FANPAYA
Knowledge Based Company
(PUBLISHERS)

Journal of Environmental Sciences Studies (JESS)
Volume 10, Number 3, Autumn, (2025)

Journal Homepage: www.jess.ir
Print ISSN: 2588-6851 Online ISSN: 2645-520X

# Investigating the Environmental Impact of ICT Imports, Differentiated by Global North and South Regions, on Iran's Steel Industry

**Maryam Hajipour Apourvari [1]; Mehdi Nejati [2*]; Sayyed Abdolmajid Jalaee Esfandabadi [3]; Mojtaba Bahmani [4]**

1. Ph.D. Candidate, Faculty of Management and Economics, Shahid Bahonar University, kerman, Iran.
*2. Associate Professor, Faculty of Management and Economics, Shahid Bahonar University, kerman, Iran.
3. Professor, Faculty of Management and Economics, Shahid Bahonar University, kerman, Iran.
4. Associate Professor, Faculty of Management and Economics, Shahid Bahonar University, kerman, Iran.

*Email Address: mnejati@uk.ac.ir

**Article Info**

**Article Type:**
Research Paper

**Article History:**

Received Date:
**2025/09/30**
Revised Date:
**2025/10/10**
Accepted Date:
**2025/11/11**
Published Date:
**2025/12/06**

**Keywords:**
Pollution emissions,
productivity spillovers,
iron and steel industry,
absorptive capacity,
ICT imports,
multi-regional general equilibrium model.

**ABSTRACT**

Achieving sustainable development necessitates leveraging existing potentials and utilizing international opportunities to foster desirable economic growth while adhering to appropriate environmental standards. The development of energy-intensive industries, particularly the iron and steel sector, can accelerate economic growth but may entail adverse environmental impacts, thereby undermining the trajectory of sustainable development. As one of the international opportunities, importing high-technology goods, such as information and communication technology (ICT) products, and integrating them into production processes can drive economic growth. Furthermore, if ICT imports are accompanied by technological spillovers, they may contribute to cleaner production technologies in energy-intensive industries like iron and steel. It is noteworthy that the level of development of the exporting countries and their capacity to absorb and apply foreign technology in the importing country are critical factors influencing the extent of productivity spillovers. In this study, a multi-regional general equilibrium model is employed to investigate the effects of ICT imports on environmental variables and the iron and steel sector. To this end, the world's countries are aggregated into three regions: Iran (the ICT importer), developed countries, and developing countries (the ICT-exporting regions). The results indicate that, in addition to increased production and exports, energy demand, carbon emissions, and energy intensity in the iron and steel sector rise, while carbon dioxide intensity decreases. Moreover, if the source region is developing countries, ICT imports from both developed and developing regions render the production techniques in the iron and steel sector more polluting. A key finding is that technological spillovers from imports originating in developing countries lead to a deterioration in both technique and composition effects in the iron and steel sector, resulting in higher carbon emissions. Conversely, when imports originate from developed countries, technological spillovers improve the technique and composition of production at the macro level, reducing output in the iron and steel sector and shifting production techniques toward cleaner inputs. Based on these findings, it is recommended that, if environmental considerations are prioritized, importing ICT from developed countries should be emphasized. Efforts should focus on removing tariff and non-tariff barriers to imports from developed regions to facilitate this process.

**Cite this article:** Maryam Hajipour Apourvari , Mehdi Nejati , Sayyed Abdolmajid Jalaee Esfandabadi , Mojtaba Bahmani (2025) , Investigating the Environmental Impact of ICT Imports, Differentiated by Global North and South Regions, on Iran's Steel Industry , Journal of Environmental Sciences Studies , 10(3) , Pages 10734 -10754.

## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

Global warming has prompted nations worldwide to seek effective strategies to mitigate its impacts. To this end, annual global conferences, known as the Conference of the Parties (COP), are convened with the primary objective of reducing greenhouse gas emissions. Carbon dioxide ($CO_2$) constitutes the largest share of greenhouse gases, primarily emitted through the consumption of fossil fuels across various economic sectors. Energy-intensive industries, particularly the iron and steel sector, are among the most significant contributors to carbon emissions. As a country with substantial energy reserves and a prominent iron and steel industry, Iran plays a critical role in global carbon emissions. Several factors can contribute to mitigating the adverse environmental impacts of this sector, with the adoption of information and communication technology (ICT) goods and their associated technologies in production processes being a key determinant in reducing carbon emissions. For countries lacking the capacity to produce high-technology ICT goods domestically, access to these technologies can be achieved through imports or foreign direct investment (FDI). The technological sophistication of ICT goods varies across countries. For instance, ICT imports from developed nations typically embody higher technological advancements compared to those from developing countries. Moreover, the environmental cleanliness of these technologies may differ, leading to varying environmental impacts in the importing countries. Additionally, imports may generate spillover effects, such as technology transfer, the extent of which depends on the recipient country's capacity to absorb foreign technology. This study employs a multi-regional computable general equilibrium (CGE) model to investigate the impact of ICT imports on a range of variables within the iron and steel sector. The analysis evaluates how the integration of ICT goods influences carbon emissions, energy consumption, and related intensities, considering both direct effects and potential technological spillovers.

### Materials and methods

In this study, a multi-regional general equilibrium model is employed to investigate the effects of ICT imports on environmental variables and the iron and steel sector. To this end, the world’s countries are aggregated into three regions: Iran (the ICT importer), developed countries, and developing countries (the ICT-exporting regions).

### Results and discussion

The results indicate that, in addition to increased production and exports, energy demand, carbon emissions, and energy intensity in the iron and steel sector rise, while carbon dioxide intensity decreases. Moreover, if the source region is developing countries, ICT imports from both developed and developing regions render the production techniques in the iron and steel sector more polluting. A key finding is that technological spillovers from imports originating in developing countries lead to a deterioration in both technique and composition effects in the iron and steel sector, resulting in higher carbon emissions. Conversely, when imports originate from developed countries, technological spillovers improve the technique and composition of production at the macro level, reducing output in the iron and steel sector and shifting production techniques toward cleaner inputs.

### Conclusion

Based on the findings, the following policy recommendations are proposed to promote technological advancement and environmental sustainability in Iran’s iron and steel sector. First, to accelerate technological progress, it is imperative to address barriers to importing information and communication technology (ICT) goods, particularly from developed countries. Second, enhancing technology absorption capacities—such as human capital, institutional quality, and research and development (R&D) capabilities—will facilitate greater technological spillovers, thereby strengthening Iran’s technological base. Third, if policymakers aim to align with global environmental objectives, prioritizing ICT imports from developed countries is advisable due to their higher technological sophistication and cleaner production standards. Imports from developed nations are likely to yield greater environmental and technological benefits. However, if the objective is to expand iron and steel production while adhering to environmental standards, efforts should focus on removing both tariff and non-tariff barriers to ICT imports from both developed and developing countries.

مجله مطالعات علوم محیط زیست
جلد ۱۰، شماره ۳
Journal Homepage:www.jess.ir
شاپای چاپی: 2588-6851 شاپای الکترونیکی: 2645-520X

FANPAYA
Knowledge Based Company
(PUBLISHERS)

# بررسی اثرات زیست محیطی واردات کالاهای ICT از کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه بر بخش آهن و فولاد در ایران

مریم حاجی‌پور اپوروای[۱]، مهدی نجاتی*[۲]، سید عبدالمجیدجلائی اسفندآبادی[۳]، مجتبی بهمنی[۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه آموزشی علوم اقتصادی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
*۲- دانشیار، گروه آموزشی علوم اقتصادی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
۳- استاد، گروه آموزشی علوم اقتصادی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
۴- دانشیار، گروه آموزشی علوم اقتصادی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
*ایمیل نویسنده مسئول: mnejati@uk.ac.ir

**اطلاعات مقاله**

**نوع مقاله:**
مقاله علمی پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۴/۰۷/۰۸
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۴/۰۷/۱۸
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۴/۰۸/۲۰
تاریخ انتشار:
۱۴۰۴/۰۹/۱۵

**کلید واژه ها:**
انتشار آلودگی،
سرریزبهره‌وری، صنعت آهن وفولاد، واردات کالاهای فناوری اطلاعات و ارتباطات، مدل تعادل عمومی چند منطقه‌ای.

**چکیده**

استفاده از فناوریهای نوین در فرایند تولید کالاهای انرژی‌بر مانند آهن و فولاد، علاوه‌براینکه تولید کالاها را بهبود می‌بخشد، می‌تواند اثرات زیست محیطی را تشدید نموده و یا کاهش دهد. یکی از روشهای دستیابی به فناوری های پیشرفته، واردات فناوری اطلاعات و ارتباطات(ICT) است. چنانچه واردات ICT همراه با سرریز تکنولوژی باشد ممکن است به پاک‌تر شدن تکنولوژی تولید آهن و فولاد کمک نماید. در این تحقیق با بکارگیری یک مدل تعادل عمومی چندمنطقه‌ای به بررسی اثرات واردات کالاهای ICT بر بخش آهن و فولاد پرداخته شده‌است. نتایج نشان می‌دهد که واردات ICT از کشورهای درحال‌توسعه (جنوب) اگر بدون سرریز بهره‌وری باشد، انتشار کربن و مصرف انرژی را افزایش و شدت کربن و انرژی را کاهش خواهد داد و اگر واردات همراه با اثرات سرریز باشد، شدت کربن و شدت انرژی را کاهش خواهدداد. واردات ICT از کشورهای توسعه‌یافته (شمال) منجر به کاهش انتشار کربن و مصرف انرژی و همچنین افزایش شدت کربن و شدت انرژی در بلندمدت شده‌است که نشان دهنده کاهش تولید در این بخش می‌باشد. علاوه‌براین نتایج نشان می‌دهد که، هرچه قابلیت جذب تکنولوژی در ایران بهبودیابد، شدت کربن و شدت انرژی به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد یافت. به طوریکه این کاهش شدیدتر خواهد بود اگر واردات از شمال باشد. براین اساس، برای ارتقای کیفیت محیط زیست، افزایش واردات ICT بخصوص از شمال و بهبود عوامل دخیل در قابلیت جذب تکنولوژی در کشور ایران، پیشنهاد می گردد.

**ناشر:** انتشارات فن پایا

DOI:10.22034/jess.2025.550377.2410

## ۱-مقدمه

در دنیای امروزی، آهن و فولاد نقش حیاتی بازی می‌کنند و زندگی بشر با آهن و فولاد احاطه شده است. به طوریکه قسمت قابل توجهی از تجهیزات ساخته شده در جهان از این فلزات تشکیل شده است. به همین دلیل تقاضای آهن و فولاد از سال ۱۹۷۰ تا امروز به بیش از سه برابر افزایش یافته است. ( Kim et al, 2022)، (Ren et al, 2025). تقریبا ۸٪ از کل مصرف انرژی جهانی مربوط به این بخش است و هزینه انرژی سهم بالایی در فرایند تولید آن دارد به طوریکه از ۲۰٪ تا ۴۰٪ از کل هزینه‌ها را شامل می‌شود و جزء بخش‌های انرژی‌بر به شمار می‌آید. (آژانس بین‌المللی انرژی،۲۰۲۲، IEA ؛ Kim et al, 2022،). لازم به ذکر است که شدت مصرف انرژی در سال ۲۰۲۳ برابر با ۲۱/۲۷ گیگاژول برای تولید هر تن فولاد خام بوده است. ( انجمن جهانی فولاد ،World Steel Association، ۲۰۲۴). عمده‌ترین منبع انرژی در این بخش زغال سنگ، گاز و الکتریسیته می‌باشد. ( Durga et al, 2024; Quader et al, 2015). مصرف بالای انرژی بخصوص زغالسنگ، انتشار کربن در این بخش نسبت به سایر بخش‌های صنعت را افزایش می‌دهد به طوریکه یک چهارم انتشار کربن بخش صنعت و ۷٪ از انتشار مستقیم کربن جهانی در این بخش صورت می‌گیرد (IEA; 2022). ایران با تولید ۳۱ میلیون تن فولاد و ۵۵ میلیون تن آهن، در سال ۲۰۲۴ دارای ۱۰امین رتبه تولید آهن و فولاد در جهان است ( World Steel Association;2024) همچنین بعد از صنایع پتروشیمی، دومین منبع صادرات غیرنفتی در ایران می‌باشد (چیلان، ۱۳۹۴). مهمترین نهاده انرژی مورد استفاده در صنعت آهن و فولاد ایران، گاز طبیعی است. در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰، به ترتیب تقریباً ۳۵ و ۳۲ درصد از مصرف نهایی گاز طبیعی در صنایع ایران مربوط به این صنعت بوده است (ترازنامه انرژی، ۱۴۰۰). این موضوع نشان می‌دهد که صنعت آهن و فولاد قسمت اعظم تقاضای انرژی در بخش صنعت را دارا می‌باشد و می‌تواند نقش مهمی در انتشار کربن در اقتصاد ایران داشته باشد. با توجه به سهم بالای آهن و فولاد در مصرف انرژی و انتشار کربن، استفاده بهینه مصرف انرژی و دستیابی به راه حل مطلوب زیست‌محیطی در این بخش می‌تواند به ایجاد توسعه پایدار در ایران کمک نماید. علاوه براین، برای فائق آمدن بر چالش‌های زیست‌محیطی و ارائه راهکارهای سیاستی مناسب، توجه ویژه به بخش آهن و فولاد ضروری می‌باشد. دو راهکار عمده برای کاهش انتشار کربن و مصرف انرژی در بخش آهن و فولاد وجود دارد. **اولاً**، تولید و توسعه تکنولوژی‌های جدید کم انتشار که می‌توانند تا حد زیادی ردپای کربن صنایع آهن و فولاد را کاهش دهند. به عنوان مثال، استفاده از هیدروژن به عنوان یک عامل کاهش دهنده می‌تواند به اندازه زیادی موجب کاهش انتشار کربن شود. (Hubatka et al, 2023; IEA,2023) **ثانیاً**، بهینه‌سازی تکنولوژی‌های موجود در بخش آهن و فولاد، که مشتمل بر بهبود کارائی انرژی، استفاده از سوخت‌های فسیلی جایگزین (مانند استفاده از گاز به جای زغالسنگ) و بازیافت آهن و فولاد به جای ساخت آنها است. (هوباتکا و همکاران، ۲۰۲۳). رونق دیجیتال و فناوری‌های صنعت موجب بهبود تکنولوژی تولید می‌شود و کارائی تولید در بخش صنعت را افزایش می‌دهد. با دیجیتالی کردن فرایند تولید آهن و فولاد می‌توان به سطوح بهینه مصرف انرژی و کربن‌زدایی دست یافت که این امر با بکارگیری ICT همراه با هوشمندسازی (جایگزینی یا کاهش نیاز به مداخله انسانی در انجام کارها و و عملیات) صورت می‌گیرد. (Gajdzik & Wolniak, 2021; Dimian et al, 2025). نتایج تحقیق Wei et al, 2024 نشان داد که دیجیتالی کردن صنعت به طور معنی داری موجب کاهش شدت کربن در فرایند تولید می‌شود. اما کاهش انتشار در صنایع سوم (خدمات) و مهارت‌های دیجیتال بالا، شدیدتر خواهد بود. (Zhao & Zhang, 2025) نشان دادند که دیجیتال سازی در صنایع چین به میزان زیادی کارائی انتشار کربن از طریق صادرات را از کانال بهره‌وری کل عوامل تولید، بهبود کیفیت کالاهای صادراتی و به روزرسانی ساختار صنایع، بهبود می‌بخشد. دیجیتال سازی مبتنی بر ICT دربرگیرنده تمام حوزه‌های اقتصادی و اجتماعی است و می‌تواند اثرات متضادی بر مصرف انرژی و انتشار کربن بنگاه‌ها و خانوار داشته باشد. (Briglauer et al, 2023). ICT یک صنعت فراهم کننده زیرساخت‌ها و کالاها و خدمات دیجیتالی برای سایر بخش‌ها در اقتصاد است. (ایرانشاهی و دیگران، ۱۴۰۲؛ Wei et al, 2024). واردات ICT می‌تواند اثرات مثبت و منفی بر مصرف انرژی و انتشار کربن در بخش‌های مختلف اقتصاد داشته باشد به طوریکه برآیند اثرات آن می‌تواند مبهم باشد. بنابراین هدف این تحقیق ارزیابی اثر واردات ICT بر بخش آهن و فولاد در ایران با استفاده از یک مدل تعادل عمومی چندمنطقه‌ای زیست‌محیطی می‌باشد. نوآوری این پژوهش در چند زمینه است. اولاً، تمرکز این مطالعه در بررسی اثر واردات ICT بر مصرف انرژی، انتشار کربن، شدت انرژی و شدت کربن در بخش آهن و فولاد می‌باشد که مطالعات مشابهی در این زمینه وجود ندارد. ثانیاً، با توجه به اینکه واردات ICT از شمال و جنوب اثرات متفاوتی می‌گذارد، از ماتریس حسابداری اجتماعی چندمنطقه‌ای استفاده شده است و مناطق به سه منطقه ایران، کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه تجمیع شده‌اند تا بتوان اثرات متفاوت واردات از شمال و جنوب را ارزیابی نمود. ثالثاً، به منظور شبیه‌سازی اثرات سرریز واردات ICT بر بهره‌وری بنگاه‌های تولیدکننده آهن و فولاد، از چند تابع سرریز تکنولوژی استفاده است. رابعاً، چنانچه کشور واردکننده دارای ظرفیت جذب قابل قبولی باشد، سرزیر تکنولوژی رخ خواهد داد (Girma, 2005). بنابراین در مدلسازی تعادل عمومی سرریز، نقش قابلیت جذب نیز لحاظ شده است. در ادامه مقاله به این صورت سازماندهی شده است که در قسمت

