



Research Paper

The impact of intra-regional and inter-regional trade of information and communication technology goods on environmental quality

Maryam Hajipour Apourvari ¹ Mehdi Nejati ^{*2} Sayyed Abdolmajid Jalae Esfandabadi ³ Mojtaba Bahmani ²

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.

Keywords

ICT, Inter-Regional Trade, Intra-Regional Trade, Environment, Panel Data.



A B S T R A C T

Recent global environmental challenges have prompted both developed and developing countries to seek strategies for sustaining growth and development while preserving their environment. One effective tool for achieving economic development alongside improvements in environmental quality is international trade. Accordingly, the primary objective of this study is to examine the environmental impacts of bilateral trade in information and communication technology (ICT) goods between developed (North) and developing (South) countries. To this end, a panel model was employed, utilizing pooled data from 2000 to 2023 for 33 developed and 78 developing countries. Additionally, the influence of factors such as energy consumption, foreign direct investment (FDI), gross domestic product (GDP), and population density on environmental quality was investigated. The results indicate that ICT imports from both North and South increase carbon emissions in developed countries, with imports from the North having a stronger effect. Conversely, in developing countries, imports from the North increase CO₂ emissions, while imports from the South improve environmental quality, highlighting the benefits of South-South regional trade in reducing pollution. These findings confirm the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis, exhibiting a U-shaped pattern in developed countries and an inverted U-shaped pattern in developing countries. The Pollution Haven Hypothesis (PHH) is supported in the South but rejected in the North. Furthermore, energy consumption degrades environmental quality in both groups of countries. FDI contributes to environmental improvement in developed countries but leads to environmental degradation in developing countries.

*Corresponding Author.

Email Adresses: mnejati@uk.ac.ir.

Hajipour Apourvari, M., Nejati, M., Jalae Esfandabadi, S. A. and Bahmani, M. (2026). The impact of intra-regional and inter-regional trade of information and communication technology goods on environmental quality. *Human Ecology*, 4(13), 1721-1737.



Doi: <https://doi.org/10.22034/he.2025.553664.1157>



تأثیر تجارت درون منطقه‌ای و برون منطقه‌ای کالاهاى فناوری اطلاعات و ارتباطات بر کیفیت محیط زیست

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

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

^۲ دانشیار، گروه آموزشی علوم اقتصادی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران.

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

واژگان کلیدی

فناوری اطلاعات و ارتباطات،
تجارت بین منطقه‌ای،
تجارت درون منطقه‌ای،
محیط زیست، مدل اثر
ثابت.



چکیده

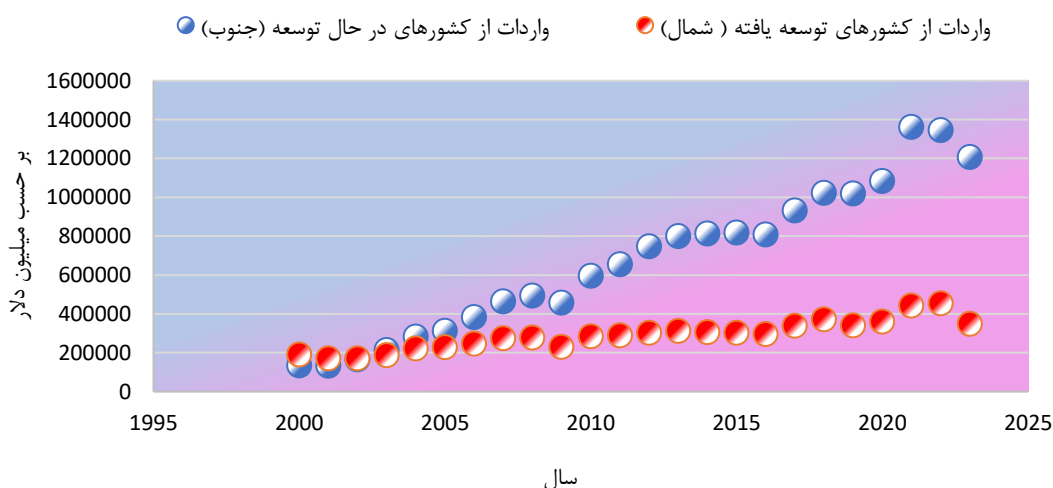
چالش‌های زیست‌محیطی اخیر در دنیا، کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه را بر این داشته که به دنبال راهکاری برای تداوم رشد و توسعه همراه با حفظ محیط زیست‌شان باشند. یکی از ابزارهایی که می‌تواند همراه با دستیابی به توسعه اقتصادی، تغییر کیفیت محیط زیست را به همراه داشته باشد، تجارت بین‌الملل است. از این رو هدف اصلی این تحقیق، بررسی اثرات زیست‌محیطی تجارت دوجانبه کالاهاى فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) بین کشورهای توسعه‌یافته (شمال) و در حال توسعه (جنوب) می‌باشد. بدین منظور با استفاده از یک مدل پانل و با بکارگیری داده‌های ترکیبی طی دوره‌ی زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۳ برای ۳۳ کشور توسعه‌یافته و ۷۸ کشور در حال توسعه به این مهم پرداخته شده است. علاوه بر این، تأثیر عواملی از جمله مصرف انرژی، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، تولید ناخالص داخلی و تراکم جمعیت بر کیفیت محیط زیست، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که واردات ICT از شمال و جنوب، انتشار کربن را در کشورهای توسعه‌یافته افزایش می‌دهد، به طوریکه اثر واردات از شمال قوی‌تر است. در مقابل، برای کشورهای در حال توسعه، واردات از شمال، انتشار CO₂ را افزایش می‌دهد، در حالی که واردات از جنوب، کیفیت محیط زیست را بهبود می‌بخشد که نشان‌دهنده مزایای تجارت منطقه‌ای جنوب-جنوب در کاهش آلودگی است. این نتایج منحنی زیست محیطی (EKC) را در گروه توسعه‌یافته به صورت U شکل و در حال توسعه‌ها به صورت U معکوس تأیید می‌کند. فرضیه پناهگاه آلاینده‌ی (PHH) را در جنوب حمایت و در شمال رد می‌کند. علاوه بر این، مصرف انرژی در هر دو گروه کشورها موجب تخریب محیط زیست می‌شود. سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی در کشورهای توسعه‌یافته بهبود محیط زیست را بدنبال دارد و در کشورهای در حال توسعه موجب تخریب محیط زیست می‌شود.

ارجاع به این مقاله: حاجی پور اپوروارى، مریم، نجاتی، مهدی، جلائی اسفندآبادی، سید عبدالمجید و بهمنی، مجتبی. (۱۴۰۴). تأثیر تجارت درون منطقه‌ای و برون منطقه‌ای کالاهاى فناوری اطلاعات و ارتباطات بر کیفیت محیط زیست. اکولوژی انسانی، ۴(۱۳)، ۱۷۲۱-۱۷۳۷.

۱. مقدمه

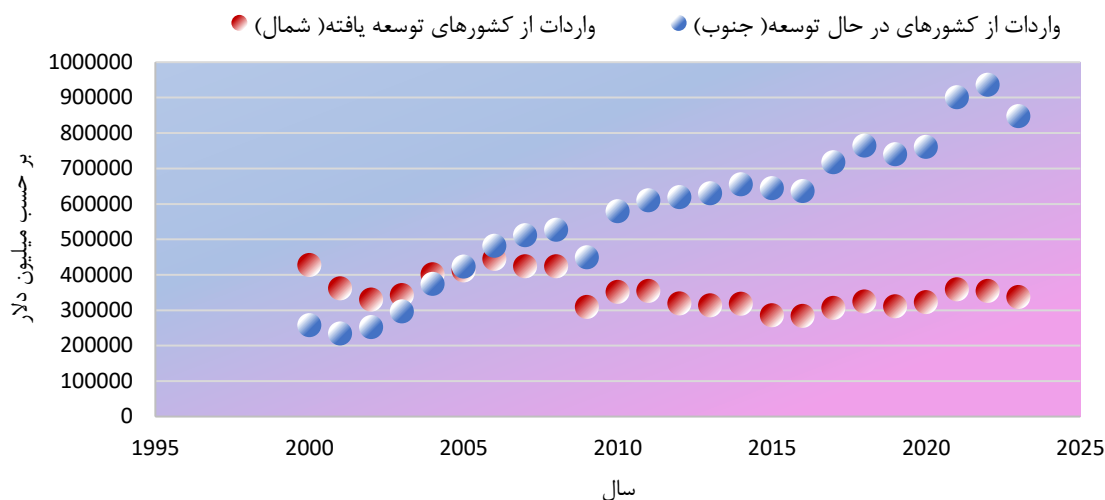
محیط زیست یکی از ارکان‌های اصلی توسعه پایدار به شمار می‌آید به همین دلیل بایستی تحولات توسعه‌ای به گونه‌ای باشد که نظام طبیعت، پویایی تعادلی خود را از دست ندهد. در چند دهه اخیر فعالیت‌های بشر، موجب صدمات جبران ناپذیری بر کره زمین شده است، ایجاد شکاف در لایه اوزن، آلودگی هوای شهرها، گرم شدن زمین، تخریب جنگل‌ها و غیره معضلاتی هستند که امروزه تمامی جوامع را تحت تأثیر قرار داده است (سعدی پور، ۱۳۹۰). با توجه به چالش‌های زیست محیطی اخیر در دنیا، کشورها اعم از توسعه‌یافته و در حال توسعه به دنبال راهکاری برای تداوم رشد و توسعه همراه با حفظ محیط زیست‌شان هستند. یکی از به‌روزترین راهکارها، فناوری اطلاعات و ارتباطات است. مجازی شدن بسیاری از محصولات، دیجیتالی شدن اطلاعات، غیرفیزیکی شدن نقل و انتقالات، کاهش نیاز به فضای گسترده در ادارات و انبارها، کوتاه‌تر شدن زنجیره عرضه، کاهش تمرکز جمعیت، افزایش امکان بازیافت موجب افزایش بهره‌وری، بهبود ارتباطات و تسریع جهانی‌سازی شده است. اما این بحث نیز مطرح است که اگرچه به‌کارگیری فناوری اطلاعات و ارتباطات اثرات مثبتی بر محیط زیست دارد، اما تولید، حمل‌ونقل، مصرف و دفع کالاهای ICT¹ به دلیل استفاده از مواد اولیه کمیاب، مصرف انرژی بالا و تولید زباله‌های الکترونیکی، اثرات منفی بر محیط زیست دارند. (UNCTAD, 2023 ; جعفری پرویزخانلو و همکاران، ۱۳۹۹). با این حال، مزایای فناوری اطلاعات و ارتباطات در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه به طور یکسان درک نمی‌شود. به این صورت که کشورهای توسعه‌یافته به نقطه اشباع فناوری اطلاعات و ارتباطات رسیده‌اند در حالی که ضریب نفوذ هنوز در کشورهای در حال توسعه پایین است. (Nejati & Shah, 2023).

