

The Impact of High-Tech Goods Import on Economic and Environmental Variables in Iran: A Computable General Equilibrium Model*

Hajipour Apourvari, M.¹ || Nejati, M.² || Jalaei Esfandabadi, S. A.³ || Bahmani, M.⁴

Type of Article: **Research**

10.22126/pse.2026.13625.1242

Received: 16 February 2026; Accepted: 27 April 2026
pp. 289-324

Abstract

Achieving sustainable development requires utilizing existing potentials and taking advantage of international opportunities to achieve desired economic growth and achieve appropriate environmental standards. Importing high-tech goods such as ICT goods and using them in the production process can be one of the international opportunities to achieve economic growth. In addition, imports can bring about technology spillovers and thus affect macro and environmental variables. It should be noted that the type of source countries in terms of their level of development and ability to absorb and apply foreign technology in the destination country are important factors in the rate of productivity spillovers. In this study, a general equilibrium model was used to examine the effect of importing high-tech goods on Iran's environmental and economic indicators. The results show that if imports are without spillover effects, the flow of high-tech goods from developing countries increases energy consumption and carbon emissions and improves economic growth. In addition, imports from developed countries increase gross domestic product and reduce energy consumption and carbon emissions. If imports are accompanied by spillover effects, the import of goods from developing countries will lead to a decrease in carbon and energy intensity and increase GDP. While imports from developed countries have a negative effect on GDP and reduce carbon and energy intensity. By improving absorptive capacity in Iran, both economic growths will increase and energy and carbon intensity will decrease further. Especially if imports are from developed countries. Accordingly, investment in improving absorptive capacity indicators and removing trade barriers is recommended.

Keywords: Carbon emissions, economic growth, trade, information and communication technology goods, Computable General Equilibrium Model.

JEL Classification: F14, F18, O33, Q56, O47.

*. This article is derived from Maryam Hajipour Apourvari's doctoral dissertation, supervised by Dr. Mehdi Nejati, at the Faculty of Management and Economics, Shahid Bahonar University of Kerman.

1. Ph.D. Candidate, Faculty of Management and Economics, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran.

Email: m.hajipour.1992@gmail.com

2. Associate Professor, Faculty of Management and Economics, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran (Corresponding Author). **Email:** mnejati@uk.ac.i

3. Professor, Faculty of Management and Economics, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran. **Email:** jalaei@uk.ac.ir

4. Associate Professor, Faculty of Management and Economics, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran.
Email: mbahmani@uk.ac.ir

Citations: Hajipour Apourvari, M., Nejati, M., Jalaei Esfandabadi, S. A., & Bahmani, M. (2026). "The Impact of High-Tech Goods Import on Economic and Environmental Variables in Iran: A Computable General Equilibrium Model". *Public Sector Economics Studies*, 5(16), 289-324.

Homepage of this Article: https://pse.razi.ac.ir/article_4249.html?lang=en

1. Introduction

In recent decades, environmental concerns have led to increased attention being paid to the application of Information and Communication Technology (ICT) in the energy sector. It is widely believed that this technology can influence not only the economic growth of countries but also energy consumption and pollutant emissions. These effects may vary depending on the degree of technology penetration; consequently, both the magnitude and the nature of ICT's impact on the aforementioned variables remain uncertain. Therefore, accurately assessing these effects requires analytical frameworks capable of capturing all direct and indirect channels of influence.

Accordingly, the present study employs a Computable General Equilibrium (CGE) model for two primary reasons. First, CGE models enable a comprehensive examination of the simultaneous impacts on a wide array of economic and environmental variables by accounting for intersectoral linkages and economy-wide feedback effects. Second, Iran's trading partners are classified into two distinct groups—developed countries (the Global North) and developing countries (the Global South)—thereby facilitating a disaggregated analysis of the effects of ICT imports from each group on key economic and environmental indicators.

2. Theoretical Framework

International trade transmits high-technology goods, especially ICT products, into developing economies. Endogenous-growth models argue that liberalization raises productivity by reallocating factors and enabling imports that embody foreign R&D, generating knowledge spillovers that increase domestic TFP. Structuralist critiques counter that North–South trade perpetuates an unequal division of labor, with developing countries specializing in primary commodities facing declining terms of trade while developed countries capture dynamic gains from technology-intensive manufactures. Environmental effects are decomposed into scale, composition, and technique effects, conditioned by the pollution-haven, pollution-halo, and factor-endowment hypotheses. When traded goods are ICT products, technology spillover becomes the pivotal mechanism, with realized productivity gains governed by multi-dimensional absorptive capacity (human capital, domestic innovation, and ICT readiness). Technological distance shapes both the magnitude and character of spillovers: developing-country imports may be more readily absorbed but embody less advanced techniques, while developed-country imports embody frontier techniques yet large gaps may limit absorption. The net impact of ICT imports on GDP, energy demand, carbon emissions, and energy and carbon intensity thus depends jointly on the source region's developmental status, whether productivity spillovers are activated, and the destination economy's absorptive capacity.

3. Methodology

To this end, the present study employs a multi-region dynamic computable general equilibrium model known as Dynamic GTAP-E. While retaining all the standard features of the GTAP model (Hertel, 1997), this framework incorporates environmental extensions and energy substitution capabilities based on the GTAP-E framework developed by Burniaux and Truong (2002). Specifically, the production technology has been modified such that, within the energy substitution nest, elastic substitution is permitted between capital and different energy carriers (oil, gas, coal, electricity, and other energy sources) as well as among the energy carriers themselves.

4. Discussion

The results reveal that imports of ICT goods without technological spillovers increase Iran's real GDP, energy consumption, and CO₂ emissions. However, both carbon intensity and energy intensity decline substantially by 2050, with the reduction being considerably larger than in 2025. The expansion of domestic production is accompanied by a fall in domestic price levels.

When ICT imports are accompanied by productivity spillovers that affect the energy composition and primary factors of production (Scenario DVG2), Iran's real GDP grows at an average annual rate of 35.39% between 2025 and 2050. Energy demand and, consequently, CO₂ emissions also increase. Nevertheless, owing to the presence of technological spillovers, the rise in energy consumption and CO₂ emissions is higher than in Scenario DVG1. At the same time, these spillovers lead to a more pronounced decline in both carbon intensity and energy intensity compared to the no-spillover case. Unlike Scenario DVG1, the domestic price index exhibits an upward trend throughout the simulation period in Scenario DVG2. Exclusive imports of ICT goods from developed countries (Global North) in the absence of technological spillovers exert a positive impact on Iran's real GDP. The increase in aggregate output is associated with a declining trend in domestic prices. Furthermore, CO₂ emissions decrease in line with a reduction in total energy consumption.

When ICT imports from developed countries are accompanied by technological spillovers, they not only fail to stimulate GDP growth but also result in a long-term decline in Iran's real GDP. Under this scenario, energy demand, carbon intensity, and energy intensity all record significant reductions.

The results show that, if imports originate from developed regions, the production technique improves at the macro level, though the industrial composition becomes more emission-intensive. Moreover, it reduces production and shifts the production technique toward cleaner inputs. The findings further suggest that if technology spillovers are accompanied by an enhancement of technology absorptive capacity

in Iran, ICT imports lead to a reduction in energy and carbon intensities and an increase in production both at the macro level.

5. Conclusion and Suggestion

Overall, it appears that ICT imports from developed countries yield more favorable environmental outcomes in Iran and reduce the scale of production in polluting industries. Based on the findings, the following recommendations are proposed: First, to accelerate technological growth, it is necessary to remove barriers to the import of ICT goods, particularly from developed countries. Second, improving and upgrading technology absorptive capacity indicators—such as human capital, institutional quality, and R&D—will accelerate technology spillovers and enhance technological strengthening in Iran.

6. Ethical Considerations

6.1. Compliance with ethical guidelines

Any violation of the copying of this research will be prosecuted.

6.2. Funding

This research does not have the financial support of any organization or person.

6.3. Authors contribution

All Authors Contributed Equally to The Writing of The Article.

6.4. Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

6.5. Financial Support

The authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

6.6. Acknowledgements

The authors have no acknowledgments to declare.



اثر واردات کالاهای با تکنولوژی بالا بر متغیرهای اقتصادی و زیست محیطی در ایران با استفاده از مدل تعادل عمومی قابل محاسبه (CGE)*

مریم حاجی پور ایپوروری^۱ || مهدی نجاتی^۲ || سید عبدالمجید جلائی اسفندآبادی^۳ || مجتبی بهمنی^۴

نوع مقاله: پژوهشی

10.22126/pse.2026.13625.1242

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۰۷

ص ۲۸۹-۳۲۴

چکیده

لازمه رسیدن به توسعه پایدار به کارگیری پتانسیل‌های موجود و استفاده از فرصت‌های بین‌المللی برای تحقق رشد اقتصادی مطلوب و دستیابی به استانداردهای مناسب زیست محیطی است. واردات کالاهای با تکنولوژی بالا مانند کالاهای ICT و به کارگیری آن در فرایند تولید می‌تواند به عنوان یکی از فرصت‌های بین‌المللی، رشد اقتصادی را محقق نماید. علاوه بر این، واردات می‌تواند سرریز تکنولوژی را به همراه داشته باشد و از این طریق بر متغیرهای کلان و زیست محیطی اثرگذار باشد. لازم به ذکر است که نوع کشورهای مبدأ به لحاظ سطح توسعه یافتگی و توانایی جذب و به کارگیری فناوری خارجی در کشور مقصد، از مؤلفه‌های مهم در میزان سرریز بهره‌وری به شمار می‌آید. در این تحقیق با استفاده از یک مدل تعادل عمومی، اثر واردات کالاهای با تکنولوژی بالا بر شاخص‌های زیست محیطی و اقتصادی ایران بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که چنانچه واردات بدون اثرات سرریز باشد، جریان کالاهای با تکنولوژی بالا از کشورهای در حال توسعه موجب افزایش مصرف انرژی و انتشار کربن می‌شود و بهبود رشد اقتصادی را به همراه دارد. علاوه بر این، واردات از کشورهای توسعه یافته موجب افزایش تولید ناخالص داخلی و کاهش مصرف انرژی و انتشار کربن می‌شود. اگر واردات همراه با اثرات سرریز باشد، ورود کالاها از کشورهای در حال توسعه منجر به کاهش شدت کربن و انرژی می‌شود و GDP را افزایش خواهد داد. در حالی که واردات از کشورهای توسعه یافته، اثر منفی بر GDP دارد و شدت کربن و شدت انرژی را کاهش می‌دهد. با بهبود قابلیت جذب در ایران هم رشد اقتصادی بیشتر می‌شود و هم شدت انرژی و شدت کربن کاهش بیشتری می‌یابد، به خصوص اگر واردات از کشورهای توسعه یافته باشد. بر این اساس، سرمایه‌گذاری در زمینه بهبود شاخص‌های قابلیت جذب و حذف موانع تجاری توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: انتشار کربن، رشد اقتصادی، تجارت، کالاهای فناوری اطلاعات و ارتباطات، مدل تعادل عمومی قابل محاسبه.

طبقه بندی JEL: O47, Q56, O33, F18, F14.

*. این مقاله برگرفته از رساله دکتری مریم حاجی پور ایپوروری به راهنمایی دکتر مهدی نجاتی در دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم اقتصادی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.

Email: m.hajipour.1992@gmail.com

۲. دانشیار، گروه علوم اقتصادی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران (نویسنده مسئول).

Email: mnejati@uk.ac.ir

۳. استاد، آموزشی علوم اقتصادی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.

Email: jalace@uk.ac.ir

۴. دانشیار، گروه علوم اقتصادی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.

Email: mbahmani@uk.ac.ir

ارجاع به مقاله: حاجی پور ایپوروری، مریم؛ نجاتی، مهدی؛ جلائی اسفندآبادی، سید عبدالمجید؛ بهمنی، مجتبی. (۱۴۰۵). «اثر واردات کالاهای با تکنولوژی بالا بر متغیرهای اقتصادی و زیست محیطی در ایران با استفاده از مدل تعادل عمومی قابل محاسبه (CGE)». مطالعات اقتصاد بخش عمومی، ۵ (۱۶)، ۲۸۹-۳۲۴.

صفحه اصلی مقاله در سامانه نشریه: https://pse.razi.ac.ir/article_4249.html

۱. مقدمه

تجارت بین الملل موجب افزایش رشد اقتصادی، انتقال فناوری، ایجاد شغل، افزایش توان رقابتی و تغییر کیفیت محیط زیست می شود. دو دیدگاه متفاوت در رابطه با تجارت و اثر آن بر کیفیت محیط زیست وجود دارد. برخی محققان معتقدند که گسترش تجارت موجب افزایش مقیاس تولید، شتاب رشد اقتصادی و افزایش آلودگی محیط زیست می شود؛ زیرا با تولید بیشتر، انرژی بیشتری مصرف می شود. اما تعدادی دیگر از محققان معتقدند که تجارت موجب ورود تکنولوژی جدید از کشورهای پیشرفته به سایر کشورها شده و جایگزین تکنولوژی کهنه و فرسوده می شود و بهبود کیفیت محیط زیست را رقم می زند (منتظری، ۱۳۹۷).

مطالعات تجربی نتایج متفاوتی در زمینه اثر تجارت کالاهای با تکنولوژی بالا نظیر کالاهای فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT)^۱ بر انتشار گازهای گلخانه ای را نشان می دهند. گروه اول رابطه مثبت بین استفاده از ICT و انتشار آلودگی (برای مثال، Alataş, 2021; Atsu et al, 2021; Avom et al, 2020) و گروه دوم یک رابطه منفی را نتیجه گرفتند (Danish, 2019; Haini, 2021). در گروه سوم نوع رابطه مشروط است؛ به این صورت که افزایش و یا کاهش انتشار به عواملی مانند سطح توسعه یافتگی یا درآمد کشورها بستگی دارد (برای مثال، N'dri et al, 2021). در مجموع، نه تنها کالاهای ICT یکی از عوامل مهم در انتشار CO₂ به شمار می آید، بلکه جریان بین المللی آن ها به عنوان یکی از اجزای اصلی تجارت، بر محیط زیست اثرگذار است. در این میان، نوع کشورهای مبدأ و مقصد در تجارت اهمیت ویژه ای در میزان انتقال و انتشار CO₂ در بین کشورها دارد (Kim et al, 2018). چون سطح تکنولوژی و همچنین شدت کربن در کشورهای مبدأ و مقصد متفاوت است (Nejati & Shah, 2023).

