IEDA
Department of Economics Alzahra University

Journal of Iranian Economic Development Analyses
Alzahra University
Vol. 9, No. 24, Fall & Winter 2024

pp. 45-72

ALZAHRA UNIVERSITY

Research Paper

Investigating the Impact of Information and Communication Technology on Environmental Quality in[1] Major Asian Emitters

Somayeh Azami[2], Milad Mahmoodvand[3], Kiomars Sohaili[4]

Received: 2023/10/27 Accepted: 2023/12/30

Abstract

Information and communication technology (ICT) is considered one of the most important factors of industrialization, and it greatly impacts economic growth and environmental quality. This study aims to investigate the impact of information and communication technology on the quality of the environment in major Asian Emitters. This survey was conducted between 2000 and 2020 for two groups of developing and developed countries. Principal component analysis (PCA) is used to construct ICT and good governance (GG) composite index. The environmental Kuznets Curve hypothesis is confirmed in both groups of countries. In both groups of countries, energy consumption and trade openness lead to a decrease, and good governance leads to an increase in the quality of the environment. The ICT composite index significantly reduces the quality of the environment in developing countries. In developed countries, the ICT composite index does not significantly affect the quality of the environment (positive and meaningless), while access to the Internet significantly improves the quality of the environment. It is expected that the carbon-increasing effects of ICT development, such as direct and rebound effects, will be larger in developing countries than the carbon-reducing effect of ICT, such as the substitution effect. Therefore, optimizing energy consumption and activating the substitution effect (use of intelligent transportation systems, intelligent traffic control systems and reduction of outdoor activities) is recommended in developing countries.

Keywords: ICT index, Environmental Kuznets Curve (EKC), CO2 Emissions, Principal Component Analysis (PCA), Feasible Generalized Least Squares (FGLS).

JEL Classification: Q01, Q55, Q56

---

[1]. DOI: 10.22051/IEDA.2024.45399.1380

2. Associate Professor, Department of Economics, Faculty of Social and Educational Sciences, Razi University, Kermanshah, Iran. Corresponding Author, Email: sazami_econ@yahoo.com

3. Senior Expert in Theoretical Economics, Department of Economics, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: qmilad@icloud.com

4. Professor, Department of Economics, Faculty of Social and Educational Sciences, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: qsoheily@yahoo.com

دو فصلنامه تحلیل‌های اقتصادی توسعه ایران
دانشگاه الزهرا
دوره ۹، شماره ۲، شماره پیاپی ۲۴، پاییز و زمستان ۱۴۰۲
صفحات ۷۲-۴۵

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات بر کیفیت محیط‌زیست در آلوده‌کننده‌های بزرگ آسیایی[۱]

سمیه اعظمی[۲]، میلاد محمودوند[۳] و کیومرث سهیلی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۹

چکیده

فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) یکی از مهم‌ترین عوامل صنعتی‌شدن به حساب می‌آید، همچنین بر رشد اقتصادی و کیفیت زیست‌محیطی تأثیر فراوانی دارد. هدف از این مطالعه بررسی تأثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات بر کیفیت محیط‌زیست در آلوده‌کننده‌های بزرگ آسیایی است. این بررسی در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۰ برای دو گروه کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته انجام می‌شود. به منظور ساخت شاخص ترکیبی ICT و شاخص ترکیبی حکمرانی خوب (GG) از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده می‌شود. نتایج حاکی از وجود رابطه بلندمدت میان متغیرهای الگو است. فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس در هر دو گروه کشورها مورد تأیید است. در هر دو گروه کشورها، مصرف انرژی و درجه باز بودن تجارت منجر به کاهش و شاخص ترکیبی حکمرانی خوب منجر به افزایش کیفیت محیط‌زیست می‌شود. شاخص ترکیبی ICT به طور معنی‌داری منجر به کاهش کیفیت محیط‌زیست کشورهای در حال توسعه می‌شود. در کشورهای توسعه‌یافته، شاخص ترکیبی ICT تأثیر معنی‌دار بر کیفیت محیط‌زیست ندارد، درحالی‌که دسترسی به اینترنت به طور معنی‌داری منجر به بهبود کیفیت محیط‌زیست می‌شود. انتظار می‌رود در کشورهای درحال‌توسعه اثرات افزایش کربن توسعه ICT (اثرات مستقیم و بازگشتی) در مجموع بزرگتر از اثر کاهش کربن توسعه ICT (اثر جایگزینی) باشد. لذا بهینه‌یابی مصرف انرژی و همچنین فعال‌کردن اثر جایگزینی (استفاده از سیستم‌های حمل و نقل هوشمند، سیستم کنترل ترافیک هوشمند و کاهش فعالیت‌های فضای باز) در کشورهای در حال‌توسعه پیشنهاد می‌شود.

واژگان کلیدی: شاخص فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT)، فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس(EKC)، انتشار دی‌اکسیدکربن، تحلیل مؤلفه‌های اصلی(PCA)، روش FGLS.

طبقه‌بندی موضوعی: *Q01, Q55, Q56* .

---

۱. کد DOI مقاله: 10.22051/IEDA.2024.45399.1380

۲. دانشیار، گروه اقتصاد، دانشکده علوم اجتماعی و تربیتی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. نویسنده مسئول. Email: s.azami@razi.ac.ir

۳. کارشناس ارشد، گروه اقتصاد، اقتصاد نظری، دانشکده علوم اجتماعی و تربیتی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. Email: qmilad@icloud.com

۴. استاد، گروه اقتصاد، دانشکده علوم اجتماعی و تربیتی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. Email: qsoheily@yahoo.com

مقدمه[1]

انفجار صنعتی همزمان با رشد روزافزون جمعیت از یک سو و بهره‌برداری مستمر از منابع طبیعی کره خاکی و تحمیل حجم زیاد زباله و ضایعات صنعتی از سوی دیگر سبب شده است که زیستگاه بشر از وضعیت عادی خارج شده و دچار تغییرات شدیدی شود. این تغییرات زیست محیطی در سطح جهان بسیار سریع‌تر از آن رخ داده است که سازوکارهای طبیعی برای سازگاری و حفظ شرایط بقا در آن سودمند باشد و لازم است بشر با درک صحیح نیازهای حال و آینده راهکارهای مناسبی برای سازگاری با طبیعت در عصر حاضر بیابد و آثار ناخواسته سوءاستفاده از آن را تا حد ممکن کاهش دهد. امروزه تمامی کشورها با چالش‌های زیست محیطی مانند تغییر اقلیم، بهینه کردن انرژی، مدیریت پسماندها و آب‌های قابل شرب مواجه هستند. با توجه به پیچیدگی و حساسیت موضوعات زیست‌محیطی مطالعه و تحقیق در مورد عوامل تأثیرگذار بر آن می‌تواند برای بهبود شرایط راه‌گشا باشد، یکی از این عوامل فناوری اطلاعات و ارتباطات[2](ICT) است. در چند دهه اخیر تأثیر ICT در تمامی جوامع چشمگیر و مورد بحث بوده است. فناوری اطلاعات و ارتباطات به مثابه بستر جامعه اطلاعاتی مجموعه‌ای از نوآوری‌ها است که در صورت نشر و پذیرش در بین تمامی اقشار جامعه به اهداف خود خواهد رسید.

ارتباط بین ICT با محیط زیست بسیار پیچیده و در عین حال جذاب است. استفاده از قابلیت‌های ICT در عرصه‌های مختلف بدون شک تبعات قابل توجهی در حوزه محیط زیست از خود به جای می‌گذارد. در عصر دیجیتال وقتی به معضل تغییر اقلیم می‌پردازیم باید پیامدهای تولید کربن توسط ICT را در نظر بگیریم. با توسعه و گسترش سریع ICT مصرف انرژی تجهیزات و سرویس‌های آن در حال افزایش است. به خصوص برخی از توسعه‌های اخیر ICT باعث افزایش تقاضای انرژی است و مانع بالقوه انرژی پایدار جهانی می‌شود. این یک هشدار جدی و ملموس است که ICT به یکی از مصرف‌کننده‌های عظیم انرژی در جهان تبدیل شده است و رابطه بین توسعه فناوری اطلاعات و ارتباطات و پایداری انرژی و محیط زیست برای دنیا حیاتی است. طبق اظهار سازمان بین المللی انرژی بخش‌های ICT سالانه ۲ درصد انتشار دی-اکسیدکربن جهانی را ایجاد می‌کند در حالی که ۱۵درصد انرژی دنیا را به خود اختصاص می‌دهد که نشان‌دهنده اهمیت این بخش در کیفیت محیط زیست است(خان و همکاران[3]،۲۰۲۰). از سوی دیگر، ICT به طور مستقیم و غیرمستقیم بر اقتصاد اجتماع و اهداف توسعه پایدار زیست محیطی تأثیرگذار است. فناوری اطلاعات و ارتباطات اساس نظارت بر تغییرات آب و هوایی است و برای کاهش اثرات ناشی از آن و کمک به انتقال به سمت اقتصاد سبز اهمیت بالایی دارد. در همین رابطه گزارشی در کنفرانس تغییرات آب و هوایی در سال ۲۰۱۵ منتشر شد که ICT با توجه به بهره‌وری تولید می‌تواند تا سال ۲۰۳۰ حدود ۲۰ درصد از انتشار دی‌اکسیدکربن را کاهش دهد. این فناوری قادر است حجم بسیاری از رفت و آمدها را کاهش

---

۱. این مقاله مأخوذ از پایان‌نامه کارشناسی ارشد آقای میلاد محمودوند با راهنمایی خانم دکتر سمیه اعظمی و مشاوره آقای دکتر کیومرث سهیلی است.

2. Information and Communication Technology
3. Khan *et al.*

دهد که این یکی از مزایای استفاده از این تکنولوژی در جهت بهبود کیفیت محیط زیست است(خان و همکاران،۲۰۲۰). ICT ممکن است به کیفیت محیطی کمک کند و فرصت‌های بزرگی برای شهرهای هوشمندتر، سیستم‌های حمل و نقل، شبکه‌های الکتریکی و فرآیندهای صنعتی ایجاد کند.