در اواخر دهه ۱۹۷۰ نگرانی‌های زیست‌محیطی، به تجزیه و تحلیل‌های مربوط به حوزه‌ی تجارت نیز وارد شدند. افزایش تجارت به دو صورت بر میزان انتشار آلودگی اثر می‌گذارد: ۱- افزایش انتشار ناشی از حمل و نقل بین‌المللی. ۲- انتقال انتشار از کشور واردکننده به کشور صادرکننده. (Cristea et al., 2013). در نتیجه می‌توان به این نکته پی برد که تجارت علاوه بر اثرگذاری اقتصادی (ارزش افزوده ناشی از صادرات و ارزش افزوده از دست رفته در فرآیند واردات)، دارای اثرگذاری محیط‌زیستی نیز می‌باشد به همین دلیل باید به دو نکته توجه شود: اولاً، ضررهای زیست‌محیطی‌ای که در برابر درآمدهای صادراتی به یک اقتصاد تحمیل می‌شود ثانیاً، ضررهای زیست‌محیطی پرهیز شده ناشی از واردات. واردات ICT از کشورهای مختلف می‌تواند اثرات متفاوتی بر محیط زیست داشته باشد زیرا که سطح فناوری این کالاها در هر کشور متفاوت می‌باشد. به عنوان مثال، به طور متوسط، سطح تکنولوژی کالاها در کشورهای توسعه‌یافته بالاتر از کشورهای در حال توسعه می‌باشد. شکل (۱) نشان‌دهنده‌ی حجم واردات ICT توسط کشورهای در حال توسعه از مناطق شمال و جنوب می‌باشد. شواهد نشان می‌دهد که در دو دهه اخیر، میزان واردات مناطق جنوب از جنوب بیشتر از واردات این مناطق از شمال بوده است. بنابراین انتظار بر این است که کشورهای در حال توسعه نقش مهم‌تری را در تغییر کیفیت محیط زیست در کشورهای جنوب داشته باشند. شکل (۲) نیز واردات کالاهای ICT توسط مناطق شمال را نشان می‌دهد. در این کشورها نیز در دهه‌ی اخیر واردات کالاهای ICT از کشورهای جنوب بیشتر از واردات از کشورهای شمال بوده است. بر اساس گزارش‌های ارائه شده توسط آنکتاد کشورهای در حال توسعه‌ی چین و هند سهم بسیار بالایی از صادرات ICT به سایر کشورها دارند به همین دلیل براساس شکل‌های ۱ و ۲ واردات از کشورهای در حال توسعه نسبت به واردات از کشورهای توسعه‌یافته بیشتر می‌باشد.



شکل ۱. واردات کشورهای در حال توسعه از مناطق شمال و جنوب

¹ information and communication technology



شکل ۱. واردات کشورهای توسعه‌یافته از مناطق شمال و جنوب

منبع: سایت آنکتاد (UNCTAD)

لذا نقش واردات کالاهای ICT می‌تواند به لحاظ اثرگذاری بر محیط زیست و همچنین طراحی سیاست‌های کاهش آلاینده‌ها حیاتی باشد. به همین دلیل تحقیق حاضر به دنبال پاسخگویی به این سؤال است که واردات برون منطقه‌ای (شمال- جنوب، جنوب، جنوب- شمال) و درون منطقه‌ای (شمال- شمال، جنوب- جنوب) کالاهای ICT چه اثری بر انتشار کربن خواهد گذاشت؟ برای این منظور از دوره‌ی زمانی ۲۰۲۳-۲۰۲۰ و مدل داده‌های تابلویی استفاده شده است. با مروری بر مطالعات انجام شده در زمینه تجارت کالاهای ICT و محیط زیست نتیجه می‌گیریم که در هیچ کدام از این مطالعات اثر تجارت کالاهای ICT بر شاخص‌های زیست محیطی ملاحظه نشده است. این مطالعه به طور خاص اثر واردات کالاهای ICT به تفکیک از مناطق شمال و جنوب، بر شاخص‌های زیست محیطی را مورد بررسی قرار می‌دهد. برای این منظور داده‌های مورد نیاز از سایت OECD استخراج شده است و همچنین نرم‌افزار STATA برای تجزیه و تحلیل انتخاب شده است. سازماندهی مقاله به این صورت است که، پس از مقدمه در قسمت دوم مبانی نظری و پیشینه پژوهش، در قسمت سوم مدل و داده‌ها معرفی شده‌اند و در قسمت چهارم به بیان نتایج تجربی و تحلیل یافته‌ها پرداخته شده است. نهایتاً در قسمت آخر نتیجه‌گیری و جمع‌بندی بحث ارائه شده است.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۲.۱. مبانی نظری

۲.۱.۱. رشد اقتصادی و محیط زیست

سایمون کوزنتس^۱ (۱۹۵۵) با مطالعه‌ای تحت عنوان رشد اقتصادی و نابرابری درآمد، برای اولین بار منحنی کوزنتس را مطرح کرد. به عقیده‌ی کوزنتس رابطه‌ی بین درآمد سرانه و نابرابری درآمد در مسیر توسعه، به شکل U معکوس است بدین صورت که در مراحل اولیه توسعه‌ی اقتصادی، همزمان با افزایش درآمد سرانه، نابرابری توزیع درآمد نیز افزایش و بعد از رسیدن به یک سطح معین، نابرابری توزیع درآمد کاهش می‌یابد.

در دهه ۱۹۹۰ منحنی کوزنتس به مطالعات مربوط به محیط زیست وارد شد به این صورت که این منحنی رابطه‌ی بین رشد اقتصادی و شاخص‌های مربوط به کیفیت محیط زیست را به صورت U معکوس نشان می‌داد و به منحنی زیست محیطی کوزنتس^۲ (EKC) معروف شد. در واقع فرضیه زیست محیطی کوزنتس بیان می‌کند که همزمان با رشد اقتصادی در یک کشور آلودگی نیز افزایش می‌یابد اما پس از رسیدن به یک سطح خاص از پیشرفت اقتصادی، آلودگی کاهش می‌یابد. اولین مطالعه تجربی درباره‌ی EKC توسط گروسمن و کروگر^۳ در سال ۱۹۹۱ در قالب گزارش مطالعاتی تحت عنوان اثرات زیست محیطی موافقتنامه‌ی تجارت آزاد آمریکای شمالی انجام گرفت. در ادبیات نظری و تجربی نوع دیگری از رابطه بین کیفیت محیط زیست و رشد اقتصادی مطرح می‌شود که N شکل می‌باشد. این نوع رابطه در مطالعاتی از جمله شفیق^۴ (۱۹۹۴) و گروسمن و کروگر (۱۹۹۵) ارائه شده است. به این صورت که در ابتدا آلودگی همراه با افزایش

^۱ Kuznets

^۲ Environmental Kuznets Curve

^۳ Grossman and Krueger

^۴ Shafik

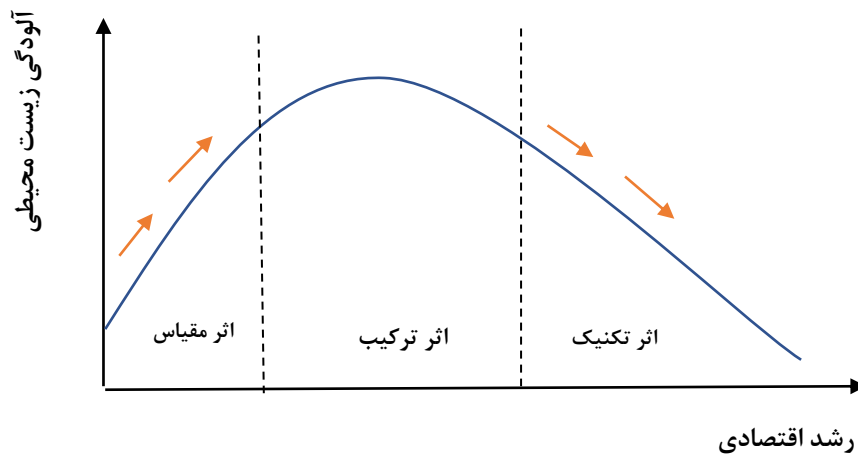
درآمد افزایش، سپس کاهش و سرانجام دوباره افزایش می‌یابد. توجیه رابطه N شکل این گونه بیان می‌شود که در سطوح بالای تولید، مقیاس فعالیت‌های اقتصادی آنقدر بزرگ است که تأثیر منفی آن بر محیط زیست، با تأثیر مثبت تکنولوژی پاک و فعالیت‌های اقتصادی سبز همچون خدمات خنثی نمی‌شود. (نجاتی و همکاران، ۱۳۹۶)

۲.۱.۲. تجارت و انتشار کربن

تجارت دارای اثرگذاری‌های اقتصادی (ارزش افزوده ناشی از صادرات و ارزش افزوده ازدست رفته در فرآیند واردات) و همچنین اثرگذاری‌های زیست‌محیطی می‌باشد. به همین دلیل باید در فرآیند تجارت به دو نکته توجه شود: اولاً، ضررهای زیست‌محیطی‌ای که در برابر درآمدهای صادراتی به یک اقتصاد تحمیل می‌شود دوماً، ضررهای زیست‌محیطی پرهیزشده ناشی از واردات. همین موضوع باعث شده است که اقتصاددانان به واردکردن ملاحظات زیست‌محیطی در حساب‌های اقتصادی و تجاری ترغیب شوند. به طور کلی در رابطه با چگونگی تأثیر تجارت بر محیط زیست دو دیدگاه مطرح شده است.

الف) تجارت و منحنی زیست‌محیطی کوزنتس

ارتباط بین دو متغیر تجارت و محیط زیست، با توجه به کار گروسمن و کروگر (۱۹۹۱) آغاز گردید. آن‌ها با استفاده از منحنی زیست‌محیطی کوزنتس اثرات آزادسازی تجارت بر محیط‌زیست را به سه اثر **مقیاس، ترکیب و تکنولوژی** (فناوری) تفکیک کردند. **اثر مقیاس**، بیانگر تغییر در اندازه فعالیت‌های 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 می‌شود و اگر تکنولوژی تولید به سمت نهاده‌های پاک سوق داده شود اثر تکنولوژی موجب کاهش تخریب زیست‌محیطی می‌شود. تأثیر مثبت یا منفی **اثر ترکیب** بستگی به نوع مزیت نسبی‌ای دارد که در یک کشور وجود دارد. بدین 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 می‌گذارد و بالعکس (گروسمن و کروگر، ۱۹۹۱). اما همه این کانال‌ها دارای پیچیدگی‌هایی هستند که ممکن است از منطقه‌ای به منطقه دیگر و در مطالعات مختلف متفاوت باشد. با این حال، اگر فعالیت اقتصادی بیشتر که ممکن است منجر به رشد بالاتری شود، بتواند استانداردهای زیست‌محیطی بالاتری را برای اقتصاد اعمال کند، در این صورت، تأثیر زیست‌محیطی تجارت ممکن است مثبت باشد. به این ترتیب، ارتباط بین محیط‌زیست و تجارت نیاز به بررسی بیشتر دارد (Nejati & Shah, 2023).



