بررسی اثر کاربری فناوری اطلاعات و ارتباطات روی کیفیت محیط زیست؛ رویکرد GMM

مریم طیاری [۱]، محمود محمودزاده [۲]، میر حسین موسوی [۳]

چکیده:

در طی سالهای اخیر، فناوری اطلاعات و ارتباطات (فاوا) ابعاد مختلف زندگی انسان را متاثر نموده است. مبانی نظری حکایت از آن دارد که استفاده از فاوا می‌تواند به بهبود کیفیت محیط زیست کمک کند اما مشاهده‌پذیری این اثر در کشورهای مختلف با سطوح متفاوت از نظر توسعه‌یافتگی نیازمند مطالعات موردی است. اثر فاوا بر محیط زیست یکی از موضوعات پیچیده و چندوجهی است چون با افزایش بکارگیری تجهیزات فاوا موجب کاهش نیاز به منابع زیست‌محیطی و همچنین کاهش خسارت بر محیط زیست شود. اما سوی دیگر، تجهیزات فاوا معمولا از مواد آلی و ترکیبی غیرقابل جذب برای محیط‌زیست ساخته می‌شوند. بنابراین در قالب اثر جانشینی، فاوا به بهبود کیفیت محیط زیست کمک می‌کند اما در قالب اثر درآمدی، موجب کاهش کیفیت محیط زیست می‌شود. این مقاله به بررسی اثر کاربری فناوری اطلاعات و ارتباطات روی کیفیت محیط‌زیست، اختصاص دارد. به عنوان یک وجه تمایز مهم، مقاله روی کاربرد فناوری اطلاعات (فاوا) متمرکز شده است. برای احتساب خصوصیات مختلف موثر بر روی زیرساخت فاوا و کاربری فاوا، تمامی کشورهای جهان مورد بررسی قرار گرفتند و با توجه به بزرگتر بودن تعداد مقاطع از سال‌ها، رویکرد GMM انتخاب شد. نتایج تحقیق، دال بر اثر منفی کاربرد فاوا روی کیفیت محیط زیست (اثر جانشینی منفی) و اثر مثبت سرمایه ملموس یا تجهیزات فاوا روی کیفیت محیط زیست (اثر درآمدی مثبت) است.

واژگان کلیدی: فناوری اطلاعات و ارتباطات، کیفیت محیط زیست، انتشار CO۲

[۱]-دانشجوی دکتری علوم اقتصادی دانشگاه آزاد فیروز کوه
[۲] دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروز کوه
[۳]-.دانشیار دانشگاه الزهرا علوم اقتصادی و اجتماعی

۱. مقدمه

می‌توان اثرات مثبت و منفی فاوا بر محیط‌زیست را در سه دسته کلی تقسیم‌بندی کرد:

دسته اول می‌تواند هم مثبت و هم منفی باشد و شامل اثرات مستقیم (مانند اثرات مصرف انرژی توسط تجهیزات ICT یا استفاده از ICT در نظارت و کنترل بر محیط‌زیست و اثرات نوع دوم یا غیرمستقیم (مانند افزایش کارآیی سیستم‌های حمل‌ونقل به علت بکارگیری ICT و کاهش آلودگی ناشی از مصرف سوخت) است. دسته سوم که به اثرات انعکاسی مشهورند بیشتر منفی بوده و به دنبال اثرگذاری مستقیم یا غیرمستقیم ICT بر محیط‌زیست ممکن است ایجاد شوند (مانند افزایش استفاده از حمل‌ونقل عمومی در اثر بهبود عملکرد سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی که خود ناشی ازبکارگیریICT در این سیستم‌ها است (سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعهOECD، ۲۰۰۱).

که فاوا در زمینه افزایش کارایی یعنی دستیابی به تولید بیشتر از مقادیر کمتری از ستاده و توانمندسازی آثار بهینگی و جانشینی نقش کلیدی دارد. اما آثار مستقیم گروه اول در زمینه نقش راه‌کاری فاوا و نقش چالش‌برانگیزی آن در زمینه چرخه عمر و اسقاط تجهیزات فاوا نیز هست. به‌خصوص چرخه عمر اندک تجهیزات کاربردی فاوا از جهت نرخ بالای پیشرفت فناوری آن و بروزرسانی سریع محصولات فاوا، این چالش را جدی‌تر می‌کند. در زمینه چرخه عمر تجهیزات فاوا، مواد خام، فراوری آنها، حمل، ساخت، کربرد و مدیریت زباله این تجهیزات مطرح هستند. در زمینه کاربری فاوا یعنی سطح دوم از نمودار ۱، آثار بهینگی و جانشینی در قسمت فاوا به مثابه جواب و آثار القایی در قسمت فاوا به مثابه بخشی از مشکل نشان داده شده‌اند. منظور از آثار بهینگی آثاری مانند بهینه‌سازی ترافیک توسط فاوا است و اثر جانشینی به جانشینی فاوا برای ترافیک اشاره دارد. این گونه آثار در زمره آثار غیرمستقیم هستند. آیا آثار القایی همان پیامدهای خارجی مثبت یا منفی هستند؟ آثار القایی نوعی اثر زنجیره‌ای هستند که نقش اثر اولیه در آنها دیده می‌شود اما پیامدهای خارجی می‌توانند برای دیگر حوزه‌ها اتفاق بیافتند. بنابراین یک اثر القایی فاوا می‌تواند به صورت افزایش تولید آنتن مخابراتی باشد که آلودگی بالایی دارد اما اثر جانشینی می‌تواند به شکل جایگزینی ابزارهای الکترونیکی با بایگانی‌های حجیم و پیچیده کاغذی باشد که نیازی به فضای بزرگ ندارند یا کاهش نیاز به سفر فیزیکی می‌تواند اثر جانشینی دیگر فاوا به شمار رود. در سطح سوم نیز تغییرات ساختاری مانند اقتصاد بدون وزن با کمترین اتکا به مواد رخ می‌دهد اما از طرف دیگر آثار مخربی مانند نیاز بالای تجهیزات و زیرساخت‌های فاوا به انرژی هم مشاهده می‌شود.

