

تاریخ دریافت: ۱۰ بهمن ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: ۲۱ تیر ۱۴۰۰ صفحات ۱ الی ۳۸

## تأثیر مصرف گاز طبیعی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در گروه کشورهای منتخب با لحاظ اثر تفاوت در شدت مصرف انرژی

محسن ابراهیمی

دانشیار اقتصاد-دانشکده اقتصاد دانشگاه خوارزمی-ایران-تهران ebrahimi@khu.ac.ir

محمد صیادی

استادیار اقتصاد-دانشکده اقتصاد-دانشگاه خوارزمی-ایران-تهران m.sayadi@khu.ac.ir

رضا شرفی چیه

کارشناس ارشد اقتصاد- دانشگاه خوارزمی-ایران-تهران rezasharafi۲۶۱@gmail.com

### چکیده:

ویژگی‌های خاص گاز طبیعی از جمله مزایای اقتصادی و زیست محیطی آن، همواره این حامل انرژی را به عنوان یک عامل تولیدی مهم در بخش‌های تولیدی و واسطه‌ای اقتصاد و نیز یک حامل انرژی مطلوب در کلیه بخش‌های مصرف‌کننده نهایی مطرح نموده است که با آن می‌توان تقاضای رو به افزایش مصرف انرژی را برآورده کرد. در این مطالعه با استفاده از داده‌های پانل، دوره زمانی ۲۰۱۸-۲۰۰۰، اثر مصرف گاز طبیعی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشورهای با شدت مصرف انرژی بالا با لحاظ تفاوت شدت مصرف انرژی آنها مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد، مصرف گاز طبیعی تأثیر منفی و معناداری بر انتشار گاز CO<sub>2</sub> دارد، در حالیکه در کشورهای با شدت مصرف انرژی پایین، مصرف گاز طبیعی تأثیر معناداری بر انتشار گاز CO<sub>2</sub> ندارد. همچنین نتایج تحقیق نشان می‌دهد، در کشورهای با شدت مصرف بالای انرژی با اضافه شدن متغیر اثر تعاملی مصرف سرانه گاز طبیعی با مصرف سرانه سایر انرژی‌ها به مدل، میزان انتشار دی‌اکسید کربن کاهش می‌یابد. سایر یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد، تولید ناخالص داخلی سرانه و شهرنشینی در هر دو گروه از کشورها تأثیری مثبت بر انتشار CO<sub>2</sub> داشته است.

**واژگان کلیدی:** گاز طبیعی، انتشار گازهای گلخانه‌ای، دی‌اکسید کربن، شدت مصرف انرژی

## ۱. مقدمه

گرم شدن کره زمین، مجموعه‌ای از پیامدهای منفی مانند افزایش سطح آب دریا، ذوب یخچال‌های طبیعی و بیابان‌زایی را به دنبال دارد. این مشکلات به‌طور جدی بر تعادل محیطی تأثیر می‌گذارد و حتی بقای انسانی را تهدید می‌کند. در سال‌های اخیر، تغییرات آب و هوایی به مرکز اصلی توجه جهانی تبدیل شده است. این تغییرات محیطی در جهان می‌تواند نه تنها به سمت کاهش رشد، بلکه همچنین و مهم‌تر از همه، به یک فاجعه زیست‌محیطی بزرگ تبدیل شود، مگر اینکه اقدامات شدیدی برای کاهش گرم شدن کره زمین انجام شود. انتشار گازهای گلخانه‌ای (به‌ویژه انتشار گاز دی‌اکسید کربن) حاصل از سوختن سوخت‌های فسیلی، علت اصلی تغییرات اقلیمی است. استخراج گاز طبیعی از سنگ شیل در ایالات متحده آمریکا یکی از رویدادهای برجسته در قرن ۲۱ است. این نوع از گاز طبیعی به‌عنوان یک سوخت انتقال در مسیر به یک آلاینده‌ای کم کربن مطرح است؛ بنابراین، جستجو برای اقدامات مؤثر برای کاهش انتشار CO<sub>2</sub> و کاهش تغییرات آب و هوایی ضروری است؛ کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای CO<sub>2</sub> یکی از مسائل اصلی است که جامعه بین‌المللی با آن مواجه شده است. امضا توافق پاریس مبنی بر کاهش گازهای گلخانه‌ای در سال ۲۰۱۵ توسط بسیاری از کشورها اهمیت این موضوع را نشان می‌دهد، از سویی بدون شک یکی از نیازهای مهم نسل آینده، نیاز به محیط‌زیست مناسب است. استخراج شدید و روزافزون منابع طبیعی، از جمله سوخت‌های فسیلی و به‌کارگیری در جهت افزایش رفاه و رشد اقتصادی، نیازهای نسل‌های آینده را به خطر می‌اندازد. علاوه بر این ورود انواع مختلف آلاینده‌ها و ضایعات به محیط‌زیست، باعث می‌شود که اکوسیستم به تدریج کارایی خود را از دست دهد.

افزایش نگرانی‌ها نسبت به حفظ محیط‌زیست و حیات جامعه بشری، موجب شده است تا مصرف سوخت‌های فسیلی با انتشار بالای آلاینده‌های جوی محدودتر شود. با این حال، به دلیل ارزش حرارتی بالای گاز طبیعی و نیز انتشار آلاینده‌گی به مراتب پایین‌تر این حامل انرژی در مقایسه با سایر حامل‌های انرژی، مطابق آخرین چشم‌انداز انرژی شرکت BP، گاز طبیعی

سریع‌ترین سوخت فسیلی در حال رشد بوده و مصرف جهانی آن از ۱۳۸ اگزاژول در سال ۲۰۱۸ به ۱۷۸ اگزاژول در سال ۲۰۵۰ یعنی سالانه حدود ۱/۷ درصد افزایش خواهد یافت. همان‌طور که شرکت BP در سناریوهای مختلف در افق ۲۰۵۰ به تصویر کشیده است، سوخت‌های پاک‌تر جایگاه به مراتب بالاتری نسبت به ترکیب سبد در وضعیت کنونی خواهند داشت. بر اساس اطلاعات جدول (۱)، گاز طبیعی در افق زمانی ۲۰۵۰، در سناریوی تداوم روند موجود<sup>۱</sup>، رتبه اول را بین کلیه منابع انرژی به خود اختصاص خواهد داد. همچنین در دو سناریوی دیگر یعنی سناریوی خالص صفر<sup>۲</sup> و سناریوی سریع<sup>۳</sup>، که مبتنی بر کاهش سریع‌تر انتشار گازهای گلخانه‌ای و توسعه سریع‌تر انرژی‌های تجدیدپذیر است، گاز طبیعی پس از انرژی‌های تجدیدپذیر مهم‌ترین منبع تأمین انرژی در جهان خواهد بود. بنابراین در کلیه سناریوهای طراحی شده، اهمیت گاز طبیعی در سبد انرژی جهان برجسته خواهد بود. دلایل مثبت بودن چشم‌انداز آتی مصرف گاز طبیعی عبارت‌اند از: اجرای سیاست‌های بلندپروازانه کشورها در جهت مصرف بیشتر گاز، رشد کمتر انرژی اتمی، آثار مخرب زیست‌محیطی پایین، کارایی استفاده از آن در تولید الکتریسیته و استفاده بیشتر از گاز طبیعی در حمل‌ونقل جاده‌ای، توسعه صنعت و ساختمان است (ژو و لین، ۲۰۱۹)<sup>۴</sup>. در سند تراز گازی ایران در افق ۱۴۲۰، علت اصلی منفی شدن تراز گازی کشور که به ویژه در ماه‌های سرد سال باعث کاهش گازرسانی به نیروگاه‌ها و خاموشی‌های برق خواهد شد، بالا بودن شدت مصرف انرژی در بخش‌های مختلف (نیروگاهی، صنایع عمده، تجاری، خانگی) به دلیل عدم توجه کافی به بهینه‌سازی انرژی عنوان شده است. خاطر نشان می‌شود، تأکید اصلی این تحقیق نیز تأثیر مصرف گاز طبیعی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای با لحاظ اثر شدت مصرف انرژی در گروه کشورهای منتخب است.

۱. Business as usual

۲. Net Zero

۳. Rapid

۴. Bin Xu , Boqiang Lin(۲۰۱۹)

علی‌رغم گسترش جهانی استفاده از گاز طبیعی، نحوه اثرگذاری این روند بر انتشار گازهای گلخانه‌ای از جمله CO<sub>2</sub> چندان واضح نیست و نیازمند آزمون تجربی متعدد جهت بررسی است. همچنین به نظر می‌رسد، میزان شدت انرژی در کشورهای مختلف در تبیین رابطه مذکور مهم و کلیدی باشد که در این تحقیق این متغیر مبنای دسته‌بندی کشورهای مورد مطالعه قرار گرفته است. بر همین اساس هدف اصلی پژوهش حاضر، مدل‌سازی و تحلیل تأثیر مصرف گاز طبیعی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای با لحاظ اثر شدت مصرف انرژی با استفاده از مدل داده‌های تلفیقی در گروه کشورهای منتخب است. کشورهای منتخب بر اساس میزان شدت انرژی به دو گروه دسته‌بندی شده و پژوهش در صدد پاسخ به این سؤالات اصلی است که (۱) آیا اثر مصرف گاز طبیعی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای (CO<sub>2</sub>)، تحت تأثیر شدت مصرف انرژی گروه کشورها قرار دارد؟ و (۲) آیا ورود متغیر اثر تعاملی مصرف سرانه گاز طبیعی\* مصرف سرانه سایر انرژی‌ها، رابطه بین مصرف گاز طبیعی و انتشار گاز CO<sub>2</sub> را تغییر می‌دهد؟ علاوه بر این در پژوهش حاضر سؤالات فرعی دیگر از جمله اینکه تأثیر تولید ناخالص داخلی سرانه در هر دو گروه از کشورها بر انتشار CO<sub>2</sub> چگونه است؟ نیز بررسی و نتایج بدست آمده تحلیل شده شده است. هرچند تاکنون مطالعات متعددی در خصوص بررسی رابطه بین مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای صورت گرفته است، اما مبتنی بر بررسی‌های انجام شده می‌توان گفت، مطالعه‌ای با مختصات مدل‌سازی و اهداف مطالعه حاضر، در ادبیات موضوعی صورت نگرفته است. نوآوری پژوهش حاضر در مدل‌سازی رابطه بین مصرف گاز طبیعی و انتشار CO<sub>2</sub> در گروه کشورهای منتخب با لحاظ متغیر شدت مصرف انرژی و نیز بررسی اثر تعاملی مصرف سرانه گاز طبیعی و مصرف سرانه سایر انرژی‌ها است.

سازماندهی این مقاله بدین صورت است که در بخش دوم ادبیات موضوع شامل مبانی نظری و در بخش سوم مطالعات پیشین ارائه شده است. به دنبال آن در بخش چهارم روش‌شناسی تحقیق معرفی شده است. بخش پنجم به برآورد مدل و تفسیر نتایج اختصاص یافته است. و نهایتاً در بخش ششم به ارائه یافته‌های پژوهش پرداخته شده است.