طبق گزارش شرکت بریتیش پترولیوم، ایران با انتشار ۶۷۸/۲ میلیون تن CO₂، دارای رتبه ششم از ده کشور برتر آلوده کننده در سال ۲۰۲۰ شده است. به همین دلیل برای کاهش هزینه های اقتصادی و زیست محیطی ناشی از تغییرات آب و هوایی در ایران، نیاز به سرمایه گذاری در تولید و همچنین واردات کالاهای با تکنولوژی بالا وجود دارد. در صورتی که کالاهای با فناوری بالا از مسیر واردات تأمین شوند، علاوه بر اثرات مستقیمی که بر شاخص های زیست محیطی و اقتصادی می گذارند، اثرات غیرمستقیمی (از طریق سرریز تکنولوژی ناشی از واردات) نیز به همراه دارند. در واقع سرریز تکنولوژی باعث رشد تولید، بهره وری و کاهش انتشار آلودگی می شود. در این تحقیق سعی بر آن است که اثر واردات کالاهای با تکنولوژی بالا نظیر کالاهای ICT، بر متغیرهای زیست محیطی و اقتصادی در ایران بررسی شود. برای ارزیابی دقیق این اثرات نیاز به مدلهایی است که تمام اثرات مستقیم و غیرمستقیم ناشی از واردات را بررسی کند. به همین دلیل در این تحقیق، اول از یک مدل تعادل عمومی قابل محاسبه استفاده شده، به طوری که این مدل ها امکان بررسی تمام اثرات را بر اکثر متغیرهای اقتصادی و زیست محیطی فراهم می کنند. دوم اینکه شرکای تجاری ایران به دو دسته کشورهای توسعه یافته (شمال) و در حال توسعه (جنوب) تقسیم شده است، به طوری که می توان اثر واردات کالاها را به تفکیک شمال و جنوب بر متغیرهای اقتصادی و زیست محیطی بررسی کرد.

در ادامه مقاله به این صورت ساماندهی شده است که در قسمت دوم مبانی نظری، در قسمت سوم پیشینه پژوهش و در بخش چهارم روش‌شناسی پژوهش ارائه شده است. در قسمت پنجم یافته‌های پژوهش و در نهایت نتیجه‌گیری و پیشنهادات سیاستی تشریح شده است.

۲. مبانی نظری

۲-۱. اثرات تجارت بر رشد اقتصادی

نظریات اقتصاددانان در رابطه با تأثیر تجارت بر رشد اقتصادی به دو دسته موافق و مخالف تجارت آزاد تقسیم می‌شود. موافقان معتقدند که آزادسازی تجارت با تخصیص عوامل تولید در بخش‌های مختلف موجب افزایش بهره‌وری، افزایش رقابت در اقتصاد داخلی و بهره‌مندی از جریان دانش در میان بخش‌ها و کشورها می‌شود که در نهایت اثر مثبتی بر رشد اقتصادی بر جای می‌گذارد (Grossman & Helpman, 1991; Redding, 1997; Taylor, 1994; Feder, 1983; Aghion et al, 1997; Greenaway & Milner, 1993). در چارچوب مدل‌های رشد درون‌زا، مکانیسم تأثیر آزادسازی تجاری بر رشد اقتصادی با تنوع و دقت بیشتری نسبت به مدل‌های رشد برون‌زا تبیین شده و پیوند میان آزادسازی تجاری و رشد بلندمدت اقتصادی از استحکام نظری بالاتری برخوردار شده است.

در مقابل، منتقدان تجارت آزاد نظیر پریش^۱، سینگر^۲، ماینت^۳ و میردال^۴ عمدتاً دیدگاهی درون‌نگر به فرایندهای رشد بهره‌وری و رشد اقتصادی اتخاذ کرده‌اند و با استناد به نظریه وابستگی و رویکرد استثمار استدلال می‌کنند که تجارت آزاد میان کشورهای توسعه‌یافته و کشورهای در حال توسعه موجب انتقال عواید از کشورهای در حال توسعه به سوی کشورهای توسعه‌یافته می‌شود. دلیل اصلی این پدیده وابستگی ساختاری بالای کشورهای در حال توسعه به تولید و صدور کالاهای اولیه در برابر تسلط کشورهای پیشرفته بر تولید و صدور کالاهای صنعتی با ارزش‌افزوده بالا است. از آنجا که کشش درآمدی تقاضای جهانی برای کالاهای اولیه به مراتب پایین‌تر و نوسانات قیمتی آن‌ها شدیدتر از کالاهای صنعتی است، آزادسازی تجاری به وخامت مستمر رابطه مبادله، نابودی صنایع نوپا و در نهایت زوال بلندمدت اقتصادی در کشورهای در حال توسعه می‌انجامد (بهشتی و همکاران، ۱۴۰۱).

۲-۲. اثرات تجارت بر شاخص‌های انرژی و زیست‌محیطی

دیدگاه‌های متفاوتی درباره اثرات زیست‌محیطی جهانی شدن وجود دارد که سه مورد از مهم‌ترین آن‌ها پناهگاه آلودگی^۵، هاله آلودگی^۶ و فرضیه عوامل اولیه تولید^۷ است. پناهگاه آلودگی بیان می‌کند که بنگاه‌های آلوده‌کننده

1. Prebish

2. Singer

3. Myint

4. Myrdal

5. Pollution Haven Hypothesis (PHH)

6. Pollution Halo

7. Factor Endowments Hypothesis

در کشورهای توسعه یافته به کشورهای در حال توسعه ای منتقل می شوند که دارای مقررات زیست محیطی سست باشند که نتیجه آن افزایش آلودگی در این کشورهاست (Doytch & Uctum, 2016). بر اساس فرضیه هاله آلودگی، تجارت و سرمایه گذاری مستقیم خارجی اثرات مثبت بر محیط زیست و همچنین اقتصاد کشور میزبان می گذارند؛ چون جریان این دو متغیر همراه با انتقال تجارب مدیریتی، دانش فنی و استانداردهایی است که روش های کارا برای استفاده از منابع به کار می گیرند. بنابراین موجب کاهش آلودگی در کشورهای مقصد می شوند (Zarsky, 1999). ادعای اصلی فرضیه عوامل اولیه تولید نیز این است که اگر تجارت به افزایش تقاضا برای کالاهای کاربر (سرمایه بر) منجر شود، آلودگی کاهش (افزایش) می یابد؛ زیرا تولید کالاهای کاربر به میزان کمتری نسبت به تولید کالاهای سرمایه بر آلودگی ایجاد می کند. از آنجا که کشورهای توسعه یافته کالاهای سرمایه بر و کشورهای در حال توسعه کالاهای کاربر تولید می کنند، تجارت در کشورهای توسعه یافته منجر به افزایش انتشار آلاینده ها می شود؛ زیرا این کشورها در تولید کالای سرمایه بر (که آلودگی بیشتری نسبت به کالای کاربر دارد) مزیت نسبی دارند.

ارتباط بین دو متغیر تجارت و محیط زیست، با مطالعه گراسمن و کروگر^۱ (۱۹۹۱) آغاز گردید. آن ها با استفاده از منحنی زیست محیطی کوزنتس اثرات آزادسازی تجارت بر محیط زیست را به سه اثر مقیاس، ترکیب و تکنولوژی (فناوری) تفکیک کردند. اثر مقیاس بیانگر تغییر در اندازه فعالیت های اقتصادی، اثر ترکیب بیانگر تغییر در ترکیب یا سبد کالاهای تولیدی و اثر تکنولوژی بیانگر تغییر در فناوری تولید به سمت فناوری پاک است. بنابراین، با آزادسازی تجاری، اثر مقیاس موجب افزایش تخریب محیط زیست و اگر تکنولوژی تولید به سمت نهاده های پاک سوق داده شود اثر تکنولوژی موجب کاهش تخریب زیست محیطی می شود. تأثیر مثبت یا منفی اثر ترکیب به نوع مزیت نسبی ای بستگی دارد که در یک کشور وجود دارد. به این صورت که اگر کشوری با توجه به مزیت نسبی در تولید کالاهای پاک تخصص یابد، در آن صورت اثر ترکیب به واسطه تغییر ترکیب کالاهای تولیدی کشور به سمت کالاهای آلاینده، آثار منفی بر محیط زیست به جای می گذارد و بالعکس (Grossman & Krueger, 1991). اما همه این کانال ها دارای پیچیدگی هایی هستند که ممکن است از منطقه ای به منطقه دیگر و در مطالعات مختلف متفاوت باشد. با این حال، اگر فعالیت اقتصادی بیشتر که ممکن است به رشد بالاتری منجر شود، بتواند استانداردهای زیست محیطی بالاتری را برای اقتصاد اعمال کند، در این صورت تأثیر زیست محیطی تجارت ممکن است مثبت باشد. به این ترتیب، ارتباط بین محیط زیست و تجارت به بررسی بیشتر نیاز دارد (Nejati & Shah, 2023).

۳-۲. اثر تجارت کالاهای ICT و سرریز تکنولوژی بر انتشار آلودگی

تجارت بین الملل یکی از روش های تأمین کالاهای ICT است که می تواند اثرات مختلفی بر مصرف انرژی و انتشار کربن در کشور مقصد داشته باشد. به اعتقاد مرشد^۲ و همکاران (۲۰۲۰) تجارت ICT بین کشورهای

1. Grossman & Krueger

2. Murshed

مختلف به‌خصوص کشورهای در حال توسعه (جنوب) و کشورهای توسعه‌یافته (شمال) برای رسیدن به سیزدهمین هدف توسعه پایدار^۱ سازمان ملل متحد در رابطه با اقدامات آب‌وهوایی ضروری و مفید است؛ زیرا واردات ICT زمینه را برای توسعه این بخش در کشورهای واردکننده فراهم می‌کند تا بتوانند به پایداری دست یابند.

با واردات کالاهای ICT، سرمایه انباشته‌شده تحقیق و توسعه شرکای تجاری هر کشور که در تولید این کالاها نهفته است، به داخل کشور نشت می‌کند. در واقع سرریز تکنولوژی صورت می‌گیرد و باعث رشد بهره‌وری می‌شود (زمانیان، ۱۳۹۰). نکته حائز اهمیت که در رابطه با سرریز تکنولوژی وجود دارد، میزان قدرت جذب تکنولوژی توسط کشور مقصد است. برخی از محققان معتقدند که اگر کشور مقصد قابلیت جذب و انتشار تکنولوژی در سطح بنگاه‌ها و اقتصاد کلان را داشته باشد، در این صورت سرریز تکنولوژی می‌تواند اثرات مثبتی بر بهره‌وری بنگاه‌ها داشته باشد. بارو و لی^۲ (۱۹۹۶) و ژو^۳ (۲۰۰۰) معتقدند که در کشور میزبان باید حداقلی از انباشت سرمایه انسانی وجود داشته باشد (اهمیت سرمایه انسانی در بحث قابلیت جذب در این است که کارگران با مهارت بالاتر توانایی کار با تکنولوژی پیشرفته را دارند) و در صورتی که بین تکنولوژی بنگاه‌های داخلی و خارجی فاصله بسیار زیادی باشد، بنگاه‌های داخلی نمی‌توانند مزیت‌های تکنولوژی را جذب کنند.

مهم‌ترین دلایل اهمیت واردات تکنولوژی در کشورهای در حال توسعه را (به‌ویژه در مراحل اولیه توسعه) می‌توان به صورت زیر عنوان کرد:

۱. تحقیق و توسعه سرمایه‌گذاری زیادی می‌طلبد، در صورتی که کشورهای در حال توسعه (به‌ویژه در مراحل اولیه توسعه) قادر به سرمایه‌گذاری بیشتر در تحقیق و توسعه نیستند.
۲. کشورهای در حال توسعه (به‌ویژه در مراحل اولیه توسعه) با کمبود نیروی انسانی متخصص و مبتکر روبه‌رو هستند.
۳. کشورهای در حال توسعه در مراحل اولیه توسعه، زیربنای تکنولوژیکی معقولی برای نوآوری ندارند. پس در صورت انجام فعالیت‌های R&D به منظور نوآوری، امکان موفقیت آن پایین خواهد بود (Bernstein & Mohnen, 1998).

۳. پیشینه پژوهش

۳-۱. مطالعات داخلی

جهانگرد و همکاران (۱۴۰۲) از مدل رگرسیون انتقال ملایم تابلویی و همچنین داده‌های ۱۰۸ کشور جهان در دوره زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۳ برای بررسی اثر ICT بر انتشار CO₂ پرداخته‌اند. نتایج حاکی از آن است که استفاده بیشتر از ICT موجب بهبود کیفیت محیط‌زیست می‌شود و تغییرات آب‌وهوایی را کاهش می‌دهد.

1. SDG13

2. Barro & Lee

3. Xu

حاجی‌پور اپورواری و همکاران (۱۴۰۲) با استفاده از یک مدل تعادل عمومی قابل‌محاسبه به بررسی اثر واردات کالاهای ICT بر تولید انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که با کاهش تعرفه کالاهای ICT، واردات آن‌ها افزایش و تولید این کالاها کاهش خواهد یافت. علاوه بر این، تولید انرژی‌های تجدیدپذیر کاهش می‌یابد. اما چنانچه واردات کالاهای ICT همراه با افزایش بهره‌وری عوامل تولید باشد، تولید انرژی‌های تجدیدپذیر بهبود می‌یابد. با کاهش تعرفه بر واردات کالاهای ICT میزان انتشار CO₂ کاهش می‌یابد و افزایش بهره‌وری عوامل تولید، کاهش انتشار کربن را تشدید می‌کند.

سعیدی و همکاران (۱۴۰۳) اثر سرریزهای فناوری ناشی از واردات بر متغیرهای اقتصادی و زیست‌محیطی را بررسی کرده‌اند. برای این منظور از یک مدل تعادل عمومی قابل‌محاسبه چندمنطقه‌ای استفاده شده است. نتایج حاکی از آن است که کاهش تعرفه وارداتی شدت کربن، شدت انرژی و نرخ رشد کل انتشار کربن را در ایران کاهش می‌دهد و موجب کاهش آلودگی در کشور می‌شود.

