج به دست آمده، متوسط میزان افزایش سالانه انتشار دی اکسید کربن طی این سه سناریو اعمالی در بخش کشاورزی به ترتیب ۰/۱۶۹، ۰/۱۷۸ و ۰/۱۸۷ درصد بوده و نشان می دهد با تشدید تحریم ها بر میزان افزایش انتشار دی اکسید کربن در بخش کشاورزی افزوده شده است.

نمودار ۱۵. افزایش میزان انتشار دی اکسید کربن در بخش کشاورزی طی سناریوهای سه گانه



۵. نتیجه گیری و پیشنهادات

باتوجه به اینکه کشور ایران از یک سو با تحریم‌های گسترده اقتصادی دست‌به‌گریبان می‌باشد و از سوی دیگر با معضلات فزاینده محیط زیستی مواجه است، در این پژوهش به اثرگذاری تحریم‌ها به صورت ایجاد محدودیت در صادرات نفت ایران در قالب سه سناریو کاهش ۶۰، ۶۵ و ۷۰ درصدی صادرات نفت بر میزان انتشار دی‌اکسیدکربن با استفاده از مدل تعادل عمومی قابل محاسبه در فرمت GTAP-E-Power به صورت پویا پرداخته شده است.

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که با تشدید تحریم‌ها در ایران میزان کل انتشار دی‌اکسیدکربن افزایش می‌یابد، به گونه‌ای که میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در ایران در سری زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۵۰، تحت سناریو ۱ (کاهش ۶۰ درصدی صادرات نفت ایران) به طور متوسط ۰.۱۸۷ درصد، تحت سناریو ۲ (کاهش ۶۵ درصدی صادرات نفت ایران) به طور متوسط ۰.۱۹۳ درصد و تحت سناریو ۳ (کاهش ۷۰ درصدی صادرات نفت ایران) به طور متوسط ۰.۱۹۷ درصد افزوده شده است. همچنین کشورهای تحریم کننده ایران با کاهش در تولید میزان دی‌اکسیدکربن مواجه شده اند و میزان تولید دی‌اکسیدکربن در سایر نقاط جهان تقریباً ثابت مانده است. لذا می‌توان گفت:

اولاً تحریم‌های اقتصادی، با کاهش صادرات نفت ایران، باعث افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن در ایران شده و اثرات منفی محیط زیستی قابل توجهی به همراه داشته‌اند. ثانیاً کشورهای تحریم کننده با کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن مواجه شده‌اند که می‌تواند ناشی از تأثیر مثبت سیاست‌های محیط زیستی اتخاذی در این کشورها نظیر توجه بیشتر به انرژی پاک در این کشورها باشد.

ثالثاً اثرات اعمال تحریم بر انتشار دی‌اکسیدکربن در ایران، در بلندمدت کاهش می‌یابد، اما همچنان سطح انتشار در مقایسه با شرایط بدون تحریم بالاتر باقی می‌ماند. این نتایج بر اهمیت سیاست‌گذاری مناسب و سرمایه‌گذاری در فناوری‌های انرژی پاک برای کاهش اثرات منفی تحریم‌ها تأکید می‌کند

باتوجه به نتایج به دست آمده بخش‌های تولید و توزیع برق، صنایع با فناوری پایین، تولید برق با سوخت‌های فسیلی بار پایه و تولیدات نفتی به عنوان بخش‌هایی بوده‌اند که هم بیشترین افزایش را در انتشار دی‌اکسیدکربن داشته‌اند و هم بر شدت افزایش این انتشار با حرکت از سناریو اول به سوم (تشدید تحریم‌ها) افزوده شده است. همچنین تولید دی‌اکسیدکربن در بخش نفت به دلیل

کاهش استخراج و فراوری آن در میان ۱۳ بخش اقتصادی در جایگاه ۱۱ ام (با مرتب سازی بخش ها بر حسب انتشار دی اکسید کربن از بیشتر به کمتر) قرار گرفته است.

