

تأثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات بر رد پای اکولوژیکی در کشورهای صادرکننده نفت^۱

فاطمه آریان‌فر^۲

زهرا (میلا) علمی^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۴/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۳/۱۰

چکیده

رشد چشمگیر فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) جنبه‌های مختلف زندگی از جمله محیط زیست را تحت تأثیر قرار داده است. با توجه به اهمیت کیفیت محیط زیست و درهم‌آمیختگی زندگی بشر با فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT)، این مطالعه به بررسی تأثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات، شاخص پیچیدگی اقتصادی، تولید ناخالص داخلی سرانه، توسعه مالی، صادرات و رشد جمعیت بر رد پای اکولوژیکی سرانه (EF) به‌عنوان شاخصی جامع‌تر برای کیفیت محیط زیست نسبت به CO₂ در کشورهای منتخب صادرکننده نفت طی دوره ۲۰۰۶-۲۰۲۰ می‌پردازد. نتایج برآورد با روش گشتاورهای تعمیم‌یافته نشانگر وجود رابطه U معکوس بین فناوری اطلاعات و ارتباطات و رد پای اکولوژیکی سرانه است. همچنین، نتایج حاکی از رابطه مثبت و معنی‌دار بین تولید ناخالص داخلی سرانه، توسعه مالی و رشد جمعیت با رد پای اکولوژیکی است. طبق بررسی شاخص پیچیدگی اقتصادی و صادرات کالاها و خدمات با رد پای اکولوژیکی رابطه منفی و معنی‌دار داشته است.

واژگان کلیدی: فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT)، رد پای اکولوژیکی سرانه، تولید ناخالص داخلی سرانه، شاخص پیچیدگی اقتصادی، روش گشتاورهای تعمیم‌یافته
طبقه‌بندی JEL: C23, O32, Q43, Q51

۱. مقاله حاضر از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول به راهنمایی دکتر زهرا (میلا) علمی استخراج شده است.

۲. کارشناس ارشد اقتصاد انرژی، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.
fatemeh.s.arianfar@gmail.com

۳. استاد گروه اقتصاد، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران. (نویسنده مسئول)
z.elmi@umz.ac.ir

۱. مقدمه

پایداری اقتصادی از طریق فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) موضوعی پیچیده است که بحث‌های جالبی را در میان محققان ایجاد می‌کند. اهمیت فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار مشخص است. با توجه به مسیر رشد اقتصادی که کشورهای سراسر جهان به آن دست یافته‌اند، نقش فناوری اطلاعات و ارتباطات به‌عنوان نوآوری‌ای توانمندساز شناخته می‌شود. استفاده مؤثر از این فناوری، پایه‌های اقتصادهای درحال توسعه را برای تقلید از دانش و اطلاعات، بهبود اتصال در سراسر جهان - که رقابت‌پذیری آن‌ها را از طریق سرریزهای فناوری افزایش می‌دهد - تعیین می‌کند (سینها و همکاران، ۲۰۲۰). اثر فناوری اطلاعات و ارتباطات بر محیط زیست یکی از موضوعات پیچیده و چندوجهی است که می‌تواند هم اثر مثبت و هم اثر منفی بر پایداری محیط زیست داشته باشد. درواقع این فناوری همانند چاقویی دولبه است. از یک سو به‌کارگیری تجهیزات ICT موجب کاهش نیاز به منابع زیست‌محیطی و همچنین کاهش خسارت به محیط زیست می‌شود. از سوی دیگر، تجهیزات فناوری اطلاعاتی و ارتباطاتی مانند کامپیوتر، معمولاً از مواد زیان‌آور شیمیایی ساخته می‌شود که می‌تواند آثار مخربی بر محیط زیست داشته باشد. بر این اساس، این تحقیق تأثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات را بر تخریب یا عدم تخریب محیط زیست کشورهای منتخب صادرکننده نفت اوپک و اوپک پلاس بررسی می‌کند.

هدف نهایی توسعه پایدار بهبود رفاه انسان و همچنین جلوگیری از بدتر شدن کیفیت محیطی و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع طبیعی است (دا سیلوا و همکاران، ۲۰۲۰). با وجود این، علی‌رغم سهم غیرقابل‌انکار رفاه اکولوژیکی به‌عنوان بخش حیاتی از رفاه انسان، چالش‌های زیست‌محیطی با تقاضای انسان برای استانداردهای زندگی بالاتر تشدید شده است (لی و همکاران، ۲۰۲۲؛ آبید و همکاران، ۲۰۲۰). بنابراین، در کشورهای درحال توسعه که عملکرد زیست‌محیطی کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد، نیاز فوری به تعادل پایداری زیست‌محیطی با فعالیت‌های اقتصادی وجود دارد.

کشورهای صادرکننده نفت عضو اوپک و اوپک پلاس از جمله کشورهایی هستند که کمترین عملکرد زیست‌محیطی را دارند. این کشورها دارای منابع طبیعی فراوان همچون ذخایر گاز و نفت هستند که صادرات آن بخش قابل‌توجهی از نقدینگی بودجه آن‌ها را تأمین می‌کند. این امر باعث ایجاد پتانسیل بالایی برای رقابت در میان کشورهای صادرکننده نفت برای صادرات بیشتر منابع طبیعی خود به منظور مدیریت اقتصاد خود می‌شود (آقا حسینی و همکاران، ۲۰۲۰؛ گوروس و

1. Sinha et al. (2020)
2. Da Silva et al. (2020)
3. Li et al. (2022)
4. Abid et al. (2020)
5. Aghahosseini et al. (2020)

آیدین، ۲۰۱۹). از این رو، تخریب محیط زیست در کشورهای صادرکننده نفت وخیم تر و هشداردهنده بوده که اگر عوامل تعیین کننده تخریب محیط زیست شناسایی و مدیریت نشوند، آن جوامع در آینده نزدیک با کمبود شدید منابع زیست محیطی مواجه خواهند شد. اگرچه به نظر می رسد مطالعات متعددی که برای تعیین تخریب محیط زیست انجام شده، در پرداختن به مسائل زیست محیطی در کشورهای صادرکننده نفت مفید واقع شده باشد، هنوز هم نتیجه گیری یکسانی از مطالعات انجام شده به دست نیامده است که می تواند دلایل متعددی داشته باشد. نخست اینکه عوامل زیادی به طور مستقیم و غیرمستقیم در شرایط محیطی دخالت دارند. در حالی که برخی از آن عوامل، به ویژه عوامل اقتصادی مانند تولید ناخالص داخلی به خوبی مورد مطالعه و بحث قرار گرفته اند، برخی دیگر مانند پیچیدگی اقتصادی و گسترش فناوری کمتر مورد مطالعه قرار گرفته اند. به ندرت می توان مطالعاتی را یافت که متغیرهایی در ابعاد مختلف مانند رد پای اکولوژیکی سرانه و فناوری اطلاعات و ارتباطات در تبیین تخریب محیط زیست داشته باشد. بنابراین، بررسی چگونگی تأثیر آن عوامل بر محیط زیست کشورهای اوپک و اوپک پلاس ضروری است. دوم، از آنجایی که مناطقی مختلف دارای فراوانی، در استفاده از منابع طبیعی دارای عملکرد متفاوتی هستند، عواملی که بر شرایط محیطی در کشورهای مختلف تأثیر می گذارند متفاوت است. سوم، اثرات زیست محیطی عوامل به خوبی تعریف شده، از جمله باز بودن تجارت و شهرنشینی، به طور متفاوتی مورد بررسی قرار گرفته است. بنابراین، مطالعات قبلی را نمی توان برای روشن کردن چگونگی تأثیر منحصر به فرد این عوامل بر کشورهای صادرکننده نفت اوپک و اوپک پلاس استفاده کرد.

علاوه بر این، تلاش پژوهشی ما با مطالعات موجود متفاوت است. اول، علی رغم بسیاری از مطالعات قبلی، در این مطالعه از رد پای اکولوژیکی (EF) که توسط واکرناگل و ریس (۱۹۹۸) به عنوان شاخص تخریب محیطی معرفی شده، استفاده شده است که شاخصی کلی نگر برای اندازه گیری اثرات فعالیت های انسانی بر محیط زیست است. از دلایل انتخاب این مسئله می توان به این نکته اشاره کرد که شاخص های دیگر تخریب محیط زیست مانند آلودگی هوا، آلودگی آب، جنگل زدایی و ... فقط جزء کوچکی از تخریب محیط زیست می باشند، در حالی که شاخص رد پای اکولوژیکی از مؤلفه های مختلفی مانند زمین های زراعی، چراگاه ها، مناطق ماهیگیری، جنگل ها، رد پای کربن و زمین های ساخته شده که به نسبت شاخص جامع تری است. رد پای اکولوژیکی شاخصی است که نرخ مصرف منابع و تولید ضایعات توسط انسان را با نرخ بازتولید منابع و دفع ضایعات توسط زیست کره مقایسه می کند که براساس مقدار زمین موردنیاز برای نگه داشتن این چرخه تعریف می شود. درواقع این شاخص نشان می دهد که چه مقدار آب و زمین های حاصلخیز استفاده شود تا منابع مصرفی موردنیاز

1. Gorus & Aydin (2019)
2. Wackernagel and Rees (1998)

انسان‌ها تولید و همچنین ضایعات حاصل از آن‌ها دفع شود (مونفردا و همکاران، ۲۰۰۴). معمولاً این متغیر در هکتار جهانی (gha) سرانه اندازه‌گیری می‌شود.

بنابراین با توجه به دیدگاه‌های متفاوت در خصوص تأثیر ICT بر کیفیت محیط زیست کشورهای درحال توسعه، در این مطالعه به آزمون فرضیه U معکوس بین ICT و سرانه رد پای اکولوژیکی در کشورهای منتخب اوپک و اوپک پلاس (براساس حداکثر داده) با استفاده از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته پرداخته می‌شود. برای این منظور در بخش دوم مطالعه، ادبیات موضوع و پیشینه تحقیقات مرتبط با موضوع تحقیق ارائه می‌گردد. در بخش سوم ضمن ارائه الگوی تحقیق، آمار توصیفی متغیرهای مدل ارائه می‌شود. سپس نتایج تخمین الگو به روش گشتاورهای تعمیم‌یافته تفسیر می‌شود. پایان بخش این مقاله جمع‌بندی و ارائه پیشنهاد است.

۲. مبانی نظری

عصر فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) از اوایل دهه ۱۹۹۰ آغاز شد و به‌طور مداوم تمام جنبه‌های زندگی انسان را تغییر داد. این فناوری به‌عنوان ابزاری نیرومند در جهت توسعه زندگی آینده با نزدیک کردن فرهنگ‌ها و جوامع به یکدیگر، حذف مرزهای جغرافیایی و افزایش فعالیت‌های اقتصادی مانند سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی (FDI)، پیچیدگی‌های اقتصادی و باز بودن تجارت ظاهر شد (آتسو و همکاران، ۲۰۲۱؛ اووم و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین نقشی که ICT در رشد درآمد سرانه، افزایش کارایی بازارها و مؤسسات، افزایش درآمدزایی، کاهش نوسانات قیمت، کاهش هزینه‌های مبادله و کاهش بیکاری دارد غیرقابل‌انکار است (بالسالوبر-لورنته و همکاران، ۲۰۲۲).

بهره‌گیری از قابلیت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات در عرصه‌های مختلف و فزونی روزافزون استفاده از آن در فعالیت روزمره انسان، تبعات قابل‌توجهی در حوزه محیط زیست از خود به‌جای گذاشته و می‌گذارد. بنابراین، درک پیامدهای زیست‌محیطی استفاده از اینترنت، تلفن‌های همراه و کالاهای پیچیده در عصر دیجیتال حیاتی است. فناوری اطلاعات و ارتباطات می‌تواند الگوی مصرف و تولید را با در نظر گرفتن شرایط اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و بهداشتی تغییر دهد تا به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کند. علاوه بر این، ICT می‌تواند آگاهی عمومی را در مورد مسائل تخریب محیط زیست افزایش دهد، زیرا می‌تواند بر تصمیم‌گیرندگان و عموم مردم تأثیر بگذارد (پوری و هیلتی، ۲۰۱۸؛ بیزر و هیلتی، ۲۰۱۸).

