

تأثیر پیشرفت فناوری بر انتشار گاز دی‌اکسید کربن (منتخبی از کشورهای پیمان شانگهای)

عاطفه دل‌گرم^۱

کارشناس ارشد علوم اقتصادی، دانشکده ادبیات، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران،
a.delgarm73@gmail.com

مصیب پهلوانی

دانشیار گروه اقتصاد، دانشکده ادبیات، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران،
pahlavani@eco.usb.ac.ir

مرجان رادنیا

استادیار گروه اقتصاد، دانشکده ادبیات، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران،
radnaia-marjan@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۲۵

چکیده

مسائل زیست محیطی که عمدتاً از انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی می‌شود، در دوران معاصر ما در اقتصادهای در حال توسعه و توسعه یافته به دلیل زوال زیست محیطی بحث‌های پیشرو را به خود اختصاص داده است. مصرف انرژی مستقیم‌ترین منبع انتشار کربن می‌باشد، پیشرفت فناوری انرژی می‌تواند مستقیماً بر انتشار دی‌اکسیدکربن تأثیر بگذارد. به عبارتی پیشرفت تکنولوژی می‌تواند سبب کاهش مصرف انرژی شود و به تعقیب آن انتشار دی‌اکسیدکربن را کاهش دهد. هدف این مطالعه تأثیر پیشرفت فناوری بر کاهش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در بازه زمانی ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۱ برای منتخبی از کشورهای عضو پیمان شانگهای با استفاده از الگوی پانل و روش گشتاورهای تعمیم‌یافته (GMM) بود. نتایج این تحقیق و ضرایب متغیرهای موردبررسی حاکی از تأثیر منفی و معنادار متغیرهای تحقیق و توسعه و سرمایه انسانی بر انتشار CO_2 بود؛ و برای متغیرهای صنعت، باز بودن تجارت و مصرف انرژی‌های اولیه نشان‌دهنده تأثیر مثبت و معنادار بر انتشار CO_2 داشته است. همچنین اثر متغیرهای نرخ رشد جمعیت و نرخ رشد واقعی اقتصادی بر انتشار CO_2 بی‌معنا بوده است. با توجه به نتایج پیشنهاد می‌گردد که کشورهای عضو پیمان شانگهای با ایجاد پیمان‌های همکاری در زمینه انتقال فناوری پاک در جهت کاهش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن اقدام نمایند.

طبقه‌بندی JEL: P28, Q55, C33.

کلیدواژه‌ها: پیشرفت فناوری، انتشار دی‌اکسید کربن CO_2 ، رشد اقتصادی، گشتاورهای تعمیم یافته GMM.

۱- مقدمه

طی چند دهه گذشته، کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه به منظور دستیابی به هدف رشد اقتصادی، به استفاده انبوه از انرژی های فسیلی در تمامی بخش های اقتصادی چون صنعت، گردشگری، حمل و نقل و کشاورزی پرداخته اند. نتیجه این فعالیت ها، پدیده انتشار گازهای گلخانه ای در نواحی مختلف جهان را در پی داشته است (بن جلی و بن یوسف^۱، ۲۰۱۷). به گفته بسیاری از سازمان های بین المللی از جمله (۲۰۰۰) IPCC^۲، (۲۰۱۶) UNFCCC^۳ و (۲۰۱۰) IEA^۴؛ اقتصاد جهانی از زمان انقلاب صنعتی به سرعت در حال رشد بوده که این امر منجر به بهبود قابل توجهی در کیفیت زندگی و افزایش درآمد خانوارها و متوسط تولید ناخالص داخلی سرانه شده است (پایگاه داده پروژه مدیسون^۵، نسخه ۲۰۱۸). اکنون باید اقدامات مؤثری توسط بشریت برای محافظت از زمین در برابر بلایای آب و هوایی ناشی از استفاده انبوه از انرژی های فسیلی انجام شود. انتقال از انرژی سوخت های فسیلی (نفت، زغال سنگ، گاز و غیره) به انرژی های تجدید پذیر (خورشیدی، آبی، بادی و غیره) و بهبود بهره وری انرژی به عنوان دو راه حل اصلی برای مبارزه با گرمایش جهانی در نظر گرفته می شود (لی و لین^۶، ۲۰۱۶). هزینه اولیه اجرا و تولید انرژی های تجدید پذیر به ویژه برای کشورهای فقیر هنوز بالاست. دولت ها انتظار کاهش این هزینه های اولیه را دارند و یکی از کانال های اصلی که می توان از طریق آن به این امر دست یافت، پیشرفت فناوری است (بلمرت و رولا^۷، ۲۰۲۱). رابطه بین تغییرات تکنولوژیکی و انتشار دی اکسید کربن پیچیده است؛ مطالعات متعدد نشان می دهد که پیشرفت تکنولوژی تأثیر دوگانه ای بر انتشار جهانی CO₂ دارد. از یک طرف، فناوری موجب کاهش شدت انرژی، تنظیم ساختار انرژی و تقویت گسترش فناوری سبز در صنایع و کشورها شده و انتشار کلی CO₂ را کاهش می دهد. از سوی دیگر، فناوری با افزایش مصرف انرژی و رشد اقتصادی، انتشار CO₂ را افزایش می دهد. یک واقعیت واضح این است که انتشار CO₂ به طور چشمگیری از زمان انقلاب صنعتی، به دنبال

1. Ben Jebli & Ben Youssef
2. Intergovernmental Panel on Climate Change
3. United Nations Framework Convention on Climate Change
4. International Energy Agency
5. Maddison Project Database, version 2018
6. Li & Lin
7. Belmert & Roula

تکامل مشابه پیشرفت تکنولوژی افزایش یافته است. هر پیشرفت عظیم در فناوری نه تنها باعث بهبود در محیط زیست و تأمین انرژی می شود، بلکه به شدت توسعه اقتصادی و مصرف انرژی را در مقیاس بزرگ تحریک می کند (بلمرت و رولا، ۲۰۲۱). از آنجایی که کنترل رشد جمعیت و انباشت ثروت همیشه یک چالش است، نیاز به سرمایه گذاری در فناوری هایی وجود دارد که رد پای کربن کمتری دارند (کاتوندا و همکاران^۱، ۲۰۱۹). در سال های اخیر، پیشرفت فناوری در خط مقدم چهارمین انقلاب صنعتی قرار داشته که زندگی ما را مانند قبل متحول کرده است. اگرچه این انقلاب به طور متفاوتی عمل می کند، اما بر محیط زیست و کل سیاره تأثیر می گذارد؛ چه در یک کشور ثروتمند باشید یا یک کشور فقیر، فناوری به عنوان یکی از ارکان توسعه اقتصادی پایدار در نظر گرفته می شود و نقش مهم و مثبتی در بهبود بهره وری، زیرساخت ها و افزایش کیفیت کالاها و خدمات تولیدی در توسعه اقتصادی یک کشور ایفا می کند. با این حال، تأثیر پیشرفت فناوری بر محیط زیست و آب و هوا هنوز نامشخص است. (آسونگو، لو روکس و بیک پیه^۲، ۲۰۱۷؛ چنگ و همکاران^۳، ۲۰۱۹؛ چرچیل و همکاران^۴، ۲۰۱۹). نقش نوآوری فناوری انرژی در کاهش انتشار گازهای گلخانه ای به طور فزاینده ای در گذار به انرژی پایدارتر و کربن کمتر شناخته می شود. سیاست های اقلیمی، سرمایه گذاری ها و تأمین مالی باید با تفکر دقیق درباره نقشی که نوآوری فناوری انرژی می تواند در کاهش انتشار گازهای گلخانه ای ایفا کند، هماهنگ شود (جردان^۵ و همکاران، ۲۰۱۷). در حالی که عوامل مخدوش کننده زیادی وجود دارد که بر انتشار کلی گازهای گلخانه ای تأثیرگذار است این مطالعه پیشرفت فناوری و ارتباط آن با کاهش انتشار دی اکسید کربن که یک عامل مهم در تغییرات آب و هوایی در جهان است، برای کشورهای منتخب عضو پیمان همکاری شانگهای طی دوره زمانی ۲۰۲۱-۲۰۰۰ را بررسی می کند.

1. Katundu et al
2. Asongu, Le Roux and Biekpe
3. Cheng et al
4. Churchil et al
5. Jordan et al

۲- مبانی نظری

رشد اقتصادی در مراحل اولیه توسعه برای محیط زیست مضر است. پس از آن، فراتر از یک آستانه معین از درآمد سرانه، رشد اقتصادی منجر به بهبود کیفیت محیط زیست می شود. این فرضیه به عنوان منحنی کوزنتس زیست محیطی شناخته می شود؛ بنابراین طبق این فرضیه، تأثیر رشد اقتصادی بر انتشار کربن به مرحله توسعه یک کشور بستگی دارد (سلدان و سونگ^۱، ۱۹۹۴). زمینه نظری تغییر فناوری را می توان به فلسفه های جوزف شومپیتر^۲ (۱۹۴۲)، به نقل از فیلدز^۳ (۲۰۰۴) ارتباط داد که بر اساس آن یک فناوری جدید و برتر در سه مرحله یعنی اختراع، نوآوری و انتشار وارد بازار می شود. وی استدلال کرد که روند تحقیق و توسعه برای انجام فرآیند اختراع و نوآوری فناوری استفاده می شود. سرانجام فرآیند انتشار وقتی انجام می شود که یک نوآوری موفق توسط افراد و نهادها برای استفاده مربوط به آن اتخاذ شده باشد و به طور گسترده ای در برنامه های مربوطه در دسترس باشد. تأثیر جمعی هر سه، اقتصادی یا زیست محیطی به عنوان فرآیند تغییر فناوری شناخته می شود. تئوری رشد جدید به دلیل داخلی سازی فناوری به عنوان متغیر در مدل نحوه عملکرد بازار، اغلب به عنوان تئوری رشد درونزا شناخته می شود. همچنین تغییر فنی در توصیف موضوعات کلیدی زیست محیطی، عمدتاً مشکلات زیست محیطی طولانی مدت و بزرگ از جمله اقلیم را در پی خواهد داشت (ویتزمن^۴، ۱۹۹۷). به عنوان یک عامل اصلی که بر انتشار دی اکسید کربن تأثیر می گذارد، پیشرفت فنی بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. با این حال، بیشتر محققان در گذشته نگران پیشرفت فناوری اجتماعی بوده اند و نه تأثیر پیشرفت تکنولوژی بر انتشار دی اکسید کربن در یک بخش خاص. تردیدی نیست که مصرف انرژی مستقیم ترین منبع انتشار کربن است، بنابراین، پیشرفت فناوری در بخش انرژی می تواند تأثیر مستقیم تری بر انتشار دی اکسید کربن بگذارد (لی و همکاران^۵، ۲۰۱۷). تأثیر فناوری بر انتشار کربن پیچیده است. این تأثیر به ویژگی محیطی فناوری مورد استفاده بستگی دارد. اگر فناوری مورد استفاده سازگار با محیط زیست باشد، مانند فناوری های انرژی های