در میان بخش های اقتصادی تولید محصولات نفتی بخشی بوده است که بیشترین افزایش در انتشار دی اکسید کربن داشته و پس از آن بخش تولید و توزیع نیروی برق دارای بیشترین افزایش در انتشار دی اکسید کربن تحت سه سناریو اعمالی بوده است. افزایش میزان انتشار دی اکسید کربن در بخش نفت می تواند با ضعف در به روز رسانی فناوری و کاهش سرمایه گذاری و در بخش گاز با فناوری کمتر پیشرفته و ضعف زیرساخت های انتقال و تولید مرتبط باشد. در این راستا فروغی و همکاران (۱۴۰۱) نیز به این نتیجه رسیدند که تحریم های بین المللی طی سالیان اخیر بر بازارهای مالی و سرمایه گذاری های خارجی و بالاخص بر میزان بهره برداری و بهره وری میدین صنعت نفت تاثیر گذار بوده است.

بررسی میزان انتشار دی اکسید کربن در بخش تولید برق نشان می دهد که نوع سوخت مورد استفاده در تولید برق تأثیر چشمگیری بر میزان انتشار دی اکسید کربن دارد. در شرایط تولید برق با سوخت های فسیلی، تشدید تحریم ها منجر به افزایش انتشار دی اکسید کربن شده درحالی که در تولید با منابع تجدیدپذیر، تشدید تحریم ها یا باعث کاهش انتشار دی اکسید کربن شده یا افزایش ناچیزی را به همراه داشته است. میانگین سالانه افزایش انتشار دی اکسید کربن طی سه سناریوی اعمالی و در بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۵۰ در حالت «تولید برق با سوخت های فسیلی»، با بار پایه به ترتیب ۰.۶۴۱، ۰.۶۷۷ و ۰.۶۸۶ درصد و در حالت بار اوج به ترتیب ۰.۵۱۶، ۰.۵۴۲ و ۰.۵۴۲ درصد بوده است. در مقابل در حالت «تولید برق با منابع تجدیدپذیر»، تأثیر تحریم ها بر انتشار دی اکسید کربن بسیار متفاوت بوده است. برای حالت بارپایه، در سناریوهای اول و دوم، میزان انتشار دی اکسید کربن با افزایش های اندک به ترتیب ۰.۰۱۵ و ۰.۰۰۸ درصد مواجه شده اما در سناریوی سوم، میزان انتشار دی اکسید کربن کاهش یافته و به ۰.۰۰۱- درصد رسیده است. این نتایج نشان می دهند که استفاده از منابع تجدیدپذیر در تولید برق، حتی در شرایط تحریم، می تواند به کاهش اثرات منفی محیط زیستی کمک کند، از سوی دیگر، وابستگی به سوخت های فسیلی، با توجه به شرایط تحریم، تأثیر منفی بیشتری بر محیط زیست دارد و منجر به افزایش انتشار دی اکسید کربن می شود. در خصوص اثر گذاری تحریم بر صنعت برق کشور همچنین می توان به مطالعه علیزاده و همکاران (۱۴۰۰) اشاره کرد که بیان نمودند صنعت برق کشور در شرایط تحریم با مسائل مختلفی در حوزه های اقتصادی (مانند افزایش قیمت تجهیزات و مسأله تامین و تبادل مالی)، ساختاری (مانند ناهمبستگی وزارت خانه های نفت و نیرو و وجود واحدهای موازی در ساختار صنعت) و فرهنگی (مانند عدم دسترسی به فناوری روز دنیا و کاهش پژوهش های منطقه ای) مواجه بوده است.

نتایج انتشار دی‌اکسیدکربن در صنایع با سطوح مختلف فناوری نشان داد صنایع با فناوری پایین بیشترین میزان افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن را در مقایسه با سایر صنایع داشته‌اند و با حرکت از صنایع با فناوری پایین به سمت صنایع با فناوری متوسط و بالا، میزان افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن کاهش می‌یابد؛ بنابراین می‌توان گفت در صنایع با فناوری پایین و متوسط، انتشار دی‌اکسیدکربن با تشدید تحریم‌ها افزایش یافته و افزایش در صنایع با فناوری پایین به مراتب بیشتر از صنایع با فناوری متوسط بوده است، اما در صنایع با فناوری بالا برخلاف صنایع با فناوری پایین و متوسط، تحریم‌ها تأثیر قابل‌توجهی بر میزان انتشار دی‌اکسیدکربن نداشته‌اند. میزان افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن در این صنایع بسیار ناچیز بوده و به نظر می‌رسد که این بخش‌ها به دلیل دسترسی به فناوری‌های پیشرفته‌تر و کارآمدتر، آسیب‌پذیری کمتری نسبت به تحریم‌ها داشته‌اند. این تحلیل تأکید می‌کند که به‌کارگیری فناوری‌های پیشرفته‌تر می‌تواند تأثیر تحریم‌ها را بر انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش داده و به بهبود وضعیت محیط زیستی کمک کند.