دوم مبانی نظری و در قسمت سوم پیشینه پژوهش ارائه شده، در قسمت چهارم، متدولوژی، و در قسمت پنجم، داده ها و سناریوها تشریح شده است. تجزیه و تحلیل نتایج و نتیجه‌گیری و پیشنهادات سیاستی در قسمتهای بعدی مطرح شده است

## ۲-مبانی نظری

### ۲,۱. ICT، مصرف انرژی و انتشار کربن

ICT می‌تواند از سه کانال بر مصرف انرژی و انتشار کربن اثرگذار باشد. **اولاً**، در فرایند تولید تجهیزات فناوری اطلاعات و ارتباطات، نصب، پردازش، توزیع، بهره‌برداری و بازیافت پسماند، مصرف انرژی و انتشار کربن افزایش می‌یابد که به **اثر مصرف** معروف می‌باشد. (Shahnazi & Dehghan Shabani, 2019 Hilty, ;2008). ۲ الی ۳ درصد از انتشار کربن جهانی مربوط به تولید کالاهای ICT است. (Danish, 2019). **ثانیاً، اثر جانشینی** دومین کانالی است که از طریق آن، ICT بر انتشار co2 اثرگذار است و مربوط به سازماندهی مجدد فرآیند تولید است. این اثر شامل **۱- کربن زدایی** (Salahuddin et al, Ozcan & Apergis, 2018 2015) یا بهبود کارائی تولید به طوریکه اقتصاد به سمت کالاهای کمتر انرژی‌بر حرکت کند. استفاده از تکنولوژی‌های هوشمند مانند GPS، دوربین‌های کنترل ترافیک و سیستمهای حمل و نقل هوشمند از این نوع می‌باشند. ( Shahnazi & Dehghan Shabani, 2019). **۲-تحرک‌زدایی** ( Salahuddin et al, 2016) که به مفهوم گذار از ارتباطات فیزیکی به سمت ارتباطات دیجیتالی است. به عنوان مثال استفاده از بانکداری الکترونیک و تجارت الکترونیک می‌تواند از جابجایی فیزیکی افراد جلوگیری نماید. ( Zheng et al, 2023) **۳- ماده‌زدایی** یا کاهش مصرف مواد ( Danish et al, 2018 ; Hilty, 2008) انواع تخریب‌های زیست‌محیطی را از طریق جایگزینی کالاهای فیزیکی با کالاهای دیجیتالی کاهش می‌دهد. استفاده از ایمیل به جای نامه و کتاب الکترونیکی به جای کتاب فیزیکی از این نوع می‌باشد. ( اعظمی و دیگران،۱۴۰۲). **ثالثاً**، افزایش تولید ICT و بکارگیری آن در بخش‌های اقتصادی موجب کاهش قیمت و افزایش تقاضای سایر کالاها می‌شود( **اثر هزینه**) که درنهایت، افزایش مصرف انرژی و انتشار کربن را بدنبال خواهد داشت. (Shahnazi & Dehghan Shabani, 2019؛ Danish, 2019). به نظرمی‌رسد که کالاهای ICT اثرات مبهمی بر مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد و نتایج تجربی ارائه شده در این زمینه، مؤید این مطلب می‌باشد. اثر مطلوب ICT بر محیط زیست در مطالعاتی مانند، (Briglauer et al, 2023؛ Chishti et al, 2025، You et al, 2024; Zheng et al, 2023 ; Zhu et al, 2024; Li & Zhang, 2023 ) به اثبات رسیده است. درحالی‌که، یک رابطه مثبت بین ICT و انتشار کربن در مطالعات ( Lee et al, 2023; Liu & Wan, 2022; Raheem et al, 2020; Wang et al, 2024) مشاهده شده است.

### ۲,۲. تجارت ICT، مصرف انرژی و انتشار کربن

از دیدگاه نظری، تأثیر تجارت آزاد بر انتشار آلاینده‌ها می‌تواند از طریق سه اثر مقیاس، تکنیک و ترکیب تحلیل شود ( Antweiler et al, 2001; Cole & Elliott, 2003; Copeland & Taylor, 2004; Farhani et al, 2014; Grossman & Krueger, 1991). اثر مقیاس عمدتاً به انتشار آلاینده‌ها ناشی از تولید مرتبط است، و اثر ترکیب به تغییرات در ترکیب تولید در کشورهای مختلف بر اساس مزیت نسبی آنها اشاره دارد. برای ارزیابی اثر ترکیب، فرضیه وقف عوامل تولید (FEH) و فرضیه پناهگاه آلودگی (PHH)پیشنهاد شده‌اند. ادعای اصلی FEH این است که اگر تجارت به افزایش تقاضا برای کالاهای کاربر (سرمایه‌بر) منجر شود، آلودگی کاهش (افزایش) می‌یابد؛ زیرا تولید کالاهای کاربر به میزان کمتری نسبت به تولید کالاهای سرمایه‌بر آلایندگی ایجاد می‌کند. از آنجا که کشورهای توسعه‌یافته کالاهای سرمایه‌بر و کشورهای در حال توسعه کالاهای کاربر تولید می‌کنند، تجارت در کشورهای توسعه‌یافته منجر به افزایش انتشار آلاینده‌ها می‌شود. PHH بیان می‌کند که مقررات زیست‌محیطی سختگیرانه در کشورهای توسعه‌یافته باعث انتقال صنایع آلاینده به کشورهای در حال توسعه می‌شود (Fan et al, 2019). در مجموع، می‌توان گفت که اثر ترکیب به FEH و PHH بستگی دارد. اثر تکنیک به کاهش آلودگی پس از انتقال فناوری پاک بین کشورها اشاره دارد. در کشورهای کمتر توسعه‌یافته، آثار مقیاس و ترکیب ممکن است بر اثر تکنیک غلبه کنند؛ بنابراین، تجارت ممکن است آلودگی را افزایش دهد. از سوی دیگر، اثر تکنیک ممکن است بر آثار مقیاس و ترکیب غلبه کند و در نتیجه، تجارت احتمالاً آلودگی را کاهش می‌دهد (Jun et al, 2020). واردات می‌تواند بر میزان تولید بخش‌ها از جمله آهن و فولاد و بر GDP اثرگذار باشد و از این طریق انتشار co2 را تغییر دهد(**اثر مقیاس**). همچنین ممکن است که ترکیب نهاده‌ها را تمیزتر نماید(**اثر تکنیک**) و یا می‌تواند ترکیب تولید بخش‌های مختلف را به نفع بخش‌های کمتر انرژی بر تغییر دهد (**اثر ترکیب**). درمجموع هرکدام از اثرات سه گانه و برآیند آنها ممکن است مثبت یا منفی باشد. تجارت بین‌الملل، یکی از روش‌های تأمین کالاهای ICT می‌باشد که می‌تواند اثرات مختلفی بر مصرف انرژی و انتشارکربن در کشور مقصد داشته باشد. به اعتقاد ( Murshed et al, 2020) تجارت ICT بین کشورهای مختلف بخصوص بین کشورهای در حال توسعه (جنوب) و کشورهای توسعه‌یافته (شمال)

برای رسیدن به سیزدهمین هدف توسعه پایدار سازمان ملل متحد در رابطه با اقدامات آب و هوایی ضروری و مفید است زیرا واردات ICT زمینه را برای توسعه بخش ICT در کشورهای واردکننده فراهم می‌کند تا بتوانند به پایداری دست یابند. Nejati and Shah, 2023 نشان دادند که واردات ICT منجر به افزایش مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌ها شده است اما چنانچه منطقه مبدأ، کشورهای درحال‌توسعه (جنوب) باشند، شدت تغییر مصرف انرژی و انتشار co2 بیشتر خواهد بود. علاوه‌براین، واردات بین منطقه‌ای (شمال- جنوب، جنوب- شمال) منجر به اثر ترکیب مثبت شده و در حالت واردات درون منطقه‌ای (شمال- شمال، جنوب- جنوب) اثرات مقیاس و ترکیب مثبت خواهند شد. براساس تئوری رشد درونزای توسعه‌یافته توسط گروسمن و هلپمن ،Grossman and Helpman، (۱۹۹۱)، تجارت یکی از کانال‌های انتقال و انتشار تکنولوژی‌های خارجی است که موجب افزایش بهره‌وری بنگاه‌های داخلی می‌شود. ( Nam & Ryu, 2025; Parrado & De Cian, 2014) بنابراین، بهره‌وری انرژی بهبود پیدا کرده و مصرف انرژی را کاهش می‌دهد. علاوه براین، ممکن است اثربازگشتی را بدنبال داشته باشد و مجدداً مصرف انرژی و انتشار کربن را افزایش دهد.

## ۳- پیشینه پژوهش

هدف اصلی این تحقیق، بررسی اثرات مستقیم و اثرات سرریز واردات ICT در بخش آهن و فولاد است. مرور ادبیات نشان می‌دهد که تقریباً هیچ مطالعه‌ای با این اهداف صورت نگرفته است. بنابراین، ادبیات موضوع به دو قسمت تقسیم شده تا بتوان ارزیابی جامعی را ارائه نمود. قسمت اول به تجارت ICT و اثرات انرژی و زیست محیطی اختصاص دارد. در قسمت دوم به اثرات انرژی و زیست محیطی بخش آهن و فولاد پرداخته می‌شود.

### ۳,۱. تجارت ICT ، اثرات انرژی و زیست محیطی

مطالعات تجربی زیادی در زمینه رابطه تجارت بین الملل و محیط زیست انجام شده است که هرکدام به نتایج متفاوتی رسیده اند اما در زمینه تجارت ICT مطالعات اندکی صورت گرفته است که در این قسمت ارائه می شود. Murshed, 2020 اثرات غیرخطی تجارت ICT را بر کارایی انرژی، گذار به انرژی‌های تجدیدپذیر و انتشار کربن با استفاده از یک مدل اقتصادسنجی پنل برای گروهی از کشورهای جنوب آسیا مورد بررسی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که تجارت ICT به طور مستقیم، سهم و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر را افزایش داده و انتشار کربن و شدت انرژی را کاهش می‌دهد. علاوه‌براین، تجارت ICT از طریق بهبود کارایی انرژی، ارتقای مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و دسترسی به سوخت پاکتر برای پخت و پز، انتشار کربن را کاهش می‌دهد. رابطه بین تجارت ICT و شاخص‌های زیست محیطی توسط Azam et al, 2020 برای چند کشور اصلی تولیدکننده آلایندگی مورد ارزیابی قرارگرفت. تکنیک‌های اقتصادسنجی مورد استفاده توسط آنها شامل اثرات تصادفی و ثابت، حداقل مربعات مقاوم و حداقل مربعات خطی تلفیقی می‌باشد. آنها به این نتیجه رسیدند که آزادسازی تجارت ICT موجب کاهش انتشار CO2 می‌شودEvans & Mesagan, 2022 طی دوره زمانی ۲۰۲۲- ۲۰۰۰ برای ۳۱ کشور آفریقایی، آثار تعدیل کننده مقررات و حکمرانی مؤثر را بر رابطه بین انتشار گازهای گلخانه‌ای و تجارت ICT مورد آزمون قرار دادند. آنها از یک مدل پنل پویا و سازگار با وابستگی مقطعی استفاده نمودند. نتایج تجربی نشان داد که چنانچه وابستگی مقطعی لحاظ نشود، تجارت ICT منجر به انتشار آلودگی در کوتاه مدت و بلندمدت می‌شود. درحالیکه کارآمدی دولت موجب تعدیل اثر تجارت ICT بر آلودگی در بلندمدت و کوتاه مدت می‌شود اما مقررات فقط در بلندمدت موجب تعدیل اثر تجارت ICT بر انتشار کربن می‌شود. با لحاظ وابستگی مقطعی، تجارت ICT اثر منفی بر آلودگی خواهد داشت.Esily et al, 2023 برای سه کشور نیجریه، الجزایر و مصر در دوره زمانی ۲۰۲۰-۱۹۹۰ و با بکارگیری مدل‌های اثرات ثابت و اثرات تصادفی، اثرات تجارت ICT و انرژی تجدیدپذیر را بر رشد اقتصادی و انتشار کربن مورد ارزیابی قراردادند. نتایج نشان داد که درحالیکه رشد اقتصادی و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر موجب بدترشدن محیط زیست شده است، تجارت ICT موجب بهبود محیط زیست می‌شود. علاوه‌براین، تجارت ICT دارای همبستگی بالایی با رشد اقتصادی است.Wang et al, 2023 به بررسی رابطه تجارت کالاهای با فناوری پیشرفته و محیط زیست طی دوره زمانی ۲۰۱۸- ۲۰۰۹ برای ۲۵ کشور دارای تکنولوژی پیشرفته با استفاده از روش حداقل مربعات معمولی پرداخته‌اند. شواهد تجربی بیان می‌کند که یک رابطه مثبت بین صادرات کالاهای با فناوری پیشرفته و شدت کربن برای کشورهای مذکور وجود دارد. اما Shang et al, 2024 با استفاده از داده های ۲۰۲۰-۱۹۹۵ برای کشور چین نشان دادند که در بلندمدت افزایش صادرات کالاهای با فناوری پیشرفته موجب کاهش انتشار کربن می‌شود. درحالیکه Dong et al, 2023 برای استان‌های چین طی دوره ۲۰۰۱-۲۰۱۶ به این نتیجه رسیدند که صادرات کالاهای با فناوری پیشرفته انتشار کربن را کاهش خواهد داد. نتایج مدل تجربی Han & Zhou, 2022 نشان داد که صادرات کالاهای با فناوری پیشرفته به بهبود محیط زیست در استان‌های چین کمک می‌نماید. Irfan et al, 2025 با استفاده از روش ( Generalized

