مجله محیط زیست و توسعه فرابخشی
Journal homepage: https://www.envjournal.ir

تحلیل ارتباط میان شهرنشینی، گردشگری و گسیل دی‌اکسیدکربن در استان‌های ایران

امیدعلی عادلی*[۱]، معصومه والی[۲]

۱- گروه اقتصاد، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه قم، قم، ایران*

۲- گروه حسابداری، دانشکده مدیریت، اقتصاد و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج، ایران

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت:
۱۴۰۳/۰۶/۲۲
پذیرش:
۱۴۰۴/۰۴/۱۹

کلمات کلیدی:
گردشگری، شهرنشینی، انتشار CO_2، الگوی پانل تصحیح خطا، شهرنشینی

چکیده

مقدمه: شهرنشینی و گردشگری به عنوان دو عامل کلیدی در توسعه اقتصادی و اجتماعی معاصر، تأثیرات قابل توجهی بر محیط زیست دارند. در کشورهایی مانند ایران که شاهد رشد سریع در این دو حوزه بوده‌اند، تأثیرات این روندها به ویژه در زمینه تغییرات اقلیمی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، به ویژه دی‌اکسیدکربن (CO_2)، به وضوح قابل مشاهده است. استان‌های ایران با تنوع در سطح شهرنشینی و توسعه گردشگری و همچنین تفاوت‌های زیست‌محیطی، زمینه مناسبی برای بررسی این روابط فراهم می‌آورند. این مطالعه به تحلیل اثرات مرتبط با شهرنشینی، گردشگری و انتشار CO_2 در استان‌های مختلف ایران با استفاده از داده‌های معتبر مرکز آمار ایران و بانک جهانی می‌پردازد.

مواد و روش‌ها: پیامدهای زیست‌محیطی مصرف نفت و گاز، به ویژه به دلیل حمل و نقل شهری، فعالیت‌های گردشگری و توسعه صنعتی در شهرها، به طور قابل توجهی به آلودگی هوا کمک می‌کند. در این مطالعه، از داده‌های استان‌های ایران در دوره زمانی ۲۰۱۸-۲۰۲۱ استفاده شده است و با مدل تصحیح خطای پنل، به تحلیل روابط تعادلی میان این متغیرها پرداخته شده است. هدف این تحلیل بررسی نحوه تأثیرات شهرنشینی، گردشگری و فعالیت‌های صنعتی بر انتشار CO_2 و بررسی تغییرات این انتشارات در مناطق مختلف کشور است. داده‌ها شامل اطلاعات درباره میزان انتشار CO_2، سطوح شهرنشینی، شدت فعالیت‌های گردشگری و مصرف سوخت در هر استان است که از پایگاه‌های داده معتبر ملی (مرکز آمار ایران، پورتال وزارت نیرو) گردآوری شده‌اند.

نتایج: آزمون هم‌جمعی پدرونی (Pedroni) وجود روابط بلندمدت میان متغیرهای مورد مطالعه را تأیید کرده و تأثیرات شهرنشینی و گردشگری بر انتشار CO_2 را پایدار نشان می‌دهد. یافته‌های این آزمون نشان می‌دهد که تأثیرات شهرنشینی و گردشگری بر انتشار CO_2 در استان‌های ایران به‌صورت پایدار وجود دارد. این بدان معناست که تغییرات در سطوح شهرنشینی و فعالیت‌های گردشگری اثرات ماندگاری بر میزان انتشار CO_2 در طول زمان خواهند داشت. یافته‌های مدل تصحیح خطا حاکی از روابط معنی‌دار و میان انتشار CO_2، صنعتی‌شدن، شهرنشینی و مصرف بنزین است. یافته‌های ECM نشان می‌دهد که تغییرات در سطح صنعتی‌شدن (SANAT)، شهرنشینی (URBAN) و مصرف بنزین (BENZIN) به طور معناداری بر میزان انتشار CO2 (NFG_CO_2) در بلندمدت اثرگذار هستند.

این نتایج با نظریه‌های اقتصادی مانند فرضیه منحنی کوزنتس زیست‌محیطی (EKC) همخوانی دارد. سطح

* پست الکترونیکی نویسنده مسؤول: oa.adeli@qom.ac.ir

آلاینده‌ها در مراحل اولیه توسعه اقتصادی و صنعتی به طور موقت افزایش یافته و سپس با پیشرفت اقتصادی و پذیرش شیوه‌های پایدار کاهش می‌یابد. در ایران، مناطق با سطوح بالاتر شهرنشینی و بخش‌های گردشگری پیشرفته‌تر تمایل به انتشار CO_2 بیشتری دارند که هزینه‌های زیست‌محیطی مرتبط با این نوع توسعه را منعکس می‌کند.

بحث: یافته‌های این مطالعه، که مبتنی بر تحلیل داده‌های پانل استانی طی دوره‌ی زمانی ۱۳۹۷–۱۴۰۰ می‌باشد، نشان می‌دهند که افزایش شهرنشینی و گردشگری در ایران اثر بلندمدت و معناداری بر افزایش انتشار CO_2 داشته‌اند. این نتایج بر ضرورت بازنگری در سیاست‌گذاری‌های شهری و گردشگری کشور، به‌ویژه از منظر زیست‌محیطی و در راستای اهداف توسعه پایدار تأکید دارند. در چارچوب سیاست‌های پیشنهادی، گذار به فناوری‌های سبز همچون استفاده از انرژی خورشیدی در مناطق مرکزی و کویری، و توسعه‌ی انرژی بادی در نواحی غربی کشور می‌تواند به‌عنوان راهکار عملی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مطرح شود. همچنین، در بخش گردشگری، اجرای سیاست‌هایی نظیر احداث اقامتگاه‌های زیست‌سازگار، بهبود مدیریت پسماند در مقاصد پرتردد و آموزش گردشگران در جهت حفظ منابع طبیعی، نمونه‌هایی از اقدامات پایدار قابل‌اجرا در سطح استانی به‌شمار می‌روند. از اینرو، پیشنهاد می‌شود که پروژه‌های پایلوت در استان‌های با انتشار بالای CO_2 به اجرا درآید تا اثرات واقعی اقدامات سبز بر آلودگی هوا مورد ارزیابی تجربی قرار گیرد. افزون‌براین، به‌منظور ارتقاء اثربخشی سیاست‌گذاری، تعیین اهداف کمی مشخص از جمله کاهش ۲۰٪ انتشار CO_2 در آینده در بخش‌های شهری و گردشگری، و افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر به ۳۰٪ ضروری است.

مقدمه

تغییر اقلیم یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های جهانی قرن بیست‌ویکم است که تأثیرات عمیقی بر اکوسیستم‌ها، اقتصاد و جوامع انسانی دارد. گزارش هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC, 2021) هشدار می‌دهد که بدون کاهش فوری انتشار گازهای گلخانه‌ای، افزایش دمای جهانی تا ۱/۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوران پیشاصنعتی تا سال ۲۰۳۰ اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. این موضوع ضرورت توسعه پایدار را برجسته می‌کند، که در اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد (UN SDGs, 2015) بر استفاده کارآمد از منابع و کاهش آلودگی تأکید شده است. مصرف انرژی، به‌عنوان یکی از عوامل اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای، نقش کلیدی در این راستا ایفا می‌کند.

ایران، با وابستگی شدید به سوخت‌های فسیلی، در این چالش جهانی جایگاه خاصی دارد. طبق گزارش آژانس بین‌المللی انرژی (IEA, 2021)، در سال ۲۰۲۰، ایران ۶۹ درصد از انرژی خود را از گاز طبیعی و ۲۹ درصد را از نفت تأمین کرد، در حالی که سهم انرژی‌های تجدیدپذیر تنها ۱ درصد بود. این وابستگی منجر به انتشار بالای CO_2 شده است. بر اساس داده‌های بانک جهانی (World Bank, 2020)، سرانه انتشار دی‌اکسید کربن ایران در سال ۲۰۱۹ حدود ۸/۱ تن بود که از میانگین جهانی (۴/۴ تن) بیشتر است. در مقایسه، این رقم برای چین ۱۰/۱ تن، برای ایالات متحده ۱۵/۵ تن، و برای هند ۱/۹ تن گزارش شده است. این نشان می‌دهد که ایران، اگرچه نسبت به قدرت‌های صنعتی مانند ایالات متحده کمتر گاز گلخانه‌ای منتشر می‌کند، اما در مقایسه با کشورهای در حال توسعه مانند هند، سرانه انتشار بالاتری دارد.

از نظر سهم انرژی‌های تجدیدپذیر، ایران در مقایسه با برخی کشورها عقب‌تر است. برای مثال، طبق گزارش IEA (۲۰۲۱)، در سال ۲۰۲۰، آلمان ۲۷ درصد از برق خود را از منابع تجدیدپذیر (عمدتاً باد و خورشید) تأمین کرد، در حالی که این رقم برای ایران کمتر از ۱ درصد بود. چین، به‌عنوان بزرگ‌ترین تولیدکننده انرژی خورشیدی و بادی در جهان، در همان سال ۲۹ درصد از برق خود را از تجدیدپذیرها تأمین کرد. حتی در منطقه خاورمیانه، امارات متحده عربی با پروژه‌هایی مانند شهر پایدار مصدر و نیروگاه خورشیدی نور ابوظبی، در سال ۲۰۲۰ حدود ۷ درصد از انرژی خود را از منابع تجدیدپذیر به دست آورد (Irna, 2021). این در حالی است که ایران، با وجود

پتانسیل بالای خورشیدی و بادی، هنوز نتوانسته این ظرفیت را به‌طور مؤثر بهره‌برداری کند.

مصرف انرژی در ایران به‌طور مستقیم با انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط است. گزارش IPCC (۲۰۲۱) نشان می‌دهد که بخش انرژی در سطح جهانی بیش از ۷۳ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای را تشکیل می‌دهد و در ایران این سهم در سال ۲۰۲۰ به بیش از ۸۰ درصد رسید (IEA, 2021). در مقایسه، این رقم برای ایالات متحده ۷۶ درصد، برای چین ۸۵ درصد و برای آلمان ۶۸ درصد بود. این تفاوت‌ها تا حدی به ساختار اقتصادی و ترکیب انرژی هر کشور بستگی دارد؛ برای مثال، آلمان با سرمایه‌گذاری در انرژی‌های پاک، سهم فسیلی خود را کاهش داده است، در حالی که ایران و چین همچنان به سوخت‌های فسیلی وابسته‌اند.