نتایج در بخش معدن و زغال‌سنگ نشان می‌دهد که در هر دو بخش، با تشدید تحریم‌ها افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن شدت بیشتری یافته است. علاوه بر این، طی هر سه سناریوی اعمال شده، میزان افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن در بخش زغال‌سنگ بیشتر از بخش معدن بوده که نشان‌دهنده حساسیت بیشتر این بخش به تغییرات ناشی از تحریم‌ها است. نتایج مشابهی برای بخش خدمات و کشاورزی نیز به‌دست‌آمده بدین صورت که میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در این دو بخش نیز با اعمال تحریم‌ها و تشدید آن افزایش یافته است.

لذا با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، توصیه‌های سیاستی زیر برای کاهش اثرات محیط زیستی ناشی از تحریم‌ها و بهبود شرایط اقتصادی و محیط‌زیستی کشور پیشنهاد می‌گردد:

• رفع تحریم‌ها به‌عنوان اولویت کلان سیاسی و اقتصادی:

با توجه به اینکه میزان انتشار دی‌اکسیدکربن با اعمال تحریم‌ها افزایش می‌یابد و این افزایش با تشدید تحریم‌ها رشد می‌یابد، پیشنهاد می‌شود اقدامات لازم برای رفع تحریم‌ها در صدر اولویت‌های کلان سیاسی و اقتصادی کشور قرار گیرد.

• سرمایه‌گذاری در حوزه تولید محصولات نفتی با دسترسی به

فناوری‌های نوین:

با توجه به نقش بالای بخش تولید محصولات نفتی در افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن طی سناریوهای مختلف و با توجه به سیاست جلوگیری از خام‌فروشی نفت در اسناد بالادستی^۱، پیشنهاد

^۱ به‌عنوان نمونه بندهای ۱۱ تا ۱۶ سیاست‌های کلی برنامه ششم توسعه به تغییر ماهیت خام‌فروشی به تولید محصولات و فرآورده‌های نفتی و پتروشیمی با ارزش افزوده بالا و همچنین بند ۱۵ سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی بر افزایش

می‌شود ضمن تلاش برای افزایش سرمایه‌گذاری در این بخش دسترسی به فناوری‌های نوین برای کاهش آلاینده‌گی و افزایش بهره‌وری تولید، در اولویت قرار گیرد.

- **تمرکز بر توسعه منابع تجدیدپذیر در حوزه تولید برق:**

باتوجه به تأثیر مثبت منابع تجدیدپذیر در کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن و آلودگی‌ها و همچنین آلودگی‌های ناشی از استفاده از سوخت‌های فسیلی (مانند مازوت) در تولید برق، پیشنهاد می‌شود توسعه و استفاده از منابع تجدیدپذیر در تولید برق کشور در اولویت قرار گیرد و برنامه‌هایی برای کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی در تولید برق تدوین و اجرا شود.

- **تقویت صنایع با فناوری بالا و توسعه دسترسی به فناوری‌های**

- پیشرفته:**

باتوجه به اینکه صنایع با فناوری پایین تأثیر بسزایی از تحریم‌ها گرفته و افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن در این صنایع قابل‌توجه است، پیشنهاد می‌شود سرمایه‌گذاری در دسترسی به فناوری‌های پیشرفته در بخش صنعت به طور عام و صنایع با فناوری بالا به طور خاص، در اولویت قرار گیرد و همچنین تقویت صنایع با فناوری بالا به‌عنوان یک سیاست کلان محیط‌زیستی در بخش صنعت دنبال شود.