با توجه به تقسیم‌بندی‌های پیش‌گفته، در کشورهای رو به توسعه مانند ایران فرآیند تولید مستلزم بهره‌گیری از محیط زیست و در عین حال تخریب آن است. با توجه به لزوم رشد اقتصادی و عدم امکان توقف تولید ابزارهایی که کشور را به طور هم زمان به افزایش تولید و حفظ محیط زیست قادر می‌سازد می‌تواند در دستیابی به رشد پایدار بسیار کار آمد باشد؛ یکی از این ابزار ها که در سالهای اخیر بسیار مورد توجه محققان بوده فناوری اطلاعات و ارتباطات یا فاواست. بر اساس فرضیه کوزنتس، میان سطح درآمد (رشد اقتصادی) جوامع و میزان تخریب محیط زیست و عوامل موثر بر آن، ارتباط معناداری وجود دارد. بر این اساس، ارتباط میان سطح درآمد کشورها و میزان تخریب محیط زیست به صورت U وارونه تعریف می‌شود؛ یعنی در مراحل اولیه رشد اقتصادی، تخریب محیط زیست تشدید می‌شود اما با مرور زمان و با توجه به شرایط اقتصادی، اجتماعی کشورها، رشد تخریب محیط زیست رو به کاهش می‌گذارد و در ادامه این پدیده، به موازات رشد درآمد، روند نزولی پیدا می‌کند.

اما ادبیات مربوط به اثر فناوری اطلاعات و ارتباطات روی کیفیت محیط زیست، از مدل ساده کوزنتس فراتر رفته است و برای درک بهتر اثر فاوا روی کیفیت محیط زیست، لازم است تا ادبیات تجربی مرتبط مرور شود که دستور کار قسمت دوم تحقیق حاضر است. به طور کلی، سازمان مقاله حاضر به این شرح است: در قسمت دوم، ادبیات نظری و تجربی تحقیق به‌اختصار مرور می‌شود و قسمت سوم به معرفی مدل تحقیق اختصاص دارد. در قسمت چهارم نتایج اجرای مدل شرح داده می‌شود و در قسمت نتیجه‌گیری انجام می‌گیرد.

۲. پیشینه تحقیق

مطالعات تجربی در زمینه اثر عوامل مختلف بر کیفیت محیط‌زیست، به طور عمده از رویکرد منحنی کوزنتس زیست‌محیطی اثر پذیرفته‌اند و بسته به مساله تحقیق خود آن را تغییر یا تعمیم داده‌اند. تئوری‌هایی مانند تئوری‌های نئوشومپیتری (شومپیتر[۴]، ۱۹۳۴) و تئوری‌های نئوکلاسیکی رشد (مانند سولو[۵]، ۱۹۵۶) نیز روی آثار مثبت فاوا برای رشد اقتصادی تاکید کرده‌اند. بر مبنای این تئوری‌ها، فاوا به مثابه یک نهاده در بخش عرضه اقتصادی و در شکل سرمایه وارد می‌شود و از طریق تعمیق سرمایه و پیشرفت فناوری و کیفیت نیروی کار، به بهبود فرایند تولید می‌انجامد. در نتیجه، فاوا سبب ایجاد ارزش افزوده اقتصادی در سطح بنگاه و در سطح بخشی می‌شود که پیامد آن در بهبود بهره‌وری و رشد اقتصادی در سطح کشوری خود را نشان می‌دهد.