GMM(Method of Moments برای کشورهای بریکس طی دوره زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۲ اثر تجارت ICT را بر انتشار کربن مورد بررسی قرار دادند. نتایج بدست آمده حاکی از یک رابطه مثبت بین تجارت ICT و انتشار کربن می‌باشد. Nejati & Shah, 2023 در قالب یک مدل تعادل عمومی قابل محاسبه چند منطقه‌ای (DCGE) جنبه‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و انرژی تجارت کالاهای ICT را برای کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه بررسی نمودند. نتایج نشان داد که افزایش واردات ICT منجر به افزایش انتشار کربن، شدت کربن و شدت انرژی می‌شود. شدت تغییر متغیرهای مذکور بستگی به نوع تجارت به لحاظ بین منطقه‌ای یا درون منطقه‌ای دارد. چنانچه جریان تجارت جنوب به جنوب یا جنوب به شمال باشد باشد، شدت تغییر متغیرهای زیست محیطی و انرژی بیشتر خواهد بود. نتایج آنها بیان می‌کند که تجارت درون منطقه‌ای ( شمال به شمال، جنوب به جنوب) منجر به افزایشGDP و بهبود تولید ICT در داخل مناطق شده و اثر مقیاس مثبت و اثر ترکیب منفی را بدنبال خواهد داشت. علاوه‌براین، افزایش تجارت بین منطقه‌ای موجب کاهش GDP و تولید ICT در کشورهای مقصد می‌شود و اثر ترکیب را مثبت خواهد کرد. بنابراین، تجارت درون منطقه‌ای، سهم صنایع آلاینده را کاهش داده و تجارت بین منطقه‌ای سهم‌شان را افزایش می‌دهد. علاوه براین، نتایج تحقیق نجاتی و دیگران (۱۴۰۰)، نشان داد که آزادسازی کامل تجاری ایران و اتحادیه اقتصادی اوراسیا منجر به کاهش انتشار کربن در ایران خواهد شد.

### ۳,۲. بخش آهن و فولاد، انرژی و محیط زیست

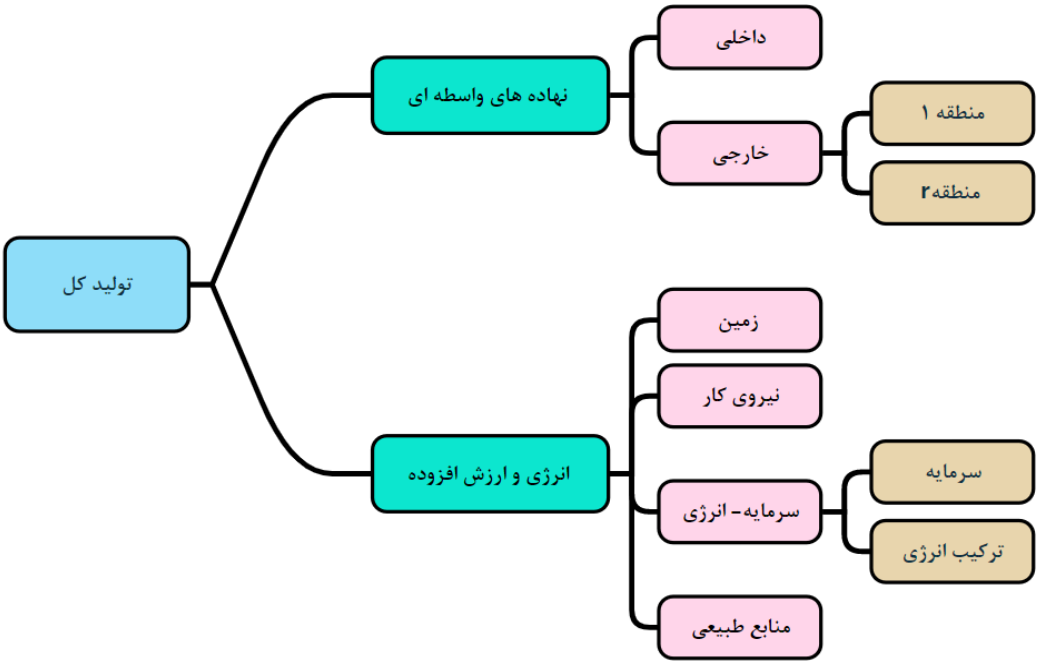
این قسمت به مطالعات تجربی انجام شده در زمینه رابطه بین بخش آهن و فولاد و محیط زیست تخصیص داده شده است. دورگا و همکاران (۲۰۲۴) نقش بخش آهن و فولاد در دستیابی به انتشار خالص صفر $CO_2$ ایالات متحده تا سال ۲۰۵۰ را با استفاده از مدل تحلیل تغییر جهانی (GCAM) مورد بررسی قرار داده‌اند. این مسیرها بینش‌هایی در مورد اینکه چگونه فن‌آوری‌های مختلف تولید فولاد کم کربن مانند آن‌هایی که از جذب و ذخیره‌سازی کربن (CCS)، هیدروژن یا قراضه استفاده می‌کنند، می‌توانند به کاهش انتشار فولاد ایالات متحده تا اواسط قرن کمک کنند، ارائه می‌کنند. نتایج نشان می‌دهد که در مسیر کربن زدایی اولیه، تمام ظرفیت فولادسازی متعارف مبتنی بر سوخت فسیل تا سال ۲۰۵۰ به طور کامل با فناوری جذب و ذخیره‌سازی کربن ادغام شده است. با این حال، بدون در دسترس بودن فناوری جذب و ذخیره‌سازی کربن، تقریباً تمام فولادسازی متعارف مبتنی بر فسیل تا سال ۲۰۵۰ حذف می‌شود و با تولید مبتنی بر هیدروژن جایگزین می‌شود. تولید مبتنی بر قراضه همچنان در هر دو مسیر کربن زدایی حیاتی باقی می‌ماند. اجرای اقدامات پیشرفته بهره‌وری انرژی می تواند به کاهش قابل ملاحظه مصرف انرژی در این بخش کمک کند. L. Ren et al, 2021 به بررسی فناوری‌های کاهش دما و توسعه کم‌کربن در صنعت آهن و فولاد با تمرکز بر چین، بر اساس روش تجزیه و تحلیل چرخه عمر می پردازند. نتایج نشان می‌دهد که استفاده کامل از پیشرفت‌های تکنولوژیکی جریان اصلی می‌تواند انتشار $CO_2$ را تقریباً ۴۳ درصد کاهش دهد. علاوه بر این، ترکیب این استراتژی‌ها با فناوری‌های فوق‌العاده کم کربن می‌تواند به کاهش ۸۰ تا ۹۵ درصدی منجر شود. انتظار می‌رود استفاده از استراتژی‌های جذب، استفاده و ذخیره‌سازی کربن یا فناوری‌های مبتنی بر هیدروژن در صنعت آهن و فولاد چین برای سناریوهای کربن‌زدایی عمیق منجر به کاهش هزینه‌ها بین ۱۲ تا ۳۵ میلیارد دلار تا سال ۲۰۵۰ شود. Xu et al, 2023 استراتژی‌های کربن‌زدایی کارخانه به کارخانه برای صنعت فولاد جهانی را بررسی کردند. نقش حیاتی صنعت آهن و فولاد در کاهش کربن سیستم‌های انرژی جهانی نیازمند استراتژی‌های دقیق‌تری در کاهش تغییرات اقلیمی است. در این تحقیق، با استناد به یک پایگاه داده جدید از تأسیسات آهن و فولاد در سرتاسر جهان، به بررسی تفاوت‌های مشهود در نسبت سن به ظرفیت و شدت آلایندگی کارخانه‌های اولیه تولید فولاد پرداخته شده است. نویسندگان استراتژی‌های کاهش کربن مقرون به صرفه منطقه‌ای را با هدف‌گذاری درصد معینی از کارخانه‌ها سفارشی می‌کنند. آن‌ها متوجه شدند که شاخص مؤثرتر برای کربن زدایی هدفمند در مناطق در حال توسعه، شدت انتشار است، در حالی که برای کشورهای توسعه‌یافته نسبت سن به ظرفیت است. از هر شاخصی که برای هدف‌گیری کارخانه‌ها استفاده شود، استراتژی تبدیل به سمت فولادسازی ثانویه عموماً مقرون به صرفه‌تر از بهبود کارایی در بیشتر موارد است.Karali et al, 2017 در مقاله ای تحت عنوان " مدل سازی تغییرات تکنولوژیکی و تأثیر آن بر صرفه جویی در انرژی در بخش آهن و فولاد ایالات متحده" ، هزینه‌های سرمایه‌گذاری فناوری‌های کارآمد انرژی به صورت پویا در مدل بهره‌وری انرژی بخش صنعتی (ISEEM) با استفاده از فرمول یادگیری فن‌آوری را مدل‌سازی می‌کنند. نتایج حاصل از ۲۴ فناوری کارآمد انرژی – ۱۴ فناوری موجود، ۱۰ فناوری نوظهور – انتخاب شده از بخش آهن و فولاد ایالات متحده (ایالات متحده آمریکا) نشان می‌دهد که وقتی یادگیری فناوری در مدل گنجانده شود، انتظار می‌رود کل مصرف انرژی این بخش در سال ۲۰۵۰ در مقایسه با حالتی که یادگیری فناوری در مدل نباشد، ۱۳ درصد کاهش یابد. Ansari & Seifi, 2012 به تحلیل دینامیک سیستم مصرف انرژی و سیاست های اصلاحی در صنعت آهن و فولاد ایران پرداخته‌اند. تمرکز اصلی این مقاله بر مصرف مستقیم و غیرمستقیم گاز طبیعی در صنعت فولاد است. فناوری کوره قوس الکتریکی مبتنی بر قراضه به عنوان یک روش کارآمد انرژی برای فولادسازی ارزیابی شده است. یک مدل دینامیک سیستم

برای تحلیل مصرف انرژی در صنعت آهن و فولاد ایران ارائه شده است . گاز، نفت و برق مصرفی در صنعت فولاد تحت سناریوهای مختلف تولید و صادرات فولاد با در نظر گرفتن رژیم جدید قیمت انرژی پیش بینی شده است. این مدل شامل ساختارهای حلقه بازخورد برای تقاضای فولاد، تولید و سرمایه‌گذاری در توسعه ظرفیت، و همچنین یک ساختار جریان مشترک برای ثبت رفتار مصرف‌کننده انرژی با توجه به قیمت‌های انرژی است. مصرف مستقیم و غیرمستقیم گاز تحت سناریوهای مختلف تولید فولاد و سناریوهای بهره‌وری انرژی شبیه سازی شده است. نتایج محاسباتی نشان می‌دهد که در کوتاه مدت، اصلاح یارانه می‌تواند منجر به کاهش مصرف گاز و برق به ترتیب ۱۵ و ۷ درصد، بهبود خفیف در بهره‌وری انرژی در بلندمدت، کاهش بالقوه ۳۳ درصد در مصرف گاز و ۲۳ درصد در مصرف برق شده است که ناشی از استقرار مجموعه کامل طرح صرفه جویی در انرژی و نوسازی صنعت است. با به کار گیری فناوری کوره قوس الکتریکی با استفاده از قراضه می توان مصرف گاز را بین ۱۰ تا ۱۵ درصد کاهش داد.Mohsenzadeh et al, 2019 تحقیقی را با هدف بهبود تجهیزات در صنعت فولاد به منظور صرفه جویی در انرژی، حفاظت از محیط زیست، کاهش هزینه ها و توسعه پیشرفت های تجاری سازی انجام داده‌اند. بهبود تجهیزات و استفاده از فناوری‌های جدید در شرکت فولاد خوزستان (KSC) در ایران، منجر به افزایش ظرفیت کارخانه‌های آهن‌سازی آنها از ۵۵۰۰۰۰ تن به ۸۰۰۰۰۰ تن در سال در سال ۲۰۱۵ شد. نتایج شبیه سازی با داده های تجربی تطابق نسبتا خوبی داشت. در این تحقیق، نتایج عملی با اجرای واقعی در کارخانه آهن‌سازی، بهبود تجهیزاتی را نشان می‌دهد که می‌تواند مصرف انرژی و انتشار دی اکسید کربن را کاهش دهد. تناژ تولید ۲۸,۱۵ درصد افزایش و مصرف انرژی ۱۳,۷۱ درصد کاهش یافت. با این حال، مقدار دی اکسید کربن در گاز دودکش، ۹,۵۵٪ کاهش یافت. دمای خروجی گاز دودکش از HRS 152.2 درجه سانتیگراد کاهش یافت. محاسبه ارزش فعلی خالص (NPV) و ارزش فعلی (PV) نشان می¬دهد که هزینه سرمایه گذاری در ۴ سال برگشت داده می شود.