1. Monfreda et al. (2004)
2. Atsu et al. (2021)
3. Avom et al. (2020)
4. Balsalobre-Lorente et al. (2022)
5. Pouri and Hilty (2018)
6. Bieser and Hilty (2018)

در ادبیات محیط زیست و مطالعات تجربی، رابطه ICT و انتشار کربن به‌عنوان شاخص تخریب محیط زیست، دو رویکرد متضاد وجود دارد و این رویکردهای متضاد با سه نتیجه متفاوت شکل می‌گیرند. در رویکرد اول بیان شده است که ICT باعث کاهش مصرف انرژی و در نتیجه کمک مثبت به محیط زیست می‌شود. به‌عنوان مثال، تعداد ایمیل‌های ارسالی، مصرف کاغذ را کاهش می‌دهد و به محیط زیست کمک می‌کند. به‌طور مشابه، تجارت الکترونیک و شیوه‌های بانکداری الکترونیکی آسیب‌های زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد (بکارو و همکاران، ۲۰۱۶). با توجه به این اثر که به‌عنوان اثر جایگزینی بیان می‌شود، عملیات انجام‌شده از طریق اینترنت باعث کاهش مصرف انرژی و در نتیجه کاهش انتشار کربن می‌شود (شعبانی و شهنازی، ۲۰۱۹). با توجه به اینکه نرخ گسترش اینترنت در آینده افزایش خواهد یافت، بنابراین، تعیین اثرات زیست‌محیطی ناشی از استفاده از اینترنت در رویکرد دوم بیان می‌شود که فناوری اطلاعات و ارتباطات به‌عنوان تولید بر محیط زیست تأثیر منفی می‌گذارد و استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات مستلزم مصرف انرژی خواهد بود.

آخرین اثر این رویکرد که بیان می‌کند ICT باعث افزایش مصرف انرژی و انتشار کربن می‌شود، اثر هزینه مربوط به اثر افزایش تقاضای فناوری اطلاعات و ارتباطات بر روی سایر محصولات است. بر این اساس، استفاده گسترده از فناوری اطلاعات و ارتباطات باعث افزایش تقاضا برای محصولات در سایر بخش‌ها و در نتیجه افزایش مصرف انرژی و انتشار کربن در این بخش‌ها می‌شود (شعبانی و شهنازی، ۲۰۱۹). به‌طور کلی، سرمایه‌گذاری‌های ICT دو پیامد متناقض بر مصرف انرژی دارند. اولین مورد کاهش مصرف انرژی با شکل‌گیری فرآیندهای تولید فناوری جدید و جایگزینی با فناوری قدیمی است. بنابراین این فرآیند نوآوری، باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود. نتیجه دوم وجود تجهیزات ICT مستلزم استفاده از انرژی و تخریب محیط زیست است. اینکه آیا این نتایج متناقض به سطح توسعه کشورها بستگی دارد و اینکه چگونه استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات در آینده بر محیط زیست تأثیر می‌گذارد، همچنان از موضوعات بحث‌برانگیز در مطالعات عصر حاضر می‌باشد. از جمله عوامل تأثیرگذار دیگر بر روی کیفیت محیط زیست می‌توان به پیچیدگی اقتصادی اشاره کرد.

یکی از جدیدترین شاخص‌های منعکس‌کننده میزان دانش و تکنولوژی به‌کار رفته در ساختار تولید هر کشور، شاخص پیچیدگی اقتصادی است. این شاخص در تلاش برای توضیح تفاوت در رشد اقتصادی کشورهای مختلف توسط هیدالگو و هاسمن (۲۰۰۹) ارائه شد.

بر خلاف نظریات متفاوت رشد که تفاوت رشد اقتصادی کشورها را در میزان تولید کالاها و خدمات، بدون توجه به ساختار تولید آن در نظر می‌گیرد، به عقیده هیدالگو و هاسمن، ثروت کشورها ارتباط نزدیکی با ساختار اقتصادی آن‌ها دارد. مشاهدات تجربی در سال‌های گذشته مخالف با نظریات متداول

1. Bekaroo et al. (2016)
2. Shabani & Shahnazi (2019)
3. Hidalgo & Hausmann (2009)

رشد اقتصادی بوده است. به عنوان مثال، کشورهایی که از نظر منابع طبیعی بسیار غنی هستند، نتوانسته‌اند بیشتر از کشورهایی با منابع محدود، شاهد رشد اقتصادی باشند. در مقابل، کشورهایی مثل کره جنوبی و تایوان با صادرات کالاهایی که دارای ماهیت متفاوت از صادرات ونزوئلا و نیجریه بوده‌اند، نتوانسته‌اند به رشد بالایی دست یابند. بنابراین نوع کالای تولیدشده می‌تواند دارای اهمیت باشد (هیدالگو، ۲۰۰۹).

برای حل این مشکل، آن‌ها با استفاده از اطلاعات تجارت خارجی کشورها، شاخص پیچیدگی اقتصادی را برای هر کشور محاسبه کردند. این شاخص میزان سطح تکنولوژی، دانش و مهارت در اختیار یک کشور را با استفاده از متنوع بودن و پیچیده بودن محصولات صادراتی نشان می‌دهد (هیدالگو و هاسمن، ۲۰۰۹). شاخص پیچیدگی اقتصادی، نشان‌دهنده ظرفیت‌های موجود در ساختار تولید هر کشور می‌باشد (هاسمن و همکاران، ۲۰۱۴). به همین دلیل در گروهی از مطالعات در سال‌های اخیر به عنوان معیار پیشرفت فناوری از آن استفاده می‌شود (نیگو و تئودور، ۲۰۱۹). بسیاری از محققان بر این باورند که نوآوری‌های تکنولوژیکی و استفاده از عوامل تولید با تکنولوژی بالاتر، می‌تواند کارایی انرژی را بهبود ببخشد. همچنین یک ساختار پیچیده‌تر تولید، کشور را قادر می‌سازد که در فعالیتهای تولیدی خود، بهره‌وری بالاتری را تجربه کند. در نتیجه می‌تواند مصرف انرژی را برای مقدار مشخصی از تولید کاهش دهد و انتشار آلاینده‌گی را کمتر کند (احمد و ارشدخان، ۲۰۰۹).

مطالعات بسیاری تاکنون اثر عواملی نظیر رشد اقتصادی، مصرف انرژی، تجارت خارجی و همچنین رشد جمعیت را بر روی میزان انتشار آلاینده‌های ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی، به‌ویژه کربن دی‌اکسید مورد بررسی قرار دادند. توسعه مالی یکی دیگر از عواملی است که چنانچه اثر آن توأم با رشد اقتصادی بر روی میزان انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی مورد بررسی قرار گیرد، می‌توان شاهد تفاوت معناداری در نتایج تحقیق بود. تمازیان و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که با توسعه مالی تمایل بیشتری به تأمین بودجه فناوری‌های سبز برای حفاظت از انرژی و کاهش انتشار وجود دارد. از یک سو به عنوان بخش مهمی از توسعه اقتصادی، بازارهای مالی توسعه‌یافته به شرکت‌ها این امکان را می‌دهند که از منابع مالی برای خرید تسهیلات تولیدی و سرمایه‌گذاری در پروژه‌های جدید، افزایش استفاده از انرژی و گسترش انتشار کربن بهره کامل ببرند. از سوی دیگر هرچه بازار مالی توسعه‌یافته‌تر باشد، مصرف انرژی سنتی بیشتر و بهبود کیفیت محیط زیست کمتر می‌شود.

1. Hidalgo (2009)
2. Hausmann et al. (2014)
3. Neagu & Teodoru (2019)
4. Ahmed & ArshadKhan (2009)
5. Tamazian et al. (2009)

جهانی‌شدن منابع طبیعی را برای دستیابی به رشد اقتصادی از بین خواهد برد. به‌طور مثال زکریا و بی بی بی (۲۰۱۹) با مطالعه بر کشورهای جنوب آسیا دریافتند که توسعه مالی باعث تخریب محیط زیست در منطقه شده است که نشان می‌دهد در کشورهای جنوب آسیا گسترش توسعه مالی در جهت بهبود فناوری استفاده نشده، بلکه برای سرمایه‌گذاری بیشتر استفاده شده است. در ادبیات اقتصاد محیط زیست، جمعیت یکی از عوامل آلوده‌کننده محیط زیست به‌شمار می‌رود. زیرا با افزایش جمعیت، تقاضا برای زمین‌های کشاورزی، منابع انرژی، منابع آبی و ... افزایش یافته و این امر از بین رفتن جنگل‌ها و مراتع، کاهش حاصلخیزی زمین‌های کشاورزی و آلودگی محیط زیست را در پی خواهد داشت. رشد سریع جمعیت شهرنشینی سبب گسترش فعالیت‌های اقتصادی و افزایش روند روزافزون مصرف منابع و انرژی می‌شود. جمعیت بیشتر به محصولات بیشتر نیازمند است، تولید بیشتر به ایجاد مشاغل بیشتر می‌انجامد و افزایش اشتغال و تولید، به افزایش گازها و آلاینده‌های زیست‌محیطی منجر می‌شود (فطرس، ۱۳۸۵).

۳. پیشینه پژوهش

در مورد تأثیر ICT بر عملکرد زیست‌محیطی در داخل و خارج از کشور مطالعاتی صورت گرفته است. در برخی از این مطالعات از CO₂ و در برخی از EF به‌عنوان عملکرد زیست‌محیطی استفاده شده است. در ارتباط تأثیر ICT بر انتشار کربن دی‌اکسید به‌عنوان شاخص عملکرد زیست‌محیطی براساس نتایج حاصل، سه دسته‌بندی می‌توان انجام داد:

دسته اول مطالعاتی هستند که بر رابطه مثبت بین ICT و انتشار کربن دی‌اکسید صحنه می‌گذارند. به‌عنوان مثال، رحیم و همکاران^۱ در سال ۲۰۲۰ برای کشورهای G7 نشان دادند که ICT در بلندمدت اثر مثبتی بر انتشار کربن دارد. خان و همکاران^۲ در سال ۲۰۱۸ با استفاده از برآوردگرهای میان‌گروهی و میان‌گروهی تعمیم‌یافته نتیجه گرفتند که ICT تأثیر آلوده‌کننده‌ای بر محیط زیست کشورهای نوظهور با درآمد بالا دارد. کیم؛ در سال ۲۰۲۲ با مطالعه کشورهای OECD، پیشرفت ICT را به‌عنوان عاملی در افزایش انتشار CO₂ در بلندمدت می‌داند. از مطالعات انجام گرفته در ایران می‌توان به مطالعه سعدی‌پور در سال ۱۳۹۰ برای کشورهای منتخب OECD اشاره کرد، طبق نتایج این بررسی تعداد خطوط تلفن ثابت اثر مثبت و معناداری بر انتشار CO₂ داشته است. براساس مطالعه فلاحی و همکاران در سال ۱۳۹۱ با استفاده از روش هم‌انباشتگی ARDL، خطوط تلفن ثابت و همراه بر کیفیت محیط زیست اثر مثبت دارد. همچنین مطالعه مشایخی و همکاران در سال ۱۴۰۰، با

1. Zakaria & Bibi (2019)
2. Raheem et al. (2020)
3. Khan et al. (2018)
4. Kim (2022)

استفاده از آزمون هم‌جمعی جوهانسون - جوسیلوس نشان‌داد که شاخص فناوری اطلاعات و ارتباطات بر شاخص بهره‌وری سبز در ایران اثر مثبت دارد.

دسته دوم مطالعاتی هستند که بر رابطه منفی بین ICT و انتشار کربن دی‌اکسید صحنه می‌گذارند. برای مثال مطالعه هالدر و ستی^۱ در سال ۲۰۲۲ برای ۱۶ کشور در حال ظهور از این دسته مطالعات است. از مطالعات داخلی می‌توان به مطالعه دیزجی و همکاران در سال ۱۳۹۱ برای کشورهای منا با استفاده از داده‌های تابلویی اشاره کرد. طبق این بررسی اثر خطوط تلفن ثابت بر کیفیت محیط زیست منفی است. همچنین پروین شعار گنگچین (۱۳۹۳)، در پایان‌نامه خود اثر فناوری اطلاعات و ارتباطات بر کیفیت محیط‌زیست کشورهای عضو منا با استفاده از روش داده‌های تابلویی پویا و ایستای دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ را بررسی نمود. نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده تأثیر منفی ICT بر انتشار آلودگی در این کشورها می‌باشد.