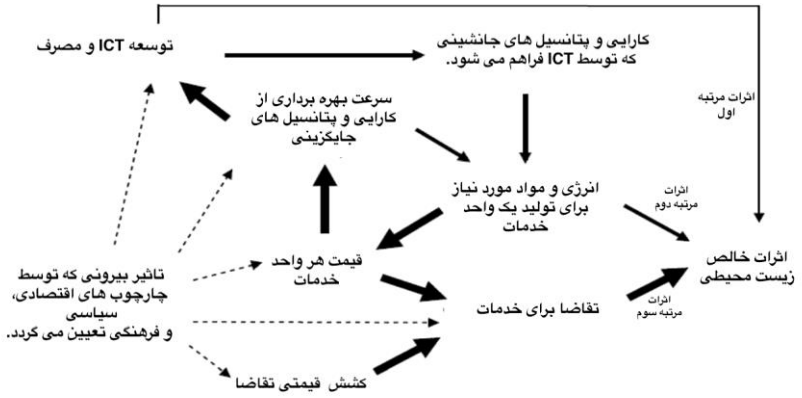
بنابراین بررسی تأثیر ICT بر تغییر اقلیم و توسعه پایدار با اهمیت است. یکی از راه‌ها برای سنجش کیفیت محیط زیست، بررسی انتشار دی‌اکسیدکربن است. اگرچه شاخص‌های ویژه این حوزه به صورت معمول تمرکز روی اجزا مختلف یک اکوسیستم را به صورت مجزا پیشنهاد می‌کند، در موضوع ICT دی‌اکسیدکربن به صورت کلی به عنوان یک شاخص تخریب محیط زیست به کار گرفته می‌شود. براساس گزارش هیئت میان دولتی تغییر اقلیم (IPCC)[1] در سال ۲۰۱۴، ۷۶٪ کل گازهای گلخانه‌ای از دی اکسیدکربن تشکیل شده است. بنابراین می‌توان عنوان کرد که انتشار دی‌اکسیدکربن نقش مهمی در محافظت از محیط زیست و توسعه پایدار دارد. در این مطالعه تلاش شده است به بررسی تأثیر ICT بر انتشار دی‌اکسیدکربن آلوده‌کننده‌های بزرگ آسیایی در فاصله زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۰ پرداخته شود. کشورهای چین، هند، ایران، اندونزی، ویتنام، پاکستان، فلیپین، اردن، نپال و تاجیکستان در گروه کشورهای در حال توسعه و ژاپن، کره جنوبی، اسراییل و سنگاپور در گروه کشورهای توسعه یافته توجه به دسترس بودن داده‌ها بررسی می‌شوند. قابل توجه است کشورهای چین، هند، ایران، اندونزی، ویتنام، پاکستان، فلیپین و بنگلادش، اردن، نپال و تاجیکستان به ترتیب حایز رتبه ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۷، ۲۸، ۳۳، ۴۰، ۷۹، ۹۲ و ۱۰۳ در میان کشورهای جهان بر حسب انتشار دی‌اکسیدکربن هستند. کشورهای ژاپن، کره جنوبی، اسراییل و سنگاپور به ترتیب حایز رتبه ۵، ۸، ۵۰ و ۵۶ میان کشورهای جهان (۲۱۹ کشور) بر حسب انتشار دی اکسیدکربن هستند. سازمان‌دهی مقاله به این صورت است که در ادامه به ترتیب مبانی نظری و پیشینه پژوهش مطرح می‌شود. روش‌شناسی پژوهش و مروری بر داده‌ها موضوع بخش چهارم است. یافته‌های تجربی و بحث به بخش پنجم و نتیجه‌گیری و توصیه سیاستی به بخش ششم اختصاص دارد.

مبانی نظری

در پنجاه سال گذشته بروز تحولات گسترده در زمینه کامپیوتر و ارتباطات، تغییرات عمده‌ای را در عرصه‌های مختلف حیات بشری به دنبال داشته است. فناوری اطلاعات و ارتباطات بدون شک تحولات گسترده‌ای را در تمامی عرصه‌های اجتماعی و اقتصادی بشریت به دنبال داشته و تأثیر آن بر جوامع بشری به گونه‌ای است که جهان امروز به سرعت در حال تبدیل شدن به یک جامعه اطلاعاتی است. جامعه‌ای که در آن دانایی و میزان دسترسی و استفاده مفید از دانش، دارای نقشی محوری و تعیین کننده است. در تعریف فناوری اطلاعات و ارتباطات می‌توان گفت؛ فناوری عبارت است از گردآوری، سازماندهی، ذخیره و نشر اطلاعات اعم از صوت، تصویر، متن یا عدد که با استفاده از ابزار رایانه‌ای و مخابرات صورت پذیرد. فناوری اطلاعاتی و ارتباطی، تولید، تنوع و توزیع کارآمد محصولات کشاورزی را مقدور می‌سازد و امکان

1. Intergovernmental Panel on Climate Change

عرضه خدمات اولیه بهداشتی به افراد بسیار نیازمند مناطق محروم از تسهیلات بهداشتی را فراهم‌تر می‌سازد. همچنین به آموزگاران این امکان را می‌دهد که دانش خود را به دورافتاده‌ترین نقاط این سیاره برسانند. دسترسی به فناوری اطلاعات می‌تواند ایجاد شرکت‌های کوچک و گروه‌بندی فقیرترین و دورافتاده‌ترین مناطق جهان را تقویت کند و به آن‌ها کمک کند و بخش عمده بازارهای داخلی و جهانی را به هم پیوند دهد. در چند دهه اخیر توجه ویژه‌ای به ICT شده است ولی به اثرات زیست محیطی این پدیده نوظهور به اندازه کافی توجه نشده است و می‌توان گفت مطالعات در ارتباط با این موضوع نتایج متفاوتی را دربرداشته است. از یک سو، تولید و توزیع تجهیزات فناوری اطلاعات و ارتباطات خود نیازمند مصرف انرژی و استفاده از مواد خام است. با توجه به این که فناوری‌های ارتباطی با سرعت در حال بروز شدن هستند این تجهیزات دارای طول عمر کوتاه‌مدت می‌باشند که باعث می‌شود تولید پسماندهای الکترونیکی ناشی از این فناوری قابل توجه باشد. عبور کابل‌های شبکه، ایستگاه‌های سیار انتقال داده و کارگذاری تجهیزات در محیط زیست از دیگر آسیب‌هایی است که اثرات منفی این فناوری محسوب می‌شود. از سوی دیگرICT به طور مستقیم و غیرمستقیم بر اقتصاد اجتماع و اهداف توسعه پایدار زیست محیطی تأثیرگذار است. فناوری اطلاعات و ارتباطات اساس نظارت بر تغییرات آب و هوایی است و برای کاهش اثرات ناشی از آن و کمک به انتقال به سمت اقتصاد سبز اهمیت بالایی دارد.



نمودار۱. مکانیسم تأثیر ICT بر انتشار دی اکسید کربن

منبع: خان و همکاران، ۲۰۲۰

در این زمینه یک توپولوژی سه مرتبه‌ای به صورت عمده مورد بحث قرار گرفته شده که به صورت واضح مکانیزم اثر ICT را بر انتشار دی‌اکسیدکربن نشان می‌دهد (نمودار (۱)). مرتبه اول به عنوان اثر مستقیم استفاده ازICT، مرتبه دوم اثر جایگزینی غیرمستقیم این فناوری و مرتبه سوم اثر بازگشتی ICT می‌باشند. مرتبه اول اثرات استفاده از ICT بیانگر مصرف انرژی در طول تولید، پردازش، توزیع و راه‌اندازی تجهیزات این فناوری است. این اثرات به چرخه عمر محصولات ICT در طول تولید، ارسال، حمل و نقل،

کارایی و دفع آن‌ها مربوط می‌شود. ارزیابی‌های اخیر نشان می‌دهد که اثرات مستقیم زیرساخت‌های ICT حدود ۲ تا ۳ درصد انتشار جهانی دی اکسیدکربن را شامل می‌شود. اثرات مرتبه دوم جانشینی گذار به سمت الگوهای پایدار تولید و مصرف را تسهیل می‌کند. از جمله این تغییرات می‌توان به غیرمادی شدن، غیرسیار شدن و کربن‌زدایی شدن اشاره کرد. غیرمادی شدن مانند جایگزینی کتاب‌های الکترونیکی به جای نمونه‌های فیزیکی، پست الکترونیک به جای پست معمولی، روزنامه‌های الکترونیکی به جای روزنامه کاغذی برای به حداقل رساندن مواد زائد. به طور مشابه غیرسیار بودن اشاره به کاهش فعالیت‌های بیرون از خانه دارد که در کاهش مصرف سوخت وسایل نقلیه و به تبع آن کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن مؤثر است؛ ویدیو کنفرانس به جای همایش‌های حضوری و کار در خانه به جای حضور در محل کار. اثرات جایگزینی به بهینه‌سازی فرایند تولید، بهبود بهره‌وری انرژی و تحقق کربن‌زدایی کمک می‌کند. می‌توان گفت اثرات غیرمستقیم ICT از اثرات مستقیم آن بیشتر است. اثرات بازگشتی مرتبه سوم ICT به اثراتی اشاره دارد که در آن تقاضای اضافی برای منابعی که به طور کارآمد استفاده می‌شوند تحریک می‌شود (یعنی استفاده بیشتر از سیستم حمل و نقل کارآمدتر انرژی). یک اثر برگشتی مرتبه سوم استاندارد (فعال شده با استفاده مستقیم یا غیرمستقیم ICT) وضعیتی را نشان می‌دهد که در آن افزایش کارایی (اثر جایگزینی) احتمالاً اثرات زیست‌محیطی یک فعالیت را کاهش می‌دهد، اما تقاضای اضافی کاهش را جبران می‌کند. این تأثیرات بازگشتی بالقوه از طریق تأثیرات بر سبک زندگی، نظام ارزشی و چارچوب فرهنگی تحقق می‌یابد.

از زاویه دیگر می‌توان تأثیرICT بر کیفیت محیط زیست را تحلیل نمود. منحنی زیست محیطی کوزنتس که به شکل U معکوس است به بررسی ارتباط کیفیت محیط زیست و رشد اقتصادی می پردازد. سه دلیل ساختاری برای این منحنی وجود دارد؛ اثر مقیاسی، اثر ترکیبی و اثر تکنیکی. اثر مقیاسی اشاره دارد که با گسترش فعالیت‌های اقتصادی انرژی بیشتر نیاز است که موجب افزایش انتشار آلاینده‌ها می‌شود. اثر دوم اثر ترکیبی است که نشان می‌دهد رشد اقتصادی کیفیت محیط زیست را بهبود می‌بخشد با این استدلال که اقتصاد از حالت تولید محور به خدمات محور تغییر می‌کند به طوری که سهم فعالیت‌های پاک افزایش پیدا می‌کند. اثر تکنیکی به کشورها اجازه رشد و جایگزینی تکنولوژی‌های سازگار با محیط زیست را می‌دهد. اگر فناوری باعث تخصیص بهینه منابع شود آلودگی کاهش می‌یابد حتی اگر تولید کشورها افزایش یابد. در نتیجه منحنی U معکوس کوزنتس با ترکیب اثرات ترکیبی و تکنیکی در مقابله با اثر مقیاسی توصیف می‌شود. معمولاً این که آیا ICT می‌تواند پتانسیل یک متغیر برای توضیح فرضیه EKC را داشته باشد مورد بحث و تحقیق است.

پیشینه پژوهش

در این قسمت به مطالعاتی که به بررسی تأثیر ICT بر کیفیت محیط زیست پرداخته‌اند، اشاره می‌شود. پارک و همکاران[1] (۲۰۱۸) به بررسی اثرات استفاده اینترنت بر انتشار کربن در کشورهای منتخب