برای حرکت به سمت توسعه پایدار، ایران می‌تواند از تجربه کشورهای دیگر درس بگیرد. گزارش IEA (۲۰۲۳) در "چشم‌انداز انرژی جهان" نشان می‌دهد که گذار به انرژی پاک می‌تواند انتشار جهانی CO_2 را تا سال ۲۰۵۰ به صفر برساند. ایران با پتانسیل بالای خورشیدی (بیش از ۳۰۰ روز آفتابی در سال) و بادی، می‌تواند مشابه ترکیه عمل کند که طبق ایرنا (۲۰۲۱)، تا سال ۲۰۲۰ حدود ۲۰ درصد از برق خود را از منابع تجدیدپذیر تأمین کرد. آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر (Irna, 2021) پیش‌بینی کرده که ایران با بهره‌برداری از منابع خورشیدی، می‌تواند تا سال ۲۰۳۰، مشروط بر سرمایه‌گذاری و سیاست‌گذاری مناسب، حداقل ۱۰ گیگاوات ظرفیت تولید برق پاک ایجاد کند.

میزان سرانه مصرف انرژی در ایران تقریباً ۱/۸ برابر میانگین جهانی و ۰/۸ برابر کشورهای عضو سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (OECD) است. شدت انرژی ایران در سال ۱۴۰۰، بر مبنای عرضه و مصرف نهایی انرژی، به ترتیب معادل ۰/۱۵ و ۰/۱۰ بشکه معادل نفت خام به ازای هر میلیون ریال بوده است. این شاخص‌ها کاهش ۵/۶ درصدی در شدت عرضه انرژی و افزایش ۷ درصدی در شدت مصرف نهایی انرژی را نسبت به سال قبل نشان می‌دهند (ترازنامه انرژی، ۱۴۰۰). مصرف انرژی در ایران غالباً مربوط به انتشار گازهای گلخانه‌ای است، زیرا هر واحد انتشار در GDP معادل ۴ است که ۳۰٪ بالاتر از سطح جهانی آن است. در نتیجه برای ایران، انرژی دو سوم گازهای گلخانه‌ای را تشکیل می دهد. هم‌چنین، سایر آلاینده‌های مهم عبارت‌اند از: مواد اسیدی (SO_2 و NOx و آلاینده‌های مضر سلامت (CO) موجب می‌شود تا بافت ایران به ارزیابی کارایی انرژی بپردازد (Farajzadeh & Nematollahi, 2018).

سرانه مصرف انرژی نقش کلیدی در انتشار گازهای آلاینده، از جمله دی‌اکسید کربن، دارد. بررسی عواملی که بر شدت مصرف انرژی و انتشار CO_2 در مناطق شهری تأثیر می‌گذارند، اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا این عوامل بر رشد اقتصادی و پایداری زیست‌محیطی تأثیرگذارند. بر اساس ادبیات موجود، عوامل مختلفی بر انتشار گازهای آلاینده در شهرها تأثیر می‌گذارند و شاخص شهرنشینی به طور معمول نشان‌دهنده توسعه اقتصادی و اجتماعی است. افزایش سطح توسعه اقتصادی در یک منطقه معمولاً منجر به گسترش شهرنشینی می‌شود که این امر به نوبه خود معمولاً با افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن و کاهش کیفیت محیط‌زیست همراه است.

برای تحلیل رابطه میان شهرنشینی، مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن، ابتدا لازم است پژوهش‌های پیشین مرور شوند تا عوامل مؤثر شناسایی گردند. سپس، مدل‌های اقتصادسنجی می‌توانند برای تحلیل تأثیر این عوامل بر انتشار CO_2 در شهرها مورد استفاده قرار گیرند. به عنوان نمونه، Hossain (۲۰۱۱) با استفاده از داده‌های پانلی نشان داد که رشد اقتصادی و باز بودن تجارت به افزایش انتشار دی‌اکسید کربن منجر می‌شود. Lee و Lee (۲۰۱۴) گزارش دادند که شهرها بیش از ۷۰٪ از انتشار CO_2 را به خود اختصاص می‌دهند. همچنین، Shahbaz و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر مثبت شهرنشینی و ثروت بر مصرف انرژی در مالزی را تأیید کردند. در ادبیات مرتبط، منحنی کوزنتس محیط‌زیستی (EKC) بیان می‌کند که تخریب محیط‌زیست در مراحل اولیه توسعه اقتصادی افزایش می‌یابد و سپس با رشد درآمد سرانه کاهش می‌یابد. این نظریه به درک بهتر رابطه میان شهرنشینی و رشد اقتصادی در کشورهای در حال توسعه کمک می‌کند.

در برنامه هفتم توسعه ایران، اقدامات متعددی برای مدیریت و کاهش شدت انرژی پیش‌بینی شده است. از جمله این اقدامات، مکلف کردن وزارتخانه‌های نفت، نیرو، صنعت، معدن و تجارت به توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و افزایش سهم آن‌ها در تأمین برق کشور است. این برنامه

به طور خاص به توسعه نیروگاه‌های خورشیدی و بادی، برقی‌سازی خودروها با تمرکز بر اتوبوس‌های شهری و تاکسی‌ها و استفاده از پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی در مناطق جنوبی کشور توجه دارد. همچنین، دولت باید سازمان بهینه‌سازی و مدیریت راهبردی انرژی را ایجاد کند تا مدیریت مصرف انرژی را بر عهده گیرد و طرح‌های بهینه‌سازی انرژی را اجرا کند. در این زمینه، راهکارهایی مانند نوسازی ناوگان حمل‌ونقل و توسعه مناطق کم‌انتشار آلایندگی نیز پیشنهاد شده‌اند (گزارش معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی، ۱۳۹۸). آمارهای مربوط به افراد ساکن مناطق شهری در ایران نشان می‌دهد که سهم افراد شهرنشین در ایران رو به افزایش است. در سال ۲۰۲۰، نزدیک به ۷۶ درصد مردم ایران شهرنشین شده‌اند، در حالی که در سال ۱۹۶۰ تنها ۳۴ درصد ساکن شهر بوده‌اند. طبق آمار، میزان شهرنشینی در همسایگان شرقی ایران بسیار کمتر از ایران است و میزان شهرنشینی ایران و همسایگان غربی در یک دامنه قرار دارد (سایت آمارفکت). اقتصادهای شهری به دلیل تراکم بالای جمعیت و تمرکز منابع انسانی و مالی، نقش مهمی در پویایی اقتصادی ایفا می‌کنند و فرصت‌های بیشتری برای توسعه مشاغل، تبادل ایده‌ها و نوآوری فراهم می‌آورند که به رشد اقتصادی پایدار و خلق و انتشار سریع‌تر فناوری‌ها منجر می‌شود (Hafner, 2013).

تأثیر شهرنشینی بر گردشگری: شهرنشینی تأثیرات زیادی بر صنعت گردشگری دارد. رشد و توسعه شهرها، با توجه به وجود جاذبه‌های فرهنگی و تفریحی و همچنین امکانات خرید و برگزاری کنفرانس‌های تجاری، گردشگران زیادی را جذب می‌کند. شهرنشینی همچنین به توسعه زیرساخت‌هایی مانند هتل‌ها، رستوران‌ها و شبکه‌های حمل‌ونقل کمک کرده و تجربه گردشگری را بهبود می‌بخشد (Tzeng & Chiang, 2016).

- گردشگری فرهنگی و میراثی: شهرنشینی می‌تواند موجب حفظ و ترویج دارایی‌های فرهنگی شود که این امر شهرها را به مقاصد گردشگری جذاب تبدیل می‌کند (Mason, 2008).
- فرصت‌های اقتصادی: گردشگری شهری از طریق ایجاد فرصت‌های شغلی و درآمدزایی، به رشد اقتصادی کمک می‌کند. بسیاری از صنایع مرتبط با گردشگری مانند مهمان‌نوازی، خرده‌فروشی و حمل‌ونقل در این زمینه نقش دارند (Newman & Kenworthy, 2015).
- اثرات زیست‌محیطی: رشد شهری می‌تواند به افزایش آلودگی و فشار بر منابع طبیعی منجر شود که در این صورت، پایدار شهری برای کاهش این اثرات ضروری است (Gössling & Peeters, 2015).

گردشگری و آلودگی محیط زیست: صنعت گردشگری می‌تواند باعث افزایش آلودگی هوا، آب و زمین شود و به محیط زیست آسیب بزند:

- آلودگی هوا: حمل‌ونقل گردشگران از طریق هواپیما، کشتی و وسایل نقلیه به انتشار گازهای آلاینده کمک می‌کند (Gössling *et al.*, 2020).
- آلودگی آب: فاضلاب‌های تصفیه نشده از محل‌های اقامت و زباله‌های دریایی می‌توانند به آلودگی منابع آبی منجر شوند (UNEP, 2021).
- آلودگی زمین: ازدحام گردشگران موجب تخریب زیستگاه‌ها و فرسایش خاک در مناطق حساس زیست‌محیطی می‌شود (Newsome & Dowling, 2016).

آلودگی‌های ناشی از گردشگری علاوه بر تأثیر منفی بر محیط زیست طبیعی، می‌تواند به بناهای تاریخی آسیب بزند و ارزش فرهنگی آن‌ها را به خطر بیندازد (UNEP, 2021).

تغییر اقلیم یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های جهانی قرن بیست‌ویکم است که تأثیرات گسترده‌ای بر اکوسیستم‌ها، اقتصاد و جوامع انسانی دارد. گزارش هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC, 2021) هشدار می‌دهد که اگر اقدامات فوری برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای انجام نشود، افزایش دمای جهانی به ۱/۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوران پیشاصنعتی تا سال ۲۰۳۰ اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. این وضعیت، ضرورت حرکت به سمت توسعه پایدار را بیش از پیش آشکار می‌کند. اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد (UN SDGs, 2015) بر استفاده کارآمد از منابع طبیعی، کاهش آلودگی و حفظ تعادل زیست محیطی تأکید دارد و مصرف انرژی را به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی در انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد توجه قرار می‌دهد. در این راستا، پژوهش‌های متعددی با روش‌های تحلیلی مختلف به بررسی ارتباط بین شهرنشینی، مصرف انرژی، رشد اقتصادی و اثرات زیست‌محیطی پرداخته‌اند

که می‌توان آن‌ها را بر اساس رویکردهایشان دسته‌بندی کرد.