کرمی و همکاران (۱۴۰۳) به بررسی اثرات رشد اقتصاد دیجیتال در کشورهای اوراسیا بر رشد بخش‌های اقتصادی ایران پرداخته‌اند. برای این منظور، از سهم تجارت ICT بر تولید ناخالص داخلی به‌عنوان شاخص اقتصاد دیجیتال و برای گردآوری داده‌ها از نسخه ۱۰ پایگاه اطلاعاتی پروژه تحلیل تجارت جهانی استفاده شده است. داده‌ها در قالب سه بخش کشاورزی، صنعت و خدمات، پنج عامل تولیدی نیروی کار ماهر، نیروی کار غیرماهر، منابع طبیعی، زمین و سرمایه و هفت کشور ایران، اعضای اوراسیا (روسیه، بلاروس، قزاقستان، قرقیزستان و ارمنستان) و سایر کشورها تجمیع شده است. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از مدل تعادل عمومی قابل‌محاسبه چندمنطقه‌ای و نرم‌افزار متلب استفاده شده است. نتایج حاکی از آن است که کشورهای بلاروس و ایران به‌ترتیب از بیشترین و کمترین شاخص اقتصاد دیجیتال برخوردارند. همچنین، با توسعه اقتصاد دیجیتال در کشورهای اوراسیا، بخش‌های خدمات، صنعت و کشاورزی ایران به‌ترتیب از بیشترین رشد اقتصادی برخوردار خواهند شد.

رضوانی و همکاران (۱۴۰۴) به بررسی اثر عوامل مؤثر بر انتشار CO₂ در ایران با تأکید بر اثر عدم قطعیت سیاست اقتصادی با استفاده از الگوی خودرگرسیون با وقفه‌های توزیع شده (ARDL) طی دوره زمانی ۱۹۹۷ تا ۲۰۲۰ پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که مصرف انرژی تجدیدپذیر اثر منفی و معناداری بر انتشار CO₂ دارد و به بهبود کیفیت محیط‌زیست کمک می‌کند. همچنین اثر شهرنشینی بر انتشار CO₂ منفی است.

فرهنگ و همکاران (۱۴۰۴) در مطالعه‌ای به بررسی اثرات باز بودن اقتصاد، نوآوری و فناوری‌های نوین بر محیط‌زیست با استفاده از مدل خودرگرسیون با وقفه‌های توزیع‌شده برای داده‌های پانل در ۳۲ کشور توسعه‌یافته و در حال توسعه طی سال‌های ۱۹۹۷-۲۰۲۲ پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که در کشورهای در حال توسعه متغیرهای رشد تولید ناخالص و مجذور رشد تولید ناخالص داخلی تأثیر مثبتی بر انتشار CO₂ دارند و فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس برای کشورهای مذکور رد می‌شود. در حالی که برای کشورهای توسعه‌یافته مجذور رشد تولید ناخالص داخلی تأثیر منفی و معناداری بر انتشار CO₂ دارد و تأییدکننده فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس

برای این کشورهاست. همچنین نتایج حاکی از تأثیر منفی و معنادار حجم تجارت خارجی به GDP و نوآوری و فناوری بر انتشار CO₂ در کشورهای در حال توسعه است.

۳-۲. مطالعات خارجی

داس^۱ (۲۰۱۵) با توسعه یک مدل CGE چندمنطقه‌ای، سرریز تکنولوژی ناشی از تجارت را مدل‌سازی کرد. او با استفاده از چند تابع سرریز بهره‌وری، اثرات تغییر در بهره‌وری کالاهای ICT در کشورهای G7 را بر بهره‌وری کل عوامل تولید در شمال و جنوب مورد ارزیابی قرار داد. نتایج نشان داد که هرچه واردات کالاها از کشورهای G7 توسط سایر مناطق بیشتر باشد، اثرات سرریز تکنولوژی بیشتر خواهد بود و کشورهای واردکننده از فواید ناشی از تغییر بهره‌وری، بیشتر بهره‌مند خواهند شد. علاوه بر این، واردکنندگانی که به لحاظ شاخص‌های جذب تکنولوژی مشابهت بیشتری با کشورهای G7 داشته باشند، بهبود بهره‌وری بالاتری را در فرایند تولید تجربه خواهند کرد.

صبا^۲ و همکاران (۲۰۲۴) رابطه انتشار فناوری اطلاعات و ارتباطات، رشد و توسعه اقتصادی در ۷۳ کشور طی دوره ۲۰۰۰-۲۰۱۸ را تجزیه و تحلیل کرده‌اند. داده‌های پانل به سه منطقه، یعنی کشورهای جنوب صحرای آفریقا (SSA)، خاورمیانه و شمال آفریقا (MENA)، و آمریکای لاتین و کارائیب (LAAC) تقسیم شده‌اند. برای تجزیه و تحلیل، از روش تخمین گشتاورهای تعمیم‌یافته (GMM) با استفاده از خودرگرسیون برداری پانلی (PVAR) استفاده شده است. نتایج PVAR-GMM نشان می‌دهد که (۱) انتشار فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) یک پیش‌بینی‌کننده معنادار و مثبت برای رشد در سراسر مناطق است که تأثیر بیشتری در منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا (MENA) دارد؛ (۲) انتشار فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) یک پیش‌بینی‌کننده معنادار و مثبت برای توسعه در سراسر مناطق است که تأثیر کمتری در منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا (MENA) دارد.

رهکو و الولا^۳ (۲۰۲۴) با استفاده از یک پانل نامتعادل از کشورهای اروپایی منتخب طی دوره ۱۹۹۰-۲۰۲۰، اثرات انتشار دی‌اکسیدکربن (CO₂) ناشی از انتشار فناوری‌های مرتبط با تغییرات آب‌وهوایی از طریق واردات را شناسایی کرده‌اند. نتایج برآورد مدل پانل اثرات ثابت با متغیرهای ابزاری نشان می‌دهد که سرریزهای بین‌المللی فناوری‌های سازگار با آب‌وهوا به‌طور منفی با انتشار CO₂ مرتبطند؛ بنابراین کاهش انتشار در سراسر منطقه را ترویج می‌کنند. نکته مهم این است که کاهش انتشار در اروپا به‌شدت تحت تأثیر سرریزهای فناوری بین‌المللی است تا فعالیت‌های نوآورانه داخلی. علاوه بر این، در حالی که همه کانال‌های انتشار فناوری تحلیل‌شده مرتبط به نظر می‌رسند، نتایج در مورد سرریزهای فناوری ناشی از واردات قوی‌ترین هستند.

1. Das

2. Saba

3. Rahko & Alola

چای^۱ و همکاران (۲۰۲۴) بر اساس داده‌های پانل از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۸، یک مدل رگرسیون آستانه را برای تحلیل تجربی تأثیر کیفیت نهادی سرریز فناوری ناشی از تجارت خارجی چین بر بهره‌وری کل عوامل ۴۵ کشور در امتداد «کمر بند و جاده» تخمین زده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که کیفیت نهادی این کشورها از یک مقدار آستانه خاص عبور می‌کند. در نتیجه تأثیر سرریز فناوری تجارت خارجی چین بر بهره‌وری کل عوامل سبز کشورهای امتداد کمر بند و جاده تأثیر مثبت و قابل توجهی دارد.

نوآوری این پژوهش در چند زمینه است. نخست، تمرکز اصلی آن بر ارزیابی تأثیر واردات کالاهای با تکنولوژی بالا نظیر کالاهای ICT بر شاخص‌های اقتصادی (مانند تولید ناخالص داخلی و سطح عمومی قیمت‌ها) و عوامل زیست‌محیطی (شامل مصرف انرژی، انتشار دی‌اکسید کربن، شدت انرژی و شدت کربن) در اقتصاد ایران است که تا کنون پژوهش‌های مشابهی در این حوزه انجام نشده است. دوم، با در نظر گرفتن تفاوت اثرات واردات ICT از کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه، از ماتریس حسابداری اجتماعی چندمنطقه‌ای بهره گرفته شده و مناطق به سه گروه ایران، کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه ادغام شده‌اند تا امکان بررسی تمایز اثرات واردات این کالاها بر متغیرهای مدنظر فراهم شود. سوم، برای شبیه‌سازی اثرات سرریز واردات ICT بر متغیرهای مورد نظر، از یک تابع سرریز فناوری استفاده شده است. چهارم، سرریز فناوری تنها در صورتی رخ می‌دهد که کشور واردکننده از ظرفیت جذب مناسبی برخوردار باشد (Girma, 2005). بنابراین، در مدل‌سازی تعادل عمومی سرریز، نقش ظرفیت جذب نیز مدنظر قرار گرفته است.

۴. روش‌شناسی پژوهش

۴-۱. مدل

واردات ICT می‌تواند اثرات مستقیم و غیرمستقیم (سرریز) بر متغیرهای کلان اقتصادی و محیط‌زیست داشته باشد و همچنین مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط بنگاه‌ها و خانوار را تحت تأثیر قرار دهد. لازم به ذکر است که میزان اثرگذاری واردات ICT بر متغیرها به سطح تکنولوژی کشورهای مبدأ (صادرکننده) بستگی دارد. بنابراین، ارزیابی و بررسی اثر واردات ICT به کشور ایران نیاز به مدل‌هایی دارد که بتواند دربرگیرنده تمام اثرات مستقیم و غیرمستقیم باشد. به همین دلیل در این مطالعه از یک مدل تعادل عمومی قابل‌محاسبه چندمنطقه‌ای پویا با عنوان dynamic GTAP-E^۲ استفاده شده است. این مدل علاوه بر لحاظ نمودن خصوصیات مدل استاندارد GTAP (Hertel, 1997)، قابلیت‌های زیست‌محیطی و جایگزینی انرژی را بر اساس مدل GTAP-E (Burniaux & Truong, 2002) لحاظ کرده است.

الگوی تعادل عمومی GTAP یک مدل استاندارد چندمنطقه‌ای ایستا است که توماس هرتل در سال ۱۹۹۷ معرفی کرد. مبانی اقتصاد خرد این الگو تا اندازه‌ای با سایر الگوهای تعادل عمومی چندمنطقه‌ای مشابه است.

1. Chai

2. Dynamic Environmental Multiregional Computable General Equilibrium

معادلات این مدل شامل دو مجموعه است. مجموعه اول شامل انواع روابط حسابداری است که تضمین کننده توازن درآمد و مخارج هر عامل اقتصادی در درون مدل است و مجموعه دوم شامل معادلات رفتاری که بر مبنای نظریه های خرد اقتصادی بنا شده اند و نشان دهنده رفتار بهینه سازی عوامل اقتصادی، از جمله بنگاه ها و خانوار هستند (Burfisher, 2021). الگوی GTAP الگویی ایستا شناخته می شود و تأثیرات پویای تغییرات فناوری، افزایش جمعیت و موجودی سرمایه را در نظر نمی گیرد. مدل ریاضی این الگو شامل مجموعه ای 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 توسعه یافته الگوی GTAP، برای بررسی تأثیرات سیاست های تغییرات اقلیمی در سطح جهانی طراحی شده است. نهاده انرژی در لایه ارزش افزوده به صورت ترکیب سرمایه-انرژی به ساختار تولید اضافه شده و امکان جانشینی بین سرمایه و انرژی و جانشینی بین انواع حامل های انرژی را فراهم کرده است. علاوه بر این، در این مدل، پیامدهای زیست محیطی ناشی از مصرف سوخت های فسیلی توسط خانوار، بنگاه ها و دولت به صورت تغییر در انتشار کربن مدل سازی شده است (Burniaux & Truong, 2002).

۴-۱-۱. بلوک خانوار

خانوار منطقه ای، دولت، خانوار خصوصی و بنگاه ها به عنوان چهار عامل اقتصادی در این مدل وجود دارند. خانوار منطقه ای یک عامل اقتصادی به شمار می آید که مالک تمامی عوامل اولیه تولید است. فرض بر این است که خانوار منطقه ای، انواع مالیات ها و تعرفه ها و درآمد حاصل از فروش عوامل اولیه تولید را جمع می کند و این درآمدها را بر اساس یک تابع مطلوبیت کاب داگلاس به خانوار خصوصی، دولت و پس انداز تخصیص می دهد. توابع مطلوبیت و قید خانوار منطقه ای به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} \max: U &= U_P^{BP} U_G^{BG} U_S^{BS} \\ \text{st: } PEXP(U_P, pp) + GEXP(U_G, pg) + ES(U_S, ps) &= INC/POP \end{aligned} \quad (1)$$

INC درآمد خانوار منطقه ای و POP جمعیت است و $i=P, G, S$ به ترتیب نشان دهنده خانوار خصوصی، دولت و پس انداز. P_i شاخص قیمت در هر بخش و B_i سهم هر کدام از سه بخش مذکور از کل درآمد است. $PEXP$ مخارج سرانه خانوار خصوصی است که تابعی از مطلوبیت سرانه و شاخص قیمت کالاهای مصرفی است. به طور مشابه، $GEXP$ و ES تابعی از مطلوبیت سرانه و شاخص قیمت مربوطه اند. با توجه به اینکه توزیع درآمد هر منطقه بر اساس تابع ۱ صورت می گیرد، در بستر استاندارد مدل GTAP، درآمد خانوار خصوصی، مخارج دولت و پس انداز نسبت ثابتی از درآمد کل در اقتصاد است. خانوار خصوصی بر اساس یک تابع هزینه با تفاضل کشش ثابت (CDE) که هانوچ^۱ (۱۹۷۵) معرفی کرده است، مخارج را حداقل می نماید. این نوع رفتار خانوار نشان دهنده غیرهموتتیک بودن بودن تابع مطلوبیت آن است. انعطاف کامل انواع کشش های قیمتی (کشش قیمتی خود آن

کالا و کشش قیمتی متقاطع) و کشش‌های درآمدی توابع تقاضای خانوار از ویژگی‌های تابع CDE است که در برابر توابع CES یک مزیت مهم محسوب می‌شود (Zhou et al, 2020). تابع ضمنی مخارج CDE در رابطه ۲ ارائه شده است.

$$\sum_i \alpha_i \left(\frac{U_P}{POP} \right)^{\sigma_i \theta_i} \left(\frac{PP_i}{PEXP(U_P, PP)} \right)^{\sigma_i} = 1 \quad (2)$$

که α_i ، σ_i و θ_i به ترتیب پارامترهای توزیع، جانشینی و توسعه، PP_i و X_i قیمت و مقدار مصرف کالای i ام هستند. بر اساس رابطه ۲، خانوار خصوصی در بردار قیمت PP مخارج مصرفی خود را در سطح مطلوبیت U_P حداقل می‌نماید. در نهایت، می‌توان با استفاده از اتحاد روی، تقاضای بهینه خانوار را استخراج نمود (Cai et al, 2015) که نرخ رشد تقاضای بهینه خانوار برای کالاهای و خدمات به صورت رابطه ۳ بیان شده است.

$$qp_i - pop = \sum_k CPE_{i,k} \times pp_i + IS_i \times (pexp - pop) \quad (3)$$

نرخ رشد تقاضا برای کالای i ، qp_i ، تابعی از کشش قیمتی کالای i ، $(CPE_{i,i})$ ، کشش قیمتی متقاطع بین کالای i و k ، $(CPE_{i,k})$ و کشش درآمدی تقاضا (IS_i) است. $pexp - pop$ نرخ رشد مخارج سرانه خانوار است. لازم به ذکر است که تقاضای خانوار مشتمل بر تقاضای برای کالاهای داخلی و خارجی است.