هرچند که مطالعات نظری، اثر مثبتی از سوی فاوا بر روی رشد اقتصادی نشان داده‌اند اما برخی مطالعات تجربی، روابط متفاوتی را گزارش کرده‌اند. در یک طرف، تعداد زیادی از مطالعات اثر مثبت فاوا روی رشد اقتصادی را تایید می‌کنند؛ برای نمونه مطالعات اولیه چندکشوری، روی اثر فناوری‌های مخابراتی مانند تلفن خط ثابت بر روی رشد اقتصادی کشورهای توسعه‌یافته متمرکز شدند. هاردی[۶] (۱۹۸۰) با استفاده از داده‌های ۶۰ کشور در طی دوره ۱۹۶۸-۱۹۷۶ یا مادن و ساوج[۷] (۱۹۹۸) با بررسی یک نمونه ۲۷ کشوری از اروپای مرکزی و شرقی در طی دوره ۱۹۹۰-۱۹۹۵ به این نتیجه رسیدند که سرمایه‌گذاری در زیرساخت مخابراتی و رشد اقتصادی، رابطه‌ای مثبت با یکدیگر دارند. حتی مطالعات جدیدتری از قبیل گروبر و کوترومپیس[۸] (۲۰۱۰) نشان دادند که فناوری‌های جدیدتر مخابراتی مانند تلفن همراه، کامپیوترهای شخصی و اینترنت در رشد اقتصادی بسیاری از کشورهای جهان، سهم بسیار زیادی دارند.

مطالعات متمرکز بر کشورهای درحال توسعه هم اثر مثبت فاوا و سرمایه‌گذاری فاوا بر روی رشد اقتصادی این کشورها را تایید کرده‌اند. برای نمونه، اندریانایو و پودار[۹] (۲۰۱۱) با تکیه بر دامنه گسترده‌ای از شاخص‌های فاوا به این نتیجه رسیدند که در طی دوره ۱۹۸۸- ۲۰۰۷، فاوا در رشد اقتصادی کشورهای افریقایی اثر معناداری داشته است.

به همین منوال، لی و همکاران[۱۰](۲۰۱۲) با بررسی رابطه بین رشد اقتصادی و سرمایه‌گذاری در زیرساخت مخابراتی از قبیل خط تلفن یا تلفن همراه بر اساس روش تخمین‌زننده خطی GMM روی داده‌های ۴۴ کشورهای افریقای نیمه‌صحرایی در دوره ۲۰۰۶-۱۹۷۵، اثر مثبت فاوا روی رشد اقتصادی این منطقه را تایید کردند. ساسی و جواید[۱۱] (۲۰۱۳) با مطالعه داده‌های ۱۷ کشور منطقه شمال افریقا و خاورمیانه (MENA) به نتیجه مشابهی دست یافتند و نشان دادند که اشاعه فاوا در این منطقه بر اساس شاخص‌های تلفن همراه، خط تلفن ثابت و اینترنت، در رشد اقتصادی این منطقه در طی دوره ۱۹۶۰- ۲۰۰۹ نقش مثبتی ایفا کرده است. فاوا دسترسی به اطلاعات شفاف را سهولت می‌بخشد، پاسخگویی را ارتقا می‌دهد، دقت داده‌ها را می‌افزاید، اتوماسیون و یکپارچه‌سازی فعالیت‌ها را ممکن می‌سازد، سطح چالاکی را بالا می‌برد و برای تصمیم‌سازی بهتر و بهینه‌سازی فرایندها، بینش ایجاد می‌کند. تحقیقات کاربردی زیادی در عرصه‌های مختلف، انجام گرفتند تا دو جهان ICT و پایداری را پیوند دهند.

---

[۴] - Schumpeter
[۵] - Solow
[۶] - Hardy
[۷] - Madden and Savage
[۸] - Gruber and Koutroumpis
[۹] - Andrianaivo and Kpodar
[۱۰] -Lee et al
[۱۱] - Sassi and Goaied

در مطالعات جدیدتر، آقایی و رضاقلی‌زاده (۲۰۱۷) با استفاده از رویکرد پنل‌دیتای ایستا و پویا برای مدل رشد برای دوره ۱۹۹۰-۲۰۱۴، به این نتیجه رسیدند که هر یک درصد افزایش در میزان سرمایه‌گذاری فاوا به ۰,۵۲ درصد رشد اقتصادی در کشورهای سازمان همکاری اسلامی (OIC[۱۲]) منجر می‌شود.