سومین دسته، مطالعاتی هستند که اثری غیرقطعی از فناوری اطلاعات و ارتباطات بر انتشار کربن دی‌اکسید را مستند می‌کنند. برای مثال، امیری و همکاران^۲ در ۲۰۱۹ نتیجه گرفتند که ICTها تأثیر ناچیزی بر انتشار کربن دی‌اکسید در تونس دارند. در سال ۲۰۱۸ آسونگو و همکاران^۳ نشان دادند که ICTها تأثیر ناچیزی بر انتشار کربن دی‌اکسید در ۴۴ کشور جنوب صحرای آفریقا دارند. در سال ۲۰۱۹ شعبانی و شهبازی با مطالعه تأثیربخشی فناوری اطلاعات و ارتباطات بر CO₂ در ایران نتیجه گرفتند که فناوری اطلاعات و ارتباطات، انتشار کربن دی‌اکسید را در بخش صنعت هدایت می‌کند، در حالی که عکس این موضوع در بخش حمل و نقل وجود دارد. نتایج مطالعه تجربی هیگون و همکاران؛ (۲۰۱۷) با استفاده از نمونه‌ای از ۱۴۲ کشور تأیید می‌کند که رابطه بین ICT و انتشار CO₂ رابطه‌ای U شکل معکوس است. ندری و همکاران^۴ (۲۰۲۱) مدل ARDL پانل را بر روی نمونه‌ای از ۵۸ کشور درحال توسعه اجرا کردند و دریافتند که ICT کیفیت زیست‌محیطی را در کشورهای درحال توسعه کم درآمد بهبود می‌بخشد، در حالی که در کشورهای درحال توسعه با درآمد بالا تأثیر ناچیزی دارند. در سال ۲۰۲۰ خان و همکاران^۵ تأثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات بر انتشار کربن دی‌اکسید را برای گروهی متشکل از ۹۱ کشور توسعه‌یافته و درحال توسعه در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۷، با استفاده از روش داده‌های تابلویی بررسی کردند و نشان دادند که فناوری اطلاعات و ارتباطات، پایداری زیست‌محیطی را در کشورهای توسعه‌یافته بهبود می‌بخشد، در حالی که کیفیت زیست‌محیطی را در کشورهای درحال توسعه بدتر می‌کند. در مطالعات داخلی جعفری پرویزخانلو و

1. Haldar and Sethi (2022)
2. Amiri et al. (2019)
3. Asongu et al. (2018)
4. Higón et al. (2017)
5. N'dri et al. (2021)
6. Khan et al. (2020)

همکاران (۱۳۹۹) دریافته‌اند رابطه بین ICT و CO2 در کشورهای حوزه خلیج فارس با استفاده از روش داده‌های تابلویی، به شکل U معکوس بوده است.

در هر سه دسته از مطالعات انجام‌گرفته در داخل کشور برای بررسی اثرگذاری ICT بر انتشار CO2 از یک بُعد فناوری اطلاعات و ارتباطات (به‌طور مثال ضریب نفوذ اینترنت) استفاده کرده‌اند، در حالی که در مطالعه حاضر از شاخص ترکیبی فناوری اطلاعات و ارتباطات که از روش مؤلفه اصلی به‌دست آمده استفاده می‌شود که در واقع محاسبه این شاخص ترکیبی به‌جای استفاده تکی از هر یک از مؤلفه‌های مورد استفاده ICT از نوآوری‌های این مطالعه است.

در ادامه مروری کوتاه بر اثرگذاری ICT بر رد پای اکولوژیکی به‌عنوان شاخصی برای عملکرد زیست‌محیطی ارائه می‌شود.

۳ - ۱. مطالعات انجام‌شده در داخل کشور

مولائی و بشارت (۱۳۹۴) به بررسی ارتباط بین تولید ناخالص داخلی و رد پای اکولوژیکی به‌عنوان شاخص زیست‌محیطی پرداختند. هدف بررسی رابطه بلندمدت و کوتاه‌مدت تولید ناخالص داخلی سرانه و رد پای سرانه اکولوژیکی در ایران در بازه زمانی ۱۹۶۵-۲۰۱۱ بوده، بدین‌منظور از مدل خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی گسترده استفاده شده است. نتایج نشان داد افزایش تولید ناخالص داخلی سرانه هم در کوتاه‌مدت و هم در بلندمدت تأثیر مثبتی بر رد پای اکولوژیکی سرانه دارد.

اتحاد (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای به بررسی فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس (EKC) در ایران با استفاده از داده‌های سری زمانی ۱۳۵۰-۱۳۹۱ پرداخته است. همچنین در این مطالعه ارتباط کوتاه‌مدت و بلندمدت میان رد پای اکولوژیکی و توسعه اقتصادی نیز بررسی شده است. نتایج برآورد به روش OLS نشان داد ضریب مجذور تولید ناخالص داخلی کشور منفی بوده، اما نظر آماری معنی‌دار نبوده است. به عبارتی، فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس برای ایران برقرار نمی‌باشد. نتایج برآورد مجدد بعد از حذف متغیر مجذور تولید ناخالص داخلی نشان داد تولید ناخالص داخلی، کل مصرف انرژی و جمعیت شهرنشینی با تأثیر مثبت خود بر رد پای اکولوژیکی سبب افزایش آسیب‌های زیست‌محیطی می‌شوند و توسعه اعتبارات اعطایی داخلی به بخش خصوصی، تخریب محیط زیست را کاهش می‌دهد.

طرازکار و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای با عنوان «اثر رشد اقتصادی بر پایداری محیط زیست در ایران: کاربرد شاخص رد پای بوم‌شناختی» اثر رشد اقتصادی بر پایداری محیط زیست را در ایران برای دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۳ بررسی کردند و روابط کوتاه‌مدت و بلندمدت رد پای اکولوژیکی و تولید ناخالص داخلی سرانه، مصرف سرانه انرژی، تراکم جمعیت و آزادسازی تجاری را با استفاده از روش خودرگرسیون با وقفه توزیعی (ARDL) بررسی کردند. طبق نتایج، رابطه رشد اقتصادی و رد پای بوم‌شناختی به‌صورت U معکوس بوده است. همچنین ۱۰ درصد افزایش در تراکم جمعیت منجر به افزایش ۱۱/۲ و ۹/۶ درصدی رد پای بوم‌شناختی به ترتیب در کوتاه و بلندمدت می‌شود. علاوه بر این، آزادسازی تجاری در بلندمدت تأثیر مثبتی بر رد پای بوم‌شناختی دارد، حال آنکه در کوتاه‌مدت

تأثیر این متغیر معنی‌دار نیست. علاوه بر این، ۱۰ درصد افزایش در مصرف انرژی موجب افزایش ۴/۶ و ۳/۹ درصدی شاخص رد پای بوم‌شناختی در کوتاه و بلندمدت می‌شود.

مولائی و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی عوامل مؤثر بر رد پای اکولوژیکی و آزمون فرضیه پناهگاه آلودگی و فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس طی دوره ۱۹۶۵-۲۰۱۱ پرداختند. نتایج حاصل از برآورد به روش خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی نشان داد که درآمد سرانه، آزادسازی تجاری، توسعه بازارهای مالی و شهرنشینی هم در کوتاه‌مدت و هم در بلندمدت تأثیر مثبت و معنی‌دار و شاخص توسعه انسانی تأثیر منفی و معنی‌دار بر رد پای اکولوژیکی سرانه دارند. همچنین نتایج فرضیه پناهگاه آلودگی را تأیید می‌کنند، ولی فرضیه منحنی زیست‌محیطی کوزنتس تأیید نمی‌شود و رابطه بین درآمد و رد پای اکولوژیکی به شکل N می‌باشد.

پارسا شریف و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی رابطه بلندمدت و کوتاه‌مدت متغیرهای تولید ناخالص داخلی سرانه، مصرف انرژی، درجه باز بودن تجارت و توسعه مالی با رد پای اکولوژیکی سرانه با روش خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی تابلویی پرداختند. این مطالعه برای کشورهای منتخب عضو آسیا و اروپا در بازه زمانی ۱۹۹۲-۲۰۱۳، بوده است. براساس نتایج، بین رد پای اکولوژیکی سرانه و متغیرهای مصرف انرژی، توسعه مالی و تولید ناخالص داخلی سرانه رابطه مثبت و متغیرهای تجارت و توان دوم تولید ناخالص داخلی سرانه رابطه منفی برقرار است. همچنین، وجود منحنی محیط زیستی کوزنتس نیز تأیید گردید.

اصفهان‌ی و همکاران (۱۴۰۱) به تحلیل ارتباط بین رشد اقتصادی، مصرف انرژی، نرخ رشد فناوری و رد پای اکولوژیکی در ۲۷ کشور درحال توسعه و ۲۷ کشور توسعه‌یافته طی دوره زمانی ۱۹۹۰-۲۰۱۸ به روش گشتاورهای تعمیم‌یافته سیستمی پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که در هر دو دسته از کشورهای توسعه‌یافته و درحال توسعه، رشد اقتصادی با مصرف انرژی و شاخص رد پای اکولوژیکی، ارتباط متقابل داشته‌اند. مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر، نرخ شهرنشینی در هر دو گروه از کشورهای مورد بررسی، اثر مثبت و متغیرهای انرژی‌های تجدیدپذیر، نرخ رشد فناوری و سرمایه انسانی، اثر منفی بر رد پای اکولوژیکی داشته‌اند. رشد اقتصادی بر رد پای اکولوژیکی کشورهای توسعه‌یافته، اثر منفی و بر رد پای اکولوژیکی کشورهای درحال توسعه، اثر مثبت داشته است که حاکی از اتکالی بیشتر کشورهای توسعه‌یافته به مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر است. از طرفی، رد پای اکولوژیکی، اثر منفی و متغیرهای رشد اقتصادی، نرخ شهرنشینی و توسعه مالی، اثر مثبت بر مصرف انرژی هر دو گروه کشورهای مورد بررسی داشته‌اند. رد پای اکولوژیکی بر رشد اقتصادی کشورهای توسعه‌یافته، اثر منفی و بر رشد اقتصادی کشورهای درحال توسعه، اثر مثبت داشته است.

۳-۲. مطالعات انجام‌شده در خارج از کشور

مطالعه‌ای تحت عنوان «بررسی فرضیه منحنی زیست‌محیطی کوزنتس (EKC) با استفاده از رد پای اکولوژیکی به‌عنوان شاخصی برای تخریب محیط زیست» برای ۹۳ کشور منتخب با سطح درآمد

متفاوت، توسط آل-مولایی و همکاران^۱ در سال ۲۰۱۵ انجام شد. این مطالعه با استفاده از روش اثرات ثابت و گشتاورهای تعمیم‌یافته برای دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۸ تجزیه و تحلیل شد. نتایج برآورد به وجود رابطه U شکل معکوس بین رد پای اکولوژیکی و رشد تولید ناخالص داخلی تأکید می‌کند که نشان‌دهنده تأیید فرضیه EKC در کشورهای با سطح درآمد متوسط و بالا است.

مقاله‌ای با عنوان «تجزیه و تحلیل منحنی زیست‌محیطی کوزنتس برای کشورهای اتحادیه اروپا: نقش رد پای اکولوژیکی» توسط دستک و همکاران^۲ در سال ۲۰۱۸ نگارش یافت. هدف از آن بررسی اعتبار فرضیه منحنی زیست‌محیطی کوزنتس بر روی رد پای اکولوژیکی و بررسی مقایسه اثر نسبی مصرف انرژی تجدیدپذیر و غیرقابل تجدید بر آلودگی محیط زیست برای دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۳ در پانزده کشور اتحادیه اروپا بوده است. طبق روش برآورد میانگین گروهی تعمیم‌یافته^۳ و روش حداقل مربعات معمولی و حداقل مربعات پویا رابطه U شکل بین درآمد سرانه و رد پای اکولوژیکی وجود دارد. علاوه بر این، نتایج حاکی از کاهش رد پای زیست‌محیطی در نتیجه مصرف انرژی تجدیدپذیر و باز بودن تجارت است در حالی که مصرف انرژی غیرقابل تجدید آلودگی محیط زیست را افزایش می‌دهد.