شکل ۳. اثر تجارت و رشد اقتصادی بر محیط زیست در قالب منحنی زیست‌محیطی کوزنتس
منبع: جعفری پرویزخانلو (۱۳۹۹)

ب) تجارت و فرضیه پناهگاه آلاینده‌ی (PHH)

یک انتقاد مهم بر منحنی زیست محیطی کوزنتس وجود دارد و آن هم عدم توجه به الگوی تجاری است. در حالی که یکی از دلایل اصلی کاهش آلودگی در کشورهایی با سطح درآمد بالا و افزایش آلودگی در کشورهایی با سطح درآمد پایین الگوی تجاری منتج از فرضیه‌ی PHH می‌باشد. این فرضیه توسط باگواتی^۲ (۱۹۹۳) و گالاگر^۳ (۲۰۰۴) مطرح شده است به این صورت که براساس این فرضیه تفاوت در شدت و اعمال سیاست‌های زیست محیطی بین کشورهای مختلف باعث ایجاد مزیت نسبی در تولید کالاهایی با شدت آلودگی بیشتر در کشورهایی خواهد شد که سیاست‌های زیست محیطی ضعیف‌تری دارند. کشورهایی که دارای سیاست‌های زیست محیطی قوی‌تری هستند در تولید کالاهای پاک تخصص پیدا می‌کنند. ضعف قوانین زیست محیطی راه را برای ورود برخی از صنایع آلاینده که تمرکزشان بر مصرف بالای سوخت‌های فسیلی است، از طریق تجارت از کشورهای توسعه یافته به کشورهای در حال توسعه را باز می‌کند. به این ترتیب کشورهای در حال توسعه به پناهگاهی برای جذب صنایع آلوده‌کننده تبدیل می‌شوند.

۳.۱.۲. ICT

تجارت کالاهای ICT به‌عنوان بخشی از تجارت بین‌الملل، اثرات زیست‌محیطی را از طریق زنجیره تأمین جهانی منتقل می‌کند. نظریه پناهگاه آلودگی بیان می‌کند که کشورهای توسعه‌یافته ممکن است با انتقال تولید کالاهای آلاینده به کشورهای در حال توسعه، اثرات زیست‌محیطی خود را کاهش دهند (Taylor & Copeland, 2004). با این حال، کشورهای در حال توسعه که این کالاها را وارد می‌کنند، ممکن است با چالش‌هایی مانند افزایش زباله‌های الکترونیکی و مصرف بیشتر انرژی مواجه شوند. داده‌های OECD نشان می‌دهد که کشورهای در حال توسعه در آسیا و آفریقا ۴۵ درصد از زباله‌های الکترونیکی وارداتی را دریافت می‌کنند که بخش عمده آن از کشورهای توسعه‌یافته تأمین می‌شود (OECD, 2024). ICT می‌تواند هم اثر منفی و هم اثر مثبت بر محیط زیست بگذارد. به این صورت که می‌تواند از طریق راه‌های مختلفی اعم از تولید انرژی‌های تجدیدپذیر، استفاده‌ی بهتر از این انرژی‌ها و همچنین افزایش بهره‌وری انرژی، به بهبود کیفیت محیط زیست کمک کند. علاوه بر این، ICT می‌تواند ناوبری، نرم‌افزار مدیریت ترافیک و همچنین سیستم اطلاعات حمل و نقل را تسهیل کند و مصرف انرژی و انتشار را کاهش دهد. با این حال، باید به این نکته نیز توجه کرد که نفوذ فناوری اطلاعات و ارتباطات با کاهش قیمت خدمات و محصولات مختلف ارتباط زیادی دارد که به نوبه خود صنعتی‌سازی و سایر فعالیت‌های اقتصادی را بهبود می‌بخشد. بهبود فعالیت‌های اقتصادی، یعنی تولید بیشتر و تولید بیشتر به معنی مصرف انرژی بیشتر و در نتیجه انتشار بیشتر است. در تولید و بهره‌برداری تجهیزات ICT ممکن است مقدار زیادی انرژی مصرف شود و ضایعات سمی تولید شود (Ahmed et al, 2022; Ulucak et al, 2020) در واقع فناوری اطلاعات و ارتباطات می‌تواند از طریق سه کانال بر محیط زیست اثر بگذارد. اولین کانال که به **اثر مصرف** معروف است حاکی از آن است که تولید و توزیع تجهیزات فناوری اطلاعات و ارتباطات، و همچنین ضایعات ناشی از آن، انتشار دی‌اکسیدکربن را افزایش می‌دهد. در واقع اثر مصرف، مصرف انرژی و انتشار CO₂ را تحت تأثیر قرار می‌دهد. دومین کانال که به **اثر جانشینی** معروف است، به اصلاح فرایند تولید اشاره دارد و شامل کاهش مصرف مواد و منابع فیزیکی، فرایند تولید کربن‌زدایی شده است یعنی روش‌های با مصرف انرژی بالا با روش‌های با مصرف انرژی پایین و با بهره‌وری بالا جایگزین می‌شوند جایگزین کردن کالاهای فیزیکی با کتاب‌های الکترونیکی، سیستم‌های الکترونیکی، جلسه‌های مجازی، سیستم‌های حمل و نقل هوشمند، سیستم‌های تعیین موقعیت جغرافیایی (GPS)، سیستم‌های هوشمند کنترل ترافیک، که به طور کلی منجر به افزایش کارایی مصرف انرژی و کاهش انتشار CO₂ می‌شود. سومین کانال که معروف به **کانال هزینه** است، به این صورت که فناوری اطلاعات و ارتباطات موجب افزایش تقاضا برای بعضی از کالاها و خدماتی می‌شود که قیمت آن‌ها کاهش پیدا کرده است، که این موضوع به طور مستقیم بر انتشار دی‌اکسیدکربن اثر می‌گذارد (جعفری پرویزخانلو و همکاران، ۱۳۹۹).

از طرف دیگر مطالعات تجربی نشان داده‌اند که تأثیر ICT بر محیط زیست به سطح توسعه‌یافتگی کشورها نیز بستگی دارد. در کشورهای توسعه‌یافته، زیرساخت‌های پیشرفته و سیاست‌های بازیافت مؤثر می‌توانند اثرات منفی زیست‌محیطی را کاهش دهند، در حالی که در کشورهای در حال توسعه، کمبود زیرساخت‌های بازیافت و وابستگی به فناوری‌های وارداتی می‌تواند این اثرات را تشدید کند (Asongu et al, 2018). برای مثال، مطالعه‌ای در امارات متحده عربی نشان داد که ICT تأثیر مثبتی بر انتشار CO₂ دارد، اما در سطوح بالای توسعه، این تأثیر به دلیل بهبود زیرساخت‌ها کاهش می‌یابد و رابطه‌ای به شکل U وارون را نشان می‌دهد (Sbia et al, 2014).

¹ Pollution Haven Hypothesis

² Bhagwati

³ Gallagher

از آنجاییکه هدف اصلی تحقیق بررسی اثر واردات کالاهای ICT بر انتشار CO₂ است به همین دلیل در اینجا فقط به مطالعاتی اشاره شده که اثرات زیست محیطی تجارت از جمله تجارت ICT را مورد بررسی قرار داده‌اند.

۲.۲. پیشینه پژوهش

۲.۲.۱. پیشینه پژوهش خارجی

Copeland and Taylor (2013) مدلی را برای تجارت شمال-جنوب طراحی کرده‌اند که نشان‌دهنده ارتباط بین تجارت، آلودگی و درآمد است. در این مقاله تأثیر تجارت بر آلودگی را از طریق اثر تکنیک، اثر ترکیب و همچنین اثر مقیاس اندازه‌گیری شده است. نتایج نشان می‌دهد که نرخ بالاتر فعالیت اقتصادی لزوماً باعث تخریب محیط‌زیست نمی‌شود زیرا فناوری پاک‌تر را می‌توان از طریق اثر درآمد به دست آورد. اما این نتیجه زمانی که اقتصاد باز در نظر گرفته می‌شود شکسته می‌شود زیرا بازار بین‌المللی تأثیر درآمد بر آلودگی را تغییر می‌دهد. علاوه بر این به دلیل تجارت، آلودگی جهانی افزایش می‌یابد. نتایج آن‌ها همچنین نشان می‌دهد در حالی که رشد کشورهای در حال توسعه برای کیفیت محیطی خوب است، رشد کشورهای توسعه یافته تأثیر مشابهی ندارد. تجارت آزاد منجر به تغییر سطح و همچنین بروز آلودگی در سراسر کشورها می‌شود.

(Añón Higón et al (2017) با استفاده از روش حداقل مربعات ادغام شده معمولی، به این نتایج دست یافته‌اند که در دوره‌ی زمانی ۱۹۹۵-۲۰۱۰ رابطه بین ICT و انتشار CO₂ به صورت U وارونه است و فناوری اطلاعات و ارتباطات می‌تواند به کاهش انتشار CO₂ کمک کند. در مورد فرضیه منحنی زیست محیطی کوزنتس، شواهدی فقط برای کشورهای در حال توسعه دیده شده است. نتایج برای کشورهای توسعه یافته نشان می‌دهد که رابطه بین درآمد و آلودگی یک رابطه مثبت و خطی است.

(Meng et al (2018) به بررسی تأثیرات تجارت جنوب-جنوب بر انتشار دی‌اکسیدکربن در بخش‌ها و همچنین مناطق برای دوره‌ی زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۱ پرداختند. آن‌ها نشان دادند که تجارت جنوب-جنوب در این دوره بیش از دو برابر شده است. در نتیجه، اکنون تولید از هند و چین به کشورهای در حال توسعه منتقل می‌شود. همچنین نشان داده شده است که این جابجایی در تولید مواد اولیه و کالاهای واسطه‌ای در صنایعی که انرژی‌بر هستند، رخ داده است. به همین دلیل، افزایش انتشارات در مناطق کمتر توسعه یافته که در صادرات نهفته است، افزایش یافته و رشد دی‌اکسیدکربن نهفته در صادرات چین کاهش یافته است.

(Kim et al (2019) با استفاده از روش پانل IV برای پرهیز از موضوع درون‌زایی، به بررسی ارتباط تجارت و محیط زیست در زمینه تجارت جنوب-شمال، شمال-شمال، جنوب-جنوب و شمال-جنوب پرداخته‌اند. نتایج تجربی نشان می‌دهند که تجارت کشورهای پیشرفته با شمال یا جنوب، همراه با کاهش انتشار CO₂ است. در مورد اقتصادهای در حال توسعه، نتایج نشان می‌دهد که تجارت با جنوب انتشار CO₂ را کاهش می‌دهد در حالی که تجارت با شمال آن را بدتر می‌کند.

(Murshed et al (2020) به بررسی تأثیرات ترویج تجارت ICT، از طریق آزادسازی موانع تجاری مرتبط بر چشم‌انداز انتقال انرژی‌های تجدیدپذیر و محدود کردن تخریب محیط زیست از طریق محدود کردن انتشار CO₂ در شش کشور بنگلادش، هند، پاکستان، سریلانکا، نپال و مالدیو پرداخته‌اند. نتایج کلی حاصل از تحلیل‌های اقتصادسنجی، نشان می‌دهد که درجات باز بودن بیشتر برای تجارت ICT، منجر به مصرف بیشتر انرژی‌های تجدیدپذیر، بهبود سطوح بهره‌وری مصرف انرژی و افزایش دسترسی به سوخت‌های آسبزی تمیزتر می‌شود. با این حال، تجارت ICT نمی‌تواند سهم انرژی‌های تجدیدپذیر را در مجموع ارقام مصرف نهایی انرژی در جنوب آسیا افزایش دهد. علاوه بر این، تجارت ICT باعث افزایش انتشار CO₂ در سراسر این منطقه می‌شود. اگر چه به نظر می‌رسد که اثرات با افزایش سطح مصرف انرژی تجدیدپذیر همراه با آزادسازی موانع تجاری ICT معکوس شود.