- **تمرکز بر بخش‌های تاب‌آور در برابر تحریم‌ها:**

نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که صنایع با فناوری پیشرفته و تولید برق از منابع تجدیدپذیر بار پایه، علی‌رغم تشدید تحریم‌ها، عملکرد بهتری در کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن نسبت به سایر بخش‌ها داشته‌اند. از آنجاکه تحریم‌ها با ایجاد محدودیت در انتقال دانش، دسترسی به آخرین فناوری‌ها را دشوار می‌سازند، رفع این موانع می‌تواند به تسهیل انتقال فناوری از کشورهای پیشرفته و کاهش آسیب‌های محیط‌زیستی منجر شود؛ بنابراین، ضمن تأکید بر ضرورت تلاش برای رفع تحریم‌ها، در صورت تداوم این محدودیت‌ها، پیشنهاد می‌شود که دسترسی به فناوری‌های نوین تولید و دانش روز، در اولویت سرمایه‌گذاری و توسعه کشور قرار گیرد. همچنین، تدوین سیاست‌های حمایتی برای گسترش این بخش‌ها و ارتقای نقش آن‌ها در اقتصاد کشور ضروری به نظر می‌رسد.

ارزش افزوده از طریق تکمیل زنجیره ارزش صنعت نفت و گاز، توسعه تولید کالاهای دارای بازدهی بهینه (بر اساس شاخص شدت مصرف انرژی) و بالابردن صادرات برق، محصولات پتروشیمی و فرآورده‌های نفتی با تأکید بر برداشت صیانتی از منابع تأکید دارد.

تعارض منافع

تعارض منافی نداریم.

سپاسگزاری

نویسندگان این مطالعه بر خود واجب می دانند مراتب قدردانی صمیمانه خود را از پیشنهادات شایسته داوران و هیأت تحریریه محترم نشریه وزین پژوهشنامه اقتصادی به عمل بیاورند

۶. منابع

- Adom, P. K., Amuakwa-Mensah, F., & Botchway, E. (2018). *Financial instability and CO2 emissions: Evidence from developing countries*. *Energy Economics*, 72, 829-842.
- Ali Pour, M., et al. (2020). *Consumer behavior analysis in Iran during sanctions and its impact on green product consumption*. "Environmental Economics Review, 15(4), 30-45.
- Alini, E., & Khajesarvy, G. (2022). *A Review of US sanctions from The Perspective of Historical Sociology (1979 – 2015)*. *Political Sociology of Iran*, 5(12), 3278-3291. (inPersian).
- Alizadeh, M. , Gholipor, R. , Aboei Ardakan, M. , Pirannejad, A. and Fazeli, M. (2021). *Designing a complex governance Pattern in the context of sanctions in Iran Case study: Electrical industry*. *Journal of Public Administration*, 13(1), 59-76
- Aloosh, M., Salavati, C. & Aloosh, D .(2019). *Economic sanctions threaten population health: the case of Iran*. *Public Health*, 169(13), 10-13.
- Amadeh, H., Khadem Alizadeh, A. & Baghalian , M. (2014). *The impact of economic sanctions on employment in Iran*. *Economic Strategy*, 3(11), 80-104 (inPersian).
- Brown, T., Wilson, J., & Clark, R. (2021). *The impact of oil export reduction on renewable energy investments*. *Journal of Energy Economics*, 45(3), 123-135..
- Burniaux, J. M., & Truong, T. P. (2002). *GTAP-E: An Energy-Environmental Version of the GTAP Model*. *GTAP Technical Paper No. 16*.
- Chen, X., Chen, YE. & Chang, CP. (2019). *The effects of environmental regulation and industrial structure on carbon dioxide emission: a non-linear investigation*. *Environ Sci Pollut Res* .26(1):30252–30267.
- Eisazadeh, S., Mahmoovand R., & Miraali, F. (2022). *The effect of economic sanctions on per capita GDP in the Iranian economy using the Synthetic control method*. *Quarterly*

