

Sanctions and the Environment: A Quasi-Experimental Study on CO₂ Emissions Growth in Target Economies

Mahtab Naser Sadrabadi*, Saleh Ghavidel Doostkouei**, Mir Hossein Mousavi***, Mehdi Fathabadi****

Original Article	Receive Date: 2025 Sep 11	Accept Date: 2026 Apr 14	Page: 143-164
------------------	---------------------------	--------------------------	---------------

Abstract

This study examines the impact of economic sanctions on the growth of carbon dioxide (CO₂) emissions in selected countries (Iran, Russia, and Venezuela) using a quasi-experimental Difference-in-Differences (DiD) approach. Data were collected for the period 2010–2023, with Saudi Arabia, the United Arab Emirates, and Turkey serving as the control group. The overall model findings indicate that sanctions led to an approximate 2.1% increase in CO₂ growth in sanctioned countries, whereas non-sanctioned countries experienced an average decrease of about 2%. Pairwise country analyses reveal that the most significant emission growth occurred relative to Turkey, and in the Iran-Turkey and Russia-Turkey models, this effect was statistically significant. The results also highlight that economic growth consistently remains a major driver of greenhouse gas emissions. These findings suggest that economic sanctions, in addition to imposing financial and trade restrictions, can have adverse environmental consequences, emphasizing the need for policymakers to consider environmental impacts and sustainable development when designing sanction regimes.

Keywords: Carbon Dioxide Emissions, Difference-In-Differences, Economic Sanctions, Environment, Iran, Russia, Venezuela

JEL Classification: F51, Q56, C23.

* PhD Student, Department of Economics, Fi.C, Islamic Azad University, Firoozkooh, Iran

mahtabsadrabadi@gmail.com

** Department of Economics, Fi.C, Islamic Azad University, Firoozkooh, Iran (Corresponding Author)

saleh.ghavidel@iau.ac.ir

*** Department of Economics, Faculty of Social Sciences and Economics, Alzahra University, Tehran, Iran

hmousavi@alzahra.ac.ir

**** Department of Economics, Fi.C, Islamic Azad University, Firoozkooh, Iran

Fathabadi.Mehdi@iau.ac.ir

تحریم‌ها و محیط زیست: مطالعه‌ای شبه آزمایش بر رشد انتشار دی اکسید کربن در اقتصادهای هدف

مهتاب ناصر صدراآبادی*، صالح قویدل دوستکونی**، میرحسین موسوی***، مهدی فتح آبادی****

نوع مقاله: پژوهشی	تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۲۰	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۲۵	شماره صفحه: ۱۶۴-۱۴۳
-------------------	--------------------------	-------------------------	---------------------

چکیده

هدف این مطالعه بررسی اثر تحریم‌های اقتصادی بر رشد انتشار دی اکسید کربن در کشورهای منتخب (ایران، روسیه و ونزوئلا) با استفاده از روش شبه آزمایشی تفاوت در تفاوت‌ها (DiD) است. داده‌ها برای بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۳ جمع‌آوری شده و کشورهای عربستان سعودی، امارات متحده عربی و ترکیه به عنوان گروه کنترل مورد استفاده قرار گرفته‌اند. یافته‌های مدل کلی نشان می‌دهد که تحریم‌ها موجب افزایش حدود ۲۰۱ درصدی در رشد انتشار CO₂ در کشورهای تحریمی شده‌اند، در حالی که کشورهای غیرتحریمی کاهش حدود ۲ درصدی را تجربه کرده‌اند. تحلیل جفت‌کشوری نیز حاکی از آن است که بیشترین اثر افزایش انتشار در مقایسه با ترکیه مشاهده شد و در دو مدل ایران-ترکیه و روسیه-ترکیه این اثر از نظر آماری معنادار بوده است. نتایج همچنین تأکید می‌کنند که رشد اقتصادی به طور مداوم یکی از عوامل اصلی افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که تحریم‌های اقتصادی، علاوه بر محدودیت‌های اقتصادی، می‌توانند اثرات نامطلوب محیط‌زیستی نیز داشته باشند و سیاست‌گذاران باید در طراحی تحریم‌ها، اثرات زیست‌محیطی و نیاز به توسعه پایدار را مدنظر قرار دهند.

واژه‌های کلیدی: انتشار دی اکسید کربن، ایران، روسیه، تحریم اقتصادی، تفاوت در تفاوت‌ها، محیط‌زیست، ونزوئلا

طبقه‌بندی JEL: F51, Q56, C23.

mahtabsadrabadi@gmail.com

saleh.ghavidel@iau.ac.ir

hmousavi@alzahra.ac.ir

fathabadi.mehdi@iau.ac.ir

* دانشجوی دکتری، گروه اقتصاد، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران

** دانشیار گروه اقتصاد، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران (نویسنده مسئول)

*** دانشیار گروه اقتصاد، دانشکده علوم اجتماعی و اقتصادی، دانشگاه الزهراء، تهران، ایران

**** دانشیار گروه اقتصاد، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران

فصلنامه مجلس و اقتصاد، سال چهارم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵

DOI: 10.22034/mec.2026.18395.1150

۱- مقدمه

مسائل زیست محیطی و تغییرات اقلیمی در دهه های اخیر به یکی از مهم ترین دغدغه های جهانی تبدیل شده اند. انتشار گازهای گلخانه ای، به ویژه دی اکسید کربن (CO₂)، عامل اصلی گرمایش جهانی و تغییرات آب و هوایی محسوب می شود (IPCC, 2021). در این میان، نقش سیاست ها و تحولات اقتصادی - سیاسی بر الگوهای انتشار آلاینده ها موضوعی است که توجه بسیاری از پژوهشگران و سیاست گذاران را به خود جلب کرده است. یکی از این تحولات، تحریم های اقتصادی است که به عنوان ابزاری برای اعمال فشار سیاسی و اقتصادی توسط کشورهای تحریک کننده به کار می رود. تحریم های اقتصادی پیامدهای گسترده ای بر متغیرهای اقتصادی از جمله رشد تولید ناخالص داخلی، سرمایه گذاری خارجی و رفاه اجتماعی دارند (Neuenkirch & Neumeier, 2016). با این حال، تأثیر آن ها بر محیط زیست و به ویژه بر انتشار دی اکسید کربن کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از یک سو، کاهش تعاملات تجاری و محدودیت دسترسی به فناوری های پیشرفته می تواند منجر به استفاده بیشتر از منابع انرژی قدیمی و آلاینده شود. از سوی دیگر، رکود اقتصادی ناشی از تحریم ها ممکن است باعث کاهش فعالیت های صنعتی و در نتیجه کاهش انتشار گازهای گلخانه ای گردد (Peksen, 2019). این دوگانگی نشان می دهد که جهت و شدت اثر تحریم ها بر محیط زیست، موضوعی تجربی و نیازمند بررسی های دقیق تر است.

مطالعات پیشین عمدتاً بر پیامدهای اقتصادی و سیاسی تحریم ها تمرکز داشته اند و کمتر به اثرات زیست محیطی آن پرداخته اند. برای مثال، برخی تحقیقات نشان داده اند که تحریم ها می توانند بر سطح رفاه اجتماعی و رشد اقتصادی اثر منفی بگذارند (Afesorgbor & Mahadevan, 2016)؛ اما پژوهش های اندکی رابطه میان تحریم ها و انتشار آلاینده ها را بررسی کرده اند؛ بنابراین، یک شکاف پژوهشی مهم در ادبیات وجود دارد که این مطالعه درصدد پر کردن آن است. در این مقاله، اثر تحریم های اقتصادی بر انتشار دی اکسید کربن در کشورهای منتخب مورد بررسی قرار می گیرد. برای دستیابی به این هدف، از روش تفاوت در تفاوت ها^۱ استفاده می شود. این روش به محقق امکان می دهد تا تغییرات انتشار دی اکسید کربن در کشورهای تحت تحریم (ایران، روسیه و ونزوئلا) را با تغییرات کشورهای مشابه اما بدون تحریم (عربستان سعودی، امارات متحده عربی و ترکیه) مقایسه کند. داده های مربوط به انتشار CO₂ برای دوره زمانی ۱۹۶۰ تا ۲۰۲۳ از منابع معتبر بین المللی استخراج شده است. در این چارچوب، سال های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۳ به عنوان دوره پس از تحریم^۲ و سال های پیش از آن به عنوان دوره پیش از تحریم^۳ تعریف می شوند.

انتخاب طراحی شبه آزمایش (DiD) در این مطالعه از دو جهت اهمیت دارد: نخست، این روش امکان کنترل عوامل ثابت و مشاهده نشده میان کشورها را فراهم می کند؛ دوم، مقایسه گروه های آزمایش و کنترل شرایطی نزدیک به یک آزمایش طبیعی ایجاد می نماید (Angrist & Pischke, 2009). به این ترتیب، یافته های تحقیق می تواند تصویر روشنی از

1. Difference-in-Differences: DiD
2. post-treatment
3. pre-treatment

ارتباط میان تحریم‌های اقتصادی و پیامدهای زیست‌محیطی آن ارائه کند. در مجموع، این مطالعه با تمرکز بر کشورهای که در سال‌های اخیر تحت فشار تحریم‌های اقتصادی بوده‌اند، می‌کوشد به پرسش مهمی پاسخ دهد: آیا تحریم‌ها منجر به افزایش یا کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن می‌شوند؟ پاسخ به این پرسش می‌تواند نه تنها به ادبیات علمی درباره تحریم‌ها و محیط‌زیست غنا بخشد، بلکه برای سیاست‌گذاران در زمینه طراحی راهبردهای مقابله با تغییرات اقلیمی در شرایط محدودیت‌های سیاسی-اقتصادی نیز اهمیت عملی داشته باشد.