۴-۱-۲. تکنولوژی تولید در مدل GTAP-E

بنگاه‌ها با حداقل‌سازی هزینه در هر لایه از تولید، تقاضای بهینه نهاده‌ها را محاسبه می‌کنند. برای مثال تقاضای بهینه نهاده بنگاه‌ها در منطقه r بر اساس حداقل‌سازی هزینه با استفاده از تابع هدف ۴ صورت می‌گیرد.

$$\min \sum_{i=1}^n PF_{ir} QF_{ir} \quad (4)$$

تابع قید که یک تابع CES است، مانند رابطه ۵ تعریف می‌شود.

$$QO_{jr} = \left(\sum_{i=1}^n \theta_i (QF_{ir}^{\frac{\sigma_j - 1}{\sigma_j}}) \right)^{\frac{\sigma_j}{\sigma_j - 1}} \quad (5)$$

که QF_{ir} ، PF_{ir} و QO_{jr} به ترتیب قیمت نهاده i ، تقاضای نهاده i و تولید بخش j در منطقه r است. θ_i پارامترهای توزیع و σ_j کشش جانشینی نهاده‌های مختلف در بخش j است. با حداقل‌سازی تابع ۴ با استفاده از تابع قید ۵، توابع تقاضای نهاده به صورت رابطه ۶ حاصل می‌شود.

$$QF_{ir} = QO_{jr} \alpha_i^{\sigma_j} \left(\frac{P_{ijr}}{PFT_{jr}} \right)^{-\sigma_j} \quad (6)$$

PFT_{jr} قیمت مرکب نهاده‌های تولید است. در هر لایه، پارامترهایی وجود دارد که مدل‌سازی تغییر فنی را ممکن می‌سازد. برای مثال، θ_i در تابع ۵ از این نوع است که می‌توان تغییر فنی تورش‌دار را با تغییر θ_i مدل‌سازی کرد. در بالاترین لایه تکنولوژی تولید، بین کالاهای واسط و ترکیب ارزش‌افزوده - انرژی، امکان جانشینی وجود ندارد. با وجود این، تابع تولید در این لایه را می‌توان به صورت رابطه ۷ بیان کرد.

$$QO_{jr} = AO_{jr} * \min(QINT_{i,jr}, QVAEN_{jr}) \quad (7)$$

QO، QVAEN و QINT به ترتیب بیانگر تولید کل و ترکیب کالاهای واسط و ترکیب ارزش افزوده و انرژی است. AO ضریب خنثای هیکسی یا بهره‌وری کل عوامل تولید در تکنولوژی تولید است. در بستر استاندارد مدل GTAP، مقدار AO ثابت و نرخ رشد آن صفر است. تابع CES مربوط به ساختار سرمایه - انرژی به صورت رابطه ۸ است.

$$QVAEN_{jr} = AVAEN_{jr}(\theta_{L,jr} \cdot QFE_{L,jr}^{-\rho} + \theta_{N,jr} \cdot QFE_{N,jr}^{-\rho} + \theta_{LA,jr} \cdot QFE_{LA,jr}^{-\rho} + \theta_{KE,jr} \cdot QFE_{KE,jr}^{-\rho})^{-\frac{1}{\rho}} \quad (8)$$

{L=نیروی کار، N=منابع طبیعی، LA=زمین و KE=ترکیب انرژی - سرمایه}.

در لایه ترکیب انرژی - سرمایه، تابع قید به صورت رابطه ۹ است که QFE_{KE} ، QFE_K و QFE_E به ترتیب ترکیب سرمایه - انرژی، تقاضای سرمایه و تقاضای ترکیب انرژی اند.

$$QFE_{KE,jr} = (\theta_{K,jr} \cdot QFE_{K,jr}^{-\theta} + \theta_{E,jr} \cdot QFE_{E,jr}^{-\theta})^{-\frac{1}{\theta}} \quad (9)$$

θ_i در توابع ۸ و ۹، پارامترهای توزیع هستند که با استفاده از آنها می‌توان تغییر فنی نهاده‌محور را مدل‌سازی کرد. در این تحقیق، فرض شده است که در منطقه مبدأ، ضریب AO در بخش ICT به میزان ۱ درصد در هر سال تغییر می‌کند و کشورهای مقصد از طریق تجارت بین‌المللی از مواهب تغییر بهره‌وری بهره‌مند می‌شوند.

برای تولید یک کالا به ترکیب انرژی و نهاده‌های واسطه‌ای نیاز است. 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 کرد. فرض بر این است که کالاهای داخلی و خارجی جانشین ناقص یکدیگرند و شکل جانشینی بین کالاها با استفاده از تابع تجميع واردات آرمینگتون با کشش جانشینی ثابت توضیح داده می‌شود. هرچه 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 (ترکیب الکتریسیته و غیرالکتریسیته) 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 فراورده‌های نفتی است که تأمین این حامل‌های انرژی امکان دارد از داخل و یا از طریق واردات از سایر مناطق صورت گیرد. در هرکدام از لایه‌های مذکور، امکان جانشینی بین نهاده‌های انرژی با یک کشش جانشینی ثابت وجود دارد. برای مثال، اگر قیمت گاز نسبت به سایر حامل‌های انرژی افزایش یابد، سایر حامل‌های انرژی جانشین گاز می‌شود که درجه جانشینی به مقدار کشش جانشینی انواع حامل‌های انرژی بستگی دارد.

۴-۱-۳. مدل سازی تجارت بین الملل و سرریز

یکی از اهداف اصلی این تحقیق ارزیابی اثرات سرریز حاصل از واردات کالاهای ICT بر مصرف انرژی و انتشار کربن در کشور ایران است. تجارت کالاها از جمله کالاهای ICT یکی از کانال های انتقال دانش در بین کشورهای مختلف است و می تواند اثرات مثبت بر بهره وری بنگاه ها در مناطق واردکننده داشته باشد که به آن اثرات سرریز تکنولوژی گفته می شود. فرض بر این است که پیشرفت تکنولوژی در بخش ICT در کشورهای صادرکننده (منطقه مبدأ) صورت گیرد. تجارت کالاها موجب سرریز تکنولوژی در کشور واردکننده می شود که میزان بهره گیری آن ها به میزان تجارت با کشورهای مبدأ بستگی دارد (Keller, 2004; Coe et al, 2009). وان میجل و وان تونگرن^۱ (۱۹۹۹) و همچنین داس (۲۰۰۷ و ۲۰۱۵) با استفاده از مدل های تعادل عمومی چندمنطقه ای، اثر سرریز واردات را بررسی کرده اند. در این مطالعه مدل سازی اثرات سرریز انجام شده است. به طوری که نرخ رشد بهره وری در کشورهای مقصد تابعی از رشد بهره وری کل عوامل تولید در بخش ICT کشورهای مبدأ در نظر گرفته شده است. فرض بر این است که واردات ICT از کشورهای مبدأ می تواند موجب سرریز تکنولوژی شود. بنابراین در توابع سرریز، تجارت به عنوان عامل اصلی انتقال و سرریز تکنولوژی در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، ظرفیت جذب در کشورهای مقصد نیز به عنوان یک عامل مؤثر بر میزان اثرات سرریز بهره وری لحاظ شده است. فرض بر این است که سرریز بهره وری در منطقه مقصد در بهره وری عوامل اولیه تولید و ترکیب انرژی تبلور پیدا می کند. به طوری که واردات کالاهای ICT از کشورهای مبدأ موجب بهبود بهره وری عوامل اولیه و انرژی در لایه ارزش افزوده - انرژی می شود که در تابع ۱۰ نشان داده شده است.

$$afe_{kjs} = EM_{ijrs}^{1-ABS_{rs}} * ao_{ir} \quad (10)$$

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

ao_{ir} نرخ رشد بهره وری بخش i در منطقه r (منطقه صادرکننده) است. شاخص تجسم فناوری (EM_{ijrs}) نشان دهنده میزان واردات کالای i در بخش z از منطقه r به s به ازای هر واحد نهاده واسطه ای مصرف شده در بخش z است که مقدار دانش جریان یافته از منطقه r به s را نشان می دهد؛ به عبارت دیگر، نسبتی از پیشرفت تکنولوژی را نشان می دهد که از کشور مبدأ به کشور مقصد جریان می یابد. هرچه نسبت واردات از منطقه r افزایش یابد، میزان انتقال دانش نهفته بیشتر می شود.

$$EM_{ijrs} = \frac{IM_{ijrs}}{IN_{ijs}} \quad IM_{ijrs} = \delta_{ijrs} * IM_{ijs} \quad \delta_{irs} = \frac{IM_{irs}}{IM_{is}} \quad (11)$$

IM_{ijrs} واردات کالای i توسط بخش z از منطقه r به منطقه s ، IM_{ijs} واردات کالای i به بخش z 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} نشان دهنده نهاده های واسطه ای ترکیبی i به کاررفته در بخش z در منطقه s است. از آنجایی که داده های تجارت دوجانبه کالاهای واسطه به تفکیک بخش های مختلف وجود ندارد، فرض می شود که δ_{irs} سهم نهاده وارداتی i از منطقه r به منطقه s در تمام بخش های z در منطقه s یکسان است. ABS_{rs} در تابع سرریز بهره وری، ظرفیت جذب

کشور مقصد را نسبت به کشورهای مبدأ نشان می‌دهد. هرچه قابلیت جذب قوی‌تر باشد، کشورهای واردکننده دانش فنی جدید را بهتر می‌شناسند و نوآوری را در بنگاه‌های تولیدی خود با سرعت بیشتری بهبود خواهند بخشید (Zahra & George, 2002; Tsai, 2001). ترکیب سه شاخص سرمایه انسانی (HC)، توانایی نوآوری (IC)، پذیرش ICT به عنوان شاخص قابلیت جذب لحاظ شده است. هرچه شاخص‌های مذکور در کشور مقصد مناسب‌تر باشد، واردات ICT می‌تواند اثرات بیشتری بر بهره‌وری بنگاه‌ها داشته باشد. برای مثال، یکی از ارکان IC، میزان هزینه‌های R&D در بنگاه‌های داخلی است. چنانچه تحقیق و توسعه در بنگاه‌های داخلی رونق بیشتری داشته باشد، توانایی جذب و به کارگیری و انطباق ICT در بنگاه‌ها بیشتر خواهد شد. بر اساس 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 ۱۲، فاصله نسبی کشور مقصد را با کشورهای مبدأ محاسبه می‌کنیم.

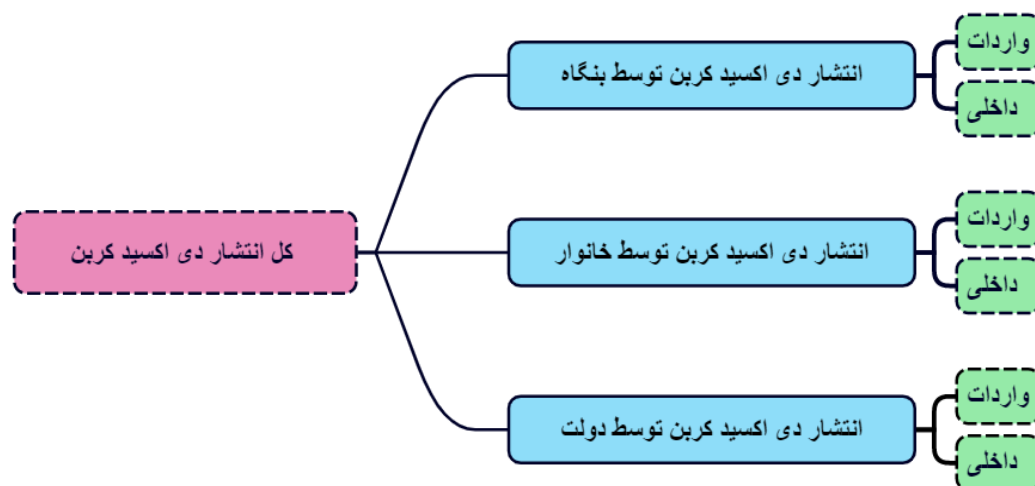
$$ICT_{rs} = \min\left(1, \frac{ICT_s}{ICT_r}\right) \quad IC_{rs} = \min\left(1, \frac{IC_s}{IC_r}\right) \quad HC_{rs} = \min\left(1, \frac{HC_s}{HC_r}\right) \quad (12)$$

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. هرچه مقدار شاخص‌های مذکور به عدد یک نزدیک‌تر باشد، 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 در حال توسعه وضعیت بهتری در شاخص‌های مذکور داشته باشند. در مرحله بعد، برای محاسبه شاخص قابلیت جذب از حاصل ضرب شاخص‌های ارائه شده در رابطه ۱۲ استفاده شده که در رابطه ۱۳ آمده است. فرض بر این است که شاخص‌های قابلیت جذب مکمل یکدیگرند، به این مفهوم که ضعف هر کدام از شاخص‌ها می‌تواند کل شاخص قابلیت جذب را تضعیف کند. برای مثال، اگر یک کشور سرمایه انسانی مطلوبی داشته باشد اما شاخص پذیرش ICT ضعیفی داشته باشد، قدرت کمی در جذب تکنولوژی‌های خارجی خواهد داشت.

$$ABS_{rs} = ICT_{rs} * IC_{rs} * HC_{rs} \quad (13)$$

۴-۱-۴. بلوک انتشار کربن در مدل GTAP-E

در الگوی GTAP-E انتشار دی اکسید کربن ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی است که زغال سنگ، نفت، گاز و فراورده‌های نفتی را دربر می‌گیرد. ضریب انتشار کربن سوخت‌های فسیلی متفاوت است، به‌طوری که زغال سنگ بیشترین ضریب انتشار را دارد. کل انتشار کربن سوخت فسیلی λ_m در هر منطقه $(CT(i,r))$ از مجموع انتشار کربن ناشی از مصرف خانوار $(CH(i,r))$ ، بنگاه‌ها $(CF(i,r))$ و دولت $(CG(i,r))$ به دست می‌آید. حامل‌های انرژی توسط خانوار، بنگاه و دولت از دو منبع داخلی و خارجی تأمین می‌شود. بنابراین، کل انتشار کربن به دو جزء داخلی و وارداتی تقسیم می‌شود. برای مثال، چنانچه گاز مصرفی خانوار از داخل و از طریق واردات تأمین شود، قسمتی از انتشار کربن ناشی از مصرف گاز وارداتی است که با $CIH(i,r)$ مشخص شده است. در شکل ۱ انواع کانال‌های انتشار کربن نشان داده شده است.