اثرات فناوری اطلاعات و ارتباطات، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و غیرقابل تجدید، توسعه مالی و رشد اقتصادی بر محیط زیست در ده کشور (چین، برزیل، آلمان، اندونزی، هند، ژاپن، مکزیک، روسیه، ایالات متحده آمریکا و بریتانیا) با بیشترین تخریب محیط زیست توسط چائلا و همکاران^۴ (۲۰۲۱) بررسی شد. نتایج برآورد به روش Panel ARDL نشان می‌دهد که افزایش مصرف انرژی تجدیدناپذیر منجر به زوال زیست‌محیطی می‌شود، در حالی که مصرف انرژی تجدیدپذیر، فناوری اطلاعات و ارتباطات و توسعه‌های مالی و خامت محیط زیست در این کشورها را کاهش می‌دهد. در این مطالعه، فرضیه منحنی زیست‌محیطی کوزنتس مورد تأیید قرار نگرفت.

بررسی اثر انرژی‌های تجدیدپذیر، فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات، ثبات دولت و تولید ناخالص داخلی بر روی رد پای زیست‌محیطی در کشورهای G11 در بازه زمانی ۱۹۹۰-۲۰۲۰ توسط محمود و همکاران^۵ (۲۰۲۲) انجام گرفت. نتایج نشان داد که انرژی‌های تجدیدپذیر، فناوری اطلاعات و ارتباطات و ثبات دولت از عوامل ضروری در کاهش آلودگی زیست‌محیطی در کشورهای مورد مطالعه هستند. طبق بررسی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر کیفیت هوا را بهبود می‌بخشد و محیط طبیعی را از تخریب بیشتر نجات می‌دهد.

1. Al-Mulali et al. (2015)
2. Destek et al. (2018)
3. Augmented Mean Group
4. Caglar et al. (2021)
5. Mehmood et al. (2022)

تأثیر فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات، انرژی سبز (انرژی‌های تجدیدپذیر و مصرف برق الکتریکی) و فعالیت‌های اقتصادی (بهره‌وری کل عوامل TFP) بر کیفیت محیطی (EFP) در عربستان سعودی توسط کاهولی و همکاران^۱ (۲۰۲۲) بررسی شد. نتایج با استفاده از تکنیک هم‌جمعی جوهانسن و روش تصحیح خطای برداری نشان داد ارتباط منفی و معنی‌دار بلندمدتی بین انرژی‌های تجدیدپذیر، مصرف برق، تجارت فناوری، بهره‌وری کل عوامل و EFP وجود دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که بین EFP و ICT در کوتاه‌مدت رابطه منفی و معناداری وجود دارد.

تأثیر پیچیدگی اقتصادی، فناوری اطلاعات و ارتباطات، نرخ باروری بر رد پای اکولوژیکی کشورهای درحال ظهور با استفاده از رگرسیون پانل چندکی طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ توسط کاظم‌زاده و همکاران^۲ در سال ۲۰۲۳ بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که ICT در همهٔ چندک‌ها از نظر آماری اثر منفی معنی‌داری بر رد پای اکولوژیکی دارد. هرچند در مقایسه با سایر متغیرها چون پیچیدگی اقتصادی و نرخ باروری تأثیر کمتری بر رد پای اکولوژیکی دارد. پیچیدگی اقتصادی، برای تمام سطوح کمیت به جز چندک دهم، تأثیر منفی و معنی‌دار آماری بر رد پای اکولوژیکی دارد.

در جمع‌بندی مطالعات انجام‌گرفته در ارتباط با تأثیر ICT بر عملکرد زیست‌محیطی می‌توان به دو دسته اثرات مثبت و منفی ICT بر رد پای اکولوژیکی اشاره کرد. در مطالعات داخل کشور اصفهانی و همکاران (۱۴۰۱) اثر نرخ رشد فناوری بر رد پای اکولوژیکی را با استفاده از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته سیستمی بررسی کردند. طبق این بررسی رابطه‌ای منفی بین این دو متغیر وجود دارد. در مطالعات خارجی، چائار و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از روش ARDL نشان دادند فناوری اطلاعات و ارتباطات و خامت محیط زیست در ده کشور چین، برزیل، آلمان، اندونزی، هند، ژاپن، مکزیک، روسیه، ایالات متحده آمریکا و بریتانیا را کاهش می‌دهد. مطالعهٔ محمود و همکاران (۲۰۲۲) نشان می‌دهد که فناوری اطلاعات و ارتباطات باعث کاهش آلودگی زیست‌محیطی در کشورهای G11 می‌شود. همچنین کونگبوامای و همکاران^۳ در سال ۲۰۲۲ رابطه‌ای مثبت بین فناوری اطلاعات و ارتباطات با رد پای اکولوژیکی در کشورهای N-11 مشاهده کردند. در مقابل در کاهولی و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که در کشور عربستان سعودی بین ICT و کیفیت محیطی در کوتاه‌مدت رابطه منفی و معناداری وجود دارد. همچنین کاظم‌زاده و همکاران در سال ۲۰۲۳ تأثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات بر رد پای اکولوژیکی کشورهای درحال ظهور را مطالعه کردند. طبق این بررسی فناوری اطلاعات و ارتباطات اثر منفی و معنی‌داری بر رد پای اکولوژیکی دارد.

تفاوت مقالهٔ حاضر با مطالعات پیشین، این است که رابطهٔ فناوری اطلاعات و ارتباطات بر رد پای اکولوژیکی سرانه به‌صورت غیرخطی بررسی شده است. همچنین، متغیر فناوری اطلاعات و ارتباطات از روش مؤلفه اصلی به‌دست آمده است.

1. Kahouli et al. (2022)
2. Kazemzadeh et al. (2023)
3. Kongbuamai et al. (2022)

۴. روش شناسی پژوهش

در این بخش پژوهش، جهت بررسی تأثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات بر رد پای اکولوژیکی کشورهای منتخب صادرکننده نفت در بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۰ (با استفاده از حداکثر داده‌های موجود) مدل و متغیرهای آن معرفی می‌شود. این مدل (رابطه ۱) برگرفته از مبانی نظری و مطالعات پیشین مانند مطالعه هیگن و همکاران (۲۰۱۷) و چائلا و همکاران (۲۰۲۱) است. البته گفتنی است براساس جست‌وجوی نویسندگان، در مطالعات گذشته رابطه غیر خطی میان ICT و رد پای اکولوژیکی بررسی نشده است. به عبارتی در این مطالعه فرضیه منحنی زیست‌محیطی کوزنتس برای ICT بررسی و آزمون شده است.

$$EF_{it} = \alpha_i + \beta_1 EF_{it-1} + \beta_1 ICT_{it} + \beta_2 ICT_{it}^2 + \beta_3 GDPPC_{it} + \beta_4 FDB_{it} + \beta_5 ECI_{it} + \beta_6 UPOP_{it} + \beta_7 EX_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

که در آن:

EF_{it} : سرانه رد پای اکولوژیکی (هکتار جهانی به ازای هر نفر)، متغیر وابسته و برگرفته از داده‌های وبگاه رد پای اکولوژیکی جهانی^۱ است.

EF_{it-1} : وقفه اول متغیر وابسته.

ICT_{it} : شاخص فناوری اطلاعات و ارتباطات (ساخت شاخص ترکیبی فناوری اطلاعات و ارتباطات از طریق روش مؤلفه اصلی: خطوط تلفن ثابت به ازای صد نفر، اشتراک تلفن همراه به ازای صد نفر، کاربران اینترنت، مشترکان پهنای باند اینترنت ثابت به ازای هر صد نفر). این شاخص ترکیبی در این مطالعه محاسبه شده است.

ICT_{it}^2 : مجذور شاخص فناوری اطلاعات و ارتباطات که جهت بررسی رابطه غیرخطی فناوری اطلاعات و ارتباطات رد پای اکولوژیکی وارد مدل شد. براساس مطالعه هیگن و همکاران (۲۰۱۷) که در آن CO2 به عنوان شاخص زیست‌محیطی بوده است، انتظار بر این است که یک رابطه U معکوس بین ICT و رد پای اکولوژیکی وجود داشته باشد.

$GDPPC_{it}$: تولید ناخالص داخلی سرانه^۲ (برابری قدرت خرید، به قیمت ثابت ۲۰۱۷) برگرفته از داده‌های بانک جهانی. انتظار بر این است طبق مطالعه سیکدر و همکاران^۳ (۲۰۲۲) رابطه‌ای مستقیم بین این دو متغیر وجود داشته باشد. در واقع رشد اقتصادی (افزایش درآمد در مراحل اولیه رشد) با ایجاد آلودگی و تشدید تخریب محیط‌زیست همراه باشد.

1. <https://www.footprintnetwork.org/>

2. GDP per capita, PPP (constant 2017 international \$)

3. Sikder et al. (2022)

FDB_{it} : توسعه مالی^۱ (اعتبارات داخلی به بخش خصوصی توسط بانک‌ها (درصد تولید ناخالص داخلی)) برگرفته از داده‌های بانک جهانی. انتظار بر این است طبق مطالعه پارسا شریف و همکاران (۱۴۰۱)، رابطه‌ای مثبت بین توسعه مالی و رد پای اکولوژیکی وجود داشته باشد.

ECI_{it} : شاخص پیچیدگی اقتصادی^۲ برگرفته از داده‌های وبگاه اطلس پیچیدگی اقتصادی^۳. انتظار بر این است طبق مطالعه اکرام و همکاران (۲۰۲۱) افزایش پیچیدگی اقتصادی منجر به کاهش رد پای اکولوژیکی شود.

$UPOP_{it}$: رشد جمعیت شهری^۴ برگرفته از داده‌های بانک جهانی. با توجه به جی و همکاران (۲۰۲۳) انتظار بر آن است که رشد جمعیت بر رد پای اکولوژیکی اثر مثبت داشته باشد.

EX_{it} : صادرات کالاها و خدمات (درصدی از تولید ناخالص داخلی)^۵ برگرفته از داده‌های بانک جهانی. با توجه به مطالعه بوزنیت و پابلو رومرو^۶ (۲۰۱۶) انتظار بر آن است که صادرات باعث کاهش تخریب محیط زیست شود.

شانزده کشور منتخب صادرکننده نفت (اوپک و اوپک پلاس) مورد بررسی براساس حداکثر داده موجود شامل الجزایر، آنگولا، آذربایجان، بحرین، گینه استوایی، گابن، ایران، قزاقستان، کویت، مالزی، مکزیک، نیجریه، عمان، روسیه، عربستان سعودی و امارات متحده عربی می‌باشند. این بررسی برای دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۰ و برآورد مدل به روش گشتاورهای تعمیم‌یافته گسترش یافته توسط آرلانو و باند انجام گرفته است. قبل از برآورد الگو و ارائه آزمون‌های مرتبط با آن، توصیفی داده‌ای برای واکاوی بهتر متغیرها صورت می‌گیرد.

۵. آمار توصیفی متغیرهای پژوهش

جهت توصیف آماری، جدول (۱) ارائه شده است. براساس جدول (۱)، متوسط رد پای اکولوژیکی سرانه برای کشورهای مورد مطالعه ۴/۴۵ (هکتار جهانی به‌ازای هر نفر) بوده است. برای کشورهای بحرین، کویت، قزاقستان، عمان روسیه، عربستان سعودی و امارات متحده عربی ارقامی بالاتر از میانگین در پانل ثبت شده است. متوسط رد پای اکولوژیکی سرانه در دوره مورد بررسی برای ایران ۳/۱۷ هکتار جهانی بوده است. کمترین و بیشترین میانگین مقادیر مربوط به کشورهای نیجریه و

1. Domestic credit to private sector by banks (% of GDP)
2. Economic Complexity Index
3. The Atlas of Economic Complexity
4. Ikram et al. (2021)
5. Urban population growth (annual %)
6. Jie et al. (2023)
7. Exports of goods and services (current US\$)
8. Bouznit & Pablo-Romero (2016)

امارات متحده عربی بوده است. بنابراین می‌توان گفت نیجریه از نظر آلاینده‌گی در کشورهای مورد بررسی کمترین و امارات متحده عربی بیشترین نقش آفرینی را داشته‌اند.