- Journal Research And Policies, 29 (100) :289-320.
<http://qjerp.ir/article-1-3210-en.html> (inPersian)..
- Ezzati, M., Heydari, H., & Moridi, P. (2020). *The effect of economic sanctions on industrial production and employment of in Iran*. Quarterly Journal of The Macro and Strategic Policies, 8(1), 38-65. doi: 10.30507/jmsp.2020.102274 (inPersian).
- Fahimifard, S. M. (2020). *Studying the Effect of Economic Sanctions on Iran's Environmental Indexes (SVAR Approach)*. Journal of Econometric Modelling, 5(3), (inPersian).
- Falahpor, S., Tehrani, R., & Gorgani, M. (2022). *Investigating the Effect of Oil Price Shocks and Western Sanctions on Banks' Liquidity Creation: A Nonlinear Approach*. Financial Research Journal, 24(2), 157-183 (inPersian).
- Federico, P. & Scandizzo, p. (2018). *The New Generation of Computable General Equilibrium Models*. Italy: Springer International Publishing.
- Fouroughi Nasab, F., Jalalpour, S., Abdolkhani, L., & Yousefi, B. (2022). *Evaluation of the effects of international sanctions strategy on the development patterns of the oil industry*. Geography (Regional Planning), 12(47), 821-834. (inPersian).
- Fu, Q., Chen, Y.E., Jang, C.L. & Chang, C.P. (2020), *The impact of international sanctions on environmental performance*, *Science of The Total Environment*, 745
- Garfield, J. (2002). *"Reduction of international aid and exacerbation of environmental problems in Iran."* *Global Environmental Change*, 15(4), 81-93.
- Gharibnavaz, R. & Waschik, M. (2015). *A Computable General Equilibrium Model of International Sanctions*. Centre of Policy Studies/IMPACT Centre Working 22(12), 210-255.
- Green, P., & Lee, S. (2020). *Transportation trends in the context of rising oil prices*. Transport Research Part A, 34(4), 56-68.
- Hafezi H, Mamipour S. *The Long-term Electricity Planning in Iran under the Paris Agreement*. jemr 2022; 13 (49) :153-201
- Hatzichronoglou, T. (1997). *Revision of the high-technology sector and product classification*. OECD Science, Technology and Indust
- Hertel, T. W. (2007). GTAP 7 Data Base Documentation. Center for Global Trade Analysis, Purdue University.
- Hosseini, M., et al. (2021). *"Reduction of international aid and its impact on environmental problems in Iran during sanctions."* Environmental Policy and Governance, 31(4), 215-230.
- Huang, F., & Li, J. (2022). *"Increased reliance on natural resources and environmental degradation in Iran due to sanctions."* Journal of Environmental Sustainability, 18(3), 44-59.
- International Energy Agency (IEA). (2023). World Energy Outlook 2023. Paris: IEA Publications.
- Jabbari, A., Moradkhani, N., & Ghazal, F. (2017). *Investigating of Applying the Green Taxes on the Carbon Dioxide Emitter*

- Energy Carriers and Its Double Dividend in Iran's Economy.* Journal of Economics and Modelling, 8(31), 125-147.
- Kaempfer, W. H., & Lowenberg, A. D. (2007). *The political economy of economic sanctions.* Handbook of Defense Economics, 2, 867–911.
- KamaliDehkordi, P. (2021). *Analysis of the Effect of Currency Shock, Economic Sanctions and Oil Prices on the Housing Market* (Using Structural Vector-Autoregressive SVAR). Quarterly Journal of Applied Theories of Economics, 7(4), 27-56. (inPersian).
- Kehoe, T. J., & Ruhl, K. J. (2005). *A Dynamic General Equilibrium Analysis of U.S. Trade Policy.* Journal of International Economics, 66(2), 349-372.
- Khaled, S., et al. (2024). *"Limitations of technology in Iran during sanctions and its impact on the environment."* Environmental Impact Assessment Review, 42, 57-72.
- Khaleeli, M., et al. (2018). *"Analysis of the economic impacts of sanctions on environmental policies in Iran."* Journal of Environmental Economics, 24(2), 43-60.
- Khalid, U., Tahir, A., Okafor, L. & O Sanusi. (2024). *Do sanctions affect the environment? The role of trade integration.* Research in Globalization, 8 (2024) 1-15.
- Khoshkalam Khosroshahi, M. (2019). *A computable general equilibrium model for decomposing the rebound effect of energy carriers in Iran's economy.* Iranian Journal of Applied Economic Studies, 8(30), 131-157.
- Kolstad, C., Peng, C. & Wang, X.F. (2015.), *Environmental economics*, 2nd ed. China Renmin University Press, Beijing Trans, 57(1):65–78.
- Lund, H. (2007). *Renewable energy systems: A smart energy systems approach to the choice and modeling of 100% renewable solutions.* Academic Press. 3rd Edition - February 8, 2024 eBook ISBN: 9780443141362
- Madden, R., Shibusawa, h. & Higano, Y. (2020). *Environmental Economics and Computable General Equilibrium Analysis.* Italy: Springer International Publishing.
- Mahmoodi, N., Hosseinpour, A. & Rezaei, M. (2019). *Analysis of Total Factor Productivity in Selected Sectors with the Economic Sanctions Index.* Economic Research, 54(3), 659-693 (inPersian).
- McDougall, R. A., Elbehri, A., & Truong, T. P. (1998). *Global Trade, Assistance, and Protection: The GTAP 4 Data Base.* Center for Global Trade Analysis, Purdue University.
- Mostafavi, S. M., ghaemi asl, M., & hoseini, A. (2014). *An investigate for causality relationship among Economic sanctions, Macroeconomic factors and environmental polluters in Iran.* Quarterly Journal of Quantitative Economics, 11(1), 103-128.