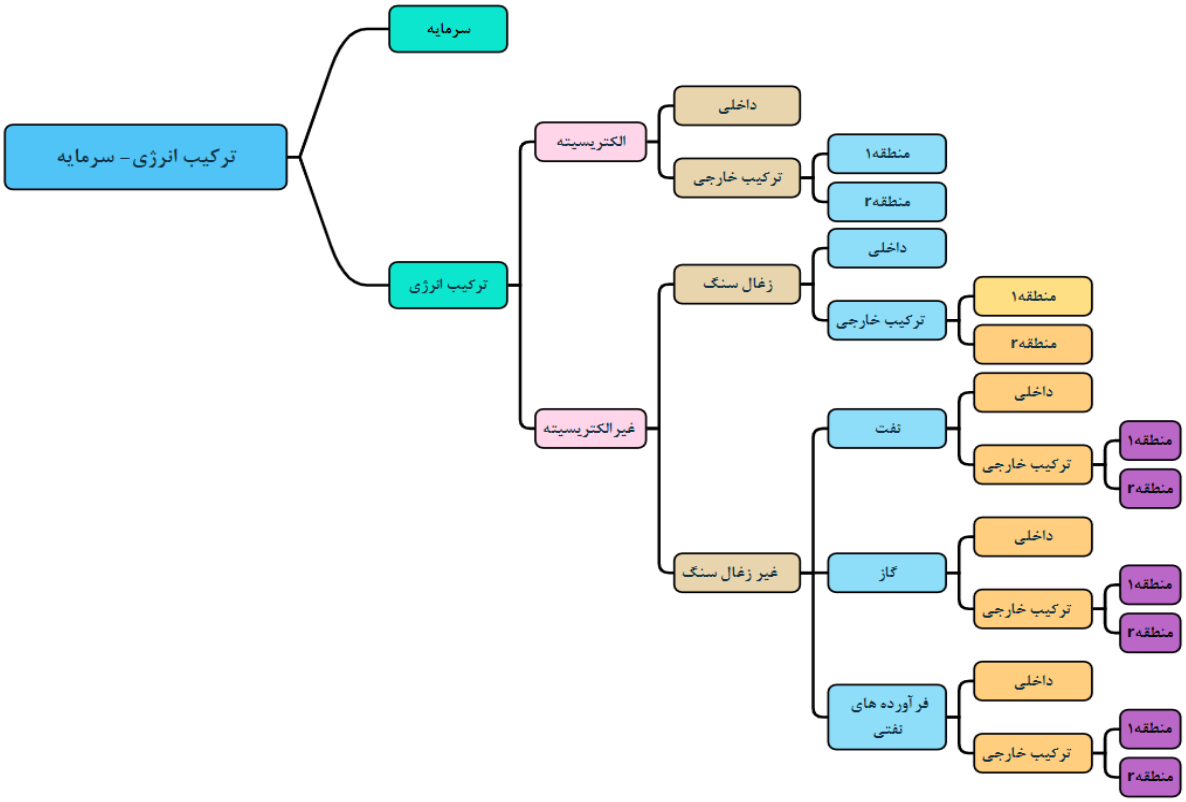
## ۴- روش‌شناسی پژوهش

واردات ICT به ایران می‌تواند اثرات مستقیم و غیرمستقیم (سرریز) بر بخش‌های مختلف اقتصاد ازجمله آهن و فولاد داشته باشد.. لازم به ذکر است که میزان اثرگذاری واردات ICT بر متغیرها، می‌تواند بستگی به نوع کشورهای مبدأ(صادرکننده) به لحاظ سطح تکنولوژی داشته باشد. علاوه‌براین، انتظار براین است که واکنش متغیرهای اقتصادی و زیست محیطی در بلندمدت و کوتاه مدت متفاوت باشد. بنابراین، ارزیابی و بررسی اثر وادرات ICT توسط کشور ایران، نیاز به مدل‌هایی دارد که بتواند دربرگیرنده تمام اثرات باشد. به همین دلیل از یک مدل تعادل عمومی قابل محاسبه چند منطقه‌ای پویا تحت عنوان GTAP-E پویا استفاده شده است. این مدل علاوه بر لحاظ نمودن خصوصیات مدل استاندارد GTAP (Hertel, 1997) قابلیت‌های زیست‌محیطی و جایگزینی منابع انرژی را براساس مدل (GTAP-E Burniaux & Truong, 2002) در مدلسازی لحاظ کرده است. به طوری‌که تکنولوژی تولید به نحوی تعدیل شده است که در ماژول جایگزینی انرژی، امکان جانشینی بین انواع مختلف انرژی و سرمایه وجود دارد (شکل۱). الگوی تعادل عمومی GTAP یک مدل استاندارد چندمنطقه‌ای ایستا است که توسط توماس هرتل در سال ۱۹۹۷ معرفی شده است، مبانی اقتصادخرد این الگو تا اندازه‌ای مشابه با سایر الگوهای تعادل عمومی چندمنطقه‌ای است. الگوی GTAP به عنوان یک الگوی ایستا شناخته می‌شود و تأثیرات پویای تغییرات فناوری، افزایش جمعیت و موجودی سرمایه را در نظر نمی‌گیرد. مدل ریاضی این الگو شامل مجموعه‌ای از معادلات غیرخطی است که بر اساس تئوری حداکثرسازی در اقتصاد خرد و با استفاده از روش دوگان به همراه روابط حسابداری استخراج شده است. الگوی GTAP-E به عنوان شکل توسعه‌یافته الگوی GTAP، برای بررسی تأثیرات سیاست‌های تغییرات اقلیمی در سطح جهانی طراحی شده است. نهاده انرژی در لایه ارزش افزوده به صورت ترکیب سرمایه–انرژی به ساختار تولید اضافه شده است و امکان جانشینی بین سرمایه و انرژی و جانشینی بین انواع حامل‌های انرژی را فراهم کرده است. نهاده انرژی به الکتریسیته و غیرالکتریسیته و همچنین به زغال‌سنگ و غیر زغال‌سنگ در لایه های تولید و مصرف، تفکیک شده است. علاوه‌براین در این مدل، پیامدهای زیست محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی توسط خانوار، بنگاه‌ها و دولت به صورت تغییر در انتشار کربن، مدلسازی شده است (Burniaux & Truong, 2002). شکل‌های ۱و۲ نشان‌دهنده ساختار کلی تکنولوژی بنگاه‌ها در مدل GTAP-E است. برای تولید یک کالا نیاز به ترکیب انرژی و نهاده‌های واسطه‌ای می‌باشد. نهاده‌های واسطه‌ای ممکن است از داخل یا از خارج تأمین شود که ترکیب خارجی را می‌توان از طریق واردات از مناطق و یا کشورهای مختلف تأمین نمود. فرض براین است که، کالاهای داخلی و خارجی جانشین ناقص یکدیگرهستند و شکل جانشینی بین کالاها با استفاده از تابع تجمیع واردات آرمینگتون با کشش جانشینی ثابت، توضیح داده می‌شود. هر چه کشش جانشینی آرمینگتون بزرگتر باشد، با افزایش نسبی قیمت‌های داخلی، انگیزه بیشتری برای جانشینی کالای وارداتی به جای کالای داخلی وجود خواهد داشت. عوامل اولیه تولید مانند زمین، منابع طبیعی، نیروی کار و سرمایه در تولید کالاها نقش اساسی دارند. در مدل GTAP-E سرمایه و ترکیب انرژی در لایه ترکیب انرژی_سرمایه می‌توانند جانشین یکدیگر باشند (Burniaux & Truong, 2002). در این مدل، کالای مرکب انرژی

شامل الکتریسیته و غیرالکتریسیته می‌شود که غیرالکتریسیته به دو گروه زغال‌سنگ و غیرزغال‌سنگ تقسیم می‌شود. در نهایت غیرزغالسنگ شامل نفت، گاز و فرآورده‌های نفتی می‌باشد که تأمین این حامل‌های انرژی ممکن است از داخل و یا از طریق واردات از سایر مناطق صورت گیرد (شکل ۲). در هرکدام از لایه‌های مذکور، امکان جانشینی بین نهاده‌های انرژی با یک کشش جانشینی ثابت وجود دارد. به عنوان مثال، اگر قیمت گاز نسبت به سایر حامل‌های انرژی افزایش یابد، سایر حامل‌های انرژی جانشین گاز می‌شود که درجه جانشینی بستگی به مقدار کشش جانشینی انواع حامل‌های انرژی دارد.




**شکل ۱: ساختار کلی تکنولوژی تولید در مدل GTAP-E**




**شکل ۲: لایه‌ی انرژی- سرمایه در مدل GTAP-E**

### ۴،۳. مدلسازی تجارت بین‌الملل و سرریز تکنولوژی

یکی از اهداف اصلی ما ارزیابی اثرات سرریز حاصل از تجارت کالاهای ICT بر مصرف انرژی و انتشار کربن در بخش آهن و فولاد می‌باشد. تجارت کالاها از جمله کالاهای ICT یکی از کانال‌های انتقال دانش در بین کشورهای مختلف است و می‌تواند اثرات مثبت بر بهره‌وری بنگاه‌ها در مناطق واردکننده داشته باشد که اثرات سرریز تکنولوژی گفته می‌شود. فرض براین است که پیشرفت تکنولوژی در بخش ICT در کشورهای صادرکننده(منطقه مبدأ) صورت گیرد. تجارت کالاها موجب سرریز تکنولوژی در کشور واردکننده می‌شود که میزان بهره‌گیری آنها بستگی به میزان تجارت با کشورهای مبدأ دارد (Keller, 2004 ؛Coe et al, 2009). (Das, 2007, 2015 ،۲۰۱۵ ؛Van Meijl & Van Tongere, 1999) با استفاده از مدلهای تعادل عمومی چندمنطقه‌ای، اثر سرریز واردات را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه با مدلسازی اثرات سرریز از سه تابع سرریز در سه حالت استفاده شده است. به طوریکه در هرکدام، نرخ رشد بهره‌وری در کشورهای مقصد تابعی از رشد بهره‌وری کل عوامل تولید در بخش ICT کشورهای مبدأ درنظرگرفته شده است. فرض براین است که وادرات ICT از کشورهای مبدأ، می‌تواند موجب سرریز تکنولوژی شود. بنابراین در توابع سرریز، تجارت به عنوان عامل اصلی انتقال و سرریز تکنولوژی در نظرگرفته شده است. علاوه‌براین، ظرفیت جذب در کشورهای مقصد نیز به عنوان یک عامل مؤثر بر میزان اثرات سرریز بهره‌وری لحاظ شده است. در حالت اول فرض براین است که رشد بهره‌وری کل عوامل تولید در کشورهای مقصد تابعی از رشد بهره‌وری بخش ICT در کشور مبدأ است که با تابع شماره ۱ نشان داده شده است.

$$ao_{js} = EM_{ijrs}^{1-ABS_{rs}} * ao_{ir} \qquad \text{or} \qquad \beta_{ijrs} = \frac{ao_{js}}{ao_{ir}} = EM_{ijrs}^{1-ABS_{rs}} \qquad (۱)$$

حالت دوم، سرریز واردات ICT از مبدأ به مقصد به صورت بهبود در بهره‌وری عوامل اولیه تولید صورت می‌گیرد. براساس تابع (۲) چنانچه در منطقه مبدأ پیشرفت فنی در بخش ICT صورت بگیرد، موجب بهبود بهره‌وری عوامل تولید در بخش‌های مختلف اقتصادی کشورهای مقصد می‌شود.

$$afe_{kjs} = EM_{ijrs}^{1-ABS_{rs}} * ao_{ir} \qquad (۲)$$

K= نیروی کار ماهر، نیروی کارغیر ماهر، زمین، منابع طبیعی و سرمایه

حالت سوم، فرض براین است که سرریز بهره‌وری در منطقه مقصد در بهره‌وری عوامل اولیه تولید و ترکیب انرژی تبلور پیدا می‌کند. به طوریکه واردات کالاهای ICT از کشورهای مبدأ موجب بهبود بهره‌وری منابع اولیه و انرژی در لایه ارزش افزوده _ انرژی می‌شود که در تابع (۳) نشان داده شده است.

$$afe_{kjs} = EM_{ijrs}^{1-ABS_{rs}} * ao_{ir} \qquad (۳)$$

{K= نیروی کار ماهر، نیروی کارغیر ماهر، زمین، منابع طبیعی، سرمایه و ترکیب انرژی}

$ao_{ir}$ و $ao_{js}$ به ترتیب، نرخ رشد بهره‌وری بخش i در منطقه r (منطقه صادرکننده) و نرخ رشد بهره‌وری بخش j در منطقه s (منطقه واردکننده) است. شاخص تجسم فناوری $(EM_{ijrs})$ نشان‌دهنده میزان واردات کالای i در بخش j از منطقه r به s به ازای هر واحد نهاده‌ی واسطه‌ای مصرف شده در بخش j است که مقدار دانش جریان یافته از منطقه r به s را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، نسبتی از پیشرفت تکنولوژی را نشان می‌دهد که از کشور مبدأ به کشور مقصد جریان می‌یابد. هرچه نسبت واردات از منطقه r افزایش یابد، میزان انتقال دانش نهفته بیشتر می‌شود.

$$EM_{ijrs} = \frac{IM_{ijrs}}{IN_{ijs}} \qquad IM_{ijrs} = \delta_{ijrs} * IM_{ijs} \qquad \delta_{irs} = \frac{IM_{irs}}{IM_{is}} \qquad (۴)$$

$IM_{ijrs}$، واردات کالای i توسط بخش j از منطقه r به منطقه s، $IM_{ijs}$ واردات کالای i به بخش j در منطقه s، $IM_{irs}$ جریان کالای i از منطقه r به s، $IM_{is}$ کل واردات کالای i در منطقه s و $IN_{ijs}$ نشان‌دهنده نهاده‌های واسطه‌ای ترکیبی i بکار رفته در بخش j در منطقه s است. از آنجائیکه داده‌های تجارت دوجانبه کالاهای واسط به تفکیک بخش‌های مختلف وجود ندارد، فرض می‌شود که $\delta_{irs}$، سهم نهاده وارداتی i از منطقه r به منطقه s در تمام بخش‌های j در منطقه s یکسان است. $ABS_{rs}$ در تابع سرریز بهره‌وری، ظرفیت جذب کشور مقصد را نسبت به کشورهای مبدأ نشان می‌دهد. قابلیت جذب قوی کمک می‌کند که کشورها بتوانند دانش فنی جدید را بهتر شناخته و بکارگیرند و نوآوری سازمان‌های خود را بهبود بخشند (Zahra & George, 2002 ؛Tsai, 2001). برای قابلیت جذب در این تحقیق سه شاخص سرمایه انسانی(HC) ، توانایی نوآوری(IC) ، پذیرشICT ، لحاظ شده است. هرچه شاخص‌های مذکور در کشور مقصد، مناسب‌تر باشد، واردات ICT می‌تواند اثرات مثبت بیشتری بر بهره‌وری بنگاه‌ها داشته باشد. به عنوان مثال، یکی از ارکان IC، میزان هزینه های R&D در بنگاه‌های داخلی می‌باشد. چنانچه تحقیق و توسعه در بنگاههای داخلی رونق بیشتری داشته باشد، توانایی جذب و بکارگیری و انطباق ICT در بنگاهها بیشتر خواهد شد. براساس محاسبات انجام شده در گزارش رقابت‌پذیری جهانی که مجمع