1. Selden & Song
2. Joseph Schumpeter
3. fields
4. Weitzman
5. Lie et al (2017)

تجدید پذیر و وسایل نقلیه الکتریکی؛ در این صورت می توان انتظار کاهش انتشار کربن را داشت. با این حال، اگر فناوری توسعه یافته سازگار با محیط زیست نباشد یا برای تسهیل و افزایش تولید سوخت های فسیلی ایجاد شده باشد، فناوری می تواند انتشار کربن را افزایش دهد (دنیای ما در داده ها^۱، ۲۰۱۹). چندین عامل اقتصادی- اجتماعی (از جمله مصرف کنندگان) در بهبود کیفیت محیط زیست نقش دارند. با این حال، کیفیت محیط نیز با پیشرفت تکنولوژی بهبود می یابد. لوشل^۲ (۲۰۰۲) نکاتی پیرامون نحوه تأثیرگذاری تغییرات تکنولوژیکی در مدل های اقتصادی سیاست های زیست محیطی ارائه می دهد. ارزیابی سیاست های کاهش تغییرات آب و هوایی از طریق مدل سازی اقتصادی، اساساً به فرضیاتی بستگی دارد که تغییرات تکنولوژیکی در آن مدل گنجانده شده است. در اولین مدل سازی اقتصاد به شدت متکی بر فرض تغییر فناوری برونزا بوده که این مدل تابعی از زمان است. اگرچه بسیاری از مشکلات مرتبط با مدل سازی تغییرات فناوری برونزا برطرف شده است، سؤالات بی شماری هنوز بی پاسخ مانده اند. تعداد کمی از مدل های انرژی- اقتصاد- محیط زیست، تغییر فناوری را درونزا تلقی کرده و به متغیرهای اقتصادی- اجتماعی پاسخ می دهند. لوشل (۲۰۰۲) به سه عنصر اصلی در مدل های نوآوری فناوری اشاره می کند: (۱) سرمایه گذاری در تحقیق، (۲) سرریز تحقیق و توسعه و (۳) یادگیری فناوری یا یادگیری از طریق انجام دادن. تغییر فناوری پدیده ای نامشخص است. این عدم قطعیت ها باید با دقت بیشتری در مدل های با مقیاس بزرگ گنجانده شوند. مدل های اقتصاد انرژی می توانند با در نظر گرفتن یادگیری همزمان با انجام دادن کار، تأخیر زمانی، پیش فرض های مربوط به میزان انتشار نوآوری ها و تغییر فناوری هدایت شده چنین اثراتی را به حساب آورند (دیندا^۳، ۲۰۱۸). مصرف انرژی یکی دیگر از محرک های شناخته شده است. سرعت اخیر رشد اقتصادی بالاتر پس از انقلاب صنعتی به معنای مصرف انرژی سوخت فسیلی بالاتر (مانند نفت، زغال سنگ و گاز طبیعی) است که به نوبه خود منجر به تخریب محیط زیست شده است. تأثیر مصرف انرژی بر انتشار کربن به نوع انرژی مصرفی در یک کشور بستگی دارد. اگر بیشترین بخش مصرف انرژی از سوخت های فسیلی تأمین شود - که معمولاً چنین است - می توان

1. Our world in data
2. Loschel
3. Dinda

انتظار داشت که افزایش مصرف انرژی باعث افزایش انتشار کربن نیز شود (چنگ و همکاران^۱، ۲۰۱۹). سازمان همکاری شانگهای سازمانی میان‌دولتی است که به منظور همکاری‌های چندجانبه امنیتی، اقتصادی و فرهنگی تشکیل شده است (نجاتی و بلاغی اینالو، ۱۴۰۱). با توجه به اینکه برای تحقق اهداف پیش‌بینی شده انرژی در سازمان همکاری شانگهای که به ابتکار چین در سال ۱۹۹۶ و با هدف حل مشکلات مرزی پنج کشور همسایه تشکیل شد، ایجاد یک باشگاه انرژی به تصویب رسیده است؛ هدف این باشگاه، گسترش گفت و گوها در میان اعضای این سازمان برای تأمین امنیت انرژی و به روزرسانی وبگاه‌های مربوط به بخش انرژی و افزایش همکاری در زمینه‌ی انرژی است، این سازمان با در اختیار داشتن حجم بزرگی از ذخایر نفتی و گازی جهان، قابلیت آنرا دارد که در آینده، به یکی از بزرگترین قطب‌های بین‌المللی اقتصادی، تجاری، سرمایه‌گذاری خارجی، انرژی و نظامی در جهان تبدیل شود. به نظر می‌رسد کشورهای عضو سازمان شانگهای بزرگترین تولیدکننده و مصرف‌کننده انرژی در جهان هستند و در صورت بکارگیری سیاست‌های هماهنگ می‌توانند در موقعیتی قرار بگیرند که مدیریت و کنترل قسمت بزرگی از انرژی مورد نیاز جهان را در اختیار داشته باشند. به همین دلیل در کنار مسائل نظامی و سیاسی، امنیت انرژی که یکی از عوامل اصلی سیاست امنیتی شناخته می‌شود، در این سازمان مورد توجه قرار گرفته است (عطایی و زنگنه، ۱۳۹۹). در حال حاضر، شامل ۹ عضو دائم روسیه، قزاقستان، چین، قرقیزستان، ازبکستان، هند، تاجیکستان، ایران و پاکستان و ۳ عضو ناظر مغولستان، افغانستان و بلاروس است (نجاتی و بلاغی اینالو، ۱۴۰۱). در این تحقیق با بررسی پیشرفت فناوری بر انتشار دی اکسیدکربن، میزان اهمیت پیشرفت فناوری در مصرف انرژی‌های اولیه و آلودگی هوا در اقتصاد سازمان شانگهای به طور تجربی آزمون میشود. همچنین از نتایج حاصله تحقیق حاضر، محققان و سیاست‌گذاران اقتصادی گرایش محیط زیست میتوانند تصمیمات مناسب تری جهت جلوگیری از انتشار فزاینده‌ی دی اکسیدکربن و حفاظت از محیط زیست اتخاذ کنند. از طرفی تاکنون توجه خاصی به نوع و میزان ارتباط بین پیشرفت فناوری با انتشار دی اکسیدکربن در کشورهای عضو شانگهای نشده است.

۳- پیشینه تحقیق

۳-۱- مطالعات داخلی

نیکواقبال و همکاران (۱۳۹۱)، به بررسی رابطه‌ی علی پویا بین متغیرهای رشد مصرف انرژی، رشد اقتصادی و رشد انتشار دی اکسید کربن با استفاده از رویکرد داده‌های تلفیقی و تکنیک GMM_SYS در بلندمدت و برای سه گروه درآمدی متفاوت؛ پایین‌تر از متوسط (ML)، بالاتر از متوسط (MH) و درآمد بالا (H) پرداختند. نتایج رابطه‌ی علی از رشد اقتصادی به رشد انتشار دی اکسید کربن نشان می‌دهد که در گروه (ML) این رابطه به صورت مثبت برقرار است، درحالی‌که در گروه‌های (MH) و (H) این رابطه منفی می‌باشد.

فلاحی و حکمتی فرید (۱۳۹۲)، به شناسایی عوامل اقتصادی و اجتماعی تأثیرگذار بر آلودگی محیط‌زیست در استان‌های کشور پرداختند. با استفاده از داده‌های تابلویی، طی سال‌های ۸۶-۱۳۸۲ به بررسی عوامل مؤثر بر انتشار گاز دی اکسید کربن در استان‌های کشور پرداخته‌اند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد شدت انرژی، درآمد سرانه واقعی، میزان جمعیت و نرخ شهرنشینی به عنوان مهم‌ترین عوامل اقتصادی و اجتماعی تأثیرگذار بر آلودگی محیط‌زیست می‌باشند.

در مطالعه علیشیری و همکاران (۱۳۹۴)، مقیاس فعالیت اقتصادی، تغییرات ساختاری، ضریب انتشار و شدت انرژی بر انتشار دی اکسید کربن مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه با توجه به تفاوت میزان اثرگذاری‌ها در هر یک از بخش‌ها، اقتصاد ایران به چهار بخش خانگی و تجاری، صنعت، حمل‌ونقل و کشاورزی تقسیم شدند و در دوره زمانی ۱۳۹۱-۱۳۸۰ مورد بررسی قرار گرفتند. روش بررسی این مطالعه شیوه «تحلیل تجزیه لاسپیرز اصلاح‌شده» است. نتایج حاکی از آن است که در تمامی بخش‌های مورد بررسی اثر ساختار بیشترین نقش را در انتشار CO_2 داشته است.