در ایران، مطالعات از روش‌های متنوعی برای تحلیل این موضوع استفاده کرده‌اند. Tarazkar و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از مدل خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی (ARDL) تأثیر توسعه اقتصادی و شهرنشینی بر انتشار آلودگی را بررسی کردند. این مطالعه نشان داد که رابطه‌ای U شکل بین رشد شهرنشینی و آلودگی وجود دارد، به این معنا که در مراحل اولیه شهرنشینی آلودگی افزایش می‌یابد و سپس با پیشرفت بیشتر کاهش می‌یابد. نتایج آن‌ها حاکی از آن بود که افزایش ۱۰ درصدی درآمد سرانه، آلودگی را در بلندمدت ۸/۵ درصد و در کوتاه‌مدت ۷ درصد بالا می‌برد، و افزایش ۱۰ درصدی مصرف سرانه انرژی، سرانه انتشار CO_2 را در بلندمدت ۴/۵ درصد و در کوتاه‌مدت ۴ درصد افزایش می‌دهد. این یافته‌ها نشان‌دهنده تأثیر قابل‌توجه رشد اقتصادی و انرژی بر محیط‌زیست است.

Fetros و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از رویکرد همجمعی در بازه زمانی ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۵، تأثیر شدت انرژی و گسترش شهرنشینی بر تخریب محیط‌زیست را تحلیل کردند. آن‌ها دریافتند که شدت انرژی (میزان انرژی مصرف‌شده به ازای هر واحد تولید)، رشد شهرنشینی و افزایش جمعیت به‌طور مثبت بر آلودگی هوا اثر می‌گذارد. این مطالعه همچنین فرضیه منحنی کوزنتس زیست‌محیطی را تأیید کرد، که بیان می‌کند رشد اقتصادی در ابتدا آلودگی را افزایش می‌دهد، اما پس از رسیدن به سطح خاصی از توسعه و کاهش شدت انرژی، آلودگی کاهش می‌یابد. این نتایج بر اهمیت مدیریت مصرف انرژی در کاهش اثرات زیست‌محیطی تأکید دارد.

Farazmand و همکاران (2020) با استفاده از مدل STIRPAT در دوره ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۳، تأثیر شهرنشینی و مصرف انرژی را بررسی کردند. این مدل که برای تحلیل اثرات جمعیت، ثروت و فناوری بر محیط‌زیست طراحی شده، نشان داد که حمل‌ونقل و افزایش تولید ناخالص داخلی (GDP) سرانه به‌طور مثبت بر مصرف سرانه انرژی اثر می‌گذارد، در حالی که پیشرفت فناوری در کوتاه‌مدت این مصرف را کاهش می‌دهد. آن‌ها همچنین با استفاده از آزمون علیت گرنجری دریافتند که مصرف انرژی به‌عنوان یک عامل محرک برای شهرنشینی عمل می‌کند، به این معنا که افزایش تقاضای انرژی می‌تواند توسعه شهری را تسریع کند.

Kamali Dehkordi و همکاران (۱۴۰۰) با رهیافت فضایی STIRPAT در کشورهای منتخب اوپک طی دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰، اثر فضایی شهرنشینی بر مصرف انرژی را تحلیل کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که صنعتی شدن و رشد اقتصادی به‌طور مستقیم مصرف انرژی را افزایش می‌دهند، اما مخارج دولتی اثر کاهشی دارد. از منظر اثرات غیرمستقیم، شهرنشینی و تجارت تأثیر مثبت و صنعتی شدن تأثیر منفی بر مصرف انرژی در مناطق مجاور داشت. این مطالعه بر اهمیت در نظر گرفتن تعاملات فضایی در سیاست‌گذاری انرژی تأکید می‌کند.

Ashouri و همکاران (۲۰۲۰) با روش حداقل مربعات میانگین وزنی در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵، عوامل مؤثر بر شدت انرژی در استان‌های ایران را بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که دسترسی به تجهیزات فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) شدت انرژی را کاهش می‌دهد، در حالی که مهارت‌های مرتبط با فناوری اثر مثبت دارد. همچنین، درآمد سرانه و قیمت انرژی شدت مصرف را کاهش می‌دهند، اما سهم بخش صنعت و تعداد وسایل نقلیه آن را افزایش می‌دهد. این نتایج نشان‌دهنده نقش دوگانه فناوری در مدیریت انرژی است.

در سطح بین‌المللی نیز روش‌های مختلفی برای بررسی این موضوع به کار گرفته شده است. Xiao و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از مدل رگرسیون داده‌های تابلویی در ۱۹۵ کشور طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰، تأثیر زمین شهرسازی بر انتشار CO_2 را تحلیل کردند. آن‌ها دریافتند که در کشورهای با درآمد متوسط رو به پایین، افزایش شهرنشینی به اختلاف قابل‌توجهی در انتشار سرانه CO_2 منجر می‌شود و بر ضرورت سیاست‌های کاهش آلودگی تأکید کردند. Wu و Lin (۲۰۲۲) با مدل STIRPAT در ۳۰ استان چین (۲۰۰۰-۲۰۲۰) نشان دادند که مصرف انرژی مسکونی با نرخ شهرنشینی رابطه‌ای U شکل دارد؛ توسعه اقتصادی مصرف را افزایش می‌دهد، تراکم جمعیت اثر منفی مستقیم و مثبت غیرمستقیم دارد.

Wang و همکاران (۲۰۲۲) با تحلیل تجربی داده‌های ۱۳۴ کشور، اثر غیرخطی شهرنشینی بر رشد اقتصادی و ردپای اکولوژیک را بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند که شهرنشینی با این عوامل رابطه مثبت دارد، اما استفاده از

انرژی‌های تجدیدپذیر و پیری جمعیت می‌تواند کیفیت محیط‌زیست را بهبود بخشد، در حالی که باز بودن تجارت و بهره‌برداری از منابع طبیعی فشار زیست‌محیطی را افزایش می‌دهد. Luyi و همکاران (۲۰۲۲) با روش FMOLS در چین (۱۹۹۷-۲۰۱۹) بر لزوم توسعه فناوری پاک تأکید کردند و نشان دادند که مصرف انرژی به‌طور مستقیم انتشار گازهای گلخانه‌ای را بالا می‌برد.

Farooq و همکاران (۲۰۲۱) با روش ARDL در پاکستان (۱۹۷۲-۲۰۱۸) رابطه بلندمدت بین شهرنشینی، توسعه مالی، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و انتشار CO_2 را تأیید کردند. آن‌ها همچنین رابطه U شکل معکوس بین رشد اقتصادی و کیفیت محیط‌زیست را نشان دادند، به این معنا که پس از یک نقطه اوج، آلودگی کاهش می‌یابد. Kirikkaleli و Kalmaz (۲۰۲۰) با تحلیل داده‌های ترکیه (۱۹۶۰-۲۰۱۶) دریافتند که رشد اقتصادی، مصرف انرژی، تجارت و شهرنشینی در کوتاه‌مدت انتشار CO_2 را افزایش می‌دهد و شهرنشینی نقش تعدیل‌کننده‌ای در این روند دارد.

مطالعات داخلی و خارجی با استفاده از روش‌های ARDL، STIRPAT، همجمعی، داده‌های تابلویی و حداقل مربعات، اثرات متنوع شهرنشینی، مصرف انرژی و رشد اقتصادی بر محیط‌زیست را نشان داده‌اند. در ایران، پژوهش‌هایی مانند Tarazkar و همکاران (۱۳۹۷) و Farazmand و همکاران (۱۳۹۹) بر رابطه مثبت شهرنشینی و مصرف انرژی با آلودگی تأکید دارند، در حالی که مطالعات خارجی مانند Wang و همکاران (۲۰۲۲) نقش انرژی‌های تجدیدپذیر را در کاهش فشار زیست‌محیطی برجسته می‌کنند. این یافته‌ها ضرورت بازنگری در سیاست‌های مصرف انرژی و توسعه شهری را برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار نشان می‌دهد.

Kirikkaleli و Kalmaz (۲۰۲۰) به تحلیل شهرنشینی در منحنی کوزنتس در ترکیه طی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۶ پرداختند. در این مطالعه، مشاهده شد که جمعیت شهری ترکیه از ۲۵ درصد به ۷۵ درصد افزایش یافته است. نتایج نشان داد که رشد اقتصادی، مصرف انرژی، باز بودن تجارت و شهرنشینی بر تخریب محیط‌زیست تأثیر دارند و نقش تعدیل‌کننده شهرنشینی منجر به افزایش انتشار CO_2 در کوتاه‌مدت می‌شود.

این پژوهش بر مقیاس محلی و داده‌های به‌روز تمرکز نموده است و بینش‌های خاص و معاصر در مورد تأثیرات زیست‌محیطی توسعه اقتصادی و شهرنشینی ارائه می‌دهد که در بسیاری از مطالعات کمتر مورد توجه قرار گرفته است. همچنین، به کارگیری مدل پانل تصحیح خطا و آزمون‌های هم‌انباشتگی پدرونی برای بررسی روابط بلندمدت و تأثیرات متقابل، به‌طور خاص به تحلیل‌های عمیق‌تری در مورد پایداری و تغییرات زمانی در تأثیرات زیست محیطی می‌پردازد. بسیاری از مطالعات ممکن است از مدل‌های ساده‌تری استفاده کنند که نتایج کمتری را در رابطه با تحولات بلندمدت و پایداری محیط زیست ارائه می‌دهند.

مواد و روش‌ها

به دلیل عدم دسترسی به داده‌های استانی مصرف انرژی، بررسی شدت انرژی انجام نشده است. با این حال، ارتباط میان انتشار دی‌اکسیدکربن و شدت مصرف انرژی می‌تواند از طریق شاخص‌های مرتبط با شهرسازی و رشد اقتصادی تحلیل شود. فعالیت‌های حمل و نقل و صنعتی در استان‌های ایران نیز امکان تحلیل این رابطه با متغیرهای اقتصادی را فراهم می‌کند.

انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از مصرف نفت و گاز، شهرنشینی به تفکیک هر استان (نسبت جمعیت هر استان به کل کشور)، شدت انرژی مصرفی، تعداد مسافران حمل‌ونقل هوایی، شاخص صنعتی شدن (تعداد مجوزهای کارگاه‌های صنعتی در هر استان) و شاخص قیمت مصرف‌کننده به تفکیک استان‌ها از سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۰ هستند. بر اساس شکل ۱، میانگین مصرف بنزین در میان استان‌های مختلف کشور تفاوت‌های معناداری دارد. استان تهران با فاصله‌ای چشمگیر در رتبه نخست قرار دارد و بیشترین میزان مصرف را به خود اختصاص داده است. این امر احتمالاً ناشی از تراکم بالای جمعیت، تمرکز بالای وسایل نقلیه موتوری، ضعف در حمل‌ونقل عمومی، و فعالیت‌های گسترده اقتصادی در این استان است. پس از تهران، استان‌هایی مانند خوزستان، خراسان رضوی، فارس و اصفهان دارای میانگین مصرف نسبتاً بالایی هستند. این استان‌ها نیز معمولاً دارای مراکز شهری بزرگ، زیرساخت‌های حمل و نقل گسترده، صنایع فعال و شبکه‌های جاده‌ای پرتردد هستند که منجر به مصرف بالاتر بنزین می‌شود.