جدول ۱. مصرف اولیه انرژی به تفکیک منبع انرژی (اگزا ژول)

سال ۲۰۵۰			سال ۲۰۱۸	منبع انرژی
سناریوی سریع	سناریوی خالص صفر	سناریوی تداوم روند موجود		
۸۹	۴۲	۱۷۲	۱۹۰	نفت
۱۳۴	۸۲	۱۸۷	۱۳۸	گاز طبیعی
۲۴	۱۲	۱۲۳	۱۵۸	زغال سنگ
۴۴	۵۷	۳۱	۲۴	هسته‌ای
۵۷	۶۲	۵۱	۳۸	برق آبی
۲۷۷	۳۷۰	۱۶۱	۲۷	تجدیدپذیرها

منبع: BP Energy Outlook, ۲۰۲۰

## ۲) مبانی نظری تحقیق

### ۲-۱) رابطه مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلی با انتشار گازهای گلخانه‌ای

دی‌اکسید کربن و اکسیدهای سولفور دو نوع مهم از آلاینده‌ها هستند که در ادبیات بیشتر، استفاده می‌شود. دی‌اکسید کربن نقش مهمی در بحث‌های مربوط به محیط زیست و توسعه پایدار دارد و به عنوان عامل اصلی گرمایش جهانی تشخیص داده شده است. این دو گاز مستقیماً به استفاده از انرژی، که عامل اساسی در اقتصاد جهانی برای تولید و مصرف می‌باشد، مرتبط هستند. بنابراین رشد اقتصادی و انتشار این گازها کاربردهای مهمی برای سیاست‌های اقتصادی و زیست محیطی دارند. کشورهای توسعه نیافته و در حال توسعه خواهان رسیدن به رشد اقتصادی مطلوب برای گذار از شرایط موجود هستند. این موضوع اغلب به ایجاد زیان‌های زیست محیطی (انتشار حجم بیشتری از آلاینده‌ها) می‌انجامد. آلودگی هوا به عنوان یکی از ابعاد آلودگی‌های زیست محیطی، به صورت باران‌های اسیدی و یا گرم شدن کره زمین نمایان می‌شود. از یک سو، یکی از شاخص‌های تخریب محیط زیست انتشار گازهای آلاینده و ایجاد آب و هوای ناپایدار است. از سوی دیگر، رشد اقتصادی پیامدهای ناگواری به خصوص در زمینه

محیط زیست به همراه داشته است، زیرا بستر بیشتر فعالیت‌های اقتصادی محیط زیست است و در حقیقت محیط زیست و رشد اقتصادی به یکدیگر وابسته‌اند. لذا جهان شاهد تغییرات زیست محیطی بزرگ و نامطلوبی همانند افزایش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG)<sup>۱</sup> شده است. انتشار گازهای گلخانه‌ای به ویژه انتشار CO<sub>2</sub>، یکی از دلایل اصلی گرم شدن کره زمین به شمار می‌آید (لطفعلی پور و همکاران، ۱۳۹۱).

مصرف انرژی منبع اصلی گرمایش جهانی و عامل اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای است. بنابراین کاهش مصرف انرژی به کاهش انتشار CO<sub>2</sub> می‌انجامد. از سویی ممکن است حرکت به سمت اهداف پروتکل کیوتو به منظور کاهش انتشار، رشد اقتصادی را کاهش دهد. به عبارتی دیگر توسعه اقتصادی و مصرف انرژی به هم وابسته‌اند؛ چرا که با افزایش مصرف انرژی در صورت بهره‌وری، توسعه اقتصادی افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، افزایش کارایی که به صرفه جویی در مصرف انرژی منجر می‌شود، نتیجه توسعه اقتصادی است (کفایی و آقائیان، ۱۳۹۵). بنابراین به نظر می‌رسد که دو هدف اثر اقتصادی و حفظ محیط زیست در تعارض با یکدیگر قرار دارند. برای حل این تعارض، فرضیه منحنی زیست محیطی کوزنتس (EKC)<sup>۲</sup> در سال ۱۹۹۱ مطرح گردید. منحنی زیست محیطی کوزنتس فرضیه‌ای است که رابطه بین شاخص‌های محیط زیست و درآمد سرانه را بیان می‌نماید. مفهوم زیست محیطی کوزنتس در اوایل دهه ۱۹۹۰ توسط گروه‌ها و گروه‌گر مطرح گردید. این فرضیه بیان می‌کند که شکل این منحنی به شکل U معکوس می‌باشد و در ابتدا بر اثر افزایش درآمد سرانه، میزان آلودگی افزایش می‌یابد ولی پس از رسیدن به سطح خاصی از درآمد سرانه، آلودگی کاهش می‌یابد. طرفداران منحنی زیست محیطی کوزنتس استدلال می‌کنند در سطح بالاتر توسعه، تغییرات ساختاری به سمت صنایع و خدمات اطلاعات بر<sup>۳</sup> متمایل می‌گردد. همچنین با افزایش توسعه یافتگی، آگاهی در خصوص مسائل محیط زیست بالا رفته و موجب وضع قوانین بهبود محیط زیست می‌شود که

<sup>۱</sup> . Greenhouse Gases (GHG)

<sup>۲</sup> . Environmental Kuznets Curve (EKC)

<sup>۳</sup> . Information-Intensive

آن هم باعث استفاده از تکنولوژی‌های بهتر و روزآمد و صرف مخارج بیشتر برای حفظ محیط زیست شده و کیفیت محیط زیست بالا می‌رود. همچنین پیشرفت تکنولوژی و تغییر در ترکیب کالاهای تولیدی و ترکیب نهاده‌ها، شامل جانشینی نهاده‌های کمتر آلوده کننده بجای نهاده‌های مخرب محیط زیست، باعث کاهش آلودگی می‌شود (فلاحی و حکمتی، ۱۳۹۲).

## ۲-۲) منحنی زیست محیطی کوزنتس (EKC)

در ادبیات اقتصادی، ارتباط میان درآمد سرانه (تولید ناخالص داخلی سرانه) و تخریب محیط زیست به شکل U معکوس به منحنی زیست محیطی کوزنتس (EKC) معروف است. علت نامگذاری آن به دلیل شباهتی است که بین الگوی نابرابری درآمد ارائه شده توسط سیمون کوزنتس و این رابطه U معکوس که بین آلودگی و درآمد دیده می‌شود وجود دارد. سیمون کوزنتس -برنده جایزه نوبل- در مطالعه‌ای بین درآمد و نابرابری درآمد رابطه‌ای به شکل U معکوس پیدا کرد. فرضیه مشهور کوزنتس بیان می‌کند که رابطه‌ای به شکل U معکوس بین درآمد و نابرابری آن وجود دارد و با توجه به این فرضیه، درجه نابرابری ابتدا افزایش و سپس با رشد اقتصادی کاهش می‌یابد. اولین توجیه نظری در این رابطه توسط کوزنتس در سال ۱۹۵۵ ارائه شد. وی معتقد به یک جا به جایی جمعیتی یا مهاجرت از بخش کشاورزی به بخش صنعتی بود. به اعتقاد وی در بخش کشاورزی، نابرابری و سطح درآمد برعکس بخش رقیب، پایین است. اما با توسعه بیشتر، درآمدها افزایش ولی نابرابری کاهش می‌یابد. در دهه ۱۹۹۰ با مشاهده شواهدی مبنی بر وجود رابطه بین شاخص‌های مختلف تخریب محیط زیست و درآمد سرانه به شکل U معکوس، شبیه رابطه موجود بین درآمد سرانه و نابرابری درآمد در منحنی کوزنتس اولیه، منحنی کوزنتس در مطالعات مربوط به محیط زیست نیز وارد و رابطه مذکور بین رشد اقتصادی و شاخص‌های مربوط به آلاینده‌گی (کیفیت محیط زیست) به صورت U معکوس، به منحنی زیست محیطی کوزنتس معروف شد و امروزه در ادبیات اقتصادی، رابطه رشد اقتصادی و تخریب محیط زیست در فرضیه منحنی زیست محیطی کوزنتس یا فرضیه انتقال

زیست محیطی خود را نمایان می‌سازد. از اولین مطالعات در زمینه اثر رشد اقتصادی بر محیط زیست می‌توان به مطالعه گروسمن و کروگر (۱۹۹۱)<sup>۱</sup> اشاره کرد که به منظور ارزیابی اثرات زیست محیطی تجارت آزاد آمریکای شمالی<sup>۲</sup> مطالعه‌ای را انجام دادند و توسط رابطه‌ای رگرسیونی ارتباط میان آلودگی و رشد اقتصادی را بررسی کردند. نتیجه بررسی‌ها، وجود یک رابطه به شکل  $U$  وارونه میان آلودگی هوا و تولید ناخالص داخلی را نشان داد. البته در برخی از مطالعات به جای شاخص‌های آلودگی از شاخص مصرف انرژی استفاده نموده‌اند از جمله این مطالعات می‌توان به مطالعه کل، راینر و بتیز (۱۹۹۷)<sup>۳</sup> اشاره نمود که از داده‌های جدیدتر مشتمل بر مجموعه‌ای گسترده از انواع گازهای آلاینده و مصرف انرژی برای اثبات فرضیه کوزنتس در کشورهای پیشرفته استفاده کرده‌اند و به این نتیجه رسیدند که بسیاری از کشورهای پیشرفته از نقطه اوج انتشار آلاینده‌های دی‌اکسید نیتروژن، ذرات ریز معلق در هوا و منواکسید کربن گذشته‌اند و در این کشورها انتشار این آلاینده‌ها با افزایش درآمد در حال کاهش است اما در همین کشورها انتشار  $CO_2$  و مصرف انرژی با افزایش درآمد به طور یکنواختی افزایش پیدا می‌کنند (مزینی و مراد حاصل، ۱۳۸۹).

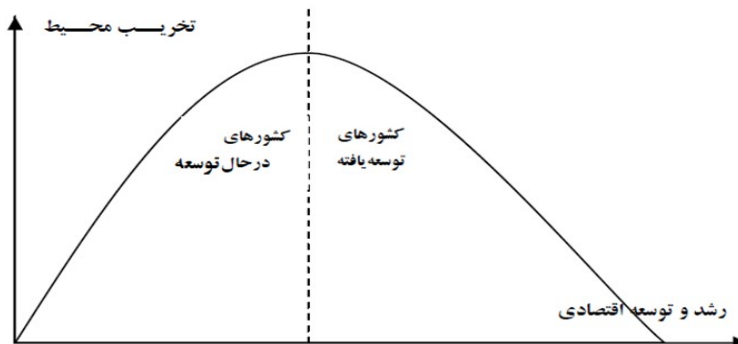
عده‌ای از محققان بر این اعتقادند که فعالیت‌های اقتصادی به طور کلی برای محیط زیست مضر بوده و سبب تخریب محیط زیست می‌گردد. در مقابل محققان دیگری اعتقاد دارند که فعالیت و رشد اقتصادی در مراحل بالاتر سبب منتفع شدن محیط زیست شده و سبب کاهش آلودگی محیط زیست خواهد شد. در نظر آنها افزایش در درآمد سرانه و رشد اقتصادی با افزایش تقاضا برای محیط زیست سالم همراه بوده و اهمیت حمایت و حفاظت از محیط زیست سالم را در برنامه‌ریزی‌های سیاستی آنها افزایش می‌یابد. رشد اقتصادی اغلب با افزایش در سهم تولیدات صنعتی همراه می‌باشد. رشد اقتصادی مبتنی بر افزایش تولیدات صنعتی به دلیل مصرف بالای انرژی این بخش با تخریب بیشتر محیط زیست به خصوص با انتشار گاز دی‌اکسید کربن همراه

<sup>۱</sup> . Grossman and kruger (۱۹۹۵)

<sup>۲</sup> . The North American Free Trade Agreement (NAFTA)

<sup>۳</sup> . Rainer and Betiz (۱۹۹۷)

است. گاز دی‌اکسید کربن به عنوان یکی از مهمترین منابع آلودگی هوا و عامل اصلی گرم شدن زمین معرفی شده و از طریق وضع قوانین و مقررات کنترل آلودگی، تلاش گسترده‌ای در جهت کاهش این منبع آلودگی صورت گرفته است (ابراهیمی و آل مراد جبدرقی، ۱۳۸۹). طرفداران فرضیه زیست محیطی کوزنتس (*EKC*) معتقدند که در سطوح بالای توسعه ساختار اقتصادی به سمت صنایع و فناوری‌های نوین و خدمات حرکت می‌کند و ترکیب نهاده‌ها و انرژی‌های آلاینده اصلاح می‌شود و به تدریج آگاهی نسبت به محیط زیست بالا می‌رود و قوانین زیست محیطی مفیدتری وضع و اجرا شده و مخارج مصرف شده در جهت حفظ و ارتقای محیط زیست افزایش می‌یابد (بهبودی و همکاران، ۱۳۸۹). لذا در مراحل بالاتر توسعه اقتصادی بعد از گذر از نقطه بیشینه در تخریب محیط زیست با افزایش درآمد سرانه، تخریب محیط زیست کاهش می‌یابد. در شکل (۱) فرضیه *EKC* به صورت نموداری نشان داده شده است.



شکل (۱). منحنی زیست محیطی کوزنتس<sup>۱</sup>

به طور کلی اقتصاددانان سازوکارهای منحنی زیست محیطی کوزنتس را در قالب سه اثر مقیاس، اثر ساختاری و اثر فنی تحلیل می‌کنند. همزمان که در اثر مقیاس رابطه بین رشد اقتصادی و تخریب زیست محیطی بر حسب مقیاس فعالیت‌های اقتصادی بحث می‌شود، در اثر ساختاری به فرآیند تبدیل ساختار کشاورزی به ساختار صنعتی آلاینده و سپس به ساختار صنعتی متمرکز

<sup>۱</sup> نصراللهی (۱۳۸۹)

با آلاینده‌گی کمتر تمرکز می‌شود. اثر فنی نیز حکایت از آن دارد که در مراحل پایین رشد اقتصادی، فنون‌های تولید همراه با تولید آلودگی هستند. اما در مراحل بالای توسعه اقتصادی با فن آوری‌های غیر آلاینده و تصفیه‌کننده‌ها، فرآیند تولید همراه با ایجاد آلودگی نمی‌باشد (استوکی<sup>۱</sup>، ۱۹۹۸).