۲- ادبیات تحقیق

۲-۱- مبانی نظری

تحریم‌های اقتصادی به عنوان ابزاری در سیاست بین‌الملل برای تحت فشار قرار دادن دولت‌ها با هدف تغییر رفتار سیاسی یا اقتصادی آن‌ها شناخته می‌شوند (Hufbauer et al, 2007). این ابزار که طیف گسترده‌ای از محدودیت‌های تجاری، مالی و سرمایه‌گذاری را شامل می‌شود، می‌تواند پیامدهای متفاوتی بر اقتصاد کشور هدف بر جای گذارد. آثار تحریم‌ها معمولاً در سه سطح قابل بررسی است:

❖ سطح کلان اقتصادی (رشد اقتصادی، تجارت خارجی، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی)

در سطح کلان اقتصادی، تحریم‌ها معمولاً با محدود کردن دسترسی کشورها به بازارهای جهانی، کاهش سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و ایجاد اختلال در تجارت بین‌المللی همراه هستند. این محدودیت‌ها منجر به کاهش رشد اقتصادی و نوسان در درآمدهای ارزی می‌شوند که پیامدهای گسترده‌ای برای ساختار تولید و اشتغال دارند (Neuenkirch & Neumeier, 2016). کاهش ورود سرمایه و فناوری خارجی، توان کشورها برای نوسازی زیرساخت‌های تولیدی و بهبود بهره‌وری را تضعیف کرده و در بسیاری موارد اقتصاد ملی را به سمت وابستگی بیشتر به منابع داخلی، به‌ویژه صادرات انرژی‌های فسیلی، سوق می‌دهد (Kaempfer & Lowenberg, 2007). در نتیجه، تحریم‌های اقتصادی نه تنها مسیر رشد پایدار اقتصادی را مختل می‌سازند، بلکه می‌توانند ترکیب تولید و مصرف انرژی را نیز به شکلی تغییر دهند که آثار غیرمستقیم بر محیط‌زیست برجای گذارد.

❖ سطح اجتماعی (رفاه شهروندان، توزیع درآمد، نابرابری)

در سطح اجتماعی، تحریم‌های اقتصادی اغلب به کاهش رفاه شهروندان، افزایش نابرابری درآمدی و تضعیف عدالت اجتماعی منجر می‌شوند. محدودیت‌های ناشی از تحریم، با ایجاد تورم، افزایش قیمت کالاهای اساسی و کاهش قدرت خرید خانوارها، شرایط زندگی اقشار آسیب‌پذیر را دشوارتر می‌کند (Afsorgbor & Mahadevan, 2016). علاوه بر این، تحریم‌ها معمولاً باعث کاهش دسترسی به خدمات عمومی از جمله بهداشت، آموزش و انرژی مدرن می‌شوند و این امر نابرابری‌های اجتماعی را تشدید می‌نماید. در چنین شرایطی، فشارهای اقتصادی می‌تواند دولت‌ها را به سمت سیاست‌هایی سوق دهد که اولویت آن‌ها تأمین نیازهای کوتاه‌مدت اقتصادی باشد، نه توجه به توسعه پایدار و

ملاحظات زیست محیطی (Peksen, 2019). از این رو، آثار اجتماعی تحریم‌ها به طور غیرمستقیم می‌توانند کیفیت محیط زیست را نیز تحت تأثیر قرار دهند.

❖ سطح زیست محیطی (الگوهای مصرف انرژی، انتشار آلاینده‌ها و کیفیت محیط زیست)

از دیدگاه نظری، می‌توان دو کانال اصلی برای اثرگذاری تحریم‌ها بر محیط زیست شناسایی کرد. کانال اول، کانال کاهش رشد و فعالیت اقتصادی است. تحریم‌ها معمولاً موجب رکود اقتصادی و کاهش فعالیت‌های تولیدی و صنعتی می‌شوند. این موضوع می‌تواند به کاهش تقاضا برای انرژی‌های فسیلی و در نتیجه کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن بینجامد (Kaempfer & Lowenberg, 2007). کانال کاهش رشد و فعالیت اقتصادی یکی از مهم‌ترین مسیرهایی است که از طریق آن تحریم‌ها می‌توانند بر انتشار دی‌اکسیدکربن اثر بگذارند. وقتی کشوری در معرض تحریم‌های اقتصادی قرار می‌گیرد، محدودیت در دسترسی به بازارهای خارجی، افت سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، کاهش صادرات و واردات و همچنین کمبود ارز خارجی باعث رکود اقتصادی می‌شود. رکود به معنای کاهش سطح تولید صنعتی، افت فعالیت‌های بخش انرژی بر مانند فولاد، سیمان و پتروشیمی و همچنین کاهش حجم مبادلات تجاری است. به دنبال این وضعیت، تقاضا برای انرژی‌های فسیلی (نفت، گاز و زغال سنگ) کاهش می‌یابد زیرا بنگاه‌های تولیدی با ظرفیت پایین‌تری فعالیت می‌کنند و بخش خدمات نیز به علت کاهش تقاضای کل کوچک‌تر می‌شود. این کاهش در مصرف انرژی به طور مستقیم خود را در کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن نشان می‌دهد.

برای نمونه، تجربه ایران در سال‌های پس از تحریم‌های ۲۰۱۲ اتحادیه اروپا و آمریکا نشان داد که تولید نفت خام کاهش یافت و بسیاری از صنایع انرژی بر با مشکل فروش و صادرات مواجه شدند؛ نتیجه آن کاهش مصرف داخلی انرژی‌های فسیلی و افت نسبی در انتشار گازهای گلخانه‌ای بود (Farzanegan & Markwardt, 2009). نمونه مشابهی در ونزوئلا نیز مشاهده شده است؛ در پی تحریم‌های شدید مالی و نفتی، کاهش شدید تولید و صادرات نفت موجب رکود اقتصادی و کاهش تقاضای انرژی در داخل کشور گردید. از منظر نظری، این روند با دیدگاه‌هایی که بر رابطه مثبت بین رشد اقتصادی و افزایش آلودگی در مراحل اولیه توسعه تأکید می‌کنند، همخوان است. مطابق با فرضیه منحنی کوزنتس زیست محیطی، در شرایط رکود یا کاهش فعالیت اقتصادی، به دلیل کاهش تولید ناخالص داخلی و کاهش مصرف انرژی، سطح آلودگی کاهش می‌یابد (Grossman & Krueger, 1995). البته این اثر معمولاً موقتی است و در صورت رفع تحریم‌ها یا بهبود شرایط اقتصادی، تقاضا برای انرژی و سطح انتشار مجدداً افزایش می‌یابد.

به بیان دیگر، تحریم‌ها از این کانال می‌توانند همانند یک «شوک منفی تقاضا» عمل کنند که مصرف انرژی‌های فسیلی را محدود ساخته و سطح انتشار دی‌اکسیدکربن را کاهش می‌دهد؛ اما باید توجه داشت که این کاهش الزاماً به معنای بهبود پایدار شرایط زیست محیطی نیست، زیرا ناشی از رکود و ضعف اقتصادی است و نه نتیجه سیاست‌های محیط‌زیستی کارآمد یا گذار به سمت انرژی‌های پاک.

کانال دوم جایگزینی فناوری و منابع انرژی است. این مسیر مهم اثرگذاری تحریم‌ها بر محیط زیست است. تحریم‌های اقتصادی معمولاً دسترسی کشور هدف به فناوری‌های نوین، تجهیزات صنعتی پیشرفته و سرمایه‌گذاری خارجی را

به شدت محدود می‌کنند. در نتیجه، صنایع داخلی برای ادامه فعالیت ناچار به استفاده از فناوری‌های قدیمی، ناکارآمد و انرژی‌بر می‌شوند. این موضوع به ویژه در حوزه انرژی اهمیت دارد، زیرا کشور تحت تحریم توان نوسازی زیرساخت‌های تولید انرژی و بهره‌گیری از فناوری‌های پاک‌تر مانند نیروگاه‌های با راندمان بالا یا انرژی‌های تجدیدپذیر را از دست می‌دهد (Esfahani & Pesaran, 2009). در چنین شرایطی، کشورها اغلب به سمت منابع انرژی ارزان‌تر اما آلاینده‌تر سوق داده می‌شوند. برای مثال، در ایران و ونزوئلا محدودیت در دسترسی به تجهیزات مدرن نفتی و انرژی‌های نو باعث شد که استفاده از نفت سنگین و زغال سنگ در برخی صنایع افزایش یابد. همچنین، واردات تجهیزات مربوط به انرژی‌های تجدیدپذیر مانند توربین‌های بادی یا سلول‌های خورشیدی با مشکل جدی مواجه شد و توسعه این بخش‌ها به کندی پیش رفت (Dizaji & Farzanegan, 2021). در نتیجه، ترکیب انرژی کشور به سمت منابع آلاینده‌تر تغییر کرده و انتشار دی‌اکسیدکربن در بلندمدت افزایش یافته است.

از منظر نظری نیز این کانال با ادبیات وابستگی فناورانه همخوان است. در غیاب سرمایه‌گذاری و انتقال فناوری، کشورها نمی‌توانند مسیر توسعه پایدار را طی کنند و به جای حرکت به سمت انرژی‌های پاک و افزایش بهره‌وری، در یک چرخه معیوب از استفاده گسترده‌تر از منابع آلاینده گرفتار می‌شوند (Hufbauer et al, 2007). این روند در تضاد با فرضیه منحنی کوزنتس زیست محیطی است، زیرا کشور تحت تحریم حتی در صورت رشد اقتصادی جزئی، به دلیل ناتوانی در دسترسی به فناوری‌های کارآمد، نمی‌تواند آلودگی را کاهش دهد. در مجموع، کانال جایگزینی فناوری و منابع انرژی نشان می‌دهد که تحریم‌ها گرچه ممکن است در کوتاه مدت باعث کاهش انتشار ناشی از رکود شوند، اما در بلندمدت از طریق تشدید وابستگی به انرژی‌های فسیلی و کاهش سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز می‌توانند منجر به افزایش آلودگی زیست محیطی شوند. این موضوع بیانگر اهمیت تفکیک آثار کوتاه مدت و بلندمدت تحریم‌ها بر انتشار دی‌اکسیدکربن است.