جدول ۱- داده های مورد استفاده در پژوهش

ردیف	متغیر	توضیحات	منبع(ها)	دوره زمانی
۱	**انتشار دی‌اکسید کربن (CO_2) از مصرف نفت و گاز**	مقدار CO_2 منتشرشده به دلیل مصرف نفت و گاز در هر استان	مرکز آمار ایران و پورتال وزارت نیرو. به‌ویژه، ترازنامه‌های انرژی	۱۳۹۷-۱۴۰۰
۲	**شهرنشینی (نسبت جمعیت هر استان به کل جمعیت کشور)**	نسبت جمعیت کل ایران که در هر استان خاص ساکن هستند.	مرکز آمار ایران (سالنامه‌های آماری)	۱۳۹۷-۱۴۰۰
۳	**شدت انرژی**	معیاری از مصرف انرژی به ازای هر واحد تولید اقتصادی یا معیار مرتبط دیگر	پورتال وزارت نیرو (ترازنامه‌های انرژی)	۱۳۹۷-۱۴۰۰
۴	**تعداد مسافران حمل‌ونقل هوایی**	تعداد کل مسافرانی که از طریق هوایی به فرودگاه‌های هر استان سفر می‌کنند یا از آن‌ها خارج می‌شوند.	مرکز آمار ایران (سالنامه‌های آماری)	۱۳۹۷-۱۴۰۰
۵	**شاخص صنعتی‌سازی (تعداد مجوزهای کارگاه‌های صنعتی در هر استان)**	شاخصی برای سطح فعالیت صنعتی بر اساس تعداد کارگاه‌های صنعتی مجاز	مرکز آمار ایران (سالنامه‌های آماری)	۱۳۹۷-۱۴۰۰
۶	**شاخص قیمت مصرف‌کننده به تفکیک استان (CPI)**	معیاری از تغییر متوسط قیمت‌ها در طول زمان برای کالاها و خدماتی که مصرف‌کنندگان شهری در هر استان خریداری می‌کنند.	مرکز آمار ایران (سالنامه‌های آماری)	۱۳۹۷-۱۴۰۰

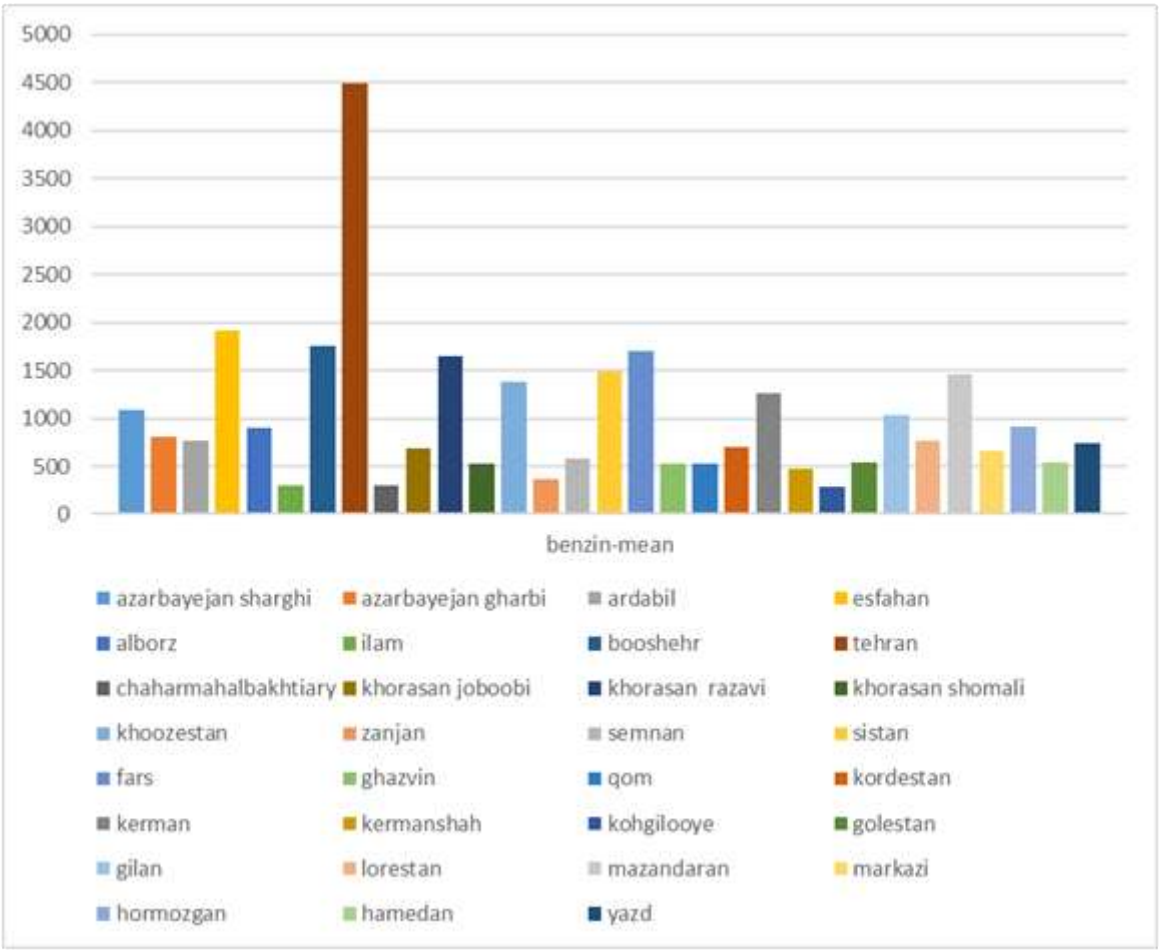
در سطح میانی، استان‌هایی همچون البرز، بوشهر، مازندران و کرمان قرار دارند که مصرف آن‌ها نه‌چندان بالا و نه‌چندان پایین است. این استان‌ها عموماً دارای جمعیت متوسط، نقش صنعتی و اقتصادی متوازن، و توسعه نسبی در زیرساخت‌های حمل‌ونقل هستند. در مقابل، استان‌هایی نظیر ایلام، سمنان، چهارمحال و بختیاری، و خراسان جنوبی دارای کمترین میزان مصرف بنزین در این تحلیل هستند. مصرف پایین در این استان‌ها می‌تواند به عوامل متعددی همچون پراکندگی جغرافیایی، جمعیت پایین، اقتصاد کمتر صنعتی، و توسعه‌نیافتگی شبکه حمل و نقل عمومی یا خصوصی بازگردد.

در این پژوهش، برای بررسی روابط میان تأثیر شهرنشینی و سایر متغیرهای مستقل بر انتشار دی‌اکسیدکربن، از مدل پانل چند متغیره استفاده خواهد شد. قبل از برآورد مدل، آزمون پدرونی (۱۹۹۹) برای تعیین وجود یا عدم وجود رابطه هم‌انباشتگی میان متغیرها انجام خواهد شد. ابتدا، مدل رگرسیون برای هر مقطع زمانی به طور جداگانه تخمین زده شده و باقی‌مانده‌های رگرسیون‌ها محاسبه و سپس برای آزمون هم‌انباشتگی مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

در مرحله بعد، تجزیه و تحلیل ضرایب با استفاده از روش تصحیح خطای برداری (VECM) انجام خواهد شد. جوهانسون (۱۹۹۱) این مدل را به صورت زیر ارائه نموده است:

$$\Delta Y_t = \Pi Y_{t-1} + \Gamma_1 \Delta Y_{t-1} + \Gamma_2 \Delta Y_{t-2} + \ldots + \Gamma_{p-1} \Delta Y_{t-(p-1)} + \beta D_t + u_t \quad (1)$$

که در آن، Δ عملگر تفاضل اولیه (یعنی؛ $\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1}$)، Y_t بردار متغیرهای وابسته در زمان t، Π ماتریس هم‌انباشتگی (که حاوی بردارهای هم‌انباشتگی است)، Γ_i ماتریس ضرایب برای وقفه های i ام (برای $i = 1,2,\ldots,p-1$)، D_t ماتریس متغیرهای توضیحی خارجی و متغیرهای ثابت، β بردار ضرایب برای متغیرهای توضیحی برونزا، u_t خطای تصادفی.



شکل ۱- میانگین بنزین مصرفی در هر استان

این مدل، دو خروجی مهم را تولید می‌کند. اولی، تجزیه واریانس است که بخشی از تغییرات در متغیرهای وابسته را به واسطه شوک‌های خود متغیر و سایر متغیرها نشان می‌دهد. برای مثال، یک شوک (یا نوآوری) برای متغیر i ام، به طور مستقیم بر آن متغیر اثر می‌گذارد ولی برای سایر متغیرها در سیستم از طریق ساختار پویای VAR گسترش می‌دهد. تجزیه‌های واریانس نیز تعیین می‌کنند که s- مرحله جلوتر، واریانس خطا را در یک متغیر معین پیش‌بینی می‌کنند و با نوآوری‌هایی در هر متغیر توضیحی برای $s = ۱,۲,...$ توضیح داده شده است. در واقع، شوک‌های سری خودمان، واریانس خطای سری‌ها را در VAR پیش‌بینی می‌کنند. خروجی دیگر، توابع واکنش آنی هستند. واکنش‌های آنی، سرعت واکنش را در متغیرهای وابسته در VAR نسبت به شوکهایی را نشان می‌دهند که برای خطا نمایش داده شده‌اند و بر سیستم VAR طی زمان اثر می‌گذارند. بنابراین، اگر k متغیر در یک سیستم وجود داشته باشند، کل $k^۲$ واکنش‌های آنی را می‌توان پدید آورد (چون واکنش‌های متغیرمان نیز ایجاد شده است). تصور کنید که مدل، پایدار است (یا تمام متغیرها، پایا هستند)، شوک‌ها باید بتدریج از بین بروند. تا حدودی، واکنش‌های آنی و تجزیه واریانس، اطلاعات بسیار مشابهی را ارائه می‌دهند (Laopodis, 2024).