جهانی اقتصاد در سال ۲۰۱۹ منتشر کرده، هرکدام از سه شاخص مذکور متوسط وزنی از چند شاخص هستند و مقدار عددی آنها بین صفر و ۱۰۰ است. هرچه مقدار عددی شاخص به ۱۰۰ نزدیکتر باشد، وضعیت کشورها در آن شاخص مطلوب‌تر خواهد بود. HC، متشکل از میانگین سال‌های تحصیل، میزان آموزش کارکنان، کیفیت آموزش حرفه‌ای، مهارت‌های فارغ‌التحصیلان، مهارت‌های دیجیتال در بین جمعیت، متوسط طول عمر تحصیلی، تفکر انتقادی در تدریس، نسبت دانش‌آموزان به معلم در آموزش ابتدایی، سهولت در جذب نیروی کار ماهر است. ICT از شاخص‌هایی مانند تلفن همراه، اینترنت موبایل با سرعت بالا، اینترنت خانگی با سرعت بالا، اشتراک‌های اینترنت فیبر نوری و کاربران اینترنت تشکیل شده است. IC نیز از درخواست‌های ثبت اختراع، هزینه‌های تحقیق و توسعه، اختراعات مشترک بین‌المللی، انتشارات علمی و همکاری چندجانبه ذینفعان تشکیل شده است. برای محاسبه قابلیت جذب در کشور مقصد، ابتدا از توابع تعریف شده در رابطه (۵)، فاصله نسبی کشور مقصد را با کشورهای مبدأ محاسبه می‌نماییم.

$$ICT_{rs} = \min\left(1, \frac{ICT_s}{ICT_r}\right) \quad IC_{rs} = \min\left(1, \frac{IC_s}{IC_r}\right) \quad HC_{rs} = \min\left(1, \frac{HC_s}{HC_r}\right) \qquad (۵)$$

چنانچه مقدار شاخص‌های مذکور در کشورهای واردکننده (s) برابر با صفر باشد، به این مفهوم است که کشورهای واردکننده بیشترین فاصله را با کشور صادرکننده (r) دارند. بنابراین یکی از شاخص‌های قابلیت جذب تکنولوژی خارجی در کشورهای مقصد صفر می‌باشد. هرچه مقدار شاخص‌های مذکور به عدد یک میل کند، نشان می‌دهد که کشورهای مقصد با منطقه مبدأ تشابه بیشتری دارند و می‌توانند قدرت بالاتری در جذب تکنولوژی خارجی داشته باشند. ممکن است که کشورهای توسعه‌یافته نسبت به کشورهای درحال‌توسعه وضعیت بهتری در شاخص‌های مذکور داشته باشند. در مرحله بعد برای محاسبه شاخص قابلیت جذب از حاصل ضرب شاخص‌های ارائه شده در رابطه (۵) استفاده شده است که در رابطه (۶) نشان داده شده است. فرض براین است که شاخص‌های قابلیت جذب مکمل یکدیگر هستند. به این مفهوم که ضعف هرکدام از شاخص‌ها می‌تواند کل شاخص قابلیت جذب را تضعیف نماید. به عنوان مثال اگر یک کشور سرمایه انسانی مطلوبی داشته باشد اما شاخص پذیرش ICT ضعیفی داشته باشد، قدرت کمی در جذب تکنولوژی های خارجی خواهد داشت.

$$ABS_{rs} = ICT_{rs} * IC_{rs} * HC_{rs} \qquad (۶)$$

## ۵-داده‌ها، تجمیع‌ها و سناریوها

### ۵,۱. داده‌ها و تجمیع‌ها

سه مجموعه داده برای انجام شبیه سازی‌ها در این تحقیق بکاررفته است. **مجموعه** ۱: داده های ماتریس حسابداری جهانی که از نسخه ۱۱ پایگاه داده‌های GTAP برای سال پایه ۲۰۱۷ استخراج شده است. این پایگاه داده توسط گروهی از متخصصین دانشگاه پوردو برای ۱۶۰ منطقه یا کشور جهان در چندین فرم مختلف جمع آوری شده است. از آنجائیکه مدل مذکور دارای قابلیت‌های پویایی، زیست محیطی و انرژی می‌باشد، از دو فرم GDYN و GTAP-E استفاده شده است. با تلفیق داده های پویا از فرم GDYN با داده های GTAP-E داده‌های نهایی برای Gdyn-E (Dynamic GTAP-E) بدست آمده است. کالیبراسیون مدل Gdyn-E و همچنین محاسبه شاخص تجسم فناوری با استفاده از این داده‌ها انجام شده است. لازم به ذکر است که نسخه ۱۱ پایگاه داده‌ها، علاوه بر داده‌های ماتریس حسابداری اجتماعی، شامل تمام کشش‌های جانشینی و تبدیل در لایه‌های تولید و مصرف می‌باشد.

**جدول ۱: مناطق، بخش‌ها و عوامل تولید تجمیع شده(منبع: یافته های پژوهش)**

| نهاده‌های انرژی | عوامل تولید تجمیع شده | بخش‌های تجمیع شده | مناطق تجمیع شده |
|---|---|---|---|
| ۱- زغال‌سنگ،<br>۲- نفت،<br>۳- گاز،<br>۴-فرآورده‌های نفتی،<br>۵- الکتریسیته | ۱- زمین،<br>۲- نیروی کارماهر،<br>۳- نیروی کارغیرماهر،<br>۴- سرمایه<br>۵- منابع طبیعی | ۱- کشاورزی،<br>۲-زغال سنگ،<br>۳- نفت،<br>۴-گاز،<br>۵- بخش‌های صنعتی با مصرف انرژی بالا ،<br>۶ - سایر بخش‌های صنعت<br>۷- فرآورده‌های نفتی<br>۸- آهن و فولاد<br>۹- بخش ICT<br>۱۰- الکتریسیته<br>۱۱-خدمات | ۱- ایران<br>۲-کشورهای توسعه‌یافته<br>۳- کشورهای در حال توسعه |

هدف اصلی تحقیق، ارزیابی اثرات اقتصادی، انرژی و زیست محیطی واردات کالاهای ICT در بخش آهن و فولاد کشور ایران می‌باشد. سطح تکنولوژی این کالاها می‌تواند در کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه متفاوت باشد، با این وجود، واردات از مناطق توسعه‌یافته و درحال‌توسعه ممکن است اثرات متفاوتی در کشور ایران داشته باشد. بنابراین با توجه به هدف تحقیق، ۱۶۰ کشور در پایگاه داده‌ها به ۳ منطقه، ۷۶ بخش اقتصادی به ۱۱ بخش تجمیع شده است (جدول۱) به طوریکه اولاً، بخش صنعت به ICT، آهن و فولاد، صنایع با شدت مصرف انرژی بالا و دیگر صنایع تفکیک شده‌اند. لازم به ذکر است که آهن وفولاد جزء بخش‌های انرژی‌بر هستند. ثانیاً، با توجه به اینکه مدل مورد استفاده یک مدل زیست محیطی و انرژی محور است، ۵ بخش انرژی(و ۵ نهاده انرژی) از سایر بخش‌ها تفکیک شده است. در این صورت، می‌توان نهاده‌های انرژی را براساس لایه‌های تولید در ساختار تولید ارائه نمود. **مجموعه** دوم شامل داده‌های پیش‌بینی است که مورد نیاز یک مدل CGE بازگشتی می‌باشد، برای اجرای سناریوی پایه نیاز به مقادیر پیش‌بینی متغیرهایی مانند تولید ناخالص داخلی، عرضه نیروی کارماهر و غیرماهر، سرمایه و جمعیت می‌باشد. داده‌های مربوط به پیش‌بینی متغیرهای مذکور از مرکز مطالعات آینده‌نگر و اطلاعات بین‌المللی (CEP II) اخذ شده است. **مجموعه** سوم شامل داده‌های مربوط به شاخص قابلیت جذب و تابع سرریز در معادلات (۱۴) و (۱۵) می‌باشد. این داده از گزارش رقابت‌پذیری جهانی که مجمع جهانی اقتصاد در سال ۲۰۱۹ منتشر کرده، اخذ شده است. شواهد جدول (۲) مؤید این نکته می‌باشد. عدد ۰/۳ در ردیف اول نشان می‌دهد که اگر منطقه مبدأ، کشورهای توسعه‌یافته و منطقه مقصد ایران باشد، نسبت قابلیت جذب منطقه مقصد به منطقه مبدأ برابر با ۰/۳ است. به عبارت دیگر فاصله نسبی مقصد با مبدأ بالا می‌باشد. در مجموع، در هر ستون هرچه مقدار عددی شاخص AC کمتر باشد، منطقه متعلق به آن ستون، ضعیف‌تر خواهد بود.

**جدول ۲: مقدار شاخص ظرفیت جذب (ABS در معادله ۱۵) بر اساس کشورهای مقصد و مبدأ**

| مناطق مقصد / منطقه مبدأ | کشورهای توسعه‌یافته | کشورهای در حال توسعه | ایران |
|---|---|---|---|
| کشورهای توسعه‌یافته | ۱ | ۰/۷۹ | ۰/۳ |
| کشورهای در حال توسعه | ۱ | ۱ | ۰/۳۸ |
| ایران | ۱ | ۱ | ۱ |

**منبع:یافته‌های پژوهش**

$E_{ijrs}$، با استفاده از آمار و داده‌های ماتریس حسابداری اجتماعی کالیبره می‌شود. مقادیر عددی کالیبره شده شاخص تجسم، سهم تجارت و ضریب سرریز در سال پایه ۲۰۱۷ برای کالاهای وارداتی ICT در جدول (۳) ارائه شده است. مقادیر $E_{ijrs}$ نشان می‌دهد که ۰/۲۶ از واردات کالاهای ICT در ایران از کشورهای توسعه‌یافته و ۰/۷۴ از منطقه درحال‌توسعه صورت می‌گیرد.

**جدول ۳: مقدار شاخص تجسم، سهم تجارت و ضریب سرریز (مقصد = ایران)**

| مناطق مبدأ / منطقه مقصد= ایران | کشورهای توسعه‌یافته | کشورهای در حال توسعه |
|---|---|---|
| شاخص تجسم فناوری i=j $(E_{ijrs})$ | ۰/۱۳۷ | ۰/۳۹۱ |
| سهم تجارت i=j $(\delta_{ijrs})$ | ۰/۲۶ | ۰/۷۴ |
| ضریب سرریز i=j $(\beta_{ijrs})$ | ۰/۲۵ | ۰/۵۶ |

**منبع:یافته‌های پژوهش**

شاخص تجسم فناوری نشان می‌دهد که چنانچه صادرکننده ICT به ایران، کشورهای درحال‌توسعه باشند، امکان سرریز بهره‌وری بالاتری را برای ایران فراهم می‌نماید (مقایسه ۰/۳۹۱ در برابر ۰/۱۳۷). علاوه براین، ضریب سرریز، بیانگر میزان تغییر بهره‌وری کل عوامل تولید در کشورهای مقصد است. به عنوان مثال چنانچه بهره‌وری بخش ICT در کشورهای توسعه‌یافته ۱ درصد افزایش یابد، به اندازه ۰/۲۵ درصد، بهره‌وری ICT در ایران بهبود می‌یابد. این درحالی است که اگر منطقه مبدأ کشورهای درحال‌توسعه باشند، ۰/۵۶ درصد بهره‌وری کل عوامل تولید در ایران تغییر خواهد کرد. با توجه به داده‌های موجود در پایگاه داده GTAP ورژن ۱۱، تا سال ۲۰۱۰ سهم واردات ایران از کشورهای توسعه‌یافته نسبت به کشورهای درحال‌توسعه بیشتر بوده است. درحالیکه از سال ۲۰۱۰ به بعد، سهم واردات از کشورهای درحال‌توسعه بیشتر شده است. به عنوان مثال در سال پایه ۲۰۱۷، واردات از کشورهای درحال‌توسعه تقریبا ۲/۸ برابر واردات از کشورهای توسعه‌یافته بوده است. بنابراین، انتظار براین است که کشورهای درحال‌توسعه سرریزدانش تجسم یافته‌ی بالاتری برای ایران داشته باشند.

### ۵،۲. سناریوها

ارزیابی اثر واردات کالاهای ICT بر بخش آهن و فولاد در قالب دو مجموعه سناریوی پایه و سیاستی انجام شده است. سناریوهای پایه براساس مسیر زمانی متغیرهایی مانند جمعیت، GDP، عرضه نیروی کار ماهر و غیرماهر و سرمایه از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۵۰ تعریف شده است. دلیل اجرای سناریوهای پایه این است که ماتریس حسابداری اجتماعی مناطق مختلف در طول سال‌های متمادی به روز شود. به لحاظ تکنیکی، این مسیرها در قالب شوک به متغیرهای مذکور ایجاد می‌شود که داده‌های پیش بینی مربوط به این متغیرها از بانک جهانی (۲۰۲۳)، سازمان بین‌المللی کار (ILO,2023)، Fontagn´e et al, 2021 استخراج شده است. علاوه بر سناریوهای پایه، هشت سناریوی سیاستی نیز اجرا شده است. برای این منظور کشورهای جهان به سه منطقه ایران، کشورهای توسعه‌یافته و منطقه درحال‌توسعه تجمیع شده‌اند. سپس در چهار سناریوی اول، کشورهای درحال‌توسعه به عنوان منطقه مبدأ و سایر مناطق از جمله ایران به عنوان مقصد درنظرگرفته شده اند (سناریو های DVG ). در چهار سناریوی دوم، کشورهای توسعه‌یافته منطقه مبدأ لحاظ شده‌اند( سناریوهای DVD). در سناریوهای DVG1 و DVD1، فرض براین است که از سال ۲۰۲۵ تا ۲۰۵۰، به طور متوسط هر دوسال، واردات کالاهای ICT از کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه به ایران، ۵ درصد افزایش یابد. در سایر سناریوها، فرض شده است که بهره‌وری کل عوامل تولید بخش ICT در کشورهای مبدأ به میزان ۱ درصد در هر سال افزایش یابد و از طریق توابع سرریز، بهره‌وری بنگاه‌ها در کشورهای مقصد بهبود یابد. مدلسازی توابع سرریز به سه حالت می‌باشد. در حالت اول، اثر سرریز روی بهره‌وری عوامل اولیه تولید در لایه ارزش افزوده اثر می‌گذارد (در سناریوهای ( DVG2 وDVD2 ). حالت دوم، بهبود بهره‌وری در کشور مقصد در لایه ارزش افزوده و انرژی اتفاق می‌افتد. به عبارت دیگر بهره‌وری ترکیب ارزش افزوده و انرژی بهبود می‌یابد ( DVG3 وDVD3 ). حالت سوم، سرریز بهره‌وری به صورت بهبود بهره‌وری کل عوامل تولید در لایه تولید ایجاد می شود ( DVG4 وDVD4 ). سناریوهای پایه و سیاستی به طور خلاصه در جدول (۴) نشان داده شده است.