این دوگانگی نشان می‌دهد که اثر خالص تحریم‌ها بر محیط‌زیست به شرایط اقتصادی، سطح وابستگی به انرژی‌های فسیلی و توانایی کشور در سازگاری با محدودیت‌ها بستگی دارد. علاوه بر این، چارچوب‌های نظری توسعه پایدار و «منحنی کوزنتس زیست محیطی» (Environmental Kuznets Curve: EKC) نیز در توضیح رابطه میان تحریم‌ها و محیط‌زیست می‌توانند به کار گرفته شوند. بر اساس فرضیه EKC، در مراحل اولیه رشد اقتصادی، آلودگی محیطی افزایش می‌یابد، اما پس از رسیدن به سطحی مشخص از درآمد سرانه، روند آلودگی کاهش می‌یابد (Grossman & Krueger, 1995). در کشورهای تحت تحریم، رکود یا کندی رشد می‌تواند این مسیر را مختل سازد و الگوی متفاوتی از انتشار CO₂ ایجاد کند.

۲-۲. پیشینه تحقیق

۲-۲-۱ - مطالعات خارجی

قویدل دوستکوهی و همکاران^۱ (۲۰۲۴) نشان داده‌اند که تحریم‌های نفتی می‌توانند اثر پدیده بیماری هلندی را در کشورهای نفت خیز معکوس کنند. در این مطالعه از طراحی شبه‌آزمایشی استفاده شده و دو دوره مجزا مورد بررسی قرار

1. Ghavidel Doostkouei et al.

گرفته است: دوره تحریم‌ها (کاهش درآمد نفتی) و دوره بدون تحریم‌ها (رونق درآمد نفتی). نتایج نشان می‌دهد که در دوره تحریم‌ها، کاهش درآمد نفتی باعث تضعیف ارزش واقعی ارز ملی و افزایش تولید کالاهای قابل معامله نسبت به کالاهای غیرقابل معامله شده است. این الگوی نرخ واقعی ارز در طول دوره‌های تحریم و غیرتحریم با رفتار کلاسیک بیماری هلندی همخوانی دارد: ارز در دوره تحریم کاهش ارزش داشته و در دوره بدون تحریم افزایش ارزش یافته است. علاوه بر این، بخش کالاهای قابل معامله سهم و رشد واقعی بیشتری نسبت به بخش غیرقابل معامله در دوره تحریم تجربه کرده است، که نشان‌دهنده اثر مثبت تحریم‌ها در کاهش علائم بیماری هلندی و تحریک تولید صادرات محور است.

دیزجی و فرزنانگان^۱ (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای در مورد ایران نشان دادند که تحریم‌ها موجب افزایش مصرف انرژی‌های فسیلی و کاهش سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین انرژی شدند، که نتیجه آن افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن بود. به بیان دیگر، محدودیت‌های ناشی از تحریم‌ها دسترسی کشور به فناوری‌های پاک و سرمایه‌گذاری‌های خارجی را کاهش داده و صنایع را مجبور به استفاده از منابع انرژی قدیمی و آلاینده کرده است. این یافته‌ها تأکید می‌کند که پیامدهای تحریم‌ها تنها اقتصادی نیستند، بلکه می‌توانند اثرات قابل توجهی بر محیط‌زیست و الگوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای داشته باشند.

پیکسان^۲ (۲۰۱۹) در یک مرور نظام‌مند بیان کرد که کارایی تحریم‌ها وابسته به شرایط اقتصادی و سیاسی کشور هدف و همچنین سطح چندجانبه بودن تحریم‌ها است. به عبارت دیگر، تحریم‌های یک جانبه یا محدود ممکن است اثرگذاری کمتری نسبت به تحریم‌های چندجانبه داشته باشند و اثربخشی آن‌ها تا حد زیادی به توانمندی اقتصادی، میزان وابستگی به تجارت بین‌المللی و ظرفیت تطبیق کشور هدف بستگی دارد. این یافته‌ها اهمیت تحلیل زمینه‌ای و شرایط اقتصادی-سیاسی کشورها را در بررسی آثار تحریم‌ها برجسته می‌سازد و نشان می‌دهد که پیامدهای اقتصادی تحریم‌ها، از جمله کاهش رشد و فعالیت‌های صنعتی، می‌تواند اثرات غیرمستقیم قابل توجهی بر محیط‌زیست و انتشار دی‌اکسیدکربن داشته باشد.

بیرمن و هودک^۳ (۲۰۱۷) اشاره کردند که فشارهای خارجی مانند تحریم می‌تواند سیاست‌های محیط‌زیستی کشورها را تضعیف کند و به اولویت‌دهی به بقا و رشد کوتاه‌مدت اقتصادی منجر شود.

نئونکیرچ و نیمر^۴ (۲۰۱۶) یکی از تحقیقات تجربی برجسته در حوزه اثرات تحریم‌های اقتصادی است که به بررسی پیامدهای تحریم‌های اعمال شده توسط سازمان ملل و ایالات متحده بر رشد اقتصادی کشورهای هدف پرداخته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تحریم‌ها اثر منفی و معناداری بر تولید ناخالص داخلی (GDP) کشورهای مورد مطالعه دارند. به بیان دیگر، محدودیت‌های تجاری، مسدود شدن دارایی‌های خارجی و کاهش سرمایه‌گذاری خارجی منجر به

1. Dizaji and Farzanegan

2. Peksen

3. Biermann and Hudec

4. Neuenkirch and Neumeier

کند شدن رشد اقتصادی و کاهش توان تولیدی این کشورها می‌شوند. این اثر منفی بر رشد اقتصادی، علاوه بر پیامدهای اقتصادی، می‌تواند آثار غیرمستقیم بر محیط زیست نیز داشته باشد؛ زیرا کاهش فعالیت‌های صنعتی و تولیدی در شرایط رکود، تقاضا برای انرژی‌های فسیلی را کاهش داده و انتشار دی‌اکسیدکربن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، یافته‌های این مقاله نه تنها اهمیت اقتصادی تحریم‌ها را نشان می‌دهد، بلکه به توضیح یکی از کانال‌های اثرگذاری تحریم‌ها بر کیفیت محیط زیست نیز کمک می‌کند.

۲-۲-۲- مطالعات داخلی

مداح (۱۴۰۴) به بررسی اثرات مستقیم و غیرمستقیم تحریم‌ها و فساد اقتصادی بر کیفیت محیط زیست در ایران با استفاده از مدل معادلات ساختاری مبتنی بر حداقل مربعات جزئی و داده‌های دوره ۱۹۹۶ تا ۲۰۲۱، پرداخت. نتایج نشان می‌دهد که تحریم‌های اقتصادی با محدود کردن ظرفیت‌های تولیدی و تغییر در اولویت‌های اقتصادی دولت، به طور معناداری موجب کاهش کیفیت محیط زیست شده‌اند. در شرایط تحریم، دولت به دلیل فشارهای مالی و محدودیت‌های خارجی، منابع خود را از حوزه‌های توسعه‌ای و زیست‌محیطی به سمت هزینه‌های کوتاه‌مدت و ضروری سوق می‌دهد و همین امر سبب کاهش سرمایه‌گذاری در فناوری‌های پاک و تضعیف سیاست‌های حفاظتی می‌شود. همچنین یافته‌های مقاله نشان می‌دهد که فساد اقتصادی یکی از مسیرهای کلیدی انتقال اثر تحریم‌ها بر محیط زیست است. تحریم‌ها با ایجاد محدودیت‌های تجاری و افزایش فرصت‌های رانت‌جویی، زمینه‌گسترش فساد را فراهم می‌کنند و این فساد از طریق کاهش کارایی سیاست‌های عمومی، انحراف در تخصیص منابع و تضعیف نهادهای نظارتی، به افزایش آلودگی و تخریب زیست‌محیطی منجر می‌شود. بر این اساس، کیفیت محیط زیست در ایران هم به صورت مستقیم و هم غیرمستقیم از تحریم‌ها تأثیر می‌پذیرد. نتایج این پژوهش بیانگر چندبعدی بودن مسئله محیط زیست است، به گونه‌ای که عواملی چون تحریم‌های بین‌المللی، فساد اقتصادی و ضعف حکمرانی، هم‌زمان بر کیفیت زیست‌محیطی اثرگذارند و مقابله مؤثر با این چالش‌ها مستلزم اصلاحات نهادی، شفافیت اقتصادی و سیاست‌گذاری هماهنگ در حوزه محیط زیست است.

دهقانی و همکاران (۱۴۰۳) در مقاله‌ای با عنوان «تحریم علمی به مثابه ابزار سیاست خارجی آمریکا؛ مطالعه موردی تحریم فناوری فضایی ایران و محرومیت از حق بر علم و آثار آن بر محیط زیست کشور» به بررسی ابعاد حقوقی، علمی و زیست‌محیطی تحریم‌های ایالات متحده علیه ایران پرداخته است. این مطالعه که به روش توصیفی-تحلیلی و با رویکرد کیفی موردی انجام شده، نشان می‌دهد که تحریم فناوری فضایی ایران به عنوان بخشی از سیاست خارجی آمریکا، فراتر از آثار سیاسی و اقتصادی، پیامدهای عمیقی بر توسعه علمی و زیست‌محیطی کشور برجای گذاشته است. نویسندگان بیان می‌کنند که فناوری فضایی نقشی کلیدی در پایش، نظارت و جمع‌آوری داده‌های محیطی دارد و از طریق ابزارهای سنجش از دور و داده‌برداری ماهواره‌ای، امکان رصد دقیق منابع طبیعی، آلودگی‌ها، تغییرات اقلیمی و بحران‌های زیست‌محیطی را فراهم می‌سازد. از این رو، تحریم دسترسی به این علوم، عملاً ظرفیت علمی کشور را در زمینه مدیریت پایدار منابع طبیعی و تحقق اهداف توسعه پایدار محدود کرده است.

میرزایی (۱۴۰۰) نشان می‌دهد که تحریم‌ها می‌توانند با ایجاد موانع سرمایه‌گذاری و فناوری، علاوه بر پیامدهای اقتصادی و اجتماعی، مسیر توسعه پایدار و سیاست‌های محیط‌زیستی کشور را نیز تحت تأثیر قرار دهند.