نتایج

نتایج آزمون هم‌انباشتگی باقی‌مانده پدرونی به بررسی وجود رابطه هم‌انباشتگی بین مجموعه‌ای از متغیرها می‌پردازد. در این آزمون، فرض صفر عدم وجود هم‌انباشتگی و فرض جایگزین وجود هم‌انباشتگی است. در اینجا، متغیرهای مورد بررسی شامل NFG_CO_2، SANAT، URBAN، BENZIN و MASSENGER هستند. با توجه به نتایج آزمون‌های مختلف، به ویژه آماره‌های Panel rho-Statistic، Panel PP-Statistic و Panel ADF-Statistic، فرض صفر عدم وجود هم‌انباشتگی رد می‌شود و وجود هم‌انباشتگی در داده‌ها تأیید می‌شود. هم‌چنین، آزمون‌های گروه نیز به طور مشابه وجود هم‌انباشتگی را تأیید می‌کنند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که بین متغیرهای NFG_CO_2، SANAT_، URBAN_ و BENZINرابطه هم‌انباشتگی وجود دارد و این نتایج نشان‌دهنده یک رابطه بلندمدت پایدار بین این متغیرها است.

در ادامه به تحلیل مدل پرداخته می‌شود مدل خطای تصحیح برداری (VECM) به تحلیل روابط بلندمدت و کوتاه‌مدت بین چندین متغیر می‌پردازد و برای بررسی هم‌انباشتگی (Cointegration) میان این متغیرها به کار می‌رود. در نتایج زیر، مدل شامل متغیرهای وابسته (NFG_CO_2 انتشار دی‌اکسیدکربن)، SANAT_ (صنعت)، URBAN_(شهرنشینی) و BENZIN (بنزین مصرفی) است و متغیر MASSENGER نیز به عنوان متغیر برون‌زا در نظر گرفته شده است. در اینجا، روابط به سه شکل تعریف شده است:

۱- روابط بلندمدت:

معادله هم‌انباشتگی:

۱- NFG_CO_2 ضریب برابر با ۱.۰۰۰۰۰۰ و به عنوان پایه برای روابط دیگر است.

(-1) SANAT_ ضریب بسیار منفی $(-۳/۹۵E+۱۲)$ و معنی‌دار نیست، این مطلب نشان‌دهنده تاثیر منفی و نامعتبر در بلندمدت است.

(-1) URBAN_ ضریب مثبت و معنی‌دار $(۱/۱۶E+۱۲)$ است که نشان‌دهنده تاثیر مثبت در بلندمدت است.

(-1) BENZIN ضریب مثبت و معنی‌دار $(۸/۹۵E+۸)$ است و نشان‌دهنده تاثیر مثبت در بلندمدت است.

۲- خطای تصحیح و پویاهایی کوتاه‌مدت:

خطای تصحیح برای متغیرهای وابسته:

D(NFG_CO_2) ضریب ۰/۱۱۶۱۶۷ - و معنی‌دار است و تصحیح نوسانات در NFG_CO_2 را به سمت تعادل بلندمدت نشان می‌دهد.

D(_SANAT) ضریب بسیار کوچک و غیر معنی‌دار در مدل است.

D(_URBAN) دارای ضریب بسیار کوچک $(-۵/۸۷E-۱۴)$ و معنی‌دار است.

D(BENZIN) دارای ضریب $(۱/۱۶E-۹)$ و معنی‌دار است.

پویاهایی کوتاه‌مدت:

((NFG_CO_2 (-1)) D ضریب ۰/۷۷۱۴۲۰- و معنی‌دار در کوتاه‌مدت است.

((_SANAT (-1)) D دارای ضریب مثبت (۳/۱۵۲۹۸) و معنی‌دار در کوتاه‌مدت می‌باشد.

((_URBAN (-1)) D دارای ضریب منفی و معنی‌دار (-۵.۹۹۳۱۸) نشان‌دهنده تاثیر منفی در کوتاه‌مدت است.

((BENZIN (-1)) D ضریب مثبت و معنی‌دار (۴/۰۸۹۸۲) در کوتاه‌مدت دارد.

به طور کلی، مدل با R^2 های بالا برای بعضی از معادلات پیش‌بینی خوبی را (به‌ویژه BENZIN با ۰/۸۹۶۳۳۳) ارائه می‌دهد.

در ادامه تجزیه و تحلیل واریانس به ما کمک می‌کند تا سهم هر متغیر از واریانس متغیر مورد نظر را در طول زمان مشخص کنیم. در این تحلیل، چهار متغیر NFG_CO_2 (انتشار دی‌اکسیدکربن)، _SANAT (صنعت)، _URBAN (شهرنشینی) و BENZIN (بنزین) بررسی شده‌اند.

تحلیل واریانس برای هر متغیر:

۱- واریانس واریانس: NFG_CO_2

در دوره ۱: تمام واریانس به NFG_CO_2 اختصاص یافته است (100%).

در دوره‌های بعدی :سهم NFG_CO_2 از واریانس کاهش می‌یابد، به طور مثال در دوره ۱۰ به ۷۴/۸۴ درصد می‌رسد. سهم‌های متغیرهای دیگر به تدریج افزایش می‌یابد، به خصوص سهم SANAT_که از ۰ درصد در دوره ۱ به ۷/۳۲ درصد در دوره ۱۰ افزایش یافته است و سهم URBAN_ و BENZIN نیز به ترتیب به ۴/۱۳ درصد و ۱۳/۷۱ درصد در دوره ۱۰ می‌رسند.

۲- واریانس واریانس:SANAT_

در دوره ۱: سهم SANAT_از واریانس بسیار بالا است (۷۸/۰۴ درصد).

در دوره‌های بعد: سهم SANAT_از واریانس به تدریج کاهش می‌یابد و در دوره ۱۰ به ۷۱/۳۶ درصد می‌رسد. در عین حال، سهم NFG_CO_2 در طول زمان از ۲۱/۹۶ درصد به ۱۵/۷۶ درصد کاهش می‌یابد و سهم‌های URBAN_ و BENZIN نیز افزایش می‌یابند.

۳- واریانس واریانس:URBAN_

در دوره ۱: سهم URBAN_از واریانس بسیار بالا است (۸۳/۴۲ درصد).

در دوره‌های بعدی: سهم URBAN_به تدریج کاهش می‌یابد و در دوره ۱۰ به ۷۵/۶۳٪ می‌رسد. سهم NFG_CO_2 و SANAT_در طول زمان کاهش می‌یابند، در حالی که سهم BENZIN به تدریج افزایش می‌یابد.

۴- واریانس واریانس: BENZIN

در دوره ۱: سهم BENZIN از واریانس بسیار بالا است. (۹۵/۳۸ درصد)

در دوره‌های بعدی: سهم BENZINبه تدریج کاهش می‌یابد و در دوره ۱۰ به ۶۷/۴۱ درصد می‌رسد. سهم‌های NFG_CO_2 و SANAT_به طور کلی افزایش می‌یابند و سهم URBAN_ نیز در دوره‌های بعدی رشد می‌کند.

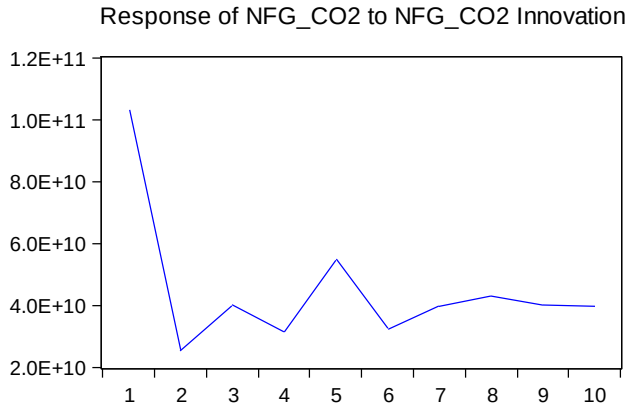
مطابق شکل ۱، نوسانات اولیه در برخی از نمودارها قابل مشاهده است که نشان می‌دهد متغیرها به سرعت به شوک‌ها واکنش نشان می‌دهند، اما به تدریج به سمت تعادل میل می‌کنند. مقادیر مثبت و منفی در پاسخ‌ها نشان‌دهنده این است که شوک‌ها می‌توانند تأثیرات مختلفی (افزایشی یا کاهشی) بر متغیرهای مورد بررسی

داشته باشند. ثبات در پاسخ‌ها در برخی از نمودارها به وضوح دیده می‌شود که نشان می‌دهد اثر شوک‌ها در طول زمان کاهش می‌یابد و متغیرها به وضعیت تعادل خود بازمی‌گردند.

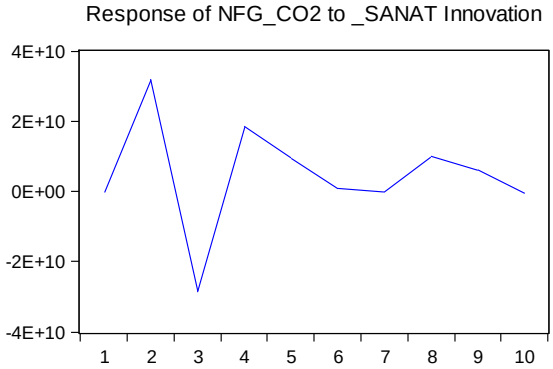
واکنش را به یک شوک در خود این بخش نشان می‌دهد. واکنش اولیه CO_2 در بخش غیرصنعتی (NFG_CO_2) مثبت است، سپس کاهش می‌یابد و به سمت تعادل می‌رود. واکنش CO_2 در بخش غیرصنعتی به یک شوک در بخش صنعتی (SANAT)، در ابتدا مثبت است و نوساناتی را تجربه می‌کند و در نهایت به سمت یک مقدار ثابت می‌رود. واکنش CO_2 در بخش غیرصنعتی را به یک شوک در بخش شهری (URBAN) نشان می‌دهد. واکنش منفی است و پس از نوسانات به سمت مقدار ثابتی می‌رود. واکنش CO_2 در بخش غیرصنعتی به یک شوک در بخش بنزین (BENZIN) نشان داده شده است. واکنش اولیه منفی است و پس از نوسانات به سمت مقدار صفر میل می‌کند. واکنش بخش صنعتی را به یک شوک در CO_2 در بخش غیرصنعتی نشان می‌دهد. واکنش اولیه مثبت است، سپس کاهش می‌یابد و نوساناتی را تجربه می‌کند. واکنش بخش صنعتی به یک شوک در ابتدا کاهش یافته و سپس به تدریج به سمت تعادل میل می‌کند. واکنش اولیه بخش صنعتی به یک شوک در بخش شهری، مثبت است و سپس نوساناتی را تجربه می‌کند. واکنش بخش صنعتی به یک شوک در بخش بنزین، در ابتدا منفی است و سپس به سمت صفر میل می‌کند. واکنش اولیه بخش شهری به یک شوک در CO_2 در بخش غیرصنعتی، منفی است و سپس نوساناتی را تجربه می‌کند.