موسوی و همکاران (۱۳۹۶)، تأثیر سرریز فناوری بر سهم انرژی‌های تجدید پذیر از کل انرژی تولیدشده در مورد کشورهای منتخب توسعه‌یافته و در حال توسعه طی دوره‌ی ۲۰۱۳-۱۹۹۶ مورد سنجش قرار دادند. بدین منظور با استفاده از روش GMM^1 برای

1. generalized method of moments

داده‌های پانل پویا، اثر سرریز فناوری ناشی از سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و واردات کالاهای واسطه‌ای و سرمایه‌بر سهم انرژی‌های تجدید پذیر از کل انرژی تولیدشده را مورد آزمون قرار دادند. نتایج حاکی از تأثیر مثبت و معنادار متغیر سرریز فناوری از کانال سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و واردات کالاهای واسطه‌ای و سرمایه‌ای در هر دو گروه کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته مورد مطالعه است.

صادقی و همکاران (۱۳۹۶)، به بررسی تأثیر افزایش مصرف انرژی تجدید پذیر (RES)، بر تولید ناخالص داخلی (GDP) و انتشار گاز دی‌اکسید کربن (CO_2) پرداختند. بر این اساس با استفاده از داده‌های سری زمانی ایران ۲۰۱۲-۱۹۸۰ و بر مبنای الگوی خود رگرسیون ساختاری (SVAR) رابطه پویا میان سه متغیر انرژی تجدید پذیر، رشد اقتصادی و انتشار دی‌اکسید کربن مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان‌دهنده بروز شوکی مثبت در مصرف انرژی تجدید پذیر است که این منجر به افزایش رشد اقتصادی و انتشار دی‌اکسید کربن می‌شود

کسرائی و حاجی حیدری (۱۳۹۷)، با استفاده از تحلیل هزینه-فایده و به‌کارگیری نرم‌افزار کامفار، استفاده از فناوری تبدیل گاز به فرآورده‌های مایع برای گازهای سوزانده در پالایشگاه‌های فازهای به بهره‌برداری رسیده میدان پارس جنوبی را مورد ارزیابی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی قرار دادند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان‌دهنده توجیه اقتصادی کاربرد این فناوری در ایران با ارزش حال خالص و نرخ بازدهی داخلی قابل‌ملاحظه به‌منظور کاهش گازهای سوزانده شده است.

جهانگیر پور و زیبایی (۱۳۹۸)، مطالعه‌ای باهدف بررسی رابطه بین مصرف انرژی‌های تجدید پذیر، ارزش افزوده کشاورزی و تولید ناخالص داخلی سرانه با انتشار گاز دی‌اکسید کربن در کشورهای منتخب منطقه MENA انجام دادند. برای این منظور با استفاده از داده‌های پانل کشورهای منتخب در دوره زمانی ۲۰۱۴-۱۹۹۰ از رویکرد همجمعی پانلی استفاده شد. نتایج تخمین رابطه بلندمدت نشان داد که مصرف انرژی‌های تجدید پذیر و ارزش افزوده کشاورزی اثر منفی و معنادار بر انتشار دی‌اکسید کربن داشته و اثر تولید ناخالص سرانه اثر معناداری بر انتشار ندارد.

رنجبری و همکاران (۱۳۹۸) به سنجش میزان انتشار دی‌اکسید کربن برای محاسبه و تجزیه و تحلیل ضرایب و کشش‌های مرتبط با انتشار دی‌اکسید کربن در اقتصاد ایران

در چارچوب روابط متقابل میان بخش‌های اقتصادی با استفاده از الگوی داده_ ستانده زیست‌محیطی پرداخته‌اند. برای استخراج این الگو از جدول داده_ ستانده ۵۲ بخشی کشور در سال ۱۳۸۹ و ادغام بخش‌ها و تقلیل آن به ۲۴ فعالیت استفاده کرده‌اند. نتایج محاسبات مدل داده_ ستانده زیست‌محیطی نشان می‌دهد که در بخش‌های حمل‌ونقل، صنایع کانی‌های غیرفلزی و صنایع فلزات اساسی به ترتیب بیشترین اثرگذاری را به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در انتشار دی اکسید کربن داشته‌اند.

کهنسال و بهرامی نسب (۱۳۹۸)، به ارزیابی رابطه مصرف انرژی و آلودگی با رشد اقتصادی در راستای سیاست‌های کلی محیط‌زیست طی دوره زمانی ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۵ پرداخته‌اند. نتایج حاصل از توابع عکس‌العمل تحریک حاکی از وجود رابطه دوطرفه میان هر یک از متغیرهای مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلی و انتشار دی اکسید کربن بود. عطایی کچویی و همکاران (۱۳۹۹)، جریان دی اکسید کربن طی دوره ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۴، برای نیروگاه‌های حرارتی کشور با استفاده از روش داده‌های پانل را مورد مطالعه قرار دادند. بر اساس یافته‌های پژوهش افزایش تولید ناخالص داخلی منجر به افزایش انتشار گاز دی اکسید کربن هر استان بر خود و استان‌های مجاور شده و افزایش بهره‌وری انرژی الکتریکی، ساختار انرژی الکتریکی و افزایش سهم بخش خانگی منجر به کاهش انتشار گاز دی اکسید کربن بر خود و استان‌های مجاور شده است.

جعفری و همکاران (۱۳۹۹)، نقش سرمایه انسانی در رشد اقتصادی، مصرف انرژی و آلودگی زیست‌محیطی در راستای توسعه پایدار در ایران را با استفاده از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته (GMM) طی دوره زمانی ۲۰۱۴-۱۹۷۱ مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج نشان‌دهنده آن بود که افزایش رانت‌های نفتی در ایران در مقادیر پایین، سبب کاهش رشد اقتصادی شده است درحالی‌که در مقادیر بالا، افزایش رشد را به همراه داشته است؛ بنابراین علائمی از بروز پدیده «نفرین نفت» در ایران حداقل در مقادیر کم رانت‌های نفتی وجود دارد.

مسعودی و همکاران (۱۳۹۹)، به بررسی تأثیر انرژی‌های تجدیدپذیر و نوآوری‌های فنی و رشد اقتصادی بر انتشار دی اکسید کربن در کشورهای منتخب آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر (IRENA) با استفاده از روش رویکرد ایستا، پویا و ضرایب بلندمدت داده‌های ترکیبی طی دوره زمانی ۲۰۱۶-۱۹۹۰ پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه

نشان داد که نوآوری‌های فنی و انرژی‌های تجدیدناپذیر و تأثیر مثبتی بر انتشار گاز دی‌اکسید کربن داشته است اما اثر انرژی‌های تجدیدپذیر بر انتشار دی‌اکسید کربن منفی و معنی‌دار بوده است. تأثیر رشد اقتصادی نیز بر انتشار گاز دی‌اکسید کربن مثبت و معنی‌دار می‌باشد.

۳-۲- مطالعات خارجی

لین و همکاران^۱ (۲۰۰۹) با بهره‌گیری از مجموعه داده‌های پانل مشتمل بر بنگاه‌های دارای مقیاس بالاتر از متوسط طی دوره ۱۹۹۸-۲۰۰۵ به بررسی اثرات سرریز فناوری در گروه کشورهای HMT پرداخته و بیان می‌دارند سرریز فناوری در این گروه کشورها تأثیر منفی دارد، اما اثرات سرریز فناوری در کشور چین که بیشتر از ناحیه‌ی کشورهای OECD بوده است نتایج مثبتی به همراه داشته است.

کارلوس لیتائو^۲ (۲۰۱۴) به بررسی همبستگی بین رشد اقتصادی، انتشار دی‌اکسید کربن، انرژی‌های تجدیدپذیر و جهانی‌شدن برای دوره ۲۰۱۰-۱۹۷۰ با استفاده از سری‌های زمانی OLS، GMM، آزمون ریشه واحد، مدل VEC و علیت گرنجر به اقتصاد پرتغال می‌پردازد. تخمین گر OLS و مدل GMM نشان می‌دهند که انتشار دی‌اکسید کربن و انرژی‌های تجدیدپذیر با رشد اقتصادی همبستگی مثبت دارند. مدل‌های اقتصادسنجی نیز نشان می‌دهند که شاخص کلی جهانی‌شدن تأثیر مثبتی بر رشد دارد. علیت گرنجر یک علیت یک‌طرفه بین انرژی‌های تجدیدپذیر و رشد اقتصادی را گزارش می‌دهد.

در مطالعه‌ی یان و ژاو^۳ (۲۰۱۵)، با استفاده از تحلیل داده‌ستانه و با ارزیابی شاخص TCE (کشش ضرایب فنی^۴) برای شناسایی معاملات بین بخش‌های اقتصادی که منجر به تأثیرات زیادی در انتشار گاز دی‌اکسید کربن می‌شود موردبررسی قرار گرفته است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که ضرایب فنی با ارزش بالاتر TCE با الزامات مستقیم توسط صنایع مصرف‌کننده انرژی بالا مطابقت دارند. همچنین صنایع مختلف که ارزش TCE ساختاری بالایی دارند، درنهایت تأثیر خود را بر انتشار دی‌اکسید کربن در صنایع

1. Lin et al

2. Nuno Carlos Leitão

3. Yuan, R., & Zhao, T

4. Elasticity of technical coefficients

مصرف کننده با انرژی بالا مربوط به یک سطح بالایی از تقاضا بر محصولات مربوطه می گذارد.

وی و همکاران^۱ (۲۰۱۶)، به بررسی انتشار گاز دی اکسید کربن مرتبط با انرژی تولید شده توسط صنایع پکن طی دوره زمانی ۲۰۱۰-۲۰۰۰ با استفاده از روش تجزیه و تحلیل داده- ستانده می پردازند. نتایج نشان می دهد که نرخ رشد انتشار دی اکسید کربن بخشی در پکن در طی این بازه زمانی با کاهش متوسط طی سال های ۲۰۱۰-۲۰۰۷ به شدت افزایش یافته است. به علاوه تغییر ساختار اقتصادی و رشد سریع اقتصادی منجر به افزایش قابل توجهی در رشد انتشار دی اکسید کربن بوده است.