### ۳-۲) رابطه تجارت با انتشار گازهای گلخانه‌ای

در اواخر دهه ۷۰ میلادی مسائل مربوط به تجارت و محیط زیست اوج گرفت و نشست‌های متعددی برگزار شد که در آن گروه‌های مخالف و موافق تجارت آزاد نظرات خود را مطرح کردند. گروه‌های مخالف تجارت آزاد معتقد هستند که با آزادسازی تجاری حجم فعالیت‌های اقتصادی افزایش و استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر به شکل نامناسبی افزایش می‌یابد. از سویی دیگر با بازتر شدن اقتصادها، رقابت بنگاه‌های داخلی و رقبای خارجی افزایش یافته و محیط زیست در اولویت‌های بعدی قرار می‌گیرد. گروه موافق، بازتر شدن اقتصاد را حتی عاملی برای ارتقای کیفیت محیط زیست معرفی کرده‌اند. به اعتقاد این گروه، آزادسازی تجاری و افزایش فشارهای رقابتی، به استفاده بهینه و کاراتر از منابع انرژی منجر شده و با کاهش اتلاف انرژی، انتشار گازهای آلاینده کاهش می‌یابد. این گروه سیاست آرمانی را حذف تجارت نمی‌دانند، چراکه معتقدند با افزایش تجارت و بهره‌مندی از رفاه بالاتر، تمایل به داشتن محیط زیست سالم‌تر نیز افزایش می‌یابد. در مطالعه گروسمن و کروگر (۱۹۹۱) آثار آزادسازی تجاری بر محیط زیست، ترکیب و فناوری تفکیک شده‌است. آنها اثرمقیاس را بیانگر تغییر در اندازه فعالیت‌های اقتصادی، اثر ترکیب را بیانگر تغییر در ترکیب یا سبد کالاهای تولیدی و اثر فناوری را بیانگر تغییر در فناوری تولید به ویژه تغییر به سمت فناوری‌های پاک معرفی کردند. بنابراین اثرمقیاس تاثیر منفی و اثر فناوری تاثیر مثبت بر کیفیت محیط زیست خواهد داشت. تاثیر اثر ترکیب به نوع مزیت نسبی بستگی دارد. اگر کشوری در کالاهای آلاینده مزیت داشته‌باشد و

<sup>۱</sup>. Stokey

در تولید آنها تخصص یابد، در آن صورت اثر ترکیب به واسطه تغییر ترکیب کالاهای تولیدی کشور به سمت کالاهای آلاینده، آثار منفی بر محیط زیست بر جای می‌گذارد. به طور کلی به دنبال آزادسازی تجاری، اگر اثر فناوری بر اثر مقیاس و ترکیب (در حالتی که کشور مزیت نسبی در صنایع آلاینده دارد) غالب شود و یا اگر اثر فناوری و ترکیب بر اثر مقیاس (در حالتی که کشور مزیت نسبی در تولید کالاهای پاک دارد) غالب شود در آن صورت آزادسازی تجاری به نتایج زیست محیطی مثبت منجر می‌شود. در ادبیات تجارت و محیط زیست، فرضیه - ای به نام پناهگاه آلاینده مطرح می‌شود. این فرضیه بیان می‌کند که کشورهای توسعه یافته برای آنکه سیاست‌های زیست محیطی شدیدتری نسبت به کشورهای در حال توسعه اعمال می‌کنند، از این رو صنایع آلاینده فعال در کشورهای توسعه یافته، عملیات و فرآیند تولید را از کشور خود به کشورهای در حال توسعه منتقل کرده و آنها را به پناهگاهی برای جذب صنایع آلاینده تبدیل می‌کنند. تبدیل کشورهای در حال توسعه به پناهگاه آلاینده به علت قوانین زیست محیطی محدودتر، با توجه به دسترسی آنها به مزیت نسبی قابل توجه است؛ چراکه براساس نظریه مزیت نسبی، کشورها در تولید کالاها و خدماتی تخصص می‌یابند که به طور نسبی آن کالاها یا خدمات را با هزینه کمتری نسبت به کشورهای دیگر تولید کنند. از این رو وضع استانداردهای زیست محیطی پایین در یک کشور به عنوان منبع مزیت نسبی مطرح و عاملی جهت انتقال صنایع آلاینده به این کشورها باشد در آن صورت فرضیه پناهگاه آلاینده تایید می‌شود. این نظریه در مورد کشورهای نفتی بسیار دارای اهمیت است؛ زیرا با اجرای مصوبات کنوانسیون‌های آب و هوا و به ویژه پروتکل کیوتو در مورد کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشورهای توسعه یافته؛ ممکن است در آینده انتقال صنایع انرژی بر به کشورهای نفتی و همچنین توسعه صنایع موجود آنها از لحاظ وجود مزیت نسبی این کشورها، به شدت مورد توجه قرار گیرد. این سیاست اگر چه منافع کوتاه مدت برای کشورهای نفتی را به همراه خواهد داشت ولی در بلند مدت آنها را به کشورهای آلاینده شدید تبدیل می‌کند. در مقابل

توبی<sup>۱</sup> استدلال می‌کند که اگر چه به صورت مطلق، هزینه پرداخت شده توسط بعضی از بنگاه‌های اقتصادی در کشورهای توسعه یافته بابت حفاظت از محیط زیست زیاد به نظر می‌رسد ولی این هزینه‌ها معمولاً کمتر از ۲ درصد هزینه‌های کل بنگاه‌ها را به خود اختصاص می‌دهند. از این رو کاهش رقابت پذیری بنگاه‌ها در اثر اعمال قوانین زیست محیطی شدید، بسیار کم است. استدلال دیگر برای رد فرضیه پناهگاه آلاینده‌گی در مطالعات تجربی، وابستگی این صنایع به بازارهای داخلی در کشورهای توسعه یافته است. از طرفی، کشورهای با قوانین زیست محیطی ملایم ممکن است دارای ویژگی‌هایی همچون نبود ساختارهای مناسب، نااطمینانی، ریسک بالا و بی‌ثباتی در قوانین باشند. که وجود این ویژگی‌ها، علیرغم وجود قوانین ملایم زیست محیطی، مانع سرمایه‌گذاری و انتقال صنایع سنگین به سوی کشورهای در حال توسعه می‌شود. همچنین، برخی صنایع نیز با در نظر گرفتن اعتبار بین‌المللی خود و واکنش بعضی از سازمان‌های مدافع محیط‌زیست که به صورت تبلیغات منفی، سطح فروش آنها را تحت تاثیر قرار می‌دهند، تمایلی به کسب مزیت نسبی از طریق انتقال صنایع آلاینده به کشورهای با سیاست‌های ملایم نشان نمی‌دهند (کفایی و آقائیان، ۱۳۹۵).

#### ۴-۲) رابطه شهرنشینی و انتشار گازهای گلخانه‌ای

شهرنشینی<sup>۲</sup> فرآیند انتقال جمعیت و نیروی کار کشور از مناطق روستایی به مناطق شهری بوده و عمدتاً شامل ورود کشاورزان به شهر و اشتغال در بخش صنعت و همچنین مشاغل خدماتی مرتبط با آن می‌شود. به عبارتی شهرنشینی از طریق تغییر در ساختار اقتصادی و الگوهای مصرفی برای تقاضای انرژی تاثیر گذار است. این اثرگذاری از طریق چهار ساز و کار صورت می‌گیرد: اول ساز و کار اثرگذاری شهرنشینی بر مصرف انرژی از طریق ارتقا، تولید در نواحی شهری و به تبع آن افزایش فعالیت‌های اقتصادی است در نتیجه آن باعث مهاجرت از روستا به شهر و انتقال نیروی کار از کشاورزی به بخش صنعت و افزایش شدت مصرف انرژی می‌شود.

<sup>۱</sup> . Tobey

<sup>۲</sup> . Urbanization

-دوم افزایش فعالیت‌های اقتصادی در شهرها، باعث افزایش انتقال مسافران و افزایش حمل و نقل درون شهری می‌شود.

-سوم به هزینه‌های زیربنایی مربوط به شهرنشینی مثل جاده، فاضلاب، شبکه ارتباطی که به انرژی نیاز دارد که فعالیت‌های ساخت و ساز حدود ۴۰ درصد از تقاضای انرژی جهان را شامل می‌شود.

-چهارم شهرنشینی باعث اثر بر رفتار مصرف‌کننده‌ها و سبک زندگی آنها می‌شود. شهرنشینی و توسعه اقتصادی، منجر به ثروتمندتر شدن مردم و تغییر الگوی مصرف به استفاده از محصولات پر انرژی می‌شود (کریمی و حیدریان، ۱۳۹۶).

درخصوص اثر رشد شهرنشینی بر آلودگی دو دیدگاه وجود دارد. دیدگاه اول بر این باور است که افزایش شهرنشینی ساختار اقتصادی از کشاورزی به صنعت تغییر کرده و آلودگی افزایش می‌یابد. دیدگاه دوم بر این باور است که شهرنشینی موجب استفاده کاراتر از زیرساخت‌ها، سیستم حمل و نقل و انرژی در شهرها نسبت به روستاها بهینه‌تر شده و آلودگی کاهش می‌یابد. در مجموع رابطه بین شهرنشینی و آلودگی محیط زیست می‌تواند مثبت یا منفی باشد (فلاحی و حکمتی، ۱۳۹۲).

## ۵-۲) رابطه بهره‌وری انرژی (و شدت انرژی) با انتشار گازهای گلخانه‌ای

کمیابی منابع همواره به عنوان یک محدودیت اساسی در اقتصاد از جمله در فرایند تولید مطرح بوده است؛ از این رو، بشر همواره برای ایجاد یک زندگی مطلوب نیاز به استفاده‌ای بهینه از امکانات موجود برای دستیابی به تولید بیشتر و با کیفیت بهتر دارد. پاسخگویی به این نیاز از طریق افزایش بهره‌وری امکان پذیر است، با این تعریف بهره‌وری به معنی استفاده بهینه از منابع و دستیابی به تولید بیشتر با منابع معین است. اگر مردم دقیق‌تر کار کنند و بیاموزند که از مقدار عرضه مشخصی از نهاده‌ها تولید بیشتری انجام دهند، بهره‌وری کل عوامل تولید افزایش می‌یابد. بسیاری از کشورها توانسته‌اند بخشی از رشد اقتصادی خود را به جای افزایش در مصرف نهاده‌ها

وسرمایه‌گذاری‌های جدید از طریق ارتقای بهره‌وری و استفاده بهینه از ظرفیت‌های موجود تامین می‌کنند (فلاحی و حکمتی، ۱۳۹۲). امروزه جهان با مشکل گرم شدن مواجه است. به همین دلیل دانشمندان و پژوهشگران به دنبال راهکارهایی برای مقابله با این مشکل هستند، که از جمله‌ی این راهکارها می‌توان به کاهش انتشار (*GHG*) اشاره کرد. لذا سیاستگذاران و اندیشمندان به دنبال منابع جایگزینی هستند که مصرف آنها با آلودگی‌های زیست محیطی کمتری همراه باشد (لی و همکاران، ۲۰۱۷). در صورتی که تولیدکننده و دولت بخواهند با محدودیت‌های قوانین زیست محیطی که برای کاهش آلودگی با آن روبه‌رو هستند مقابله کنند باید بهره‌وری نهاده‌های خود بویژه بهره‌وری انرژی را افزایش دهند یا شدت انرژی را کاهش دهند.

### ۳) پیشینه تحقیق

#### • مطالعات خارجی

بیلدریچی و بکرتاس (۲۰۱۴)<sup>۱</sup> در مقاله‌ای رابطه بین مصرف نفت و گاز طبیعی و زغال سنگ و رشد اقتصادی در کشورهای منتخب (برزیل، روسیه، هند، چین، ترکیه و آفریقای جنوبی) در بازه زمانی ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۰ با استفاده از داده پانل و مدل (ARDL) پرداخته‌اند، متغیرهای پژوهش مصرف نفت، گاز طبیعی، زغال سنگ و رشد اقتصادی بوده است. نتایج نشان می‌دهد که مصرف گاز طبیعی در برزیل، روسیه و ترکیه به سرعت در حال رشد است که در این شرایط، ساختار مصرف انرژی در این کشورها را در طول زمان تغییر خواهد داد.