واکنش اولیه بخش شهری به یک شوک در بخش صنعتی نیز مثبت است و سپس نوساناتی را تجربه می‌کند. واکنش بخش شهری به یک شوک در خود این بخش، در ابتدا کاهش یافته و سپس به سمت صفر میل می‌کند. واکنش بخش شهری به یک شوک در بخش بنزین، در ابتدا منفی است و سپس به سمت صفر میل می‌کند. واکنش اولیه بخش بنزین به یک شوک در CO_2 در بخش غیرصنعتی، منفی است و سپس به سمت صفر میل می‌کند. واکنش بخش بنزین به یک شوک در بخش صنعتی، در ابتدا منفی است و سپس به سمت صفر میل می‌کند. واکنش اولیه بخش بنزین به یک شوک در بخش شهری، منفی است و سپس به سمت صفر میل می‌کند. واکنش اولیه بخش بنزین به یک شوک در خود این بخش، بسیار منفی است و سپس به سمت صفر میل می‌کند.

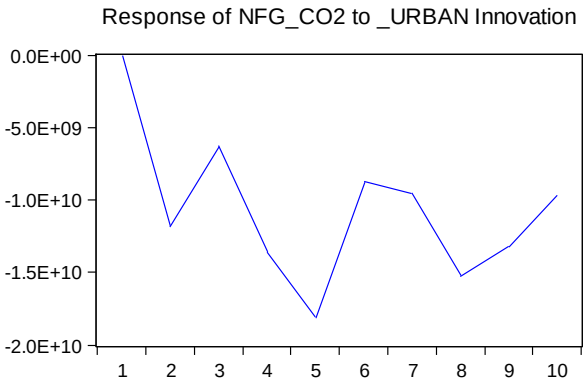
Response to Cholesky One S.D. (d.f. adjusted) Innovations



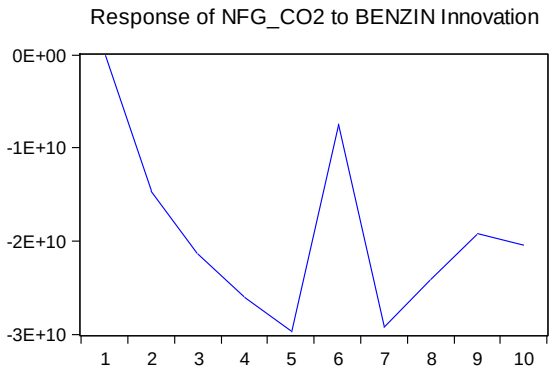
Response to Cholesky One S.D. (d.f. adjusted) Innovations



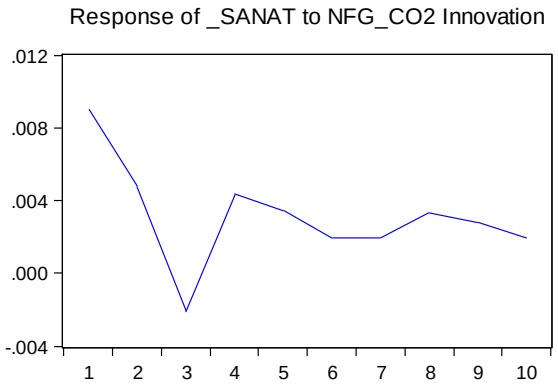
Response to Cholesky One S.D. (d.f. adjusted) Innovations



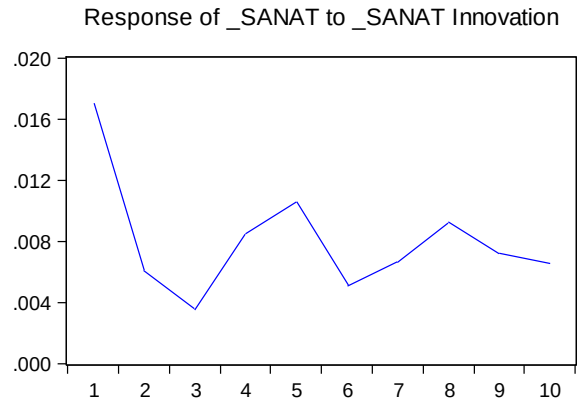
Response to Cholesky One S.D. (d.f. adjusted) Innovations



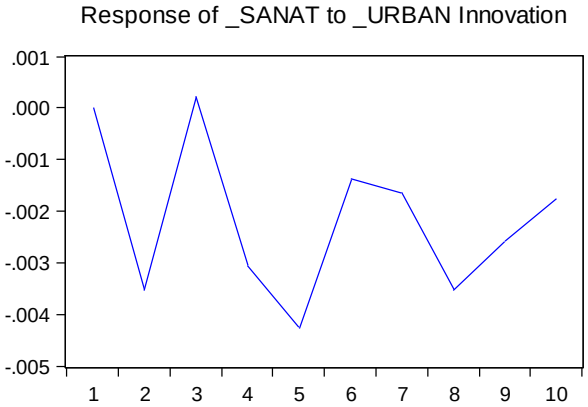
Response to Cholesky One S.D. (d.f. adjusted) Innovations



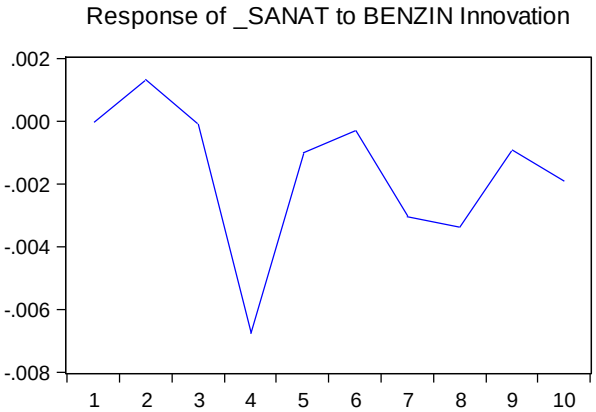
Response to Cholesky One S.D. (d.f. adjusted) Innovations



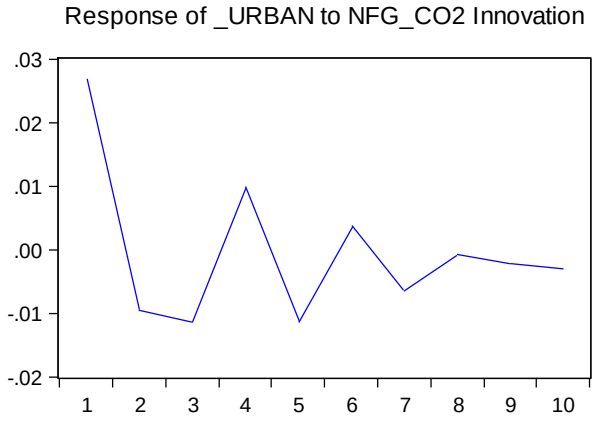
Response to Cholesky One S.D. (d.f. adjusted) Innovations



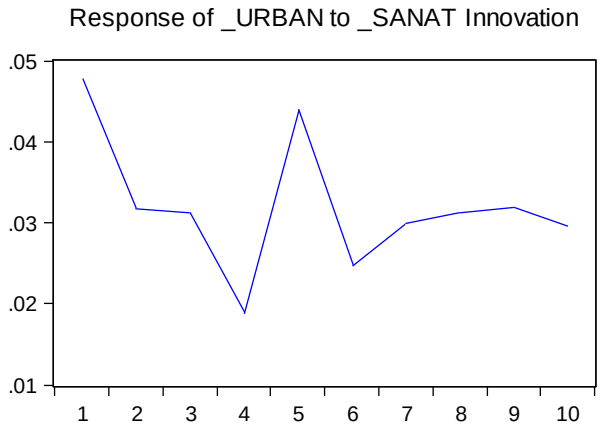
Response to Cholesky One S.D. (d.f. adjusted) Innovations



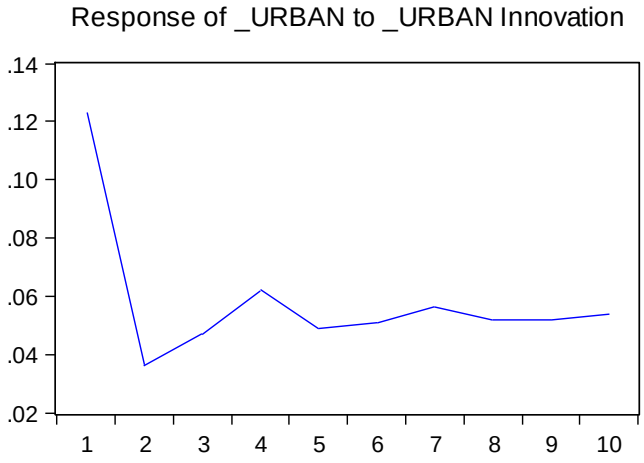
Response to Cholesky One S.D. (d.f. adjusted) Innovations



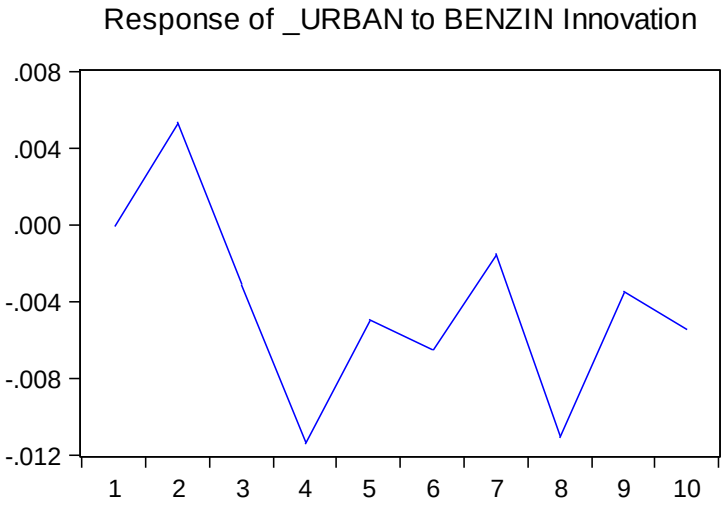
Response to Cholesky One S.D. (d.f. adjusted) Innovations