(Azam et al (2021)، به تجزیه و تحلیل تجربی اثرات غیرخطی گاز طبیعی، انرژی هسته‌ای، انرژی تجدیدپذیر و تجارت فناوری اطلاعات و ارتباطات در کشورهای پیشرو در انتشار CO₂، سیاست کاهش CO₂ و پایداری اقتصادی پرداخته‌اند. در این مقاله از مدل‌های رگرسیون پانل شامل حداقل مربعات معمولی، اثرات ثابت و اثرات تصادفی، همچنین از آزمون هاسمن، برای انتخاب بهترین مدل برای ساختار داده، و همچنین دوره‌ی زمانی ۲۰۰۶-۲۰۰۰ استفاده شده است. نتایج تجزیه و تحلیل رگرسیون اشاره می‌کند که انرژی هسته‌ای، انرژی تجدیدپذیر و فناوری اطلاعات و ارتباطات (تجارت ICT) رشد اقتصادی را تحریک می‌کند، در حالی که نتایج محیط زیستی نشان می‌دهد که انرژی تجدیدپذیر و تجارت ICT به حذف انتشار CO₂ کمک می‌کند. یافته‌های علیت نشان می‌دهد که مصرف انرژی تجدیدپذیر و تجارت ICT باعث رشد اقتصادی و همچنین کاهش انتشار CO₂ می‌شود.

(Nejati & Shah (2023) به بررسی این موضوع پرداخته‌اند که، تجارت ICT چگونه تأثیرات زیست محیطی را در سراسر مناطق شمال-جنوب شکل می‌دهد؟ در این پژوهش از یک مدل تعادل عمومی قابل محاسبه پویا در قالب تجارت جنوب-جنوب، شمال-شمال و جنوب-شمال استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش واردات ICT، انتشار کربن و شدت کربن افزایش می‌یابد. در صورتی

که جریان ICT از جنوب به جنوب و از جنوب به شمال باشد، شدت شاخص‌های مذکور بیشتر از شمال به مناطق دیگر خواهد بود. افزایش واردات بین منطقه‌ای (شمال-جنوب) منجر به کاهش تولید ICT و تولید ناخالص داخلی در منطقه واردکننده فناوری اطلاعات و ارتباطات می‌شود.

Shahzad & Miao (2025) به بررسی تأثیر تجارت، جغرافیا و دیجیتالی شدن چین و شرق آسیا بر انتشار CO₂، از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۱، پرداخته‌اند. در این تحقیق از آزمون‌های علیت حداقل مربعات تعمیم‌یافته امکان‌پذیر (FGLS) و آزمون‌های علیت دومینوسکو و هورلین (DH) برای ارائه بینش‌های جامع استفاده شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که تجارت چین و شرق آسیا با ترویج ادغام اقتصادی و شیوه‌های فناوری پاک‌تر، به طور مثبت به توسعه پایدار زیست‌محیطی در شرق آسیا کمک می‌کند. با این حال، تأثیر مستقیم عوامل جغرافیایی، احتمالاً به دلیل چالش‌های مربوط به فاصله، زمین و توزیع منابع طبیعی، توسعه پایدار زیست‌محیطی را بدتر می‌کند. علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهد که دیجیتالی شدن به طور قابل توجهی انتشار CO₂ را کاهش می‌دهد و توسعه پایدار زیست‌محیطی را تقویت می‌کند. علاوه بر این، اثر آستانه‌ای نشان می‌دهد که دیجیتالی شدن با افزایش کارایی فناوری و تسهیل تبادل اطلاعات، نقش مهمی در تقویت یا کاهش تأثیر تجارت و جغرافیا ایفا می‌کند و در نهایت به توسعه پایدار زیست‌محیطی کمک می‌کند. نتایج آزمون علیت DH تأیید می‌کند که تجارت، جغرافیا و دیجیتالی شدن چین و شرق آسیا قدرت پیش‌بینی‌کنندگی برای توسعه پایدار زیست‌محیطی دارند و نقش‌های به‌هم‌پیوسته آن‌ها را در شکل‌دهی پیامدهای زیست‌محیطی برجسته می‌کنند.

Xuan (2025) با استفاده از یک مدل خودتوضیح با وقفه‌های گسترده برای کشور استرالیا طی دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳، اثر بازبودن تجاری و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی را بر انتشار کربن مورد ارزیابی قرار داده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که بازبودن تجاری و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی در بلندمدت اثر مثبت روی انتشار دی‌اکسیدکربن دارد.

۲.۲.۲. پیشینه پژوهش داخلی

مزینی و جعفری خواه (۱۳۹۹)، به ارزیابی اثر گسترش ICT بر شدت مصرف انرژی در ایران پرداخته‌اند. در این مقاله از روش گشتاورهای تعمیم یافته داده‌های تابلویی و دوره‌ی زمانی ۱۳۹۵-۱۳۸۶ استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهند که ارزیابی اثر گسترش ICT بر شدت مصرف انرژی، در استان‌های غیر برخوردار مشاهده نمی‌شود که این می‌تواند به دلیل ضریب نفوذ پایین‌تر فناوری اطلاعات و ارتباطات در این استان‌ها داشته باشد. همچنین در استان‌های کشور متغیرهایی چون قیمت نسبی انرژی و درآمد سرانه‌ی حقیقی اثر منفی و معنادار و تعداد وسیله نقلیه، نرخ اشتغال و دمای هوا اثر مثبت و معنی‌داری بر شدت مصرف انرژی دارد.

جعفری پرویز خانلو و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی تأثیر ICT و رشد اقتصادی بر انتشار CO₂ در کشورهای حوزه‌ی خلیج فارس طی دوره‌ی ۲۰۱۵-۲۰۰۰ با استفاده از روش پنل دیتا پرداخته‌اند. در این مطالعه فرضیه کوزنتس تأیید می‌شود زیرا رشد اقتصادی تأثیر مستقیم و توان دوم آن تأثیر منفی بر انتشار CO₂ دارد. نتایج حاکی از تأثیر مستقیم ICT و تأثیر منفی و معنی دار مجذور آن، همچنین تأثیر مثبت تجارت و مصرف سرانه انرژی بر انتشار CO₂ می‌باشد. در نتیجه کشورهای حوزه‌ی خلیج فارس با گسترش ICT می‌توانند به کاهش آلودگی خود کمک کنند.

جهانگرد و همکاران (۱۴۰۲) از مدل رگرسیون انتقال ملایم تابلویی و همچنین داده‌های ۱۰۸ کشور جهان در دوره‌ی زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۳ برای بررسی اثر ICT بر انتشار CO₂ می‌پردازند. نتایج حاکی از آن است که استفاده‌ی بیشتر از ICT کارایی کربن را بهبود می‌بخشد و تغییرات آب و هوایی را کاهش می‌دهد. همچنین میلا علمی و دیگران (۱۴۰۲) به بررسی تأثیر ICT و FDI بر انتشار CO₂ در کشورهای عضو اوپک طی دوره‌ی ۲۰۱۹-۲۰۰۸ با روش گشتاورهای تعمیم یافته پرداخته‌اند. نتایج بیانگر وجود رابطه U بین ICT و انتشار CO₂ است.

حاجی‌پور اپوروار و همکاران (۱۴۰۲) با استفاده از یک مدل تعادل عمومی قابل محاسبه 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 پیدا می‌کند. با کاهش تعرفه بر واردات کالاهای ICT میزان انتشار CO₂ کاهش می‌یابد و افزایش بهره‌وری عوامل تولید، کاهش انتشار کربن را تشدید می‌نماید.

صادقی و رشید عج عج (۱۴۰۳) با استفاده از یک مدل خودرگرسیون با وقفه‌های توزیع‌شده غیرخطی (NARDL) طی دوره ۱۳۶۸ تا ۱۴۰۲ به بررسی تأثیرات نامتقارن درآمد سرانه، قیمت نفت، ارزش افزوده بخش صنعت و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی بر انتشار CO₂ در ایران پرداخته‌اند. نتایج حاکی از ارتباط خطی متغیر درآمد سرانه با انتشار CO₂ است؛ درحالی که سایر متغیرها دارای ارتباط غیرخطی هستند. نتایج مدل نشان می‌دهد که قیمت نفت اوپک تنها در شوک‌های مثبت با انتشار آلودگی رابطه عکس دارد. برای متغیر سرمایه‌گذاری

خارجی تنها شوک منفی دارای اثری مثبت بر انتشار آلودگی است که این نشان‌دهنده این است که ایران پناهگاه آلودگی سایر کشورها نمی‌باشد. همچنین ارزش افزوده بخش صنعت هم تنها در شوک‌های مثبت اثر مثبت دارد. از طرفی درآمد سرانه دارای اثری منفی بر انتشار آلودگی است. در نهایت یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که منحنی U شکل کوزنتس برای ایران صادق نمی‌باشد.

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 برداری با وقفه توضیحی (ARDL) طی دوره زمانی ۲۰۲۰-۱۹۹۷ پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که مصرف انرژی تجدیدپذیر اثر منفی و معنی‌داری بر انتشار CO₂ داشته و به بهبود کیفیت محیط زیست 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 محیط زیست با استفاده از مدل خود توضیحی با وقفه‌های گسترده پنل برای ۳۲ کشور توسعه یافته و در حال توسعه طی سال‌های ۲۰۲۲-۱۹۹۷ 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 زیست محیطی کوزنتس برای کشورهای مذکور رد می‌شود درحالی‌که برای کشورهای توسعه یافته مجذور رشد تولید ناخالص داخلی تأثیر منفی و معناداری بر انتشار CO₂ دارد و تأییدکننده فرضیه زیست محیطی کوزنتس برای این کشورها است. 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. معرفی مدل و داده‌ها

دوره زمانی مورد استفاده در این تحقیق از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ است و اطلاعات مربوط به متغیرها برای دو گروه از کشورها جمع‌آوری شده است. گروه اول، کشورهای توسعه یافته (شمال) و گروه دوم، کشورهای در حال توسعه (جنوب) می‌باشند. به عبارت دیگر، تابع رگرسیون انتشار کربن برای کشورهای شمال و جنوب برآورد شده است. مشاهدات و داده‌های مورد استفاده از پایگاه داده‌های بانک جهانی (WB) و آنکتاد (UNCTAD) و OWD¹ اخذ گردیده است. تعداد کشورهای توسعه یافته ۳۳ و کشورهای در حال توسعه ۷۸ عدد می‌باشد. لازم به ذکر است که تعداد کشورها در هر گروه براساس موجود بودن داده‌ها انتخاب شده است. کشورهایی که مشاهدات آن‌ها موجود نبوده است از نمونه حذف شده‌اند.