شکل ۱. حسابداری انتشار در مدل GTAP-E

(منبع: یافته‌های تحقیق)

در مدل GTAP-E فرض بر این است که نرخ رشد انتشار کربن برابر با نرخ رشد تقاضای هرکدام از سوخت‌های فسیلی است (معادله ۱۴). $qfd(i,j,r)$ و $qfm(i,j,r)$ به ترتیب نرخ رشد تقاضای حامل انرژی i داخلی و وارداتی در بخش j در منطقه r را نشان می‌دهند که نرخ رشد تقاضا برابر با نرخ رشد انتشار کربن است. پیشوند g در متغیرهای انتشار کربن نشان‌دهنده نرخ رشد آن‌هاست. نرخ رشد تقاضای داخلی (qpd) و وارداتی (qpm) خانوار از حامل انرژی i برابر با نرخ رشد انتشار کربن ناشی از تقاضای داخلی $(gcdh)$ و وارداتی $(gcih)$ است. برای دولت نیز به همین ترتیب است.

$$\begin{cases} qfd(i,j,r)=gcfd(i,j,r) & , & qfm(i,j,r)=gcfm(i,j,r) & \text{برای بخش } j \\ qpd(i,r)=gcdh(i,r) & , & qpm(i,r)=gcih(i,r) & \text{برای خانوار} \\ qgd(i,r)=gcdg(i,r) & , & qgm(i,r)=gcig(i,r) & \text{برای دولت} \end{cases} \quad (14)$$

۴-۲. بررسی اجمالی داده‌ها و سناریوها

۴-۲-۱. داده‌ها

هدف اصلی تحقیق، ارزیابی اثرات اقتصادی، انرژی و زیست‌محیطی واردات کالاهای ICT در کشور ایران است. سطح تکنولوژی این کالاها می‌تواند در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه متفاوت باشد؛ با وجود این، واردات از مناطق توسعه‌یافته و در حال توسعه 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 تجميع شده است. با توجه به اینکه مدل مورد استفاده یک مدل زیست‌محیطی و انرژی‌محور است، ۵ بخش انرژی (و ۵ نهاد انرژی) از سایر بخش‌ها تفکیک شده است. در این صورت می‌توان نهاده‌های انرژی را بر اساس لایه‌های تولید در ساختار تولید ارائه کرد.

سه مجموعه داده برای کالیبراسیون و انجام شبیه‌سازی‌ها در این تحقیق به کار رفته است:

مجموعه ۱: داده‌های ماتریس حسابداری جهانی که از نسخه ۱۱ پایگاه داده‌های GTAP برای سال پایه ۲۰۱۷ استخراج شده است. این پایگاه داده توسط گروهی از متخصصان دانشگاه پوردو برای ۱۶۰ منطقه یا کشور جهان در چندین شکل مختلف جمع‌آوری شده است. از آنجایی که مدل مذکور دارای قابلیت‌های پویایی، زیست‌محیطی و انرژی است، از دو فرم GDYN و GTAP-E استفاده شده است. با تلفیق داده‌های پویا از فرم GDYN با داده‌های GTAP-E داده‌های نهایی برای Gdyn-E (Dynamic GTAP-E) به دست 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 است.

مجموعه ۲: داده‌های پیش‌بینی که مورد نیاز یک مدل CGE بازگشتی است. برای اجرای سناریوی پایه نیاز به مقادیر پیش‌بینی متغیرهایی مانند تولید ناخالص داخلی، عرضه نیروی کار ماهر و غیرماهر، سرمایه و جمعیت است. داده‌های مربوط به پیش‌بینی متغیرهای مذکور از مرکز مطالعات آینده‌نگر و اطلاعات بین‌المللی (CEP II) اخذ شده است.

مجموعه ۳: داده‌های مربوط به شاخص قابلیت جذب و تابع سرریز در معادلات ۱۲ و ۱۳ است. این داده از گزارش رقابت‌پذیری جهانی اخذ شده که مجمع جهانی اقتصاد در سال ۲۰۱۹ منتشر کرده است.

۴-۲-۲. سناریوها

ارزیابی اثر واردات کالاهای ICT بر متغیرهای کلان اقتصادی و محیط‌زیست در قالب دو مجموعه سناریوی پایه و سیاستی انجام شده است. سناریوهای پایه بر اساس 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 به‌روز شود. به لحاظ تکنیکی، این

مسیرها در قالب شوک به متغیرهای مذکور ایجاد می‌شود و داده‌های پیش‌بینی مربوط به این متغیرها نیز از بانک جهانی (۲۰۲۳)، سازمان بین‌المللی کار (ILO, 2023) استخراج شده است. علاوه بر سناریوهای پایه، چهار سناریوی سیاستی نیز اجرا شده است. برای این منظور کشورهای جهان به سه منطقه ایران، کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه تجمیع شده‌اند. سپس در دو سناریوی اول، کشورهای در حال توسعه به‌عنوان منطقه مبدأ و ایران به‌عنوان مقصد در نظر گرفته شده‌اند (سناریوهای DVG). در دو سناریوی دوم، کشورهای توسعه‌یافته منطقه مبدأ لحاظ شده‌اند (سناریوهای DVD). در سناریوهای DVG1 و DVD1، فرض بر این است که از سال ۲۰۲۵ تا ۲۰۵۰، به‌طور متوسط هر دو سال، واردات کالاهای ICT از کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه به ایران ۵ درصد افزایش یابد. در دو سناریوی بعدی، 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. بهبود بهره‌وری در کشور مقصد در لایه ارزش‌افزوده و انرژی اتفاق می‌افتد به عبارت دیگر، بهره‌وری ترکیب ارزش‌افزوده و انرژی بهبود می‌یابد (DVG2 و DVD2). سناریوهای پایه و سیاستی به‌طور خلاصه در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. 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 ۲۰۱۸ تا ۲۰۵۰	بدون سرریز	-----	-----
سناریوهای DVG	DVG1	شوک ۵ درصدی (هر ۲ سال یک بار) به واردات ICT از منطقه در حال توسعه (مبدأ) به ایران	بدون سرریز	کشورهای توسعه‌یافته و ایران
	DVG2	DVG + اعمال نرخ رشد سالانه ۱ درصد برای بخش ICT در منطقه در حال توسعه (مبدأ)	معادله ۱۰ برای مقصد	کشورهای توسعه‌یافته و ایران
سناریوهای DVD	DVD1	شوک ۵ درصدی (هر ۲ سال یک بار) به واردات ICT از منطقه توسعه‌یافته (مبدأ) به ایران	بدون سرریز	کشورهای توسعه‌یافته و ایران
	DVD2	DVD1 + اعمال نرخ رشد سالانه ۱ درصد برای بخش ICT در منطقه توسعه‌یافته (مبدأ)	معادله ۱۰ برای مقصد	کشورهای توسعه‌یافته و ایران

(منبع: یافته‌های پژوهش)

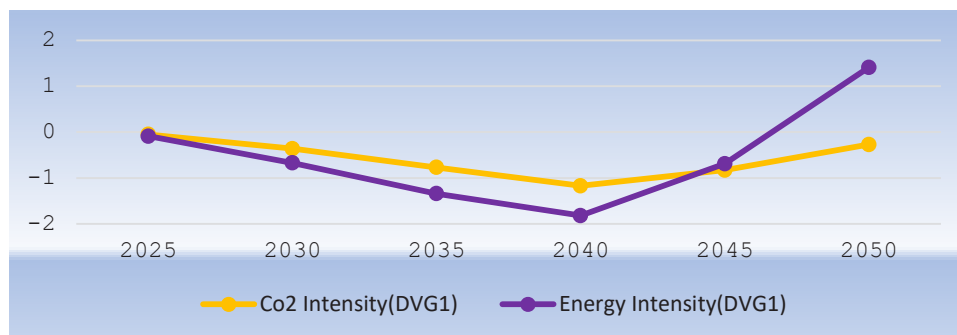
۵. یافته‌های پژوهش

۵-۱. سناریوهای DVG

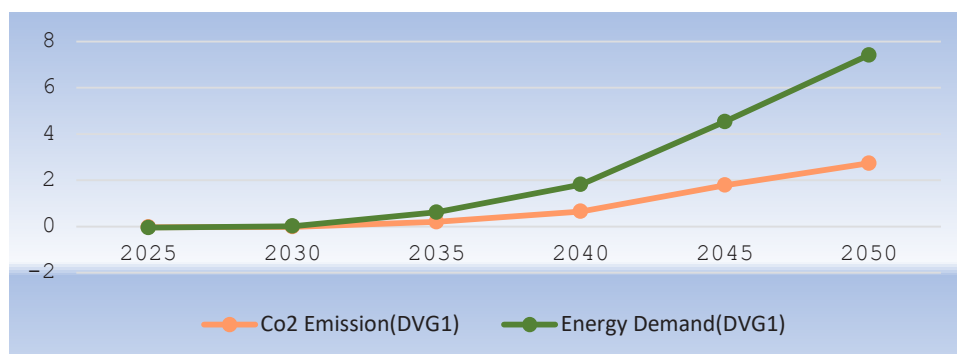
ابتدا اثر واردات کالاهای ICT از کشورهای در حال توسعه به ایران در قالب دو سناریو مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این اثرات مشتمل بر اثرات کلان اقتصادی، انرژی و زیست‌محیطی است.

تأثیرات کلان اقتصادی و زیست‌محیطی

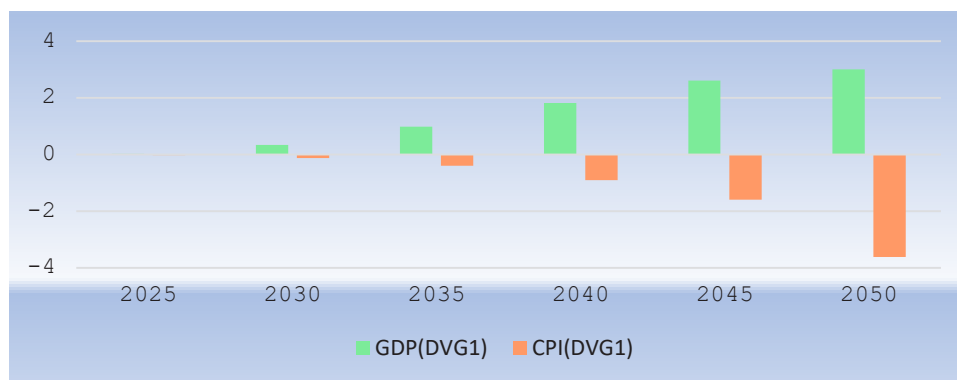
بررسی سناریوی اول (DVG1): واردات ICT و به‌کارگیری آن در فرایند تولید می‌تواند تولیدی بخش‌های مختلف اقتصاد را افزایش دهد و انبساط تولید در کل اقتصاد را به همراه داشته باشد. البته ممکن است به دلیل جانشینی واردات، تولید بخش ICT کاهش یابد. نتایج نشان می‌دهد که واردات ICT بدون اثرات سرریز موجب افزایش GDP در ایران شده است (نمودار ۳)، به‌طوری که از ۰/۰۲ درصد در سال ۲۰۲۵ به ۳ درصد در سال ۲۰۵۰ رسیده است. تقاضای انرژی به موازات بهبود GDP، روندی صعودی را نشان می‌دهد. معمولاً با افزایش تولید در اقتصاد، نیاز به انرژی به‌عنوان یک نهاده مهم بیشتر می‌شود. در مجموع، واردات کالاهای ICT از کشورهای در حال توسعه، مصرف انرژی و انتشار CO₂ را بیشتر کرده است، به‌طوری که هرکدام در سال ۲۰۵۰ به‌ترتیب با رشدی معادل ۴/۶۸ و ۲/۷۳ درصدی مواجه شده‌اند. در واقع نتایج این سناریو نشان‌دهنده مثبت بودن اثر مقیاس است؛ یعنی با افزایش مقیاس تولید، انتشار CO₂ نیز افزایش یافته است. به‌طور کلی اثر تکنولوژی بیانگر تغییر در فناوری تولید به سمت فناوری پاک است که موجب کاهش انتشار CO₂ می‌شود؛ اما در این سناریو اثرات مقیاس بر اثرات تکنولوژی غلبه کرده و موجب افزایش انتشار CO₂ شده است. شدت کربن و شدت انرژی در سال ۲۰۵۰ به مقدار بیشتری نسبت به سال ۲۰۲۵ کاهش یافته است. با افزایش تولید در اقتصاد، قیمت‌ها کاهش خواهند یافت؛ به همین دلیل در این سناریو شاخص قیمت‌ها روند کاهشی داشته، به‌طوری که در سال ۲۰۵۰ کاهشی معادل ۳/۶۱ درصد داشته است.