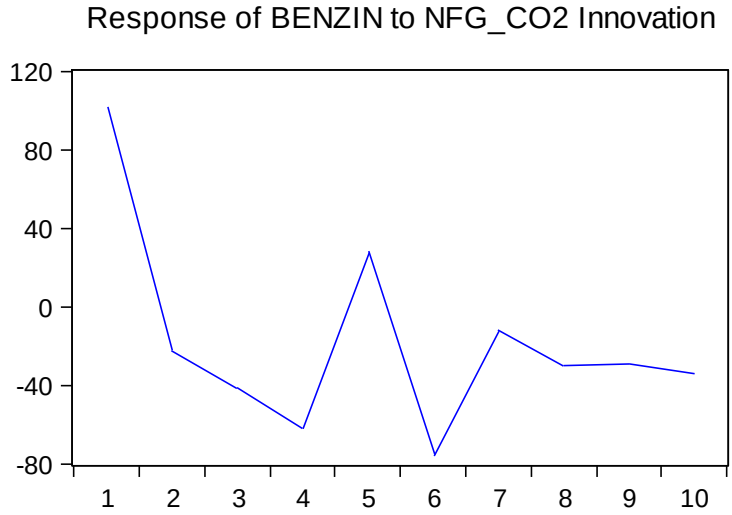
Response to Cholesky One S.D. (d.f. adjusted) Innovations



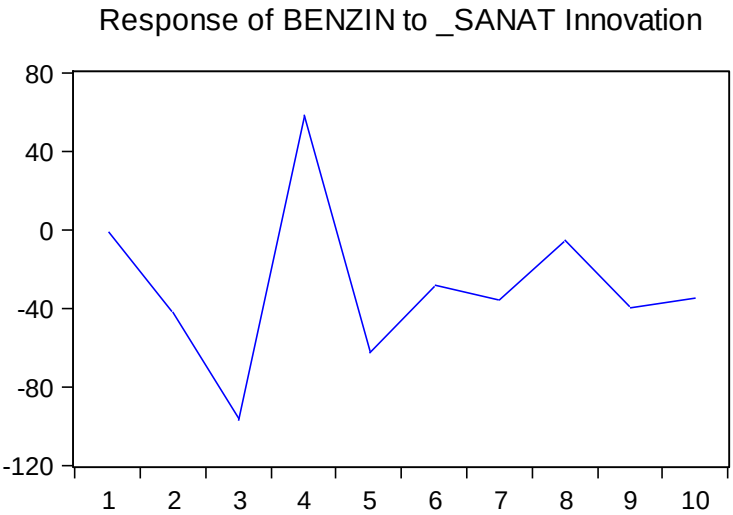
Response to Cholesky One S.D. (d.f. adjusted) Innovations

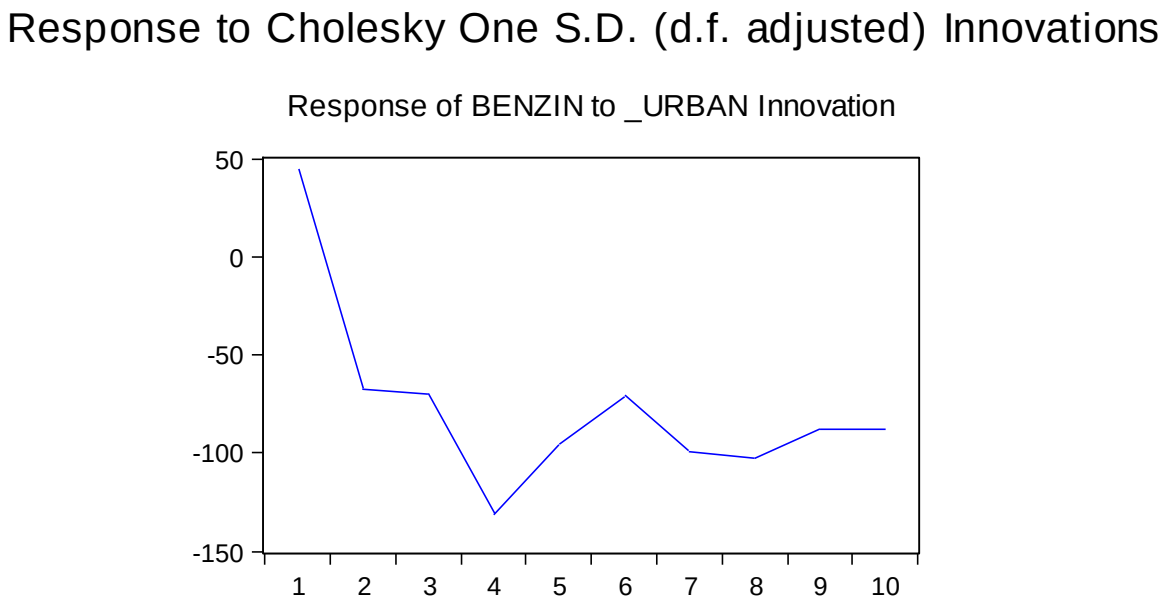


Response to Cholesky One S.D. (d.f. adjusted) Innovations



Response to Cholesky One S.D. (d.f. adjusted) Innovations





شکل ۲- واکنش‌های ضربه‌ای (منبع: یافته‌های تحقیق)

در شکل ۲ نمودارهای پاسخ ضربه ساختاری به کمک روش تجزیه چولسکی برای تحلیل اثرات متقابل میان متغیرهای NFG_CO_2، SANAT، URBAN و BENZIN بوده، محور افقی نشان‌دهنده تعداد دوره‌ها (۱۰ دوره زمانی)، و محور عمودی نشان‌دهنده شدت واکنش متغیر وابسته به شوک واردشده به هر یک از متغیرهای دیگر است.

بحث

نتایج آزمون هم‌انباشتگی پدرونی نشان‌دهنده وجود رابطه بلندمدت بین متغیرهای مورد مطالعه است، به این معنا که تغییرات در یک متغیر می‌تواند به‌صورت پایدار بر سایر متغیرها اثر بگذارد. این یافته با نظریه‌های پویایی‌های اقتصادی و مدل‌های سری‌های زمانی که بر روابط بلندمدت میان متغیرها تأکید دارند، سازگار است. بر اساس الگوی تصحیح خطا (VECM)، متغیرهایی نظیر انتشار دی‌اکسیدکربن (NFG_CO2)، صنعت (_SANAT)، شهرنشینی (_URBAN) و مصرف بنزین (BENZIN) دارای روابط بلندمدت معناداری هستند. این روابط نشان می‌دهند که تأثیر این متغیرها بر انتشار CO_2 در کوتاه‌مدت و بلندمدت متفاوت است. این نتایج با فرضیه منحنی کوزنتس محیط‌زیستی (EKC) هم‌راستا بوده که بیان می‌دارد توسعه اقتصادی و صنعتی در ابتدا

آلودگی را افزایش می‌دهد، اما در بلندمدت با پیشرفت تکنولوژی و بهبود شرایط، این آلودگی کاهش می‌یابد.

با این حال، تفاوت اصلی این مطالعه با سایر تحقیقات در تحلیل واریانس متغیرها در طول زمان نهفته است. تحلیل واریانس به روش چولسکی نشان می‌دهد که سهم هر متغیر در توضیح واریانس متغیرهای دیگر با گذر زمان تغییر می‌کند. به عنوان مثال، در مراحل اولیه، مصرف بنزین (BENZIN) نقش غالبی در تغییرات انتشار CO_2 دارد، اما با گذر زمان، تأثیر متغیرهایی مانند صنعت و شهرنشینی افزایش می‌یابد. این تغییر پویا در سهم واریانس، نشان‌دهنده تحولات ساختاری در اقتصاد و فناوری است که در مطالعات دیگر کمتر به آن پرداخته شده است. برخلاف پژوهش‌های مشابه که اغلب بر روند کلی روابط متمرکزند، این مطالعه به‌طور خاص نشان می‌دهد که چگونه وزن و اهمیت هر متغیر در طول زمان تغییر می‌کند و این پویایی می‌تواند بینش‌های جدیدی در مورد تأثیرات زمانی توسعه و سیاست‌گذاری ارائه دهد.

برای کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن و حرکت به سوی توسعه پایدار در ایران، پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:

- **سیاست‌گذاری شهری:** توسعه شهرنشینی پایدار با استفاده از فناوری‌های سبز، گسترش حمل‌ونقل عمومی کم‌آلاینده و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی.
- **مدیریت صنعتیپ:** ارتقای فناوری در صنایع پرمصرف انرژی برای بهینه‌سازی مصرف و کاهش انتشار CO_2.
- **گردشگری پایدار:** برنامه‌ریزی برای کاهش اثرات زیست‌محیطی گردشگری از طریق ترویج روش‌های پایدار.
- **تحقیقات پیشرفته:** بهره‌گیری از داده‌های به‌روز و مدل‌سازی پیشرفته برای تحلیل دقیق‌تر اثرات اقلیمی و سیاست‌های اقتصادی.
- **آموزش عمومی:** افزایش آگاهی عمومی درباره تأثیرات زیست‌محیطی فعالیت‌های انسانی و تشویق به رفتارهای مسؤولانه و پایدار.

منابع

1. **Anonymous, 2022.** Share of urban population in total population in Iran. Available at: https://www.amarfact.com (accessed 6 April 2026). (In Persian with English abstract)
2. **Ashouri, M., et al., 2020.** Investigating the Factors Affecting Energy Intensity in Iran with an Emphasis on the Information and Communications Technology Index. Environmental Energy and Economics Research, 4(1), 27–41.
3. **Farajzadeh, Z. and Nematollahi, M.A., 2018.** Energy Intensity and Its Components in Iran: Determinants and Trends. Energy Economics, 73(C), 161–177.
4. **Farazmand, H., et al., 2020.** Urbanization and energy consumption in Iran: Application of the STIRPAT model. Journal of Applied Economic Theories, 7(3), 215–240. (In Persian with English abstract)
5. **Farooq, A., et al., 2021.** A Validity of Environmental Kuznets Curve Under the Role of Urbanization, Financial Development Index and Foreign Direct Investment in Pakistan. Journal of Economic and Administrative Science, ahead-of-print.
6. **Fetros, M.H., et al., 2011.** Assessing the impact of energy intensity and urbanization expansion on environmental degradation in Iran: An aggregate analysis. Environment, 37, 13–22. (In Persian with English abstract)
7. **Gössling, S. and Peeters, P., 2015.** Assessing Tourism's Global Environmental Impact 1900–2050. Journal of Sustainable Tourism, 23(5), 639–659.
8. **Gössling, S., et al., 2020.** Tourism and Water: Interactions, Impacts, and Challenges. CABI.
9. **Hafner, K.A., 2013.** Agglomeration Economies and Clustering: Evidence from German and European Firms. Applied Economics, 45(20), 2938–2953. https://doi.org/10.1080/00036846.2012.690850
10. **Hashemipour, F., Lami, R. and Barari, M., 2012.** Assessing the economic and environmental effects of urban tourism from citizens' perspective (case study: Babol city). Iranian Natural Ecosystems, 3(1), 49–63. (In Persian with English abstract)
11. **Hossain, M.S., 2011.** Panel Estimation for CO_2 Emissions, Energy Consumption, Economic Growth, Trade Openness and Urbanization of Newly Industrialized Countries. Energy Policy, 39(11), 6691–6999.
12. **Jones, A.B., et al., 2023.** Urbanization and Energy Consumption: A Case Study of London. Journal of Urban Studies, 45(2), 211–228.
13. **Kamali Dehkordi, P., et al., 2021.** Spatial effect of urbanization on energy consumption in selected OPEC member countries using spatial STIRPAT approach. Economic Policy, 13(26), 287–310. (In Persian with English abstract)
14. **Kirikkaleli, D. and Kalmaz, D.B., 2020.** Testing the Moderating Role of Urbanization on the