ایراندوست^۲ (۲۰۱۶)، ضمن بررسی رابطه ی بین تولید انرژی های تجدید پذیر، نوآوری در فناوری، رشد اقتصادی و انتشار گاز CO₂ در چهار کشور شمال اروپا طی دوره ۲۰۱۰-۱۹۷۵ با استفاده از مدل VAR، نشان می دهد علیت یک طرفه از انرژی های تجدید پذیر به سمت انتشار گاز CO₂ برای دانمارک و فنلاند و علیت دوطرفه بین این متغیرها برای سوئد و نروژ وجود دارد. همچنین یافته ها نشان می دهند علیت یک طرفه از نوآوری در فناوری به تولید انرژی های تجدید پذیر و از سمت رشد اقتصادی (GDP)، به تولید انرژی های تجدید پذیر در هر چهار کشور وجود دارد اما هیچ گونه علیتی از سمت انرژی های تجدید پذیر به رشد اقتصادی نشان داده نشده است.

مارکاندیا و همکاران^۳ (۲۰۱۶)، در مطالعه ای تحت عنوان «بررسی اثرات اشتغال در فناوری های کم کربن در اتحادیه اروپا» به بررسی این موضوع می پردازند که تحت شرایطی، با استفاده از جدول داده ستانده در سوئیس آیا برنامه های بهره وری انرژی می تواند اثرات مثبت اقتصادی و اجتماعی داشته باشد یا خیر؟ نتایج نشان می دهد که برنامه های بهره وری انرژی می تواند اثرات مثبت بر تولید ناخالص داخلی و اشتغال داشته باشد.

همیلتون و کلی^۴ (۲۰۱۷)، به بررسی سناریوهای کم کربن برای کشورهای جنوب صحرای آفریقا با استفاده از یک مدل داده - ستانده چند منطقه ای باهدف پیامدهای انتشار گازهای گلخانه ای و انرژی تجدید پذیر در خاورمیانه در سال ۲۰۳۰ به بررسی پنج سناریو برای آفریقا می پردازند. با توجه به سناریوهای این مطالعه، تمام پنج کشور

1. Wei et al

2. Irandoust

3. Markandya et al

4. Hamilton, T. G. A., & Kelly, S

مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و به این نتیجه رسیدند که تا سال ۲۰۳۰ نمی‌توانند عدد انتشار CO_2 را در مقیاس سال ۲۰۱۲ کاهش دهند.

لی و همکاران^۱ (۲۰۱۷)، به بررسی رابطه بین پیشرفت تکنولوژی در بخش انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن با استفاده از منحنی زیست‌محیطی کوزنتس^۲ (EKC) طی دوره ۱۹۹۵-۲۰۱۲ پرداختند. نتایج نشان داد که پیشرفت فناوری در بخش انرژی به کاهش انتشار دی‌اکسید کربن کمک می‌کند. علاوه بر این، نتایج نشان داد که بهبود بهره‌وری انرژی نیز در کاهش انتشار کربن مفید است.

دیندا^۳ (۲۰۱۸)، با استفاده از مدل تصریح خطای برداری، به بررسی رابطه پویایی بلندمدت و کوتاه‌مدت بین انتشار دی‌اکسید کربن، پیشرفت تکنولوژی و رشد اقتصادی را در ایالات متحده طی سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۶۳ پرداخت. نتایج مطالعه حاکی از این است که افزایش درآمد به کاهش انتشار دی‌اکسید کربن کمک می‌کند و همچنین پیشرفت فناوری مهم‌ترین عامل رشد درآمد و کاهش انتشار دی‌اکسید کربن بوده است. همچنین استفاده از فناوری جدید و بروز سبب ایجاد توسعه پایدار شده است.

سو و همکاران^۴ (۲۰۲۱)، به ارزیابی نقش نوآوری و پذیرش فناوری در انتشار دی‌اکسید کربن با استفاده از مدل پانل Driscoll-Kraay و برای دوره زمانی ۲۰۱۸-۱۹۹۰ پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که دو ابزار از سه ابزار نوآوری فناوری، تلفن ثابت و اشتراک‌های پهنای باند انتشار CO_2 را افزایش می‌دهند. به‌طور همزمان، اشتراک‌های تلفن همراه اثر کاهشی بر انتشار CO_2 در BRICS دارد. شاخص‌های پذیرش فناوری، صادرات فناوری پیشرفته و مصرف برق نیز باعث افزایش انتشار CO_2 می‌شود. علاوه بر این، باز بودن تجارت نیز سطح انتشار CO_2 را در مناطق BRICS غنی می‌کند.

بلمرت و رولا^۵ (۲۰۲۱)، در مطالعه خود تحت عنوان «تأثیر پیشرفت فناوری بر انتشار کربن در گروه‌های درآمدی مختلف کشور» به بررسی رابطه پیچیده بین انتشار دی‌اکسید کربن و پیشرفت فناوری در ۶۰ کشور و بر اساس درآمد سرانه آن‌ها برای یک دوره ۳۰ ساله ۲۰۱۸-۱۹۸۹ پرداخته‌اند. پس از اعمال روش اثر ثابت با خطاهای استاندارد

1. Lie et al
2. Environmental Kuznets Curve
3. Dinda
4. Su et al
5. Belmert & Roula

Kraay و Driscoll برای نمونه کامل، نتایج نشان می‌دهد که متغیرهای ICT ابزار خوبی برای کاهش دی اکسید کربن هستند، در حالی که هزینه‌های تحقیق و توسعه و ثبت اختراع تأثیر واضحی بر انتشار کربن ندارند. عامل کل بهره‌وری TFP انتشار کربن را افزایش می‌دهد و انتشارات علم و فناوری ارتباط منفی با انتشار دی اکسید کربن دارند.

۴- معرفی مدل اقتصادسنجی و متغیرهای تحقیق

مدل مورد استفاده در این پژوهش بر مبنای مطالعه بلمرت و رولا (۲۰۲۱) تحت عنوان تأثیر بخش‌های فناوری بر انتشار دی اکسید کربن در کشورهای با درآمدهای مختلف می‌باشد. بنابراین، این تحقیق بر اساس مدل نظری زیر مورد برآورد قرار می‌گیرد:

(۱)

$$CO_2emission_{it} = f(R\&D_{it}, Ind_{it}, Hum_{it}, E_{it}, GDPg_{it}, Trade_{it}, Popg_{it})$$

و همچنین متغیرهای این تحقیق با توجه به اهداف و فرضیات تحقیق، از مطالعات بلمرت و رولا (۲۰۲۱)، مسعودی و همکاران (۱۳۹۹)، نونو کارلوس لیتائو^۱ (۲۰۱۴)، اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۹)، وانگ و همکاران^۲ (۲۰۱۸) انتخاب شده است. در معادله (۱) CO_2it انتشار گاز دی اکسید کربن در زمان t برای کشور i ، $R\&D_{it}$ مخارج تحقیق و توسعه در زمان t برای کشور i ، Hum_{it} شاخص سرمایه انسانی برای کشور i در زمان t ، Ind_{it} ارزش افزوده بخش صنایع با درصدی از GDP برای کشور i در زمان t ، E_{it} مصرف اثر اولیه بر گیکازول سرانه در زمان t برای کشور i ، $GDPg_{it}$ نرخ واقعی رشد اقتصادی، $Trade_{it}$ باز بودن تجارت مجموعه واردات و صادرات با درصد از GDP برای کشور i در زمان t و $Popg_{it}$ نرخ رشد نفوس برای کشور در زمان t است.

با توجه به معرفی متغیرها، مدل کلی این تحقیق که از مطالعه بلمرت و رولا (۲۰۲۱) اقتباس شده، به شرح ذیل است:

(۲)

$$CO_{2it} = \beta_0 + \beta_1 R\&D_{it} + \beta_2 Ind_{it} + \beta_3 Hum_{it} + \beta_4 E_{it} + \beta_5 Trade_{it} + \beta_6 GDP_{it} + \beta_7 POG_{it} + \varepsilon_{it}$$

1. Nuno Carlos Leitão

2. Wang et al

در معادله (۲) انتشار دی اکسید کربن به عنوان متغیر وابسته؛ تحقیق و توسعه متغیر مستقل و متغیرهای صنعت، نرخ رشد واقعی، باز بودن تجارت، نرخ رشد جمعیت، سرمایه انسانی و مصرف انرژی به عنوان متغیرهای کنترلی در مدل با استفاده از روش گشتاورهای تعمیم یافته مورد بررسی قرار می گیرند. با توجه به فقدان داده های استانی در ایران برای متغیرهای مورد بررسی و عدم موجودیت داده های سری زمانی برای یک دوره طولانی مدت در این تحقیق از مدل پانل برای کشورهای عضو پیمان شانگهای بنابر دلایلی مشابه که در ابتدا توضیح داده شده، استفاده گردیده است. که بازه زمانی در این مطالعه از سال ۲۰۲۱-۲۰۰۰ می باشد و کشورهای تاجیکستان و قرقیزستان که عضو پیمان شانگهای هستند به دلیل فقدان داده های مورد نیاز برای متغیرهای مورد بررسی در بازه زمانی از جامعه آماری حذف گردیدند.