نمودار ۱. درصد تغییرات شدت کربن و شدت انرژی تحت سناریوی DVG1



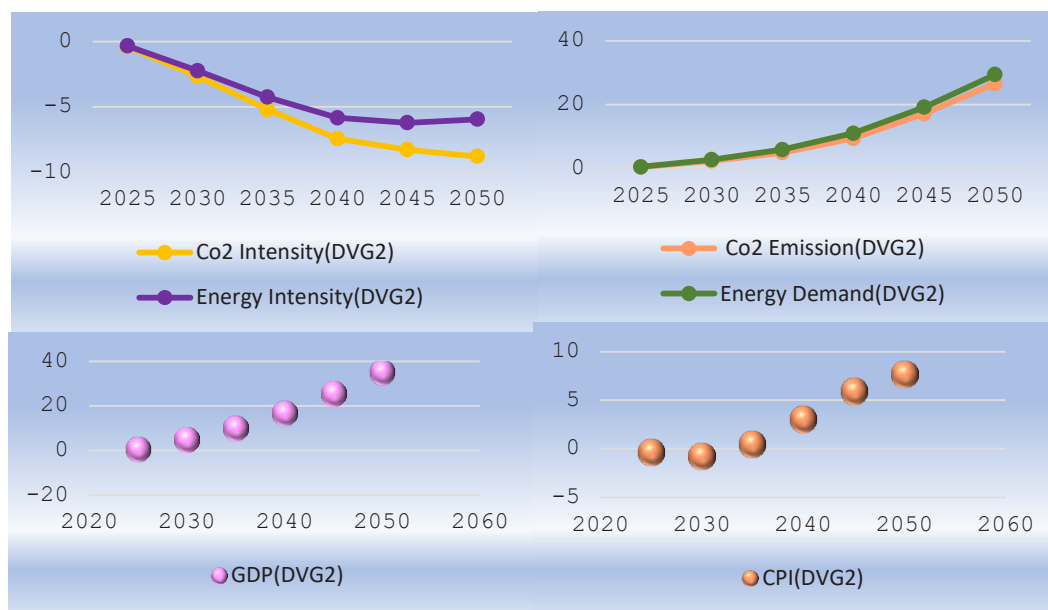
نمودار ۲. درصد تغییرات تقاضای انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن تحت سناریوی DVG1



نمودار ۳. درصد تغییرات تولید ناخالص داخلی و شاخص قیمت‌ها تحت سناریوی DVG1

(منبع: یافته‌های پژوهش)

بررسی سناریوی دوم (DVG2): چنانچه واردات همراه با سرریز تکنولوژی و همچنین بهبود بهره‌وری ترکیب انرژی و عوامل اولیه تولید باشد (DVG2)، GDP در سال ۲۰۵۰ نسبت به سال ۲۰۲۵، نرخ رشد ۳۵/۳۹ درصدی را تجربه خواهد کرد (نمودار ۴). بنابراین، بهبود بهره‌وری انرژی در اقتصاد می‌تواند اثرات مطلوبی بر تولید داشته باشد. تقاضای انرژی و به تبع آن انتشار کربن هم افزایش یافته است، به‌طوری که این متغیرها به‌ترتیب در سال ۲۰۵۰ رشدی معادل با ۲۹/۴۴ و ۲۶/۵۸ درصد داشته‌اند. نتایج این سناریو نیز نشان‌دهنده مثبت بودن اثر مقیاس است؛ یعنی با افزایش مقیاس تولید انتشار CO2 نیز افزایش یافته است. در این سناریو اثرات واردات بر مصرف انرژی و انتشار کربن شدیدتر از سناریوی اول خواهد بود. در این سناریو نیز اثرات مقیاس بر اثرات تکنولوژی غلبه کرده و موجب افزایش انتشار CO2 شده است. سرریز تکنولوژی به‌صورت بهبود بهره‌وری ترکیب انرژی و عوامل اولیه تولید موجب کاهش شدت کربن و شدت انرژی خواهد شد. به عبارت دیگر، انتشار کربن و مصرف انرژی هر واحد کالای تولیدشده را کمتر می‌کند. به‌طوری که در سال ۲۰۵۰، شدت کربن و شدت انرژی به‌ترتیب ۸/۸ درصد و ۵/۹۵ درصد کاهش خواهند یافت. در سناریوی دوم (DVG2) شاخص قیمت‌ها روند افزایشی داشته است. این افزایش قیمت به دلیل افزایش تقاضا برای کالا و خدمات داخلی بوده است. ایران در مقایسه با کشورهای در حال توسعه، از توانایی جذب مناسبی برخوردار است. بنابراین، چنانچه تجارت همراه با اثرات سرریز باشد، اثرات مطلوبی روی GDP خواهد گذاشت و میزان مصرف انرژی و انتشار کربن را به ازای هر واحد تولید کاهش خواهد داد.



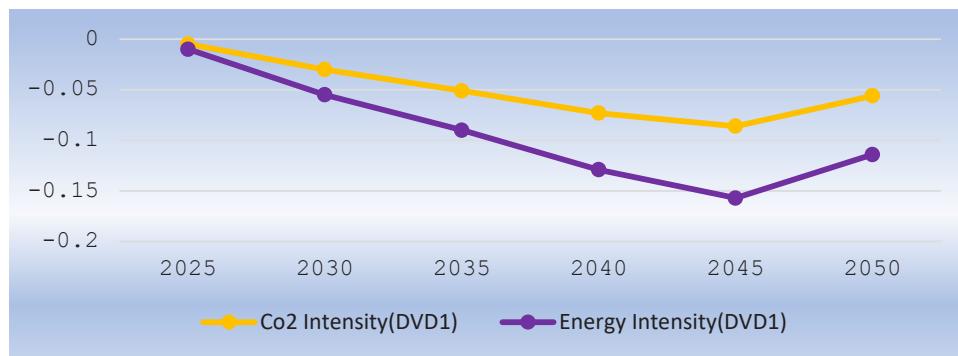
نمودار ۴. اثرات کلان اقتصادی و زیست محیطی ناشی از اجرای سناریوی دوم (DVG2)

۲-۵. سناریوهای DVD

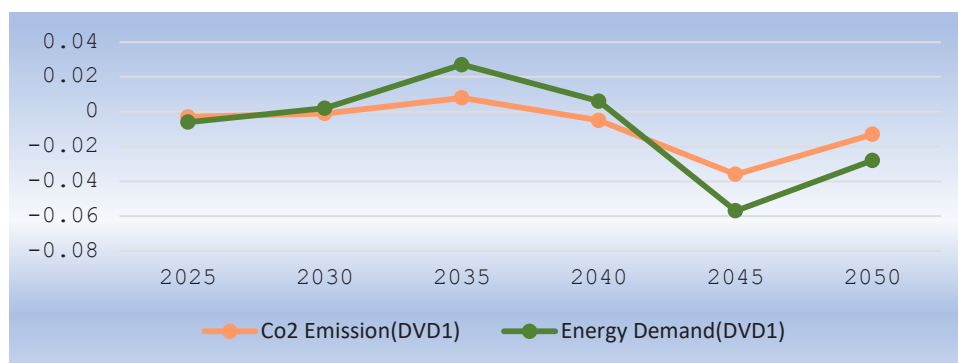
اثر واردات کالاهای ICT از کشورهای توسعه یافته به ایران در قالب ۲ سناریو مورد بررسی قرار می گیرد. این اثرات مشتمل بر اثرات کلان اقتصادی، انرژی و زیست محیطی است.

تأثیرات کلان اقتصادی و زیست محیطی

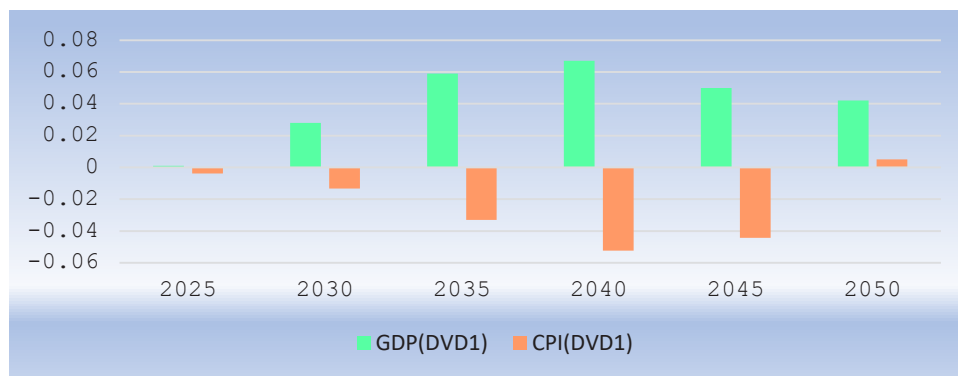
بررسی سناریو اول (DVD1): اگر واردات ICT از کشورهای توسعه یافته به ایران بدون سرریز تکنولوژی باشد، اثرات مثبتی بر GDP در ایران دارد (نمودار ۷). GDP از ۰/۰۰۱ درصد در سال ۲۰۲۵ به ۰/۰۶۷ درصد در سال ۲۰۴۰ افزایش یافته و در نهایت به ۰/۰۴۲ درصد در سال ۲۰۵۰ رسیده است که در مقایسه با DVG1، اثرات ضعیفی بر اقتصاد ایران گذاشته است. لازم به ذکر است در سال پایه ۲۰۱۷، واردات ICT ایران از کشورهای در حال توسعه نزدیک به سه برابر واردات از کشورهای توسعه یافته است. بنابراین، می توان انتظار داشت که DVD1 اثرات کمتری نسبت به DVG1 داشته باشد. با افزایش تولید، قیمت ها روند کاهشی داشته، به طوری که از ۰/۰۰۳ درصد در سال ۲۰۲۵ به ۰/۰۰۵ درصد در سال ۲۰۴۰ رسیده است (نمودار ۷). انتشار کربن همراه با کاهش مصرف انرژی کاهش یافته است، به طوری که در سال ۲۰۵۰ این کاهش معادل ۰/۰۱۳ درصد بوده است. در این سناریو اثر تکنولوژی بر اثر مقیاس غلبه کرده و موجب کاهش انتشار CO2 شده است. از طرف دیگر نیز نتایج این سناریو تاییدکننده فرضیه هاله آلودگی است؛ یعنی در واقع واردات کالاهای ICT موجب انتقال تجارب مدیریتی و استانداردهایی شده است که روش های کارا برای استفاده از منابع را به کار می گیرند؛ بنابراین موجب کاهش آلودگی در کشور ایران شده است (نمودار ۶). یکی از دلایل کاهش مصرف انرژی در کل اقتصاد کاهش تقاضای انرژی توسط خانوار است که به دلیل استفاده از کالاهای ICT است.



نمودار ۵. درصد تغییرات شدت کربن و شدت انرژی تحت سناریوی DVD1



نمودار ۶. درصد تغییرات تقاضای انرژی و انتشار دی اکسید کربن تحت سناریوی DVD1

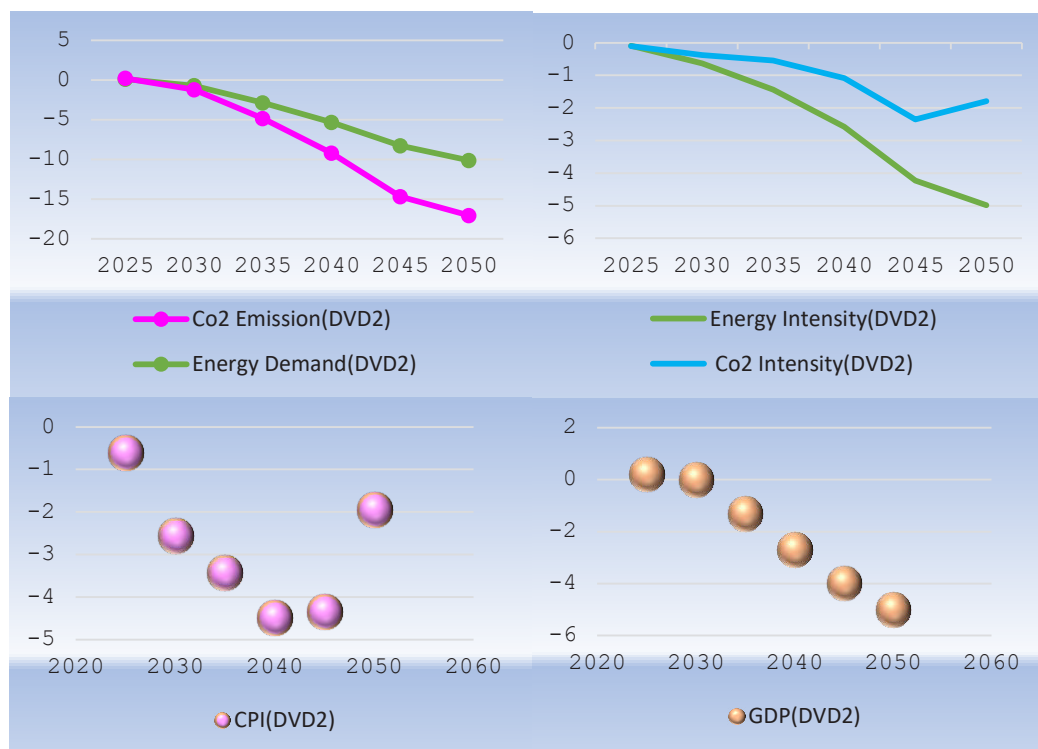


نمودار ۷. درصد تغییرات تولید ناخالص داخلی و شاخص قیمت‌ها تحت سناریوی DVD1

(منبع: یافته‌های پژوهش)

بررسی سناریوی دوم (DVD2): چنانچه واردات همراه با سرریز تکنولوژی باشد نه تنها GDP را افزایش نمی‌دهد بلکه موجب کاهش آن در ایران می‌شود (نمودار ۸). در مدل‌سازی سرریز تکنولوژی فرض شده است که در منطقه مبدأ، علاوه بر اینکه بهره‌وری بخش ICT بهبود می‌یابد، سایر بخش‌ها می‌توانند از مواهب پیشرفت تکنولوژی در بخش ICT بهره ببرند که میزان بهره‌مندی سایر بخش‌ها به پیوند آن‌ها با بخش ICT بستگی دارد. علاوه بر این سایر مناطق از جمله ایران و کشورهای در حال توسعه از طریق توابع سرریز بهره‌مند می‌شوند.