متوسط تولید ناخالص داخلی سالانه سرانه (به هزار دلار، برابری قدرت خرید ۲۰۱۷) در کشورهای مورد بررسی ۲۷/۳۳ هزار دلار بوده است. متوسط تولید ناخالص داخلی سرانه کشورهای بحرین، کویت، عمان، عربستان سعودی، امارات متحده عربی بالاتر از متوسط گروه بوده است. براساس داده‌های استخراج‌شده از بانک جهانی، متوسط تولید ناخالص داخلی سرانه در دوره بررسی برای ایران ۱۴/۵۵ هزار دلار بوده است.

متوسط شاخص فناوری اطلاعات و ارتباطات در کشورهای مورد بررسی ۹۲/۹ بوده است. این عدد در کشورهای بحرین، قزاقستان، مالزی، کویت، عمان، روسیه، عربستان سعودی و امارات متحده عربی بالاتر از متوسط بوده است. متوسط شاخص ICT ایران معادل ۸۰/۶۱ بوده است.

متوسط صادرات کالاها و خدمات برای کشورهای مورد بررسی ۵۱/۱۸ درصد بوده است. کشورهای مالزی، کویت، گابن، گینه استوایی، مکزیک، عمان و امارات بیشتر از متوسط بوده است. متوسط صادرات برای ایران در دوره مورد مطالعه ۲۴/۲۳ درصد بوده است.

متوسط رشد جمعیت شهری برای کشورهای مورد بررسی ۳/۲۸ درصد بوده است. کشورهای آنگولا، بحرین، کویت، نیجریه، عمان و امارات بیشتر از متوسط بوده است. متوسط رشد جمعیت شهری برای ایران در دوره مورد ۲/۲۲ درصد بوده است.

جدول ۱: توصیف آماری متغیرهای الگو

	EF سرانه (هکتار جهانی به ازای هر نفر)	GDP سرانه (به هزار دلار)	ICT (شاخص ترکیبی محاسبه شده)	FDB توسعه مالی (درصدی از GDP)	ECI شاخص پنج‌جیدیگی اقتصادی	UPOP (رشد جمعیت شهری)	EX صادرات (درصدی از GDP)
میانگین	۴/۴۵۰	۲۷/۳۳۹	۹۲/۹۰۹	۴۱/۰۳۳	-۰/۶۱۶	۳/۲۸۵	۵۱/۱۸۲
میان	۳/۴۸۰	۲۱/۲۳۳	۹۶/۰۰۱	۳۴/۱	-۰/۶۸۴	۲/۶۴۱	۴۹/۴۹۲
بیشترین	۱۲/۵۱	۹۲/۳۲۳	۱۹۵/۱۴۵	۱۳۳/۸۳	۱/۳۹۳	۱۸/۵۸۰	۱۱۲/۱۸
کمترین	۰/۸۰	۴/۰۷۹	۸/۰۲۱	۲/۳۷۲	-۲/۶۹۵	-۱/۸۳۲	۸/۱۱۸
انحراف معیار	۲/۸۶	۱۸/۵۳۸	۴۳/۳۱	۳۰/۵۲۴	۰/۹۴۵	۲/۶۴۲	۲۲/۹۹
چولگی	۰/۷۵	۰/۹۹۶	-۰/۰۵۶۸	۱/۰۶۵۰	۰/۳۹۱	۲/۳۷۰	۰/۴۴۵
کشیدگی	۲/۶۳	۳/۲۸۲	۲/۱۶۶	۳/۴۸۵	۲/۳۳۷	۱۲/۴۲۸	۲/۴۴۹
Jarque-Bera	۲۳/۹۸	۴۰/۵۴۸	۷/۰۷۱	۴۵/۱۴	۱۰/۵۱۲	۱۱۱۳/۶۶	۱۰/۹۳
Prob...	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۲۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۴

(منبع: یافته‌های پژوهش)

۵ - ۱. شاخص فناوری اطلاعات و ارتباطات

در این مطالعه شاخص ترکیبی فناوری اطلاعات و ارتباطات محاسبه شده است که نوآوری مطالعه حاضر نسبت به سایر مطالعات انجام‌شده در ایران است. جهت محاسبه و سنجش کشورها براساس شاخص ترکیبی فناوری اطلاعات و ارتباطات، ابتدا آمار و اطلاعات لازم از بانک جهانی و اتحادیه بین‌المللی مخابرات (ITU) جمع‌آوری شد. پس از گردآوری و پردازش اطلاعات و داده‌های موردنیاز، در ساخت شاخص ICT از رویکردی مشابه با مطالعه لی و برهماسرین (۲۰۱۴) استفاده شده است. یکی از موارد نادیده‌انگاشته در مطالعات داخل این است که فناوری را با یک بعد آن مانند استفاده از اینترنت برآورد کرده‌اند، همانند مطالعه اصفهانی و همکاران (۱۴۰۱). اما این مطالعه به جای محدود کردن از معیارهای متنوع و جدید فناوری اطلاعات و ارتباطات استفاده می‌کند. شاخص ترکیبی ICT مورد استفاده در این مطالعه از هر دو مرحله توسعه ترکیب شده است: (۱) آمادگی ICT و (۲) استفاده و شدت ICT. شاخص‌های سنجش آمادگی ICT در این مطالعه شامل مشترکین تلفن ثابت به‌ازای هر صد نفر، اشتراک تلفن همراه به‌ازای هر صد نفر و رایانه شخصی است. کاربران اینترنت به‌ازای هر صد نفر و مشترکین اینترنت پهن‌بند ثابت به‌ازای هر صد نفر به‌عنوان پروکسی برای استفاده شدت فناوری اطلاعات و ارتباطات است. برای ساخت شاخص ترکیبی با ترکیب هر دو مرحله توسعه فناوری اطلاعات و ارتباطات، میانگین نمرات چهار شاخص، شاخص ICT است که با استفاده از نفوذ تلفن همراه (اشتراک‌های تلفن همراه)، نفوذ اینترنت (کاربران انفرادی اینترنت) و اشتراک تلفن ثابت محاسبه می‌شود. برای ساختن یک شاخص از تحلیل مؤلفه اصلی استفاده شد. چهار متغیر ذکرشده با استفاده از PCA به جای استفاده جداگانه در یک شاخص ترکیب می‌شوند. این رویکردی مفید برای درک بهتر تأثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات و پیشنهاد سیاست‌های کاربردی است.

۵ - ۲. بررسی سایر متغیرها در کشورهای منتخب اوپک و اوپک پلاس

میانگین سرانه رد پای اکولوژیکی در کشورهای منتخب صادرکننده نفت در جدول (۲) ارائه شده است. طبق این جدول، امارات متحده عربی با عدد ۹/۷۸ (بر حسب هکتار جهانی به‌ازای هر نفر) بالاترین میانگین سرانه رد پای اکولوژیکی را دارد. بحرین با عدد ۹/۰۳ هکتار سرانه در رتبه دوم و کشور کویت با میانگین ۸/۶۹ هکتار سرانه در جایگاه سوم قرار دارد. نیجریه از نظر میانگین سرانه رد پای اکولوژیکی با عدد ۰/۹۹ هکتار سرانه در پایین‌ترین رتبه قرار می‌گیرد. ایران در این بررسی با میانگین ۳/۱۷ هکتار سرانه رتبه نهم را دارد.

جدول (۲) همچنین نشان‌دهنده متوسط تولید ناخالص داخلی سرانه (بر حسب برابری قدرت خرید، به قیمت ثابت ۲۰۱۷) در کشورهای منتخب صادرکننده نفت در بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۰ می‌باشد. براساس این جدول، امارات با میانگین ۶۷/۸۹ هزار دلار بالاترین میانگین تولید سرانه را در بین کشورهای مورد مطالعه دارا می‌باشد. کویت و بحرین به ترتیب در جایگاه دوم و سوم قرار دارند. ایران در این بررسی با میانگین ۱۴/۵۵ هزار دلار رتبه یازدهم را در بین سایر کشورها دارد.

براساس این جدول، مکزیک با میانگین ۱/۲۶ بالاترین میانگین شاخص پیچیدگی اقتصادی را در بین کشورهای مورد مطالعه دارد. کشورهای مالزی و روسیه به ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۰۷ در رتبه دوم و سوم قرار دارند. ایران در این بررسی با میانگین ۰/۶۳- در جایگاه نهم قرار دارد. همچنین طبق بررسی، مالزی با میانگین ۱۱۴/۶۴ درصد در رتبه اول توسعه مالی قرار دارد. کشورهای کویت و امارات متحده عربی به ترتیب با میانگین ۷۸/۶۱ و ۶۹/۷ در جایگاه دوم و سوم قرار دارند. ایران در این بررسی با میانگین ۴۹/۷۷ رتبه پنجم را در بین سایر کشورها دارا می‌باشد.

جدول (۲) همچنین نشان‌دهنده متوسط تولید ناخالص داخلی سرانه (بر حسب برابری قدرت خرید، به قیمت ثابت ۲۰۱۷) در کشورهای منتخب صادرکننده نفت در بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۰ می‌باشد. براساس این جدول، امارات با میانگین ۶۷/۸۹ هزار دلار بالاترین میانگین تولید سرانه را در بین کشورهای مورد مطالعه دارد. کویت و بحرین به ترتیب در جایگاه دوم و سوم قرار دارند. ایران در این بررسی با میانگین ۱۴/۵۵ هزار دلار رتبه یازدهم را در بین سایر کشورها دارا می‌باشد.

براساس این جدول، مکزیک با میانگین ۱/۲۶ دارای بالاترین میانگین شاخص پیچیدگی اقتصادی در بین کشورهای مورد مطالعه است. کشورهای مالزی و روسیه به ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۰۷ رتبه دوم و سوم را در بین سایر کشورها دارند. ایران در این بررسی با میانگین ۰/۶۳- در جایگاه نهم قرار دارد. همچنین طبق بررسی، مالزی با میانگین ۱۱۴/۶۴ درصد در رتبه اول توسعه مالی قرار دارد. کشورهای کویت و امارات متحده عربی به ترتیب با میانگین ۷۸/۶۱ و ۶۹/۷ در جایگاه دوم و سوم قرار دارند. ایران در این بررسی با میانگین ۴۹/۷۷ رتبه پنجم را در بین سایر کشورها دارا می‌باشد.