شیرازی و غلامی (۲۰۱۷) اثرات مثبت و منفی زیست محیطی فناوری اطلاعات و ارتباطات را به طور گسترده مورد بحث قرار دادند. در تئوری، فناوری اطلاعات و ارتباطات به افزایش سطح انتشار CO_2در تولید دستگاه‌ها و ماشین آلاتِ ICT، مصرف انرژی و بازیافت ضایعات الکترونیکی کمک می‌کند. هدف مطالعه آنها بررسی رابطه غیر خطی بین فناوری اطلاعات و ارتباطات و انتشار گاز CO_2در مقیاس جهانی است. با توجه به اینکه گرم‌شدن کره زمینیک مساله جهانی است، لازم است که این رابطه را در همه کشورها و در همه سطوح توسعه بررسی شود. برای این منظور، یک نمونه متشکل از ۱۴۲ کشور و در بازه زمانی ۱۹۹۵- ۲۰۱۰ که شامل ۱۱۶ کشور در حال توسعه و ۲۶ کشور توسعه‌یافته بود انتخاب و بر اساس روش پانل دیتا بررسی شد. مشخصات تجربی برای ارزیابی تاثیرفاوا بر میزان انتشارCO_2، بر اساس یک مدل چارچوب استاندارد منحنی کوزنتس زیست‌محیطی یاEKC است به طوری که ICT و مربع آن به عنوان متغیر توضیحی اضافی معرفی شده‌اند. تولید ناخالص داخلی واقعی، ذخایر نفتی، تراکم جمعیت، سهم صنعت در ارزش افزوده، تعداد خودروهای مسافربر در قبال هر ۱۰۰۰ نفر، حاکمیت قانون، پروتکل کیوتو و اثربخشی دولت، دیگر متغیرهای تحقیق آنها هستند. بر اساس نتایج تجربی این مطالعات، هنگامی که سطح آستانه توسعه ICT محقق می‌شود، فاوا روی کاهش انتشار CO_2 اثر مثبتی دارد.

جان بیسر و لورنز هیلتی (۲۰۱۸) اثرات غیرمستقیم محیط زیست بر فناوری اطلاعات و ارتباطات را مورد بررسی قرار داده‌اند. آنها ۵۴ مطالعه را شناسایی کردند که اثرات غیرمستقیم محیط زیست برفناوری اطلاعات و ارتباطات را در ۷ حوزه اصلی، با استفاده از ۱۵ روش متدولوژیکی متفاوت ارزیابی کرده بودند. رایج‌ترین حوزه‌های کاربردی شامل تحرک مجازی (مثلا از راه دور)، کالاهای مجازی (مثلا رسانه‌های دیجیتال) و حمل و نقل هوشمند (به عنوان مثال بهینه‌سازی مسیر) بودند.

بر اساس مرور مطالعات تجربی و نظری می‌توان گفت که به طور کلی، روش‌های ارزیابی اثر زیست‌محیطی به دو گروه مقداری و کیفی تقسیم می‌شود. با توجه به مطالعات نظری و تجربی، روش مقداری مبتنی بر اقتصادسنجی برای تحلیل اثر کاربری فاوا روی کیفیت محیط‌زیست، در این تحقیق به کاربرده می‌شود.

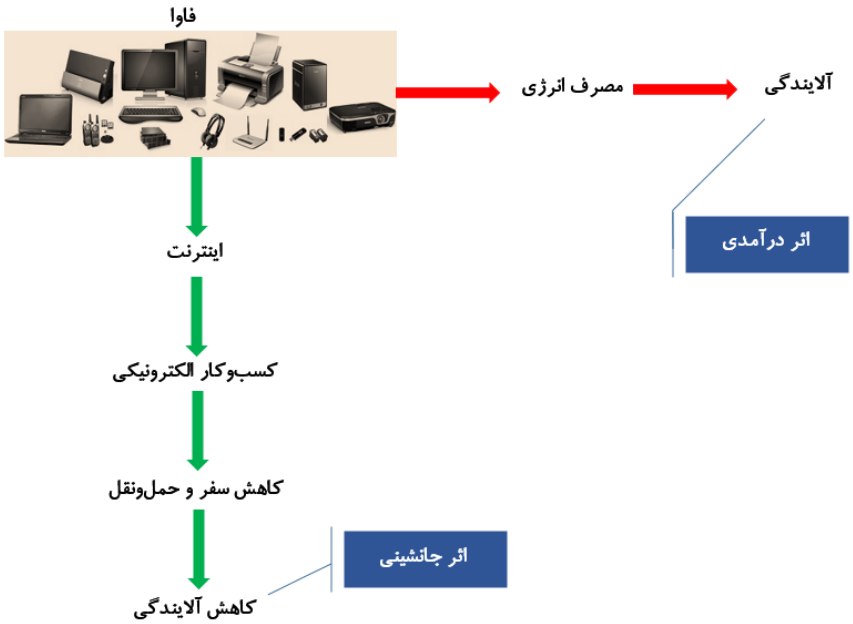
۳. مدل تحقیق

تحقیق حاضر روی مساله اثر کاربری فاوا روی کیفیت محیط‌زیست، تمرکز دارد. طرح مدل تحقیق به شرح نمودار ۱ است. نمودار ۱، دو وجه اساسی دارد؛ یک وجه آن نشانگر اثر درآمدی توسعه کاربری فاوا است و وجه دیگرش، اثر جانشینی توسعه فاوا را بازتاب می‌دهد. اثر درآمدی به معنای امکان مصرف (تقاضای) بیشتر از محصولات فاواست که مصرف انرژی توسط آنها و مساله زباله‌های حاصل از استهلاک و از رده خارج‌شدن آنها باعث آلودگی محیط زیست می‌شود.