1. Park *et al.*

اتحادیه اروپا بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴ پرداختند. یافته‌های تجربی نشان می‌دهد که استفاده از اینترنت با انتشار CO2 و کاهش کیفیت محیط زیست ارتباط بلندمدت دارد. نتایج علیت پانل ناهمگن گرنجر، علیت یک‌طرفه از استفاده از اینترنت به انتشار CO2 را نشان می‌دهد. لو[1](۲۰۱۸) به بررسی تأثیر ICT، رشد اقتصادی و توسعه مالی بر انتشار دی‌اکسیدکربن در ۱۲ کشور آسیایی بین سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۳ می پردازد. ICT تأثیر منفی و معنی‌دار بر انتشار دی‌اکسیدکربن دارد. ارتقای ICT به یکی از راهبردهای مهم برای کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن برای کشورهای مختلف تبدیل می‌شود. ICT محیط زیست را تهدید نمی‌کند و سیاست ICT را می‌توان بخشی از سیاست کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن دانست. اوزکان و آپرگیس[2](۲۰۱۸) از اینترنت به عنوان شاخص ICT استفاده کردند تا به بررسی اثر آن بر انتشار دی اکسیدکربن به عنوان شاخص کیفیت محیط زیست بپردازند. آن‌ها از پانل متشکل از ۲۰ اقتصاد نوظهور بین سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵ استفاده کردند که دریافتند دسترسی به اینترنت باعث کاهش آلودگی هوا می‌شود. دهقان شعبانی و شهنازی[3](۲۰۱۹) به بررسی ارتباط بلندمدت و کوتاه‌مدت بین تقاضای انرژی، تولید ناخالص داخلی، انتشار دی‌اکسیدکربن و ICT در اقتصاد ایران بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ پرداختند. یافته‌های تجربی تأثیر مثبت ICT بر CO2 در بخش صنعت، و تأثیر منفی ICT بر انتشار CO2 در بخش‌های حمل و نقل و خدمات را تأیید کرد. نتایج حاکی از وجود علیت کوتاه‌مدت دو طرفه بین ICT و CO2 در بخش‌های صنعتی و حمل و نقل و یک رابطه علی یک‌طرفه بین ICT و CO2 در بخش خدمات است. در نهایت علیت بلندمدت یک‌طرفه از ICT، تولید ناخالص داخلی و مصرف انرژی به انتشار CO2 وجود دارد. یان و همکاران [4](۲۰۱۸) به بررسی تأثیر ICT بر مصرف انرژی با تمرکز بر صرفه‌جویی انرژی توسعه ICT در ۵۰ کشور در سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۳ می‌پردازند. نتایج رگرسیون نشان می‌دهد که توسعه ICT به طور قابل توجهی با بهبود بهره‌وری انرژی مرتبط است. در نهایت این مطالعه تسریع توسعه ICT در اقتصادهای توسعه نیافته را با توجه به وظیفه مشترک جهانی مصرف انرژی پایدار پیشنهاد می‌کند. آسونگو[5](۲۰۱۸) به بررسی تأثیر ICT بر پدیده جهانی شدن و انتشار دی اکسید کربن در ۴۴ کشور آفریقایی در سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲ با استفاده از الگوی پویا و استفاده از روش GMM پرداخت. یافته‌ها به طور گسترده نشان می‌دهند که ICT می‌تواند برای کاهش تأثیر بالقوه منفی جهانی شدن بر تخریب محیط‌زیست مانند انتشار CO2 استفاده شود.

کوتون[6](۲۰۱۹) به بررسی توسعه ICT و تقاضای انرژی در ۲۸ کشور آفریقایی در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ با استفاده از مدل پویا و روش برآوردی GMM پرداخت. در این مطالعه از داده‌های استفاده از

1. Lu
2. Ozcan & Apergis
3. Dehghan Shabani & Shahnazi
4. Yan *et al.*
5. Asongu
6. Kouton

تلفن همراه و اینترنت برای ICT استفاده شد. نتایج نشان می‌دهند که توسعه ICT بر تقاضای انرژی تأثیر مثبت و معنی دار دارد. راحیم و همکاران [1](۲۰۲۰) به بررسی تأثیر ICT و توسعه مالی بر انتشار کربن و رشد اقتصادی در کشور های G7 در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ می‌پردازند. با استفاده از PMG دریافتند که ICT تأثیر بلندمدت و مثبت بر انتشار کربن دارد. تعامل بین ICT و توسعه مالی ضرایب منفی به همراه دارد. همچنین هردوی آن‌ها تأثیر منفی بر رشد اقتصادی دارند، هرچند آن‌ها اثر ترکیبی هم بر رشد اقتصادی خواهند داشت. توارای و چیمبو [2](۲۰۱۹) به بررسی تأثیر ICT بر انتشار کربن در بازارهای نوظهور در فاصله زمانی ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۴ با استفاده از اقتصادسنجی پانل (اثر ثابت، اثر تصادفی، FMOLS و Pooled OLS) پرداخته‌اند. بدون در نظر گرفتن تعاملات بین ICT و توسعه مالی و رشد اقتصادی (این که توسعه مالی و رشد اقتصادی از طریق ICT بر انتشار کربن تأثیر دارند)، ICT تأثیر مثبت و معنی‌دار بر انتشار کربن در تمامی مدل‌های پانل داشته است. با در نظر گرفتن تعاملات بین ICT و توسعه مالی و رشد اقتصادی، ICT از کانال توسعه مالی انتشار کربن را افزایش می‌دهد (اثر ثابت، اثر تصادفی، FMOLS). در روش Pooled OLS، ICT از کانال توسعه مالی انتشار کربن را کاهش می‌دهد. حسیب و همکاران [3](۲۰۱۹) به بررسی تأثیر ICT بر انتشار دی اکسید کربن در کشورهای BRICS [4] می‌پردازند. نتایج DSUR [5] نشان می دهد که ICT تأثیر معکوس بر انتشار کربن دارد. چنگ و همکاران [6](۲۰۱۹) به بررسی تأثیر ICT بر آلودگی محیط زیست در ۲۸۵ شهر چین در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ پرداخته اند. بین ICT و آلودگی یک همبستگی فضایی مثبت و معنی دار وجود دارد. نتایج تخمین مدل‌های اقتصادسنجی فضایی نشان می‌دهد که فناوری اطلاعات به طور قابل‌توجهی آلودگی را تشدید کرده است و اثر بازگشتی ICT بر آلودگی محیط‌زیست نقش اصلی را ایفا کرده است که نشان می‌دهد اثر سیاست چین با استفاده از ICT برای بهبود کیفیت محیط زیست مبهم است.

خان و همکاران (۲۰۲۰) تأثیر ICT بر انتشار دی‌اکسیدکربن را برای ۹۱ کشور در دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۷ بررسی کردند. ICT با استفاده از تحلیل مؤلفه اصلی ساخته می‌شود. یافته‌ها نشان می‌دهد که ICT مقدار انتشار دی‌اکسیدکربن را در مجموعه کامل داده‌ها کاهش می‌دهد. هرچند مقایسه بین این اثر در کشورهای توسعه یافته و درحال‌توسعه نشان می‌دهد که در کشورهای توسعه یافته، فناوری به پایداری محیط زیست کمک می‌کند در حالی که این در مورد کشورهای در حال توسعه عکس آن دیده می‌شود. اوم و همکاران [7](۲۰۲۰) به بررسی تأثیر ICT و کیفیت محیط زیست در ۲۱ کشور آفریقایی در سال های

1. Raheem *et al.*
2. Tsaurai & CChimbo
3. Hseeb *et al.*
4. Brazil, Russia, India, China, South Africa
5. Dynamic Seemingly Unrelated Regression
6. Cheng *et al.*
7. Aom *et al.*

۱۹۹۶تا ۲۰۱۴ با استفاده از الگوی STIRPAT[1] پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که ICT نه تنها تأثیر مستقیم و مثبت بر انتشار کربن دارد بلکه همچنین تأثیر غیرمستقیم و مثبت از طریق تأثیر بر مصرف انرژی و توسعه مالی و تأثیر غیرمستقیم و منفی از طریق تأثیر بر تجارت دارد. بهرحال، اثر کل ICT بر انتشار کربن مثبت بوده و کیفیت محیط زیست را بدتر می‌کند. آرشاد و همکاران[2](۲۰۲۰) به بررسی تأثیر ICT بر انتشار کربن در جنوب و جنوب شرقی آسیا (SSEA) در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ می‌پردازند. آنالیزهای خوشه‌ای[3]برای شناسایی دو گروه یعنی کشورهای پیشرفته و بالقوه برای پیشرفت براساس توسعه اجتماعی آن‌ها صورت گرفته است. نتایج نشان می‌دهند به این دلیل که سرویس‌های آن‌ها از نظر انرژی بهینه نیستند، توسعه مالی و ICT کیفیت محیط زیست را در این کشورها بدتر کرده است. شهزاد و همکاران[4](۲۰۲۰) به بررسی تأثیر سرمایه‌گذاری ICT بر انتشار دی‌اکسیدکربن در کشور پاکستان با استفاده از مدل ARDL پرداخته‌اند. در این پژوهش نشان داده می شود که استفاده از ICT اثر منفی بر انتشار دی‌اکسیدکربن دارد. نتایج بلندمدت بیانگر آن است که واردات تجهیزات ICT اثر مثبتی بر کیفیت محیط زیست دارد. گودیل و همکاران[5](۲۰۲۰) به بررسی رابطه بین توسعه مالی، ICT و انتشار دی‌اکسیدکربن در کشور پاکستان با استفاده از QARDL[6] در سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۸ پرداخته‌اند. توسعه مالی و ICT بدون توجه به میزان انتشار کربن اثر منفی بر انتشار کربن دارد. ناوین و همکاران[7](۲۰۲۰) به بررسی نقش ICT و نوآوری در انتشار کربن و رشد اقتصادی سیزده کشور منتخب G20 طی ۱۵ سال می‌پردازد. پنج عامل مانع انتشار کربن می‌شوند که عبارتند از قیمت انرژی، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، فناوری، هزینه‌های نوآوری و باز بودن تجارت. بقیه عوامل از جمله توسعه مالی در آلودگی محیط زیست نقش دارند. آلتینوز و همکاران[8] (۲۰۲۱) به بررسی همبستگی ICT، بهره‌وری کل عوامل تولید و انتشار دی‌اکسیدکربن در ۱۰ اقتصاد نوظهور بین سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۴ با استفاده از PVAR[9] پرداخته‌اند. نتایج تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که استفاده از اینترنت و اشتراک تلفن ثابت تأثیر مثبتی بر آلودگی محیط‌زیست دارد، اگرچه اشتراک‌های تلفن همراه و بهره‌وری کل عوامل تولید تأثیر منفی بر انتشار کربن دارند. آماری و همکاران[10](۲۰۲۲) نشان می‌دهند که افزایش آمادگی، استفاده و شدت فناوری اطلاعات و ارتباطات در کشورهای با درآمد پایین و متوسط پایین‌تر، پایداری زیست محیطی را با کاهش انتشار CO_2 و مصرف انرژی افزایش می‌دهد. کاکار و

1. Stochastic Impact by Regression on Population, Affluence and Technology
2. Arshad *et al.*
3. Cluster Analysis
4. Shehzad *et al.*
5. Godil *et al.*
6. Quantile Autoregressive Distributed Lag
7. Nguyen *et al.*
8. Alinoz *et al.*
9. Panel Vector Autoregressive
10. Amari *et al.*

همکاران (۲۰۲۳)[1]به بررسی تأثیر حکمرانی خوب (با استفاده از یک شاخص ترکیبی) و فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) بر کیفیت محیط زیست در کشورهای سازمان منطقه همکاری آسیای جنوبی[2]از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ با استفاده از روش DOLS[3] و FMOLS[4] می‌پردازد. نتایج نشان داد که حاکمیت در این گروه از کشورها باعث تضعیف بیشتر محیط زیست می‌شود، درحالی‌که فناوری اطلاعات و ارتباطات نشانگرهای جذاب برای کاهش انتشار CO_2 در منطقه هستند.

در ایران نیز مطالعاتی در زمینه تأثیر ICT بر کیفیت محیط زیست انجام شده است که در ادامه به برخی از این مطالعات اشاره می‌شود.

فلاحی و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی تأثیر ICT بر کیفیت محیط زیست ایران طی دوره ۱۳۸۸-۱۳۵۵ با استفاده از روش هم‌انباشتگی ARDL می‌پردازند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد خطوط تلفن ثابت تأثیر مثبت بر کیفیت محیط زیست دارد در حالی که با افزایش کاربران اینترنت کیفیت محیط زیست کاهش می‌یابد.

علوی‌پور و همکاران (۱۳۹۲) در چارچوب یک مطالعه تحلیلی که آثار ICT بر محیط زیست هم به صورت مثبت و هم به صورت منفی وجود دارند. بنابراین به جهت حفظ و ارتقای کیفیت محیط زیست در راستای توسعه پایدار استفاده درست از این فناوری‌ها همراه با در نظر گرفتن تمامی جنبه‌های فرهنگی، اقتصادی، سیاسی، اجتماعی امری ضروری است. ارباب و شعبانی (۱۳۹۶) به بررسی تأثیر ICT بر کیفیت محیط زیست کشورهای D_8 طی دوره ۲۰۱۴-۱۹۹۴ با روش پانل دیتا می‌پردازند. نتایج حکایت از آن دارد که گسترش فعالیت ICT جدا از تبعات مطلوب در حوزه اقتصاد، می‌تواند تبعات محیط زیستی مناسبی را نیز به همراه داشته باشد.