جدول ۱. معرفی متغیرهای تحقیق

نماد متغیر	متغیر	تعریف متغیر	منبع
CO ₂	دی اکسید کربن	سرانه انتشار CO ₂ (متریک تن)	WDI (2023)
R&D	تحقیق و توسعه	مخارج تحقیق و توسعه درصدی از تولید ناخالص داخلی	WDI (2023)
IND	صنعت	ارزش افزوده صنعت (شامل ساخت و ساز)، درصد تولید ناخالص داخلی	WDI (2023)
GDPG	نرخ رشد واقعی اقتصادی	رشد واقعی تولید ناخالص داخلی (درصد تغییر سالانه)	IMF (2023)
Trade	باز بودن تجارت	مجموع صادرات و واردات به عنوان سهمی از تولید ناخالص داخلی اندازه گیری می شود.	WDI (2021)
Hum	سرمایه انسانی	شاخص توسعه انسانی	HDI (2023)
E	مصرف انرژی	سرانه مصرف انرژی اولیه (گیگاژول سرانه)	BP-statistical review (2023)
Popg	نرخ رشد جمعیت	رشد جمعیت (سالانه %)	WDI (2023)

منبع: محاسبات محقق

۴-۱- علامت مورد انتظار متغیرهای تحقیق

جدول ۲. علائم انتظاری

نماد متغیر	متغیرها	علائم مورد انتظار
R&D	پیشرفت فناوری (تحقیق و توسعه)	(-) منفی
IND	فعالیت‌های صنعتی	(+) مثبت
GDPG	رشد اقتصادی	(+) مثبت
Trade	باز بودن تجارت	(-/+) مثبت/ منفی
Hum	سرمایه انسانی	(-) منفی
E	مصرف انرژی	(+) مثبت
Popg	جمعیت	(+) مثبت

منبع: محاسبات محقق

۴-۲- آمار توصیفی

آمار توصیفی شامل روش‌ها برای جمع آوری، تلخیص، طبقه بندی و معرفی حقایق عددی به کار رفته می‌باشد. آمار توصیفی در واقع توصیف کننده داده‌های مورد بررسی و مبین اطلاعاتی در مورد پارامترهای مرکزی و پراگندگی داده‌ها است. برای ارائه یک نمای کلی از خصوصیات مهم متغیرهای محاسبه شده، در جدول (۳) برخی از مفاهیم آمار توصیفی این متغیرها، شامل میانگین، میانه، انحراف معیار، حداقل و حداکثر و توزیع متغیرها برای کشورهای عضو پیمان شانگهای؛ در بازه زمانی ۲۰۲۱-۲۰۰۰ با استفاده از نرم افزار Eviews11 ارائه شده است:

جدول ۳. آماره توصیفی متغیرها

متغیرها	منبع اصلی داده‌ها	مشاهدات	انحراف معیار	حداقل	حداکثر	میانه	میانگین
دی اکسید کربن	WDI (۲۰۲۳) CO ₂	۱۵۴	۴/۲۳۰۱۰۵	۰/۶۲۶۷۸۱	۱۵/۳۴۰۷۵	۵/۴۶۴۳۵۱	۶/۰۱۱۸۲۸
پیشرفت فناوری	WDI (۲۰۲۳) R&D	۱۵۴	۷/۶۵۰۳۳۴	۰/۱۱۳۷۷	۴۳/۶۵۲۹۵	۰/۷۰۴۰۰۵	۳/۰۶۶۸۱
صنعت	WDI (۲۰۲۳) Indu	۱۵۴	۸/۸۹۹۰۹۴	۱۷/۵۴۸۴۶	۴۹/۶۳۷۲۵	۳۱/۱۷۹۳۵	۳۱/۹۴۰۲۳
سرمایه انسانی	HDI Hum	۱۵۴	۰/۱۰۶۴۵۱	۰/۴۴۱	۰/۸۴۵	۰/۷۰۲۵	۰/۶۷۹۵۸۴

متغیرها	منبع اصلی داده‌ها	مشاهدات	انحراف معیار	حداقل	حداکثر	میان	میانگین
	(۲۰۲۳)						
مصرف انرژی	BP-statistical review (۲۰۲۳) E	۱۵۴	۶۲/۴۱۱۲۴	۱۲/۲۱۱۰۲	۲۱۴/۵۲۶۴	۸۳/۳۳۰۹	۸۹/۳۷۵۲۶
بازبودن تجارت	WDI (۲۰۲۳) Trade	۱۵۴	۱۶/۹۵۰۱۹	۲۴/۷۰۱۵۸	۱۰۵/۶۹۹۷	۴۷/۹۱۸۳۷	۵۰/۳۷۱۵۵
نرخ رشد واقعی	IMF (۲۰۲۳) rgdp	۱۵۴	۳/۶۷۰۳۴	-۷/۸	۱۴/۲	۵/۷۵	۵/۴۵۳۲۴۷
نرخ رشد جمعیت	WDI (۲۰۲۳) Popg	۱۵۴	۰/۷۶۹۲۵۵	-۰/۴۶۰۰۲۵	۳/۰۹۲۰۷۹	۱/۲۹۸۰۹۲	۱/۱۳۳۱۹۸

منبع: محاسبات محقق

۴-۳- آزمون‌های ریشه واحد تحقیق

از آزمون‌های ریشه واحد پانل نظیر آزمون لوین، لین و چو (LLC)، آزمون ایم، پسران و شین (IPS) و آزمون فیشر-دیکی فولر (ADF) برای پایایی متغیرهای تحقیق استفاده می‌کنند. بنابراین در پژوهش حاضر از سه آزمون ریشه واحد فوق استفاده می‌گردد و نتایج حاصل از این آزمون‌ها، متغیرهای استفاده‌شده در این تحقیق را تبیین می‌نماید.

جدول ۴. آزمون‌های ریشه واحد پانل

نام متغیر		آزمون‌های ریشه واحد پانل	آماره (سطح معنی داری)	
			مقدار آماره	احتمال آماره
انتشار دی‌اکسید کربن CO ₂	CO ₂	آزمون لوین، لین و چو (LLC)	-۳/۱۷۲۷۰	۰/۰۰۰۸
	D(CO ₂)	آزمون ایم، پسران و شین (IPS)	-۶/۵۴۸۷۰	۰/۰۰۰۰
	D(CO ₂)	آزمون فیشر- دیکی فولر (ADF)	۶۶/۱۰۵۹	۰/۰۰۰۰
تحقیق و توسعه R&D	R&D	آزمون لوین، لین و چو (LLC)	-۲/۷۸۲۰۵	۰/۰۰۲۷
	R&D	آزمون ایم، پسران و شین (IPS)	-۵/۷۱۲۸۲	۰/۰۰۰۰
	R&D	آزمون فیشر- دیکی فولر (ADF)	۷۱/۱۴۳۶	۰/۰۰۰۰

آماره (سطح معنی داری)		آزمون های ریشه واحد پانل	نام متغیر	
احتمال آماره	مقدار آماره			
۰/۰۰۰۰	-۷/۷۷۶۹۳	آزمون لوین، لین و چو (LLC)	D(Ind)	صنعت Ind
۰/۰۰۰۰	-۷/۱۰۲۶۸	آزمون ایم، پسران و شین (IPS)	D(Ind)	
۰/۰۰۰۶	۷۰/۶۶۹۳	آزمون فیشر- دیکی فولر (ADF)	D(Ind)	
۰/۰۰۰۰	-۸/۸۸۸۶۳	آزمون لوین، لین و چو (LLC)	Hum	سرمایه انسانی Hum
۰/۰۰۰۰	-۵/۳۴۳۸۳	آزمون ایم، پسران و شین (IPS)	Hum	
۰/۰۰۰۰	۵۴/۷۷۴۴	آزمون فیشر- دیکی فولر (ADF)	Hum	
۰/۰۰۳۹	-۲/۶۵۷۵۱	آزمون لوین، لین و چو (LLC)	E	مصرف انرژی اولیه E
۰/۰۰۰۰	-۸/۲۷۱۴۲	آزمون ایم، پسران و شین (IPS)	D(E)	
۰/۰۰۰۰	۸۳/۳۰۶۰	آزمون فیشر- دیکی فولر (ADF)	D(E)	
۰/۰۲۸۷	-۱/۹۰۱۰۱	آزمون لوین، لین و چو (LLC)	Trade	باز بودن تجارت Trade
۰/۰۰۰۰	-۸/۱۰۹۲۱	آزمون ایم، پسران و شین (IPS)	D(Trade)	
۰/۰۰۰۰	۸۰/۹۷۶۱	آزمون فیشر- دیکی فولر (ADF)	D(Trade)	
۰/۰۰۰۰	-۵/۴۸۲۷۲	آزمون لوین، لین و چو (LLC)	D(GDP)	نرخ رشد واقعی GDP
۰/۰۰۰۰	-۴/۱۵۶۹۶	آزمون ایم، پسران و شین (IPS)	D(GDP)	
۰/۰۰۰۱	۴۲/۰۵۴۲	آزمون فیشر- دیکی فولر (ADF)	D(GDP)	
۰/۰۰۲۷	-۲/۷۷۶۸۱	آزمون لوین، لین و چو (LLC)	D(Popg)	نرخ رشد جمعیت Popg
۰/۰۰۸۶	-۲/۳۸۴۲۱	آزمون ایم، پسران و شین (IPS)	D(Popg)	
۰/۰۰۳۲	۳۲/۶۵۲۸	آزمون فیشر- دیکی فولر (ADF)	D(Popg)	

منبع: محاسبات محقق

جدول ۵. نتایج آزمون هم‌انباشتگی کائو

نام آزمون	Prob	t-statistic
آزمون هم‌انباشتگی کائو	۰/۰۰۰۰	۶/۶۶۳۰۰۷

منبع: محاسبات محقق

همان‌گونه که در جدول (۴) مشخص است؛ بر اساس آزمون‌های صورت گرفته برای متغیرهای کشورهای مورد مطالعه، تمامی متغیرها در سطح و سطح اول مانا شده‌اند. به‌گونه‌ای که فرضیه صفر مبنی بر وجود ریشه واحد در تمام متغیرهای پژوهش در سطح و سطح اول رد می‌شود. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که همه متغیرهای تحقیق بر اساس آزمون‌های ریشه واحد در سطح مانا هستند. برای بررسی همانباشتگی داده‌های پنل چندین آزمون از جمله: آزمون کائو، آزمون پدرونی و آزمون فیشر وجود دارد. در پژوهش حاضر از آزمون کائو استفاده شده است؛ آزمون پدرونی به دلیل زیاد بودن تعداد متغیرهای مدل و آزمون فیشر به علت ناکافی بودن داده‌ها امکانپذیر نمی‌باشد. با توجه به نتایج جدول (۵) در این آزمون، فرضیه صفر عدم وجود همانباشتگی است رد می‌شود و نشان دهنده‌ی وجود رابطه بلند مدت میان متغیر وابسته و متغیرهای مستقل است. بنابراین، این تخمین فاقد رگرسیون کاذب می‌باشد.