جدول ۲: میانگین رد پای اکولوژیکی، تولید سرانه، شاخص پیچیدگی اقتصادی و توسعه مالی طی دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۰

نام کشور	میانگین EF سرانه (بر حسب هکتار جهانی)	میانگین GDP سرانه (به هزار دلار)	میانگین پیچیدگی اقتصادی	میانگین توسعه مالی (درصدی از GDP)
الجزایر	۲/۳۰۱	۱۱/۲۶۶	-۱/۳۱۵	۱۸/۷۳۸
آنغولا	۱/۰۷۷	۷/۴۱۶	-۱/۶۶۲	۱۶/۶۹۲
آذربایجان	۲/۱۶۹	۱۳/۶۳۳	-۱/۲۹۰	۲۱/۹۳۹
بحرین	۹/۰۳۸	۴۷/۶۷۱	۰/۰۱۱	۶۴/۷۴۴
گینه استوایی	۱/۸۶۳	۲۶/۳۳۸	-۱/۶۰۸	۸/۶۷۶۲
گابن	۲/۳۰۷	۱۴/۲۶۹	-۱/۳۷۰	۱۱/۵۴۶
ایران	۳/۱۷۲	۱۴/۵۵۶	-۰/۶۳۳	۴۹/۷۷۳
قزاقستان	۴/۷۶۱	۲۲/۷۴۱	-۰/۵۵۸	۳۶/۰۳۹
مالزی	۴/۱۷۳	۲۲/۶۹۶	۰/۹۸۵	۱۱۴/۶۴
مکزیک	۲/۸۴۸	۱۸/۹۵۹	۱/۲۶۳	۲۲/۱۰۳
کویت	۸/۶۹۱	۵۸/۷	-۱/۰۸۱	۷۸/۶۱۰
نیجریه	۰/۹۹۰	۴/۹۱۰	-۱/۸۲۲	۱۲/۷۹۰
عمان	۶/۴۶۱	۳۶/۸۸۴	-۰/۶۲۳	۴۸/۷۵۰
روسیه	۵/۸۶۱	۲۵/۱۹۲	۰/۰۷	۴۷/۴۳۰
عربستان سعودی	۵/۶۹۸	۴۴/۲۹۳	-۰/۰۷۳	۴۳/۰۱۹
امارات متحده عربی	۹/۷۸۹	۶۷/۸۹۴	-۰/۱۴۸	۶۹/۷۰۸
رتبه ایران	نهم	یازدهم	نهم	پنجم

(مأخذ: محاسبات تحقیق)

۶. برآورد الگو و ارائه نتایج

در داده‌های تابلویی، فرض بر این است که داده‌های مورد استفاده استقلال مقطعی دارند؛ پیش فرضی که می‌تواند برقرار نباشد. در این صورت نسل اول آزمون‌های ریشه واحد (مانند لوین، لین و چو، و ایم، پسران و شین) از اعتبار لازم برخوردار نیستند. بنابراین در داده‌های تابلویی، ابتدا لازم است وابستگی یا استقلال مقطعی آزمون شود. آزمون‌های متفاوتی وجود دارد که در این مطالعه از آزمون وابستگی مقطعی پسران (۲۰۰۳) استفاده شده است. با توجه نتایج آزمون وابستگی مقطعی مندرج در جدول (۳)، فرضیه صفر مبنی بر عدم وجود وابستگی مقطعی رد و فرضیه مقابل پذیرفته می‌شود؛ یعنی متغیرهای مطالعه دارای وابستگی مقطعی هستند.

جدول ۳: آزمون وابستگی مقطعی پسران (۲۰۰۳)

متغیر	آماره	احتمال
رد پای اکولوژیکی سرانه	۳/۶۶۷	۰/۰۰۰۲
فناوری اطلاعات و ارتباطات	۳۷/۹۴۷	۰/۰۰۰۰
تولید ناخالص داخلی سرانه	۵/۳۴۷	۰/۰۰۰۰
توسعه مالی	۱۷/۵۲۱	۰/۰۰۰۰
پیچیدگی اقتصادی	۵/۲۳۴	۰/۰۰۰۰
رشد جمعیت شهری	۱۸/۱۵۹	۰/۰۰۰۰
صادرات کالاها و خدمات	۱۵/۵۵۵	۰/۰۰۰۰

(منبع: یافته‌های پژوهش)

برای اجتناب از مشکل رگرسیون کاذب، آزمون ریشه‌واحد پسران و آزمون هم‌انباشتگی کائو برای متغیرهای الگو انجام گرفت که نتایج آن در جدول‌های (۴) و (۵) ارائه شده است. با توجه به جدول (۴)، همه متغیرها به‌جز متغیر فناوری اطلاعات و ارتباطات در سطح نامانا هستند.

جدول ۴: آزمون ریشه‌واحد پسران (۲۰۰۷)

متغیر	آماره	احتمال
رد پای اکولوژیکی	-۲/۳۲۷۷۰	$>= 0/10$
فناوری اطلاعات و ارتباطات	-۳/۲۱۳۷۲	$< 0/10$
تولید ناخالص داخلی سرانه	-۱/۶۲۱۰۳	$>= 0/10$
توسعه مالی	-۱/۶۱۹۰۷	$>= 0/10$
پیچیدگی اقتصادی	-۲/۴۸۰۶۳	$>= 0/10$
رشد جمعیت شهری	-۲/۲۲۴۱۵	$>= 0/10$
صادرات کالاها و خدمات	-۱/۹۱۱۴۳	$>= 0/10$

(منبع: یافته‌های پژوهش)

نتایج حاصل از آزمون‌های هم‌انباشتگی در جدول (۵)، آزمون کائو (۱۹۹۹) نشان می‌دهد میان متغیرها رابطه هم‌انباشتگی وجود دارد. می‌توان نتیجه گرفت میان متغیرهای الگو هم‌انباشتگی و رابطه بلندمدت وجود دارد. بنابراین، احتمال برآورد با مشکل رگرسیون جعلی وجود نخواهد داشت.

جدول ۵: آزمون هم‌انباشتگی میان متغیرها

آزمون هم‌انباشتگی	آماره	احتمال
آزمون کائو (براساس انگل-گرنجر)	-۶/۱۰۲	۰/۰۰۰۰

(منبع: یافته‌های پژوهش)

نتایج حاصل از برآورد الگوی مورد مطالعه برای کشورهای مورد بررسی طی دوره ۲۰۰۶-۲۰۲۰ با استفاده از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته در جدول (۶) ارائه شده است. آزمون‌های سارگان، آزمون آرلانو - باند و آزمون والد به ترتیب برای بررسی اعتبار ابزارها، همبستگی پسماند مرتبه دوم ($AR(2)$) و معنی‌داری کلی برآورد، درستی نتایج الگوی برآوردشده را تأیید می‌کنند.

نتایج برآورد الگوی پژوهش نشان می‌دهد به‌جز متغیر رشد جمعیت شهری، حضور متغیرها در سطح معنی‌داری ۵ درصد تأیید می‌شود. سطح معنی‌داری برای متغیر رشد جمعیت شهری ۱۰ درصد بوده است. طبق بررسی متغیر فناوری اطلاعات و ارتباطات رابطه مثبت و مجذور آن رابطه منفی و معنی‌دار با رد پای اکولوژیکی سرانه دارد. به عبارتی ارتباط ICT با رد پای اکولوژیکی به صورت U معکوس است. بنابراین در کشورهای منتخب صادرکننده نفت وجود یک رابطه غیرخطی بین فناوری اطلاعات و ارتباطات و رد پای اکولوژیکی سرانه را نمی‌توان رد کرد. این رابطه غیرخطی بدین مفهوم است که در ابتدا افزایش ICT موجب افزایش رد پای اکولوژیکی می‌شود، اما پس از رسیدن به سطح آستانه توسعه فناوری اطلاعات و ارتباطات، رد پای اکولوژیکی شروع به کاهش می‌کند. این نتیجه با نتایج مطالعات هیگون و همکاران (۲۰۱۷) و احمد و لی (۲۰۲۱) که در رابطه با انتشار CO_2 کار شده همسو است. بنابراین انتظار بر این است که گسترش ICT بعد از عبور از سطح آستانه به کاهش انتشار رد پای اکولوژیکی کمک کند.

ضریب مثبت و معنی‌دار تولید ناخالص داخلی سرانه نشان‌دهنده افزایش رد پای اکولوژیکی سرانه به‌ازای افزایش تولید سرانه در کشورهای مورد مطالعه است. در واقع آلودگی به‌ازای افزایش درآمد روند صعودی داشته است. اندازه این ضریب نشان می‌دهد اگر تولید ناخالص داخلی سرانه هزار دلار افزایش یابد، رد پای اکولوژیکی سرانه به اندازه ۰/۰۷۸ هکتار افزایش می‌یابد. این نتیجه با نتایج مطالعه پارسا شریف و همکاران (۱۳۹۹) همسو است.

ضریب مثبت و معنی‌دار توسعه مالی (اعتبارات داخلی به بخش خصوصی توسط بانک‌ها (درصد تولید ناخالص داخلی)) نشان‌دهنده افزایش رد پای اکولوژیکی سرانه به‌ازای افزایش توسعه مالی در کشورهای مورد مطالعه است. اندازه این ضریب نشان می‌دهد اگر توسعه مالی یک درصد افزایش یابد، رد پای اکولوژیکی سرانه به اندازه ۰/۰۱۵ هکتار افزایش می‌یابد. این نتیجه با نتایج مطالعه پارسا شریف و همکاران (۱۳۹۹) همسو است.

ضریب منفی و معنی‌دار شاخص پیچیدگی اقتصادی نشان‌دهنده کاهش رد پای اکولوژیکی سرانه به‌ازای افزایش پیچیدگی اقتصادی است. طبق برآورد، اگر پیچیدگی اقتصادی یک واحد افزایش یابد، رد پای اکولوژیکی سرانه به اندازه ۰/۲۹ هکتار کاهش می‌یابد. این نتیجه با نتایج مطالعه سپهوند و همکاران (۱۳۹۹) همسو است.

سهم صادرات کالاها و خدمات از تولید داخلی اثر منفی و معنی‌دار با رد پای اکولوژیکی دارد. با یک درصد افزایش در صادرات کالا و خدمات با فرض ثبات سایر شرایط انتظار می‌رود رد پای اکولوژیکی سرانه در کشورهای مورد مطالعه ۰/۰۱۲ هکتار کاهش پیدا می‌یابد. این نتیجه با مطالعه رحمان و ولایوتم (۲۰۲۲) همسو است.

رشد جمعیت شهری اثری مثبت و معنی‌دار با رد پای اکولوژیکی دارد. با یک درصد افزایش در رشد جمعیت شهری، انتظار می‌رود رد پای اکولوژیکی سرانه در کشورهای منتخب صادرکننده نفت ۰/۰۴ هکتار افزایش یابد. این نتیجه با مطالعه اتحاد (۱۳۹۶) همسو است.

جدول ۶: نتایج برآورد الگوی مطالعه با روش گشتاورهای تعمیم‌یافته

متغیر	ضرایب	آماره	احتمال
<i>EF(-I)</i>	۰/۱۳۳۵۴۹	۱/۹۰۶۲۴۵	۰/۰۵۸۲
<i>ICT</i>	۰/۰۲۳۷۲۶	۲/۹۱۱۴۵۳	۰/۰۰۴۰
<i>ICT²</i>	-۰/۰۰۰۱۶۰	-۴/۷۰۶۵۰۱	۰/۰۰۰۰
<i>GDPPC</i>	۰/۰۷۸۱۵۶	۳/۹۳۸۸۴۵	۰/۰۰۰۱
<i>FDB</i>	۰/۰۱۵۰۷۹	۲/۴۳۴۲۵۴	۰/۰۱۵۹
<i>ECI</i>	-۰/۲۹۶۷۴۳	-۷/۱۷۶۰۶۴	۰/۰۰۰۰
<i>UPOP</i>	۰/۰۴۰۵۲۱	۲/۴۲۲۸۴۸	۰/۰۹۲۸
<i>EX</i>	-۰/۰۱۲۰۷۵	-۱/۶۸۹۳۱۹	۰/۰۱۶۴
آماره سازگان			
آزمون آرانو - باند (AR(2))			
		-۰/۰۳۸۰۶۲	۰/۹۶۹۶
آزمون والد (کای دو)			
		۸۰۰۲/۶۵۲	۰/۰۰۰۰

(منبع: یافته‌های پژوهش)

۷. بحث و نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف بررسی اثر فناوری اطلاعات و ارتباطات، تولید سرانه، پیچیدگی اقتصادی، توسعه مالی، رشد جمعیت شهری و صادرات کالاها و خدمات بر رد پای اکولوژیکی سرانه، با استفاده از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته در شانزده کشور صادرکننده نفت طی دوره ۲۰۰۶-۲۰۲۰ انجام شده است.

براساس آمار توصیفی داده‌های متغیرهای مورد پژوهش، کشورهای بحرین، امارات متحده عربی، کویت و عربستان سعودی در شاخص ICT و میانگین دوره بررسی بالاتر از سایر کشورها بودند، اما ایران با توجه به سرعت گسترش فناوری، در سال ۲۰۲۰ بعد از کویت، در جایگاه چهارم قرار گرفت. در ارتباط با سرانه رد پای اکولوژیکی امارات متحده عربی، بحرین و کویت در جایگاه اول تا سوم بودند. میانگین درآمد سرانه کشورهای بحرین، کویت، عمان، عربستان سعودی و امارات متحده عربی بالاتر از متوسط گروه بوده است. در ارتباط با پیچیدگی اقتصادی، ایران بعد از کشور عمان در رتبه نهم از بین شانزده کشور مورد بررسی قرار دارد.