حسینی و همکاران (۱۳۹۸) در یک مطالعه اقتصادسنجی جامع نشان دادند که تحریم‌های اقتصادی رابطه‌ای مثبت و معنادار با انتشار دی‌اکسیدکربن در ایران دارند و دلیل اصلی این ارتباط، کاهش دسترسی به فناوری‌های نوین انرژی است. تحریم‌ها موجب محدود شدن واردات تجهیزات پیشرفته، فناوری‌های پاک و سرمایه‌گذاری خارجی در بخش انرژی شده‌اند، که صنایع داخلی را مجبور به استفاده از منابع انرژی سنتی و آلاینده می‌کند. این امر به ویژه در بخش‌های پرمصرف انرژی مانند نیروگاه‌ها، صنایع فولاد و پتروشیمی مشهود است. علاوه بر این، کاهش سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین مانع بهبود بهره‌وری انرژی و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر می‌شود، و در نتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای افزایش می‌یابد. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که اثرات تحریم‌ها تنها محدود به کاهش رشد اقتصادی و نوسانات درآمدی نیست، بلکه به طور مستقیم و غیرمستقیم بر محیط‌زیست و کیفیت هوای کشور نیز تأثیرگذار است. این موضوع اهمیت توجه به ابعاد زیست‌محیطی سیاست‌های اقتصادی و بین‌المللی را برجسته می‌سازد و نشان می‌دهد که تحریم‌ها می‌توانند همزمان پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی داشته باشند.

مرور ادبیات نشان می‌دهد که بیشتر مطالعات بر پیامدهای اقتصادی تحریم‌ها تمرکز داشته‌اند و آثار زیست‌محیطی آن کمتر بررسی شده است. همچنین، مطالعات موجود غالباً به یک کشور خاص، مانند ایران، محدود شده و بررسی مقایسه‌ای میان کشورهای مختلف تحت تحریم و کشورهای مشابه بدون تحریم انجام نگرفته است. علاوه بر این، استفاده از روش‌های شبه‌آزمایشی مانند تفاوت در تفاوت‌ها (DiD) در این حوزه اندک است و می‌تواند نتایج قابل اتکاتری ارائه دهد. بنابراین، پژوهش حاضر با تمرکز بر کشورهای منتخب (ایران، روسیه و ونزوئلا در مقابل عربستان سعودی، امارات متحده عربی و ترکیه) و به‌کارگیری روش تفاوت در تفاوت‌ها، می‌کوشد تصویری روشن‌تر و جامع‌تر از اثر تحریم‌های اقتصادی بر انتشار دی‌اکسیدکربن ارائه دهد.

یافته‌های این پژوهش تأکید دارد که تحریم علمی و فناورانه، افزون بر نقض اصول بنیادین حقوق بین‌الملل از جمله حق بر علم، اثرات غیرمستقیم اما قابل توجهی بر محیط‌زیست کشورها دارد. محرومیت ایران از فناوری‌های فضایی و ابزارهای نوین نظارتی، مدیریت بحران‌های زیست‌محیطی را دشوار کرده و توانایی کشور در پیش‌بینی و مقابله با پدیده‌هایی چون آلودگی هوا، خشکسالی و فرسایش منابع طبیعی را تضعیف کرده است. از دید نویسندگان، این تحریم‌ها نه تنها با روح همکاری‌های علمی بین‌المللی مغایرت دارند، بلکه می‌توانند منجر به بروز آسیب‌های زیست‌محیطی گسترده‌تر شوند که آثار آن از مرزهای ملی فراتر رود. در نتیجه، پژوهش بر ضرورت بازنگری در سیاست‌های تحریمی بین‌المللی تأکید دارد تا ضمن احترام به اصول حقوق بشری و حق بر علم، از بروز پیامدهای ناخواسته بر محیط‌زیست و توسعه پایدار جلوگیری شود.

۳- روش‌شناسی پژوهش

هدف این مطالعه بررسی اثر تحریم‌های اقتصادی بر محیط‌زیست، با تمرکز بر انتشار دی‌اکسیدکربن، در کشورهای منتخب است. برای دستیابی به این هدف، از یک طراحی شبه‌آزمایشی مبتنی بر روش تفاوت در تفاوت‌ها (DiD) استفاده شده است. این روش امکان مقایسه تغییرات در انتشار دی‌اکسیدکربن میان کشورهای تحت تحریم (گروه آزمایش) و کشورهای بدون تحریم (گروه کنترل) را در دوره قبل و بعد از اعمال تحریم‌ها فراهم می‌سازد. در این مطالعه، سه کشور ایران، روسیه و ونزوئلا به عنوان گروه آزمایش (کشورهایی که طی سال‌های موردبررسی با تحریم‌های اقتصادی مواجه بوده‌اند) انتخاب شدند. در مقابل، کشورهای عربستان سعودی، امارات متحده عربی و ترکیه به عنوان گروه کنترل (کشورهایی با شرایط مشابه اما بدون تجربه تحریم در این دوره) در نظر گرفته شدند. داده‌های مربوط به رشد انتشار دی‌اکسیدکربن از منابع بین‌المللی برای بازه زمانی ۱۹۶۰ تا ۲۰۲۳ استخراج شده است. برای مشخص کردن اثر تحریم‌ها، سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۳ به عنوان دوره «پس از تحریم» (post-treatment period) و سال‌های پیش از آن به عنوان دوره «پیش از تحریم» (pre-treatment period) «در نظر گرفته شده است^۱. بااین حال، باید توجه داشت که تحریم‌ها در کشورهای موردبررسی، شامل ایران، روسیه و ونزوئلا، موج‌های متعددی داشته‌اند؛ برای مثال تحریم‌های ایران در سال ۲۰۱۲ شدت گرفت، در ۲۰۱۶ با برجام کاهش یافت و در ۲۰۱۸ مجدداً بازگشت. به همین دلیل، تعیین یک برش ساده از سال ۲۰۱۰ به بعد به عنوان «پس از تحریم» ممکن است منجر به خطای طبقه‌بندی شود. بااین حال، با توجه به چارچوب روش شبه‌آزمایشی که نیازمند تقسیم دوره به دو بخش قبل و بعد از حادثه است، امکان جدا کردن کوتاه مدت دوره‌های کاهش یا بازگشت تحریم (مانند دوره کوتاه برجام) از دوره «پس از تحریم» وجود ندارد. بر این اساس، سال ۲۰۱۰ به عنوان نقطه آغاز دوره «پس از تحریم» انتخاب شده است و خطای موردنظر در این رابطه وجود دارد؛ اما آنچه مهم است از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۳ یعنی ۱۴ سال تنها ۲ سال بعد از برجام ایران تحریم نبوده است. به منظور برآورد مدل، از روش داده‌های تابلویی (Pooled OLS) استفاده شده است:

$$d \log(CO2_{it}) = \alpha + \beta_1 post_t + \beta_2 dum_i + \beta_3 (post_t \times dum_i) + \gamma X_{it} + \varepsilon_{it}$$

در مدل برآوردی، متغیر dum به عنوان متغیر مجازی برای تفکیک گروه آزمایش و گروه کنترل و متغیر post به عنوان متغیر مجازی برای تمایز بین دوره قبل و بعد از تحریم‌ها تعریف شده‌اند. حاصل ضرب این دو متغیر (dum × post) نمایانگر اثر خالص تحریم‌ها بر انتشار دی‌اکسیدکربن است که تمرکز اصلی تحلیل بر آن قرار دارد. متغیر X نیز عوامل کنترلی هستند که در این تحقیق رشد اقتصادی، رشد درصد جمعیت شهری و رشد سهم ارزش افزوده بخش صنعت است.

۱. در روش دوم که در ادامه توضیح داده خواهد شد و کشورها به صورت زوج در نظر گرفته می‌شود سال تحریم برای هر کشور بر اساس تجربه همان کشور انتخاب خواهد شد.

β_1 اثر کلی گذر زمان بر رشد انتشار CO_2 در کل کشورها (بدون در نظر گرفتن تحریم). β_2 تفاوت میانگین رشد CO_2 بین گروه تحت تحریم و گروه کنترل در دوره پیش از تحریم را نشان می‌دهد. β_3 اثر خالص تحریم‌ها بر رشد CO_2 که همان هدف اصلی این تحلیل است را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که برای اجتناب از رگرسیون کاذب و عدم مانا بودن متغیر CO_2 از رشد آن به عنوان متغیر وابسته استفاده شده است.

۴- نتایج و تحلیل یافته‌های تحقیق

الف - تحلیل کلی: شامل همه شش کشور (سه کشور آزمایش و سه کشور کنترل) به صورت هم‌زمان.
ب- تحلیل جفتی: شامل ترکیب‌های دوجه‌دو که در هر ترکیب یک کشور از گروه آزمایش و یک کشور از گروه کنترل انتخاب شده‌اند.

۴-۱- نتایج تحلیل کلی

مدل کلی برای برآورد به شرح زیر است.

$$d \log(CO_2)_{it} = \alpha + \beta_1 POST_t + \beta_2 DUM_i + \beta_3 (POST_t \times DUM_i) + \beta_4 URBAN + \beta_5 GROWTH_{it} + \beta_6 IND_{it} + \varepsilon_{it}$$

مدل تخمینی به دنبال بررسی اثر تحریم‌ها بر رشد انتشار دی‌اکسیدکربن در کشورهای تحریمی (ایران، روسیه، ونزوئلا) در مقایسه با کشورهای غیرتحریمی (عربستان، امارات، ترکیه) با استفاده از روش شبه‌آزمایش طبیعی یا «دیفرنس در دیفرنس» است. متغیر وابسته تغییرات لگاریتمی انتشار CO_2 است که نمایانگر رشد آن است. متغیر «post» برای نشان دادن دوره پس از تحریم (۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱)، متغیر «dum» برای مشخص کردن کشورهای تحت تحریم و متغیر تعاملی «post × dum» برای سنجش اثر علی تحریم‌ها در نظر گرفته شده‌اند. متغیر «growth»، «urban» و «ind» نیز به عنوان کنترل در مدل وارد شده است که نشان‌دهنده رشد اقتصادی، درصد جمعیت شهری کشورها و رشد سهم ارزش افزوده بخش صنعت است. قبل از برآورد مدل لازم است مانایی متغیرها بررسی شود. جدول ۱ آزمون‌های ریشه واحد برای متغیرها را نشان می‌دهد.