برای آزمون معنی دار بودن روش داده‌های پنل از آماره آزمون F لیمر استفاده می‌شود. فرضیه که مورد آزمون می‌باشد به صورت زیر است. فرضیه H_0 در این آزمون قابلیت تخمین مدل بصورت داده‌های تلفیقی می‌باشد و فرضیه مقابل یعنی H_1 قابلیت تخمین مدل به صورت داده‌های پنل است.

جدول ۶. آزمون F Limer

F Limer	P-Value	f-statistic
	۰/۰۰۰۰	۶۰/۶۱

منبع: محاسبات محقق

آزمون F لیمر برای تشخیص داده‌های پانل و پولد انجام گردید که نتایج آن ما را به داده‌های پانل نزدیک نمود.

۴-۵- برآورد مدل تحقیق

نتایج حاصل از برآورد رابطه‌ی (۲) که تأثیر پیشرفت فناوری را بر روی کاهش انتشار دی اکسید کربن بررسی می‌کند در جدول (۷) با استفاده از روش گشتاورهای تعمیم یافته (GMM) تخمین زده شده است؛ مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهیم. و همچنین در این جدول مقدار آماره و سطح معنی داری متغیرهای مورد بررسی بیان شده است:

جدول ۷. نتایج برآورد مدل با روش GMM

متغیرهای تحقیق	نماد متغیرها	مقدار آماره و سطح معنی داری	
		سطح معنی داری	مقدار آماره
انتشار دی اکسید کربن با وقفه	CO ₂	۰/۰۰۰	۰/۶۶۲۶۵۱۴
تحقیق و توسعه	R&D	۰/۰۵۹	-۰/۰۱۵۰۰۶۷
صنعت	Indu	۰/۱۲۷	-۰/۰۰۳۴۰۹۹
سرمایه انسانی	Hum	۰/۰۰۰	-۳/۲۵۶۴۵
مصرف انرژی	E	۰/۰۰۰	۰/۰۱۴۱۰۳۶
باز بودن تجاری	Trade	۰/۰۰۰	۰/۰۰۹۶۸۳۴
نرخ رشد اقتصادی	gdp	۰/۰۵۵	-۰/۰۰۰۴۸۲۹
نرخ رشد جمعیت	Popg	۰/۲۶۸	-۰/۰۶۷۵۲۳۲

منبع: محاسبات محقق

همان طور که جدول فوق نشان می‌دهد، متغیر انتشار دی اکسید کربن با یک وقفه، متغیر تحقیق و توسعه، متغیر صنعت، متغیر سرمایه انسانی، متغیر مصرف انرژی و متغیر باز بودن تجارت اثر معنی داری بر انتشار دی اکسید کربن داشته‌اند که از این جمله متغیرهای تحقیق و توسعه و سرمایه انسانی اثر منفی را بر متغیر وابسته نشان می‌دهد و متغیرهای نرخ رشد جمعیت و نرخ رشد اقتصادی اثر منفی و بی معنی را بر انتشار دی اکسید کربن نشان می‌دهد که به تفسیر آن‌ها پرداخته می‌شود. متغیر انتشار دی اکسید کربن CO₂ با یک وقفه اثر مثبت و معنی داری بر انتشار دی اکسید کربن داشته که این متغیر در سطح ۹۹٪ معنی دار بوده و یک درصد تغییر در آن باعث انتشار ۰/۶۶۲۶۵۱۴ متریک تن دی اکسید کربن می‌شود. متغیر تحقیق و توسعه R&D اثر منفی و معنی داری بر انتشار دی اکسید کربن داشته که نشان دهنده آن است که این

متغیر در سطح ۹۵٪ معنی‌دار بوده و یک درصد تغییر در آن باعث کاهش انتشار دی‌اکسید کربن به میزان ۰/۰۱۵۰۰۶۷- متریک تن می‌شود. تأثیر فناوری بر انتشار کربن به ویژگی محیطی فناوری مورد استفاده بستگی دارد. اگر فناوری مورد استفاده سازگار با محیط‌زیست باشد، نظیر فناوری انرژی‌های تجدید پذیر و وسایل نقلیه الکتریکی؛ در این صورت می‌توان انتظار کاهش انتشار کربن را داشت. باین‌حال، اگر فناوری توسعه‌یافته سازگار با محیط‌زیست نباشد یا برای تسهیل و افزایش تولید سوخت‌های فسیلی ایجاد شده باشد، فناوری می‌تواند انتشار کربن را افزایش دهد؛ میتوان گفت که در کشورهای مورد مطالعه فناوری سازگار با محیط زیست بوده است. متغیر صنعت INDU اثر منفی و بی معنا بر انتشار دی‌اکسید کربن داشته که نشان‌دهنده آن است اثر فعالیت‌های صنعتی بر انتشار دی‌اکسید کربن در این کشورها معنادار نبوده است. متغیر سرمایه انسانی Hum اثر منفی و معنی‌داری بر انتشار دی‌اکسید کربن داشته است. به هر اندازه که کشورها از سرمایه انسانی بالاتری برخوردار باشند، زمینه را برای اختراع و نوآوری به وجود آورده و استفاده از فناوری‌های پیشرفته را در تولیدات ممکن می‌سازد (بلمرت و رولا، ۲۰۲۱) نتایج نشان داد که این متغیر در سطح بیشتر از ۹۵٪ معنی‌دار بوده و یک درصد تغییر در آن باعث کاهش انتشار دی‌اکسید کربن به میزان ۳/۲۵۶۴۵- شده است. متغیر مصرف انرژی E اثر مثبت و معنی‌داری بر انتشار دی‌اکسید کربن داشته که نشان‌دهنده آن است که این متغیر در سطح بیش از ۹۵٪ معنی‌دار بوده و یک درصد تغییر در آن باعث انتشار ۰/۰۱۴۱۰۳۶ دی‌اکسید کربن می‌شود. تأثیر مصرف انرژی بر انتشار کربن به نوع انرژی مصرفی در یک کشور بستگی دارد. اگر بیشترین بخش مصرف انرژی از سوخت‌های فسیلی تأمین شود که معمولاً چنین است، افزایش مصرف انرژی باعث افزایش انتشار کربن نیز شود. متغیر باز بودن تجاری Trade اثر مثبت و معنی‌داری بر انتشار دی‌اکسید کربن داشته که نشان‌دهنده آن است که این متغیر در سطح بیش از ۹۵٪ معنی‌دار بوده و یک گیگاژول تغییر در آن باعث انتشار ۰/۰۰۹۶۸۳۴ متریک تن دی‌اکسید کربن می‌شود. پس از انقلاب صنعتی، جهان روز به روز بیشتر به هم متصل شده و به روی تجارت باز شده. تأثیر صادرات و واردات بر انتشار کربن عمدتاً به این بستگی دارد که آیا کالاهای صادراتی و وارداتی توسط یک کشور سازگار با محیط‌زیست هستند یا خیر. می‌توان

انتظار داشت که کشورهای صادرکننده نفت و زغال سنگ، انتشار کربن بیشتری را تجربه کنند، زیرا این کالاها کربن فشرده هستند. درحالی که، از سوی دیگر، کشورهایی که انرژی پاک تر یا محصولات سازگار با محیط زیست بیشتری صادر می کنند، انتشار کربن کمتری را تجربه خواهند کرد (بلمرت و رولا، ۲۰۲۱). متغیر نرخ رشد اقتصادی $rgdp$ اثر منفی و معناداری را در انتشار دی اکسید کربن دارد به این معنی که یک درصد افزایش در رشد اقتصادی سبب کاهش $۰/۰۰۰۴۸۲۹$ - انتشار دی اکسید کربن در این کشورها شده است. متغیر رشد اقتصادی بسیاری از مطالعات نشان می دهد که در مراحل اولیه توسعه، رشد اقتصادی با افزایش انتشار کربن همراه می باشد. رشد اقتصادی بیشتر منجر به مصرف انرژی بیشتر برای پاسخگویی به تقاضاهای رو به رشد شرکت ها، صنایع و خانوارها شده. رشد اقتصادی در مراحل اولیه توسعه برای محیط زیست مضر بوده و پس از آن، فراتر از یک آستانه معین از درآمد سرانه رشد اقتصادی منجر به بهبود کیفیت محیط زیست می شود. تأثیر رشد اقتصادی بر انتشار کربن به مرحله توسعه یک کشور بستگی دارد (چنگ و همکاران^۱، ۲۰۱۹). و متغیر رشد جمعیت $Popg$ اثر منفی ولی بی معنی بر انتشار دی اکسید کربن دارد؛ می توان این چنین بیان کرد؛ با توجه به اینکه جمعیت این کشورها از سطح توسعه یافتگی نسبتاً بالای برخوردارند ولی در کاهش انتشار دی اکسید کربن اثری نداشته است.

آزمون سارگان یکی از آزمون های روش GMM یا گشتاورهای تعمیم یافته است. آزمون سارگان بعد از تخمین مدل مورد بررسی قرار می گیرد و این آزمون مناسب بودن و عدم مناسب بودن متغیرهای ابزاری در مدل را نشان می دهد. در صورتی که احتمال آماره سارگان بیشتر از سطح اطمینان باشد فرضیه صفر مبنی بر مناسب بودن ابزارهای استفاده شده در مدل مورد پذیرش قرار می گیرد در غیر آن مورد پذیرش نیست. نتایج این آزمون در جدول (۸) زیر بیان شده است که از بررسی آن به تحلیل پرداخته می شود.

جدول ۸. نتایج آزمون سارگان

نوع آزمون	مقدار آماره	سطح احتمال
آزمون سارگان	۱۹۶/۱۰۲۹	۰/۰۸۳۱

منبع: محاسبات محقق

نتایج جدول (۸) آماره سارگان را برای روش GMM نشان می‌دهد؛ برای مدل تخمین که در فوق مورد رگرسیون قرار گرفت مقدار آماره سارگان در مدل فوق ۱۹۶/۱۰۲۹ و سطح احتمالی این آزمون ۰/۰۸۳۱ می‌باشد، نتایج این آزمون نشان می‌دهد که فرضیه صفر مبتنی بر مناسب بودن ابزارها مورد تأیید و فرضیه مقابل مربوط به عدم مناسب بودن فرضیه‌های تحقیق رد شده است. بنابراین ابزارهای استفاده‌شده در مدل این تحقیق از مناسب بودن برخوردار می‌باشند.