پیشرفت فنی در کشورهای توسعه یافته می تواند در تمام مناطق قیمت ها را کاهش داده و تولید کالاها و خدمات را افزایش دهد. بنابراین، افزایش عرضه کالاها و کاهش قیمت های نسبی در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه می تواند اثر منفی بر GDP در ایران داشته باشد؛ چون کاهش قیمت های نسبی در سایر مناطق، تقاضای برای کالاهای داخلی در ایران را کاهش داده که پیامد آن کاهش GDP خواهد بود. بهبود بهره وری ترکیب انرژی و عوامل اولیه تولید منجر به کاهش نسبی قیمت عوامل اولیه تولید می شود. بنابراین، نهاده ارزان تر جانشین نهاده انرژی شده و در نهایت کاهش تقاضا برای انرژی را به دنبال داشته است، به طوری که در سال ۲۰۵۰ به میزان ۹/۵۰ درصد کاهش یافته است (نمودار ۴). انتشار کربن همراه با کاهش مصرف انرژی کاهش یافته اما کاهش در این سناریو بیشتر از سناریوی اول بوده است، به طوری که در سال ۲۰۵۰ کاهش انتشار کربن تحت سناریوی دوم معادل ۶/۴۰ درصد ولی در سناریوی اول این کاهش معادل ۰/۱۳ درصد بوده است. سرریز تکنولوژی موجب کاهش شدت کربن و شدت انرژی خواهد شد، به طوری که در سال ۲۰۵۰، شدت کربن و شدت انرژی به ترتیب ۱/۴۲ درصد و ۴/۵۲ درصد کاهش خواهند یافت. در مجموع، تجارت کالاهای ICT با کشورهای توسعه یافته می تواند از یک طرف اثر منفی بر GDP و از طرف دیگر، اثرات مثبت زیست محیطی به دنبال داشته باشد. اثر منفی روی GDP ناشی از سطح پایین قابلیت جذب در اقتصاد ایران است که تفاوت قابل ملاحظه ای با کشورهای توسعه یافته دارد. به عبارت دیگر، ایران در مقایسه با کشورهای توسعه یافته دارای سطح سرمایه انسانی ضعیف تر است و همچنین توانایی کمتری در جذب و به کارگیری تکنولوژی دارد.

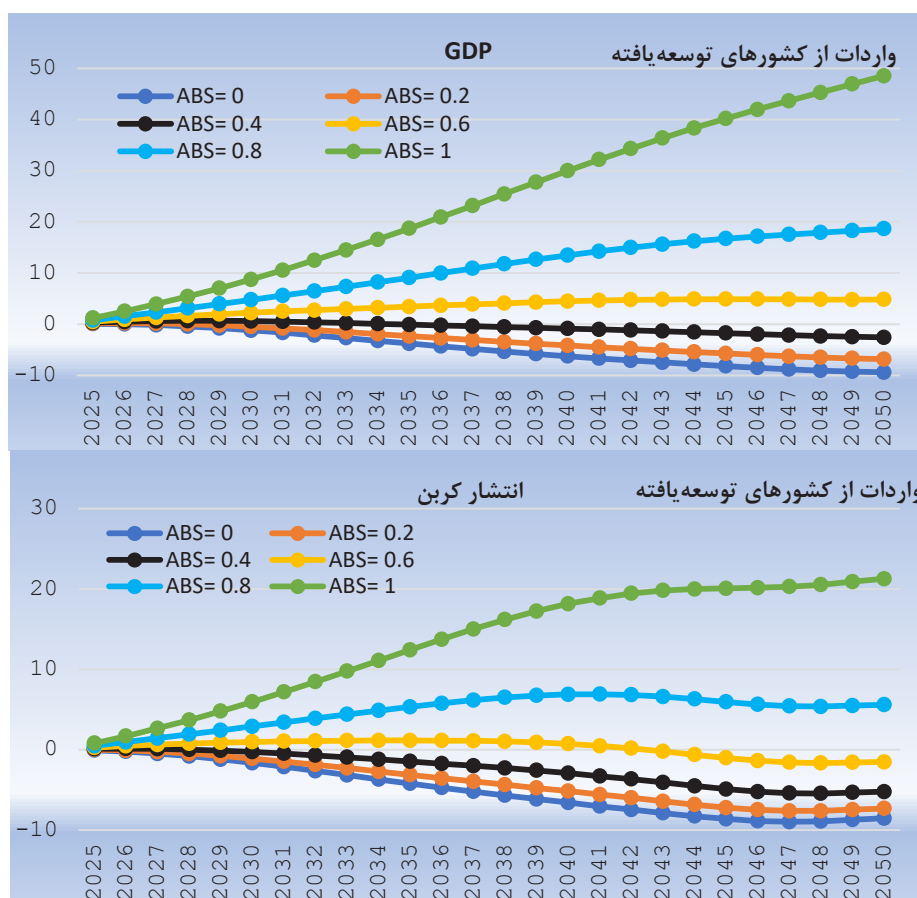


نمودار ۸. اثرات کلان اقتصادی و زیست محیطی ناشی از اجرای سناریوی دوم

(منبع: یافته های پژوهش)

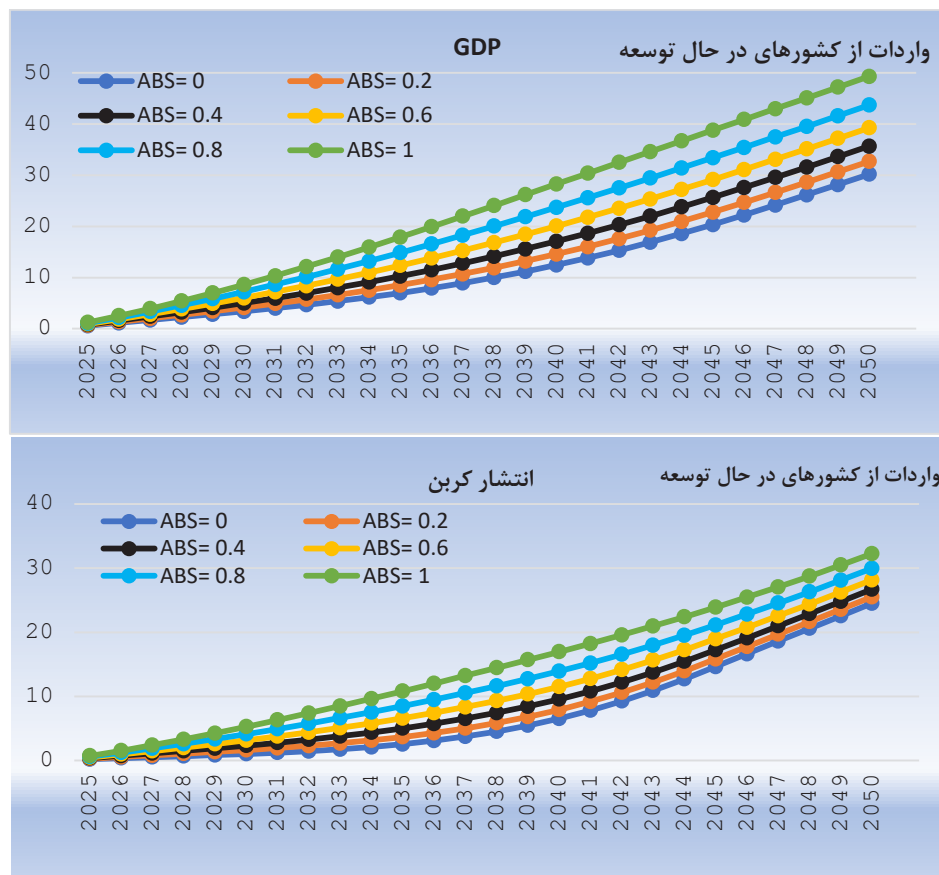
۳-۵. نقش قابلیت جذب

یکی از مؤلفه‌های مهم در توابع سرریز تکنولوژی، قابلیت جذب در کشور مقصد است؛ هرچه قابلیت جذب بیشتر باشد، امکان سرریز تکنولوژی بیشتر می‌شود. در تمام سناریوهای شبیه‌سازی شده، قابلیت جذب به‌عنوان پارامتر لحاظ شده است که مقدار آن به کشور مبدأ و مقصد بستگی دارد. اگر منطقه مبدأ کشورهای توسعه‌یافته باشند، این شاخص $0/3$ و اگر منطقه مبدأ کشور در حال توسعه‌ای مانند ایران باشد، این مقدار برابر با $0/38$ خواهد بود. بنابراین، واردات از کشورهای در حال توسعه منفعت بیشتری برای ایران دارد؛ چون قابلیت جذب کشور ایران، زمانی که واردات از کشورهای در حال توسعه صورت گیرد بالاتر خواهد بود. برای اینکه بتوان نقش قابلیت جذب را با جزئیات بیشتری مشاهده کرد، سناریوهای DVG2 و DVD2 در حالت‌های مختلف قابلیت جذب، شبیه‌سازی شده‌اند. شش حالت برای قابلیت جذب لحاظ شده است که مشتمل بر 0 ، $0/2$ ، $0/4$ ، $0/6$ ، $0/8$ و 1 است. با توجه به نمودار ۹ و ۱۰، هرچه قابلیت جذب در ایران بیشتر باشد GDP و انتشار کربن افزایش پیدا می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش قابلیت جذب، شدت کربن و شدت انرژی در سطح کلان کاهش می‌یابد که نمودار آن‌ها در بخش پیوست ارائه شده است.



نمودار ۹. تغییرات تولید ناخالص داخلی و انتشار کربن به ازای قابلیت جذب مختلف

(منبع: یافته‌های پژوهش)



نمودار ۱۰. تغییرات تولید ناخالص داخلی و انتشار کربن به ازای قابلیت جذب مختلف

(منبع: یافته‌های پژوهش)

با توجه به نمودار ۹ و ۱۰، با افزایش قابلیت جذب، واردات کشور ایران از کشورهای توسعه‌یافته اثرات زیست‌محیطی مطلوب‌تری نسبت به واردات از کشورهای در حال توسعه خواهد داشت، اما در مورد اثرات اقتصادی این اتفاق برعکس است؛ یعنی واردات از کشورهای در حال توسعه اثرات مطلوب‌تری خواهد داشت. به این صورت که اگر فرضاً قابلیت جذب در ایران برابر ۱ باشد، در سال ۲۰۵۰ واردات از کشورهای توسعه‌یافته موجب افزایش انتشار کربن به میزان ۳۲/۲۴ درصد می‌شود، اما واردات از کشورهای در حال توسعه موجب افزایش انتشار کربن به میزان ۴۸/۵۶ درصدی GDP و واردات از کشورهای در حال توسعه موجب افزایش ۴۹/۳۳ درصدی GDP خواهد شد. در مجموع نتایج نشان داده است که هرچه قابلیت جذب بالاتر باشد، توانایی به‌کارگیری تکنولوژی خارجی بیشتر خواهد شد و از این طریق بهره‌وری بنگاه‌ها افزایش خواهد یافت. بهبود بهره‌وری به منزله افزایش عرضه و ارتقای تولید ناخالص داخلی است. افزایش تقاضای انرژی و انتشار کربن یکی از پیامدهای بهبود تولید است. اما از طرف دیگر، چنانچه تکنولوژی وارداتی پاک‌تر باشد، میزان مصرف انرژی و انتشار کربن در هر واحد تولید کاهش خواهد یافت.

۶. نتیجه گیری و پیشنهادها

در این تحقیق، با استفاده از یک مدل تعادل عمومی قابل محاسبه چندمنطقه‌ای، اثر واردات کالاهای ICT بر مجموعه‌ای از متغیرهای کلان و محیط‌زیست بررسی شده است. به این منظور، از نسخه ۱۱ پایگاه داده‌های GTAP استفاده شده و ۱۶۰ منطقه موجود در این پایگاه داده به سه منطقه ایران، کشورهای توسعه‌یافته و کشورهای در حال توسعه تجمیع شده است. با تعریف یک تابع سرریز، نقش واردات و قابلیت جذب در میزان سرریز تکنولوژی خارجی در مدل CGE لحاظ شده است. نتایج نشان می‌دهد که چنانچه اثرات سرریز لحاظ نشود، واردات از کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه اثرات مشابهی بر متغیرهای مورد بررسی می‌گذارد؛ به‌طوری که منجر به افزایش GDP، تقاضای انرژی، انتشار کربن و کاهش سطح قیمت‌ها، شدت انرژی و شدت کربن می‌شود. نتایج نشان داد که اگر واردات ICT همراه با اثرات سرریز بهره‌وری باشد (یا به عبارت دیگر چنانچه واردات ICT منجر به تغییر تکنولوژی بنگاه‌های تولیدی در ایران شود)، اثر آن بر متغیرهای کلان به نوع منطقه مبدأ بستگی خواهد داشت. واردات ICT از منطقه در حال توسعه با لحاظ اثرات سرریز (در مقایسه با واردات بدون سرریز)، کاهش شدت کربن و شدت انرژی را در سطح کلان شدیدتر خواهد کرد و GDP را با نرخ بیشتری افزایش خواهد داد. اگر ICT از کشورهای توسعه‌یافته وارد شود و همراه با اثرات سرریز بهره‌وری باشد، کاهش شدت کربن، شدت انرژی، سطح قیمت‌ها و GDP را دربر خواهد داشت. در مجموع، با سطح فعلی قابلیت جذب، تجارت با کشورهای در حال توسعه به لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی مناسب‌تر است؛ چون اثرات بیشتری روی GDP دارد و در عین حال اثر مطلوب‌تری بر شاخص‌های زیست‌محیطی دارد. چنانچه قابلیت جذب تکنولوژی در ایران تقویت شود، تجارت با کشورهای توسعه‌یافته به لحاظ زیست‌محیطی مناسب‌تر خواهد بود.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، پیشنهاد می‌شود که نخست برای سرعت بخشیدن به رشد فناوری موانع واردات کالاهای ICT به‌خصوص از کشورهای توسعه‌یافته رفع شود. دوم اینکه بهبود و ارتقای شاخص‌های جذب تکنولوژی از قبیل سرمایه‌انسانی، کیفیت نهادها و R&D موجب سرعت بخشیدن به سرریز تکنولوژی می‌شود و از این طریق به تقویت تکنولوژیکی در ایران کمک می‌کند. سوم اینکه اگر هدف سیاست‌گذاران همسو شدن با سیاست‌های جهانی در راستای بهبود شاخص‌های زیست‌محیطی باشد، بهتر است که واردات کالاهای ICT از کشورهای توسعه‌یافته صورت بگیرد.