منگ و همکاران (۲۰۱۷)<sup>۲</sup> به بررسی اثرات سرریز فضایی در تعیین میزان رشد انتشار منطقه‌ای CO<sub>2</sub> کشور چین در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ با استفاده از روش داده-ستاده پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات در اکثر مناطق با متغیرهای توضیحی شامل ساختار مخارج نهایی، مقیاس ساختار تقاضای نهایی و مقیاس صادرات اثرات محیطی مثبت در کاهش انتشار CO<sub>2</sub> به

<sup>۱</sup> . Melike and Bakirtas (۲۰۱۴)

<sup>۲</sup> . Bo Meng, Jianguo Wang Robbie Andrew Hao Xiao (۲۰۱۷)

عنوان متغیر وابسته در مناطق دیگر دارند. علاوه بر این، اثر کل سرریز از سایر مناطق، از اثر بین منطقه‌ای در تعیین رشد انتشار منطقه‌ای بزرگ‌تر است.

سو و لی (۲۰۱۷)<sup>۱</sup> با استفاده از مدل داده-ستاده و تجزیه ساختاری انتشار کربن سنگاپور در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ پرداخته‌اند. متغیرهای تحقیق شامل متغیر وابسته CO<sub>2</sub> و متغیرهای توضیحی صادرات، سرمایه ثابت، مصرف انرژی بخش خصوصی، مصرف انرژی دولت، تغییر در موجودی سرمایه می باشد. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد، صادرات تقریباً دوسوم کل انتشار دی‌اکسید کربن را به خود اختصاص داده و رشد تولید گازهای گلخانه‌ای آن در دهه گذشته عمدتاً براساس صادرات بوده است. انتشار گازهای گلخانه‌ای با افزایش صنایع صادراتی و حجم صادرات افزایش یافته است.

لین وهمکاران (۲۰۱۷)<sup>۲</sup> در تحقیق تجربی تأثیر شهرنشینی و توسعه اقتصادی بر انتشار CO<sub>2</sub> در کشورهای با درآمد کم، متوسط و بالا: براساس مدل *STIRPAT* توسعه یافته در بازه زمانی ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۳ پرداخته‌اند، متغیرهای توضیحی مورد استفاده در این تحقیق، تولید ناخالص داخلی، بهره‌وری، نرخ شهرنشینی، نرخ اشتغال شهری، میزان صنعتی شدن، شدت انرژی و متغیر وابسته انتشار دی‌اکسید کربن بوده است. نتایج بررسی نشان می‌دهد که شهرنشینی و توسعه اقتصادی تأثیر منفی بر انتشار CO<sub>2</sub> در کشورهای با درآمد پایین دارند. سرعت بخشیدن به شهرنشینی و توسعه اقتصادی باعث افزایش قابل توجهی در انتشار CO<sub>2</sub> نمی‌شود.

چائوئه و لیائو (۲۰۱۷)<sup>۳</sup> تأثیر جمعیت و رشد اقتصادی بر انتشار کربن در تایوان در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ با استفاده از روش تحلیلی *STIRPAT* که شامل متغیر وابسته دی‌اکسید کربن و متغیرهای توضیحی جمعیت، تولید ناخالص داخلی، شدت انرژی و بهره‌وری مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد جمعیت تایوان عاملی برای افزایش انتشار دی‌اکسید کربن و افزایش *GDP* باعث کاهش در انتشار CO<sub>2</sub> شده است.

<sup>۱</sup>. Bin Su, B.W. Ang, Yingzhu Li (۲۰۱۷)

<sup>۲</sup>. Lin, S. Wang, S. Marinova, Dora Zhao, D. Hong, J. (۲۰۱۷)

<sup>۳</sup>. Jong-Chao Yeh, Chih-Hsiang Liao (۲۰۱۷)

لی و سو (۲۰۱۷)<sup>۱</sup> در مقاله‌ای نقش گاز طبیعی و انرژی‌های تجدیدپذیر در جلوگیری از انتشار دی‌اکسیدکربن در ایالات متحده در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ با استفاده از داده‌های سری زمانی و مدل (VAR) مورد بررسی قرار دادند. متغیرهای تحقیق شامل انتشار دی‌اکسیدکربن مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر، مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر، مصرف گاز طبیعی و رشد اقتصادی بوده است. نتایج نشان می‌دهد مصرف گاز طبیعی در ابتدا (کوتاه‌مدت) موجب افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای خواهد شد، اما در بلندمدت، کاهش قابل توجهی در میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد. همچنین یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر راه‌حلی مؤثر برای کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن محسوب می‌گردد.

ژو و لی (۲۰۱۸)<sup>۲</sup> به بررسی تفاوت انتشار CO<sub>2</sub> در بخش حمل‌ونقل در سراسر استان‌های چین در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۱ با استفاده از مدل رگرسیون کمی که شامل متغیر وابسته دی‌اکسیدکربن و متغیرهای توضیحی تولید ناخالص داخلی، جمعیت، شدت انرژی، نرخ شهرنشینی می‌شود پرداخته‌اند، نتایج نشان می‌دهد که تأثیر رشد اقتصادی بر انتشار CO<sub>2</sub> در بعضی از استان‌های در چین، به دلیل تفاوت در سرمایه‌گذاری ثابت و وسایل نقلیه موتوری بالاتر از سایر استان‌ها است. نتایج نشان می‌دهد که اثر رشد اقتصادی بر تولید گازهای گلخانه‌ای دی-اکسیدکربن در ۵۰ استان با تراکم جمعیت بیشتر به دلیل تفاوت در سرمایه‌گذاری ثابت و وسایل نقلیه موتوری بیشتر از سایر استان‌ها است. شدت انرژی به دلیل متفاوت بودن بودجه تحقیق و توسعه و سرمایه‌گذاری‌های پرسنلی در زمینه تحقیق مشابه، داستان مشابهی دارد. تأثیر شهرنشینی نیز به دلیل تفاوت در انباشت سرمایه انسانی و فناوری ثبت اختراع بیشتر است.

ژو و لین (۲۰۱۹)<sup>۳</sup> در مقاله‌ای به بررسی تأثیر گسترش مصرف گاز طبیعی بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای برای کشور چین با استفاده از داده‌های پانل در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ پرداخته‌اند، برای بررسی عوامل اثرگذار بر انتشار دی‌اکسیدکربن به عنوان متغیر وابسته و

<sup>۱</sup> . Rongrong Li and Min Su (۲۰۱۷)

<sup>۲</sup> . Bin Xu, Boqiang Lin (2018)

<sup>۳</sup> . Xu and Lin, (۲۰۱۹)

متغیرهای توضیحی جمعیت، تولید ناخالص داخلی، بهره‌وری، نرخ شهرنشینی، درجه صنعتی - شدن، مصرف گاز طبیعی از مدل‌های رگرسیون افزایشی غیر پارامتری استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که مصرف گاز طبیعی یک اثر غیرخطی "U" شکل معکوس بر انتشار CO<sub>2</sub> در منطقه شرقی دارد اما یک اثر غیرخطی "U-شکل گرفته" مثبت در مناطق مرکزی و غرب دارد. تأثیر مصرف گاز طبیعی بر انتشار CO<sub>2</sub> در مناطق شرقی و مرکزی به علت تفاوت در دسترسی منابع و قیمت انرژی و نیز مصرف گاز طبیعی، بیشتر از منطقه غربی است.

لین و آگیمان (۲۰۲۰)<sup>۱</sup> در مطالعه‌ای به بررسی مصرف گاز طبیعی بر انتشار دی‌اکسید کربن کشورهای زیر صحرای افریقا طی دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۷ با روش رگرسیون ناپارامتریک جمعی<sup>۲</sup> پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد، اثر خطی مصرف گاز طبیعی به صورت مثبت بر انتشار دی‌اکسید کربن تأثیر می‌گذارد، در حالی که اثر غیرخطی نشان دهنده یک اثر کاهش‌ی در روند انتشار دی‌اکسید کربن به دنبال مصرف گاز طبیعی است.

پیجوویچ و همکاران (۲۰۲۱)<sup>۳</sup> در مطالعه خود با بکارگیری یک مدل خودتوضیحی برداری پنل (PVAR)<sup>۴</sup> به بررسی رابطه بین رشد اقتصادی، مصرف انرژی و انتشار CO<sub>2</sub> در کشورهای اتحادیه اروپا و حوزه بالکان غربی پرداخته‌اند. یافته‌های تحقیق در کشورهای مورد بررسی نشان می‌دهد، (۱) رابطه دوسویه مثبت بین انتشار CO<sub>2</sub> و تولید ناخالص داخلی وجود دارد. (۲) رابطه دوسویه منفی بین انتشار CO<sub>2</sub> و مصرف انرژی تجدیدپذیر وجود دارد. (۳) هیچ رابطه علی بین تولید ناخالص داخلی و مصرف انرژی تجدیدپذیر یافت نشد. و (۴) علامت رابطه از سوی تولید ناخالص داخلی به انتشار CO<sub>2</sub> منفی است، در حالی که در علامت آن در عکس رابطه، مثبت است.

۱ . Lin, & Agyeman, (۲۰۲۰)

۲ . nonparametric additive regression(NPAR)

۳ . Pejović and et.,al (۲۰۲۱)

۴ . Panel Vector Autoregressive

وو و همکاران (۲۰۲۱)<sup>۱</sup> در مطالعه‌ای به بررسی ارتباط بین مصرف گاز طبیعی، رشد اقتصادی و انتشار CO<sub>2</sub> در کشور چین پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد، در سطح ملی، مصرف گاز طبیعی موجب بهبود رشد اقتصادی و کاهش انتشار CO<sub>2</sub> (هرچند با سهم ناچیز) می‌شود. در سطح منطقه‌ای، نتایج تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر دارد، اما بطور کلی، با افزایش سهم مصرف گاز طبیعی از کل مصارف انرژی، کاهش انتشار CO<sub>2</sub> شدت می‌گیرد.

• مطالعات داخلی

بهبودی و برقی گل‌عدانی (۱۳۸۷) در تحقیقی اثرات زیست محیطی مصرف انرژی و رشد اقتصادی در ایران را با استفاده از داده‌های سری زمانی سال‌های ۱۳۴۶-۱۳۸۳، به روش آزمون همگرایی بلندمدت یوهانسون - جوسیلیوس بررسی کردند. متغیرهای مورد استفاده در این تحقیق انتشار سرانه گاز دی‌اکسید کربن، تولید ناخالص داخلی سرانه به قیمت ثابت سال ۱۳۷۶، شدت مصرف انرژی، نرخ رشد کل جمعیت و جمعیت شهرنشینی بوده است. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که، یک درصد افزایش در شدت استفاده از انرژی باعث افزایش ۰.۹۲ درصدی انتشار سرانه ی گاز دی‌اکسید کربن و آلودگی محیط زیست می‌شود. هم چنین با افزایش یک درصدی تولید ناخالص داخلی سرانه، انتشار سرانه ی گاز دی‌اکسید کربن به مقدار ۱.۳۱ درصد افزایش یافته است.

قلی زاده و زحمتکش (۱۳۸۹)، به بررسی تأثیر مصرف گاز طبیعی بر انتشار دی‌اکسید کربن با استفاده از منحنی کوزنتس زیست محیطی بلندمدت، برای ایران در بازه زمانی ۱۳۵۶-۱۳۸۶ شامل متغیرهای انتشار دی‌اکسید کربن، ذخایر اثبات شده گاز طبیعی، قیمت گاز طبیعی، ضریب جینی، جمعیت و رشد اقتصادی و با استفاده از الگوی زیست محیطی کوزنتس پرداخته‌اند. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد یک رابطه U معکوس بین رشد درآمد و انتشار گاز CO<sub>2</sub> در کوتاه‌مدت و بلندمدت در ایران وجود دارد. یکی از برآوردها ضریب ۳۹ درصدی مصرف گاز طبیعی می‌باشد که با توجه به این ضریب در اثر افزایش یک واحد مصرف گاز طبیعی ۳۹

<sup>۱</sup>. Wu and et., al (۲۰۲۱)

درصد واحد انتشار گاز CO<sub>2</sub> افزایش و مصرف گاز طبیعی همراه با افزایش جمعیت و تولید ناخالص داخلی افزایش یابد.