۵- نتایج آزمون‌های فروض کلاسیک

۵-۱- آزمون عدم ناهمسانی واریانس

جهت بررسی همسانی واریانس در این تحقیق از آزمون والد تعدیل‌شده استفاده‌شده است. با توجه به آماره کای‌دو فرض صفر مبنی بر همسانی واریانس و فرضیه مقابل مبنی بر ناهمسانی واریانس مورد آزمون قرار می‌گیرد. نتایج جدول (۹) برای این تحقیق نشان می‌دهد که مقدار کای‌دو برابر است با ۴۰۵/۷۳ و ارزش احتمالی آن برابر است با ۰/۰۰۰۰ که کمتر از ۵٪ می‌باشد. و نشان می‌دهد که فرضیه صفر H_0 مبنی بر همسانی واریانس در این تحقیق مورد تأیید و فرضیه مقابل H_1 رد شده است.

جدول ۹. نتایج آزمون ناهمسانی واریانس

ناهمسانی واریانس	مقدار آماره	مقدار احتمال
آزمون والد تعدیل‌شده	۴۰۵/۷۳	۰/۰۰۰۰

منبع: محاسبات محقق

۵-۲- آزمون عدم خودهمبستگی

برای بررسی وجود همبستگی در این مدل از آزمون والدريج استفاده‌شده است؛ در این آزمون فرضیه H_0 مبنی بر عدم وجود خودهمبستگی و فرضیه H_1 مبنی بر وجود خودهمبستگی می‌باشد. نتایج موردبررسی ما در این تحقیق نشان می‌دهد که مقدار آماره والدريج ۱۰۱/۰۸۴ و ارزش احتمالی آن ۰/۰۰۰۱ می‌باشد، بنابراین فرضیه H_0 در این مدل آزمون مورد تأیید و فرضیه مقابل رد شده است و نشان‌دهنده عدم وجود خودهمبستگی در متغیرهای مدل می‌باشد. بنابراین فرض عدم خودهمبستگی نقض شده است.

جدول ۱۰. نتایج آزمون عدم خودهمبستگی

خودهمبستگی	مقدار آماره	مقدار احتمال
آزمون ولدریج	۱۰۱/۰۸۴	۰/۰۰۰۱

منبع: محاسبات محقق

۶- جمع بندی و نتیجه گیری

با توجه به محدودیت دستیابی به اطلاعات داده ها برای دوره زمانی طولانی مدت برای کشورهای منتخب عضو پیمان شانگهای، امکان استفاده از داده های سری زمانی وجود نداشت، به همین دلیل برای انجام این پژوهش از داده های پانل برای بازه زمانی ۲۰۲۱ الی ۲۰۰۰ استفاده شده است. به منظور آزمون متغیرهای این پژوهش از روش مبتنی بر داده های پانل دیتای پویا استفاده شده و بررسی پایایی متغیرها از طریق آزمون های ریشه واحد پانلی لوین، لین و چو، آزمون فیشر_دیکی فولر و آزمون ایم، پسران و شین به وسیله نرم افزار (Eviews11) انجام شده است و در نهایت برای تخمین معادله و فروض کلاسیک از روش گشتاورهای تعمیم یافته GMM به وسیله نرم افزار Stata15 انجام گردیده است.

- در ابتدا آزمون F لیمر برای تشخیص داده های پانل و پولد انجام گردید که نتایج آن ما را به داده های پانل نزدیک نمود، به تعقیب آن برای اثبات مدل با اثرات ثابت و تصادفی از آزمون هاسمن استفاده شد که نتایج این آزمون حاکی از مدل با اثرات ثابت بود. بنابراین مدل مربوط به داده های پانل را تصریح و آزمون های مانایی (ریشه واحد) مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاصل از این آزمون ها برای کشورهای مورد تحقیق همان طور که در جدول ۲ بیان شده است برای تمام متغیرهای مورد بررسی در این تحقیق در سطح و تفاضل معنادار شده اند و نشان دهنده عدم وجود رگرسیون کاذب است.

- در مرحله بعدی با استفاده از روش گشتاورهای تعمیم یافته GMM مدل انتخابی برای این تحقیق را که بررسی تأثیر پیشرفت فناوری بر انتشار دی اکسید کربن می باشد، مورد آزمون قرار داده شد؛ همان طور که در جدول ۷ بیان گردید، متغیرهای مورد بررسی اثرات مختلفی را بر متغیر وابسته (CO_2) نشان می دهند.

- متغیر پیشرفت فناوری ارتباط منفی و معنادار با انتشار گاز دی اکسید کربن دارد که بیان میدارد این کشورها هزینه های تحقیق و توسعه را به کاهش انتشار دی اکسید کربن اختصاص داده اند. نتایج حاصل با مطالعه مسعودی و همکاران (۱۳۹۹) و بلمرت و رولا (۲۰۲۱) مطابقت ندارد. و با مطالعات دیندا (۲۰۱۸) و لی و همکاران (۲۰۱۷) هم راستا است.
- متغیر سرمایه انسانی ارتباطی منفی و معنادار با متغیر انتشار دی اکسید کربن دارد به عبارتی سرمایه انسانی در این کشورها سبب کاهش انتشار گاز دی اکسید کربن شده است. این نتایج با مطالعه جعفری و همکاران (۱۳۹۹) مطابقت دارد.
- نتایج حاکی از وجود ارتباط مثبت و معنادار بین دو متغیر مصرف انرژی و انتشار گاز دی اکسید کربن است. که در راستا با مبانی نظری است.
- نتایج بیان میدارد که ارتباط منفی ولی بی معنا بین متغیر صنعت و انتشار گاز دی اکسید کربن وجود دارد.
- متغیر باز بودن تجاری دارای اثر مثبت و معنادار بر متغیر انتشار گاز دی اکسید کربن را نشان می دهد.
- متغیر نرخ رشد اقتصادی ارتباط منفی و معنادار بر انتشار دی اکسید کربن داشته است، که با مطالعه جهانگیرپور و زیبایی (۱۳۹۸) مطابقت ندارد و با مطالعات مسعودی و همکاران (۱۳۹۹)، عطایی کچویی و همکاران (۱۳۹۹)، کهنسال و بهرامی نسب (۱۳۹۸)، دیندا (۲۰۱۸)، وی و همکاران (۲۰۲۶) و کارلوس لیتائو (۲۰۱۴) هم راستا است.
- جمعیت اثر منفی و بی معنا بر انتشار دی اکسید کربن داشته است. فلاحتی و حکمتی فرید (۱۳۹۲) مطابقت ندارد.
- با توجه به مرور مبانی نظری و دریافت یافته های مهم در این پژوهش و اهمیت پیشرفت فناوری در کاهش انتشار دی اکسید کربن به این نتایج دست یافت که سرمایه گذاری در مخارج تحقیق و توسعه و تغییرات تکنولوژی انتشار CO_2 را کاهش داده است. لذا توصیه می گردد:
- با توجه به اینکه پیشرفت فناوری در این کشورها انتشار دی اکسید کربن را کاهش داده است، و از طرفی هم گسترش صنایع اثری بر انتشار دی اکسید کربن نداشته،

لذا توصیه می‌شود که دولت‌ها باید موسسات تحقیق و توسعه را گسترش دهند. هزینه‌های تحقیق و توسعه را بیشتر به سمت پروژه‌هایی هدایت نمایند که منجر به فناوریهای جدید در حفاظت از محیط زیست شوند. در این خصوص لازم است که ارزیابی پروژه‌های زیست محیطی یا استفاده از فناوری‌های نوین تولید، در راستا با ارزیابی زیست محیطی این فناوری‌های نوین باشد تا از آثار منفی زیست محیطی آن بکاهد.

- ترویج انتشار علم و فناوری و تکنولوژی‌های تولید و توزیع انرژی در این کشورها ارتقا یابد، زیرا دستیابی به توسعه سبز و پایدار را تقویت می‌کند.
 - ایجاد پیمان‌های همکاری عضو گروه شانگهای در زمینه انتقال فناوری پاک در جهت کاهش انتشار CO₂ صورت گیرد.
- اگر مقررات زیست محیطی قوی و تعهد روشنی از سوی دولت‌ها برای کاهش تدریجی استفاده از انرژی سنتی و افزایش سطح انرژی‌های تجدیدپذیر وجود نداشته باشد، ممکن است این توصیه‌های سیاستی موفق نباشند.

منابع

- جعفری، سعید، اسفندیاری، مرضیه و پهلوانی، مصیب (۱۳۹۹). نقش سرمایه انسانی در رشد اقتصادی، مصرف انرژی و آلودگی زیست‌محیطی در راستای توسعه پایدار در ایران، فصلنامه علمی مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، سال نهم، شماره ۳۴، ص ۷۷-۱۰۷.
- جهانگیرپور، درنا و زیبایی، منصور (۱۳۹۹)، "نقش کشاورزی و انرژی‌های تجدید پذیر در تأمین اهداف توافقنامه پاریس؛ مطالعه موردی: کشورهای منتخب منطقه MENA"، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال دهم، شماره ۶۵، صفحات ۸۱-۱۰۱.
- رنجبری، فروغ، حیدری، ابراهیم و پارسا، حجت (۱۳۹۹)، "اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل شاخص‌های اقتصاد انرژی سبز در ایران (سنجش میزان و کشش انتشار دی‌اکسید کربن)"، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال شانزدهم، شماره ۶۴، صفحات ۲۵۱-۲۱۷.
- صادقی، سیدکمال، سجودی، سکینه و احمدزاده دلجوان، فهیمه (۱۳۹۶). تأثیر انرژی‌های تجدید پذیر بر رشد اقتصادی و کیفیت محیط‌زیست در ایران، فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی، سال سوم، شماره ۶، ص ۱۷۱-۲۰۲.
- علیشیری، هدیه، محمد خانلی، شهرزاد و محمدباقری، اعظم (۱۳۹۶)، "مطالعه عوامل مؤثر بر انتشار دی‌اکسید کربن در کشور (با رویکرد تحلیل تجزیه لاسپیرز اصلاح‌شده)"، علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره هجدهم، شماره ۲.
- عطایی کچویی، الهام، آذین فر، کاوه، شفیعی کاخکی، مریم و داداشی، ایمان (۱۳۹۹). "بررسی نحوه انتشار گازهای گلخانه‌ای؛ کاربردی از مدل دوربین فضایی"، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال شانزدهم، شماره ۶۵، صفحات ۱۹۷-۲۱۹.
- عطایی، فرهاد و زنگنه، سمیه. (۱۳۹۹). تحول اولویت‌ها در سازمان همکاری شانگهای از زمان تأسیس تا سال ۲۰۱۹. مطالعه اوراسیای مرکزی، دوره ۱۳، شماره ۱، صص ۱۴۳-۱۶۰.
- فلاحی، فیروز و حکمتی فرید، صمد (۱۳۹۲)، "بررسی عوامل مؤثر بر میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن در استان‌های کشور (رهیافت داده‌های تابلویی)"، اقتصاد انرژی ایران (اقتصاد محیط‌زیست و انرژی)، دوره دوم، شماره ۶، صفحات ۱۲۹-۱۵۰.