Cities. Waste Management & Research, 41(3), 289–302.
30. **Pederzoli, P., 1999.** An Analysis of Cointegration in the Context of Vector Error Correction Models. Journal of Applied Econometrics, 14(3), 301–319.
31. **Shahbaz, M., et al., 2015.** The Effect of Urbanization, Affluence and Trade Openness on Energy Consumption: A Time Series Analysis in Malaysia. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 47(C), 683–693.
32. **Singh Ahluwalia, M. and Patel, U., 2023.** Managing Climate Change: A Strategy for India. In Bhattacharya, A., Kharas, H. & McArthur, J.W. (Eds.), Climate Action: How Developing Countries Could Drive Global Success and Local Prosperity (pp. 300–322). Washington: The Brookings Institution.
33. **Swarbrooke, J. and Horner, S., 2012.** Business Travel and Tourism. Routledge.
34. **Tarazkar, M.H., et al., 2018.** Effect of economic development and urbanization on pollution emission in Iran. Iranian Journal of Agricultural Economics, 10(2), 155–174. (In Persian with English abstract)
35. **Tirado, R., et al., 2018.** Urbanization and Climate Change: Bridging Concepts and Challenges for Sustainability. Sustainability, 10(3), 699–712.
36. **Tzeng, G.-H. and Chiang, C.-Y., 2016.** A Hybrid Decision-Making Model for Assessing Urban Sustainability and Its Application to Taipei City. Sustainability, 8(7), 666.
37. **UNEP, 2021.** Tourism and the COVID-19 Pandemic: Economic and Environmental Impacts. United Nations Environment Programme. Online available from: https://www.unep.org/resources/report/tourism-and-covid-19-pandemic-economic-and-environmental-impacts (accessed 6 April 2026).
38. **Wu, W. and Lin, Y., 2022.** The Impact of Rapid Urbanization on Residential Energy Consumption in China. PLoS One, 17(7), 1–21.
39. **Xiao, Y., et al., 2023.** Impacts of Land Urbanization on CO_2 Emissions: Policy Implications Based on Development Stages. Land, 12, 1930–1942.
40. **Zhang, W., et al., 2023.** The Impact of the Digital Economy on Industrial Eco-Efficiency in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration. Sustainability, 15(16), 12328–12340.
41. **Zhu, B. and Zhang, T., 2023.** The Impact of Cross-Region Industrial Structure Optimization on Economy, Carbon Emissions and Energy Consumption: A Case of the Yangtze River Delta. Science of the Total Environment, 778, 146089.

Environmental Kuznets Curve: Empirical Evidence from an Emerging Market. Environmental Science and Pollution Research International, 27(30), 38169–38180.
15. **Kuznets, S., 1955.** Economic Growth and Income Inequality. American Economic Review, 45(1), 1–28.
16. **Laopodis, N.T., 2024.** Econometrics and financial economics (Second edition). Translated by O. A. Adili & M. V. Vali. Noor Elm Publications, Tehran. (In Persian with English abstract)
17. **Lee, C. and Kim, D., 2023.** Energy Intensity in Urban Buildings: The Case of Seoul. Energy Policy, 98, 345–358.
18. **Lee, S. and Lee, B., 2014.** The Influence of Urban Form on GHG Emissions in the U.S. Household Sector. Energy Policy, 68, 534–549.
19. **Luyi, X., et al., 2022.** A Regional Analysis of the Urbanization-Energy-Economy-Emissions Nexus in China: Based on the Environmental Kuznets Curve Hypothesis. Applied Economics, 55, 5287–5302.
20. **Mason, P., 2008.** Tourism Impacts, Planning and Management. Routledge.
21. **Ministry of Basic Research and Production Affairs, 2020.** Comparative and technical assessment of air pollution crisis in the country's metropolitan cities. Islamic Consultative Assembly, serial no. 16712, Tehran. (In Persian with English abstract)
22. **Ministry of Electricity and Energy, 2020.** Energy balance sheet 1397. Office of Macro Electricity and Energy Planning, Tehran. (In Persian with English abstract)
23. **Ministry of Electricity and Energy, 2021.** Energy balance sheet 1398. Office of Macro Electricity and Energy Planning, Tehran. (In Persian with English abstract)
24. **Ministry of Electricity and Energy, 2022.** Energy balance sheet 1399. Office of Macro Electricity and Energy Planning, Tehran. (In Persian with English abstract)
25. **Ministry of Electricity and Energy, 2023.** Energy balance sheet 1400. Office of Macro Electricity and Energy Planning, Tehran. (In Persian with English abstract)
26. **Muyibul, Z., et al., 2023.** Relationships between Tourism, Urbanization and Ecosystem Service Value in the Cities of Xinjiang in Northwest China. Sustainability, 15(5), 4190–4208.
27. **Newman, P. and Kenworthy, J., 2015.** The End of Automobile Dependence: How Cities Are Moving Beyond Car-Based Planning. Island Press.
28. **Newsome, D. and Dowling, R., 2016.** Geotourism: The Tourism of Geology and Landscape. Goodfellow Publishers.
29. **Patel, R. and Singh, S., 2023.** Energy Intensity of Urban Waste Management: Evidence from Indian

2025, The Author(s). Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Environment & Interdisciplinary Development
Journal homepage: https://www.envjournal.ir

Analysis of the Relationship between Urbanization, Tourism, and Carbon Dioxide Emissions in Iran's Provinces

Omid Ali Adeli[1*], Masoumeh Vali[2]

1*- Department of Economics, Faculty of Economic Sciences and Administration, University of Qom, Qom, Iran
2- Department of Accounting, Faculty of Management, Economics and Accounting, Islamic Azad University, Karaj Branch, Karaj, Iran

Original Article

Received: 2024.09.12

Accepted: 2025.07.10

Keywords: Tourism, Urbanization, CO_2 Emissions, Panel Error Correction Model, Urbanization

Abstract

Introduction: Urbanization and tourism are two pivotal drivers of contemporary economic and social development, yet they exert considerable impacts on the environment. In countries such as Iran, which have experienced rapid expansion in these sectors, the resulting effects—particularly regarding climate change and greenhouse gas emissions, notably carbon dioxide (CO_2)—are increasingly apparent. The diverse degrees of urbanization and tourism development across Iran's provinces, combined with their varied environmental characteristics, provide an effective framework for analyzing these interactions. This study investigates the effects of urbanization and tourism on CO_2 emissions in Iranian provinces, utilizing reliable national and international data sources, including the Statistical Center of Iran and the World Bank.

Materials and Methods: The environmental consequences of oil and gas consumption—especially from urban transport, tourism-related activities, and industrial development—substantially contribute to air pollution. This study analyzes provincial data from Iran for the period 2018–2021, employing a panel error correction model (ECM) to examine long-term equilibrium relationships among the variables. The primary objective is to assess how urbanization, tourism, and industrial activity influence CO_2 emissions and to evaluate regional disparities in emissions. The dataset includes CO_2 emissions, urbanization rates, tourism intensity, and fuel consumption for each province, sourced from authoritative institutions such as the Statistical Center of Iran and the Ministry of Energy.

Results: The Pedroni cointegration test confirms the existence of long-run relationships among the studied variables, demonstrating the persistent effects of urbanization and tourism on CO_2 emissions. The results indicate that changes in urbanization and tourism activity have lasting impacts on CO_2 emissions. The error correction model reveals significant long-term associations among CO_2 emissions, industrialization, urbanization, and gasoline consumption. Specifically, increases in industrialization (SANAT), urbanization (URBAN), and gasoline consumption (BENZIN) are statistically significant predictors of higher CO_2 emissions (NFG_CO_2) over the long term. These findings are consistent with economic theories such as

* Corresponding Author's email: oa.adeli@qom.ac.ir

the Environmental Kuznets Curve (EKC). pollution levels rise during early economic and industrial development but decline with further advancement and the adoption of sustainable practices. The study shows that Iranian provinces with higher levels of urbanization and more developed tourism sectors tend to emit more CO_2, highlighting the environmental costs of such development.

Discussion: The findings underscore the necessity for Iran to reform its urban and tourism policies by adopting green technologies and promoting sustainable tourism practices. Given the significant impact of urbanization and tourism on CO_2 emissions, it is essential to develop strategies that mitigate these effects while supporting economic growth. Policy interventions should focus on enhancing energy efficiency, reducing reliance on fossil fuels, and increasing the use of renewable energy sources. Comprehensive planning that incorporates environmental concerns is crucial for sustainable development, especially in light of Iran's environmental challenges, such as rising temperatures and air pollution. Embracing green technologies and sustainable planning can play a pivotal role in reducing CO_2 emissions and fostering sustainable development, aligning with both global environmental objectives and Iran's economic growth. Based on panel data analysis from 2018 to 2021, the study confirms that increased urbanization and tourism have had significant and lasting impacts on CO_2 emissions. These findings highlight the urgent need to revise urban and tourism policies in accordance with sustainable development goals. As part of the proposed policy framework, transitioning to green technologies—such as solar energy in central and desert regions and wind energy in western provinces—offers practical solutions for mitigating greenhouse gas emissions. In the tourism sector, implementing eco-friendly accommodations, improving waste management in high-traffic destinations, and educating tourists on natural resource preservation are among the sustainable measures recommended at the provincial level. It is also advisable to launch pilot projects in provinces with high CO_2 emissions to empirically assess the effectiveness of green initiatives. To further enhance policymaking, establishing specific quantitative targets—such as reducing CO_2 emissions by 20% and increasing the share of renewable energy to 30% in the urban and tourism sectors—will be essential.