دو محدودیت مهم در انجام این تحقیق وجود داشت که مربوط به مدل‌سازی و داده‌های به‌کارگرفته‌شده بود. نخست، در شبیه‌سازی‌های این تحقیق اثر واردات ICT بر انتشار کربن مدل‌سازی شده و انتشار سایر گازهای گلخانه‌ای در نظر گرفته نشده است. لذا پیشنهاد می‌شود که اثر واردات بر سایر گازهای گلخانه‌ای مورد ارزیابی قرار گیرد. دوم اینکه داده‌های پیش‌بینی مورد استفاده در سناریوهای پایه از سازمان‌های بین‌المللی مانند بانک جهانی و ILO سایر مطالعات جمع‌آوری شده است. پیشنهاد می‌شود که داده‌های مورد استفاده در سناریوهای پایه با استفاده از روش‌های مدرن مانند هوش مصنوعی پیش‌بینی و در سناریوها به کار گرفته شود.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می کنند که هیچ تضاد منافی در این پژوهش وجود ندارد.

درصد مشارکت نویسندگان

نویسندگان، ضمن رعایت اخلاق نشر، اعلام کنند که با سهم یکسان در این پژوهش مشارکت داشته اند.

سپاس گذاری

در پایان نویسندگان لازم می دانند از سردبیر، هیئت تحریریه و داوران محترم برای ارائه نظرات و پیشنهادهای ارزشمندشان که موجب غنای این مقاله شده است تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

بهشتی، مونا؛ معمارنژاد، عباس؛ ترابی، تقی و حسینی، شمس الدین. (۱۴۰۱). «اثر توسعه مالی و آزادسازی تجارت بر رشد اقتصادی در کشورهای با درآمد متوسط بالا». *پژوهش ها و سیاست های اقتصادی*، ۳۰ (۱۰۲)،

<http://dx.doi.org/10.52547/qjerp.30.102.395>. ۴۳۲-۳۹۵

جهانگرد، اسفندیار؛ محمدی، تیمور؛ قاسمی، عبدالرسول؛ ایرانشاهی، زینب. (۱۴۰۲). «تأثیر ICT بر انتشار گاز دی اکسید کربن: مدل رگرسیون انتقال ملایم تابلویی (PSTR)». *اقتصاد و تجارت نوین*، ۱۸ (۶۱)، ۷۳-۱۰۷.

https://jnet.ihcs.ac.ir/article_9227_en.html

حاجی پور اپورواری، مریم؛ نجاتی، مهدی؛ بهمنی، مجتبی؛ جلالی اسفندآبادی، سید عبدالمجید. (۱۴۰۲). «بررسی اثر واردات کالاهای فناوری اطلاعات و ارتباطات بر تولید انرژی های تجدیدپذیر: مورد ایران». *تحقیقات مدل سازی اقتصادی*، ۱۴ (۵۱)، ۶۸-۱۱۲.

<http://jemr.khu.ac.ir/article-1-2347-fa.html>

رضوانی، محمد؛ پندار، مهدی؛ وفائی، الهام. (۱۴۰۴). «ارزیابی عوامل مؤثر بر انتشار دی اکسید کربن در ایران با تأکید بر عدم قطعیت سیاست اقتصادی». *مدیریت اکوسیستم های طبیعی*، ۳ (۴)، ۱-۱۱.

<https://doi.org/10.22034/emj.2024.714147>

زمانیان، غلامرضا. (۱۳۹۰). *سرریز تکنولوژی از طریق تجارت و سرمایه گذاری مستقیم خارجی بر بهره وری: مورد کشورهای OECD و Non-OECD*، رساله دکتری، دانشکده علوم اداری و اقتصاد دانشگاه اصفهان.

<https://elmnnet.ir/doc/10524775-35277>

سعیدی، بهنام؛ منصف، عبدالعلی؛ نجاتی، مهدی. (۱۴۰۳). «اثرات سرریزهای فناوری حاصل از واردات بر روی متغیرهای اقتصادی و زیست محیطی (کاربرد الگوی تعادل عمومی قابل محاسبه چندمنطقه ای)». *توسعه و سرمایه*، ۱۶ (۹)، ۳۱-۴۹.

<https://doi.org/10.22103/jdc.2023.20660.1325>

فرهنگ، امیرعلی؛ یونسی، علی؛ منصوری، نسرين؛ جلیوند نکاری، علی. (۱۴۰۴). «اثرات باز بودن اقتصاد، نوآوری و فناوری‌های نوین بر محیط‌زیست مطالعه کشورهای درحال توسعه و توسعه یافته». آموزش

محیط‌زیست و توسعه پایدار، ۱۳(۳)، ۱۵۷-۱۷۰. <https://doi.org/10.30473/ee.2024.70297.2705>

کرمی، نسرين؛ جلایی اسفندآبادی، سید عبدالمجید؛ زاینده‌رودی، محسن. (۱۴۰۳). «بررسی تأثیر توسعه اقتصاد دیجیتال کشورهای اوراسیا بر رشد بخش‌های اقتصادی ایران؛ رهیافت پروژه تحلیل تجارت جهانی (GTAP)». پژوهش‌نامه اقتصاد کلان، ۱۹(۴۳)، ۷-۳۳.

<https://doi.org/10.22080/mrl.2024.27051.2073>

منتظری، مهران. (۱۳۹۷). «تأثیر تجارت بین‌الملل و فناوری اطلاعات بر آلودگی محیط‌زیست در کشورهای D8 و G8». پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سمنان.

<https://ganj.irandoc.ac.ir/#/search?keywords=%D8C&basicscope=1>

References

- Aghion, Ph.; Dewatripont, M. & Rey, P. (1997). "Corporate governance, competition policy and industrial policy". *European Economic Review*, 41(3-5), 797-805. [https://doi.org/10.1016/S0014-2921\(97\)00038-X](https://doi.org/10.1016/S0014-2921(97)00038-X)
- Alataş, S. (2021). "The role of information and communication technologies for environmental sustainability: Evidence from a large panel data analysis". *Journal of Environmental Management*, 293, 112889. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112889>.
- Atsu, F.; Adams, S. & Adjei, J. (2021). "ICT, energy consumption, financial development, and environmental degradation in South Africa". *Heliyon*, 7(7): e07328. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07328>.
- Avom, D.; Nkengfack, H.; Fotio, H. K. & Totouom, A. (2020). "ICT and environmental quality in Sub-Saharan Africa: Effects and transmission channels". *Technological Forecasting and Social Change*, 155, 120028. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2020.120028>
- Barro, R. & Lee, J. (1996). "International measures of schooling years and schooling quality". *American Economic Review*, 86, 218-223. <https://www.jstor.org/stable/2118126>
- Beheshti, M.; Memarnejad, A.; Torabi, T. & Hosseini, S. (2022). "The Effect of Financial development and Trade liberalization on Economic growth In Upper Middle Income Countries". *Quarterly journal of economic research and policies*, 30(102), 395-432. [In Persian]. <https://doi.org/10.52547/qjerp.30.102.395>.
- Bernstein, J. I., & Mohnen, P. (1998). "International R&D spillovers between U.S. and Japanese R&D intensive sectors". *Journal of International Economics*, 44(2), 315-338. [https://doi.org/10.1016/S0022-1996\(97\)00026-3](https://doi.org/10.1016/S0022-1996(97)00026-3)

- Burfisher, M. E. (2021). *Introduction to Computable General Equilibrium Models* (3rd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108780063>
- Burniaux, J. M. & Truong, T. (2002). "GTAP-E: An Energy-Environmental Version of the GTAP Model". *GTAP Technical Paper*. <https://doi.org/10.21642/GTAP.TP16>
- Cai, Y.; Newth, D.; Finnigan, J. & Gunasekera, D. (2015). "A hybrid energy-economy model for global integrated assessment of climate change, carbon mitigation and energy transformation". *Applied Energy*, 148, 381–395. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.03.106>
- Chai, L.; Ma, L. & Meng, L. (2024). "Research on the Impact of China's Foreign Trade Technology Spillover on Green Total Factor Productivity of Countries Along the "Belt and Road": Based on the Institutional Quality Threshold Effect". *Proceedings of Business and Economic Studies*, 7(2), Article 2. <https://doi.org/10.26689/pbes.v7i2.6766>
- 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>
- Danish, K. (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>
- 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". *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>
- Doytch, N., & Uctum, M. (2016). "Globalization and the environmental impact of sectoral FDI". *Economic Systems*, 404, 582–594. <https://doi.org/10.1016/j.ecosys.2016.02.005>
- Farhang, A.; Younessi, A.; Mansouri, N. & Jalilvand Nekari, A. (2025). "The effects of economic openness, innovation and new technologies on the environment: A study of developing and developed countries". *Journal of Environmental Education and Sustainable Development*, 13(3), 1–18. [In Persian]. <https://doi.org/10.30473/ee.2024.70297.2705>
- Feder, G. (1983). "On exports and economic growth". *Journal of Development Economics*, 12(1–2), 59–73. [https://doi.org/10.1016/0304-3878\(83\)90031-7](https://doi.org/10.1016/0304-3878(83)90031-7)

- 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>
- Greenaway, D. & Milner, C. (1993). "Trade and Industrial Policy in Developing Countries: A Manual of Policy Analysis". London: Macmillan. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-349-22782-2>
- Grossman, G. & Helpman, E. (1991). *Innovation and growth in the global economy*. Cambridge: MIT Press.
- Grossman, G. & Krueger, A. (1991). "Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement". *National Bureau of Economic Research*. <https://doi.org/10.3386/w3914>.
- Haini, H. (2021). "Examining the impact of ICT, human capital and carbon emissions: Evidence from the ASEAN economies". *International Economics*, 166, 116-125. <https://doi.org/10.1016/j.inteco.2021.03.003>.
- Hajipour Apourvari, M.; Nejati, M.; Bahmani, M. & Jalaei, S. A. (2023). "Investigating the Impacts of ICT Imports on Renewable Energy Production: The case of Iran". *JSE*, 14(51), 68–112. [In Persian] . <http://jemr.khu.ac.ir/article-1-2347-fa.html>
- 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. (1997). *Global trade analysis: modeling and applications*. <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/uploads/resources/download/7685.pdf>
- ILO. (2023). *International Labor Organization, World Employment and Social Outlook: Trends*. <https://www.ilo.org/publications/flagship-reports/world-employment-and-social-outlook-trends-2023>
- Jahangard, E.; Mohammadi, T.; Ghasemi, A. & Iranshahi, Z. (2023). "The impact of ICT on CO₂ emissions: Panel smooth transition regression (PSTR) model". *Journal of New Economy and Trade*, 18(61), 73–107. [In Persian]. https://jnet.ihcs.ac.ir/article_9227_en.html.
- Karami, N.; Jalaei Isfandabadi, S. A. & Zayanderoodi, M. (2024). "Investigating the impact of digital economy development in Eurasian countries on the growth of Iran's economic sectors: Global Trade Analysis Project (GTAP) approach". *Journal of Macroeconomics*, 19(43), 7–33. [In Persian]. <https://doi.org/10.22080/mrl.2024.27051.2073>.
- Keller, W. (2004). "International Technology Diffusion". *Journal of Economic Literature*, 42(3), 752–782. <https://doi.org/10.1257/0022051042177685>

- Kim, D. H.; Suen, Y. B. & Lin, S. C. (2018). "Carbon dioxide emissions and trade: evidence from disaggregate trade data". *Energy Econ.* 78, 13–28. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.08.019>.
- Montazeri, M. (2017). *The impact of international trade and information technology on environmental pollution in D8 and G8 countries*. Master's thesis, Semnan University. [In Persian]. <https://ganj.irandoc.ac.ir/#/search?keywords=%D8C&basicscope=1>
- 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>
- N'dri, L. M., Islam, M., & Kakinaka, M. (2021). "ICT and environmental sustainability: Any differences in developing countries?" *Journal of Cleaner Production*, 297, 126642. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126642>
- 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>
- Rahko, J. & Alola, A. A. (2024). "The effects of climate change technology spillovers on carbon emissions across European countries". *Journal of Environmental Management*, 370, 122972. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122972>
- Redding, S. (1997). "Dynamic Comparative Advantage and the Welfare Effects of Trade". *Nuffield College Economics Discussion Paper*, No. 140. <https://www.princeton.edu/~reddings/pubpapers/DCAOEP1999.pdf>
- Rezvani, M.; Pendar, M. & Vafaei, E. (2025). "Assessing the factors affecting carbon dioxide emissions in Iran with emphasis on economic policy uncertainty". *Journal of Natural Ecosystems Management*, 3(4), 1–11. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/emj.2024.714147>.
- Saba, C. S., Ngpah, N., & Odhiambo, N. M. (2024). "Information and Communication Technology (ICT), Growth and Development in Developing Regions: Evidence from a Comparative Analysis and a New Approach". *Journal of the Knowledge Economy*, 15(3), 14700–14748. <https://doi.org/10.1007/s13132-023-01571-8>
- Saeedi, B.; Monsef, A. & Nejati, M. (2024). "The spillover effects of technology from imports on economic and environmental variables (application of multi-regional computable general equilibrium model)". *Journal of Development and Capital*, 9(1), 31–49. [In Persian]. <https://doi.org/10.22103/jdc.2023.20660.1325>.
- Taylor, M. S. (1994). "Once-off and Continuing Gains from Trade". *The Review of Economic Studies*, 61(3), 589–601. <https://doi.org/10.2307/2297905>

- 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>
- World Bank. (2023). *World Development Report, Migrants, Refugees, and Societies*. <https://www.worldbank.org/en/publication/wdr2023/data>
- Xu, B. (2000). "Multinational enter prices, technology Diffusion, and host country productivity Growth". *Journal of Development Economics*, Vol.37, pp.312-320.
- 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>
- Zamaniyan, Gh. (2019). "Technology spillover through trade and foreign direct investment on productivity: the case of OECD and Non-OECD countries (PHD thesis)". *Faculty of Administrative Sciences and Economics, University of Isfahan*. [In Persian]. <https://elmnet.ir/doc/10524775-35277>
- Zarsky, L. (1999). "Havens, halos and spaghetti: untangling the evidence about foreign direct investment and the environment". *Foreign Direct Investment and the Environment*, 13, 47-74. <https://www.scirp.org/referenceid=3986407>
- Zhou, L.L. & Zhang, L.Y. (2020). "Would trade liberalization improve residents' food consumption structure— based on GTAP model". *J. int. trade*, (5), 28–41. <https://www.worldbank.org/en/publication/wdr2023/data>

پیوست