- کهنسال، محمدرضا و بهرامی نسب، مهسا (۱۳۹۸). ارزیابی رابطه مصرف انرژی و آلودگی با رشد اقتصادی در راستای سیاست‌های کلی محیط‌زیست. فصلنامه سیاست‌های راهبردی و کلان، دوره ۷، شماره ۴.
- کسرائی، زینب و حاجی حیدری، آمنه (۱۳۹۷)، "به‌کارگیری فناوری‌های نوین در کاهش گازهای سوزانده شده در ایران تحلیل هزینه-فایده با لحاظ عوامل زیست‌محیطی". علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره بیستم، شماره ۴.
- مسعودی، نسیم، دهمرده قلعه‌نو، نظر و اسفندیاری، مرضیه (۱۳۹۹)، بررسی تأثیر انرژی‌های تجدید پذیر و نوآوری‌های فنی و رشد اقتصادی بر انتشار دی‌اکسید کربن، فصلنامه علمی پژوهش‌های رشد و توسعه اقتصادی، شماره چهل، ص ۳۵-۵۴.
- موسوی، میرحسین، شاه‌آبادی، ابوالفضل و شایگان مهر، سیما (۱۳۹۶). تأثیر سرریز فناوری از کانال سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و واردات کالا بر سهم تولید انرژی‌های تجدید پذیر از کل انرژی. فصلنامه مدیریت توسعه فناوری، دوره پنجم شماره ۱.
- نجاتی، مهدی و بلاغی اینالو، یاسر (۱۴۰۱). تحلیل منافع عضویت ایران در سازمان همکاری شانگهای؛ رویکرد تعادل عمومی قابل محاسبه. فصلنامه پژوهشهای اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)، سال بیست و دوم، شماره سوم، ص ۸۹-۱۱۷.
- نیکواقبال، علی‌اکبر، اختری، آزاده، امینی اسفیدواجانی، محبوبه و عطارکاشانی، مریم (۱۳۹۱)؛ فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال نهم، شماره ۳۳، صفحات ۱۶۹-۱۹۷.
- Asongu, S., Le Roux, S., & Biekpe, N. (2017). Environmental Degradation, ICT and Inclusive Development in Sub-Saharan Africa. *Energy Policy*, 111, 353-361.
- Ben Jebli, M. & Ben Youssef, S. (2017). The role of renewable energy and agriculture in reducing CO2 emission: Evidence for North Africa countries. *Ecological Indicators*, 74: 295-301.
- Cheng, C., Ren, X., Wang, Z., & Yan, C. (2019). Heterogeneous impacts of renewable energy and environmental patents on Co2 emission-Evidence from the BRICS. *Science of the Total Environment*, 668, 1328-1338.
- Chi-Wei Su, Yannong Xie, Sadaf Shahab, Ch. Muhammad Nadeem Faisal, Muhammad Hafeez and Ghulam Muhammad Qamri. (2021). Towards Achieving Sustainable Development: Role of Technology

- Innovation, Technology Adoption and CO2 Emission for BRICS. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18, 277.
- Churchill, Awaworyi, S., & et al. (2019). R&D intensity and carbon emissions in the G7: 1870-2014. *Energy Economics*, 80, 30-37.
 - Chris, Belmert, milindi. And Roula, Inglesi-Lotz. (2021). Impact of Technological Progress on Carbon Emissions in Different Country Income Groups. *University of Pretoria*, 23.
 - Hamilton, T. G. A., & Kelly, S. (2017). Low carbon energy scenarios for sub-Saharan Africa: An input-output analysis on the effects of universal energy access and economic growth. *Energy Po Tarancon, M. A., & Del Río, P. (2012). Assessing energy-related CO2 emissions with sensitivity analysis and input-output techniques. Energy*, 37(1), 170-161. *lity*, 105, 303- 319.
 - IEA, 2010. *Energy technology perspectives 2010: scenarios and strategies to 2050*. IEA; OECD, Paris France.
 - Irandoust, M. (2016), "The renewable energy-growth nexus with carbon emissions and technological innovation: Evidence from the Nordic countries", *Ecological Indicators*, 69;118-125.
 - Katunda Imasiku, Valerie Thomas and Etienne Ntagwirumugara. (2019). *Unraveling Green Information Technology Systems as a Global Greenhouse Gas Emission Game-Changer*. *administrative Sciences*, 9, 43; 1-29.
 - Li, A. J., Zhang, A. Z., Zhou, Y. X., Yao, X(2017), Decomposition analysis of factors affecting carbon dioxide emissions across provinces in china. *J. Clean. Prod*, 141: 1428-1444.
 - Li, J. and Lin, B. (2016). Inter-factor/inter-fuel Substitution, Carbon Intensity, and Energy-Related Co2 Reduction: Empirical Evidence from China. *Energy Econ*. 56, 483_494. Doi:10.1016/j.eneco.2016.04.001
 - Lin, P., Liu, Zh. and zhang, Y. (2009), "Do Chinese demestic firms benefit from FDI in flow? Evidence of horizontal and vertical spillovers", *China Economic Review*, 20(4); 677-691.
 - Maddison Project Database, version 2018. (n.d.). Rebasing 'Maddison': new income comparisons and the shape of long-run economic development. *Maddison Project Database working paper* 10.

- Markandya, A., Arto, I., Gonza`lez-Eguino, M., & Roma`n, M. V. (2018). Towards a green energy economy? Tracking the employment effects of low-carbon technologies in the European Union. *Applied Energy*. 179, 1342-1350.
- Nuno Carlos Leitão (2014), Economic Growth, Carbon Dioxide Wmissions, Renewable Energy and Globalization, *International Journal of Energy Economics and Policy*, Vol. 4, No. 3, pp. 391-399.
- Rebecca Jordan, Ary A. Hoffmann, Shannon K. Dillon, Suzanne M. Prober. (2017). Evidence of genomic adaptation to climate in *Eucalyptus microcarpa* : Implications for adaptive potential to projected climate change. *Molecular Ecology/ Volume 26, Issue 21/ p.6002_6020*. <https://doi.org/10.1111/mec.14341>
- Selden, T., & Song, D. (1994). Environmental quality and development: Is there a Kuznets Curvw for air pollution emissions? *Journal of Environmental Economics and Management*, 147-162.
- Soumyananda Dinda. (2018), Production technology and carbon emission: long-run relation with short-run dynamics, *Journal of Applied Economics*, 21:1, 106-121.
- Wei, J., Huang, K., Yang, S., Li, Y., Hu, T., & Zhang, Y. (2016). Driving forces analysis of energy-related carbon dioxide (CO₂) emissions in Beijing: an input–output structural decomposition analysis. *Journal of Cleaner Production*.
- Weitzman, M.L. (1997), Sustainability and technical progress. *The Scandinavian Journal of Economics*, 99(1), 1-13.
- World Bank. (2019, November). Word Development Indicators. Retrieved from Word Development Indicators: <https://data.worldbank.org/indicator>.
- Yuan, R., & Zhao, T. (2015). A combined input-output and sensitivity analysis of CO₂ emissions in the high energy-consuming industries: A case study of China. *Atmospheric Pollution Research*, 7(2), 315-325.

The Effect of Technological Progress on the Emission of Carbon Dioxide Gas (A case study of some member countries of the Shanghai Treaty)

Atefeh Delgarm¹

M.Sc. of Economic Sciences, Faculty of Literature, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, a.delgarm73@gmail.com

Mosayeb Pahlavani

Associate Prof., Faculty of Literature, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, pahlavani@eco.usb.ac.ir

Marjan Radnia

Assistant Prof., Faculty of Literature, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, radnaia-marjan@yahoo.com

Received: 2022/12/23 Accepted: 2023/05/15

Abstract

Environmental issues that are mainly derived from the emission of greenhouse gases, in our contemporary era in the developing and developed economies, due to the deterioration of environmental biology have devoted the leading debates. Energy consumption is the most important resource that emits the carbon directly. Energy technologies progress can directly influence carbon dioxide emissions. In other words, technological progress can reduce energy consumption and reduce the pursuit of carbon dioxide emissions. The aim of this study is to investigate the effect of technology on CO₂ emissions reduction in the period 2000 - 2021 for selected countries of the Shanghai pact through generalized method of moments (gmm). According to the results, R&D and human capital have negative and significant effect; trade openness and energy consumption have positive and significant effect on CO₂ emissions. Also the effect of population growth rate and real economic growth rate on CO₂ emissions was meaningless. According to the results, it is suggested that member of the Shanghai Treaty reduce CO₂ emissions through cooperative alliances in the field of transmission of green technology.

JEL Classification: P28, Q55, C33.

Keywords: technological progress, CO₂ emissions, economic growth, Generalized method of moments.

1. Corresponding Author