جعفری پرویز خانلو و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی تأثیرICT و رشد اقتصادی بر انتشار دی‌اکسیدکربن در کشورهای حوزه خلیج فارس طی دوره ۲۰۱۵-۲۰۰۰ با استفاده از روش پانل دیتا می‌پردازند. نتایج نشان می‌دهد که ICT تأثیر مستقیم و مجذور آن تأثیر منفی و معنادار بر انتشار دی‌اکسیدکربن دارد. نتیجه حاکی از وجود رابطه‌ای به شکل U معکوس بینICT و انتشار دی‌اکسیدکربن بود. آریان‌فر و همکاران (۱۴۰۲) به بررسی تأثیر ICT بر کیفیت محیط زیست کشورهای اوپک با تاکید بر فرضیه پناهگاه آلایندگی طی دوره ۲۰۱۵-۲۰۰۸ با روش گشتاورهای تعمیم‌یافته می‌پردازند. نتایج برآورد بیانگر وجود رابطه U بین ICT و انتشار دی‌اکسیدکربن است. آریان‌فر و علمی (۱۴۰۲) به بررسی تأثیر ICT بر ردپای اکولوژیکی کشورهای صادر کننده نفت طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۶ با روش گشتاورهای تعمیم‌یافته می‌پردازند. نتایج برآورد بیانگر وجود رابطه U معکوس بین ICT و ردپای اکولوژیکی است.

---

1. Kakar *et al*.
2. The South Asian Association for Regional Cooperation (SAARC)
3. Dynamic Ordinary Least Squares
4. Fully Modified Least Squares

همان‌طور که ملاحظه می‌گردد در ادبیات تجربی دیدگاه واحدی در خصوص تأثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات بر کیفیت محیط زیست وجود ندارد. در مطالعه حاضر تلاش شده است با استفاده از روش تحلیل مؤلفه اصلی یک شاخص ترکیبی فناوری اطلاعات و ارتباطات ساخته شود و هر سه عامل مهم در ادبیات یعنی؛ تلفن ثابت، گوشی موبایل و دسترسی به اینترنت در بررسی فناوری اطلاعات و ارتباطات در نظر گرفته شود. همچنین بر کشورهای آسیایی که سهم بالایی در انتشار دی‌اکسیدکربن دارند تمرکز شده است و این کشورها به دو گروه درحال‌توسعه و توسعه‌یافته تقسیم شده است و امکان تأثیر متفاوت ICT بر انتشار دی‌اکسیدکربن به لحاظ نقش توسعه یافتگی فراهم شده است.

روش‌شناسی پژوهش

در ادامه به بررسی روش‌شناسی پژوهش پرداخته می‌شود. ابتدا روش حداقل مربعات تعمیم یافته امکان‌پذیر (FGLS)[1]توضیح داده می شود. این روش برای برآورد الگوی پژوهش در راستای پاسخ به سوال پژوهش استفاده می‌شود. سپس به توضیح روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی(PCA)[2] پرداخته می‌شود. از این روش برای ساخت دو متغیر پژوهش استفاده می‌شود؛ متغیر ICT و شاخص حکمرانی خوب. در پایان، داده‌های پژوهش بررسی می‌شود. متغیرهای شاخص ترکیبی ICT تلفن همراه، اینترنت و تلفن ثابت و متغیرهای شاخص ترکیبی حکمرانی خوب، کنترل فساد، آزادی بیان و ثبات سیاسی است.

روش FGLS

داده‌های مقطعی ـ سری زمانی تلفیقی از داده‌های سری زمانی و مقطعی است؛ تکرار مشاهدات در طول زمان بر روی مجموعه‌ای از مقاطع(واحدها). استفاده از این داده‌ها در مطالعات علوم اجتماعی رایج و متداول شده است. ناهمسانی واریانس، خود همبستگی و همبستگی مقطعی مشکلات مهمی در جملات خطای مدل‌های رگرسیون پانل هستند. دو رویکرد برای مقابله با این مشکلات وجود دارد. اولین رویکرد استفاده از برآوردگر حداقل مربعات معمولی ما با یک خطای استاندارد قوی است که نسبت به ناهمگونی و همبستگی قوی است (هانسن،[3] ۲۰۰۷). یک دسته از خطاهای استاندارد قوی که به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند، خطاهای استاندارد خوشه‌ای هستند، برای مثال وولدریج[4] (۲۰۱۰)، بای و همکاران[5] (۲۰۱۹) یک خطای استاندارد قوی با خوشه‌های ناشناخته را پیشنهاد کردند. رویکرد دوم استفاده از برآوردگر حداقل مربعات تعمیم‌یافته[6] (GLS) است که مستقیماً ناهمسانی واریانس، خود همبستگی و همبستگی مقطعی را در برآورد در نظر می‌گیرد. به خوبی شناخته شده است که GLS کارآمدتر از OLS است. این مطالعه بر رویکرد دوم تمرکز دارد.

---

1. Feasible Generalized Least Squares
2. Principal Component Analysis
3. Hansen
4. Wooldridge
5. Bai *et al.*
6. Generalized Least Squares

الگوی رگرسیونی (۱) را که در آن Y بردار متغیر وابسته، X بردار متغیرهای توضیحی، β بردار ضرایب رگرسیونی و E بردار جملات اختلال است را با در نظر گرفتن این فرض که $EY = XB$ در نظر می‌گیریم.

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (۱)$$

فرض $V(y) = V(\varepsilon) = \sigma^2 I$ صادق نیست و در عوض فرض $V(y) = V$ اضافه می‌شود که در آن V ماتریس معین مثبت است. گاهی $V(y) = \sigma^2\Omega$ در نظر گرفته می‌شود. $E(\hat{\beta})$ $\hat{\beta} = (XX)^{-1}X'Y$ و $V(\hat{\beta})$ چقدر است؟ در این حالت $V(\hat{\beta}) = (X'X)^{-1}XVX(X'X)^{-1}$ است. ایده اصلی GLS این است که ماتریس مشاهده $[y \quad X]$ به گونه‌ای تبدیل می‌شود که واریانس در مدل تبدیل شده $\sigma^2 I$ باشد. از آن جایی که V معین مثبت است، V^{-1} نیز معین مثبت است. بنابراین، یک ماتریس غیر منفرد P وجود دارد که $V^{-1} = P'P$. با تبدیل $Y = X\beta + \varepsilon$ رابطه (۲) بدست می‌آید:

$$Py = PX\beta + P\varepsilon \quad (۲)$$

که:

$$EP\varepsilon = PE\varepsilon = 0 \quad (۳)$$

$$V(P\varepsilon) = PE\varepsilon\varepsilon'P' = PVP' = P(P'P)^{-1}P' = I \quad (۴)$$

یعنی مدل تبدیل شده $Py = PX\beta + \varepsilon$ شرایطی را برآورده می‌کند که تحت آن برآوردگرهای حداقل مربعات توسعه داده می‌شوند. بنابراین برآوردگر LS در مدل تبدیل شده BLUE[1] است. برآوردگر LS برای β در مدل $Py = PX\beta + P\varepsilon$، برآوردگر GLS برای β در مدل $y = X\beta + \varepsilon$ است. برآوردگر GLS برای β عبارتست از:

$$\hat{\beta}_G = (X'P'PX)^{-1}X'P'Py = (X'V^{-1}X)^{-1}X'V^{-1}y \quad (۵)$$

به طوری که

$$V(\hat{\beta}_G) = E(X'V^{-1}X)^{-1}X'V^{-1}\varepsilon\varepsilon'V^{-1}X(X'V^{-1}X)^{-1}$$
$$= (X'V^{-1}X)^{-1}X'V^{-1}VV^{-1}X(X'V^{-1}X)^{-1} = (X'V^{-1}X)^{-1}$$

و

$$\hat{\beta}_G - \beta = (X'V^{-1}X)^{-1}X'V^{-1}\varepsilon$$

1. Best Linear Unbiased Estimator

مطابق با قضیه آیتکن[1] برآوردگر GLS، BLUE است.

اگر Ω معلوم نباشد، امیدی به تخمین Ω نیست. بنابراین ما معمولاً برخی از محدودیت‌های پارامتری را به صورت $\Omega = \Omega(\theta)$ با پارامتر ثابت θ_a ایجاد می‌کنیم. سپس می‌توان امیدوار بود که θ را با استفاده از مربع‌ها و محصولات متقاطع باقیمانده‌های LS تخمین بزنیم یا می‌توانیم از ML استفاده کنیم. بنابراین، "سازگاری" به تخمین θ اشاره دارد. مطابق با تعریف $\widehat{\Omega} = \Omega(\widehat{\theta})$، $\widehat{\Omega}$ تخمین زن سازگاری از Ω است اگر و فقط θ تخمین‌گر سازگاری از θ باشد. (FGLS) روش تخمینی است که وقتی Ω ناشناخته است استفاده می‌شود. FGLS همان GLS است با این تفاوت که به جای Ω از یک Ω تخمینی استفاده می‌کند، مثلاً $\widehat{\Omega} = \Omega(\widehat{\theta})$.

$$\widehat{\beta}_{FG} = (X'\widehat{\Omega}^{-1}X)^{-1}X'\widehat{\Omega}^{-1}y \qquad (۶)$$

توجه داریم که

$$\widehat{\beta}_{FG} - \beta = (X'\widehat{\Omega}^{-1}X)^{-1}X'\widehat{\Omega}^{-1}\varepsilon \qquad (۷)$$

سازگاری $\widehat{\theta}$ به معنای سازگاری برآوردگر FGLS است. کمی بیشتر برای برآوردگر FGLS لازم است تا توزیع مجانبی مشابه برآوردگر GLS داشته باشد. این شرایط معمولا رعایت می‌شود.

به منظور بررسی تأثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات بر کیفیت محیط زیست مدل رگرسیونی (۸) در نظر گرفته می‌شود.

$$CO2_{it} = \beta_0 + \beta_1 GDP_{it} + \beta_2 GDP_{it}^2 + \beta_3 En_{it} + \beta_4 TO_{it} + \beta_5 GG_{it} + \beta_6 ICT_{it} + \varepsilon_{it} \qquad (۸)$$

$CO2$ دی اکسید کربن، GDP تولید ناخالص داخلی، En مصرف انرژی، TO درجه بازبودن تجارت، GG شاخص حکمرانی خوب، ICT شاخص فناوری اطلاعات و ارتباطات و ε_{it} جملات خطا است. t و i به ترتیب بیانگر زمان (سال) و مقطع (کشور) است.

در ادامه در مورد نحوه ساخت متغیرهای فناوری اطلاعات و ارتباطات و حکمرانی خوب توضیح داده می‌شود.