جهت برآورد الگوی تحقیق، برگرفته از مبانی نظری و مطالعات پیشین، در ابتدا وابستگی مقطعی داده‌ها با آزمون وابستگی مقطعی پسران (۲۰۰۳) بررسی شد. با توجه به وجود وابستگی مقطعی، جهت بررسی مانایی متغیرها از آزمون ریشه‌واحد پسران (۲۰۰۷) استفاده شد. به دلیل وجود متغیرهای مانا و نامانا، هم‌انباشتگی میان متغیرها با استفاده از آزمون هم‌انباشتگی کائو (۱۹۹۹) برای اجتناب از رگرسیون جعلی بررسی شد. بعد از تأیید هم‌انباشتگی متغیرها، الگوی مطالعه با استفاده از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته برآورد گردید. براساس نتایج حاصل از برآورد، در کشورهای منتخب صادرکننده نفت، وجود رابطه‌ای غیرخطی به صورت U معکوس میان شاخص فناوری اطلاعات و ارتباطات و رد پای اکولوژیکی سرانه را نمی‌توان رد کرد. یعنی در ابتدا افزایش شاخص ICT یا به عبارت دیگر فناوری اطلاعات و ارتباطات موجب افزایش سرانه رد پای اکولوژیکی می‌شود. اما پس از رسیدن به نقطه آستانه متوسط سالانه حدود ۷۴/۱۴ (که از مشتق متغیر وابسته نسبت به ICT محاسبه گردید)، شروع به کاهش می‌کند. با توجه به میانگین سرانه پانل ۹۲/۹۰ و میانه ۹۶ می‌توان اظهار کرد که ۲۵ درصد کشورها هنوز به سطح آستانه نرسیده‌اند و انتظار بر این است که گسترش و توسعه ICT برای این کشورها منجر به افزایش آلودگی شود. از آنجا که کشورهای امارات متحده عربی، عربستان سعودی، روسیه، عمان، مالزی، آذربایجان، گابن، ایران، کویت، قزاقستان و بحرین از مقدار آستانه عبور کرده‌اند انتظار می‌رود که گسترش ICT به کاهش سرانه رد پای اکولوژیکی در این کشورها کمک کند. با توجه به نتیجه حاصل توصیه می‌شود عنایت ویژه‌ای به تکنولوژی‌های پاک و کمتر آلاینده در فرایند انتقال تکنولوژی در دستور کار قرار گیرد.

ضریب مثبت و معنی‌دار تولید ناخالص داخلی سرانه نشان‌دهنده افزایش رد پای اکولوژیکی سرانه به‌زای افزایش تولید ناخالص داخلی سرانه است. این نتیجه حاکی از آن است که فعالیت‌های اقتصادی مانند صنعتی‌سازی و توسعه باعث بهره‌برداری از منابع طبیعی می‌شود که آلودگی بیشتری ایجاد می‌کند و البته براساس مطالعه لی و بره‌ماسرین (۲۰۱۴) رشد اقتصادی منجر به افزایش تقاضا برای کالاها و خدمات فناوری اطلاعات و ارتباطات می‌شود که به معنای مصرف بیشتر برق و افزایش انتشار

CO2 و رد پای اکولوژیکی است. توصیه می‌شود دولت‌ها با اختصاص بخشی از درآمدهای حاصل از صادرات نفت به حمایت از محیط‌زیست و کنترل آلودگی بپردازند. از جمله راهکارهای دیگر واقعی‌سازی قیمت حامل‌های انرژی و نیز وضع عوارض و مالیات‌های زیست‌محیطی بر مصارف غیرمجاز آن می‌باشد.

توسعه مالی اثر مثبت و معنی‌دار بر رد پای اکولوژیکی داشته است. یعنی توسعه مالی باعث تخریب محیط زیست در منطقه شده است که نشان می‌دهد کشورهای منتخب اوپک و اوپک پلاس از توسعه مالی برای سرمایه‌گذاری بیشتر استفاده کرده‌اند و نه برای بهبود فناوری. برای جلوگیری از تأثیر مخرب توسعه مالی بر محیط زیست، دولت‌ها در کشورهای منتخب صادرکننده نفت باید بازارهای مالی را به گونه‌ای توسعه دهند که منابع مالی برای سرمایه‌گذاری در پروژه‌هایی که به معرفی فناوری‌های انرژی پاک کمک می‌کند تخصیص یابد.

شاخص پیچیدگی اقتصادی اثری منفی و معنی‌دار بر رد پای اکولوژیکی سرانه داشته است. در واقع گسترش پیچیدگی اقتصادی در کشورهای مورد مطالعه منجر به کاهش رد پای اکولوژیکی خواهد شد. با توجه به نتیجه به دست آمده می‌توان شاخص پیچیدگی اقتصادی را یکی از عوامل کنترل رد پای اکولوژیکی در نظر گرفت. بنابراین تولید بیشتر کالاها پیچیده که فناوری بالاتری را در خود نهفته دارد، می‌تواند به کاهش مصرف انرژی و رد پای اکولوژیکی منجر شود؛ از این رو، دولت‌ها می‌توانند با انجام معافیت‌های مالیاتی و اعطای یارانه برای آن دسته از شرکت‌هایی که از تکنولوژی جدید و انرژی پاک استفاده می‌کنند و همچنین حمایت از محصولات دانش‌بنیان و برطرف کردن موانع صادرات این کالاها، در جهت کاهش آلودگی زیست‌محیطی و کاهش خطرات ناشی از آن گام بردارند. همچنین، افزایش کارایی انرژی و استفاده از انرژی‌های پاک با توجه به اثری که بر کاهش شدت انرژی دارد باید در راستای کاهش رد پای اکولوژیکی مدنظر قرار گیرد.

اثر صادرات کالاها و خدمات بر رد پای اکولوژیکی منفی و معنی‌دار بوده است. با توجه به مطالعه دوگان و همکاران (۲۰۲۰) اهمیت کیفیت محصولات صادراتی و تنوع آن در زمینه تخریب محیط زیست هنوز به طور گسترده مورد توجه قرار نگرفته است. در واقع باید بهبود کیفیت محصولات صادراتی از طریق تولید محصولات پاک‌تر در کشورهای با سطوح متفاوت درآمدی در اولویت قرار گیرد. همچنین باید در کل مصرف انرژی در کشورها کاهش یابد. به‌ویژه، سیاست‌گذاران باید با اولویت دادن و تشویق به استفاده بیشتر از منابع انرژی تجدیدپذیر و نیز کاهش محصولات صادراتی با انرژی سوخت فسیلی به افزایش کیفیت محیط زیست کمک کنند.

اثر رشد جمعیت شهری بر رد پای اکولوژیکی در سطح معناداری ده درصد مثبت و معنی‌دار بوده است. در واقع رشد بی‌رویه جمعیت، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، باعث ایجاد مشکلات جدی

از جمله کمبود مواد غذایی، کیفیت پایین هوا و آب، آلودگی محیط زیست، تخریب ساختار اکولوژیکی، مشکلات دفع زباله و مصرف بالای انرژی می‌شود. از جمله راهکارها در این زمینه می‌توان به تصحیح الگوی مصرف انرژی، آگاهی بخشی به نسل آینده، تغییر در سبک زندگی و تغییر در شیوه‌های سنتی کشاورزی در جهت حفظ منابع زیست‌محیطی اشاره کرد. در نهایت از محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌توان به در دسترس نبودن برخی از داده‌ها در کشورهای مورد مطالعه اشاره کرد.

References

- Abid, N., Wu, J., Ahmad, F., Draz, M. U., Chandio, A. A., & Xu, H. (2020). Incorporating environmental pollution and human development in the energy-growth nexus: a novel long run investigation for Pakistan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(14), 5154.
- Aghahosseini, A., Bogdanov, D., & Breyer, C. (2020). Towards sustainable development in the MENA region: Analysing the feasibility of a 100% renewable electricity system in 2030. *Energy Strategy Reviews*, 28, 100466.
- Ahmed, U., & ArshadKhan, M. (2009). Energy demand in Pakistan: A disaggregate analysis. *The Pakistan Development Review*, 47(4), 437-455.
- Ahmed, Z., & Le, H. P. (2021). Linking Information Communication Technology, trade globalization index, and CO2 emissions: evidence from advanced panel techniques. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(7), 8770-8781.
- Al-Mulali, U., Weng-Wai, C., Sheau-Ting, L., & Mohammed, A. H. (2015). Investigating the environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis by utilizing the ecological footprint as an indicator of environmental degradation. *Ecological indicators*, 48, 315-323.
- Amri, F., Zaied, Y. B., & Lahouel, B. B. (2019). ICT, total factor productivity, and carbon dioxide emissions in Tunisia. *Technological Forecasting and Social Change*, 146, 212-217.
- Asongu, S. A. (2018). ICT, openness and CO 2 emissions in Africa. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 9351-9359.
- Atsu, F., Adams, S., & Adjei, J. (2021). ICT, energy consumption, financial development, and environmental degradation in South Africa. *Heliyon*, 7(7), 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.
- Balsalobre-Lorente, D., Ibáñez-Luzón, L., Usman, M., & Shahbaz, M. (2022). The environmental Kuznets curve, based on the economic complexity, and the pollution haven hypothesis in PIIGS countries. *Renewable Energy*, 185, 1441-1455.
- Bekaroo, G., Bokhoree, C., & Pattinson, C. (2016). Impacts of ICT on the natural ecosystem: A grassroot analysis for promoting socio-environmental sustainability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 1580-1595.
- Bieser, J. C., & Hilty, L. M. (2018). Assessing indirect environmental effects of information and communication technology (ICT): A systematic literature review. *Sustainability*, 10(8), 2662.
- Bouznit, M., & Pablo-Romero, M. D. P. (2016). CO2 emission and economic growth in Algeria. *Energy Policy*, 96, 93-104.
- Caglar, A. E., Mert, M., & Boluk, G. (2021). Testing the role of information and communication technologies and renewable energy consumption in ecological footprint quality: Evidence from world top 10 pollutant footprint countries. *Journal of Cleaner Production*, 298, 126784.

- Da Silva, J. M. C., Li, H., & Barbosa, L. C. F. (2020). The ecological intensity of human well-being at the local level. *Environmental and Sustainability Indicators*, 8, 100061.
- Destek, M. A., Ulucak, R., & Dogan, E. (2018). Analyzing the environmental Kuznets curve for the EU countries: the role of ecological footprint. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 29387-29396.
- Dizji, M., Badri, B. Bookstore, A. & Sokhnoor, B. (2013). investigation of the use of information and communication technology on the quality of the environment. the first national conference on environmental protection and planning, Hamedan. [In Persian]
- Dogan, E., Ulucak, R., Kocak, E., & Isik, C. (2020). The use of ecological footprint in estimating the environmental Kuznets curve hypothesis for BRICST by considering cross-section dependence and heterogeneity. *Science of the Total Environment*, 723, 138063.
- Esfahani, Qabadi, Azarbajjani & Karim. (1401). Analysis of the relationship between economic growth, energy consumption and ecological footprint in a selection of developed and developing countries. *Economic research (sustainable growth and development)*, 86(22), 203-232. [In Persian]
- Etehad, F. (2016). *Examining the environmental hypothesis of Kuznets (EKC) in Iran using the ecological footprint index as an indicator of environmental quality*. Master's thesis. Islamic Azad University, Shahriar branch. [In Persian]
- Fallahi, F., Sojudi, S., & Mamipours, S. (2012). The Impact of Information and Communication Technology (ICT) on the Environmental Quality in Iran. *Iranian Energy Economics*, 1(2), 149-171. [In Persian]
- Fotros, M. H., (2006). *Discussions on environmental economics (collection of articles)*. Hamedan, Bo Ali Sina University Press. [In Persian]
- Gorus, M. S., & Aydin, M. (2019). The relationship between energy consumption, economic growth, and CO2 emission in MENA countries: Causality analysis in the frequency domain. *Energy*, 168, 815-822.
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). Environmental impacts of a North American free trade agreement.
- Haldar, A., & Sethi, N. (2022). Environmental effects of Information and Communication Technology-Exploring the roles of renewable energy, innovation, trade and financial development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 153, 111754.
- Hausmann, R., Hidalgo, C. A., Bustos, S., Coscia, M., & Simoes, A. (2014). *The atlas of economic complexity: Mapping paths to prosperity*. Mit Press.
- Hidalgo, C. A. (2009). The dynamics of economic complexity and the product space over a 42 year period. *CID Working Paper Series*.
- Hidalgo, C. A., & Hausmann, R. (2009). The building blocks of economic complexity. *Proceedings of the national academy of sciences*, 106(26), 10570-10575.
- Higón, D. A., Gholami, R., & Shirazi, F. (2017). ICT and environmental sustainability: A global perspective. *Telematics and Informatics*, 34(4), 85-95.