براساس مطالعه‌ی Xuan (2025) مدل ارائه شده در این تحقیق ترکیبی از دو مدل زیست‌محیطی کوزنتس و مدل تصادفی STIRPAT می‌باشد. علاوه بر این واردات را به عنوان شاخصی از تجارت در نظر گرفتیم که براساس مطالعه‌ی Kim et al (2019) و واردات ICT به تفکیک، از دو گروه کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به مطالب عنوان شده در بخش مبانی نظری و مطالعات تجربی انجام شده، به منظور برآورد میزان انتشار CO₂ ناشی از تجارت کالاهای مصرفی، سرمایه‌ای و واسطه‌ای ICT رابطه‌ی زیر را در نظر می‌گیریم.

$$LCO2_{it} = \alpha_1 + \alpha_2 LENG_{it} + \alpha_3 LGDP_{it} + \alpha_4 LGDP_{it}^2 + \alpha_5 LFDI_{it} + \alpha_6 LIMDVD_{it} + \alpha_7 LIMDVG_{it} + \alpha_8 LPOPD_{it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$LCO2_{it}$ = لگاریتم انتشار دی اکسید کربن، $LGDP_{it}$ = لگاریتم تولید ناخالص داخلی، $LGDP_{it}^2$ = لگاریتم مجذور تولید ناخالص داخلی، $LFDI_{it}$ = لگاریتم سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، $LENG_{it}$ = لگاریتم مصرف سرانه انرژی، $LIMDVD_{it}$ = لگاریتم واردات کالاهای ICT از کشورهای توسعه یافته (شمال)، $LIMDVG_{it}$ = لگاریتم واردات کالاهای ICT از کشورهای در حال توسعه (جنوب)، $LPOPD_{it}$ = تراکم جمعیت، μ_i = اثرات فردی، γ_t = اثرات زمانی، ε_{it} = باقی مانده مدل. اندیس‌های i و t به ترتیب کشورها و سال‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد.

آماره‌های توصیفی متغیرهای بکار رفته در تابع رگرسیون در جدول ۱ به تفکیک کشورهای شمال و جنوب گزارش شده است. به عنوان مثال، میانگین انتشار کربن در منطقه شمال برابر با ۳۲۹ میلیون تن و در منطقه جنوب، ۲۳۱ میلیون تن می‌باشد. درحالی‌که حداکثر انتشار در شمال، ۶۱۳ میلیون تن و در جنوب، ۱۱۹۰۰ میلیون تن است. چین به عنوان یک کشور در حال توسعه بیشترین میزان انتشار کربن را دارد. علاوه بر این، میانگین واردات کالاهای ICT در منطقه شمال، از منطقه جنوب برابر با ۱۵۲۲۹ میلیون دلار و از منطقه شمال، ۹۲۶۹ میلیون دلار است و میانگین واردات ICT در منطقه جنوب، از شمال برابر با ۳۷۵۱ میلیون دلار و از جنوب معادل ۸۶۴۵ میلیون دلار است. بنابراین، در مجموع واردات از جنوب، در هر دو منطقه سهم بالاتری نسبت به واردات از شمال دارد. تقریباً در تمام متغیرها میزان انحراف معیار بالا می‌باشد که به دلیل ناهمگنی کشورها در هر گروه است. به عنوان مثال در منطقه جنوب، چین و توگو در یک گروه و در منطقه شمال، ایالات متحده آمریکا و رومانی در یک گروه قرار دارند.

¹ . Our World in Data

جدول ۱. آماره‌های توصیفی متغیرها

متغیرها	منبع	واحد	میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	تعداد مشاهدات
کشورهای توسعه یافته (شمال)							
انتشار کربن	OWD	میلیون تن	۳۲۹	۶۱۳	۱/۳۷	۹۱۳	۸۸۸
مصرف انرژی سرانه	OWD	کیلو وات ساعت	۵۱۶۴۲	۱۸۸۳۶۴	۱۶۰۶۹	۲۹۰۵۱	۸۸۸
سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی	UNCTAD	میلیون دلار	۴۳۹۶۳۸	۱۲۸۹۱۷۲۱	۴۹۷	۱۰۸۶۰۸۴	۸۸۸
تولید ناخالص داخلی	UNCTAD	دلار	۱۱۶۷۱۳۴	۲۲۰۶۲۵۸۲	۶۶۵۰	۲۹۰۵۷۱۹	۸۸۸
واردات ICT از شمال	UNCTAD	میلیون دلار	۹۲۶۹	۹۰۶۷۲	۸۶	۱۱۹۲۰	۸۸۸
واردات ICT از جنوب	UNCTAD	میلیون دلار	۱۵۲۲۹	۳۸۶۰۵۱	۷	۴۱۸۲۰	۸۸۸
تراکم جمعیت	WB	نفر /کیلومتر مربع	۱۷۳/۷	۱۷۰/۱/۲	۲/۴۸	۳۴۱	۸۸۸
کشورهای درحال توسعه (جنوب)							
انتشار کربن	OWD	میلیون تن	۲۳۱	۱۱۹۰۰	۰/۲۷	۱۰۲۰	۱۸۷۲
مصرف انرژی	OWD	کیلو وات ساعت	۲۲۲۴۷	۲۷۰۹۹۴	۲۳۸	۳۷۲۹۲	۱۸۷۲
سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی	UNCTAD	میلیون دلار	۸۹۹۰۵	۳۶۵۹۶۳۳	۱۶	۲۷۸۹۵۶	۱۸۷۲
تولید ناخالص داخلی	UNCTAD	دلار	۲۹۵۱۶۲	۱۷۱۷۵۶۷۳	۷۷۹	۱۱۷۸۸۸۳	۱۸۷۲
واردات ICT از شمال	UNCTAD	میلیون دلار	۳۷۵۱	۱۸۶۵۶۶	۱	۱۴۱۸۸	۱۸۷۲
واردات ICT از جنوب	UNCTAD	میلیون دلار	۸۶۴۵	۴۳۸۳۴۰	۱	۱۴۱۸۷	۱۸۷۲
تراکم جمعیت	WB	نفر /کیلومتر مربع	۸۰۹/۶	۲۱۵۳۰	۲/۲۱	۳۱۸۱/۷	۱۸۷۲

منبع: محاسبات تحقیق

۴. نتایج تجربی

۴.۱. آزمون‌های آماری

برای برآورد تابع رگرسیون در هر دو گروه شمال و جنوب، ابتدا باید آزمون‌های مربوط به هر کدام از جمله، وابستگی مقطعی، مانایی و شکست ساختار برای هر کدام از متغیرها انجام شود. نتایج آزمون وابستگی مقطعی در جدول ۲ گزارش شده است. وابستگی مقطعی یکی از مسائل مهم در داده‌های ترکیبی است که نشان‌دهنده اثرگذاری و اثرپذیری متغیرهای اقتصادی از یکدیگر در کشورهای مختلف می‌شود. غالباً بدلیل جهانی شدن اقتصادها، جریان‌های مالی و تجاری دوجانبه و وابستگی اقتصادی و مالی بین کشورها می‌باشد (Latif et al, 2018). براساس مطالعه انجام شده توسط Pesaran (2007) چنانچه وابستگی مقطعی در متغیرها وجود داشته باشد و نادیده گرفته شود، منجر به ناسازگاری و تورش در نتایج خواهد شد. فرضیه صفر در این آزمون، عدم وابستگی مقطعی و فرضیه جایگزین، وابستگی مقطعی می‌باشد. رد فرضیه صفر به منزله وجود وابستگی مقطعی خواهد بود. نتایج نشان می‌دهد که در تمام متغیرها و برای هر دو گروه شمال و جنوب، وابستگی مقطعی وجود دارد و در هر سه سطح معنی‌داری ۱، ۵ و ۱۰ درصد، فرضیه صفر رد شده است. لازم به ذکر است که از آزمون وابستگی مقطعی پسران (۲۰۰۴) استفاده شده است.

جدول ۲. آزمون وابستگی مقطعی متغیرها

متغیرها	کشورهای توسعه یافته (شمال)		کشورهای درحال توسعه (جنوب)	
	آماره‌ی -CD	سطح معنی‌داری	آماره‌ی -CD	سطح معنی‌داری
Lco2	۶۶/۹	***./...	۱۴۸/۶	***./...
Leng	۴۶/۹	***./...	۸۹/۲	***./...
Lfdi	۱۱/۸۷	***./...	۲۴۲/۷	***./...
Lgdper	۹۹/۰۴	***./...	۱۶۸/۵	***./...
Lgdper2	۹۹/۰۸	***./...	۱۶۸/۰۹	***./...
Limdvd	۲۶/۰۷	***./...	۴۷/۳	***./...
Limdvg	۷۶/۴۴	***./...	۲۱۷/۷	***./...
Lpopd	۲۶/۰۵	***./...	۱۷۸/۸	***./...

منبع: یافته‌های تحقیق

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد، * معنی‌داری در سطح ۵ درصد، * معنی‌داری در سطح ۱۰ درصد

انتخاب نوع آزمون‌های ریشه واحد بستگی به نتیجه آزمون وابستگی مقطعی در متغیرها دارد. چنانچه در متغیرها، وابستگی مقطعی رد شود، از آزمون‌های ریشه واحد نسل اول استفاده می‌شود و اگر وابستگی مقطعی رد نشود، از آزمون‌های ریشه واحد نسل دوم استفاده می‌شود که سازگار با وابستگی مقطعی هستند. در اینجا از دو آزمون XTCIPS، پسران (۲۰۰۷) و CADF، پسران (۲۰۰۳) استفاده شده است که از

آزمون‌های نسل دوم ریشه واحد هستند. با مقایسه قدرمطلق آماره و مقادیر بحرانی در آزمون‌های مذکور می‌توان در مورد مانایی متغیرها اظهار نظر نمود. چنانچه قدرمطلق آماره بیشتر از قدرمطلق مقادیر بحرانی باشد، فرضیه صفر مبنی بر ریشه واحد، رد می‌شود و متغیر موردنظر مانا خواهد بود. نتیجه آزمون‌ها اولاً با عرض مبدأ و همچنین با عرض از مبدأ و روند و ثانیاً بدون تفاضل (در سطح) و با تفاضل مرتبه اول ارائه شده است. برای کشورهای توسعه یافته، نتایج نشان می‌دهد که براساس آزمون CADF، لگاریتم واردات ICT از جنوب (Limdvg) بدون روند در سطح معنی‌داری ۱ درصد مانا است و متغیر لگاریتم سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی (Lfdi) نیز در سطح ۵ درصد مانا است. اما با تفاضل گیری، تمام متغیرها به جز لگاریتم تولید ناخالص داخلی (Lgdp) و مجذور آن (Lgdp2)، مانا خواهند شد. لگاریتم تولید ناخالص داخلی و مجذور آن و همچنین لگاریتم تراکم جمعیت (Lpopd) براساس آزمون CIPS در سطح نامانا هستند اما با یک تفاضل تمام متغیرها مانا هستند (جدول ۳). در مجموع، سه متغیر Lgdp، Lgdp2 و Lpopd نامانا (I(1)) می‌باشند.