تحلیل مؤلفه های اصلی (PCA)

یکی از متداول‌ترین روش‌های آنالیز فاکتوری یا بررسی عاملی، روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی با نام اختصاری و متداول PCA است. تحلیل مؤلفه‌های اصلی تبدیلی در فضای برداری است که بیشتر برای کاهش ابعاد مجموعه داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. تحلیل مؤلفه‌های اصلی توسط پیرسون[2] (۱۹۰۱) ارائه شد. این روش در بسیاری از زمینه های علوم شامل بیولوژی، کشاورزی، اقتصاد، گرافیک، شیمی، علوم اجتماعی و رفتاری و غیره جهت تشخیص

1. Aitken's Theorem
2. Pearson

الگو، دسته بندی و طبقه بندی، مدل‌سازی نرم و ... کاربرد گسترده‌ای دارد. اولین قدم، یافتن بزرگترین جهت واریانس در ماتریس داده‌هاست که به آن مؤلفه اصلی اول یا به اختصار PC1 گویند. مؤلفه اصلی دوم یا PC2 به نحوی تعریف می‌شود که حداکثر واریانس موجود در داده‌ها را که توسط PC1 محاسبه نشده اند، را نشان دهد اما بر PC1 عمود باشد. مؤلفه‌های اصلی دیگر نیز به همین نحو انتخاب می‌شوند که حداکثر واریانس موجود در داده‌ها را نشان دهند اما بر مؤلفه‌های اصلی دیگر عمود باشند. عمود بودنPCها یا مؤلفه‌های اصلی برهم یعنی این که مؤلفه‌های اصلی هیچ همبستگی با هم ندارند و همبستگی بین آن‌ها صفر است.

داده اولیه معمولاً برای انتقال به مرکز سیستم مختصات و هم‌مقیاس شدن متغیرها با هم، به پیش پردازش نیاز دارند. رسم بهترین خط برازش شده از میان داده‌های اولیه، جهت حداکثر واریانس تصویرسازی شده روی خط را نشان می‌دهد. این خط همان مؤلفه اصلی اول یا PC_1 است. بنابراین PC_1 ترکیب خطی از تمام متغیرهای اولیه است و می‌توان آن را به صورت زیر نوشت:

$$PC_1 = a_{11}X_1 + a_{21}X_2 + \cdots + a_{p1}X_p \quad (۹)$$

و همین‌طور برای PC_2:

$$PC_2 = a_{12}X_1 + a_{22}X_2 + \cdots + a_{p2}X_p \quad (۱۰)$$

اندیس‌های a ضرایب متغیرها در مؤلفه‌های اصلی هستند. توجه شود که مؤلفه اصلی اول (PC_1) بیشترین واریانس داده‌ها را نشان می‌دهد و مؤلفه‌های اصلی بعدی، به ترتیب واریانس‌های کمتری، که در مؤلفه‌های اصلی قبلی لحاظ نشده را نشان می‌دهند.

اساس محاسبات روش PCA تجزیه ماتریس اولیه (X) به دو ماتریس کوچکتر، ماتریس امتیاز و ماتریس بار، طبق معادله زیر است:

$$X = TP' + E^{\infty} \quad (۱۱)$$

در رابطه بالا، Tماتریس امتیازها[1] P ماتریس بارها[2]و E ماتریس باقی مانده یا خطاست.

فاصله اولیه هر نقطه تا نقطه تصویر شده آن بر روی این خط را امتیاز می‌گویند. بنابراین به هر مشاهده یا نمونه‌ای یک امتیاز تعلق می‌گیرد که ممکن است منفی یا مثبت باشد. ماتریس امتیاز در رابطه با علامت T نشان داده شده است. P' ترانهاده ماتریس P است. ماتریس بار تصویرسازی متغیرها بر روی مؤلفه‌های اصلی است. برای تصویرسازی داده‌ها در PCA از الگوریتم‌های مختلفی مانند تجزیه بردارهای ویژه، تجزیه مقادیر منفرد و حداقل مربعات جزیی غیرخطی تکرار شونده استفاده می‌شود. براساس الگوریتم تجزیه بردارهای ویژه، PCA روشی است که این موارد را به همراه می‌آورد: معیاری برای چگونگی ارتباط هر یک از متغیرها با یکدیگر (ماتریس کوواریانس)، جهتی که داده‌ها در آن پراکنده هستند (بردارهای ویژه)

1. Scores
2. Loading

و اهمیت نسبی این جهت‌های مختلف (مقادیر ویژه). در مرحله تشکیل ماتریس کوواریانس به بررسی تفاوت داده های متغیرها نسبت به میانگین برای یافتن ارتباط بین آن‌ها می‌پردازیم. در مواردی این متغیرها بسیار به یکدیگر همبسته هستند که باعث می‌شود حاوی اطلاعات اضافی باشند. برای شناخت بهتر این همبستگی‌ها ماتریس کوواریانس تشکیل می‌شود. براساس تعریف ارائه شده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی، هدف از این تحلیل انتقال مجموعه داده $X_1 \dots X_N$ با ابعاد M به داده Y با ابعاد L است. بنابرین فرض بر این است که ماتریس X از بردارهای تشکیل شده است که هر کدام به صورت ستونی در ماتریس قرار داده شده است. بنابرین با توجه به ابعاد بردارها (M) ماتریس داده‌ها به صورت M×N است.

نتیجه میانگین تجربی، برداری است که به صورت زیر به دست می‌آید:

$$u[m] = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} X[m,i] \qquad (۱۲)$$

که به طور مشخص میانگین تجربی روی سطرهای ماتریس اعمال شده است. سپس ماتریس فاصله تا میانگین به صورت زیر به دست می‌آید:

$$B = X - uh \qquad (۱۳)$$

که h برداری با اندازه $1\times N$ که تمام درایه‌های آن یک می‌باشد. محاسبه ماتریس کوواریانس A با ابعاد M×M به صورت زیر بدست می‌آید:

$$A = E[B \otimes B] = E[B.B^*] = \frac{1}{N} B.B^* \qquad (۱۴)$$

E میانگین حسابی، $\otimes$ ضرب خارجی و B^* ترانهاده مزدوج B می‌باشد. به عنوان مثال برای یک سری داده های سه بعدی با سه متغیر x,y,z ماتریس کوواریانس سه بعدی و به صورت شکل زیر می‌باشد:

$$\begin{bmatrix} Cov(x,x) & Cov(x,y) & Cov(x,z) \\ Cov(y,x) & Cov(y,y) & Cov(y,z) \\ Cov(z,x) & Cov(z,y) & Cov(z,z) \end{bmatrix} \qquad (۱۵)$$

که این ماتریسی متقارن است به این معنی که درایه‌های بالای قطر اصلی با درایه‌های پایین قطر اصلی دو به دو با هم برابرند. قدم بعدی محاسبه ویژه بردارها و ویژه مقدارهای ماتریس کوواریانس است. λ یک ویژه مقدار ماتریس C است اگر جواب معادله زیر صفر باشد:

$$\det(\lambda I - A) = 0 \qquad (۱۶)$$

به طوری‌که I ماتریس یکه با ابعاد ماتریس C می‌باشد و نماد det دترمینان را نشان می‌دهد. همچنین با حل معادله زیر برای هر λ می‌توان یک ویژه بردار V پیدا کرد:

$$(\lambda I - A)V = 0 \qquad (۱۷)$$

در نهایت تشکیل دادن ترکیب‌های خطی برای ساختن مؤلفه‌های اصلی انجام می‌شود.

داده‌ها

این پژوهش به بررسی تأثیر ICT بر انتشار دی‌اکسیدکربن آلوده‌کننده‌های بزرگ آسیایی در فاصله زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۰ می‌پردازد. کشورهای چین، هند، ایران، اندونزی، ویتنام، پاکستان، فلیپین، اردن، نپال و تاجیکستان در گروه کشورهای در حال توسعه و ژاپن، کره جنوبی، اسرائیل و سنگاپور در گروه کشورهای توسعه یافته توجه به دسترس بودن داده‌ها بررسی می‌شوند. جدول (۱) گزارشی از متغیرهای الگو و منبع گردآوری اطلاعات هر متغیر ارایه می‌دهد.

جدول ۱. متغیرها و منبع داده‌ها

متغیر	تعریف	واحد	منبع
CO_2	دی اکسید کربن	سرانه تن متریک	بانک جهانی[1]
GDP	تولید ناخالص داخلی	تولید ناخالص داخلی سرانه (دلارثابت سال ۲۰۱۵)	بانک جهانی
En	مصرف انرژی	QBTU	سازمان اطلاعات انرژی امریکا
Trade	درجه بازبودن تجارت (مجموع صادرات و واردات به GDP)	درصدی از تولید ناخالص داخلی	بانک جهانی
متغیرهای شاخص ترکیبی حکمرانی خوب (GG)			
Voice	آزادی بیان و میزان مشارکت[4]	امتیاز بدون یکا (۲/۵+ تا ۲/۵-)	شاخص‌های‌جهانی حکمرانی[3]
Political Stability	ثبات سیاسی و عدم وجود خشونت/تروریسم[5]	امتیاز بدون یکا (۲/۵+ تا ۲/۵-)	شاخص‌های‌جهانی حکمرانی
Control of Corruption	کنترل فساد[6]	امتیاز بدون یکا (۲/۵+ تا ۲/۵-)	شاخص‌های‌جهانی حکمرانی
متغیرهای شاخص ترکیبی فناوری اطلاعات و ارتباطات(ICT)			
Internet	دسترسی به اینترنت	افرادی که از اینترنت استفاده می کنند(درصدی از جمعیت)	بانک جهانی
Mobile	دسترسی به تلفن همراه	اشتراک تلفن همراه (به ازای هر ۱۰۰ نفر)	بانک جهانی
Ftel	دسترسی به تلفن ثابت	اشتراک تلفن ثابت (به ازای هر ۱۰۰ نفر)	بانک جهانی

منبع: یافته‌های پژوهش

1. World Bank Database
2. Good Governance
3. Worldwide Governance Indicators (WGI)
4. Voice and Accountability
5. Political Stability and Absence of Violence/Terrorism
6. Control of Corruption

جدول (۲) گزارشی از توصیف آماری متغیرهای الگو برای هر دو گروه کشورهای در حالت توسعه و توسعه یافته ارائه می‌دهد.

جدول ۲. خلاصه آماری داده‌ها

متغیر	مشاهده	میانگین	انحراف معیار	کمترین	بیشترین
کشورهای در حال توسعه					
CO_2	۲۰۶	۲/۱۶۶۷۱۶	۲/۲۹۱۵۳۱	۰/۱۰۰۵۱۱۴	۷/۸۱۴۴۱۹
GDP	۲۰۹	۲۵۵۶/۸۹۲	۱۹۶۲/۸۶۲	۵۱۰/۰۸۶۳	۱۰۳۷۰/۳۶
Energy	۲۰۹	۱۴/۳۱۳۲۵	۳۳/۱۱۶۵۵	۰/۰۵۶	۱۵۶/۰۲۸
Trade	۲۰۷	۵۹/۳۴۸۸۱	۲۸/۵۴۲۸۲	۲۵/۱۱۰۵۹	۱۴۶/۹۱۲۸
Voice	۲۰۹	-۰/۷۴۱۷۳۹۴	۰/۶۷۸۳۰۹۳	-۱/۷۹۶۸۷۲	۰/۴۶۲۱۹۳۱
Plitical Stability	۲۰۹	-۰/۹۹۶۱۲۴۴	۰/۶۹۱۰۸۳۲	-۲/۸۱	۰/۴۸
Control of Corruption	۲۰۹	-۰/۶۳۵۷۴۱۶	۰/۳۹۱۳۴۹۴	-۱/۵	۰/۳۶
Internet	۲۰۶	۲۱/۰۸۴۵۷	۰/۰۵۵۴۶۲۸	۸۴/۱۱۰۸۷	۱/۹۸۴۵۵
Mobile	۲۰۹	۷۰/۰۰۰۲۲	۴۴/۴۶۴۰۷	۰/۰۸۸۴۹۵۲	۵۱۰/۰۸۶۳
Ftel	۲۰۹	۸/۶۰۹۲۶۵	۹/۹۰۵۸۹۶	۰/۴۴۳۱۰۱۲	۳۸/۸۱۷۷۳
کشورهای توسعه یافته					
CO_2	۷۲	۹/۳۷۰۲۱۹	۱/۲۸۵۰۷	۶/۸۷۶۲۱	۱۲/۲۲۵۲۵
GDP	۷۶	۳۵۶۰۷/۳۱	۱۰۰۲۲/۱۳	۱۸۹۳۶/۹۵	۶۱۱۷۳/۹
Energy	۷۶	۸/۸۱۳۰۹۲	۷/۸۹۳۹۷	۰/۸۱۸	۲۲/۶۳۲
Trade	۷۶	۱۳۵/۸۱۹۱	۱۳۵/۹۹۸۱	۲۰/۴۴۷۱۲	۴۳۷/۳۲۶۷
Voice	۷۶	۰/۵۷۰۵۲۶۳	۰/۴۳۳۳۵۸۶	-۰/۳۹	۱/۱۱
Plitical Stability	۷۶	۰/۳۸۰۲۶۳۲	۰/۹۷۲۲۸۹۴	-۱/۶۳	۱/۶۲
Control of Corruption	۷۶	۱/۲۴۷۱۰۵	۰/۶۳۷۵۸۸۸	۰/۳	۲/۳
Internet	۷۶	۷۳/۵۵۸۵	۱۸/۴۲۶۸۳	۱۷/۷۶۴۶	۹۶/۵۰۵۰۶
Mobile	۷۶	۱۱۶/۰۶۲۴	۲۵/۲۰۳۱۱	۶۳/۴۲۶۶۷	۱۵۵/۶۴۷۴
Ftel	۷۶	۴۵/۷۹۸۴۳	۶/۶۳۴۶۰۶	۳۲/۳۲۲۹	۶۰/۲۴۹۵۷