جدول ۱. آزمون ریشه واحد برای سه متغیر مورد استفاده در مدل

ایستایی	PP-Fisher Chi ²	ADF-Fisher Chi ²	IPS W- stat	Breitung t- stat	Levin-Lin- Chu t*	سری متغیر
ایستا در سطح	۳,۹۳۷ (۰,۰۱۴)	۲,۹۵۳ (۰,۰۶۶)	۰,۵۱- (۰,۰۸۰)	۰,۰۳۶- (۰,۰۱۴)	۰,۱۲۵- (۰,۰۵۰)	رشد درصد جمعیت شهری (UR)
ایستا در سطح	۲۶,۸۷۹ (۰,۰۰۰)	۲۷,۱۳۴ (۰,۰۰۰)	۴,۸۷۲- (۰,۰۰۰)	۴,۷۶۹- (۰,۰۰۰)	۶,۲۸۰- (۰,۰۰۰)	رشد اقتصادی (GROWTH)
ایستا در سطح	۷۶,۹۱۴ (۰,۰۰۰)	۷۶,۹۶۹ (۰,۰۰۰)	۱۲,۲۶۹- (۰,۰۰۰)	۱۰,۷۷۰- (۰,۰۰۰)	۱۳,۰۷۵- (۰,۰۰۰)	رشد انتشار دی اکسید کربن (CO ₂)
ایستا در سطح	۹,۵۰۱ (۰,۰۰۰)	۱۰,۱۱۱ (۰,۰۰۰)	۸,۲۸۰- (۰,۰۰۰)	۴,۷۷۰- (۰,۰۰۰)	۱۱,۰۸۲- (۰,۰۰۰)	رشد سهم ارزش افزوده صنعت

آزمون‌های ریشه واحد پنلی نشان می‌دهند که هر چهار متغیر مورد بررسی، شامل رشد اقتصادی، رشد انتشار دی اکسید کربن، رشد درصد جمعیت شهری و رشد سهم ارزش افزوده بخش صنعت مانا (ایستا) هستند. به عبارت دیگر، شوک‌های کوتاه‌مدت در این متغیرها تأثیر دائمی ندارند و سیستم به سمت میانگین بلندمدت خود بازمی‌گردد. این یافته اهمیت قابل توجهی برای مدل‌سازی بلندمدت و تحلیل هم‌انباشتگی دارد، زیرا ایستایی متغیرها تضمین‌کننده صحت نتایج مدل‌های پنل و کاهش خطر بروز روابط شبه‌هم‌انباشتگی است؛ بنابراین، می‌توان از این متغیرها در تحلیل‌های بلندمدت بدون نیاز به تفاضل‌گیری اضافی استفاده کرد.

جدول ۲. برآورد مدل تفاضل در تفاضل برای ۶ کشور منتخب (متغیر وابسته رشد انتشار دی اکسید کربن است)

ضریب	تعریف متغیر	متغیر
** -۰,۱۲۶	ثابت مدل	α
-۰,۰۰۸	متغیر پس از تحریم (بعد از سال ۲۰۱۰)	POST
-۰,۰۰۵۶	متغیر گروه آزمایش (کشورهای تحت تحریم)	DUM
** ۰,۲۱۰	اثر متقابل تحریم و گروه آزمایش	POST × DUM
*** ۰,۰۴۶	متغیر رشد تولید ناخالص داخلی	GROWTH
*** ۱,۵۱۸	رشد درصد جمعیت شهری	URBAN
*** ۰,۱۱۵	رشد سهم ارزش افزوده بخش صنعت	IND

در جدول ۲ ضریب عرض از مبدأ نشان‌دهنده متوسط رشد دی اکسید کربن در گروه شاهد قبل از تحریم است. ضریب متغیر «dum» برابر با منفی ۰,۰۰۵۶ است که نشان می‌دهد در دوره پیش از تحریم، کشورهای تحریمی به طور متوسط ۰,۵۶ درصد رشد کمتری در انتشار CO₂ نسبت به کشورهای غیرتحریمی داشته‌اند، اما این نتیجه معنادار نیست. متغیر

«post» دارای ضریبی برابر با منفی ۰.۰۰۸- است، به این معنی که در کشورهای غیرتحریمی، پس از سال ۲۰۱۰ به طور متوسط انتشار CO₂ حدود ۲ درصد کاهش یافته است؛ اما از نظر آماری معنادار نیست.

مهم‌ترین یافته مدل مربوط به ضریب متغیر تعاملی «post × dum» است که برابر با ۰.۰۲۱۰ و از نظر آماری معنادار در سطح اطمینان ۹۵ درصد است. این ضریب همان اثر علی موردنظر در روش دیفرنس در دیفرنس را نشان می‌دهد؛ بنابراین می‌توان گفت که تحریم‌ها در کشورهای هدف موجب افزایش ۲.۱ درصدی در رشد انتشار CO₂ شده‌اند. این نتیجه معنادار نشان می‌دهد که تحریم‌ها نه تنها منجر به کاهش آلودگی یا مصرف انرژی‌های فسیلی در کشورهای تحریمی نشده‌اند، بلکه برخلاف انتظار، رشد انتشار گازهای گلخانه‌ای را افزایش داده‌اند. این پدیده ممکن است ناشی از عواملی مانند کاهش سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر، گرایش به سوخت‌های آلاینده‌تر و ناکارآمدی سیاست‌های محیط‌زیستی در شرایط محدودیت بین‌المللی باشد.

همچنین متغیر «growth» که نمایانگر رشد اقتصادی است دارای ضریبی برابر با ۰.۰۰۴۶ و از نظر آماری بسیار معنادار است. این بدان معناست که هر یک واحد افزایش در رشد اقتصادی منجر به حدود نیم درصد افزایش در رشد انتشار CO₂ می‌شود که یافته‌ای مطابق با انتظار و ادبیات موجود در منحنی کوزنتس است. در آخر اینکه رشد درصد جمعیت شهر و رشد سهم ارزش افزوده بخش صنعت مطابق مبانی نظری باعث افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای از جمله دی‌اکسید کربن می‌شود. در مجموع، مدل از لحاظ آماری مناسب ارزیابی می‌شود. مقدار R-squared وزنی حدود ۰.۳۳ است که نشان می‌دهد حدود ۳۳ درصد از تغییرات رشد انتشار CO₂ توسط متغیرهای مدل توضیح داده شده است. آماره دوربین-واتسون نزدیک به ۲ بوده و نشانه‌ای از خودهمبستگی در باقی‌مانده‌ها وجود ندارد. همچنین، آماره F مدل به طور کامل معنادار است که نشان می‌دهد مجموعه متغیرهای مستقل توان تبیین متغیر وابسته را به شکل معناداری دارند.

نتیجه نهایی این تحلیل آن است که تحریم‌های بین‌المللی در دوره موردبررسی، نه تنها موفق به مهار آثار زیست‌محیطی در کشورهای هدف نشده‌اند، بلکه به افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن در این کشورها منجر شده‌اند. این یافته حاکی از آن است که سیاست‌های تحریمی باید از منظر پیامدهای محیط‌زیستی نیز موردبازنگری قرار گیرند.

۴-۲- نتایج تحلیل جفتی کشورها

نتایج تحلیل جفتی کشورها در جدول ۳ گزارش شده است. در ادامه هریک از مدل‌های جفت کشوری را تفسیر و سپس یک نتیجه کلی از آن‌ها ارائه می‌شود. یکی از مهم‌ترین تفاوت کشورها به صورت جفتی این است که کشورهای ایران، روسیه و ونزوئلا بر اساس تاریخ تحریم مربوط به خود توسط متغیر post تعریف شده‌اند. به این ترتیب که برای ایران از سال ۱۹۷۹ بوده که در نوامبر ۱۹۷۹ نخستین تحریم‌ها توسط ایالات متحده بعد از تسخیر سفارت آمریکا در تهران وضع شد. برای روسیه از سال ۲۰۱۴ بوده که تحریم‌های جدی بین‌المللی (اتحادیه اروپا، آمریکا و دیگران) پس از الحاق

شبه جزیره کریمه و دخالت در اوکراین وضع شد. برای ونزوئلا از سال ۲۰۰۵ بوده که اولین تحریم‌های هدفمند توسط آمریکا از سال ۲۰۰۵ علیه ونزوئلا به دلیل عدم همکاری در حوزه مقابله با مواد مخدر آغاز شد.

جدول ۳. برآورد اثر تحریم بر انتشار گاز دی‌اکسید کربن به روش تفاضل در تفاضل - جفت کشوری

مدل	ضریب متغیر تعاملی	نتیجه	مشاهدات	نوع مدل
ایران-عربستان	۰٫۰۰۷۵ (۰٫۰۲۹)	غیر معنادار	۱۱۴	Method: Panel EGLS
ایران-امارات	-۰٫۰۵۲۴ (۰٫۰۴۹)	غیر معنادار	۱۰۷	Method: Panel Least Squares
ایران-ترکیه	۰٫۳۲۳* (۰٫۰۲۲)	معنادار	۱۲۲	Method: Panel EGLS
روسیه-عربستان	۰٫۰۱۲۵ (۰٫۰۳۶)	غیر معنادار	۸۵	Method: Panel EGLS
روسیه-امارات	-۰٫۰۲۸۳ (۰٫۰۲۵)	غیر معنادار	۷۸	Method: Panel EGLS
روسیه-ترکیه	۰٫۳۳۵*** (۰٫۰۱۵)	معنادار	۹۳	Method: Panel EGLS
ونزوئلا-عربستان	-۰٫۰۱۳ (۰٫۰۵۸)	غیر معنادار	۱۰۷	Method: Panel EGLS
ونزوئلا-امارات	-۰٫۰۴۸ (۰٫۰۶۶)	غیر معنادار	۷۸	Method: Panel EGLS
ونزوئلا-ترکیه	۰٫۰۰۱۰ (۰٫۰۴۸)	غیر معنادار	۱۱۵	Method: Panel EGLS

• ایران-عربستان

در این برآورد، دو کشور ایران به عنوان کشور تحت تحریم و عربستان به عنوان کشور شاهد مورد مقایسه قرار گرفته‌اند تا اثر تحریم‌ها بر رشد انتشار دی‌اکسید کربن بررسی شود. نتایج حاصل از برآورد مدل با روش حداقل مربعات تعمیم یافته (EGLS) و تصحیح واریانس ناهمسان مقطعی نشان می‌دهد که ضریب متغیر «تعامل» که نمایانگر اثر خالص تحریم‌ها بر ایران نسبت به عربستان است، مثبت (۰٫۰۰۷۵) اما از لحاظ آماری معنادار نیست. این موضوع بیانگر آن است که با وجود افزایش خفیف نرخ رشد دی‌اکسید کربن در ایران پس از اعمال تحریم‌ها نسبت به کشور شاهد، این افزایش از نظر آماری قابل اتکا نیست. ضریب متغیر «پس از تحریم» که تغییرات در کشور عربستان پس از سال تحریم را نشان می‌دهد، منفی (۰٫۰۱۰۰) بوده و حاکی از کاهش رشد انتشار در این کشور است، ولی این کاهش نیز معنادار نیست. همچنین، ضریب

متغیر مجازی مربوط به ایران در دوره پیش از تحریم (DUM) نیز معنادار نیست. از سوی دیگر، متغیر رشد اقتصادی دارای ضریبی مثبت و معنادار (۰.۰۰۳۶) است که تأییدکننده رابطه مستقیم میان رشد اقتصادی و افزایش انتشار دی اکسیدکربن است^۱. به طور کلی، نتایج این مقایسه نشان می دهد که در سطح اطمینان آماری، نمی توان از وجود اثر مشخص و معنادار تحریم ها بر رشد انتشار دی اکسیدکربن در ایران نسبت به عربستان سخن گفت.