جدول ۳. نتایج آزمون‌های ریشه واحد برای کشورهای توسعه یافته

متغیرها	کشورهای توسعه یافته (شمال)							
	بدون تفاضل				تفاضل مرتبه اول			
	با عرض از مبدأ		با عرض از مبدأ و روند		با عرض از مبدأ		با عرض از مبدأ و روند	
	CADF	CIPS	CADF	CIPS	CADF	CIPS	CADF	CIPS
Lco2	-۱/۲۳	-۱/۷۸	-۱/۷۳	-۲/۵	***-۲/۳	***-۴/۵	***-۲/۴۴	***-۴/۵
Leng	-۱/۰۵	*-۲/۰۴	-۱/۳	*-۲/۵۸	***-۲/۳۴	***-۴/۶	** -۲/۶۳	***-۴/۸
Lfdi	-۱/۶۴	*-۲/۰۴	** -۲/۶۷	***-۳/۱۴	***-۳/۴۲	***-۴/۵	***-۳/۶۲	***-۴/۴۵
Lgdp	-۱/۴	-۱/۵۵	-۱/۴	-۱/۸۷	-۱/۹۹	***-۳/۲۶	-۲/۳۸	***-۳/۵۴
Lgdp2	-۱/۴	-۱/۵۷	-۱/۴	-۱/۶۲	-۱/۹۸	***-۳/۲۵	-۲/۳۶	***-۳/۵۱
Limdvd	-۱/۶۸	** -۲/۱۹	-۲/۱۹	*-۲/۵۳	***-۲/۶۳	***-۴/۱۶	***-۲/۹۴	***-۴/۳۱
Limdvg	***-۲/۳۹	***-۲/۴۴	-۲/۴	-۲/۴۵	***-۲/۶۹	***-۴/۴۷	***-۳/۱۱	***-۴/۶۷
Lpopd	-۱/۱۷	-۱/۲	-۰/۸۳	-۰/۹۹	-۱/۹۹	***-۲/۴۶	***-۲/۷۳	***-۲/۹۶
	مقادیر بحرانی CADF				مقادیر بحرانی CIPS			
	۱ درصد		۵ درصد		۱۰ درصد		۱۰ درصد	
با عرض از مبدأ	-۲/۲۳	-۲/۱۱	-۲/۰۴	-۲/۰۴	-۲/۲۳	-۲/۱۱	-۲/۰۴	-۲/۰۴
با عرض از مبدأ و روند	-۲/۷۳	-۲/۶۱	-۲/۵۴	-۲/۷۳	-۲/۶۱	-۲/۶۱	-۲/۵۴	-۲/۵۴

منبع: یافته‌های تحقیق

***معنی‌داری در سطح ۱ درصد، **معنی‌داری در سطح ۵ درصد، *معنی‌داری در سطح ۱۰ درصد

برای کشورهای در حال توسعه، نتایج بیان می‌کند که براساس آزمون CADF، لگاریتم انتشار کربن (Lco2)، در سطح و بدون روند در سطح ۵ درصد مانا و لگاریتم واردات ICT از جنوب (Limdvg) در سطح و با روند در سطح ۵ درصد مانا است. با تفاضل گیری، تمام متغیرها مانا خواهند شد. لگاریتم تولید ناخالص داخلی و مجذور آن، لگاریتم مصرف انرژی (Leng) و همچنین لگاریتم تراکم جمعیت (Lpopd) براساس آزمون CIPS در سطح نامانا هستند اما با یک تفاضل تمام متغیرها مانا هستند (جدول ۴).

جدول ۴. نتایج آزمون‌های ریشه واحد برای کشورهای در حال توسعه

متغیرها	کشورهای در حال توسعه (جنوب)							
	بدون تفاضل				تفاضل مرتبه اول			
	با عرض از مبدأ		با عرض از مبدأ و روند		با عرض از مبدأ		با عرض از مبدأ و روند	
	CADF	CIPS	CADF	CIPS	CADF	CIPS	CADF	CIPS
Lco2	** -۲/۱۲	***-۲/۳۳	-۲/۱۱	-۲/۴۹	***-۲/۶	***-۴/۵	***-۲/۸۲	***-۴/۶
Leng	-۱/۷۶	-۲/۰۳	-۲/۱۲	-۲/۵	***-۲/۳۴	***-۴/۴۵	-۲/۵۱	***-۴/۶۴
Lfdi	-۱/۹۴	***-۲/۶۶	-۲/۲۹	***-۳/۱۳	***-۲/۴۵	***-۴/۲۹	** -۲/۶۷	***-۴/۵۵
Lgdp	-۱/۶۷	-۱/۸۵	-۲/۱	-۲/۱۸	*-۲/۱	***-۳/۳۵	-۲/۱۱	***-۳/۵۷
Lgdp2	-۱/۶۵	-۱/۸	-۲/۰۱	-۲/۱۲	*-۲/۰۶	***-۳/۳	-۲/۱۶	***-۳/۵۱
Limdvd	-۱/۷۶	***-۲/۶	-۲/۳۳	***-۳/۳	***-۳/۰۱	***-۵/۱۸	***-۳/۰۹	***-۵/۲۲
Limdvg	-۲	***-۲/۷	** -۲/۶۸	***-۳/۲	***-۲/۸۷	***-۴/۸۲	***-۲/۷۷	***-۴/۷۴
Lpopd	-۱/۶	-۱/۸۳	-۱/۴۴	-۱/۹۶	***-۲/۲۲	*-۲/۰۶	***-۲/۷۴	***-۲/۸۳
	مقادیر بحرانی CADF				مقادیر بحرانی CIPS			
	۱ درصد		۵ درصد		۱۰ درصد		۱۰ درصد	

با عرض از مبدا	-۲/۲۳	-۲/۱۱	-۲/۰۴	-۲/۲۳	-۲/۱۱	-۲/۰۴
با عرض از مبدا و روند	-۲/۷۳	-۲/۶۱	-۲/۵۴	-۲/۷۳	-۲/۶۱	-۲/۵۴

منبع: یافته‌های تحقیق

*** معنی‌داری در سطح ۱ درصد، ** معنی‌داری در سطح ۵ درصد، * معنی‌داری در سطح ۱۰ درصد

چنانچه متغیرهای موجود در رگرسیون ایستا نباشند، نگرانی در مورد وجود رگرسیون کاذب وجود خواهد داشت. براساس نتایج بدست آمده از آزمون‌های ریشه واحد در جداول ۳ و ۴، بعضی از متغیرها در سطح (بدون تفاضل) مانا نیستند یا به عبارت دیگر، نامانا یا $I(1)$ هستند. یکی از دلایل نامانایی متغیرها می‌تواند شکست ساختاری باشد. بخصوص برای کشورهایی که با انواع تغییرات مهم سیاسی، اقتصادی و یا اجتماعی مواجه باشند. علاوه براین، انواع شوک‌های اقتصادی ایجاد شده در کشورهای مختلف می‌تواند ساختار روابط بین متغیرها و همچنین رفتار متغیرهای مختلف را در طول زمان دچار تغییر نماید. به لحاظ آماری، ممکن است که عرض از مبدا و یا شیب متغیر در طول زمان دچار تحولات اساسی شود. بنابراین، نیاز به آزمون‌هایی می‌باشد که بتوان با بکارگیری آن‌ها از وجود یا عدم تغییرات ساختاری مطلع شد. آزمون Karavias and Tzavalis (2014) یکی از آزمون‌های ریشه واحد با در نظر گرفتن شکست ساختار می‌باشد. فرضیه صفر در این آزمون، وجود ریشه واحد و فرضیه مقابل به منزله مانایی بعضی و یا تمام سری‌های زمانی در متغیر مورد نظر است. به عبارت دیگر، رد فرضیه صفر در این آزمون نشان می‌دهد که دلیل نامانایی متغیرها، شکست ساختار می‌باشد. با این وجود، متغیر مانا می‌باشد. نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که در تمام سطوح معنی‌داری، فرضیه صفر رد شده است. بنابراین، تمام متغیرها مانا هستند. لازم به ذکر است که وابستگی مقطعی در این آزمون لحاظ شده است.

جدول ۵. نتایج آزمون شکست ساختار متغیرها

متغیرها	کشورهای توسعه یافته (شمال)		کشورهای در حال توسعه (جنوب)	
	آماره KZ	سطح معنی‌داری	آماره KZ	سطح معنی‌داری
Lco2	-۰/۰۹۹	۰/۰۰۰	-۰/۳۰۶	۰/۰۰۰
Leng	-۰/۰۵۴	۰/۰۰۰	-۰/۱۵	۰/۰۰۰
Lfdi	-۲/۱۵	۰/۰۰۰	-۰/۹۶	۰/۰۰۰
Lgdper	-۰/۰۳۵۳	۰/۰۰۰	-۰/۰۷	۰/۰۰۰
Lgdper2	-۱۸/۶۷	۰/۰۰۰	-۱۳/۸۵	۰/۰۰۰
Limdvd	-۰/۴۷	۰/۰۰۰	-۳/۱۴	۰/۰۰۰
Limdvg	-۲/۰۷	۰/۰۰۰	-۷/۸۸	۰/۰۰۰
Lpopd	-۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰	-۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰

*** معنی‌داری در سطح ۱ درصد، ** معنی‌داری در سطح ۵ درصد، * معنی‌داری در سطح ۱۰ درصد

با توجه به اینکه تمام متغیرها مانا هستند، بدون نگرانی از وجود رگرسیون کاذب، می‌توان از روش اثر ثابت و یا اثر تصادفی، رگرسیون‌ها را برآورد نمود. برای انتخاب بین مدل اثر ثابت و اثر تصادفی نیاز به انجام سه آزمون چاو^۱، براش-پیگن^۲ و هاسمن^۳ می‌باشد. فرضیه صفر در آزمون چاو، صفر بودن اثرات فردی و زمانی است که رد آن به معنی مدل اثر ثابت می‌باشد. در آزمون براش-پیگن، فرضیه صفر دال بر صفر بودن واریانس اثرات است و رد این فرضیه به این معنی است که مدل اثر تصادفی است. در آزمون هاسمن، به ترتیب فرضیه صفر، مدل اثر تصادفی و فرضیه جایگزین، نشان‌دهنده اثر ثابت است. چنانچه از یک‌طرف براساس آزمون چاو، مدل اثر ثابت و از طرف دیگر براساس آزمون براش-پیگن، اثر تصادفی نتیجه شود، باید آزمون هاسمن انجام شود که بین اثر ثابت و تصادفی انتخاب شود (Baltagi, 2005). نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد که برای هر دو گروه کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، مدل مناسب برای برآورد رگرسیون، مدل اثر ثابت خواهد بود.

جدول ۶. نتایج آزمون‌های تصریح مدل

کشورهای توسعه یافته (شمال)			
نتیجه	احتمال (prob)	آماره آزمون	آزمون
اثر ثابت	***۰/۰۰۰	۶۰۸/۱۱	آزمون چاو
اثر تصادفی	***۰/۰۰۰	۷۱۴۴/۳	آزمون براش پیگن
اثر ثابت	***۰/۰۰۰	۵۳۱/۵	هاسمن
کشورهای در حال توسعه (جنوب)			
اثر ثابت	***۰/۰۰۰	۷۱۴/۶	آزمون چاو

۱. Chow test

۲. Breusch-Pagan test

۳. Hausman test

آزمون برآش پیگن	۱۷۴۱۲	***./۰۰۰	اثر تصادفی
هاسمن	۷۹۵/۳	***./۰۰۰	اثر ثابت

***معنی داری در سطح ۱ درصد، **معنی داری در سطح ۵ درصد، *معنی داری در سطح ۱۰ درصد

جدول ۷. نتایج برآورد توابع رگرسیون برای دو گروه کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته

متغیر وابسته = لگاریتم انتشار CO2	کشورهای توسعه یافته (شمال)	کشورهای در حال توسعه (جنوب)	
		ضرایب	سطح معنی داری
متغیرها	علامت اختصاری	ضرایب	سطح معنی داری
عرض از مبدا	C	۱۵/۹۲	۰/۰۰۰***
لگاریتم مصرف انرژی	Leng	۱/۱۱	۰/۰۰۰***
لگاریتم سرمایه گذاری مستقیم خارجی	Lfdi	-۰/۰۱۴	۰/۰۵۸*
لگاریتم تولید ناخالص داخلی	Lgdp	-۲/۰۷	۰/۰۰۰***
مجذور لگاریتم تولید ناخالص داخلی	Lgdp2	۰/۰۶	۰/۰۰۰***
لگاریتم واردات کالاهای ICT از شمال	Limdvd	۰/۰۹	۰/۰۰۰***
لگاریتم واردات کالاهای ICT از جنوب	Limdvg	۰/۰۲	۰/۰۰۳***
لگاریتم تراکم جمعیت	Lpopd	۱/۱۳	۰/۰۰۰***