ترابی و همکاران (۱۳۹۴)، به بررسی تاثیر مصرف انرژی، رشد اقتصادی و تجارت خارجی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در ایران برای دوره زمانی ۱۳۵۰-۱۳۹۰ براساس منحنی زیست محیطی کورنتس و روش خود توضیح با وقفه‌های گسترده که شامل متغیرهای: سرانه مصرف سوخت، تولید ناخالص ملی حقیقی سرانه، شاخص درجه باز بودن اقتصاد، تولید ناخالص داخلی سرانه، ارزش واقعی صادرات و واردات و خدمات پرداخته اند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد مصرف سرانه انرژی، ناخالص داخلی سرانه واقعی، درجه باز بودن اقتصاد تاثیر مثبت و معناداری بر میزان انتشار سرانه گاز دی‌اکسید کربن دارد.

پناهی و همکاران (۱۳۹۶)، به بررسی تاثیر شهرنشینی بر انتشار دی‌اکسید کربن در بازه زمانی ۲۰۱۰-۲۰۰۰ برای ۴۲ کشور عضو سازمان کنفرانس های اسلامی با استفاده از رهیافت پنل دیتا و کاربرد مدل STIRPAT شامل متغیرهای: انتشار سرانه دی‌اکسید کربن، جمعیت شهرنشین، تولید ناخالص داخلی سرانه و شدت انرژی پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که یک درصد افزایش در متغیرهای شهرنشینی، تولید ناخالص داخلی سرانه و شدت انرژی به ترتیب باعث افزایش ۰/۵۷، ۰/۷۴ و ۰/۵۵ درصد در انتشار گاز دی‌اکسید کربن می‌شود.

رشیدی و همکاران (۱۳۹۶)، در مطالعه‌ای خود به تحلیل عوامل تاثیر گذار بر انتشار دی-اکسید کربن از نیروگاه‌های کشور ایران با استفاده از روش IPAT و STIRPAT شامل عوامل مبتنی بر جمعیت، ثروت و تکنولوژی در بازه زمانی سالهای ۱۳۵۹ الی ۱۳۹۱ پرداخته‌اند. متغیرهای مورد استفاده در این تحقیق جمعیت، تولید ناخالص داخلی سرانه، نسبت مصرف بخش خانگی به کل مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی، ساختار مصرف انرژی در نیروگاه‌ها، نسبت انرژی الکتریکی تولید شده از انرژی‌های تجدیدپذیر به کل تولید و نسبت ارزش افزوده برق به کل ارزش تولید برق بوده است. نتایج نشان می‌دهد متغیرهای جمعیت، تولید ناخالص داخلی سرانه، نسبت مصرف بخش خانگی به کل تولید تاثیر افزایشی بر انتشار دی‌اکسید کربن

داشته‌اند. بر خلاف متغیرهای ذکر شده متغیرهای بهره‌وری انرژی، ساختار مصرف انرژی در نیروگاه‌ها، نسبت انرژی الکتریکی تولید شده از انرژی‌های تجدیدپذیر به کل تولید و نسبت ارزش افزوده برق به کل ارزش تولید برق اثر کاهشی بر انتشار دی‌اکسید کربن داشته‌اند. صادقی و همکاران (۱۳۹۶) در مقاله خود تأثیر متغیرهای جمعیتی بر کیفیت محیط‌زیست بر مبنای مدل STIRPAT برای کشورهای گروه دی هشت از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۰ مورد بررسی قرار داده‌اند. متغیرهای مورد استفاده در این تحقیق اندازه جمعیت، سن جمعیت، تمرکز جمعیت و شهرنشینی، درآمد سرانه واقعی و نیز تولید ناخالص داخلی (*GDP*) بوده است. نتایج حاکی از آن است که اندازه جمعیت و تمرکز جمعیت، تأثیر معنی‌داری بر انتشار گازهای گلخانه‌ای ندارند. از طرفی سن جمعیت بین ۵۱ تا ۴۶ سال، شهرنشینی و درآمد سرانه واقعی به ترتیب بیشترین تأثیر را در انتشار سرانه دی‌اکسید کربن در بین کشورهای عضو گروه دی هشت از خود نشان می‌دهند.

قزوینیان و همکاران (۱۳۹۷)، در مطالعه خود به بررسی اثر شوک‌های مصرف کل انرژی بر انتشار دی‌اکسید کربن و رشد اقتصادی در کشورهای منتخب منا با استفاده از رهیافت *PVAR* طی دوره ۲۰۱۶-۱۹۹۲ و همچنین کشور ایران طی دوره ۲۰۱۶-۱۹۸۵ با استفاده از روش *VAR* پرداخته‌اند. نتایج حاکی از آن است که شوک مصرف انرژی به‌طور متناسب ابتدا منجر به افزایش نسبتاً شدید و سپس کاهش در تولید ناخالص داخلی سرانه کشورهای منتخب منا می‌گردد و شوک مصرف انرژی ابتدا انتشار دی‌اکسید کربن را به‌طور ملایم افزایش داده و پس از آن منجر به کاهش آلودگی در دوره‌های بعدی و حرکت به سمت تعادل بلندمدت می‌گردد. همچنین در اقتصاد ایران یک شوک در مصرف انرژی ابتدا به شدت رشد اقتصادی افزایش یافته، پس از ۴ دوره شروع به کاهش نموده و سرانجام به سمت تعادل بلندمدت اولیه برمی‌گردد. سرانجام با یک شوک در مصرف کل انرژی، انتشار دی‌اکسید کربن، به‌طور ملایم افزایش یافته و سپس از دوره سوم شروع به کاهش می‌نماید.

صیادی و منجذب (۱۳۹۸) در مطالعه خود به ارزیابی تأثیر عوامل مؤثر بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشورهای عضو اوپک با تأکید بر مصرف سوخت‌های فسیلی با بکارگیری مدل غیرخطی رگرسیون انتقال ملایم پانلی (PSTR) پرداخته‌اند. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد، تولید ناخالص داخلی سرانه در هر دو رژیم اثر مثبتی بر انتشار  $CO_2$  داشته و میزان اثر مثبت آن بعد از عبور متغیر انتقال از حد آستانه‌ای کاهش یافته است. همچنین درجه شهرنشینی و مجموع تولیدات فرآورده‌های نفتی نیز اثر مثبتی بر انتشار  $CO_2$  در هر دو رژیم داشته و میزان اثر مثبت آن بعد از عبور متغیر انتقال از حد آستانه (۴۰ درصد) در کشورهای مورد بررسی افزایش یافته است.

#### ۴) روش‌شناسی تحقیق

داده‌های ترکیبی<sup>۱</sup> به یک مجموعه از داده‌ها گفته می‌شود که بر اساس آن مشاهدات به وسیله تعداد زیادی از متغیرهای مقطعی (N) که اغلب به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند، در طول یک دوره زمانی مشخص (T) مورد بررسی قرار گرفته باشند. این  $N \times T$  داده آماری را داده-های ترکیبی یا داده‌های مقطعی-سری زمانی<sup>۲</sup> می‌نامند. به عبارتی دیگر، اگر ویژگی‌های داده-های مقطعی برای دو سال یا بیشتر مورد بررسی قرار گیرند، ساختار شکل گرفته مشاهدات، مجموعه داده‌های ترکیبی یا مجموعه داده‌های طولی<sup>۳</sup> نامیده می‌شود. این مجموعه داده‌ها شامل هر مجموعه از اشیاء یا موجودات است که ویژگی‌های آن در طول زمان تکرار شود. به این دلیل که داده‌های ترکیبی در برگیرنده هر دو جنبه داده‌های سری زمانی و داده‌های مقطعی است، بکارگیری مدل‌های توضیح‌دهنده آماری مناسبی که ویژگی‌های آن متغیرها را توصیف

۱ - Panel Data

۲- Time Series-Cross Section Data

۳ - Longitudinal Data

کند، پیچیده‌تر از مدل‌های استفاده شده در داده‌های مقطعی یا داده‌های سری زمانی است (انواری و زراء نژاد، ۱۳۸۴).

برای برآورد مدل تحقیق مراحل ذیل به ترتیب انجام می‌گیرند:

(الف) آزمون F لیمر<sup>۱</sup> برای بررسی Pooled یا Panel بودن مدل

(ب) آزمون هاسمن (۱۹۷۸)<sup>۲</sup> برای بررسی اثرات ثابت<sup>۳</sup> یا اثرات تصادفی<sup>۴</sup>

(ج) آزمون ریشه واحد برای بررسی مانایی متغیرها

(د) آزمون هم‌انباشتگی بین متغیرها برای بررسی وجود رابطه بلندمدت بین آنها (در صورت وجود ریشه واحد)

(ه) برآورد مدل

در ابتدا برای پی بردن به اینکه مدل مورد بررسی از نوع Pooled (مدلی مقید با قید برابری عرض از مبداهای مقاطع) است یا Panel (مدلی غیرمقید با عرض از مبداهای متفاوت مقاطع) از آزمون F لیمر استفاده می‌شود. آماره آزمون F لیمر عبارت است از:

(۱)

$$F = \frac{(R^2_{UR} - R^2_R)/(N-1)}{(1 - R^2_{UR})/(NT - N - K)}$$

که، N تعداد مقاطع، T دوره زمانی، K تعداد متغیرهای توضیحی،  $R^2_{UR}$  مربوط به مدل نامقید<sup>۵</sup> و  $R^2_R$  مربوط به مدل مقید<sup>۶</sup> است. بدنبال انجام آزمون F لیمر، در صورتیکه فرضیه صفر مبنی بر "مدل مقید با قید برابری عرض از مبداهای مقاطع" رد شود آنگاه بایستی آزمون هاسمن انجام گیرد که در آن فرضیه صفر عبارت از "عدم وجود همبستگی بین اثرات فردی و متغیرهای

۱. F Limer Test

۲. Hausman Test (۱۹۷۸)

۳. Fixed Effects

۴. Random Effects

۵. Unrestricted Model

۶. Restricted Model

توضیحی " بوده و فرضیه مقابل نیز عبارت از " وجود همبستگی بین اثرات فردی و متغیرهای توضیحی " است. در صورتیکه فرضیه صفر آزمون هاسمن رد شود آنگاه تخمین مدل با روش اثرات ثابت خواهد بود.<sup>۱</sup> آماره آزمون هاسمن دارای توزیع کای - دو با درجه آزادی به تعداد متغیرهای مستقل ( $K-1$ ) است.

$$h = \chi^2_{(K-1)} = [b - \hat{\beta}]' \hat{\phi}^{-1} [b - \hat{\beta}] \quad (۲)$$

$$Var[b - \hat{\beta}] = Var[b] - Var[\hat{\beta}] = \phi \quad (۳)$$

که در آن  $b$  ضرایب حاصل از روش اثرات ثابت و  $\hat{\beta}$  ضرایب حاصل از روش اثرات تصادفی و  $\phi$  ماتریس واریانس - کوواریانس ضرایب است. بعد از انجام آزمون‌های  $F$  لیمر و هاسمن، آزمون ریشه واحد برای بررسی مانایی متغیرها انجام می‌گیرد که برای این منظور از دو آزمون ایم، پسران و شین (IPS)<sup>۲</sup> و لوین، لیم و چو (LLC)<sup>۳</sup> استفاده می‌شود. در صورت تایید وجود ریشه واحد متغیرها، آزمون هم‌انباشتگی پانل برای بررسی ارتباط بلندمدت بین متغیرها انجام می‌گیرد. برای این منظور از آزمون پدرونی<sup>۴</sup> استفاده می‌شود. این آزمون از هفت آماره برای انجام هفت آزمون استفاده می‌کند که چهار مورد از آنها بر مبنای آزمون‌های درون‌گروهی بوده و سه مورد دیگر بر مبنای آزمون‌های بین‌گروهی هستند. نهایتاً بعد از انجام آزمون‌های فوق، برآورد مدل صورت می‌گیرد.

در این پژوهش با استفاده از مطالعه لین و همکاران (۲۰۱۷)، ژو و لین (۲۰۱۸) و متغیرهای توضیحی که در تحقیقات گذشته و در پیشینه تحقیق به آن اشاره شده است به شکل زیر است:

$$LCO_{it} = \alpha + \beta_1(LGDP_{it}) + \beta_2(LENE_{it}) + \beta_3(LURB_{it}) + \beta_4(LGAS_{it}) + \beta_5(LPEC_{it}) + \beta_6(LOPP_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (۴)$$

<sup>۱</sup>. سوری (۱۳۹۲)

<sup>۲</sup>. Im, Pesaran and Shin (IPS)

<sup>۳</sup>. Levin, Linn and Chu(LLC)

<sup>۴</sup>. Pedroni Test

که  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$  و  $\beta_6$  به ترتیب نشان دهنده حساسیت (کشش) متغیر وابسته نسبت به تغییر در متغیرهای توضیحی است.