• ایران-امارات متحده عربی

بر اساس نتایج حاصل از برآورد مدل تفاوت در تفاوت ها برای ایران (به عنوان کشور آزمایش) و امارات متحده عربی (به عنوان کشور شاهد)، می توان شواهدی از تفاوت های ساختاری در رشد انتشار گاز دی اکسیدکربن بین این دو کشور مشاهده کرد. ضریب متغیر مجازی کشور (DUM) مثبت و از نظر آماری معنادار (۰.۰۷۷ با سطح معناداری ۱ درصد) است که نشان می دهد ایران، در مقایسه با امارات، در کل دوره مورد بررسی از رشد متوسط بالاتری در انتشار CO₂ برخوردار بوده است. این یافته می تواند ناشی از تفاوت در ساختارهای اقتصادی، شدت انرژی، یا ترکیب منابع انرژی مصرفی باشد. متغیر مربوط به دوره پس از تحریم (POST)، با ضریبی برابر با ۰.۰۳۹، گرچه مثبت است اما از نظر آماری معنادار نیست. ضریب متغیر تعاملی (DUMPOST) که اثر تفاضلی دوره پس از تحریم را در ایران نسبت به امارات می سنجد، منفی (۰.۰۵۲۴-) بوده اما فاقد معناداری آماری است. این موضوع بیانگر آن است که اگرچه تحریم ممکن است با کاهش نسبی در نرخ رشد انتشار در ایران همراه بوده باشد، اما این کاهش به طور معناداری از روند امارات متمایز نبوده است. همچنین، متغیر کنترل رشد اقتصادی (GROWTH) اثری مثبت و معنادار بر رشد انتشار گازهای گلخانه ای دارد. این یافته مطابق با انتظارات نظری بوده و نشان می دهد که افزایش رشد اقتصادی با تشدید انتشار CO₂ همراه بوده است. در مجموع، نتایج این برآورد نشان می دهد که علی رغم تفاوت ساختاری در سطح انتشار بین ایران و امارات، تحریم نتوانسته اثر افتراقی معناداری بر کاهش رشد انتشار در ایران نسبت به کشور شاهد ایجاد کند و همچنان رشد اقتصادی مهم ترین عامل محرک انتشار محسوب می شود.

• ایران-ترکیه

بر اساس نتایج حاصل از برآورد مدل تفاوت در تفاوت ها برای ایران (به عنوان کشور آزمایش) و ترکیه (به عنوان کشور شاهد)، شواهدی نسبتاً معنادار از تفاوت در روند رشد انتشار گاز دی اکسیدکربن میان این دو کشور مشاهده می شود. ضریب متغیر دوره پس از تحریم (POST) منفی و از نظر آماری معنادار است (با ضریب ۰.۰۶۱-) که بیانگر آن است که در کل، پس از دوره تحریم، نرخ رشد انتشار CO₂ در هر دو کشور به طور میانگین کاهش یافته است. این می تواند نشان دهنده اثر یک سیاست زیست محیطی یا تغییرات ساختاری اقتصادی در مقیاس منطقه ای یا جهانی باشد. متغیر تعاملی DUMPOST که اثر افتراقی ایران نسبت به ترکیه را در دوره پس از تحریم می سنجد، مثبت (۰.۰۳۲۳) است و از نظر

۱. لازم به ذکر است در جدول ۲ فقط ضریب تعاملی گزارش شده است و سایر ضرایب گزارش نشده است.

آماري معنادار در سطح اطمینان ۹۰ درصد معنادار است. این بدان معناست که با اطمینان کم آماری می‌توان ادعا کرد که روند تغییرات ایران پس از مداخله، نسبت به ترکیه به‌طور معناداری متفاوت بوده است و تحریم بر انتشار گاز دی‌اکسید کربن اثر مثبت داشته است. ضریب متغیر رشد اقتصادی (GROWTH) مثبت و بسیار معنادار است که مطابق با انتظارات نظری، نشان‌دهنده آن است که رشد اقتصادی همچنان یکی از محرک‌های اصلی افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن در این دو کشور است.

• روسیه-عربستان

در تحلیل تفاوت در تفاوت‌ها میان روسیه و عربستان، نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده عدم وجود اثر معنادار در تغییرات انتشار گاز دی‌اکسیدکربن (CO_2) پس از تحریم است. ضریب متغیر دوره پس از تحریم (POST) منفی است، اما این ضریب از نظر آماری معنادار نیست. این به این معناست که نمی‌توان با اطمینان آماری ادعا کرد که در این دو کشور پس از تحریم، کاهش یا افزایش معناداری در نرخ رشد انتشار CO_2 مشاهده شده است. همچنین متغیر تعاملی DUMPOST که اثر افتراقی میان روسیه و عربستان در دوره پس از تحریم را می‌سنجد، ضریب مثبت دارد (۰٫۰۱۲۵) ولی از نظر آماری معنادار نیست؛ بنابراین، این نتیجه نیز نشان‌دهنده عدم تفاوت معنادار میان این دو کشور در واکنش به تحریم است. درنهایت، ضریب متغیر رشد اقتصادی (GROWTH) در این مدل معنادار است و نشان می‌دهد که رشد اقتصادی تأثیر مثبتی بر افزایش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در هر دو کشور دارد که طبق نظریه‌های موجود در زمینه تغییرات اقلیمی و توسعه اقتصادی، این نتیجه مورد انتظار است. در کل، تحلیل نشان می‌دهد که در این مطالعه، تفاوت معناداری در واکنش‌های روسیه و عربستان به تغییرات در دوره‌های خاص مشاهده نمی‌شود و تنها متغیر رشد اقتصادی دارای تأثیر معناداری بر نرخ انتشار CO_2 در این دو کشور است.

• روسیه-امارات

در تحلیل تفاوت در تفاوت‌ها میان روسیه و امارات، متغیر تعاملی DUMPOST ضریب منفی (۰٫۰۲۸۳) دارد، اما این ضریب نیز از نظر آماری معنادار نیست. این می‌تواند به این معنا باشد که هیچ تفاوت معناداری در تأثیرات بعد از تحریم بین روسیه و امارات مشاهده نمی‌شود. ضریب متغیر رشد اقتصادی (GROWTH) برابر با ۰٫۰۴۶ است که نشان‌دهنده تأثیر مثبت و معنادار آن بر افزایش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن است. این نتیجه نشان می‌دهد که رشد اقتصادی در هر دو کشور تأثیر مثبتی بر افزایش انتشار گاز CO_2 دارد که به‌طور کلی با نظریه‌های موجود در زمینه تغییرات اقلیمی و تأثیرات اقتصادی هماهنگ است. به‌طور کلی، تحلیل تفاوت در تفاوت‌ها میان روسیه و امارات نشان می‌دهد که هیچ تأثیر معنادار بین این دو کشور در واکنش به تحریم مشاهده نمی‌شود و تنها متغیر رشد اقتصادی دارای تأثیر معناداری در افزایش انتشار CO_2 است.

• روسیه- ترکیه

در تحلیل تفاوت در تفاوت‌ها میان روسیه و ترکیه، نتایج نشان می‌دهند که تغییرات پس از تحریم (POST) و تعامل این تغییرات با متغیر دامی (DUMPOST) تأثیر معناداری بر تغییرات در میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن (CO_2) در این دو کشور دارند. ضریب متغیر POST برابر با -0.010 است و از نظر آماری معنادار است که نشان‌دهنده تأثیر منفی و معنادار این تغییرات پس از تحریم بر انتشار CO_2 در این دو کشور است. این نتیجه نشان می‌دهد که بعد از تحریم، میزان انتشار CO_2 در روسیه به مراتب بیشتر از ترکیه شده است، پس تحریم توانسته است اثر منفی بر محیط‌زیست بگذارد و انتشار دی‌اکسیدکربن را بیشتر کند. ضریب متغیر رشد اقتصادی (GROWTH) برابر با 0.067 است که تأثیر مثبت و معناداری بر افزایش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در هر دو کشور دارد (سطح معناداری 0.000). این نتیجه نشان می‌دهد که رشد اقتصادی در این دو کشور تأثیر مثبتی بر افزایش انتشار CO_2 داشته است.

• ونزوئلا- عربستان

در تحلیل تفاوت در تفاوت‌ها میان ونزوئلا و عربستان، نتایج نشان می‌دهند که تغییرات پس از تحریم (POST) و تعامل این تغییرات با متغیر دامی (DUMPOST) تأثیر معناداری بر تغییرات در میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن (CO_2) در این دو کشور ندارند. ضریب متغیر POST برابر با -0.024 است و معنادار نیست که نشان‌دهنده عدم تأثیر معنادار تغییرات پس از تحریم بر انتشار CO_2 در این دو کشور است. این نتیجه نشان می‌دهد که بعد از تحریم میزان انتشار CO_2 در این دو کشور تغییرات معناداری نداشته است. متغیر تعاملی DUMPOST نیز ضریب منفی و غیر معنادار -0.013 دارد که نشان‌دهنده عدم تفاوت معنادار در تأثیرات پس از تحریم در این دو کشور است. درنهایت، ضریب متغیر رشد اقتصادی (GROWTH) برابر با 0.035 است که تأثیر مثبت و معناداری بر افزایش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در هر دو کشور دارد. این نتیجه نشان می‌دهد که رشد اقتصادی در این دو کشور تأثیر مثبتی بر افزایش انتشار CO_2 داشته است.