منبع: یافته‌های پژوهش

یافته‌های تجربی و بحث

ابتدا برای دستیابی به یک شاخص کلی از معیار حکمرانی خوب و فناوری اطلاعات و ارتباطات از رویکرد PCA استفاده می‌شود. می‌توان با استفاده از رویکرد تحلیل مؤلفه‌های اصلی با کاهش ابعاد متغیرها یک شاخص ترکیبی برای حکمرانی خوب و فناوری اطلاعات و ارتباطات ارائه نمود.

جدول ۳. نتایج بررسی روش تحلیل مؤلفه اصلی برای متغیر حکمرانی خوب

کشورهای درحال‌توسعه			
	مقدار ویژه	نسبت	نسبت تجمعی
مؤلفه اول	۱/۴۷۵۳	۰/۴۹۱۸	۰/۴۹۱۸
مؤلفه دوم	۱/۱۵۰۲	۰/۳۸۳۴	۰/۸۷۵۲
مؤلفه سوم	۰/۳۷۴۴	۰/۱۲۴۸	۱/۰۰
کشورهای توسعه‌یافته			
مؤلفه اول	۲/۰۳۹۲	۰/۶۷۹۸	۰/۶۷۹۸
مؤلفه دوم	۰/۷۰۰۶	۰/۲۳۳۶	۰/۹۱۳۳
مؤلفه سوم	۰/۲۶۰۰	۰/۰۸۶۷	۱/۰۰

کشورهای درحال‌توسعه			
	مؤلفه اول	مؤلفه دوم	مؤلفه سوم
Voice	-۰/۱۲۰۶	۰/۸۸۶۴	۰/۴۴۶۹
Plitical Stability	۰/۷۲۹۵	-۰/۲۲۶۲	۰/۶۴۵۵
Control of Corruption	۰/۶۷۳۲	۰/۴۰۳۹	-۰/۶۱۹۳
کشورهای توسعه‌یافته			
Voice	-۰/۵۴۸۸	۰/۶۸۰۴	۰/۴۸۵۶
Plitical Stability	۰/۵۳۲۰	۰/۷۳۲۴	-۰/۴۲۴۹
Control of Corruption	۰/۶۴۴۸	-۰/۰۲۵۱	-۰/۷۶۴۰

منبع: یافته‌های پژوهش

مطابق با جدول (۳) برای کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته مقدار ویژه اولین مؤلفه بزرگتر از یک است و به ترتیب تقریباً ۵۰ درصد و ۶۸ درصد پراکندگی مجموعه داده‌ها توسط این مؤلفه قابل بیان است. به عبارت دیگر همه معیارها نشان‌دهنده این است که انتخاب مؤلفه اول کافی است. بدین ترتیب سهم هر یک از متغیرها در این تحقیق از طریق واریانس تبیین‌شده به وسیله هر عامل جهت شاخص ترکیبی محاسبه شده است. در قسمت پایانی جدول (۳) مشخص شده است که هر متغیر چگونه روی هر جزء و یا مؤلفه بارگذاری شده است.

جدول ۴. نتایج بررسی روش تحلیل مؤلفه اصلی برای متغیر فناوری اطلاعات و ارتباطات

	کشورهای درحال‌توسعه		
	مقدار ویژه	نسبت	نسبت تجمعی
مؤلفه اول	۲/۰۱۷۴	۰/۶۷۲۵	۰/۶۷۲۵
مؤلفه دوم	۰/۸۶۴۷	۰/۲۸۸۳	۰/۹۶۰۷
مؤلفه سوم	۰/۱۱۷۷	۰/۰۳۹۳	۱/۰۰
	کشورهای توسعه‌یافته		
مؤلفه اول	۱/۵۱۱۶	۰/۵۰۳۹	۰/۵۰۳۹
مؤلفه دوم	۰/۹۹۴۱	۰/۳۳۱۴	۰/۸۳۵۳
مؤلفه سوم	۰/۴۹۴۱	۰/۱۶۴۷	۱/۰۰
	کشورهای درحال‌توسعه		
	مؤلفه اول	مؤلفه دوم	مؤلفه سوم
Internet	۰/۶۷۵۳	۰/۱۴۶۶	۰/۷۲۲۹
Mobile	۰/۶۴۱۴	-۰/۳۶۷۳	۰/۶۷۳۶
Ftel	۰/۳۶۴۳	۰/۹۱۸۵	۰/۱۵۴۰
	کشورهای توسعه‌یافته		
Internet	۰/۳۹۴۵	۰/۸۳۳۶	-۰/۳۸۶۶
Mobile	۰/۷۰۵۱	-۰/۰۰۴۸	۰/۷۰۹۱
Ftel	-۰/۵۸۹۳	۰/۵۵۲۳	۰/۵۸۹۷

منبع: یافته‌های پژوهش

مطابق جدول(۴) برای کشورهای درحال‌توسعه و توسعه‌یافته مقدار ویژه اولین مؤلفه بزرگتر از یک است و به ترتیب تقریباً ۶۸ درصد و ۵۰ درصد پراکندگی مجموعه داده‌ها توسط این مؤلفه قابل بیان است. به عبارت دیگر همه معیارها نشان‌دهنده این است که انتخاب مؤلفه اول کافی است. بدین ترتیب سهم هر یک از متغیرها در این تحقیق از طریق واریانس تبیین شده به وسیله هر عامل جهت شاخص ترکیبی محاسبه شده است. در قسمت پایانی جدول (۴) مشخص شده است که هر متغیر چگونه روی هر جزء و یا مؤلفه بارگذاری شده است.

در ادامه تلاش بر این است که مدل پژوهش، رابطه رگرسیونی (۸)، برای هر دو گروه کشورها برآورد شود. در مطالعه داده‌های پانل، با توجه به در نظر گرفتن کشورهای مختلف می‌بایست قبل از انجام آزمون‌های پایایی متغیرهای مدل وابستگی مقطعی بررسی شود. وابستگی مقطعی مسئله مهمی در اقتصادسنجی پانل است. با وجود همبستگی مقاطع در پانل دیتا، نتایج تخمین به طور کلی ناسازگار و تورش‌دار (به سمت بالا) می‌شوند. بنابراین آزمون وابستگی مقطعی قبل از انجام هر تجزیه و تحلیلی ضروری است.

آزمون وابستگی مقطعی

اگر وجود وابستگی مقطعی در داده‌ها تأیید شود، می‌بایست از آزمون‌های ریشه واحد و هم‌انباشتگی‌ای که این وابستگی را لحاظ می‌کنند استفاده کرد. در غیر این صورت، از آزمون‌های ریشه واحد و هم‌انباشتگی

معمولی می‌توان استفاده کرد. نتایج آزمون وابستگی مقطعی فریدمن در جدول (۵) برای هر دو گروه کشورها گزارش می‌شود.

جدول۵. نتایج آزمون وابستگی مقطعی فریدمن

کشورهای توسعه‌یافته			کشورهای درحال‌توسعه		
نتیجه	مقدار احتمال	آماره	نتیجه	مقداراحتمال	آماره
عدم وابستگی مقاطع	۰/۶۷۳۹	۰/۴۲۱	عدم وابستگی مقاطع	۰/۳۳۲۸	۰/۹۶۸

منبع: یافته‌های پژوهش

مطابق با مقدار احتمال، فرضیه مقابل دال بر وجود وابستگی مقطعی رد می‌شود. بنابراین بین مقاطع (کشورها) وابستگی وجود ندارد. بنابراین برای انجام آزمون ریشه واحد و هم‌انباشتگی از آزمون‌های نسل اول استفاده می‌شود.

آزمون ریشه واحد

برای بررسی ریشه واحد متغیرها از آزمون ریشه واحد ایم- پسران-شین[1] استفاده شده است. جدول (۶) نتایج این آزمون را گزارش می‌دهد.

جدول ۶. آزمون ریشه واحد

متغیر	کشورهای در حال توسعه			کشورهای توسعه یافته		
	آماره	مقدار احتمال	نتیجه	آماره	مقدار احتمال	نتیجه
LCO2	۷۸/۵۰۲۳	۰/۰۰۰۰	I(۰)	۲۰/۸۹۹۷	۰/۰۰۷۴	I(۰)
LGDP	۵۵/۱۳۳۵	۰/۰۰۰۱	I(۰)	۲۸/۷۲۰۵	۰/۰۰۰۴	I(۰)
$LGDP^2$	۳۸/۵۷۲۴	۰/۰۱۵۸	I(۰)	۲۷/۹۲۳۷	۰/۰۰۰۵	I(۰)
LEnergy	۵۴/۰۰۵۶	۰/۰۰۰۲	I(۰)	۱۳/۵۹۳۴	۰/۰۹۳۰	I(۰)
LTrade	۵۰/۸۳۴۳	۰/۰۰۰۵	I(۰)	۲۱/۱۵۸۹	۰/۰۰۶۷	I(۰)
GG	۶۴/۸۱۲۱	۰/۰۰۰۰	I(۰)	۱۸/۰۷۱۷	۰/۰۲۰۷	I(۰)
ICT	۳۱۹/۷۴۱۰	۰/۰۰۰۰	I(۰)	۳۸/۰۰۵۰	۰/۰۰۰۰	I(۰)

منبع: یافته‌های پژوهش

ICT شاخص ترکیبی فناوری اطلاعات و ارتباطات و GG شاخص ترکیبی حکمرانی خوب است. تمامی متغیرهای الگو ریشه واحد ندارند و در سطح مانا هستند. این بدان مفهوم است در بلندمدت میان متغیرهای الگو ارتباط وجود دارد.

1. Im-Pesaran-Shin (IPS) Unit Root Test

آزمون‌های واریانس ناهمسانی، خود همبستگی و همبستگی پسماندهای مقاطع

از آزمون واریانس ناهمسانی والد اصلاح شده، آزمون خود همبستگی ولدریج و آزمون LM بریوش ـ پاگان[1] به ترتیب برای بررسی واریانس ناهمسانی، خودهمبستگی و همبستگی پسماندهای مقاطع استفاده شده است. نتایج این آزمون‌ها در جدول (۷) گزارش می‌شود.