***معنی داری در سطح ۱ درصد، **معنی داری در سطح ۵ درصد، *معنی داری در سطح ۱۰ درصد

۴.۲. یافته‌ها و بحث

تمامی ضرایب در سطح ۵ درصد معنادار هستند به غیر از Lfdi که در سطح ۱۰ درصد معنی دار است. علامت منفی ضریب Lgdp (-۲/۰۷) و علامت مثبت ضریب Lgdp2 (۰/۰۶) نشان دهنده‌ی یک منحنی U شکل هستند بدین معنی که در سطوح پایین تر درآمدی، رشد اقتصادی با کاهش آلودگی همراه است، اما پس از یک نقطه معین (نقطه چرخش^۱) با افزایش gdp آلودگی نیز افزایش می‌یابد در نتیجه فرضیه زیست محیطی کوزنتس برای این کشورها تأیید نمی‌شود. این موضوع می‌تواند به معنای آن باشد که در مراحل اولیه توسعه، رشد اقتصادی از طریق کارایی انرژی یا انتقال فناوری آلودگی را کاهش می‌دهد اما در سطوح بالاتر درآمد، فشارهای مصرفی و صنعتی سازی مجدد (یا دیجیتال سازی انرژی بر)، آلودگی را افزایش می‌دهد. هر یک درصد افزایش FDI موجب کاهش ۰/۰۱۴ درصدی انتشار CO2 می‌شود که می‌تواند حاکی از این باشد که FDI در این کشورها به سمت صنایع پاک یا فناوری‌های کارآمد هدایت شده است. هر یک درصد افزایش در واردات این کشورها از کشورهای شمال (Limdvd) موجب افزایش ۰/۰۹ درصدی انتشار CO2 می‌شود. این نتیجه را می‌توان به دو صورت توجیه کرد: اولاً اگر این واردات بخشی از انتقال صنایع آلاینده (مانند تولید سخت افزار ICT که انرژی بر است) باشد در این حالت موجب افزایش انتشار می‌شود. ثانیاً واردات از کشورهای شمال معمولاً شامل فناوری‌های پیشرفته تر مانند سرورهای ابری، چیپ‌های نسل جدید از تایوان و کره می‌شود که مصرف انرژی بالاتری دارند این موضوع نشان دهنده‌ی افزایش مصرف انرژی بعد از فناوری جدید است که به اثر بازگشتی^۲ معروف است. افزایش یک درصدی واردات کالاهای ICT از کشورهای جنوب ۰/۰۲ درصد انتشار CO2 را افزایش می‌دهد اما به نسبت کمتری از واردات از کشورهای شمال. این نتیجه می‌تواند ناشی از دو اتفاق باشد. اولاً واردات از کشورهای جنوب غالباً شامل کالاهای ICT پایه یا مونتاژ شده محلی هستند مانند گوشی‌های ارزان قیمت و غیره که این محصولات مصرف انرژی کمتری در مرحله استفاده دارند. همچنین تحقیقات بانک جهانی (World Bank, 2021) نشان می‌دهد که ICT وارداتی از کشورهای جنوب ۲۵-۱۵ درصد کارآمدتر در مصرف برق هستند زیرا برای بازارهای نوظهور بهینه سازی شده‌اند و کمتر به زیرساخت پرمصرف (مانند دیتاسترهای ابری) وابسته‌اند. ثانیاً ممکن است کشورهای صادرکننده جنوبی استانداردهای تولید کم کربن تری برای بازارهای منطقه‌ای اتخاذ کنند (مانند گواهی‌های سبز در چین برای صادرات به آفریقا). این موضوع می‌تواند نشان دهنده‌ی این باشد که واردات کالاهای ICT از این کشورها که ممکن است استانداردهای پایین تری داشته باشند، آلودگی را از طریق زنجیره‌های تأمین کثیف افزایش دهد. به طور کلی ضرایب Limdvd و Limdvg نشان می‌دهند که واردات کالاهای ICT موجب مصرف بیشتر انرژی در کشورهای شمال شده مانند استفاده بیشتر از دستگاه‌های ICT که مصرف می‌کنند بدون اینکه لزوماً فناوری‌های سبز را به همراه داشته باشد. ضریب مثبت و بزرگ Leng (۱/۱۱) نشان دهنده‌ی این است که عامل اصلی افزایش انتشار CO2، افزایش مصرف انرژی است که این موضوع نیز با اصول پایه‌ای اقتصاد سازگار است زیرا انرژی منبع مستقیم آلودگی است.

^۱ . نقطه‌ی چرخش (turning point) جایی است که رابطه بین انتشار CO2 و GDP از کاهش به افزایش تغییر می‌کند. یعنی مشتق مرتبه اول تابع نسبت به LGDP صفر می‌شود. که در این تحقیق نقطه چرخش در رابطه با کشورهای شمال برابر است با $LGDP = 15/76$ یا در واقع GDP معادل ۷/۳ میلیون دلار خواهد شد که بسیار بالاتر از سطوح فعلی اکثر کشورهای است و ممکن است نشان دهنده‌ی عدم دستیابی به نقطه چرخش در نمونه داده‌ها باشد و یا اینکه عواملی مانند وابستگی به سوخت فسیلی این الگو را تغییر داده است.

^۲ . Rebound effect

ضریب مثبت Lpopd نشان‌دهنده‌ی افزایش آلودگی با تراکم بیشتر جمعیت است زیرا جمعیت متراکم‌تر مصرف انرژی، حمل و نقل و تولید زباله را افزایش می‌دهد.

تمامی متغیرها در سطح ۵ درصد مانا هستند. ضریب مثبت Lgdp (۰/۴۲) نشان‌دهنده‌ی افزایش انتشار CO2 با رشد GDP است که با مرحله صعود EKC سازگار است زیرا که رشد صنعتی موجب افزایش آلودگی می‌شود. اما ضریب منفی مجذور Lgdp نشان‌دهنده‌ی کاهش CO2 پس از نقطه چرخش است. ضریب مثبت Lfdi (۰/۱۱) نشان می‌دهد که افزایش FDI موجب افزایش CO2 می‌شود و این در واقع تأییدکننده‌ی فرضیه‌ی پناهگاه آلودگی است. هر یک درصد افزایش در واردات کالاهای ICT از کشورهای شمال موجب افزایش ۰/۰۲ درصدی انتشار CO2 می‌شود که این نیز به دلیل سیاست‌های ضعیف زیست محیطی کشورهای جنوب است که باعث شده به پناهگاه آلودگی کشورهای توسعه یافته تبدیل شوند. اما واردات کالاهای ICT موجب کاهش انتشار CO2 می‌شود که قابل توجه است زیرا واردات از کشورهای جنوب ممکن است شامل فناوری پاک‌تر و ساده‌تری شود. اثر مصرف انرژی و تراکم جمعیت بر انتشار CO2 نیز مثبت است این دو متغیر در کشورهای شمال تأثیر بیشتری بر انتشار CO2 خواهند داشت.

نتایج نشان‌دهنده تفاوت‌های ساختاری بین دو گروه کشورهاست: کشورهای شمال با استانداردهای محیطی سخت‌تر و فناوری پیشرفته‌تر، اغلب به مرحله پس از نقطه‌ی چرخش EKC رسیده‌اند، در حالی که کشورهای در حال توسعه در مرحله افزایش آلودگی قرار دارند. کشورهای شمال به مرحله کاهش پایدار رسیده‌اند، اما ممکن است با چالش‌های جدید (مانند دیجیتال‌سازی انرژی‌بر) مواجه باشند. FDI در کشورهای شمال با مقررات قوی، هاله پاک ایجاد می‌کند، اما در کشورهای جنوب به عنوان پناهگاه آلودگی عمل می‌کند، که نشان‌دهنده نیاز به سیاست‌های جذب FDI سبز در جنوب است. این تفاوت به ظرفیت جذب بالای فناوری در کشورهای شمال و ظرفیت جذب پایین فناوری در کشورهای جنوب نسبت داده می‌شود. مصرف انرژی و همچنین تراکم جمعیت در هر دو گروه کشورها موجب افزایش آلودگی می‌شود اما در کشورهای شمال به دلیل شهرنشینی پیشرفته (حمل و نقل و مصرف شهری) این اثر قوی‌تر است. واردات ICT توسط کشورهای شمال (از هر دو گروه کشورها) آلودگی بیشتری ایجاد می‌کند احتمالاً به دلیل زیرساخت‌های پیشرفته که مصرف انرژی را تشدید می‌کند، در حالی که در کشورهای جنوب واردات از جنوب (LIMDVG) پاک‌تر است. این تفاوت می‌تواند سیاست‌هایی مانند تشویق واردات محلی در جنوب و فناوری سبز در شمال را پیشنهاد دهد.

۵. نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

گرمایش زمین پدیده‌ای است که اثرات مخربی بر محیط زیست دارد و هر ساله موجب تحمیل هزینه‌های زیادی بر زندگی بشر شده است. انتشار گازهای گلخانه‌ای و بخصوص دی‌اکسید کربن از مهمترین عوامل گرمایش زمین هستند. مطالعات متعددی در زمینه عوامل اثرگذار بر انتشار گازهای گلخانه‌ای صورت گرفته است که نشان‌دهنده اهمیت این موضوع در بین دانشمندان و سیاست‌گذاران است. عوامل متعددی توسط دانشمندان مطرح شده است که نقش هر کدام در مطالعات مختلف، به عنوان عوامل اثرگذار بر محیط زیست مشخص گردیده است. یکی از عوامل مهم، تجارت بین‌الملل است که می‌تواند در تخریب و یا بهبود محیط زیست اثرگذار باشد. علاوه بر این، نوع کشورهای صادرکننده و یا واردکننده کالاها به لحاظ سطح توسعه یافتگی می‌تواند در میزان اثرگذاری بر محیط زیست مهم باشد. از این‌رو، در این تحقیق به بررسی تأثیر واردات کالاهای فناوری اطلاعات و ارتباطات از کشورهای توسعه‌یافته (شمال) و در حال توسعه (جنوب) بر کیفیت محیط زیست در هر دو گروه از کشورها پرداخته شده است. بدین منظور با بکارگیری داده‌های دوره‌ی زمانی ۲۰۲۳-۲۰۰۰ برای ۳۳ کشور توسعه یافته و ۷۸ کشور در حال توسعه، اثر تجارت کالاهای ICT بر انتشار کربن مورد بررسی قرار گرفت. استنتاج این مطالعه که بر پایه مدل‌های رگرسیون اثر ثابت استوار است، نشان می‌دهد که واردات کالاهای ICT تأثیر متفاوتی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشورهای شمال و جنوب دارد. در کشورهای شمال، واردات ICT از شمال (تجارت شمال-شمال) با ضریب کشتی ۰/۰۹۷ بیشترین افزایش در انتشار CO2 را ایجاد می‌کند، در حالی که واردات از جنوب (تجارت شمال-جنوب) با ضریب ۰/۰۲۱ آلودگی را افزایش می‌دهد. به لحاظ نوع اثرگذاری، نتایج حاصل شده با مطالعه Nejadi & Ibrahim Shah (2023) مطابقت دارد. در مقابل، در کشورهای جنوب، واردات از شمال (تجارت جنوب-شمال) با ضریب ۰/۰۲۰ درصد CO2 را افزایش می‌دهد (احتمالاً به دلیل وابستگی به زیرساخت‌های فسیلی محور)، اما واردات از جنوب (تجارت جنوب-جنوب) با ضریب منفی ۰/۰۱۳ آلودگی را کاهش می‌دهد. لازم به ذکر است که این یافته‌ها با نتایج Kim et al (2019) همخوانی دارد. منحنی کوزنتس محیطی (EKC) در توسعه‌یافته‌ها الگوی U شکل نشان می‌دهد (کاهش اولیه اما افزایش در سطوح بالا)، در حالی که در کشورهای در حال توسعه U معکوس را تأیید می‌کند، که حاکی از عدم دستیابی به نقطه چرخش پایداری در جنوب است. علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهد که ورود سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی اثر مثبت بر انتشار کربن دارد. لذا، فرضیه پناهگاه آلودگی (PHH) در کشورهای جنوب تأیید می‌شود، این در حالی است که جذب سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی در کشورهای شمال موجب بهبود محیط زیست می‌شود. مصرف انرژی و تراکم جمعیت در هر دو گروه عوامل اصلی افزایش CO2 هستند، که بر نیاز به انتقال به انرژی‌های تجدیدپذیر تأکید می‌کند.