**جدول ۴: خلاصه‌ای از سناریوهای سیاستی و پایه**

| سناریوها | | توضیحات | تابع سرریز | مبدأ | مقصد |
|---|---|---|---|---|---|
| پایه | | شوک به متغیرهای کلان مانند: جمعیت، تولید ناخالص داخلی، نیروی کار ماهر و غیرماهر، عرضه نیروی کار و سرمایه از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۵۰ | بدون سرریز | ---------- | ---------- |
| سناریوهای DVG | DVG1 | شوک ۵ درصدی (هر ۲ سال یکبار) به واردات ICT از منطقه در حال توسعه (مبدأ) به ایران | بدون سرریز | کشورهای در حال‌توسعه | کشورهای توسعه‌یافته و ایران |
| | DVG2 | DVG+ اعمال نرخ رشد سالانه ۱درصد برای بخش ICT در منطقه در حال توسعه (مبدأ) | معادله ۲ | کشورهای در حال‌توسعه | کشورهای توسعه‌یافته و ایران |
| | DVG3 | DVG1+ اعمال نرخ رشد سالانه ۱درصد برای بخش ICT در منطقه در حال توسعه (مبدأ | معادله ۳ | کشورهای در حال‌توسعه | کشورهای توسعه‌یافته و ایران |
| | DVG4 | DVG1+ اعمال نرخ رشد سالانه ۱درصد برای بخش ICT در منطقه در حال توسعه (مبدأ) | معادله ۱ | کشورهای در حال‌توسعه | کشورهای توسعه‌یافته و ایران |
| سناریوهای DVD | DVD1 | شوک ۵ درصدی (هر ۲ سال یکبار) به واردات ICT از منطقه توسعه‌یافته (مبدأ) به ایران | بدون سرریز | کشورهای توسعه‌یافته | کشورهای در حال توسعه و ایران |
| | DVD2 | DVD1+ اعمال نرخ رشد سالانه ۱درصد برای بخش ICT در منطقه توسعه‌یافته (مبدأ) | معادله ۲ | کشورهای توسعه‌یافته | کشورهای در حال توسعه و ایران |
| | DVD3 | DVD1+ اعمال نرخ رشد سالانه ۱درصد برای بخش ICT در منطقه توسعه‌یافته (مبدأ) | معادله ۳ | کشورهای توسعه‌یافته | کشورهای در حال توسعه و ایران |
| | DVD4 | DVD1+ اعمال نرخ رشد سالانه ۱درصد برای بخش ICT در منطقه توسعه‌یافته (مبدأ) | معادله ۱ | کشورهای توسعه‌یافته | کشورهای در حال توسعه و ایران |

**منبع: یافته‌های پژوهش**

## ۶- نتایج تجربی

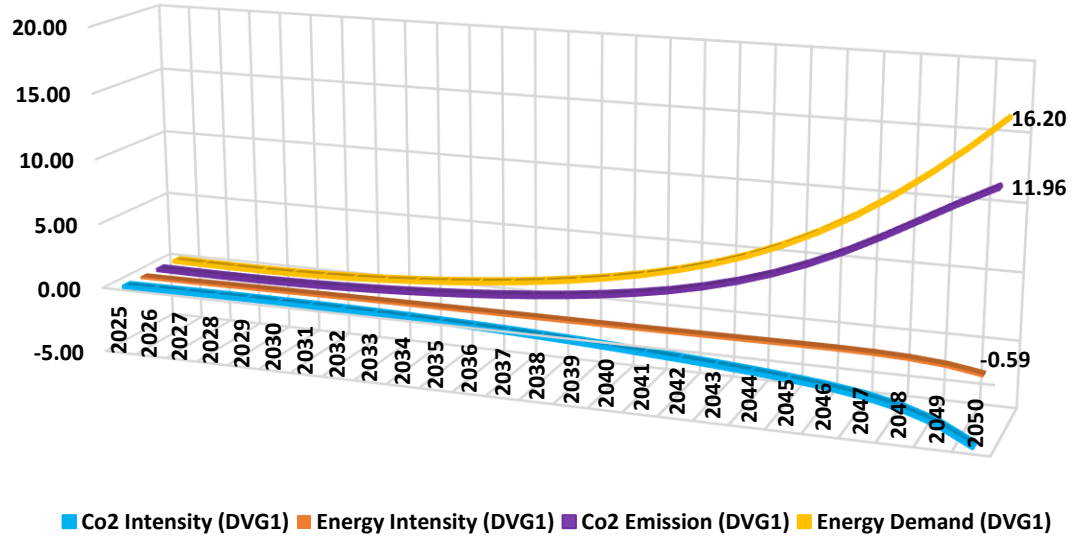
### ۶,۱. سناریوهای سیاستی

نتایج ارائه شده در این قسمت اولاً، حاصل تفاضل سناریوی سیاستی از سناریوی پایه می‌باشد و ثانیاً، نرخ های رشد ارائه شده به صورت تجمعی نسبت به سال پایه ۲۰۲۳ است.

### ۶,۱,۱. سناریوهای DVG

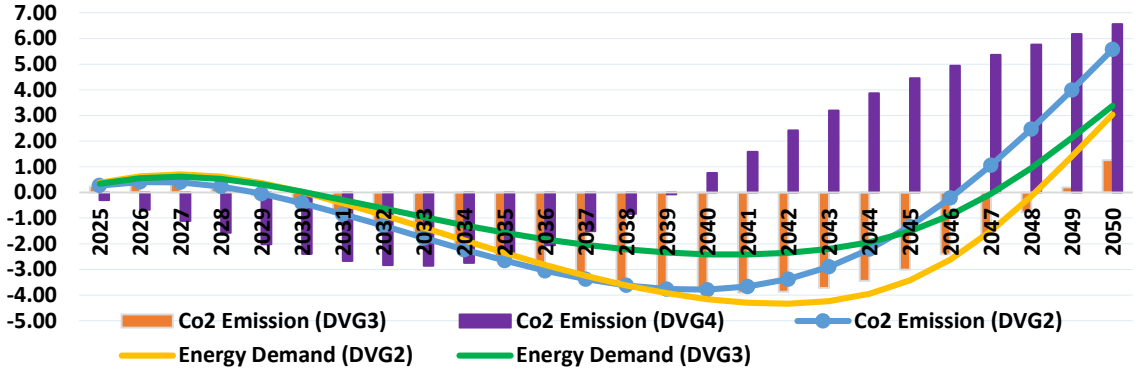
ابتدا اثر واردات کالاهای ICT از کشورهای درحال‌توسعه به ایران و واکنش متغیرهای انرژی و زیست محیطی بخش آهن وفولاد در برابر این واردات در قالب ۴ سناریو مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

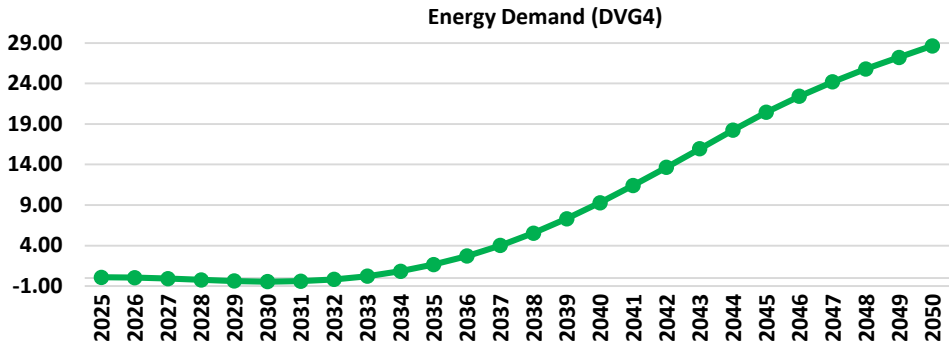
### ۶,۱,۱,۱. تأثیرات بر صنعت آهن و فولاد




**شکل ۳: تأثیرات زیست‌محیطی و انرژی بر بخش آهن و فولاد (منبع: یافته های پژوهش)**

در سناریوی اول و چهارم (DVG1 و DVG4)، مصرف انرژی، افزایش یافته است به طوریکه تا سال ۲۰۵۰ به ۱۶/۲ و ۲۹ درصد رسیده است (شکل های ۳ و ۴ ). علاوه‌براین، انتشار کربن در سناریوی اول و چهارم همراه با تغییرات مصرف انرژی به میزان ۱۱/۹۶و ۶/۵ درصد در سال ۲۰۵۰ افزایش یافته است. لازم به ذکر است که شدت انرژی و شدت کربن روند نزولی دارند که نشان دهنده‌ی این نکته است که رشد تولید در این بخش بیشتر از رشد انتشار کربن و مصرف انرژی است. به عنوان مثال، شدت کربن به ترتیب در سناریوی اول و چهارم حدود ۵ و ۲۰ درصد در سال ۲۰۵۰ کاهش یافته است (شکل های ۳ و۵). شدت انرژی نیز در سناریوی اول و چهارم روند نزولی داشته است. به عنوان مثال در سناریوی چهارم، تا سال ۲۰۵۰ به بیش از ۳ درصد کاهش یافته است.

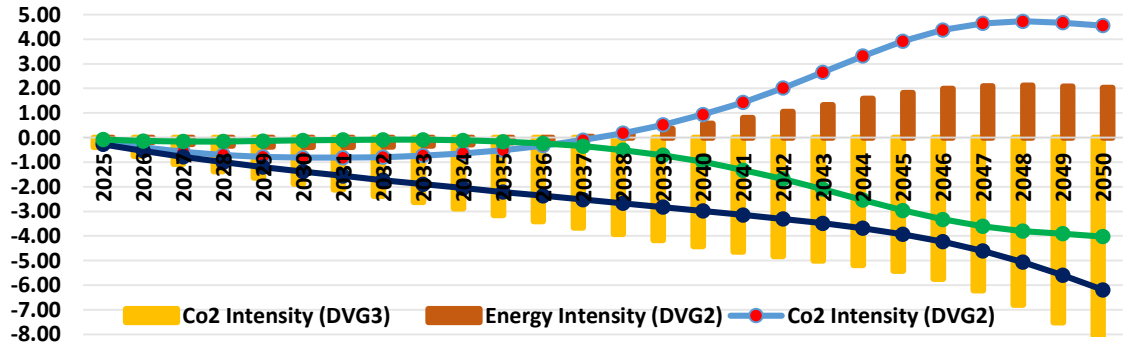


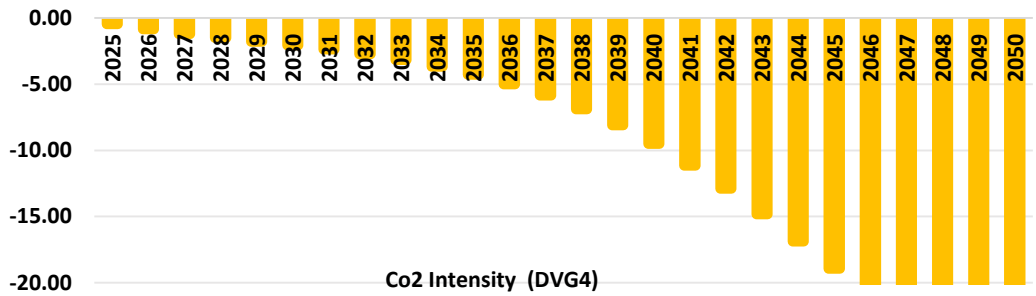




نمودار ۱: تأثیرات بر صنعت آهن و فولاد (درصد تغییر تجمعی نسبت به سال پایه)

شکل ۴: تأثیرات زیست‌محیطی و انرژی بر بخش آهن و فولاد (منبع: یافته های پژوهش)

چنانچه سرریز تکنولوژی فقط موجب بهبود بهره‌وری عوامل اولیه تولید شود (DVG2)، شدت انرژی و شدت کربن ابتدا کاهش یافته و سپس در بلندمدت روند صعودی خواهند داشت (شکل ۵). به عبارت دیگر به ازای هر واحد تولید آهن و فولاد، مصرف انرژی و انتشار co2 در کوتاه مدت کاهش و در بلندمدت افزایش می‌یابد. اگر واردات ICT موجب بهبود بهره‌وری ترکیب ارزش افزوده- انرژی شود (DVG3)، اثرات مطلوبی بر شدت کربن و شدت انرژی در بخش آهن و فولاد خواهد داشت. به عنوان مثال، شدت انرژی از حدود صفر درصد در سال ۲۰۲۵ به حدود ۶ درصد در سال ۲۰۵۰ کاهش یافته است و شدت کربن از حدود ۰/۵ درصد در سال ۲۰۲۵ به ۷/۶ درصد در سال ۲۰۵۰ رسیده است.