جدول ۷. آزمون واریانس ناهمسانی، خودهمبستگی و همبستگی پسماندهای مقاطع

کشورهای توسعه‌یافته			کشورهای درحال‌توسعه		
نتیجه	مقدار احتمال	آماره	نتیجه	مقدار احتمال	آماره
واریانس ناهمسانی وجود دارد	۰/۰۰۰	Chi2(۴)=۳۳/۳۴	واریانس ناهمسانی وجود دارد	۰/۰۰۰	Chi2(۱۱)=۱۲۸۷۵/۸۳
خودهمبستگی وجود دارد	۰/۰۹۸۰	F(۱،۳)=۵/۶۴	خودهمبستگی وجود دارد	۰/۰۰۰	F(۱،۱۰)=۵۱/۵۹
همبستگی پسماندهای مقاطع وجود دارد.	۰/۰۰۶۲	Chi2(۶)=۱۸/۰۰	همبستگی پسماندهای مقاطع وجود دارد.	۰/۰۰۰	Chi2(۵۵)=۳۷۰/۲۰۰

منبع: یافته‌های پژوهش

مطابق جدول (۷)، در هر دو گروه کشورها واریانس ناهمسانی و خودهمبستگی وجود دارد. همچنین، نتایج حاکی از آن است که در هر دو گروه کشورها پسماندهای مقاطع (کشورها) همبسته هستند (وجود همبستگی همزمانی).

برآورد مدل

مطابق با نتایج آزمون واریانس ناهمسانی، خودهمبستگی و همبستگی پسماندهای مقاطع از روش FGLS برای تخمین مدل استفاده می شود. نتایج برآورد مدل کشورهای درحال‌توسعه و توسعه‌یافته به ترتیب در جدول (۸) و (۹) گزارش می‌شود.

جدول ۸. برآورد مدل برای کشورهای در حال توسعه

متغیر	ضریب	مقدار احتمال
LGDP	۲/۲۲۴۷۳۵	۰/۰۰۰
$LGDP^2$	-۰/۱۲۵۶۲۴۵	۰/۰۰۰
LEnergy	۰/۰۱۸۳۰۴۸	۰/۰۰۰
LTrade	۰/۳۲۷۱۰۵۸	۰/۰۰۰
GG	-۰/۰۵۳۳۳۳	۰/۰۰۱
ICT	۰/۰۰۸۲۳۸۴	۰/۰۰۰
تعداد مشاهدات	۲۰۹	
Wald chi2 مقدار احتمال	۵۹۵۰۷/۸۸ ۰/۰۰۰۰	

منبع: یافته‌های پژوهش

1. Beusch- Pagan (BP) Lagrange Multiplier Test

مطابق با جدول (۸)، ضریب LGDP مثبت و معنی دار و ضریب $LGDP^2$ منفی و معنی‌دار است. این گویای تأیید فرضیه زیست محیطی کوزنتس در کشورهای در حال توسعه است. در این کشورها، مصرف انرژی و درجه بازبودن تجارت منجر به کاهش معنی‌دار کیفیت محیط زیست می‌شود. حکمرانی خوب منجر به افزایش معنی‌دار کیفیت محیط زیست می شود. در کشورهای درحال‌توسعه ، شاخص ترکیبی ICT منجر به افزایش معنی‌دار انتشار دی‌اکسیدکربن می‌شود.

جدول ۹. برآورد مدل برای کشورهای توسعه‌یافته با در نظر گرفتن دسترسی به اینترنت، تلفن همراه و تلفن ثابت و ICT (شاخص ترکیبی)

	برآورد مدل با تلفن ثابت		برآورد مدل با تلفن همراه		برآورد مدل با اینترنت		برآورد مدل با شاخص ترکیبی ICT	
متغیر	ضریب	مقدار احتمال	ضریب	مقدار احتمال	ضریب	مقدار احتمال	ضریب	مقدار احتمال
LGDP	۶/۴۴	۰/۰۸۰	۷/۵۰۶۱	۰/۰۰۱	۱۵/۳۲۳۱۷	۰/۰۰۰۰	۸/۱۰۰۴۷	۰/۰۰۰
$LGDP^2$	-۰/۷۱۵۹	۰/۰۸۲	-۰/۸۵۴۰	۰/۰۰۱	-۱/۷۲۱۱۱۹	۰/۰۰۰۰	-۰/۹۱۲۵۸۱۴	۰/۰۰۰
LEnergy	۰/۰۶۹۷۴	۰/۰۶۰	۰/۱۱۱۲	۰/۰۰۰۰	۰/۱۱۴۳۵۰۲	۰/۰۰۰۰	۰/۱۲۷۴۴۰۶	۰/۰۰۰
LTrade	۰/۱۰۹۶	۰/۰۰۳	۰/۱۲۰۲	۰/۰۰۰۰	۰/۱۲۴۸۷۳۲	۰/۰۰۰۰	۰/۱۲۵۹۴۹۱	۰/۰۰۰
GG	-۰/۰۰۲۵	۰/۸۲۸	-۰/۰۳۴۶	۰/۰۰۳	-۰/۰۴۵۶۶۵۷	۰/۰۰۰۰	-۰/۰۰۱۸۸۹	۰/۰۰۰
ICT							۰/۰۰۱۸۸۹	۰/۹۵۱
Internet					-۰/۰۲۹۸۶۲۳	۰/۰۵۳		
Mobile			۰/۱۱۲۰	۰/۸۶۲				
Ftel	۰/۱۳۳۴	۰/۱۱						
تعداد مشاهدات	۷۲		۷۲		۷۲		۷۲	
Wald chi2 مقدار احتمال	۱۴/۸۷ ۰/۰۲۱۳		۱۲۴/۴۹ ۰/۰۰۰۰		۲۳۰/۸۰ ۰/۰۰۰		۲۳۲/۸۷ ۰/۰۰۰	

منبع: یافته‌های پژوهش

مطابق با جدول (۹)، ضریب LGDP مثبت و معنی‌دار و ضریب $LGDP^2$ منفی و معنی‌دار است. این گویای تأیید فرضیه زیست محیطی کوزنتس در کشورهای توسعه یافته است. در این کشورها، مصرف انرژی و درجه بازبودن تجارت منجر به کاهش معنی‌دار کیفیت محیط زیست می‌شود. حکمرانی خوب منجر به افزایش معنی‌دار کیفیت محیط زیست می‌شود. شاخص ترکیبی ICT تأثیر افزایشی ولی بی‌معنی بر انتشار دی‌اکسیدکربن کشورهای توسعه‌یافته دارد. با توجه به

ضریب بی‌معنی شاخص ترکیبی ICT بر داده‌های دسترسی به اینترنت، تلفن همراه و تلفن ثابت این کشورها تمرکز می‌شود.

لازم به ذکر است نتایج آزمون ریشه واحد حاکی از مانا بودن متغیر اینترنت، تلفن همراه و تلفن ثابت است. همچنین با وجود این متغیر ها وابستگی مقطعی تأیید نمی‌شود و نتایج آزمون ناهمسانی واریانس، خودهمبستگی و همبستگی پسماندها نیز به ترتیب بیانگر ناهمسانی واریانس، وجود خودهمبستگی و تأیید همبستگی پسماندها است. مطابق با جدول (۹)، اینترنت منجر به کاهش معنی‌دار انتشار دی‌اکسیدکربن کشورهای توسعه‌یافته می‌شود، اما دسترسی به تلفن همراه و تلفن ثابت تأثیر معنی‌دار بر انتشار دی-اکسیدکربن ندارد (تأثیر مثبت و بی‌معنی). این می‌تواند به این دلیل باشد که در کشورهای توسعه یافته خیلی سریع در این بازه زمانی اکثر مردم از تلفن همراه استفاده می‌کنند به‌طوری که در سال‌های شروع بازه زمانی مطالعه تعداد زیادی تلفن همراه به ازای صد نفر وجود دارد و یا خیلی زود این مقدار به صد تلفن همراه به ازای صد نفر می‌رسد. در عین حال داده دسترسی به اینترنت در این کشورها که درصد استفاده مردم از اینترنت را مشخص می‌کند با توجه به روند رشد می‌تواند شاخص مناسب‌تری برای این دسته از کشورها باشد.

مطابق با ادبیات نظری مکانیسم تأثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات بر انتشار دی‌اکسیدکربن از طریق سه اثر است؛ اثرات مستقیم مربوط به استفاده از ابزارهای فناوری است. به این معنی که در طول تولید، پردازش، توزیع و نصب تجهیزات مربوطه پسماندها باعث انتشار میزان قابل توجهی دی‌اکسیدکربن می‌شود. همچنین پسماندهای الکترونیکی و تجهیزات مضر فناوری اطلاعات مانند مرکز داده‌های بزرگ و استفاده از انتقال سیار داده‌ها تهدیدی برای کیفیت محیط زیست است. اثر جایگزینی به عنوان سازماندهی مجدد فرایند تولید تعریف می‌شود از جمله جایگزینی کاغذها و اسناد به نمونه‌های الکترونیکی، سیستم‌های حمل و نقل هوشمند، سیستم کنترل ترافیک هوشمند و کاهش فعالیت‌های فضای باز همچنین کاهش سفرهای درون شهری با استفاده از ابزارهای برخط جایگزین که همه این‌ها باعث کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن و کارایی بهتر انرژی می‌شوند. در مرتبه سوم اثرهای بازگشتی به اثراتی مربوط می‌شوند که تقاضای اضافی برای منابعی که دارای بهره‌وری بالا هستند را برانگیخته می‌کند. سومین اثر هزینه‌ای است که فناوری اطلاعات و ارتباطات ایجاد می‌کند. افزایش تقاضا را برای کالاها و سرویس‌های نوظهور ایجاد می‌کند که با توجه به کاهش قیمت‌های این سرویس‌ها موجب افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن می‌شود. استدلال می شود که اثرات بازگشتی احتمالاً در کشورهای در حال توسعه که تقاضای انرژی معمولاً برآورده نمی‌شود، بیشتر خواهد بود. انتظار می‌رود برآیند سه اثر مستقیم، اثر جایگزینی و اثر بازگشتی در مجموع در کشورهای درحال‌توسعه آسیایی منجر به افزایش کربن شده باشد. این در حالی است که در کشورهای توسعه یافته آسیایی برایند این سه اثر منجر به کاهش کربن شده است. این می‌تواند به این دلیل باشد که اثرات افزایش کربن توسعه ICT مانند اثرات مستقیم و بازگشتی در مجموع در کشورهای درحال‌توسعه آسیایی بزرگتر از اثر جایگزینی است. درحالی‌که در کشورهای توسعه یافته اثر جایگزینی قوی‌تری از اثرات مستقیم و بازگشتی است.

اگر بخواهیم نتایج این مطالعه را با ادبیات تجربی مقایسه کنیم باید عنوان کرد که نتایج مطالعه حاضر با نتایج آیشیدا[1](۲۰۱۵) در مورد ژاپن، لی و براهماسرن[2](۲۰۱۴) در مورد اندونزی، فیلیپین، ویتنام، سنگاپور (اعضای آ سه آن[3])، آرشاد و همکاران (۲۰۲۰) در مورد ایران، نپال، پاکستان، ویتنام، اندونزی، بنگلادش، هند و سنگاپور (جنوب و جنوب شرق آسیا)، خان و همکاران (۲۰۲۰) در مورد کشورهای در-حال‌توسعه و کشورهای توسعه‌یافته همراهی می‌کند. مطالعه حاضر نتایج لو (۲۰۱۸) را در مورد چین، هند، اندونزی، فیلیپین، ژاپن و سنگاپور (۱۲ کشور آسیایی) همراهی نمی‌کند. همچنین، لازم به ذکر است که ادبیات نتایج متفاوت و متناقضی در مورد کشور چین دارد. در ایران نیز نتایج مطالعات متفاوت است.