نتایج بدست آمده از این تحقیق پیامدهای سیاستی متعددی می‌توان ذکر نمود. **اول**، با توجه به اینکه واردات ICT از جنوب به جنوب موجب کاهش انتشار کربن شده است، کشورهای جنوب می‌توانند با ارتقای تجارت بین گروهی، شاخص‌های زیست‌محیطی خود را بهبود بخشند. **دوم**، سیاست‌های تجاری در جنوب باید طوری اعمال شود که از مزیت‌های تجارت با شمال به نفع رشد اقتصادی بیشتر بهره ببرند و اولویت واردات، کالاهایی باشد که منجر به بهبود وضعیت محیط زیست شود. **سوم**، به نظر می‌رسد که اگر کشورهای شمال، تجارت را با کشورهای جنوب توسعه دهند، به طور نسبی از مزیت‌های زیست‌محیطی ناشی از واردات بهره خواهند برد. به عبارت دیگر، در مورد کالاهای ICT، تجارت بین گروهی برای کشورهای شمال نسبت به تجارت درون گروهی مناسب‌تر خواهد بود. **چهارم**، جذب بیشتر سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی توسط کشورهای شمال، محیط زیست را بهبود خواهد بخشید. در صورتی جذب سرمایه‌های خارجی در کشورهای جنوب همراه با منافع زیست‌محیطی خواهد بود اگر همراه با قوانین سخت‌گیرانه زیست‌محیطی باشد و سرمایه‌گذاران خارجی را ملزم نماید که استانداردهای زیست‌محیطی را رعایت نمایند. علاوه بر این، سرمایه‌ها به بخش‌های کمتر آلاینده تخصیص داده شود. یکی از محدودیت‌های مدل‌های اقتصادسنجی این است که نمی‌توان اثر واردات کالاها را بر کل متغیرهای اقتصادی و زیست‌محیطی مشاهده نمود. بنابراین، به پژوهشگران پیشنهاد می‌شود که از مدل‌های تعادل عمومی قابل محاسبه برای ارزیابی اثر واردات ICT استفاده شود. تقریباً در تمام نشست‌های زیست‌محیطی برگزار شده در سراسر جهان، پذیرش تعهدات زیست‌محیطی توسط کشورهای مختلف در طی افق زمانی منتهی به سال ۲۰۵۰ می‌باشد. استفاده از مدل‌های پویای تعادل عمومی و تعادل عمومی پویای تصادفی جهت پیش‌بینی اثرات بلندمدت واردات ICT روی شاخص‌های اقتصادی و زیست‌محیطی تا سال ۲۰۵۰ پیشنهاد می‌شود.

۶. منابع

- Ahmed, Z. , Ahmad, M. , Murshed, M. , Shah, M. I. , Mahmood, H. , & Abbas, H. (2022). How do green energy technology investments, technological innovation, and trade globalization enhance green energy supply and stimulate environmental sustainability in the G7 countries? *Gondwana Research*, 112, 105–115. <https://doi.org/10.1016/j. gr. 2022.09.014>
- Añón Higón, D. , Gholami, R. , & Shirazi, F. (2017). ICT and environmental sustainability: A global perspective. *Telematics and Informatics*, 34(4), 85–95. <https://doi.org/10.1016/j. tele. 2017.01.001>
- Asongu, S. A. , Le Roux, S. , & Biekpe, N. (2018). Enhancing ICT for environmental sustainability in sub-Saharan Africa. *Technological Forecasting and Social Change*, 127, 209–216. <https://doi.org/10.1016/j. techfore. 2017.09.022>
- 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, Article 112232. <https://doi.org/10.1016/j. jenvman. 2021.112232>
- Baltagi, B. H. (2005). *Econometric analysis of panel data* (Third edition). John Wiley & Sons, Ltd. ISBN 0-470-01456-3 (pbk. : alk. paper)
- Bhagwati, J. N. (1993). The case for free trade. *Scientific American*, 269(5), 42–49. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican1193-42>
- 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>
- Copeland, B. R. , & Taylor, M. S. (2013). *Trade and the environment*. Princeton University Press.
- Copeland, B. R. , & Taylor, M. S. (2017). North-South trade and the environment. In *International trade and the environment* (pp. 205–238). Routledge. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781315201986-17/north-south-trade-environment-brian-copeland-scott-taylor>
- Cristea, A. , Hummels, D. , Puzzello, L. , & Avetisyan, M. (2013). Trade and the greenhouse gas emissions from international freight transport. *Journal of Environmental Economics and Management*, 65(1), 153–173. <https://doi.org/10.1016/j. jeem. 2012.06.002>
- Farhang, A. A. , Younessi, A. , Mansouri, N. , & Jalilvand Nekari, A. (2025). 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), 157–170. <https://doi.org/10.30473/ee. 2024.70297.2705> (In Persian)

- Gallagher, K. (2004). *Free trade and the environment: Mexico, NAFTA, and beyond*. Stanford University Press.
- Grossman, G. M. , & Krueger, A. B. (1991). *Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement* (NBER Working Paper No. 3914). National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w3914>
- Grossman, G. M. , & Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353–377. <https://doi.org/10.2307/2118443>
- 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. *Economic Modeling Research*, 14(51), 68–112. <http://jemr.khu.ac.ir/article-1-2347-fa.html> (In Persian)
- Jafari Parvizkhanlou, K. , Paytkhati Oskoei, S. A. , & Azami, R. (2021). The impact of information and communication technology and economic growth on environmental pollution: A case study of Gulf Cooperation Council countries. *Journal of Economic Studies and Policy*, 8(1), 111–138. <https://doi.org/10.22096/esp.2021.129466.1364> (In Persian)
- Karavias, Y. , & Tzavalis, E. (2014). Testing for unit roots in short panels allowing for a structural break. *Computational Statistics & Data Analysis*, 76, 391–407. <https://doi.org/10.1016/j.csda.2012.10.014>
- Kim, D. -H. , Suen, Y. -B. , & Lin, S. -C. (2019). Carbon dioxide emissions and trade: Evidence from disaggregate trade data. *Energy Economics*, 78, 13–28. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.08.019>
- Kuznets, S. (1955). Economic growth and income inequality. *American Economic Review*, 45(1), 1–28. <https://assets.aeaweb.org/asset-server/files/9438.pdf>
- Latif, Z. , Mengke, Y. , Danish, Latif, S. , Ximei, L. , Pathan, Z. H. , Salam, S. , & Jianqiu, Z. (2018). The dynamics of ICT, foreign direct investment, globalization and economic growth: Panel estimation robust to heterogeneity and cross-sectional dependence. *Telematics and Informatics*, 35(2), 318–328. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2017.12.006>
- Mazini, A. , & Jafarikhah, T. (2019). Evaluation of the effect of the expansion of information and communication technology on the intensity of energy consumption in Iran (provincial approach). *Quarterly Journal of Energy Economics Studies*, 16(67), 117–140. <http://iesj.ir/article-1-1280-fa.html> (In Persian)
- Meng, J. , Mi, Z. , Guan, D. , Li, J. , Tao, S. , Li, Y. , Feng, K. , Liu, J. , Liu, Z. , Wang, X. , Zhang, Q. , & Davis, S. J. (2018). The rise of South-South trade and its effect on global CO₂ emissions. *Nature Communications*, 9, Article 1878. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04337-y>
- 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>
- 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, Article 122168. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122168>
- Nejati, M. , Bavaqar Za'imi, P. , & Jalaei, A. (2019). Investigating the impact of growth in production and energy consumption on carbon dioxide emissions with emphasis on various sectors of Iran's economy. *Geography and Planning*, 23(69), 259–282. https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_9759.html (In Persian)
- Pesaran, M. H. (2003). *A simple panel unit root test in the presence of cross section dependence* [Working paper]. SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.457280>
- Pesaran, M. H. (2004). *General diagnostic tests for cross section dependence in panels* [Working paper]. SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.572504>
- Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22(2), 265–312. <https://doi.org/10.1002/jae.951>
- Rezvani, M. , Pendar, M. , & Vafaei, E. (2024). An assessment of the factors influencing carbon dioxide emissions in Iran with emphasis on policy uncertainty. *Journal of Natural Ecosystem Management*, 3(4), 1–11. <https://doi.org/10.22034/emj.2024.714147> (In Persian)

- Sadeghi, S. K. , & Rashid Aj Aj, H. H. (2025). Analyzing the asymmetric impact of per capita income, capital inflows, and oil price on CO₂ emissions in Iran: A NARDL approach. *Applied Theories of Economics*, 11(4), 137–154. <https://doi.org/10.22034/eoj.2025.63212.3343> **(In Persian)**
- Sadipur, A. (2011). *Investigating the impact of information and communication technology on carbon dioxide emissions* [Master's thesis, Islamic Azad University, Central Tehran Branch]. **(In Persian)**
- Sbia, R. , Shahbaz, M. , & Hamdi, H. (2014). A contribution of foreign direct investment, clean energy, trade openness, carbon emissions and economic growth to energy demand in UAE. *Economic Modelling*, 36, 191–197. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2013.09.047>.
- Shafik, N. (1994). Economic development and environmental quality: An econometric analysis. *Oxford Economic Papers*, 46(Supplement 1), 757–773. https://doi.org/10.1093/oep/46.Supplement_1.757
- Shahzad, U. , & Miao, C. (2025). Mitigating CO₂ emissions: China–East Asia trade, digitalization, and geography's impact on sustainable environmental development. *Food and Energy Security*, 14(2), Article e70085. <https://doi.org/10.1002/fes3.70085>
- Ulucak, R. , Danish, & Khan, S. U. (2020). Does information and communication technology affect CO₂ mitigation under the pathway of sustainable development during the mode of globalization? *Sustainable Development*, 28(4), 857–867. <https://doi.org/10.1002/sd.2041>
- Xuan, V. N. (2025). An ARDL approach to investigating the relationship between FDI, renewable energy, economic growth, trade openness, and CO₂ emissions in Australia. *Results in Engineering*, 27, Article 105668. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105668>
- <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519-world-bank-country-and-lending-groups>