$LCO_2it$ : لگاریتم انتشار دی‌اکسید کربن میزان انتشار دی‌اکسید کربن سرانه کشور  $t$ ام در سال  $t$ ام، که از نسبت دی‌اکسید کربن بر جمعیت هر کشور به دست می‌آید.

$LGDPLit$ : لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه: شامل میزان تولید ناخالص داخلی سرانه کشور  $t$ ام در سال  $t$ ام، که از نسبت تولید ناخالص داخلی بر جمعیت به دست می‌آید. از لحاظ نظری انتظار داریم ارتباط بین تولید ناخالص سرانه و میزان انتشار دی‌اکسید کربن مثبت باشد.

$LENEit$ : لگاریتم بهره‌وری انرژی: شامل بهره‌وری انرژی کشور  $t$ ام در سال  $t$ ام، که از نسبت تولید ناخالص داخلی بر کل مصرف انرژی هر کشور به دست می‌آید. از لحاظ نظری انتظار داریم بین بهره‌وری انرژی و میزان انتشار دی‌اکسید کربن منفی باشد.

$LURBit$ : لگاریتم نرخ شهرنشینی است که شامل نرخ شهرنشینی کشور  $t$ ام در سال  $t$ ام، که از نسبت جمعیت شهری بر جمعیت هر کشور به دست می‌آید. از لحاظ نظری ارتباط بین نرخ شهرنشینی بر انتشار دی‌اکسید کربن مبهم است.

$LGASit$ : لگاریتم مصرف سرانه گاز طبیعی: شامل مصرف سرانه گاز طبیعی در کشور  $t$ ام در سال  $t$ ام، که از نسبت مصرف گاز بر جمعیت هر کشور به دست می‌آید. از لحاظ نظری ارتباط بین مصرف سرانه گاز طبیعی و میزان انتشار دی‌اکسید کربن منفی باشد.

$LPECit$ : لگاریتم مصرف سرانه سایر انرژی‌ها: شامل مصرف سرانه انرژی کشور  $t$ ام در سال  $t$ ام، که از نسبت کل مصرف انرژی بر جمعیت هر کشور به دست می‌آید. از لحاظ نظری ارتباط بین مصرف سرانه سایر انرژی‌های فسیلی (به جز گاز طبیعی) با میزان انتشار دی‌اکسید کربن مثبت است.

$LOPPit$ : لگاریتم درجه باز بودن اقتصاد: شامل صادرات و واردات کشور  $t$ ام در سال  $t$ ام، که از نسبت صادرات و واردات بر تولید ناخالص داخلی هر کشور به دست می‌آید. از لحاظ نظری ارتباط بین درجه باز بودن اقتصاد و میزان انتشار دی‌اکسید کربن مبهم است.  $\epsilon_{it}$ : جزء اخلاص مدل می‌باشد.

## ۵) داده‌ها و تحلیل یافته‌های پژوهش

### ۵-۱) داده‌های تحقیق

جامعه آماری مورد مطالعه گروهی از کشورها باشدت مصرف انرژی بالا و پایین و بازه زمانی پژوهش ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ می‌باشد که بر اساس اطلاعات موجود در سایت بانک جهانی<sup>۱</sup> و سایت BP<sup>۲</sup> گردآوری شده است. مدل مورد استفاده در این تحقیق شامل متغیر وابسته انتشارسرانه دی‌اکسیدکربن و متغیرهای توضیحی نرخ شهرنشینی، بهره‌وری انرژی (شدت انرژی)، تولید ناخالص داخلی سرانه، درجه باز بودن اقتصاد، مصرف سرانه سایر انرژی‌ها، مصرف سرانه گاز طبیعی می‌باشد.

### ۵-۲) نتایج آزمون ریشه واحد

پیش از شروع فرایند ارزیابی مدل، لازم است تا ویژگی مانایی متغیرهای تحقیق به جهت حصول اطمینان از عدم شکل‌گیری رگرسیون کاذب مورد بررسی قرار گیرد. در این تحقیق برای بررسی مانایی متغیرهای هر دو گروه کشور مورد بررسی از دو آزمون لوین، لین و چو (LLC, ۲۰۰۲)<sup>۳</sup> و ایم، پسران و شین (IPS, ۲۰۰۳)<sup>۴</sup> استفاده شده است. نتایج آزمون‌های مانایی مورد استفاده در این تحقیق برای هر دو گروه کشور با شدت انرژی متفاوت بیانگر این است که متغیرهای مورد استفاده در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار بوده (رد فرضیه صفر مبنی بر وجود ریشه واحد در سطح آماری ۵ درصد) و لذا مشکلی برای ادامه فرآیند برآورد مدل تحقیق وجود ندارد (جدول ۲).

۱ . [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org)

۲ . [www.bp.com](http://www.bp.com)

۳ . Levin, Lin and Chu (LLC)

۴ . Im, Pesaran and Shin (IPS)

### جدول ۲- نتایج آزمون ریشه واحد LLC و IPS

متغیر	گروه کشورهای با شدت انرژی پایین				گروه کشورهای با شدت انرژی بالا			
	آزمون IPS		آزمون LLC		آزمون IPS		آزمون LLC	
	آماره	احتمال	آماره	احتمال	آماره	احتمال	آماره	احتمال
LCO <sub>it</sub>	-۲/۱۱	۰/۰۲	-۳/۲۹	۰/۰۰	-۲/۹۳	۰/۰۱	-۳/۱۲	۰/۰۰
LGDPL <sub>it</sub>	-۳/۹۲	۰/۰۰	-۲/۹۳	۰/۰۱	-۳/۵۵	۰/۰۰	-۲/۷۹	۰/۰۱
LENE <sub>it</sub>	-۲/۴۳	۰/۰۱	-۲/۰۴	۰/۰۳	-۲/۲۳	۰/۰۲	-۲/۶۷	۰/۰۱
LURB <sub>it</sub>	-۲/۱۷	۰/۰۳	-۲/۴۹	۰/۰۲	-۳/۵۲	۰/۰۰	-۲/۱۱	۰/۰۳
LGAS <sub>it</sub>	-۲/۳۹	۰/۰۲	-۲/۳۲	۰/۰۱	-۲/۲۹	۰/۰۳	-۲/۳۸	۰/۰۲
LPEC <sub>it</sub>	-۳/۷۱	۰/۰۰	-۲/۱۲	۰/۰۲	-۲/۵۵	۰/۰۲	-۳/۴۳	۰/۰۰
LOPP <sub>it</sub>	-۳/۲۲	۰/۰۰	-۳/۴۰	۰/۰۰	-۳/۰۱	۰/۰۰	-۲/۹۲	۰/۰۱

### ۳-۵) نتایج آزمون چاو

با عنایت به اینکه مطالعه بین کشوری در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ است برای اینکه مشخص شود از روش داده‌های تابلویی یا داده‌های ترکیبی استفاده شود از آزمون F لیمر استفاده شده است. نتایج برآورد برای کشورها با شدت مصرف انرژی بالا و پایین به ترتیب در جدول ۳ نشان داده شده است.

### جدول ۳. نتایج آزمون چاو برای گروه‌های با شدت انرژی متفاوت

گروه کشورهای با شدت مصرف انرژی بالا			
آماره F	احتمال آماره	درجه آزادی	نتیجه آزمون
۹/۷۸۵۱۷۵	۰/۰۰۴۷	۱۱	داده های تابلویی
گروه کشورهای با شدت مصرف انرژی پایین			
آماره F	مقدار معنی داری	درجه آزادی	نتیجه آزمون
۲۵/۴۸۵۳	۰/۰۰۰۰	۵	داده های تابلویی

منبع: یافته‌های پژوهش

#### ۴-۴) نتایج آزمون هاسمن

در جدول ۴ نتایج آزمون استفاده از روش اثرات ثابت و اثرات تصادفی به کمک آماره آزمون هاسمن استفاده شده است. آماره کای دو آزمون هاسمن برای گروه کشورهای با شدت مصرف انرژی بالا و پایین به ترتیب برابر با ۱/۷۶۲۶۱ و ۲/۶۵۹۳ است که با توجه به احتمال آماره آزمون، فرضیه صفر مبنی بر استفاده از روش اثرات ثابت در سطح اطمینان ۹۵ درصد رد می‌شود و فرضیه مقابل یعنی استفاده از روش اثرات تصادفی تأیید می‌شود.

#### ۵-۵) برآورد مدل

در این بخش به تحلیل نتایج برآورد مدل تحقیق برای دو گروه کشورهای با شدت مصرف انرژی بالا و کشورهای با شدت مصرف انرژی پایین پرداخته می‌شود. کشف انتشار دی اکسید کربن نسبت به تولید ناخالص داخلی سرانه مثبت و از لحاظ آماری معنی‌دار است این بدان معناست که به ازای یک درصد افزایش در تولید ناخالص داخلی سرانه، دی‌اکسید کربن ۱۵ صدم درصد افزایش می‌یابد.

#### جدول ۴. نتایج آزمون هاسمن برای گروه‌های با شدت انرژی متفاوت

گروه کشورهای با شدت مصرف انرژی بالا			
نتیجه آزمون	احتمال آماره	درجه آزادی	آماره
اثرات تصادفی	۰/۹۴۰۲	۶	۱/۷۶۲۱
گروه کشورهای با شدت مصرف انرژی پایین			
نتیجه آزمون	احتمال آماره	درجه آزادی	آماره
اثرات تصادفی	۰/۴۵۲۵	۶	۲/۶۵۹۳

منبع: یافته‌های محقق

کشش دی‌اکسید کربن نسبت به ضریب متغیر نرخ بهره‌وری انرژی منفی می‌باشد. این بدان معناست که به ازای ۱ درصد افزایش در نرخ بهره‌وری انرژی (یا یک درصد کاهش در شدت انرژی)، انتشار دی‌اکسید کربن هفده صدم درصد کاهش می‌یابد.

کشش انتشار دی‌اکسید کربن نسبت به متغیر شهرنشینی مثبت و معنادار است. این بدان معناست که به ازای افزایش ۱ درصد نرخ شهرنشینی، انتشار دی‌اکسید کربن یازده صدم درصد افزایش می‌یابد. تأثیر مثبت و معنی دار نرخ شهرنشینی بر انتشار دی‌اکسید کربن به دلیل افزایش حمل و نقل، افزایش خانه‌های مسکونی شهری که باعث افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی می‌باشد. کشش دی‌اکسید کربن نسبت به ضریب متغیر مصرف سرانه گاز طبیعی منفی است. این بدان معناست که به ازای ۱ درصد افزایش در مصرف سرانه گاز طبیعی، انتشار دی‌اکسید کربن دوازده صدم درصد کاهش می‌یابد. این به دلیل مزایای جانمایی گاز طبیعی با سایر سوخت‌های مصرفی فسیلی که در نتیجه باعث کاهش انتشار دی‌اکسید کربن شده است. کشش دی‌اکسید کربن نسبت به متغیر مصرف سرانه سایر انرژی‌ها مثبت است. این بدان معناست که به ازای ۱ درصد افزایش در مصرف سرانه سایر انرژی‌ها، انتشار دی‌اکسید کربن بیست و دو صدم درصد افزایش می‌یابد. که این ارتباط مثبت می‌تواند به دلیل آلاینده‌گی سوخت‌های فسیلی از یک سو و پایین بودن تکنولوژی مورد استفاده در این زمینه باشد. کشش دی‌اکسید کربن نسبت به ضریب متغیر درجه باز بودن اقتصاد مثبت است. تفسیر این نتیجه می‌تواند به دلیل افزایش تولید صادرات و انتقال تکنولوژی با آلاینده‌گی بالا به کشورها و افزایش مصرف‌گرایی در این کشورها باشد.