- Ikram, M., Xia, W., Fareed, Z., Shahzad, U., & Rafique, M. Z. (2021). Exploring the nexus between economic complexity, economic growth and ecological footprint: Contextual evidences from Japan. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47, 101460.
- Jafari-parvizkhanlou, K., Paytkhati Oskoei, S. A., & Azali, R. (2021). Investigating the Impact of ICT and Economic Growth on Environmental Pollution: Case Study of Persian Gulf Countries. *The Journal of Economic Studies and Policies*, 8(1), 111-138. [In Persian]
- Jie, H., Khan, I., Alharthi, M., Zafar, M. W., & Saeed, A. (2023). Sustainable energy policy, socio-economic development, and ecological footprint: The economic significance of natural resources, population growth, and industrial development. *Utilities Policy*, 81, 101490.
- Kahouli, B., Hamdi, B., Nafla, A., & Chabaane, N. (2022). Investigating the relationship between ICT, green energy, total factor productivity, and ecological footprint: Empirical evidence from Saudi Arabia. *Energy Strategy Reviews*, 42, 100871.
- Kazemzadeh, E., Fuinhas, J. A., Salehnia, N., & Osmani, F. (2023). The effect of economic complexity, fertility rate, and information and communication technology on ecological footprint in the emerging economies: A two-step stirpat model and panel quantile regression. *Quality & Quantity*, 57(1), 737-763.
- Khan, N., Baloch, M. A., Saud, S., & Fatima, T. (2018). The effect of ICT on CO2 emissions in emerging economies: does the level of income matters?. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(23), 22850-22860.
- Khan, M.A., Ozturk, I., 2020. Examining foreign direct investment and environmental pollution linkage in Asia. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(7), 7244-7255.
- Kim, S. (2022). The Effects of Information and Communication Technology, Economic Growth, Trade Openness, and Renewable Energy on CO2 Emissions in OECD Countries. *Energies*, 15(7), 2517.
- Lee, J. W., & Brahmasrene, T. (2014). ICT, CO2 emissions and economic growth: evidence from a panel of ASEAN. *Global Economic Review*, 43(2), 93-109.
- Li, J., Gong, Y., & Jiang, C. (2022). Spatio-temporal differentiation and policy optimization of ecological well-being in the Yellow River Delta high-efficiency eco-economic zone. *Journal of Cleaner Production*, 339, 130717.
- Mashayekhi, B., Hojhabr kiani, K., Khalili, F., & Asgari, F. (2021). The Effect of Information and Communication Technology and Foreign Direct Investment on Green Productivity in Iran. *Journal of Environmental Science and Technology*, 23(1), 253-266. [In Persian]
- Mehmood, U., Agyekum, E. B., Kotb, H., Milyani, A. H., Azhari, A. A., Tariq, S., ... & Velkin, V. I. (2022). Exploring the Role of Communication Technologies, Governance, and Renewable Energy for Ecological Footprints in G11 Countries: Implications for Sustainable Development. *Sustainability*, 14(19), 12555.

- Molaei, M., & Basharat, E. (2015). Investigating Relationship between Gross Domestic Product and Ecological Footprint as an Environmental Degradation Index. *Journal of Economic Research (Tahghighat- E- Eghtesadi)*, 50(4), 1017-1033. [In Persian]
- Molaei, M., Besharat, E., & Mohammadi, M. (2020). Factors Affecting the Consumption of Ecological Resources in Iran Using Economic Approach. *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(8), 377-388. [In Persian]
- Monfreda, C., Wackernagel, M., & Deumling, D. (2004). Establishing national natural capital accounts based on detailed ecological footprint and biological capacity assessments. *Land use policy*, 21(3), 231-246.
- N'dri, L. M., Islam, M., & Kakinaka, M. (2021). ICT and environmental sustainability: any differences in developing countries? . *Journal of Cleaner Production*, 297, 126642.
- Neagu, O., & Teodoru, M. C. (2019). The relationship between economic complexity, energy consumption structure and greenhouse gas emission: heterogeneous panel evidence from the EU countries. *Sustainability*, 11(2), 497.
- Parvin shoar Gangachin, F., Hekmati Farid, S., Zonouzi, J. (2015). *The Effect of Information and Communication Technology (ICT) on environmental quality in MENA Countries*. Master's thesis. Urmia University. [In Persian].
- Parsasharif, H., AmirNejad, H., & Taslimi, M. (2021). Investigating and Determining the Factors Affecting the Ecological Footprint of Selected Asian and European Countries. *Agricultural Economics Research*, 13(2), 155-172. [In Persian]
- Pouri, M. J., & Hilty, L. M. (2018). ICT-enabled sharing economy and environmental sustainability—a resource-oriented approach. In *Advances and New Trends in Environmental Informatics* (pp. 53-65). Springer, Cham.
- Raheem, I. D., Tiwari, A. K., & Balsalobre-Lorente, D. (2020). The role of ICT and financial development in CO2 emissions and economic growth. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(2), 1912-1922.
- Rahman, M. M., Alam, K., & Velayutham, E. (2022). Reduction of CO2 emissions: The role of renewable energy, technological innovation and export quality. *Energy Reports*, 8, 2793-2805.
- Saadi Poor, A., Damankeshideh, M., Shojayi, M. (2012). *The analysis of impact of information and communication technology on CO2 emission; Across-country study*. Master's thesis. Islamic Azad University. [In Persian].
- Sepahvand, R., Sayehmiri, A., & Shirkhani, A. (2021). The Impact of Economic Complexity on Environmental Performance in the MENA Countries. *The Economic Research*, 21(3), 10-10.[In Persian]
- Shabani, Z. D., & Shahnazi, R. (2019). Energy consumption, carbon dioxide emissions, information and communications technology, and gross domestic product in Iranian economic sectors: A panel causality analysis. *Energy*, 169, 1064-1078.

- Sikder, M., Wang, C., Yao, X., Huai, X., Wu, L., KwameYeboah, F., ... & Dou, X. (2022). The integrated impact of GDP growth, industrialization, energy use, and urbanization on CO2 emissions in developing countries: Evidence from the panel ARDL approach. *Science of The Total Environment*, 155795.
- Sinha, A., Sengupta, T., & Saha, T. (2020). Technology policy and environmental quality at crossroads: Designing SDG policies for select Asia Pacific countries. *Technological Forecasting and Social Change*, 161, 120317.
- Tamazian A, Chousa J, Vadlamannati K (2009) Does higher economic and financial development lead to environmental degradation: evidence from BRIC countries. *Energy Policy* 37:246–253.
- Tarazkar, M. H., Ghorbanian, E., & Bakhshoodeh, M. (2018). The Effect of Economic Growth on Environmental Sustainability in Iran: Application of Ecological Footprint. *Journal of Environmental and Natural Resource Economics*, 2(3), 51-70. [In Persian]
- Wackernagel, M., & Rees, W. (1996). Our ecological/ootprint: Reducing Human impact on the l'arih. *Gabriola Island, BC, Canada: New Society Publishers*.
- Zakaria, M., & Bibi, S. (2019). Financial development and environment in South Asia: the role of institutional quality. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 7926-7937

ICT and Ecological Footprint in Oil-exporting Countries

Fatemeh Arianfar¹

Zahra(Mila) Elmiz²

Received: 2023/05/31

Accepted: 2023/07/03

Introduction

Economic stability via Information and Communication Technology (ICT) has sparked interesting discussions among scholars. ICT plays a crucial role in realizing sustainable development objectives. Globally, the prospective advantages of ICT are widely acknowledged. Some research has solely emphasized its role on mitigating air pollution, but the ecological implications of ICT have largely been overlooked. This article is pioneering in domestic studies of ICT influencing ecological footprint. In addition, the present research uniquely computes the ICT index through the principal component method, distinguishing it from other ICT studies conducted in Iran. In recent times, the ecological footprint has been embraced as a broader gauge for assessing environmental damage. One reason for this choice is that other environmental harm indicators, such as air and water pollution, deforestation, and others, only represent part of total environmental degradation. However, the ecological footprint index incorporates diverse elements like agricultural lands, pastures, fishing areas, forests, carbon footprint, and constructed lands, hence offering a more holistic measure. Concerning the topic in question, it is evident from national studies that there has been little research on identifying the factors contributing to the ecological footprint.

Methodology

In this research, we investigate the impact of the information and communication technology (ICT) index on selected oil-exporting countries' ecological footprint from 2006 to 2020. To do this, we use the generalized moments method. We extracted the model of this research from the studies of Higon et al. (2017) and Caglar et al. (2021) for carbon dioxide emissions. The variables of our study include the ecological footprint (as the dependent variable), the information and communication technology index (an explanatory variable calculated using the principal component analysis (PCA) method), and control variables such as GDP per capita, exports of goods and services, financial development, and economic Complexity Index which is chosen on the review of other studies. The data used for this study are taken from databases such as the World Bank and the Global Resource Footprint Network and the Atlas of Economic Complexity.

-
1. Master of Economics, Faculty of economic and administrative sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran. E-mail: fatemeh.s.arianfar@gmail.com
 2. Professor of Economics, Department of Economics, Faculty of economic and administrative sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran. (Corresponding Author). E-mail: z.elmi@umz.ac.ir

Discussion and Conclusion

Given the challenges posed by global warming to current and future generations, this study aims to explore the impact of Information and Communication Technology (ICT) on the ecological footprint in chosen oil-exporting nations. The study focused on the inverse U relationship of the information and communication technology index with the emission of ecological footprints from 2006 to 2020. The ecological footprint is an index of the amount of environmental pollution and a more comprehensive index than CO₂. A data description was undertaken before estimating the model. The research model, built on theoretical underpinnings and past studies, was structured, and estimated by the Generalized Moments Method.

The findings showed a non-linear connection between ICT and the ecological footprint in oil-exporting countries. ICT augments the ecological footprint per capita before a certain threshold, but it begins to diminish after that.

The positive and significant coefficient of GDP per capita indicates an increase in ecological footprint per capita for the increase of GDP per capita. This result indicates that economic activities such as industrialization and development cause the exploitation of natural resources, which causes more pollution.

Financial development has had a positive and significant effect on the ecological footprint. To prevent the destructive effect of financial development on the environment, governments in selected oil-exporting countries should develop financial markets in such a way that financial resources are available for investing in projects that help introduce clean energy technologies.

The economic complexity index has had a negative and significant effect on the per capita ecological footprint. In fact, the expansion of economic complexity in the studied countries will lead to the reduction of the ecological footprint. According to the obtained result, the economic complexity index can be considered as one of the ecological footprint control factors; Therefore, the production of more complex goods that contain higher technology can lead to a reduction in energy consumption and ecological footprint. Therefore, governments can provide tax exemptions and subsidies for those companies that use new technology and clean energy, and support knowledge-based products as well.

The influence of goods and services exports on the ecological footprint has been negative and substantial. The significance of the quality and diversity of exported goods regarding environmental destruction has not yet been thoroughly considered. Therefore, the focus should be on enhancing the quality of export goods via cleaner production methods. Overall, energy consumption should also be reduced in all countries, with policymakers prioritizing the use of renewable energy resources and promoting the reduction of fossil-fuel energy export products.

The influence of urban population growth on the ecological footprint has been positive and substantial. Essentially, uncontrolled population growth, especially

in developing countries, creates grave issues including scarcity of food, poor air and water quality, environmental contamination, degradation of the ecological structure, waste disposal problems, and high energy usage.

Keywords: Information and Communication Technology (ICT), Ecological Footprint Per Capita, GDP per capita, Economic Complexity Index, Generalized Moments Method

JEL Classification: C23, O32, Q43, Q51