نمودار ۲: تأثیرات بر صنعت آهن و فولاد (درصد تغییر تجمعی نسبت به سال پایه)

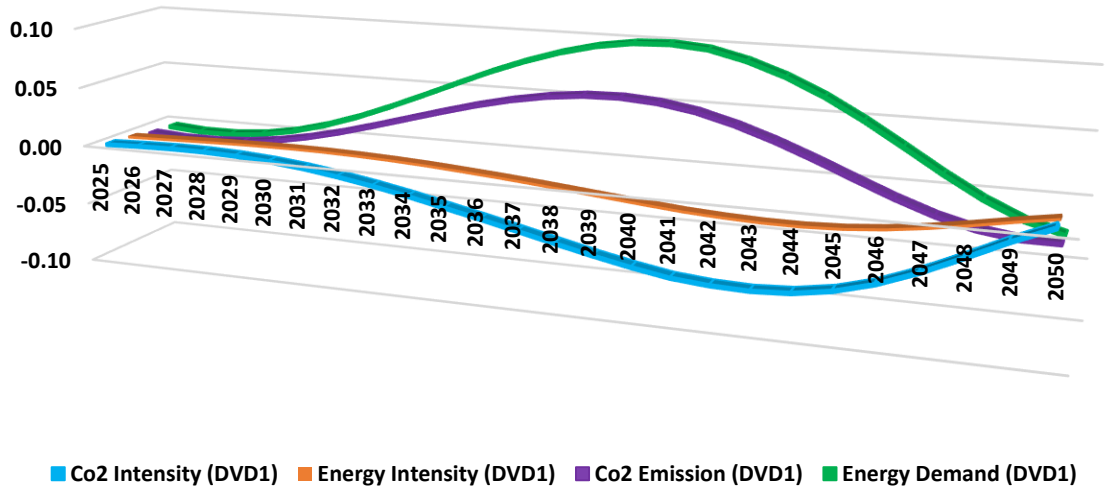
شکل ۵: تأثیرات زیست‌محیطی و انرژی بر بخش آهن و فولاد (منبع: یافته های پژوهش)

### ۶,۱,۲. سناریوهای DVD

ابتدا اثر واردات کالاهای ICT از کشورهای درحال‌توسعه به ایران و واکنش متغیرهای انرژی و زیست محیطی بخش آهن وفولاد در برابر این واردات در قالب ۴ سناریو مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

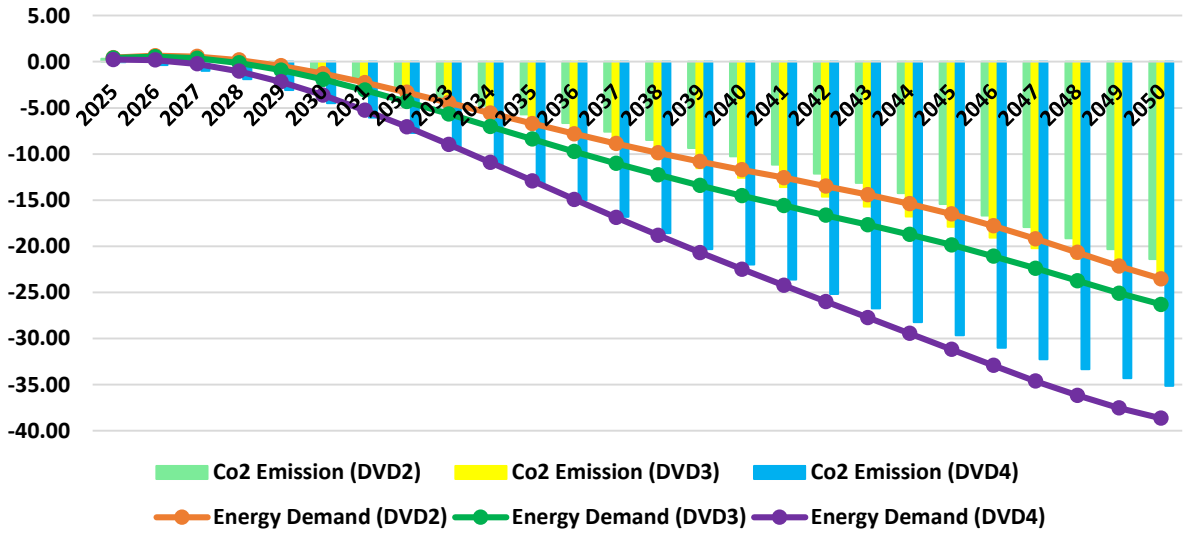
#### ۶,۱,۲,۱. تأثیرات بر صنعت آهن و فولاد

نتایج DVD1 نشان می‌دهد که واردات ICT (اگر بدون اثرات سرریز باشد)، اثرات مثبتی بر مصرف انرژی در آهن و فولاد داشته است (نمودار ۵). علاوه‌براین، انتشار co2 نیز با افزایش مصرف انرژی بیشتر شده و با کاهش مصرف انرژی کاهش یافته است. بیشترین نرخ رشد مصرف انرژی در سال ۲۰۴۰ معادل با ۰/۰۵درصد می‌باشد. با توجه به اینکه نرخ رشد تولید تقریباً بیشتر از رشد مصرف انرژی و انتشار کربن بوده است، نرخ رشد شدت کربن و شدت انرژی در تمام سال‌ها منفی بوده است (شکل ۶).




**شکل ۶: تأثیرات زیست‌محیطی و انرژی بر بخش آهن و فولاد (منبع: یافته های پژوهش)**

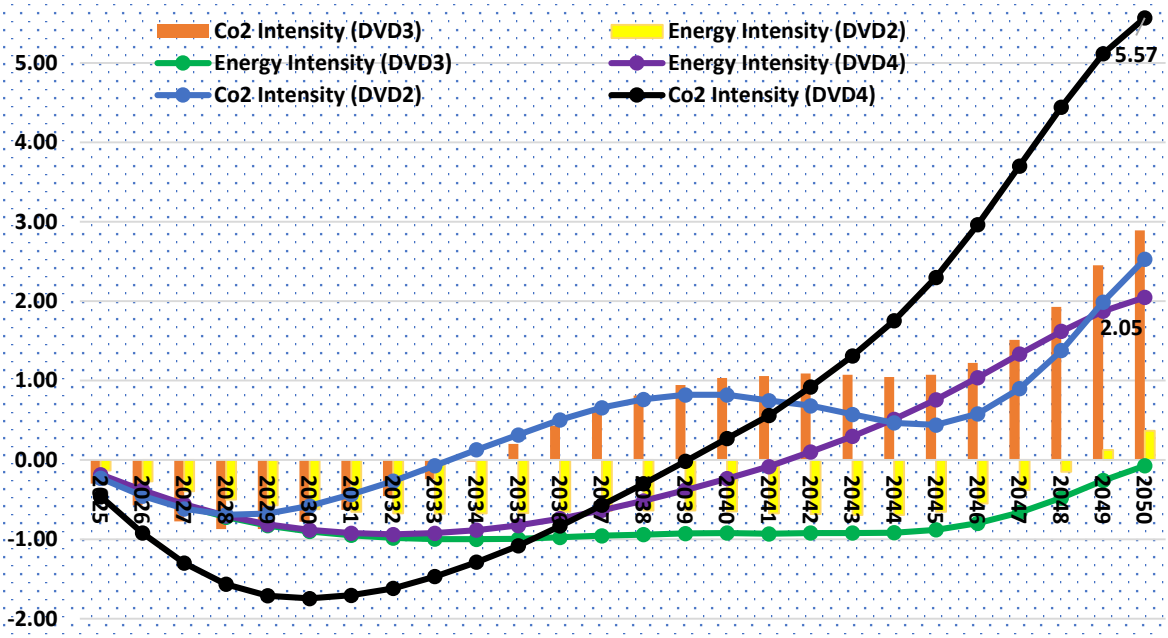
طوریکه در سناریوی DVD4 مصرف انرژی و انتشار کربن در سال ۲۰۵۰ به ترتیب ۳۷ و ۳۵ درصد کاهش یافته است. (شکل ۷). هرچه اثرات سرریز نهاده‌های بیشتری را شامل شود، تاثیرپذیری تقاضای انرژی و انتشار کربن بیشتر خواهد بود. به عنوان مثال، واکنش تقاضای انرژی در DVD4 بیشتر از DVD3 می‌باشد. چون در DVD4 سرریز تکنولوژی موجب تغییر در بهره‌وری کل عوامل تولید شده اما در DVD3 سرریز تکنولوژی حاصل از واردات کالاهای ICT موجب تغییر در بهره‌وری ترکیب ارزش افزوده- انرژی می‌شود.




**شکل ۷: تأثیرات زیست‌محیطی و انرژی بر بخش آهن و فولاد (منبع: یافته های پژوهش)**

شدت کربن و شدت انرژی در کوتاه‌مدت نزولی شده است اما در بلندمدت روند صعودی داشته است (شکل ۸). مصرف انرژی و انتشار co2 به ازای هر واحد تولید در این بخش افزایش یافته است که نشان دهنده‌ی کاهش شدید تولید آهن و فولاد در بلندمدت است. بیشترین تغییرات شدت کربن در سناریوی DVD4 صورت گرفته است به طوریکه نرخ رشد آن در سال ۲۰۵۰ به بیش از ۵/۵ درصد رسیده است.

در سناریوی DVD2، شدت انرژی تقریباً منفی می‌باشد. در این سناریو اثرات سرریز موجب بهبود بهره‌وری عوامل اولیه تولید می‌شود که منجر به کاهش قیمت این نهاده‌ها می‌شود. کاهش قیمت نسبی عوامل اولیه تولید موجب جانشینی این نهاده‌ها به جای انرژی می‌شود. بنابراین، نرخ رشد شدت انرژی منفی خواهد شد.




**شکل ۸: تأثیرات زیست‌محیطی و انرژی بر بخش آهن و فولاد (منبع: یافته های پژوهش)**

## ۷- نتیجه‌گیری و توصیه‌های سیاستی

گرمایش زمین موجب شده است که کشورهای جهان به دنبال راهکارهایی برای حل این موضوع باشند. در این راستا، هرسال نشست‌هایی تحت عنوان کاپ (COP) در سطح جهان برگزار می‌شود که موضوع اصلی این نشست‌ها کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. Co2 قسمت اعظم گازهای گلخانه‌ای را تشکیل می‌دهد که انتشار آن ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در بخش‌های مختلف اقتصادی است. بخش‌های انرژی‌بر بیشترین سهم را در انتشار کربن دارند که آهن و فولاد یکی از آلاینده‌ترین این بخش‌ها است. ایران به عنوان کشوری که دارای ذخایر انرژی بالایی در جهان است و آهن و فولاد سهم قابل ملاحظه‌ای را از بخش صنعت در ایران دارد، نقش مهمی در انتشار کربن جهانی دارد. عوامل مهمی می‌تواند به کاهش اثرات منفی زیست محیطی بخصوص در بخش آهن و فولاد کمک نماید. استفاده از کالاهای ICT و بهره بردن از تکنولوژی آنها در فرایند تولید کالاها، یکی از فاکتورهای مؤثر بر میزان انتشار کربن است. چنانچه کشورها امکان تولید کالاهای ICT با فناوری بالا را نداشته باشند، می‌توانند از طریق واردات یا جذب سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، این به کالاها دسترسی پیدا نمایند. معمولاً سطح تکنولوژی کالاهای مذکور می‌تواند در کشورهای مختلف متفاوت باشد. به عنوان مثال، کالاهای وارداتی از کشورهای توسعه‌یافته ممکن است دارای سطح فناوری بالاتری نسبت به ICT وارداتی از کشورهای درحال‌توسعه باشند. علاوه‌براین، ممکن است که میزان پاک بودن فناوری آنها متفاوت باشد و استفاده از آنها در کشورهای مقصد اثرات زیست محیطی متفاوتی داشته باشد. علاوه‌براین، واردات ممکن است که مزایایی مانند سرریز تکنولوژی را به همراه داشته باشند که میزان سرریز، بستگی به توان جذب تکنولوژی خارجی در کشور مقصد دارد. در این تحقیق، با استفاده از یک مدل تعادل عمومی قابل محاسبه چندمنطقه‌ای به بررسی اثر واردات کالاهای ICT بر مجموعه ای از متغیرهای بخش آهن و فولاد پرداخته شده است. برای این منظور، از نسخه ۱۱ پایگاه داده های GTAP استفاده شده و ۱۶۰ منطقه موجود در این پایگاه داده به سه منطقه ایران، کشورهای توسعه‌یافته و کشورهای درحال‌توسعه تجمیع شده است. با تعریف سه تابع سرریز و هشت سناریو، نقش واردات و قابلیت جذب در میزان سرریز تکنولوژی خارجی در مدل CGE لحاظ شده است. نتایج نشان می‌دهد که چنانچه واردات ICT از منطقه جنوب بدون اثرات سرریز باشد، انتشار کربن و مصرف انرژی در بخش آهن و فولاد، افزایش خواهد یافت. اما شدت کربن و شدت انرژی روندی نزولی خواهد داشت. چنانچه واردات همراه با اثرات سرریز باشد، در بلندمدت شدت کربن و شدت انرژی کاهش می‌یابد. براساس نتایج حاصل شده پیشنهاد می‌شود که اولاً، برای سرعت بخشیدن به رشد فناوری، نیاز به رفع موانع واردات کالاهای ICT بخصوص از کشورهای توسعه‌یافته می‌باشد. ثانیاً، بهبود و ارتقای شاخص‌های جذب تکنولوژی از قبیل سرمایه انسانی، کیفیت نهادها و R&D موجب سرعت بخشیدن به سرریز تکنولوژی شده و از این طریق به تقویت تکنولوژیکی در ایران کمک می‌نماید. ثالثاً، اگر هدف سیاست‌گذاران همسوشدن با سیاست‌های جهانی در راستای بهبود شاخص‌های زیست محیطی باشد، بهتر

است که واردات کالاهای ICT از کشورهای توسعه‌یافته در اولویت قرارگیرد. بنظر می‌رسد که واردات ICT از کشورهای توسعه‌یافته مفیدتر باشد. چنانچه همراه با رعایت استانداردهای زیست‌محیطی نیاز به توسعه تولید آهن و فولاد باشد، باید به دنبال رفع موانع تعرفه‌ای و غیر تعرفه‌ای واردات ICT از هردوی کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه باشیم. دو محدودیت مهم در انجام این تحقیق وجود داشته است که مربوط به مدلسازی و داده‌های بکارگرفته شده می‌باشد. اولاً، در شبیه‌سازی‌های این تحقیق اثر واردات ICT بر انتشار کربن مدلسازی شده است و انتشار سایر گازهای گلخانه‌ای درنظرگرفته نشده است. لذا پیشنهاد می‌شود که اثر واردات بر سایر گازهای گلخانه‌ای مورد ارزیابی قرارگیرد. ثانیاً، داده‌های پیش‌بینی مورد استفاده در سناریوهای پایه از سازمان‌های بین المللی مانند بانک جهانی و ILO و سایر مطالعات جمع آوری شده است. پیشنهاد می‌شود که داده‌های مورد استفاده در سناریوهای پایه با استفاده از روش‌های مدرن مانند هوش مصنوعی پیش بینی شده و در سناریوها بکارگیری شود.