• ونزوئلا-امارات

نتایج مدل در رابطه با تفاوت در تفاوت‌ها میان ونزوئلا و امارات نشان می‌دهد که تغییرات پس از تحریم و تعامل این تغییرات با متغیر دامی تأثیر معناداری بر تغییرات در انتشار گاز دی‌اکسیدکربن (CO_2) در این دو کشور نداشته‌اند. ضریب متغیر تعامل "DUMPOST" معادل -0.048 است و از نظر آماری معنادار نیست. لذا نمی‌توان ادعا کرد که تحریم تأثیر مثبت بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن دارد. درنهایت، ضریب رشد اقتصادی "GROWTH" معادل 0.019 است که تأثیر غیرمعناداری از رشد اقتصادی بر تغییرات در میزان انتشار CO_2 را نشان می‌دهد.

• ونزوئلا-ترکیه

در مورد رابطه بین ونزوئلا و ترکیه، نتایج مدل تفاوت در تفاوت‌ها نشان می‌دهد ضریب متغیر تعامل "DUMPOST" برابر با 0.010 است و از نظر آماری معنادار نیست؛ یعنی اینکه تحریم تأثیر معناداری بر انتشار CO_2 ندارد. ضریب رشد

اقتصادی مانند مدل‌های دیگر "GROWTH" مثبت و معنادار است که نشان می‌دهد رشد اقتصادی تأثیر مثبت معناداری بر تغییرات در میزان انتشار CO₂ دارد.

۴-۳- نتیجه کلی برآوردهای جفت کشوری

یافته‌های جدول دوم که اثر تحریم را بر انتشار گاز دی‌اکسید کربن با استفاده از روش تفاضل در تفاضل و به صورت جفت کشوری بررسی کرده، تصویری نسبتاً پیچیده اما معنادار از رابطه میان تحریم و آلودگی زیست محیطی ترسیم می‌کند. در این تحلیل ۹ مدل جفت کشوری تخمین زده شده که در آن‌ها کشورهای ایران، روسیه و ونزوئلا - به عنوان کشورهای تحریم شده - با کشورهای عربستان، امارات و ترکیه - به عنوان کشورهای مشابه ولی بدون تحریم - مقایسه شده‌اند.

در میان این ۹ مدل، در ۵ مورد ضریب متغیر تعاملی مثبت برآورد شده است که نشان می‌دهد در این موارد، تحریم به افزایش انتشار دی‌اکسید کربن منجر شده است. با این حال، از میان این ۵ مورد تنها دو مدل معناداری آماری دارند: مدل ایران-ترکیه با ضریب مثبت و معنادار (۰/۳۲۳) و مدل روسیه-ترکیه با ضریب مثبت و بسیار معنادار (۰/۳۳۵). این نتایج حاکی از آن است که در مقایسه با کشور ترکیه که تحریم نشده، تحریم در ایران و روسیه با افزایش قابل توجهی در انتشار CO₂ همراه بوده است. این افزایش می‌تواند به دلیل تغییر ساختار تولید، افت در دسترسی به فناوری‌های پاک، یا وابستگی بیشتر به سوخت‌های فسیلی در نتیجه تحریم باشد. در مقابل، در ۴ مدل دیگر ضریب متغیر تعاملی منفی برآورد شده است و در هیچ کدام از این موارد منفی، ضریب از نظر آماری معنادار نیست، اما جهت منفی آن‌ها حاکی از آن است که در بعضی شرایط تحریم ممکن است منجر به کاهش انتشار CO₂ شده باشد. به عنوان نمونه، در مدل ایران-امارات ضریب منفی و نسبتاً بزرگ مشاهده شده، گرچه غیرمعنادار است. این می‌تواند به کاهش تولید صنعتی، افت مصرف انرژی یا کاهش رشد اقتصادی ناشی از تحریم مربوط باشد که در نهایت منجر به کاهش انتشار شده است.

نکته جالب توجه این است که در تمامی مدل‌هایی که ترکیه به عنوان کشور مقایسه‌ای حضور دارد، چه با ایران، چه با روسیه و چه با ونزوئلا، ضریب برآورد شده مثبت است. این الگو نشان می‌دهد که مقایسه با ترکیه - کشوری با ساختار اقتصادی نسبتاً مشابه ولی بدون محدودیت‌های تحریمی - بیشترین حساسیت نسبت به اثر تحریم بر انتشار دی‌اکسید کربن را آشکار می‌کند. همچنین می‌توان استنباط کرد که ترکیه به عنوان کشور مرجع در این مطالعه، معیار مناسبی برای سنجش انحراف ناشی از تحریم در الگوهای زیست محیطی کشورهای تحریم شده است. در مجموع، این نتایج نشان می‌دهد که تحریم‌ها به طور کلی اثر مثبتی (افزایشی) بر انتشار دی‌اکسید کربن در کشورهای مورد مطالعه داشته‌اند. این اثر در دو مورد به صورت آماری معنادار بوده و در سایر موارد نیز علائم ضرایب و مقادیر آن‌ها نشانه‌هایی از ارتباط بین تحریم و افزایش آلودگی را نمایان می‌سازند. اگرچه برخی ضرایب منفی هستند، اما عدم معناداری آماری آن‌ها مانع از استنتاج قطعی در مورد اثر کاهشی تحریم بر انتشار CO₂ می‌شود. به طور کلی، می‌توان چنین نتیجه گرفت که تحریم‌ها در عمل موجب تضعیف سیاست‌های محیط‌زیستی و وابستگی بیشتر به انرژی‌های آلاینده شده‌اند، به ویژه در کشورهایی

که وابستگی بالاتری به صادرات انرژی دارند و در نتیجه تحت تحریم، دچار افت فناوری، کاهش بازدهی زیست محیطی و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای شده‌اند.

۴-۴- آزمون فرض موازی بودن روند انتشار CO_2

قبل از پرداختن به جمع‌بندی مقاله لازم است مهمترین آزمون روش تفاضل در تفاضل که parallel trend test برای قبل از واقعه یعنی تحریم است باید انجام شود. نتایج حاصل از برآورد مدل پانل EGLS (Cross-section SUR) برای آزمون فرضیه موازی بودن روندها در دوره پیش از تحریم‌ها (قبل از سال ۲۰۱۰) نشان می‌دهد که ضریب متغیر تعاملی بین روند زمانی و متغیر دامی ($DUM \times TREND$) برابر با ۰٫۰۰۰۵۶۶ بوده و از نظر آماری معنادار نیست (جدول ۴). این یافته بیانگر آن است که شیب روند انتشار دی‌اکسیدکربن در کشورهای گروه آزمایش (ایران، ونزوئلا و روسیه) و کشورهای گروه شاهد (عربستان سعودی، امارات متحده عربی و ترکیه) در دوره پیش از تحریم تفاوت معناداری نداشته است. به عبارت دیگر، تغییرات نرخ رشد لگاریتمی انتشار CO_2 در هر دو گروه، در دوره قبل از اعمال تحریم‌ها، روند مشابهی را دنبال کرده است.

با توجه به معنادار نبودن ضریب متغیر تعاملی، فرضیه صفر مبنی بر وجود روندهای موازی در انتشار دی‌اکسیدکربن بین گروه‌های آزمایش و شاهد رد نمی‌شود. این نتیجه مؤید آن است که پیش از شوک تحریم‌ها، الگوی تغییرات انتشار CO_2 در دو گروه کشور به‌طور موازی حرکت کرده است و بنابراین، شرط اساسی اعتبار روش تفاوت در تفاوت‌ها (Difference-in-Differences) در این مطالعه برقرار است. از این رو، می‌توان تغییرات بعدی در روند انتشار دی‌اکسیدکربن پس از سال ۲۰۱۰ را با اطمینان بیشتری به اثر تحریم‌ها نسبت داد و نه به تفاوت‌های ساختاری در روندهای پیشین میان گروه‌ها.

جدول ۴. آزمون موازی بودن روند متغیر وابسته (انتشار دی‌اکسیدکربن) قبل از سال ۲۰۱۰

متغیر	ضریب (Coefficient)	خطای استاندارد (Std. Error)	آماره t (t-Statistic)	احتمال (Prob.)
C	۰٫۰۷۳	۰٫۰۱۶	۴٫۴۶۷	***۰٫۰۰۰
DUM (کشورهای آزمایش)	-۰٫۰۴۵	۰٫۰۱۶۵	-۲٫۷۱۱	***۰٫۰۰۷
TREND@ (روند زمانی)	-۰٫۰۰۱۲	۰٫۰۰۰۴۱	-۲٫۹۳۸	***۰٫۰۰۳
DUM x @TREND	۰٫۰۰۰۵	۰٫۰۰۰۴	۱٫۳۴۸	۰٫۱۷۸

۵- نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها سیاستی

در تحلیل‌های انجام‌شده با استفاده از روش شبه‌آزمایشی تفاوت در تفاوت‌ها، شواهد تجربی به‌روشنی نشان می‌دهد که تحریم‌های اقتصادی بین‌المللی اثر معناداری بر مسیر انتشار دی‌اکسیدکربن در کشورهای هدف (ایران، روسیه و ونزوئلا) برجای گذاشته‌اند. نتایج مدل کلی حاکی از آن است که تحریم‌ها به‌طور میانگین منجر به افزایش ۲۰٫۱

درصدی در رشد انتشار CO₂ در کشورهای تحریمی شده‌اند، درحالی‌که در گروه کشورهای غیرتحریمی، کاهش حدود ۲ درصدی در رشد انتشار مشاهده شده است. این تفاوت جهت‌دار بیانگر آن است که تحریم‌ها نه تنها موجب کاهش وابستگی به انرژی‌های آلاینده نشده‌اند، بلکه با ایجاد محدودیت در دسترسی به فناوری‌های پاک، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های انرژی تجدیدپذیر را نیز تضعیف کرده‌اند و در نتیجه، گرایش به مصرف سوخت‌های فسیلی و آلاینده را افزایش داده‌اند. به عبارتی، تحریم‌ها از مسیرهای غیرمستقیم، از جمله افت کارایی انرژی و کاهش انگیزه‌های زیست محیطی، منجر به تشدید انتشار گازهای گلخانه‌ای شده‌اند.