نتیجه‌گیری، بحث و پیشنهاد سیاستی

هدف این مطالعه بررسی تأثیرICT بر انتشار دی‌اکسیدکربن آلوده‌کننده‌های بزرگ آسیایی در فاصله زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۰ است. نتایج حاکی از آن است که فرضیه زیست محیطی کوزنتس در هر دو گروه کشورها مورد تأیید است. در هر دو گروه کشورها، مصرف انرژی و درجه بازبودن تجارت منجر به کاهش و حکمرانی خوب منجر به افزایش کیفیت محیط زیست می‌شود. شاخص ترکیبی ICT به طور معنی‌داری منجر به کاهش کیفیت محیط زیست کشورهای درحال‌توسعه می‌شود. در کشورهای توسعه‌یافته، شاخص ترکیبی ICT تأثیر معنی‌دار بر کیفیت محیط زیست ندارد (مثبت و بی‌معنی)، در حالی که دسترسی به اینترنت به طور معنی‌داری منجر به بهبود کیفیت محیط زیست می‌شود.

نتایج این مطالعه از چند جنبه قابل توجه است. اول این که، در ادبیات تجربی غالباً از سه متغیر دسترسی به اینترنت، تلفن ثابت و تلفن همراه جهت بررسی تأثیر ICT استفاده می‌شود. این در حالی است که دسترسی به اینترنت در مقایسه با شاخص ترکیبی ICT تأثیر معنی‌داری بر کیفیت محیط زیست کشورهای توسعه یافته دارد. دوم اینکه، تأثیر ICT در هر دو گروه کشورها نتایج متفاوتی به همراه دارد. این نتیجه متفاوت می‌تواند به دلیل برایند اثرات ICT بر کیفیت محیط زیست باشد. مقایسه اثرات افزایشی کربن ناشی از توسعهICT با اثرات کاهشی کربن ناشی از توسعهICT. می‌توان عنوان کرد که کشورهای متفاوت با توجه درجه توسعه یافتگی می‌توانند تجربیات متفاوتی در مورد تأثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات بر کیفیت محیط زیست داشته باشند. سوم این که، دوره زمانی مطالعه بر نتایج مطالعه تأثیرگذار است. این دوره برای کشورهای متفاوت با توجه رشد دسترسی به تلفن همراه و اینترنت متفاوت است.

فناوری اطلاعات و ارتباطات می تواند به کیفیت محیط زیست در کشورهای توسعه یافته کمک کند. با توجه به تأثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات بر رشد و توسعه اقتصادی و با توجه به تأثیر منفی آن بر کیفیت محیط زیست کشورهای درحال‌توسعه، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و بهینه‌یابی مصرف انرژی در این کشورها توصیه می‌شود. همچنین فعال کردن اثر جایگزینی به بهبود کیفیت محیط زیست کشورهای

1. Ishida
2. Iee & Brahmasrene
3. Association of Southeast Asian Nations

درحال‌توسعه کمک خواهد کرد. سیستم‌های حمل و نقل هوشمند، سیستم کنترل ترافیک هوشمند، کاهش فعالیت‌های فضای باز (کاهش فعالیت‌های بیرون از منزل، ویدیو کنفرانس به جای همایش‌های حضوری و کار در خانه به جای حضور در محل کار) و همچنین کاهش سفرهای درون شهری با استفاده از ابزارهای برخط جایگزین باعث کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن و کارایی بهتر انرژی می‌شوند.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی: مقاله حامی مالی ندارد.

مشارکت نویسندگان: تمام نویسندگان در آماده‌سازی مقاله مشارکت داشته‌اند.

تعارض منافع: بنا بر اظهار نویسندگان در این مقاله هیچ‌گونه تعارض منافعی وجود ندارد.

تعهد کپی‌رایت: طبق تعهد نویسندگان حق کپی‌رایت رعایت شده‌است.

منابع

ارباب، حمیدرضـا و شـعبانی اسـماعیل. (۱۳۹۶). تأثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات بر آلودگی‌های زیست‌محیطی در کشورهای D8. *فصلنامه مطالعات مدیریت کسب‌وکار هوشمند*، ۵ (۲۰)، ۱۰۲-۷۷.

آریان‌فر، فاطمه و علمی، زهرا. (۱۴۰۲). تأثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات بر ردپای اکولوژیکی در کشورهای صادرکننده نفت. *پژوهشهای اقتصادی(رشد و توسعه پایدار)*، مقاله آماده انتشار.

آریان‌فر، فاطمه؛ علمی، زهرا و عی سی‌زاده رو شن، یو سف. (۱۴۰۲). اثر فناوری اطلاعات و ارتباطات کیفیت محیطزی ست با تأکید بر فر ضیه پناهگاه آلودگی در ک شورهای ع ضو اوپک. *تحلیل‌های اقت صادی توسعه ایران*، ۹(۳)، ۱۶۵-۱۹۲.

جعفری پرویز خانلو، کرم؛ پایتختی ا سکویی، سید علی و ازلی، رباب. (۱۴۰۰). برر سی تأثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات و رشد اقتصادی بر آلودگی محیطزیست مطالعه موردی کشورهای حوزه خلیج فارس. *دو فصلنامه مطالعات و سیاست‌های، اقتصادی*، ۸(۱)، ۱۳۴-۱۰۷.

علوی پور، فاطمه سـادات؛ احسـانی، امیر هوشـنگ، ثالثی، مرضـیه و چهرآذر، فائزه. (۱۳۹۲). تأثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات در توسعه پایدار محیط زیست. *فصلنامه علمی آموزش محیط زیست و توسعه پایدار*، ۲(۵)، ۵۳-۷۲.

فلاحی، فیروز؛ سـجودی، سـکینه و ممی‌پور، سـیاب. (۱۳۹۱). بررسـی تأثیر تکنولوژی ارتباطات بر کیفیت محیط زیست ایران. *فصلنامه اقتصاد محیط زیست و انرژی*، ۱(۲)، ۱۷۱-۱۴۹.

References

Alavipoor, F. S; Ehsani, A. H; Salesi, M; & Chehrazar, F. (2013). Impact of ICT on Environmental sustainable development. *Environmental Education and Sustainable Development*, *2*(5), 53–72. (In Persian).

Altinoz, B; Vasbieva, D; & Kalugina, O. (2021). The effect of information and communication technologies and total factor productivity on CO2 emissions in top 10 emerging market economies. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(45), 63784–63793.

Amari, M; Mouakhar, K; & Jarboui, A. (2022). ICT development, governance quality and the environmental performance: avoidable thresholds from the lower and lower-middle-income countries. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, *33*(2), 125–140.

Arbab, H; & Shabani, E. (2017). The impact of information and communication technologies on environmental pollution in D8 countries. *Business Intelligence Management Studies*, *5*(20), 77–102. (In Persian).

Arianfar, F; Elmi, Z. (2023). The impact of information and communication technology on the ecological footprint in oil-exporting countries. *Sustainable Growth and Development*, Accepted Article (In Persian).

Arianfar, F; Elmi, Z; & Eisazadeh Roshan, Y. (2023). The effect of Information and Communication Technology on environmental quality with an emphasis on the Pollution Haven Hypothesis in OPEC. *Iranian Economic Development Analyses*, 9(1), 165-192. (In Persian).

Arshad, Z; Robaina, M; & Botelho, A. (2020). The role of ICT in energy consumption and environment: an empirical investigation of Asian economies with cluster analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*(26), 32913–32932.

Asongu, S. A. (2018). ICT, openness and CO2 emissions in Africa. *Environmental Science and Pollution Research*, *25*(10), 9351–9359.

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.

Bai, J; Choi, S. H; & Liao, Y. (2019). Standard errors for panel data models with unknown clusters. *Journal of Econometrics*, 240*(2), 105004.*

Cheng, Z; Li, L; & Liu, J. (2019). The effect of information technology on environmental pollution in China. *Environmental Science and Pollution Research*, *26*(32), 33109–33124.

Dehghan Shabani, Z; & 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.

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).

Godil, D. I; Sharif, A; Agha, H; & Jermsittiparsert, K. (2020). The dynamic nonlinear influence of ICT, financial development, and institutional quality on CO2 emission in Pakistan: new insights from QARDL approach. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*(19), 24190–24200.

Hansen, C. B. (2007). Asymptotic properties of a robust variance matrix estimator for panel data when T is large. *Journal of Econometrics*, *141(2), 597-620.*

Haseeb, A; Xia, E; Saud, S; Ahmad, A; & Khurshid, H. (2019). Does information and communication technologies improve environmental quality in the era of globalization? An empirical analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, *26*(9), 8594–8608.

IPCC, Climate Change. (2014). Synthesis Report Summary for policymakers. Jayanthakumaran, K. Verma, R . Liu, Y. (2012). CO2 emissions, energy consumption, trade and income: a comparative analysis of China and India. *Energy Policy*, 42, 450-460.

Ishida, H. (2015). The effect of ICT development on economic growth and energy consumption in Japan. *Telematics and Informatics*, *32*(1), 79–88.

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).

Kakar, A; Khan, A; & Khan, A. (2023). Analyzing the role of governance, ICT, and urbanization on environment in South Asian countries. *Journal of the Knowledge Economy*, 1-22.

Khan, F. N; Sana, A; & Arif, U. (2020). Information and communication technology (ICT) and environmental sustainability: a panel data analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*(29), 36718–36731.

Kouton, J. (2019). Information Communication Technology development and energy demand in African countries. *Energy*, *189*, 116192.

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.

Lu, W. C. (2018). The impacts of information and communication technology, energy consumption, financial development, and economic growth on carbon dioxide emissions in 12 Asian countries. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, *23*(8), 1351–1365.

Nguyen, T. T; Pham, T. A. T; & Tram, H. T. X. (2020). Role of information and communication technologies and innovation in driving carbon emissions and economic growth in selected G-20 countries. *Journal of Environmental Management*, 261, 110162.

Ozcan, B; & Apergis, N. (2018). The impact of internet use on air pollution: Evidence from emerging countries. *Environmental Science and Pollution Research*, *25*(5), 4174–4189.

Park, Y; Meng, F; & Baloch, M. A. (2018). The effect of ICT, financial development, growth, and trade openness on CO2 emissions: an empirical analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, *25*(30), 30708–30719.

Pearson, K. (1901). On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space, *Philosophical Magazine*, 6(11), 559–572.

Raheem, I; D; Tiwari, A; K; & Balsalobre-Lorente, D. (2020). The role of ICT and financial development on CO2 emissions and economic growth. *Environ Sci Pollut Res Int*, 27(2), 1912-1922.

Shehzad, K; Xiaoxing, L; Sarfraz, M; & Zulfiqar, M. (2020). Signifying the imperative nexus between climate change and information and communication

technology development: a case from Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*(24), 30502–30517.

Tsaurai, K; & Chimbo, B. (2019). The impact of information and communication technology on carbon emissions in emerging markets. *International Journal of Energy Economics and Policy*, *9*(4), 320–326.

Wooldridge, J. M. (2010). *Econometric analysis of cross section and panel data.* MIT press.

Yan, Z; Shi, R; & Yang, Z. (2018). ICT development and sustainable energy consumption: A perspective of energy productivity. *Sustainability*, 10, 2568.

COPYRIGHTS

©2022 Alzahra University, Tehran, Iran. This license allows others to download the works and share them with others as long as they credit them, but they can’t change them in any way or use them commercially.