نمودار ۱، دو وجه اساسی دارد؛ یک وجه آن نشانگر اثر درآمدی توسعه کاربری فاوا است و وجه دیگرش، اثر جانشینی توسعه فاوا را بازتاب می‌دهد. در فصل دوم نیز شرح داده شد که اثر درآمدی به معنای امکان مصرف (تقاضای) بیشتر از محصولات فاواست که مصرف انرژی توسط آنها و مساله زباله‌های حاصل از استهلاک و از رده خارج شدن آنها باعث آلودگی محیط زیست می‌شود.

[۱۲] - Organization of Islamic Cooperation

نمودار ۱.مدل مفهومی اثر کاربری فاوا روی کیفیت محیط زیست



منبع: برداشت‌های محقق از مطالعات

مدل تحقیق بر اساس مطالعه گراسمن و کروگر (۱۹۹۱) و سلدان و سانگ (۱۹۹۴) است. مدل کوزنتس زیست‌محیطی به شرح معادله ۱ است:

معادله ۱.

$$\text{Log } CO^{2}=a+b^{1}.\text{Log}Y+ b^{2}\text{log}Y^{2}+e$$

در معادله بالا، Y نماینده تولیدناخالص‌داخلی سرانه است. اما فاوا روی محیط زیست، آثار متنوعی دارد. از یک طرف، در نتیجه مدیریت ضعیف زباله‌های الکترونیکی و استفاده زیاد از انرژی در در تولید تجهیزات فاوا، فاوا موجب تعرض به قلمروی محیط زیست می‌شود. از طرف دیگر، فاوا با افزایش آگاهی نسبت به تغییرات اقلیمی و ترویج فناوری‌های سازگار با محیط‌زیست، از قوه فرسایش محیط زیست برخوردار است. می‌توان معادله زیر را برای احتساب چنین آثاری تصریح کرد:

$$\text{Log } Co^{2}=a+b^{1}\text{Log}Y+b^{2}\text{Log}Y^{2}+b^{3}\text{Log}ICT+b^{4}\text{Log}X+e$$

در معادله بالا، ICT سنجه‌ای از فاواست که پراکسی‌های متفاوتی می‌توان برای آن در نظر گرفت. همچنین X ماتریس سطری از متغیرهای کنترلی مانند سوخت فصیلی، مصرف انرژی و نرخ شهرنشینی است. علامت انتظاری این متغیرهای کنترلی، مثبت است چون باعث افزایش انتشار Co۲ می‌شوند. می‌توان معادله بالا را بر اساس سنجه‌های مختلف ICT به صورت‌های زیر تصریح کرد:

۱- Log Co۲=a+b۱ LogY+b۲LogY۲+b۳Logfts+b٤LogX+e

۲- Log Co۲=a+b۱ LogY+b۲LogY۲+b۳Logfbs+b٤LogX+e

۳- Log Co۲=a+b۱ LogY+b۲LogY۲+b۳Logtii+b٤LogX+e

٤- Log Co۲=a+b۱ LogY+b۲LogY۲+b۳Logosi+b٤LogX+e

٥- Log Co۲=a+b۱ LogY+b۲LogY۲+b۳Logegi+b٤LogX+e

٦- Log Co۲=a+b۱ LogY+b۲LogY۲+b۳Logict+b٤LogX+e

مدل پیشنهادی تحقیق بر اساس معادله ۱ ارایه می‌شود. در شش معادله بالا، fts معرف تلفن ثابت، fbs معرف مشترکان پهنای باند، tii شاخص زیرساخت مخابرات، osi نماینده شاخص خدمات آنلاین، egi نماینده شاخص دولت الکترونیکی و ict نماینده فاوا است. اما با توجه به مساله تحقیق حاضر، باید پراکسی مناسبی برای کاربری فاوا نیز در نظر گرفته شود. مهمترین پراکسی، سهم نهاده سرمایه فاوا در تولیدناخالص‌داخلی (ictks) به عنوان پراکسی از تجهیزات سرمایه و عامل افزایش پسماند الکترونیکی (از پایگاه داده TED) و کاربری فاوا (ictu) از نظر تجارت الکترونیک B۲B و B۲C از پایگاه داده مجمع جهانی اقتصاد است. افزون بر این، شاخصی از مشارکت الکترونیکی، به عنوان نماینده‌ای از مهارت و توسعه دولت‌الکترونیکی نیز باید به مدل افزوده شود. از این روی، مدل پیشنهادی تحقیق به شرح معادله ۲، ارایه می‌شود.