## منابع


- اعظمی، س؛ محمودوند، م؛ سهیلی، ک؛ (۱۴۰۲). بررسی تأثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات بر کیفیت محیط زیست در آلوده کننده‌های بزرگ آسیایی .تحلیل های اقتصادی توسعه ایران. ص ۷۲-۴۵، ۹(۲). doi: 10.22051/ieda.2024.45399.1380
- ایرانشاهی، ز ؛ جهانگرد، ا؛ محمدی، ت؛ قاسمی، ع؛ (۱۴۰۲). تاثیرICT بر انتشار گاز دی اکسید کربن: مدل رگرسیون انتقال ملایم تابلویی (PSTR). فصلنامه اقتصاد و تجارت نوین. ۱۸ (۴). https://civilica.com/doc/1918948
- چیلان. (۱۳۹۴). ماهنامه چیلان مرجع تحلیلی فولادشماره ۶۶ . تهران: انجمن فولاد ایران.
- نجاتی، م؛ بهمنی، م؛ جلایی، عبدالمجید؛ بلاغی، ی؛ (۱۴۰۰). آزادسازی تجاری و کیفیت محیط زیست (مورد مطالعه: ایران و اعضای اتحادیه اقتصادی اوراسیا). فصلنامه مطالعات علوم محیط زیست. ۱۰ (۱). https://www.magiran.com/p2259752
- Ansari, N., & Seifi, A. (2012). A system dynamics analysis of energy consumption and corrective policies in Iranian iron and steel industry. Energy, 43(1), 334–343. https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.04.020
- Antweiler, W., Copeland, B. R., & Taylor, M. S. (2001). Is Free Trade Good for the Environment? American Economic Review, 91(4), 877–908. https://doi.org/10.1257/aer.91.4.877
- Azam, A., Rafiq, M., Shafique, M., & Yuan, J. (2021). An empirical analysis of the non-linear effects of natural gas, nuclear energy, renewable energy and ICT-Trade in leading CO2 emitter countries: Policy towards CO2 mitigation and economic sustainability. Journal of Environmental Management, 286, 112232. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112232
- Briglauer, W., Köppl-Turyna, M., Schwarzbauer, W., & Bittó, V. (2023). Evaluating the effects of ICT core elements on CO2 emissions: Recent evidence from OECD countries. Telecommunications Policy, 47(8), 102581. https://doi.org/10.1016/j.telpol.2023.102581
- Burniaux, J.-M., & Truong, T. (2002). GTAP-E: An Energy-Environmental Version of the GTAP Model (GTAP Technical Paper Series) [GTAP Technical Paper Series]. GTAP Technical Paper. https://doi.org/10.21642/GTAP.TP16
- Chishti, M. Z., Salam, M., Xaisongkham, S., & Du, A. M. (2025). Influence of green ICT and socioeconomic factors on sustainable development: Evidence from Chinese provinces. Research in International Business and Finance, 73, 102624. https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2024.102624
- Coe, D. T., Helpman, E., & Hoffmaister, A. W. (2009). International R&D spillovers and institutions. European Economic Review, 53(7), 723–741. https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2009.02.005
- Cole, M. A., & Elliott, R. J. R. (2003). Determining the trade–environment composition effect: The role of capital, labor and environmental regulations. Journal of Environmental Economics and Management, 46(3), 363–383. https://doi.org/10.1016/S0095-0696(03)00021-4
- Copeland, B. R., & Taylor, M. S. (2004). Trade, Growth, and the Environment. Journal of Economic Literature, 42(1), 7–71. https://doi.org/10.1257/.42.1.7
- Danish. (2019). Effects of information and communication technology and real income on CO2 emissions: The experience of countries along Belt and Road. Telematics and Informatics, 45, 101300. https://doi.org/10.1016/j.tele.2019.101300
- Danish, Saud, S., Baloch, M. A., & Lodhi, R. N. (2018). The nexus between energy consumption and financial development: Estimating the role of globalization in Next-11 countries. Environmental Science and Pollution Research, 25(19), 18651–18661. https://doi.org/10.1007/s11356-018-2069-0
- Das, G. G. (2007). Does Trade and Technology Transmission Facilitate Inequality Convergence? An Inquiry into the Role of Technology in Reducing the Poverty of Nations (SSRN Scholarly Paper No. 961090). Social Science Research Network. https://papers.ssrn.com/abstract=961090

- Das, G. G. (2015). Why some countries are slow in acquiring new technologies? A model of trade-led diffusion and absorption. Journal of Policy Modeling, 37(1), 65–91. https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2015.01.001
- Dimian, G. C., Maftei, M., Jablonský, J., Marin, E., & Olaru, S. M. (2025). The Influence of Digitalization on Greenhouse Gas Emissions in European Union. The Analysis of Mediating Effect of Renewable Energy Consumption. Journal of the Knowledge Economy. https://doi.org/10.1007/s13132-025-02657-1
- Durga, S., Speizer, S., & Edmonds, J. (2024). The role of the iron and steel sector in achieving net zero U.S. CO2 emissions by 2050. Energy and Climate Change, 5, 100152. https://doi.org/10.1016/j.egycc.2024.100152
- Esily, R. R., Chi, Y., Ibrahiem, D. M., Houssam, N., & Chen, Y. (2023). Modelling natural gas, renewables-sourced electricity, and ICT trade on economic growth and environment: Evidence from top natural gas producers in Africa. Environmental Science and Pollution Research, 30(19), 57086–57102. https://doi.org/10.1007/s11356-023-26274-0
- Evans, O., & Mesagan, E. P. (2022). ICT-trade and pollution in Africa: Do governance and regulation matter? Journal of Policy Modeling, 44(3), 511–531. https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2022.06.003
- Farhani, S., Chaibi, A., & Rault, C. (2014). CO2 emissions, output, energy consumption, and trade in Tunisia. Economic Modelling, 38, 426–434. https://doi.org/10.1016/j.econmod.2014.01.025
- Fontagne, L., Rocha, N., Ruta, M., & Santoni, G. (2021). A General Equilibrium Assessment of the Economic Impact of Deep Trade Agreements. Policy Research Working Paper Series, Article 9630. https://ideas.repec.org//p/wbk/wbrwps/9630.html
- Gajdzik, B., & Wolniak, R. (2021). Digitalisation and Innovation in the Steel Industry in Poland—Selected Tools of ICT in an Analysis of Statistical Data and a Case Study. Energies, 14(11), 3034. https://doi.org/10.3390/en14113034
- Girma, S. (2005). Absorptive Capacity and Productivity Spillovers from FDI: A Threshold Regression Analysis*. Oxford Bulletin of Economics and Statistics, 67(3), 281–306. https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.2005.00120.x
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement (Working Paper No. 3914). National Bureau of Economic Research. https://doi.org/10.3386/w3914
- Han, M., & Zhou, Y. (2022). The impact of high-tech product export trade on regional carbon performance in China: The mediating roles of industrial structure supererogation, low-carbon technological innovation, and human capital accumulation. Environmental Science and Pollution Research, 29(21), 31148–31163. https://doi.org/10.1007/s11356-021-17252-5
- Hanoch, G. (1975). Production and Demand Models with Direct or Indirect Implicit Additivity. Econometrica, 43(3), 395. https://doi.org/10.2307/1914273
- Hertel, T. W., & Tsigas, M. E. (1997). Structure of GTAP. Global Trade Analysis: modeling and applications, 13-73.
- Hilty, L.M.: Information Technology and Sustainability. In: Essays on the Relationship between ICT and Sustainability. Books on Demand, Norderstedt (2008), http://www.amazon.de/gp/product/3837019705/
- Irfan, M., Quddus, A., Shahzad, F., & Wang, Y. (2025). Do ICT trade balances and natural resources foster carbon emissions? The role of government effectiveness and green technology innovation. Structural Change and Economic Dynamics, 72, 320–329. https://doi.org/10.1016/j.strueco.2024.12.007
- Karali, N., Park, W. Y., & McNeil, M. (2017). Modeling technological change and its impact on energy savings in the U.S. iron and steel sector. Applied Energy, 202, 447–458. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.173
- Keller, W. (2004). International Technology Diffusion. Journal of Economic Literature, 42(3), 752–782. https://doi.org/10.1257/0022051042177685
- Kim, J., Sovacool, B. K., Bazilian, M., Griffiths, S., Lee, J., Yang, M., & Lee, J. (2022). Decarbonizing the iron and steel industry: A systematic review of sociotechnical systems, technological innovations, and policy options. Energy Research & Social Science, 89, 102565. https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102565
- Lee, C.-C., Yuan, Z., & Lee, C.-C. (2023). A nonlinear analysis of the impacts of information and communication technologies on environmental quality: A global perspective. Energy Economics, 128, 107177. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.107177

- Li, Y., & Zhang, Y. (2023). What is the role of green ICT innovation in lowering carbon emissions in China? A provincial-level analysis. Energy Economics, 127, 107112. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.107112
- Liu, G., & Wan, S. (2022). The impact of information and communication technology on carbon emissions in China: Spatial effect and mechanism discussion. Environmental Science and Pollution Research, 30(6), 16178–16194. https://doi.org/10.1007/s11356-022-23201-7
- Mohsenzadeh, F. M., Payab, H., Abedi, Z., & Abdoli, M. A. (2019). Reduction of CO2 emissions and energy consumption by improving equipment in direct reduction ironmaking plant. Clean Technologies and Environmental Policy, 21(4), 847–860. https://doi.org/10.1007/s10098-019-01672-6
- Murshed, M., Chadni, M. H., & Ferdaus, J. (2020). Does ICT trade facilitate renewable energy transition and environmental sustainability? Evidence from Bangladesh, India, Pakistan, Sri Lanka, Nepal and Maldives. Energy, Ecology and Environment, 5(6), 470–495. https://doi.org/10.1007/s40974-020-00190-2
- Nam, H.-J., & Ryu, D. (2025). Does international trade moderate economic development's impact on income inequality in the EU? Journal of International Financial Markets, Institutions and Money, 99, 102107. https://doi.org/10.1016/j.intfin.2024.102107
- Nejati, M., & Shah, M. I. (2023). How does ICT trade shape environmental impacts across the north-south regions? Intra-regional and Inter-regional perspective from dynamic CGE model. Technological Forecasting and Social Change, 186, 122168. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122168
- Ozcan, B., & Apergis, N. (2018). The impact of internet use on air pollution: Evidence from emerging countries. Environmental Science and Pollution Research, 25(5), 4174–4189. https://doi.org/10.1007/s11356-017-0825-1
- Parrado, R., & De Cian, E. (2014). Technology spillovers embodied in international trade: Intertemporal, regional and sectoral effects in a global CGE framework. Energy Economics, 41, 76–89. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.10.016
- Quader, M. A., Ahmed, S., Ghazilla, R. A. R., Ahmed, S., & Dahari, M. (2015). A comprehensive review on energy efficient CO2 breakthrough technologies for sustainable green iron and steel manufacturing. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 50, 594–614. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.026
- Raheem, I. D., Tiwari, A. K., & Balsalobre-Lorente, D. (2020). The role of ICT and financial development in CO2 emissions and economic growth. Environmental Science and Pollution Research, 27(2), 1912–1922. https://doi.org/10.1007/s11356-019-06590-0
- Ren, L., Zhou, S., Peng, T., & Ou, X. (2021). A review of CO2 emissions reduction technologies and low-carbon development in the iron and steel industry focusing on China. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 143, 110846. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110846
- Ren, M., Zhu, B., Huang, C., Wang, J., & Dai, H. (2025). Multidimensional sustainability implications of alternative iron and steel industry decarbonization strategies in China. Resources, Conservation and Recycling, 215, 108136. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2025.108136
- Salahuddin, M., Alam, K., & Ozturk, I. (2016). The effects of Internet usage and economic growth on CO2 emissions in OECD countries: A panel investigation. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 62, 1226–1235. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.018
- Salahuddin, M., Gow, J., & Ozturk, I. (2015). Is the long-run relationship between economic growth, electricity consumption, carbon dioxide emissions and financial development in Gulf Cooperation Council Countries robust? Renewable and Sustainable Energy Reviews, 51, 317–326. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.005
- Shahnazi, R., & Dehghan Shabani, Z. (2019). The effects of spatial spillover information and communications technology on carbon dioxide emissions in Iran. Environmental Science and Pollution Research, 26(23), 24198–24212. https://doi.org/10.1007/s11356-019-05636-7
- Shang, M., Yao-Ping Peng, M., Khalid Anser, M., Imran, M., Nassani, A. A., Binsaeed, R. H., & Zaman, K. (2024). Evaluating the U-shaped environmental kuznets curve in China: The impact of high technology exports and renewable energy consumption on carbon emissions. Gondwana Research, 127, 272–287. https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.08.013
- Tsai, W. (2001). KNOWLEDGE TRANSFER IN INTRAORGANIZATIONAL NETWORKS: EFFECTS OF NETWORK POSITION AND ABSORPTIVE CAPACITY ON BUSINESS UNIT INNOVATION AND PERFORMANCE. Academy of Management Journal, 44(5), 996–1004. https://doi.org/10.2307/3069443

- Van Meijl, H., & Van Tongeren, F. W. (1999). ENDOGENOUS INTERNATIONAL TECHNOLOGY SPILLOVERS AND BIASED TECHNICAL CHANGE IN THE GTAP MODEL. https://doi.org/10.22004/AG.ECON.28710
- Wang, J., Yang, S., Dong, K., & Nepal, R. (2024). Assessing embodied carbon emission and its drivers in China's ICT sector: Multi-regional input-output and structural decomposition analysis. Energy Policy, 186, 114008. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114008
- Wang, X., Lee, Z., & Xie, X. (2023). Examining the impact of high technology exports on environmental sustainability? An empirical insight. Economic Research-Ekonomska Istraživanja, 36(3), 2195475. https://doi.org/10.1080/1331677X.2023.2195475
- Wei, Y., Zhang, H., & Zhao, Z. (2024). Digitalization and pollution: Evidence from South Africa. China Economic Review, 88, 102266. https://doi.org/10.1016/j.chieco.2024.102266
- Xu, R., Tong, D., Davis, S. J., Qin, X., Cheng, J., Shi, Q., Liu, Y., Chen, C., Yan, L., Yan, X., Wang, H., Zheng, D., He, K., & Zhang, Q. (2023). Plant-by-plant decarbonization strategies for the global steel industry. Nature Climate Change, 13(10), 1067–1074. https://doi.org/10.1038/s41558-023-01808-z
- You, Z., Li, L., & Waqas, M. (2024). How do information and communication technology, human capital and renewable energy affect CO2 emission; New insights from BRI countries. Heliyon, 10(4), e26481. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26481
- Zahra, S. A., & George, G. (2002). Absorptive Capacity: A Review, Reconceptualization, and Extension. The Academy of Management Review, 27(2), 185. https://doi.org/10.2307/4134351
- Zhao, S., & Zhang, X. (2025). Did digitalization of manufacturing industry improved the carbon emission efficiency of exports: Evidence from China. Energy Strategy Reviews, 57, 101614. https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101614
- Zheng, S., Ahmed, D., Xie, Y., Majeed, M. T., & Hafeez, M. (2023). Green growth and carbon neutrality targets in China: Do financial integration and ICT matter? Journal of Cleaner Production, 405, 136923. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136923
- Zhu, R., Xu, Q., Xiqiang, X., Sibt-e-Ali, M., Waqas, M., Ullah, I., & Anwar, A. (2024). Role of resources rent, research and development, and information and communication technologies on CO2 emissions in BRICS economies. Resources Policy, 93, 105072. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.105072
- https://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf
- https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022
- https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023
- https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/world-steel-in-figures-2024/
- https://pep.moe.gov.ir/getattachment
- https://www.ilo.org/publications/flagship-reports/world-employment-and-social-outlook-trends-2023
- https://www.worldbank.org/en/publication/wdr2023/data