**جدول ۵. نتایج تخمین مدل برای کشورهای با شدت مصرف انرژی بالا**

$$LCO_{it} = L\alpha + \beta_1(LGDP_{it}) + \beta_2(LENE_{it}) + \beta_3(LURB_{it}) + \beta_4(LGAS_{it}) + \beta_5(LPEC_{it}) + \beta_6(LOPP_{it}) + \varepsilon_{it}$$

متغیر	ضریب	آماره t	سطح معناداری
LGDP <sub>it</sub>	۰/۱۵۹۵۲۷	۲/۲۶۵۵۵۲	۰/۰۲۴۴
LENE <sub>it</sub>	-۰/۱۷۷۰۵۱	-۲/۱۶۳۳۳۳	۰/۰۲۴۵
LURB <sub>it</sub>	۰/۱۱۸۴۲۹	۲/۲۰۱۲۵۳	۰/۰۲۱۹
LGAS <sub>it</sub>	-۰/۱۲۷۸۶۵	-۲/۰۷۴۱۱۳	۰/۰۲۶۴
LPEC <sub>it</sub>	۰/۲۲۷۳۶۲	۳/۲۵۶۲۳۶	۰/۰۰۱۵
LOPP <sub>it</sub>	۰/۴۱۵۳۶۲	۵/۱۵۲۵۶۳	۰/۰۰۰۵
ضریب ثابت	۰/۳۲۸۳۵۲	۵/۶۲۰۵۵۸	۰/۰۰۰۰
ضریب تعیین	۰/۵۵۰۰۰۶	آماره F:	۴/۷۸۶۵۳۶
ضریب تعیین تعدیل شده	۰/۵۲۱۴۵۱	سطح معناداری	۰/۰۳۵۴۶۱
دوربین واتسون: ۲/۱۰۹۲۶۷			

منبع: یافته‌های پژوهش

در جدول ۶ نتایج برآورد مصرف گاز طبیعی بر انتشار گاز دی اکسید کربن در کشورهای با شدت مصرف پایین انرژی را نشان می‌دهد. در مدل تحقیق با اضافه شدن متغیر اثر تعاملی مصرف سرانه گاز طبیعی\* مصرف سرانه سایر انرژی‌ها نتایج تحقیق نشان می‌دهد با جایگزینی مصرف سرانه گاز طبیعی در مصرف انرژی میزان انتشار دی اکسید کربن کاهش می‌یابد.

جدول ۶. نتایج تخمین مدل برای کشورهای با شدت مصرف انرژی پایین:

$LCO_{it} = L\alpha + \beta_1(LGDP_{it}) + \beta_2(LENE_{it}) + \beta_3(LURB_{it}) + \beta_4(LGAS_{it}) + \beta_5(LPEC_{it}) + \beta_6(LOPP_{it}) + \varepsilon_{it}$			
متغیر	ضریب	آماره t	سطح معناداری
LGDP <sub>it</sub>	۰/۶۹۶۰۲۵	۵/۰۴۵۳۶۱	۰/۰۰۱
LENE <sub>it</sub>	-۰/۵۰۸۵۲۳	-۴/۶۵۸۲۳۱	۰/۰۰۰
LURB <sub>it</sub>	۰/۱۴۳۶۲۱	۳/۳۶۵۲۱۴	۰/۰۱۱
LGAS <sub>it</sub>	۰/۰۵۶۳۶۲	۲/۵۰۶۴۲۵	۰/۰۲۱۵
LPEC <sub>it</sub>	۰/۱۰۵۸۳۶	۲/۷۵۶۰۱۴	۰/۰۲۱۱
LOPP <sub>it</sub>	۰/۳۲۰۴۵۸	۳/۰۸۵۶۵۴	۰/۰۱۲۴
ضریب ثابت	۰/۱۲۳۶۲۵	۲/۰۱۵۲۶۳	۰/۰۳۵۴
ضریب تعیین	۰/۴۱۲۵۶	آماره f:	۵/۰۸۵۳۶
ضریب تعیین تعدیل شده	۰/۴۰۹۶۵	سطح معناداری	۰/۰۲۵۶۳
دوربین واتسون: ۱/۵۸۶۳			

منبع: یافته‌های پژوهش

در جدول ۷ اثر تعاملی مصرف سرانه گاز طبیعی بر مصرف سرانه سایر انرژی را در کشورها با شدت مصرف انرژی بالا نشان می‌دهد. نتایج حاصل از برآورد مدل نشان می‌دهد، هر یک از متغیرهای توضیحی مدل به غیر از بهره‌وری انرژی در کشورهای با شدت مصرف انرژی پایین دارای ضریب مثبت می‌باشد، لذا می‌توان گفت که هر یک از متغیرهای فوق تاثیر مثبت و معناداری بر متغیر وابسته دارند. به عبارت دیگر نتایج این پژوهش بیانگر این است که ارتباط بین مصرف گاز طبیعی بر میزان انتشار دی اکسید کربن رابطه غیر خطی تبعیت می‌کند. یعنی زمانی که شدت مصرف انرژی پایین است، رابطه بین مصرف گاز طبیعی بر میزان انتشار دی اکسید کربن مثبت و زمانی که شدت مصرف انرژی بالا این رابطه منفی خواهد شد.

جدول ۷. نتایج برآورد مدل برای کشورهای با شدت انرژی بالا با اضافه شدن متغیر لگاریتم (مصرف سرانه گاز طبیعی \* مصرف سرانه سایر انرژی‌ها)

$$LCO_{2it} = L\alpha + \beta_1(LGDP_{it}) + \beta_2(LENE_{it}) + \beta_3(LURB_{it}) + \beta_4(LGAS_{it}) + \beta_5(LPEC_{it}) + \beta_6(LGAS_{it} * PEC_{it}) + \beta_7(LOPP_{it}) + \varepsilon_{it}$$

متغیر	ضریب	آماره t	سطح معناداری
LGDP <sub>it</sub>	۰/۲۶۹۸۷	۲/۱۵۸۴۸	۰/۰۱۴۵
LENE <sub>it</sub>	-۰/۲۸۵۶	-۲/۹۸۶۵	۰/۰۲۵۶
LURB <sub>it</sub>	۰/۳۶۹۵	۳/۹۸۵۹	۰/۱۴۵۲
LGAS <sub>it</sub>	-۰/۱۹۸۵	-۲/۸۵۶۹۹	۰/۰۱۰۵
LPEC <sub>it</sub>	۰/۳۶۵۶	۳/۸۵۶۳۲	۰/۰۰۰۰
L(GAS <sub>it</sub> *PEC <sub>it</sub> )	-۰/۳۰۹۸	-۳/۱۵۲۶	۰/۰۱۵۶۳
LOPP <sub>it</sub>	۰/۵۲۵۹	۵/۹۸۹۹	۰/۰۰۰۰
ضریب ثابت	۰/۴۲۸۹۶	۵/۶۲۰۵۵۸	۰/۰۰۰۰
ضریب تعیین	۰/۴۱۸۹۹	آماره f:	۴/۹۸۶۵۲
ضریب تعیین تعدیل شده	۰/۵۲۱۴۵۱	سطح معناداری	۰/۰۱۴۵
دوربین واتسون: ۲/۴۷۸۵			

منبع: یافته‌های پژوهش

در جدول ۸ تاثیر متغیر تعاملی (مصرف سرانه گاز طبیعی \* مصرف سرانه سایر انرژی‌ها را برای میزان انتشار دی اکسید کربن نشان می‌دهد. همانطور که نتایج تحقیق نشان می‌دهد در کشورها با شدت انرژی پایین جایگزینی مصرف گاز طبیعی به جای سایر انرژی‌های فسیلی تاثیر منفی بر انتشار گاز دی اکسید کربن ایجاد نمی‌کند.

**جدول ۸. نتایج برآورد مدل برای کشورهای با شدت انرژی پایین با اضافه شدن متغیر لگاریتم (مصرف سرانه گاز طبیعی \* مصرف سرانه سایر انرژی)**

$$LCO_{it} = L\alpha + \beta_1(LGDP_{it}) + \beta_2(LENE_{it}) + \beta_3(LURB_{it}) + \beta_4(LGAS_{it}) + \beta_5(LPEC_{it}) + \beta_6(LGAS_{it} * PEC_{it}) + \beta_7(LOPP_{it}) + \varepsilon_{it}$$

متغیر	ضریب	آماره t	سطح معناداری
<b>LGDP<sub>it</sub></b>	۰/۶۰۹۱۶۵	۵/۶۴۳۶۸۶	۰/۰۱۴۲
<b>LENE<sub>it</sub></b>	۰/۰۷۶۴۶۹	-۲/۵۸۶۳۹۱	۰/۰۰۶۲
<b>LURB<sub>it</sub></b>	۰/۰۰۸۰۴۰	۰/۰۳۵۶۹۷	۰/۰۰۹۷
<b>LGAS<sub>it</sub></b>	۰/۹۴۴۵۹۴	۲/۷۵۲۴۷۴	۰/۰۱۱۱
<b>LPEC<sub>it</sub></b>	۰/۱۰۵۸۳۶	۲/۷۵۶۰۱۴	۰/۰۲۱۱
<b>L(GAS<sub>it</sub>*PEC<sub>it</sub>)</b>	۰/۱۹۸۹۳۹	۲/۲۴۰۹۰۰	۰/۰۳۵۵
<b>LOPP<sub>it</sub></b>	۱/۳۸۷۱۸۷	۲/۵۳۲۹۷۵	۰/۰۱۸۹
ضریب ثابت	۰/۷۲۲۹۴۰	۵/۰۱۱۹۳۹	۰/۰۰۰۰
ضریب تعیین	۰/۴۹۶۲۵	آماره F	۵/۲۵۴۶۳
ضریب تعیین تعدیل شده	۰/۴۸۹۶۳	سطح معناداری	۰/۰۱۵۳
دوربین واتسون: ۱/۹۸۵۵			

منبع: یافته‌های پژوهش

**۶. نتیجه‌گیری**

ایران هم‌اکنون در بین ۱۰ کشور با شدت مصرف انرژی و نیز شدت انتشار گازهای گلخانه‌ای بالا قرار دارد. با توجه به ویژگی‌ها و مزایایی که مصرف گاز طبیعی به لحاظ تولید کمتر گازهای گلخانه‌ای نسبت به سایر سوخت‌های فسیلی دارا است و همچنین با توجه به الزامات پیمان زیست‌محیطی پاریس (۲۰۱۵) و افزایش جهانی نگرانی‌های زیست‌محیطی که موجب تغییر سیاست‌های انرژی دولت‌ها به سمت استفاده از سوخت‌های با انتشار کمتر شده است، گسترش مصرف گاز طبیعی نسبت به سایر سوخت‌های فسیلی دارای شتاب بیشتری بوده است. هرچند استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد جهانی انرژی با سرعت زیادی در حال افزایش

است، اما اغلب پیش‌بینی‌ها، نشان از افزایش قابل توجه گاز طبیعی در سبد آتی جهانی انرژی حکایت دارد.

با توجه افزایش چشمگیر گاز طبیعی در سبد جهانی انرژی، بررسی آثار مصرف این حامل انرژی بر انتشار گاز دی‌اکسید کربن از اهمیت خاصی برخوردار است. در این مطالعه با توجه به اهمیت مصرف انرژی برای توسعه کشورها و همچنین آلودگی و پیامدهای منفی ناشی از مصرف آن به بررسی، اثر مصرف گاز طبیعی بر انتشار گاز دی‌اکسید کربن با استفاده از داده‌های دو گروه کشورهای منتخب با شدت مصرف انرژی بالا و کشور با شدت مصرف انرژی پایین در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۸ پرداخته شد. نتایج آزمون چاو استفاده از روش داده‌های تابلویی یا داده‌های ترکیبی و آزمون هاسمن استفاده از روش اثرات تصادفی را در این پژوهش را تأیید نمود. نتایج آزمون‌های مانایی مورد استفاده در این تحقیق برای هر دو گروه کشور با شدت انرژی نشان از عدم وجود ریشه واحد در متغیرهای تحقیق دارد.

نتایج حاصل از پژوهش در کشورهای با شدت مصرف انرژی بالا نشان می‌دهد، مصرف گاز طبیعی تأثیر منفی و معناداری بر انتشار گاز  $CO_2$  دارد و تولید ناخالص داخلی سرانه تأثیر مثبت و معنادار بر انتشار دی‌اکسید کربن دارد. این یافته تحقیق با یافته‌های وو و همکاران (۲۰۲۱) در مورد رابطه بین مصرف گاز طبیعی و انتشار  $CO_2$  و نیز تولید ناخالص داخلی در یک راستا قرار دارد.

نتایج در کشورهای با شدت مصرف انرژی پایین نشان می‌دهد، مصرف گاز طبیعی تأثیر منفی و معناداری بر انتشار گاز  $CO_2$  ندارد، ولی تولید ناخالص داخلی سرانه تأثیر مثبت و معنادار بر انتشار دی‌اکسید کربن دارد. این نتیجه تحقیق، یافته‌های بهودی و برقی گلعدانی (۱۳۸۷)، رشیدی و همکاران (۱۳۹۶) و پناهی و همکاران (۱۳۹۶) را تأیید می‌کند.