معادله۲.

$$\log CO2_{it} = \alpha_{it} + \beta_{1}\log GDP + \beta_{2}\log FD + \beta_{3}\log ICTKS + \beta_{4}\log ICTU + \beta_{5}\log EPC + \varepsilon_{it}$$

در معادله بالا، CO۲ معرف انتشار کربن، GDP تولیدناخالص‌داخلی، FD توسعه مالی، ICTKS سهم سرمایه فاوا در GDP، ICTU کاربری فاوا و EPC شاخص مشارکت الکترونیکی است. مشارکت الکترونیکی، مجموعه‌ای از عوامل مربوط به مهارت کاربرد فاوا، توسعه زیرساخت فاوا و خدمات دولت الکترونیکی را در خود دارد و از این روی، پراکسی مناسبی برای احتساب این جنبه‌های اثرگذاری و ارتباط آثار فاوا (که در فصل دوم شرح داده شد) را داراست. تجهیزات سرمایه فاوا یا سهم سرمایه فاوا در GDP نیز به واسطه استفاده از انرژی، اثر این شاخص را نیز در خود دارند.

۴. داده‌هاو نتایج تخمین

با توجه به دسترسی به داده‌های ۱۰۲ کشور جهان در یک بازه زمانی ۱۰ساله (۲۰۰۹-۲۰۱۸)، تعداد ۱۰۲۰ مشاهده وجود دارد که بعد از مرتب‌کردن آنها در قالب پانل، آزمون‌های اثرات ثابت و مقطعی برای تشخیص ساختار پانل داده‌ها انجام می‌شود. در نخستین آزمون، هر دو اثر مقطعی و زمانی ثابت در نظر گرفته شده و بعد از تخمین مدل به روش OLS، آزمون اثرات ثابت بر اساس نسبت راست‌نمایی انجام می‌پذیرد.

سرمایه ملموس فاوا و سرمایه ارتباطات یا ناملموس فاوا و انتشار دی‌اکسیدکربن، سه متغیر اصلی تحقیق حاضر هستند اما بر اساس معادله ۳-۲ از فصل سوم، متغیرهای دیگری نیز در تحقیق بررسی شده‌اند که آمارهای توصیفی آنها به شرح جدول ۴-۱ ارایه شده است. این متغیرها عبارتند از:

- ICTU سرمایه ناملموس فاوا بر اساس شاخص تجارت الکترونیک بنگاه- بنگاه و بنگاه- مشتری
- ICTKS سرمایه ملموس فاوا بر اساس آمارهای TED و سهم سرمایه فاوا در رشد اقتصادی کشورها
- CO۲ انتشار دی‌اکسیدکربن بر اساس شاخص کایا
- BTC اثر فاوا روی تجارت الکترونیکی بنگاه- مشتری
- BTB اثر فاوا روی تجارت الکترونیکی بنگاه- بنگاه
- GDP تولید ناخالص داخلی سرانه به قیمت ثابت دلاری
- EPC شاخص مشارکت الکترونیکی
- FD شاخص توسعه مالی
- EGY شدت انرژی

با توجه به ساختار معادله ۲، لگاریتم متغیرهای اصلی در تجزیه و تحلیل اطلاعات و تخمین مدل به کار می‌رود و طبق جدول ۱، تمامی این متغیرها در سطح مانا هستند. مقدار احتمال کمتر از ۰،۰۵ برای تمامی متغیرها نشان می‌دهد که متغیرهای مورداستفاده در تخمین مدل، بر اساس معیار LLC یا لوین، لین و چو، در سطح مانا هستند.

جدول ۱. نتایج آزمون مانایی متغیرهای مدل تحقیق

متغیر		آماره لوین، لین و چو	مقدار احتمال
LCO۲	لگاریتم انتشار کربن	-۱۴,۲	۰
LEPC	لگاریتم مشارکت الکترونیکی	-۱۶,۸	۰
LGDP	لگاریتم GDP	-۱۹,۹۸	۰۰,۸
LICTC	لگاریتم سرمایه فاوا	-۷,۹۸	۰
LICTU	لگاریتم سرمایه ارتباطات	-۵,۶	۰
LFD	لگاریتم توسعه مالی	-۸,۹	۰
LEGY	لگاریتم شدت انرژی	-۶,۱۴	۰

منبع: محاسبات تحقیق در نرم‌افزار Eviews

معادله ۲ ابتدا برای تمام کشورها به روش GMM تخمین زده شد چون تعداد مقاطع از تعداد زمان بیشتر است، این روش به کار رفت. نتیجه تخمین معادله ۲ برای تمام کشورها و برای دو گروه کشورهای توسعه‌یافته و روبه‌توسعه به شرح جدول ۲ است.