علاوه بر این، ضریب مثبت و معنادار متغیر رشد اقتصادی در مدل‌ها نشان می‌دهد که رشد اقتصادی همچنان از مهم‌ترین عوامل افزایش انتشار CO₂ است و این یافته با الگوی نظری منحنی کوزنتس زیست محیطی هم‌خوانی دارد. تحلیل‌های جفت‌کشوری نیز نشان دادند که اثر تحریم‌ها بسته به کشور مقایسه‌ای متفاوت است؛ به‌ویژه در مدل‌های ایران-ترکیه و روسیه-ترکیه، تأثیر تحریم‌ها بر رشد انتشار گازهای گلخانه‌ای قابل توجه و مثبت بوده است. این نتایج اهمیت انتخاب کشورهای مرجع با ساختار اقتصادی مشابه ولی بدون تحریم را در تحلیل‌های تطبیقی برجسته می‌سازد، چراکه چنین مقایسه‌هایی به شناسایی دقیق‌تر اثر خالص تحریم‌ها بر عملکرد زیست محیطی کشورها کمک می‌کند. بااین حال، در برخی جفت‌کشورها مانند ایران-امارات، اگرچه ضریب منفی مشاهده شد، اما به دلیل عدم معناداری آماری، نمی‌توان نتیجه‌گیری قطعی در مورد اثر کاهنده تحریم‌ها ارائه داد.

با توجه به یافته‌های به دست آمده، چند نتیجه کلیدی و سیاستی از این پژوهش قابل استنباط است. نخست آنکه، تحریم‌های اقتصادی اگر بدون لحاظ ملاحظات زیست محیطی طراحی شوند، می‌توانند اثرات جانبی قابل توجهی بر پایداری اکولوژیک کشورها بر جای گذارند. دوم، کشورهای تحت تحریم برای کاهش آسیب‌پذیری در برابر این آثار نیازمند تقویت ظرفیت‌های داخلی در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر و فناوری‌های پاک هستند. سوم، همسویی رشد اقتصادی با سیاست‌های سبز و بهره‌وری انرژی، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است تا رشد اقتصادی به تشدید آلودگی منجر نشود. درنهایت، پژوهش‌های آینده می‌توانند با تمرکز بر اثرات بخشی تحریم‌ها (در بخش‌های انرژی، صنعت و حمل‌ونقل) و استفاده از داده‌های طولی در دوره‌های زمانی بلندتر، سازوکارهای دقیق‌تری از نحوه انتقال اثر تحریم‌ها بر محیط زیست را شناسایی کنند.

درمجموع، نتایج این مطالعه بر اهمیت بازنگری در سیاست‌های تحریمی از منظر زیست محیطی تأکید دارد. بی‌توجهی به پیامدهای محیط‌زیستی تحریم‌ها می‌تواند دستاوردهای توسعه پایدار را تهدید کند. ازاین‌رو، سیاست‌گذاران باید هنگام طراحی یا اعمال تحریم‌ها، راهکارهای مکملی نظیر حمایت از فناوری‌های پاک، همکاری‌های منطقه‌ای زیست محیطی و انتقال دانش فنی را مدنظر قرار دهند تا ضمن تحقق اهداف اقتصادی و سیاسی، از تشدید چالش‌های زیست محیطی نیز جلوگیری شود.

با توجه به نتایج این پژوهش، کشورهایی که در معرض تحریم‌های اقتصادی قرار دارند، باید رویکردی فعالانه و سازگار با شرایط تحریم در پیش گیرند تا آثار منفی این محدودیت‌ها بر محیط زیست را کاهش دهند. تحریم‌ها معمولاً دسترسی

کشورها به فناوری‌های نوین و انرژی‌های پاک را محدود می‌کنند و در نتیجه، وابستگی به سوخت‌های فسیلی و آلاینده افزایش می‌یابد. در چنین شرایطی، کشور تحریم شونده باید با استفاده از ظرفیت‌های داخلی، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های بومی، تقویت شرکت‌های دانش‌بنیان و بهره‌گیری از همکاری‌های منطقه‌ای یا نهادهای غیردولتی بین‌المللی، مسیر توسعه فناوری‌های پاک را حفظ کند. اصلاح سیاست‌های انرژی از جمله بازنگری در یارانه‌های سوخت‌های فسیلی، اعمال مالیات بر آلاینده‌ها و ایجاد مشوق‌هایی برای صنایع کم‌کربن می‌تواند به کاهش وابستگی به انرژی‌های آلاینده و افزایش بهره‌وری انرژی کمک کند. علاوه بر این، توسعه زیرساخت‌های انرژی تجدیدپذیر مانند خورشیدی و بادی، حتی در مقیاس کوچک و محلی، راهکاری مؤثر برای کاهش آسیب‌پذیری در برابر تحریم‌های خارجی و نوسانات بازار جهانی انرژی است.

در کنار اقدامات اقتصادی و فناورانه، کشور تحریم‌شونده باید سیاست‌های زیست‌محیطی خود را در چارچوبی شفاف و پایدار بازطراحی کند. ایجاد نظام پایش و ارزیابی مستمر انتشار گازهای گلخانه‌ای، انتشار منظم داده‌های محیط‌زیستی، و مشارکت نهادهای علمی و مدنی در سیاست‌گذاری، می‌تواند اعتماد عمومی و بین‌المللی را تقویت کند. همچنین، بهره‌گیری از دیپلماسی محیط‌زیستی در سطح منطقه‌ای و جهانی، به‌ویژه از طریق همکاری‌های آموزشی، پروژه‌های مشترک پژوهشی و استفاده از تجارب سایر کشورها، به تداوم مسیر توسعه پایدار کمک می‌کند. در مجموع، کشور تحریم‌شونده می‌تواند با تبدیل چالش تحریم‌ها به فرصتی برای نوآوری، بازنگری در ساختار انرژی و تقویت استقلال فناورانه، نه تنها اثرات منفی تحریم‌ها را کاهش دهد، بلکه گامی مؤثر در جهت دستیابی به رشد سبز و پایدار بردارد.

منابع

منابع داخلی

- حسینی، م، شریفی، ع و قربانی، ر. (۱۳۹۸). تأثیر تحریم‌های اقتصادی بر آلودگی زیست‌محیطی در ایران: پژوهش‌های اقتصادی ایران، ۸۹، ۲۴-۱۱۲، (۳).
- مداح، مجید. (۱۴۰۴). رابطه بین تحریم‌های اقتصادی، فساد و کیفیت محیط‌زیست. مطالعات اقتصاد بخش عمومی، ۴(۲)، ۲۴۷-۲۷۴. doi: 10.22126/pse.2025.11580.1175
- دهقانی، مریم، موسی زاده، رضا و صلح چی، محمدعلی. (۱۴۰۳). تحریم علمی به مثابه ابزار سیاست خارجی آمریکا؛ مطالعه موردی تحریم فن‌آوری فضایی ایران و محرومیت از حق بر علم و آثار آن بر محیط‌زیست کشور. فصلنامه سیاست خارجی، ۳۸(۳)، ۹۹-۱۲۶.
- میرزایی، س. (۱۴۰۰). تحریم‌ها و سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر: مطالعه موردی ایران. فصلنامه سیاست‌های انرژی، ۱۳، ۴۵-۶۸، (۲).

منابع خارجی

- Abate, G. T, Rashid, S, Borzaga, C, & Getnet, K. (2016). Rural finance and agricultural technology adoption in Ethiopia: Does the institutional design of lending organizations matter? *World Development*, 84, 235-253. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.03.003>

- Afesorgbor, S. K., & Mahadevan, R. (2016). The impact of economic sanctions on income inequality of target states. *World Development*, 83, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.03.003>
- Angrist, J. D., & Pischke, J. S. (2009). *Mostly harmless econometrics: An empiricist's companion*. Princeton University Press.
- Biermann, F., & Hudec, M. (2017). The impact of external pressure on domestic environmental policies. *Environmental Politics*, 26(5), 795–816. <https://doi.org/10.1080/09644016.2017.1335789>
- Doostkouei, S. G., Mousavi, M. H., & Karimi, M. S. (2024). Do oil sanctions reduce Dutch disease phenomenon? A quasi-experimental approach evidence from Iran. *International Economics and Economic Policy*, 21(2), 385–410.
- Dizaji, S. F., & Farzanegan, M. R. (2021). Sanctions and the composition of energy consumption in Iran: A trade-off between economic growth and environmental quality. *Energy Policy*, 149, 112012. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.112012>
- Esfahani, H. S., & Pesaran, M. H. (2009). The Iranian economy in the twentieth century: A global perspective. *Iranian Studies*, 42(2), 177–211.
- Farzanegan, M. R., & Markwardt, G. (2009). The effects of oil price shocks on the Iranian economy. *Energy Economics*, 31(1), 134–151. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2008.09.003>
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. *Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353–377. <https://doi.org/10.2307/2118443>
- Hufbauer, G. C., Schott, J. J., Elliott, K. A., & Oegg, B. (2007). *Economic sanctions reconsidered* (3rd ed.). Peterson Institute for International Economics.
- Kaempfer, W. H., & Lowenberg, A. D. (2007). The political economy of economic sanctions. In T. Sandler & K. Hartley (Eds.), *Handbook of Defense Economics* (Vol. 2, pp. 867–911). Elsevier.
- Legg, S. (2021). IPCC, 2021: Climate change 2021—the physical science basis. *Interaction*, 49(4), 44–45.
- Neuenkirch, M., & Neumeier, F. (2016). The impact of UN and US economic sanctions on GDP growth. *European Journal of Political Economy*, 40, 110–125. <https://doi.org/10.1016/j.ejpoleco.2015.09.001>
- Peksen, D. (2019). When do imposed economic sanctions work? A critical review of the sanctions effectiveness literature. *Defence and Peace Economics*, 30(6), 635–647. <https://doi.org/10.1080/10242694.2019.1618229>