همچنین نتایج تحقیق نشان می‌دهد، در کشورهای با شدت مصرف بالای انرژی با اضافه شدن متغیر اثر تعاملی مصرف سرانه گاز طبیعی\* مصرف سرانه سایر انرژی‌ها به مدل، (امکان جایگزینی مصرف سرانه گاز طبیعی با سایر مصارف انرژی)، میزان انتشار دی‌اکسید کربن

کاهش می‌یابد. در واقع به دلیل انتشار به مراتب کمتر گاز طبیعی در مقایسه با سایر سوخت‌های فسیلی، افزایش مصرف این حامل انرژی در سبد انرژی، منجر به انتشار کمتر گاز دی‌اکسید کربن می‌شود. علاوه بر این، در هر دو گروه کشورهای منتخب، کاهش انتشار دی‌اکسید کربن نسبت به متغیر شهرنشینی مثبت و معنادار است. تأثیر مثبت و معنی‌دار نرخ شهرنشینی بر انتشار دی‌اکسید کربن به دلیل افزایش حمل و نقل و افزایش خانه‌های مسکونی شهری می‌تواند باشد که باعث افزایش مصرف انرژی می‌شود. این یافته با نتایج تحقیق رشیدی و همکاران (۱۳۹۶)، پناهی و همکاران (۱۳۹۶) و چائویه و لیائو (۲۰۱۷) در یک راستا قرار دارد.

با توجه به نتایج به دست آمده، به نظر می‌رسد، میزان شدت مصرف انرژی نقش مهمی در تأثیر مصرف گاز طبیعی بر انتشار گاز دی‌اکسید کربن دارد. از این رو کاهش شدت مصرف انرژی باید مورد توجه جدی سیاستگذاران و برنامه‌ریزان انرژی کشور قرار گیرد. در این راستا می‌توان از ظرفیت سند بالادستی تراز گاز کشور در افق ۱۴۲۰ که بر ضرورت بهینه‌سازی مصرف گاز طبیعی در ایران در بخش‌های مختلف اعم از نیروگاه‌ها، صنایع عمده، پالایشگاه‌ها، حمل و نقل، خانگی و تجاری تأکید نموده است، استفاده کرد. در سند تراز گاز طبیعی کشور در افق ۱۴۲۰، علت اصلی منفی شدن تراز گازی کشور که به ویژه در ماه‌های سرد سال باعث کاهش گازرسانی به نیروگاه‌ها و خاموشی‌های برق خواهد شد، بالا بودن شدت مصرف انرژی در بخش‌های مختلف (نیروگاهی، صنایع عمده، تجاری، خانگی) به دلیل عدم توجه کافی به بهینه‌سازی انرژی عنوان شده است. بنابراین، با افزایش سهم گاز طبیعی در سبد انرژی در مقایسه با سایر سوخت‌های فسیلی و نیز بهینه‌سازی مصارف مختلف آن در کنار نوسازی تجهیزات صنایع و بهبود سطح فنی ماشین‌آلات، می‌توان شدت مصرف انرژی و نیز انتشار دی‌اکسید کربن را به میزان قابل توجهی کاهش داد و پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از آن را برای نسل‌های آینده کاهش داد.

## منابع و مآخذ

۱. ابراهیمی، محسن. آل مراد جیدرقی، محمود. (۱۳۸۹). بررسی عوامل موثر بر انتشار گاز دی اکسید کربن در کشورهای با درآمد متوسط به پایین با تأکید بر منحنی کوزنتس. پنجمین همایش ملی زمین‌شناسی و محیط زیست اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر.
۲. بهبودی، داوود. برقی گلعدانی، اسماعیل. (۱۳۸۷). بررسی اثرات زیست محیطی مصرف انرژی بر رشد اقتصادی در ایران. فصلنامه علمی پژوهشی اقتصاد مقداری، دوره پنجم، شماره ۴: ۳۵-۵۴.
۳. بهبودی، داوود. فلاحی، فیروز. برقی گلعدانی، اسماعیل. (۱۳۸۹). عوامل اقتصادی اجتماعی موثر بر انتشار سرانه دی اکسید کربن در ایران. مجله تحقیقات اقتصادی، دوره ۴۵، شماره ۹۰: ۱-۱۷.
۴. پناهی، حسین. سلمانی، بهزاد. آل عمران، سیدعلی. (۱۳۹۶). به بررسی تأثیر شهرنشینی بر انتشار دی اکسید کربن در کشورهای عضو سازمان کنفرانس های اسلامی با استفاده از رهیافت پنل دیتا و کاربرد مدل (STIRPAT). علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره نوزدهم، شماره ۲: ۱۰۵-۱۱۹.
۵. پژوهیان، جمشید. مرادحاصل، نیلوفر. (۱۳۸۶). بررسی اثر رشد اقتصادی بر آلودگی هوا. فصلنامه پژوهش های اقتصادی ایران. سال هفتم، شماره ۴: ۱۴۱-۱۶۰.
۶. ترابی، تقی. خواجهی پور، امین. طریقی، سمانه. پاکروان، محمدرضا. (۱۳۹۴). تأثیر مصرف انرژی، رشد اقتصادی و تجارت خارجی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در ایران. فصلنامه مدل سازی اقتصادی، سال نهم، شماره ۱: ۶۳-۸۴.
۷. رشیدی، علی. نظری کودهی، سعید. پایدار راوندی، رامین. شاه حسینی، امید. کوکب پیک، آرش. (۱۳۹۶). تعیین سهم عوامل موثر بر انتشار گاز CO<sub>2</sub> از نیروگاه های حرارتی کشور با استفاده از مدل (STIRPAT). مطالعات علوم محیط زیست، دوره دوم، شماره ۱: ۲۵-۳۸.
۸. سوری، علی (۱۳۹۲)، اقتصادسنجی، انتشارات فرهنگ‌شناسی.
۹. صادقی، سیرکمال. سجودی، سکینه. احمدزاده دلجوان، فهیمه. (۱۳۹۵). بررسی تأثیر متغیرهای جمعیتی بر کیفیت محیط زیست بر مبنای مدل (STIRPAT). علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره هجدهم، شماره ۳: ۲۵۷-۲۷۵.
۱۰. صیادی، محمد، منجدب، محمدرضا. (۱۳۹۸). ارزیابی تأثیر عوامل مؤثر بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشورهای عضو اوپک با تأکید بر مصرف سوخت های فسیلی: کاربرد رهیافت غیرخطی رگرسیون انتقال ملایم پانلی، مطالعات علوم محیط زیست، (۴)، ۹۰۷-۹۱۷.

۱۱. قزوینیان، محمدحسن، هژیر کیانی، کامبیز، دهقانی، علی، زندی، فاطمه، سعیدی، خلیل. (۱۳۹۷). مقایسه تطبیقی اثر شوک‌های مصرف کل انرژی بر انتشار دی اکسید کربن و رشد اقتصادی در ایران و کشورهای منتخب‌منار. *فصلنامه علمی پژوهش‌های رشد و توسعه اقتصادی*, ۹(۳۳), ۹۱-۱۰۸.
۱۲. قلی زاده زحمتکش، مانده. (۱۳۸۹). بررسی تأثیر مصرف گاز طبیعی بر انتشار CO<sub>2</sub> با استفاده از منحنی کوزنتس زیست‌محیطی بلندمدت. *پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علامه طباطبائی*.
۱۳. مرادحاصل، نیلوفر و مزینی، امیرحسین (۱۳۸۹). رشد اقتصادی و مصرف انرژی در ایران: رویکرد استانی، کنفرانس و نمایشگاه بهینه‌سازی انرژی، تهران.
۱۴. کفایی، محمدعلی. آقائیان، پریا. (۱۳۹۵). برآورد و مقایسه کارایی انرژی در بخش‌های اقتصادی ایران. *فصلنامه اقتصاد و الگوسازی دانشگاه شهید بهشتی*، دوره ۷، شماره ۲۷: ۹۷-۱۲۲.
۱۵. کریمی، محمدشریف. حیدریان، مریم. (۱۳۹۶). بررسی ارتباط بین شهرنشینی و مصرف انرژی در استان‌های ایران. *فصلنامه اقتصاد و الگوسازی دانشگاه شهید بهشتی*، دوره ۸، شماره ۳۱: ۲۷-۵۶.
۱۶. لطفعلی پور، محمدرضا. فلاحی، محمدعلی. بستم، مرتضی. (۱۳۹۱). بررسی مسائل زیست‌محیطی و پیش‌بینی انتشار دی اکسید کربن در اقتصاد ایران. *فصلنامه علمی-پژوهشی مطالعات اقتصادی کاربردی در ایران*، سال اول، شماره ۳: ۸۱-۱۰۹.
۱۷. نصراللهی، زهرا، غفاری، مرضیه. (۱۳۸۸). توسعه اقتصادی و آلودگی محیط زیست در کشورهای عضو پیمان کیوتو و کشورهای آسیای جنوب غربی. *پژوهشنامه علوم اقتصادی*، سال نهم، شماره ۲: ۱۲۶-۱۰۵.

۱. Bildirici, M.E. and T. Bakirtas, (۲۰۱۴) The relationship among oil, natural gas and coal consumption and economic growth in BRICTS (Brazil, Russian, India, China, Turkey and South Africa) countries. *Energy*. 65: p. 134-144.
۲. Li, R. and M. Su, (۲۰۱۷). The role of natural gas and renewable energy in curbing carbon emission: Case study of the United States. *Sustain ability*. 9(4): p. 600.
۳. Lin, S, et al (۲۰۱۷). Impacts of urbanization and real economic development on CO<sub>2</sub> emissions in non-high income countries: Empirical research based on the extended STIRPAT model. *Journal of cleaner production*. 166: p. 952-966.

۵. Lin, B., & Agyeman, S. (۲۰۲۰). Impact of natural gas consumption on sub-Saharan Africa's CO<sub>2</sub> emissions: Evidence and policy perspective. *Science of The Total Environment*, ۱۴۳۳۲۱.
۶. Meng, B, et al, (۲۰۱۷). Spatial spillover effects in determining China's regional CO<sub>2</sub> emissions growth: ۲۰۰۷-۲۰۱۰. *Energy Economics*. 63: p. ۱۶۱-۱۷۳.
۷. Pejović, B., Karadžić, V., Dragašević, Z., & Backović, T. (۲۰۲۱). Economic growth, energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions in the countries of the European Union and the Western Balkans. *Energy Reports*, 7, ۲۷۷۵-۲۷۸۳.
۸. Su, B. B. Ang, and Y. Li, (۲۰۱۷). Input-output and structural decomposition analysis of Singapore's carbon emissions. *Energy Policy*. 105: p. 484-492
۹. Stokey, N. L. (۱۹۹۸), «Are there limits to growth? », *International Economic Review*, 39(1), 1-31.
۱۰. Wu, D., Geng, Y., & Pan, H. (۲۰۲۱). Whether natural gas consumption bring double dividends of economic growth and carbon dioxide emissions reduction in China?. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137, ۱۱۰۶۳۵.
۱۱. Xu, B. and B. Lin, (۲۰۱۹). Can expanding natural gas consumption reduce China's CO<sub>2</sub> emissions? *Energy Economics*. 81: p. 393-407.
۱۲. Xu, B. and B. Lin, (۲۰۱۵). How industrialization and urbanization process impacts on CO<sub>2</sub> emissions in China: evidence from nonparametric additive regression models. *Energy Economics*. 48: p. 188-202.
۱۳. Xu, B. and B. Lin, (۲۰۱۸) Investigating the differences in CO<sub>2</sub> emissions in the transport sector across Chinese provinces: Evidence from a quantile regression model. *Journal of Cleaner Production*. 175: p. 109-122.
۱۴. Yeh, J.C. and C.H. Liao, (۲۰۱۷). Impact of population and economic growth on carbon emissions in Taiwan using an analytic tool STIRPAT. *Sustainable Environment Research*. 27(1): p. 41-48.

منابع اینترنتی:

۱. <https://yearbook.enerdata.net/energy-intensity-GDP-region.html>.
۲. <http://www.worldbank.org>
۳. <http://www.bp.ir>

### ضمیمه

فهرست کشورهای با شدت مصرف انرژی بالا و پایین

چین، آمریکا، هند، روسیه، ژاپن، کره جنوبی، آلمان، کانادا، برزیل، ایران، اندونزی و فرانسه	گروه کشورهای با شدت مصرف انرژی بالا
نیوزیلند، کلمبیا، شیلی، ازبکستان، پرتغال، رومانی، نروژ، کویت	گروه کشورهای با شدت مصرف انرژی پایین