مقدار ضرایب و مقدار احتمال مربوط به آماره t متغیرها همراه با دو معیار آماره سارگان و آماره آرلانو- باند برای رویکرد GMM، گزارش شده است. نتایج جدول دال بر این است که بدون توجه به درجه توسعه کشورها، اثر جانشینی و اثر درآمدی کاربرد فاوا و سرمایه ملموس (تجهیزات) فاوا روی کیفیت محیط زیست (انتشار گاز کربن) تایید می‌شود. در مقایسه بین کشورهای توسعه‌یافته و روبه‌توسعه، اثر متفاوتی از توسعه مالی، تولیدناخالص داخلی و مشارکت الکترونیکی به چشم می‌خورد. اثر کاربرد فاوا و سرمایه ملموس فاوا روی انتشار کربن در کشورهای روبه‌توسعه، بیشتر از کشورهای توسعه‌یافته است. می‌توان این تفاوت را در تفاوت نرخ رشد این دو سرمایه در این کشورها توضیح داد به طوری که نرخ رشد بالاتر کاربری فاوا و سرمایه ملموس فاوا در کشورهای روبه‌توسعه که در میانه راه توسعه هستند، اثرگذاری بیشتری نشان می‌دهد. به دیگر سخن، کشش انتشار کربن نسبت به کاربرد فاوا و سرمایه فاوا در دو گروه کشورهای روبه‌توسعه و توسعه‌یافته، مقادیر متفاوتی را نشان می‌دهد. در کشورهای روبه‌توسعه، کشش انتشارکربن نسبت به کاربرد فاوا و سرمایه ملموس فاوا، بزرگتر از کشورهای توسعه‌یافته است. اما به عنوان یک نتیجه دور از انتظار، میزان مشارکت الکترونیکی، در کاهش انتشار کربن کشورهای توسعه‌یافته، نقش دارد اما این نقش در کشورهای روبه‌توسعه، تایید نشده است که نشانگر تفاوت ساختاری اقتصادی-نهادی-سیاسی این دو گروه کشور نیز می‌تواند باشد.

جدول ۲- نتیجه تخمین معادله ۲ به روش GMM برای کل کشورها و کشورهای توسعه‌یافته و روبه‌توسعه

متغیر	ضریب			مقدار احتمال		
	کل کشورها	توسعه‌یافته	روبه‌توسعه	کل کشورها	توسعه‌یافته	روبه‌توسعه
وقفه اول کربن	۰,۸۰۲	۰,۶۶۲	۰,۵۴۴	۰	۰	۰
تولیدناخالص‌داخلی	۰,۱۳۲	۰,۰۸۲	-۰,۴۲۵	۰	۰	۰
توسعه مالی	۰,۳۲۹	۰,۲۸۱	-۰,۹۴۵	۰	۰,۰۶۱۸	۰
کاربرد فاوا	-۰,۳۰۹	-۰,۰۱۹	-۰,۷۰۴	۰	۰,۴۶۲	۰,۰۰۰۸
سرمایه فاوا	۱,۲۵۶	۱,۵۸	۱۶,۸	۰	۰,۰۰۰۳	۰
مشارکت الکترونیکی	-۰,۰۱۹	-۰,۰۱۴	۰,۰۲۲	۰	۰,۰۰۱۳	۰,۰۰۵۵
آماره سارگان				۰,۰۶۹	۰,۲۰۸	۰,۷۴
آماره آرلانو- باند						
AR۱				۰	۰,۰۲۰۱	۰,۰۴۴۳
AR۲				۰,۱۳	۰,۹۹۵	۰,۳۱۷

منبع: محاسبات تحقیق در نرم افزار Eviews

از نظر خوبی برازش و معیارهای مناسبت رویکرد و ابزارها، آماره سارگان و آماره آرلانو-باند برای هر سه تخمین، در وضعیت قابل قبولی هستند. مقدار احتمال بزرگتر از ۰,۰۵ برای آماره سارگان، تایید برای مناسبت ابزارهای پویا (وقفه متغیرهای کربن و شدت انرژی) و احتمال کمتر از ۰,۰۵ در عین احتمال بزرگتر از ۰,۰۵ برای آماره آرلانو-باند نشان از خوبی برازش و تخمین دارد.

۵. نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر بر اساس مساله مربوط به نوع رابطه بین کاربری فناوری اطلاعات و ارتباطات و کیفیت محیط زیست، طراحی و اجرا شد. هرچند که تحقیقات مشابه فراوانی به موضوع ارتباط بین فاوا و محیط زیست پرداخته‌اند اما تمرکز روی کاربری فاوا و اثر آن روی کیفیت محیط زیست، به‌خصوص با مطالعه کشورهای زیادی از هر پنج قاره جهان، انگشت‌شمار است. مساله اصلی این تحقیق بود که کاربرد فناوری اطلاعات و ارتباطات چقدر به کیفیت محیط زیست کمک می‌کند و این کمک چگونه به کاهش

پسماند الکترونیکی می‌انجامد. از این روی، در قسمت بیان مساله از فصل اول، یک نمودار مفهومی از اثر کاربری فاوا در کیفیت محیط زیست همراه با توضیح تشریحی اضافه شده است تا ابعاد مساله تحقیق روشنتر شود. در نمودار هر سه گروه اثر فاوا به صورت شکلی و با مثال نشان داده شد. فعالیت‌های انجام شده نشان می‌دهد که برای ارزیابی اثر کاربری فاوا روی کیفیت محیط زیست، در ادبیات پژوهشی روی ابعاد مثبت مانند کاهش مصرف کاغذ، کاهش ترافیک، کاهش مصرف انرژی مطالعه شده است اما برخی مطالعات نظری آثار منفی مانند افزایش زباله تجهیزات فاوا (با توجه به بروزرسانی سریع فناوری و جایگزینی سریع محصولات همانند گوشی موبایل) را نیز مورد تاکید داده‌اند.