- Nakhli, S R. & Rafat, Bakhshi ,M. (2021). *Oil sanctions and their transmission channels in the Iranian economy: A DSGE model*. Resources Policy, 70, 1-14.
- Omidifathkoohi, T., Ezzati, M., & hasanzadeh, R. (2022). *Investigation the Effects of Monetary Policy, Governmental Control, and Sanctions on Investment in Iran through Economic Resiliency Approach*. Quarterly Journal of The Macro and Strategic Policies, 10(37), 98-130. (inPersian).
- Paltsev, S., Reilly, J. M., & Herzog, H. J. (2013). *The Role of Renewable Energy in the Transition to a Low-Carbon Economy*. Energy Policy, 57, 489-495.
- Parvin, S. , Shakeri, A. and Naseri, S. (2022). *Welfare Effects of Economic Sanctions :The Case of Iran*. Economics Research, 22(84), 11-38
- Pratt, S. & Alizadeh, V. (2017). *The economic impact of the lifting of sanctions on tourism in Iran: a computable general equilibrium analysis*. Current Issues in Tourism, 21(11), 1-18.
- Ranjbar Heidari, V., & Jamshidi, E. (2017). *Studying the Concept of Environmental Security with an Overview of the Challenges of Environmental in Iran*. Socio-Cultural Strategy, 5(4), 199-231 (inPersian).
- Rezaei, S., et al. (2020). *"Increased reliance on natural resources and its impact on environmental degradation in Iran during sanctions."* Journal of Environmental Sustainability, 18(2), 103-119.
- Saadat Mehr, M. (2017). *Investigating the factors affecting foreign direct investment in Iran with an emphasis on the role of economic sanctions*. Economic Journal, 17(6), 41-58 (inPersian).
- Saberpour, A., Akhavan Fard, M. & Masoud, G. (2021). *Impact of sanctions from the perspective of international environmental commitments with emphasis on Iran*. Medical Low Journal, 15 ,417-434 (inPersian).
- Sadighi, H., et al. (2019). *"Analysis of the effects of sanctions on reducing environmental controls in Iranian industries."* Journal of Environmental Policy, 21(3), 150-165.
- Seyednourani, S. M., ebadi, M., amini, A., & taghavifard, M. (2019). *Assessment of the Impact of Economic Sanctions on the Efficiency of Iranian Banks*. Basij Strategic Studies, 22(83), 119-142 (inPersian).
- Thanh Le H, Phuong Hoang D. (2022). *Economic Sanctions and Environmental Performance: The Moderating Roles of Financial Market Development and Institutional Quality*. Environmental Science and Pollution Research, 29:19657–19678.

Tordo, S., Johnston, D., & Johnston, D. (2011). *Petroleum exploration and production rights: Allocation strategies and design issues*. World Bank Publications.