برای یافتن پاسخی مناسب به پرسش تحقیق از مدل پانل‌دیتا با رویکرد GMM استفاده شد تا امکان بررسی پویای اثر کاربری فاوا روی کیفیت محیط زیست، فراهم آید.

می‌توان به مقایسه نتایج تحقیق با تحقیقات مشابه موضوع تحقیق حاضر پرداخت:

- از نظر اثر GDP روی انتشار کربن، نتایج تحقیق با نتایج مطالعه گراسمن و کروگر (۱۹۹۵) مشابه است.
- از نظر اثر توسعه کاربرد فاوا بر کاهش انتشار کربن در نتیجه تحرک مجازی، حمل‌ونقل هوشمند و کالای مجازی، نتایج تحقیق با مطالعه لورنز و هیلتی (۲۰۱۸) مشابه است.
- از نظر غلبه اثر درآمدی فاوا بر اثر جانشینی آن، نتایج تحقیق با نتایج مطالعه محمودزاده و شاه‌بیگی (۱۳۹۰) مشابه است.

بر اساس مقایسه بالا مشاهده می‌شود که از حیث علامت انتظاری از اثر متغیرهای توضیحی روی متغیر وابسته و از حیث میزان اثر درآمدی و جانشینی، تحقیق حاضر با تحقیقات پیشین به نتایج مشابهی دست یافته است. تنها تفاوت در آثار انتظاری به توسعه مالی مربوط می‌شود که انتظار می‌رفت روی انتشار کربن در کشورهای مورد مطالعه اثر منفی داشته باشد در حالی که اثر آن در نتایج تخمینی، مثبت بوده است.

فهرست منابع

Aghaei, Majid; Rezagholizadeh, Mahdieh (۲۰۱۷): The impact of information and communication technology (ICT) on economic growth in the OIC countries, Economic and Environmental Studies (E&ES), ISSN ۲۰۸۱-۸۳۱۹, Opole University, Faculty of Economics, Opole, Vol. ۱۷, ISSP. ۲, pp. ۲۵۷-۲۷۸,

Gruber, Pantelis Koutroumpis, Thierry Mayer and Volker Nocke (۲۰۱۲), ICT and environmental sustainability: A global perspective Mobile telecommunications and the impact on economic development, Harald Economic Policy Vol. ۲٦, No. ٦۷ (July ۲۰۱۱), pp. ۳۸۷, ۳۸۹-٤۲٦ (۳۹ pages).

Grossman, G., and Krueger, A. (۱۹۹٥), Economic Growth and the Environment" Quarterly Journal of Economics ۱۱۰(۲) ۳٥۳-۳۷۷.

Goaied, M. and Sassi, S. (۲۰۱۲), Financial development, ICT diffusion and economic growth: Lessons from MENA region May ۲۰۱۳Telecommunications Policy ۳۷(٤-٥):۲٥۲-۲٦۱

Hardy, A. P., (۱۹۸۰), "The Role of the Telephone in Economic Development", Telecommunications Policy, Dec.

D. Añon Higon, R. Gholami, F. Shirazi (۲۰۱۷), ICT and environmental sustainability: A global perspective, Telematics and Informatics, (۳٤), ٤, pp. ۸٥-۹٥.

Hilty, Lorenz, M. (۲۰۰۸), Environmental Impact of ICT: A conceptual framework and some strategic recommendations, OECD workshop, Copenhagen, Denmark, May ٥, ۲۰۰۸.

Houghton, J. (۲۰۰۹), ICT and the environment in developing countries: opportunities and developments, DRAFT Rev ۳ (۳۱ August ۲۰۰۹).

ITU (۲۰۰۸) ICTs for e-Environment: Guidelines for developing countries, with a focus on climate change, ITU, Geneva.

Lee, Sang H., John Levendis, and Luis Gutierrez, (۲۰۱۲), Telecommunications and economic growth: An empirical analysis of Sub-Saharan Africa. Applied Economics ٤٤: ٤٦۱–٦۹.

Madden, G; S. Savage; & M. Simpson., (۱۹۹۸), "Regional Information Access: The Use of Telecentres to Meet Universal Services Obligations", Telematics and Informatics ۱٤ (۳): ۲۷۳-۲۸۸.

Schumpeter, J. (۱۹۳٤), The Theory of Economic Development, Cambridge, Harvard University Press.

Solow, R.M. (۱۹٥٦). A Contribution to the Theory of Economic Growth, The Quarterly Journal of Economics, Vol. ۷۰, No. ۱ (Feb, ۱۹٥٦), pp. ٦٥-۹٤.